

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

46966

ISPANAĞIN MODİFİYE ATMOSFERDE
AMBALAJLAMA TEKNİĞİ İLE
MUHAFAZASI VE MATEMATİKSEL
MODELLENMESİ

Kimya Müh. Burç Yavuzdoğan

F.B.E. Kimya Mühendisliği Anabilim Dalında
hazırlanan

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Mehmet Pala

İSTANBUL, 1995

YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
İKTİSADİYAT VE İŞLETİM BİLİMLERİ
FAKÜLTESİ
KİMYA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
TEZ DANIŞMANI MERKEZİ

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	III
ÖZET	IV
SUMMARY	V
BÖLÜM 1. GİRİŞ	1
BÖLÜM 2. MODİFİYE ATMOSFERDE AMBALAJLAMA TEKNOLOJİSİ	2
2.1. Modifiye Atmosferde Ambalajlamanın tanımı	2
2.2. Modifiye Atmosferde Ambalajlama tekniğine etken parametreler	4
2.2.1. Sıcaklık	5
2.2.2. Solunum hızı	6
2.2.3. Solunum hızını etkileyen parametreler	8
2.2.3.1. Solunum katsayısı	9
2.2.3.2. Solunum - Sıcaklık katsayısı	9
2.2.4. Bağıl nem	11
2.2.5. Ambalaj ortamındaki denge gaz bileşimi	11
2.2.5.1. Oksijen	12
2.2.5.2. Karbondiyoksit	13
2.2.6. Polimer filmin özellikleri	15
2.3. Modifiye Atmosferde Ambalajlama yöntemleri	16
2.3.1. Pasif Modifikasyon yöntemi	17
2.3.2. Aktif Modifikasyon yöntemi	17
2.4. Modifiye atmosferde ambalajlama sisteminin matematiksel modellenmesi	18

BÖLÜM 3.	MATERYAL VE METODLAR	20
3.1.	Hammade olarak seçilen ürünün özellikleri	20
3.2.	Ispanağın modifiye atmosferde ambalajlanmaya uygun hale getirilmesi için uygulanan ön işlemler	20
3.2.1.	Ayıklama işlemi	22
3.2.2.	Ön soğutma-yıkama-temizleme-kurulama	22
3.2.3.	Ambalajlama	22
3.2.3.1.	Ispanağa modifiye atmosferde pasif ambalajlama işleminin uygulanması	23
3.2.3.2.	Ispanağa modifiye atmosferde aktif ambalajlama işleminin uygulanması	24
3.3.	Depolama sürecinde ıspanakta kalite değişimlerinin belirlenmesi amacıyla yapılan kimyasal, fiziksel ve duyusal analizler	24
3.3.1.	Solunum hızının belirlenmesi	26
3.3.2.	Ağırlık kayıpları	27
3.3.3.	Ambalaj ortamı gaz analizi	29
3.3.4.	Duyusal analizler	30
3.3.5.	Renk değişimlerinin belirlenmesi	30
3.3.6.	Ispanağın homonjenize edilmesi	31
3.3.7.	pH tayini	31
3.3.8.	Toplam asitlik tayini	31
3.3.9.	Kurumadde miktarlarının belirlenmesi	32
3.4.	Enzim kinetiği uygulamalarından faydalanarak solunum hızının ifade edilmesi	33

BÖLÜM 4.	ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	35
4.1.	Farklı sıcaklıklardaki solunum hızının belirlenmesi	35
4.2.	Depolama süresince ambalaj ortamı gaz bileşiminin belirlenmesi	36
4.2.1.	Pasif modifikasyon yöntemi ile ambalajlanan ve 0°C de depolanan ıspanak örneklerinde depolama süresince gaz bileşiminin belirlenmesi	36
4.2.2.	Aktif modifikasyon yöntemi ile ambalajlanan ve 0°C de depolanan ıspanak örneklerinde depolama süresince gaz bileşiminin belirlenmesi	38
4.2.3.	Pasif modifikasyon yöntemi ile ambalajlanan ve 5°C de depolanan ıspanak örneklerinde depolama süresince gaz bileşiminin belirlenmesi	40
4.2.4.	Aktif modifikasyon yöntemi ile ambalajlanan ve 0°C de depolanan ıspanak örneklerinde depolama süresince gaz bileşiminin belirlenmesi	41
4.3.	Depolama süresince ağırlık kayıpları	43
4.4.	Depolama süresince kurumadde değişimleri	45
4.5.	Depolama süresince pH değişimi	47
4.6.	Depolama süresince toplam asitlik değişimleri	50
4.7.	Depolama süresince meydana gelen renk değişimlerinin belirlenmesi	51
4.7.1.	Depolama süresince 0°C de meydana gelen renk değişimleri	52
4.7.2.	Depolama süresince 5°C de meydana gelen renk değişimleri	54
4.8.	Depolama süresince gerçekleştirilen duyuşal değerlendirmeler	59
4.9.	Kalite parametrelerinin genel değerlendirmesi	61
5.	Enzim kinetiği uygulamaları kullanılarak modifiye atmosferde ambalajlama sisteminin matematiksel modellenmesi	63

5.1.	Enzim kinetiği uygulamalarından faydalanarak ıspanağın farklı O ₂ konsantrasyonları altındaki solunum hızının belirlenmesi	65
5.2.	Model denklemleri ile hesaplanan O ₂ ve CO ₂ konsantrasyonları ile deneysel sonuçların karşılaştırılması	67

BÖLÜM 6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	70
-------------------------------	----

KAYNAKLAR	71
-----------	----

EK1 (Bilgisayar programı)	74
---------------------------	----

ÖZGEÇMİŞ	75
----------	----

TEŞEKKÜR

Bu yüksek lisans tezinin hazırlanmasında bana her türlü çalışma imkanını sağlayan ve yönlendiren, lisans döneminden bu yana bilgilerinden faydalandığım tez danışmanım değerli hocam Sayın Prof. Dr. Mehmet Pala' ya, yüksek lisans döneminde gösterdiği ilgiden dolayı Y.T.Ü. Kimya Mühendisliği Bölüm başkanı Sayın Prof. Dr. Salih Dinçere, tezimin gelişimine yardımlarından dolayı Sayın Dr. Emel Damarlı'ya, deneysel çalışmalarda bana yardımcı olan teknisyen Hasan Yolculara ve arkadaşım Yüksek Kimya Mühendisi Murat Ünal'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.



ÖZET

Gıda maddelerinin dayanma sürelerini artırmak amacıyla modifiye atmosferde ambalajlama tekniği son zamanlarda önemli ölçüde uygulama alanı bulmuştur. Bu çalışmada, ıspanağın düşük sıcaklıklarda (0 ve 5°C) modifiye atmosferde ambalajlama tekniği ile kalitesinin korunumuna ve dayanma süresinin uzatılmasına çalışılmıştır. Bu amaçla denemelerde pasif ve aktif modifikasyon işlemleri ve ambalajlamada farklı kalınlıktaki LDPE polimer filmleri kullanılmıştır. Depolama süresince kalite parametrelerinde meydana gelen değişimleri belirliye bilmek amacıyla kimyasal, fiziksel ve duyu sal analizler gerçekleştirilmiştir. Ayrıca modifiye atmosferde ambalajlama tekniğine etken olan denge gaz bileşimi ve polimer filmlerin gaz geçirgenlik değerlerini hesaplamak amacıyla enzim kinetiği hesaplamaları kullanılarak sistemin matematiksel modellenmesine çalışılmıştır.

SUMMARY

Modified Atmosphere Packaging is one of the most used technique for extending the shelf life of foods in the recent years. In this study spinach was packaged by using Modified Atmosphere Packaging techniques and held under cool conditions (0 and 5°) for extending shelf life and retarding quality. For this purpose pasif and active modification techniques and LDPE films with various thicknesses were used. Physical, chemical and sensory analysis were made for determination the quality changes. For calculating the internal equilibrium gas consantrations and required permabilities of the packages, a mathmatical model was developed by using enzyme kinetics.

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.2.1.	Sıcaklığın kalite üzerine etkisi	5
Şekil 2.2.2.	Taze meyve ve sebzelerin gelişme aşamalarındaki solunum davranışları	8
Şekil 2.2.5.1.	Brokolinin farklı O ₂ konsantrasyonları altında depolanması sonucu solunumunda meydana gelen değişiklik	12
Şekil 2.2.5.1.b.	O ₂ konsantrasyonunun taze sebzelerin aerobik ve anaerobik solunum hızları üzerine etkisi	13
Şekil 2.2.5.2.	CO ₂ konsantrasyonunun taze sebzelerin aerobik ve anaerobik solunum hızları üzerine etkisi	14
Şekil 2.3.1.	Pasif modifikasyonda ambalaj ortamı gaz bileşimlerinde meydana gelen değişiklik	17
Şekil 2.3.2.	Aktif modifikasyonda ambalaj ortamı gaz bileşimlerinde meydana gelen değişiklik	17
Şekil 3.3.1.	Ispanakta solunum hızının belirlenmesi amacıyla kullanılan sistem	28
Şekil 3.3.5.	Hunter Lab renk tanımlama sistemi	30
Şekil 3.4.	V _m ve K _m sayılarının grafiksel yöntem kullanılarak hesaplanması	34
Şekil 4.1.	Ispanağın farklı sıcaklıklarda solunum hızında meydana gelen değişiklik	35
Şekil 4.2.1.	0°C de pasif modifikasyon yöntemi ile ambalajlanmış ıspanak örneklerinde ambalaj ortamı gaz bileşimi değişimi	37
Şekil 4.2.2.a.	0°C de aktif modifikasyon yöntemi ile 50 µm LDPE ambalajlanmış ıspanak örneklerinde ambalaj ortamı gaz bileşimi değişimi	38
Şekil 4.2.2.b.	0°C de aktif modifikasyon yöntemi ile 70 µm LDPE ambalajlanmış ıspanak örneklerinde ambalaj ortamı gaz bileşimi değişimi	38
Şekil 4.2.3.	5°C de pasif modifikasyon yöntemi ile ambalajlanmış ıspanak örneklerinde ambalaj ortamı gaz bileşimi değişimi	40

Şekil 4.2.4.	5°C de aktif modifikasyon yöntemi ile 50 µm LDPE ambalajlanmış ıspanak örneklerinde ambalaj ortamı gaz bileşimi değişimi	42
Şekil 4.4.a.	Depolama süresince 5°C deki kurumadde değişimi	45
Şekil 4.4.b.	Depolama süresince 0°C deki kurumadde değişimi	45
Şekil 4.5.a.	0°C de depolama süresince ıspanakta pH değişimi	48
Şekil 4.5.b.	5°C de depolama süresince ıspanakta pH değişimi	48
Şekil 4.6.a.	0°C de depolama süresince ıspanakta toplam asitlik değişimi	50
Şekil 4.6.b.	5°C de depolama süresince ıspanakta toplam asitlik değişimi	50
Şekil 4.7.1.a	0°C de depolama süresince "L" renk değerindeki değişim	52
Şekil 4.7.1.b	0°C de depolama süresince "a" renk değerindeki değişim	52
Şekil 4.7.1.c	0°C de depolama süresince "b" renk değerindeki değişim	53
Şekil 4.7.1.d	Depolama süresince 0°C de renk açısında meydana gelen değişim	53
Şekil 4.7.1.e.	Depolama süresince 0°C de parlaklıkta meydana gelen değişim	54
Şekil 4.7.1.f.	Depolama süresince 0°C de ıspanakta toplam renk değişim	54
Şekil 4.7.2.a.	Depolama süresince 5°C de "L" renk değerlerindeki değişim	55
Şekil 4.7.2.b.	Depolama süresince 5°C de "a" renk değerlerindeki değişim	55
Şekil 4.7.2.c.	Depolama süresince 5°C de "b" renk değerlerindeki değişim	56

Şekil 4.7.2.d.	Depolama süresince 5°C de renk açısında meydana gelen değişim	56
Şekil 4.7.2.e.	Depolama süresince 5°C de ıspanağın parlaklığında meydana gelen değişim	57
Şekil 4.7.2.f.	Depolama süresince 5°C de ıspanakta toplam renk değişim	57
Şekil 4.8.1.	0°C deki ıspanak örneklerinde depolama süresince gerçekleştirilen duyusal değlendirmeler	59
Şekil 4.8.2.	5°C deki ıspanak örneklerinde depolama süresince gerçekleştirilen duyusal değlendirmeler	60
Şekil 5.	Enzim kinetiği uygulamaları kullanılarak modifiye atmosferde ambalajlama sisteminin matematiksel modellenmesi	63
Şekil 5.1.	0°C de V_m ve K_m sayılarının grafikesl yöntem ile hesaplanması	66
Şekil 5.2.a.	0°C de 30 μm 'lik torbalarda ulaşılan deneysel ve model denge O_2 ve CO_2 konsantrasyonları	68
Şekil 5.2.b.	0°C de 70 μm 'lik torbalarda ulaşılan deneysel ve model denge O_2 ve CO_2 konsantrasyonları	68

TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1.a.	İspanağın muhafazasında McGill ve ark. tarafından uygulanan sıcaklık ve gaz bileşimleri	2
Tablo 2.1.b.	Burgheimer ve ark. tarafından ıspanağa uygulanan işlem koşulları	3
Tablo 2.2.2.a	Bazı meyve ve sebzenin 5°C deki solunum hızları	7
Tablo 2.2.2.b.	Klimakterik ve klimakterik olmayan solunum davranışı gösteren meyve ve sebzeler	7
Tablo 2.2.3.2.a.	Bazı meyve ve sebzelerin farklı sıcaklıklardaki solunum hızlarının üretilen CO ₂ cinsinden belirtilmesi	10
Tablo 2.2.3.2.b.	Bazı sebzelerin bozulma hızlarını belirlemek amacıyla verilen 0-30°C arasındaki sıcaklık-solunum katsayısı	10
Tablo 2.2.5.2.a.	Meyve ve sebzelerin tolere ettikleri minimum O ₂ seviyelerine göre sınıflandırılması	14
Tablo 2.2.5.2.b.	Meyve ve sebzelerin tolere ettikleri maksimum CO ₂ seviyelerine göre sınıflandırılması	15
Tablo 2.2.6.	Modifiye atmosferde ambalajlama tekniğinde kullanılan bazı polimer filmlerin gaz geçirgenlik değerleri	16
Tablo 3.2.	İspanağın modifiye atmosferde ambalajlamaya uygun hale getirilmesi	21
Tablo 3.2.3.a.	İspanağın ambalajlanmasında kullanılan düşük yoğunluklu polietilen filmlerinin 0°C deki temel özellikleri	23
Tablo 3.2.3.b.	İspanağın ambalajlanmasında kullanılan düşük yoğunluklu polietilen filmlerinin 5°C deki temel özellikleri	23
Tablo 4.1.	İspanağın farklı sıcaklıklardaki solunum hızları	35
Tablo 4.1.a.	İspanak için hesaplanmış Q ₁₀ değerleri	36

Tablo 4.2.1.	0°C de pasif modifikasyon yöntemi ile ambalajlanmış ıspanak örneklerinde ambalaj ortamı denge gaz bileşimi	37
Tablo 4.2.2.	0°C de aktif modifikasyon yöntemi ile ambalajlanmış ıspanak örneklerinde ambalaj ortamı denge gaz bileşimi	40
Tablo 4.2.3.	5°C de pasif modifikasyon yöntemi ile ambalajlanmış ıspanak örneklerinde ambalaj ortamı denge gaz bileşimi	41
Tablo 4.2.2.	5°C de aktif modifikasyon yöntemi ile ambalajlanmış ıspanak örneklerinde ambalaj ortamı denge gaz bileşimi	43
Tablo 4.3.a.	Farklı şartlar altında ambalajlanmış 0°C deki ıspanak örneklerinde meydana gelen % ağırlık kayıpları	44
Tablo 4.3.b.	Farklı şartlar altında ambalajlanmış 5°C deki ıspanak örneklerinde meydana gelen % ağırlık kayıpları	44
Tablo 4.4.a.	5°C de depolama süresince meydana gelen kurumadde değişimi	46
Tablo 4.4.b.	0°C de depolama süresince meydana gelen kurumadde değişimi	46
Tablo 4.5.a.	0°C de depolama süresince meydana gelen pH değişimi	49
Tablo 4.5.b.	5°C de depolama süresince meydana gelen pH değişimi	49
Tablo 4.6.a.	5°C de depolama süresince meydana gelen toplam asitlik değişimi	51
Tablo 4.6.b.	0°C de depolama süresince meydana gelen toplam asitlik değişimi	51
Tablo 4.7.2.a.	Depolama süresince 0°C deki ambalajlı ıspanak örneklerinin renk parametrelerinde, başlagıç değerine göre meydana gelen sapmalar	58
Tablo 4.7.2.a.	Depolama süresince 5°C deki ambalajlı ıspanak örneklerinin renk parametrelerinde, başlagıç değerine göre meydana gelen sapmalar	58

Tablo 4.9.1.	0°C de pasif ve aktif modifikasyon örneklerinde kalite parametrelerinin genel değerlendirilmesi	62
Tablo 4.9.2.	5°C de kontrol örneğinde pasif ve aktif modifikasyon örneklerinde kalite parametrelerinin genel değerlendirilmesi	62
Tablo 5.2.	0°C de deneysel denge değerleri ile model denkleminde elde edilen sonuçların karşılaştırılması	68



SEMBOL LİSTESİ

A (m^2)	: Ambalaj malzemesinin gaz geçirgenlik alanı
V (ml)	: Ambalaj içi sebest hacim
w (kg)	: Ürün ağırlığı
RO_2 (ml/kg-saat)	: O_2 tüketim hızı
R_{CO_2} (ml/kg-saat)	: CO_2 üretim hızı
V_m (ml/kg-saat)	: Maksimum O_2 tüketim hızı (Micheales-Menten sabiti)
K_m (%)	: $V_m/2$ deki O_2 konsantrasyonu (Micheales-Menten sabiti)
PO_2 (ml/m ² /saat/atm)	: Oksijen gaz geçirgenliği
P_{CO_2} (ml/m ² /saat/atm)	: Karbondioksit gaz geçirgenliği
t (saat)	: Süre
i	: Değişken
$[O_2]_0$: $t = 0$ anındaki ambalaj ortamındaki % oksijen
$[CO_2]_0$: $t = 0$ anındaki ambalaj ortamındaki % karbondioksit
$[O_2]_d$: $t = n$ anındaki ambalaj ortamındaki denge % oksijen
$[CO_2]_d$: $t = n$ anındaki ambalaj ortamındaki denge % karbon.
R.Q.	: Solunum katsayısı
R_y (ml/kg-saat)	: Oksijen tüketim hızı
R_z (ml/kg-saat)	: Karbondioksit üretim hızı
y	: Ambalaj ortamındaki % oksijen
z	: Ambalaj ortamındaki % karbondioksit
y_a	: Atmosfer bileşimindeki % oksijen
z_a	: Atmosfer bileşimindeki % karbondioksit
S (m^2)	: Ambalaj malzemesinin gaz geçirgenlik alanı
K_y (ml/m ² /saat/atm)	: Oksijen gaz geçirgenliği
K_z (ml/m ² /saat/atm)	: Karbondioksit gaz geçirgenliği

1. GİRİŞ

Türkiye meyve ve sebze üretimi bakımından büyük bir potansiyele sahiptir. 1990 yılı itibariyle, taze meyve üretimi yaklaşık 9 milyon, taze sebze üretimi ise 23 milyon ton olarak gerçekleşmiştir. Fakat hasat zamanının ve şeklinin yanlış seçilmesi, taşıma ve depolama sırasında yapılan yanlış uygulamalar bu potansiyelin gereği gibi değerlendirilmesini engellemektedir. Bu yüzden yılda yaklaşık %30 ürün kaybı olmaktadır.

Meyve ve sebzeler hasatlarından sonra da biyolojik aktivitelerini sürdürürler. Hasat sonrası bağlı oldukları bir besi kaynağı olmadığı için kendi yapılarındaki karbonhidrat, protein ve lipiteri tüketerek biyolojik aktivitelerine devam ederler. Meyve ve sebzelerin O_2 alarak CO_2 ve ısı açığa çıkardıkları bu olaya solunum denir. Hasat sonrası dayanma süresi, solunum olayında harcanan substratların miktarına bağlıdır. Ancak uygun koşullar sağlanmadığı takdirde ürün kendi yapısındaki substratları hızlı bir şekilde harcayarak bozulur. Meyve ve sebzelerin bozulmalarını önlemek, dayanma sürelerini artırmak ve kalitelerini korumak amacıyla bir takım fiziksel, kimyasal ve biyolojik muhafaza yöntemlerinden faydalanılır. Fiziksel muhafaza yöntemlerinde özellikle soğuk tekniği uygulamalarının payı büyüktür. Kurutma, dondurma ve soğukta muhafaza gibi eskiden beri bilinen muhafaza yöntemlerinin yanında temeli eskiye dayanan fakat yeni uygulama alanı bulan farklı gaz bileşimleri altında depolama ve ambalajlama işlemleri önem kazanmaya başlamıştır. Taze meyve ve sebzelerin hasat sonrası dayanma sürelerini uzatmak, iç pıyasadaki ve ihracata pazar alanını genişletmek amaç olmalıdır. Meyve ve sebzelerin düşük sıcaklıklarda farklı gaz bileşimleri altında depolanması (kontrollü atmosfer) veya polimer filmler (modifiye atmosfer) içersinde muhafaza edilmesi dayanma süresini artırmaktadır.

Bu çalışmanın amacı vitamin ve mineral içeriği oldukça fazla olan ıspanağın dayanma süresini, kalite parametrelerinin (renk, tekstür ve koku) korunumu ile modifiye atmosferde ambalajlama tekniği ile uzatmaktır. Ayrıca ıspanak için uygun ambalajlama koşullarını (denge gaz bileşimi ve polimer film gaz geçirgenliği) belirleyebilmek amacıyla modifiye atmosferde ambalajlama sisteminin matematiksel modellemesine çalışılmıştır.

2. MODİFİYE ATMOSFERDE AMBALAJLAMA TEKNOLOJİSİ

2.1. Modifiye atmosferde ambalajlamanın tanımı

Gıda maddelerinin (solunum yapan veya yapmayan), belirli sıcaklıklarda, uygun kalınlıktaki polimer filmler ile ambalajlanması ve ambalaj ortamındaki gaz bileşiminin değiştirilmesi ile kalitenin korunmasına ve dayanma süresinin uzatılmasına modifiye atmosferde ambalajlama tekniği denir.^{1, 3, 4, 20}

Gıdaların modifiye atmosferde ambalajlanmasında veya kontrollü atmosferde depolanmasında CO₂ , O₂ , N₂ , CO ve C₂H₄ gibi gazların ortama verilmesi veya uzaklaştırılması sonucu havadan farklı bir atmosferik bileşim (%70.9 N₂ , %20.9 O₂ , % 0.03 CO₂) elde edilir. Modifiye atmosferde, ambalaj ortama verilen gaz bileşimi, ürünün solunum hızına ve ambalaj malzemesinin gaz geçirgenlik değerlerine bağlı olarak dengeye gelir. Modifiye atmosferde ambalajlanan ürünler, normal atmosferik gaz bileşimindeki soğuk hava depolarında muhafaza edilir. Kontrollü atmosferde depolama işleminde ise ürüne özgü denge gaz bileşimi, gaz sızdırmaz soğuk depoda sağlanır ve sürekli kontrol edilir. Modifiye atmosferde ambalajlama ile kontrollü atmosferde depolama arasındaki farklılık, istenilen denge gaz bileşiminin kontrol edilme derecesinden kaynaklanır. Kontrollü atmosferde depolamada denge gaz bileşimi daha hassas ve mekanik olarak kontrol edilir.^{1, 3, 4, 17, 18, 20}

Ortamın gaz bileşiminin değiştirildiği bu iki muhafaza yöntemine soğutma da uygulandığında depolanacak meyve veya sebzenin solunum aktivitesi azalır ve bir takım mikroorganizmaların ve enzimlerin yol açtığı yumuşama, sararma ve çürüme gibi kaliteyi olumsuz yönde etkileyen parametrelerin etkinliği azalır.^{1, 2, 3, 4, 11, 12}

Yapılan araştırmalarda ıspanağın donma noktası - 0.3°C olarak belirlenmiştir.^{3,5} Bu nedenle soğuk tekniği uygulamalarında ortam koşulları 0°C ve %90-95 bağıl nem

olarak kullanılmaktadır. İspanağın bu ortam koşulları altında 10-14 gün süreyle muhafaza edilebildiği belirtilmiştir.^{5, 22, 23, 24} İspanağın kontrollü atmosferde depolanması üzerine şimdiye kadar yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlar, hava ortamında depolamaya nazaran bir üstünlük göstermemiştir.^{6, 7}

McGill ve ark. ispanağı 14 gün boyunca Tablo 2.1.a. da belirtilen şartlarda depolamışlardır.^{3, 6}

Tablo 2.1.a. İspanağın muhafazasında McGill ve ark. tarafından uygulanan sıcaklık ve gaz bileşimleri

Sıcaklık (T°C)	Gaz bileşimi	
	% O ₂	% CO ₂
1°C	20.9	0.03
	20	4, 7.5, 13, 25
	4, 10, 14, 18	4

Elde edilen sonuçlardan depolama ortamına uygulanan %25 CO₂ + %20 O₂ lık gaz bileşiminin ispanağın hemen bozulmasına yol açtığı belirtilmiştir. %13 CO₂ + %20 O₂ içeren uygulama sonucu ispanağın bir hafta sonra kalitesini tamamen yitirdiği saptanmıştır. İspanağın solunum hızının, ortam oksijen konsantrasyonu ile ilişkili olduğu ve ortam oksijen konsantrasyonunun azalmasıyla, solunum hızının önemli düzeyde azaldığı belirtilmiştir. Ambalajsız olarak hava bileşimi altında depolanan kontrol örneği göz önüne alındığında solunum hızındaki bu azalmanın, ispanağın renk, tekstür ve tat özelliklerine etki etmediği McGill ve ark. tarafından tespit edilmiştir. İspanağı kontrollü atmosferde depolamanın tek üstünlüğü, mikroorganizma çoğalmasının önlenmesi olarak gösterilmiştir.^{3, 6}

Burgheimer ve ark. ıspanağı Tablo 2.1.b. de belirtilen Şartlar altında depolayarak 9 gün boyunca muhafaza etmişlerdir.^{3,7}

Tablo 2.1.b. Burgheimer ve ark. tarafından ıspanağa uygulanan muhafaza Şartları

Sıcaklık (T°C)	Gaz bileşimi	
	% O ₂	% CO ₂
1°C	20.9	0.03
1°C	4	9.2
7°C	20.9	0.03
7°C	4	9.2

