

## Ispanağın Havayla, Vakumla ve Suyla Ön Soğutulmasındaki Kalite ve İşletim Parametrelerinin Belirlenmesi

İlknur ALİBAŞ, Rasim OKURSOY

Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları Bölümü, Bursa  
ialibas@uludag.edu.tr

**Özet:** Bu çalışmada ispanağın havayla, basınçlı suyla, suyla ve vakumla ön soğutulmasına çalışılmıştır. Ön soğutmaya alınacak ispanak ağırlığı  $5000 \pm 5$  g olacak şekilde tartılarak standart plastik kasalara konulmuşlardır. İlk sıcaklık değerleri  $23.5 \pm 0.5^\circ\text{C}$  olan ispanak sıcaklık değerleri  $1^\circ\text{C}$  oluncaya kadar soğutulmuştur. Ön soğutma işlemi süresince zamana bağlı sıcaklık ve enerji tüketimi değerleri ile soğutma sırasında oluşan ağırlık farkı değerleri alınmıştır.

Ön soğutma sonrasında dört farklı yöntemle soğutulmuş olan ispanaklar soğuk depolama koşullarında dayanımlarının belirlenmesi amacıyla  $1000 \pm 5$  g ağırlığında tartılarak kontrollü atmosfer odasına (KAO) konulmuşlardır. Kontrollü atmosfer odasının sıcaklığı  $1^\circ\text{C}$ , oransal nemi  $90 \pm 5$  ve atmosfer bileşimi ise  $0:21$  [ $(\% \text{CO}_2 : \% \text{O}_2) - (0:21)$  kontrol]'dir. Dört farklı yöntem ile ön soğutulmuş ve hiç ön soğutma yapılmamış ispanak KAO'nda 15 gün boyunca depolanmışlardır. KAO depolama süresince 0. 15. ve 30. günlerde bozulma oranı, ağırlık kaybı, genel görünüm derecesi ve renk kriterlerine (L, a, b, C,  $\alpha$ ) bakılmıştır. Tüm kalite parametrelerine bakılarak ispanağın KAO depolanması sırasında kullanılabilir en uygun ön soğutma yöntemi belirlenmeye çalışılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Ispanak, suyla ön soğutma, vakumla ön soğutma, havayla ön soğutma, enerji tüketimi, kontrollü atmosfer odası

### Determination of Operating and Quality Parameters During Air Blast, Vacuum and Hydro Pre-cooling of Spinach

**Abstract:** In the present study, spinach was intended to pre-cool by air, pressurized hydro, hydro and vacuum. Spinachs taken into pre-cooling were weighted constituting weights in the range of  $5000 \pm 5$  g and replaced into plastic boxes. Spinachs in  $23.5 \pm 0.5^\circ\text{C}$  initial heat levels were cooled until having  $1^\circ\text{C}$  temperature value. During pre-cooling variations in weight between time dependent heat and energy consumption values and during cooling sequence were recorded.

Following the pre-cooling operation, with the intention of determining the resistance of cooled spinachs by means of four different methods were weighted in the range of  $1000 \pm 5$  g and replaced into modified atmosphere room (MAR). Temperature of the modified atmosphere room was corresponding to  $1^\circ\text{C}$ , rational humidity was corresponding to  $90 \pm 5\%$  and atmosphere composition was corresponding to  $0:21$  [ $(\text{CO}_2\% : \text{O}_2\%) - (0:21)$  control]. Pre-cooled by four different methods and non pre-cooling implemented spinach owing to their more susceptible nature stored 15 days in MAR. During MAR storage spinach decomposition, weight loss, overall composition and colour criterions (L, a, b, C,  $\alpha$ ) were measured at 0<sup>th</sup> and 15<sup>th</sup> days. Investigating the entire quality parameters in spinach, most convenient pre-cooling method pertaining to MAR was intended to be diagnosed.

**Key Words:** Spinach, hydro precooling, air blast cooling, vacuum cooling, energy consumption, Modified atmosphere room.

### GİRİŞ

Taze meyve ve sebzelerin hasadından sonra tüketim süresini uzatabilmek için ürün kalitelerinin uzun süre korunabilmesi ve bozulmalarının geciktirilmesi istenmektedir. Bitkilerde hasattan sonra meydana gelen biyolojik bozulmaların başlıca nedenleri arasında, solunumun hasattan sonra da devam etmesi,

enzimlerin bozulması, mikroorganizma faaliyetlerinin artan sıcaklığa bağlı olarak hızlanması ve materyalin bünyesindeki etilen oluşumunun artması gibi birçok faktörün yer aldığı düşünülmektedir (Işık 1994, Sun ve Wang 2004, Wang ve Sun 2001). Ürün kaybını en aza indirmek, ürünün kullanılabilir ömrünü ve kalitesini

artırmak için günümüze kadar pek çok yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntemlerden biri de soğutma yöntemidir. Sebze ve meyvelerde hasat işleminden sonra oluşan bozulmanın engellenmesi için ürünlerin, derimden hemen sonra soğutulması gerekmektedir.

Materyalin bünyesinde oluşan su kaybının, ürünün yapısında meydana gelen pörsüme ve sararmanın azaltılması için hasat işleminden hemen sonra ürün sıcaklığının depolama sıcaklığına kadar hızla düşürülmesi gerekmektedir (Kader ve ark. 1992, Sankat ve Mujaffar 1999). Ürünün, hasat sıcaklığından depolama sıcaklığına kadar hızlı bir şekilde düşürülmesi işlemine "ön soğutma" adı verilmektedir. Ön soğutma tekniklerinin kullanılması ile ürünün bünyesindeki su kaybı azaltılmakta ve çabuk bozulan gıda maddelerinin kullanılabilir ömrü uzatılmaktadır (Brosnan ve Sun 2003).

Ön soğutma işlemleri soğutulacak ürünün özelliklerine ve uygulanacak teknolojiye göre genel olarak üç farklı yöntemle yapılmaktadır. Bu yöntemler; havayla ön soğutma, suyla ön soğutma ve vakumla ön soğutma yöntemleridir.

Havayla ön soğutma yöntemi, bilinen en eski ön soğutma yöntemidir. Burada soğutucu akışkan olarak kullanılan havanın soğutulacak olan materyalin bulunduğu ortama ya sabit hızla ya da basınçlı olarak gönderilmesi ile havayla ön soğutma işlemi gerçekleştirilmektedir. Hasat sıcaklığındaki ürün, soğuk havanın etkisi ile dış yüzeyden başlayarak iç yüzeye doğru ısı taşınımı (konveksiyon) yoluyla soğutulmaktadır. Suyla ön soğutma yöntemi ise hızlı ve etkin bir soğutma yöntemidir. Bu yöntemde soğutulmuş olan su, ürünle temas ettirilerek soğuma sağlanmaktadır. Ne var ki, ürünün donmaması için bazı koruma önlemlerinin de alınması gerekmektedir. Ayrıca suyla soğutma yöntemi ile soğutulacak ürünlerin ve kullanılan ambalaj malzemelerinin suya dayanıklı olması gerekmektedir.

Tarımsal ürünlerin soğutulmasında kullanılan bir diğer yöntem ise vakumla ön soğutma yöntemidir. Vakumla soğutma tekniği, ürünün bünyesinde bulunan suyun buharlaştırılması ile ürün sıcaklığının hızlı bir şekilde azalması prensibine dayanmaktadır (Brosnan ve Sun 2003). Bu teknikle soğutulan ürünlerde bulunan suyun gizli (buharlaşma) ısısının materyalden uzaklaştırılması ve bunun sonucunda materyalin bünyesinde bulunan su sıcaklığının hızlı bir şekilde azaltılması sağlanmaktadır. Soğutma sistemindeki basıncın düzenli olarak azalması ile materyalin bünyesindeki buharlaşmanın sürekli olmasını sağlamaktadır. Vakumla soğutma işlemi sırasında,

materyalin bünyesinde serbest halde bulunan su, kaynama noktasına yakın bir sıcaklık değerinde buharlaşmaktadır (Dostal ve Petera 2004). Ürün vakuma maruz bırakıldığında, ürünün bünyesinde bulunan suyun kaynama sıcaklığı düşmekte ve suyun bir kısmı yeni denge şartları oluşana dek kaynamaktadır (Wang ve Sun 2004). Vakumla soğutma işleminin başlaması ile materyalin iç kısmında bulunan su, düşük basıncın etkisi ile kaynarak materyalin dış kısımlarına çıkmakta ve dış kısımdan da buharlaşmaktadır. Bu buharlaşma sırasında ortamdan ısı çekildiği için tarımsal ürünler soğumaktadır. Böylece soğutma süresinde önemli ölçüde azalma sağlanmaktadır (Houska ve ark. 1996, Houska ve ark. 2003, McDonald ve Sun 2000, 2001a, b, McDonald ve ark. 2000, 2001, McDonald ve ark. 2002, Sun ve Wang 2004, Wang ve Sun 2001, 2002a, b, 2004).

