

755000

**SODYUM TRİPOLİFOSFAT' IN KIRMIZI ETLERDE
DİFÜZYONUNUN İNCELENMESİ VE ETLERİN
YAPISAL ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ**

S. BELGİN ÜNAL

**Mersin Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü**


**Gıda Mühendisliği
Ana Bilim Dalı**


YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Tez Danışmanı
Prof. Dr. H. İbrahim Ekiz**

**MERSİN
OCAK - 2004**

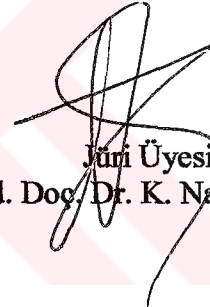
Bu tezin gerek bilimsel içerik, gerekse elde edilen sonuçlar açısından tüm gerekleri sağladığı kanaatine ulaşan ve aşağıda imzaları bulunan biz jüri üyeleri, sunulan tezi oy birliği ile Yüksek Lisans Tezi olarak kabul ediyoruz.


Tez Danışmanı
Prof. Dr. H. İbrahim EKİZ


Jüri Üyesi
Yrd. Doç. Ferruh ERDOĞDU
(İkinci Danışman)


Jüri Üyesi
Doç. Dr. İ. Nüzhet TÜRKER


Jüri Üyesi
Doç. Dr. Ayla ÖZER


Jüri Üyesi
Yrd. Doç. Dr. K. Nazan TURHAN

Bu tezin Fen Bilimleri Enstitüsü yazım kurallarına uygun olarak yazıldığı Enstitü Yönetim Kurulu'nun 1.6.../02.../2014... tarih ve 2014.../24... sayılı kararıyla onaylanmıştır.


Prof. Dr. Mahir TURHAN
Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün bilgiler, şekil, çizelge ve fotoğraflardan kaynak göstermeden alıntı yapmak 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu hükümlerine tabidir.

ÖZ

Polifosfatlar, et ve et ürünlerinde önemli fonksiyonel özellikleri dolayısıyla geniş kullanım alanları olan katkı maddeleridir. Polifosfatlar, özellikle etlerin su tutma kapasitesini arttırarak, pişme kayıplarını azaltmakta ve yapısal özelliklerini geliştirmektedir. Ete fosfat girişinde difüzyon mekanizması etkili olduğundan polifosfatların ürün içerisindeki hareketlerini belirlemek amacıyla et örnekleri farklı konsantrasyonlardaki (% 0, 2, 4, 6) sodyum tripolifosfat (STP) çözeltilerinde 90 dakika bekletilmiş ve geliştirilen spektrofotometrik yöntemle elde edilen deneysel veriler kullanılarak STP ve ortofosfatlar için difüzyon katsayıları hesaplanmıştır. Difüzyon katsayılarının belirlenmesinde literatürde kullanılan Fourier Sayısı >0,2 yaklaşımının doğru sonuç vermediği görülmüş ve yine analitik çözümlerin kullanıldığı başka bir yöntemle hesaplamalar yapılmıştır. Bu yöntemle bulunan katsayılarla yapılan hesaplamalar sonucunda etlere yayılan STP miktarları belirlenmiştir. Et bünyesinde doğal olarak oldukça fazla ortofosfat bulunduğu için etlerde STP ve ortofosfatlar için eşanlı zıt bir difüzyon mekanizması şekillenmiştir. Ayrıca pişme süreleri ve STP' ların et örneklerinin yapısal özellikleri ile pişme kayıpları üzerindeki etkileri etlerin yine % 0, 2, 4, 6 STP çözeltileri ile muameleleri sonrasında farklı zamanlarda (0, 5, 10, 15 dakika) pişirilmeleri ile belirlenmiş, STP' ların etlerde pişme kayıpları ve sertliği azalttığı saptanmıştır. Ayrıca etlere yayılan STP miktarındaki artış ile etlerin elastikiyeti ve sıkılığının arttığı saptanmıştır. Bunların yanısıra etlerin pişirilme sürelerinin artması ile pişme kayıpları ile sertlik, sakızimsılık, ve çiğnenemezlik gibi yapısal özelliklerinde de artışlar gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: STP, eşanlı zıt difüzyon, yapısal özellikler, pişme kayıpları.

