

# MAKALE

## MEYVE VE SEBZE SOĞUK ODALARINDA OLGUNLAŞMA ISISI VE TAZE HAVA YÜKÜNÜN AMPİRİK BAĞINTILARLA HESAPLANMASI

CALCULATION OF RIPENING TEMPERATURE AND FRESH AIR LOAD IN  
FRUIT AND VEGETABLE COLD ROOMS WITH EMPIRICAL RELATIONS

Hüseyin BULGURCU, Necati KOÇYİĞİT

### HAKEMLER\*\*

A. İbrahim ATILGAN, Yrd. Doç. 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.  
İlhan Tekin ÖZTÜRK, Prof. Dr.  
İsmail KARAÇALI, Prof. Dr.  
M. Barış ÖZERDEM, Prof. Dr.  
M. Turhan ÇOBAN, Doç. Dr.  
Macit TOKSOY, Prof. Dr.

Mehmet KANOĞLU, Prof. Dr.  
Moghtada MOBEDİ, Doç. Dr.  
Muhsin KILIÇ, Prof. Dr.  
Mustafa ACAR, Prof. Dr.  
Olcay KINCAI, Prof. Dr.  
Orhan BÜYÜKALACA, Prof. Dr.  
Ramazan KÖSE, Prof. Dr.  
Rasim KARABACAK, Prof. Dr.  
Recep YAMANKARADENİZ, Prof. Dr.  
Selami KESLER, Yrd. Doç. 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.

## ÖZET

Meyve ve sebzelerin soğuk ortamda muhafaza edilirken iç yapılarında yaşam faaliyetleri ortam sıcaklığına ve türe bağlı olarak devam etmektedir. Bu faaliyetler esnasında ortamdan oksijen (O<sub>2</sub>) alınmakta, bu oksijen enzim faaliyetlerinde yakılıp karbondioksit (CO<sub>2</sub>) üretilmektedir. Bu işlem sırasında ortama "solunum ısı" adı verilen bir gizli ısı yükü verilmektedir. Bu solunum ısı yükü, meyve ve sebze tablolarında verilmektedir. Ancak yakın zamanda meyveler üzerine yapılan deneysel çalışmalarla ortam sıcaklığına bağlı olarak meyvelerin CO<sub>2</sub> üretim değerleri ve solunum ısıları deneysel bağıntılarla daha hassas şekilde hesaplanabilmektedir. Bu hesaplara bağlı olarak soğuk depolarda oluşacak CO<sub>2</sub> derişikliklerini 2500-3000 ppm seviyelerinde tutabilmek için gerekli olan havalandırma debisi ve dolayısıyla havalandırma yükü de hesaplanabilmektedir. Bu çalışmada bazı meyve ve sebzeler için solunum ısıları ve havalandırma yükleri deneysel bağıntılarla ve tablolara bağlı olarak ayrı ayrı hesaplanmış ortaya çıkan farklara dikkat çekilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Meyve ve sebze, Solunum katsayıları, Solunum ısı yükü, Taze hava yükü

## ABSTRACT

While fruits and vegetables are preserved in a cold environment, living activities continue in their internal structures depending on the ambient temperature and the species. During these activities, oxygen (O<sub>2</sub>) is taken from the environment, this oxygen is burned in enzyme activities and carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) is produced. During this process, a latent heat load called "respiratory heat" is given to the environment. This respiratory heat load is given in the fruit and vegetable tables. However, with recent experimental studies on fruits, depending on the ambient temperature, the CO<sub>2</sub> production rates, and respiration heat of the fruits can be calculated more precisely with empirical correlations. Depending on these calculations, the ventilation load required to keep the CO<sub>2</sub> concentrations in cold storages at 2500-3000 ppm levels can be calculated. In this study, for some fruits and vegetables, respiratory temperatures and ventilation loads were calculated separately based on empirical relations and tables, and the emerging differences were pointed out.

**Key Words:** Fruits and vegetables, Respiration coefficients, Respiration heat load, Fresh air load

## 1. GİRİŞ

Meyve ve sebzeler hasat edilince, yani kendisini besleyen ana bitkiden ayrılınca, yine de canlı kalırlar. Öyle ki, birçok sebze hızlı bir hücre bölünmesi de 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 sebzelerin bu davranışı, onların canlılığı demektir. Canlılığın en önemli belirtisi ise bunların oksijen alıp karbondioksit vermeleridir.

Meyve ve sebzelerdeki bütün bu yaşamsal faaliyetlere metabolizma denir. Metabolizma, 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 dışı kalarak düzensiz bir şekil alır. Bu sırada, canlı meyve veya sebzelerin mikroorganizmalara karşı gösterdiği direnç de sona erdiğinden, çeşitli mikro-organizmaların hücumuna uğrayarak mikrobiyolojik bozulma başlar [1].

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 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 parçalanmasıdır. Bir ürünün depolama ömrü, solunum aktivitesinden etkilenir. Bir ürünün düşük sıcaklıkta depolanmasıyla solunum azalır ve yaşlanma geciktirilir, böylece depolama ömrü uzatılır [2]. Bir ürünü çevreleyen oksijen ve karbondioksit derişikliklerinin uygun şekilde kontrol edilmesi de solunum hızının azaltılmasında etkilidir.