Ön soğutma işleminden sonra soğutulmuş ürün, soğutma sıcaklığı korunarak ya pazara gönderilmekte ya da depolanmaktadır. Ürünün pazara gönderilmeden önce soğutulması, genellikle soğutma kapasitesi düşük olan taşıyıcı araçların soğutma yükünü azaltmaktadır. Depolanacak ürünlere daha önceden ön soğutma yapılması ise depolama sırasında harcanan soğutma gücünden tasarruf sağlanmasına olanak tanımaktadır (Işık 1994).

Bu çalışmanın amacı; I) ispanağın havayla, suyla ve vakumla ön soğutulmasının sağlanması, II) ön soğutma sırasında meydana gelen sıcaklık düşüşü, ağırlık kaybı, enerji tüketimi, basınç azalması gibi işletim parametrelerinin ölçülmesi, III) ön soğutma işlemlerinden sonra soğutulmuş ispanakların kontrollü atmosfer odasında bekletilerek dayanma sürelerinin kontrol edilmesi, genel görünüm, ağırlık kaybı, bozulma oranı ve renk değerleri açısından en uygun ön soğutma yönteminin saptanmasıdır.

## MATERYAL

İspanak (*Spinacia oleracea* L.) tek yıllık bir serin iklim sebzesidir. Çiğ, haşlanmış ya da fırınlanmış olarak tüketilebilen ispanak düşük kalorili olmasına karşın askorbik asit (Vitamin C) içeriği açısından oldukça zengin bir bitkidir (Toledo ve ark. 2003). Suda çözülebilen vitaminleri oldukça fazla olan ispanak bitkisi ışığa, ısıya ve oksijene oldukça duyarlı olduğundan hasattan hemen sonra bir işlem görmez ise bozulmaya başlar (Alibas-Ozkan ve ark. 2007).

### 1. Havayla ön soğutma sistemi

Havayla ön soğutma sistemi; soğutma kabini, fan, kontrol panosu ve içinde buharlaştırıcı, yoğuşturucu, kompresör, genişleme valfi ve soğutucu akışkan bulunan soğutucu üniteden oluşmaktadır. Soğutma kabini 2 mm kalınlığındaki galvanizli sacdan yapılmıştır. Boyutları 850 x 800 x 1100 mm, hacmi ise 0.748 m<sup>3</sup>'dür. Isı yalıtımının sağlanması amacıyla soğutma kabininin çevresine, 12 mm kalınlığında 0.147 kJ / m<sup>2</sup> h °C ısı geçiş katsayısına sahip cam yünü sarılmıştır. Soğutma kabininin arka duvarına ise buharlaştırıcı ve fan (vantilatör) yerleştirilmiştir. Soğutucu kabinin dış kısmında, sistemin sıcaklığını ayarlamaya yarayan, dijital bir kontrol panosu bulunmaktadır. Sistemde devir sayısı 1400 min<sup>-1</sup> olan 160 mm çark çapına sahip 5 kanatlı aksiyal bir fan kullanılmıştır. Fan 40 W'lik bir elektrik motoru ile tahrik edilmektedir. Fanın materyalin üzerine gönderdiği havanın hızı 1 m s<sup>-1</sup> dir (Dinçer 1993, Dincer 1995, Teruel ve ark. 2001, Wang ve Sun 2002c, Wang ve Sun 2002d). Sistemde, 13.5 mm çapında, 8160 mm uzunluğunda 0.3459 m<sup>2</sup> yüzey alanına sahip bakır borudan yapıli buharlaştırıcı ve 12 mm çapında, 16400 mm uzunluğunda, 0.6180 m<sup>2</sup> yüzey alanına sahip bakır borudan yapıli yoğuşturucu kullanılmıştır. Sistemde soğutucu akışkan olarak Freon 12 (R12) kullanılmıştır.

### 2. Suyla ön soğutma sistemi

Suyla ön soğutma sistemi genel olarak; soğutma odası, su deposu, devirdaim su pompası, duşlama ve pülverizasyon sistemleri, kontrol panosu ve içinde buharlaştırıcı, yoğuşturucu, kompresör, genişleme valfi ve soğutucu akışkan bulunan soğutma ünitesinden oluşmaktadır. Soğutma kabini 2 mm kalınlığındaki galvanizli sacdan yapılmıştır. Boyutları 850 x 800 x 1100 mm, hacmi ise 0.748 m<sup>3</sup> 'dür. Soğutma odasının tavanına, üzerinde 3 adet meme bulunan pülverizasyon sistemi yerleştirilmiştir. Duşlama sistemi, sistemde basınçlı suyla soğutma yapılmasına (BSÖS), pülverizasyon ünitesi ise sisleme şeklinde suyla ön soğutma (SÖS) yapılmasına olanak tanımaktadır. Pülverizasyon sisteminin su debisi 2.5 L min<sup>-1</sup>, pülverizasyon ve duşlama sistemlerinin toplam debisi ise 7.1 L min<sup>-1</sup>'dir. Her iki sistemin de üzerinde birer adet vana bulunmaktadır. Vanaların açılıp kapatılmasıyla istenilen sistem devreye sokulmaktadır. Su deposu ana şasinin arka kısmında bulunmaktadır. Kalınlığı 2 mm olan paslanmaz çelik malzemeden, 980 x 780 x 700 mm boyutlarında ve 0.5351 m<sup>3</sup> hacminde

imal edilmiştir. İçerisine 450 mm çapındaki sarmal yaylardan oluşan biri 10 sarımlı diğeri 9 sarımlı 2 adet serpantin şeklinde buharlaştırıcı yerleştirilmiştir. Bakır borudan yapıli buharlaştırıcı 17.5 mm çapında, 19.1 m uzunluğunda ve 1.05 m<sup>2</sup> yüzey alanına sahiptir. Soğutucu kabinden tekrar sisteme dönen su, kendi cazibesıyla depoya geri dönmekte ve buradan tekrar sisteme 55 kW gücünde bir devirdaim su pompası yardımıyla basılmaktadır. Soğutma kabininin ve su deposunun çevresine, ısı yalıtımının sağlanması amacıyla 12 mm kalınlığında 0.146538 kJ / m<sup>2</sup> h °C ısı geçiş katsayısına sahip cam yünü sarılmıştır. Sistemde; 10 mm çapında, 59.28 m uzunluğunda, 1.8623 m<sup>2</sup> yüzey alanına sahip bakır borudan yapıli hava soğutmalı yoğuşturucu bulunmaktadır. Soğutma amacıyla devir sayısı 1750 min<sup>-1</sup>, devitgen çark çapı 400 mm olan, 5 kanatlı aksiyal tipte bir fan kullanılmıştır. Fan hareketini 60 W gücündeki monofaze elektrik motorundan almaktadır.

### 3. Vakumla ön soğutma sistemi

Vakumla ön soğutma sistemi; vakum tankı, vakum pompası ve içinde buharlaştırıcı, yoğuşturucu, kompresör, genişleme valfi ve soğutucu akışkan bulunan soğutma ünitesinden oluşmaktadır. Vakum tankı 6 mm kalınlığında çelik sacdan, 0.6 m çapında ve 1 m uzunluğunda silindirik şekilde tasarlanmıştır. Soğutma tankının çevresine, ısı yalıtımının sağlanması amacıyla 12 mm kalınlığında 0.147 kJ / m<sup>2</sup> h °C ısı geçiş katsayısına sahip cam yünü sarılmıştır.

Vakumla ön soğutma sisteminde 13.5 mm çapında 7350 mm uzunluğunda 0.3116 m<sup>2</sup> yüzey alanına sahip bakır borudan yapıli buharlaştırıcı kullanılmıştır. Vakum pompasının etkinliğinin artırılması amacıyla, düşük basınçlarda ürün üzerinden buhar halinde uzaklaşan suyun tekrar sıvı hale gelerek ürüne dönmesi, buharlaştırıcı yardımıyla gerçekleştirilmektedir. Bu nedenle, sistemdeki buharlaştırıcı, vakum tankı içine yerleştirilmiştir (Işık 1994). Sistemde 11.8 mm çapında, 7.3 m uzunluğunda, 0.272 m<sup>2</sup> yüzey alanına sahip bakır borudan yapıli yoğuşturucu kullanılmıştır. Yoğuşturucunun soğutulması amacıyla devir sayısı 1400 min<sup>-1</sup>, devitgen çark çapı 260 mm olan 5 kanatlı aksiyal tipte bir fan kullanılmıştır. Fan hareketini 40 W gücündeki monofaze elektrik motorundan almaktadır.

