



# MEYVE VE SEBZE SOĞUK DEPO YÜK HESAPLAMALARINDAKİ BELİRSİZLİKLER İÇİN ÖNERİLER

*Suggestions for Uncertainty in Fruit and Vegetable Cold Storage Load Calculations*

Hüseyin Bulgurcu

## ÖZET

Bilindiği gibi soğuk depo ısı yükü hesaplamaları dört ana ısı yükü dikkate alınarak yapılmaktadır. Bu yükler depo dış yüzeylerinden transfer yoluyla oluşan yük, kapı ve menfezlerden kaynaklanan hava sızıntısı dolayısıyla oluşan yük, depolanan ürünlerden ve dışarıdan depoya yüklenen ürünlerden kaynaklanan ısı yükü ve son olarak diğerleri de insanlardan, lambalardan, forkliftlerden, evaporatör fanları ve defrost ısılarından kaynaklanan yüklerdir. Bu yüklerden kaynaklanan ısı kazançları belli analitik ve ampirik bağıntılarla hesaplanabilmektedir. Ancak bu yük hesaplamalarında bazı belirsizlikler mevcuttur. Bu belirsizlikler hesaplamalarda bazı tereddütlere neden olabilmektedir. Örnek olarak defrost ısı yükleri ve evaporatör fan motorlarından kaynaklanan ısı yükleri, hesaplamanın başında henüz evaporatör boyutları bilinmediğinden, net olarak hesaplanamaz. Bunun yanında meyve ve sebzeler için ayrı bir havalandırma sistemine, nemlendiriciye ihtiyaç olup olmadığı da belirsizlik arasındadır. Bu belirsizlikler sektörde tasarım yapan soğutma mühendislerine zorluklar oluşturmaktadır. Bu çalışmada belirsizlik oluşturan durumlar için bazı analitik çözümler üretilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Soğuk depo, Isı yükü, Yük belirsizliği, Soğuk depo yükü.

## ABSTRACT

As is known, cold storage heat load calculations are made by considering four main heat loads. These loads are the load caused by transfer from the outer surfaces of the warehouse, the load caused by the air leakage from the doors and vents, the heat load caused by the stored products and the products loaded from the outside into the warehouse, and finally the others are the loads caused by people, lamps, forklifts, evaporator fans and defrost temperatures. The heat gains resulting from these loads can be calculated with certain analytical and empirical relations. However, there are some uncertainties in these load calculations. These uncertainties may cause some hesitations in calculations. For example, defrost heat loads and heat loads from evaporator fan motors cannot be calculated clearly since the evaporator dimensions are not known at the beginning of the calculation. In addition, whether there is a need for a separate ventilation system and humidifier for fruits and vegetables is among the uncertainty. These uncertainties pose challenges to refrigeration engineers designing in the industry. In this study, some analytical solutions have been produced for situations that create uncertainty.

**Key Words:** Cold storage, Heat load, Load Uncertainty, Cold room loads.

## 1. GİRİŞ

Meyve ve sebzeler için soğuk depo yük hesaplamaları, bu ürünlerin fizyolojik özelliklerinden dolayı bazı farklılıklar göstermektedir. Özellikle meyve ve sebzelerde devam eden yaşam faaliyetleri,

solunum ve terleme şeklinde kendini gösterir. Bu faaliyetlerden dolayı hızlı şekilde ürünler hızlı şekilde nem kaybetmektedir. Bu nem kayıpları kütle kaybına, kalite ve görüntü (tekstür) bozulmalarına, dolayısıyla maliyet kaybına neden olmaktadır. Meyve ve sebzelerde depolama sırasında oluşacak kayıpları en aza indirebilmek için soğuk depo tasarımı doğru şekilde yapılmalıdır.

Enerji verimliliği için en önemli konuların başında ısı yalıtım gelmektedir. En çok kullanılan yalıtım malzemesi poliüretandır (genellikle sandviç panel şeklindedir), ancak ısı iletkenliği üreticiye bağlı olarak 0,020 ila 0,035 W/mK arasında değişir. En alakalı olanı, toplam yıllık maliyetin (yatırım + enerji maliyetleri) minimum olduğu tekno-ekonomik kriterlerdir. Bu kriterlere ve deneyimli verilere göre, özgül ısı akısı değerinin ( $q = Q/A = k \times Dt$ ) aşağıdaki aralıklarda olması önerilir (Ciconkov 2020):

- Dondurulmuş ürünler için soğuk odalar için:  $q = 6$  do  $8 \text{ W/m}^2$
- Soğutulmuş ürünler için soğuk odalar için:  $q = 7$  do  $11 \text{ W/m}^2$

Güneş radyasyonundan elde edilen ısı kazanımları, yüzeyin yoğunluğuna (konumların enlemine), yönüne ve rengine bağlıdır. Basitleştirilmiş yöntem, ASHRAE-2018'e göre varsayılabilen eşdeğer sıcaklık farkları kullanılır.

Özellikle soğuk odadaki nem dengesi için evaporatör tasarımı, ortamdaki hava hareketi gibi konular ön plana çıkmaktadır. Ayrıca ısı yüklerinin daha hassas şekilde yapılabilmesi için yük hesaplarında giderilmesi gereken bazı belirsizlikle mevcuttur.

Bu çalışmada meyve-sebze soğuk depo hesaplamalarında geleneksel hesaplama yöntemlerinin yanında hava hareketi, fan motor güçleri, nem dengesi, nemlendirici ve defrost yükleri arasında ilişkiler kurularak belirsizlikler giderilmeye çalışılmıştır.

## 2. MEYVE VE SEBZELERİN MUHAFAZA ÖZELLİKLERİ

Meyve ve sebzeler hasat edilince, yani kendisini besleyen ana bitkiden ayrılınca, yine de canlı kalırlar. Öyle ki, birçok sebze hızlı bir hücre bölünmesi dahi devam eder. Her ne kadar, topraktan çeşitli besin maddelerinin alınışı sona ermişse de dokuda çeşitli yeni maddelerin oluşması, mevcut maddelerin başka bileşiklere dönüşmesi gibi kimyasal ve biyokimyasal olaylar düzenli bir şekilde devam eder.

Meyve ve sebzelerdeki metabolizma faaliyetleri, ortam koşullarına bağlı olarak hızlı veya daha yavaş olarak devam eder. Bu sırada üründe depo edilmiş çeşitli maddeler harcanır. Nihayet bir süre sonra her canlıda olduğu gibi, doğal yaşlılık sonucu meyve ve sebzelerin yapısı bozulur ve ölüm kendini gösterir. Artık kimyasal ve biyokimyasal olaylar kontrol dışında kalarak düzensiz bir şekil alır. Bu sırada, canlı meyve veya sebzelerin mikroorganizmalara karşı gösterdiği direnç de sona erdiğinden, çeşitli mikroorganizmaların hücumuna uğrayarak, ayrıca mikrobiyolojik bozulma başlar (Becker at all.1996). İşte, soğukta depolamada ilke; meyve ve sebzelerin metabolizma faaliyetlerinin kesinlikle durdurmamak koşuluyla en düşük düzeyde gerçekleşmesine olanak vermek üzere, gerekli şartların sağlanmasıdır.

Metabolizma olayları içinde en önemlileri ise solunum ve terlemedir. Bu şekilde serbest kalan ısının az bir kısmı, hücrede gerçekleşen kimyasal tepkimelerde harcanırken büyük bir kısmı etrafa yayılır ve doğal olarak ürünü de ısıtır. Solunum, karbondioksit, su ve ısı üretmek için şekerlerin oksijenle parçalanmasını içerir. Bir ürünün depolama ömrü, solunum aktivitesinden etkilenir. Bir ürünün düşük sıcaklıkta depolanmasıyla solunum azalır ve yaşlanma geciktirilir, böylece depolama ömrü uzatılır (Halachmy and Mannheim 1991). Bir ürünü çevreleyen oksijen ve karbondioksit derişikliklerinin uygun şekilde kontrol edilmesi de solunum hızının azaltılmasında etkilidir.

Taze meyve ve sebzelerden nem kaybına terleme de denir. Terleme hızı, sıcaklık, bağıl nem ve hava hareketi gibi çevresel koşullara göre değişir. Ayrıca, farklı meyve ve sebzeler için terleme hızı farklıdır. Bir meyve veya sebzelerin terleme eğilimi, birim çevresel buhar basıncı açığı başına terleme oranı olan terleme katsayısı ile karakterize edilir. Örneğin elmanın terleme katsayısı  $58 \text{ ng/s.Pa.kg}$  iken havuç

için 1648 ng/s.Pa.kg ve marul için 8750 ng/s.Pa.kg'dır. Bu, marulun neden hızlı bir şekilde susuz kaldığını ve aynı ortamdaki elmaların günlerce taze görünümünü koruduğunu açıklıyor (Cengel Y.A. ve Ghajar A.

Soğuk bir odadaki bağıl nem, depolanan üründen buharlaşan su ile evaporatör tarafından havadan uzaklaştırılan su arasındaki dengenin bir göstergesidir.

Bağıl nem, depolama sırasında meyve ve sebze ağırlığındaki kaybı etkiler. Bu kütle kaybı, görünümün bozulması gibi ekonomik kayıplar ve besin değerinin azalması yönünden önemli olabilir.

Soğuk bir depo içindeki bağıl nem birçok faktör tarafından yönetilir: Soğuk depodaki ürün miktarı, paketlenme türü ve yöntemi, istifleme modelleri, hava hareketi, sistem çalışma süresi, soğutma sistemi kontrolünün türü, sıcaklık farkı, maruz kalan ürün yüzeyinin miktarı, ısı ve su buharı sızması, dış hava koşulları ve soğutma sisteminin çalışma döngüsünün uzunluğu.

Bunlardan sıcaklık farkı (TD) en önemlisidir. Sıcaklık farkı (TD); evaporatöre giren hava sıcaklığı ile evaporatör yüzey sıcaklığı arasındaki farktır. Bir evaporatörün TD'si, ürün cinsine, evaporatör boyutlarına, soğutma sisteminin çalışma süresine, evaporatör karlanma miktarına ve evaporatöre verilen soğutucu akışkanın tipine göre seçilebilir. Evaporatör yüzeyi ile soğutulan ortam arasındaki sıcaklık farkı ne kadar küçük olursa, soğuk odadaki bağıl nem o kadar yüksek olur (tersi de geçerlidir) (FAO).

