



Bu bir MMO
yayıdır

MMO bu yayındaki ifadelerden, fikirlerden, toplantıda çıkan sonuçlardan,
teknik bilgi ve basım hatalarından sorumlu değildir.

VAKUM SOĞUTMA TEKNİĞİNİN FESLEĞEN İÇİN İNCELENMESİ

NESLİHAN ÇOLAK GÜNEŞ
ORHAN EKREN
EGE ÜNİVERSİTESİ

VAKUM SOĞUTMA TEKNİĞİNİN FESLEĞEN İÇİN İNCELENMESİ

Investigation of Vacuum Cooling for Basil

Neslihan Çolak GÜNEŞ
Orhan EKREN

ÖZET

Günümüzde gıdaların taze ve doğal olarak tüketilmesine yönelik talebin artması ile gıda muhafaza yöntemleri arasında soğutmaya olan ilgi de artmıştır. Soğukta muhafaza sırasında gıdalarda kimyasal reaksiyonlar ve enzimatik faaliyetler gecikmekte, mikroorganizmaların çoğalma hızları ve aktiviteleri yavaşlamakta, dolayısıyla gıdaların dayanım süreleri daha uzun olmaktadır. Bu çalışmada, günlük yaşantımızda vazgeçilmez olan gıdaların soğutulması için kullanılan soğutma yöntemlerinden vakum soğutma yöntemi, farklı gıdalar için kullanılabilirliği ve soğutma performansı açısından incelenmiştir. Ayrıca, küçük ölçekli bir vakum soğutma düzeneği kurularak, bu sistemde taze fesleğenin soğutma denemeleri yapılmıştır. Denemeler sonunda fesleğen sıcaklığı 20°C den yaklaşık 10°C'ye 10 dakika gibi kısa bir süre içinde indirilebilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Vakum soğutma, gıda soğutma, buharlaşma, enerji verimliliği.

ABSTRACT

Recently, food cooling systems are being attractive since increasing demand of fresh and natural consuming of foods. During cold storage, chemical reactions and enzymatic activities delay and also microorganism growing speed decreases simultaneously and as a result of these shelf of foodstuffs are being extended.. In this study, vacuum cooling methods has been investigated for different foods which are important for our daily consumption. Furthermore, experimental cooling test for fresh basil has been realized in a small scale vacuum cooling system. Experimental studies showed that temperature of the basil can be decreased from 20°C to 10°C in only 10 minutes.

Key Words: Vacuum cooling, food cooling, evaporation, energy efficiency.

1. GİRİŞ

Gıdalar elde edildikleri (hasat, kesim, v.b.) andan itibaren mikrobiyal ve enzimatik olarak bozulmaya başlarlar. Daha uzun raf ömrü elde etmek; renk, doku, lezzet gibi çeşitli özellikleri daha uzun süre korumak amacıyla gıdalar, kurutma, koruyucu katkı maddeleri kullanma, fermentasyon, sterilizasyon, pastörizasyon, konserve etme, soğutma ve dondurma gibi farklı yöntemlerle muhafaza edilmektedirler.

Gıda güvenliğinin sağlanması için geliştirilmiş olan çeşitli muhafaza yöntemlerinin temel prensibi, mikrobiyal kontaminasyonların üretimin her aşamasında kontrol altında tutulması ve azaltılması; istenmeyen mikrobiyal gelişimin durdurulması veya yavaşlatılmasıdır. Soğukta muhafaza sırasında gıdalarda kimyasal reaksiyonlar ve enzimatik faaliyetler gecikmekte, mikroorganizmaların çoğalma hızları ve aktiviteleri yavaşlamakta, dolayısıyla gıdalar daha uzun süre saklanabilmektedirler [1].

Soğutma, tek başına bir gıda muhafaza yöntemi olduğu gibi, diğer yöntemlerle birlikte de kullanılan, geçmişi M.Ö.1100'lere kadar uzanan önemli bir prosestir. Başlangıçta gıdaların tadının korunması amacıyla doğada bulunan ve kendiliğinden soğutma etkisi olan buz, kar, soğuk hava veya su kullanımı gibi basit denebilecek yöntemler keşfedilmiş ve gıdaların tadının korunması (soğutulmuş) için kullanılmıştır. Daha sonra gıdalardaki tat bozulmasının içeriğindeki mikroorganizmalardan kaynaklandığı ve bu mikroorganizmaların sayısının sıcaklıkla doğrudan ilgili olduğu keşfedilince, gıdaların soğutulmuş korunması amaçlı soğutucular kullanılmaya başlanmıştır. Genellikle amonyak içeren absorpsiyonlu soğutma makineleri olan ilk soğutma sistemlerinin kullanımı 1750'li yıllara kadar uzanmaktadır.

Gıda muhafaza yöntemlerinden biri olan “düşük sıcaklık uygulaması” soğukta ve donmuş muhafaza olmak üzere ikiye ayrılır. Soğukta muhafaza işlemindeki sıcaklık, gıdanın donma noktasının üstündedir ve bu işlemde donma meydana gelmez. Genel olarak sıcaklıktaki 10°C'lik azalma mikroorganizmanın çoğalma süresini iki kat uzatmaktadır [1].

Günümüzde tüketicilerin daha taze ve katkısız gıda ürünlerine olan taleplerinin artması nedeniyle, soğutmaya olan ilgi de artmıştır. Bu nedenle, geleneksel soğutma yöntemlerinin yanı sıra, gıdaların daha hızlı ve daha az enerji ile soğutulmasını amaçlayan yeni soğutma tekniklerinin geliştirilmesine yönelik araştırmalar da devam etmektedir.

Bir soğutma çevrimi kullanılarak yapılan soğutma işleminde yaygın olarak kullanılan soğutma yöntemleri absorpsiyonlu ve buhar sıkıştırmalı çevrime dayalı tekniklerdir. Ayrıca azot ve karbondioksit gibi gazların kullanıldığı ve çok düşük sıcaklıklara inilen kriyojenik soğutma yöntemleri de kullanılır. Bir gıdanın hızlı bir şekilde soğutulması mikroorganizma çoğalma riskinin azalması ve soğutma için harcanan enerji ve zamandan da tasarruf edilmesi demektir.