Vakumla soğutma sisteminde, döner hareketli ve yağlı tip bir vakum pompası kullanılmıştır. Vakum pompası (Carpanelli MMDE80B4, İtalya) sistem basıncının düşürülmesi amacıyla kullanılmaktadır.

#### 4. Ölçme aletleri

Ön soğutma sistemlerinde soğutma sırasında zamana bağlı sıcaklık azalmasının ölçülmesi amacıyla, 10 kanaldan sıcaklık ölçümü yapabilen bir veri toplama cihazından faydalanılmıştır.

Havayla, suyla ve vakumla ön soğutma sistemlerinin çalışma esnasında şebekeden çektiği elektrik enerjisini ölçmek amacıyla, monofaze ve trifaze elektrik sayaçlarından yararlanılmıştır. Havayla ve vakumla ön soğutma sistemlerinde monofaze (Kaan Type101, Türkiye) suyla ön soğutma sisteminde ise trifaze (Kaan Type103, Türkiye) elektrik sayacı kullanılmıştır.

Soğutulacak ürünlerin soğutucu kabinlere eşit ağırlıkta yerleştirilmesi amacıyla, 1 g hassasiyetli bir terazi (Baster 8150, İzmir, Türkiye) kullanılmıştır.

Vakumla soğutma sisteminde vakummetre ve civalı U-manometreden ölçülen zamana bağlı basınç azalmasının kaydedilmesi amacıyla bir kamera (Sony DCR-HC30E, Japonya) kullanılmıştır. Ön soğutma işlemlerinin zamanı dijital bir kronometre (Oregon, C510, İsveç) aracılığıyla ölçülmüştür.

Çalışmalarda dış ortam neminin ölçülmesi amacıyla ölçme aralığı %2.5 olan analog bir higrometre (TFA 45.2007, Almanya), dış ortam sıcaklığının ölçülmesi amacıyla ise ölçme aralığı 0.1°C olan 5 adet analog termometre kullanılmıştır.

Deneme materyallerinin ön soğutma öncesinde, ön soğutma işleminden sonra ve kontrollü atmosfer odasındaki renk parametrelerinin belirlenmesi amacıyla bir renk ölçüm cihazından (Konica-Minolta CR300, Osaka, Japan) yararlanılmıştır.

#### 5. Kontrollü atmosfer odası (KAO)

Ön soğutulmuş ürünlerin dayanım süresinin ölçülmesi amacıyla Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bahçe Bitkileri Bölümü'ne ait Kontrollü Atmosfer Odası (KAO) kullanılmıştır. Kontrollü atmosfer odasının sıcaklığı 1°C, oransal nemi %90 ± 5 ve atmosfer bileşimi ise 0:21 [(%CO<sub>2</sub> : %O<sub>2</sub>) – (0:21)kontrol]'dir (Özer ve Masatçı 2000, Özer 2002, Akbudak ve Özer 2003, Akbudak ve ark. 2003).

### YÖNTEM

#### 1. Ön soğutma yöntemleri

Ön soğutma denemelerinin tümünde soğutulacak olan ıspanak bitkisi ağırlığı 5000 ± 5 g olacak şekilde ayarlanarak kasalara yerleştirilmiştir.

Materyalde meydana gelen sıcaklık düşüşünün belirlenmesi için ön soğutucular içine 10 adet sıcaklık

probu yerleştirilmiştir. Bu sıcaklık problemlerinin ikisi ürünlerin konulduğu kasanın merkezine; dördü kasanın sağ, sol, ön ve arka yanlarına; ikisi kasanın alt ve üstüne; diğer ikisi ise ortam sıcaklığını ölçmek üzere tank içine yerleştirilmiştir. Böylece zamana bağlı sıcaklık azalması değerleri, 1 s aralıklarla veri toplama cihazı aracılığıyla bilgisayara kaydedilmiştir. Dış ortam sıcaklığının ölçülmesi amacıyla 5 adet analog termometre kullanılmıştır.

Ön soğutma işlemleri, tesadüf parselleri deneme tekniğine göre oluşturulmuş ve denemeler 3 tekrürde gerçekleştirilmiştir. Bu üç tekrürden elde edilen verilerin ortalaması alınarak, sisteme ait değerler elde edilmiştir.

Ön soğutma işlemleri sırasında oluşan enerji tüketiminin belirlenmesi amacıyla, ön soğutma sistemleri enerji sayaçlarına bağlanmıştır. Böylece, sistemin şebekeden çektiği enerji miktarı, bir kronometre yardımıyla zamana bağlı olarak ölçülmüştür.

Havayla ön soğutma sisteminde (HÖS) soğutma kabininin sıcaklığı, suyla ön soğutma sisteminde ise soğutma suyunun sıcaklığı 1°C'ye erişinceye kadar söz konusu ön soğutma sistemleri boşa çalıştırılmıştır. İstenen soğutma sıcaklığına ulaşıldığında ise kapak açılarak, sistemlere ürün yüklemesi yapılmıştır. Hava sıcaklığının istenen sıcaklığa ulaşip ulaşmadığı, sistemlerin içine yerleştirilen ve veri toplama cihazına bağlı olan 2 adet sıcaklık probu aracılığıyla bilgisayardan kontrol edilmiştir.

Suyla, havayla ve vakumla ön soğutma işlemleri soğutulacak olan ürünün konulduğu kasanın merkezine konulan her iki prob da 1°C'yi gösterinceye kadar sürdürülmüştür. Havayla ön soğutma sisteminde hava sirkülasyonu doğal olmayıp, sistem içine yerleştirilen ve hızı 1 m s<sup>-1</sup> olan bir fan aracılığıyla zoraki olarak yapılmaktadır. Suyla ön soğutma yöntemi duşlama tekniği ile yüksek basınçlı suyla soğutma (BSÖS) ve pülverizasyon tekniği ile düşük basınçlı suyla ön soğutma (SÖS) olmak üzere iki kısımda incelenmiştir. Duşlama sisteminin debisi 7.1 L min<sup>-1</sup>, pülverizasyon sisteminin debisi ise 2.5 L min<sup>-1</sup> olarak tasarlanmıştır.

Vakumla ön soğutma sisteminin (VÖS) vakum değeri 1 adet analog vakummetre ve bir adet civalı U-manometre ile ölçülmüştür. Vakum ölçerlerin ölçtüğü değerlerin sağlıklı bir şekilde kaydedilmesi amacıyla bir kamera kullanılmıştır. Kamera, kronometre modunda çalıştırılmış ve böylece sistemin zamana bağlı basınç düşümünü kaydedilmiştir. Sistemin basıncı, sistemde

buharlaştırmanın en fazla olduğu parlama noktasına karşılık gelen 2.9 kPa değerine ulaşınca, sistemde oluşan yoğun buharlaşmanın engellenmesi amacıyla, soğutma sistemi devreye sokulmuştur. Soğutma sistemi, soğutma amacıyla değil, sistemde oluşan su buharının yoğunlaştırılması için kullanılmaktadır. Bu nedenle soğutma sistemi en düşük ayarda çalıştırılmıştır.

## 2. Renk ölçüm yöntemi

Renk okumaları ıspanak yapraklarının her iki yüzünden de ölçüm alınarak gerçekleştirilmiştir. Rasgele seçilen 10 yaprağın, L (parlaklık), a (kırmızılık/yeşillik) ve b (sarılık/mavilik) renk ölçümlerinin ortalamaları alınarak renk değerleri belirlenmiştir. Renk ölçüm cihazının kalibrasyonu, standart beyaz bir fayans kullanılarak gerçekleştirildikten sonra renk okumaları alınmıştır.