**Tablo 1** Soğutulan ortam ile evaporatör yüzey sıcaklığına bağlı olarak oluşan bağıl nem dengesi

Tasarım TD (°C)	4.0–5.5	5.5–6.5	6.5–8.0	8–9	9–10
Bağıl nem (%)	95–91	90–86	85–81	80–76	75–70

Soğuk depolarda uygun saklama koşullarına ek olarak, çeşitli kabuk kaplamaları ve nem geçirmez filmler, terlemeyi önemli ölçüde azaltmak ve depolama ömrünü uzatmak için ürün paketlenme sırasında kullanılabilir (Ben-Yehoshua 1969).

Soğuk depo yük hesaplamalarında solunum ısı 0 °C ve + muhafaza koşulları için tablolar yardımıyla hesaplanır. Ancak ortama yayılan CO<sub>2</sub> için gerekli taze havalandırma yükü dikkate alınmaz veya hava sızıntısı ile bu derişikliğin giderileceği varsayılır. Ancak meyve-sebze soğuk depoları için yapılan ayrıntılı hesaplamalar, solunum ısı ve taze hava yükü arasında doğrudan bir ilişki bulunduğunu göstermektedir.

Meyve ve sebze soğuk depo yük hesaplamaları dört temel yüke dayalı olarak gerçekleştirilir: (1) Depo dış kabuğundan oluşan transfer ısı yükleri (dış kabuk güneş görüyorsa buna solar sıcaklık farkları da hesaplara eklenir). (2) Ürünlerden kaynaklanan ısı yükleri (hissedilir ısı ve sebze-meyveler için ilave olarak solunum ısıları). (3) Hava sızıntısından ve varsa mekanik havalandırma sisteminden kaynaklanan (servis) ısı yükleri ve (4) Fan motorlarından, defrost ısılarından, çalışan makine ve cihazlardan, aydınlatma gereçlerinden kaynaklanan yükler olarak sıralanır (2018 ASHRAE Handbook Refrigeration Chapter 24).

Bu ısı yüklerinden evaporatör fanları ve defrosta bağlı olarak oluşan ısı kazançları, henüz evaporatör seçimi yapılmadığı ve defrost yükü bilinmediği için bu yüklerin hesaplanmasında belirsizlikler nedeniyle zorluklar oluşturmaktadır. Ayrıca meyve -sebze muhafaza soğuk depolarında mekanik havalandırma sistemine, ek bir nemlendiriciye ihtiyaç olup olmadığı da bir belirsizlikler arasındadır. Bu çalışmada evaporatör fan motorlarının debileri Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) tarafından önerilen hava değişim sayıları dikkate alınarak hesaplanmıştır. Taze hava yükü ürünlerin solunum ısıları dikkate alınarak hesaplanmış olup sızıntı hava debilerinin yetersiz olduğu, bağımsız bir mekanik havalandırma sistemine ihtiyaç duyulduğu görülmüştür. Yine mekanik havalandırma sistemine sahip meyve-sebze muhafaza odalarında ek bir nemlendiriciye ihtiyaç duyulmadığı, bu ihtiyacın dış havadan karşılandığı anlaşılmıştır. Defrost yükleri ise ürünlerden, içeride çalışan insanlardan, havalandırma sistemi ve sızıntılardan kaynaklanan nem yükleri dikkate alınarak hesaplanmıştır.

### 3. MEYVE-SEBZE SOĞUK ODALARINDA HAVALANDIRMA YÜKÜ

Büyük kapasiteli soğuk odalarda taze hava ihtiyacı sadece hava sızıntısından kaynaklanan taze hava ile karşılanamaz. Yaş meyve ve sebzeler hasattan sonra da yaşam faaliyetlerini sürdürmekte olup havadan oksijen (O<sub>2</sub>) alır, ortama karbondioksit (CO<sub>2</sub>) verirler. Ürünlerin bozulması ve çürümesi bu sürecin sonucudur. Soğuk hava deposundaki karbon dioksitle birlikte bazı meyvelerden kaynaklanan etilen gibi zararlı gazları da uzaklaştırır.

Solunum işlemi sırasında, şeker ve oksijen birleştirilerek karbondioksit, su ve ısı şu şekilde oluşturulur:



Bu kimyasal reaksiyonun gerçekleştiği hız, ürünün türü ve sıcaklığına göre değiştiği bulunmuştur. Daha spesifik olarak, karbondioksit üretimi ve solunuma bağlı ısı üretimi oranı, ürünün sıcaklığı ile ilişkilidir.

Depolanan bitki ürünlerinin çoğunda, çok az hücre gelişimi gerçekleşir ve solunum enerjisinin büyük bir kısmı ısı olarak salınır, bu da bu canlıları soğuturken ve depolarken dikkate alınması gerekir (Becker ve ark. 1996a). Bu kimyasal reaksiyonun gerçekleşme hızı, meyve-sebzenin türüne ve sıcaklığına göre değişir.

Becker ve ark. (1996b), bazı meyve ve sebzelerin karbon dioksit üretim oranını sıcaklığa bağlı olarak hesaplayan korelasyonlar geliştirdi.

$$\dot{m}_{CO_2} = f \left( \frac{9T_m}{5} + 32 \right)^g \quad [\text{mg/kg h}] \quad (2)$$

Burada  $\dot{m}_{CO_2}$ , birim ürün kütlesi başına karbondioksit üretimi (mg/kg h),  $T_m$ , (°C) ortalama ürün sıcaklığıdır ve f ve g, Tablo 1'de verilen solunum katsayılarıdır. Solunum katsayıları f ve g, USDA (Amerikan Tarım Bakanlığı) (1986) tarafından yayınlanan verilere en küçük kareler uydurma yoluyla elde edilmiştir. Bu korelasyonları açıklamak için Şekil 1 ve Şekil 2, karşılık gelen USDA verileriyle birlikte sırasıyla elma ve domates için karbondioksit üretimi korelasyonlarını verir. Sıcaklıktaki her 10 °C'lik artış için, CO<sub>2</sub> üretim oranı iki katından fazla artmaktadır. Bu davranış tüm ürünlerde belirgindir (Sastry and Buffington 1982).

Kimyasal reaksiyon, (1) bağıntısında, üretilen her 6 mol karbondioksit için 2667 kJ ısı oluştuğunu gösterir. Böylece üretilen her bir miligram karbondioksit için 10,7 jul ısı üretilir (USDA, 1986). Solunuma bağlı ısı üretim hızı, W (J/kg h), o zaman şöyle olur:

$$W = 10,7 \left( \frac{1}{mg} CO_2 \right) (\dot{m}_{CO_2}) \quad [\text{J/kg h}] \quad (3)$$

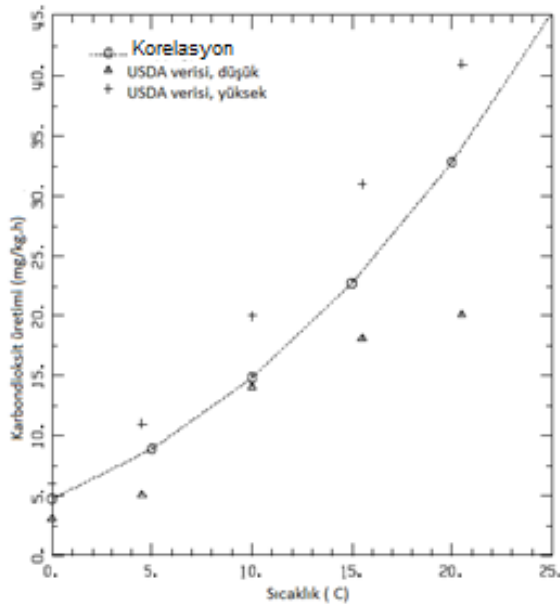
$$W = \frac{10,7}{3600} f \left( \frac{9T_m}{5} + 32 \right)^g \quad [\text{W/kg}] \quad (4)$$

Meyveler, sebzeler, çiçekler, soğanlar, çiçekçi yeşillikleri ve fidan stokları, önemli miktarda solunum ısıyı olan depolama ürünleridir. Tohumlar ve kabuklu yemişler gibi kuru bitki ürünleri çok düşük solunum oranlarına sahiptir. Kuşkonmaz, brokoli ve ıspanak gibi genç, aktif olarak büyüyen dokular, yeşil bezelye ve mısır gibi olgunlaşmamış tohumlar gibi yüksek solunum oranlarına sahiptir. Çilek, ahududu ve böğürtlen gibi hızlı gelişen meyveler, elma, üzüm ve narenciye gibi yavaş gelişen meyvelerden çok daha yüksek solunum hızlarına sahiptir.

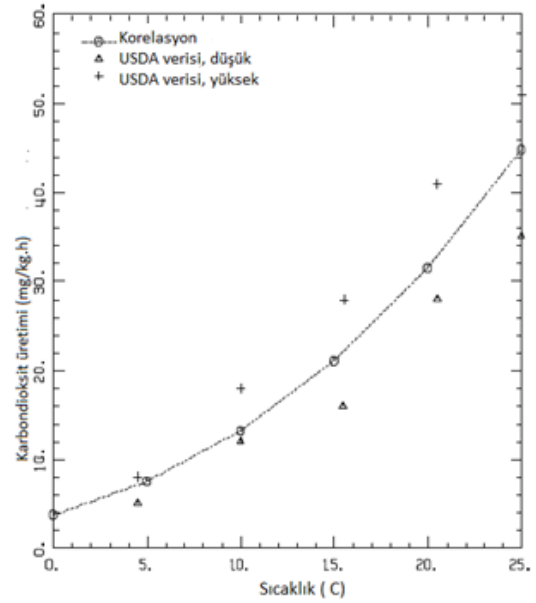
Genel olarak, kök bitkileri dışındaki çoğu sebze, hasattan sonraki ilk bir veya iki gün için yüksek bir solunum hızına sahiptir. Birkaç gün içinde solunum hızı hızla denge hızına düşer (Ryall ve Lipton 1972).

Narenciye ve üzüm gibi depolama sırasında olgunlaşmayan meyveler oldukça sabit bir solunum hızına sahiptir. Elma, şeftali ve avokado gibi depoda olgunlaşanların solunum hızı artar. 0 °C civarındaki düşük depolama sıcaklıklarında, olgunlaşma gerçekleştiği için solunum hızı nadiren artar. Ancak meyveler daha yüksek sıcaklıklarda (10 ila 15 °C) saklanırsa, olgunlaşma nedeniyle solunum hızı artar ve daha sonra 0 °C'de zamanla solunum azalır. Çürüyen organizmalar ile enfekte olurlarsa

solunum artar. Şekil 1 ve Şekil 2'de elma ve domatesin farklı sıcaklıklarda CO<sub>2</sub> üretim hızları gösterilmiştir.