Burgheimer ve ark. tarafından gerŐekleŐtirilen analizler sonucu 1°C de hava ortamında depolanan ıspanaklardaki askorbik asit kaybının, kontrollü atmosfer uygulamasına göre daha az olduğu belirtilmiştir. Fakat 7°C de kontrollü atmosferde depolanan ıspanaklardaki askorbik asit kaybı, hava ortamında depolanan örneğin % 50'si kadar olduğu saptanmıştır. Depolama süresince kontrollü atmosferde depolanan ıspanaklardaki baŐlangıŐ pH düzeylerindeki artışın, hava ortamında depolanan ürünlere göre daha fazla olduğu tespit edilmiştir. BaŐlangıŐ toplam asitliğin kontrollü atmosferde depolanan örneklerde azaldığı, buna karşılık hava ortamında depolanan örneklerde artığı belirtilmiştir.^{3,7}

2.2. Modifiye atmosferde ambalajlama tekniğine etken parametreler

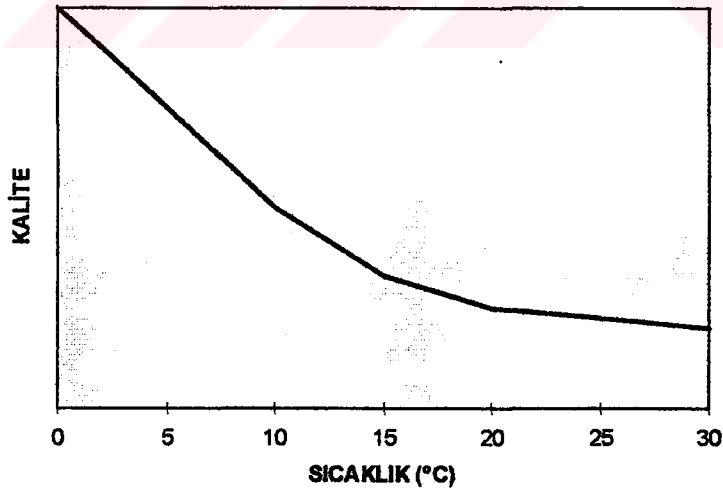
Modifiye atmosferde ambalajlama tekniğine etken parametreler aşağıda sıralanmıŐtır :^{1, 2, 3, 4, 18, 19}

- Sıcaklık
- Bağıl nem
- Ambalaj ortamının denge gaz bileşimi
- Ambalaj iÇersindeki sebest hacim
- Polimer filmin zellikleri
- Solunum hızı
- rn miktarı

2.2.1. Sıcaklık

Taze meyve ve sebzelerin hasat sonrası dayanma sürelerini ve kalitelerini etkileyen yukarıda belirtilen etkenlerden en önemlisi sıcaklıktır. Çünkü sıcaklığın meyve ve sebzelerdeki biyolojik reaksiyonlar ve özellikle solunum hızı üzerinde belirgin bir etkisi vardır.^{1, 2, 3, 4}

Soğuk tekniği yöntemiyle depolanacak bir ürün için ortam sıcaklığı ürünün özelliklerine bağlı olarak seçilmelidir ve depolama süresince sıcaklık dalgalanmalarının olmamasına dikkat edilmelidir. Meyve ve sebzelerin bu tür depolarda dayanma sürelerinden daha uzun sürelerde kalmaları sonucu kalitelerini kaybetmeleri ürünün satışında problemlere yol açabilir. Soğuk hava deposunda meydana gelebilecek belirgin sıcaklık dalgalanmaları ürünün olgunlaşma derecesine bağlı olarak ağırlık ve su kaybına yol açabilir. Eğer ürün optimum sıcaklığının altında depolanmış ise donma veya soğuk zararlanmasına uğrayabilir. Buna karşılık ürünün optimum sıcaklığın üstünde bir sıcaklık değerine maruz kalması depolama süresini azaltır. Sıcaklığın kalite değişimi üzerine olan etkisi Şekil 2.2.1. de verilmiştir.^{1, 2, 3, 4, 18, 19}



Şekil 2.2.1. Sıcaklığın kalite üzerine etkisi

2.2.2. Solunum hızı

Meyve ve sebzelerin solunumu fizyolojik aktivitenin ve depolama ömrünün (dayanma süresinin) bir göstergesidir. Meyve ve sebzelerin hücrelerinde bulunan nişasta, şekerler ve organik asitler gibi karmaşık yapıdaki molekülerin, enzimatik oksidasyon sonucu karbondioksit ve su gibi daha basit moleküllere ayrılması, solunum olayı (biyolojik oksidasyon) olarak tanımlanır. Belirli bir sıcaklıkta meyve ve sebzelerin içerdiği ,solunumda harcanan substrat miktarı (baskın olarak şekerlerin), meyve ve sebzelerin uzun ömürlülüklerini belirleyen başlıca faktördür. Bu biyolojik reaksiyonlar sonucu enerji ve başka moleküler de oluşur. Meyve ve sebzelerin muhafazasında solunumda dolayı meydana gelen ısının ürünü çevrenen ortamdan uzaklaştırılması gerekir. Çünkü yükselen sıcaklık ile ürünün solunumu hızı artar ve böylece substrat kullanımı hızlanır, bu da dayanma süresinin azalmasına neden olur.^{1, 2, 3, 4}

Solunum olayında sadece şekerler substrat olarak harcanmamaktadır. Yağlar, organik asitler ve proteinler de solunuma etken önemli maddelerdir. Solunum reaksiyonu basit olarak aşağıdaki gibi gösterilir.



Belirli bir zaman biriminde ürünün tükettiği oksijen veya açığa çıkardığı karbondioksit miktarı solunum hızı olarak tarif edilir. Solunumdan dolayı açığa çıkan karbondioksit ve ısının ortamdan uzaklaştırılması gerekir. Solunum hızındaki bir artış ürünün depolama süresini azaltmaktadır. Buna karşılık solunum hızındaki bir azalma ürünün depolama süresini artırmaktadır. Solunum hızı, meyve ve sebze çevreleyen ortam sıcaklığının ve kullanılabilir oksijen miktarının bir fonksiyonudur. Ürünlerin farklı anatomik yapılarına göre solunum hızları da değişik olabilir. Buna karşılık birbirine yakın solunum hızlarına sahip ürünlerde olabilir. Örneğin patatesin ,spanağa ve kıvrırcığa göre solunum hızı düşüktür. Benzer olarak ıspanağın solunum hızı brokkolinin solunum hızına oldukça yakındır. Belirli bir ağırlığa sahip taze bir ürünün birim zamanda açığa çıkardığı karbondioksit miktarı (mg CO₂/kg-saat) solunum hızı olarak tanımlanır (Tablo2.2.2.a).^{1, 2, 3, 4}

Tablo 2.2.2.a. Bazı meyve ve sebzelerin 5°C deki solunum hızları.

Değerlendirme	5°C deki solunum hızı (mg CO ₂ /kg-saat)	Meyve ve sebzeler
Çok düşük	< 5	Fındık çeşitleri. ve kurutulmuş meyveler
Düşük	5 - 10	Elma çeşitleri, limon, üzüm, sarımsak, soğan, patates
Orta	10 - 20	Kayısı, muz, kiraz, şeftali, armut, incir, lahana, havuç, kıvırcık, biber, domates
Yüksek	20 - 40	Çilek, böğürtlen, karnabahar, lima fasülyesi, avokado
Çok yüksek	40 - 60	Taze soğan, brüksel lahanası
Oldukça yüksek	> 60	Brokoli, kuşkonmaz, mantar, bezelye, ıspanak

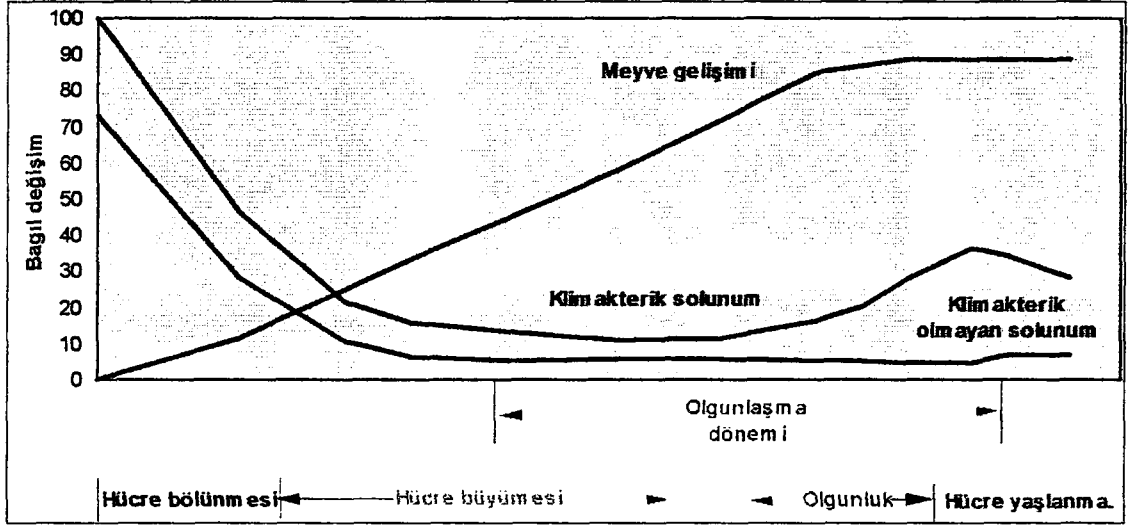
Bir çok meyve ve sebzenin olgunlaşma dönemi sırasında, solunum aktivitesinde belirgin bir artış görülür. Bunlara klimakterik meyve ve sebzeler denir. Buna karşılık olgunluk aşamasında hiç bir klimakterik artış göstermeyen meyve ve sebzeler vardır. Bu tür ürünler klimakterik olmayan meyve ve sebzeler olarak tanımlanır. Klimakterik meyve ve sebzelerde hasat zamanının doğru seçilmesi, dayanma süresinin uzaması ve kalitenin korunması açısından çok önemlidir. Klimakterik olmayan meyve ve sebzeler buldukları kaynak (ağaç, fidan veya tarla) üzerinde olgunlaşmaya bırakılır. Sonuçta elde edilen olgunluk derecesi hasat sonrası depolama ile ayarlanır.¹

Bir takım meyve ve sebzenin solunum davranışlarına göre sınıflandırılması Tablo 2.2.2.b de verilmiştir.¹

Tablo 2.2.2.b. Klimakterik ve klimakterik olmayan solunum davranışı gösteren meyve ve sebzeler.

Klimakterik meyve ve sebzeler	Klimakterik olmayan meyve ve sebzeler
Elma	Kiraz
Kayısı	Salatalık
Avokado	İncir
Muz	Üzüm
Şeftali	Portakal

Meyve ve sebzeler, gelişme aşamalarında, solunum özelliklerinde farklılık gösterirler (Şekil 2.2.2.). Bir çok yapraklı sebze klimakterik olmayan yapıdadır.¹



Şekil 2.2.2. Taze meyve ve sebzelerin gelişme aşamalarındaki solunum davranışları

2.2.3. Solunum hızını etkileyen parametreler

Solunum hızına etken parametreler aşağıdaki gibi sıralanabilir.^{1, 2, 3, 4, 11, 12}

- Sıcaklık
- Ürünün olgunluk derecesi (Hasat zamanı)
- Çeşit
- Çeşitler arası farklılaşım
- Çevre koşulları
- Depolama süresi
- Fiziksel zararlanma
- Depolama ortamı gaz bileşimi
- Ürünün mikrobiyolojik yükü

2.2.3.1. Solunum Katsayısı (Respiration Quotient-R.Q.)

Meyve ve sebzelerin solunumları sırasında tükettikleri O₂'nin (ml/kg/saat) açığa çıkardıkları CO₂'e (ml/kg /saat) oranı solunum katsayısı olarak tarif edilir.^{1,2,3,4}

$$R.Q. = CO_2 \text{ (ml/kg/saat) } / O_2 \text{ (ml/kg/saat) (Boyutsuz sayı)}$$

Genelde bir ürünün solunum hızı, ürünün nem miktarına bağlıdır. Dokuda nem miktarı azaldıkça solunum hızında da azalma görülmektedir. Bir ürünün bileşimi, solunumda hangi substratın kullanıldığının ve buna bağlı olarak solunum katsayısının belirlenmesi açısından önemlidir. Aeorobik solunumda (Oksidasyona uğrayan) harcanan substratta göre taze sebzelerde solunum katsayısı 0.7 - 1.3 arasında değişmektedir.²

Karbonhidratlarda R.Q. = 1

Lipidlerde R.Q. = < 1

Organik asitlerde R.Q. = > 1

Çok yüksek R.Q. değerleri anaerobik solunumun bir göstergesi olarak kabul edilir¹.

2.2.3.2. Solunum - Sıcaklık Katsayısı (Q₁₀)

Sıcaklığın artmasıyla, meyve ve sebzelerdeki biyo-kimyasal reaksiyonların hızı da artmaktadır. Van't Hoff yasası olarak bilinen bu olayda, meyve ve sebzelerin sıcaklığında meydana gelebilecek 10°C lik bir artış solunum hızı dahil olmak üzere biyo-kimyasal reaksiyonların hızında 2-3 katlık bir artışa sebep olur. Bu artışın derecesi meyve ve sebzelerin olgunluğuna ve yapısına bağlı olarak değişir. 10°C'lik bir artış temel alınarak tanımlanan sıcaklık katsayısı, Q₁₀ şeklinde ifade edilir ve farklı iki sıcaklıktaki solunum hızları saptanarak (kullanılarak) aşağıdaki formül ile hesaplanır.^{1,2,3}

$$Q_{10} = (R_2 / R_1)^{10 / (T_2 - T_1)}$$

R_2 : T_2 deki solunum hızı (ml/kg/saat)

R_1 : T_1 deki solunum hızı (ml/kg/saat)

T_1 ve T_2 : Sıcaklık (°C)

T_2 ile T_1 arasındaki sıcaklık farkı 10°C ise Q_{10} bu iki sıcaklıktaki solunum hızlarının katsayısı olarak tarif edilir.^{1,2} Bazı meyve ve sebzelerin sıcaklığa bağlı olarak solunum hızlarında meydana gelen artış Tablo 2.2.3.2.a. de belirtilmiştir.¹

Tablo 2.2.3.2.a. Bazı meyve ve sebzelerin farklı sıcaklıklardaki solunum hızlarının üretilen CO₂ (mg/kg-saat) cinsinden belirtilmesi.

Ürün	Sıcaklık				
	0°C	4-5°C	10°C	15-16°C	20-21°C
Elma	3-6	5-11	14-20	18-31	20-41
Kayısı	5-6	6-8	11-19	21-34	29-52
İncir	-	11-13	22-23	49-63	57-95
Çilek	12-18	16-23	49-95	71-92	102-196
Lahana	4-6	9-12	17-19	20-32	28-49
Ispanak	19-22	35-58	82-138	134-223	172-287
Salatalık	-	-	23-29	24-33	14-48
Kıvırcık	6-17	13-20	21-40	32-45	51-60
Maydanoz	30-40	53-76	85-164	144-184	196-225

Sıcaklık-solunum (Q_{10}) katsayısı her meyve ve sebze için aynı değildir ve çeşide göre de farklılaşabilir. Bazı sebzelerin 0-30°C arasındaki Q_{10} değerleri Tablo 2.2.3.2.b. de verilmiştir.¹

Tablo 2.2.3.2.b. Bazı sebzelerin bozulma hızlarını belirlemek amacıyla verilen 0-30°C arasındaki sıcaklık-solunum katsayıları (Q_{10}).

Sıcaklık aralığı (°C)	Lahana	Ispanak	Kereviz	Kıvırcık
	Q_{10}	Q_{10}	Q_{10}	Q_{10}
0-10	3.8	3.3	4.1	2.5
10-20	2.7	2.5	2.3	2.2
20-30	1.9	1.8	1.9	1.9

2.2.4 Bağıl nem

Dayanıksız taze meyve ve sebzelerin modifiye atmosferde ambalajlama tekniği ile muhafazasında depo ortamının bağıl nemi çok önemlidir. Depo ortamının bağıl nemi %90-95 arasında tutulmalıdır. Bu bağıl nem aralığından daha düşük bir değerde, üründen depo ortamına bir nem (subuharı) geçişi olur. Böylece ürün ağırlık kaybeder, büzülür ve gevşer. %5-10'lık bir ağırlık kaybı, ürünün bayat ve buruşmuş bir görüntü almasına sebep olmaktadır. Eğer depo ortamının bağıl nemi bu aralığın çok üstünde ise ürünün mikrobiyolojik yükünde bir artış meydana gelebilir. Bu nedenle taze meyve ve sebzelerin depolama sıcaklığındaki su aktivite değerlerinin bilinmesi, depo ortamının bağıl nemini belirlemek açısından oldukça önemlidir. Aksi takdirde meyve ve sebzelerin kalitesini doğrudan etkileyen ağırlık kaybı ve mikroorganizma çoğalması gibi faktörler ürünün satışını olumsuz yönde etkiler.^{1,3, 4,12, 18,19}

2.2.5. Ambalaj ortamındaki denge gaz bileşimi

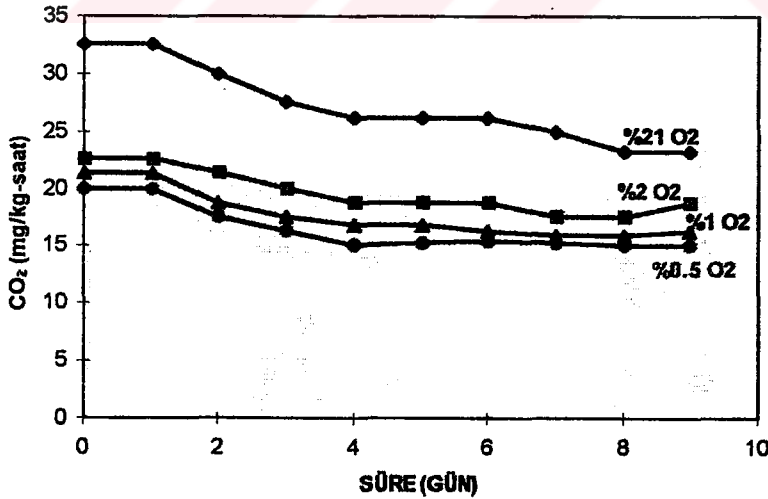
Meyve ve sebzelerin uzun süre muhafazasına etken önemli diğer bir faktörde ambalaj ortamındaki denge gaz bileşimidir. Meyve ve sebzelerin dayanma süresini ve kalitesini etkileyen her ürün için spesifik bir denge gaz bileşimi vardır. Bir polimer film ile ambalajlanmış meyve veya sebze, ambalaj ortamındaki oksijeni yavaş yavaş tüketip karbondioksit, etilen ve subuharı gibi gazlar açığa çıkartır. Ambalaj ortamındaki oksijen konsantrasyonunun meyve veya sebzelerin solunumundan dolayı azalması ve ortamdaki karbondioksit konsantrasyonunun artması sonucu depo ortamı (hava) ile ambalaj ortamı arasında bir kısmi basınç farklığı oluşur. Böylece depo ortamından ambalaj içersine oksijen girişi ve ambalaj ortamından depoya bir karbondioksit geçişi olur. Başlangıçta bu kısmi basınç farklığı az olduğundan depo ortamından ambalaj ortamına geçen oksijen konsantrasyonu tüketilen oksijen konsantrasyonunu karşılayabilecek miktarda değildir. Aynı şekilde oluşan karbondioksitin ancak çok az bir miktarı ambalaj ortamını terk edebilir. Bu yüzden ambalaj ortamındaki oksijen konsantrasyonu azalmakta ve karbondioksit konsantrasyonu artmaktadır. Sıcaklığa ve sağlanan bu yeni modifiye atmosfer ortamına bağlı olarak solunum hızı azalır. Solunum hızındaki bu azalmanın sonucu depo ortamından ambalaj ortamına daha fazla oksijen geçer. Böylece depo

ortamına geçen karbondioksit miktarında artar. Ambalaj ortamındaki oksijen tüketim hızı depodan ambalaj ortamına giren oksijenin difüzyon hızına eşit olduğunda ambalaj ortamında bir oksijen dengesine ulaşılır. Aynı şekilde karbondioksit oluşum hızı, ambalaj ortamından depo ortamına geçen karbondioksit difüzyon hızına eşitlendiğinde karbondioksit konsantrasyonu dengeye gelir.

Sonuç olarak bu gazlar depo ortamının gaz bileşimine (hava), sıcaklığa, ambalaj malzemesinin gaz geçirgenliğine, gaz geçiş alanına, ürün miktarına, solunum hızına ve ambalajdaki boş hacime bağlı olarak belirli bir konsantrasyonda dengeye gelir. Yukardaki parametrelerin uygun seçimi sonucu istenilen denge gaz bileşimine ulaşılır.^{1, 2, 3, 4, 11, 17}

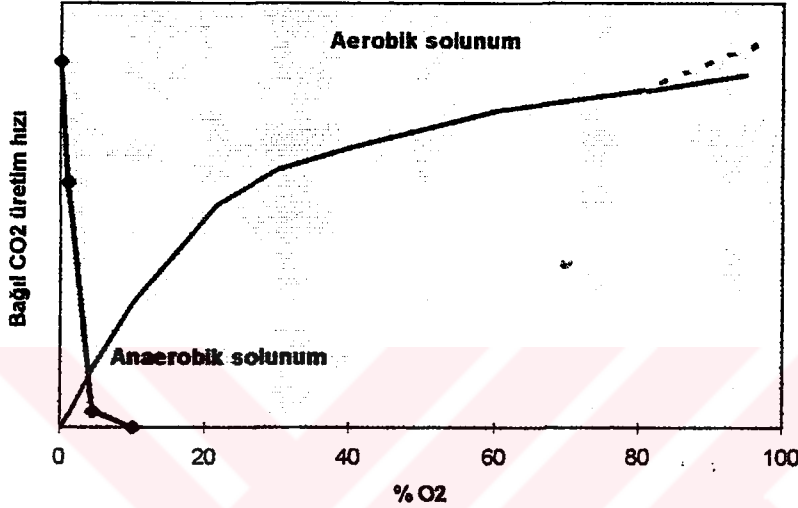
2.2.5.1. Oksijen

Meyve ve sebzelerin tükettikleri oksijen miktarı kontrollü atmosferde depolamada ve modifiye atmosferde ambalajlama tekniğinde önemlidir. Ambalaj ortamındaki oksijen seviyesi azaldığında meyve ve sebzenin solunum hızında azalmaktadır. 2.5 °C de hava ortamında depolanmış brokolinin solunum hızının, ortamdaki oksijen yüzdesi % 21 den %2, %1 ve %0.5 düşürüldüğü zaman sırasıyla %28, %36 ve %45 oranında gerilediği belirtilmiştir (Şekil 2.2.5.1.a.).^{1, 2, 3, 4, 11, 17, 18}



Şekil 2.2.5.1.a. Brokolinin farklı O₂ konsantrasyonları altında depolanması sonucu solunumda meydana gelen değişiklik.

Oksijenin, taze sebzelerin solunum hızı üzerindeki etkisi şekil 12 de görülmektedir. Oksijen konsantrasyonu havadaki (%20.9) yüzdesinden daha az bir değere, özellikle %10' nun altına düştüğünden solunum hızında belirgin bir azalma görülür. Buna karşılık oksijen konsantrasyonu %2'nin altına indiğinde anaerobik solunum ve toplam karbondioksit konsantrasyonu artmaktadır. Bununla beraber sebzenin hücresel yapısına zararlı olan belirgin bir etanol ve asetaldehit birikimi ortaya çıkar.

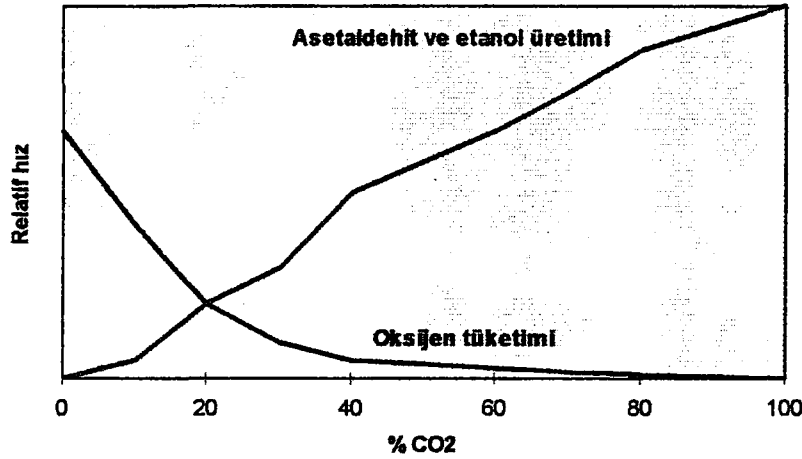


Şekil 2.2.5.1.b. O₂ konsantrasyonunun taze sebzelerin aerobik ve anaerobik solunum hızları üzerine etkisi.

2.2.5.2. Karbondioksit

Meyve ve sebzelerin muhafazasında, solunumdan dolayı meydana gelen karbondioksit yüzdesinin belirli bir maksimum değeri aşmaması gerekir. Bazı durumlarda karbondioksit yüzdesinin kontrol edilmesi oksijen yüzdesine nazaran daha büyük önem taşımaktadır. Normal şartlardaki oksijen yüzdesindeki % 60 lık bir azalma meyve ve sebzeler üzerinde zararlı bir etkisi yoktur. Fakat karbondioksit yüzdesindeki anormal bir artış, meyve ve sebzelerin boğulmasına ve buna bağlı olarak bozulmaya yol açmaktadır. Şekil 2.2.5.2. de görüldüğü gibi artan karbondioksit seviyeleri aerobik solunumu azaltmaktadır. Fakat % 20' nin üzerindeki karbondioksit seviyeleri belirgin olarak anaerobik solunuma (etanol ve asetaldehit birikimi) sebep olmaktadır. Böylece sebzenin dokusunda büyük hasarlar meydana gelmektedir. Sebze meydana gelebilecek böyle bir hasarın büyüklüğü ürünü çevreleyen oksijen ve karbondioksit konsantrasyonuna, sıcaklığa ve ürünün bu şartlara maruz kaldığı süreye bağlıdır. Karbondioksit seviyesinin

iyi ayarlanamaması sonucu solunum hızında artış ve sebzenin dokusunda zararlanmalar meydana gelebilir.^{1, 2, 3, 4, 11, 17, 18}



Şekil 2.2.5.2. CO₂ konsantasyonunun taze sebzelerin aerobik (O₂ tüketimi) ve anaerobik (asetaldehit ve etanol üretimi) solunum hızları üzerine etkisi.

