

# MAKALE

## MEYVE VE SEBZE SOĞUK DEPOLAMA ISI YÜKÜ HESAPLAMALARINDA BELİRSİZLİKLERİN GİDERİLMESİ İÇİN YENİ YAKLAŞIMLAR

New Approaches For Overcoming Uncertainties In Fruit And  
Vegetable Cold Storage Heat Load Calculations

Doç. Dr. Hüseyin BULGURCU

*\*Bu makale, 26-29 Nisan 2023 tarihleri arasında gerçekleştirilen  
15. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi'nde (TESKON 2023) sunulmuş ve  
bildiri kitabında yayınlanması sonrasında güncellenmiştir.*

### HAKEMLER\*

A. İbrahim ATILGAN, Dr.  
Abdülvahap YİĞİT, Prof. Dr.  
Ahmet CAN, Prof. Dr.  
Ali GÜNGÖR, Prof. Dr.  
Arif HEPBAŞLI, Prof. Dr.  
Aytunç EREK, Prof. Dr.  
Bedri YÜKSEL, Prof. Dr.  
Dilek KUMLUTAŞ, Prof. Dr.  
Fikret PAZIR, Prof. Dr.  
Hüsamettin BULUT, Prof. Dr.  
Hüseyin BULGURCU, Doç. Dr.  
İlhan Tekin ÖZTÜRK, Prof. Dr.

İsmail KARAÇALI, Prof. Dr.  
Kadir İSA, Dr.  
M. Barış ÖZERDEM, Prof. Dr.  
M. Turhan ÇOBAN, Prof. Dr.  
Macit TOKSOY, Prof. Dr.  
Mehmet KANOĞLU, Prof. Dr.  
Moghtada MOBEDİ, Doç. Dr.  
Muhsin KILIÇ, Prof. Dr.  
Mustafa ACAR, Prof. Dr.  
Olca KINCAY, Prof. Dr.  
Orhan BÜYÜKALACA, Prof. Dr.  
Özay AKDEMİR, Dr. Öğr. Üyesi.

Ramazan KÖSE, Prof. Dr.  
Rasim KARABACAK, Prof. Dr.  
Recep YAMANKARADENİZ, Prof. Dr.  
Selami KESLER, Prof. Dr.  
Serhan KÜÇÜKA, Prof. Dr.  
Y. Onur DEVRES, Prof. Dr.  
Tuncay YILMAZ, Prof. Dr.  
Turan ERKAN  
Yunus ÇERÇİ, Prof. Dr.

*\*Alfabetik olarak sıralanmıştır.  
Makale/Makaleler, kurulda yer alan ve  
değerlendirme yapmak üzere seçilen  
hakemler tarafından incelenmiştir.*



HAKEMLİ MAKALE ARŞİVİMİZE  
ULAŞMAK İÇİN OKUTUNUZ.

BİLİMSEL MAKALE ARŞİVİMİZE  
ULAŞMAK İÇİN OKUTUNUZ.



## ÖZET

Soğuk depolama soğutma yükü hesaplamaları genellikle dört ana ısı yükü dikkate alınarak yapılır: soğuk depolama alanının dış yüzeylerinden gelen ısı kazanımları, kapılardan ve menfezlerden gelen hava sızması, depolanan ürünler ve dışarıdan soğuk depolama alanına getirilen ürünler ve son olarak insanlardan, lambalardan, forkliftlerden, buharlaştırıcı fanlarından ve defrost ısısından kaynaklanan yük. Bu yüklerden kaynaklanan ısı kazanımları belirli analitik ve ampirik denklemlerle hesaplanabilir. Ancak bu yük hesaplamalarında bazı belirsizlikler vardır. Örneğin, başlangıçta buharlaştırıcı boyutları bilinmediğinden defrost ısı yükleri ve buharlaştırıcı fan motorlarının ısı yükleri tam olarak hesaplanamaz. Ayrıca meyve ve sebzeler için ayrı bir havalandırma sistemi ve nemlendiriciye ihtiyaç olup olmadığı belirsizdir. Bu belirsizlikler zorluklara yol açmaktadır. Bu çalışmada, belirsizliğe neden olan tüm durumlar için analitik çözümler önerilmiştir. Örneğin, defrost yükünün bir parçası olan iç ortam nem yükü, depolama süresine bağlı olarak hesaplanır ve buharlaştırıcı fan yüklerinin tahmininde soğuk depolama hava değişim sayıları dikkate alınır. Yine, nemlendirici kapasiteleri belirlenirken, sebze ve meyvelerin solunum sıcaklığına bağlı olarak hava sızıntısı, taze hava miktarı ve diğer iç nem kaynakları dikkate alınır. Sonuç olarak, soğuk depolama ısı yüklerinin daha analitik bir şekilde hesaplanmasının, sistem elemanlarının daha doğru seçilmesi ve sistemin ilk yatırım ve işletme maliyetlerinde bir azalma ile sonuçlanması beklenmektedir.

*Anahtar Kelimeler: Soğuk depolar, ısı yükü belirsizliği, ısı yükü hesaplamaları.*

## ABSTRACT

Cold store cooling load calculations are usually performed by considering four main heat loads: the heat gains from the outer surfaces of the cold store, the air infiltration through doors and vents, the stored products and the products brought into the cold store from the outside, and finally, the load from people, lamps, forklifts, evaporator fans and defrost heat. Heat gains resulting from these loads can be calculated with certain analytical and empirical equations. However, there are some uncertainties in these load calculations. For example, defrost heat loads and heat loads of evaporator fan motors cannot be calculated precisely since the evaporator dimensions are not known at the beginning. In addition, it is unclear whether a separate ventilation

system and humidifier are needed for fruits and vegetables. These uncertainties result in challenges. In this study, analytical solutions have been suggested for all situations that cause uncertainty. For example, indoor humidity load as a part of the defrost load is calculated depending on the storage time, and cold storage air exchange numbers are considered in estimating the evaporator fan loads. Again, when determining the humidifier capacities, leakage, fresh air flowrate and other internal moisture loads are considered depending on the respiratory temperature of vegetables and fruits. As a result, it is expected that a more analytical calculation of cold storage heat loads will result in a more accurate selection of system elements and a decrease in the initial investment and operating costs of the system.

*Keywords: Cold storages, heat load uncertainty, heat load calculations.*

## 1. GİRİŞ

Meyve ve sebzeler için soğuk depo soğutma yükü hesaplamaları, bu ürünlerin fizyolojik özellikleri nedeniyle farklıdır. Soğuk depolanan meyve ve sebzelerdeki yaşam aktiviteleri solunum ve terleme şeklinde devam eder. Bu aktiviteler sonucunda ürünler hızla nem kaybeder, bu da kütle kaybına, kalite ve görünüm (doku) bozulmasına ve son olarak da finansal değer kaybına neden olur. Soğuk deponun tasarımı, meyve ve sebzelerin depolanması sırasına oluşacak kayıpları en aza indirecek şekilde uygun şekilde yapılmalıdır.

Meyve ve sebze soğuk odalarının tasarımı üzerine yüzlerce çalışma yapılmıştır. Lommers (1997) ödüllü projesinde verimli bir soğuk odanın tasarım aşamalarını listelemiştir. Yenilikler arasında kanallı hava dağıtımı, ısı depolamalı sıcak gazlı buz çözme, yağ yönetim sistemi, koridor basınçlandırma ve havalandırma, yüksek verimli buharlaştırıcı kondenserler, düşük enerjili fanların kullanımı ve düşük enerjili hava sızıntı sistemleri yer almaktadır [1]. Yanlış ekipman seçimi ve kondenser, kompresör, genleşme valfi ve buharlaştırıcı gibi ana bileşenlerin yanlış tasarımı, soğutma sürecini olumsuz etkileyebilir ve bu nedenle depolanan ürünler için önemli kayıplara neden olabilir. Türk ve Karaca (2015) çalışmalarında, bu bileşenlerin soğuk depolamada yanlış uygulamalarına ve çözümlerine örnekler vermişlerdir [2].

Hoang vd. (2000), hesaplamalı akışkanlar dinamiği yardımıyla bir soğuk depolamadaki hava akışını



araştırdılar. Kurdukları hava akışı modeli, sabit durum sıkıştırılmaz, Reynolds ortalamalı Navier-Stokes denklemlerine dayanmaktadır [3]. Utega vd. (2013), araştırmalarında soğuk depolama soğutma tesisini incelemek ve soğutma yükünü ve yıllık enerji tüketimini değerlendirmek için EnergyPlus simülasyonunu kullandılar [4]. Evans vd. (2014), çalışmalarında soğuk depolamada önemli miktarda enerji tasarrufu sağlanabileceğini gösterdiler. Avrupa genelinde gerçekleştirilen 38 soğuk depolama denetiminin sonuçları sunulmuştur. Soğuk depolamanın çalışması odalardaki ısı yükleri ve soğutma sisteminin çalışması açısından optimize edilirse önemli tasarruflar sağlanabilir. Çalışmada, soğuk depolama tarafından kullanılan enerjiyi tahmin etmek için bir matematiksel model uygulanmıştır. Bu, soğuk depolama anketinde toplanan gerçek enerji tüketim verileriyle karşılaştırılmıştır [5]. Miao ve Zhang (2021), bir soğuk depolamada bir ısı dengesi modeli kurarak enerji tüketimini analiz etmiş ve ardından soğuk depolamanın enerji tüketimini etkileyen faktörleri belirlemek için neden-sonuç diyagramı analiz yöntemini kullanmıştır [6]. Soğuk depolamanın yükünü enerjiye kaydırarak esneklik sağlanabilir. Şebekenin potansiyel çalışması için tepe enerji yoğunluğunu düşük saatlere taşıyarak soğuk depolamadaki bazı verileri ölçerek maliyeti ve gıda miktarını kontrol etmek gerekir. Svane ve ark. (2023) bir vaka çalışması testi gerçekleştirmiş ve düşük elektrik bulunabilirliği dönemlerinde daha fazla soğutmanın %30 tasarrufla sonuçlanabileceğini bulmuştur [7]. Yılmaz ve Yılmaz (2020), Türkiye'den seçtikleri bazı soğuk depolardan elde ettikleri verileri kullanarak, kapasitelerine göre soğuk depoların karlılığını ve güç tüketimini araştırdılar. Optimum depolama kapasitesi simülasyonla hesaplanmış ve elde edilen sonuçlar kullanılarak geri ödeme süresi ile depo kapasitesi arasındaki ilişki analiz edilmiştir [8].

Soğuk depolarda enerji verimliliğini artırmadaki temel konulardan biri iyi tasarlanmış kontrol senaryolarıdır. Sistem çıkışını termal yüklerle uyacak şekilde ayarlamak akıllı senaryolarla mümkündür. Bu amaçla değişken hızlı fanlar, pompalar ve kompresörler, kondenser ve sistem kapasite kontrolleri, talep kontrollü sıcak gaz defrost sistemleri ve ısı depolama kullanılmalıdır. Wang ve ark. (2018), enerji tüketimini en aza indirmek için optimum çalışma senaryosunu araştırmak üzere soğuk depoda gıda dondurma işleminin bir modelini geliştirdiler. Mevcut gıda dondurma kontrolü, cebri hava üfleme soğutucudaki sıcaklık ve hava akış dağılımı tarafından kontrol edilen dondurma süresine dayanıyordu [9]. Asker ve ark. (2014), açma-kapama ve değişken hızlı fan-kompresör

kontrolleri uygulayarak kontrol senaryolarının soğuk oda üzerindeki etkilerindeki farklılıkları incelediler. Optimize edilmiş kontrol sistemleri için genel prensipler açıklanmaktadır. Bu çalışma ayrıca soğuk oda için termodinamik analizleri de içermektedir [10].