Şekil 1. Elma için sıcaklığa bağlı CO<sub>2</sub> üretimi



Şekil 2. Domates için sıcaklığa bağlı CO<sub>2</sub> üretimi

Bu çalışmanın ilk kısmında meyve ve sebzeler için solunum ısıları araştırılmış olup ürün solunum ısı kazançları için mevcut literatürdeki tablolarda sınırlı sayıda meyve-sebze çeşitleri bulunduğu görülmüştür. USDA (1986) tarafından verilen (2) bağıntısının meyve ve sebzeler için literatürdeki deneysel değerlere eğri uydurma yöntemiyle (f ve g katsayıları) elde edildi. Tablo 1'deki tüm yaygın meyve ve sebzelerin 0°, +5°, +10° ve +15 °C sıcaklık değerleri için CO<sub>2</sub> üretim değerleri hesaplanmıştır (Tablo 2).

Bu hesaplamaları yaparken dikkatimizi çeken bir konu +10°C'de deneysel değerler ile katsayılarla hesaplanan değerler arasında aşırı sapma olmasıdır. Bunu düzeltmek için hesaplamalarda +10°C için hesaplamaları K faktörü ile çarparak daha doğru sonuçlara ulaşabiliyoruz.

Diğer yandan depo içindeki üretilen CO<sub>2</sub> gazının derişikliğini depolar için sınır olarak kabul edilen 3000 ppm (mg/kg) değerine düşürmek için aşağıdaki bağıntı kullanılabilir(Bulgurcu 2016):

$$\dot{V}_a = \frac{SM}{(C_i - C_{out})} \quad [\text{m}^3/\text{h}] \quad (4)$$

SM: Zararlı maddelerin yayılım hızı [ $\text{cm}^3/\text{h}$  veya  $\text{mg}/\text{h}$ ]

$C_i$ : Müsaade edilen iç hava derişikliği [ $\text{cm}^3/\text{m}^3$ ] veya [ $\text{mg}/\text{m}^3$ ] CO<sub>2</sub> için 3000 ppm alınabilir.

$C_{out}$ : Dış hava zararlı madde derişikliği (genelde CO<sub>2</sub> için 500 ppm alınabilir) [ $\text{cm}^3/\text{m}^3$ ] veya [ $\text{mg}/\text{m}^3$ ]

Örnek olarak 250 ton kırmızı elma depolanan bir soğuk depoda CO<sub>2</sub> üretim hızını ve buna bağlı olarak gerekli taze hava ihtiyacını hesaplayalım:

$$\dot{m}_{CO_2} = f \left( \frac{9T_m}{5} + 32 \right)^g = 0,0137138 \left( \frac{9 \times 10}{5} + 32 \right)^{1,795} = 6,9 \quad [\text{mg}/\text{kg h}]$$

$$SM = \dot{m}_{CO_2} \cdot G \quad [\text{mg}/\text{h}] \quad (5)$$

$$SM = \dot{m}_{CO_2} \cdot G = 6,9 \times 250\,000 = 1\,725\,000 \quad [\text{mg}/\text{h}]$$

$$\dot{V}_a = \frac{SM}{(K_i - K_{out})} = \frac{1\,725\,000}{(3000 - 500)} = 690 \quad [\text{m}^3/\text{h}]$$

Örnek olarak 1 ton taze patatesin 10 °C'de ürettiği solunum ısını Tablo 2 yardımıyla hesaplayalım:

$$W = \frac{G \cdot 10,7}{3600} f \left( \frac{9 T_m}{5} + 32 \right)^g = \frac{1000 \cdot 10,7}{3600} \times 12,20 = 36,26 \text{ [mW/kg]}$$

#### 4. FARKLI MEYVE VE SEBZELER İÇİN ÖZGÜL ISILAR

Gıdaların yapısı ve bileşimi ile termal ve fiziksel özellikleri önemli ölçüde değiştiğinden, gıdaların soğutulması mühendisler için önemli zorluklar sunmaktadır. Ayrıca yiyeceklerin özellikleri de zaman ve sıcaklıkla değişir. Meyve ve sebzeler, oksijen tükettikleri ve karbondioksit, su buharı ve diğer gazları açığa çıkardıkları için depolama sırasında ısı ürettikleri için ek bir zorluk sunar (Çengel ve Ghajar 2014).

Gıdaların termal özelliklerine su içerikleri hakimdir. Aslında, yiyeceklerin özgül ısısı ve gizli ısısı, yalnızca su içeriğine bağlı olarak makul bir doğrulukla hesaplanır. Gıdaların belirli ısıları Siebel'in (1892) formülüyle şu şekilde ifade edilebilir:

$$C_{p,taze} = 3,35 a + 0,84 \quad [\text{kJ/kg } ^\circ\text{C}] \quad (5)$$

$$C_{p,donmuş} = 1,26 a + 0,84 \quad [\text{kJ/kg } ^\circ\text{C}] \quad (6)$$

Burada  $C_{p,taze}$  ve  $C_{p,donmuş}$  gıdanın sırasıyla dondurmadan önce ve sonra spesifik ısılarıdır;  $a$ , gıdanın su içeriğinin oranıdır (su içeriği %65 ise  $a=0.65$ ); ve  $0.84 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C}$  sabiti, gıdanın katı (susuz) kısmının özgül ısısını temsil eder. Örneğin, su içeriği %74 olan taze ve dondurulmuş tavuğun belirli ısıları şunlardır:

$$C_{p,taze} = 3,35 a + 0,84 = 3,35 \times 0,74 + 0,84 = 3,32 \text{ [kJ/kg } ^\circ\text{C}]$$

$$C_{p,donmuş} = 1,26 a + 0,84 = 1,26 \times 0,74 + 0,84 = 1,77 \text{ [kJ/kg } ^\circ\text{C}]$$

Siebel'in formülleri, sırasıyla  $0 \text{ } ^\circ\text{C}$ 'de  $4.19$  ve  $2.10 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C}$ 'de su ve buzun spesifik ısılarına dayanmaktadır ve bu nedenle, %100 için  $0 \text{ } ^\circ\text{C}$ 'de su ve buzun özgül ısı değerleri ile sonuçlanırlar (yani saf su). Bu nedenle Siebel'in formülleri,  $0 \text{ } ^\circ\text{C}$ 'de özgül ısı değerlerini verir. Bununla birlikte, makul bir doğrulukla geniş bir sıcaklık aralığında kullanılabilirler. Bir gıda ürününün dondurma veya çözme sırasındaki gizli ısısı (füzyon ısısı) da su içeriğine bağlıdır ve aşağıdaki bağıntıdan belirlenir.

$$h_{gizli} = 334 a \quad [\text{kJ/kg}] \quad (7)$$

Burada  $a$ , yine su içeriğinin fraksiyonudur ve  $334 \text{ kJ/kg}$ , atmosfer basıncında  $0 \text{ } ^\circ\text{C}$ 'de donma sırasında suyun gizli ısısıdır. Örneğin, su içeriği %74 olan tavuğun gizli donma ısısı:

$$h_{gizli} = 334 a = 334 \times 0,74 = 247 \quad [\text{kJ/kg}]$$

Literatürde tüm meyve ve sebzeler için özgül ısı değerleri mevcut olmadığından yukarıdaki bağıntılar yardımıyla hesaplamalar yapılmış olup bu değerlerin deneysel verilere yakın olduğu görülmüştür (Tablo 2).

#### 5. GÜNLÜK YÜKLENEN ÜRÜNÜN OLGUNLAŞMA ISISININ HESAPLARA EKLENMESİ

Özellikle meyve ve sebze soğuk depolarında ürün yükleri olgunlaşma ısıları ve depoya günlük yüklenen ürün hissedilir soğutma yüklerinden oluşmaktadır. Özellikle olgunlaşma ısıları hesaplanırken sadece depo içindeki ürünlerin olgunlaşma ısısı hesaplanmaktadır. Halbuki depoya dış ortam veya ön soğutma sıcaklığından ortam sıcaklığına indirilinceye kadar olgunlaşma ısısı sıcaklığının yüksek olması nedeniyle daha etkin olarak ortaya çıkmaktadır. Bu ısının ihmal edilmesi belirli bir hataya neden olmaktadır. Bu ısıyı şu bağıntı ile hesaplayabiliriz:

$$q = G \cdot C_{resp} \times 10^{-3} \quad [\text{kW}] \quad (8)$$



Burada:

$G$ : Depoya günlük giren ürün (meyve-sebze) kütlesi [kg]

$C_{resp}$ : Ürün olgunlaşma (solunum) özgül ısı [W/ton]

**NOT:** Buradaki  $C_{resp}$  özgül ısı değeri depo iç sıcaklığı ile dış sıcaklık veya ön soğutma sıcaklığının ortalama değeri olarak alınmalıdır. Örnek olarak depolama sıcaklığı +4 °C ve dış sıcaklık 30 °C ise ortalama sıcaklık  $30-(+4)=26/2=13$  °C kabul edilir.

Örnek olarak 10 ton enginar +30 °C'lik dış sıcaklıktan 0 °C'de depolama sıcaklığına indirildiğinde oluşacak hissedilir ve olgunlaşma ısı kazançlarını hesaplayalım;

$$q_{prod} = \frac{G \cdot C_1 \cdot (T_{out} - T_i)}{\Delta t_s \cdot 3600} \cdot LF \quad [kW] \quad (9)$$

Burada;

$G$ : Toplam ürün kütlesi [kg]

$C_1$ : Ürün özgül ısı (+ muhafaza sıcaklıkları için) [kJ kg<sup>-1</sup>°C<sup>-1</sup>]

$T_{out}$ : Dış sıcaklık veya ön soğutma sıcaklığı [°C]

$T_i$ : Depo iç muhafaza sıcaklığı [°C]

$LF$ : Yükleme faktörü (sadece ön soğutma yapılan ürünler için Tablo 2'deki değerler alınır, ön soğutma yoksa  $LF=1$  kabul edilir)

$\Delta t_s$ : Soğutma zamanı (Tablo 2'den alınır) [h]

$$q_{prod} = \frac{G \cdot C_1 \cdot (T_{out} - T_i)}{\Delta t_s \cdot 3600} \cdot LF = \frac{10000 \times 3,654 \cdot (30-0)}{24 \times 3600} \times 1 = 12,68 \text{ kW}$$

$$q_{res} = G \cdot C_{resp} \times 10^{-3} = 10\,000 \times 226,55 \times 10^{-3} = 2,2655 \text{ kW}$$

(Enginar için 15 °C'de  $C_{resp} = 226,55 \frac{W}{ton}$  olarak Tablo 3.9'dan alınmıştır)

$$\text{Ürün yük hesabı için hesaplama hatası: } E(\%) = \frac{q_{resp}}{q_{prod}} = \frac{2,2655}{12,68} \times 100 = \%17,86$$

Bu hata yüzdesi oldukça yüksek bir değerdir.