Genelde meyve ve sebzelerin muhafazasında oksijen seviyesinin, %2'nin altına inmemesi ve karbondioksit seviyesinde %15'in üstüne çıkmaması gerektiği belirtilmektedir. Farklı meyve ve sebzelerin tolere ettikleri oksijen ve karbondioksit seviyeleri Tablo 2.2.5.2.a. da ve Tablo 2.2.5.2.b. de verilmektedir. Bu kısıtlamalardan faydalanarak uygun denge gaz bileşimi seçilebilir.¹¹

Tablo 2.2.5.2.a. Meyve ve sebzelerin tolere ettikleri minimum O₂ seviyelerine göre sınıflandırılması

Tolere edilen minimum (%) O ₂ konsantrasyonu	Meyve ve sebzeler
0.5	Fındık çeşitleri, kurutulmuş meyve ve sebzeler
1.0	Bazı elma ve armut çeşitleri, brokoli, mantar, sarımsak, soğan, kesilmiş veya doğranmış meyve ve sebzeler
2.0	Bir çok elma ve armut çeşitleri, kivi, kayısı, kiraz, şeftali, çilek, erik, kerviz, yeşil fasulye, kıvırcık, lahana, karnabahar, brüksel lahanası, zeytin, kavun
3.0	Avokado, domates, biber, salatalık, trabzon hurması
5.0	Turunçgiller, bezelye, kuşkonmaz, patates

Tablo 2.2.5.2.b. Meyve ve sebzelerin tolere ettikleri maksimum CO₂ seviyelerine göre sınıflandırılması

Tolere edilen maksimum (%) CO₂ konsantrasyonu	Meyve ve sebzeler
2	Elma (Golden Delicious), armut çeşitleri, kayısı, üzüm, zeytin, domates, tatlı biber, kıvrıcık, kereviz, hindiba
5	Bir çok elma çeşitleri, şeftali, erik, portakal, avokado, muz, mango, kivi, bezelye, karnabahar, havuç, lahana
10	Limon, Trabzon hurması, salatalık, kuşkonmaz, maydanoz, patates, kuru soğan, taze soğan, sarımsak
15	Çilek, kiraz, incir, mantar, ıspanak

2.2.6. Polimer filmin özellikleri

Modifiye atmosferde ambalajlama tekniğinde, kullanılan polimer filmlerin özellikleri aşağıdaki gibi sıralanabilir.⁴

- Ambalaj içerisinde ürüne uygun, denge gaz bileşimine ulaşabilmek için gerekli gaz geçirgenlik değerlerine sahip olmalı
- Saydam ve parlak olmalı
- Hafif olmalı
- Yırtılmaya ve çekmeye karşı dayanıklı olmalı
- Düşük sıcaklıklarda ısıyla yapıştırılabilme özelliğine sahip olmalı
- Ürün ile etkileşime girmemeli ve toksik özellik göstermemeli
- Ozona ve ısıya karşı dayanıklı olmalı
- Tekrar kullanılabilir özellik göstermeli
- Kullanışlı olmalı
- Etiketlenmeye uygunluk göstermeli

Depo sıcaklığında belirli bir solunum hızına sahip bir meyve veya sebzenin ambalajlandığı ortam içerisindeki istenilen denge gaz bileşimine ulaşabilmesi için kullanılan ambalaj malzemesinin (polimer film), uygun gaz geçirgenlik değerlerine sahip olması gerekmektedir. Modifiye atmosferde ambalajlama tekniğinde kullanılan polimer filmler ve gaz geçirgenlik değerleri Tablo 2.2.6. da belirtilmiştir.⁴

Tablo2.2.6. Modifiye atmosferde ambalajlama tekniğinde kullanılan bazı polimer filmlerin gaz geçirgenlik özellikleri

Polimer film	Gaz geçirgenlik değerleri			
	O ₂ *	CO ₂ *	CO ₂ /O ₂	H ₂ O _(b)
Polietilen	3900-13000	7700-77000	2.0-5.9	-
Polipropilen	1300-6400	7700-21000	3.3-5.9	-
Selüloz asetat	1814-2325	13330-15500	6.7-7.3	1163-1395
Polivinil klorid	620-2248	4263-8138	3.6-6.9	140-171
Poliester	52-130	180-390	3.0-3.5	-
Selüloz	2325	13640	5.9	74-93

* Gaz geçirgenlik değerlerini ml/mil/m²/gün/atm olarak verilmiştir.

Subuhari geçirgenlik değerleri ml/mil/m²/gün olarak verilmiştir.

2.3. Modifiye atmosferde ambalajlama yöntemleri

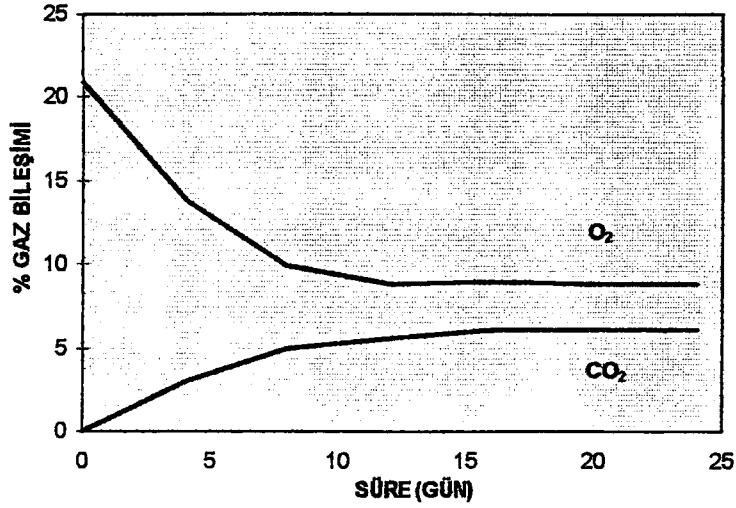
Modifiye atmosfer tekniğinde ambalaj ortamı içerisindeki gaz bileşimi iki farklı yöntem ile sağlanır.^{1, 3, 4, 27}

- Pasif modifikasyon

- Aktif modifikasyon

2.3.1. Pasif modifikasyon yöntemi

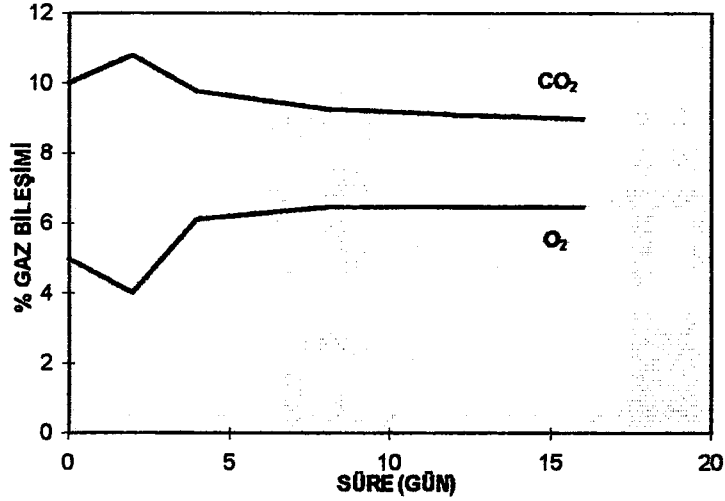
Bu durumda meyve veya sebze atmosfer koşulları (%20.9 O₂ , % 79.8 N₂ , % 0.03 CO₂) altında ambalajlanır. Denge gaz konsantrasyonuna, ürünün ve polimer filmin özelliklerine bağlı olarak ulaşılır. Ambalaj ortamı içerisindeki gaz bileşiminde meydana gelen değişiklik Şekil 2.3.1. gösterilmiştir.^{1, 3, 4, 27}



Şekil 2.3.1. Pasif modifikasyonda, ambalaj ortamı gaz bileşimlerinde meydana gelen değişiklik.

2.3.2. Aktif modifikasyon yöntemi

Bu yöntemde ambalaj ortamındaki hava vakum ile alınır ve ürüne özgü gaz bileşimi ortama verilerek ısı ile kapama yapılır. Aktif modifikasyon yönteminde istenilen denge gaz bileşimine pasif modifikasyon yöntemine göre daha çabuk ulaşılır. Bu uygulamada ambalaj ortamındaki gaz bileşimi Şekil 2.3.2. de gösterildiği gibi değişmektedir. ^{1, 3, 4, 27}



Şekil 2.3.2. Aktif modifikasyonda ambalaj ortamı gaz bileşiminde meydana gelen değişiklik.

2.4. Modifiye atmosferde ambalajlama sisteminin matematiksel modellenmesi

Meyve ve sebzelerin atmosferik bileşimden farklı gaz konsantrasyonlarında depolanması solunum hızını azaltmaktadır. Özellikle O₂ konsantrasyonunun %10 'nun altına inmesi ve CO₂ konsantrasyonunun %5'in üstüne çıkması solunum hızını baskılamakta ve ürünün dayanma süresini arttırmaktadır. Ambalaj ortamında ulaşılmak istenilen O₂ ve CO₂ denge gaz konsantrasyonları aşağıda belirtilen parametrelere bağlıdır^{1, 4} :

- Sıcaklık (T)
- Ambalaj malzemesinin gaz geçirgenlik değerleri (P_{O₂} , P_{CO₂})
- Ürün miktarı (w)
- Solunum hızı (R_{O₂})
- Ambalaj ortamı serbest hacim (V)
- Ambalaj malzemesinin gaz geçirgenlik alanı (A)

Ambalaj içersinde ürüne özgü (solunum hızının baskılayıcı) bir denge O₂ ve CO₂ bileşimi sağlayabilmek için yukarıdaki parametrelerinin doğru seçimi söz konusudur. Bu amaçla bir çok araştırmacı modifiye atmosferde ambalajlama sistemini modellemeye çalışmıştır.^{28, 29, 30, 31, 32} Henig ve Gilbert (1975) tarafından yapılan araştırmalarda, ambalaj ortamı ile depo ortamı arasındaki gaz geçişini tanımlayan, O₂ ve CO₂ gazlarının kütle dengliği birinci dereceden difransiyel denklemler olarak ifade edilmiş ve nümerik olarak çözülmüştür. Aynı çalışmada modifiye atmosferde ambalajlama tekniğine etken parametrelerin ambalaj ortamı gaz bileşimine olan etkisi araştırılmıştır.²⁹ Modifiye atmosferde ambalajlanmış bir ürün ile depo ortamı arasındaki gaz geçişi aşağıda belirtilen kütle transferi eşitliği ile tarif edilmiştir.^{28, 20, 30}

$$\frac{dy}{dt} = \frac{S \cdot K_y (y_a - y)}{V} - \frac{W \cdot R_y}{V} \quad (1)$$

$$\frac{dy}{dt} = \frac{S \cdot K_z (z_a - z)}{V} + \frac{W \cdot R_z}{V} \quad (2)$$

Hayakawa ve ark. (1975) yukarıda belirtilen basit difransiyel denklemleri kullanarak model'deki ambalaj parametrelerini belirleyebilmek amacıyla analitik çözümler elde etmişlerdir.²⁸ Her iki araştırmacı, yöntemlerinde deneysel solunum hızlarını (R_y ve R_z) O_2 ve CO_2 'in fonksiyonları olarak ifade etmişlerdir.^{28, 29} Hayakawa ve ark. (1975) CO_2 üretimini ve O_2 tüketimini ambalaj ortamındaki O_2 ve CO_2 bileşimine bağlı lineer denklemler olarak belirtmişlerdir.²⁸ Ancak ambalaj ortamındaki O_2 konsantrasyonuna bağlı olarak O_2 tüketim hızı eğrisel bir azalma gösterdiği için başlangıçtaki bu yaklaşımlar yerini enzim kinetiği uygulamalarına bırakmıştır.

Aerobik solunum olayı glikoliz, trikarboksil asit döngüsü (TCA) ve birleşik elektron taşınım sisteminin metabolik yollarında gerçekleşen bir takım enzimatik reaksiyonları içerir.^{31, 35} Solunum hızı da meyve veya sebzenin difüzyon ile dokulara giren O_2 'nin bir seri enzimatik reaksiyonlar sonucu (substrat harcanımı) belirli bir sürede açığa çıkardığı CO_2 olarak tarif edilir. Tüketilen O_2 'nin üretilen CO_2 'ye oranı solunum katsayısı olarak tarif edilir ve modelleme çalışmalarında bu değerın bilinmesi önemlidir.^{1, 4, 31, 35}

Modifiye atmosferde ambalajlama sisteminin matematiksel modellenmesinde, solunum hızının enzim kinetiği uygulamalarından faydalanarak ifade edilmesi, son zamanlarda oldukça önem kazanmıştır. Taze bir meyve veya sebzenin solunum davranışına uygunluk gösterdiği için Michaelis-Menten tipi enzim kinetiği uygulamaları kullanılarak solunum hızı ifade edilmeye çalışılmıştır. Oluşan CO_2 'nin ortamdaki uzaklaştırıldığı veya ürünün O_2 tüketimini etkilemediği varsayıldığında solunum hızı tüketilen O_2 (substrat) cinsinden aşağıdaki gibi ifade edilir :^{31, 32, 35}

$$R_{O_2} = \frac{V_m \cdot [O_2]_i}{K_m + [O_2]_i} \quad (3)$$

Yukarıda belirtilen formül ile ambalaj ortamında azalan O_2 konsantrasyonu ile O_2 tüketim hızı arasındaki ilişki daha kesin olarak belirlenebildiği belirtilmektedir.^{31, 32}

3. MATERYAL VE METODLAR

3.1. Hammadde olarak seçilen ürünün özellikleri

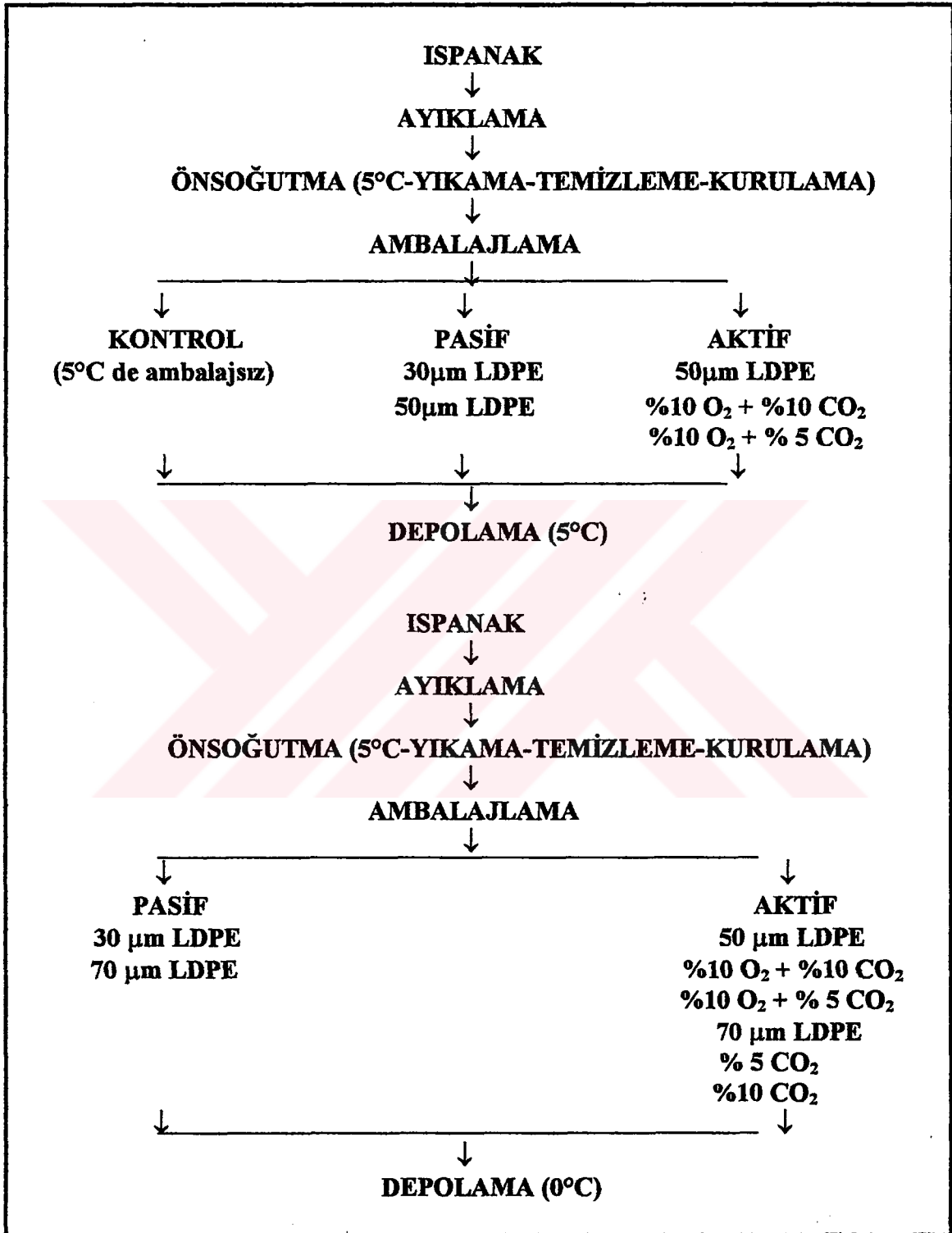
Bu araştırmada vitamin ve mineral içeriği açısından oldukça zengin olan ıspanağın modifiye atmosferde ambalajlanarak muhafazasına çalışılmıştır. Özellikle yüksek solunum hızından dolayı açıkta (ambalajsız ortamda - havada) çabuk bozularak kalitesini yitiren ıspanak sebzesi, pazarda kıvrıcık salata ve maydanoz ile birlikte en çok atılan ürünlerdendir.

Yapılan deneysel çalışmalarda uzun ve geniş yapraklı Bursa yöresi ıspanağı kullanılmıştır. Ispanak örnekleri hasattan 16 saat sonra (8°C de) Gebze halinden alınarak, tahta kasalar içersinde TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi Gıda ve Soğutma Bölümünün Pilot Tesisinde denemeye alınmıştır.

3.2. Ispanağın modifiye atmosferde ambalajlanmaya uygun hale getirilmesi için uygulanan ön işlemler

Hasat sonrası ıspanağın modifiye atmosferde ambalajlanmaya uygun hale getirebilmek için bir takım ön işlemler yapılmıştır. İki farklı sıcaklıkta gerçekleştirilen depolama çalışmalarında Tablo 3.2. belirtilen ön işlemler gerçekleştirilmiştir.

Tablo 3.2. İspanağın modifiye atmosferde ambalajlanmaya uygun hale getirilmesi amacıyla uygulanan ön işlemler.



3.2.1. Ayıklama işlemi

Meyve ve sebzelerde, hasat ve taşıma sırasında meydana gelen fiziksel zararlanmalar (yırılma, kopma ...vs) hücre içi biyolojik reaksiyonlarda bir artışa yol açar. Böylece solunum hızı da artar. Bilimsel çalışmalarda, aynı koşullarda çalışmak gerektiğinden dolayı, hasat ve taşıma sırasında mekaniksel zararlanmaya uğramış ıspanak yaprak ve demetleri ayıklanarak, denemelere dahil edilmemiştir.

3.2.2. Önsoğutma-yıkama-temizleme-kurulama

ıspanak örnekleri ayıklandıktan sonra önsoğutma işlemine tabi tutulurlar. 8°C de Pilot Tesise getirilen ıspanak örnekleri, depolama sıcaklığına getirilmek amacıyla her yükleme, 0°C de su ile dolu bir kazanda 10-15 dakika bekletilerek, yaprak sıcaklığı yaklaşık 5°C 'ye getirilmiştir. Mevsimin kış ve sebzenin yapraklı olması (yüzey alanı geniş) önsoğutma işlemini kolaylaştırmıştır. ıspanak demetlerindeki çamur ve pislikler bu uygulama ile soğutma suyunda kalmıştır.

Ürünün ıslak olması mikrobiyolojik faaliyetlerin artması açısından zararlı olduğundan, önce serin hava akımı altında kurutulmuştur. Daha sonra çelik masalar üzerine serilmiş süzgeç kağıtların üzerinde, yapraklarda kalan ıslaklıklar, nem alıcı kağıtlar ile kurularak alınmıştır.

3.2.3. Ambalajlama

Önsoğutma, yıkama, temizleme ve kurulama işlemleri ile ürün ambalajlanmaya hazır duruma getirilmiştir. Tablo 3.2. de görüldüğü gibi uygulamalar üç temel yol üzerinden yürütülmüştür. Depolama süresi boyunca ambalajlı ürünler ile aradaki kalite farklılıklarını incelemek için 5°C deki depoda ambalajsız ıspanak örnekleri (kontrol) kasalarda bekletilmiştir. Yapılan literatür araştırmasında ıspanağın 0°C de ambalajsız olarak en çok 10-14 gün süreyle muhafaza edilebildiği ortaya çıkmıştır.^{3, 5, 22, 23, 24} Bu nedenle dolayı 0°C deki depoya ambalajsız kontrol örneği konmamıştır. Diğer iki temel yol ise pasif ve aktif modifikasyonda ambalajlama işlemleridir. Ambalajlama işleminde

kullanılan düşük yoğunluklu polietilen torbalarının 0°C ve 5°C için temel özellikleri sırasıyla tablo 3.2.3.a. da ve tablo 3.2.3.b. de verilmiştir.

Tablo 3.2.3.a. İspanağın ambalajlanmasında kullanılan düşük yoğunluklu polietilen torbalarının 0°C deki gaz geçirgenlikleri.

Ambalaj Malzemesi kalınlığı (µm)	Oksijen permabilitesi (ml/m ² .gün.atm)	Karbondioksit permabilitesi (ml/m ² .gün.atm)	Teorik gaz geçiş alanı (m ²)	Antifog ⁷
30	955.26	3358.11	0.105	var
50	756.26	2616.06	0.095	var
70	505.16	1574.67	0.095	var

Tablo 3.2.3.b. İspanağın ambalajlanmasında kullanılan düşük yoğunluklu polietilen torbalarının 5°C deki gaz geçirgenlikleri.

Ambalaj Malzemesi kalınlığı (µm)	Oksijen permabilitesi (ml/m ² .gün.atm)	Karbondioksit permabilitesi (ml/m ² .gün.atm)	Teorik gaz geçiş alanı (m ²)	Antifog ⁷
30	1560.83	7911.01	0.105	var
50	1235.68	6162.90	0.095	var

3.2.3.1. İspanağa modifiye atmosferde pasif ambalajlama işleminin uygulanması

Tablo da belirtildiği gibi pasif ambalajlama işlemi için 0°C de 30µm, 50µm, 70µm LDPE torbalar ve 5°C de 30µm ve 50µm LDPE torbalar kullanılmıştır. Dolum ağırlığı, iki sıcaklık için torba başına yaklaşık 70g olarak belirlenmiştir. Bu torbalar Krups ısıyla kapama cihazı kullanılarak kapatılmıştır. Dolum ve kapama işleminden hemen sonra pasif modifikasyon örnekleri 0 ve 5°C deki soğuk hava depolarında, alt yüzeyi (delikli, aralıklı) ızgaralı, plastik kasaların üzerine yerleştirilmiştir. Literatürden belirlenmiş uygun bağıl nem değeri (%90-95), 0 ve 5°C deki depo ortamında sağlanmıştır ve deneme süresince kontrol edilmiştir.^{3, 5, 22, 23, 24}

3.2.3.2. İspanağa modifiye atmosferde aktif ambalajlama işleminin uygulanması

0°C de ıspanağın aktif modifikasyon işleminde 50 ve 70 µm LDPE torbalar kullanılmıştır. Her birine yaklaşık 70 g ıspanak yerleştirilen 50µm lik torbalara %10 O₂+ %10 CO₂ ve %10 O₂ + %5 CO₂ içeren gaz karışımları verilmiştir. Aynı dolum ağırlığında, 70µm lik torbalara oksijensiz, %10 CO₂ ve %5 CO₂ içeren gaz bileşimleri verilmiştir.

5°C deki aktif modifikasyon işlemi, 50µm lik torbalara yaklaşık 70 g ıspanak yerleştirilerek gerçekleştirilmiştir. Bu torbalar %10 O₂ + %10 CO₂ ve %5 O₂ + %5 CO₂ içeren gaz bileşimleri altında ambalajlanmışlardır. Torbalara dengeleyici gaz olarak N₂ verilmiştir.

Yukarıda belirtilen gaz bileşimlerinin, torbaların içersinde sağlanması amacıyla Multivac Gaz Karıştırma cihazı ve bu cihaz ile bağlantılı çalışan Kramer-Grabe vakum ve gaz altında ısıyla torba kapama cihazından oluşan bir sistem kullanılmıştır. Bu sistemde öncelikle ıspanak ile doldurulmuş torbaların içersindeki hava vakumla alınmış, ve yerine, belirlenen gaz bileşimi, dengeleyici N₂ gazı ile verilerek, torbaların ağzı ısıyla yapıştırılmıştır.

Aktif modifikasyon ile ambalajlanan örnekler, tabanları ızgara şeklinde olan plastik kasalar üzerine yerleştirilmiş ve %90-95 bağıl nemde bulunanan 0 ve 5°C deki iki farklı depoda muhafaza edilmiştir.

3.3. Depolama sürecinde ıspanaktaki kalite değişimlerinin belirlenmesi amacıyla yapılan kimyasal, fiziksel ve duyuşal analizler

Modifiye atmosferde ambalajlanarak 0 ve 5°C de depolanan ıspanak örneklerinin depolama süresindeki kalite değişimlerini belirlemek amacıyla aşağıda belirtilen kimyasal, fiziksel ve duyuşal analizler, başlagıçta hammaddede ve sonra depolamanın her 4. günü, denemeye dahil edilen örneklerde yapılmıştır.

