



SEBZE VE MEYVELERİN HASAT SONRASI ÖNSOĞUTULMASI YÖNTEMLERİ VE HESAPLAMA PRENSİPLERİ

Methods And Calculation Principles Of Precooling For Vegetables And Fruits Postharvest

**Turan Erkan
Ali Güngör**

ÖZET

Önsoğutma (Precooling), meyve ve sebzelerin hasat sonrası tarla sıcaklığının düşürülmesi için ürün çeşitliliğine uygun metotlar kullanılarak ısısının kütesinden hızla uzaklaştırılması işlemidir.

Önsoğutma, hasat sonrası çürümeye neden olan mikroorganizmaların çoğalmasını engeller, enzimatik ve solunum aktivitesini ve nem kaybını azaltır.

Bu nedenle uygun Önsoğutma, ürünün kalite kaybını yavaşlatarak raf ömrünü uzatır.

Önsoğutma, ürünleri sabit bir sıcaklıkta tutan soğuk depolara göre daha büyük soğutma kapasitesi ve özel soğutma metodu gerektirir. Önsoğutma, ürünün hasat sonrası muamelesi (boylama, paketleme v.b.) sürecinde uygulanan süresi tanımlı operasyonel soğutmadır.

Bu nedenle Önsoğutma, tipik olarak soğuk depolarda uygulanan teknolojiye ayrı, farklı bir işlemdir ve özel olarak tasarlanmış ekipman gerektirir. Önsoğutma işlemi, hava ile soğutma, vakum etkisi ile soğutma, soğuk su ile soğutma ve buzla temas dahil olmak üzere çeşitli yöntemlerle yapılabilir. Bu yöntemler ürünün kütesinden ısıyı, su, hava veya buz gibi bir soğutma ortamına hızla aktarır. Bu bildiride sebze ve meyvelerin ön soğutulması projelendirme ilkeleri, yöntemleri ve tasarımda kullanılabilecek tasarım eşitlikleri verilip tartışılacaktır.

Anahtar Kelimeler: önsoğutma, önsoğutma yöntemleri, önsoğutmanın tasarım prensipleri.

ABSTRACT

Precooling is the process of rapidly removing the heat from the mass of fruits and vegetables by using methods suitable for the product variety in order to reduce the field temperature after harvest.

Precooling prevents the growth of microorganisms causing decay after harvest, reduces enzymatic and respiratory activity and moisture loss.

Therefore, proper precooling slows down the loss of product quality and extends the shelf life.

Precooling requires a larger cooling capacity and special cooling method than cold storages that keep products at a constant temperature. Precooling is operational cooling with a defined duration applied during the post-harvest treatment (sorting, packaging etc.) process of the product.

Precooling is therefore a separate process from the technology typically applied in cold stores, and requires specially designed equipment. Precooling can be done by a variety of methods, including air cooling, vacuum cooling, hydro-cooling, and ice contact. These methods quickly transfer heat from the

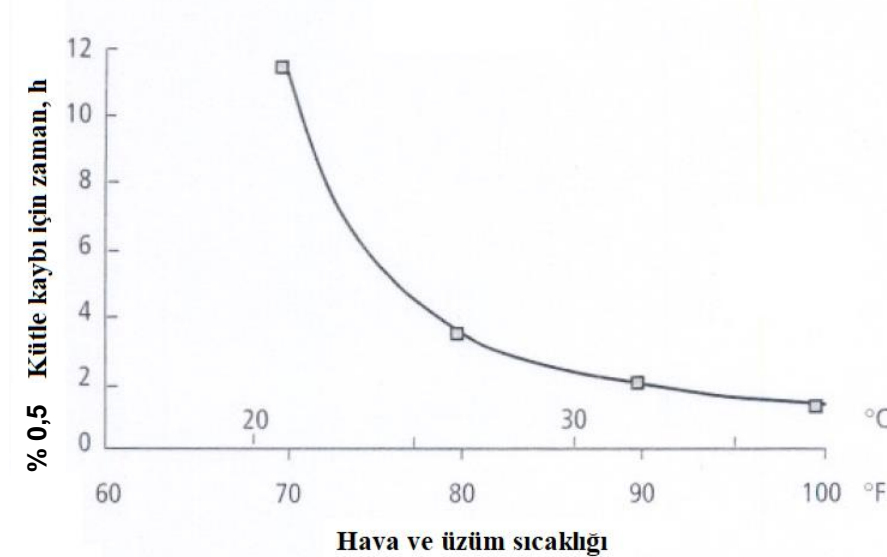
mass of the product to a cooling medium such as water, air or ice. In this paper, precooling of vegetables and fruits will be given and discussed the design principles, methods and design equations that can be used in design.

Key Words: Precooling, precooling methods, design principles of precooling.

1. GİRİŞ

Ürün sıcaklığını kontrol etmek ve ürünün optimalin altındaki sıcaklıklarda kaldığı süreyi azaltmak, bozulabilir maddelerdeki kalite kaybını yavaşlatmanın en önemli yöntemleridir.

Hasat sonrası sıcaklık yönetimi, hasat ve hasat sonrası işlemlerinin planlanmasıyla başlar. Bazı ürünler sıcaklığa karşı o kadar hassastır ki, sıcaklıklar çok yüksek olduğunda hasat edilmemelidir. Örneğin, sofralık üzümler, yaklaşık % 2 kütle kaybında sap buruşma belirtileri gösterir ve sap kalitesi tüketici düzeyinde muhafaza edilecekse, meyve, hasat ile soğumanın başlangıcı arasında yaklaşık % 0,5'ten fazla kütle kaybına maruz bırakılmamalıdır. Üzümler soğumadan önce 20°C'de 8 saatten fazla tutulabilse de, 30°C'de toplamadan sonra soğutmaya 2,5 saat içinde başlanmalıdır (Şekil 1.). Bazı üreticiler, hasattan sonra aşırı sıcağa maruz kalmamak için geceleri hasat yapar ve güneş doğduktan sonra 1 saat içinde hasat işlemi sonlandırılır.



Şekil 1. Hasatta sofralık üzüm sıcaklığının, meyvelerin hasat kütlelerinin % 0,5'ini kaybetmesi için gereken süreye etkisi [6].

Ürünü sıcaklığın neden olduğu hasardan korumanın diğer yöntemleri.

- Hasat bölgesinde, hasat edilen ürünlerin bekletilmesine fırsat vermeden soğutmanın yapılacağı tesise sık sık taşımalar yapılması.
- Ürünlerin açık renkli kaplara konulması.
- Doğrudan güneşe maruz bırakılırsa kapların üzeri uygun bir kapakla kapatılmalıdır.
- Geçici alan depolaması yapılması gerekiyor ise gölgeli bir alan kullanılmalıdır. Örneğin, bir ağaç gölgesi kullanılmak isteniyor ise, gölgenin gün boyunca güneşle birlikte hareketine dikkat edilmelidir.
- Kısa menzilli taşımalarda, üstü kapalı küçük kamyonlar kullanılmalıdır. Uzun menzilli taşımalarda soğutmalı (frigorifik) kamyonlara gereksinim vardır.
- Ürün soğutma tesisine geldikten sonra mümkün olan en kısa sürede soğutmaya başlanmalıdır.

Bazı ürünler, hasat ve önsoğutmaya alınması arasında oldukça uzun bir süreye dayanabilir. Örneğin, kontrollü atmosfer depolamaya konulan elmalar, genellikle hasattan sonraki birkaç güne kadar optimum depolama sıcaklığına ulaşmaz; ihraç edilen Kaliforniya portakalları, denizde birkaç gün geçene kadar en iyi saklama sıcaklığına ulaşamayabilir. Hızlı soğutma gerektirmeyen ürünler

genellikle yavaş solunum hızlarına, düşük nem kaybı (buhar ve terleme) oranlarına sahiptir ve genellikle ılıman sıcaklıkların olduğu iklimlerde yetiştirilir.

Tarım ürünlerinin optimum depolama sıcaklıklarına yakın olan önsoğutma yöntemleri, oda soğutması, zorlanmış hava akımlı soğutma, soğuk su ile soğutma, paket buzlama ve vakumla soğutma gibi çeşitli soğutma yöntemleriyle yapılabilir. İleriki bölümlerde ayrıntılarıyla verilecektir. Gemilerde veya soğutulmuş deniz konteynerlerinde mekanik soğutma, nakliye sırasında birbiriyle uyumlu ürünlerin soğutulması için kullanılır.

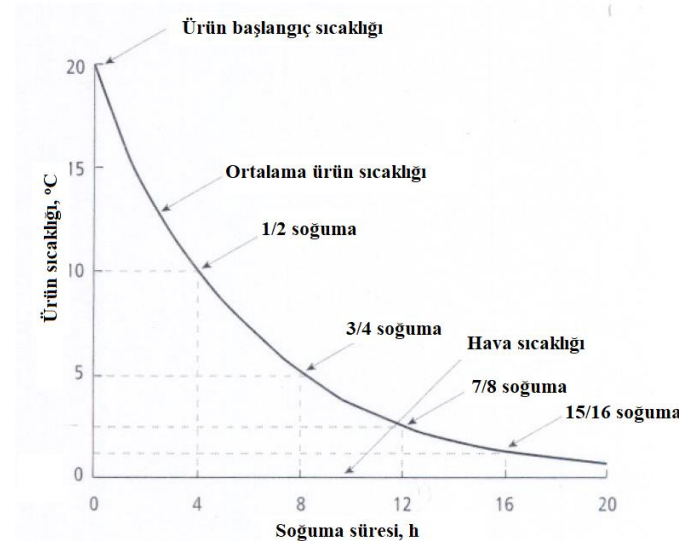
Hızlı soğutma yapılması özelliklerine sahip en çok kullanılan soğutma yöntemleri (örneğin, Zorlanmış Hava Akımlı Soğutma, Soğuk Su ile Soğutma ve Vakumla Soğutma) geniş bir ürün yelpazesi için kullanılmaktadır.

Bazı ürünler birkaç yöntemle soğutulabilir, ancak çoğu ürün bir veya iki soğutma yöntemine en iyi şekilde yanıt verir. Değişik ürünler için ön soğutma yöntemi seçimi, 3.7. bölümde tartışılmıştır.

Çoğu kullanıcı "soğutmayı tamamlama" zamanıyla ilgilenir ve bu genellikle depolamaya veya nakliyeye geçmeden önce istenen sıcaklığa ulaşma süresi anlamına gelir. Yine de soğutma süreleri genellikle "yarı soğuma (1/2 soğuma)" veya "sekizde yedi soğuma (7/8 soğuma)" süreleri olarak rapor edilir. Yarı soğuma süresi, ürünün başlangıç sıcaklığından soğutma ortamının sıcaklığı farkının yarısına kadar soğutulması için geçen süredir. Sekizde yedi soğuma süresi, yarı soğumadan üç kat daha uzundur ve ürün sıcaklığının, başlangıç ürün sıcaklığı ile soğutma ortamının sıcaklığı arasındaki farkın sekizde yedisi kadar düşmesi için gereken süredir.

Bu soğutma sürelerinin her ikisi de, belirli bir soğutma sisteminde belirli bir paket tipi için sabit değerlerdir ve değişen başlangıç ürün sıcaklıklarından veya değişen soğutma ortamı sıcaklığından etkilenmez.

Bağ bahçe ürünleri soğudukça, soğutma ilerledikçe sıcaklık düşüş oranları yavaşlar. Örneğin, başlangıç posası sıcaklığı 20°C olan şeftaliler için, Zorlanmış Hava Akımlı Soğutma ile 0°C oda sıcaklığında yarı soğutmak (yani, 10°C'ye soğutmak) 4 saat sürer. Bunları 5°C'ye soğutmak 4 saat daha sürer ve sekizde yedi soğutmaya (yaklaşık 2.5°C) ulaşmak için 4 saat daha gerekir (Şekil 2.). Sekizde yedi soğutma veya üç yarı soğuma süreleri (bu örnekte 12 saat), genellikle referans soğuma süresi olarak kullanılır.



Şekil 2. Bozulabilir ürünler için tipik soğuma eğrisi. Orta miktarda hava akışına maruz kalan şeftali gibi büyük meyveler için soğuma süreleri tipiktir [6].

Hem ilk ürün sıcaklığı hem de soğutkan (soğutucu akışkan) sıcaklığı bir ürünün soğuma süresini etkiler. Yukarıda belirtilen örnekteki şeftaliler sabah hasat edilebilir, ancak öğleden sonra sıcak bir

Kaliforniya gününde, 40°C civarında posa sıcaklıklarına sahip olabilirler, bu durumda 0°C soğutma ile sabah hasat edilen aynı 25°C posa sıcaklıklarına ulaşmak için ek bir 4 saatlik yarı soğuma süresi (16 saat toplam süre) gerekecektir. Soğutma havası sıcaklığı 1.2°C olsaydı, başlangıç sıcaklığı 20°C olan şeftalileri soğutmak da 4 yarı soğuma periyodu veya 16 saat gerektirirdi. Oda içinde ve basınçlı hava etkili soğutucularla, soğuk havaya en yakın ürün, soğuk havadan en uzaktaki ürüne göre fark edilir derecede daha hızlı soğur. Soğutucuların, önsoğutma işlemi durdurulmadan önce en sıcak ürünün kabul edilebilir düşük sıcaklıklara ulaşması kontrol edilerek çalışmaları sağlanmalıdır.

Hasat sonrası bozulmanın nedenleri

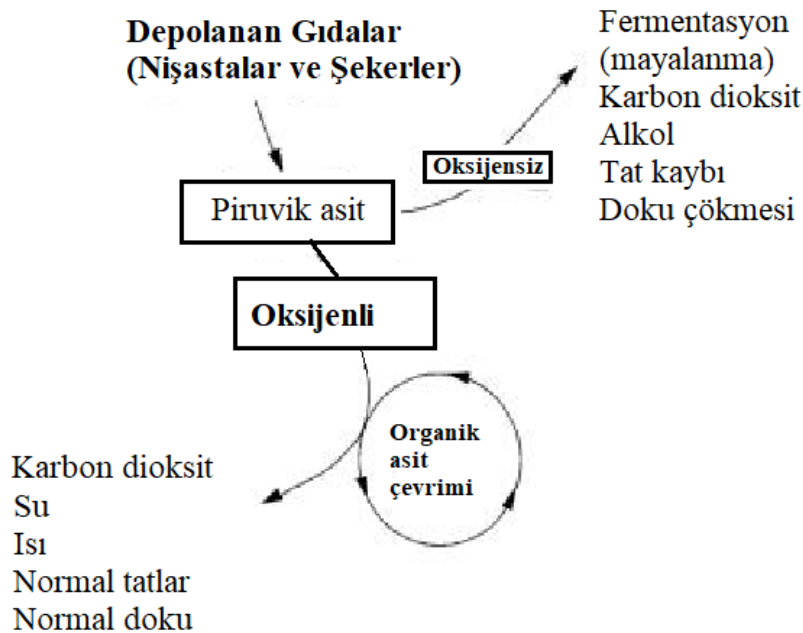
Meyveler, sebzeler ve çiçekler, bitkilerle ilişkili tüm fizyolojik ve patolojik süreçlerden geçen canlı organizmalardır. Hasattan sonra temel kimyasal ve fizyolojik faaliyetleri sürdürmek için bitkiler, depolanan gıda rezervlerinden enerji alırlar.

Toplandıktan sonra sürekli bozuldukları için, yavaşlatılan bozulma süreçleri başarılı pazarlama için yeterli zaman sağlar, yaygınlaşması ile global fire ve kayıplar azaltılmış olur.

Fizyolojik bozulma, doku nem kaybında fiziksel yaralanma veya mikroorganizma tarafından istila, ürün hasarına neden olabilir. Taze ürünlere saldıran çürümeye neden olan mantarlar ve bakteriler de canlı organizmalardır ve hasat sonrası kayıplara büyük katkıda bulunurlar. Bazı çürüme organizmaları, sağlıklı dokuya doğrudan nüfuz edebilir; diğerleri ancak ürün zayıflatıldıktan veya yaralandıktan sonra girer. Bozulabilir her ürün, bitki dokusu ve mikroorganizmalardan oluşan karmaşık bir canlı sistemdir ve tatmin edici ürün yönetimi, mikroorganizmaların büyümesini ve yayılmasını engellerken, ürünün korunmasını gerektirir.

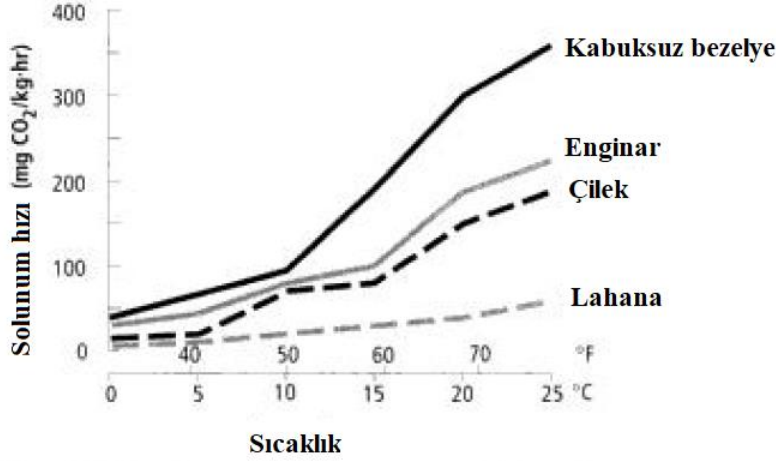
Yukarıdaki faktörlerin tümü birbiriyle ilişkili olabilir ve tümü sıcaklıktan etkilenir. Bu nedenle, ürün uygun şekilde korunacaksa, soğutmanın bozulmanın nedenleri ve etkileri ile ilişkisini anlamak çok önemlidir.

Diğer tüm canlı organizmalar gibi, taze meyve ve sebzeler de karmaşık bir dizi kimyasal reaksiyonla nefes alır. Basitçe ifade edersek, dokularında depolanan nişastalar ve şekerler karbondioksit ve suya dönüştürülür. İşlem (Şekil 3.), depolanan gıda rezervlerinden gelen enerjiyi ve çevredeki havadan oksijeni kullanır. Oksijen Emilimi engellenirse, normal solunum devam edemez ve fermantasyon, ürünü hızla yok eder.



Şekil 3. Bitki terlemesinin basit açıklaması için [6].

Solunum süreçlerinin bir sonucu olarak açığa çıkan ısı, fotosentez sırasında bitkide orijinal olarak depolanan enerjinin bir kısmını temsil eder. Üretilen ısı miktarı ürüne göre ve hatta çeşitler arasında büyük ölçüde değişiklik gösterir (Şekil 4.). Bazı üzüm ve elma türleri gibi uzun depolama ömürleri ile dikkat çeken meyveler tipik olarak düşük solunum hızlarına sahiptir ve nispeten az ısı açığa çıkarır.



Şekil 4. Bazı ürünlerin solunum hızı üzerine ürün sıcaklığının etkisi [6].