Soğuk depolarda uygun saklama koşullarına ek olarak, ürün paketlenme sırasında çeşitli kabuk kaplamaları ve nem geçirmez filmler, terlemeyi önemli ölçüde azaltmak ve depolama ömrünü uzatmak için kullanılabilir [3].

Soğuk depo yük hesaplamalarında solunum ısısı 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 ısısı ve taze hava yükü arasında doğrudan bir ilişki bulunduğunu göstermektedir.

## 2. SOLUNUM VE SOLUNUM HIZINI ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Meyve ve sebzelerin canlılığının devamı için hücrede çeşitli reaksiyonların gerçekleşmesi zorunludur. Bu reaksiyonların gerçekleşmesi için enerjiye gereksinim vardır. İşte meyve ve sebzeler bu enerjiyi sağlamak üzere solunum yaparlar.

Normal koşullar altında taze meyve ve sebzeler oksijenle (aerob) solunum yaparlar. Solunumda oksijen ve glikoz harcanırken, karbondioksit, su ve ısı oluşur. Ancak meyve ve sebzelerin solunumunda gaz alınıp verilmesi hücreler arası boşluklar yardımıyla, gazların difüzyonuyla gerçekleşir. Alınan oksijen, özellikle ve öncelikle suda çözünen karbohidratların yavaş bir şekilde parçalanmasına harcanırken, diğer taraftan da ısı açığa çıkar, CO<sub>2</sub> ve H<sub>2</sub>O oluşur.

Her meyve ve sebzelerin solunum hızı farklıdır. Bu yüzden bazılarında yavaş bir solunum ve buna bağlı olarak az bir ısı yayılması görülürken, bazılarında hızlı bir solunum ve aşırı ısı yayılması kendini gösterir. Örneğin; bezelye ve fasulye gibi sebzelerde solunum hızı çok yüksektir. Doğal yaşlanmanın çok kısa sürede gerçekleşmesi sonucu raf ömürleri de kısadır. Buna karşılık soğan ve patates gibi depolama organları olan sebzelerin solunum hızları düşük olduğundan raf ömürleri de uzundur [4].

Klimakterik meyve ve sebzeler olarak bilinen bazı meyve ve sebzeler ham olarak hasat edilebilir ve daha sonra olgunlaşma yapay olarak gerçekleştirilir (Örneğin; avokado, muz ve domates). Olgunlaşma sırasında çok kısa bir zaman içerisinde bu ürünlerin solunumları çok hızlanır.

### 2.1 Ortam Sıcaklığı

Solunum hızı üzerine etki eden en önemli faktör, ortam sıcaklığıdır. Ortam sıcaklığı 37°C'ye kadar arttıkça solunum hızı yükselmekte ve buna bağlı olarak ürünün yaydığı ısı da artmaktadır. Buna karşın ortamın sıcaklığı azaldıkça solunum hızı da azalmaktadır. İşte meyve ve sebzelerin soğukta depolanmasında bu olgudan yararlanılmakta ve en önemli metabolizma olayı olan solunum hızı, depo sıcaklığının düşürülmesiyle sınırlandırılmakta ve kontrol altına alınmaktadır. Soğuk depoda oluşan bu ısının depodan uzaklaştırılması zorunludur.

Ortam sıcaklığı düştükçe solunum hızı da yavaşlamakta, ürün donunca solunum tamamen durmaktadır. Ancak donmuş sebze ve meyvelerde hücre dışında bulunan su, dondurma hızına bağlı olarak buza döner. Bu kristal buz yapısı donma çözüldüğünde hücre duvarlarını tahrip ettiğinden meyve ve sebze hızla kararip bozulur.

### 2.2 Ortamdaki Etilen Miktarı

Etilen bir bitkisel hormon olup, meyve ve sebzelerin olgunlaşması ve erken yaşlanmasında anahtar rolü oynar. Bütün bitkisel hücreler az miktarda etilen sentezlerler ancak bazı stres faktörleri hücrenin etilen sentezini uyarır. Bu faktörler fazla su kaybına, fiziksel bozulmaya neden olur ve patojen ataklarını da tetikler.

Olgunlaşan meyvelerde etilen sentezi oto-katalitik olarak gerçekleşir. Başka bir ifade ile etilen kendi sentezini tetiklemiş olur. Oto-katalitik olarak artan etilen sentezi ve difüzyonu olgunlaşmanın eşzamanlı ve hızlı gelişmesine neden olur. Bitki dokusuna etilen girişi hücre zarından hücre içine difüzyon şeklinde gerçekleşir. Doku içinde dağılımı ise hücrelerarası boşluklardaki gazların bulunduğu bölgelerden veya çözülmüş halde hücreden hücreye iletim şeklinde olduğu düşünülmektedir.

Meyve ve sebzelerin soğukta depolanmalarında kapalı depoda zamanla etilen miktarı artar. Depolanılan üründe olgunlaşma devam ederken depo atmosferinde etilen artacağından olgunlaşma daha da hız kazanır ve ürün bozulabilir. Bu nedenle soğuk depolarda etilenin oluşması ve toplanması istenmez.

Soğuk depodan etilenin zaman zaman uzaklaştırılması gerekir veya ürün belli bir vakum altında depolanır. Muz gibi ürünler ise yeşil halde



hasat edilip, taşınır ve bu halde depolanır. Ancak satıştan önce etilen gazı yardımıyla eşzamanlı bir olgunlaşma yapılarak pazara sunulur.