Kimyasal analizler :

- Solunum hızı (ön deneme)
- pH
- Toplam asitlik
- Kurumadde

Fiziksel analizler :

- Ağırlık kaybı
- Ambalaj ortamındaki gaz bileşimi analizleri
- Renk

Duyusal analizler :

- Renk
- Dış görünüş
- Doku

Bu belirtilen kimyasal, fiziksel ve duyuşsal analizler, kontrol örneğinde (5°C), pasif ve aktif modifikasyon ile ambalajlanmış örneklende, depolama süresince meydana gelen kalite değişikliklerini belirlemek amacıyla yapılmıştır. Depolamanın ilk günü (0-gün) baz alınarak her dört günde bir 0 ve 5°C deki depolardan örneklende alınmıştır. Analizlerde aşağıda belirtilen yol takip edilmiştir :

- Solunum hızının belirlenmesi (ön deneme)
- Depoda sıcaklık ve nem kontrollü
- Ağırlık kaybı
- Ambalaj ortamı gaz analizi
- Duyusal analiz
- Renk
- Homojenasyon
- pH
- Toplam asitlik
- Kurumadde

3.3.1. Solunum hızının belirlenmesi

Sürekli hava akımı altında ve farklı sıcaklıklarda solunum hızının ölçülmesi amacıyla çalışılan sistemde 7 adet tuzak kullanılmıştır. Şekil 3.3.1. de görüldüğü gibi sistemde ayrıca bir hava hızı ayarlayıcısı, sirkülasyonlu su banyosu, solunum kabı ve solunum kabına giren hava akımının sıcaklığını deney sıcaklığına düşüren bir soğutucu bulunmaktadır. Sistemin temeli titrimetrik yöntemeye dayanmaktadır. Hava hattı açılmadan önce su banyosunun sıcaklığı istenilen deney sıcaklığına ayarlanır. Ağırlığı belirlenmiş ürün solunum kabına yerleştirilerek su banyosuna daldırılır. Ürün istenilen deney sıcaklığına ulaştığı vakit hava hattı açılır. Birinci tuzakta bulunan cam yünü ile, hava hattından gelebilecek kirlilikler ve safsızlıklar tutulur. İkinci tuzak 0.1 N KOH çözeltisi içermektedir. Havanın bileşiminde bulunan % 0.04 oranındaki CO₂ bu tuzakta KCO₃ dönüşmektedir. Böylece hava CO₂ den arındırılmış olur. Havada bulunan nem ise boş olan üçüncü tuzakta oluşan basınç farklılığından dolayı bu tuzakta tutulmaktadır. Hava, cam yünü ile doldurulmuş dördüncü tuzağı geçtikten sonra bir hava hızı ayarlayıcısına ulaşmaktadır. Burada havanın hızı yaklaşık 100ml/dak ayarlanır. Sızdırmaz solunum kabında bir giriş ve bir çıkış bulunmaktadır. Solunum kabının giriş yerinden tabanına kadar plastik bir boru uzanmaktadır. Böylece soğutucudan gelen hava akımı, solunum kabının içersinde ürünün tamamına temas etmektedir. Solunum kabı içersinde sirküle eden havadaki O₂ nin bir kısmı meyve veya sebze tarafından tüketilir ve karşılığında açığa çıkan CO₂ solunum kabını hava akımı ile birlikte terk eder. Sistemin devamında, meyve veya sebzenin solunumundan dolayı oluşan CO₂ , içersinde 100 ml 0.05 N NaOH bulunan üç ayrı tuzakta Na₂CO₃ olarak tutulur.



Bu üç tuzakta oluşan çözeltiler, 0.1 N HCL çözeltisi ve fenolftalin indikatörü kullanılarak geri titrasyon yöntemi ile ayrı ayrı titre edilmiştir. Okunan sarfiyatlardan bir saatte tutulan CO₂ miktarı milimol cinsinden hesaplanmıştır.⁸

Bir tuzak için hesaplama örneği :

$$M_{\text{NaOH}} = V_{\text{NaOH}} * N * f = \text{sabit}$$

$$M_{\text{HCL}} = V_{\text{HCL}} * N * f$$

$$M_{\text{NaOH}} - M_{\text{HCL}} = M_{\text{CO}_2} \text{ (milimol)}$$

Solunum hızı genelde (mg/kg.saat) olarak ifade edildiğinden aşağıdaki dönüşüm faktörleri kullanılmıştır.⁹

0°C de 1 mmol CO₂ → 22.4 ml

5°C de 1 mmol CO₂ → 22.8 ml

10°C de 1 mmol CO₂ → 23.2 ml

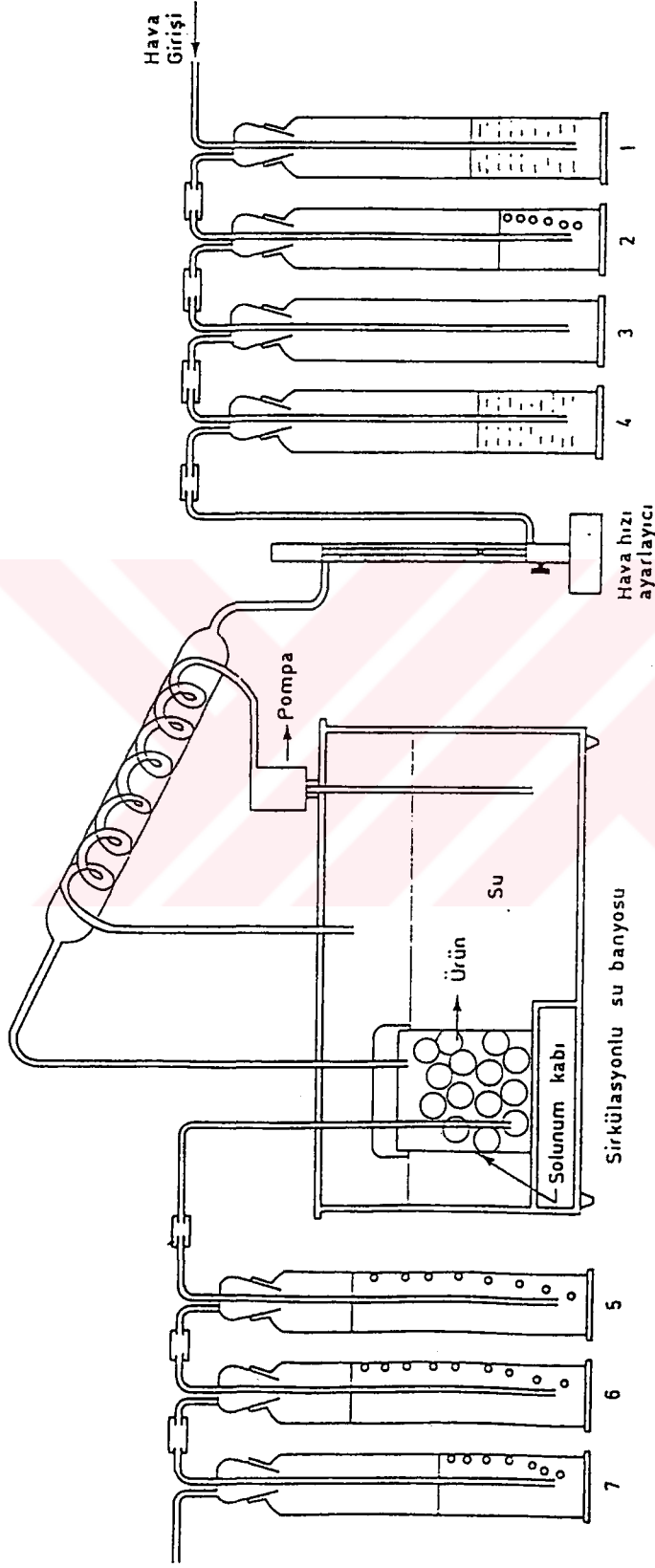
15°C de 1 mmol CO₂ → 23.6 ml

20°C de 1 mmol CO₂ → 24.04 ml

Sıcaklık	Dönüşüm faktörleri			
	CO ₂ (ml)	CO ₂ (mg)	O ₂ (ml)	O ₂ (mg)
0°C	509	1000	700	1000
5°C	518	1000	712	1000
10°C	528	1000	726	1000
15°C	537	1000	738	1000
20°C	546	1000	751	1000

3.3.2. Ağırlık kayıpları

Depolama süresince ıspanakta meydana gelen ağırlık kaybını belirleyebilmek için her iki sıcaklıkta bulunan aktif ve pasif modifikasyon torbalarından ikiye tanesinin ağırlığı belirlenmiş ve bu torbalarda analiz günlerinde ağırlık değişimine bakılmıştır. Ayrıca 5°C deki depoda ambalajsız olarak bulunan kontrol örneğinden de ağırlığı belli iki farklı numune alınmış ve analiz dönemlerinde ağırlık değişimine bakılmıştır. Depolama süresince, 0. gün ağırlığı baz alınarak, her dört günde bir yapılan tartımlar sonucu belirlenen ağırlık kayıpları, yüzde olarak ifade edilmiştir.



Şekil 3.3.1. İspanakta solunum hızının belirlenmesi amacıyla kullanılan sistem

$$\text{A.K} = \frac{A_0 - A_n}{A_0} * 100 \quad (4)$$

A.K. = Analiz dönemlerindeki ağırlık kaybı (%)

A_0 = 0 mci gün ağırlığı (gr)

A_n = n. analiz dönemi

n = 0.1.2.....n

3.3.3. Ambalaj ortamı gaz analizi

Depolama başlagıcından itibaren bir hafta boyunca her gün ambalaj ortamındaki gaz bileşimi belirlenmiştir. Ayrıca depolama süresince, her dört günde bir yapılan analizlerde ambalaj ortamındaki gaz bileşimi belirlenmiştir. Bunun için depolama boyunca her denemeden üçer torba alınmıştır. Bu torbalar içersindeki O_2 konsantrasyonunun belirlenmesinde, Servomex 574 model oksijen analizörü, CO_2 konsantrasyonunun belirlenmesinde ise Servomex PA 404 model Infrared cihazı kullanılmıştır. Ambalaj ortamındaki gaz bileşimi analizlerinde, ilk önce polimer torbanın yüzeyine gaz sızdırmaz bir septum yapıştırılır. Torbanın içersine, bir şırınga vastısıyla, septum kısmından girilir. Vakum pompası açılarak ambalaj ortamındaki gaz bileşiminden yaklaşık 1ml gaz analizöre çekilir. Sonuç olarak torba içersindeki O_2 ve CO_2 gazlarının konsantrasyonları, analizörlerin dijital göstergesinde yüzde olarak gözükür.

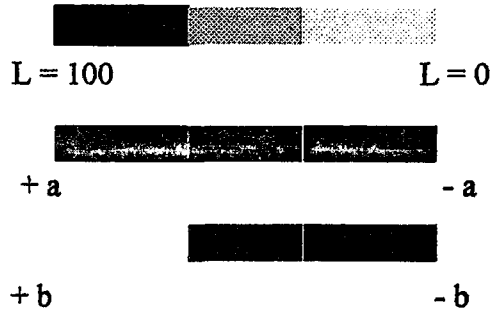
3.3.4. Duyusal analizler

Örneklere depolama süresince meydana gelen dış görünüş, koku ve renk değişimleri 5 panelist tarafından değerlendirilmiştir. Duyusal değerlendirmede kullanılan puanlama sistemi aşağıdaki gibidir. ¹⁵

- 4 : Taze, kuruma, koku ve renk değişimi yok
- 3 : Hafif derecede kuruma, koku ve renk değişimi var
- 2: Orta derecede kuruma, koku ve renk değişimi var
- 1: Kötü kokulu, kurumuş ve renk kaybına uğramış

3.3.5. Renk değişimlerinin belirlenmesi

Ambalaj ortamındaki gaz bileşimi tayin edildikten sonra torbalar açılır ve renk okumasına geçilir. Ispanakta depolama süresince meydana gelen renk değişimlerini belirlemek amacıyla Minolta DP-301 bilgi işlemcisi ve bu cihaza bağlı Minolta CR-300 renk okuma probu kullanılmıştır . Örneklerin renk değerleri, Hunter Lab sistemine göre ölçülmüştür. Bu sistemde "L" parlaklık veya koyuluk, "+a" kırmızılık, "-a" yeşillik, "+b" sarılık, "-b" mavilik olarak tanımlanmaktadır. Bir deneme için her analiz döneminde 20 okuma yapılmıştır. Minolta renk okuma cihazı okunan L, a, b sayılarının en yüksek ve en düşük değerlerinin ortalamasını alarak göstergede ve kağıt üzerinde sonuçların çıkışını vermektedir. Bu sayısal sonuçlara ve aşağıdaki Şekil.3.3.5. belirtilen cihazın renk tanımlama sistemine göre ıspanakta depolama süresince meydana gelen renk değişimleri tayin edilir. ^{13, 14, 16, 25}



Şekil 3.3.5. Hunter Lab renk tanımlama sistemi

3.3.6. Ispanağın homojenize edilmesi

Homojenizasyon işleminde, daha önce gaz ve renk analizinde kullanılan üç torbadaki 210 gr lık ıspanak örnekleri kullanılmıştır. Ispanak örnekleri bir bütün olarak Waring model 32 BL 80 homojenizatörde 21500 rpm devirle 2-3 dakika boyunca iyice parçalanmışlardır. İşlem sonrası elde edilen homojen ıspanak örneklerinde sırasıyla pH, toplam asitlik ve kurumadde analizleri yapılmıştır.

3.3.7. pH tayini

Ispanak örneklerinin pH'ı Methrohm 632 model pHmetresinde ölçülmüştür. pH değerlerinin belirlenmesinde AOAC 981.12 numaralı yöntem uygulanmıştır. Bu yöntem göre, 20 gr lık homojenize ıspanak örneği 1:1 oranında distile su ile karıştırılarak pH ölçümü yapılır. Her deneme için iki paralel yapılmıştır.¹⁰

3.3.8. Toplam asitlik tayini

Ispanakta toplam asitlik değerlerinin belirlenmesinde Methrohm 632 model pH metresi ve 650 model Dosimat otomatik titrasyon cihazı ortak olarak kullanılmıştır. Toplam asitlik değerlerinin belirlenmesinde AOAC 942.15 numaralı yöntem uygulanmıştır. Bu yöntem göre, 20 gr lık homjenize örneğe 80 ml distile su ilave edilir. Daha sonra bu numune faktörü belirli 0.1 N NaOH ile pH 8.1 ulaşmaya kadar titre edilir. Her deneme için üç paralel yapılmıştır. Ispanak örneklerinin toplam asitlik değerleri, sitrik asit cinsinden aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır.¹⁰

$$\text{T.A.} = \frac{V \cdot N \cdot f \cdot 0.07 \cdot 100}{m}$$

(5)

V = Titrasyonda harcanan NaOH miktarı (ml)

N = Kullanılan NaOH'in normalitesi

f = Kullanılan NaOH'in faktörü

m = Analizde kullanılan örnek miktarı (gr)

T.A. = Sitrik asit cinsinden toplam asitlik (gr sitrik asit / 100 gr ıspanak)

3.3.9. Kurumadde miktarının belirlenmesi :

ıspanak örneklerinin kurumadde miktarlarının belirlenmesinde AOAC 920.151 numaralı yöntem kullanılmıştır. Sabit tartıma getirilmiş ve darası belirlenmiş petrilere, homjenize ıspanak örneklerinden 20 şer gram tartılır. Bu örnekler 70°C'de 30 mbar basınç altında, marka VWR 410 model Scientific marka vakum etüvünde 16 saat süreyle bırakılır. Bu süre sonunda sabit tartıma gelmiş örnekler etüvden çıkartılarak desikatörde bekletilir. Yarım saat sonra örnekler desikatörden çıkarılır ve tartılarak kurumadde miktarı (%) olarak hesaplanır. Hesaplamalarda aşağıdaki formül kullanılmıştır.¹⁰

$$\%K.M = \frac{m_{ks} - m_b}{m_{k0} - m_b} * 100 \quad (6)$$

m_b = petrinin boş ağırlığı (gr)

m_{k0} = petrinin ve ıspanak örneğinin kuruma öncesi ağırlıkları toplamı (gr)

m_{ks} = petrinin ve ıspanak örneğinin kuruma sonrası ağırlıkları toplamı (gr)

3.4. Enzim kinetiği uygulamalarından faydalanarak solunum hızının ifade edilmesi

0°C'deki 30 µm, 50 µm ve 70 µm 'lik torbalarda ıspanağın solunum hızı ve polimer filmin gaz geçirgenlik değerlerine bağlı olarak bir O₂ ve CO₂ dengesine ulaşılır. Yani belirli bir sürede ambalaj ortamına giren O₂ miktarı ile ıspanak tarafından tüketilen O₂ miktarına eşitlenir. Benzer şekilde belirli bir sürede üretilen CO₂ miktarı, ambalaj ortamını terk eden CO₂ miktarına eşitlendiğinde ambalaj ortamında bir denge sağlanır. Denge anındaki O₂ tüketim hızlarını belirleyebilmek amacıyla dengeden bir gün evvelki ambalaj ortamındaki O₂ tüketim değerleri hesaplamalarda kullanılmıştır. Bu hesaplamalar için aşağıdaki formüller geliştirilmiştir :^{31, 32, 33, 34}

$$\Delta O_2 \text{ (ambalaj ortamı)} - \Delta O_2 \text{ (ambalaj ortamına giren)} = \Delta O_2 \text{ (net)}$$

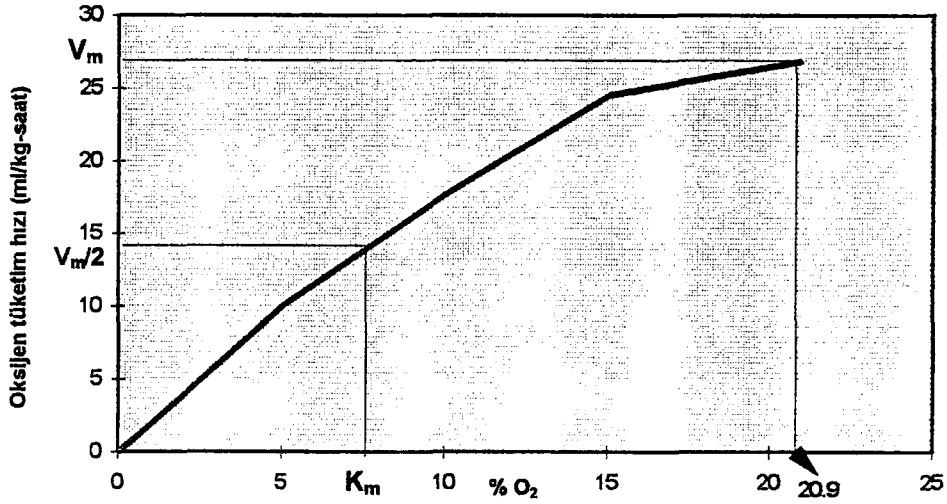
$$\Delta CO_2 \text{ (ambalaj ortamı)} + \Delta CO_2 \text{ (ambalaj ortamından çıkan)} = \Delta CO_2 \text{ (net)}$$

Aynı formülleri açık yazacak olursak (w (kg) temelinde) ,

$$(\Delta O_2 \cdot V/t) - ((0.209 - [O_2]_d) \cdot P_{O_2} \cdot A) = \Delta O_2 \text{ (net)} \quad (7)$$

$$(\Delta CO_2 \cdot V/t) + (([CO_2]_d - 0.0003) \cdot P_{CO_2} \cdot A) = \Delta CO_2 \text{ (net)} \quad (8)$$

Michaelis-Menten katsayıları olarak bilinen V_m ve K_m sayıları yapılan deneysel çalışmalar sonucu belirlenir. Bunun için bir ambalaj içersinde farklı O₂ konsantrasyonları altında bir ürünün tükettiği O₂ miktarı bulunur.^{31, 32, 33, 34} Grafikselsel yöntem kullanılarak V_m ve K_m sayılarının hesaplanması Şekil 3.4. de gösterilmiştir.³⁵



Şekil 3.4. V_m ve K_m sayılarının grafiksel yöntem kullanılarak hesaplanması

Ambalaj ortamında farklı denge O_2 konsantrasyonları altında ölçülen O_2 tüketim hızları bir grafikte gösterilir. Denge O_2 konsantrasyonlarına karşılık O_2 tüketim hızları işaretlenir. Bu eğrinin ulaştığı %20.9 O_2 deki maksimum O_2 tüketim hızı V_m olarak belirlenir. Maksimum solunum hızının yarıya indiği O_2 tüketim hızı değeri eğri üzerinden işaretlenir ve apside dik inilerek K_m değeri bulunur. Bu sabitler Michaelis-Menten eşitliğinde yerine konularak ambalaj içersinde azalan O_2 konsatrayonunun solunum hızı üzerine olan etkisi bulunabilir.^{31, 35}

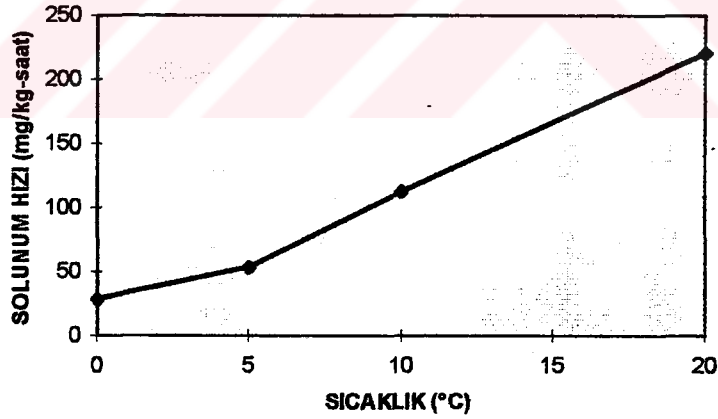
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

4.1. Farklı sıcaklıklardaki solunum hızının belirlenmesi

Ispanağın sürekli hava akımı altında ve 0, 5, 10, 20°C lik ortamlardaki solunum hızları üretilen CO₂ (mg/kg-saat) cinsinden ölçülmüştür. Bu sıcaklıklardaki solunum hızı değerleri Tablo 4.1.a. da, sıcaklığa bağlı solunum hızındaki artış Şekil 4.1. ve Q₁₀ değerleri Tablo 4.1.b. da belirtilmiştir.

Tablo 4.1. Ispanağın farklı sıcaklıklardaki solunum hızları.

Sıcaklık (°C)	Solunum hızı (mg/kg-saat)
0	27.03
5	53.20
10	112.81
20	219.98



Şekil 4.1. Ispanağın farklı sıcaklıklarda solunum hızında meydana gelen değişiklik.

Ispanağın solunum hızının yükselen sıcaklık ile fazlasıyla arttığı şekil 4.1. de görülmektedir. İlk 10°C'lik artışta ıspanağın solunum hızı yaklaşık 4 kat ve ikinci 10°C'lik artışta ise yaklaşık 2 kat artmaktadır. Tablo 2.2.3.2.a. da ve tablo 2.2.3.2.b. de sırasıyla ıspanakta sıcaklığa bağlı solunum hızındaki artış ve Q₁₀ değerleri üzerine daha önceden yapılmış çalışmalar verilmektedir.¹

İspanağın sıcaklığa bağlı solunum hızındaki bu artışın depolama çalışmalarında göz önünde bulundurmak gerekir. Modifiye atmosferde ambalajlama tekniğinde depo ortamında meydana gelebilecek sıcaklık dalgalanmaları, ulaşılmak istenilen denge gaz konsantrasyonunda sapmalara neden olabilir.

Tablo 4.1.a. İspanak için hesaplanmış Q_{10} değerleri.

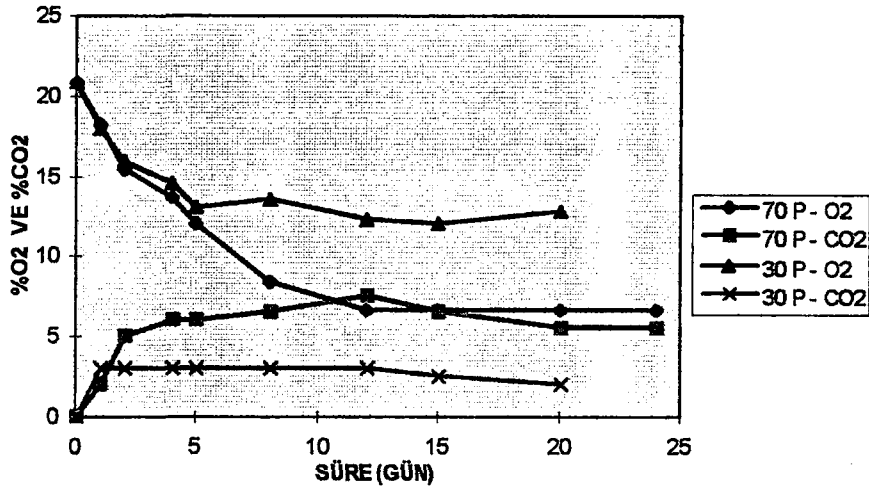
Sıcaklık aralığı (°C)	Q_{10}
0 - 10	4.17
10 - 20	1.95

4.2. Depolama süresince ambalaj ortamı gaz bileşiminin belirlenmesi

Pasif ve aktif modifikasyon yöntemleri kullanılarak ambalajlanan ve 3.5 hafta süreyle %90-95 bağıl nem ortamında 0 ve 5°C de depolanan ıspanak örneklerinin depolama süresince ambalaj ortamındaki gaz bileşimleri değişimleri belirlenmiştir.

4.2.1. Pasif modifikasyon yöntemi uygulanarak ambalajlanan ve 0°C de depolanan ıspanak örneklerinde depolama süresince gaz bileşiminin belirlenmesi

Pasif modifikasyon yöntemi kullanılarak 0°C de 30 ve 70 µm kalınlıktaki LDPE (düşük yoğunluklu polietilen) ambalaj malzemesi ile ambalajlanan ıspanak örneklerinde depolama süresince meydana gelen ambalaj ortamı gaz bileşimi değişimleri Şekil 4.2.1. da verilmiştir. Depolama süresince, ambalaj ortamında O₂ konsantrasyonunun azaldığı ve CO₂ konsantrasyonunun arttığı belirlenmiştir.



Şekil 4.2.1. 0°C de pasif modifikasyon yöntemi ile ambalajlanmış ıspanak örneklerinde ambalaj ortamı gaz bileşimi değişimi

Kullanılan ambalaj malzemesinin kalınlığına, 0°C deki gaz geçirgenlik değerlerine (Tablo 3.2.3.a.) ve 0°C de ıspanağın solunum hızına bağlı olarak 30 ve 70 µm kalınlıktaki LDPE torbalarında farklı değerlerdeki denge O₂ ve CO₂ konsantrasyonlarını ulaşılmıştır. Bu torbalardaki denge gaz konsantrasyonları değerleri Tablo 4.2.1. verilmiştir.

Tablo 4.2.1. 0°C de pasif modifikasyon yöntemi ile ambalajlanmış ıspanak örneklerinde denge gaz bileşimi değerleri

LDPE-Kalınlık	Denge gaz bileşimi (%)	
	O ₂	CO ₂
30 µm	12.3	2-3
70 µm	6.6	5.5

Şekil 4.2.1 de görüldüğü gibi 30 µm kalınlıktaki torbalarda O₂ konsantrasyonu 6 günde %12.3 de ve CO₂ konsantrasyonu ise 1 günden sonra %3 de dengeye gelmiştir. 70 µm kalınlıktaki torbalarda O₂ konsantrasyonu 12 günde %6.6 da ve CO₂ konsantrasyonu 4 günde %6 da dengeye ulaşmıştır.