Cihazın gösterdiği L değeri rengin parlaklığını vermektedir. Bu değer renk beyaz ise 0'ı siyah ise 100'ü göstermektedir. Cihazda okunan a değeri ise rengin kırmızılık ya da yeşillik değerini vermektedir. Renk kırmızılığa kaydığında cihazda pozitif değerler, yeşillığe kaydığında ise negatif değerler okunmaktadır. Bir başka deyişle cihaz tam kırmızıda +50, tam yeşilde ise -50 değerini göstermektedir. Cihazda okunan b değeri ise rengin sarılık ya da mavilik oranını vermektedir. Renk sarılığa kaydığında cihazda pozitif değerler, maviliğe kaydığında ise negatif değerler okunmaktadır. Başka bir anlatımla cihaz tam sarı renkte +50, tam mavi renkte ise -50 değerini göstermektedir. Rengin kroması C ile renk açısı ise  $\alpha$  ile gösterilmektedir. C ve  $\alpha$  değerleri a ve b değerlerinden yararlanılarak hesaplamalarla aşağıdaki şekilde bulunmuştur (Alibas, 2006) (1) (2).

$$C = \sqrt{a^2 + b^2} \quad (1)$$

$$\alpha = \tan^{-1}(b/a) \quad (2)$$

## 3. Kontrollü atmosfer odasında depolama yöntemi

Kontrollü atmosfer odasına ön soğutma yapılmamış, havayla, vakumla, basınçlı suyla ve suyla ve vakumla soğutulmuş materyallerden  $1000 \pm 5$  g (1 g hassasiyetli Baster marka terazi kullanılarak) ağırlığında tartılmış 3'er örnek konulmuştur.

Kontrollü atmosfer odasında ıspanağın renk ölçümleri 0. gün ve 15. günlerde 3 tekerrürlü olarak gerçekleştirilmiştir (Özer ve Masatçı 2000, Rennie ve ark. 2001, He ve ark. 2004, Tao ve ark. 2006).

Kontrollü atmosfer odasına, 1000 g ağırlığında tartılıp 3 tekerrürlü olarak konulan ürünlerin, kontrollü atmosfer odasında depolama süresi boyunca her gün ağırlık kaybı değerleri belirlenmiştir (Özer ve Masatçı 2000, Özer 2002, Akbudak ve Özer 2003). Genel görünüm belirleme yöntemi doktoralı bitki fizyologlarından oluşan 5 kişilik bir jüri tarafından yapılmıştır. Genel görünüm testinde biyolojik materyallere bir puanlama sistemi uygulanmıştır. Bu puanlama; 10-9: çok iyi, 8-7: iyi, 6-5: satılabilir, 4-3: satılamaz, 2-1: kullanılamaz şeklinde yapılmıştır (Özer ve Masatçı 2000, Özer 2002, Akbudak ve Özer 2003, Akbudak ve ark. 2003).

## 4. İstatistik yöntemleri

### 4.1. En küçük anlamlı fark (LSD)

Çalışma tesadüf parselleri deneme desenine göre 3 tekerrürlü olarak kurulmuştur. Elde edilen verilerin ortalamaları ve diğer istatistik değerleri MINITAB 13 aracılığıyla saptanmış ve sonuçlar LSD testine ( $P < 0.01$ ) göre MSTATC istatistik programı kullanılarak harflendirilmiştir.

### 4.2. Non-linear regresyon analizi

Veri toplama cihazı aracılığıyla ölçülen zamana bağlı sıcaklık değerleri non-linear regresyon analizi yapan NLREG (NLREG 6.3) programına "Denklem 1" kullanılarak girilmiştir. Böylece ölçülen değerlerden yola çıkılarak, istatistik programının tahmin ettiği sıcaklık değerleri saptanmıştır. Nonlinear regresyon analizinin sonuçları soğutma katsayısını ( $CR$ ), tahminin standart hatasını ( $SEE$ ) ve regresyon modeli karar katsayısını ( $R^2$ ) vermektedir (Sherrod 2001).

$$T = T_i + [T_m \cdot \exp(CR \cdot t)] \quad (3)$$

Burada;

$T$ : Veri toplama cihazı aracılığıyla ölçülen sıcaklık değeri ( $^{\circ}C$ ),

$T_i$ : Ürünün ön soğutma işlemi sonunda ulaşması istenen sıcaklık değeri ( $^{\circ}C$ ),

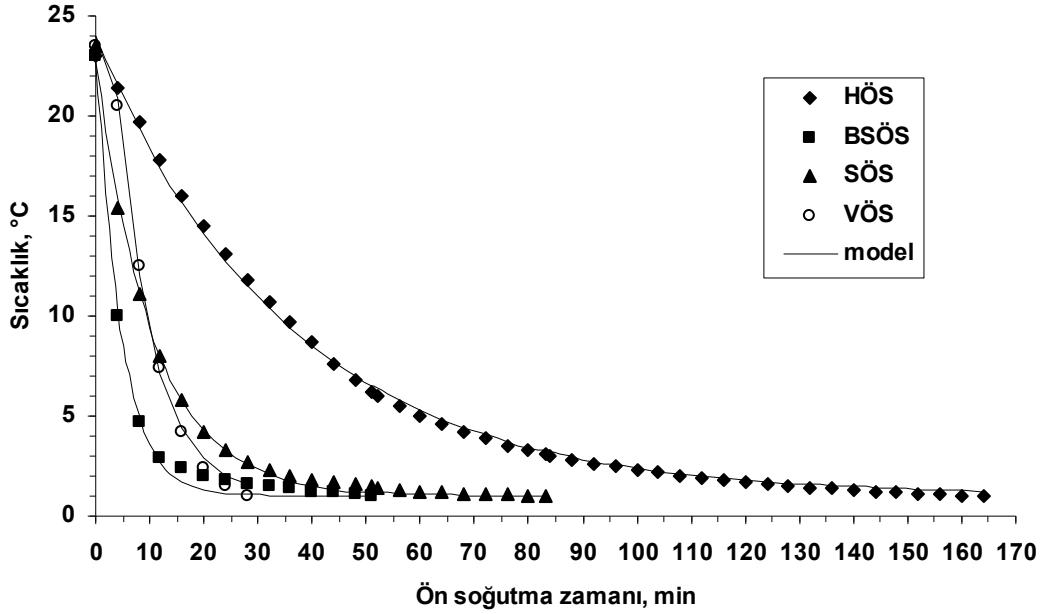
$T_m$ : Materyalin soğutulmadan önceki sıcaklığı ( $^{\circ}C$ ),

$CR$ : Soğutma katsayısı

$t$ : Zaman (s)

## ARAŞTIRMA SONUÇLARI ve TARTIŞMA

İspanağın havayla, vakumla, suyla ve basınçlı suyla ön soğutma yöntemleri ile soğutulmasında zamana bağlı sıcaklık azalması Şekil 1'de verilmiştir. Havayla, vakumla, suyla ve basınçlı suyla ön soğutma yöntemleri ile soğutulacak olan ıspanakların ilk sıcaklıklarının sırasıyla,  $23^{\circ}C$ ,  $23.5^{\circ}C$ ,  $23.5^{\circ}C$  ve  $23^{\circ}C$  olduğu



(a)

(b)

(c)

Şekil 1. Ispanağın vakumla, havayla basınçlı suyla ve suyla soğutulmasındaki zamana bağlı sıcaklık düşümü

saptanmıştır. Ispanak kasalarının merkezine 2 adet, sağ sol, ön ve arka kenarlarına 1'er adet, üst ve altına 1'er adet ve dış ortama 2 adet olmak üzere toplam 10 adet sıcaklık ölçüm probu yerleştirilmiştir. Sıcaklık ölçüm problemleri aracılığıyla zamana bağlı sıcaklık azalmasına ilişkin değerler bir veri toplama cihazı aracılığıyla bilgisayara kaydedilmiş ve soğutma işlemlerine kasaların merkezine yerleştirilen her iki sıcaklık ölçüm probu da 1°C'yi gösterinceye kadar devam edilmiştir (Gormley ve MacCanna 1967, Chen 1988, Everington 1993, Artes ve Martinez 1995, 1996, Nunes ve ark. 1995, Zhang ve Sun 2006a, 2006b). Sıcaklık değerleri ise kasalara yerleştirilen 8 adet sıcaklık probundan alınan verilerin ortalaması alınarak bulunmuştur.