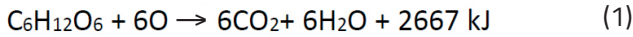
### 3. MEYVE-SEBZE SOLUNUM İSİNİN HESAPLANMASI

Solunum, meyve ve sebzelerin şekerleri ve oksijeni karbondioksit, su ve ısıya dönüştürdüğü kimyasal süreçtir.

Solunum işlemi tarafından üretilen ısı, bir ürünün sıcaklığını artırma eğilimindedir.

Bu da bir ürünün yüzeyinin hemen altındaki su buharı basıncını artırarak terlemenin artmasına neden olur [5]. Böylece doymuş ortamlarda solunumun terlemeye neden olabileceği görülebilmektedir.

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



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

A.B.D.'de yapılan bir çalışmada, bir ürünün karbondioksit üretim oranını onun sıcaklığıyla ilişkilendiren USDA (Amerikan Tarım Bakanlığı) (1986) [6] tarafından verilen verilere dayanarak korelasyonlar geliştirildi. Karbondioksit üretim hızı daha sonra solunum nedeniyle oluşan ısı üretimi ile ilişkilendirilebilir.

Ortaya çıkan karbondioksit üretimi korelasyonları aşağıdaki biçimdedir:

$$\dot{m}_{CO_2} = f \left( \frac{9T_m}{5} + 32 \right)^g \quad (2)$$

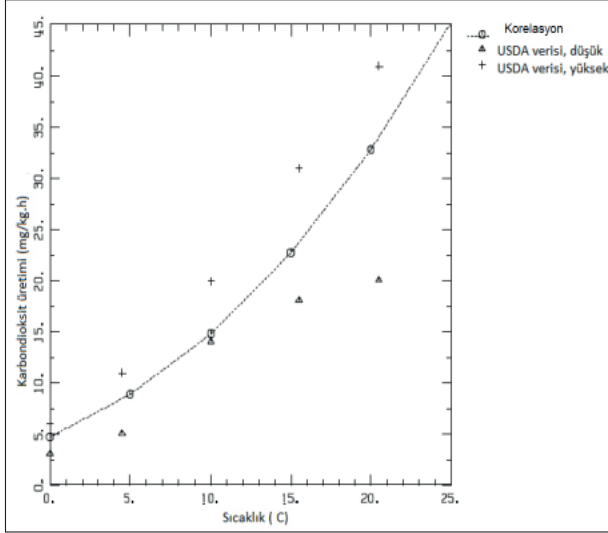
Burada  $\dot{m}_{CO_2}$ , birim ürün kütlesi başına karbondioksit üretimi (mg/kg h),  $T_m$  ortalama ürün sıcaklığıdır (°C) ve  $f$  ve  $g$ , Tablo 1'de verilen solunum katsayılarıdır. Solunum katsayıları  $f$  ve  $g$ , USDA (1986) tarafından yayınlanan verilere en küçük kareler eğri uydurma yoluyla elde edilmiştir. Bu korelasyonları açıklamak için Şekil 1 ve Şekil 2; elma ve domates için USDA verileriyle birlikte sıcaklığa bağlı olarak

karbondioksit üretimi korelasyonlarını verir. Sıcaklıktaki her 10°C'lik artış için, karbondioksit üretim oranının iki katından fazla arttığını unutmayın. Bu davranış tüm ürünlerde belirgindir.

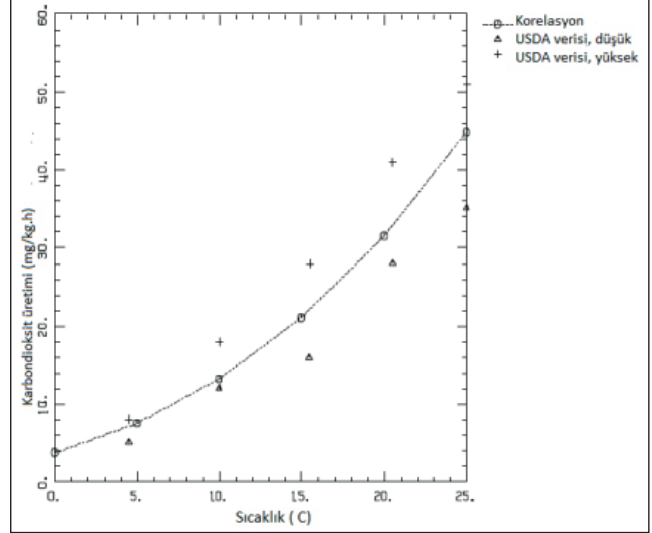
Tablo 1. Meyve ve sebzelerin solunum katsayıları [1]\*