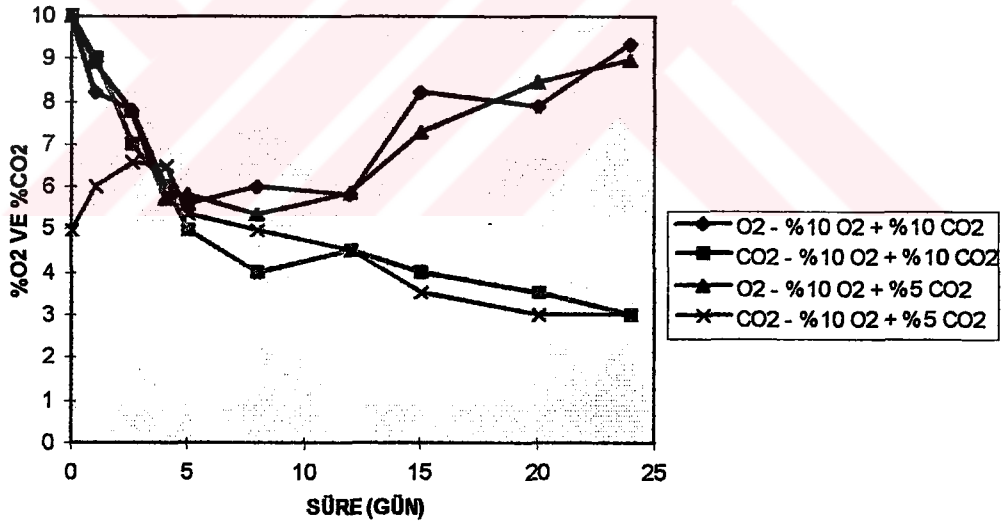
4.2.2. Aktif modifikasyon yöntemi uygulanarak ambalajlanan ve 0°C de depolanan ıspanak örneklerinde depolama süresince gaz bileşiminin belirlenmesi

Aktif modifikasyon yöntemi uygulanarak 0°C de 50 ve 70 µm kalınlıktaki LDPE (düşük yoğunluklu polietilen) ambalaj malzemesi ile ambalajlanan ıspanak örneklerinde depolama süresince meydana gelen ambalaj ortamı gaz bileşimi değişimleri sırasıyla Şekil 4.2.2.a ve Şekil 4.2.2.b de verilmiştir. Tablo ss de belirtildiği gibi depolama öncesi 0°C de 50 ve 70 µm kalınlıktaki LDPE torbalarına iki farklı gaz bileşimi verilmiştir.

50 µm

- %10 O₂ + %10 CO₂

- %10 O₂ + % 5 CO₂



Şekil 4.2.2.a. 0°C de aktif modifikasyon yöntemi ile 50 µm'lik LDPE torbaları ile ambalajlanmış ıspanak örneklerinde ambalaj ortamı gaz bileşimi değişimi.

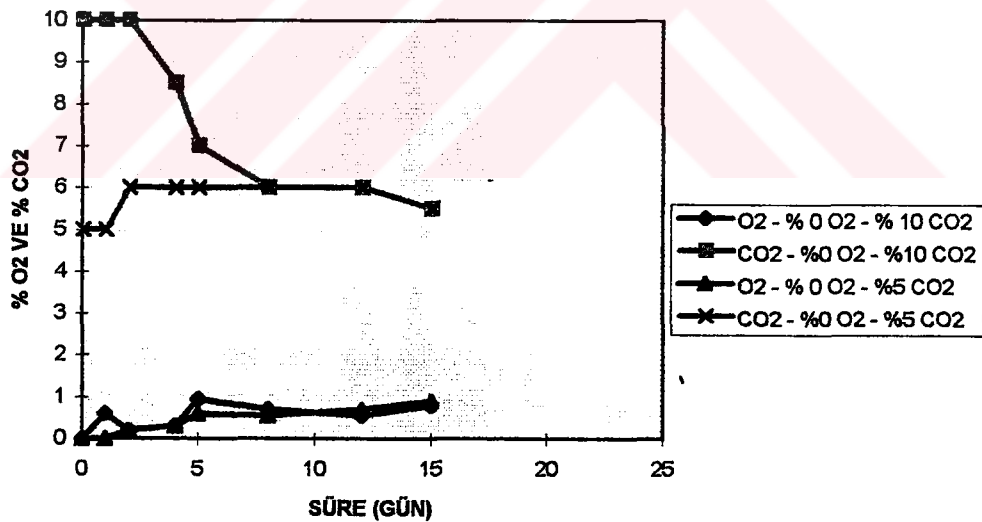
Depolama öncesi aktif modifikasyon yöntemi ile %10 O₂ + %10 CO₂ ve %10 O₂ + %5 CO₂ gaz bileşimleri uygulanmış 50 µm'lik torbalarda ıspanağın solunumu sonucu O₂ konsantrasyonu önce azalmıştır. Uygulanan her iki gaz bileşiminde de depolamanın 4-12 günleri arasında O₂ konsantrasyonu yaklaşık %5-6 da dengeye gelmiştir. 0°C ve %5-6 O₂ konsantrasyonunda ıspanağın solunum hızı çok azalmıştır.

Solunum hızının yavaşlamasından dolayı 12 günden sonra ambalaj ortamına depo ortamından O_2 geçişi olmuştur. Böylece depo ortamından ambalaj ortamına giren O_2 miktarı, ambalaj ortamında solunum sonucu tüketilen O_2 miktarından fazla olmuştur. Bunun sonucu ambalaj ortamındaki O_2 konsantrasyonu artmış ve 20 günde yaklaşık %9 değerine ulaşmıştır. %10 O_2 + %10 CO_2 içeren uygulamada ambalaj ortamındaki CO_2 konsantrasyonunda sürekli azalma belirlenmiştir. Bu uygulamada CO_2 konsantrasyonu 12 gün sonra % 3-4 değerinde dengeye gelmiştir. %10 O_2 + %5 CO_2 uygulamasında ise CO_2 konsantrasyonunda ilk dört günde %2'lik bir artış meydana gelmiştir. Bu artıştan sonra CO_2 konsantrasyonu azalmaya başlamıştır. 12 gün sonra ambalaj ortamındaki denge CO_2 konsantrasyonu %3-4 olarak belirlenmiştir (Şekil 4.2.2a.).

70 μm

- %10 CO_2

- % 5 CO_2



Şekil 4.2.2.b. 0°C de aktif modifikasyon yöntemi ile 70 μm 'lik LDPE torbaları ile ambalajlanmış ıspanak örneklerinde ambalaj ortamı gaz bileşimi değişimi.

Depolama öncesi aktif modifikasyon yöntemi ile %10 CO_2 ve %5 CO_2 gaz bileşimleri verilmiş 70 μm 'lik torbalardaki O_2 konsantrasyonu %1.2 değerini aşmamıştır. Her iki uygulamada ise CO_2 konsantrasyonu %5-6 arasında dengeye geldiği belirlenmiştir

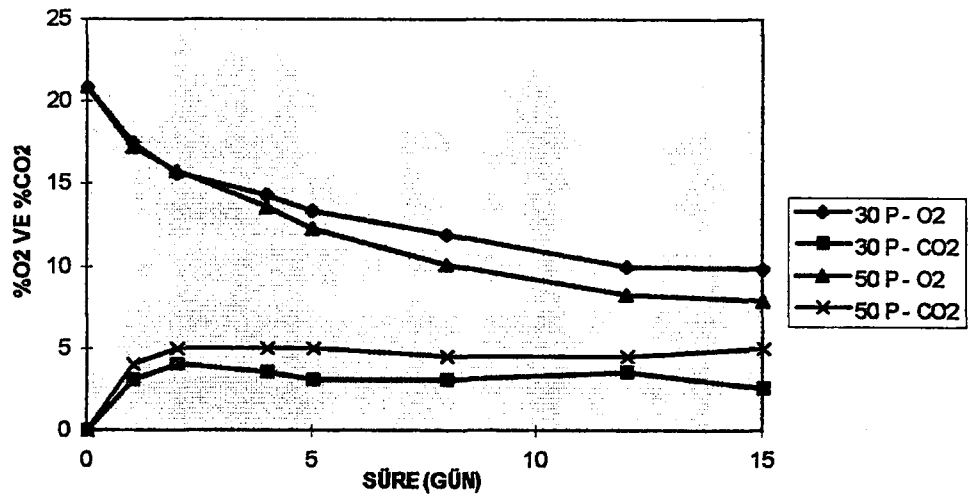
(Şekil 4.2.2.b). 0°C de aktif modifikasyon yöntemi uygulanarak ambalajlanmış ıspanak örneklerinde ulaşılan denge gaz bileşimleri Tablo 4.2.2. de verilmiştir.

Tablo 4.2.2. 0°C de aktif modifikasyon yöntemi ile ambalajlanmış ıspanak örneklerinde denge gaz bileşimi değerleri

Gaz bileşimi ve kalınlık	Denge gaz bileşimi (%)	
	O ₂	CO ₂
50 µm - %10 O ₂ + %10 CO ₂	(5-6) 9	3-4
50 µm - %10 O ₂ + % 5 CO ₂	(5-6) 9	3-4
70 µm - %10 CO ₂	1.1	5-6
70 µm - % 5 CO ₂	0.9	5-6

4.2.3. Pasif modifikasyon yöntemi kullanılarak ambalajlanan ve 5°C de depolanan ıspanak örneklerinde depolama süresince gaz bileşiminin belirlenmesi

Pasif modifikasyon yöntemi kullanılarak 5°C de 30 ve 50 µm kalınlıktaki LDPE ambalaj malzemesi ile ambalajlanan ıspanak örneklerinde depolama süresince meydana gelen ambalaj ortamı gaz bileşimi değişimleri Şekil 4.2.3. da verilmiştir. Depolama süresince, ambalaj ortamında O₂ konsantrasyonunun azaldığı ve CO₂ konsantrasyonunun arttığı belirlenmiştir.



Şekil 4.2.3. 5°C de pasif modifikasyon yöntemi ile ambalajlanmış ıspanak örneklerinde ambalaj ortamı gaz bileşimi değişimi

Pasif modifikasyon işleminde kullanılan ambalaj malzemesinin kalınlığına, 5°C deki gaz geçirgenlik değerlerine (Tablo 3.2.3.b.) ve ıspanağın 5°C deki solunum hızına bağlı olarak 30 ve 50 µm kalınlıktaki LDPE torbalarında farklı değerlerdeki denge O₂ ve CO₂ konsantrasyonlarını ulaşılmıştır. Bu torbalardaki denge gaz konsantrasyonları değerleri Tablo 4.2.3. belirtilmiştir.

Tablo 4.2.3. 5°C de pasif modifikasyon yöntemi ile ambalajlanmış ıspanak örneklerinde denge gaz bileşimi değerleri

LDPE-Kalınlık	Denge gaz bileşimi (%)	
	O ₂	CO ₂
30 µm	10	3-4
50 µm	8.2	5-6

Şekil 4.2.3. de görüldüğü gibi 30 µm kalınlıktaki torbalarda O₂ konsantrasyonu 8. günde %10-11 de ve CO₂ konsantrasyonu ise 1. günde %3-4 de dengeye gelmiştir. 50 µm kalınlıktaki torbalarda O₂ konsantrasyonu 10 gün sonra %8-9 da ve CO₂ konsantrasyonu 4. günde %5-6 da dengeye ulaşmıştır.

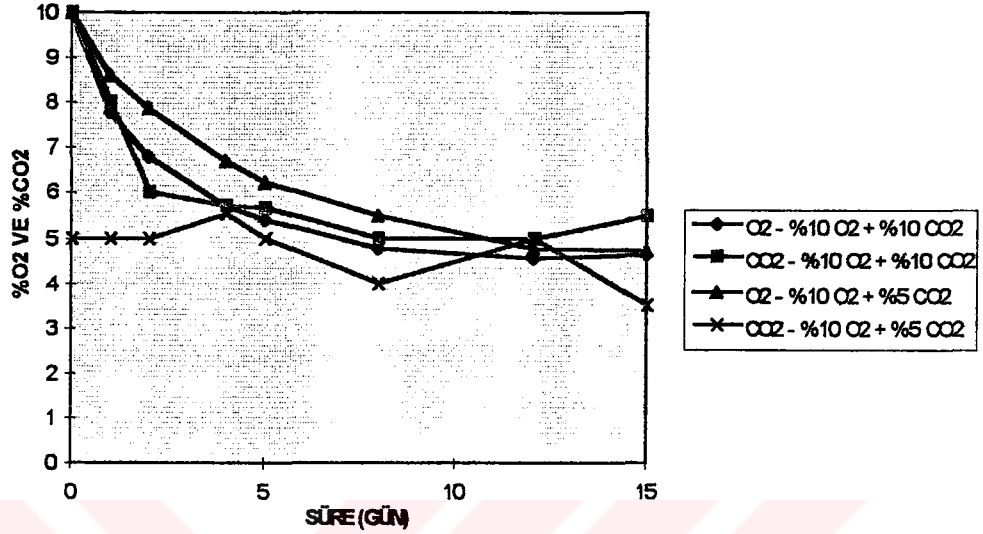
4.2.4. Aktif modifikasyon yöntemi kullanılarak ambalajlanan ve 5°C de depolanan ıspanak örneklerinde depolama süresince gaz bileşiminin belirlenmesi

Aktif modifikasyon yöntemi uygulanarak 5°C de 50 µm kalınlıktaki LDPE ambalaj malzemesi ile ambalajlanan ıspanak örneklerinde depolama süresince meydana gelen ambalaj ortamı gaz bileşimi değişimleri sırasıyla Şekil 4.2.4. de verilmiştir. Tablo 3.2. de belirtildiği gibi depolama öncesi 5°C de 50 µm kalınlıktaki LDPE torbalarına iki farklı gaz bileşimi verilmiştir.

50 μm

- %10 O_2 + %10 CO_2

- %10 O_2 + %5 CO_2



Şekil 4.2.4. 5°C de aktif modifikasyon yöntemi ile 50 μm LDPE torbaları ile ambalajlanmış ıspanak örneklerinde ambalaj ortamı gaz bileşimi değişimi.

Depolama öncesi aktif modifikasyon yöntemi ile %10 O_2 + %10 CO_2 ve %10 O_2 + %5 CO_2 gaz bileşimleri uygulanmış 50 μm 'lik torbalarda ıspanağın solunumu sonucu O_2 konsantrasyonu azalmıştır. Uygulanan her iki gaz bileşiminde depolamanın 8. günü O_2 konsantrasyonu yaklaşık %4 de dengeye gelmiştir. %10 O_2 + %10 CO_2 içeren uygulamada ambalaj ortamındaki CO_2 konsantrasyonunda sürekli azalma belirlenmiştir. Bu uygulamada CO_2 konsantrasyonu 8 gün sonra %5-6 değerinde dengeye gelmiştir. %10 O_2 + %5 CO_2 uygulamasında ise CO_2 konsantrasyonunda depolamanın ilk 4 günü sabit kalmıştır. Depolama başlangıcından 12 gün sonra ambalaj ortamındaki denge CO_2 konsantrasyonu %4-5 olarak belirlenmiştir (Şekil 4.2.4.). Aktif modifikasyon işlemi uygulanarak ambalajlanan ve 5°C de depolanan ıspanak örneklerinde ambalaj ortamı denge gaz bileşimleri Tablo 4.2.4. de verilmiştir.

Tablo 4.2.4. 5°C de aktif modifikasyon yöntemi ile ambaljanmış ıspanak örneklerinde denge gaz bileşimi değerleri

Gaz bileşimi ve kalınlık	Denge gaz bileşimi (%)	
	O ₂	CO ₂
50 µm - %10 O ₂ + %10 CO ₂	4	5-6
50 µm - %10 O ₂ + % 5 CO ₂	4	4-5

4.3. Depolama süresince ağırlık kayıpları

Ağırlık kaybı 5°C deki kontrol örneğinde, 0 ve 5°C de bulunan pasif ve aktif modifikasyon yöntemleri uygulanarak ambaljanmış ıspanak örneklerinde depolama süresince belirlenmiştir.

Ambalajsız olarak 5°C de ve %90-95 bağıl nemde bulunan kontrol örneğinde 12 gün sonra ağırlık kaybı %30 kadar yükselmiştir. Meyve ve sebzelerde meydana gelebilecek %5-10 arasındaki bir ağırlık kaybının kaliteyi ve ürünün satışını olumsuz yönde etkilediği belirtilmektedir.¹ Yapılan duyuşal değerlendirmelerde kontrol örneğindeki %30'luk ağırlık kaybının üründe buruşuk ve solgun bir yapıya yol açtığı saptanmıştır. Bu sebepten dolayı kontrol örneğinde gerçekleştirilen denemelere 8 günde son verilmiştir.

Ambalajlı olarak 0 ve 5°C de muhafaza edilen pasif ve aktif modifikasyon örneklerinde depolama süresince ağırlık kaybı %0.3'ü aşmamıştır. Konuyla ilgili yapılan çalışmalarda 10°C de ambalajsız ıspanak örneklerinde 6 gün sonundaki ağırlık kaybının % 20'i olduğu belirtilmiştir. Aynı sıcaklıkta 20cm-8cm-50cm boyutlara ve 1 mil kalınlığa sahip polietilen torbalarına yerleştirilmiş ıspanak örneklerindeki ağırlık kaybının 9 gün sonunda %5 olduğu belirtilmiştir. 20°C de ambalajsız örneklerde ağırlık kaybının 3 gün sonra %65 ve aynı sıcaklıkta ambalajlı örneklerde 6 gün sonra %40 olduğu tespit edilmiştir.¹⁵ Bir başka çalışmada ise ticari adı Clysar EHC-50 olan yüksek yoğunluklu polietilen kopolimer filmler ile ambalajlanan domatesler 3 hafta 13°C de, takiben 1 hafta 21°C de bekletilmiştir. Amabalajlı domateslerde ağırlık kaybının %0.8, kontrol örneklerinde ise bu değer %4.6'yı bulduğu belirtilmiştir.²⁶

5°C deki ambalajsız kontrol örneğinde, 0 ve 5°C deki pasif ve aktif modifikasyon yöntemleri uygulanarak farklı kalınlıklardaki LDPE ambalaj malzemesi ile ambalajlanmış ıspanak örneklerinde depolama süresince meydana gelen ağırlık kayıpları Tablo 4.3.a. ve 4.3.b. de belirtilmiştir.

Tablo 4.3.a. 0°C de farklı şartlar altında ambalajlanmış ıspanak örneklerinde % ağırlık kayıpları

Kalınlık-Yöntem	Süre (gün)						
	0	4	8	12	15	20	24
30 µm-Pasif	0	-0.05	-0.11	-0.097	-0.162	-0.178	-
70 µm-Pasif	0	-0.01	0.01	-0.055	-0.068	-0.110	0.193
50 µm %10 O ₂ + %10 CO ₂	0	0	-0.06	-0.102	-0.117	-0.175	0.278
50 µm %10 O ₂ + % 5 CO ₂	0	-0.01	0	-0.044	-0.117	-0.117	0.204
70 µm %10 CO ₂	0	-0.04	-0.05	-0.08	-0.11	-0.134	-
70 µm % 5 CO ₂	0	-0.03	-0.03	-0.071	-0.071	-0.113	-

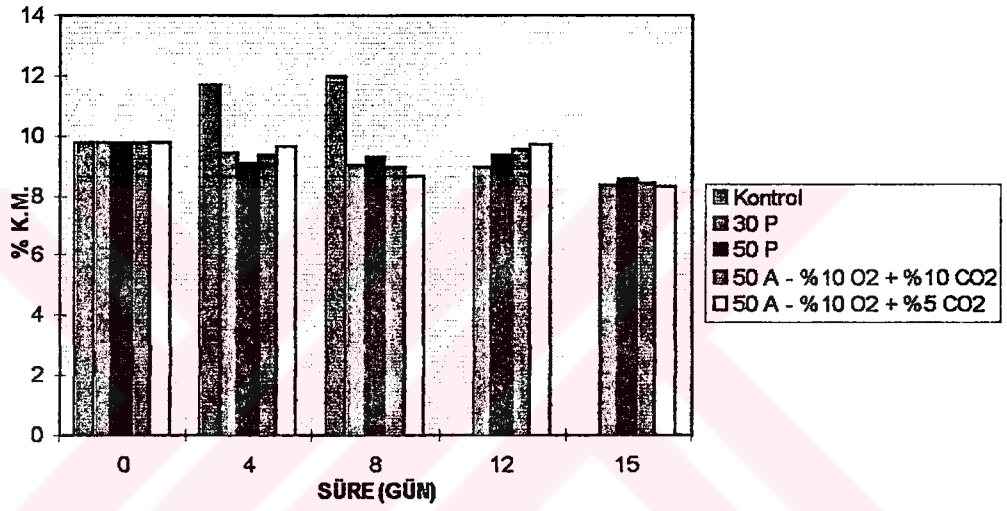
Tablo 4.3.b. 5°C de farklı şartlar altında ambalajlanmış ıspanak örneklerinde % ağırlık kayıpları

Kalınlık-Yöntem	Süre (Gün)				
	0	4	8	12	15
Kontrol-Ambalajsız	0	-22.1	-26.3	-30.4	-
30 µm-Pasif	0	-0.015	0.015	-0.147	-0.221
50 µm-Pasif	0	-0.057	-0.057	-0.151	-0.171
50 µm %10 O ₂ + %10 CO ₂	0	-0.110	-0.157	-0.251	-0.235
50 µm %10 O ₂ + % 5 CO ₂	0	-0.07	-0.03	-0.134	-0.149

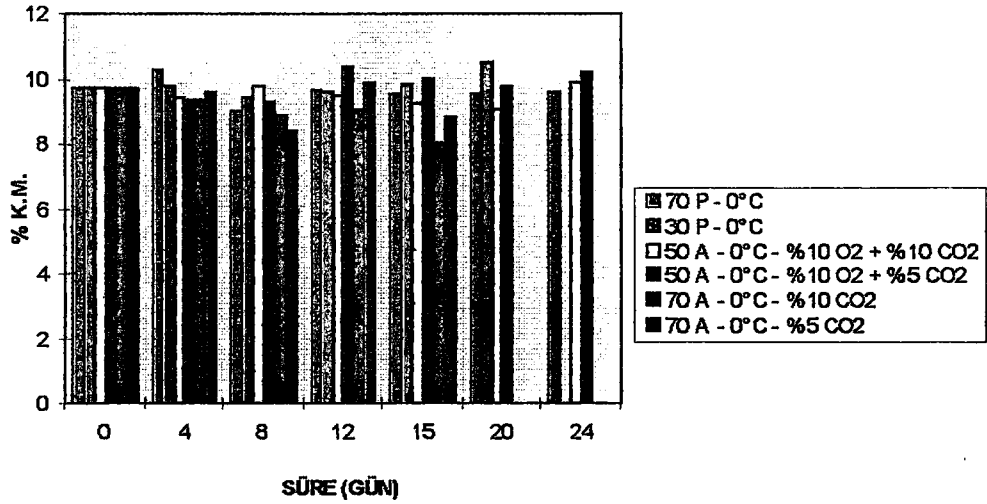
İspanağın modifiye atmosferde ambalajlanmasında 15 gün temel alınarak yapılan sonuç değerlendirmesinde, ağırlık kayıplarının düşük sıcaklıklarda daha az olduğu belirlenmiştir. Aynı zamanda depolama süresince ağırlık kayıplarının kullanılan LDPE polimer filmin kalınlığı ile ters orantılı olduğu ve artan film kalınlığı ile ağırlık kayıplarının azaldığı bulunmuştur.

4.4. Depolama kurumadde değişimleri

Kurumadde değişimleri 5°C deki kontrol örneğinde, 0 ve 5°C de bulunan pasif ve aktif modifikasyon yöntemleri uygulanarak ambalajlanmış ispanak örneklelerinde 3.5 haftalık depolama süresince her 4 günde bir belirlenmiştir. Depolama süresince belirlenen kurumadde miktarları, 5°C deki kontrol ve ambalajlı örnekleler için Şekil 4.4.a. ve 0°C deki ambalajlı örnekleler için Şekil 4.4.b. de verilmiştir.



Şekil 4.4.a. Depolama süresince 5°C deki kurumadde değişimi



Şekil 4.4.b. Depolama süresince kurumadde 0°C deki kurumadde değişimi

Ürün bazında, uygulanan işlem koşullarına ve depolama sürelerine bağlı olarak ortalama kurumadde miktarları hesaplanmıştır. Başlagıç kurumadde miktarı göz önüne alınarak her bir uygulamadaki sapma bulunmuştur. Değerler 5°C için Tablo 4.4.a. ve 0°C için Tablo 4.4.b. verilmiştir.

Tablo 4.4.a. 5°C deki kurumadde değişimi

Kalınlık-Yöntem	Kurumaddedeki sapma (%)	Depolama süresi (Gün)
Kontrol-Ambalajsız	+ 21.84	8
30 µm-Pasif	- 6.25	15
50 µm-Pasif	- 5.02	15
50 µm %10 O ₂ + %10 CO ₂	- 4.61	15
50 µm %10 O ₂ + % 5 CO ₂	- 4.41	15

Tablo 4.4.b. 0°C deki kurumadde değişimi

Kalınlık-Yöntem	Kurumaddedeki sapma (%)	Depolama süresi (Gün)
30 µm-Pasif	+ 1.02	20
70 µm-Pasif	- 1.23	24
50 µm %10 O ₂ + %10 CO ₂	- 2.25	24
50 µm %10 O ₂ + % 5 CO ₂	- 1.33	24
70 µm %10 CO ₂	- 6.67	12-15
70 µm % 5 CO ₂	- 4.41	12-15

Meyve ve sebzelerin solunumları sırasında hücrelerinde bulunan karbonhidratlar, şekerler ve lipitler harcandığından depolama süresinde kurumadde miktarlarında kayıplar meydana geldiği çeşitli çalışmalarda belirtilmiştir.^{1, 2, 9} Brokolinin ambalajsız ve çeşitli yarı geçirgen polimer filmler ile ambalajlanarak depolanmasında, uygulanan işlem koşullarının kurumadde korunumuna etkili olduğunu ve ambalajlı örneklerin başlagıç kurumadde miktarlarının, depolama süresince daha fazla korunduğunu belirtilmiştir.²⁵

Depolama süresince 5°C de bulunan kontrol örneğinde ortalama kurumadde miktarının başlagıç değerine göre yaklaşık % 22 artışı belirlenmiştir. Buna karşılık pasif ve aktif modifikasyon yöntemleri kullanılarak ambalajlanmış ıspanak örneklerinde

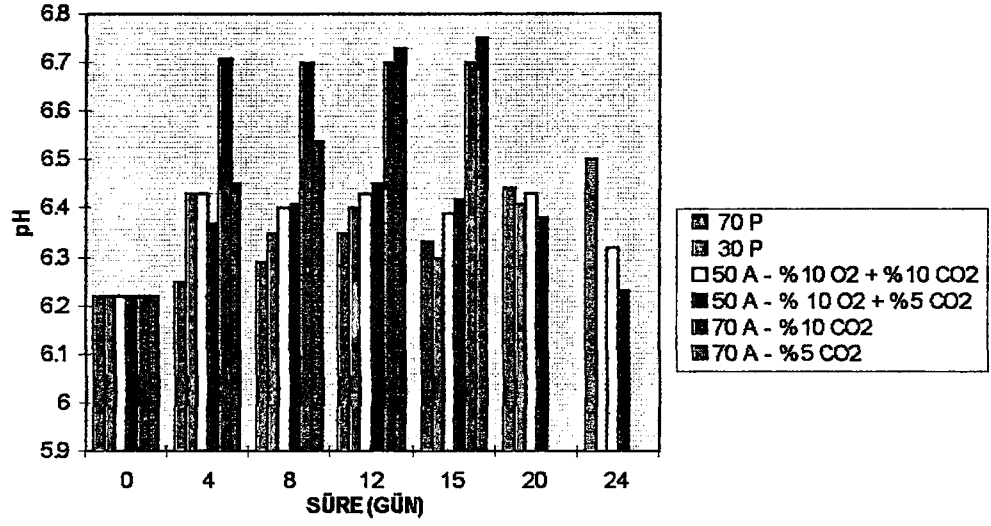
ortalama kurumadde miktarının başlangıç değerine göre yaklaşık % 4.5-6 arasında azaldığı belirlenmiştir.