Vakumla ön soğutmanın 28 dakika (Everington 1993) ile en kısa, havayla ön soğutmanın ise 164 dakika ile en uzun ön soğutma yöntemi olduğu saptanmıştır (Frost ve ark. 1989, Desmond ve ark. 2002, Jackman ve ark. 2007, Cheng 2006, Zhang ve Sun 2006a, 2006b). Buna göre vakumla ön soğutma yönteminin havayla ön soğutma yöntemine göre 5.86 kat daha hızlı ön soğutma yapılabildiği belirlenmiştir. Suyla ön soğutma 83 dakika, basınçlı suyla ön soğutma ise 51 dakikada tamamlanmıştır. Su debisinin 2.5 L min<sup>-1</sup> değerinden, 7.1 L min<sup>-1</sup> değerine çıkarılması ile soğutma zamanında 1.63 katlık bir azalma elde

edilmiştir. Basınçlı suyla ve suyla ön soğutma yöntemlerinde soğutma süresi vakumla ön soğutma yöntemine göre sırasıyla 1.82 ve 2.96 kat artmış; havayla ön soğutma yöntemine göre ise 3.22 ve 1.98 kat azalmıştır. Bulunan sonuçlar literatür çalışmaları ile karşılaştırılmış ve sonuçların benzerlik gösterdiği anlaşılmıştır (McDonald ve ark. 2001, McDonald ve ark. 2000, Sun ve Wang 2000, )

Ispanak bitkisinin havayla, vakumla, suyla ve basınçlı suyla ön soğutma yöntemleri ile soğutulması sırasında elde edilen istatistikî veriler Çizelge 1'de verilmiştir. Denemeler sırasında veri toplama cihazı aracılığıyla ölçülen zamana bağlı sıcaklık değerleri ile istatistiksel model aracılığıyla belirlenen zamana bağlı sıcaklık değerleri arasındaki regresyon modeli karar katsayısının "R<sup>2</sup>" en yüksek olduğu ön soğutma yönteminin 0.9981 değeri ile havayla; en düşük olduğu ön soğutma yönteminin ise 0.9918 değeri ile basınçlı suyla ön soğutma yöntemi olduğu belirlenmiştir. Vakumla ve suyla ön soğutma yöntemlerinin "R<sup>2</sup>" değerlerinin sırasıyla 0.9954 ve 0.9976 olduğu saptanmıştır. Ayrıca Çizelge 1'de tahminin standart hatası ve soğutma katsayıları da verilmiştir. Buna göre vakumla, suyla, havayla ve basınçlı suyla ön soğutma yöntemlerinin soğutma katsayılarının sırasıyla 0.147, 0.094, 0.028 ve 0.212 olduğu tespit edilmiştir.

**Çizelge 1. Ispanak bitkisinin farklı ön soğutma yöntemleri ile soğutulması sırasında elde edilen istatistiksel veriler**

Ön Soğutma Yöntemi	Tahminin Standart Hatası (SEE)**	Regresyon modeli karar katsayısı R <sup>2</sup> **	Soğutma Katsayısı (CR)**
<b>HÖS</b>	0.270373	0.9981	0.0280278516
<b>VÖS</b>	0.457025	0.9954	0.1475060090
<b>BSÖS</b>	0.450192	0.9918	0.2119840190
<b>SÖS</b>	0.251538	0.9976	0.0940257797

\*\* P < 0.01 olasılık düzeyinde istatistiksel olarak önemlidir.

Ispanağın vakumla ön soğutulması sırasında ölçülen sıcaklık, basınç ve zaman arasındaki ilişkileri gösteren eğriler Şekil 2’de verilmiştir. Vakumla soğutma sisteminde soğutma işlemi 28 dakika sürmüştür, sistem parlama noktasına karşılık gelen 2.93 kPa’lık basınca 3 dakikada, minimum basınç değeri olan 0.66 kPa basınca ise 9 dakikada ulaşmıştır. Bu dakikadan sonra sistem basıncı soğutma işleminin sonuna kadar maksimum vakum değerine karşılık gelen 0.66 kPa basınç değerinde sabit kalmıştır.

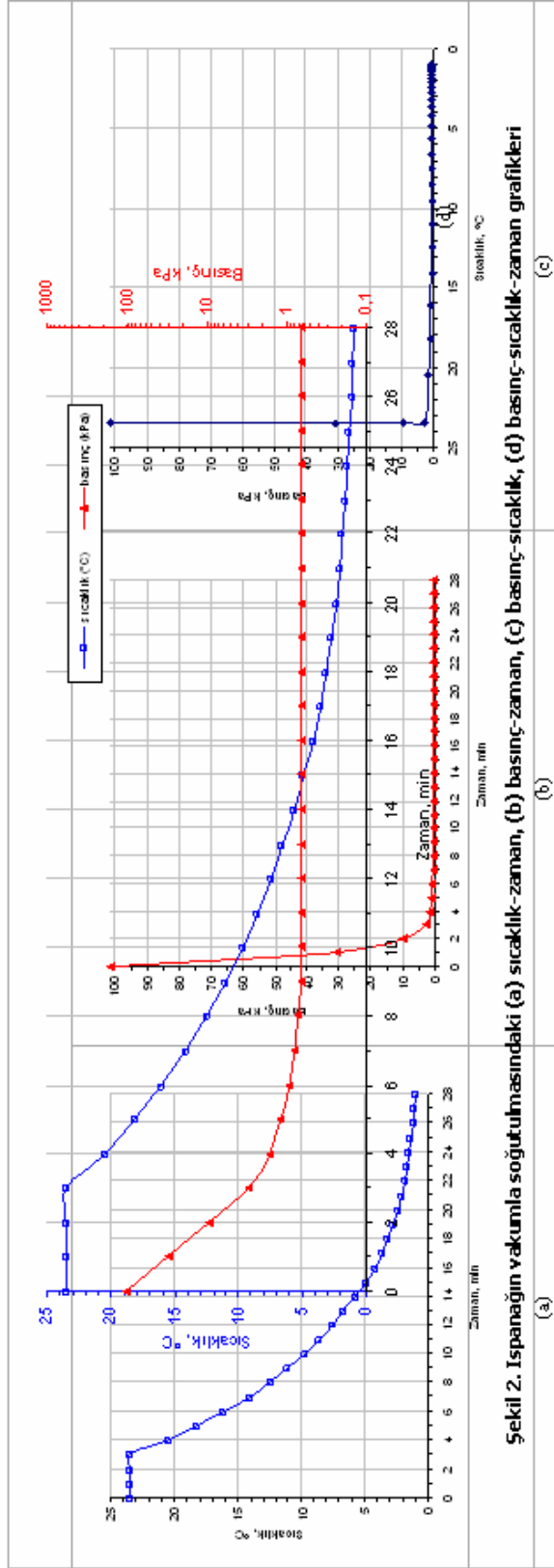
Ispanak bitkisinin ön soğutulması sırasındaki enerji tüketimi değerleri Çizelge 1’de verilmiştir. Ispanağın soğutulmasındaki en yüksek enerji tüketimi 1.06 kWh değeri ile havayla ön soğutma yönteminde ölçülmüştür (Adas 1989). Bunu sırasıyla 0.73 kWh, 0.46 kWh ve 0.31 kWh değerleri ile suyla, basınçlı suyla ve vakumla ön soğutma yöntemleri takip etmiştir. Tüm soğutma yöntemleri içinde enerji tüketimi açısından en pahalı yöntem olan havayla ön soğutma yönteminin enerji tüketimi değerinin, enerji tüketimi açısından en ekonomik yöntem olan vakumla ön soğutma yöntemine göre 3.42 kat daha fazla olduğu saptanmıştır. Su debisinin 2.5 L min<sup>-1</sup> olduğu suyla ön soğutma yönteminin enerji tüketimi değerinin, su debisinin 7.1 L min<sup>-1</sup> olduğu basınçlı suyla ön soğutma yönteminde ölçülen enerji tüketimi değerine göre 1.58 kat daha fazla olduğu belirlenmiştir. Buna bağlı olarak, basınçlı suyla ön soğutma yönteminin, suyla ön soğutma yöntemine göre enerji tüketimi açısından daha ekonomik bir yöntem olduğu tespit edilmiştir.