Brokoli ve kuşkonmaz gibi bazı sebzeler yüksek solunum hızlarına sahiptir ve büyük miktarda ısı açığa çıkarır. Çilek gibi çabuk bozulan meyveler, ara miktarlarda ısı açığa çıkarır.

Bozulmayı sağlayan nedenler, yüksek ürün sıcaklıklarında daha etkindir. Sıcaklık yönetiminin bozulmanın nedenleri ve etkileri ile olan ilişkisini anlamak, ürünü uygun şekilde korumak için çok önemlidir.

Ürün nem kaybının hesaplanması.

Nem kaybı oranı, bir ürün ile onu çevreleyen hava arasındaki buhar basıncı farkı hesaplanarak ve bu basınç farkını ürünün terleme katsayısı ile çarpılarak tahmin edilebilir. Örneğin, 0°C'deki havuçlar 0°C, yüzde 90 bağıl nemde hareketli havaya maruz kalırsa, buhar basıncı farkı şöyle olur: havuçta buhar basıncı:

$$P_{v,havuç} = \frac{0.00380 \times 0.101}{0.622} = 0.000617 \text{ MPa}$$

0,00380 kg_w/kg_a, 0°C ve yüzde 100 bağıl nemdeki hava için özgül nem değeridir; ve havadaki buhar basıncı:

$$P_{v,hava} = \frac{0.00340 \times 0.101}{0.622} = 0.000552 \text{ MPa}$$

0,00340 kg_w/kg_a, 0°C ve yüzde 90 bağıl nemde hava için özgül nemdir. Bu nedenle özgül nem kaybı oranı:

$$\begin{aligned} \dot{m}_w &= (P_{v,havuç} - P_{v,hava}) \times C_{terleme} \\ \dot{m}_w &= (0.000617 - 0.000552) \text{ MPa} \times 1,207 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{MPa}^{-1} = 0.0785 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} \end{aligned}$$

burada 1,207 mg.kg⁻¹.s⁻¹.MPa⁻¹, Tablo 1.'deki değerlerden, havuçların terleme katsayısıdır.

Tablo 1. Seçilmiş meyve ve sebzeler için terleme katsayısı [6].

Ürün	Terleme katsayısı, $C_{terleme}$ $mg.kg^{-1}.s^{-1}.MPa^{-1}$	Literatürde belirtilen terleme katsayısı aralığı, $mg.kg^{-1}.s^{-1}.MPa^{-1}$
Elma	42	16-100
Patates	44	2-171
Soğan	60	13-123
Greyfurt	81	29-167
Portakal	117	25-227
Erik	136	110-221
Domates	140	71-365
Limon	186	139-229
Lahana	223	40-667
Şalgam	469	-
Şeftali	572	142-2,089
Pırasa	790	530-1,042
Havuç	1,207	106-3,250
Kereviz	1,760	104-3,313
Yaban havucu	1,939	1,094-2,771
Brüksel lahanası	6,150	3,250-9,770
Marul	7,400	680-8,750

Bu oran günde yüzde 0.68 kilo kaybına denk gelmektedir. Bu su kaybı oranı, hava akımı önünden geçen korumasız bir ürün için meydana gelir. Çoğu durumda ürünler, çevrelerindeki havanın nemini artıran ve nem kaybını önemli ölçüde azaltan bir torba veya kap içine yerleştirilir. Bu durumlarda, ürün nem kaybı oranı, ürünün yüzeyindeki kayıp oranıyla değil, ambalajdaki nem kaybı oranıyla kontrol edilir.

ÖNSOĞUTMA(*Precooling*), nakliye, depolama veya işlemeden önce hasat edilmiş meyve ve sebzelerden tarla ısısının hızla uzaklaştırılması işlemidir. Önsoğutma, çürümeye neden olan mikroorganizmaların büyümesini engeller, enzimatik ve solunum aktivitesini azaltır, etilen hasarına duyarlılığı azaltır ve nem kaybını azaltır. Böylece uygun önsoğutma uygulaması, bozulmayı azaltır ve ürünün hasat öncesi özelliklerinden kalite kaybını geciktirir (Becker ve Fricke 2002).

Önsoğutma, ürünü sabit bir sıcaklıkta tutan depolama odalarından farklı olarak, daha fazla soğutma kapasitesi ve soğutma etkisi gerektirir. Bu nedenle, önsoğutma tipik olarak soğuk depolamadan ayrı bir işlemdir ve özel olarak tasarlanmış ekipman gerektirir (Fricke ve Becker 2003).

Önsoğutma, hava ile soğutma, su ile soğutma, vakumla soğutma ve temaslı buzlama ile olmak üzere çeşitli yöntemlerle yapılabilir. Bu yöntemler, ısıyı üründen hava, su veya buz gibi bir soğutma ortamına hızla aktarır. Birkaç dakikadan 24 saate kadar soğutma süreleri gerekebilir. Özelliklerinin geliştirilmesi ve buna bağlı olarak da sistem verimlerinin artırılması amacıyla birçok bilimsel çalışma yapılmış ve yapılmaya devam edilmektedir.

Hasat sonrası işleme ve depolama sırasında, taze meyve ve sebzeler buhar ve terleme yoluyla yüzeylerinden nem kaybederler. Nem kaybı yüksekse, büzülme veya bozulmuş tat gibi ürün bozulmaları ortaya çıkabilir. Buhar ve terleme yoluyla oluşan kayıpları en aza indirmek ve pazar kalitesini ve raf ömrünü artırmak için, ürünler düşük sıcaklıkta, yüksek nemli bir ortamda saklanmalıdır. Ambalaj sırasında terlemeyi önemli ölçüde azaltmak ve saklama ömrünü uzatmak için çeşitli ürün yüzey kaplamaları ve nem geçirmez filmler de kullanılabilir (Becker ve Fricke 1996).

Taze meyve ve sebzelerde metabolik aktivite hasattan sonra kısa bir süre devam eder. Bu aktiviteyi sürdürmek için gereken enerji, şekerlerin oksidasyonunu içeren solunumdan gelir ve bu işlemle karbondioksit, su ve ısı açığa çıkar. Bir ürünün saklama ömrü, solunum aktivitesinden etkilenir. Bir ürünün depolanması sıcaklık yönetimi ile birlikte kullanılabilir, solunumu yavaşlatılır ve yaşlanma gecikir, böylece depolama ömrü uzar.



Bir ürünü çevreleyen oksijen ve karbon dioksit konsantrasyonlarının uygun kontrolü, solunum hızını yavaşlatmak için sıcaklık yönetimi ile birlikte kullanılabilir (Becker ve Fricke 1996).

Hasat olgunluğu ve çevre ile ilgili ürün fizyolojisi hasat zamanındaki sıcaklık, büyük ölçüde önsoğutma gereksinimlerini ve yöntemlerini belirler.

Bazı ürünler son derece çabuk bozulur ve hasattan sonra mümkün olan en kısa sürede soğumaya başlamalıdır; Örnekler arasında kuşkonmaz, taze fasulye, brokoli, karnabahar, tatlı mısır, kavun, yaz kabağı, olgunlaştırılmış domates, yapraklı sebzeler, enginar, brüksel lahanası, lahana, kereviz, havuç, sultani bezelye ve turp yer alır.

Beyaz patates, tatlı patates, kış kabağı, balkabağı ve olgun yeşil domates gibi daha az çabuk bozulan ürünlerin daha yüksek bir sıcaklıkta sertleştirilmesi gerekebilir. Bu ürünlerin soğutulması o kadar önemli değil; bununla birlikte, hasat sırasında ortam sıcaklığı yüksekse, biraz soğutma gereklidir.

Hemen önsoğutmaya ihtiyaç duyan ticari açıdan önemli meyveler arasında kayısılar; avokado; kızılıklık hariç tüm meyveler; turta kirazları; şeftali ve nektarin; erik; guava, mango, papaya ve ananas gibi tropikal ve subtropikal meyveler yer alır.

Bu grubun tropikal ve subtropikal meyveleri soğuktan zarar görmeye yatkındır ve bu nedenle bireysel sıcaklık gereksinimlerine göre soğutulmaları gerekir. Tatlı kirazlar, üzümler, armutlar ve turunçgillerin hasat sonrası ömrü daha uzundur, ancak bekletme sırasında yüksek kaliteyi sürdürmek için hızlı soğutma şarttır. Muzlar yeşil rengiyle hasat edilir ve uygun sıcaklıkta soğuk depolanır, pazara gidecek muzlar depodan çıkarıldıktan sonra özel olgunlaştırma işlemine tabi tutulur, bu işlem sonucunda muz sarı rengini alır ve olgunlaştırılmış muzların ömrü çok kısa olduğu için birkaç gün içinde tüketilmelidir. Bu nedenle olgunlaştırılmış muzlar daha uzun dayanması için buzdolabına koyarak soğutulmamalıdır. "ASHRAE Fundamentals Handbook 2018", Bölüm 21'de, birçok ürün için önerilen saklama sıcaklıkları verilmiştir [1].

2 HESAPLAMA YÖNTEMLERİ

2.1 Isı yükü

Önsoğutma için gereken soğutma kapasitesi, bir ürünü sabit bir sıcaklıkta tutmak veya yavaş soğutma için gereken soğutma kapasitesinden çok daha fazladır. Etkili önsoğutma için yeterli soğutma kapasitesine sahip olmak zorunlu olmakla birlikte, normalde gerekenden daha fazla kapasitelere sahip olmak ekonomik değildir. Bu nedenle, bir önsoğutma sistemindeki ısı yükü mümkün olduğunca doğru bir şekilde belirlenmelidir.

Toplam ısı yükü üründen, çevreden, hava infiltrasyonundan ürün ve taşıma kaplarından ve motorlar, ışıklar, fanlar ve pompalar gibi ısı üreten cihazlardan gelir. Ürün ısı, toplam ısı yükünün büyük bir kısmını oluşturur ve ürün sıcaklığına, soğutma hızına, belirli bir sürede soğutulan ürün miktarına ve ürünün özgül ısısına bağlıdır.

Solunumdan gelen ısı, ürünün ısı yükünün bir parçasıdır, ancak genellikle küçüktür. "ASHRAE Fundamentals Handbook 2018", Bölüm 24, soğutma yükünün nasıl hesaplanacağını daha ayrıntılı olarak tartışmaktadır.

Isı yükünü doğru hesaplamak için ürün sıcaklığının doğru belirlenmesi gerekir. Hızlı ısı transferi sırasında üründe bir sıcaklık gradyanı oluşur ve daha hızlı soğutma daha büyük gradyanlara neden olur. Bu gradyan, ürün özelliklerinin, yüzey ısı transfer parametrelerinin ve soğutma hızının bir fonksiyonudur. Başlangıçta, örneğin, soğuk su ile soğutma, bir ürünün dış tarafının sıcaklığını hızla düşürür, ancak merkez sıcaklığını hiç değiştiremeyebilir. Ürün kütesinin çoğu dış kısımdadır. Bu nedenle, merkez sıcaklığına dayalı hesaplamalar çok az ısı giderimi gösterecektir, ancak aslında

önemli miktarda ısı çıkarılmıştır. Bu nedenle, ürün ısı yükü hesaplamaları için ürün kütle ortalama sıcaklığı kullanılmalıdır (Smith ve Bennett 1965).

Ürün soğutma yükü daha sonra şu şekilde hesaplanabilir:

$$Q = mc_p(T_i - T_{mü}) \quad (1)$$

burada m soğutulan ürün kütlesi, c_p ürünün özgül ısısı, T_i ürünün başlangıç sıcaklığı ve $T_{mü}$ ürünün son kütle ortalama sıcaklığıdır. Çeşitli meyve ve sebzelerin özgül ısıları “*Ashrae Fundamentals Handbook 2018*”, Bölüm 19’da bulunabilir.

2.2 Önsoğutma Süresi Tahmin Yöntemleri

Verimli önsoğutma işlemi şunları içerir:

(1) Sabit bir soğutma ortamı sıcaklığını korumak için soğutma ekipmanının uygun boyutlandırılması, (2) soğutma ortamının yeterli akışı ve (3) soğutma ortamında uygun ürün kalma süresi. Bu nedenle, bir ön soğutucuyu düzgün bir şekilde tasarlamak için, malların başlangıç sıcaklıklarından (genellikle hasattaki ortam sıcaklığı) son sıcaklığa kadar, nakliye ve/veya depolamadan hemen önce soğutulması için gereken süreyi tahmin etmek gerekir. Belirli bir soğutma ortamı sıcaklığı ve akış hızı için, bu soğutma süresi, düzgün soğutma için gerekli olan önsoğutma sürecinde kalma süresini belirler (Fricke ve Becker 2003).

Önsoğutma sürelerinin doğru tahminleri, sonlu elemanlar veya sonlu farklar bilgisayar programları kullanılarak elde edilebilir, ancak gereken çaba bunu tasarım veya proses mühendisi için kullanışsız hale getirir.

Ek olarak, iki ve üç boyutlu simülasyonlar, zaman alan veri hazırlığı ve önemli hesaplama süresi gerektirir.

Bugüne kadar yapılan araştırmaların çoğu, basitleştirici varsayımlar kullanan, ancak yine de doğru sonuçlar üreten yarı analitik/deneysel önsoğutma süresi tahmin yöntemlerinin geliştirilmesinde olmuştur.

2.3 Kesirli Tamamlanmamış Sıcaklık Farkı

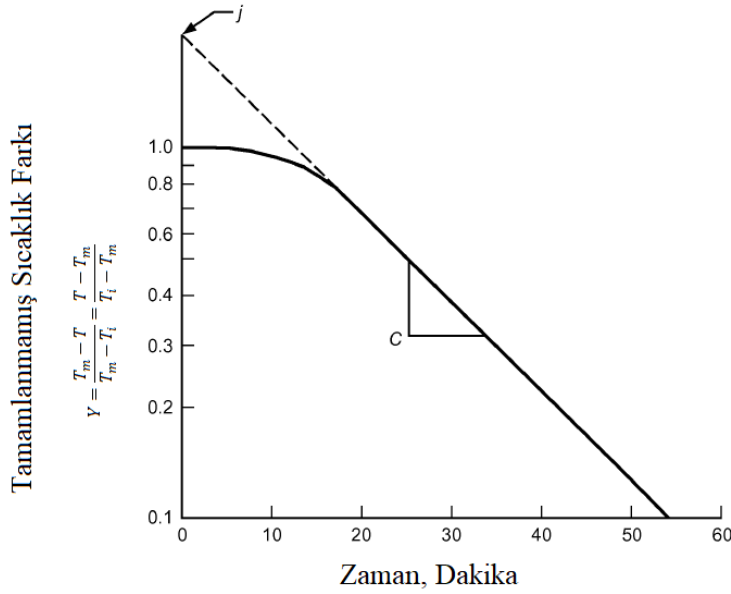
Tüm soğutma işlemleri benzer davranış sergiler. İlk gecikmeden sonra, yiyeceğin termal merkezindeki sıcaklık katlanarak azalır.

Şekil 5’de gösterildiği gibi, bu davranışı tasvir eden bir soğuma eğrisi, yarı-logaritmik eksenler üzerinde, zamana göre kesirli tamamlanmamış sıcaklık farkı Y [Denklem (2)] (Stoecker 1998) çizilerek elde edilebilir.

$$Y = \frac{T_m - T}{T_m - T_i} = \frac{T - T_m}{T_i - T_m} \quad (2)$$

burada T_m , soğutma ortamı sıcaklığıdır, T_i ilk ürün sıcaklığıdır ve T , ürün son kütle ortalama sıcaklığıdır.

Bu yarı-logaritmik sıcaklık değişimi eğrisi, bir başlangıç eğrisel bölümden ve ardından doğrusal bir bölümden oluşur. Meyve ve sebzelerin soğuma süresini tahmin etmek için bu soğutma davranışını modelleyen, yarı soğuma süresi ve soğutma katsayısı gibi basit ampirik formüller önerilmiştir.



Şekil 5. Tipik bir ürün soğuma eğrisi [1].

Yarı Soğuma Süresi

Soğutma sürecini karakterize etmek için kullanılan yaygın bir kavram, ürün ile soğutma ortamı arasındaki sıcaklık farkını yarı yarıya azaltmak için gereken süre olan yarı soğuma süresidir (Becker ve Fricke 2002). Bu, tamamlanmamış kısmi sıcaklık farkını Y , yarıya indirmek için gereken süreye de eşdeğerdir.

Yarı soğuma süresi başlangıç sıcaklığından bağımsızdır ve soğutma ortamı sıcaklığı sabit kaldığı sürece soğutma süresi boyunca sabit kalır (Becker ve Fricke 2002).

Bu nedenle, belirli bir ürün için yarı soğuma süresi belirlendikten sonra, ürünün başlangıç sıcaklığı veya soğutma ortamı sıcaklığından bağımsız olarak soğutma süresi tahmin edilebilir. Yarı soğuma süreleri ile birlikte kullanıldığında meyve ve sebzeler için soğuma sürelerinin tahminlerini sağlayabilen ürüne özel nomograflar geliştirilmiştir (Stewart ve Couey 1963).

Buna ek olarak, yarı soğuma sürelerine dayalı olarak ürünlerin soğuk su ile soğutma sürelerini hesaplamak için genel bir nomograf (Şekil 6.) oluşturulmuştur (Stewart ve Couey 1963).

Şekil 6.'da, ürün sıcaklığı, yatay eksen boyunca yarı soğuma periyotlarında ölçülen zamana karşı dikey eksen boyunca çizilmiştir.

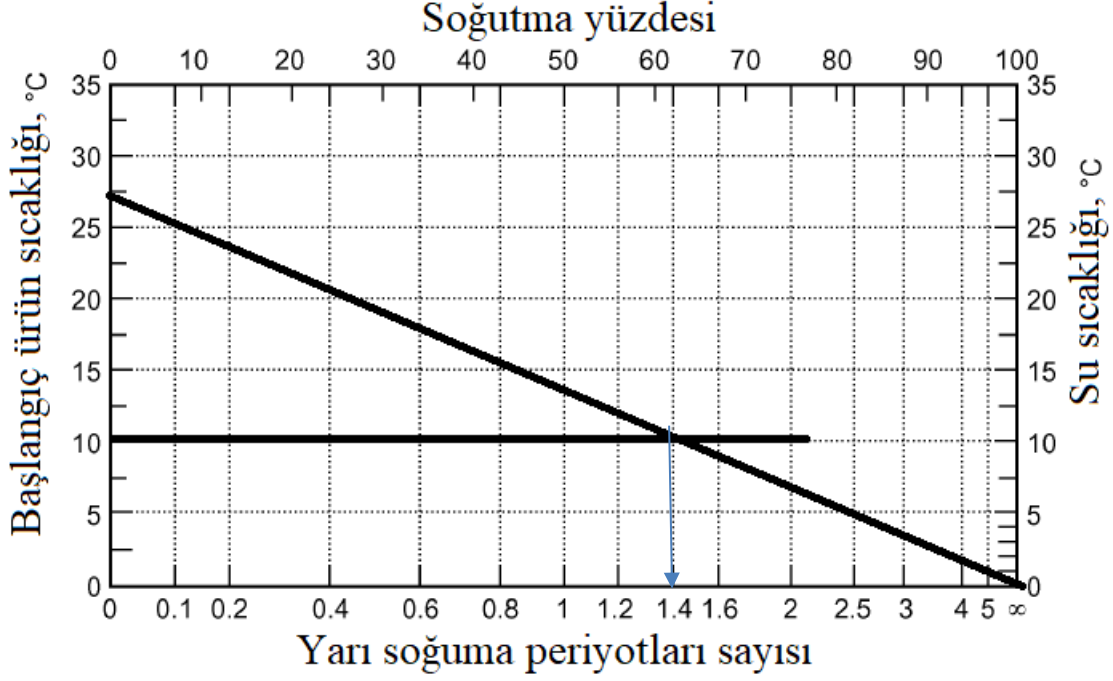
Sıfır zamanda, ürün sıcaklığı başlangıçtaki ürün sıcaklığıdır; sonsuz zamanda, ürün sıcaklığı su sıcaklığına eşittir.