Ispanağın solunum hızı 5°C de 0°C ye göre yaklaşık iki kat daha fazla olduğundan (Tablo 4.1.) 5°C deki substrat harcanımı 0°C ye göre daha fazladır. Depolama süresince 0°C deki 30 µm ve 70 µm pasif, 50 µm (%10 O₂ + %10 CO₂) ve 50 µm (%10 O₂ +%5 CO₂) aktif modifikasyon uygulamalarında ortalama kurumadde miktarlarının başlangıç değerine göre sırasıyla % +1.02, -1.23, -2.25 ve -1.33 olarak değiştiği belirlenmiştir. 70µm (%10 CO₂ - %5 CO₂) aktif modifikasyon uygulamalarında ambalaj ortamında oksijen olmadığı için aneorobik solunumun meydana geldiği tahmin edilmektedir. Bu sebepten dolayı ortalama kurumadde miktarlarının başlangıç değerine göre sırasıyla % -6.67 ve % -4.41 olarak değiştiği bulunmuştur.

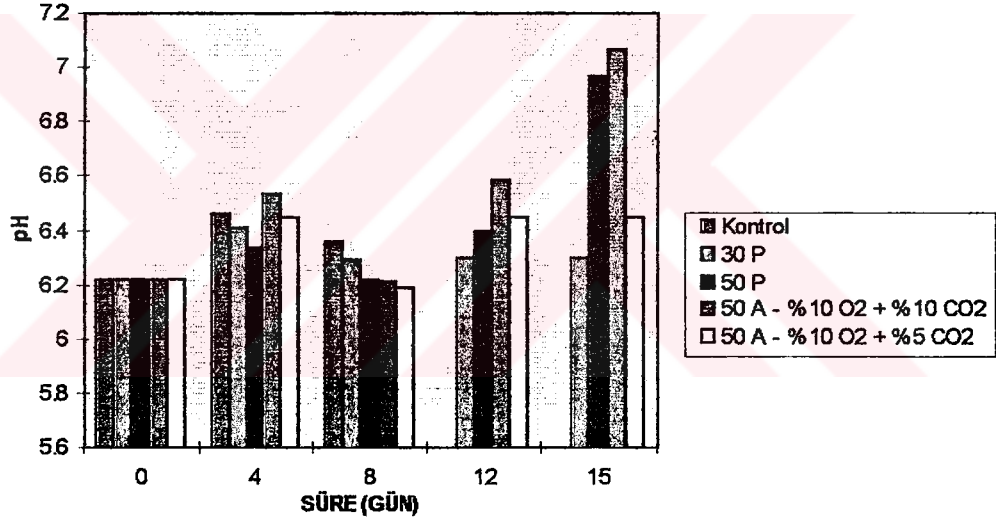
Ispanağın modifiye atmosferde ambalajlama tekniği ile düşük sıcaklıklarda (< 5°C) depolanmasının kurumadde değişimini azalttığı sonuçların değerlendirilmesi ile belirlenmiştir.

4.5. Depolama süresince pH değişimi

5°C deki kontrol örneğinde, 0 ve 5°C de bulunan pasif ve aktif modifikasyon yöntemleri uygulanarak ambalajlanmış ıspanak örneklerinde depolama süresince pH değişimi belirlenmiştir. Depolama süresince 0 ve 5°C de bulunan örneklerdeki pH değişimi sırasıyla Şekil 4.5.a. ve Şekil 4.5.b. de verilmiştir.



Şekil 4.5.a. 0°C de depolama süresince ıspanakta pH değışimi



Şekil 4.5.b. 5°C de depolama süresince ıspanakta pH değışimi

Ürün bazında, uygulanan işlem koşullarına ve depolama sürelerine bağlı olarak ortalama pH değerleri hesaplanmıştır. Başlangıç pH değeri göz önüne alınarak her bir uygulamadaki % sapma bulunmuştur. 0 ve 5°C de bulunan örneklerin pH'm da meydana gelen % sapmalar sırasıyla Tablo 4.5.a. ve Tablo 4.5.b. de verilmiştir.

Tablo 4.5.a. 0°C deki pH değişimi

Kalınlık-Yöntem	pH'daki artma (%)	Depolama süresi (Gün)
30 µm-Pasif	2.4	20
70 µm-Pasif	2.5	24
50 µm %10 O ₂ + %10 CO ₂	2.9	24
50 µm %10 O ₂ + % 5 CO ₂	2.5	24
70 µm %10 CO ₂	7.7	12-15
70 µm % 5 CO ₂	6.4	12-15

Tablo 4.5.b. 5°C deki pH değişimi

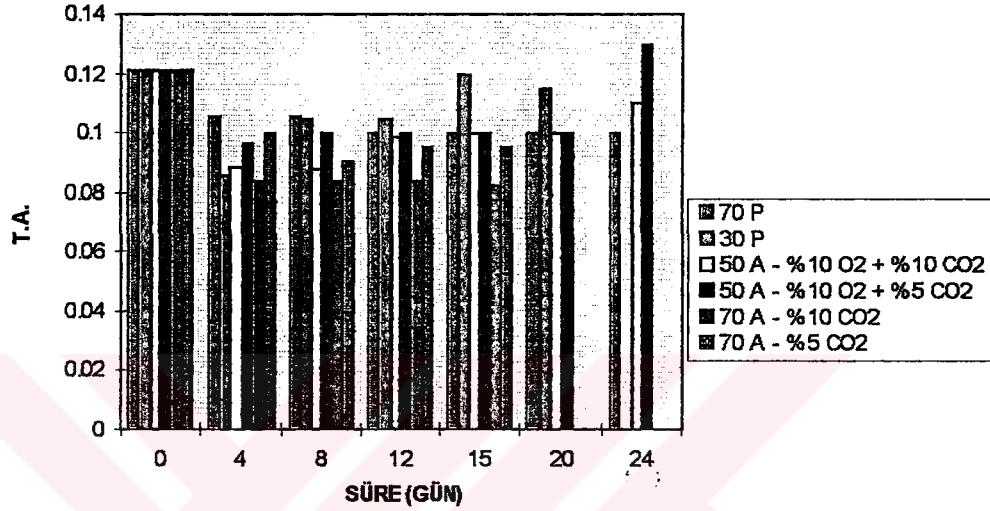
Kalınlık-Yöntem	pH'daki artma (%)	Depolama süresi (Gün)
Kontrol	3.1	8
30 µm-Pasif	2.0	15
50 µm-Pasif	4.2	15
50 µm %10 O ₂ + %10 CO ₂	6.1	15
50 µm %10 O ₂ + % 5 CO ₂	2.7	15

Konuyla ilgili yapılan bir çalışmada 0 ve 7°C deki depolara yerleştirilen giriş ve çıkışı olan geçirimsiz cam kavanozların içersindeki ıspanak örnekleri 9 gün boyunca %4.0 O₂ + %9.2 CO₂ + %82.8 N₂ bileşimindeki sürekli gaz akımı altında tutulmuştur. Bu şartlar altında depolanan ıspanak örneklerinde pH'daki artışın kontrol örneğine göre daha fazla olduğu belirtilmiştir.⁷

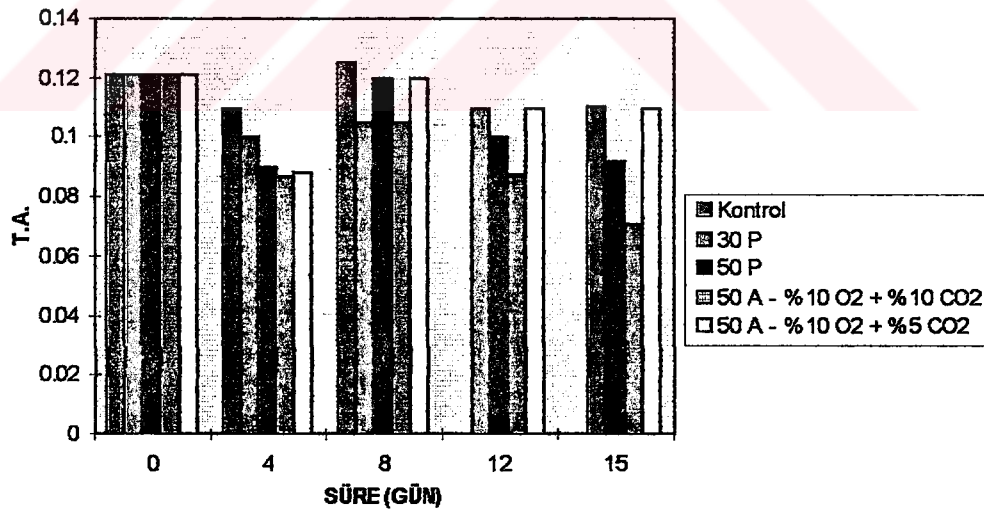
Yapılan değelendirmeler sonucu ıspanağın modifiye atmosferde ambalajlama tekniği ile muhafazasında pH değişiminin başlangıç ve denge gaz konsantrasyonlarına bağlı olduğu ve yüksek CO₂ (>7) ve düşük O₂ (< 4) seviyelerinin pH artışına yol aadığı belirlenmiştir. 0°C de depolanan amabalajlı ıspanak örneklerinde pH ın daha yavaş artığı ve 24 günlük depolama sonucu ulaşılan pH değerinin 5°C de ambalaj içersinde 15 günlük bir depolamaya göre daha az olduğu tespit edilmiştir. 0°C de bu bulgudan sapma gösteren 70 µm lık ve oksijen içermeyen torbalardaki ıspanak örneklerinin pH değeri yüksek CO₂ ve düşük O₂ (aneorobik solunum) içeriğinden dolayı artığı tahmin edilmektedir.

4.6. Depolama süresince toplam asitlik değişimi

5°C deki kontrol örneğinde, 0 ve 5°C de bulunan pasif ve aktif modifikasyon yöntemleri uygulanarak ambalajlanmış ispanak örneklerinde depolama süresince toplam asitlik değişimi belirlenmiştir. Depolama süresince 0 ve 5°C de bulunan örneklerdeki toplam asitlik değişimi sırasıyla Şekil 4.6.a. ve Şekil 4.6.b. de verilmiştir.



Şekil 4.6.a. 0°C de depolama süresince toplam asitlik değişimi



Şekil 4.6.b. 5°C de depolama süresince toplam asitlik değişimi

Ürün bazında, uygulanan işlem koşullarına ve depolama sürelerine bağlı olarak ortalama toplam asitlik değerleri hesaplanmıştır. Başlangıç toplam asitlik değeri göz önüne alınarak her bir uygulamadaki sapma bulunmuştur. Değerler 5°C için Tablo 4.6.a. ve 0°C için Tablo 4.6.b. verilmiştir.

Tablo 4.6.a. 5°C deki toplam asitlik değişimi

Kalınlık-Yöntem	Toplam asitlikteki azalma (%)	Depolama süresi (Gün)
Kontrol-Ambalajsız	-3.2	8
30 µm-Pasif	-12.3	15
50 µm-Pasif	-17.4	15
50 µm %10 O ₂ + %10 CO ₂	-28.0	15
50 µm %10 O ₂ + % 5 CO ₂	-11.7	15

Tablo 4.6.b. 0°C deki toplam asitlik değişimi

Kalınlık-Yöntem	Toplam asitlikteki azalma (%)	Depolama süresi (Gün)
30 µm-Pasif	-12.5	20
70 µm-Pasif	-16.3	24
50 µm %10 O ₂ + %10 CO ₂	-21.0	24
50 µm %10 O ₂ + % 5 CO ₂	-13.9	24
70 µm %10 CO ₂	-31.2	12-15
70 µm % 5 CO ₂	-21.6	12-15

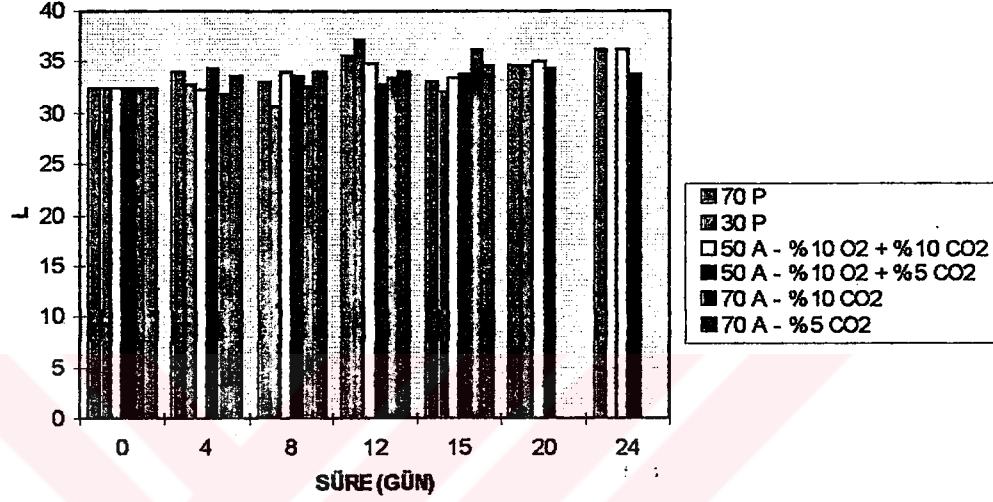
0 ve 5°C de depolanan ıspanak örneklerinde toplam asitliğin genelde artan pH değerleri ile azaldığı belirlenmiştir. 5°C deki kontrol örneğinde 8 günlük depolama sonunda toplam asitlikteki sapma 5°C deki diğer uygulamalara göre daha az olmuştur. Yapılan değerlendirmeler sonucu ambalaj ortamında artan CO₂ seviyeleri ile toplam asitliğin azaldığı ve pH'ın yükseldiğı tespit edilmiştir. Depolama süresi göz önüne alındığında 0°C de toplam asitliğin daha az değiştiğı söylenebilir.

4.7. Depolama süresince meydana gelen renk değişimlerinin belirlenmesi

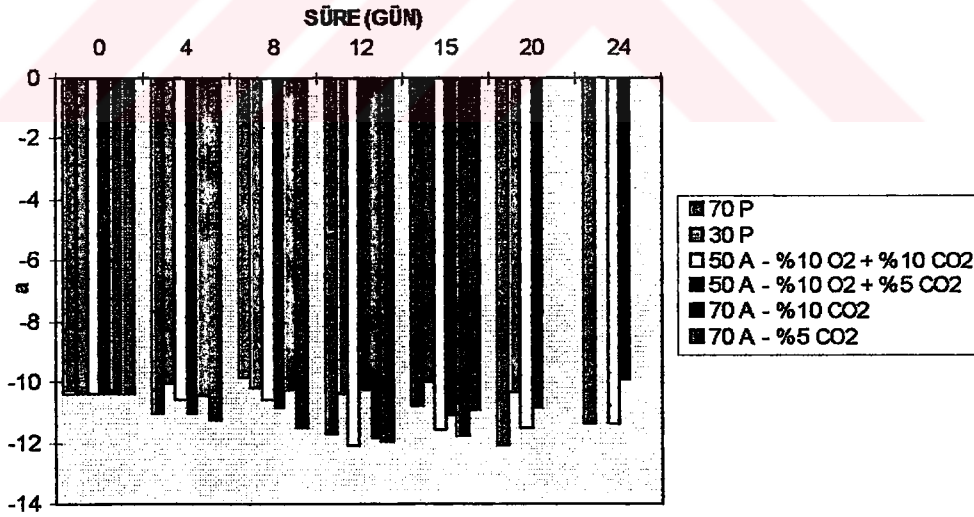
5°C deki kontrol örneğinde, 0 ve 5°C de bulunan pasif ve aktif modifikasyon yöntemleri uygulanarak ambalajlanmış ıspanak örneklerinde depolama süresince renkte meydana gelen değişimler belirlenmiştir.

4.7.1. Depolama süresince 0°C de meydana gelen renk değişimleri

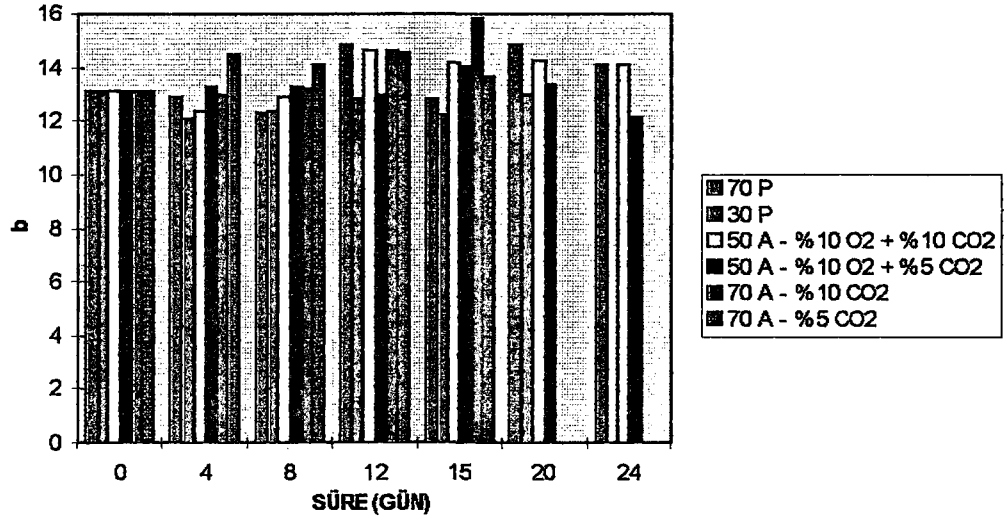
0°C de depolama süresince L, a, b, değerlerindeki değişimler sırasıyla Şekil 4.7.1.a., Şekil 4.7.1.b. ve Şekil 4.7.1.c. de verilmiştir.



Şekil 4.7.1.a. 0°C de depolama süresince "L" renk değerlerindeki değişim



Şekil 4.7.1.b. 0°C de depolama süresince "a" renk değerlerindeki değişim



Şekil 4.7.1.c. 0°C de depolama süresince "b" renk değerlerindeki değişim

Depolama süresince 0°C deki ambalajlı ürünlerde meydana gelen renk değişimlerini belirlemek amacıyla aşağıdaki formüller kullanılmıştır.^{16, 25}

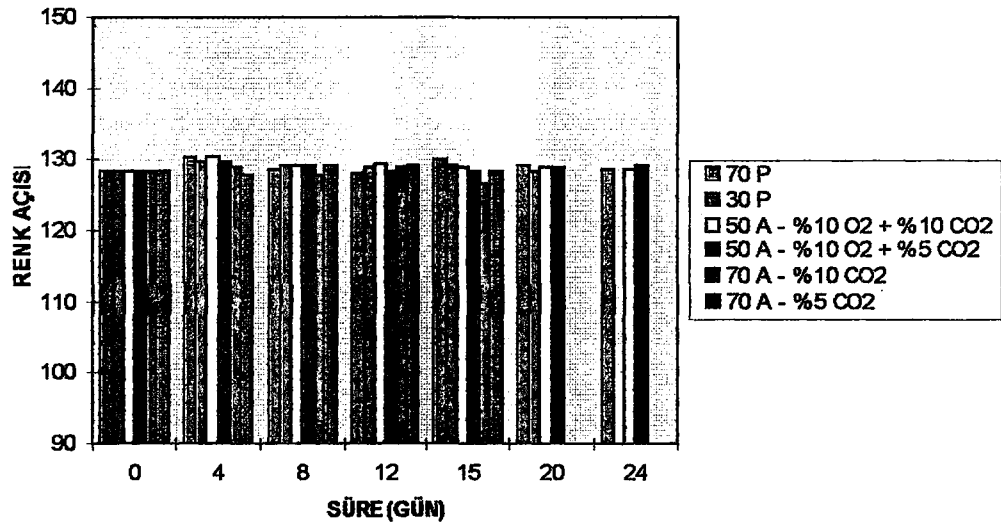
$$\text{Renk açısı} : \tan^{-1} (b/a) \quad (9)$$

$$\text{Parlaklık} : (a^2 + b^2)^{1/2} \quad (10)$$

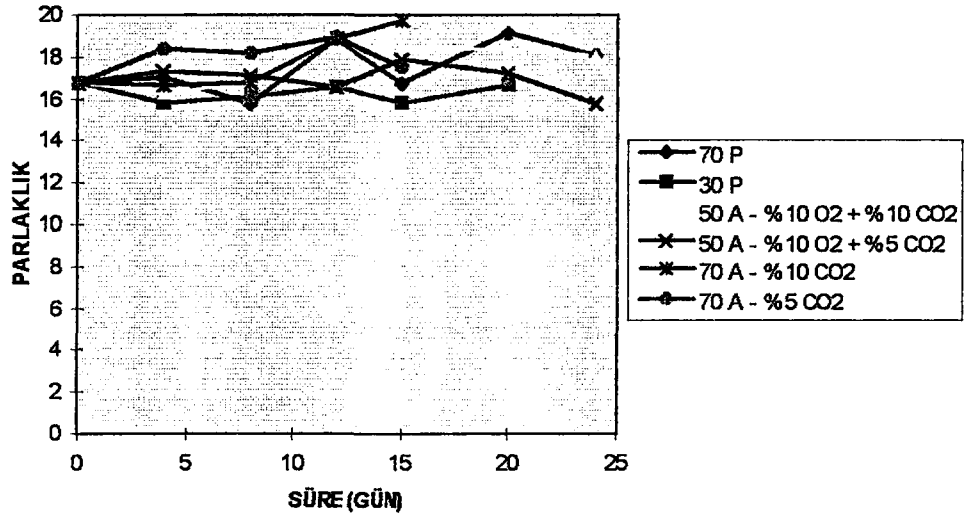
$$\text{Toplam renk değişimi } (\Delta E) : [(L - L_0)^2 + (a - a_0)^2 + (b - b_0)^2] \quad (11)$$

$$L_0, a_0, b_0 : 0 \text{ gün değerleri}$$

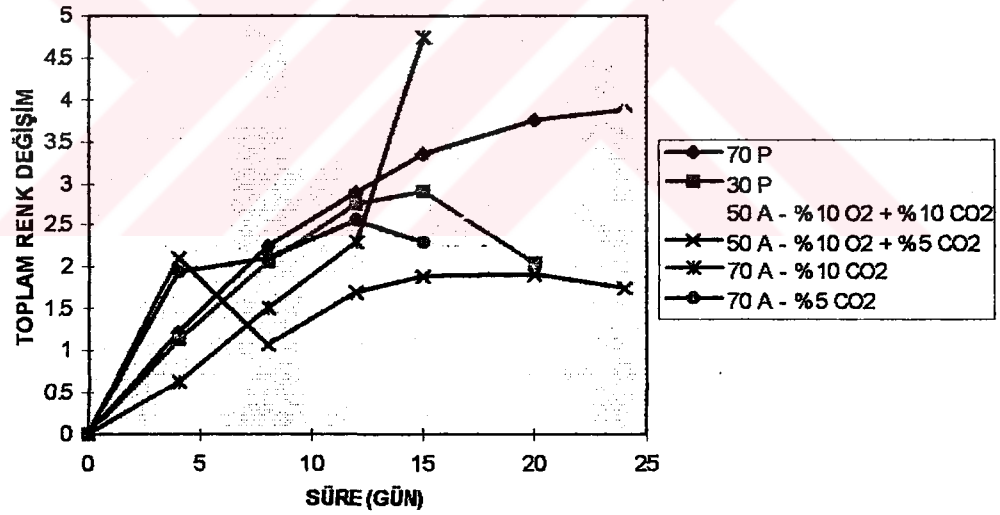
L, a, b, değerleri kullanılarak renk açısı, parlaklık ve toplam renk değişimi hesaplanabilir. Renk açısındaki değişim Şekil 4.7.1.d., parlaklıktaki değişim Şekil 4.7.1.e. ve toplam renk değişimi Şekil 4.7.1.f. de verilmiştir.