Soğuk sıcaklıklarda tutmak için tasarlanmış soğuk oda alanlarının aydınlatılması önemli bir konudur. Geleneksel aydınlatma cihazları aşırı ısı üretir, bu nedenle soğuk bir odada çalışan sıcak ışık kaynakları arasında bir dengesizlik vardır. Işık yayan diyotlar, LED'ler soğuk ortamlarda daha iyi performans gösterdiği ve geleneksel floresan ışık kaynakları gibi fazla ısı yaymadığı için soğuk depolama aydınlatması için umut vadeden cihazlardır. Düşük ısı radyasyonu, ürün ömrünü uzatmaya yardımcı olur ve bozulabilir ürünlerin kaybını azaltır. LED ışık kaynağı, soğutma ünitesinin lambaların ürettiği ısıyı telafi etmesine gerek olmadığından enerji tasarrufu sağlar. LED aydınlatma armatürleri, soğuk çalışma koşullarından bağımsız olarak tutarlı parlaklık seviyeleri ve stabilite sağlar. Genel olarak, LED ışık kaynağı verimliliği, özellikle düşük sıcaklıklarda diğer lamba türlerinden daha yüksektir [11].

Isı yalıtımı, enerji verimliliği için en önemli konulardan biridir. En yaygın yalıtım malzemesi, termal iletkenliği üreticiye bağlı olarak 0,020 ila 0,035  $Wm^{-1}K^{-1}$  arasında değişen poliüretandır (genellikle sandviç paneller şeklinde). Toplam yıllık maliyetin (yatırım + enerji maliyetleri) minimum olduğu ilgili tekno-ekonomik kriterlere göre, özgül ısı akısının ( $q = Q/A = k\Delta T$ ) aşağıdaki aralıklarda tutulması önerilir [12]:

■ Dondurulmuş ürünlerin depolanması için:  
 $q = 6$  ila  $8 W m^{-2}$

■ Soğutulmuş ürünlerin depolanması için:  
 $q = 7$  ila  $11 W m^{-2}$

Burada Q ısı yüküdür (kW), k ısı transfer katsayısıdır ( $Wm^{-1}K^{-1}$ ) ve  $\Delta T$  dış ve iç soğuk oda arasındaki sıcaklık farkıdır.

Güneş radyasyonundan elde edilen ısı kazancı, yüzeyin yoğunluğuna (konumların enlemi), yönüne ve rengine bağlıdır. Basitleştirilmiş bir yöntem, ASHRAE-2018'e göre varsayılabilen eşdeğer sıcaklık farklarını kullanır [13].

Soğuk odadaki nemi dengelemek için buharlaştırıcı tasarımı ve ortamdaki hava hareketi esastır. Ayrıca, soğutma yükünü daha kesin bir şekilde belirlemek için yük hesaplamalarındaki belirsiz noktaların ortadan kaldırılması gerekir.



Soğutulmuş odadaki sıcaklık dengesizliği gıda bozulmasını ve kayıplarını teşvik eder ve hava akış alanı tarafından yönetilir. Soğuk odadaki çeşitli yerlerdeki meyvelerin sıcaklık tekdüzeliğini sağlamak, çalışma ve tasarım değişkenlerinin etkisi nedeniyle zordur. Bishnoi ve Ahareal (2020), soğuk odadaki kasalardaki meyvelerin hava akış alanını, sıcaklık özelliklerini (meyve ve hava), konveksiyon ısı transfer katsayısını, kütle kaybı ölçümünü ve yarı soğutma süresini deneysel olarak incelediler [14].

Soğuk depolama odalarının tasarımında karşılaşılan bazı belirsizlikler vardır. Bu belirsizliklerin ilki buharlaştırıcı fan motorlarından gelen ısı kazanımları, ikincisi defrost ısı kazanımları, üçüncüsü temiz hava yükü ve son olarak nemlendirme yüküdür. Bu iç ısı yüklerini tam olarak hesaplamak için önce ekipman seçimleri yapılmalıdır. Bu sorunları çözmek için geçici varsayımlarda bulunarak deneme yanılma yöntemi kullanılır. Ayrıca, soğuk odalarda depolanacak ürünün türü, miktarı ve depolama süresi de bilinmelidir.

Bu çalışmada ürüne bağlı olarak iç tasarım hava hızlarından fan hava akış hızları ve dolayısıyla fan motoru ısı yükleri analitik olarak hesaplanmıştır. Tüm sebze ve meyvelerin CO<sub>2</sub> üretimini analitik olarak hesaplamak ve dolayısıyla solunum ısılarını hesaplamak için deneysel sonuçlara göre eğri uydurma yöntemi ile  $f$  ve  $g$  katsayıları belirlenmiştir. Ürünlerin olgunlaşma sıcaklığı nedeniyle ortaya çıkan CO<sub>2</sub> miktarına göre dış taze hava yükleri ve dolayısıyla mekanik havalandırma yükleri hesaplanmıştır. Yine meyve ve sebzeler için izin verilen % nem kaybı, çalışan sayısı ve dış taze hava yüküne bağlı tablolar kullanılarak buharlaştırıcı defrost yükleri hesaplanmıştır.

Bu yaklaşımlar soğuk oda tasarımında kullanıldığında, ekipman seçimleri gerçek ısı yüklerine daha iyi bir yaklaşımla seçilebilir.

## 2. MEYVE VE SEBZELERİN SOĞUK DEPOLAMA ÖZELLİKLERİ

Meyve ve sebzeler hasat edildiğinde, yani onları besleyen ana bitkiden ayrıldığında, birçok sebze hızlı bir hücre bölünmesi de devam edecek şekilde canlı kalırlar. Toprakta çeşitli besin maddelerinin emilimi sona ermiş olsa da dokularda çeşitli yeni maddelerin oluşumu ve var olan maddelerin başka bileşiklere dönüşmesi gibi kimyasal ve biyokimyasal olaylar düzenli olarak devam eder.

Meyve ve sebzelerde metabolizma faaliyetleri çevre koşullarına bağlı olarak daha hızlı veya yavaş devam eder. Bu arada üründe depolanan çeşitli maddeler tüketilir. Son olarak, her canlı olduğu gibi, meyve ve sebzelerin yapısı doğal yaşlanma nedeniyle bozulur ve ölüm meydana gelir. Daha sonra, kimyasal ve biyokimyasal olaylar kontrolden çıkar ve düzensiz bir şekil alır. Meyve veya sebzelerin mikroorganizmalara karşı direnci artık mevcut olmadığından, bu aşamada çeşitli mikroorganizmalar tarafından saldırıya uğrar ve daha fazla mikrobiyolojik bozulma başlar. Bu nedenle, soğuk depolamadaki temel prensip, meyve ve sebzelerin metabolik faaliyetlerinin durmaması ve minimum düzeyde gerçekleşmesi için gerekli koşulları sağlamaktır [15].

En önemli metabolik olaylar solunum ve terlemedir. Bu yollarla açığa çıkan ısının küçük bir kısmı hücrede gerçekleşen kimyasal reaksiyonlarda kullanılırken, büyük bir kısmı dışarı verilir ve böylece ürün ısıtılır. Solunum, şekerin oksijenle parçalanarak ısı, su ve karbondioksit üretimini içerir. Bir ürünün depolama ömrü solunum aktivitesinden etkilenir. Bir ürünü düşük bir sıcaklıkta depolayarak solunum azaltılır ve yaşlanması geciktirilir, böylece depolama ömrü uzar [16]. Bir ürünü çevreleyen ortamdaki oksijen ve karbondioksit konsantrasyonlarının uygun şekilde kontrol edilmesi de solunum hızını azaltmada etkilidir.

Taze meyve ve sebzelerden nem kaybına terleme denir ve bu oran sıcaklık, bağıl nem ve hava hareketi gibi çevresel koşullara göre değişir. Ayrıca, terleme oranı çeşitli meyve ve sebzeler için farklılık gösterir. Bir meyve veya sebzelerin terleme eğilimi, birim çevresel buhar basıncı açığı başına terleme oranı olan terleme katsayısı ile karakterize edilir. Örneğin, elmanın terleme katsayısı  $58 \text{ ngs}^{-1}\text{Pa}^{-1}\text{kg}^{-1}$  iken havuç için  $1648 \text{ ng s}^{-1}\text{Pa}^{-1}\text{kg}^{-1}$  ve marul için  $8750 \text{ ngs}^{-1}\text{Pa}^{-1}\text{kg}^{-1}$ 'dir. Bu, marulun neden hızla kurduğunu ve elmaların aynı ortamda günlerce taze kaldığını açıklar [17].

Soğuk bir depodaki bağıl nem, depolanan ürünlerden buharlaşan su ile buharlaştırıcı tarafından havadan uzaklaştırılan su buharı arasındaki dengenin bir göstergesidir.

Bağıl nem, depolama sırasında meyve ve sebzelerin kütle kaybını etkiler. Bu kayıp, görünümün bozulması ve besin değerinin azalması gibi ekonomik kayıplar açısından önemlidir.

Soğuk hava deposundaki bağıl nem, depolanan ürünün miktarı, paketleme türü ve yöntemi, istifleme düzenleri, hava hareketi, sistemin çalışma süresi, soğutma sistemi kontrollerinin türü, sıcaklık farkı, maruz kalan ürün yüzeyinin büyüklüğü, ısı ve su buharının infiltrasyon hızı, dış hava koşulları ve soğutma sisteminin çalışma döngüsünün uzunluğu gibi birçok faktörden etkilenir.

Bu faktörler arasında en önemlisi sıcaklık farkı (TD), yani buharlaştırıcıya giren hava sıcaklığı ile buharlaştırıcı yüzey sıcaklığı arasındaki farktır. Bir buharlaştırıcının TD'si, ürün tipine, buharlaştırıcı boyutlarına, soğutma sisteminin çalışma süresine, buharlaştırıcı donma oranına ve sistemde kullanılan soğutucu türüne göre seçilebilir. Buharlaştırıcı yüzeyi ile soğutulan ortam arasındaki sıcaklık farkı ne kadar düşükse, soğuk depodaki bağıl nem o kadar yüksek olur (ve tersi) (Tablo 1).

Tablo 1. Soğutulmuş ortam ile buharlaştırıcı yüzeyi arasındaki sıcaklık farkına (TD) bağlı olarak bağıl nem dengesi (Cano-Muñoz, 1998) [19].

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 depolama koşullarına ek olarak, ürün paketleme sırasında terlemeyi önemli ölçüde azaltmak ve depolama ömrünü uzatmak için çeşitli dış yüzey kaplamaları ve nem geçirmez filmler kullanılabilir [20].

Soğutma yükü hesaplamalarında, sıfır ve sıfırın üzerindeki depolama sıcaklıkları için tablolar yardımıyla solunum sıcaklığı hesaplanır. Ancak, ortama yayılan CO<sub>2</sub> için gereken taze havalandırma yükü dikkate alınmaz veya bu derişikliğin hava infiltrasyonu ile giderileceği varsayılır. Öte yandan, meyve ve sebze soğuk depoları için yapılan detaylı hesaplamalar, solunum sıcaklığı ile temiz hava yükü arasında doğrudan bir ilişki olduğunu göstermektedir.