Son yıllarda tüm dünyada her alanda olduğu gibi soğutma alanında da enerji verimliliği yüksek teknolojilerin kullanımı büyük önem arz etmektedir. Gıda soğutma sistemlerinde de daha hızlı soğutma ve daha az enerji harcayarak enerji tasarrufuna katkı sağlayacak teknolojilerin kullanımı önemlidir. Bu yöntemlerden birisi de vakum soğutmadır. Vakum soğutma yöntemi klasik yöntemlerden farklı olarak, gıdanın bulunduğu atmosfere kapalı hacimde basıncın atmosfer basıncı altına düşürülmesi ve buna bağlı olarak buharlaşma sıcaklığının düşürülmesi ilkesine dayanır. Vakum ortamı buharlaşma sıcaklığının düşmesine ve gıda maddesi içindeki suyun buharlaştırılmasına neden olurken, bu sırada maddeden ısı çekilerek soğuması sağlanır. Dolayısıyla bu yöntem, içeriğinde serbest su bulunan meyve, sebze, et vb. tüm ürünlere uygulanabilir.

Vakum soğutma yöntemi, atmosfer basıncının altında (vakum basıncı) ortam elde edilerek bir ürünün yüzeyinden gerçekleşen buharlaşma ile içeriğindeki suyun buharlaştırılması ilkesine dayanmaktadır. Termodinamik kurallarına göre, ürün içeriğindeki suyun buharlaşması sırasında yüzeyden ısı çekilmesi nedeniyle sıcaklık düşmekte ve bu sayede soğuma gerçekleşmektedir. Vakum soğutma yönteminde yüzeyden su buharlaşması ile soğutma gerçekleştiği için, öncelikle yüzey alanı fazla, buharlaşmayı kolaylaştıran gözenekli yüzeyli ve su içeriği yüksek olan gıdalarda bu yöntemin uygulanması daha verimli olmaktadır [2, 3].

Bu çalışmada, farklı gıdaların vakum soğutma yöntemi ile soğutulması hakkında detaylı bir literatür araştırması yapılmış ve özetleyici bir tablo oluşturularak, bu çalışmalar sınıflandırılmıştır. Daha sonra vakum soğutma için en uygun gıdalar belirlenmiş, ardından laboratuvar ölçekli basit bir vakum soğutma düzeneği oluşturularak taze fesleğenin vakum altında soğutulması incelenmiştir. Tıbbi aromatik bitkiler içinde yer alan fesleğen, kendine has yoğun kokusu ve tadı ile hem taze, hem kurutulmuş olarak tüketilmekte ve içerdiği uçucu yağların insan sağlığına faydalı olduğu belirtilmektedir. Yapılan literatür araştırmasında, taze fesleğen gibi tıbbi aromatik bitkilerin vakum yöntemiyle soğutulmasına dair çalışmaların oldukça kısıtlı olduğu görülmüş ve bu nedenle vakum soğutma için uygun olduğu düşünülen bu ürün örnek olarak seçilmiştir.

2. LİTERATÜR İNCELEMESİ

Vakum soğutmanın farklı gıdaların soğutulmasında kullanımına yönelik pek çok çalışma bulunmaktadır. Bu konuda, literatürde yer alan, deneysel çalışmalar içeren ve uygulanan vakum düzeyi, ulaşılan ürün sıcaklığı ve ürünlerdeki nem kaybı konusunda veriler içeren çeşitli çalışmalar Tablo 1'de özetlenmiştir.

Yapılan teorik ve deneysel çalışmalara bakıldığında, soğutma performansının belirlenmesi için ürünün ilk ve son sıcaklığı, soğutma süresi, ürün ağırlığındaki değişim yüzdesi vb. özellikler ve parametrelerin incelendiği görülmektedir. Farklı gıdaların farklı şartlarda vakum soğutulmasına yönelik bazı çalışmalara da bu bölümde kısaca değinilmiştir.

Işık [4] tarafından 1994 yılında yapılan doktora tez çalışmasında, vakumla ön soğutma yönteminin işletim ve tasarım parametreleri belirlenmiş, denemeler sonucunda, bünyelerindeki suyu daha kolay verebilmelerinden dolayı özgül hacim değerleri fazla olan lahana, karnabahar, ıspanak ve marulun vakumla ön soğutma yöntemine uygun oldukları bildirilmiştir.

Boonprasom ve Boonyakiat [5], Thai fesleğeni olarak bilinen kırmızı fesleğenin sıcaklığını PVC film ambalajla, 12 mbar basınçta vakum soğutma ile 21–24°C'den 13±1°C'ye düşürmüşler ve üründe meydana gelen ağırlık kaybını yaklaşık %1.2 olarak tespit etmişlerdir.

Alibas ve Koksall [6], karnabaharın 23.5°C sıcaklıktan vakum metodu da dâhil 4 farklı ön soğutma yöntemi ile 1°C'ye soğutulması konusunda bir çalışma yapmışlardır. Vakum soğutma, bu çalışmada enerji tüketimi açısından en verimli ve renk değerleri açısından en iyi yöntem olarak belirtilirken, aynı zamanda karnabaharlarda meydana gelen %4.55 ağırlık kaybı ile de en fazla su kaybının olduğu yöntem olarak bildirilmiştir.

Işık vd. [7] tarafından yapılan bir çalışmada, mantarın hava, su ve vakumla ön soğutma yöntemleriyle soğutulması sırasında ortaya çıkan soğuma hızı, enerji tüketimi, ağırlık, renk ve genel görünüm parametrelerindeki değişimler araştırılmıştır.