Şekil 4.7.1.d. Depolama süresince 0°C de renk açısında meydana gelen değişim



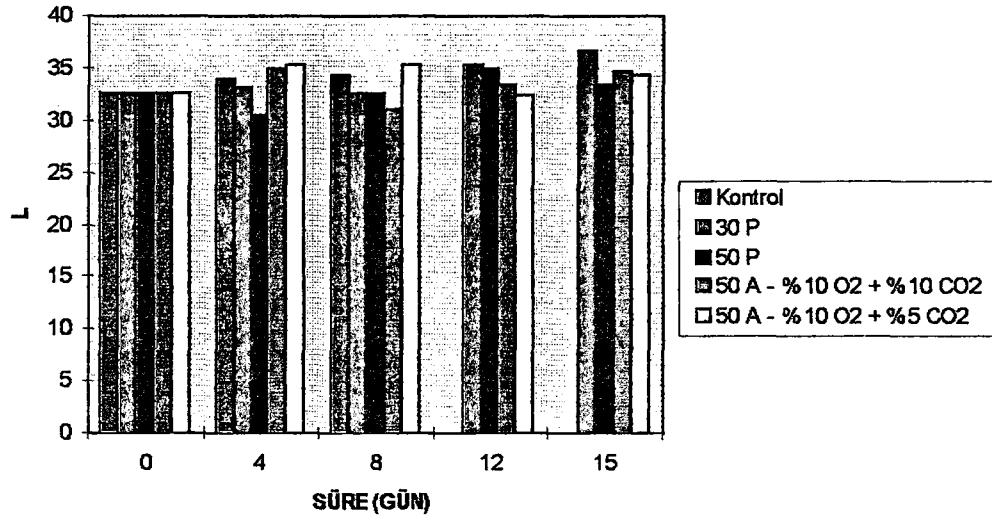
Şekil 4.7.1.e. Depolama süresince 0°C de ıspanağın parlaklığında meydana gelen değişim



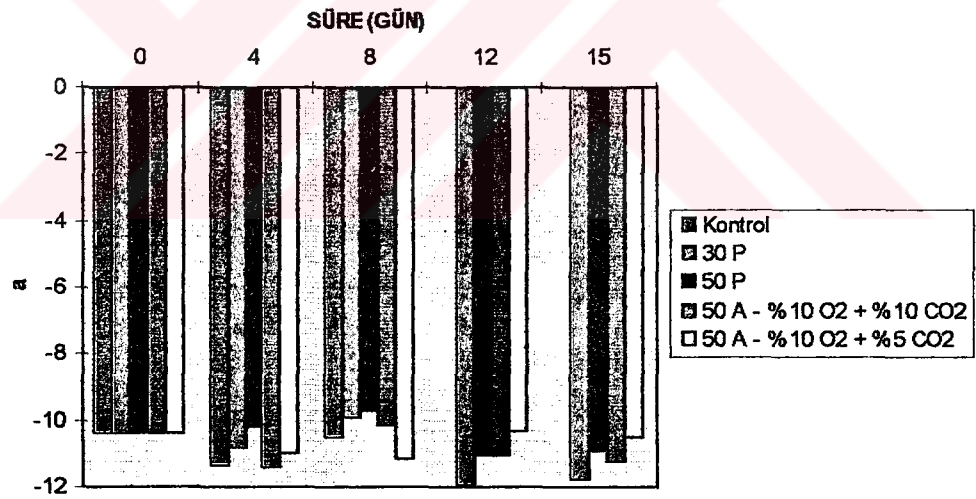
Şekil 4.7.1.f. Depolama süresince 0°C de ıspanakta toplam renk değişimi

4.7.2. Depolama süresince 5°C de meydana gelen renk değişimleri

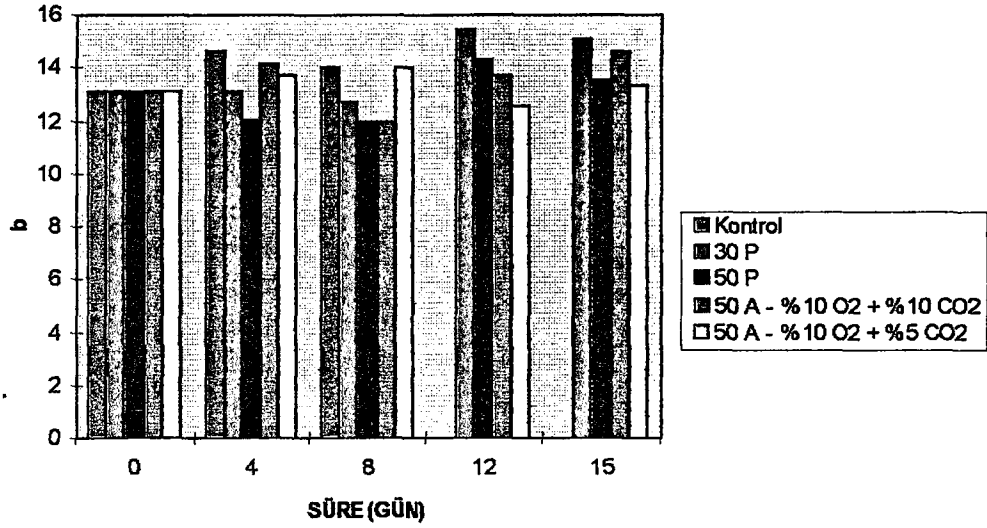
5°C de depolama süresince L, a, b, değerlerindeki değişimler sırasıyla Şekil 4.7.2.a., Şekil 4.7.2.b. ve Şekil 4.7.2.c. de verilmiştir.



Şekil 4.7.2.a. Depolama süresince 5°C de "L" renk değerlerindeki değişim

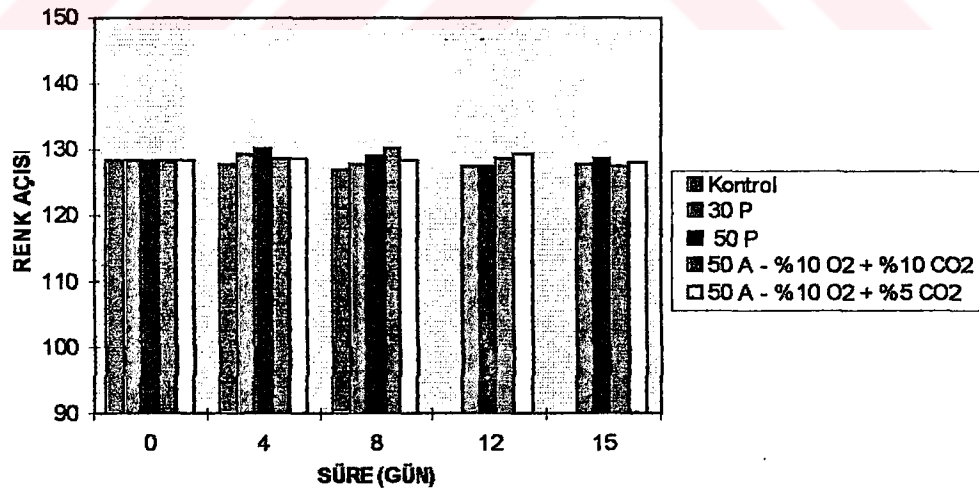


Şekil 4.7.2.b. Depolama süresince 5°C de "a" renk değerlerindeki değişim

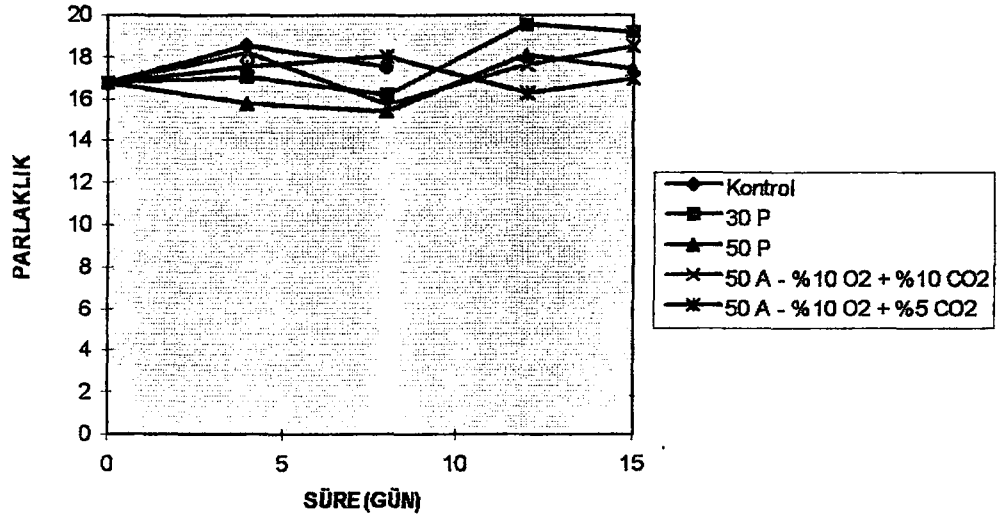


Şekil 4.7.2.c. Depolama süresince 5°C de "b" renk değerlerindeki değişim

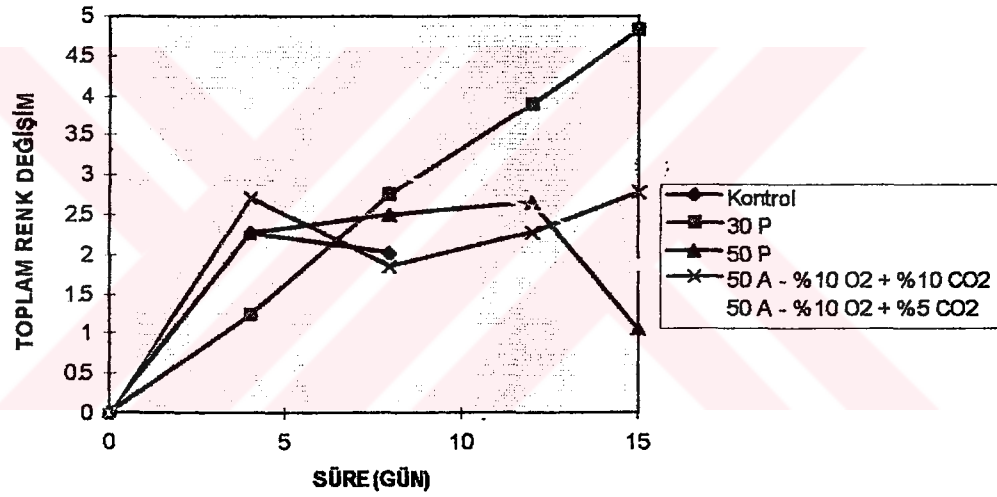
Renk açısı, parlaklık ve toplam renk değişimini belirleyebilmek için 5°C deki L, a, b, değerleri ve (4), (5), (6) fomülleri kullanılmıştır. Renk açısındaki değişim Şekil 4.7.2.d., parlaklıktaki değişim Şekil 4.7.2.e. ve toplam renk değişimi Şekil 4.7.2.f. de verilmiştir.



Şekil 4.7.2.d. Depolama süresince 5°C de renk açısında meydana gelen değişim



Şekil 4.7.2.e. Depolama süresince 5°C de ıspanağın parlaklığında meydana gelen değişim



Şekil 4.7.2.f. Depolama süresince 5°C de ıspanakta toplam renk değişimi

Renk açısı ıspanağın depolama süresince karakteristik yeşil renginde meydana gelen değişimi belirtmektedir. 90° lik bir açı, sarı rengi tanımlamaktadır. 90° daha büyük bir açı yeşil rengi, daha küçük bir açı ise kırmızı-sarı karışımındaki bir rengi belirtmektedir.¹⁶

Konuyla ilgili yapılan bir çalışmada ıspanak ambalajsız olarak 4 ve 20°C de 12 gün boyunca depolanmıştır. Depolama süresince 4°C de bulunan ıspanağın yeşil renginde (renk açısı) belirgin bir değişim olmadığı belirtilmiştir. 21°C de depolanan ıspanak örneklerinin karakteristik yeşil rengindeki değişimin daha fazla olduğu ve “a” değerinin artışıyla (-a’dan +a’ya geçiş) orantılı olduğu tespit edilmiştir. Ispanağın parlaklığındaki

değişimin 21°C de 4°C ye göre daha fazla olduğu ve azalan “b” değerinin buna etken olduğu belirtilmiştir.¹⁶

Aynı çalışmada depolama süresince ıspanaktaki toplam renk değişiminin 4°C de 21°C ye göre daha az olduğu tespit edilmiştir. 4°C de bulunan ıspanak örneklerinde toplam renk değişim değeri ilk dört günde artarak 6 değerine ulaştığı belirtilmiştir.¹⁶

Depolama süresince 0 ve 5°C de bulunan ambalajlı ve ambalajsız ıspanak örneklerinin yeşil renginde, parlaklığında ve toplam renk değişiminde, başlangıç değerine göre meydana gelen sapmalar sırasıyla Tablo 4.7.1. ve Tablo 4.7.2. de verilmiştir.

Tablo 4.7.2.a. Depolama süresince 0°C deki ambalajlı ıspanak örneklerinin renk parametrelerinde, başlangıç değerine göre meydana gelen % sapmalar

Kalınlık-Yöntem	Yeşil renk (%)	Parlaklık (%)	Toplam ortalama renk değişimi	Depolama süresi (gün)
30 µm-Pasif	0.6	- 4.2	2.17	20
70 µm-Pasif	0.66	5.1	2.89	24
50 µm %10 O ₂ + %10 CO ₂	0.73	6.2	2.33	24
50 µm %10 O ₂ + % 5 CO ₂	0.44	1.3	1.45	24
70 µm %10 CO ₂	-0.25	7.1	2.29	12-15
70 µm % 5 CO ₂	0.25	8.7	2.09	12-15

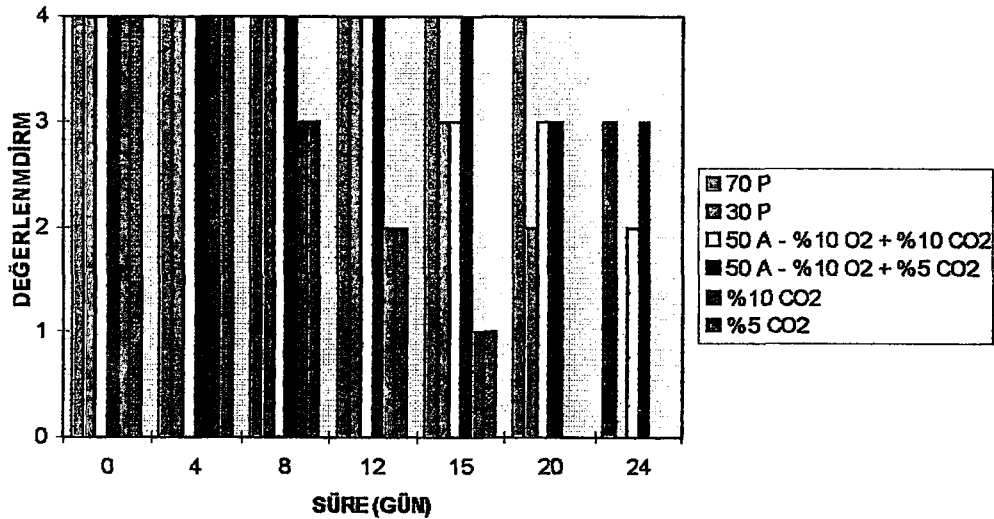
Tablo 4.7.2.b. Depolama süresince 5°C deki kontrol ve ambalajlı ıspanak örneklerinin renk parametrelerinde, başlangıç değerine göre meydana gelen % sapmalar

Kalınlık-Yöntem	Yeşil renk (%)	Parlaklık (%)	Toplam ortalama renk değişimi	Depolama süresi (gün)
Kontrol	-0.79	7.46	2.15	8
30 µm-Pasif	-0.12	7.22	2.55	15
50 µm-Pasif	0.41	-0.48	1.83	15
50 µm %10 O ₂ + %10 CO ₂	0.35	4.35	2.15	15
50 µm %10 O ₂ + % 5 CO ₂	0.23	2.47	2.10	15

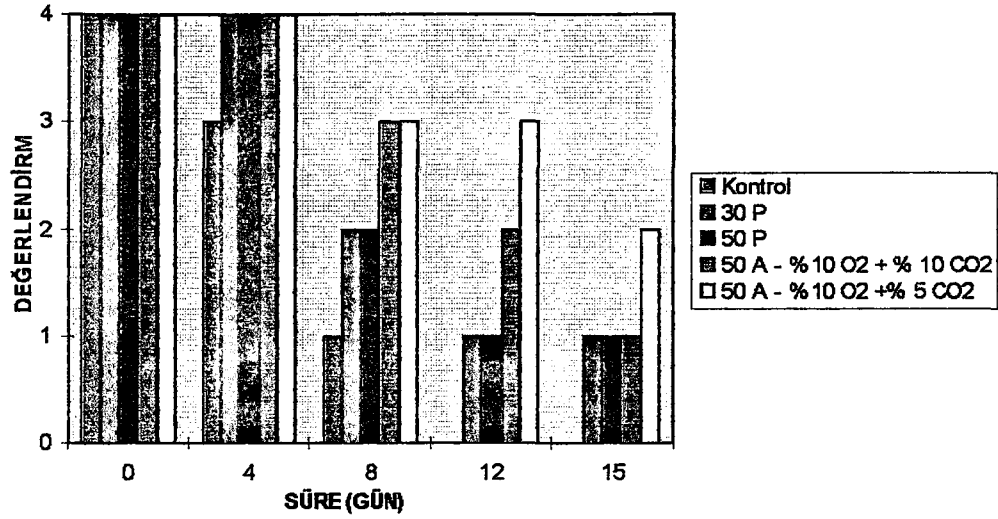
Depolama süresi göz önüne alındığında 0°C deki ıspanak örneklerinin renklerini daha fazla korudukları belirlenmiştir. Her iki sıcaklıkta %10 O₂ + %5 CO₂ başlangıç gaz bileşimi verilen 50 µm lik torbalardaki ıspanakların renk değişimi diğer uygulamalara göre daha az olmuştur. Bu uygulamanın renk korunumunda etkin olduğu belirlenmiştir. 5°C deki kontrol örneğinin 8 günlük depolama süresi sonunda yeşil rengini - % 0.79 oranında kaybettiği ve parlaklığının %7.46 oranında arttığı tespit edilmiştir. 5°C deki 30 µm lik torbalarda bulunan ıspanak örneklerinin 15 günlük depolama süresi sonunda yeşil renkteki sapmanın - %0.12 oranında olduğu ve parlaklığın %7.22 oranında arttığı belirlenmiştir.

4.8. Depolama süresince gerçekleştirilen duyuşal değerlendirmeler

Depolama süresince 5°C deki kontrol örneğinde, 0 ve 5°C de bulunan ambalajlı ıspanak örneklerinde duyuşal değerlendirmeler gerçekleştirilmiştir.¹⁵ Renk, tekstür ve koku parametreleri göz önüne alınarak yapılan duyuşal değerlendirmelerin sonuçları 0°C için Şekil 4.8.1. ve 5°C için Şekil 4.8.2 de verilmiştir.



Şekil 4.8.1. 0°C deki ıspanak örneklerinde depolama süresince gerçekleştirilen duyuşal değerlendirmeler



Şekil 4.8.2. 5°C deki ıspanak örneklerinde depolama süresince gerçekleştirilen duyusal değerlendirmeler

0°C de 24 günlük depolama sonunda en yüksek duyusal notu pasif modifikasyon işlemi uygulanmış 70 µm ve aktif modifikasyon işlemi ile %10 O₂ + %5 CO₂ gaz bileşimi verilmiş 50 µm lık torbalarda bulunan ıspanak örnekleri almıştır. 0°C de aktif modifikasyon işlemi ile oksijen verilmeden %10 ve %5 CO₂ altında, 70 µm lık torbalarla ambalajlanan ıspanak örnekleri depolamanın 12 günü bozulmuştur. Konuyla ilgili araştırmaların değerlendirilmesi sonucu, ıspanağın 0°C de ambalajsız olarak 10-14 gün arasında depolanabildiği ve bu süre sonunda kalitesini tamamen yitirdiği belirtilmiştir.^{3,5,22,23,24}

5°C de 15 günlük depolama sonunda en yüksek duyusal notu aktif modifikasyon işlemi ile %10 O₂ + %5 CO₂ gaz bileşimi verilmiş 50 µm lık torbalarda bulunan ıspanak örnekleri almıştır. Kontrol örneği 8 gün sonunda renk ve tekstür özellikleri tamamen yitirmiştir.

4.9. Kalite parametrelerinin genel değerlendirmesi

5°C deki kontrol örneğinde, 0 ve 5°C de bulunan pasif ve aktif modifikasyon yöntemleri uygulanarak ambalajlanmış ıspanak örneklerinde depolama sonundaki kalite değişimleri değerlendirilmiştir. 0 ve 5°C de depolanmış ıspanak örneklerinin kalite parametreleri ile ilgili bulgular sırasıyla Tablo 4.9.1. ve Tablo 4.9.2. de verilmiştir.

Kalite parametreleri bir bütün olarak göz önüne alındığında 0°C de 70 µm'lik pasif ve başlangıç gaz bileşimi %10 O₂ + %5 CO₂ olan 50 µm'lik torbalardaki ıspanak örneklerinin 24 günlük depolama süresi sonunda kalitelerini korudukları belirlenmiştir. Bu iki uygulamanın benzerlik göstermesi ulaşılan denge gaz konsantrasyon değerlerinin yakınlığından kaynaklanabilir. Pasif modifikasyon işlemi uygulanmış 70 µm'lik torbalardaki ıspanakların toplam renk değişim değerinde, 0°C deki diğer uygulamalara göre bir artış belirlenmiştir. Fakat duyuşal değerlendirmeyi yapan panelistler bu değişimi önemsiz bulmuşlardır. Ancak başlangıç gaz bileşimi %10 O₂ + %5 CO₂ olan 50 µm'lik torbalardaki ıspanak örneklerinde renk değişiminin diğer uygulamalar göre daha az olduğu yapılan değerlendirmeler sonucu belirlenmiştir.

5°C de , aktif modifikasyon işlemi uygulanarak %10 O₂ + %5 CO₂ gaz bileşimi verilmiş 50 µm'lik torbalardaki ıspanakların 15 günlük depolama sonunda diğer uygulamalara göre daha iyi kalite değerlerine sahip olduğu tespit edilmiştir. Ancak sıcaklığın yüksek olması ve buna bağlı olarak solunum hızının artması depolama süresini düşürmüştür.

ıspanağın, modifiye atmosferde ambalajlama tekniği kullanılarak yukarıda belirtilen uygulamalar ile 0°C de depolanmasının kalitenin korunumu ve dayanma süresini artırılması bakımından faydalı olduğu belirlenmiştir.

Tablo 4.9.1. 0°C de pasif ve aktif modifikasyon örneklerinde kalite parametrelerinin genel değerlendirilmesi

Başlangıç gaz bileşimi ve torba kalınlığı	Denge gaz bileşimi	% Ağırlık kaybı	K.M deki % sapma	pH daki % sapma	T.A. deki % sapma	Toplam renk değişimi	Duyusal değerlendirme	Depolama süresi (gün)
30 µm - pasif	%12 O ₂ + %(2-3) CO ₂	-0.178	+1.02	2.4	-12.5	2.17	2	20
70 µm - pasif	%6.6 O ₂ + %5.5 CO ₂	-0.110	-1.23	2.5	-16.3	2.89	3	24
50 µm - aktif	% (5-6) O ₂ + % (4-5) CO ₂	-0.175	-2.25	2.9	-21.0	2.33	2	24
%10 O ₂ + %10 CO ₂	%9 O ₂ + %(3-4) CO ₂							
50 µm - aktif	% (5-6) O ₂ + % (5-6) CO ₂	-0.117	-1.33	2.5	-13.9	1.45	3	24
%10 O ₂ + %5 CO ₂	%9 O ₂ + %(3-4) CO ₂							
70 µm - aktif	%1.1 O ₂ + %(5-6) CO ₂	-0.134	-6.67	7.7	-31.2	2.29	1	12-15
%10 CO ₂								
70 µm - aktif	%0.9 O ₂ + %(5-6) CO ₂	-0.113	-4.41	6.6	-21.6	2.09	1	12-15
% 5 CO ₂								

Tablo 4.9.2. 5°C de kontrol örneğinde, pasif ve aktif modifikasyon örneklerinde kalite parametrelerinin genel değerlendirilmesi

Başlangıç gaz bileşimi ve torba kalınlığı	Denge gaz bileşimi	% Ağırlık kaybı	K.M deki % sapma	pH daki % sapma	T.A. deki % sapma	Toplam renk değişimi	Duyusal değerlendirme	Depolama süresi (gün)
Kontrol	%20.9 O ₂ + %0.03 CO ₂	-30.4	+21.84	3.1	-3.2	2.15	0	8
30 µm - pasif	%10 O ₂ + % (3-4) CO ₂	-	-6.25	2.0	-12.3	2.55	1	15
50 µm - pasif	%8.2 O ₂ + %5.6 CO ₂	0.221	-5.02	4.2	-17.4	1.83	1	15
50 µm - aktif	%4 O ₂ + %(5-6) CO ₂	0.171	-4.61	6.1	-28.0	2.15	1	15
%10 O ₂ + %10 CO ₂		0.235						
50 µm - aktif	%4 O ₂ + %(4-5) CO ₂	-	-4.41	2.7	-11.8	2.10	2	15
%10 O ₂ + %5 CO ₂		0.149						

5. Enzim kinetiği uygulamaları kullanılarak modifiye atmosferde ambalajlama sisteminin matematiksel modellenmesi

Modifiye atmosferde ambalajlama tekniğinde solunum hızına ve denge O_2 ve CO_2 konsantrasyonlarına etken parametreler aşağıdaki gibi sıralanabilir :

$$R_{O_2} = f(T, [O_2]_i, [CO_2]_i, w)$$

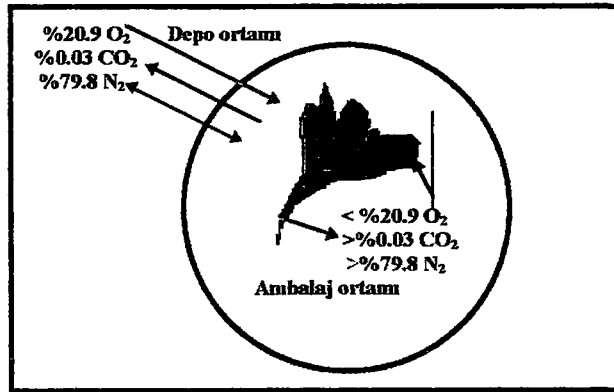
$$R_{CO_2} = g(T, [O_2]_i, [CO_2]_i, w)$$

$$R_{CO_2} = RQ \cdot R_{O_2}$$

$$[O_2]_d = f(R_{O_2}, P_{O_2}, A, t)$$

$$[CO_2]_d = g(RQ, R_{O_2}, P_{CO_2}, A, t)$$

Ambalaj ortamı ile depo ortamı arasındaki gaz geçişi Şekil 5. de gösterilmiştir. Ürünün solunumundan dolayı ambalaj ortamında azalan O_2 konsantrasyonu ile depo ortamındaki sabit O_2 yüzdesi arasında bir kısmi basınç farkı oluşur. Bu yüzden depo ortamından ambalaj ortamına O_2 geçişi olur. Aynı şekilde ambalaj ortamında solunumdan dolayı artan CO_2 konsantrasyonu ile depo ortamındaki sabit CO_2 yüzdesi arasında kısmi basınçta bir farklılık meydana gelir ve ambalaj ortamından depo ortamına CO_2 geçer.