Meyve ve sebze soğuk depo soğutma yükü hesaplamaları dört temel yüke dayanmaktadır: (1) Deponun dış kabuğundan giren transfer ısı yükleri (dış kabuk güneşe maruz kalıyorsa, hesaplamalara solar sıcaklık farkları eklenir). (2) Ürünlerden gelen ısı yükleri (sebze ve meyveler için hissedilir ısı ve ek solunum sıcaklıkları). (3) Hava sızması ve varsa mekanik havalandırma sistemi tarafından oluşturulan ısı yükleri ve (4) fan motorları, defrost sıcaklıkları, çalışan makineler ve cihazlar ile aydınlatma cihazları tarafından oluşturulan ısı yükleri (2018 ASHRAE El Kitabı Soğutma Bölüm 24) [13].

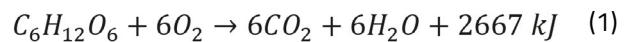
Bu ısı yükleri arasında, buharlaştırıcı henüz seçilmediği ve defrost yükü bilinmediği için buharlaştırıcı fanlarından ve defrosttan kaynaklananları hesaplamak zordur. Ayrıca, meyve-sebze soğuk hava deposunda mekanik havalandırma sistemi ve ek bir nemlendiriciye ihtiyaç olup olmadığı belirsizdir. Bu çalışmada, buharlaştırıcı fan motorlarının debileri, Birleşmiş

Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) tarafından önerilen hava değişim sayıları dikkate alınarak hesaplanmıştır [19]. Taze hava yükü, ürünlerin solunum ısıları dikkate alınarak hesaplanmıştır. İnfiltrasyon hava akış hızlarının yetersiz olduğu ve bağımsız bir mekanik havalandırma sistemine ihtiyaç duyulduğu belirlenmiştir. Mekanik havalandırma sistemine sahip meyve-sebze depolarında ek bir nemlendiriciye ihtiyaç olmadığı ve bu ihtiyacın dış hava ile karşılandığı bulunmuştur. Defrost yükleri ise, ürünlerin, içeride çalışan kişilerin, havalandırma sisteminin ve hava infiltrasyonunun neden olduğu nem yükleri dikkate alınarak hesaplanmıştır.

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

Büyük kapasiteli soğuk depolarda, temiz hava ihtiyacı yalnızca hava sızmasıyla oluşan temiz hava ile karşılanamaz. Taze meyve ve sebzeler hasattan sonra havadan oksijen (O<sub>2</sub>) olarak ve ortama karbondioksit (CO<sub>2</sub>) vererek yaşamsal faaliyetlerini sürdürürler. Ürünlerin bozulması ve çürümesi bu sürecin sonucudur. Soğuk depolama sırasında bazı meyvelerden karbondioksitle birlikte etilen gibi zararlı gazların da uzaklaştırılması gerekir.

Solunum sürecinde şeker ve oksijen birleşerek aşağıdaki gibi karbondioksit, su ve ısı üretir:



Bu kimyasal reaksiyonun gerçekleşme hızının ürünün türü ve sıcaklığının bir fonksiyonu olduğu bulunmuştur. Daha spesifik olarak, karbondioksit üretim ve solunum ısısı üretim oranları ürünün sıcaklığıyla ilişkilidir.



Depolanan bitki ürünlerinin çoğunda çok az hücre gelişimi gerçekleşir ve solunum enerjisinin çoğu ısı olarak açığa çıkar; bu, bu ürünleri soğuturken ve depolarken dikkate alınmalıdır [20].

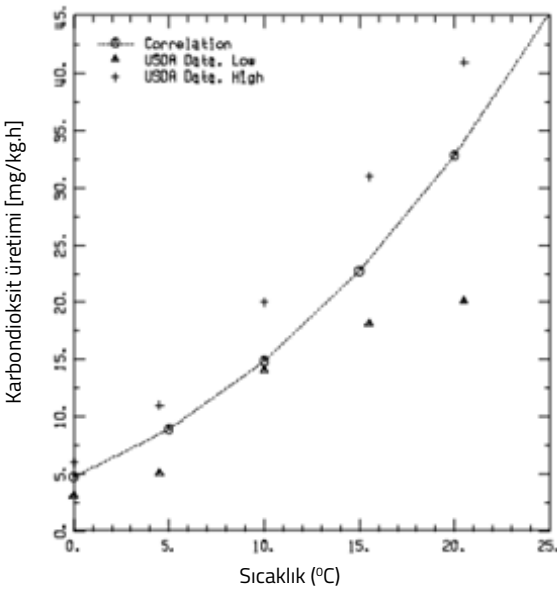
Bu kimyasal reaksiyonun gerçekleşme hızı, meyve ve sebzelerin türüne ve sıcaklığına bağlıdır.

Becker ve diğerleri (1996b), bazı meyve ve sebzelerin karbondioksit üretim hızını sıcaklığa bağlı olarak hesaplamak için aşağıdaki korelasyonu geliştirdiler [21].

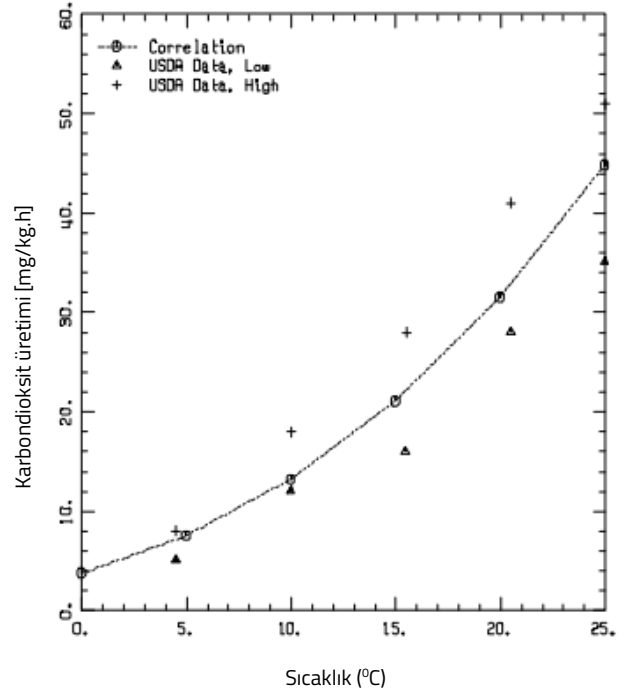
$$\dot{m}_{CO_2} = f \left( \frac{9T_m}{5} + 32 \right)^g \quad [\text{mg kg}^{-1} \text{h}^{-1}] \quad (2)$$

burada  $\dot{m}_{CO_2}$ , ürünün birim kütlesi başına karbondioksit üretimidir ( $\text{mg kg}^{-1} \text{h}^{-1}$ ),  $T_m$ , ortalama ürün sıcaklığıdır ( $^{\circ}\text{C}$ ) ve  $f$  ve  $g$ , Tablo 2'de verilen solunum katsayılarıdır.

Solunum katsayıları ABD Tarım Bakanlığı (USDA, 1986) tarafından yayınlanan veriler [22], meyve ve sebzelerin solunum hızını sıcaklığa bağlı olarak göstermektedir. En küçük kareler yöntemi ile elde edilen bu korelasyonlara bir örnek olarak, elma ve domatesler için karbondioksit üretim hızları Şekil 1 ve 2'de verilmiştir. Sıcaklıktaki her 10 K artış için,  $\text{CO}_2$  üretim hızı iki katından fazla artar [23].



Şekil 1. Elmalarda karbondioksit üretimi ve sıcaklık korelasyonu (Sastry ve Buffington, 1982) [23].



Şekil 2. Domateslerde karbondioksit üretimi ile sıcaklık arasındaki korelasyon [23].

Denklem (1)'deki kimyasal reaksiyona göre, üretilen her 6 mol karbondioksit için 2667 kJ ısı üretilir. Bu nedenle, üretilen her mg karbondioksit kütlesi için 10,7 J ısı üretilir. Solunumdan kaynaklanan ısı üretim hızı  $W_{sol}$  şu şekilde olur:

$$W_{sol} = 10.7 (\dot{m}_{CO_2}) \quad [\text{J kg}^{-1} \text{h}^{-1}] \quad (3)$$

$$W_{sol} = \frac{10.7}{3600} f \left( \frac{9T_m}{5} + 32 \right)^g \quad [\text{W kg}^{-1}] \quad (4)$$

Meyveler, sebzeler, çiçekler, soğanlar, çiçekçi yeşillikleri ve fide stokları önemli solunum ısısına sahip depolama ürünleridir. Tohumlar ve yemişler gibi kuru bitki ürünlerinin solunum oranları çok düşüktür. Kuşkonmaz, brokoli ve ıspanak gibi genç, aktif olarak büyüyen dokular, yeşil bezelye ve mısır gibi olgunlaşmamış tohumlar gibi yüksek solunum oranlarına sahiptir. Çiçek, ahududu ve böğürtlen gibi hızlı büyüyen meyveler, elma, üzüm ve turunçgiller gibi yavaş büyüyen meyvelere göre çok daha yüksek solunum oranlarına sahiptir.

Kök bitkileri hariç çoğu sebze, hasattan sonraki ilk bir veya iki gün boyunca genellikle yüksek bir solunum oranına sahiptir.



Birkaç gün içinde solunum oranı hızla denge oranına düşer [24].

Meyveler, sebzeler, soğanlar, çiçekli yeşillikler ve fide stoğu, önemli ölçüde sabit bir solunum ısısına sahip depolama ürünleridir. Tohumlar ve kuruyemişler gibi kuru tahıl ürünlerinin solunum oranları çok düşüktür. Çilek, ahududu ve böğürtlen gibi hızlı büyüyen meyveler, üzüm, elma ve turunçgiller gibi daha yavaş büyüyen meyvelere göre çok daha yüksek solunum oranlarına sahiptir. Farklı meyveler için solunum oranları şu şekildedir [25]:

- **Çok düşük:** kuru meyveler, kuruyemişler ve hurma
- **Düşük:** elma, armut, kivi, turunçgiller, üzüm, nar
- **Orta:** muz, kiraz, turunçgiller, domates, armut, domates
- **Yüksek:** kayısı, papaya, incir, olgun avokado, çilek
- **Çok yüksek:** böğürtlen, ahududu, tüm meyveler

Bu çalışmanın ilk bölümünde, meyve ve sebzeler için solunum ısıları araştırıldı. Mevcut literatürün yalnızca sınırlı sayıda meyve ve sebzelerin solunum ısılarını sağladığı gözlemlendi. USDA (1986) tarafından verilen denklem (2)'nin  $f$  ve  $g$  katsayıları, literatürde sunulan deneysel değerlere eğri uydu olarak elde edildi. Daha sonra, tüm yaygın meyve ve sebzelerin CO<sub>2</sub> üretim değerleri 0°, 5°, 10° ve 15°C için hesaplandı ve Tablo 2'de sunuldu.

Öte yandan, soğuk depolamada üretilen CO<sub>2</sub> gazı konsantrasyonunu sınır değerlere düşürmek için deponun temiz hava ile havalandırılması gerekir. Meyve ve sebze depoları için izin verilen sınır değer 3000 ppm (mg kg<sup>-1</sup>) olarak düşünülebilir. CO<sub>2</sub> konsantrasyonunu azaltmak için gereken temiz hava yükü denklem (5) ile hesaplanabilir [26]:

$$\dot{V}_{hava} = \frac{ZM}{(C_i - C_o)} \quad [m^3 h^{-1}] \quad (5)$$

burada  $\dot{V}_{hava}$  hava hızıdır,  $ZM$  havadaki CO<sub>2</sub> emisyon artış hızıdır (cm<sup>3</sup> h<sup>-1</sup> veya mg h<sup>-1</sup>),  $(C_i)$  iç mekandaki havadaki CO<sub>2</sub> konsantrasyonudur ve  $C_o$  dış mekandaki havadaki CO<sub>2</sub> konsantrasyonudur (cm<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>) veya (mg m<sup>-3</sup>).