Şekil 6.'yı kullanmak için, sıfır zamandaki (sol eksen) ilk ürün sıcaklığından sonsuz zamandaki ürün sıcaklığına [yani su sıcaklığı (sağ eksen)] düz bir çizgi çizin. Ardından, nihai ürün sıcaklığında (sol ve sağ eksenler) yatay bir çizgi çizin. Bu iki çizginin kesişimi, gereken yarı soğuma periyotlarının sayısını belirler (alt eksen). Soğuk su ile soğutma süresini elde etmek için, belirli bir malın yarı soğuma süresini yarı soğuma periyotlarının sayısıyla çarpın.

Aşağıdaki örnek, soğuk su ile soğuma süresini belirlemek için genel nomografin kullanımını göstermektedir.

Örnek 1. 2.2 dakikalık yarı soğuma süresine sahip tepesi doldurulmuş turpların 0°C su kullanılarak soğuk sulu soğutulmaktadır. Turpları 27°C 'den 10°C 'ye soğuk su ile soğutmak ne kadar sürer?

Çözüm: Şekil 6'daki genel nomografi kullanarak, solda 27°C'den sağda 0°C'ye kadar düz bir çizgi çizin. Ardından, son ürün sıcaklığı olan 10°C'den yatay bir çizgi çizin. Bu çizgiler 1.4 yarı soğuma periyotlarında kesişir. Bu değeri yarı soğuma süresi (2,2 dakika) ile çarparak 3.1 dakikalık toplam soğuk su ile soğutma süresini elde edilir.



Şekil 6. Ürünlerin soğuk sulu soğutulmasında yarı soğuma periyotları sayısı için genelleştirilmiş nomograf. Örnek 1. Çözümü uygulanmıştır.

Bununla birlikte, nomograf kullanmak zaman alıcı ve küfletli olabilir. Meyve ve sebzelerin soğuma süresi θ , yarım soğutma süresi Z kullanılarak nomograflar kullanılmadan belirlenebilir:

$$\theta = \frac{-Z \ln(Y)}{\ln(2)} \quad (3)$$

Örnek 1.'in çözümü için uygulanırsa:

$$\theta = \frac{-Z \ln(Y)}{\ln(2)} = \frac{-2.2 \ln\left(\frac{10-0}{27-0}\right)}{\ln(2)} = 3.15 \text{ dakika hesaplanır.}$$

Soğutma Katsayısı, C

Soğuma süresi, C soğutma katsayısı kullanılarak da tahmin edilebilir. Şekil 3'de gösterildiği gibi, soğutma katsayısı, zaman ve sıcaklık deneysel gözlemlerinden yarı logaritmik bir eksen üzerinde oluşturulan $\ln(Y)$ 'ye karşı zaman eğrisinin eksi işaretli eğimidir (Becker ve Fricke 2002). Soğutma katsayısı, birim soğutma süresi başına tamamlanmamış kısmi sıcaklık farkındaki değişimi gösterir (Dinçer ve Genceli 1994). Soğutma katsayısı, ürünün özgül ısısına ve çevreye olan ısı iletkenliğine bağlıdır (Guillou 1958).

Belirli bir soğutma işlemi için soğutma katsayısını kullanarak, soğutma süresi θ , şu şekilde tahmin edilebilir:

$$\theta = -\frac{1}{c} \ln\left(\frac{Y}{j}\right) \quad (4)$$

Gecikme faktörü j , soğutmanın başlangıcı ile $\ln(Y)$ ve θ eğrisinin eğiminin sabit hale geldiği nokta arasındaki sürenin bir ölçüsüdür [yani, $\ln(Y)$ ile θ eğrisinin doğrusal olması için gereken süre]. Gecikme faktörü j , yarı logaritmik soğutma eğrisinin doğrusal kısmının $\ln(Y)$ eksenine uzatılmasıyla bulunabilir; kesişme, gecikme faktörü j 'dir.

$Y = 0,5$ 'i yarı soğuma süresine karşılık gelen denklem (4)'te yerine konulmasıyla, soğutma katsayısı C , yarı soğuma süresi Z ile aşağıdaki gibi ilişkilendirilebilir:

$$Z = \frac{\ln(2j)}{C} \quad (5)$$

Soğutma katsayıları Dincer(1995, 1996), Dincer ve Genceli (1994, 1995), Henry ve Bennett (1973) ve Henry ve ark. (1976) tarafından yapılan araştırma bulguları, soğuk su ile soğutma ve soğuk sulu-havalı soğutmada(bu yöntemlerin tartışılması için Soğutma Yöntemleri bölümüne bakın), çeşitli ürünler için, Tablo 2 ile 5'te özetlenmiştir [1].

Tablo 2. Çeşitli ürünleri soğuk su ile soğutmak için Yarı soğuma Süreleri [1]. *Kaynak:* Stewart and Couey (1963).

Ürün	Ürün Boyutu	Taşıma Kabı	Yarı soğuma süresi,dakika
Enginar		Yok (tamamen açıkta) Sandık, kapak kapalı, kağıt astar	8 12
Kuşkonmaz	Orta	Yok (tamamen açıkta) Kapaklı piramit sandık, Saplar dik	1.1 2.2
Brokoli		Yok (tamamen açıkta) Kağıt astarlı kasa, kapağı kapalı Astarsız kasa, kapağı kapalı	2.1 2.2 3.1
Lahana		Tamamen açık Karton, kapak açık Karmakarışık yığın, dört katman	69 81 81
Havuç	Geniş	Tamamen açık 23 kg file torba	3.4 4.4
Karnabahar, kırılmış		Tamamen açık	7.2
Kereviz	2 Düzine	Tamamen açık Kasa, kapaklı, kağıt astar	5.8 9.1
Şeker mısır, Kabuğu soyulmamış	5 Düzine	Tamamen açık Tel örgülü mısır sandığı, kapaklı	20 28
Bezelye, kabuğunda		Tamamen açıkta (su taşırmalı) 35 L sepet, kapak kapalı (su taşırmalı) 35 L sepet, kapaklı (daldırma)	1.9 2.8 3.5
Turplar		Tamamen açıkta Kasa, kapak kapalı, üç kat demet, 230 mm derinlik Karton, kapak açık, üç kat demet, 230 mm derinlik	1.1 1.9
Yapraklı		Tamamen açıkta Karmakarışık yığın, 230 mm derinliğinde	1.4 1.6 2.2
Domates		Tamamen açık Karmakarışık yığın, beş katman, 255 mm derinliğinde	10 11

Tablo 3. Çeşitli Meyve ve Sebzeleri soğuk su ile soğutmak için Gecikme Faktörleri, Soğutma Katsayıları ve Yarı soğuma Süreleri (Dincer, Genceli, 1994,1995,1996)[1].

Ürün ve boyutu	Sıcaklık, °C		Su Akış hızı, mm/s	Kasa Yüğü, kg	Gecikme faktörü, j	Soğutma katsayısı, C, s ⁻¹	Yarı soğuma zamanı Z, s	
	Başlangıç	Son						
Salatalık l = 0.16 m d = 0.038 m	22	4	50	5	1.291	0.001 601	546.6	
				10	1.177	0.001 567	592.3	
				15	1.210	0.001 385	638.2	
				20	1.251	0.001 243	737.6	
	0.5	50	5	1.037	0.001 684	432.9		
			10	1.228	0.001 675	536.4		
			15	1.222	0.001 629	548.5		
			20	1.237	0.001 480	612.1		
Patlıcan l = 0.142 m d = 0.045 m	21.5	50	5	1.077	0.000 822	933.9		
			10	1.109	0.000 794	1003		
			15	1.195	0.000 870	1011		
			20	1.206	0.000 770	1143		
Şeftali d = 0.056 m	21	4	50	5	1.067	0.001	585	
			20	1.113	0.001 201			
Armut d = 0.06 m	22.5	4	1.0	50	5	1.119	0.001 434	561.6
				15	1.157	0.001 419	591.0	
				20	1.078	0.001 296	592.8	
	2	50	5	1.366	0.001 151	873.1		
			20	1.076	0.001 352			
			20	1.366	0.001 151			
Erik d = 0.037 m	22	2	0	5	1.122	0.003 017		
				20	1.171	0.002 279		
Kabak l = 0.155 m d = 0.046 m	21.5	0.5	50	5	1.172	0.001 272	669.6	
				10	1.202	0.001 186	739.8	
				15	1.193	0.001 087	799.9	
				20	1.227	0.001 036	866.6	
Domates d = 0.07 m	21	0.5	50	5	1.209	0.001 020	865.4	
				10	1.310	0.000 907	1062	
				15	1.330	0.000 800	1222	
				20	1.322	0.000 728	1336	
	4	50	5	1.266	0.000 953			
			20	1.335	0.000 710			

Tablo 4. Su ve hava ile birlikte soğutulan (hydroaircooling) şeker mısırı ve kereviz için soğutma katsayıları ve yarı soğuma süreleri (Henry ve Bennet 1976) [1].

Ürün	Kafesli sandık tipi	Püskürtme Nozul tipi	Su debisi m ³ /s	Hava debisi, m ³ /s	Soğutma katsayısı C, s ⁻¹	Yarı soğuma zamanı, Z, s
Şeker mısırı	Tel dikişli	Kaba	0.340	0	0.000 347	
			1973 0.340	0	0.000 444	
			0.208	0	0.000 642	
			0.378	0	0.000 336	
			0.303	0	0.000 406	
			0.190	0	0.000 406	
			0.190	—	0.000 414	
			0.378	0	0.000 492	
			0.378	—	0.000 542	
			0.378	28	0.000 447	
		Orta	0.378	45	0.000 486	
			0.378	78	0.000 564	
			0.946	0	0.000 464	
			1.513	0	0.000 567	
			0.378	0		2170
		Taşkın tavası	0.303	0		1730
			0.378	28		1570
			0.378	45		1440
			0.378	78		1220
			0.151	0		1290
Kereviz	Vakum soğutma		0.173	57		3710
			0.173	119		2360
			0.173	183		2310
			0.173	51		1890
			0.173	99		1790
	Hidro soğutma	0.173	142		1390	
		0.173	51		2170	
		0.173	113		1490	
		0.173	145		1050	
		İyi havalandırılmış				

Tablo 5. Soğuk su ile soğutulan şeftaliler için soğutma katsayıları [1].

Hidro soğutma Metodu	Su debisi	Su Meyve sıcaklığı, °C			Soğutma Katsayısı, s ⁻¹
		Su sıcaklığı, °C	İlk	Son	
Taşma, şeftali 26.5 L sepette	12.2 m ³ /(h·m ²)	1.67	31.1	8.22	0.001 05
	24.4 m ³ /(h·m ²)	1.67	29.4	6.44	0.001 11
		4.44	27.8	9.28	0.001 941
		7.22	27.8	9.50	0.000 44
	36.7 m ³ /(h·m ²)	1.67	32.5	4.11	0.001 83
		7.22	31.7	10.5	0.001 74
		12.8	31.2	14.4	0.001 39
Daldırma	4.54 m ³ /h	1.67	29.4	6.39	0.001 23
	9.09 m ³ /h	1.67	29.4	5.56	0.001 37
	4.54 m ³ /h	7.22	31.2	9.67	0.001 68
	9.09 m ³ /h	7.22	30.0	9.33	0.001 72
	13.6 m ³ /h	7.22	30.0	10.4	0.001 30

Kaynak: Bennett (1963).

Diğer Yarı Analitik / Ampirik Önsoğutma Süresi Tahmin Yöntemleri

Ashrae Elkitabı 2018, Bölüm 20, düzenli ve düzensiz şekilli gıdaların soğuma sürelerini tahmin etmek için çeşitli yarı analitik/deneysel yöntemleri tartışmaktadır. Bu soğutma süresi tahmin yöntemleri iki ana kategoriye ayrılır: (1) f ve j faktörlerine (normal veya düzensiz şekiller için) ve (2) eşdeğer ısı transferi boyutuna dayalı olanlar.

Sayısal Teknikler

Becker ve Fricke (1996b, 2001) ve Becker ve diğerleri (1996a, 1996b), meyve ve sebzelerin toplu soğutulmasının neden olduğu soğutma hızlarının yanı sıra gizli ve duyulur ısı yüklerini belirlemek için sayısal bir teknik geliştirmiştir. Bu bilgisayar modeli, birleşik terleme, solunum, hava akışı ve konvektif ısı ve kütle transferi proseslerini modellemek için gözenekli bir ortam yaklaşımı kullanarak, soğutulmuş depolama sırasında ürün nem kaybını ve soğutulmuş ürün içindeki sıcaklık dağılımını tahmin edebilmektedir.

Bu sayısal modeli kullanarak, Becker ve ark. (1996b), artan hava akışının soğutma süresini azaltarak nem kaybını azalttığını, bu da ürün ile çevredeki hava arasındaki buhar basıncı farkını hızla düşürdüğünü ve böylece terleme oranını düşürdüğünü bulmuştur. Ayrıca, yığın kütesinin ve hava akış hızının soğutma süresi için birincil öneme sahip olduğunu, buna karşın bağlı nemin soğutma süresi üzerinde çok az etkisinin olduğunu bulmuşlardır.

3. ÖNSOĞUTMA(PRECOOLİNG) YÖNTEMLERİ

Önsoğutma, hasat edilen meyve ve sebzelerin sıcaklığını hızla düşürür ve bozulmayı en aza indirmek için hasadın hemen ardından yapılır. Ürün ve ambalaj türleri ile uyumlu önsoğutma yöntemleri;

- Oda Soğutması (Room Cooling),
- Zorlanmış Hava Akımlı Soğutma (Forced Air Cooling),
- Zorlanmış Hava Akımlı Buharlaştırıcı (evaporatif) Soğutma (Forced Air Evaporative Cooling),
- Soğuk Su ile Soğutma (Hydro Cooling),
- Havalı ve Sulu Soğutma (Hydroair Cooling),
- Paket Buzlamalı Soğutma (Package Icing Cooling),
- Vakumla Soğutma (Vacuum Cooling).

Hasat edilen ürünün önsoğutmaya almada gecikilmesi durumunda kalite ve raf ömründe önemli kayıplar meydana gelir. Tüm yöntemler, gerekli süre içinde ürünün sıcaklığını düşürmek için yeterli soğutma kapasitesi ve ayrıca tesisteki normal ısı kazancını ortadan kaldırma yeteneğinde olmalıdır. Tablo 6, meyve ve sebzelerin türleri ile uyumlu soğutma yöntemlerini ana hatlarıyla belirtmektedir.

Önsoğutmanın başlıca yöntemleri olan Zorlanmış Hava Akımlı Soğutma, Soğuk Su ile Soğutma, Zorlanmış Hava Akımlı Buharlaştırılmalı (evaporatif) Soğutma, Paket Buzlamalı Soğutma ve Vakumla Soğutma sahada veya paketleme evinde yapılır. Tablo 6.'da bazı sebze ve meyvelerin önerilen önsoğutma yöntemleri verilmiştir.

Tablo 6. Bazı meyve ve sebzeler için önerilen önsoğutma yöntemleri.

Meyveler:	Önsoğutma Yöntemi
Elmalar:	Oda Soğutması, Zorlanmış Hava Akımlı Soğutma, Soğuk Su ile Soğutma
Kayısı:	Oda Soğutması, Soğuk Su ile Soğutma
Kavunlar:	Soğuk Su ile Soğutma, Paket Buzlamalı Soğutma, Zorlanmış Hava Akımlı Soğutma
Kirazlar:	Soğuk Su ile Soğutma, Zorlanmış Hava Akımlı Soğutma
Üzüm:	Zorlanmış Hava Akımlı Soğutma
Nektarinler:	Zorlanmış Hava Akımlı Soğutma, Soğuk Su ile Soğutma
Şeftali:	Zorlanmış Hava Akımlı Soğutma, Soğuk Su ile Soğutma
Armut:	Zorlanmış Hava Akımlı Soğutma, Oda Soğutması, Soğuk Su ile Soğutma
Erikler:	Zorlanmış Hava Akımlı Soğutma, Soğuk Su ile Soğutma
Sebzeler:	Önsoğutma Yöntemi
Kuşkonmaz:	Soğuk Su ile Soğutma, Paket Buzlamalı Soğutma
Fasulye, taze:	Oda Soğutması, Zorlanmış Hava Akımlı Soğutma, Soğuk Su ile Soğutma
Pancar:	Oda Soğutması
Brokoli:	Paket Buzlamalı Soğutma, Zorlanmış Hava Akımlı Soğutma, Soğuk Su ile Soğutma
Brüksel lahanası:	Soğuk Su ile Soğutma, Vakumla Soğutma, Paket Buzlamalı Soğutma
Lahana:	Oda Soğutması, Zorlanmış Hava Akımlı Soğutma
Havuç:	Paket Buzlamalı Soğutma, Oda Soğutması
Karnabahar:	Soğuk Su ile Soğutma, Vakumla Soğutma
Çin lahanası:	Soğuk Su ile Soğutma, Oda Soğutması, Zorlanmış Hava Akımlı Soğutma
Mısır, şeker:	Soğuk Su ile Soğutma, Paket Buzlamalı Soğutma, Vakumla Soğutma
Salatalık:	Zorlanmış Hava Akımlı Soğutma, Soğuk Su ile Soğutma
Patlıcan:	Oda Soğutması, Zorlanmış Hava Akımlı Soğutma
Sarımsak:	Önsoğutmaya gerek yok
Yeşilliker:	Soğuk Su ile Soğutma, Paket Buzlamalı Soğutma, Vakumla Soğutma
Otlar:	Oda Soğutması
Marul:	Soğuk Su ile Soğutma, Paket Buzlamalı Soğutma
Kereviz:	Zorlanmış Hava Akımlı Soğutma
Bamya:	Oda Soğutması, Zorlanmış Hava Akımlı Soğutma
Soğan:	Önsoğutmaya gerek yok
Yeşil soğan:	Soğuk Su ile Soğutma, Paket Buzlamalı Soğutma
Şalgam:	Paket Buzlamalı Soğutma, Soğuk Su ile Soğutma
Bezelye:	Zorlanmış Hava Akımlı Soğutma, Soğuk Su ile Soğutma
Biber:	Oda Soğutması, Zorlanmış Hava Akımlı Soğutma
Patates:	Oda Soğutması, Zorlanmış Hava Akımlı Soğutma
Balkabağı:	Önsoğutmaya gerek yok
Turp:	Paket Buzlamalı Soğutma
Ravent:	Oda Soğutması, Zorlanmış Hava Akımlı Soğutma
Ispanak:	Soğuk Su ile Soğutma, Paket Buzlamalı Soğutma

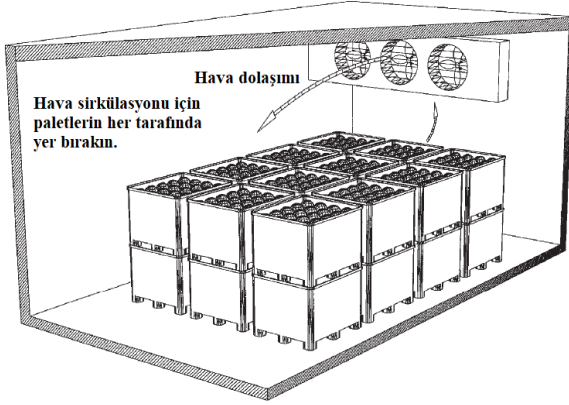
Önsoğutma yöntemleri sonraki bölümlerde ayrıntılarıyla verilmiştir.