Mutlu Öztürk [8] tarafından yapılan doktora tez çalışmasında, çeşitli et ürünleri (tavuk eti, köfte, döner) ile meyve ve sebzelerin (karpuz, semizotu, haşlanmış patates) farklı çalışma şartlarında vakum yöntemiyle soğutulmasının geleneksel soğutma yöntemleri ile karşılaştırması yapılmış; çalışma sonucunda, vakum soğutmanın farklı gıdaların hızlı ve düşük enerji tüketimi ile soğutulması için çok uygun bir yöntem olduğu belirtilmiştir.

Farklı soğutma yöntemlerinin brokolinin raf ömrüne etkisinin incelendiği Ding vd. [9] tarafından yapılan çalışmada, vakum soğutmanın brokolinin raf ömrü ve çeşitli kalite parametreleri açısından en etkili yöntem olduğu belirtilmiştir.

Alibaş ve Okursoy [10] tarafından yapılan güncel bir çalışmada, enginarın sıcaklığının 23°C'den depolama sıcaklığı olan 1°C'ye soğutulması amacıyla üç farklı ön soğutma yöntemi uygulanmış ve 35 dakika ile, en hızlı soğutma vakum soğutma uygulaması ile elde edilmiştir. Ayrıca, vakum soğutma yazarlar tarafından en düşük enerji tüketimine sahip olan yöntem olarak belirtilmiştir.

Vakum soğutmanın elmanın dondurularak kurutulması işlemi ile entegre yapıldığı bir çalışma Parniakov vd. [11] tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada, dondurma işleminden önce elma dilimlerinin sıcaklığının 25°C'den 0°C'nin altına hızla düşürülmesi için 10 mbar basınçta vakum soğutma işlemi yapılmıştır.

Et ve et ürünlerinin vakum yöntemiyle soğutulması konusunda da literatürde yer alan çeşitli çalışmalar mevcuttur. Örneğin, sığır eti, domuz eti, pişmiş et, tavuk eti, jambon, sosis, döner ve köftenin vakum yöntemiyle soğutulması farklı araştırmacılar tarafından farklı parametreler açısından incelenmiştir [8,12 - 29].

Tablo 1. Vakum yöntemiyle gıdaların soğutulması ile ilgili literatür özeti

Çalışmayı Yapan	Ürün					Soğutma			
	Tipi	Paket		Pişirme		Basınç (mbar)	Süre (dk)	Sıcaklık (°C) (İlk - Son)	Ağırlık Kaybı (%)
		Var	Yok	Var	Yok				
Houska vd., [30]	Sıvı gıdalar		✓	✓		1000 - 70	-	100 - 40	-
Mc Donald ve Sun, [12]	Siğir eti		✓	✓		100 - 6.5	175	72 - 4	-
Mc Donald ve Sun, [13]	Siğir eti		✓	✓		6.5	69	72 - 4	-
Donald vd., [14]	Siğir eti		✓	✓		6.5	127	72 - 4	7
Wang ve Sun, [15]	Pişmiş et		✓	✓		120-22	-	38.5-25.5	-
Wang ve Sun, [16]	Pişmiş et		✓	✓		6.5	18	74 - 10	9.4
Wang ve Sun, [17]	Domuz eti		✓	✓		6.5	13	74 - 10	10.3
Sun ve Hu, [18]	Domuz jambonu	✓			✓	80	73	75 - 11.9	11.1
He vd., [31]	Iceberg marul		✓		✓	100 - 6	-	1	-
Huber ve Laurindo, [19]	Tavuk göğüs eti		✓	✓		360 - 8	3.5-5.8	90 - 20	10.8 - 9.7
Cheng ve Sun, [20]	Domuz jambonu	✓			✓	4.7 - 1013	-	72 - 4	-
Huber vd., [32]	Midye		✓	✓		7	7	90 - 20	8
Zhang ve Sun, [33]	Brokoli Havuç		✓	✓		4.7 5.4	12.05 7.75	65 - 4 70 - 4	2.5 7.8
Jin ve Xu, [21]	Pişmiş et		✓	✓		23 - 6	70	72 - 5	7.8
Zhang ve Sun,[34]	Pirinç		✓	✓		4.7	3.85	80 - 4	11.4
Cheng ve Hsueh, [35]	Lahana, Ispanak		✓		✓	13.3 - 5.3	50-10	19.4 - 2.2	3
Cheng ve Lin, [36]	Su		✓		✓	48.6 - 1.2 - 0.66	3.3-8	-	-
Tao vd., [37]	Mantar	✓			✓	5	-	5	
Kon Tiat vd.,[38]	Şarap		✓		✓	1000 - 40	-	70 - 30	-
Drummond vd., [22]	Siğir eti		✓	✓		6.5	100	72 - 4	13.2
Mir-Bel vd.,[39]	Patates		✓	✓		210	-	110 - 65	-
Mutlu Ozturk ve Ozturk, [40]	Iceberg marul		✓		✓	7-10-15	22-26	25 - 6	3.8-3.6-2.5
Boonprasom ve Boonyakiat, [5]	Kırmızı fesleğen	✓			✓	12	13	23-13	1.2
Schmidt vd., [23]	Tavuk göğüs eti		✓	✓		15, 19	13	80 - 14	8.7
Dong vd., [24]	Domuz eti			✓		10	50	72 - 10	11.8
Rodrigues et al., [41]	Havuç	✓		✓		14	12.2	73.5 - 10	10.8
Cavalheiro vd., [42]	Midye		✓	✓		12	12	95 - 10	15.4
He vd., [43]	Kiraz		✓		✓	100 - 6	40	18 - 3	2.3
Rodrigues et al., [44]	Patates		✓	✓		14	33	96 - 10	15
Zhang vd., [25]	Siğir eti		✓	✓		6.5	21.9	74.6 - 2.7	10.5
Feng vd., [26]	Sosis	✓		✓		1013-350-50-6.4	-	72 - 4	-
Schmidt&Laurindo, [27]	Tavuk göğüs eti	✓	✓	✓		9, 130, 270	28	80 - 10	28.8
Song ve Liu, [28]	Jambon	✓		✓		12	24	40 - 10	6.8
Alibas ve Koksai, [6]	Karnabahar		✓		✓	30.1	36	24 - 1	
Garrido vd., [45]	Küçük ıspanak	✓			✓	9.1	-	5.9 - 3.5 10.8 - 3	-
Alibas ve Okursoy, [10]	Enginar		✓		✓	6.7	35	23 -1	1.9
Parniakov vd., [11]	Elma dilimleri		✓		✓	10	4	25 - 0	-