ABSTRACT

Polyphosphates are widely used additives in meat and meat products due to their functional properties. They reduce cook losses and improve textural properties especially by increasing water holding capacity. Since diffusion is effective mechanism for phosphate movement into meats, knowledge of diffusion coefficient (D) is important. For this, meat samples were dipped in different concentrations of sodium tripolyphosphate (STP) solutions (0, 2, 4, and 6%) for 90 min, and experimental data obtained by the developed spectrophotometric method was used to determine the D -values of STPs and orthophosphates. In D -value determination, the literature method (Fourier number $>0,2$) was found to be not accurate, and another method based on analytical solutions was used. Natural orthophosphate content of meats and STPs resulted in counter-current multi-component diffusion. Using the obtained D -values, amount of STPs diffusing into meats were predicted. Then, effects of cook time and STPs on cook losses and textural properties were determined by cooking meats for 0, 5, 10, 15 min after dipping in the above STP solutions for different times. STPs were found to decrease cook losses and hardness in meats. While the increase in STP concentration increased springiness and cohesiveness values, the increase in cook time resulted in higher cook losses, hardness, gumminess and chewiness values.

Keywords: STP, simultaneous counter-current diffusion, textural properties, cooking losses.

TEŞEKKÜR

Danışman hocalarım Sayın Prof. Dr. H. İbrahim Ekiz ve Sayın Yrd. Doç. Dr. Ferruh Erdoğan' ya tezimin her aşamasındaki yardımları ve manevi destekleri için en içten teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans öğrenimim süresince bana her türlü yardımı esirgemeyen değerli bölüm hocalarıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tezimle ilgili laboratuvar çalışmalarının yürütülmesine olanak sağlayan Mersin Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümü' ne teşekkür ederim.

Her biri çok renkli ve her an yanımda olan sevgili bölüm arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Ve sevgili ailem, kızınız olduğum için çok şanslıyım, hayatımın her anında sevginizi ve güveninizi hissettirdiğiniz için en içten teşekkürler...

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZ	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	iv
ÇİZELGELER DİZİNİ	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR	xiii
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	3
2.1. GIDA SANAYİNDE KULLANILAN FOSFATLAR	3
2.2. ET ve ET ÜRÜNLERİNDE FOSFAT KULLANIMI ve FOSFATLARIN BU ÜRÜNLERDEKİ ETKİ MEKANİZMALARI	4
2.3. ET ve ET ÜRÜNLERİNDE KULLANILAN FOSFAT MİKTARININ BELİRLENMESİ	9
2.4. FOSFAT DİFÜZYONU	11
2.5. FOSFATLARIN ET ve ET ÜRÜNLERİNİN YAPISAL ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİLERİ	13
3. MATERYAL ve METOT	20
3.1. MATERYAL	20
3.1.1. Et Örnekleri	20
3.1.2. Fosfat Tayininde Kullanılan Kimyasallar	20
3.2. METOT	20
3.2.1 Fosfat Tayin Yöntemi	20
3.2.1.1. Yöntemin ilkesi	21