Ispanağın havayla, vakumla, basınçlı suyla ve suyla ön soğutulması sırasındaki güç gereksinimi değerleri “kW” cinsinden Çizelge 1’de verilmiştir. Çizelge 1’e göre ön soğutma işlemleri içinde en fazla güç gereksinimi vakumla ön soğutma yönteminde 0.66 kW değeri ile meydana gelmiş; bunu sırasıyla

0.54 kW değeri ile basınçlı suyla ön soğutma, 0.53 kW değeri ile suyla ön soğutma, 0.39 kW değeri ile havayla ön soğutma yöntemleri takip etmiştir (Adas 1989). En fazla gücün tüketildiği vakumla ön soğutma yöntemindeki güç gereksiniminin, en az gücün harcandığı havayla ön soğutma yöntemindeki güç gereksinimine göre 1.71 kat daha fazla olduğu saptanmıştır. Su debisinin 7.1 L min<sup>-1</sup> olduğu basınçlı suyla ön soğutma yönteminin güç gereksinimi değerinin, su debisinin 2.5 L min<sup>-1</sup> olduğu suyla ön soğutma yönteminde ölçülen güç gereksinimi değerine göre 1.03 kat daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

Ön soğutma işlemi için soğutucu ünitelere konulan ıspanak bitkisi havayla, suyla, basınçlı suyla ve vakumla ön soğutma yöntemlerinin her birinde 5000 ± 5 g ağırlığında ölçülerek soğutma işlemine tabi tutulmuştur. Soğutma işlemlerinin sonunda soğutma işlemlerinden önceki ağırlıkları 5000 ± 5 g olan ıspanak kasalarının tartım işlemleri yapılmıştır. Bu tartım işlemleri sonunda basınçlı suyla ve suyla ön soğutulmuş ürünlerde sırasıyla %9.94 ve %7.63 değerinde bir ağırlık artışı (Sullivan ve ark. 1996 , McDonald ve ark. 2000, 2002), havayla ve vakumla ön soğutulmuş materyallerde ise sırasıyla %1.16 ve %4.24 değerinde bir ağırlık kaybı (Frost ve ark. 1989, Adas 1989, Sullivan ve ark. 1996, McDonald ve ark. 2000, 2002, Sun ve Wang 2000, Desmond ve ark. 2002, Zhang ve Sun 2006a, 2006b, Jackman ve ark. 2007) saptanmıştır. Ön soğutma yöntemlerinden sonra oluşan ağırlık farkı değerleri Çizelge 1’de verilmiştir.

Ispanak bitkisinin havayla, vakumla, suyla ve basınçlı suyla ön soğutulması sırasındaki soğutma zamanı, enerji tüketimi, güç gereksinimi ve ağırlık farkı değerleri istatistiksel farkları ile birlikte Çizelge 2’de verilmiştir. Sütunlar arasındaki farklılık % 1 düzeyinde önemli bulunmuştur.





Çizelge 2. Ispanak bitkisinin ön soğutma parametreleri

Ön Soğutma Yöntemi	Soğutma Zamanı (min) **	Enerji Tüketimi (kWh) **	Güç (kW) **	Ağırlık Farkı (%) **
HÖS	164 ± (2.560) <sup>d</sup>	1.06 ± (0.0252) <sup>d</sup>	0.3878 ± (0.00640) <sup>a</sup>	-1.16 ± (0.0436) <sup>c</sup>
VÖS	28 ± (1.530) <sup>a</sup>	0.31 ± (0.0208) <sup>a</sup>	0.6643 ± (0.00286) <sup>c</sup>	-4.24 ± (0.0265) <sup>d</sup>
BSÖS	51 ± (2.080) <sup>b</sup>	0.46 ± (0.0153) <sup>b</sup>	0.5412 ± (0.00551) <sup>b</sup>	9.94 ± (0.0551) <sup>a</sup>
SÖS	83 ± (2.520) <sup>c</sup>	0.73 ± (0.0231) <sup>c</sup>	0.5277 ± (0.00321) <sup>b</sup>	7.63 ± (0.0321) <sup>b</sup>

\*\* P<0.01 olasılık düzeyinde istatistiki olarak önemlidir.

Havayla, suyla, basınçlı suyla ve vakumla ön soğutulmuş ıspanaklar ile hiç ön soğutma yapılmamış ıspanakların kontrollü atmosfer odasında 0. ve 15. günlerde belirlenmiş bozulma oranı, ağırlık kaybı, genel görünüm derecesi ve renk kriterleri (Rennie ve ark. 2001) istatistiksel farkları ile birlikte Çizelge 3'de verilmiştir.

Tüm yöntemler için bozulma oranı ve ağırlık kaybı değerleri 0. günde %0 olarak kabul edilmiş ve bu değer kontrol değeri olarak alınmıştır. Kontrollü atmosfer odasında 15. gün sonunda ölçülen bozulma oranı değerlerine bakıldığında en az bozulmanın %20 değeri ile suyla ön soğutma yönteminde, en fazla bozulmanın ise %43 değeri ile havayla ön soğutma yönteminde ortaya çıktığı saptanmıştır. Ön soğutma yapılmamış ıspanakların 15. günün sonunda %52 oranında bozulmaya uğradığı belirlenmiştir. Buna göre tüm ön soğutma yöntemleri içinde bozulma oranı açısından en uygun yöntemin suyla ön soğutma yöntemi olduğu tespit edilmiştir. Suyla ön soğutma yöntemini sırasıyla, %25 değeri ile vakumla, %30 değeri ile basınçlı suyla ve %43 değeri ile havayla ön soğutma yöntemleri izlemiştir. Soğutma işlemlerinin her birinde meydana gelen ürün kayıpları bir ton ürün için hesaplanmıştır. Buna göre, suyla ön soğutma yapılmış ıspanaklarda 15. gün sonunda oluşan bozulmanın 200 kg ton<sup>-1</sup> olduğu belirlenmiştir. Hiç ön soğutma yapılmamış ıspanaklardaki bozulma oranının ise 520 kg ton<sup>-1</sup> olduğu tespit edilmiştir. Ispanakların hiç ön soğutma yapılmadan soğuk depolaması ile vakumla ön soğutma yapılarak kontrollü atmosfer odasında 15 gün boyunca depolanması arasında bir ton üründe 320 kg ürün kaybının önleneyeceği sonucuna varılmıştır.

Çalışmada en az ağırlık kaybına neden olan yöntemin %14 değeri ile suyla ön soğutma, en fazla ağırlık kaybına neden olan yöntemin ise %19 değeri ile havayla ön soğutma yöntemi olduğu tespit

edilmiştir. Basınçlı suyla ve vakumla ön soğutma yönteminde 15. gün sonunda ölçülen ağırlık kaybı değerinin ise sırasıyla %16.5 ve %15.5 olduğu belirlenmiştir. Hiç ön soğutma yapılmamış ıspanaklarda oluşan ağırlık kaybının değeri ise %29 olarak ölçülmüştür. Ön soğutma yapılmamış ıspanakların 15. gün sonundaki ağırlık kaybı değerinin, en az ağırlık kaybının olduğu suyla ön soğutma yönteminde oluşan ağırlık kaybı değerine göre 2.07 kat daha fazla olduğu tespit edilmiştir.

Genel görünüm derecesi 0. günde "10" olarak kabul edilmiş ve bu değer kontrol değeri olarak alınmıştır. Genel görünüm derecelendirmesi, 10-9: çok iyi, 8-7: iyi, 6-5: satılabilir, 4-3: satılamaz, 2-1: kullanılamaz şeklinde yapılmıştır (Özer ve Masatçı 2000, Özer 2002, Akbudak ve Özer 2003). Buna göre 15. gün sonunda suyla ön soğutma yöntemi ile soğutulmuş kontrollü atmosfer odasında muhafaza edilen ıspanakların genel görünüm derecesi "8" puan ile, basınçlı suyla ve havayla ön soğutulmuş kontrollü atmosfer odasında muhafaza edilen ıspanakların genel görünüm derecesi ise "7" puan ile "iyi" olarak derecelendirilmiştir. Havayla ön soğutulmuş kontrollü atmosfer odasında 15 gün bekletilen ıspanaklar ise "5" puan ile "satılabilir" olarak sınıflandırılmıştır. Hiç ön soğutma yapılmadan kontrollü atmosfer odasında 15 gün depolanmış ıspanakların genel görünüm derecesi ise "4" değeri ile "satılamaz" sınıfına dahil edilmiştir.