Vakum soğutma yöntemi uygulanan gıda çeşitlerine bakıldığında, çoğunlukla yüzey alanı geniş olan yeşil yapraklı sebzeler ve et/et ürünleri üzerinde çalışmalar yapıldığı görülmektedir. Vakum yöntemiyle soğutmanın en çok vurgulanan avantajı, geleneksel yöntemlere kıyasla hızlı bir soğutma sağlamasıdır. Böylece, hem daha düşük enerji tüketimi ile soğutma sağlanırken, hem de soğutulan ürünün kalite özelliklerinin bozulmadan kalabildiği, çeşitli araştırmacılar tarafından iddia edilmektedir. Bununla birlikte, bu yöntemin bahsedilen en önemli dezavantajı ise, üründen meydana gelen su kaybıdır. Dolayısıyla, vakum soğutma için en uygun gıda ürünleri seçilirken, yüzey alanı geniş, yüzeyden meydana gelecek bir miktar su kaybının önemli olmadığı ve hızlı soğutmanın avantaj olduğu ürünler tercih edilmelidir.

Konuyla ilgili yapılan çalışmalar incelendiğinde, vakum soğutmanın çoğunlukla bir ön soğutma yöntemi olarak önerildiği dikkat çekmektedir. Bunun nedeni, soğutma için sürekli vakum uygulamanın ve uzun süre vakum soğutma şartlarının korunmasının, teknik ve ekonomik olarak ve enerji tüketimi açısından verimli olmamasıdır.

Isıl işlem uygulanan, tüketime hazır gıdaların ambalajlı veya ambalajsız olarak soğutulmasında da vakum yöntemi pek çok araştırmacı tarafından önerilmektedir. Bu sistemlerde, pişirme ve vakum soğutma prosesleri bir arada olacak şekilde tasarlanabilmektedir. Ayrıca vakum soğutma uygulamasına engel olmayan ambalaj kullanımı da mümkündür (Bkz. Tablo 1).

Vakum soğutma yönteminde karşılaşılan en önemli problem olan üründen meydana gelen nem kaybını önlemek için de farklı çözüm yöntemleri üzerinde çalışılmaktadır. Bunlardan en yaygın olanları, ürünü suya daldırma, üzerine su püskürtme ve ambalaj içinde soğutma olarak sayılabilir.

Yapılan literatür araştırması sonucunda, pişirme işlemi uygulanmış, tüketime hazır gıdaların ve tıbbi aromatik bitkiler olarak adlandırılan, hem gıda olarak hem de tıbbi olarak değerli olan, çeşitli bileşenleri ilaç yapımında kullanılabilen, çay ve baharat olarak alternatif tıp kapsamında da çeşitli rahatsızlıkların tedavisine destek amaçlı tüketilebilen, defne, fesleğen, nane, zeytin yaprağı, rezene, anason v.b. bitkilerin vakum soğutma yöntemine oldukça uygun olduğu kanısına varılmıştır. Bu çalışma kapsamında, literatürde rastlanan çalışma sayısı oldukça kısıtlı olduğu için, taze fesleğenin vakum yöntemiyle soğutulmasının incelenmesine karar verilmiştir.

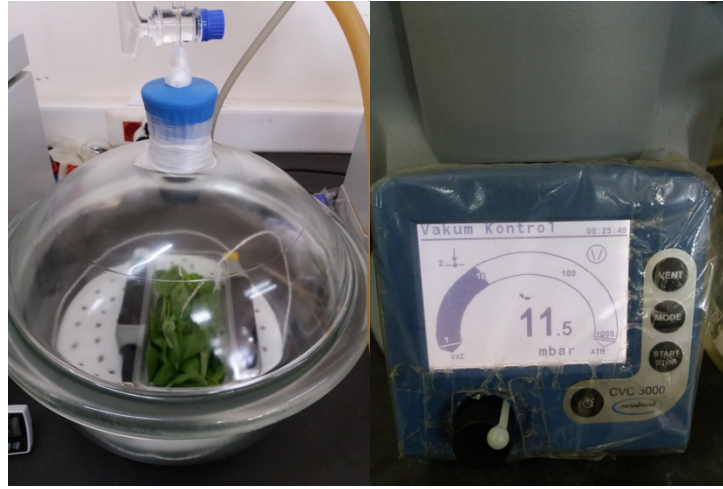
3. DENEYSEL ÇALIŞMA

Vakum soğutma denemelerinde kullanılan taze fesleğen (bkz. Şekil 1) İzmir ilinde bulunan yerel bir marketten temin edilmiş ve 4°C sıcaklıkta saklanmıştır. Soğutma işlemine başlamadan önce fesleğenlerin oda sıcaklığına gelmesi beklenmiş ve ondan sonra vakum kabına alınarak soğutma işlemi başlatılmıştır. Fesleğenler vakum soğutma kabine alınmadan önce ve soğutma işlemi sonunda tartılarak, üründen kaybedilen su miktarı hesaplanmıştır.