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

Gıdaların soğutulması zor bir işlemdir çünkü yapıları ve bileşimleri ile termal ve fiziksel özellikleri çok farklıdır. Ayrıca, bu özellikler zamana ve sıcaklığa bağlı olarak değişebilir. Meyve ve sebzelerin depolama sırasında solunum nedeniyle CO<sub>2</sub>, nem ve ısı üretmesi nedeniyle ek bir zorluk ortaya çıkar [17].

Gıdaların termal özellikleri önemli ölçüde su içeriklerine bağlıdır. Bu nedenle, gıdaların özgül ısısı yalnızca su içeriklerine dayanarak kabul edilebilir bir doğrulukla hesaplanabilir. Gıdaların özgül ısıları Siebel'in (1892) [27] aşağıdaki denklemleriyle ifade edilebilir:

$$c_{p,taze} = 3,35 a + 0.84 \quad [kJ kg^{-1} K^{-1}] \quad (6)$$

$$c_{p,donuk} = 1,26 a + 0.84 \quad [kJ kg^{-1} K^{-1}] \quad (7)$$

burada  $c_{p,taze}$  ve  $c_{p,donuk}$  sırasıyla dondurulmuş gıdanın dondurulmadan önceki ve sonraki özgül ısılarıdır;  $a$ , gıdanın su içeriğinin oranıdır (su içeriği %55 ise  $a=0,55$ ); ve sabit 0,84, gıdanın katı (susuz) kısmının özgül ısısını temsil eder.

Siebel denklemleri, sırasıyla 0°C'de 4,187 ve 2,10 kJ kg<sup>-1</sup> K<sup>-1</sup> olan su ve buzun özgül ısılarına dayanmaktadır. Bir gıdanın dondurulurken veya çözülürken gizli ısısı (füzyon ısısı) da su içeriğine bağlıdır ve aşağıdaki denklemle belirlenebilir.



Tablo 2. Meyve ve sebzelerin literatürdeki deneysel verilere dayanan solunum katsayıları ve CO<sub>2</sub> üretim değerleri [13,18]

MEYVE VE SEBZELER	Muhafaza sıcaklığı [ °C ]	Oda nemi [%]	Muhafaza süresi [gün]	İçindeki su miktarı [% ağır]	Donma noktası [ °C ]	Isınma Isısı, (kJ/kg K)		Ön soğutma odaları için		Olgunlaşma ısısı (W/ton)				Solunum katsayıları		Ağırlık kaybı %	Yığın Yoğun. (kg/m <sup>3</sup> )	
						Donmadan önce	Donmadan sonra	Donma ısısı	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	63,3	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 (dikenli)	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	3,2243	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	0,00000308	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
Bezelye (yeşil)	0,00	95,00	21	79,00	-0,60	3,49	1,84	264	22,00	1,45	109,80	131,50	263,00	504,30	0,003054778	2,6637	5	561
Biber (dolmalık)	7,50	95,00	21	94,00	-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
Biber (yeşil)	7,50	95,00	21	92,00	-0,70	3,92	2,00	307	20,00	1,00	11,03	22,28	39,11	62,52	0,000688533	2,52	8	256
Böğürtlen üzümü	0,00	95,00	3	86,00	-0,80	3,72	1,92	287	20,00	1,50	51,24	108,57	198,10	327,10	0,002698191	2,5865	6	721
Brokoli	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
Brüksel lahanası	0,00	95,00	35	85,00	-0,80	3,69	1,91	284	24,00	1,26	52,85	107,55	197,10	270,35	0,005257451	2,3843	8	465
Çerimoya	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	0,011339382	2,435	6	630
Çilek (taze)	0,00	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





Tablo 2. Meyve ve sebzelerin literatürdeki deneysel verilere dayanan solunum katsayıları ve CO<sub>2</sub> üretim değerleri [13,18]

MEYVE VE SEBZELER	Muhafaza sıcaklığı [ °C ]	Oda nemi [%]	Muhafaza süresi [gün]	İçindeki su miktarı [% ağırlık]	Donma noktası [ °C ]	Isınma Isısı, (kJ/kg K)			Ön soğutma odaları için		Olgunlaşma ısısı (W/ton)				Solunum katsayıları	Ağırlık kaybı	Yiğün Yoğun.	
						Donmadan önce	Donmadan sonra	Donma Isısı	Soğ. süresi (saat)	Yükleme katsayısı	0 °C	5 °C	10 °C	15 °C				f
Dere otu	0,00	98,00	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
Domates (kızarmış)	10,00	93,00	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 (yeşil)	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
Durian meyvesi	10,00	90,00	7	65,00	-1,80	3,02	1,66	217	22,00	1,00	52,33	130,42	142,53	498,69	5,00219E-05	3,685	5	188
Ejder 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
Elma (kırmızı)	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
Elma (Fuji)	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
Elma (Gala)	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
Elma (Golden)	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
Elma (yeşil)	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
Enginar	0,00	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
Erik	-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
Fasulye (ayşekadın)	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 (taze, çirpi)	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, uzun)	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
Fejjoa	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
Fesleğen	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
Greyfurt	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
Guava	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



Tablo 2. Meyve ve sebzelerin literatürdeki deneysel verilere dayanan solunum katsayıları ve CO<sub>2</sub> üretim değerleri [13,18]

MEYVE VE SEBZELER	Muhafaza sıcaklığı [ °C ]	Oda nemi [%]	Muhafaza süresi [gün]	İçindeki su miktarı (% ağırlık)	Donma noktası [ °C ]	Isınma Isısı, (kJ/kg K)			Ön soğutma odaları için		Olgunlaşma ısı (W/ton)					Solunum katsayıları	Ağırlık kaybı	Yiğün Yoğun. (kg/m <sup>3</sup> )
						Donmadan önce	Donmadan sonra	Donma ısısı	Soğ. süresi (saat)	Yükleme katsayısı	0 °C	5 °C	10 °C	15 °C	f			
Havuç (beyaz)	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 (demet)	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 (kök)	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 (yabani)	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
Hindiba (Belçika)	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 (kırmızı)	0,00	95,00	21	94,00	-0,10	3,99	2,02	314	18,00	1,43	62,73	83,84	86,23	128,34	0,365929425	1,17	4	545
Hindistan cevizi	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
Hurma (olgun)	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
Hünnap (taze)	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
Ispanak	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
İncir (taze)	0,00	88,00	10	79,00	-2,40	3,49	1,84	264	8,00	1,00	18,15	32,15	60,15	150,45	0,000111	3,1738	12	440
İşgin 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 (balkabağı)	13,50	60,00	90	92,00	-0,80	3,92	2,00	307	18,00	1,43	10,07	20,14	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	9,55	51,74	93,95	0,000000091	4,8024	2	432



Tablo 2. Meyve ve sebzelerin literatürdeki deneysel verilere dayanan solunum katsayıları ve CO<sub>2</sub> üretim değerleri [13,18]

MEYVE VE SEBZELER	Muhafaza sıcaklığı [°C]	Oda nemi [%]	Muhafaza süresi [gün]	İçindeki su miktarı (% ağırlık)	Donma noktası [°C]	Isınma Isısı, (kJ/kg K)			Ön soğutma odaları için				Olgunlaşma ısıları (W/ton)				Solunum katsayıları	Ağırlık kaybı %	Yiğın 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			
Kavun (Casaba)	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 (kışlık)	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 (şeker)	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	
Kavısı-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	93,00	21	92,00	-0,30	3,92	2,00	307	16,00	1,00	67,41	133,44	142,60	363,71	0,001618	2,755	5	73	
Kereviz	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	
Kızılçık	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	
Kişiş	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	
Liçi meyvesi	1,00	95,00	8	82,00	-0,60	3,59	1,87	274	20,00	1,00	17,99	37,19	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	



Tablo 2. Meyve ve sebzelerin literatürdeki deneysel verilere dayanan solunum katsayıları ve CO<sub>2</sub> üretim değerleri [13,18]

MEYVE VE SEBZELER	Muhafaza sıcaklığı [ °C ]	Oda nemi [%]	Muhafaza süresi [gün]	İçindeki su miktarı (% ağırlık)	Donma noktası [ °C ]	Isınma ısısı, (kJ/kg K)			Ön soğutma odaları için		Olgunlaşma ısısı (W/ton)				Solunum katsayıları		Ağırlık kaybı %	Yiğün Yoğun. (kg/m <sup>3</sup> )
						Donmadan önce	Donmadan sonra	Donma ısısı	Soğ. süresi (saat)	Yükleme katsayısı	0 °C	5 °C	10 °C	15 °C	f	g		
Malta eriği (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	88,00	21	87,00	-1,10	3,75	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
Mangosten	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 (kıvrıklık)	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	1,80	254	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 (yeşil)	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
Nektarin	-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 (kök)	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



Tablo 2. Meyve ve sebzelerin literatürdeki deneysel verilere dayanan solunum katsayıları ve CO<sub>2</sub> üretim değerleri [13,18]

MEYVE VE SEBZELER	Muhafaza sıcaklığı [°C]	Oda nemi [%]	Muhafaza süresi [gün]	İçindeki su miktarı (% ağırlık)	Donma noktası [°C]	Isınma Isısı, (kJ/kg K)			Ön soğutma odaları için		Olgunlaşma ısısı (W/ton)				Solunum katsayıları	Ağırlık kaybı	Yiğir yoğunluğu (kg/m <sup>3</sup> )	
						Donmadan önce	Donmadan sonra	Donma ısısı	Soğ. süresi (saat)	Yükleme katsayısı	0 °C	5 °C	10 °C	15 °C				f
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
Patlıcan (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
Patlıcan (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	546,72	4,74876E-06	4,285	5	398
Patlıcan (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
Pepino	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
Pırasa	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	34,00	47,45	0,001062021	2,3346	12	481
Rambutan	13,00	93,00	21	82,00	-0,80	3,59	1,87	274	22,00	1,00	24,16	47,99	51,31	131,53	0,000550427	2,77	5	650
Rezene	15,70	60,00	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
Roka	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
Salatalık	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
Sapote	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	0,000477982	2,794	6	260
Sarımsak (kuru)	-0,50	65,00	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
Sarımsak (taze soy.)	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 (kuru)	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
Soğan (yeşil)	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
Su teresi	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



Tablo 2. Meyve ve sebzelerin literatürdeki deneysel verilere dayanan solunum katsayıları ve CO<sub>2</sub> üretim değerleri [13,18]

MEYVE VE SEBZELER	Muhafaza sıcaklığı [ °C ]	Oda nemi [%]	Muhafaza süresi [gün]	İçindeki su miktarı (% ağırlık)	Donma noktası [ °C ]	Isınma Isısı, (kJ/kg K)			Ön soğutma odaları için		Olgunlaşma ısı (W/ton)				Solunum katsayıları		Ağırlık kaybı %	Yiğın Yoğun. (kg/m <sup>3</sup> )
						Donmadan önce	Donmadan sonra	Donma ısısı	Soğ. süresi (saat)	Yükleme katsayısı	0 °C	5 °C	10 °C	15 °C	f	g		
Şalgam (kök)	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	0,000034832	3,3676	11	545
Tamarillo	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 (kış)	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 (bektaş)	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 (frenk, iyah)	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 Mersini	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	0,002335996	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



$$h_{gizli} = 334 a \quad [\text{kJ kg}^{-1}] \quad (8)$$

burada  $a$  yine su içeriğinin kesridir ve  $334 \text{ kJ kg}^{-1}$ , standart atmosfer basıncında  $0^\circ\text{C}$ 'de dondurulurken suyun gizli ısısıdır.