Ürün	Solunum katsayıları	
	$f$	$g$
Elmalar	5,687x10 <sup>-4</sup>	2,598
Yaban mersini	7,252x10 <sup>-5</sup>	3,258
Brüksel lahanası	0,002724	2,573
Kabak	6,080x10 <sup>-4</sup>	2,618
Havuç	0,05002	1,793
Greyfurt	0,003583	1,998
Üzüm	7,056x10 <sup>-5</sup>	3,033
Yeşil biber	3,510x10 <sup>-4</sup>	2,741
Limon	0,01119	1,774
Taze fasulye (lima)	9,105x10 <sup>-4</sup>	2,848
Misket limonu	2,983x10 <sup>-8</sup>	4,733
Soğan	3,668x10 <sup>-4</sup>	2,538
Portakal	2,805x10 <sup>-4</sup>	2,684
Şeftali	1,300x10 <sup>-5</sup>	3,642
Armutlar	6,361x10 <sup>-5</sup>	3,204
Erikler	8,608x10 <sup>-5</sup>	2,972
Patates	0,01709	1,769
Fasulye	0,003283	2,508
Şeker pancarı	8,591x10 <sup>-3</sup>	1,888
Çilekler	3,668x10 <sup>-4</sup>	3,033
Sarı şalgam	1,652x10 <sup>-4</sup>	2,904
Domates	2,007x10 <sup>-4</sup>	2,835

\* Bu verilerin bir kısmı [7] ve [8] referanslarından alınmıştır.



Şekil 1. Elmalar için karbondioksit üretimi ve sıcaklık korelasyonu [1]



Şekil 2. Domatesler için karbondioksit üretimi ile sıcaklık korelasyonu [1]

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

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

$$W = \frac{10,7}{3600} f \left( \frac{9T_m}{5} + 32 \right)^g = \frac{10,7}{3600} (\dot{m}_{CO_2}) \quad [W/kg] \quad (4)$$

Soğuk odada üretilen  $CO_2$  miktarına bağlı olarak saatteki gerekli hava debisi şu formülle hesaplanır[9]:

$$\dot{V}_h = \frac{SM}{(K_i - K_d)} \quad [m^3/h] \quad (5)$$

Burada;

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

$K_i$ : Müsaade edilen iç hava derişikliği [ $cm^3/m^3$  veya  $mg/m^3$ ] ( $CO_2$  için soğuk depolarda 2500 ila 5000 ppm değeri uygun kabul edilebilir)

$K_d$ : Dış hava zararlı madde derişikliği [ $cm^3/m^3$  veya  $mg/m^3$ ] (Dış havadaki  $CO_2$  derişiklik miktarı 400 ila 500 ppm civarında alınabilir)

**Örnek 1: Taban alanı 250  $m^2$ , iç yüksekliği 8 m olan tropikal bölgedeki bir soğan depolama soğuk odasında 520 ton soğan +28°C'de depolanmaktadır. Ürünün  $CO_2$  üretim hızını, solunum ısını hesaplayınız.**

$CO_2$  üretim hızı:

$$\dot{m}_{CO_2} = f \left( \frac{9T_m}{5} + 32 \right)^g = 3,668 \times 10^{-4} \left( \frac{9 \times 28}{5} + 32 \right)^{2,538} = 26,733 \frac{mg}{kg.h}$$



Solunum ısısı:

$$W = \frac{10,7}{3600} (\dot{m}_{CO_2}) = \frac{10,7}{3600} (26,73) = 0,07945 \quad [W/kg]$$

$$\dot{Q}_s = W M = 0,07945 \times 520000 = 41317,8 W = 41,32 kW \quad \text{bulunur.}$$

#### 4. MEYVE-SEBZE SOĞUK ODALARINDAKİ HAVALANDIRMA YÜKÜNÜN HESAPLANMASI

Geleneksel meyve-sebze soğuk odalarında havalandırma ihtiyacı, kapıların yükleme amaçlı olarak açılıp kapanması ile oluşan hava sızıntıları (enfiltasyon) ile karşılandığı varsayılarak, ek bir havalandırma sistemi kullanılmamakta idi. Ancak uzun süreli meyve-sebze depolamalarında ve düşük servis yüklerinde içeride oluşan CO<sub>2</sub> derişiklikleri sınır değerler olan 5000 ppm seviyesini çok aşabilmektedir.

Depo atmosferinde CO<sub>2</sub> oranı değişmese dahi O<sub>2</sub> oranı %3 veya daha düşük bir değere ulaşırsa solunum hızı son derece yavaşlar.

Ancak oksijen oranı belli bir düzeyin altına düşer, karbondioksit oranı belli bir düzeyin üstüne yükselirse, normal solunum durur ve meyve ve sebzelerde tamamen yabancı bir lezzet oluşmasına neden olan anaerobik solunum başlar.

Anaerobik solunumun başladığı oksijen derişikliği ürüne göre farklıdır. Örneğin depo atmosferindeki O<sub>2</sub> oranı ispanaklarda %0,8'e (8000 ppm) inince, kuşkonmazlarda ise %2,3'e (23000 ppm) inince anaerobik solunum başlar.