**Tablo 2.** Meyve ve sebzelerin literatürdeki deneysel verilere dayanan solunum katsayıları ve CO<sub>2</sub> üretim

MEYVE VE SEBZELER	Muhafaza sıcaklığı [°C]	Oda nemi [%]	Muhafaza süresi [gün]	İçindeki su miktarı (% ağırlık)	Donma noktası [°C]	Isınma ısı, (kJ/kg K)		Ön soğutma odaları için		Oğunlaşma ısı (W/ton)				Solunum katsayıları			Ağırlık kaybı %	Yiğün Yoğun. (kg/m <sup>3</sup> )
						Donmadan önce	Donmadan sonra	Donma ısı	Soğ. süresi (saat)	Yükleme katsayısı	0 °C	5 °C	10 °C	15 °C	f	g		
Ahududu (taze)	0,00	93,00	12	87,00	-0,60	3,75	1,94	291	24,00	1,00	69,3	103	123,65	272,3	0,006192537	2,3469	6	705
Ananas (olgun)	9,00	90,00	35	86,00	-1,00	3,72	1,92	287	3,00	1,50	5,94	11,14	16,34	38,63	2,21768E-06	3,839	8	465
Armut (Asya)	0,50	93,00	160	83,00	-1,60	3,62	1,89	277	24,00	1,25	13,93	23,30	24,50	49,61	0,003517	2,076	6	609
Armut (dikeni)	7,00	93,00	150	80,00	-1,60	3,52	1,85	267	24,00	1,25	20,40	34,75	36,60	76,01	0,003985064	2,15	6	609
Armut (kış-sert)	-1,00	93,00	49	83,00	-1,60	3,62	1,89	277	24,00	1,25	12,65	27,55	38,95	92,15	0,00006361	3,209	6	609
Armut (sarı)	-0,50	93,00	150	82,00	-1,60	3,59	1,87	274	24,00	1,25	13,15	29,08	31,42	93,35	0,000066561	3,204	6	609
Armut (yeşil)	0,00	93,00	180	74,00	-1,00	3,32	1,77	247	24,00	1,25	12,65	27,55	38,95	92,15	5,99758E-05	3,243	6	609
Avokado	9,00	93,00	120	74,00	-0,30	3,32	1,77	247	22,00	1,25	35,13	88,12	96,36	340,01	0,0000308	3,71	6	449
Ayva	0,00	93,00	90	84,00	-2,00	3,65	1,90	281	24,00	1,50	12,10	19,00	45,72	72,45	0,000408776	2,6732	6	705
Bamya (taze)	8,50	93,00	10	90,00	-1,80	3,86	1,97	301	18,00	1,43	61,50	147,40	233,30	389,70	0,003718086	2,5573	7	320
Biber (dolmalık)	7,50	95,00	21	79,00	-0,70	3,99	2,02	314	20,00	1,00	11,50	24,46	26,32	74,08	0,000101009	3,045	8	234
Biber (kırmızı)	7,50	90,00	21	90,00	-0,70	3,86	1,97	301	20,00	1,00	13,62	29,99	32,39	95,60	7,36592E-05	3,185	8	295
Bezelye (yeşil)	0,00	93,00	21	92,00	-0,70	3,92	2,00	307	20,00	1,00	51,24	108,57	198,10	327,10	0,002698191	2,5865	8	256
Biber (yeşil)	7,50	95,00	3	86,00	-0,80	3,72	1,92	287	20,00	1,50	5,24	10,75	19,10	37,35	0,005257451	2,3843	8	465
Bağürtlen (üzümü)	0,00	95,00	14	85,00	-0,6	3,69	1,91	284	24,00	1,26	56,4	91,31	217,55	456,59	0,000102211	3,474	4	513
Brokoli	0,00	95,00	35	85,00	-0,80	3,69	1,91	284	24,00	1,26	56,4	91,31	217,55	456,59	0,005257451	2,3843	8	465
Brüksel lahanası	10,00	93,00	28	75,10	-1,00	3,36	1,79	251	24,00	1,00	155,85	284,97	302,19	691,35	0,01139382	2,435	6	630
Çerimoya	10,00	93,00	7	92,00	-0,80	3,92	2,00	307	22,00	1,50	39,90	46,65	192,15	218,45	0,000531508	2,8818	6	705
Çilek (taze)	0,00	93,00	12	93,00	-0,30	3,96	2,01	311	16,00	1,00	67,04	226,65	255,15	1355,99	9,02477E-07	4,915	5	52
Dere otu	10,00	98,00	7	94,00	-0,60	3,99	2,02	314	40,00	1,00	12,95	21,30	38,00	71,40	0,001442123	2,3555	7	481
Domates (kızarmış)	15,00	93,00	21	94,00	-0,60	3,99	2,02	314	40,00	1,00	12,95	21,30	38,00	71,40	0,005247375	2,0234	7	481
Domates (yeşil)	10,00	90,00	7	65,00	-1,80	3,02	1,66	217	22,00	1,00	52,33	130,42	142,52	498,69	5,00219E-05	3,685	5	188
Eldeyir meyvesi	8,00	88,00	25	82,50	-1,60	3,60	1,88	276	22,00	1,00	86,78	139,00	145,52	277,66	0,040183204	1,901	5	1315
Felç	0,00	93,00	240	84,00	-1,10	3,65	1,90	281	24,00	1,50	30,19	51,35	54,07	112,01	0,006042861	2,143	7	481
Eima (kırmızı)	0,50	93,00	240	84,00	-1,10	3,65	1,90	281	24,00	1,50	43,86	79,97	84,77	193,15	0,003326966	2,423	7	481
Eima (Fuji)	0,50	93,00	240	84,00	-1,10	3,65	1,90	281	24,00	1,50	10,05	16,30	46,15	60,15	0,002410822	2,1722	7	481
Eima (Gala)	0,50	93,00	240	84,00	-1,10	3,65	1,90	281	24,00	1,50	21,01	32,85	34,30	63,29	0,013713798	1,802	7,5	481
Eima (Golden)	0,50	93,00	240	84,00	-1,10	3,65	1,90	281	24,00	1,50	17,97	28,90	30,27	58,06	0,007872403	1,917	7	481
Eima (yeşil)	0,50	95,00	42	84,00	-1,60	3,65	1,90	281	18,00	1,43	100,40	136,30	153,85	226,55	0,328450656	1,3344	5	182
Enginar	-0,50	93,00	28	85,00	-0,80	3,69	1,91	284	20,00	1,50	6,75	17,65	27,55	32,55	0,000466185	2,4867	4	721
Erik	5,50	95,00	10	89,00	-0,70	3,82	1,96	297	20,00	1,50	59,44	101,05	172,38	273,44	0,00370955	2,4756	15	545
Fasulye (ayşekadın)	5,50	95,00	10	89,00	-0,70	3,82	1,96	297	22,00	1,45	63,90	92,35	150,50	238,85	0,004982498	2,3759	15	545
Fasulye (taze, çirpi)	5,50	95,00	10	89,00	-0,60	3,82	1,96	297	20,00	1,50	65,24	118,87	126,01	286,92	0,004982498	2,421	15	545
Fasulye (taze, uzun)	2,00	93,00	35	83,00	-3,00	3,62	1,89	277	18,00	1,00	21,03	34,04	35,67	69,01	0,008449902	1,942	5	1585
Felç	7,50	95,00	14	93,00	-0,30	3,96	2,01	311	16,00	1,00	109,69	181,95	191,12	382,58	0,031157373	2,042	5	340
Fesleğen	13,00	93,00	28	91,00	-1,1	3,89	1,99	304	22,00	1,45	7,15	14,00	21,15	32,70	0,000234026	2,6487	8	561
Greyfurt	5,00	93,00	21	89,00	-1,0	3,82	1,96	297	22,00	1	36,25	67,72	71,96	169,51	0,001957932	2,521	7	228
Güya	0,00	98,00	240	77,00	-1,1	3,42	1,81	257	24,00	1,26	36,61	62,94	66,34	139,46	0,006313512	2,186	5	641
Havuç (beyaz)	0,00	98,00	35	85,00	-1,4	3,69	1,91	284	24,00	1,26	63,02	107,01	112,66	232,83	0,012924857	2,136	6	417
Havuç (demet)	0,00	98,00	240	87,00	-1,4	3,75	1,94	291	24,00	1,26	41,60	52,50	84,30	106,10	0,011902878	1,977	8	641
Havuç (kok)	0,00	98,00	150	80,00	-0,9	3,52	1,85	267	24,00	1,26	36,55	62,82	66,22	139,17	0,006313512	2,1855	7	641
Havuç (yabani)	0,00	95,00	21	94,00	-0,10	3,99	2,02	314	18,00	1,43	7,43	16,34	38,63	62,41	0,00010111	2,9826	4	545
Hindiba (Beçika)	0,00	95,00	21	94,00	-0,10	3,99	2,02	314	18,00	1,43	62,73	83,84	86,23	128,94	0,365929425	1,17	4	545
Hindiba (kırmızı)	1,00	88,00	60	47,00	-1,00	2,41	1,43	157	8,00	1,00	5,54	10,67	20,80	37,89	1,84132E-05	3,2969	4	450
Hindistan cevizi	0,00	73,00	360	23,00	-15,70	1,61	1,13	77	8,00	1,00	9,00	11,90	23,00	42,40	0,000100222	2,9063	7	540
Hurma (olgun)	6,50	88,00	30	20,00	-0,70	1,51	1,09	67	16,00	1,00	11,01	23,20	24,95	69,32	0,000110358	3,007	5	380
Hünnap (taze)																		