3.2.1.2. Çözelti hazırlama	21
3.2.1.3. Standart kalibrasyon eğrisinin oluşturulması	22
3.2.1.4. Deneyin yapılışı	23
3.2.1.5. Ette fosfat tayini	24
3.2.1.6. Çözeltide fosfat tayini	24
3.2.1.7. Geri kazanım	25
3.2.2. Parça Eterde Fosfat Difüzyonu	25
3.2.3. Parça Eterde Fosfat Difüzyonu Üzerine Ortam Sıcaklığının Etkisi	25
3.2.4. Sodyum Tripolifosfat` ın (STP) Eterin Pişme Kayıpları ve Yapısal Özellikleri Üzerine Etkisinin Belirlenmesi	26
3.2.4.1 Örnek hazırlama ve pişme kayıpları	26
3.2.4.2. Eterde yapısal özelliklerin belirlenmesi (Tekstür profil analizi-TPA).....	26
4. BULGULAR ve TARTIŞMA	29
4.1. YÖNTEM ÇALIŞMASI	29
4.1.1. Yöntem Geliştirilmesi	29
4.1.2. Geri Kazanım	30
4.2. DİFÜZYON	31
4.2.1. STP Çözeltilerindeki Parça Eterde Fosfat Difüzyon Mekanizması	31
4.2.2. STP Difüzyon Katsayısı Değerinin Belirlenmesi	41
4.2.3. Ortam Sıcaklığının Fosfat Difüzyonu Üzerindeki Etkisi	45
4.3. PARÇA ETLERDE PİŞME KAYIPLARI	55
4.4. PARÇA ETLERDE YAPISAL ÖZELLİKLER	59
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER	73

KAYNAKLAR	75
EKLER	83
EK 1. ET BOYUTLARININ MATEMATİKSEL OLARAK BELİRLENMESİ.....	84
EK 2. SABİT DİFÜZYON KATSAYISI DEĞERİNİN HESAPLANMASI.....	86
EK 3. ORTALAMA DİFÜZYON KATSAYISI DEĞERİNİN HESAPLANMASI.....	89
EK 4. PIŞME KAYIPLARI ve YAPISAL ÖZELLİKLER: İSTATİSTİKSEL ANALİZ SONUÇLARI.....	93
ÖZGEÇMİŞ	99



ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 4.1. Geri Kazanım Sonuçları	30
Çizelge 4.2. Farklı STP Difüzyon Katsayısı Değerlerinde Et Örneklerinin (2×2×2 cm, 5×5×1 cm) Aynı Muamele Zamanlarındaki Konsantrasyon Oranı Değerleri	33
Çizelge 4.3. Etlere Fosfat Artışları Gözlenmeden Önce ve Gözlendikten Sonraki Süreçlerde Sodyum Tripolifosfat Çözeltilerindeki (% 2, 4, 6 STP) Ortofosfat Artış Hızlarının Sayısal Değerleri (K: dk ⁻¹)	39
Çizelge 4.4. % 2, 4, 6 STP Çözeltilerindeki Etlere Yüzeyinde Katman Oluşumu Öncesi ve Sonrasında Sodyum Tripolifosfat Difüzyon Katsayısı Değerleri	43
Çizelge 4.5. % 2, 4, 6 STP Çözeltilerindeki Etlere Yüzeyinde Katman Oluşumu Öncesi ve Sonrasında Sodyum Tripolifosfat Difüzyon Katsayısı (Đ×10 ¹¹) Değerlerinin Zamanla Değişimi	44
Çizelge 4.6. Difüzyon Katsayısındaki Değişmelerin Konsantrasyon Oranlarına Etkileri (Referans: Fo=0,02, Bi=10; Fo=0,02, Bi=∞)	45
Çizelge 4.7. Sıcaklık Artışı (T=28-30°C) ile Saptanan Sodyum Tripolifosfat (STP) Difüzyon Katsayısı (Đ) Değerleri	52