3.1. ODA SOĞUTMASI

Oda içinde önsoğutma, serbest neme veya yüzey nemine duyarlı ürünler için kullanılan bir yöntemdir. Bu tür soğutma yavaş olduğundan, oda soğutması yalnızca hızla bozulmayan dayanıklı ürünler için uygundur.

Ürün, soğutulmuş bir odaya veya nakliye kamyonuna yüklenir. Soğuk havanın oda içinde ve ürün çevresinde daha fazla dolaşımı sağlayacak şekilde istifleme yapılır.

Bu, yavaş bir önsoğutma yöntemidir, çünkü soğuk hava, ürün içinde kolayca dolaşmaz (Şekil 7.). Bu durum özellikle kasa/koli içinde olan ürünler için geçerlidir. Kışlık kabak gibi ürünlerin kürlenmesi için oda soğutma sistemleri de kullanılmaktadır.



Şekil 7. Odada önsoğutma çalışma prensibi, seyrek istifli yerleşim. [5, 13].

3.2 ZORLANMIŞ HAVA AKIMLI SOĞUTMA

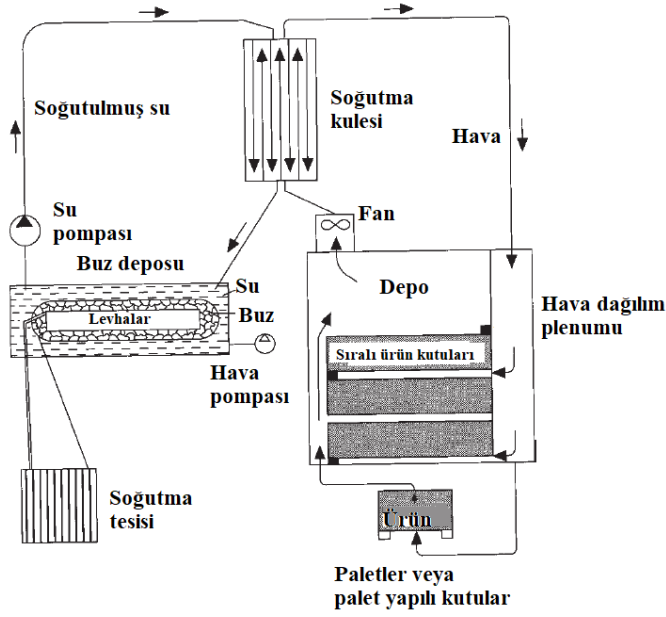
Etkili bir Zorlanmış Hava Akımlı Soğutma sisteminde, ürünün kurumasına yol açabilecek çok yüksek bir hızdaki hava ürünün çevresinden geçebilir.

Bu etkiyi azaltmak için soğutma havasını nemlendirmek için çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Bunlardan biri "buz depolu soğutucuydu" (Lindsey ve Neale 1977, Neale ve diğerleri 1981). Geleneksel soğuk hava depolarında hava, içinden soğutulmuş bir sıvının geçtiği çeşitli tasarımlara sahip metal borular olan soğutma serpantinleri üzerinden üflenir.

Hızlı soğutmanın gerekli olduğu yerlerde, iyi bir ısı transferi için boruların yüzey alanı büyük olmalı ve soğutma sıvısının sıcaklığı, hava sıcaklığından minimum seviyede düşük olmalıdır. Bu, serpantinlerin yüzeyinde nemin yoğunlaşmasına veya donmasına neden olabilir. Bu, verimliliklerini düşürür, ancak belki daha da önemlisi, ürünün kurutulma hızını artırabilir.

Buz depolu soğutucu, su donarak etraflarında buz oluşturacak şekilde suya batırılmış soğutma serpantinlerine sahiptir. Su daha sonra buzun üzerine pompalanır ve plenum odasına giren havanın karşı akımında ince bir sis halinde püskürtülür.

Hava, içinden sıvı su parçacıklarını çıkarmak için bir filtreden geçer ve daha sonra üründen geçirilir (Şekil 8.). Bunun etkisi, havanın hem soğutulması hem de nemlendirilmesidir. Nem % 100'e yakın bağıl nemdir. İyi yapılandırılmış bir sistemde ürün soğutma sırasında minimum kuruma ile soğutulacaktır.



Şekil 8. Bir buz deposu soğutucunun şematik gösterimi [7].

Vietnam'da ön soğutma için zorlanmış hava akımlı soğutmada, bir buz deposu kullanılması önerildi (Herregods ve diğerleri, 1995).

Elansari vd.(2000), buz deposuna dayalı olarak soğutmadan önce kullanılan, üzüm için ıslak güverte ön soğutma sistemini tanımladı.

Portatif paket buzlu soğutucuları yapılmıştır.

Bunlar, tarlaya çekilebilen ve bir traktörün güç çıkışından çalıştırılabilen küçük (yaklaşık 1 ton kapasiteli) yalıtımlı römorklardır. Buz deposu, şebeke elektriği kullanılarak gece boyunca inşa edilir ve su pompası ve hava sirkülasyon fanı, tarladaki traktörün motorundan tahrik edilir.

Hasattan hemen sonra soğumaya başlamanın önemli olabileceği çilek gibi mahsuller için yararlıdır.

Hızlı önsoğutma için yüksek hızlı, yüksek nemli hava sağlamak için başka sistemler geliştirilmiştir. Bunlar, "Humifresh", "Humi-cold" ve "Airspray" gibi ticari isimler altında pazarlanmaktadır.

Zorlanmış Hava Akımlı Soğutma, esas olarak dökme ürünler/kasa/koli içinde olan ürünler için kullanılır. Tüm soğutma yöntemlerinin en çok yönlü ve en yaygın kullanılanıdır.

Zorlanmış Hava Akımlı Soğutmada, soğutulmuş hava her ürün etrafında akmaya zorlanır. Soğutulmuş havanın ürünle bu yakın teması, ürün kütlesi boyunca hızlı ve eşit soğumaya neden olur.

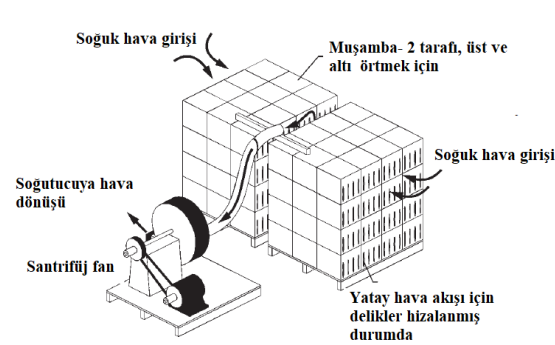
Havuç ve patates gibi yığın halinde yığılmış ürünler için, soğutulmuş havayı ürüne dağıtmak için hava kanalları kullanılır.

Paletli ürünler için, dökme veya konteynere alınmış ürünlerle yüklenen paletler, kasa içinde dökme ürün istifleri, soğutulmuş havayı içlerine yönlendiren hava kanalları (plenumlar) ile hizalanır. Hava, yatay veya dikey olarak akacak şekilde yönlendirilebilir. Yatay akış sisteminde hava, palet yükünün bir tarafından diğerine yatay olarak akmaya zorlanır.

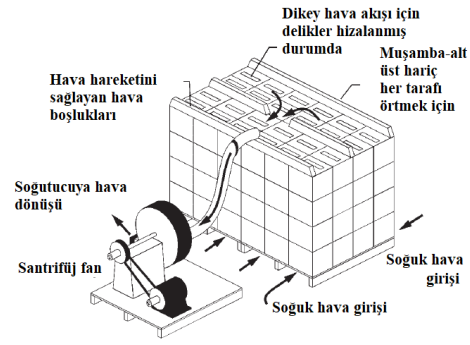
Yatay akışlı bir sistemde hava, palet yükünün bir tarafından diğerine, palet yükü kutuların veya konteynerlerin yanlarındaki deliklerden yatay olarak akmaya zorlanır (Şekil 9.). Palet yükü kutular veya konteynerlerde sadece karşılıklı iki taraf açılabilir. İstifleme konteynerlerinde, havanın yığının bir

tarafından diğerine geçmesi için yan delikler aynı hizada olmalıdır. Bu sistemde, havanın ürünü atlamasını önlemek için paletin veya konteynerlerin üstü ve altı kapatılmalıdır.

Dikey akışlı bir sistemde hava, paletin altındaki deliklerden paletin veya varsa konteynerin en altından üstüne dikey olarak akmaya zorlanır ve sonra yukarıdan dışarı akmaya zorlanır, Şekil 10.. Bu sistemde, havanın ürünü atlamasını önlemek için kenarlar kapatılmalıdır. Ayrıca, palet yükü kutular kullanılıyorsa, kutuların üstlerindeki ve tabanlarındaki delikler aynı hizada olmalıdır, böylece hava bir kutudan diğerine dikey olarak hareket edebilir. Bu yöntem Oda Soğutmasından daha hızlıdır çünkü soğutulmuş hava akışı ürünle doğrudan temas halindedir.



Şekil 9. Zorlanmış yatay hava akımlı önsoğutma[5].



Şekil 10. Zorlanmış dikey hava akımlı önsoğutma[5].

Bu sistemlerde, ürün üzerindeki yoğuşma, yükleme sırasında ortam havasının girişini engelleyen konteyner istifinin üstüne yerleştirilen basit bir kapak ile en aza indirilebilir.

Odadaki nem kaybını en aza indirmek için, soğutma sisteminin buharlaştırıcısının pratik olduğu kadar geniş bir yüzey alanına sahip olması gerekir. Ayrıca, buharlaştırıcı donma noktasının çok altındaki bir sıcaklıkta çalıştırılmamalıdır çünkü bu uygulama havanın aşırı kurummasına neden olur.

Nem kaybını en aza indirmek için aşırı hava akışından da kaçınılmalıdır.

Soğutma sistemi yerine soğutma sağlamak için bir yığın veya küp buz yatağı kullanılabilir. Eriyen buz yatağından gelen havanın sıcaklığı 1 ila 4 °C aralığında ve yüzde 100'e yakın nem aralığında olacaktır. Bu sistem uygulaması "Buz, Önsoğutma için Soğuk Bir Kaynak" bölümünde anlatılmıştır.

Soğan, patates ve kabak gibi ürünlerin daha uzun süreli depolama için soğutulmadan önce daha yüksek sıcaklıkta kürlenmesi için oda ve zorlanmış havalı soğutma sistemleri de kullanılmaktadır.

Bazı üreticiler, bir soğuk hava deposuna sahiptir. Tipik olarak, bu soğuk odalar, ısıyı üründen ve diğer kaynaklardan 24 saat veya daha uzun bir süre içinde uzaklaştırmak için tasarlanmıştır.

Artan soğutma kapasitesi ve havayı ürün içerisine zorlayan bir sistemle, bu tesisler aynı zamanda ürünü hızla önsoğutma için de kullanılabilir.

Zorlanmış Hava Akımlı Sistemlerin mobil versiyonları, hasat operasyonlarının ayrılmaz bir parçası olarak sahada kullanılabilir. Ürün, hasat edilir edilmez soğutucuya yüklenebildiğinden, hasattan sonraki dakikalar içinde soğutma yapılabilir.

Soğutmadan önce bekletme süresini en aza indirerek, bu sistemler çok etkili ve şu anda hızlı olduğu düşünülen diğer soğutma sistemleriyle rekabet edebilir. Mobil sistemler, yerel ihtiyaçlar için soğutmalı nakliye sistemleri olarak da hizmet edebilir.

Zorlanmış Hava Akımlı Soğutmada hava hızı, soğutma hızı, ısı transferi özellikleri

Teorik olarak, hava soğutma oranları, belirli ürün maruziyeti ve hava sıcaklığı koşulları altında Soğuk Su ile Soğutma ile karşılaştırılabilir.

Hava ile soğutmada, yüzey ısı transfer katsayısının optimum değeri, suyla soğutmaya göre önemli ölçüde daha küçüktür.

Bununla birlikte, Pflug ve ark. (1965), bir konveyör bandı üzerindeki bir soğutma tüneline geçen elmaların, 1,7°C'de bir su spreyinde olan soğuma ya göre, 3 m/s'de meyveye yaklaşan -6,7°C'de soğutulmuş hava ile daha hızlı soğuduğunu göstermiştir. Bu koşul için, 41 W/(m² · K) ortalama ısı transfer katsayısı belirlenmiştir. Havanın avantajının daha düşük sıcaklık olduğunu ve suyun 1°C'ye düşürülmesi durumunda su soğutma süresinin daha az olacağı belirtilmiştir. Bununla birlikte, hava sıcaklıklarının, 1°C'nin altında özel olarak hassas kontrol olmaksızın yönetilmesinin daha zor olabileceği unutulmamalıdır.

Anormal şekiller için ısı transferi katsayılarını değerlendirmek için yapılan testlerde Smith ve ark. (1970), havanın 8 m/s hızla yaklaştığı bir soğutma tüneline tek bir kırmızı renkli tatlı (Red Delicious) elma için 37,8 W/ m² · K) deneysel değer elde etmiştir. Bu hava akış hızında, -6,7°C'de havada 0.5 saat soğutulan tek bir elmanın logaritmik ortalama yüzey sıcaklığı yaklaşık 1,7°C'dir. Bu nedenle, yüzey sınır tabakası boyunca ortalama sıcaklık farkı 8,4 K'dir ve yüzey alanının metrekare başına ısı transferi:

$$q / A = h \times \Delta T = 37,8 \times 8,4 = 318 \text{ W/m}^2$$

Bu koşullar için, soğutma hızının ideal Soğuk Su ile Soğutmada elde edilenle karşılaştırılabilir bulunmuştur. Bununla birlikte, bu katsayılar, çevreleyen meyvelerden izole edilmiş tek örneklerle dayanmaktadır. Meyve, eşdeğer akış hızlarında paketlenmiş bir yatakta olsaydı, değerler daha az olurdu çünkü soğutma sıvısına daha az yüzey alanı maruz kalırdı. Ayrıca, ürün yüzeyinden buharlaşma hızı, soğutma oranını önemli ölçüde etkilemektedir.

Fiziksel özellikler, çoğunlukla geometri nedeniyle, çeşitli meyve ve sebzeler benzer hava akışı ve hava sıcaklığı işlemlerine farklı tepki vermektedir. Örneğin, benzer hava akımı ve hava sıcaklığı koşulları altında paketlenmiş bir yatakta şeftaliler patatesten daha hızlı soğur.

Yüzey ısı transfer katsayıları, nesnelere ve çevreleri arasındaki fiziksel koşullara duyarlıdır. Soule vd. (1966), Hamlin portakalları ve Orlando tangelolarının toplu partileri için 1.1 ila 1.8 m/s'ye yaklaşan hava ile 50 ila 68 W/(m²·K) arasında değişen deneysel ısı transfer katsayıları elde etmiştir. 450 kg 72 mm çaplı Hamlin portakalları içeren toplu kutular, 1.7 m/s hava ile 27°C'den 8°C son kütle ortalama sıcaklığına 1 saatte soğutulmuştur (Bennett ve diğerleri, 1966). Bu testler için yüzey ısı transfer katsayılarının ortalaması 62 W/(m²·K) 'nin biraz üzerindedir.

6,7°C'lik bir günlük ortalama hava sıcaklığı temelinde hesaplanan yarı soğuma süresi 970 saniyedir.

Baird ve Gaffney (1976), 70 mm çaplı portakalların yığın halinde soğutulmasına ilişkin deneylerden elde edilen verileri matematiksel bir modelin sonuçlarıyla ilişkilendirerek, 0.055 ve 2.1 m/s yaklaşım hızları için yüzey ısı transfer katsayılarını 8.5 ve 51 W/(m²·K) bulmuştur.

Yaklaşım hava hızları 0,025 ila 2,1 m/s arasında değişen, 70 mm çaplı portakalların hava soğutması üzerine altı deneyden ve 107 mm çaplı greyfurtta yedi deneyden elde edilen verileri temsil eden bir Nusselt-Reynolds ısı transferi korelasyonu için ilişki:

$$Nu = 1.17 Re^{0.529}$$

olarak verilmiştir, burada korelasyon katsayısı 0.996 olarak belirlenmiştir.