Hiç işlem görmemiş ıspanakların 0. günde okunan renk değerleri taze ürünün renk değerleri olarak kabul edilmiştir. Tüm soğutma yöntemlerinin kontrollü atmosfer odasında 15. gün sonundaki renk değerleri incelendiğinde taze ürüne en yakın renk değerlerinin suyla ön soğutma yönteminde ortaya çıktığı

Çizelge 3. İspanak bitkisinin kontrollü atmosfer odasında ölçülen kalite parametreleri

Soğutma Yöntemi	Depolama Süresi (gün)	Renk Değerleri						Ağırlık Kaybı (%) <sup>**</sup>	Bozulma Oranı (%) <sup>**</sup>	Genel Görünüm (1-10) <sup>**</sup>
		L <sup>**</sup>	a <sup>**</sup>	b <sup>**</sup>	C <sup>**</sup>	a° <sup>**</sup>				
ÖS	0	33.33 ± (0.162) <sup>†</sup>	-8.25 ± (0.064) <sup>†</sup>	12.24 ± (0.139) <sup>†</sup>	14.76 ± (0.138) <sup>†</sup>	123.98 ± (0.25) <sup>†</sup>	0.000 ± (0.000) <sup>†</sup>	0.000 ± (0.000) <sup>†</sup>	10.000 ± (0.000) <sup>†</sup>	
	15	25.29 ± (0.214) <sup>†</sup>	-3.68 ± (0.170) <sup>†</sup>	8.60 ± (0.183) <sup>†</sup>	9.36 ± (0.176) <sup>†</sup>	113.14 ± (1.08) <sup>†</sup>	29.000 ± (2.080) <sup>†</sup>	52.000 ± (1.150) <sup>†</sup>	4.000 ± (0.577) <sup>†</sup>	
HÖS	0	29.90 ± (0.203) <sup>†</sup>	-6.92 ± (0.232) <sup>†</sup>	10.59 ± (0.113) <sup>†</sup>	12.65 ± (0.196) <sup>†</sup>	123.15 ± (0.76) <sup>†</sup>	0.000 ± (0.000) <sup>†</sup>	0.000 ± (0.000) <sup>†</sup>	10.000 ± (0.000) <sup>†</sup>	
	15	27.16 ± (0.083) <sup>†</sup>	-5.05 ± (0.097) <sup>†</sup>	9.95 ± (0.043) <sup>†</sup>	11.16 ± (0.058) <sup>†</sup>	116.88 ± (0.45) <sup>†</sup>	19.000 ± (1.530) <sup>†</sup>	43.000 ± (1.530) <sup>†</sup>	5.000 ± (0.000) <sup>†</sup>	
VÖS	0	32.31 ± (0.125) <sup>†</sup>	-7.94 ± (0.055) <sup>†</sup>	11.93 ± (0.070) <sup>†</sup>	14.33 ± (0.077) <sup>†</sup>	123.65 ± (0.18) <sup>†</sup>	0.000 ± (0.000) <sup>†</sup>	0.000 ± (0.000) <sup>†</sup>	10.000 ± (0.000) <sup>†</sup>	
	15	29.23 ± (0.071) <sup>†</sup>	-6.03 ± (0.052) <sup>†</sup>	11.54 ± (0.048) <sup>†</sup>	13.02 ± (0.064) <sup>†</sup>	117.61 ± (0.14) <sup>†</sup>	15.500 ± (2.650) <sup>†</sup>	25.000 ± (2.890) <sup>†</sup>	7.000 ± (0.577) <sup>†</sup>	
BSÖS	0	32.74 ± (0.044) <sup>†</sup>	-8.05 ± (0.058) <sup>†</sup>	12.04 ± (0.066) <sup>†</sup>	14.48 ± (0.087) <sup>†</sup>	123.75 ± (0.05) <sup>†</sup>	0.000 ± (0.000) <sup>†</sup>	0.000 ± (0.000) <sup>†</sup>	10.000 ± (0.000) <sup>†</sup>	
	15	29.07 ± (0.108) <sup>†</sup>	-5.77 ± (0.101) <sup>†</sup>	11.10 ± (0.118) <sup>†</sup>	12.51 ± (0.120) <sup>†</sup>	117.49 ± (0.45) <sup>†</sup>	16.500 ± (2.570) <sup>†</sup>	30.000 ± (2.890) <sup>†</sup>	7.000 ± (0.577) <sup>†</sup>	
SÖS	0	32.97 ± (0.040) <sup>†</sup>	-8.17 ± (0.081) <sup>†</sup>	12.30 ± (0.066) <sup>†</sup>	14.76 ± (0.087) <sup>†</sup>	123.60 ± (0.22) <sup>†</sup>	0.000 ± (0.000) <sup>†</sup>	0.000 ± (0.000) <sup>†</sup>	10.000 ± (0.000) <sup>†</sup>	
	15	29.62 ± (0.096) <sup>†</sup>	-6.26 ± (0.035) <sup>†</sup>	11.92 ± (0.134) <sup>†</sup>	13.46 ± (0.110) <sup>†</sup>	117.71 ± (0.36) <sup>†</sup>	14.000 ± (2.080) <sup>†</sup>	20.000 ± (2.890) <sup>†</sup>	8.000 ± (0.289) <sup>†</sup>	

<sup>†††</sup> P<0.01 olasılık düzeyinde istatistikî olarak önemlidir.

ÖS: ön soğutma yapılmadan KAC'na konulmuş örnekler

saptanmıştır. Suyla ön soğutma yöntemini sırasıyla, vakumla, basınçlı suyla ve havayla ön soğutma yöntemleri takip etmiştir. Taze ürünün renk değerlerine uzak renk değerlerinin ise hiç işlem yapılmadan kontrollü atmosfer odasında muhafaza edilen ıspanakların renk değerlerinde ortaya çıktığı saptanmıştır. Kontrollü atmosfer odasına konulmadan önce ön soğutma işlemlerinin uygulanması ile ıspanakların renk değerleri önemli ölçüde korunmuştur.

## SONUÇ

Çalışmada ıspanak havayla, vakumla, suyla ve basınçlı suyla ön soğutulmuştur. Soğutma süresinin en kısa, enerji tüketiminin ise en düşük olduğu soğutma yönteminin vakumla ön soğutma yöntemi olduğu saptanmıştır. Hem enerji tüketimi hem de soğutma süresi açısından vakumla ön soğutma yöntemini sırasıyla basınçlı suyla, suyla ve havayla ön

soğutma yöntemlerinin takip ettiği belirlenmiştir. Suyla ve basınçlı suyla ön soğutulan materyallerde soğutma işlemi sırasında ağırlık artışı, havayla ve vakumla ön soğutulmuş materyallerde ise ağırlık kaybı olduğu tespit edilmiştir. Soğutma yöntemleri güç gereksinimi açısından karşılaştırılmış; en fazla güç gereksiniminin vakumla ön soğutma yönteminde meydana geldiği, bunu sırasıyla suyla, basınçlı suyla ve havayla ön soğutma yöntemlerinin izlediği saptanmıştır.

İspanağın kontrollü atmosfer koşullarında muhafaza edilmesinde kalite parametreleri açısından en uygun soğutma yönteminin suyla ön soğutma yöntemi olduğu, bunu sırasıyla vakumla, basınçlı suyla ve havayla ön soğutma yöntemlerinin izlediği saptanmıştır. Ön soğutulmaksızın oda ve kontrollü atmosfer koşullarında muhafaza edilen ıspanağın kalite parametrelerinin ise en düşük düzeyde olduğu tespit edilmiştir.