İspanak	0,00	97,00	14	93,00	-0,40	3,96	2,01	311	18,00	1,43	63,50	136,75	254,35	425,74	0,0004399	3,1129	3	128
Incr (taze)	0,00	88,00	10	79,00	-2,40	1,84	1,84	264	8,00	1,00	18,15	60,15	150,45	317,38	0,0001111	3,1738	12	440
Jgip otu (Ravent)	0,00	96,00	15	94,00	-0,90	3,99	2,02	314	18,00	1,43	60,40	134,69	145,61	437,36	0,000273701	3,236	4	545
Japon inciri	-1,00	90,00	120	78,00	-2,20	3,45	1,82	261	8,00	1,00	18,15	32,15	60,15	150,45	4,45116E-06	3,9868	12	440
Kabak (balıkabağı)	13,50	60,00	90	92,00	-0,80	3,92	2,00	307	18,00	1,43	10,07	30,21	40,28	0,010160645	1,748	15	561	
Kabak (kış, yemelik)	11,50	62,00	180	88,00	-0,50	3,79	1,95	294	18,00	1,43	60,52	134,73	145,63	436,38	0,000281	3,229	4	362
Kabak (yaz, yemelik)	7,50	95,00	14	94,00	-0,50	3,99	2,02	314	18,00	1,43	33,05	43,95	95,50	221,65	0,001111255	2,6883	15	362
Karalahana	0,00	93,00	14	87,00	-0,80	3,75	1,94	291	18,00	1,43	23,60	41,25	50,85	106,45	0,000803158	2,629	8	90
Karnabahar	0,00	96,00	28	92,00	-0,80	3,92	2,00	307	24,00	1,26	56,15	64,30	110,70	171,00	0,01477572	2,0181	7	320
Karpuz	12,50	93,00	21	92,00	-0,40	3,92	2,00	307	24,00	1,10	2,50	51,74	93,95	0,000000091	4,8024	2	432	
Kavun (Çasaba)	8,50	88,00	28	92,00	-1,10	3,92	2,00	307	24,00	1,10	14,50	25,40	41,60	96,90	8,72695E-05	3,1375	7	609
Kavun (kuşuk)	8,50	93,00	56	93,00	-1,00	3,96	2,01	311	24,00	1,10	14,50	25,40	41,60	96,90	2,22681E-05	3,4837	7	609
Kavun (seker)	3,50	93,00	28	90,00	-0,90	3,86	1,97	301	24,00	1,10	15,23	33,64	36,33	107,69	0,00007901	3,197	7	609
Kayısı-zerdali	0,00	93,00	21	86,00	-1,10	3,72	1,92	287	22,00	1,50	14,50	20,70	40,40	63,35	0,000934566	2,449	6	443
Kekik	0,00	98,00	210	88,00	-0,50	3,79	1,95	294	18,00	1,43	16,11	26,85	64,46	91,31	0,000107075	3,0808	10	561
Kestane	2,50	93,00	120	74,00	-2,20	3,32	1,77	247	18,00	1,00	18,06	26,01	26,95	44,44	0,036954	1,4722	12	1101
Kızilcik	0,25	93,00	120	87,00	-0,90	3,75	1,94	291	18,00	1,00	12,50	20,49	21,49	42,30	0,004223936	1,992	5	641
Kiraz (ekşi)	0,00	93,00	21	86,00	-1,70	3,72	1,92	287	18,00	1,00	24,07	44,07	46,74	107,15	0,001715056	2,441	5	641
Kiraz (tatlı)	0,00	93,00	21	81,00	-1,80	3,55	1,86	271	18,00	1,00	19,62	34,96	69,48	104,00	0,001715056	2,4153	5	641
Kışniş	7,50	95,00	60	85,00	-1,10	3,93	1,94	293	18,00	1,00	65,38	89,16	121,86	166,44	0,079222935	1,6087	4	368
Kivi	0,00	93,00	150	82,00	-1,70	3,59	1,87	274	16,00	1,00	5,33	11,39	12,26	34,69	4,43155E-05	3,061	6	881
Kuşkonmaz	-1,00	98,00	21	93,00	-0,60	3,96	2,01	311	24,00	1,12	144,00	255,05	530,00	652,20	0,006200596	2,5706	8	449
Kuşüzümü (taze)	0,00	93,00	14	82,00	-1,00	3,59	1,87	274	20,00	1,50	6,71	11,28	22,56	33,57	0,000246122	2,6247	5	449
Lahana	0,00	95,00	120	92,00	-0,90	3,92	2,00	307	24,00	1,26	23,60	41,25	50,85	106,45	0,000419103	2,7953	8,5	43
Lüç meyvesi	1,00	95,00	8	82,00	-0,60	3,59	1,87	274	20,00	1,00	17,99	39,91	39,91	108,05	0,000235467	2,93	6	628
Limon	13,00	93,00	180	87,00	-1,40	3,75	1,94	291	20,00	1,05	8,20	13,50	25,10	42,60	0,000611142	2,4484	25	641
Limon (misket)	12,00	93,00	56	90,70	-0,90	3,88	1,98	303	20,00	1,13	9,16	15,84	16,70	35,36	0,00146939	2,207	20	648
Longan	5,00	93,00	28	83,00	-0,60	3,62	1,89	277	20,00	1,00	15,29	30,20	32,27	82,08	0,000377242	2,747	5	622
Malta erdiği(yeni dünya)	1,00	93,00	14	87,00	-1,40	3,75	1,94	291	20,00	1,00	24,07	45,74	48,69	117,42	0,001023621	2,59	5	418
Mandalina	1,50	87,00	21	87,00	-1,10	3,79	1,94	291	22,00	1,43	12,08	16,11	21,48	42,97	0,001557789	2,2343	5	680
Mango	12,00	93,00	21	82,00	-0,90	3,59	1,87	274	22,00	1,50	30,16	67,45	72,94	219,90	0,000131582	3,247	5	1550
Mangoşteri	5,00	88,00	7	65,00	-1,80	3,02	1,66	217	20,00	1,00	1,21	4,04	4,54	23,59	2,04639E-08	4,85	5	500
Mantar (taze)	1,00	97,00	4	92,00	-0,90	3,92	2,00	307	18,00	1,43	95,90	190,10	268,90	426,50	0,002416942	2,4622	8	240
Marul (kivircik)	0,00	95,00	14	95,00	-0,20	4,02	2,04	317	18,00	1,43	61,50	78,70	105,10	168,30	0,080416942	1,5946	3	368
Marul (uzun yaprak)	0,00	95,00	14	95,00	-0,20	4,02	2,04	317	18,00	1,00	38,16	66,50	70,19	150,33	0,005438422	2,241	4	328
Marul (yumru)	0,00	95,00	20	96,00	-0,20	4,06	2,05	321	18,00	1,43	38,16	66,50	70,19	150,33	0,005438422	2,241	5	368
Maydanoz	0,00	95,00	60	85,00	-1,10	3,79	1,95	294	18,00	1,00	69,83	177,23	284,63	615,02	0,000093168	3,5873	8	368
Maydanoz (Frenk)	0,00	98,00	60	88,00	-1,10	3,79	1,95	294	18,00	1,00	36,57	87,55	95,31	315,60	6,12841E-05	3,523	8	260
Mısır (tatlı)	1,00	97,00	6	76,00	-0,60	3,39	1,77	247	24,00	1,26	244,85	439,34	465,04	1036,78	0,023182688	2,359	7	529
Mısır (taze)	0,00	95,00	8	74,00	-0,60	3,32	1,77	247	24,00	1,26	113,10	208,30	299,70	436,10	0,020846585	2,1755	7	529
Muz (veşil)	13,50	93,00	10	74,00	-0,80	3,32	1,77	247	12,00	10,00	43,96	56,90	73,64	95,30	0,084657632	1,4636	8	1140
Muz (olgun)	13,00	93,00	14	74,00	-0,80	3,32	1,77	247	12,00	10,00	46,64	60,36	78,12	101,10	0,133231022	1,361	8	1140
Nane	0,00	98,00	28	78,00	-2,20	3,45	1,82	261	18,00	1,00	61,03	140,63	152,52	479,22	0,000174718	3,3685	8	260
Nar	7,20	93,00	28	81,00	-3,00	3,55	1,86	271	16,00	1,25	8,05	16,11	32,23	51,03	4,4236E-05	3,158	4	655
Nektarlı	-0,50	93,00	28	86,00	-0,60	3,72	1,92	287	24,00	1,60	13,65	20,80	41,60	100,85	1,0406E-05	3,6732	10	452
Pancar (kok)	0,00	95,00	180	88,00	-1,00	3,79	1,95	294	24,00	1,26	36,00	55,00	68,09	92,11	0,098853523	1,4053	7	641
Papaya	10,00	93,00	21,0	88,00	-1,20	3,79	1,95	294	24,00	1	106,32	203,19	396,97	493,88	0,0061	2,5059	7	635
Patates (son ürün)	7,00	98,00	240	79,00	-0,60	3,49	1,84	264	36,00	1,00	11,00	16,80	22,60	24,90	0,072819288	1,16	7	675
Patates-taze	11,50	90,00	60	81,00	-0,60	3,55	1,86	271	48,00	1,00	23,35	36,21	51,44	68,93	0,016444301	1,7789	7	625
Patıcan (kır)	11,00	93,00	10	92,00	-0,80	3,92	2,00	307	18,00	1,43	33,52	97,53	108,21	468,18	3,67251E-06	4,31	5	398
Patıcan (mor)	11,00	93,00	10	92,00	-0,80	3,92	2,00	307	18,00	1,43	39,74	114,93	127,43	474,86E-06	4,285	5	398	
Patıcan (siyah)	11,00	93,00	10	92,00	-0,80	3,92	2,00	307	18,00	1,43	37,06	74,13	148,25	177,90	0,00238454	2,4847	5	398