Ishibashi vd. (1969), meyve soğutma tüneline geçerken, giderek azalan bir sıcaklıkta (10,0 ve -10°C) dökme meyveyi havaya maruz bırakan aşamalı bir basınçlı hava soğutucu imal etmiştir. Hava 3,6 m/s hızla ürüne yaklaşırken, bu sistem ile 65 mm çapındaki turuncgiller 1 saatte

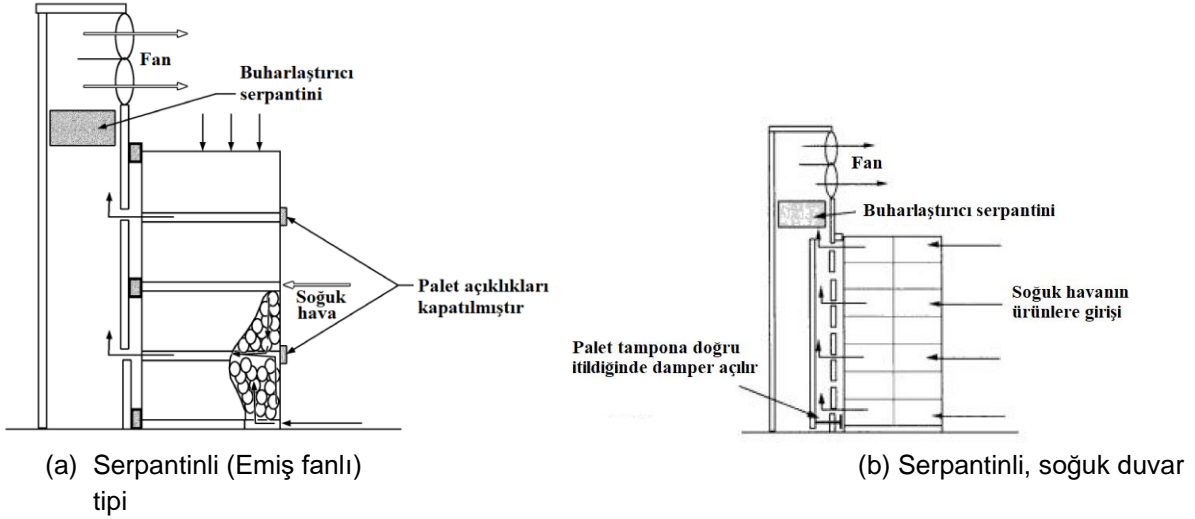
25°C'den 5°C'ye soğutulmuştur. 0.32 h'lik yarı soğuma süreleri, 2 m/s'lik bir hava yaklaşma hızında benzer şekilde soğutulmuş Delicious tipi elmalar için 0.30 saatlik yarı soğuma süresi ile olumlu bir şekilde karşılaştırılır (Bennett ve arkadaşları, 1969). Perry ve Perkins (1968), benzer şekilde muamele edilmiş şeftaliler için 0.4 saat ve elmalar için 0.38 saat ile karşılaştırıldığında, 1.3 m/s'de yaklaşan hava hızı ile bir yığın ambarında patatesler için 0.5 saat yarı soğuma süresi belirlemiştir. Bu tür bir soğutma için optimum yaklaşma hızı, koşullara bağlı olarak 1,5 ila 2 m/s aralığındadır.

Ticari Yöntemler

Ürünler değişik soğutulmuş havalı sistemlerde tatmin edici bir şekilde önsoğutulabilir: (1) bu amaç için uyarlanmış soğutulmuş odalarda sirküle edilen soğutulmuş hava ile, (2) yükü taşınmadan önce soğutan özel portatif soğutma ekipmanı kullanan vagonlarda, (3) dökme boşluklardan zorlanan hava ile sürekli konveyörler üzerinde bir soğutma tüneline hareket eden ürünler, (4) rüzgar tünellerinde sürekli konveyörler üzerinde veya (5) basınç farkı ile havanın konteynerlerden geçirildiği zorlanmış hava yöntemi ile.

Bu yöntemlerin her biri ticari olarak kullanılır ve uygun şekilde uygulandığında her biri belirli ürünler için uygundur. Şekil 11, kıvrımlı bir zorlanmış hava akımlı önsoğütücünün şemasını göstermektedir.

Havanın doğrudan ürün boşluklarından zorlanmadığı durumlarda, havanın kap içinde dolaşmasına ve ürün yüzeyinin önemli bir kısmına ulaşmasına izin veren bir kap tipi ve yük modeli kullanmak yararlıdır. Bunun örnekleri, (1) toplu partilerdeki boşluklardan hava akışına kayda değer bir direnç sunan üzüm ve çilek gibi küçük ürünler, (2) toplu olarak taşınamayan hassas ürünler ve (3) önsoğutmadan önce nakliye konteynerlerinde paketlenen ürünler.



(c) Serpantinli (Basma fanlı)

Şekil 11. Soğutma serpantinli zorlanmış havalı önsoğütme uygulamaları [6, 8].

Zorlanmış hava veya basınçlı havalı soğutma, belirli istifleme modellerini ve yığınların şaşırtılmasını içerir, böylece soğutma havası, tek tek konteynerlerin etrafında değil de içinden geçmeye zorlanır. Başarılı bir ön soğutma, havanın hareket edeceği yönde havalandırma delikleri olan bir kap ve kaplar boyunca serbest hava hareketini engelleyecek minimum ambalaj malzemesi gerektirir. Bu koşullar altında, kapların iki tarafı arasında nispeten küçük bir basınç farkı, iyi hava hareketi ve mükemmel ısı transferi ile sonuçlanır. Kullanımdaki hacimsel debiler ve fark basınçları, ürün kilogramı başına 1 ila 3 L/s arasında değişen hava akışlarıyla yaklaşık 60 ila 750 Pa fark basınçlarıdır.

Soğutma havası, soğutulan ürünle doğrudan temas ettiğinden, soğutma, geleneksel oda soğutmaya göre çok daha hızlıdır. Bu, soğutma tesisi boyunca hızlı ürün hareketi avantajı sağlar ve tesisin boyutu, eşdeğer soğuk oda tipi bir tesisin üçte biri ile dörtte biri arasındadır.

Mitchell vd. (1972), zorlanmış hava ile soğutmanın genellikle geleneksel Oda Soğutması için gereken sürenin dörtte biri ile onda biri arasında soğuttuğunu, ancak yine de Soğuk Su ile Soğutma veya Vakumla Soğutmaya göre iki ila üç kat daha uzun sürdüğünü belirtmiştir.

Soğutulmuş su aşağı doğru akarken hava üniteden yukarı doğru zorlanır. Üniteden çıkan havanın çiğlenme noktası sıcaklığı, giren su sıcaklığına eşittir. Soğutulmuş su, bir tanka daldırılmış serpantinlerden sağlanabilir. Serpantinler üzerinde buz oluşumu, pik yükler sırasında ekstra bir soğutma etkisi sağlar. Bu tasarım aynı zamanda bir operatörün, uzun mekanik soğutma arızaları sırasında ticari buz eklemesine izin verir.

Taşınabilir, zorlanmış havalı bir yöntemde, soğutma bileşenleri düz yataklı treylerlere monte edilir ve sıcak, paketlenmiş ürünler, soğutmalı nakliye römorklarında soğutulur. Genellikle soğutma ekipmanı iki treyler üzerine monte edilir: biri zorlanmış hava akımlı soğutucuları, diğeri ise kompresörleri, hava soğutmalı kondenserleri, soğutma sistemi ile elektriksel donanımı taşır. Yüklenen ürün römorkları buharlaştırıcılı (evaporatör) soğutucu treylerine taşınır ve ürün soğutulur. Soğuduktan sonra treyler varış yerine taşınır.

Kapların ve İstifleme Modellerinin Etkileri

Hızlı soğutma için gerekli olan soğutma ortamına ürünün erişilebilirliği, hem kaptaki ürüne hem de istif içindeki tek tek kaba erişimi içerebilir.

Bu etki, Mitchell ve diğerleri tarafından bildirilen çeşitli tipteki kaplardaki çeşitli ürünlerin soğutma hızı verilerinde belirgindir. (1972). Parsons vd. (1972), geleneksel istifli kalıplara eşit soğutma oranları üreten paletli birim yükler için oluklu mukavva konteyner havalandırma modeli geliştirmiştir.

Fisher (1960), paletler üzerine elma kolileri yerleştirilmesinin, elma kasaları şeklinde istiflenen palet yüklerine kıyasla soğutma süresini % 50 azalttığını göstermiştir. Soğutma hızı, havanın iyi kullanımı (yönetimi), karton kutu tasarımı ve paletli yükleme şekilleri ile artırılabilir [13]. En az % 5 yan duvar havalandırması önerilir. Paletleme, birçok ürünün nakliyesi için gereklidir ve kartonlar birbirine yakın paketlenirse palet stabilitesi artar. Bu nedenle, kartonlar ve paketler, istiflenen ürünlerden bol miktarda hava akışına izin verecek şekilde tasarlanmalıdır. Amos vd. (1993) ve Parsons ve ark. (1972) paletli yüklerde konteyner mukavemetini düşürmeden iyi soğutma elde etmek için havalandırma boyutlarının ve konumunun önemini göstermiştir. Bazı işlemlerde, palet üstü stabiliteyi artırmak için paletli ürünler polietilenle sarılır (hava akımını bozmayacak biçimde).

Zorlanmış Hava Akımlı Soğutmada Nem Kaybı

Bu bölümdeki bilgiler Thompson ve ark. (2002)'nden alınmıştır. Zorlanmış havalı önsoğutmada nem kaybı, çok az miktarlardan, üretime zarar verecek kadar önemli miktarlara kadar değişir. Nem kaybını etkileyen faktörler arasında ürün başlangıç sıcaklığı ve terleme katsayısı, nem, soğutmadan sonra hava akışına maruz kalma ve balmumu veya neme dayanıklı ambalaj kullanılıp kullanılmadığı yer alır.

Yüksek başlangıç sıcaklığı, yüksek nem kaybına neden olur; Bu, günün daha soğuk zamanlarında (yani sabahın erken saatlerinde veya gece) hasat yapılarak ve hasattan hemen sonra ürünlerin soğutulması (veya en azından gölgelendirilmesi) ile en aza indirilebilir. Paketleme sürecinde ürün

ısınmasını minimumda tutacak tedbirler alınmalıdır. Soğutma sırasında yüksek nemin birincil avantajı, ürün ambalajının nemi emebilmesidir, bu da ambalajın ürünün kendisinden nem emilimini azaltır.

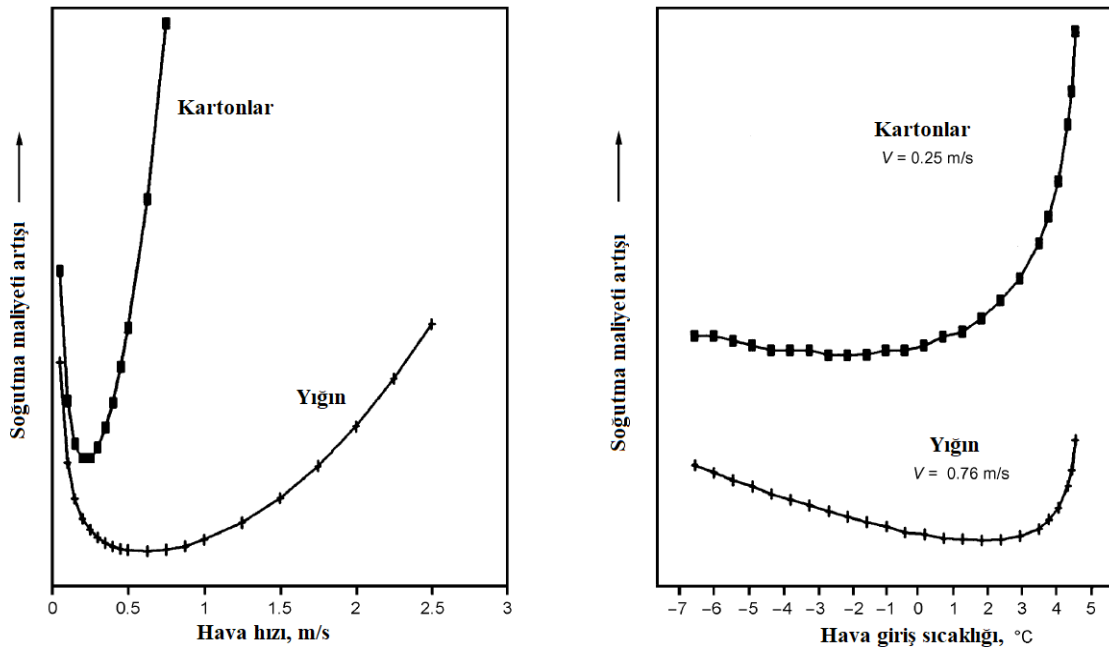
Yüksek terleme katsayıları da nem kaybını artırır. Örneğin, yüksek terleme oranına sahip havuçlar, soğutma sırasında orijinal, soğutulmamış ağırlıklarının % 0,6 ila 1,8'ini kaybedebilir. Polietilen paketleme, havuçtaki nem kaybını % 0,08'e düşürmüştür, ancak soğutma süreleri yaklaşık beş kat daha uzun sürmüştür. Bazen düşük terleme katsayısına sahip ürünleri (örneğin elma, armut, kivi, üzüm) paketlemek için kullanılan film tipi kutu astarları da nem kaybını azaltmada yararlıdır, ancak aynı zamanda ürünleri soğutmak için gereken süreyi de artırırlar. Bazı film tipi kutu astarları, yoğunlaşmayı azaltmak için deliklidir; Üzümleri paketlemek için kullanılan astarlar ayrıca çürümeyi azaltmak için SO₂ üreten bir ped içermelidir.

Ürünün gereksiz hava akışına maruz kalmasını önlemek için, basınçlı hava soğutucular hedef ürün sıcaklığına ulaşılır ulaşılmaz hava akışını azaltmalı veya durdurmalıdır. Aksi takdirde, çevredeki hava doygunluğa yakın olmadığı sürece nem kaybı devam edecektir. Bunun bir yöntemi, soğutucu fan kontrolünü, dönüş havası plenum sıcaklığına bağlamak, dönüş havası sıcaklığı besleme havasının sıcaklığına yaklaştıkça fan hızlarını yavaşlatmaktır.

Bilgisayar Çözümü

Baird vd.(1988), basınçlı hava soğutma sistemlerini tasarlamak için mühendislik ekonomisine dayanan bir model geliştirmiştir. Şekil 12, modelden elde edilebilecek bir model sonucunu göstermektedir. Bir dizi girdi koşulu seçilerek (her uygulamaya göre değişir) ve değişen yaklaşma havası hızı, giren hava sıcaklığı veya başka bir değişken seçilerek optimum (minimum maliyet) değer belirlenebilir. Şekil 6'daki eğriler, kaplar için hava hızı V seçiminin kritik olduğunu gösterirken, istenen son ürün sıcaklığı olan 4°C'ye yaklaşılan kadar giren hava sıcaklığının seçilmesi kritik değildir. Gösterilen sonuçlar, hava akışı yönünde % 4 havalandırma alanına sahip dört karton derinliğindedir ve karton havalandırma alanı değiştirilirse oldukça farklı olacaktır. Bu program kullanılarak optimize edilebilecek diğer tasarım parametreleri, hava akışı yönündeki ürün derinliği ve buharlaştırıcıların ve yoğunlaştırıcıların(kondenserlerin) boyutudur.

Zorlanmış hava akımlı önsoğutma işlemi için hesaplamalı akışkanlar dinamiği araştırmalarının gözden geçirilmesi çalışması Zao ve arkadaşlarının (2016) çalışmasında verilmiştir. Günümüz HAD analizlerinin ve teknolojilerinin sunduğu bu olanaklar yeni tasarımlarda değerlendirilmektedir [12].



Şekil 12. Zorlanmış Hava Akımlı önsoğutucu için mühendislik ekonomisi modeli için bir örnek çıktı[1].

3.3 ZORLANMIŞ HAVA AKIMLI EVAPORATİF SOĞUTMA

Bu yaklaşım, havayı, mekanik soğutma kullanmak yerine, ürün ve ambalajla temas etmeden önce ıslak bir pedden geçirerek, buharlaştırmalı bir evaporatif soğutucu ile önsoğutulur. Doğru tasarlanmış ve çalıştırılan bir evaporatif soğutucu, yüksek nemde (yaklaşık% 90 bağıl nem) dış yaş termometre sıcaklığının birkaç derece üzerinde hava üretir ve mekanik soğutmadan daha enerji verimlidir (Kader 2002). Örneğin ABD'de California'nın çoğunda, 16 ila 21°C'lik ürün sıcaklıklarına bu yöntemle ulaşılabilir. Bu yöntem, domates ve salatalık gibi en iyi orta sıcaklıklarda tutulan ürünler veya hasattan hemen sonra pazarlananlar için uygundur. Ülkemizde de kuru ve sıcak iklim bölgelerinde uygulanabilir.

Evaporatif soğutma ekipmanı ve uygulamaları hakkında daha fazla bilgi için 2015 ASHRAE Uygulamalar El Kitabı'nın 52.Bölümünde ve 2016 ASHRAE Sistemler ve Ekipmanlar El Kitabı'nın 41.Bölümünde bulunabilir.

3.4 SOĞUK SU İLE SOĞUTMA

Soğuk su ile soğutmada, ürünlere soğutulmuş su püskürtülür veya çalkalanmış bir soğutulmuş su banyosuna daldırılır. Soğuk su ile soğutma etkili ve ekonomiktir; ancak, belirli mallar üzerinde fizyolojik ve patolojik etkiler üretme eğilimindedir, bu nedenle kullanımı sınırlıdır. Soğuk su ile soğutma için kullanılan ekipman genellikle bir su soğutma grubu (chiller) ile donatılmıştır. Ek olarak, malların bakteri veya mantar enfeksiyonunu önlemek için soğuk su ile soğutma suyunun uygun şekilde kimyasallar kullanımı gereklidir. Genellikle su ile soğutulan ürünler arasında kuşkonmaz, taze fasulye, havuç, şeker mısırı, kereviz, kar bezelyesi, turp ve turta vişnesi bulunur. Salatalıklar, biberler, kavunlar, şeftaliler ve erken mahsul patatesler bazen soğuk su ile soğutulur. Elmalar ve turunçgiller nadiren soğuk su ile soğutulur. Soğuk su ile soğutma, uzun pazarlama sezonu nedeniyle turunçgiller için popüler değildir; iyi hasat sonrası tutma yeteneği; ve soğuk su ile soğutmadan sonra artan soyulma hasarına, çürümeye ve kalite ve canlılık kaybına duyarlılık getirir.

Soğuk su ile soğutma hızlıdır çünkü ürünlerin etrafından akan soğuk su, ürün yüzey sıcaklığının esasen suyunkine eşit olmasına neden olur (Ryall ve Lipton 1979).

Bu nedenle, ürün yüzeyindeki ısı transferine direnç önemsizdir.

Ürünün iç soğutma hızı, iç kısımdan yüzeye ısı transfer hızı ile sınırlıdır ve ürünün hacmine yüzey alanı ve termal özelliklerine bağlıdır. Örneğin Stewart ve Lipton (1960), 36 ve 45 kavunlu koliler için yarı soğuma süresinde önemli bir fark gösterdiğini belirlemiştir. Farklı derinliklerde alınan ağırlıklı ortalama sıcaklıklar, 36 kavunlu kolinin yarıya soğutulması için 20 dakika ve 45 kavunlu kolinin yarıya soğutulması için sadece 10 dakika gerektiğini göstermiştir.

Soğuk su ile soğutma aynı zamanda ürün nem kaybına neden olmama avantajına da sahiptir. Hatta hafif solmuş ürünü yeniden nemlendirebilir (rehidre edebilir). Bu nedenle, tüketici bakış açısından, soğuk su ile soğutulmuş malların kalitesi yüksektir; Üreticinin bakış açısından satılabilir kütle yüksektir. Bunun tersine, vakum veya havayla soğutma gibi diğer önsoğutma yöntemleri, önemli miktarda ürün nem kaybına ve solmaya neden olabilir, böylece ürün kalitesini ve satılabilir kütleyi azaltabilir.