**Örnek 2: Örnek 1'deki depo ve Balıkesir şartları için normal servis uygulamalarında ürün tarafından üretilen CO<sub>2</sub> miktarını, buna bağlı olarak taze hava yükünü hesaplayınız. Orta servis yükü için tablolara bağlı olarak hava sızıntı yükünü hesaplayınız. Her iki yükü karşılaştırınız.**

CO<sub>2</sub> üretim hızı:

$$m_{CO_2} = 26,733 \left[ \frac{mg}{kg.h} \right] = \left[ \frac{ppm}{h} \right] \quad \text{olarak bulunmuştu.}$$

$$SM = \sum CO_2 = M m_{CO_2} = 520000 \times 26,73 = 13901316 \text{ [mg/h]}$$

Kirletici maddeyi (CO<sub>2</sub>) seyreltmek için gerekli hava debisi aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır:

$$\dot{V}_h = \frac{SM}{(K_i - K_d)} = \frac{13901316}{3000 - 450} = 5451 \text{ m}^3/h$$

Hava sızıntısı debisi:

Örnekteki soğuk depo hacmi 2000 m<sup>3</sup> olduğuna göre Tablo 2'den hava sızıntısı katsayısı enterpolasyonla 1,545 bulunur. Bu durumda;

$$\dot{V}_s = n V = 1,545 \times 2000/24 = 128,75 \text{ m}^3/h$$

Karşılaştırma yapacak olursak;

$$\dot{V}_h > \dot{V}_s$$

Bu durumda sızıntı debisi yeterli değildir, mekanik geri ısı kazanımlı bir havalandırma sistemi eklenmelidir.

Tablo 2. Oda kapı açılmalarından meydana gelen hava değişimi [10]\*

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

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



Hesaplamlarda kolaylık sağlaması için EXCEL ortamında hesaplama sayfası geliştirilmiştir. Bu hesaplama sayfası sayesinde birçok meyve sebze için CO<sub>2</sub> üretim hızı ile birlikte solunum ısı ve taze hava yükü de hesaplanabilmektedir (Şekil 3.).

Tablo 4'te deneysel olarak elde edilen solunum ısıları (mW/kg) ve bunlara bağlı olarak hesaplanan solunum katsayıları listelenmiştir.

Önceleri meyve ve sebze soğuk odalarında taze hava ihtiyacı, kapıların açılıp kapanmasıyla yer değiştiren hava ile karşılanabildiği varsayıyordu. Ancak teknolojinin gelişmesi ile daha hassas sızdırmaz kapılar, naylon perde uygulamaları ve kapalı konumda uzun muhafaza süreleri gibi durumlarda servis esnasında oluşan hava değişimi (sızıntı havası) kesinlikle yeterli olamamaktadır. Bu ihtiyacın yukarıda örneklenen hesaplamalar ile analizi gerekmektedir. Dolayısıyla bu çalışmada sıcaklığa bağlı solunum hızı (CO<sub>2</sub> üretimi) ile birlikte solunum ısı yükü, taze hava ihtiyacı ve taze hava ısı yükü daha hassas olarak hesaplanabilmektedir.

## 6. SONUÇLAR

Literatürdeki CO<sub>2</sub> üretim değerleri genelde 0, +5, +10 ve +15 °C'lerde verilmektedir. Ancak bazı meyve ve sebzelerde bu değerler bu sıcaklık aralıklarında düzenli olarak değişmediğinden eğri uydurma işlemi mümkün olamamıştır. Her bitkinin yetiştiği ortam şartlarına ve türüne göre yapısal değişiklikler gösterebilmesinden dolayı farklı araştırmalarda farklı solunum değerleri verebildiği görülmüştür. Sonuç olarak ulaşılan farklı sıcaklıklardaki CO<sub>2</sub> değerleri mutlak değerler olmayıp belirli bir hata içeren bir hesaplama yaklaşımıdır.

Üretilen bu tablolar ve hesaplama yazılımları sayesinde sebze ve meyvelerin solunum ısı yükleri, soğuk oda ısı kazancı hesaplamalarında, kolayca kullanılabilir.

Ayrıca soğutma sistem tasarımı ile ilgili kitaplarda solunum ısıları ile ilgili verilen tablolar sınırlı sayıdaki sebze ve meyve için belirli sıcaklıklardaki değerleri kapsamakta idi. Yine kitaplarda verilen tablolardaki değerler ile literatürdeki güncel solunum ısıları değerleri arasında ciddi farklar olduğu görülmüştür. ■

Tablo 4. Meyve ve sebzelerin farklı sıcaklıklardaki solunum ısıları (mW/kg) değerleri ve katsayıları

MEYVE VE SEBZE	Muh. Sıcaklığı [°C]	Bağıl Nem [%]	Solunum ısıları (mW/kg)				Solunum katsayıları	
			0 °C	5 °C	10 °C	15 °C	f	g
Ahududu (taze)	0,50	93,00	63,3	103	123,65	272,3	0,006192537	2,3469
Ananas(olgun, taze)	11,50	88,00	5,94	11,14	16,34	38,63	2,21768E-06	3,839
Armut (Asya)	0,50	93,00	13,93	23,30	24,50	49,61	0,003517	2,076
Armut (dikenli)	7,00	93,00	20,40	34,75	36,60	76,01	0,003985064	2,15
Armut (kış, sert)	-1,00	93,00	12,65	27,55	38,95	92,15	0,00006361	3,209
Armut (sarı)	-0,50	93,00	13,15	29,08	31,42	93,35	0,000066561	3,204
Armut (yeşil)	-0,50	93,00	12,65	27,55	38,95	92,15	5,99758E-05	3,2243
Avokado	9,00	93,00	35,13	88,12	96,36	340,01	0,0000308	3,71
Ayva	0,00	93,00	12,10	19,00	45,72	72,45	0,000408776	2,6732
Bamya (taze)	8,50	93,00	61,50	147,40	233,30	389,70	0,003718086	2,5573
Bezelye (yeşil)	0,00	97,00	109,80	131,50	263,00	504,30	0,003054778	2,6637
Biber (dolmalık)	7,50	95,00	11,50	24,46	26,32	74,08	0,000101009	3,045
Biber (Şili)	7,50	95,00	13,62	29,99	32,39	95,60	7,36592E-05	3,185
Biber(yeşil)	7,50	95,00	11,03	22,28	39,11	62,52	0,000688533	2,52
Böğürtlen üzümü	0,50	93,00	51,24	108,57	198,10	327,10	0,002698191	2,5865