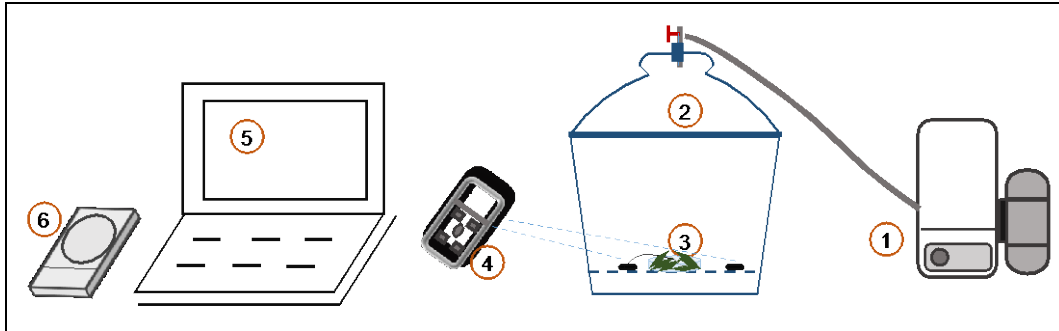
Şekil 1. Vakum soğutma uygulanan fesleğen, (a) Soğutma öncesi, (b) Soğutma sonrası

Vakum soğutma yönteminde kullanılan temel ekipmanlar vakum basıncı yaratmak için vakum pompası ve sızdırmaz bir hacimdir. Vakum soğutma denemeleri için Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü laboratuvarında bulunan ve Şekil 2’de gösterilen bir vakumlu cam desikatör ve vakum pompası kullanılmıştır.



Şekil 2. Soğutma için kullanılan vakumlu (a) cam desikatör ve (b) vakum pompası

Soğutma deneyinde dış ortam sıcaklığı ve nemi dijital bir termometre ve higro-termometre kullanılarak, vakum soğutma uygulanan ortamın sıcaklık ve nemi sırasıyla $\pm 0.3^{\circ}\text{C}$ ve $\pm 2\% \text{RH}$ doğrulukla doğrudan vakum ortamına yerleştirilen K tipi sıcaklık sensörü ve kapasitif nem sensörü (Testo 435 ve kablosuz nem sıcaklık probları) ile gerçekleştirilmiştir. Ürünün sıcaklığı ise doğrudan ürüne temaslı $\pm 0.3^{\circ}\text{C}$ doğrulukta ölçüm yapan K tipi (NiCr-Ni) termokupl kullanılarak ölçülmüş ve 915.00 MHz radyo frekansı ile veri alabilen çok kanallı bir veri kaydedicide (Testo 435) toplanarak bilgisayara aktarılmıştır. Ayrıca, soğutma denemelerinden önce ve sonra ürün hassas bir terazide tartılarak, vakum soğutma sonucunda kaybedilen su miktarı hesaplanmıştır. Kurulan laboratuvar ölçekli vakum soğutma deney düzeneğinin şematik görünümü Şekil 3’te verilmiştir.

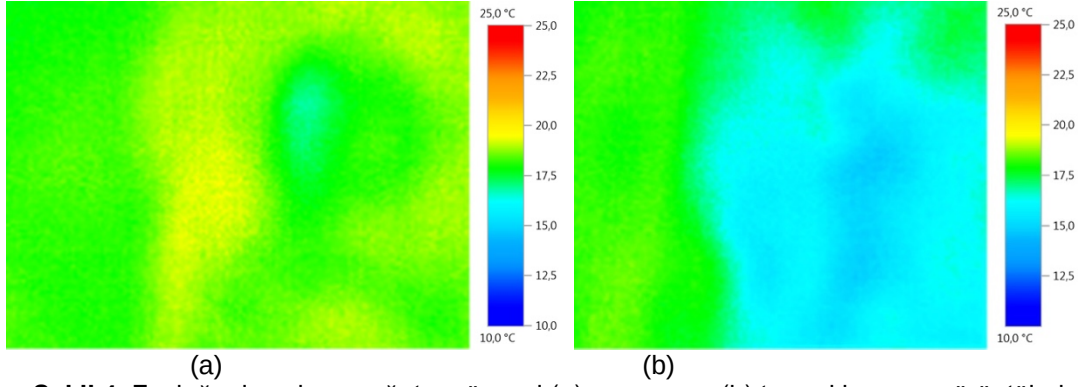


Şekil 3. Vakum soğutma deney düzeneği

Deney düzeneği ekipmanları, 1.Vakum pompası, 2.Vakumlu cam desikatör, 3.Soğutulan ürün, 4.Veri kayıt cihazı (vakum soğutma ortam sıcaklık ve nem ölçüm probu, ürün sıcaklığı ölçüm probu), 5.Bilgisayar, 6.Hassas terazi

Deneylerin yapıldığı dış ortam sıcaklığı yaklaşık 20°C ve bağıl nem değeri %55 olarak ölçülmüştür. Vakum soğutma sistemindeki basınç, atmosfer basıncından yaklaşık 10.9 mbar’a kadar düşürülmüştür.

Üründeki sıcaklık dağılımı, soğutma öncesi ve sonrası termal kamera (Testo 875-1) kullanılarak görüntülenmiş ve elde edilen termal görüntüler Şekil 4’te verilmiştir. Soğutma sonrasında vakum kabı açılarak ürünün termal fotoğrafı çekildiği için bir miktar sıcaklık artışı görülmektedir.

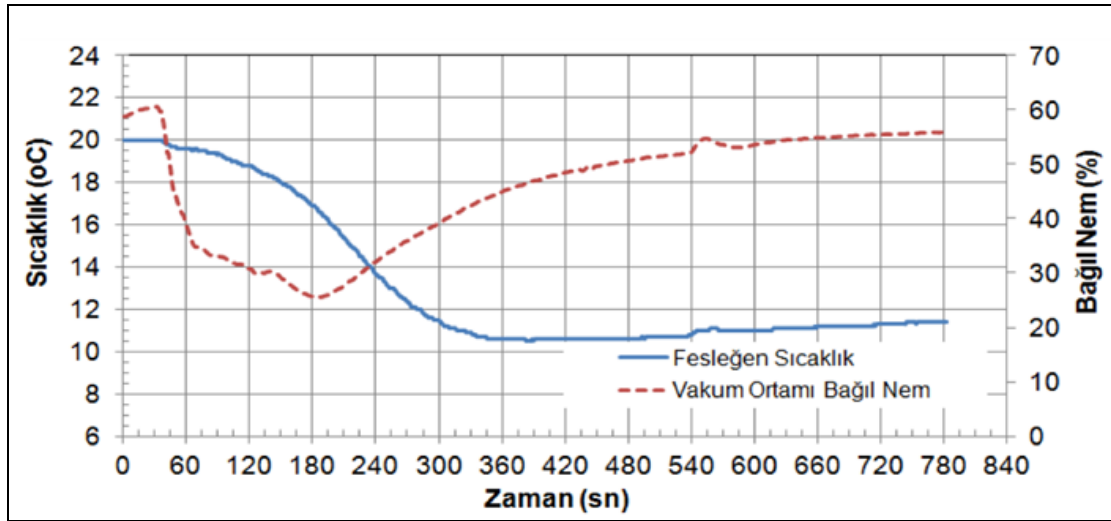


Şekil 4. Fesleğenin vakum soğutma öncesi (a) ve sonrası (b) termal kamera görüntüleri