Pazı (Isviçre)	0,00	98,00	7	95,00	-0,30	4,02	2,04	317	18,00	1,00	58,10	66,89	67,81	82,25	2,73019085	0,568	5	328
Peğniç	11,00	93,00	28	92,00	-0,80	3,92	2,00	307	18,00	1,00	8,46	16,85	18,01	46,35	0,000185464	2,781	5	438
Pirasa	0,00	95,00	90	83,00	-0,70	3,62	1,89	277	18,00	1,43	34,50	65,25	162,40	266,80	9,65301E-05	3,362	7	940
Portakal	4,50	88,00	84	82,00	-0,80	3,59	1,87	274	22,00	1,45	9,40	14,85	94,00	47,45	0,001062021	2,3946	12	481
Rezene	13,00	93,00	21	82,00	-1,20	3,59	1,87	274	22,00	1,00	24,16	47,99	51,31	131,53	0,000550427	2,77	5	650
Roka	15,70	90,00	21	88,00	-1,20	3,79	1,95	294	18,00	1,00	58,15	69,03	70,19	88,80	1,777793742	0,692	5	353
Salatalık	0,00	98,00	10	93,00	-0,30	3,96	2,01	311	12,00	1,00	78,42	185,12	201,25	653,62	0,000160129	3,466	3	128
Sarımsak	11,00	97,00	14	96,00	-0,50	4,06	2,05	321	24,00	1,00	56,45	63,10	77,10	84,85	1,554402031	0,7129	5	641
Sarımsak (kuru)	14,00	93,00	21	64,00	-1,20	2,98	1,65	214	22,00	1,00	22,80	45,56	48,74	125,97	0,00047982	2,794	6	260
Sarımsak (taze soy.)	-0,50	95,00	210	59,00	-0,80	2,82	1,58	197	36,00	1,00	18,60	20,80	25,30	51,20	0,013255396	1,7443	13	362
Soğan (kuru)	0,00	95,00	28	76,00	-1,40	3,39	1,80	254	18,00	1,00	73,11	136,36	144,88	340,60	0,004031482	2,515	8	253
Soğan (yeşil)	0,00	68,00	240	90,00	-0,90	3,86	1,97	301	24,00	1,26	7,20	13,51	22,36	34,03	0,00049194	2,463	12	561
Su teresi	0,00	98,00	28	89,00	-0,90	3,82	1,96	297	20,00	1,26	43,85	114,05	127,15	218,65	0,004780664	2,3742	6	260
Şalgam (kök)	0,00	95,00	300	95,00	-0,3	4,02	2,04	317	20,00	1,00	32,03	59,44	110,29	161,15	0,001136067	2,6399	7	730
Şeftali (olgun)	0,00	95,00	150	92,00	-1,10	3,92	2,00	307	24,00	1,26	11,89	24,41	26,18	70,16	0,000172106	2,901	5	689
Şeftali (olgun)	-0,50	93,00	28	88,00	-0,90	3,79	1,95	294	24,00	1,60	13,65	20,80	41,60	100,85	0,00034832	3,3676	11	545
Tamamı	3,50	93,00	70	84,00	-1,30	3,65	1,90	281	16,00	1,00	21,70	31,44	32,59	54,19	0,0408962	1,496	6	540
Trabzon hurması	0,00	93,00	150	64,00	-2,2	2,98	1,65	214	20,00	1,43	16,11	26,85	37,6	48,34	0,014545162	1,722	13	541
Turp (alabaş)	0,00	98,00	150	91,00	-1,00	3,89	1,99	304	20,00	1,50	30,62	57,50	61,13	145,09	0,001532027	2,543	8	711
Turp (keş)	0,00	98,00	120	95,00	-0,70	4,02	2,04	317	20,00	1,50	16,11	21,48	34,91	77,88	0,000542683	2,628	8	711
Turp (mor)	0,00	98,00	120	90,00	-1,10	3,86	1,97	301	20,00	1,50	17,99	35,03	37,37	93,21	0,000542683	2,689	8	711
Turp (yabani)	-0,50	98,00	330	79,00	-1,80	3,49	1,84	264	20,00	1,50	24,38	41,45	43,65	90,36	0,004914575	2,141	8	711
Üzüm (Amerikan)	0,00	93,00	180	88,00	-1,10	3,79	1,95	294	20,00	1,27	9,14	20,14	21,75	64,26	4,91061E-05	3,187	4	481
Üzüm (pektaş)	0,00	98,00	180	81,00	-2,10	3,55	1,86	271	20,00	1,27	21,32	47,77	51,67	156,21	9,04682E-05	3,255	4	481
Üzüm (fıstık, siyah)	2,50	95,00	180	81,00	-1,60	3,55	1,86	271	20,00	1,27	4,90	11,85	21,80	29,40	0,000500394	2,4146	4	481
Üzüm (taze)	-0,50	93,00	180	81,00	-1,60	3,55	1,86	271	20,00	1,27	9,14	18,78	20,14	54,10	0,00012949	2,907	4	481
Vişne	-0,50	93,00	7	84,00	-1,70	3,65	1,90	281	20,00	1,00	25,40	34,85	69,45	103,65	0,002098001	2,372	5	495
Yaban Meriçini	0,50	93,00	7	84,00	-1,60	3,65	1,90	281	20,00	1,25	16,11	32,22	48,34	64,45	8,17855E-05	3,1049	5	721
Yer elması	0,50	93,00	10	85,00	-1,30	3,69	1,91	284	16,00	1,00	30,53	71,43	77,58	248,86	7,07503E-05	3,4295	5	440
Yıldız meyvesi	10,00	93,00	17	83,00	-1,6	3,62	1,89	277	16,00	1,00	29,54	53,70	56,91	129,14	0,00235996	2,411	3	650
Zeytin (taze)	6,00	93,00	42	80,00	-1,40	3,52	1,85	267	12,00	1,00	21,57	40,28	75,20	118,17	0,000451448	2,789	5	657



Şayet bu ürün 15 °C'de ön soğutma odasından 0 °C'deki soğuk odaya yüklenmiş olsa idi hesaplama aşağıdaki gibi yapılır:

$$q_{prod} = \frac{G.C.(T_{out}-T_i)}{\Delta t_s \cdot 3600} \cdot LF = \frac{10000 \times 3,654 (15-0)}{24 \times 3600} \times 1,43 = 9,07 \text{ kW}$$

$$q_{res} = G \cdot C_{resp} \times 10^{-3} = 10\,000 \times 159,2215 \times 10^{-3} = 1,5922 \text{ kW}$$

(Enginar için 7,5 °C'de  $C_{resp} = 159,2215 \frac{W}{ton}$  olarak Tablo 2'den katsayılarla hesaplanmıştır)

$$\text{Ürün yük hesabı için hesaplama hatası: } E(\%) = \frac{q_{resp}}{q_{prod}} = \frac{1,5922}{9,07} \cdot 100 = \%17,55$$

Bu hata yüzdesi nispeten daha düşüktür.

## 6. EVAPORATÖR FAN MOTORLARININ ISI YÜKLERİ

Soğuk odada yeterli bir dağılım sağlamak için hava sirkülasyon hızı veya fanların hareket ettireceği akış için gerçek bir değer belirlemek zordur. Oda taslak tasarımı için kılavuz olarak kullanılmak üzere teorik bir katsayı tanımlanmıştır. "Hava değişim hızı", her saat soğutucudan geçen hava hacmi ile boş odanın toplam hacmi arasındaki orandır.

Soğutulmuş depolama odaları için, referans olarak 20 ile 30 arasında ve soğutma odaları için 40 ile 100 arasında bir hava değişim oranı kullanılabilir. Dondurulmuş depolamada 40 ila 60 arasında değerler önerilir, 50 normal bir değerdir: Depo ne kadar küçükse katsayı o kadar yüksek olur (FAO).

Hava değişim hızı, giren hava ile soğutucudan çıkan hava arasındaki sıcaklık farkları ile ters orantılıdır, bu nedenle sıcaklık farklarının 1°C kadar düşük olduğu dondurma odalarında, bazen saatte 200 hava değişimi mümkündür.

Yük hesaplamalarını hesaplarken henüz soğutma ekipmanlarının kapasiteleri belirlenmediğinden fan motorlarından kaynaklanacak ısı kazançları da belirlenemez. Bu problemi yukarıda açıklanan hava değişim sayıları ile çözebiliriz. Bu değişim sayıları meyve ve sebzeler için +15 °C'de 20 defa 0 °C'de ise 30 defa alınabilir. Bu değişim sayılarını Tablo 3'teki listeleyebiliriz.

**Tablo 3.** Meyve ve sebzelerin soğuk depo iç sıcaklığına bağlı olarak hava değişim sayıları

İç sıcaklık $T_i$ [°C]	Hava değişimi $n$ [1/h]	İç sıcaklık $T_i$ [°C]	Hava değişimi $n$ [1/h]
16	20	7	25,625
15	20,625	6	26,25
14	21,25	5	26,875
13	21,875	4	27,5
12	22,5	3	28,125
11	23,125	2	28,75
10	23,75	1	29,375
9	24,375	0	30
8	25		

Bu tabloyu iç ortam sıcaklığına bağlı olarak kolayca hesaplayabilmek için ampirik bir bağıntı ile ifade edebiliriz;

$$n = (30 - 0,625 * t_i) \quad [1/h] \quad (t \geq 0^\circ\text{C} \text{ ve üzeri depolama sıcaklıkları için}) \quad (10)$$

$$n = (40 - 0,625 * t_i) \quad [1/h] \quad (t < 0^\circ\text{C} \text{ sıcaklıklar için}) \quad (11)$$

Burada;

$t_i$ : İç ortam muhafaza sıcaklığı [°C]

Örnek olarak +4 °C'de 400 m<sup>3</sup> soğuk depoda gerekli olan hava debisini hesaplayınız.

$$\dot{V} = n \cdot V \quad [\text{m}^3/\text{h}] \quad (12)$$

$$\dot{V} = 27,334 \times 400 = 10933,6 \quad [\text{m}^3/\text{h}]$$

Fan motor gücü aşağıdaki bağıntı ile hesaplanabilir.

$$P_m = \frac{\Delta p \dot{V}}{\eta_f \eta_m} \quad [\text{W}] \quad (13)$$

$\Delta p$ : Fan basınç düşümü [Pa]

$\eta_f$ : Fan verimi [%] NOT: %40 ila %75 arasında seçilebilir.