## LİTERATÜR LİSTESİ

- Akbudak, B., M.H. Özer. 2003. Farklı Sıcaklıklarda Muhafaza Edilen Turşuluk Hıyarda Meydana Gelen Fiziksel ve Kimyasal Değişimler. *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 17(1):33-46.
- Akbudak, B., M.H. Özer, U. Erturk. 2003. A Research on Controlled Atmosphere (CA) Storage of cv. Elstar on Rootstock of MM106. *Proceedings of the International Conference Postharvest Unlimited, Leuven, Acta Hort.No. 599:657-663.*
- Alibas, I. 2006. Characteristics of Chard Leaves during Microwave, Convective, and Combined Microwave-Convective Drying. *Drying Technology*, 24(1):1-11.
- Alibas-Ozkan, I., B. Akbudak, N. Akbudak. 2007. Microwave drying Characteristics of Spinach. *Journal of Food Engineering*, 78(2):577-583.
- Artes, F., J.A. Martinez. 1996. Influence of Packaging Treatments on the Keeping Quality of Salinas Lettuce, *Lebensmittel Wissenschaft und Technologies*, 29:664-668.
- Brosnan, T., D.W. Sun. 2003. Influence of modulated vacuum cooling on the cooling rate, mass loss and vase life of cut lily flowers. *Biosystems Engineering*, 86(1):45-49
- Chen, Y.L. 1988. Vacuum, Hydro, and Forced Air of Farm Produce and Their Energy Consumptions, *FFTC Book Series, Taiwan*, 37:104-111.
- Cheng, H.-P. 2006. Vacuum Cooling Combined with Hydrocooling and Vacuum Drying on Bamboo Shoots. *Applied Thermal Engineering*, 26:2168-2175.
- Desmond, E.M., T.A. Kenny, P. Ward. 2002. The Effect of Injection Level and Cooling Method on the Quality of Cooked Ham Joints. *Meat Science*, 60(3):271-277.
- Dinçer, İ. 1993. Çeşitli Gıdaların Soğutulmasında Etkin İşlem Parametrelerinin Belirlenmesi. *Doktora Tezi (yayınlanmamış)*, İTÜ Fen Bil. Enst., s.141.
- Dincer, I. 1995. Air Flow Precooling of Individual Grapes. *Journal of Food Engineering*, 6(2):243-249.
- Dostal, M., K. Petera. 2004. Vacuum cooling of liquids: mathematical model. *Journal of Food Engineering*, 61(4): 533-539.
- Everington, D.W. 1993. Vacuum Technology for Food Processing. In A. Turner (Ed.), *Food Technology International Europe* (pp. 71-74). London: Sterling Publications Ltd.
- Frost, C.E., K.S. Burton, P.T. Atkey. 1989. A Fresh Look at Cooling Mushroom. *Mushroom Journal*, 193:23-29.
- Gormley, T.R., C. Maccanna. 1967. Pre-packaging and Shelf Life of Mushroom. *Irish Journal of Agricultural Research*, 6:255-265.
- He, S.Y., G.P. Feng, H.S. Yang, Y. Wu, Y.F. Li. 2004. Effects of Pressure Reduction Rate on Quality and Ultrastructure of Iceberg Lettuce after Vacuum Cooling and Storage. *Postharvest Biology and Technology*, 33:263-273.
- Houška, M., Š. Podloucky, R. Žintny, R. Gree, J. Šeastak, M. Dostal, D. Burfoot. 1996. Mathematical Model of The Vacuum Cooling of Liquids. *Journal of Food Engineering*, 29(3-4):339-348.
- Houška, M., D.W. Sun, A. Landfeld, Z. Zhihang. 2003. Experimental Study of Vacuum Cooling of Cooked Beef in Soup. *Journal of Food Engineering*, 59(2-3):105-110.
- İşık, E. 1994. Vakum Soğutma Sistemlerinde İşletim ve Tasarım Parametrelerinin Belirlenmesine Yönelik Model Çalışması. *Doktora Tezi, (yayınlanmamış)*, Uludağ Üniversitesi, s. 134.
- Jackman, P., D.W. Sun, L. Zheng. 2007. Effect of Combined Vacuum Cooling and Air Blast Cooling on Time and Cooling Loss of Large Cooked Beef Joints. *Journal of Food Engineering*, 81:266-271.
- Kader, A.A., R.F. Karmine, F.G. Mitchell, N.F. Sommer, J.F. Thompson. 1992. *Postharvest Technology of*

- Horticultural Crops, 2nd Edition. Special Publication 3311. University of California Press, Berkeley, CA, USA
- McDonald, K., D.W. Sun. 2000. Vacuum Cooling Technology for The Food Processing Industry: A Review, *Journal of Food Engineering*, 45( 2) 55-65.
- McDonald, K., D.W. Sun, T. Kenny. 2000. Comparison of the Quality of Cooked Beef Products Cooled by Vacuum Cooling and by Conventional Cooling. *Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie*, 33(1):21-29.
- McDonald, K., D.W. Sun. 2001a. The Formation of Pores and Their Effects in A Cooked Beef Product on The Efficiency of Vacuum Cooling. *Journal of Food Engineering*, 47(3):175-183.
- McDonald, K., D.W. Sun. 2001b. Effect of Evacuation Rate on The Vacuum Cooling Process of A Cooked Beef Product. *Journal of Food Engineering*, 48(3):195-202.
- McDonald, K., D.W. Sun, T. Kenny. 2001. The Effect of Injection Level on The Quality of A Rapid Vacuum Cooled Cooked Beef Product. *Journal of Food Engineering*, 47(2):139-147.
- McDonald, K., D.W. Sun, J.G.Lyng. 2002. Effect of Vacuum Cooling on the Thermophysical Properties of a Cooked Beef Product. *Journal of Food Engineering*, 52(2):167-176.
- Nunes, M.C.N., J.K. Brecht, S.A.Sargent, A.M.M.B. Morais. 1995. Effect of Delays to Cooling and Wrapping on Strawberry Quality (cv. Sweet Charlie). *Food Control*, 6(6):323-328.
- Özer, M.H., F. Masatçı. 2000. Domatesin Kontrollü Atmosferde (KA) Muhafazası Üzerine Bir Araştırma. *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 14:45-57.
- Özer, M.H. 2002. Jonagold Elma Çeşidinin Kontrollü Atmosferde Muhafazası. *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 16 (2), 189-202 (2002).
- Rennie, T.J., C. Vigneault, G.S.V. Raghavan, J.R. DeEll. 2001. Effects of Pressure Reduction Rate on Vacuum Cooled Lettuce Quality during Storage. *Canadian Biosystems Engineering*, 43(3):39-43.
- Sankat, C.K., S. Mujaffar. 1999. Water Balance in Cut *Anthurium* Flowers in Storage and its Effects on Quality. *Acta Horticulturae*, 368: 723-732.
- Sherrod, P.H. 2001. Nonlinear Regression Analysis Program, NLREG Version 6.2. Phillip H. Sherrod, Nashville, Brentwood, TN.
- Sun, D.W., L. Wang. 2000. Heat Transfer Characteristics of Cooked Meats Using Different Cooling Methods. *International Journal of Refrigeration*, 23(7):508-516.
- Sun, D.W., L. Wang. 2004. Experimental Investigation of Performance of Vacuum Cooling for Commercial Large Cooked Meat Joints. *Journal of Food Engineering*, 61(4): 527-532.
- Tao, F., M. Zhang, Y. Hangqing, S. Jincai. 2006. Effects of Different Storage Conditions on Chemical and Physical Properties of White Mushrooms After Vacuum Cooling. *Journal of Food Engineering*, 77:545-549.
- Teruel, B., L. Cortez, L.N. Fo. 2001. A Comparative Study of the Cooling of Oranges Using Three Cooling Systems. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 5(3):481-486.
- Toledo, M.E.A., Y. Ueda, Y. Imahori, M. Ayaki. 2003. L-ascorbic Acid Metabolism in Spinach (*Spinacia oleracea* L.) during Postharvest Storage in Light and Dark. *Postharvest Biology and Technology*, 28(1):47-57.
- Wang, L., D.W. Sun. 2001. Rapid Cooling of Porous and Moisture Foods by Using Vacuum Cooling Technology. *Trends in Food Science & Technology*, 12 (5-6):174-184.
- Wang, L., D.W. Sun. 2002a. Modelling Vacuum Cooling Process of Cooked Meat-part 1: Analysis of Vacuum Cooling System. *International Journal of Refrigeration*, 25(7):854-861.
- Wang, L., D.W. Sun. 2002b. Modelling Vacuum Cooling Process of Cooked Meat - part 2: Mass and Heat Transfer of Cooked Meat Under Vacuum Pressure. *International Journal of Refrigeration*, 25(7):862-871.
- Wang, L.J., D.W. Sun. 2002c. Evaluation of performance of slow air, air blast and water immersion cooling methods in the cooked meat industry by the finite element method. *Journal of Food Engineering*, 51(4):329-340.
- Wang, L., D.W. Sun. 2004. Effect of Operating Conditions of A Vacuum Cooler on Cooling Performance for Large Cooked Meat Joints. *Journal of Food Engineering*, 61(2): 231-240
- Zhang, Z., D.W. Sun. 2006a. Effects of Cooling Methods on the Cooling Efficiency and Quality of Cooked Rice, *Journal of Food Engineering*, 77:269-274.
- Zhang, Z., D.W. Sun. 2006b. Effects of Cooling Methods on the Cooling Efficiency and Qualities of Cooked Broccoli and Carrot Slices, *Journal of Food Engineering*, 77:320-326.
- <http://www.garlicworld.co.uk/grower/cooling/index.html>, Erişim Tarihi:15.03.2004. Konu: Rapid cooling of horticultural produce a guide to system selection. Yazar: Adas (1989).
- <http://www.hort.purdue.edu/newcrop/proceedings1996/v3-521.html>, Erişim Tarihi: 31.10.2003. Konu: Precooling: Key Factor for Assuring Quality in New Fresh Market Vegetables Crops. Yazar: Sullivan, G.H., L.R. Davenport, J.W. Julian (1996).