Literatürde tüm meyve ve sebzeler için özgül ısı değerleri bulunmadığından, hesaplamalar yukarıdaki denklemlerin yardımıyla yapılmış ve hesaplanan değerlerin Tablo 2'de sunulan deneysel verilere yakın olduğu bulunmuştur.

## 5. GÜNLÜK YÜKLENEN ÜRÜNLERİN OLGUNLAŞMA ISISININ HESAPLAMALARA EKLENMESİ

Meyve ve sebze soğuk depolarında, ürün yükleri, depoya günlük yüklenen ürünün olgunlaşma ısısı ve hissedilir soğutma yüklerinden oluşur. Olgunlaşma ısısı hesaplanırken, yalnızca soğuk depodaki ürünlerin olgunlaşma ısısı dikkate alınır. Ancak, ürünlerin olgunlaşma ısısı ortam sıcaklığında veya ön soğutma sıcaklığında önemli ölçüde yüksek olduğundan, özellikle soğutma işleminin başlangıcında oldukça etkilidir. Bu ısının ihmal edilmesi belirli bir hataya neden olduğundan, aşağıdaki denklemle belirlenebilir:

$$q_{sol} = G c_{sol} 10^{-6} \quad [\text{kW}] \quad (9)$$

burada  $q_{sol}$ , meyve ve sebzelerin solunum ısı akısı,  $G$  toplam ürün kütlesi (kg),  $c_{sol}$ , ürün solunumunun özgül ısısıdır ( $\text{mW kg}^{-1}$ ).

Bu denklemdeki  $c_{sol}$ , soğuk depo iç sıcaklığı ile dış sıcaklık veya ön soğutma sıcaklığının ortalamasındaki değer olarak alınmalıdır.

Meyve ve sebzelerin duyulur ısı yükü aşağıdaki denklemle hesaplanır:

$$\dot{Q}_{ürün} = \frac{G c_1 (T_o - T_i)}{\Delta t_s 3600} YF \quad [\text{kW}] \quad (10)$$

burada  $\dot{Q}_{ürün}$  ürünlerin duyulur ısısıdır,  $c_1$  ürünlerin özgül ısısıdır (sıfırın üzerindeki depolama sıcaklıkları için) ( $\text{kJ kg}^{-1}\text{K}^{-1}$ ),  $T_o$  ve  $T_i$  sırasıyla soğuk odanın dış ve iç sıcaklıklarıdır,  $\Delta t_s$  ürünlerin soğutma süresidir (h) (Tablo 2),  $YF$  ürünlerin yük faktörüdür (Tablo 2'den).

## 6. BUHARLAŞTIRICI FAN MOTORLARINDAN GELEN ISI YÜKLERİ

Soğuk depoda uygun hava dağılımını sağlamak için fanların sağlanması gereken akış hızının gerçek değerini belirlemek zordur. Soğuk depoların ilk tasarımında

kullanılmak üzere teorik bir katsayı tanımlanır. "Hava değişim oranı" (HDO), buharlaştırıcıdan her saat geçen hava hacmi ile boş deponun toplam hacmi arasındaki orandır.

Soğuk depolar için, referans olarak 20 ila 30 arasında bir HDO ve soğutulmuş odalar için 40 ila 100 arasında bir HDO kullanılabilir. Dondurulmuş depolama için 40 ila 60 arasında bir HDO önerilir, 50 normal bir değerdir. Depo ne kadar küçükse, oran o kadar yüksek olur [19].

HDO, gelen hava ile soğutucudan çıkan hava arasındaki sıcaklık farkıyla ters orantılıdır. Bu nedenle, sıcaklık farklarının  $1^\circ\text{C}$  kadar düşük olduğu dondurulmuş depolamada, bazen saatte 200 hava değişimi mümkündür.

Soğutma ekipmanlarının kapasiteleri yük hesaplamaları yapılırken belirlenmediğinden, fan motorlarından kaynaklanan ısı kazanımları belirlenemez. Bu sorunu yukarıda açıklanan hava değişim oranlarıyla çözebiliriz. Değişim oranları Tablo 3'te listelenmiştir.

Tablo 3. Meyve ve sebzelerin soğuk depo iç sıcaklığına bağlı olarak hava değişim sayıları [23]

İç sıcaklık $T_i$ [ $^\circ\text{C}$ ]	Hava değişimi $n$ [1/h]	İç sıcaklık $T_i$ [ $^\circ\text{C}$ ]	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		

Hava değişim sayısı biliniyorsa, toplam hacimsel debi kolayca hesaplanabilir.

$$\dot{V}_{hd} = HDO \cdot \frac{V_{oda}}{3600} \quad [\text{m}^3\text{s}^{-1}] \quad (11)$$

burada  $\dot{V}_{hd}$  sirkülasyon hava debisidir, HDO hava değişim sayısıdır, Tablo 3'ten ( $\text{h}^{-1}$ ),  $V_{oda}$  soğuk oda hacmi ( $\text{m}^3$ )'tür.



Fan motor gücü aşağıdaki denklemlerle hesaplanabilir.

$$P_{fm} = \frac{\Delta p \dot{V}_{hd}}{\eta_f \eta_m} \quad [\text{kW}] \quad (12)$$

Burada  $P_{fm}$  fan motor gücüdür,  $\Delta p$  fanın (kPa) olarak basınç farkıdır,  $\eta_f$  fan verimliliğidir (%), tipik olarak, aksel bir fanın genel verimliliği %15 ila %40 arasında değişir,  $\eta_m$  Tablo 4 ve Tablo 5'ten belirlenebilen fan-motor verimliliğidir (%).

Tablo 4. Tipik elektrikli fan motorları için ısı kazanımları (2018 ASHRAE El Kitabı-Soğutma-SI) [13]

Fan motor gücü [W]	Motor tipi	Devir sayısı [d/d]	Tam yük verimi $\eta_m$ [%]	Isı yükü [W]
40	Gölge kutuplu	1500	35	105
60	Gölge kutuplu	1500	35	170
90	Gölge kutuplu	1500	35	264
120	Gölge kutuplu	1500	35	340
190	Ayrık fazlı	1750	54	346
250	Ayrık fazlı	1750	56	439
370	Ayrık fazlı	1750	60	621
560	Üç fazlı	1750	72	776
750	Üç fazlı	1750	75	993

Tablo 5. Tipik elektronik kontrollü (EC) fan motorları için ısı kazanımları ([28] Referansından uyarlanmıştır)

Fan motor gücü [W]	Motor tipi	Devir sayısı [d/d]	Tam yük verimi $\eta_m$ [%]	Isı yükü [W]
40	EC	900	66	61
60	EC	1300	71	85
90	EC	1300	73.5	122
120	EC	1800	76.6	157
190	EC	1800	79.5	239
250	EC	1800	82	305
370	EC	1800	83.8	442
560	EC	1800	86	642
750	EC	1800	87.3	860

## 7. SOĞUK DEPODA DEFROST YÜKÜ

Soğuk depo soğutma yükü hesaplamalarında, defrost yükleri kullanılan yöntemlere göre, yani elektrikli veya sıcak gazlı defrost yöntemlerine göre belirlenir. Elektrikli defrosttaki ısı kazancı için aşağıdaki denklem kullanılır ( $\dot{Q}_{ed}$ ):

$$\dot{Q}_{ed} = n_e P_{ed} \zeta S F_{ed} \quad [\text{kWh gün}^{-1}] \quad (13)$$

burada  $n_e$  elektrikli ısıtıcı sayısıdır,  $\zeta S$  günlük çalışma süresi (h/gün),  $P_{ed}$  elektrikli ısıtıcıların gücüdür (kW),  $F_{ed}$  elektrikli defrost faktörüdür, yani soğuk depoya aktarılan ısı enerjisi ile şebekeden beslenen toplam ısıtma gücü arasındaki orandır (0,5 olarak kabul edilebilir).

Sıcak gazlı defrostta, defrost ısısı sistemin yoğuşturucusundan atılan ısıya yakın olacaktır. Bu nedenle, yaklaşık olarak aynı kabul edilebilirler. Ancak, bir kompresöre birden fazla buharlaştırıcı bağlanmışsa ve bunlara sırayla defrost uygulanıyorsa, toplam yoğuşturucu ısısını buharlaştırıcı sayısına bölmek gerekir.

$$\dot{Q}_{sgd} = \dot{Q}_c \zeta S F_{sgd} \quad [\text{kWh gün}^{-1}] \quad (14) \rightarrow$$



burada  $\dot{Q}_c$  kondenser ısı atma yüküdür (kW),  $\dot{C}\dot{S}$  günlük çalışma süresi (h/gün),  $F_{sgd}$  sıcak gaz defrost faktörüdür, yani soğuk depoya aktarılan ısıtma enerjisi ile şebeken verilen toplam elektrik gücü arasındaki orandır (0,4 olarak kabul edilebilir).

Ancak, soğuk depoda henüz buharlaştırıcı ve defrost ısıtıcıları seçilmediğinden, yük hesaplamalarında defrost yükünü tahmin etmek zordur. Bu sorunu çözmek için, soğuk depo içindeki nem yüklerini ve havalandırma yüklerini dikkate almak suretiyle ve bunları temel psikrometrik ilişkiler kullanarak nem yükünü hesaplamak mümkündür.

Soğuk depodaki nem yükleri aşağıdaki gibi listelenebilir:

- Ürünlerden kaynaklanan nem yükleri.
- Çalışan insanlardan kaynaklanan nem yükleri.
- Hava sızması ve/veya varsa mekanik havalandırma sistemi nedeniyle oluşan nem yükleri.

### 7.1 Ürünlerden Kaynaklanan Nem Yükü

Ürünlerden kaynaklanan nem yükleri kolayca hesaplanabilir. Özellikle meyve ve sebzelerde, et ve süt ürünlerinde, depolama sırasında izin verilen nem kaybı farklı meyve ve sebzeler için tablolarda listelenmiştir ve yaklaşık %6'dır. Her meyve ve sebzelerin (et ve süt ürünleri dahil) depolama süreleri de tablolarda gün/ay/yıl olarak belirtilmiştir. Bu nedenle, ürünlerden emilecek nem miktarı aşağıdaki denklemle hesaplanabilir:

$$\dot{m}_{s\ddot{u}} = \frac{G MR ML}{DS} \quad [\text{kg gün}^{-1}] \quad (15)$$

burada  $\dot{m}_{s\ddot{u}}$  günlük nem kütesidir,  $G$  ürünün toplam kütesidir (kg),  $MR$  ürünün nem oranıdır (%),  $ML$  izin verilen nem kaybıdır (%) (ilgili meyve veya sebze için Tablo 2'den belirlenir),  $DS$  depolama süresidir (gün).

### 7.2 Çalışan Kişilerden Kaynaklanan Nem Yükü

Çalışan kişilerden kaynaklanan nem yükü şu şekilde belirlenebilir:

$$\dot{m}_{s p} = \dot{V}_p \rho_h (x_p - x_{oda}) n_p \dot{C}\dot{S} \quad [\text{kg gün}^{-1}] \quad (16)$$

burada  $\dot{m}_{s p}$  soğuk odada çalışan personelin günlük nem kütesi,  $\dot{V}_p$  kişi başına saatlik hava ihtiyacı ( $15 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$  olarak kabul edilebilir),  $\rho_h$  hava yoğunluğu ( $\text{kg m}^{-3}$ ),  $x_p$  bir kişinin dışarı verdiği havanın özgül nemi ( $\text{kg kg}^{-1}$ ),  $x_{oda}$  soğuk hava deposunun içindeki havanın özgül nemi ( $\text{kg kg}^{-1}$ ),  $n_p$  soğuk odada çalışan kişi sayısı,

$\dot{C}\dot{S}$  günlük çalışma süresidir (saat/gün).