$\eta_m$ : Fan motor verimi [%]

**Tablo 4.** Tipik elektrik motorları için ısı kazançları (2018 ASHRAE Handbook-Refrigeration-SI)

Motor gücü [W]	Motor tipi	Nominal devir [d/d]	Tam yük verimi [%]	Isı yükü [W]
40	Gölge kutuplu	1450	35	105
60	Gölge kutuplu	1450	35	170
90	Gölge kutuplu	1450	35	264
120	Gölge kutuplu	1450	35	340
190	Ayrık fazlı, kapasitörlü	1750	54	346
250	Ayrık fazlı, kapasitörlü	1750	56	439
370	Ayrık fazlı, kapasitörlü	1750	60	621
560	Üç fazlı	1750	72	776
750	Üç fazlı	1750	75	993

## 7. SOĞUK DEPO İÇİNDEKİ DEFROST YÜKÜ

Soğuk depo yük hesaplarında defrost yükleri genellikle elektrikli veya sıcak gazlı defrost yöntemine göre belirlenir. Elektrikli defrost yönteminde ısı kazanç için aşağıdaki bağıntı kullanılır:

$$\dot{Q}_{ed} = \frac{n \times P_{ed}}{1000} \times \text{Günlük çalışma süresi (h)} \times F \quad [\text{kWh/gün}] \quad (14)$$

$n$ : Isıtıcı sayısı (adet)

$P_{ed}$ : Elektrikli ısıtıcı gücü (W)

$F$ : Buz çözme faktörü: 0,5 (Buradaki  $F$  faktörü ısıtma enerjisinin odaya kaçma oranı olarak ifade edilebilir)

Sıcak gaz ile yapılan buz çözme ısı sistemi kondenserinden atılan ısıya yakın olacaktır. Ve aynı kabul edilebilir. Ancak bir kompresöre birden fazla evaporatör bağlanır ise bunlara sıra ile buz çözme uygulanıyorsa bu takdirde toplam kondenser ısını evaporatör sayısına bölmek gerekir.

$$\dot{Q}_{sgd} = \frac{n \times q_e}{1000} \times KEO \times \text{Günlük çalışma süresi (h)} \times F \quad [\text{kWh/gün}] \quad (15)$$

$\dot{Q}_{sgd}$ : Sıcak gazlı buz çözme yükü

$n$ : Adet

$q_e$ : Evaporatör soğutma kapasitesi (W)

$KEO$ :  $q_k / q_e$  (kondenser-evaporatör ısı oranı)

$F$ : Buz çözme faktörü (0,4 alınır)

Ancak henüz yük hesaplarında soğuk odada evaporatör ve dolayısıyla ısıtıcılar seçilmemiş olduğundan bu yükleri ön görebilmek bir kargaşaya yol açmaktadır. Bu problemi çözebilmek için içerideki nem yüklerini ve havalandırma yüklerini dikkate almak ve bunları temel psikrometrik bağıntılardan yararlanarak hesaplamak mümkündür.

Bir soğuk oda içerisindeki nem yükleri şu şekilde listelenebilir:

- 1) Ürünlerden kaynaklanan nem yükü
- 2) Çalışan insanlardan kaynaklanan nem yükleri
- 3) Hava sızıntısından ve/veya varsa mekanik havalandırma sisteminden kaynaklanan nem yükleri

### 7.1 Ürünlerden Kaynaklanan Nem Yükü

Ürünlerden kaynaklanan nemlendirme yükleri kolaylıkla hesaplanabilir. Özellikle meyve ve sebzelerde (et ve süt ürünlerinde) depolama süresince izin verilen nem kaybı %6'lar civarındadır. Farklı meyve ve sebzeler için tablolarda belirtilmiştir. Yine tablolarda her bir meyve ve sebze (et ve süt ürünleri de dahil) için muhafaza süreleri gün/ay/yıl olarak belirlenmiştir. Dolayısıyla ürünlerden alınacak nem miktarı aşağıdaki bağıntı yardımıyla hesaplanabilir:

$$\dot{m}_w = \frac{G.MR.ML}{ST} \quad [\text{kg/gün}] \quad (16)$$

$G$ : Depolanan ürün kütlesi [kg]

$MR$ : Ürün nem oranı [%]

$ST$ : Depolama süresi [gün]

$ML$ : İzin verilen nem kaybı [%] (Tablo 2'den her meyve-sebze için bulunur)

Örnek olarak bir soğuk depoda muhafaza edilen 400 ton golden elma için nem yükünü hesaplayalım:

$G$ : 400 x1000 kg

Tablodan:

$MR$ : %93

$ST$ : 240 gün

$ML$ : %7,5

$$\dot{m}_w = \frac{400\,000 \times 0,93 \times 0,075}{240} = 116,25 \frac{\text{kg}}{\text{gün}} = 1,3454 \times 10^{-3} \text{ kg/s}$$

### 7.2 Çalışan İnsanlardan Kaynaklanan Nem Yükü

Çalışan insanlardan kaynaklanan nem yükü için aşağıdaki bağıntı kullanılabilir;

$$\dot{m}_{wp} = \dot{V}_p \cdot \rho_a (x_p - x_r) \cdot n \cdot WT \quad [\text{kg/gün}] \quad (17)$$

$\dot{V}_p$ : Bir insanın saatlik hava ihtiyacı: 15 [m<sup>3</sup>/h] alınabilir.

$\rho_a$ : Havanın özgül ağırlığı: 1,2 [kg/m<sup>3</sup>]

$x_p$ : İnsan nefesinden çıkan havanın içindeki özgül nem [kg/kg]

$x_r$ : Depo içindeki havanın özgül nemi [kg/kg]

$n$ : Depoda çalışan personel sayısı

$WT$ : Günlük çalışma zamanı [h]

Özgül nemler aşağıdaki psikrometrik bağıntılardan hesaplanabilir:

$$x_p = \frac{0,622 \cdot \phi_p \cdot P_{dp}}{(101,325 - \phi_p \cdot P_{dp})} \quad [\text{kg/kg}] \quad (18)$$

$\phi_p$ : İnsan nefesindeki bağıl nem: %100 kabul edilebilir.

$P_{dp}$ : İnsan nefesindeki (37 °C) su buharının kısmi basıncı doymuş kabul edilerek Tablo 4'ten 6,2812 [kPa] alınabilir.

$$x_r = \frac{0,622 \cdot \phi_r \cdot P_{dr}}{(101,325 - \phi_r \cdot P_{dr})} \quad [\text{kg/kg}] \quad (19)$$

$\phi_r$ : Depo ortamındaki bağıl nem: %85÷%95 kabul edilebilir.

$P_{dr}$ : Depo ortamındaki su buharının kısmi basıncı sıcaklığa bağlı olarak Tablo 4'ten alınabilir:



**Tablo 4.** Farklı sıcaklıklar için nemli hava içindeki doymuş su buharının kısmi basınçları

$t_r$ [°C]	$P_d$ [kPa]	$t_r$ [°C]	$P_d$ [kPa]	$t_r$ [°C]	$P_d$ [kPa]	$t_r$ [°C]	$P_d$ [kPa]
-35	0,01628	6	0,9353	21	2,4878	36	5,9468
-30	0,03256	7	1,002	22	2,6448	37	6,2812
-25	0,06511	8	1,0729	23	2,8105	38	6,6315
-20	0,09764	9	1,1481	24	2,9352	39	6,9938
-18	0,13015	10	1,228	25	3,1693	40	7,3538
-15	0,16254	11	1,3128	26	3,3633	41	7,7566
-10	0,28644	12	1,4026	27	3,5674	42	8,2061
-5	0,42176	13	1,4979	28	3,7823	43	8,6495
-2,5	0,51648	14	1,5987	29	4,0084	44	9,121
0	0,6112	15	1,7055	30	4,2462	45	9,5935
1	0,6771	16	1,8135	31	4,4961	46	10,0982
2	0,706	17	1,938	32	4,7586	47	10,625
3	0,7581	18	2,0643	33	5,0345	48	11,1754
4	0,8135	19	2,1979	34	5,3242	49	11,7502
5	0,8725	20	2,3389	35	5,628	50	12,3503

Örnek olarak 5 işçinin 8'er saat çalıştığı 0,5 °C'de %93 bağıl nemde bulunan golden elma soğuk deposunda işçilerden kaynaklanan günlük nem yükünü hesaplayalım:

$$x_p = \frac{0,622x1x6,2812}{(101,325-1x6,2812)} = 0,04092 \quad [\text{kg/kg}]$$

$$x_r = \frac{0,622x0,93x0,6112}{(101,325-0,93x0,6112)} = 0,00232 \quad [\text{kg/kg}]$$

$$\dot{m}_{wp} = 15x1,2x(0,04092 - 0,00232)x5x8 = 27,79 \quad [\text{kg su/24 saat}]$$

### 7.3 Hava Sızıntısından ve/veya Mekanik Havalandırma Sisteminden Kaynaklanan Nem Yükü

Soğuk oda kapısının her defa açılıp kapanmasında bir miktar harici sıcak hava soğuk odaya girerek ek bir duyulur ve gizli ısı yükü oluşturur. Burada oluşan gizli ısı yükünü içeriye giren nem oluşturur. Çünkü içeri giren havanın özgül nemi daima soğuk odanın nem değerinden yüksektir. Sızıntı nem yükü aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır:

$$\dot{m}_{wl} = ACH \cdot SF \cdot V_r \cdot \rho_o (x_o - x_r)(1 - E_f)/3600 \quad [\text{kg/s}] \quad (20)$$

Burada;

$ACH$ : Soğuk deponun sıcaklığına ve hacmine bağlı olarak saatteki hava değişim sayısı [1/h] (Tablo 5)

$SF$ : Odanın kullanım sıklığına göre belirlenen servis faktörü. Seyrek kullanımda 0,6; orta kullanımda 1; sık kullanımda 2 olarak alınır.

$V_r$ : Odanın iç hacmi [ $\text{m}^3$ ]

$\rho_o$ : Dış havanın yoğunluğu [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]

$x_o$ : Dış havanın özgül nemi [ $\text{kg}/\text{kg}\cdot\text{da}$ ]

$x_r$ : Soğuk odanın içindeki havanın özgül nemi [ $\text{kg}/\text{kg}\cdot\text{da}$ ]

$E_f$ : Şeritli hava perdesi kullanılıyorsa verimi

Bir diğer nem yükü, özellikle meyve-sebze soğuk odalarında  $\text{CO}_2$  ve etilen artışını önlemek amacıyla kurulan mekanik havalandırma sisteminden kaynaklanır. Büyük hacimli mekanik havalandırma sistemleri önemli ölçüde ısı kazancı oluşturacağından ısı geri kazanımlı havalandırma cihazları kullanımı bu ek havalandırma kazancını önemli ölçüde azaltacaktır. Özellikle meyve-sebze odalarında kullanılacak olan mekanik havalandırma sistemi solunum yüklerine uygun şekilde seçilirse soğuk oda için ek bir nemlendirme cihazına gerek kalmayabilir. Havalandırma sisteminden kaynaklanan nem yükü aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır:

$$\dot{m}_{wv} = \dot{V}_a \cdot \rho_o (x_o - x_r)/3600 \quad [\text{kg/s}] \quad (21)$$

Burada:

$\dot{V}_a$ : Havalandırma debisi [ $\text{m}^3/\text{h}$ ] Bu debi daha önce ifade edilen  $\dot{V}_a = \frac{SM}{(C_i - C_{out})}$  bağıntısından hesaplanabilir.