4. BULGULAR

Bu çalışmada soğutma denemelerinde kullanılan ürün, yüzey alanı geniş ve yapraklı bir bitki olan fesleğendir. Tıbbi aromatikler arasında yer alan, değerli bir bitki olan fesleğenin vakum yöntemiyle soğutulması konusunda literatürde yer alan çalışmaların oldukça kısıtlı olması da bu ürünün seçilmesinde etken olmuştur.

Vakum soğutma denemelerinde taze fesleğende meydana gelen zamana bağlı sıcaklık değişimi değerleri ve vakum soğutma ortamının bağıl nem değerleri Şekil 5'te verilen grafik üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 5. Ürün sıcaklığı ve vakum soğutma ortamı bağıl nem değerlerinin zamanla değişimi

Yukarıdaki grafikte de görüldüğü gibi, ürün sıcaklığı 10 dk içinde yaklaşık 10°C düşmüştür. Vakum pompası ile basınç atmosfer basıncından başlayarak kademeli olarak 12 mbar değerine kadar düşürülmüştür. 10. dakikadan sonra, hem ürün sıcaklığının, hem de ortam bağıl nem değerinin sabit bir düzeyde seyrettiği görülmektedir. Vakum soğutma kabındaki bağıl nem deney başlamasından itibaren hızlı bir şekilde düşmeye başlamış ve yaklaşık 3 dk sonra ortam nemi artmaya başlamıştır. Bunun nedeni ilk aşamada ortamdaki nem uzaklaştırılıyor daha sonra ise üründe bulunan su buharlaşma basıncına ulaştığı için ürün içeriğindeki su buharlaşarak ortamdaki bağıl nemin artmasına neden olmuştur. Vakum soğutma öncesinde ve sonrasında fesleğen örnekleri tartılarak soğutma sürecinde üründen meydana gelen su kaybı %3 olarak hesaplanmıştır.

5. SONUÇ

Bu çalışma kapsamında vakum soğutma yöntemine en uygun gıda türleri incelenerek, Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsünde kurulan laboratuvar ölçekli bir vakum soğutma düzeneğinde, seçilen bir gıda maddesinin sıcaklığının 20°C'den yaklaşık 10°C'ye kadar düşürülmesi sağlanmıştır.

Vakum soğutmanın, kısa sürede hızlı bir sıcaklık düşüşü sağladığı için, yavaş soğutmanın problem olduğu, yüzey alanı geniş ve katma değeri yüksek olan gıda ürünleri için geleneksel yöntemlere göre daha uygun olduğu söylenebilir. Yapılan vakum soğutma denemelerinde kullanılan fesleğen de bu özelliklere sahiptir. Bu ürünün vakum yöntemiyle soğutulması sonucunda elde edilen verilerin literatürde yer alan benzer çalışmalarla uyumlu olduğu görülmüştür.

Bu çalışmada kullanılan vakum soğutma deney düzeneği laboratuvar ölçeklidir ve soğutma işlemi yapılan fesleğen miktarı da azdır (yaklaşık 14-15 g). Bu yöntemin ticari olarak uygulanabilirliğini tartışmak için, daha fazla miktarda ürün soğutmaya yönelik bir vakum kabında daha fazla miktarda ürünle denemeler yapılarak daha sağlıklı sonuçlar elde edilebilir. Ayrıca, üründen meydana gelen su kaybı %3 civarındadır ve bu miktarın azaltılması için de çeşitli yöntemler denenebilir. Bununla birlikte, farklı soğutma yöntemleriyle kıyaslama yapmak, ürünü çeşitli kalite parametreleri açısından da değerlendirmek ve depolama süresince ürünü takip etmek, bu sistemin ticari olarak kullanılabilirliğini incelemek için faydalı olacaktır.

Görüldüğü üzere vakum soğutma sistemlerinde ekipman sayısı ve dolayısıyla enerji tüketimi oldukça azdır. Bu nedenle, uygun ürün belirlenmesi durumunda soğutma için gerekli işletme maliyetleri klasik soğutma yöntemine göre oldukça düşüktür. Vakum soğutma klasik soğutma yöntemleri kullanılmadan önce ürünün ön soğutmasının kısa sürede yapılarak (bu çalışma örneğinde 10 dk içinde 10°C sıcaklık düşüşü) klasik soğutma ile soğuk depolamaya alınması daha uygun olacağı sonucuna ulaşılmıştır.