Özgül nemler aşağıdaki psikrometrik ilişkilerden hesaplanabilir:

$$x_{oda} = \frac{0.622 \phi_{oda} P_{do}}{(P_{atm} - \phi_{oda} P_{do})} \quad [\text{kg kg}^{-1}] \quad (17)$$

burada  $\phi_{oda}$  bağıl nemdir (%),  $P_d$  su buharının kısmi basıncıdır,  $P_{atm}$  atmosfer basıncıdır (kPa).

İnsanlardan kaynaklanan nem için solunan havanın doymuş olduğu kabul edilir;

$$x_{s p} = \frac{0.622 \phi_p P_{dpd}}{(P_{atm} - \phi_p P_{dpd})} \quad [\text{kg kg}^{-1}] \quad (18)$$

burada  $\phi_p$  solunan havanın bağıl nemi (%100 kabul edilebilir),  $P_{dpd}$  Tablo 6'dan  $37^\circ\text{C}$ 'de suyun doyma basıncı olarak 6.2818 kPa alınabilir,  $P_{atm}$  atmosfer basıncıdır (kPa).

Soğuk hava deposu farklı yüksekliklere kurulursa, atmosfer basıncı aşağıdaki denklemle hesaplanır:

$$P_{atm} = 101,325 e^{-z} \quad [\text{kPa}] \quad (19)$$

burada  $z$  yüksekliktir (m),  $e$  Euler sayısıdır (2,71828182845904).

### 7.3 Hava İnfiltrasyonu ve/veya Mekanik Havalandırma Sistemi Nedeniyle Nem Yükü

Soğuk hava deposunun kapısı açılıp kapatıldığında, soğuk hava deposuna dışarıdan bir miktar sıcak hava girer ve bu da ek bir duyulur ve gizli ısı yüküne neden olur. Gizli ısı yükü, soğuk hava deposuna giren nemden kaynaklanır, çünkü gelen havanın özgül nemi her zaman soğuk odadaki havanın özgül neminden daha yüksektir. Sızma nem yükü şu şekilde hesaplanabilir:

$$\dot{m}_{s i} = HKO SF V_{oda} \rho_{oda} (x_d - x_{oda})(1 - E_f) \quad [\text{kg gün}^{-1}] \quad (20)$$

Burada  $\dot{m}_{s i}$ , infiltrasyondan kaynaklanan nem yüküdür,  $HKO$ , soğuk odanın sıcaklığına ve hacmine bağlı olarak 24 saatteki hava değişimi sayısıdır (Tablo 7'den),  $YF$ , odanın kullanım sıklığına göre belirlenen servis faktörüdür. Seyrek kullanımda 0,6, orta kullanımda 1 ve sık kullanımda 2 alınır,  $V_{oda}$  soğuk odanın iç hacmi ( $\text{m}^3$ ),  $\rho_d$  dış havanın yoğunluğu ( $\text{kg m}^{-3}$ ),  $x_d$  dış havanın özgül nemi ( $\text{kg kg}^{-1}$ ),  $x_{oda}$  iç havanın özgül nemi ( $\text{kg kg}^{-1}$ )  $E_f$  çizgili hava perdesinin, eğer kullanılıyorsa, verimidir.



Tablo 6. Farklı sıcaklıklarda havadaki su buharının kısmi basıncı (ASHRAE El Kitabı-Temeller, 2021) [29].

$t_r$ [°C]	$P_d$ [kPa]	$t_r$ [°C]	$P_d$ [kPa]	$t_r$ [°C]	$P_d$ [kPa]	$t_r$ [°C]	$P_d$ [kPa]	$t_r$ [°C]	$P_d$ [kPa]	$t_r$ [°C]	$P_d$ [kPa]	$t_r$ [°C]	$P_d$ [kPa]
-40	0.01284	-25	0.06327	-10	0.25987	5	0.8726	20	2.3392	35	5.6286	50	12.3513
-39	0.01437	-24	0.06989	-9	0.28391	6	0.9354	21	2.4881	36	5.9475	51	12.9774
-38	0.01607	-23	0.07714	-8	0.30995	7	1.0021	22	2.6452	37	6.2818	52	13.6305
-37	0.01795	-22	0.08508	-7	0.33817	8	1.073	23	2.8109	38	6.6324	53	14.3116
-36	0.02004	-21	0.09376	-6	0.36871	9	1.1483	24	2.9856	39	6.9997	54	15.0215
-35	0.02234	-20	0.10324	-5	0.40174	10	1.2282	25	3.1697	40	7.3844	55	15.7614
-34	0.02489	-19	0.1136	-4	0.43745	11	1.3129	26	3.3637	41	7.7873	56	16.5322
-33	0.02771	-18	0.12490	-3	0.47604	12	1.4028	27	3.5679	42	8.209	57	17.335
-32	0.03423	-17	0.13722	-2	0.5177	13	1.4981	28	3.7828	43	8.6503	58	18.1708
-31	0.03423	-16	0.15065	-1	0.56266	14	1.5989	29	4.0089	44	9.1118	59	19.0407
-30	0.03801	-15	0.16527	0	0.6112	15	1.7057	30	4.2467	45	9.5944	60	19.9458
-29	0.04215	-14	0.18119	1	0.6571	16	1.8188	31	4.4966	46	10.0988	61	20.8873
-28	0.04672	-13	0.19849	2	0.706	17	1.9383	32	4.7592	47	10.6259	62	21.8664
-27	0.05173	-12	0.21729	3	0.7581	18	2.06447	33	5.0351	48	11.1764	63	22.8842
-26	0.05724	-11	0.23771	4	0.8135	19	2.1982	34	5.3247	49	11.7512	64	23.9421

Tablo 7. Soğuk hava deposu kapısının açılması nedeniyle oluşan hava değişimi (\*) (2018 ASHRAE El Kitabı-Soğutma-SI) [13]

İç depo hacmi (m <sup>3</sup> )	Günlük hava değişimi (24 h)		İç depo hacmi (m <sup>3</sup> )	Günlük hava değişimi (24 h)	
	Depo sıcaklığı 0°C veya üzerinde	Depolama sıcaklığı 0°C'nin altında		Depo sıcaklığı 0°C veya üzerinde	Depolama 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.

Bir diğer nem yükü ise özellikle meyve ve sebze soğuk odalarında CO<sub>2</sub> ve etilen konsantrasyonlarının artışını önlemek için kullanılan mekanik havalandırma sisteminden kaynaklanmaktadır. Büyük hacimli mekanik havalandırma sistemleri önemli ısı kazanımlarına neden olduğundan, ısı geri kazanımlı havalandırma sistemlerinin kullanılması bu ek kazancı önemli ölçüde azaltacaktır.

Özellikle meyve-sebze odalarında mekanik havalandırma sistemi solunum yükleri dikkate alınarak seçilirse, soğuk oda için ek bir nemlendirme cihazına ihtiyaç duyulmayabilir.

Havalandırma sisteminden gelen nem yükü şu şekilde hesaplanabilir:

$$\dot{m}_{s\,mh} = \dot{V}_{hm} \rho_h (x_d - x_{oda}) \quad 24 \quad [\text{kg gün}^{-1}] \quad (21)$$

$$\dot{Q}_{TD} = [\sum \dot{m}_{su} (C_1 \Delta t_1 + C_2 \Delta t_2 + C_3) + \sum \dot{m}_b C_b (\Delta t_1 + \Delta t_2) + \dot{Q}_{Ti}] \quad [\text{kW gün}^{-1}] \quad (23)$$

burada  $\dot{Q}_{TD}$  toplam defrost ısı yüküdür,  $C_1$  sıfırın üzerindeki sıcaklıklarda suyun özgül ısısıdır ve 4,187 (kJ kg<sup>-1</sup> °C<sup>-1</sup>) olarak alınabilir,  $\Delta t_1$  buzun defrosttan sonra ısıtılacağı en yüksek sıcaklıktır ve 4 °C olarak alınabilir,  $C_2$  buzun özgül ısısıdır ve 2,0935 (kJ kg<sup>-1</sup> °C<sup>-1</sup>) olarak alınabilir,  $\Delta t_2$  suyun donma sıcaklığı ile buz sıcaklığı arasındaki sıcaklık farkıdır (donmuş buharlaştırıcının buharlaşma sıcaklığı olarak alınabilir),  $C_3$  buzun gizli ısısıdır ve 335 (kJ kg<sup>-1</sup>) olarak alınabilir,  $\dot{m}_b$  buharlaştırıcı gövde kütlesidir (alüminyum veya bakır) (kg),  $C_b$  buharlaştırıcı gövdesinin özgül ısısıdır (kJ kg<sup>-1</sup> K<sup>-1</sup>),  $\dot{Q}_{cr}$  konveksiyon ve radyasyonla soğuk odaya aktarılan ısı yüküdür (kW).

Buz çözme için gereken minimum ısı miktarı (%100 verimlilik), buzun kendisini ısıtmak ve eritmek için gereken ısı olarak kabul edilir. Buharlaştırıcıya verilen herhangi bir ek ısı, buz çözme verimliliğini %100'ün altına düşürecektir. Buz çözme sırasında, buharlaştırıcının metal gövdesinin buharlaşma sıcaklığından +4 °C'ye ısıtılması gerekir. Bu ısı daha sonra buz çözme sonlandırıldığında sistemden uzaklaştırılmalı ve normal soğutma döngüsü devam ettirilmelidir. Ayrıca, erimiş buzu drenaj yoluyla soğutulmuş ortamdaki uzaklaştırmak için drenaj tavası da ısıtılmalıdır. Serpantin gövdesinin ve drenaj tavası metalinin ısıtılması (ve ardından soğutulması) kaçınılmazdır ve bu durumda buz çözme verimliliği önemli ölçüde azalır [30].

burada  $\dot{m}_{s\,mh}$  mekanik havalandırma sisteminin neden olduğu nem yüküdür,  $\dot{V}_{hm}$  mekanik havalandırma akış hızıdır (m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>).

Toplam nem yükü yukarıda açıklanan tüm nem yüklerinin toplamı olarak tanımlanabilir:

$$\sum \dot{m}_{su} = \dot{m}_{s\,ü} + \dot{m}_{s\,p} + \dot{m}_{s\,i} + \dot{m}_{s\,mh} \quad [\text{kg s}^{-1}] \quad (22)$$

Üründen buharlaşan nem, buharlaşma sıcaklığı 0 °C'nin altında olduğunda buharlaştırıcıda don ve buz birikmesine neden olur.