$\rho_o$ : Dış havanın yoğunluğu [kg/m<sup>3</sup>]

$x_o$ : Dış havanın özgül nemi [kg/kg.da]

$x_r$ : Soğuk odanın içindeki havanın özgül nemi [kg/kg.da]

**Tablo 5.** Oda kapı açılmalarından meydana gelen hava değişimi(\*)

Oda iç hacmi (m <sup>3</sup> )	24 saatte hava değişimi		Oda iç hacmi (m <sup>3</sup> )	24 saatte hava değişimi	
	Oda sıcaklığı 0°C'nin üstünde	Oda sıcaklığı 0°C'nin altında		Oda sıcaklığı 0°C'nin üstünde	Oda sıcaklığı 0°C'nin altında
5	50,1	38	500	3,7	2,8
10	31,1	24,2	625	3,3	2,5
15	25,3	19,6	750	2,9	2,3
20	21,2	16,9	1000	2,5	1,9
25	18,7	14,9	1250	2,2	1,7
30	16,7	13,5	1800	1,66	1,42
40	14,3	11,7	2400	1,43	1,22
50	12,8	10,2	3000	1,35	1,11
75	10,1	8,0	4000	1,23	0,99
100	8,7	6,7	5000	1,17	0,93
125	7,7	6,0	6000	1,11	0,86
150	7,0	5,4	8000	1,05	0,85
200	5,9	4,6	10000	0,97	0,83
250	5,3	4,1	12000	0,91	0,81
375	4,2	3,2	14000	0,87	0,80

(\*) Aşırı kullanma halinde verileri 2 ile çarpın. Uzun süreli muhafaza odaları için verilen değerleri 0,6 ile çarpın

Ürün üzerinden buharlaşan bu nem miktarı, buharlaşma sıcaklığı 0 °C'nin altında olan evaporatör üzerinde, kar ve buz haline dönüşür. Bu buzlanma evaporatör üzerinde biriktikçe hava akışını engellediğinden buharlaşma sıcaklığı da düşmeye ve dolayısıyla yüzeyde oluşan buz sıcaklığı düşmeye devam edecektir. Dolayısıyla defrost işlemi tam ihtiyaç halinde (talep kontrollü) yapılmalıdır. Bu günlük ısı kazancı aşağıdaki bağıntı ile hesaplanabilir:

$$\dot{Q}_{dd} = \sum \dot{m}_w (C_1 \cdot \Delta t_1 + C_2 \Delta t_2 + C_3) \cdot F \quad [\text{kW/gün}] \quad (22)$$

Burada;

$\sum \dot{m}_w$ : Ürünlerden, insanlardan, hava sızıntısı ve/veya mekanik havalandırma sisteminden kaynaklanan nemlendirme yükü [kg/s]

$C_1$ : Suyun + sıcaklıklardaki özgül ısı: 4,18 [kJ/kg °C] alınabilir.

$\Delta t_1$ : Buzun çözüldükten sonra ısıtılacağı üst sıcaklık: +4 [°C] alınabilir.

$C_2$ : Buzun özgül ısı: 2,0935 [kJ/kg °C] alınabilir.

$\Delta t_2$ : Buzun 0 °C'nin altına düşme sıcaklığı olarak ifade edilebilir. Evaporatör buharlaşma sıcaklığına, günlük yapılan defrost sayısına bağlı olarak değişebilir.

$C_3$ : Buzun gizli ısı: 335 [kJ/kg] alınabilir.

F: Buz çözme faktörü: Bu faktör buz çözme işleminden soğuk odaya kaçan ısı oranıdır. Elektrikli buz çözmede F=0,5; sıcak gazlı buz çözmede F=0,4 alınır.

Örnek olarak golden elma için depolama sıcaklığı tablodan 0,5 °C alınır, evaporatör buharlaşma sıcaklığı -5 °C olarak kabul edilebilir. Ancak karlanma nedeniyle evaporatör üzerinden geçen hava debisi düşeceğinden bu sıcaklığın -10 °C'ye düşüğünü kabul edersek;

$$\begin{aligned} \dot{Q}_{dd} &= 116,25 \times [4,188 \times (4 - 0) + 2,0935 \times (0 - (-10)) + 335] \times 0,5 \\ &= 21662,431 \frac{\text{kJ}}{\text{gün}} = 0,25 \text{ kW} \end{aligned}$$

Defrost işlemi günde bir defa yaptığınızda gereken elektrik ısıtma enerjisi (drenaj tavası ve tahliye borusu ısıtıcıları hariç);

$$\dot{E}_{dh} = 0,25 \times 24 = 6 \text{ kWh olacaktır.}$$

## 8. MEYVE VE SEBZELER İÇİN İSTİF YÜKLEME YOĞUNLUKLARININ KULLANIMI

Meyve ve sebze soğuk depolarında ürünler farklı boyutlarda kasalarda istiflenir. İstif sıraları arasında geçiş koridorları için yaklaşık %20 alan ayrılır. Yine istif yüksekliklerinin evaporatör hava üfleme hızını engellemek için evaporatör seviyesinin altındaki bir seviyede olması gereklidir.

Bir soğuk deponun ürün yükünün net olarak hesaplanabilmesi için yığın yoğunluklarının bilinmesi gereklidir. Ancak bu konuda hazırlanmış gıdalarla ilgili tablolarda bu bilgi bulunmamaktadır. Literatür taraması yaptığımızda bu bilgilerin çok dağınık şekilde olduğu ve farklılıklar bulunduğu görülmüştür. Uzun süren çabalar sonunda elde edilen yığın yoğunlukları Tablo 2'de listelenmiştir. Bu sayede ürüne bağlı olarak depo alan ve hacim hesaplamaları daha kolay hale gelmiştir.

## 9. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Soğuk depoların tasarımında yük hesaplama yaklaşımlarının gerçek yüklerle uyumlu olması birkaç yönden dolayı avantajlar sunar. Bunlardan birincisi ve belki en önemlisi ilk yatırım maliyetlerinin düşürülmesi ve firmalar için rekabette avantaj sağlamasıdır. Diğer bir avantaj işletme maliyetlerinin düşürülmesidir. Tasarlanan yük ile sahadaki yük birbirine ne kadar yakın olursa sistem işletme maliyetleri o ölçüde düşer ve enerji daha verimli kullanılmış olur. Son olarak ekipman ile yük uyumu, özellikle kış aylarında ekipman bekleme sürelerinin azalması; kompresöre sıvı göçünü, taşmalı kalkışı azaltarak kompresörün, fanların ve varsa defrost ısıtıcılarının ömrünü arttıracaktır.

Dolayısıyla depolanacak meyve ve sebzelerin uygun tasarlanan soğuk odalarda muhafaza edilmesi hem ilk yatırım ve işletme, bakım maliyetlerini düşürecek hem de ürünlerin muhafaza süresince nem ve kalite kayıplarını azaltacaktır.

## KAYNAKLAR

- [1] Bryan R. Becker, Ph.D., P.E., and Brian A. Fricke, 1996, Transpiration and Respiration of Fruits and Vegetables, Science et Technique du Froid (France), ISSN: 0151-1637
- [2] Halachmy, I.B., and C.H. Mannheim. 1991. Modified Atmosphere Packaging of Fresh Mushrooms. Packaging Technology and Science 4(5): 279-286.
- [3] Cengel Y.A., and Ghajar A., Heat and Mass Transfer: Fundamentals and Applications, (Chapter 17 Refrigeration and Freezing of Foods) Fifth Edition, Mac Graw Hill Education 2014.
- [4] (FAO) <http://www.fao.org/3/t0098e/T0098E04.htm> (16.02,2021 tarihinde erişildi)
- [5] Ben-Yehoshua, S. 1969. Gas Exchange, Transpiration, and the Commercial Deterioration in Storage of Orange Fruit. Journal of the American Society for Horticultural Science 94(5): 524-528.
- [6] USDA. 1986. The Commercial Storage of Fruits, Vegetables, and Florist and Nursery Stocks, Agricultural Handbook Number 66, United States Department of Agriculture.
- [7] Sastry, S.K., and D.E. Buffington. 1982. Transpiration Rates of Stored Perishable Commodities: A Mathematical Model and Experiments on Tomatoes. ASHRAE Transactions 88(1): 159-184.
- [8] Becker, B.R., A. Misra, and B.A. Fricke. 1996a. A numerical model of moisture loss and heat loads in refrigerated storage of fruits and vegetables. Frigair'96 Congress and Exhibition, Johannesburg.
- [9] Becker, B.R., A. Misra, and B.A. Fricke. 1996b. Bulk refrigeration of fruits and vegetables, Part I: Theoretical considerations of heat and mass transfer. HVAC&R Research 2(2):122-134.
- [10] Ryall, A.L. and W.J. Lipton. 1972. Vegetables as living products. Respiration and heat production. In Transportation and Storage of Fruits and Vegetables, vol. 1. AVI Publishing, Westport, CT.



- [11] H. Bulgurcu, Klima Tesisatı, 840 Sayfa, Makine Mühendisleri Odası Yayını No:663, Mayıs, İstanbul 2016.
- [12] Siebel, J.E. 1892. Specific heat of various products. Ice and Refrigeration 256.
- [13] 2018 ASHRAE Handbook Refrigeration, SI Edition, ASHRAE 1791 Tullie Circle, N.E., Atlanta, GA 30329, www.ashrae.org
- [14] CICONKOV, R., 2020, Computer Program for Load Calculation of Cold-rooms, With Incorporated Databases and Recommendations, Journal of Hygienic Engineering and Design, Review paper UDC 664.045.5 <https://keypublishing.org/jhed/wp-content/uploads/2020/07/12.-Risto-Cicon>

## ÖZGEÇMİŞ

### Hüseyin BULGURCU

1962 yılında İzmir Kınık Poyracık'ta doğdu. 1984 yılında Yıldız Üniversitesi Kocaeli Mühendislik Fakültesi Makine Enerji dalından lisans, 1989 yılında M.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsünden Yüksek Lisans, 1994 yılında aynı Enstitüden Doktora dereceleri aldı. 1995 yılında Y. Doçent, 2013 yılında Doçent oldu. 1986-1989 yılları arasında Kartal Teknik Lisesinde, 1989-1995 yılları arasında Çankırı Meslek Yüksekokulunda öğretim elemanı olarak çalıştı. 1994 yılında YÖK-D.B. projesi kapsamında İngiltere'de Manchester College'de mesleki araştırmalarda bulundu. 1995-2012 yılları arasında Balıkesir Meslek Yüksekokulu İklimlendirme ve Soğutma Programında çalıştı. Ağustos 2012 ila Eylül 2016 tarihleri arasında Balıkesir Mühendislik Mimarlık Fakültesi'nde çalıştı. Mart 2017'de emekli oldu. Sektör firmalarında danışmanlık yapmakta, akademik çalışmalarına devam etmektedir.