KAYNAKLAR

- [1] Devres, O., Gıda Güvenliği ve Soğuk Zincir, İSKİD ve Gıda Güvenliği Derneği Yayını, Nuromat Matbaacılık, 2013.
- [2] Suslow, T., Postharvest Handling For Organic Crops Division of Agriculture and Natural Resources, Publication: 7254, University of California, 2000.
- [3] Mutlu Öztürk, H., Vakum Soğutma Sisteminin Mantar ve Marul Soğutulmasında Uygulanması, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, 2007.
- [4] Işık, E., Vakumla soğutma sistemlerinde işletim ve tasarım parametrelerinin belirlenmesine yönelik model çalışması. Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, 1994.
- [5] Boonprasom, P. ve Boonyakiat, D., Effect of vacuum cooling operation parameters on cooling time and weight loss of 'Red' holy basil. Acta Horticulturae, 877: 827-834, 2010.
- [6] Alibas, I., Koksai, N., Forced-air, vacuum, and hydro precooling of cauliflower (Brassica oleracea L. var. botrytis cv. freemont): Part I. determination of precooling parameters. Food Science and Technology, 34(4): 730-737, 2015.
- [7] Işık, E., Akbudak, B., İzli, N., Mantarda Farklı Ön Soğutma Yöntemlerinin İşletim ve Kalite Özellikleri Üzerine Etkisi, E.Ü. Ziraat Fakültesi Dergisi, 24(2):49 - 58. 2010.
- [8] Mutlu Öztürk, H., Gıda Ürünlerinin Vakum Soğutma ve Klasik Soğutma Yöntemleri ile Soğutulmasının Karşılaştırılması, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, 2011.
- [9] Ding, T., Liu, F., Ling, J.G., Kang, M.L., Yu, J.F., Ye, X.Q., Liu, D.H., Comparison of different cooling methods for extending shelf life of postharvest broccoli. International Journal of Agricultural and Biological Engineering, 9(6): 178-185, 2016.
- [10] Alibaş, I., Okursoy, R., Determination of quality parameters during air blast, vacuum and hydro pre-cooling of artichoke under the storage conditions. Tarım Bilimleri Dergisi, 22(4): 480-491, 2016.
- [11] Parniakov, O., Bals, O., Lebovka, N., Vorobiev, E., Pulsed electric field assisted vacuum freeze-drying of apple tissue. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 35: 52-57, 2016.
- [12] McDonald, K., Sun, D.W., Effect of evacuation rate on the vacuum cooling process of a cooked beef product, Journal of Food Engineering, 48: 195-202, 2001.

- [13] McDonald, K., Sun, D.W., Pore Size Distribution and Structure of a Cooked Beef Product as Affected by Vacuum Cooling, *Journal of Food Process Engineering* 24: 381-403, 2001.
- [14] Donald K.M., Sun, D.W., Lyng, J.G., Effect of vacuum cooling on the thermophysical properties of a cooked beef product, *Journal of Food Engineering*, 52: 167–176, 2002.
- [15] Wang, L., Sun, D.W., Modelling vacuum cooling process of cooked meat—part 1: analysis of vacuum cooling system, *International Journal of Refrigeration*, 25: 854–861, 2002.
- [16] Wang, L., Sun, D.W., Modelling vacuum cooling process of cooked meat—part 2: mass and heat transfer of cooked meat under vacuum pressure, *International Journal of Refrigeration*, 25: 862-871, 2002.
- [17] Wang, L., Sun, D.W., Experimental Evaluation of the Performance of Vacuum Cooling Method for Large Cooked Meat Joints, *Journal of Food Process Engineering*, 25:455-472, 2002.
- [18] Sun, D.W., Hu, Z., CFD simulation of coupled heat and mass transfer through porous foods during vacuum cooling process, *International Journal of Refrigeration*, 26: 19–27, 2003.
- [19] Huber, E., Laurindo, J.B., Weight loss of precooked chicken breast cooled by vacuum application, *Journal of Food Process Engineering*, 28: 299–312, 2005.
- [20] Cheng, Q.F., Sun, D.W., Feasibility assessment of vacuum cooling of cooked pork ham with water as compared with that without water and with air blast cooling. *Int. J. Food Sci. Technol.* 41(8), 938–945, 2006.
- [21] Jin, T.X., Xu, L., Numerical study on the performance of vacuum cooler and evaporation-boiling phenomena during vacuum cooling of cooked meat, *Energy Conversion and Management* 47: 1830–1842, 2006.
- [22] Drummond, L., Sun, D.W., Vila, C.T., Scannell, A.G.M., Application of immersion vacuum cooling to water-cooked beef joints – Quality and safety assessment, *LWT - Food Science and Technology*, 42: 332–337, 2009.
- [23] Schmidt, F.C., Aragão, G.M.F., Laurindo, J.B., Integrated cooking and vacuum cooling of chicken breast cuts in a single vessel, *Journal of Food Engineering*, 100: 219–224, 2010.
- [24] Dong, X., Chen, H., Liu, Y., Dai, R., Li, X., Feasibility assessment of vacuum cooling followed by immersion vacuum cooling on water-cooked pork, *Meat Science*, 90: 199–203, 2012.
- [25] Zhang, Z., Drummond, L., Sun, D.W., Vacuum cooling in bulk of beef pieces of different sizes and shape – Evaluation and comparison to conventional cooling methods, *Journal of Food Engineering*, 116: 581–587, 2013.
- [26] Feng, C.H., Drummond, L., Sun, D.W., Modelling the growth parameters of lactic acid bacteria and total viable count in vacuum-packaged Irish cooked sausages cooled by different methods, *International Journal of Food Science and Technology*, 49: 2659–2667, 2014.
- [27] Schmidt, F.C., Laurindo, J.B., Alternative processing strategies to reduce the weight loss of cooked chicken breast fillets subjected to vacuum cooling, *Journal of Food Engineering*, 128: 10–16, 2014.
- [28] Song, X.Y., Liu, B.L., The Optimization of Volumetric Displacement Can Uniformize the Temperature Distribution of Heated Ham during a Vacuum Cooling Process, *Food Science and Technology Research*, 20(1): 43-49, 2014.
- [29] Feng, C.H., García Martín, J.F., Li, C., Liu, B.L., Song, X.Y., Dong, Q.L., Wang, W., Yang, Y., Evaluation of physicochemical properties and microbial attributes of cooked sausages stuffed in casing modified by surfactants and lactic acid after immersion vacuum cooling and long-term storage. *International Journal of Food Science and Technology*, 51(10): 2270-22791, 2016.
- [30] Houska, M., Podloucky, S., Zitny, R., Gree, R., Sestak, J., Dostal, M., Burfoot, D., Mathematical Model of the Vacuum Cooling of Liquids, *Journal of Food Engineering*, 29: 339-348, 1996.
- [31] He, S.Y., Feng, G.P., Yang, H.S., Wu, Y., Li, Y.F., Effects of pressure reduction rate on quality and ultrastructure of iceberg lettuce after vacuum cooling and storage, *Postharvest Biology and Technology*, 33: 263–273, 2004.
- [32] Huber, E., Soares, L.P., Carciofi, B.A.M., Hense, H., Laurindo, J.B., Vacuum Cooling of Cooked Mussels (*Perna perna*), *Food Sci Tech Int*, 12(1):19–25, 2006.
- [33] Zhang, Z., Sun, D.W., Effect of cooling methods on the cooling efficiencies and qualities of cooked broccoli and carrot slices, *Journal of Food Engineering*, 77: 320–326, 2006.
- [34] Zhang, Z., Sun, D.W., Effects of cooling methods on the cooling efficiency and quality of cooked rice, *Journal of Food Engineering*, 77: 269–274, 2006.
- [35] Cheng, H.P., Hsueh, C.F., Multi-stage vacuum cooling process of cabbage, *Journal of Food Engineering*, 79: 37–46, 2007.