Ürünler, gevşek veya ambalaj içinde soğuk su ile soğutulabilir (bu, içinde yeterli su akışına izin vermeli ve mukavemetini kaybetmeden su ile teması tolere etmelidir). Plastik veya ahşap kaplar, soğuk su ile soğutmada kullanım için çok uygundur. Oluklu fiber (lifli) levhalardan yapılmış kaplar, su temasına dayanmak için balmumuna daldırılmışlarsa, soğuk sulu soğutucularda kullanılabilir.

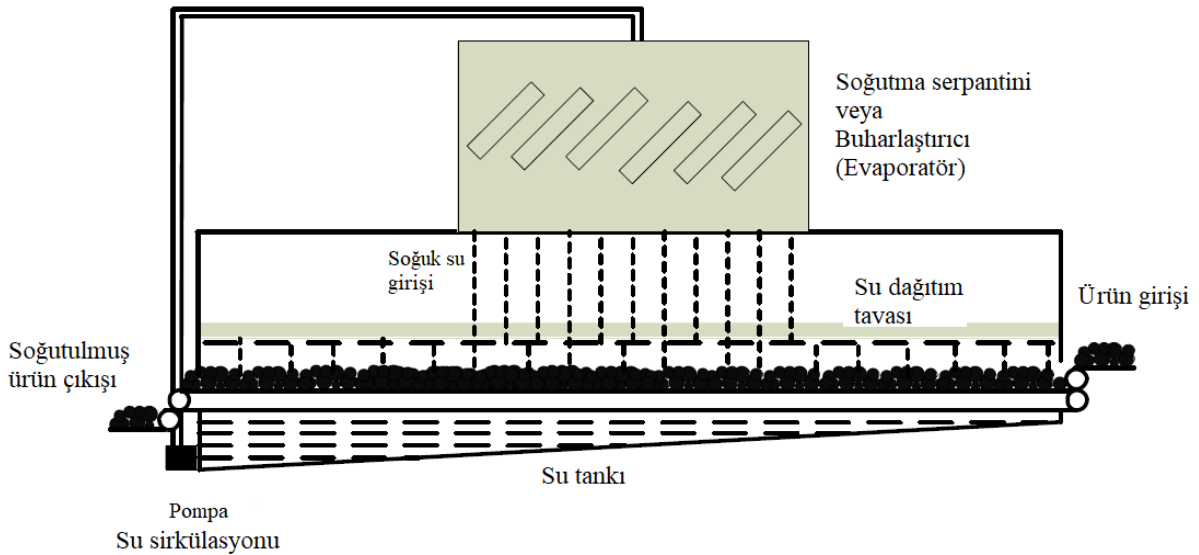
Soğuk Su ile Soğutma Türleri

Soğuk sulu soğutucu tasarımları genel olarak iki kategoriye ayrılabilir: duş tipi ve daldırma tipi. Bir duş tipi soğuk sulu soğutucusunda, ürünler, tipik olarak delikli bir tavanın soğutulmuş su ile doldurulmasıyla elde edilen bir soğutulmuş su duşunun altından geçer (Şekil 13). Yerçekimi, suyu delikli tavadan ve ürünlerin üzerine dağıtarak akıtır. Duşlu soğuk sulu soğutucular, sürekli ürün akışı

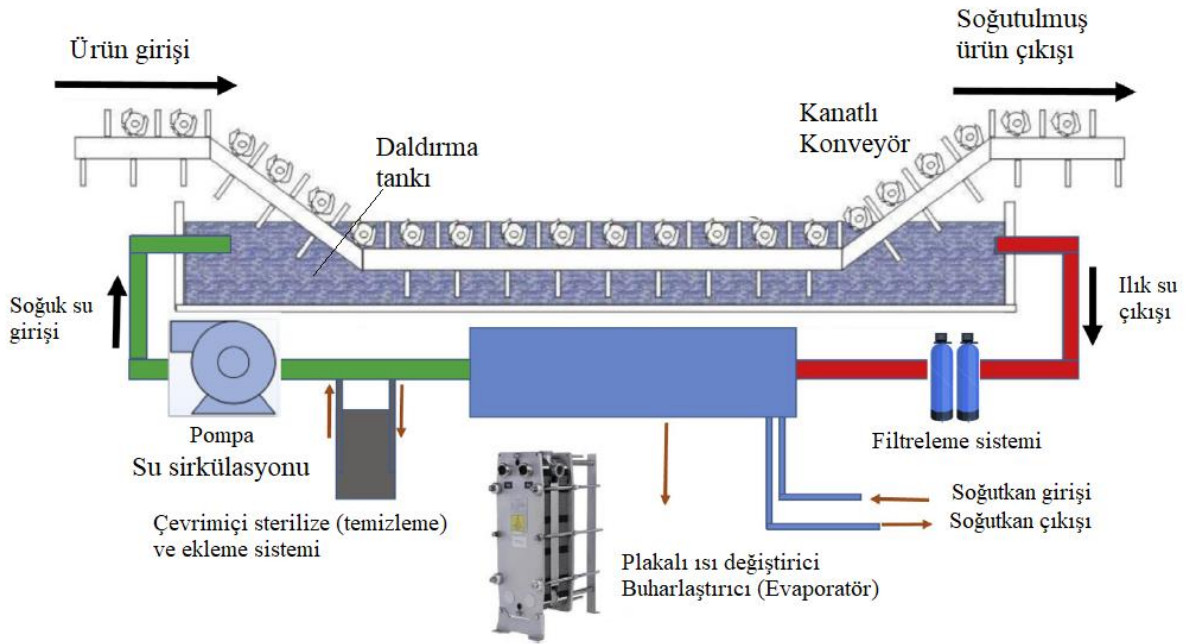
için konveyörlere sahip olabilir veya paletle kesikli yüklemeli çalıştırılabilir. Su akış oranları tipik olarak soğutma alanının metrekaresi başına 6,8 ila 13,6 L/s arasında değişir (Bennett ve diğerleri 1965; Boyette ve diğerleri 1992; Ryall ve Lipton 1979). Daldırma soğuk sulu soğutucular (Şekil 14), karıştırılmış, soğutulmuş su içeren büyük, sıg tanklardan oluşur. Sandıklar veya ürün kutuları, tankın bir ucundaki bir konveyöre yüklenir, tankın uzunluğu boyunca su altında hareket eder ve diğer ucundan çıkarılır. Daldırma soğuk su ile soğutma için 75 ila 100 mm/s'lik bir su hızı önerilir (Bennett 1963; Bennett ve diğerleri 1965).

Büyük paketleme tesislerinde, buharlaştırıcılı amonyak soğutma sistemleri genellikle soğuk su ile soğutma suyunu soğutmak için kullanılır. Soğutma serpantinleri genellikle ürünün üstüne yerleştirilir ve su serpantinlerini (buharlaştırıcıyı) geçerek soğuyup alttaki ürüne düşer. Soğutma serpantinlerinin içindeki soğutkan sıcaklığı tipik olarak -2°C 'dir ve yaklaşık 1°C 'lik bir soğutulmuş su sıcaklığı üretir. Mekanik soğutma ünitelerinin maliyeti ve işletilmesinin yüksek maliyeti nedeniyle, bunlar tipik olarak orta ila yüksek hacimli soğuk su ile soğutma işlemleri için soğutulmuş su sağlamakla sınırlıdır.

Daha küçük kapasiteli önsoğutma işlemlerinde, soğutulmuş su üretmek için mekanik soğutma yerine kırılmış buz kullanılabilir. Tipik olarak, büyük buz blokları bir buz tesisinden soğuk sulu soğutucuya taşınır ve ardından parçalanır ve soğuk sulu soğutucunun su rezervuarına eklenir. Buzla soğutulan bir soğuk sulu soğutucunun başlangıç maliyeti, mekanik soğutma kullananlardan çok daha azdır. Bununla birlikte, buzla soğutulan bir soğuk sulu soğutucunun ekonomik olarak uygulanabilir olması için, makul bir maliyetle güvenilir ve yeterli buz sağlanması gereklidir.



Şekil 13. Soğuk Su ile Soğutma(Hydrocooler) Duş Prensi Şeması [4].



Şekil 14. Daldırmalı Soğuk Su ile Soğutma (hydrocooler) prensip şeması [4].

Soğuk Su ile Soğutma Üzerine Varyasyonlar

Henry ve Bennett (1973) ve Henry vd. (1976), soğutulmuş su ve soğutulmuş havanın bir kombinasyonunun ürünler üzerinde dolaştırıldığı *sulu ve havalı soğutmayı* (hydroaircooling'i) geliştirmiştir. Sulu ve havalı soğutma, soğutma için geleneksel soğuk sulu soğutmaya göre daha az su gerektirir ve ayrıca soğutma suyunu temiz tutmak için gereken bakımı da azaltır. Geleneksel soğuk sulu soğutucularda elde edilenlere eşit ve bazı durumlarda daha iyi soğutma hızları mümkündür.

Robertson vd. (1976), sebzelerin sulu dondurma ortamı ile doğrudan temas yoluyla dondurulduğu bir işlemi açıklamıştır. Sulu dondurma ortamı, % 23 NaCl çözeltisinden oluşur. Bezelye, doğranmış havuç, kar bezelye ve kesilmiş yeşil fasulye için bir dakikadan daha kısa dondurma süreleri saptanmış ve bir maliyet analiziyle, sulu dondurma ortamıyla dondurmanın, hava üfleli dondurma için rekabetçi olduğunu göstermiştir.

Lucas ve Raoult-Wack (1998), sulu soğutma ortamı kullanılarak daldırmalı soğutma ve dondurmanın, hava üfleli soğutma veya dondurmaya kıyasla daha kısa işlem süreleri, enerji tasarrufu ve daha iyi gıda kalitesi avantajına sahip olduğunu belirtmektedir. Ana dezavantajı, çözünen maddelerin sulu çözeltiden gıda tarafından emilmesidir.

Domuz eti, balık, kümes hayvanları, biber, fasulye, domates, bezelye ve çilek dahil olmak üzere çok çeşitli yiyeceklere sulu soğutma ortamına daldırarak soğutma veya dondurma uygulanabilir.

Mekanik soğutma veya buz ile soğutulmuş su üretmeye alternatif olarak kuyu suyu kullanılabilir.

Sıcaklık, soğutulacak ürününkinden en az 5,6 K daha düşüktür. Ancak kuyu suyu, ürünü insan tüketimi için uygunsuz hale getirebilecek kimyasallar veya biyolojik kirlenmeler içermemeli ve süreçte yeniden sirküle edilmemelidir (Gast ve Flores 1991).

Soğuk Su ile Soğutma verimliliği

Soğuk su ile soğutma verimi, çevredeki havadan suya ısı kazanımı ile azalır. Etkinliği azaltan diğer ısı kaynakları arasında güneş yükleri, sıcak yüzeylerden gelen ışıma ve çevreden gelen iletim yer alır. Bu kaynaklardan koruma, verimliliği artırır.



Bir sulu soğutucu tam kapasitenin altında veya aralıklı olarak çalışırsa veya gerekenden daha fazla su kullanılırsa da enerji kaybedilebilir (Boyette ve ark. 1992).

Sulu soğutucunun enerji verimliliğini artırmak için, tasarım ve işletim sırasında aşağıdaki faktörler göz önünde bulundurulmalıdır (Boyette ve diğerleri, 1992):

- Soğutulmuş tüm yüzeyleri yalıtın ve sulu soğutucuyu rüzgardan ve doğrudan güneş ışınımından koruyun.
- Sızma (infiltrasyon) ısı kazanımını azaltmak için konveyör soğuk sulu soğutucusunun hem girişinde hem de çıkışında plastik şerit perdeler kullanın.
- Soğuk sulu soğutucuyu maksimum kapasitede çalıştırın.
- Soğutulmuş su veya buzun düşük enerji talebinin olduğu dönemlerde üretildiği ve depolandığı ve daha sonra en yüksek enerji talebinin olduğu dönemlerde Soğuk Su ile Soğutma suyunu soğutmak için mekanik soğutma ile birlikte kullanıldığı soğu depolamayı düşünün. Soğu depolama, gerekli soğutma ekipmanının boyutunu azaltır ve enerji maliyetlerini düşürebilir.
- Uygun büyüklükte bir su haznesi kullanın. İşlemden sonra Soğuk Su ile Soğutma suyu atıldığında enerji israf edildiği için, bu atık büyük boyutlu bir su rezervuarı kullanılmayarak en aza indirilebilir.

Diğer yandan, yetersiz boyutlu bir su rezervuarı ile tutarlı Soğuk Su ile Soğutma suyu sıcaklığını ve akış hızını korumak zor olabilir.

Soğuk Su ile Soğutmada su arıtma

Islak ürünlerin yüzeyi, hastalıkların gelişmesi için mükemmel bir alan sağlar. Ek olarak, soğuk su ile soğutma suyu yeniden dolaştırıldığı için, çürüme üreten organizmalar, Soğuk su ile soğutma suyunda birikebilir ve soğuk sulu soğutulan diğer mallara kolaylıkla yayılabilir. Bu nedenle, hastalığın yayılmasını azaltmak için, soğuk su ile soğutma suyu zayıf dezenfektanlarla işlenmelidir.

Tipik olarak, Soğuk Su ile Soğutma suyu, çürüme üreten organizmaların seviyelerini en aza indirmek için klor ile işlenir (USDA 2004). Soğuk Su ile Soğutma suyuna klor (gaz halinde veya sodyum hipokloritten hipokloröz asit formunda), tipik olarak 50 ila 100 ppm seviyesinde ilave edilir. Bununla birlikte, klorlama, yalnızca ürünlerin yüzey işlemlerini sağlar; ürün yüzeyinin altındaki bir enfeksiyonun etkisiz hale getirilmesini sağlamaz.

Soğuk Su ile Soğutma suyundaki klor seviyesi, uygun konsantrasyonun muhafaza edildiğinden emin olmak için düzenli aralıklarla kontrol edilmelidir.

Klor uçucudur ve artan sıcaklıkla artan bir hızda havaya dağılır (Boyette ve ark. 1992). Ayrıca, buzla soğutma kullanılırsa, Soğuk Su ile Soğutma suyunda eritme, çözelti içindeki kloru seyreltir.

Soğuk Su ile Soğutma suyundaki klorun etkinliği, maksimum etkinlik için 7.0'da tutulması gereken suyun pH'ına büyük ölçüde bağlıdır (Boyette ve diğerleri, 1992).

Soğuk Su ile Soğutma suyundaki kalıntı birikimini en aza indirmek için, soğuk su ile soğutmadan önce ürünlerin yıkanması gerekebilir. Bununla birlikte, Soğuk Su ile Soğutma suyu günlük olarak veya gerekirse daha sık değiştirilmelidir. Soğuk Su ile Soğutma suyunu bertaraf ederken özel dikkat gösterin, çünkü genellikle yüksek konsantrasyonlarda tortu, pestisit ve diğer askıda madde içerir.

Belediyeye bağlı olarak, Soğuk Su ile Soğutma suyu endüstriyel bir atık su olarak kabul edilebilir ve bu nedenle, bir soğuk sulu soğutucu sahibinin bir atık su deşarj izni alması gerekebilir (Boyette ve diğerleri, 1992). Soğuk Su ile Soğutma suyunun günlük olarak değiştirilmesine ek olarak, duş tekneleri ve/veya pislik tutucu izgaraları, maksimum verimlilik için her gün veya gerekirse daha sık temizlenmelidir.

3.5 PAKET BUZLAMALI SOĞUTMA YÖNTEMİ

Nakliye konteynerlerine yerleştirilen ince ezilmiş buz, buzla temas sonucu zarar görmeyen ürünleri etkili bir şekilde soğutabilir. Brokoli ve yeşil soğan genellikle buzla paketlenir (Hardenburg ve diğerleri 1986). Bir ürünü 35°C'den 2°C'ye soğutmak, ürün kütlesinin % 38'ine eşit buz eritme gerektirir. Paketlere sızan ısıyı gidermek ve kaptaki ısıyı gidermek için ek buzun erimesi gerekir.

Alan ısını gidermeye ek olarak, paket buz nakliye sırasında ürünü soğuk tutabilir.

Bir hortum ve pakete bağlanan özel nozul aracılığıyla nakliye konteynerine sulu buz veya sıvı buz pompalamak bazı ürünleri soğutmak için kullanılır. Bazı sistemler tek seferde tüm paleti buzlayabilir.

Bazen başka bir soğutma yöntemini desteklemek için üstte buzlanma veya paketlenmiş kapların üstüne buz yerleştirme kullanılır. Oluklu konteynerler büyük ölçüde tahta kasaların yerini aldığından, üstteki buz kullanımı, basınçlı hava ve soğuk su ile soğutma lehine azalmıştır.

Bununla birlikte, balmumu emdirilmiş oluklu mukavva kaplar, ambalajlamadan sonra ürünlerin buzlanmasına ve soğuk su ile soğutulmasına izin verir.

Pullanmış veya ezilmiş buz, sahada üretilebilir ve daha sonra kullanılmak üzere bir buz bunkerinde saklanabilir; Düşük buz taleplerine sahip kısa dönemli soğutma gereksinimleri için (örneğin, günde birkaç ton), blok buz satın almak ve sahada ezmek daha ekonomik olabilir.

Diğer bir seçenek, yerinde üretim için sıvı buz ekipmanı kiralamaktır.

Buzun soğutma kapasitesi 335 kJ/kg'dır; 1 kg buz, 3 kg ürünün sıcaklığını yaklaşık 28 K azaltacaktır. Bununla birlikte, ticari buz enjeksiyon sistemleri, ürünün soğutulması için gerekenden çok daha fazla buz gerektirir. Örneğin, 20 kg brokoli ön soğutulması, yaklaşık 32 kg üretilmiş buz gerektirir (ürün soğutmasında, nakliyesinde ve ekipman ısı kazanımında kayıplar meydana gelir; ayrıca müşteriye teslimatta kutuda kalan buz gerekir). Yüksek buz gereksinimi, sıvı suyu buz haline getirme enerjisini verimsiz ve pahalı hale getirir [6]. Buzla soğutmanın diğer dezavantajları arasında

(1) bir araçtaki net ürün kütlesini azaltan buz kütlesi;

(2) diğer ürünlerde su hasarını önlemek için suya dayanıklı ambalaj ihtiyacı; ve (3) depolama sırasında güvenlik tehlikeleri. Bu dezavantajlar, buz, soğutma yerine geçiş sırasında sıcaklık muhafazası için kullanılırsa veya sızdırmaz bir torba içinde kapatılmış jel paketi buz (genellikle çiçeklerin önsoğutulmasında kullanılır) kullanılarak en aza indirilebilir.