Buz buharlaştırıcıda biriktikçe hava akışını engeller, böylece buharlaşma sıcaklığı azalmaya devam eder ve böylece buharlaştırıcı yüzeyindeki buz sıcaklığının azalmasına neden olur. Bu nedenle, gerektiğinde buz çözme yapılmalıdır. Bu günlük toplam ısı yükü aşağıdaki denklemle hesaplanabilir:

Defrost verimliliği için yaygın olarak kullanılan bir tanım aşağıda gösterilmiştir:

$$\eta_d = \frac{\dot{Q}_f}{\dot{Q}_{TD}} \quad [\%] \quad (24)$$

burada  $\eta_d$  defrost verimliliğidir,  $\dot{Q}_f$  donu ısıtmak ve eritmek için ısıdır (kW gün<sup>-1</sup>), bu ısı yükü yukarıda açıklandığı gibi ifade edilebilir:

$$\dot{Q}_f = \sum \dot{m}_{su} (C_1 \Delta t_1 + C_2 \Delta t_2 + C_3) \quad [\text{kW gün}^{-1}] \quad (25)$$

Cole (1989) birkaç dondurucu buharlaştırıcıyı inceledi ve defrost verimliliğinin yalnızca %15 ila %20 olduğunu gözlemledi. Toplam buz çözme enerjisi girişlerini şu şekilde belirlemiştir [31]:

- %15 ila %20 buz eritmek için,
- %60 odaya ısı kaybı,
- %20 buharlaştırıcı metal gövdesini ısıtmak için,
- %5 buz çözme regülatörünü atlayan sıcak gaz nedeniyle kaybedilir.

Cole, çalışmalarında maksimum teorik buz çözme verimliliğinin %60 ila %70 aralığında olabileceğini gözlemlemiştir.

## 8. MEYVE VE SEBZELER İÇİN İSTİFLEME YOĞUNLUĞUNUN KULLANILMASI

Meyve ve sebze soğuk depolarında, ürünler farklı boyutlardaki kutularla istiflenir. İstifleme sıraları arasında yaklaşık %20'lik bir alan geçiş koridorları için ayrılmıştır. Yine, buharlaştırıcının hava üfleme



engellemek için istif yükseklikleri buharlaştırıcı seviyesinin altında bir seviyede olmalıdır.

Bir soğuk deponun net ürün yükünü hesaplamak için, yağın yoğunluklarını bilmek gerekir. Ancak, bu bilgi hazırlanmış gıdalarla ilgili tablolarda mevcut değildir. Literatürü taradığımızda bu bilginin çok dağınık olduğu ve farklılıklar olduğu görüldü. Uzun uğraşlar sonucu elde edilen yağın yoğunlukları Tablo 2'de listelenmiştir. Bu sayede ürüne bağlı depolama alanı ve hacim hesaplamaları daha kolay hale gelmiştir.

## 9. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, meyve-sebze soğuk depolama tasarımında kullanılan iç ısı yüklerindeki bazı belirsizlikler için hesaplama yöntemleri geliştirilmiştir. Bu belirsizliklerden en önemlisi ve en fazla enerji tüketeni defrost ısı yüküdür. Defrost ısı yükü genellikle birincil enerjiyi doğrudan tüketerek (elektrikli, sıcak gazlı defrost yöntemlerinde olduğu gibi) ve kompresörün iç ortamdan uzaklaştırması gereken ısı miktarını artırarak dolaylı enerji kaybına neden olur. Pratikte, soğutma kapasitesinin 1 ila 1,5 katı kurulu defrost gücüne sahip buharlaştırıcılar kullanılır. Defrost yükünü doğru seçmek ve talebe bağlı olarak doğru şekilde yönetmek çok önemlidir.

İkinci belirsizlik ise henüz buharlaştırıcı seçilmediği için bilinmeyen fan motoru ısı yükleridir. Bu belirsizliği ortadan kaldırmak için önerilen çözüm, hava debilerini ve fan güçlerini FAO tarafından sebze ve meyveler için depoda önerilen hava hızlarına göre hesaplamaktır. Özellikle yüksek verimli EC fan motorlarının tercih edilmesi hem enerji sarfiyatlarını hem de ısı kazançlarını azaltacaktır.

Belirsizlikleri ortadan kaldırmak için önerilen bir diğer yenilik ise meyve ve sebzelerin olgunlaşma sıcaklığı ve CO<sub>2</sub> üretiminin analitik olarak hesaplanmasıdır. Bu hesaplama sayesinde gerekli taze hava yükü ve dolaylı olarak nemlendirme yükü hassas bir şekilde hesaplanabilir. Birçok soğuk depolama uygulamasında, taze hava ihtiyacının kapıların açılıp kapanmasıyla oluşan hava kaçağı ile karşılanabileceği kabul edilir ve ek bir havalandırma sistemi kurulmaz. Ancak, lokal ısı geri kazanımlı havalandırma cihazları kullanılarak hem taze hava hem de nemlendirme yükünün önemli bir kısmı karşılanır.

## 10. SONUÇLAR

Soğuk zincirin doğrudan ve dolaylı (enerji tüketimi)

etkiler yoluyla küresel ısınmanın yaklaşık %2,5'inden sorumlu olduğu tahmin edilmektedir [33]. Soğuk depolar yüksek miktarda enerji tüketir. Soğuk depolarda elektrik enerjisinin %60-70'i soğutma sisteminde kullanılır. Bu nedenle soğuk depolarda enerji tüketimini azaltmak için önemli teşvikler vardır. 2002 yılında, IIR (Uluslararası Soğutma Enstitüsü), soğuk depoların yılda 30 ila 50 kWh/m<sup>3</sup> arasında enerji tükettiğini tahmin etmiştir. Avrupa'da 10-20 m<sup>3</sup> hacimli küçük depolardan yüz binlerce m<sup>3</sup> hacimli büyük dağıtım soğuk depolarına kadar yaklaşık 1,5 milyon soğuk depo olduğu tahmin edilmektedir. Bu depoların çoğunluğu (%67) 400 m<sup>3</sup>'ten küçük soğuk depolardır [32].

Soğuk depoların tasarımında, hesaplanan yükler ile gerçek yükler arasındaki uyum çeşitli şekillerde avantajlar sunar. Birincisi ve muhtemelen en önemlisi, ilk yatırım maliyetlerini düşürmek ve şirketlere rekabet avantajı sağlamaktır. Bir diğer avantaj ise işletme maliyetlerinin düşürülmesidir. Hesaplanan yük ile gerçek yük birbirine ne kadar yakınsa, sistem işletme maliyetleri o kadar düşük ve enerji verimliliği o kadar yüksek olur.

Son olarak, ekipman ve yük uyumluluğu, özellikle kış aylarında ekipman bekleme sürelerinde azalmaya ve varsa kompresör, fanlar ve defrost ısıtıcılarının ömürlerinde, sıvı soğutucu akışkanın kompresöre göçünü ve taşmasını azaltarak, artışa neden olur.

Bu nedenle, meyve ve sebzelerin uygun şekilde tasarlanmış soğuk hava depolarında depolanması, ilk yatırım, işletme ve bakım maliyetlerini düşürecek ve depolama sırasında ürünlerin nem ve kalite kayıplarını azaltacaktır. ■

## KAYNAKLAR

- [1]C.A Lommers, An efficient cold store facility, ASHRAE Journal, September 1997.
- [2]R. Türk, H. Karaca, Technical and economic characteristics of fresh products in our country stores in the cold storage facility, Teskon 2015, Proceedings Book, pp. 775-795, 2015.
- [3]M.L. Hoang, P. Verboven, J. De Baerdemaeker, B.M. Nicolai, Analysis of the air flow in a cold store by means of computational fluid Dynamics, International Journal of Refrigeration 23 (2000) 127-140.
- [4]A.S. Utage, K. V. Mali, A. D. Kadam, Performance simulation of cold storage using EnergyPlus. International Journal of Engineering Science and Technology (IJEST), Vol. 5 No.02 February 2013.
- [5]J.A. Evans, E. C. Hammond, A. J. Gigiel, L. Reinholdt, →

- K. Fikiin, and C. Zilio, Assessment of methods to reduce the energy consumption of food cold stores, *Applied Thermal Engineering* 62.2 (2014): 697-705.
- [6]H. Miao, X. Zhang, Research on Energy Consumption Evaluation Method and Energy Saving Operation Technology of Cold Storage, *Journal of Physics: Conference Series* 2205 (2022).
- [7]K. Svane, P. Enevoldsen, G. Xydis, Using existing cold stores as thermal energy storage, *Environmental Science and Pollution Research*, 2023.
- [8]İ.C. Yılmaz, D. Yılmaz, Optimal capacity for sustainable refrigerated storage buildings, *Case Studies in Thermal Engineering*, 22 (2020). <https://doi.org/10.1016/j.csite.2020.100751>
- [9]G. Wang, Y. Zheng, Z. Kang, H. Huixing Li, G. Feng, Optimal Operation Strategy and Energy Consumption of Food Freezing Process in Cold Store, *Earth, and Environmental Science* 189 (2018).
- [10]M. Asker, H. Bulgurcu, Control Strategies to Increase Energy Efficiency in Cold Rooms, 7th International Aegean Energy Symposium & Exhibition, Pages 340-354, June 18-20, 2014, Usak, Turkey.
- [11]H. Bulgurcu, E. Yalçın, E. Erol, Energy Saving in Cold Rooms Lighting System by Using Led Fixtures, 7th International Aegean Energy Symposium & Exhibition, Pages 635-645, June 18-20, 2014, Usak, Turkey.
- [12]R. Cicenkov, 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 (2020) <https://keypublishing.org/jhed/wp-content/uploads/2020/07/12.-Risto-Ciconkov.pdf>
- [13]ASHRAE Handbook-Refriegeration-2018 (SI-Version), 1791 Tullie Circle, N.E., Atlanta, GA 30329.
- [14]R. Bishnoi K.R. Aharwal, Experimental investigation of air flow field and cooling heterogeneity in a refrigerated room, *Engineering Science and Technology, an International Journal*, Volume 23, Issue 6, December 2020, Pages 1434-1443.
- [15]B. R. Becker, B. A. Fricke, Transpiration and Respiration of Fruits and Vegetables, *Science et Technique du Froid (France)*, ISSN: 0151-1637 (1996).
- [16]I.B. Halachmy, C.H. Mannheim, Modified Atmosphere Packaging of Fresh Mushrooms., *Packaging Technology and Science* 4(5): 279-286. (1991).
- [17]Y.A. Cengel, A. Ghajar, *Heat and Mass Transfer: Fundamentals and Applications*, (Chapter 17 Refrigeration and Freezing of Foods) Fifth Edition, Mac Graw Hill Education 2014.
- [18]<https://postharvest.ucdavis.edu/produce-facts-sheets> (Date of Access: 07.06.2023)
- [19]G. Cano-Muñoz, Manual on meat cold store operation and management, ISBN 92-5-102788-9, <http://www.fao.org/3/t0098e/T0098E04.htm> (Retrieved 16 February 2021).
- [20]B.R. Becker, A. Misra, B.A. Fricke. A numerical model of moisture loss and heat loads in refrigerated storage of fruits and vegetables. *Frigair'96 Congress and Exhibition, Johannesburg*, (1996a).
- [21]B.R. Becker, A. Misra, B.A. Fricke. Bulk refrigeration of fruits and vegetables, Part I: Theoretical considerations of heat and mass transfer. *HVAC&R Research* 2(2):122-134. (1996b).
- [22]USDA, *The Commercial Storage of Fruits, Vegetables, and Florist and Nursery Stocks*, Agricultural Handbook Number 66, United States Department of Agriculture (1986).
- [23]S.K. Sastry, D.E. Buffington. Transpiration Rates of Stored Perishable Commodities: A Mathematical Model and Experiments on Tomatoes. *ASHRAE Transactions* 88(1): 159-184. (1982).
- [24]A.L. Ryall, W.J. Lipton, *Vegetables as living products. Respiration and heat production*. In *Transportation and Storage of Fruits and Vegetables*, vol. 1. AVI Publishing, Westport, CT. (1972).
- [25]G. Bovi and W. Herppich, Keeping fruits and vegetables fresh by limiting respiration and transpiration. (2021) *Front. Young Minds*. 9:576906. doi: 10.3389/frym.2021.576906
- [26]H. Bulgurcu, N. Koçyiğit, Calculation of ripening temperature and fresh air load in fruit and vegetable cold rooms with empirical relations (in Turkish), *Refrigerating World Magazine*, January-February-March, Issue 96, Page 49-61, (2022).
- [27]J.E. Siebel, 1892. Specific heat of various products. *Ice and Refrigeration* 256. (1892).
- [28]P. Waide, C.U. Brunner, *Energy-Efficiency Policy Opportunities for Electric Motor-Driven Systems*, International Energy Agency Working Paper, 2011.
- [29]ASHRAE Handbook-Fundamentals-2021 (SI-Version), 1791 Tullie Circle, N.E., Atlanta, GA 30329.
- [30]Bruce I. Nelson, "Optimizing hot gas defrost", Colmac Coil Manufacturing, Inc. Technical Bulletin. 2016. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:219315124>.
- [31]R.A. Cole, "Refrigeration Loads in a Freezer Due to Hot Gas Defrost and Their Associated Costs." *ASHRAE Transactions*, V.95, Pt.2. 1989.
- [32]S. Mudgal, B. Tinetti, J. Bain, R. Cervantes, A. de Prado Trigo, Preparatory study for Eco-design requirements for EuPs, Lot 1. Task 2: Economic and market analysis, 2011.