- [36] Cheng, H.P., Lin, C.T., The morphological visualization of the water in vacuum cooling and freezing process, *Journal of Food Engineering*, 78: 569–576, 2007.
- [37] Tao, F., Zhang, M., Yu, H.Q., Effect of vacuum cooling on physiological changes in the antioxidant system of mushroom under different storage conditions, *Journal of Food Engineering*, 79: 1302–1309, 2007.
- [38] Kon Tiat, V.H., Sebastian, P., Nadeau, J.P., Multicriteria-oriented preliminary design of a flash evaporation process for cooling in the wine-making process, *Journal of Food Engineering*, 85: 491–508, 2008.
- [39] Mir-Bel, J., Oria, R., Salvador, M.L., Influence of the vacuum break conditions on oil uptake during potato post-frying cooling, *Journal of Food Engineering* 95: 416–422, 2009.
- [40] Ozturk, H.M., Ozturk, H.K., Effect of pressure on the vacuum cooling of iceberg lettuce, *International Journal of Refrigeration*, 32: 402–410, 2009.
- [41] Rodrigues, L.C.G., Cavaleiro, D., Schmidt, F.D., Laurindo, J.B., Integration of cooking and vacuum cooling of carrots in a same vessel, *Ciênc. Tecnol. Aliment.*, Campinas, 32(1): 187-195, 2012.
- [42] Cavaleiro, D., Schmidt, F.D., Rodrigues, L.C.G., Siga, C., Leitempergher, F., Laurindo, J.B., Processing of Perna Perna Mussels Using Integrated Process of Cooking and Vacuum Cooling, *Journal of Food Process Engineering*, 36: 192-201, 2012.
- [43] He, S.Y., Zhang, G.C., Yu, Y.Q., Li, R.G., Yang, Q.R., Effects of vacuum cooling on the enzymatic antioxidant system of cherry and inhibition of surface-borne pathogens, *International Journal of Refrigeration*, 36: 2387-2394, 2013.
- [44] Rodrigues, L.C.G., Cavaleiro, D., Schmidt, F.D., Laurindo, J.B., Possibilities for Integrating Cooking and Vacuum Cooling of Potatoes in the Same Vessel, *Journal of Food Processing and Preservation*, 37: 846-854, 2012.
- [45] Garrido, Y., Tudela, J.A., Gil, M.I., Comparison of industrial precooling systems for minimally processed baby spinach, *Postharvest Biology and Technology*, 102: 1–8, 2015.

ÖZGEÇMİŞ

Neslihan ÇOLAK GÜNEŞ

1978 yılı Bursa doğumlu olan Neslihan Çolak Güneş, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümünden 1999 yılında mezun olmuş, yüksek lisans eğitimini aynı bölümde 2002 yılında ve doktorasını Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsünde 2009 yılında tamamlamıştır. 1999 – 2003 yılları arasında Pamukkale Üniversitesi Gıda Mühendisliği bölümünde, 2003 – 2009 yılları arasında Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsünde ve doktora sonrasında 2009 – 2012 yılları arasında Pamukkale Üniversitesi Gıda Mühendisliği bölümünde araştırma görevlisi olarak çalışmıştır. 2012 yılından bu yana Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsünde öğretim üyesi (Yrd. Doç. Dr.) olarak çalışmaya devam etmektedir. Çalışma konuları arasında; Sanayide Enerji Verimliliği, Gıda İşleme Prosesleri, Enerji ve Ekserji Analizi, Isı Pompası Sistemleri, Güneş Isıl Sistemler, Gıda Atıklarının Değerlendirilmesi, Sürdürülebilir Üretim ve Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi yer almaktadır.

Orhan EKREN

1976 yılı İzmir doğumlu olan Orhan Ekren, lisans eğitimini Dokuz Eylül Üniversitesi(DEÜ) Makina Mühendisliği bölümünde 1999 yılında, yüksek lisans eğitimini İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü (İYTE) Enerji Mühendisliği'nde 2003 yılında, doktorasını ise DEÜ Makina Mühendisliği bölümü Termodinamik anabilim dalında 2009 yılında tamamlamıştır. 2000-2003 yılları arasında İYTE makina mühendisliği bölümünde araştırma görevlisi olarak çalışmıştır. 2005 yılından buyana Ege Üniversitesi'nde çalışan Dr. Ekren, 2008 ve 2011 yıllarında akademik çalışmalar için, Amerika Birleşik Devletleri'nde iki farklı üniversitede Makina Mühendisliği bölümünde ziyaretçi araştırmacı olarak bulunmuştur. 2014 yılından buyana Ege Güneş Enerjisi Enstitüsü'nde Doçent olarak çalışmalarını sürdürmektedir. Çalışma konuları arasında; Yenilenebilir Enerji Kaynakları, Hibrid Enerji Sistemlerinin Optimum Boyutlandırılması, Soğutma Sistemlerinde Enerji Verimliliği, Isı Pompası Sistemleri, Alternatif Soğutma Yöntemleri yer almaktadır.