Şekil 5. Depo ortamı ile ambalaj ortamı arasındaki gaz geçişi

Kabuller :

- Depo ortamında sıcaklık sabit $(d(T)/dt = 0)$
- Ambalaj ortamında artan CO_2 konsantrasyonunun O_2 tüketimi üzerine etkisi yok $(d(R_{O_2})/d([CO_2]_i) = 0)$
- Depolama süresince ambalajlama malzemesinin $(0^\circ C)$ sıcaklığındaki gaz geçirgenliği sabit $(d(P_{O_2})/dt = 0, d(P_{CO_2})/dt = 0)$
- Ürünün solunum ısısı ambalaj ve depo ortamının sıcaklığını etkilememektedir $(d(T)/d(E_R) = 0)$

$i = 0.1.2.3.4.....n$

$$\frac{d[O_2]_i}{dt} = - \frac{V_m \cdot [O_2]_i \cdot w}{V \cdot (K_m + [O_2]_i)} + \frac{P_{O_2} \cdot A \cdot (0.209 - [O_2]_i)}{V} \quad (12)$$

$$\frac{d[CO_2]_i}{dt} = \frac{V_m \cdot [O_2]_i \cdot w \cdot RQ}{V \cdot (K_m + [O_2]_i)} - \frac{P_{CO_2} \cdot A \cdot ([CO_2]_i - 0.0003)}{V} \quad (13)$$

Aynı denklemde O_2 ve CO_2 konsantrasyonları yerine kısmi hacimleri yazacak olursak denklem aşağıdaki gibi ifade edilir :

$$\frac{d(V_{O_2})_i}{V \cdot dt} = - \frac{V_m \cdot (V_{O_2})_i \cdot w}{V^2 \cdot (K_m + (V_{O_2})_i/V)} + \frac{P_{O_2} \cdot A \cdot (0.209 - (V_{O_2})_i/V)}{V} \quad (14)$$

$$\frac{d(V_{CO_2})_i}{V \cdot dt} = \frac{V_m \cdot (V_{O_2})_i \cdot w \cdot RQ}{V^2 \cdot (K_m + (V_{O_2})_i/V)} - \frac{P_{CO_2} \cdot A \cdot ((V_{CO_2})_i/V) - 0.0003}{V} \quad (15)$$

Yukarıdaki birinci dereceden basit kesirlere ayrılabilen diferansiyel denklemler aşağıda belirtilen başlangıç şartlar göz önünde bulundurularak çözülmüştür.

$$t = 0 \quad \left. \begin{array}{l} \\ \\ \end{array} \right\} \Rightarrow \quad \begin{array}{l} [O_2]_0 = 0.209 \\ [CO_2]_0 = 0.0003 \end{array}$$

$$[O_2]_{i+1} = [O_2]_i + 1 - e^{[(V_m \cdot w \cdot [O_2]_i) + (P_{O_2} \cdot A \cdot K_m \cdot [O_2]_i) - ((0.209 - [O_2]_i) \cdot P_{O_2} \cdot A)] \cdot t / V} \quad (16)$$

$$[CO_2]_{i+1} = [CO_2]_i + 1 - e^{[-(RQ \cdot V_m \cdot w \cdot [O_2]_i) + (P_{CO_2} \cdot A \cdot K_m \cdot [O_2]_i) - (([CO_2]_i - 0.0003) \cdot P_{CO_2} \cdot A)] \cdot t / V} \quad (17)$$

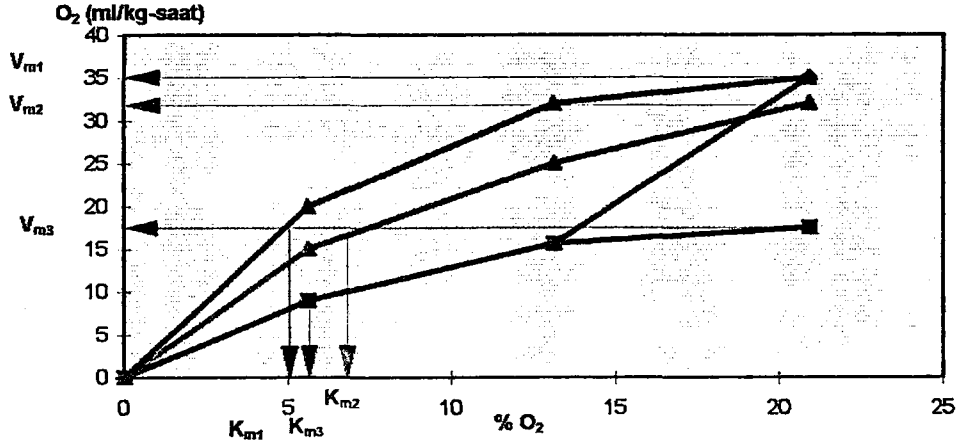
Ambalaj ortamındaki O_2 ve CO_2 konsantrasyonlarının zamana bağlı olarak değişimi, difransiyel denklemlerin çözümü sonucu elde edilen 16 ve 17 no'lu denklemler kullanılarak hesaplanabilir. 16 no'lu denklemde $i = 0$, $t = 0$ ve $[O_2]_0 = 0.209$ değerleri için $[O_2]_1$ bulunur. Bu şekilde adım adım bulunan $[O_2]_{i+1}$ değerleri 17 no'lu denklemde yerleştirilerek $[CO_2]_{i+1}$ değerleri hesaplanır. Bu hesaplamaları kolaylaştırmak amacıyla bir bilgisayar programı geliştirilmiştir (EK₁).

5.1. Enzim kinetiği uygulamalarından faydalanarak ıspanağın farklı O_2 konsantrasyonları altındaki solunum hızının belirlenmesi

7 ve 8 no'lu formüller kullanılarak ambalaj ortamındaki farklı denge O_2 konsantrasyonlarındaki O_2 tüketim hızları, V_m ve K_m değerleri bulunur. Hesaplamalardan şu sonuçlar elde edilmiştir :

% 20.9 O_2	→	34.86 ml/kg-saat	O_2 tüketim hızı
		43.16 ml/kg-saat	CO_2 üretim hızı
% 13.1 O_2	→	15.41 ml/kg-saat	O_2 tüketim hızı
% 5.6 O_2	→	8.92 ml/kg-saat	O_2 tüketim hızı

Hesaplanan bu değerlerden çizilen % O_2 - O_2 (ml/kg-saat) tüketim grafiğinden (Şekil 5.1.) V_m ve K_m sayıları bulunur.



Şekil 5.1. 0°C de Vm ve Km değerlerinin hesaplanması amacıyla çizilen % O₂ - O₂ (ml/kg-saat) tüketim grafiği

Ispanak örneklerinin sıcaklığı uygulanan önsoğutma işlemi ile yaklaşık 5°C'ye getirildiği Bölüm 3.3.2. de belirtilmiştir. Ambalajlı ıspanak örneklerin sıcaklığında taşıma (pilot tesis - soğuk hava deposu) esnasında da bir artışın meydana geldiği bilinmektedir. Bu yüzden depolama başlangıcında ($t = 0$, $[O_2]_0 = 0.209$) ıspanağın solunum hızında 0°C'deki gerçek değerine göre bir artış olacaktır.

Grafikteki yeşil eğri önsoğutma koşullarının tam anlamıyla sağlandığında yani ürün sıcaklığının depolama sıcaklığına getirildiği şartları tanımlamaktadır (V_{m3}, K_{m3}). Yeşil-lacivert eğri ise deneydeki şartları yansıtmaktadır. Koyu yeşil eğri başlangıç şartları göz önünde bulundurularak çizilmiştir (V_{m1}, K_{m1}). Ancak bu üç eğrinin hesaplamalar açısından kullanışsız olduğundan ortalama değerler kullanılarak kırmızı eğri çizilmiştir (V_{m2}, K_{m2}). Hesaplamalar sonucu aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

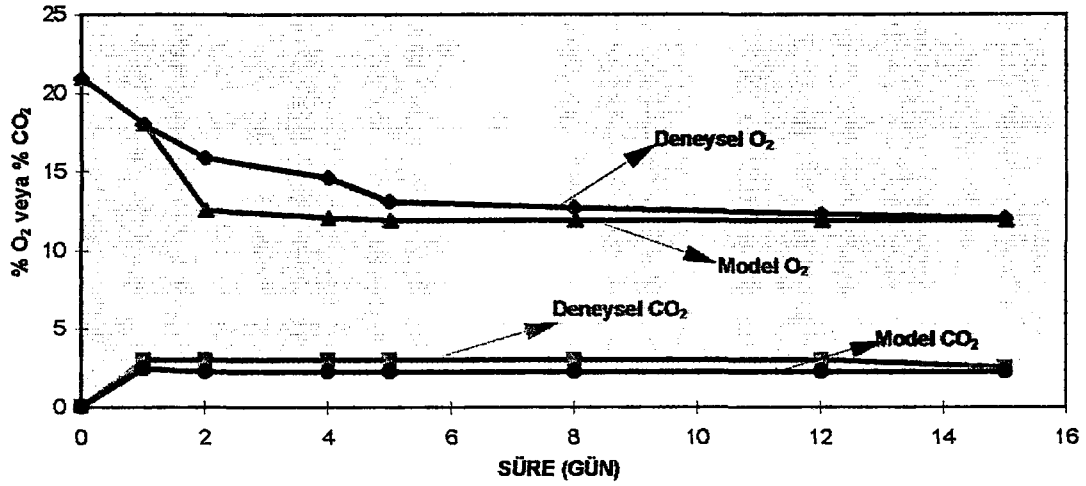
V _{m2}	:	32 ml/kg-saat
K _{m2}	:	% 6.0
R.Q. ₍₀₎	:	1.24

5.2. Model denklemleri ile hesaplanan O₂ ve CO₂ konsantrasyonları ile deneysel sonuçların karşılaştırılması

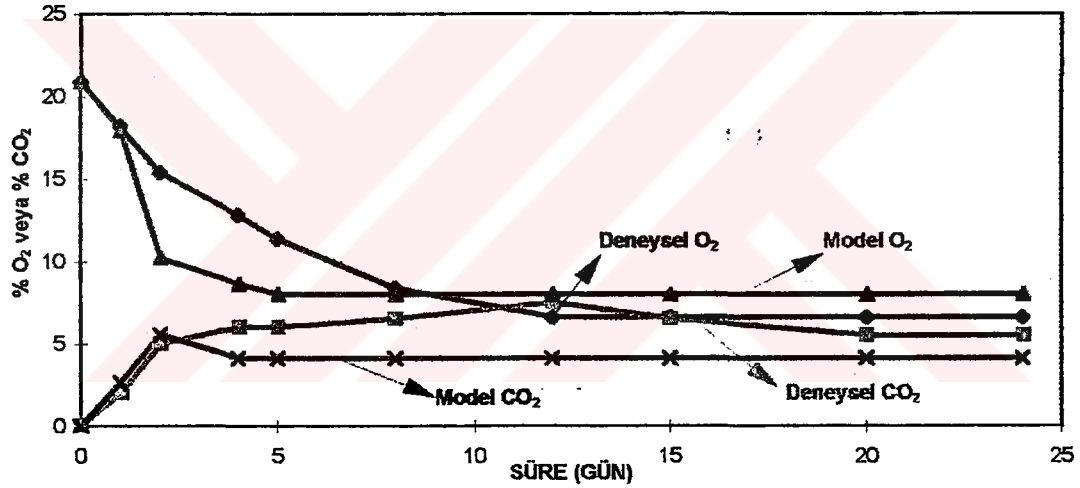
0°C için hesaplanan V_{m2}, K_{m2} ve R.Q. değerleri O₂ ve CO₂ model denklemlerinde yerleştirilerek pasif modifikasyon uygulamasındaki denge O₂ ve CO₂ değerleri zamana bağlı olarak bulunmuştur. Bu hesaplamalar için gerekli veriler aşağıda belirtilmiştir :

V _m	:	32 ml/kg-saat
K _m	:	0.06
w	:	0.07 kg
A _{30 μm}	:	0.08 m ²
A _{70 μm}	:	0.07 m ²
V	:	2000 ml
[O ₂] ₀	:	0.209
[CO ₂] ₀	:	0.0003
R.Q.	:	1.24
P _{O₂} (30 μm)	:	39.8 ml/m ² - saat
P _{CO₂} (30 μm)	:	139.92 ml/m ² - saat
P _{O₂} (70 μm)	:	21.04 ml/m ² - saat
P _{CO₂} (70 μm)	:	65.61 ml/m ² -saat

Model denklemlerinde hesaplanan denge O₂ ve CO₂ değerleri ile deneysel sonuçlar arasındaki uyum 30 μm ve 70 μm'lik torbalar için sırasıyla Şekil 5.2.a. ve Şekil 5.2.b. gösterilmiştir.



Şekil 5.2.a. 0°C de 30 µm'lik torbalarda ulaşılan deneysel ve model denge O₂ ve CO₂ konsantrasyonları



Şekil 5.2.b. 0°C de 70 µm'lik torbalarda ulaşılan deneysel ve model denge O₂ ve CO₂ konsantrasyonları

Model denklemlerinden elde edilen denge O₂ ve CO₂ konsantrasyonları ile deneysel sonuçlar arasındaki farklıklar Tablo 5.1. de belirtilmiştir.

Tablo 5.2. 0°C de deneysel denge O₂ ve CO₂ değerleri ile model denklemlerinden elde edilen sonuçların karşılaştırılması

Yöntem	30 µm - % O ₂	30 µm - % CO ₂	70 µm - % O ₂	70 µm - % CO ₂
Deneysel	12	2	6.6	5
Model	11.83	2.28	8	4.5

Tablo 5.2. de görüldüğü gibi model denklemlerinden elde edilen denge değerleri ile deneysel denge değerleri oldukça yakındır. Ancak 70 μm 'lik torbalarda, model denklemlerinde zamana karşı hesaplanan O_2 ve CO_2 konsantrasyonları ile deneysel değerler arasında farklılıklar saptanmıştır (Şekil 5.2.b.). Aynı bulgu'ya 30 μm 'lik torbalarda rastlanmamıştır (Şekil 5.1.a.).

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada yüksek solunum hızından dolayı çabuk bozulan ıspanağın modifiye atmosferde ambalajlama tekniği ile dayanma süresinin uzatılmasına çalışılmıştır. Ayrıca optimum ambalajlama parametrelerini belirlemek amacıyla enzim kinetiği uygulamalarından faydalanarak modelleme çalışması gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıda belirtilmiştir.

1- Ispanağın modifiye atmosferde ambalajlama tekniği ile 0°C de muhafazası 5°C 'ye göre daha iyi sonuçlar vermiştir.

2- Ambalaj ortamındaki % 7'nin üzerindeki CO₂ konsantrasyonlarının ıspanağın kalitesini olumsuz yönde etkilediği tespit edilmiştir. Aynı etkiyi ambalaj ortamındaki % 4 altındaki O₂ konsantrasyonları da göstermiştir.

3- 0°C de 70 µm'lik pasif modifikasyon ve 50 µm'lik başlangıç gaz bileşimi %10 O₂ + %5 CO₂ olan torbalardaki ıspanak örnekleri 24 gün boyunca kalitelerinde önemli değişiklikler olmadan muhafaza edilebilmiştir.

4- Ispanağın modifiye atmosferde muhafazasında, denge gaz bileşiminin %5 O₂ + %5 CO₂ olarak ambalaj ortamında sağlanması kalite korunumu ve dayanma süresinin uzaması bakımından olumlu sonuçlar vermiştir.

5- Elde edilen model denklemlerinin pasif modifikasyon işlemine uygunluk gösterdiği hesaplanan zamana bağlı O₂ ve CO₂ konsantrasyonları ile deneysel O₂ ve CO₂ konsantrasyonlarının karşılaştırılması sonucu belirlenmiştir.

6- Yapılan modelleme çalışması ürünün solunum ısı, ambalaj ortamında artan CO₂ konsantrasyonunu ve depo ortamında meydana gelen sıcaklık dalgalanmaları da göz önünde bulundurularak geliştirilmesi gerekmektedir.

KAYNAKLAR

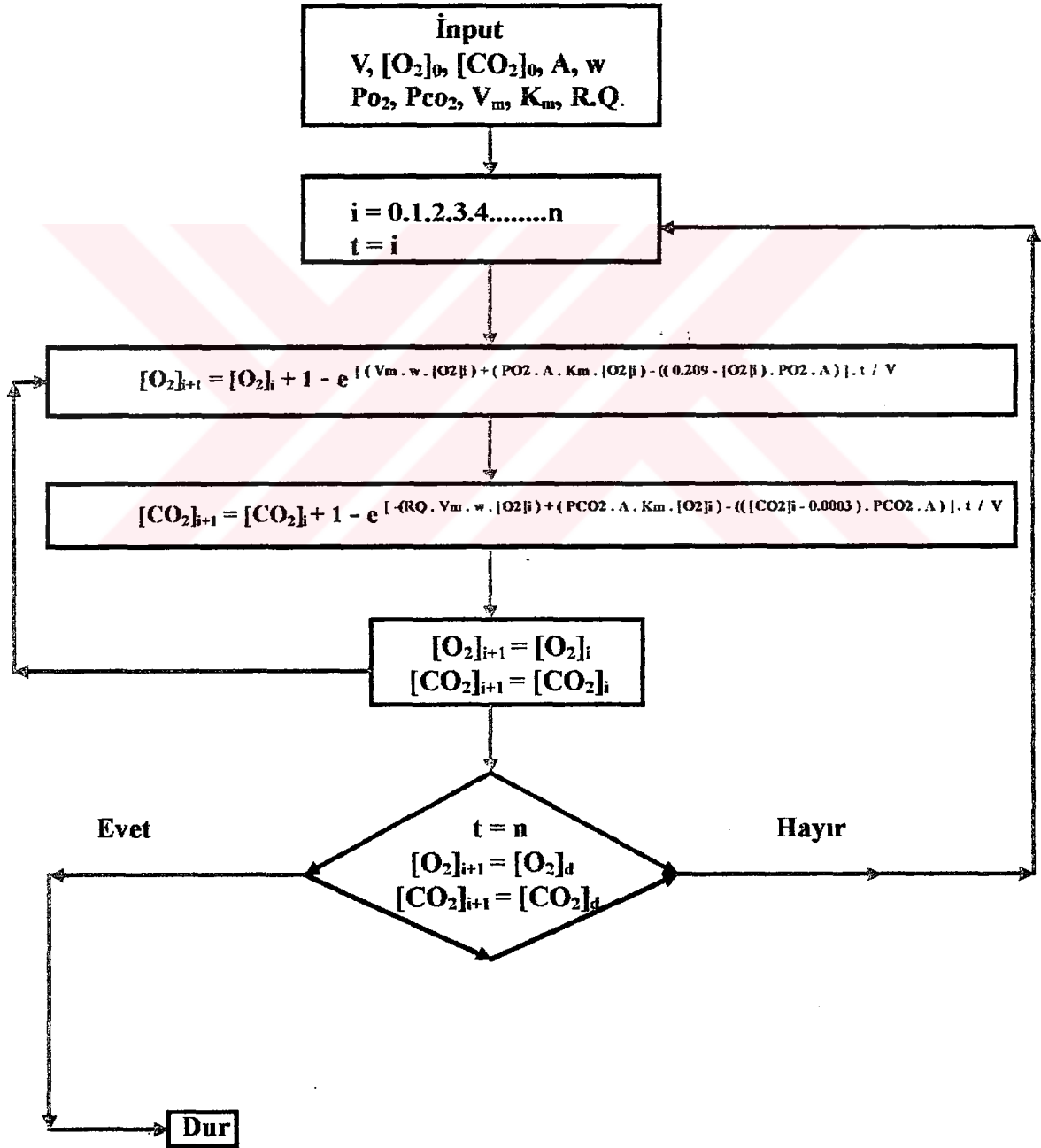
1. SALUNKE, D. K., BOLIN, H. R., and REDDY, N. R., (1991), Storage, Processing, and Nutritional Quality of Fruits and Vegetables, 2 nd Edition, Vol 1, pp. 45-64, pp. 243-294.
2. WEICHMANN, J., (1987), Postharvest Phsyiology of Vegetables, J. WEICHMANN (ed.), Marcel Dekker, Inc., pp. 25-43.
3. CALDERON, M., BARKAI, R., (1990), Food Preservation by Modified Atmospheres, 402 pp.
4. KADER, A. A., ZAGORY, D., AND KERBEL, E. L., (1989), Modified Atmosphere Packaging of Fruits and Vegetables, pp. 1-30.
5. HARDENBURG, R. E., WATADA, A. E., and WANG, C. Y., (1986), The Commerical Storage of Fruits, Vegetables, and Florist and Nursey Stocks, U.S. Dep. of Agric. Agric. Handb., 66, 130 pp.
6. MCGILL, J. N., NELSON, A. I., and STEINBERG, M. P., (1966), Effects of Modified Storage Atmospheres on Askorbic Acid and other Quality Characteristics of Spinach, J. Food Sci. 31(4), pp. 510-515.
7. BURGHEIMER, F. T., MCGILL, J. N., NELSON, A. I., and STEINBERG, MP., (1967), Chemical Changes in Spinach Stored in Air and in Controlled Atmosphere, Food Technol., 21, pp. 109-111.
8. DAMARLI, E., (1995), Yerli Kiraz ve Kayısının Modifiye Atmosferde Ambalajlanması, Doktora Tezi, 181 pp.
9. KAYS, S. J., (1991), Secondary metabolic processes and products, Postharvest Physiology of Perishable Plant Products, Van Nostrand Reinhold Inc, pp. 143
10. ANON, (1990), Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemist, K, HELDRICH (ed.), 1298 pp.
11. KADER, A. A., (1980), Prevention of Ripening in Fruits by use of Controlled Atmosphere, Food Tech., March, pp. 51-54.
12. KADER, A. A., (1986), Biochemical and Physiological basis for effects of Controlled and Modified atmospheres on Fruits and vegetables, Food Tech., May, pp. 99-104.

13. SZCZESNIAK, A. S., (1983), Physical Properties of Foods : What they are and their relation to other food properties, Physical Properties of Foods, PELEG, M. (ed.), pp.1-37., The AVI Publishing Company Inc, Westport, Connecticut.
14. FRANCIS, F. J., (1983), Colorimetry of foods, Physical Properties of Foods, PELEG, M., and BAGLEY, E. B. (eds.), pp.105-123., The AVI Publishing Company Inc, Westport, Connecticut.
15. WATADA, A. E., KIM, D. S., KIM, K. S., and HARRIS, C. T., (1987), Quality of Green Beans, Bell Peppers and Spinach Stored in Polyethylen Bags, J. of Food Sci., Vol. 52, no. 6, pp.1637-1641.
16. GNANASEKHARAN, V., SHEWFELT, R. L., CHINNAN, M. S., (1992), Detection of Color Changes in Green Vegetables, Vol. 57, No. 1, J. of Food Science, pp.149-154.
17. GORRIS, L. G. M. and PEPPELENBOS, H. W., (1992), Modified Atmospheres and Vacuum Packaging to Extend the Shelf Life of Respiring Food Products., HortTechnology, July/Sept., pp.303-309.
18. SHEWFELT, R. L., (1986), Postharvest Treatment for extending the Shelf Life of Fruits and Vegetables., Food Tech., May, pp.70-80.
19. VAN DEN BERG, L., (1981), The Role of Humidity, Temperature, and Atmospheric Composition in Maintaining Vegetable Quality During Storage, Division of Biological Sciences, National Research Council of Canada, Ottawa, Canada, pp.96-107.
20. GORRIS, L. G. M., WITTE, Y., BENNIK, M. H. J., (1994), Refrigerated Storage Under Moderate Vacuum, ZFL 45, No.6, pp.63-66.
21. BALLANTYNE, A., STARK, R., and SELMAN, J. D., (1984), Modified Atmosphere Packaging of Broccoli Florets, Inter. J. of Food Sci. and Tech., 23, pp.353-360.
22. RYALL, A. L., LIPTON, W. J., (1972), Handling, Transportation, and Storage of Fruits and Vegetables, Vol.1, 473 pp.
23. NICOLAISEN, L., (1972), Leitfaden für die Lagerung von Gemüse und Essbaren Früchten, 91 pp., 3. Auflage.
24. HOLDSWORTH, S., D., (1983), The Preservation of Fruit and Vegetable Food Products., 159 pp.
25. BARTH, M. M., KERBEL, E. L., PERRY, A. K., and SCHMIDT, S. J., (1983), Modified atmosphere packaging affects ascorbic acid, enzyme activity and market quality of broccoli, Journal of Food Science, Vol.58, pp.140-143.

26. RISSE, L. A., MILLER, W. R., and BEN YEHOOSHUA, S., (1985), Weight loss, firmness, colour and decay development of individually film wrapped tomatoes, *Trop. Sci*, Vol.25, pp. 117-121.
27. LABUZA, T. P., and BREENE, W. M., (1989), Applications of " Active Packaging " for improvement of shelf-life and nutritional quality of fresh and extended shelf life foods, *Journal of Food Processing & Preservation*, Vol 13, pp.1-69.
28. HAYAKAWA KAN-ICHI, HENIG, Y. S., and GILBERT, G. S., (1975), Formulae For Predicting Gas Exchange of Fresh Produce in Polimeric Film Package, *Journal of Food Science* Vol. 40, pp. 186-191.
29. HENIG, Y. S., and GILBERT, G. S., (1975), Computer Analysis of the Variables Affecting Respiration and Quality of Produce Packaged in Polimeric Films, *Journal of Food Science* Vol. 40, pp. 1033-1035.
30. DEILY, R. K., and RIZVI, S. S. H., (1981), Optimization of Parameters for Packaging of Fresh Peaches in Polimeric Films, *Journal of Food Process Engineering* Vol. 5, pp.23-41.
31. LEE, D. S., HAGGAR, P. E., and YAM, K.L., (1991), Model for Fresh Produce Respiration in Modified Atmospheres Based on Principles of Enzyme Kinetics, *Journal of Food Science* Vol. 56, No.6, pp. 1580-1585.
32. CAMERON, A. C., TALASILA, P. C., and JOLLES, D. W., (1995), Predicting Film Permeability Needs for Modified Atmosphere Packaging of Lightly Processed Fruits and Vegetables, *HortScience*, Vol.30 (1), pp. 24-34.
33. FORNEY, C. F., RIJ, R. E., and ROSS, R. S., (1989), Measurement of Broccoli Respiration Rate in Film-wrapped Packages, *HortScience*, Vol. 24, (1), pp.111-113.
34. BEVERIDGE, T., DAY, N. B., (1991), Respiration of Sweet Cherries Determined in Sealed, Impermeable Containers, *Can. Inst. Sci. Technol. J.* Vol. 24, No.5, pp.213-217.
35. BAILEY, E. J., OLLIS, F. D., (1986), *Biochemical Engineering Fundamentals*, Mc Graw Hill, Second edition, pp. 86-306.

EK₁

Modifiye atmosferde ambalajama tekniğinde ambalaj ortamı denge O₂ ve CO₂ konsanrasyonlarının hesaplanması için gerçekleştirilen bilgisayar programı :



ÖZGEÇMİŞ

ADI : BURÇ
SOYADI : YAVUZDOĞAN
DOĞUM TARİHİ : 26.9.1971
DOĞUM YERİ : İSTANBUL
MEDENİ DURUM : BEKAR

ÖĞRENİM DURUMU

Burç Yavuzdoğan ailesi ile birlikte 1973 yılında Almanya'nın Essen şehrine gitmiştir.

1977-1981 (İLKOKUL) : HEINRICHSTRUNCK GRUNDSCHULE
1981-1983 (ORTA OKUL) : LUISENSCHULE GYMNASIUM
1983 : TÜRKİYE'YE KESİN DÖNÜŞ
1983-1988 (ORTA 2-LİSE2) : FENERBAHÇE LİSESİ
1988-1993 : Y.T.Ü. KİMYA MÜHENDİSLİĞİ
LİSANS BİTİRME ÖDEVİ : GIDA SANAYİNDE KULLANILAN DOĞAL VE YAPAY TATLANDIRICILAR ÜZERİNE ARAŞTIRMA VE ÜRETİM YÖNTEMLERİ - NİN İNCELENMESİ.
1993-... : Y.T.Ü. FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ KİMYA-METALÜRJİ FAKÜLTESİ KİMYA MÜH. YÜKSEK LİSANS
YABANCI DİL : ALMANCA-İNGİLİZCE

YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
ULUSLARARASI İLİŞKİLER VE
DİPLOMATİYE BAKANLIĞI