3.5.1. Üstten buzlama uygulamasıyla soğutma

Onlarca yıldır kullanılmakta olan önsoğutma yöntemidir. Wardlaw (1937), taze temiz sudan yapılmış kırılmış buz kullanılarak üstten buzlamayı önermiştir.

Aynı zamanda tamamen temaslı buzlama yöntemi olarak ta adlandırılır. Genellikle mahsulün üzerine doğrudan bir kırılmış buz tabakası yerleştirilerek ürün kutularına uygulanır.

Buz erir ve soğuk su mahsulün içinden geçer ve onu soğutur. Ayrıca, bir tanktan mahsulün üstüne püskürtülen buz bulamacı olarak da uygulanabilir. Su: buz oranları 1: 1 ila 1: 4 arasında değişse de, tipik bir bulamaç, buzun erime noktasını düşürmek için % 60 ince öğütülmüş buz,% 40 sudan ve genellikle % 0,1 sodyum klorürden yapılır. 1,8 kg ıspanak yaprağı için 1 kg buz tavsiye edilmiştir (Suslow ve Cantwell 1999). Buz bulamaçları, üstteki buzlanmaya kıyasla ürün ve buz arasında daha fazla temas sağlar ve bu nedenle daha hızlı soğutma ile sonuçlanmalıdır. Üst buzlamanın ana kullanımı karayolu taşımacılığı içindir ve hasattan kısa bir süre sonra, örneğin tarlada paketlenmiş marul veya brokoli, mahsul hasat edilirken ön soğutmaya başlamak için uygulanabilir.

Tindall (1983), ezilmiş buz ile ön soğutmanın bezelyelerin depolama ömürlerini yaklaşık bir haftadan 15-20 güne uzatabileceğini belirlemiştir. Ragone (2011), ekme meyvesinin hasattan sonra 1-3 gün içinde olgunlaştığını, ancak tarlada ve nakliye sırasında yontulmuş buz ile ön soğutmanın raf ömrünün uzatılabileceğini bulmuştur.

Wardlaw (1937), hindiba ve ıspanak hasadından sonra mümkün olan en kısa sürede en iyi buzlamayı önermiştir. Lutz ve Hardenburg (1968), üstteki buzlamanın bamya ve yeşil fasulyede su lekelenmesine neden olduğunu belirtmiştir.

3.6 VAKUMLA SOĞUTMA YÖNTEMİ

Vakum soğutma, kesikli (yüklemeli ve boşaltmalı) bir işlemdir. Soğutulacak ürün flaş odasına yüklenir, sistem devreye alınır ve basınç istenilen doyma sıcaklığına düşürülerek ürün soğutulur. Sistem daha sonra kapatılır, ürün çıkarılır ve işlem tekrarlanır. Ürün, soğutulmadan önce normal ortam sıcaklığında olduğundan, vakum soğutma, flaş haznesindeki suyun her çalıştırmadan önce ortam sıcaklığına gelmesine izin verilen vakum soğutma sisteminin bir dizi aralıklı işlemi olarak düşünülebilir. Soğutma kapasitesini belirlemeye yönelik fonksiyonel ilişkiler her durumda aynıdır.

Soğutma, çoğunlukla soğutulacak ürünün yüzeyinden su kaynatılarak sağlanır. Kaynama sıcaklığı basınç düşük olduğundan ürünün önsoğutulma sıcaklığına yakın değerdedir. Suyu kaynatmak için gereken buharlaşma ısı buna göre soğutulan ürün tarafından sağlanır. Basınç daha da düştükçe, soğutma istenen sıcaklık seviyesine kadar devam eder. 100°C'deki su doyma basıncı 101.3 kPa'dır; 0°C'de ise doyma basıncı 0.610 kPa'dır. Ticari vakumlu soğutucular normalde bu basınç aralığında çalışır. Marulun soğutma hızı, -2°C'lik bir doyma sıcaklığına karşılık gelen basınç 0.517 kPa'ya düşürülerek donma tehlikesi olmadan artırılabilir de, çoğu operatör, vakumlu önsoğutucu işletme basıncını, ilave iş ve donma potansiyeli nedeniyle suyu donduran basıncın altına düşürmez.

Basınç, Hacim ve Sıcaklık

Vakum soğutmada, termodinamik işlemin iki aşamada gerçekleştiği varsayılır. İlk aşamada, ürünün flaş odasına ortam sıcaklığında yüklendiği varsayılır ve flaş odasındaki sıcaklık doyma basıncına ulaşılan kadar sabit kalır. Kaynama başlangıcında, haznede kalan az miktardaki hava su buharı ile değiştirilir, birinci aşama sona erer ve ikinci aşama aynı anda başlar.

İkinci aşama, ürün istenen sıcaklığa soğuyana kadar doygunlukta devam eder.

Ticari bir vakumlu soğutucudaki yaklaşık bir çözüm için ideal gaz yasası uygulanırsa, basınç / hacim ilişkileri,

1. Faz: $P_v=8.697 \text{ (kN}\cdot\text{m)/kg}$
2. Faz: $P_v^{1.056}=16.985 \text{ (kN}\cdot\text{m)/kg}$

Burada P mutlak basınç ve v özgül hacimdir.

Basınç / sıcaklık ilişkisi, ortam ve ürün sıcaklığının değeri ile belirlenir.

Bu değer için 30°C'ye dayanarak, flaş odasındaki sıcaklık teorik olarak 30°C'de sabit kalır, çünkü basınç atmosferik değerden doygunluğa düşer ve ardından doyma çizgisi boyunca kademeli olarak düşer.

Bu ilişkiler Şekil 15.'de gösterilmektedir. Ürün sıcaklığı benzer şekilde yanıt verir, ancak üründe sıcaklığın nerede ölçüldüğüne, ürünün fiziksel özelliklerine ve mevcut ürün yüzey suyu miktarına bağlı olarak değişir. Ürün yüzeyinin altındaki hücreler arası boşluklarda bir miktar buharlaşmanın meydana gelmesi mümkün olsa da, suyun çoğu yüzeyden buharlaşır. Bu suyu buharlaştırmak için gereken ısı da üretilen termal gradyan altında iletim yoluyla aktığı ürün yüzeyinden alınır. Bu nedenle, soğutma hızı, yüzey alanı ile ürün hacmi arasındaki ilişkiye ve flaş odasında vakumun çekilme hızına bağlıdır.

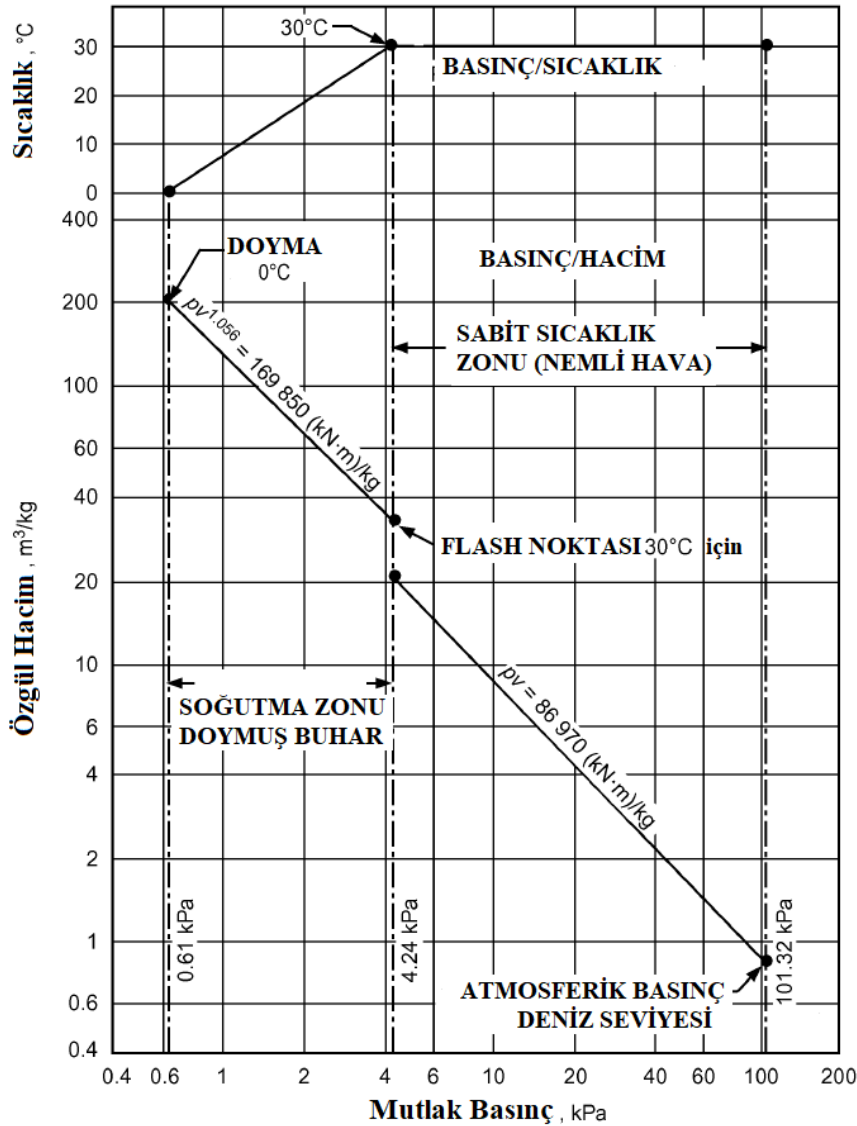
Tek soğutucu akışkan su olduğu için, üründen çıkarılan ısı miktarı buharlaşan su kütesine ve onun gizli buharlaşma ısısına, h_{fg} bağlıdır. Çevreden ısı kazanımı olmaksızın ideal bir koşul varsayılarak, üründen çıkarılan toplam ısı Q aşağıdaki gibidir:

$$Q = m_v h_{fg} \quad (6)$$

Vakum soğutma sırasında üründen çıkarılan nem miktarı, bu durumda, doğrudan ürünün özgül ısı ve elde edilen sıcaklık düşüşünün miktarı ile ilgilidir.

4 kJ/(kg · K) özgül ısı kapasitesine sahip bir ürün teorik olarak sıcaklıktaki her 6 K düşüş için % 1 nem kaybeder. 16 farklı sebzenin vakumla soğutulmasıyla ilgili bir çalışmada Barger (1963), tüm ürünlerin soğutulmasının üründen buharlaşan nem miktarıyla orantılı olduğunu göstermiştir.

Soğutulan üründen bağımsız olarak, kütle kaybının her % 1'i için ortalama 5 ila 5,5 K sıcaklık düşüşleri gerçekleşir. Bu kitlesel kayıp, yetiştiricinin aldığı para miktarını, ürünün turgorunu ve gevrekliğini azaltabilir. Bu kaybı azaltmak için bazı sebzelere önsoğutma öncesinde veya sırasında su püskürtülür.



Şekil 15. Vakumlu önsoğutucuda üründe 30°C'dan 0°C'a soğutmada, basınç, hacim ve sıcaklık değişimleri [1].

Ticari Sistemler

Soğutucu akışkan olarak suyu kullanan dört tip vakum soğutma sistemi (1) buhar ejektörlü, (2) santrifüj, (3) rotary (dönen veya rotatif) ve (4) pistonludur. Her birinin vakum üretme cihazlarının mekanizmasının bir şeması Şekil 16.'da gösterilmektedir.



Bunlardan buhar ejektörü tip, vakum soğutmada ihtiyaç duyulan düşük basınçlarda karşılaşılan son derece yüksek hacimli su buharının yerini almak için en uygun olanıdır. Aynı zamanda birkaç hareketli parçaya sahip olma avantajına sahiptir, dolayısıyla su buharını yoğunlaştırmak için kompresör gerektirmez. Yüksek basınçlı buhar, seri olarak düzenlenmiş bir dizi jetler veya ejektörler aracılığıyla genişletilir ve ejektörlerin altına monte edilmiş barometrik kondenserlerde yoğunlaştırılır. Yoğuşma için soğutma suyu, cebri çekişli bir soğutma kulesi aracılığıyla gerçekleştirilir.

Bu avantajlara rağmen, buhar kullanımının zorluğu ve taşınabilirlik eksikliği nedeniyle günümüzde az sayıda buhar ejektörlü vakumlu soğutucu kullanılmaktadır. Bunun yerine, mevsimlik üretim alanlarını takip etmek için vakumlu soğutucular yarı (çekme) römorklara monte edilir.

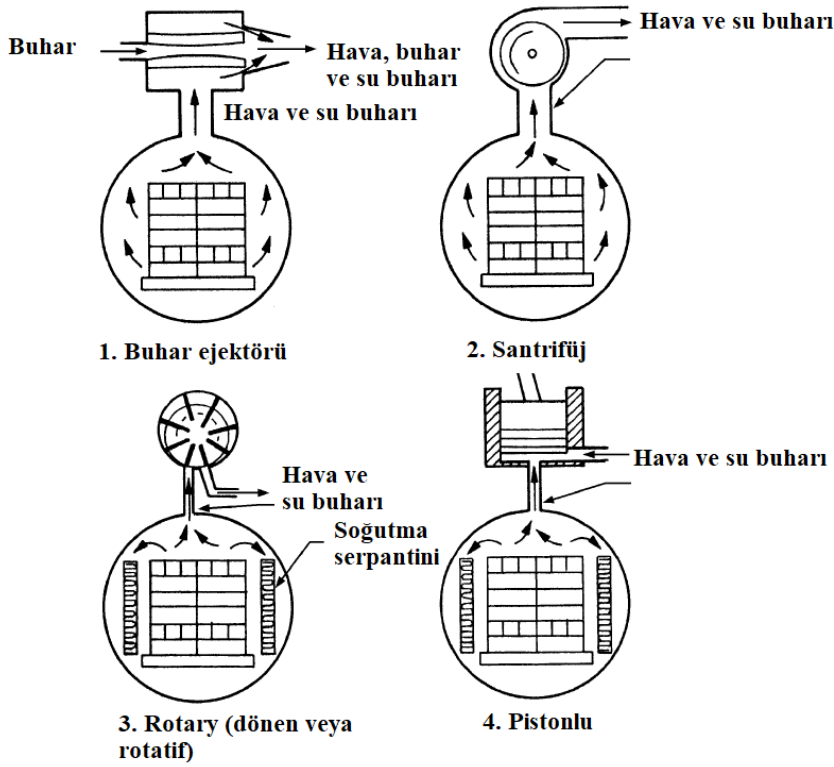
Santrifüj kompresör aynı zamanda yüksek hacimli bir pompadır ve su buharı ile soğutmaya adapte edilebilir. Bununla birlikte, vakum soğutmada kullanımı, ihtiyaç duyulan düşük basınçları üretmek için gereken yüksek dönme hızlarında içsel mekanik zorluklar nedeniyle sınırlıdır.

Hem döner hem de pistonlu vakum pompaları, ihtiyaç duyulan düşük basınçları üretebilir ve ayrıca taşınabilirlik avantajına sahiptir.

Pozitif deplasmanlı pompalar olmalarına karşın hacimsel kapasiteleri düşüktür; bu nedenle, döner veya pistonlu pompalar kullanan vakumlu soğutucular, üründen buharlaşan su buharını yoğunlaştırmak ve böylece pompadan geçen su buharını ortadan kaldırmak için ayrı soğutma sistemlerine sahiptir. İdeal olarak, tüm su buharının yoğunlaştığı varsayıldığında, gerekli soğutma kapasitesi, soğutma sırasında üründen çıkan ısı miktarına eşittir. Üründen çıkarılan büyük miktardaki buhar soğutma sistemi evaporatör yüzeyinde yoğuşur. Evaporatör, üründen çıkarılan büyük miktardaki buharı birkaç dakika içinde yoğuşturmak için yeterli yüzeye sahip olmalıdır.

Soğutma, soğuk tuzlu sudan veya direkt genleşmeli soğutma sisteminden sağlanır. Çok fazla buharın hızlı yoğunlaşmasından çok büyük bir pik yük oluşur. En iyi sonuçlar, soğutma tesisi, yükü yumuşatmak için yeterli miktarda depolanmış soğutmaya sahip büyük bir tuzlu su veya buz yapma tankı ile donatılmışsa elde edilir. Saatte üç arabayı idare etme kapasitesine sahip standart üç borulu bir tesis, en az 900 kW soğutma yüküne sahiptir.

Soğutma etkinliğini artırmak ve ürün nem kaybını azaltmak için ürün bazen soğutma başlamadan önce ıslatılır. Bununla birlikte, iceberg tipi marul nadiren önceden ıslatılır. Vakum soğutmanın bir modifikasyonu, soğutulmuş suyu soğutma işlemi boyunca ürün üzerinde dolaştırır. Başlıca avantajları arasında artan soğutma oranları ve her vakum işleminden sonra soğutulmuş suda depolanan artık soğutma yer alır. Ayrıca geleneksel vakumla soğutmadan sonra rahatsız edici solma gösteren ürünlerden su kaybını da önler.



Şekil 16. Vakum üreten cihazların mekanizmalarının şematik kesitleri [1].

Uygulamalar

Vakum soğutma genellikle, özellikle yatırım maliyeti açısından diğer soğutma yöntemlerine göre daha pahalı olduğundan, vakumla soğutmanın kullanımı esas olarak çok daha hızlı veya daha uygun olduğu ürünlerle sınırlıdır. Marul, ideal olarak vakumla soğutmaya uygundur.

Çok sayıdaki tek tek yaprak geniş bir yüzey alanı sağlar ve dokular kolayca nemi serbest bırakır. Basınç ve kondenser sıcaklıkları dikkatlice kontrol edilmediği takdirde, marulları vakum odasında dondurmak mümkündür. Bununla birlikte, marul bile tamamen aynı şekilde soğumaz.

Etili çekirdek veya dip, yapraklardan daha yavaş nemi serbest bırakır. Yaprak sıcaklıkları 0.5°C'ye düştüğünde çekirdek dokusunda 6°C'ye kadar yüksek sıcaklıklar kaydedilmiştir (Barger 1961). Ispanak, hindiba ve maydanoz gibi diğer yapraklı sebzeler de vakumla soğutma için uygundur. Daha az uygun olan ancak ısıtılarak uyarlanabilen sebzeler kuşkonmaz, kuru fasulye, brokoli, brüksel lahanası, lahana, karnabahar, kereviz, yeşil bezelye, şeker mısır, pırasa ve mantardır. Bu sebzelerden yalnızca kereviz, lahana ve mantarlar Kaliforniya'da ticari olarak vakumla soğutulmaktadır. Bazı meyveler dışında meyveler genellikle uygun değildir. Salatalık, kavun, domates, kuru soğan ve patates, düşük yüzey-kütle oranları ve nispeten geçirimsiz yüzeyleri nedeniyle çok az soğur. Benzer koşullar altında vakumla soğutulduğunda çeşitli sebzelerin son sıcaklıkları Şekil 17.'de gösterilmektedir.