Tablo 4. Meyve ve sebzelerin farklı sıcaklıklardaki solunum ısı (mW/kg) değerleri ve katsayıları

MEYVE VE SEBZE	Muh. Sıcaklığı	Bağıl Nem	Solunum ısı (mW/kg)				Solunum katsayıları	
	[°C]	[%]	0 °C	5 °C	10 °C	15 °C	f	g
Japon inciri	-1,00	90,00	18,15	32,15	60,15	150,45	4,45116E-06	3,9868
Kabak (balkabağı)	13,50	60,00	10,07	20,14	30,21	40,28	0,010160645	1,748
Kabak (kış yem.)	7,50	95,00	60,52	134,73	145,63	436,38	0,000281	3,229
Kabak (yaz yem.)	7,50	95,00	33,05	43,95	95,50	221,65	0,001111255	2,6883
Karalahana	0,00	93,00	23,60	41,25	50,85	106,45	0,000803158	2,629
Karnabahar	0,00	96,00	56,15	64,30	110,70	171,00	0,01477572	2,0181
Karpuz	12,50	93,00	2,50	9,55	51,74	93,95	0,000000091	4,8024
Kavun (casaba)	8,50	88,00	14,50	25,40	41,60	96,90	8,72695E-05	3,1375
Kavun (kışlık)	8,50	93,00	14,50	25,40	41,60	96,90	2,22681E-05	3,4837
Kavun (şeker)	3,50	93,00	15,23	33,64	36,33	107,69	0,00007901	3,197
Kayısı-zerdali	0,00	93,00	14,50	20,70	40,40	63,35	0,000934566	2,449
Kekik	0,00	93,00	67,41	133,44	142,60	363,71	0,001618	2,755
Kereviz	0,00	98,00	16,11	26,85	64,46	91,31	0,000107075	3,0808
Kestane	-0,50	93,00	18,06	26,01	26,95	44,44	0,036954	1,4722
Kızılçık	0,25	93,00	12,50	20,49	21,49	42,30	0,004223936	1,992
Kiraz (ekşi)	0,00	93,00	24,07	44,07	46,74	107,15	0,001715056	2,441
Kiraz (tatlı)	0,00	93,00	19,62	34,96	69,48	104,00	0,001715056	2,4153
Kışniş	7,50	93,00	65,38	89,16	121,86	166,44	4,43155E-05	3,061
Kivi	0,00	93,00	5,33	11,39	12,26	34,69	4,43155E-05	3,061
Kuşkonmaz	-1,00	98,00	144,00	255,05	530,00	652,20	0,006200596	2,5706
Kuşüzümü (taze)	0,00	93,00	6,71	11,28	22,56	33,57	0,000246122	2,6247
Lahana	0,00	95,00	23,60	41,25	50,85	106,45	0,000419103	2,7953
Liçi meyvesi	5,00	93,00	17,99	37,19	39,91	108,05	0,000235467	2,93
Limon	13,00	93,00	8,20	13,50	25,10	42,60	0,000611142	2,4484
Limon (misket)	12,00	93,00	9,16	15,84	16,70	35,36	0,00146939	2,207
Longan meyvesi	5,00	93,00	15,29	30,20	32,27	82,08	0,000377242	2,747
Malta eriği (y.dünya)	0,00	93,00	24,07	45,74	48,69	117,42	0,001023621	2,59
Mandalina	6,50	93,00	12,08	16,11	21,48	42,97	0,001557789	2,2343
Mango	12,00	93,00	30,16	67,45	72,94	219,90	0,000131582	3,247
Mangosten	13,00	93,00	1,21	4,04	4,54	23,59	2,04639E-08	4,85
Mantar (taze)	1,00	97,00	95,90	190,10	268,90	426,50	0,002416942	2,4622
Marul (kıvrıkcık)	0,00	95,00	61,50	78,70	105,10	168,30	0,080416942	1,5946
Marul (uzun yaprak)	0,00	95,00	38,16	66,50	70,19	150,33	0,005438422	2,241
Marul (yumru)	0,00	95,00	38,16	66,50	70,19	150,33	0,005438422	2,241
Maydanoz	0,00	95,00	69,83	177,23	284,63	615,02	0,000093168	3,5873
Maydanoz (frenk)	0,00	98,00	36,57	87,55	95,31	315,60	6,12841E-05	3,523

Tablo 4. Meyve ve sebzelerin farklı sıcaklıklardaki solunum ısı (mW/kg) değerleri ve katsayıları