## ALT SİMGELER

- $\dot{m}_{co_2}$  : Meyve ve sebzelerin CO<sub>2</sub> üretim hızı (mg kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>)  
 $T_m$  : Ürünün ortalama sıcaklığı (°C)  
 $f$  ve  $g$  : Solunum katsayıları  
 $W_{sol}$  : Solunumdan kaynaklanan ısı üretim hızı (W kg<sup>-1</sup>)  
 $\dot{V}_{hava}$  : Hava akış hızı (m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>)  
 $c_{p, taze}$  : Taze meyve ve sebzelerin özgül ısısı (kJ kg<sup>-1</sup> C<sup>-1</sup>)  
 $c_{p, donuk}$  : Donuk meyve sebzelerin özgül ısısı (kJ kg<sup>-1</sup> C<sup>-1</sup>)  
 $c_{p, gizli}$  : Meyve ve sebzelerin donma özgül ısısı (kJ kg<sup>-1</sup>)  
 $C_i$  : İzin verilen iç mekân hava CO<sub>2</sub> konsantrasyonu (cm<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>) veya (mg m<sup>-3</sup>)  
 $C_o$  : Dış mekân hava CO<sub>2</sub> konsantrasyonu (cm<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>) veya (mg m<sup>-3</sup>)  
 $c_p$  : Ürünlerin özgül ısısı (kJ kg<sup>-1</sup> °C<sup>-1</sup>)  
 $h_{gizli}^p$  : Standart atmosfer basıncında 0°C'de donma sırasında suyun gizli ısısı (kJ kg<sup>-1</sup>)  
 $a$  : Su içeriğinin oranı (%)  
 $G$  : Soğuk depoya günlük giren ürünlerin (meyve-sebze) kütlesi (kg gün<sup>-1</sup>)  
 $C$  : Ürün solunum özgül ısısı (mW kg<sup>-1</sup>)  
 $\dot{Q}_{ürün}$  : Ürünlerden kaynaklanan ısı yükü (kW)  
 $c_l$  : Ürün özgül ısısı (sıfırın üzerindeki depolama sıcaklıkları için) (kJ kg<sup>-1</sup> °C<sup>-1</sup>)  
 $T_o$  : Dış sıcaklık veya ön soğutma sıcaklığı (°C)  
 $T_i$  : Soğuk deponun iç sıcaklığı (°C)  
 $\Delta t_s$  : Soğutma süresi (saat) (Tablo 2'den alınmıştır)  
 $\dot{V}_{sh}$  : Sirkülasyon hava akış hızı (m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>)  
 $n_h$  : Hava değişim oranı (h<sup>-1</sup>)  
 $t_i$  : Soğuk deponun iç sıcaklığı (°C)  
 $P_{fm}$  : Fan motor gücü (kW)  
 $\Delta p$  : Fan basınç düşüşü (kPa)  
 $V_r$  : Soğuk deponun iç hacmi (m<sup>3</sup>)  
 $n_f$  : Fan verimliliği (%) (25% ile 40% arasında seçilebilir)  
 $n_{fm}$  : Fan-motor verimliliği (%) (Tablo 4 ve Tablo 5'ten seçilebilir).  
 $\dot{Q}_{ed}$  : Elektrikli defrost ısı yükü (kW)  
 $n_e$  : Elektrikli ısıtıcı sayısı  
 $P_{ed}$  : Elektrikli ısıtıcı gücü (kW)  
 $F_{ed}$  : Elektrikli defrost faktörü (0,5 olarak kabul edilebilir)  
 $\dot{Q}_{sgd}$  : Sıcak gazlı defrost yükü (kW gün<sup>-1</sup>)  
 $\dot{Q}_d$  : Defrostlardan günlük ısı kazancı (kW gün<sup>-1</sup>)  
 $\dot{Q}_c$  : Kondenser soğutma kapasitesi (kW)  
 $F$  : Sıcak gaz defrost faktörü (0,4 olarak kabul edilebilir)  
 $\dot{m}_{sü}$  : Ürünlerden emilecek nem miktarı (kg gün<sup>-1</sup>)  
 $\dot{m}_{sp}$  : İşçilerden gelen nem miktarı (kg gün<sup>-1</sup>)  
 $\dot{m}_{si}$  : İnfiltrasyon nem yükü (kg gün<sup>-1</sup>)  
 $\dot{m}_{smh}$  : Havalandırma sisteminden gelen nem yükü (kg gün<sup>-1</sup>)  
 $G$  : Depolanan ürünün kütlesi (kg)  
 $\dot{V}_p$  : Kişi başına saatlik hava ihtiyacı (15 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup> olarak kabul edilebilir)  
 $x_{oda}$  : İç mekân havasının özgül nemi (kg kg<sup>-1</sup>)  
 $x_{solp}$  : Çalışan personelin dışarı verdiği havanın özgül nemi (kg kg<sup>-1</sup>)  
 $n_p$  : Soğuk odada çalışan kişi sayısı  
 $x_d$  : Dış havanın özgül nemi (kg kg<sup>-1</sup>)  
 $p_{atm}$  : Atmosfer basıncı (kPa)  
 $p_{dd}$  : Dış havadaki su buharının kısmi basıncı (kPa)  
 $p_{do}$  : İç mekân havasının su buharının kısmi basıncı (kPa)  
 $p_{dpd}$  : Dışarı verilen havanın su buharının kısmi basıncı (6,2818 kPa)  
 $E_f$  : Kullanılıyorsa şeritli hava perdesinin verimliliği



- $\dot{V}_h$  : Mekanik havalandırma debisi ( $m^3 h^{-1}$ )  
 $\Sigma \dot{m}_{su}$  : Ürünlerden, insanlardan, hava sızmasından ve/veya mekanik havalandırma sisteminden kaynaklanan nem yükü ( $kg s^{-1}$ )  
 $\dot{Q}_{TD}$  : Defrostlardan kaynaklanan günlük toplam ısı yükü ( $kW gün^{-1}$ )  
 $\dot{m}_b$  : Buharlaştırıcı gövde kütlesi (alüminyum ve bakır) ( $kg$ )  
 $C_b$  : Buharlaştırıcı gövdesinin özgül ısı ( $kJ kg^{-1} K^{-1}$ )  
 $\dot{Q}_{cr}$  : Konveksiyon ve radyasyon yoluyla soğuk odaya aktarılan ısı yükü ( $kW$ )  
 $\eta_d$  : Defrost verimliliği (%)  
 $\dot{Q}_f$  : Donu ısıtmak ve eritmek için gereken ısı ( $kW gün^{-1}$ )  
 $C_1$  : Sıfırın üzerindeki sıcaklıklardaki suyun özgül ısı,  $4.187 kJ kg^{-1} °C^{-1}$  olarak alınabilir.  
 $\Delta t_1$  : Buzun defrosttan sonra ısıtılacağı üst sıcaklık,  $4 °C$  olarak alınabilir.  
 $C_2$  : Buzun özgül ısı,  $2,0935 kJ kg^{-1} °C^{-1}$  olarak alınabilir.  
 $\Delta t_2$  : Suyun donma sıcaklığı ile buz sıcaklığı arasındaki sıcaklık farkı. Buharlaştırma sıcaklığına ve günlük buz çözme sayısına bağlı olarak değişebilir.  
 $C_3$  : Buzun gizli ısı,  $335 kJ kg^{-1}$  olarak alınabilir.  
 $\dot{Q}_f$  : Donu ısıtmak ve eritmek için gereken ısı ( $kW gün^{-1}$ )

## YUNANCA SEMBOLLER

- $\phi_d$  : %100 olarak kabul edilebilen, dışarı verilen havanın bağıl nemi.  
 $\phi_{oda}$  : İç mekân havasının bağıl nemi (%)  
 $\rho_h$  : Havanın yoğunluğu ( $kg m^{-3}$ )  
 $\rho_d$  : Dış havanın yoğunluğu ( $kg m^{-3}$ )  
 $\eta_d$  : Defrost verimliliği (%)

## KISALTMALAR

- $ZM$  : Zararlı maddelerin emisyon oranı ( $cm^3 h^{-1}$  veya  $mg h^{-1}$ )  
 $TD$  : Evaporatör yüzeyi ile soğuk oda arasındaki sıcaklık farkı (K)  
 $MR$  : Ürünün nem oranı (%)  
 $DS$  : Depolama süresi (gün)  
 $ML$  : İzin verilen nem kaybı (%) (İlgili meyve veya sebze için Tablo 2'den belirlenir)  
 $SF$  : Odanın kullanım sıklığına göre belirlenen servis faktörü. Seyrek kullanımda 0.6, orta kullanımda 1 ve sık kullanımda 2 olarak alınır.  
 $YF$  : Yükleme faktörü (Ön soğutmalı ürünler için Tablo 2'deki değerler alınmıştır. Ön soğutma yoksa  $LF=1$  kabul edilir)  
 $\dot{C}S$  : Günlük çalışma süresi (saat  $gün^{-1}$ )  
 $HDO$  : Soğuk hava deposunun sıcaklığına ve hacmine bağlı olarak saatteki hava değişim sayısı ( $h^{-1}$ ), Tablo 3'ten belirlenir.

## ÖZGEÇMİŞ

### HÜSEYİN BULGURCU

1962 yılında İzmir Kınık'ta doğdu. 1984 yılında Yıldız Üniversitesi Kocaeli Mühendislik Fakültesi Makina Enerji Dalı'ndan Lisans, 1989 yılında M.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü'nden Yüksek Lisans, 1994 yılında aynı Enstitüden Doktora dereceleri aldı. 1995 yılında Y. Doçent, 2013 yılında Doçent oldu. 1994 yılında İngiltere'de mesleki araştırmalarda bulundu. 1995-2012 yılları arasında Balıkesir Meslek Yüksekokulu İklimlendirme ve Soğutma Programı'nda, Ağustos 2012 ila Eylül 2016 tarihleri arasında Balıkesir Mühendislik Mimarlık Fakültesi'nde çalıştı. Sektörde faaliyet gösteren bazı firmalara danışmanlık yapmaktadır.