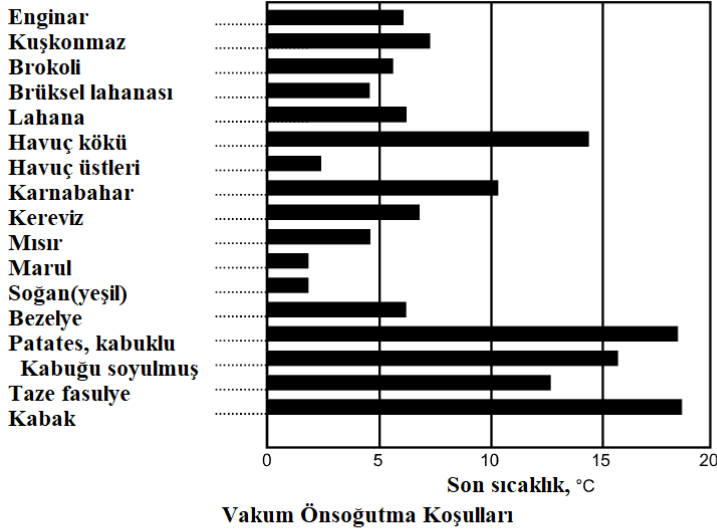
Vakumla soğutma ile elde edilen soğutma hızı ve son sıcaklık, büyük ölçüde, ürünün yüzey alanının kütlelerine oranı ve dokularından su verme kolaylığından etkilenir.

Sonuç olarak, meyve ve sebzelerin uyarlanabilirliği, bu önsoğutma yöntemine göre büyük ölçüde değişiklik gösterir. Düşük yüzey-kütle oranına sahip ürünler için yüksek sıcaklık değişimleri meydana gelir.

İstenilen kütle-ortalama sıcaklığa ulaşılmadan önce yüzeyin donmasını önlemek için, vakum basıncı, istenen sıcaklığa ulaşmaya yetecek kadar, 615 Pa civarında tutulur.

Mekanik vakumlu soğutucular çeşitli boyutlarda tasarlanmıştır.

Çoğu kurulum silindirik veya dikdörtgen geometri kullanır. Taşınabilirlik için, bazı vakumlu soğutucular ve ilgili soğutma ekipmanları düz römorklara (treylere) yerleştirilmiştir.



Ürün başlangıç sıcaklığı	= 20 to 22°C
Minimum basınç	= 530 to 610 Pa
Kondenser sıcaklığı	= -1,7 to 0°C
Vakum tankı içerisinde kalma süresi	= 0.42 to 0.5 h

Şekil 17. Sebzelerin benzer vakum koşullarında karşılaştırmalı soğutulması [1].

Vakumla Soğutma ile ilgili daha kapsamlı bilgiler Rao C.G. [8]'de verilmiştir.

3.7 BİR SOĞUTMA YÖNTEMİNİN SEÇİLMESİ

Paketleme odası boyutu ve işletim prosedürleri, ürünün soğutma yöntemine tepkisi ve pazar talepleri, kullanılan soğutma yöntemini büyük ölçüde belirler. Diğer faktörler arasında ürünün sahada mı yoksa paketleme evinde mi ambalajlanmış olduğu, ürün karışımı, soğutma sezonu uzunluğu ve kuru ve suya dayanıklı kartonların karşılaştırmalı maliyetleri yer alır. Bazı durumlarda, kullanılacak soğutma türü hakkında çok az soru vardır. Örneğin, vakumla soğutma en çok marul ve diğer benzer sebzeler üzerinde etkilidir. Amerika Birleşik Devletleri'nin güneydoğusundaki şeftali paketleyicileri ve bazı sebze ve turunçgil paketleyicileri Soğuk su ile soğutmadan memnundur. Havalı (oda) önsoğutma elma, armut ve turunçgiller için kullanılır. Diğer durumlarda, soğutma yöntemi seçimi o kadar net tanımlanmamıştır. Kereviz ve şeker mısırı genellikle soğuk sulu önsoğutulur, ancak vakumla da etkili bir şekilde önsoğutulabilirler. Kavunlar birkaç yöntemle tatmin edici bir şekilde önsoğutulabilir. Tatlı kirazlar genellikle paketleme evlerinde soğuk sulu soğutulur, ancak meyve bahçesinde paketlenmişse hava ile soğutulur. Birden fazla yöntem kullanılabilir olduğunda, maliyet önemli bir konu haline gelir. Hızlı zorlanmış hava ile soğutma, Soğuk su ile soğutmadan daha maliyetli olmasına rağmen, eğer ürün hızlı soğutma gerektirmiyorsa, bir zorlanmış hava sistemi neredeyse soğuk su ile soğutma kadar ekonomik bir şekilde çalışabilir.

Narenciye meyveleri için önsoğutma sistemlerinin maliyetlerini değerlendirmek için yapılan bir çalışmada, Gaffney ve Bowman (1970), toplu partilerdeki zorlanmış havalı önsoğutma maliyetinin, toplu halde Soğuk su ile soğutmadan % 20 daha fazla olduğunu ve kartonlar içinde, toplu olarak Soğuk su ile soğutmadan % 45 daha fazla maliyetli olduğunu belirlemiştir.

Tablo 6 ve Tablo 9. Çeşitli ürünler için önerilen ön soğutma ve soğutma yöntemlerini özetlemektedir.

Altı yaygın soğutma yönteminin tipik ürünlere etkilerinin ve maliyetinin karşılaştırması Tablo 7.'de gösterilmektedir.

Tablo 7. Altı yaygın soğutma yöntemi için tipik ürün etkilerinin ve maliyetinin karşılaştırması [6].

	Zorlanmış Hava Akımlı Soğutma	Soğuk Su ile Soğutma	Vakumla Soğutma	Su Püskürtmeli Soğutma	Paket Buzlamalı Soğutma	Oda Soğutması
Tipik soğutma süresi (saat)	1 – 10	0.1 – 1.0	0.3 – 2.0	0.3 – 2.0	0.1 – 0.3	Veri yok
Ürün nem kaybı (%)	0.1 – 2.0	0 – 0.5	2.0 – 4.0	Veri yok	Veri yok	0.1 – 2.0
Ürünle su teması	Hayır	Evet	Hayır	Evet	Evet (torbalı olmadıkça)	Hayır
Çürüme kontaminasyonu potansiyeli	Düşük	Yüksek	Yok	Yüksek	Düşük	Düşük
Yatırım maliyeti	Düşük	Düşük	Orta	Orta	Yüksek	Düşük
Enerji verimliliği	Düşük	Yüksek	Yüksek	Orta	Düşük	Düşük
Suya dayanıklı ambalaj gerekliliği	Hayır	Evet	Hayır	Evet	Evet	Hayır
Taşınabilirlik	Bazen	Nadiren	Yaygın	Yaygın	Yaygın	Hayır
Seri soğutmanın fizibilitesi	Nadiren	Evet	Hayır	Hayır	Nadiren	Hayır

Enerji maliyetleri

Soğutmanın enerji maliyeti, soğutucular arasında büyük farklılıklar gösterir (Şekil 11.19). Enerji kullanımı, şu şekilde tanımlanan bir enerji katsayısı (EC) ile ifade edilir:

$$EC = \frac{\text{Gerçekleşen soğutma işi (kWh)}}{\text{Kullanılan elektrik işi (kWh)}}$$

Yüksek EC sayıları enerji açısından verimli bir çalışmayı gösterir. Her bir soğutucu türü için EC aralığı, aynı türdeki soğutucular arasındaki tasarım ve işletim prosedürlerindeki farklılıkları yansıtır.

Bir soğutucuyu çalıştırmak için gerçek enerji maliyetleri aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanabilir (EC için bir değer varsayılarak). Verimli soğutma sistemlerinde enerji maliyetleri toplam maliyetlerin% 5'inden az olabilir.

SI birimlerinde:

$$\text{Elektrik Maliyeti (TL)} = \frac{m \cdot \Delta T \cdot R \cdot C_p}{3600 \cdot EC}$$

Burada,

m: Soğutulan ürün kütlesi, kg

ΔT : Üründeki sıcaklık azalması, °C

R: Elektrik birim fiyatı, TL/kWh

EC: Enerji katsayısı, (-)

C_p : Ürün özgül ısı, kJ/kg°C. Bilinmiyor ise 4.184 alınabilir.

Eşitlikte kullanılan 3600, birim dönüştürme katsayısı olup 3600 kJ = 1 kWh'tir.

Tablo 8.'te Ön soğutucuların enerji kullanım verimliliğini karşılaştırmak için gerekli, ortalama enerji katsayıları, EC ve aralığı verilmiştir.

Tablo 8. Ön soğutucuların enerji kullanım verimliliğini karşılaştırmak için gerekli, ortalama enerji katsayıları, EC ve aralığı [6].

Önsoğutma yöntemi	Ortalama enerji katsayısı, <i>EC</i>	Enerji katsayısı aralığı
Zorlanmış Hava Akımlı Soğutma	0.4	0.3-0.5
Paket Buzlamalı Soğutma	0.7	0.3-1.0
Püskürtmeli sulu Vakumla Soğutma	1.1	0.9-1.3
Soğuk Su ile Soğutma	1.4	0.7-2.3
Vakumla Soğutma	1.8	1.5-2.5

İşçilik ve diğer ekipman maliyetleri, toplam işletme maliyetlerinin hesaplanmasına dahil edilmelidir.

Bu maliyetler için belirli veriler mevcut olmamasına rağmen, önemli ölçüde farklılık gösterebilir. Örneğin, bir paketleme hattına yerleştirilmiş bir hidro-soğutucu çok az işçilik ve diğer ekipman gerektirir, ancak sahada paketleme işlemlerinde kullanılan bağımsız soğutucular, ürünü soğutucu içine ve dışına taşımak için operatörler ve kaldırma araçları gerektirir.

Bir soğutma yöntemi, ürünün özel bir kartonda paketlenmesini gerektiriyorsa, kartonun ekstra maliyeti, soğutucu türlerinin karşılaştırılmasına dahil edilmelidir. Örneğin, paket buzlama, soğuk sulu soğutma ve su püskürtmeli vakum soğutma, suya dayanıklı paketlemeye ihtiyaç duyar. Bu maliyet artışı gerektirir ve işletme maliyetlerinde dikkate alınmalıdır.

Tablo 9. Bahçe Bitkileri için Önerilen Soğutma Yöntemleri [1, 14].

Ürün	İşlemin boyutu	
	Büyük	Küçük
<i>Ağaç meyveleri</i>		
Narenciye	R	R
Yaprak dökken	FA, R, HC	FA
Subtropikal	FA, R	FA
Tropikal	FA, R	FA
Çilek	FA	FA
Üzüm	FA	FA
<i>Yapraklı sebzeler</i>		
Lahana	VC, FA	FA
Göbek salata (Iceberg)	VC	FA
Kara lahana	VC, R, WV	FA
Yaprak marulları, ıspanak, hindiba, Çin lahanası, Pazı, marul	VC, FA, WV, HC	FA
<i>Kök sebzeler</i>		
Üstleri ile	HC, PI, FA	HC, FA
Üstü	HC, PI	HC, PI, FA
İrlanda patatesleri, tatlı patatesler	R, EC, HC	R
<i>Kök ve çiçek sebzeleri</i>		
Enginar	HC, PI	FA, PI
Kuşkonmaz	HC	HC
Brokoli, Brüksel lahanası	HC, FA, PI	FA, PI
Karnabahar	FA, VC	FA
Kereviz, ravent	HC, WV, VC	HC, FA
Yeşil soğan, pırasa	PI, HC	PI
<i>Mantarlar</i>	FA, VC	FA
<i>Kabuklu sebzeler</i>		
Fasulye	HC, FA	FA
Bezelye	FA, PI, VC	FA, PI
<i>Soğanlı sebzeler</i>		
Kuru soğan	R	R, FA
Sarınsak	R	
<i>Meyve türü sebzeler</i>		
Salatalık, patlıcan	R, FA, FA-EC	FA, FA-EC
<i>Kavunlar</i>		
Kavun, miskkavun, kış kavunu	HC, FA, PI	FA, FA-EC
kantalup kavunu	FA, R	FA, FA-EC
Karpuz	FA, HC	FA, R
Biberler	R, FA, FA-EC, VC	FA, FA-EC
Yaz kabakları, bamya	R, FA, FA-EC	FA, FA-EC
Şeker mısır	HC, VC, PI	HC, FA, PI
Küçük domates	R, FA, FA-EC	FA, FA-EC
Domates	R, FA, FA-EC	
Kış kabakları	R	R
<i>Taze bitkiler</i>		
Paketlenmemiş	HC, FA	FA, R
Ambalajlı	FA	FA, R

R = Odalı ısıtılma, WV = Su spreyi vakumlu ısıtılma
HC = Hidro ısıtılma, PI = Paket buzlu ısıtılma
FA = zorlanmış havah ısıtılma,
FA-EC = zorlanmış havah buharlaştırma (evaporatif) ısıtılma
VC = Vakumlu ısıtılma, EC = Evaporatif ısıtılma

Notlar:

Kayıp hidro-soğutulamaz.
Ürünler, kükürt dioksit fümigasyonuna uyulanabilen hızlı soğutma tesisleri gerektirir.
Havuç vakumla soğutulabilir.
Evaporatif soğutucularda, patatesler için tesisler kürelemeye adapte edilmelidir.
Tesisler soğanları sertleştirmeye adapte edilmelidir.
Meyve türü sebzeler soğumaya karşı hassastır, ancak değişen sıcaklıklarda soğutulabilir.
Hidro-soğutucudaki suyla karıştırıldığında taze otlar kolayca zarar görebilir.

4. SONUÇ

Bu çalışmada sebze meyvelerin ön soğutulması yöntemleri özellikleri, üstünlükleri ve olumsuzlukları ile tartışılmıştır. Yaygın ürünlerde kullanılan yöntemler listelenmiştir. Uygun bir soğutma sisteminin tasarımı genel prensipleriyle verilmiş ve tartışılmıştır.



Ülkemizde de yeni hasat edilen ürünler için önsoğutma zorunlu ve yaygınlaşması gereken işlemlerden olup, tarımsal ürünlere uygulanması gerekmektedir. Bu konuda üretim yapan teknoloji geliştiren yerli üreticilerimizin de artırılması gereklidir.

KAYNAKLAR

- [1] ASHRAE Refrigeration HANDBOOK-2018-Chapter 28-Methods of Precooling Fruits, Vegetables, and Cut Flowers.
- [2] ASHRAE Refrigeration Handbook-2018-Chapter 19-Thermal Properties of Foods
- [3] ASHRAE Refrigeration Handbook 2018-Chapter 20-Cooling and Freezing Times of Foods.
- [4] Postharvest Technology of Perishable Horticultural Commodities, 2019, Pages 161-207, Chapter 6, Precooling, Atef Mohamed Elansari, Donald L.Fenton, Christopher W.Callahan
- [5] Fresh Fruits and Vegetable Pre-cooling for Market Gardeners for Alberta, John Kienholz and Ike Edeogu, Alberta, Agriculture, Food and Rural Development, Canada, 2002.
- [6] Thompson J.F., Mitchell F.G., Rumsey T.R., Kasmire R.F., Crisosto C.H., Commercial Cooling of Fruits, Vegetables, and Flowers, University of California, Agriculture and Natural Researces 21567, Revised Edition, 2002.
- [7] Thompson A.K., Fruit and Vegetables Harvesting, Handling and Storage, 2003 by Blackwell Publishing Ltd.
- [8] Rao C.G., Engineering for Storage of Fruits, Cold Storage, Controlled Atmosphere Storage, Modified Atmosphere Storage, 2015 BSP Books Pvt. Ltd.
- [9] Dincer, I., and O.F. Genceli, Cooling of spherical products: Part II heat transfer parameters, International Journal of Energy Research, VOL. 19,219-225 (1995).
- [10] Dincer, I., and O.F. Genceli, Cooling process and heat transfer parameters of cylindrical products cooled both in water and in air. International Journal of Heat & Mass Transfer 37(4):625-633,1994.
- [11] Dincer, I., and O.F. Genceli, Cooling of spherical products: Part I-Effective process parameters. International Journal of Energy Research 19(3):205-218, 1995.
- [12] Zhao Chun-Jiang, Han Jia-Wei, Yang Xin-Ting, Qian Jian-Ping, Fan Bei-Lei, A review of computational fluid dynamics for forced-air cooling process, Applied Energy, Volume 168, 15 April 2016, Pages 314-331.
- [13] Erkan Turan, Hasat Sonrası Meyve ve Sebzeler için Ön soğutma Tesis Planlaması ve Tasarımı, Soğutma Dünyası Sayı 90, 2020, ESSİAD Dergisi.
- [14] ASHRAE Refrigeration HANDBOOK-2022

ÖZGEÇMİŞLER

Turan ERKAN

1952 Alaşehir-Manisa doğumlu, bir kız bir oğlan çocuk babasıdır. 1970 yılında Ege Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Akademisi Makina Mühendisliği Bölümü'nde Lisans eğitimine başladı 1977 Şubat ayında mezun oldu. 1977 yılı Temmuz ayında Pınar Süt fabrikasında Enerji Tesisleri Şefi ünvanı ile çalıştı. 1978 Mayıs ayında Alarko İzmir satış mağazasında teklif hazırlama mühendisi olarak çalışmaya başladı. 1983 yılı içinde çalışmakta olduğu Alarko'dan ayrılıp kendi şirketini kurma kararı aldı. 1983 yılı Ekim ayında gıda soğutması alanında üretim yapma hedefi ile TİMSAN ünvanlı şirketini kurdu. Şirket faaliyeti 2012 yılında 2.ci nesil tarafından yönetilmeye başladı. Yaşadığı ağır sağlık sorunları sonucu 2020 Mart sonunda şirketle olan ilişkisi sonlandı. Yaşamını evde sürdürmekle birlikte birikmiş bilgi ve tecrübelerini yazılı eserleriyle sürdürme gayreti içindedir.

Ali GÜNGÖR

1955 Elazığ doğumlu, evli ve iki kız çocuk babasıdır. Ege Üniversitesi, Mühendislik Bilimleri Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü'nden 1977 yılında Mühendis, 1978 yılında Yüksek Mühendis ve aynı



Üniversitenin Güneş Enerjisi Enstitüsü'nden 1985 yılında Doktor Mühendis derecelerini aldı. 1986 yılında Kanada'da Brace Research Institute'de altı ay araştırmalarda bulundu. 1989 yılında Isı ve Madde Transferi Bilim Dalında Doçent oldu. 1996 yılında Ege Üniversitesinde Profesör ünvanını aldı. 1997-2012 yılları arasında Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü'nde Bölüm Başkanlığı yaptı. 27 Mayıs 2022 tarihinde emekli oldu. Halen güneş enerjisi, iklimlendirme, soğutma teknolojileri, titreşimli ısı boruları, ısı ve madde transferi uygulamaları, termodinamik konularında çalışmalarına devam ediyor.