MEYVE VE SEBZE	Muh. Sıcaklığı	Bağıl Nem	Solunum ısı (mW/kg)				Solunum katsayıları	
	[°C]	[%]	0 °C	5 °C	10 °C	15 °C	f	g
Mısır (tatlı)	1,00	97,00	244,85	439,34	465,04	1036,78	0,023182688	2,359
Mısır (taze)	0,00	95,00	113,10	208,30	299,70	436,10	0,020846585	2,1755
Muz (yeşil)	13,50	93,00	43,96	56,90	73,64	95,30	0,084657632	1,4636
Muz (olgun, sarı)	13,00	93,00	46,64	60,36	78,12	101,10	0,133231022	1,361
Nane	0,00	98,00	61,03	140,63	152,52	479,22	0,000174718	3,3685
Nar	7,20	93,00	8,05	16,11	32,23	51,03	4,4236E-05	3,158
Nektarin	-0,50	93,00	13,65	20,80	41,60	100,85	1,0406E-05	3,6732
Pancar (kök)	0,00	95,00	36,00	55,00	68,09	92,11	0,098853523	1,4053
Papaya	10,00	93,00	106,32	203,19	396,97	493,88	0,0061	2,5059
Patates (son ürün)	7,00	98,00	11,00	16,80	22,60	24,90	0,072819288	1,16
Patates (taze)	11,50	90,00	23,35	36,21	51,44	68,93	0,016444301	1,7789
Patlıcan (kır)	11,00	93,00	33,52	97,53	108,21	468,18	3,67251E-06	4,31
Patlıcan (mor)	11,00	93,00	39,74	114,93	127,43	546,72	4,74876E-06	4,285
Patlıcan (siyah)	11,00	93,00	37,06	74,13	148,25	177,90	0,00238454	2,4847
Pazı (İsviçre)	0,00	98,00	58,10	66,89	67,81	82,25	2,73019085	0,568
Pepino	9,00	93,00	8,46	16,85	18,01	46,35	0,000185464	2,781
Pırasa	0,00	95,00	34,50	65,25	162,40	266,80	9,65301E-05	3,362
Portakal	5,50	93,00	9,40	14,85	34,00	47,45	0,001062021	2,3346
Rambutan	11,00	93,00	24,16	47,99	51,31	131,53	0,000550427	2,77
Rezene	15,70	60,00	58,15	69,03	70,19	88,80	1,777793742	0,692
Roka	0,00	95,00	78,42	185,12	201,25	653,62	0,000160129	3,466
Salatalık	11,00	97,00	56,45	63,10	77,10	84,85	1,554402031	0,7129
Sapote	14,00	93,00	22,80	45,56	48,74	125,97	0,000477982	2,794
Sarımsak (kuru)	-0,50	65,00	18,60	20,80	25,30	51,20	0,013255396	1,7443
Sarımsak (taze soy.)	0,00	95,00	73,11	136,36	144,88	340,60	0,004031482	2,515
Soğan (kuru)	0,00	68,00	7,20	13,51	22,36	34,03	0,00049194	2,463
Soğan (yeşil)	0,00	98,00	43,85	114,05	127,15	218,65	0,004780664	2,3742
Su teresi	0,00	95,00	32,03	59,44	110,29	161,15	0,001136067	2,6399
Şalgam (kök)	0,00	95,00	11,89	24,41	26,18	70,16	0,000172106	2,901
Şeftali (olgun)	-0,50	93,00	13,65	20,80	41,60	100,85	0,000034832	3,3676
Tamarillo	3,50	93,00	21,70	31,44	32,59	54,19	0,0408962	1,496
Trabzon hurması	0,00	93,00	16,11	26,85	37,6	48,34	0,014545162	1,722
Turp (alabaş)	0,00	90,00	30,62	57,50	61,13	145,09	0,001532027	2,543
Turp (kış)	0,00	98,00	16,11	21,48	34,91	77,88	0,000542683	2,628
Turp (mor)	0,00	98,00	17,99	35,03	37,37	93,21	0,000542683	2,689
Turp (yabani)	-2,20	98,00	24,38	41,45	43,65	90,36	0,004914575	2,141

Tablo 4. Meyve ve sebzelerin farklı sıcaklıklardaki solunum ısı (mW/kg) değerleri ve katsayıları

MEYVE VE SEBZE	Muh. Sıcaklığı	Bağlı Nem	Solunum ısı (mW/kg)				Solunum katsayıları	
	[°C]	[%]	0 °C	5 °C	10 °C	15 °C	f	g
Üzüm (amerikan)	0,00	93,00	9,14	20,14	21,75	64,26	4,91061E-05	3,187
Üzüm (bektaş)	0,00	98,00	21,32	47,77	51,67	156,21	9,04682E-05	3,255
Üzüm (frenk, siyah)	2,50	95,00	4,90	11,85	21,80	29,40	0,000500394	2,4146
Üzüm (taze)	-0,50	93,00	9,14	18,78	20,14	54,10	0,00012949	2,907
Vişne	-0,50	93,00	25,40	34,85	69,45	103,65	0,002098001	2,372
Yaban mersini	0,25	93,00	16,11	32,22	48,34	64,45	8,17855E-05	3,1049
Yer elması	0,00	93,00	30,53	71,43	77,58	248,86	7,07503E-05	3,4295
Yıldız meyvesi	7,50	93,00	29,54	53,70	56,91	129,14	0,002335996	2,411
Zeytin (taze)	6,00	93,00	21,57	40,28	75,20	118,17	0,000451448	2,789

Not: Tablodaki kırmızı renkli değerler literatürde olmayıp diğer değerlere bağlı tahmin değerlerini ifade etmektedir.

SOLUNUM VE TAZE HAVA ISI KAZANCI HESABI	
MEYVE-SEBZE CİNSİ	Salatalık
ÜRÜN MİKTARI	300 [ton]
ÖNERİLEN DEPO İÇ SICAKLIĞI	11 [°C]
HESAPLAMA SICAKLIĞI	7 [°C]
BİRİM CO <sub>2</sub> ÜRETİMİ	26,12 [mg/kg.h]
TOPLAM CO <sub>2</sub> ÜRETİMİ	7836172 [mg/h]
SOLUNUM ISISI KAZANCI	23291 [W]
DEPONUN TAZE HAVA DEBİSİ	3134 [m <sup>3</sup> /h]

Şekil 3. Solunum katsayılarına bağlı olarak solunum ısı kazancını ve taze hava debisini hesaplayan yazılım arayüzü

## SEMBOL LİSTESİ

$\dot{m}_{CO_2}$	Birim ürün kütlesi başına karbondioksit üretimi [mg/kg h]
$\Sigma CO_2$	Karbondioksit üretim hızı [mg/h]
f ve g	Solunum katsayıları [-]
SM	Zararlı gaz üretim hızı [mg/h]
$\dot{V}_h$	Kirlenici gazları seyreltmek için gereken hava debisi [m <sup>3</sup> /h]
$\dot{V}_s$	Soğuk depo içine sızan hava debisi [m <sup>3</sup> /h]
$K_i$	Müsaade edilen iç hava derişikliği [mg/kg] veya [ppm]
$K_d$	Dış hava zararlı madde derişikliği [mg/kg] veya [ppm]
W	Solunuma bağlı ısı üretim hızı [W/kg]

## SEMBOL LİSTESİ

$q_s$	Solunum ısısı [mW/kg]
$T_m$	Ortalama ürün sıcaklığı [°C]
$M$	Ürün kütlesi [kg]
$n$	Hava değişim sayısı [1/24 h]
$V$	Soğuk oda hacmi [m <sup>3</sup> ]

## 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] 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.
- [4] Meyve ve Sebzelerin Soğukta Muhafazası, <http://www.food.hacettepe.edu.tr/turkish/ouyeleri/gmu809/Sogukta%20Muhafaza.pdf>
- [5] Sastry, S.K., C.D. Baird, and D.E. Buffington. 1978. Transpiration Rates of Certain Fruits and Vegetables. ASHRAE Transactions 84(1): 237-254.
- [6] USDA. 1986. The Commercial Storage of Fruits, Vegetables, and Florist and Nursery Stocks, Agricultural Handbook Number 66, United States Department of Agriculture.
- [7] Chau, K.V., R.A. Romero, C.D. Baird, and J.J. Gaffney. 1987. Transpiration Coefficients of Fruits and Vegetables in Refrigerated Storage. ASHRAE Report 370-RP. Atlanta: ASHRAE.
- [8] Gan, G., and J.L. Woods. 1989. A Deep Bed Simulation of Vegetable Cooling. In Agricultural Engineering, ed. V.A. Dodd and P.M. Grace, pp. 2301-2308. Rotterdam: A.A. Balkema.
- [9] Bulgurcu, H. Klima Tesisatı, 840 Sayfa, Makine Mühendisleri Odası Yayını No:663, Mayıs, İstanbul 2016.
- [10] Nuri ÖZKOL, Uygulamalı Soğutma Tekniği, 2010, MMO Yayın No:115, ISBN: 978-605-01-0001-3
- [11] University of California Division of Agriculture and Natural Sources, 2020. [http://postharvest.ucdavis.edu/Commodity\\_Resources/Fact\\_Sheets/](http://postharvest.ucdavis.edu/Commodity_Resources/Fact_Sheets/)
- [12] <https://www.unitedfresh.org/content/uploads/2019/01/Generation-of-Heat-in-Fresh-Produce.pdf>

[13] 2006 ASHRAE Handbook-Refrigeration (SI), Thermal Properties of Foods

## ÖZGEÇMİŞLER

## Hüseyin 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.

## Necati KOÇYİĞİT

1965 yılında Trabzon Araklı'da doğdu. 1988 yılında Marmara Üniversitesi (M.Ü) Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Dalı'nda Lisans, 1991 yılında M.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü'nde Yüksek Lisans, 2008 yılında aynı Enstitüde Doktora derecesi aldı. 2010 yılında Y. Doçent Dr. oldu. 1993-2012 yılları arasında Rize Meslek Yüksekokulu'nda (RMYO) İklimlendirme ve Soğutma Programı'nda Öğretim Elemanı olarak çalıştı. 1994-1995 yılları YÖK-Dünya Bankası Endüstriyel Eğitim Projesi kapsamında İngiltere'de araştırmalarda bulundu. 2012-2016 yılları arasında RTE Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Enerji Sistemleri Mühendisliği'nde Öğretim Üyesi olarak görev yaptı. 2013-2014 yıllarında ABD Miami Florida International University'de 15 ay doktora sonrası araştırma yaptı. 2017 yılında emekli oldu.