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 3.1. Standart Kalibrasyon Eğrisi	23
Şekil 3.2. Şekil 3.2. Tekstür Profil Analiz (TPA) Eğrisi (% 6 STP çözeltisinde 20 dk bekletilip 15 dk pişirilen et örneği için, 2×2×2 cm et boyutları)	27
Şekil 4.1. Sodyum Tripolifosfat (STP) ve Kontrol Grubu Çözeltilerinde Zamana Karşı Fosfat Konsantrasyonu Değişimleri (5×5×1 cm et boyutları, T=16-18°C)	32
Şekil 4.2. Sodyum Tripolifosfat (STP) ve Kontrol Grubu Çözeltileri İçerisindeki Etlerde Zamana Karşı Fosfat Konsantrasyon Oranları Değişimi (2×2×2 cm et boyutları, T=16-18°C)	34
Şekil 4.3. Sodyum Tripolifosfat (STP) Çözeltilerinde Zamana Karşı Fosfat Konsantrasyon Değişimleri (2×2×2 cm et boyutları, T=16-18°C)	36
Şekil 4.4. Kontrol Grubu Çözeltisi ve % 6 Sodyum Tripolifosfat (STP) Çözeltisinde Zamana Karşı Fosfat Konsantrasyon Değişimi (2×2×2 cm et boyutları, T=16-18°C)	37
Şekil 4.5. Sodyum Tripolifosfat (STP) Çözeltilerindeki Etlerde Fosfat Artışı Gözlenmeden Önceki Süreçte Zamana Karşı Fosfat Konsantrasyonu Değişimleri (2×2×2 cm et boyutları, T=16-18°C)	38
Şekil 4.6. Sodyum Tripolifosfat (STP) Çözeltilerindeki Etlerde Fosfat Artışı Gözlendikten Sonraki Süreçte Zamana Karşı Fosfat Konsantrasyonu Değişimleri (2×2×2 cm et boyutları, T=16-18°C)	38
Şekil 4.7. Sodyum Tripolifosfat (STP) Çözeltilerindeki Etlerde Katman Oluşumu Öncesinde STP Konsantrasyon Oranı Artışları (2×2×2 cm et boyutları, T=16-18°C)	42
Şekil 4.8. Sodyum Tripolifosfat (STP) Çözeltilerindeki Etlerde Katman Oluşumu Sonrasında STP Konsantrasyon Oranı Artışları (2×2×2 cm et boyutları, T=16-18°C)	42

Şekil 4.9.	Ortalama Difüzyon Katsayısı Değerleri Kullanılarak % 2, 4 ve 6 STP Çözeltilerinde Bekletilen Etlerdeki Zamana STP (%) Artışları (2×2×2 cm et boyutları, T=16-18°C)	44
Şekil 4.10.	28-30°C Ortam Sıcaklığında Kontrol Grubu ve Sodyum Tripolifosfat (STP) Çözeltileri İçerisindeki Etlerde Fosfat Konsantrasyon Oranları Değişimleri (2×2×2 cm et boyutları)	47
Şekil 4.11.	28-30°C Ortam Sıcaklığında Sodyum Tripolifosfat (STP) Çözeltilerinde Zamana Karşı Fosfat Konsantrasyon Değişimleri (2×2×2 cm et boyutları)	48
Şekil 4.12.	Üç Farklı Ortam Sıcaklığında (16-18°C, 28-30°C ve 34-36°C) Kontrol Grubu Çözeltilerinde Bekletilen Etlerde Zamana Karşı Ortofosfat Değişimleri (2×2×2 cm et boyutları)	49
Şekil 4.13.	Üç Farklı Ortam Sıcaklığında (16-18°C, 28-30°C ve 34-36°C), % 2 Sodyum Tripolifosfat (STP) Çözeltisinde Bekletilen Etlerdeki Fosfat Değişimleri (2×2×2 cm et boyutları)	50
Şekil 4.14.	Üç Farklı Ortam Sıcaklığında (16-18°C, 20-22°C ve 28-30°C), % 6 Sodyum Tripolifosfat (STP) Çözeltisinde Bekletilen Etlerdeki Fosfat Değişimleri (2×2×2 cm et boyutları)	50
Şekil 4.15.	Üç Farklı Ortam Sıcaklığında (16-18°C, 28-30°C ve 34-36°C) % 2 Sodyum Tripolifosfat (STP) Çözeltilerinde Bekletilen Etlerde Zamana Karşı STP Konsantrasyon Değişimleri (2×2×2 cm et boyutları)	51
Şekil 4.16.	Üç Farklı Ortam Sıcaklığında (16-18°C, 20-22°C ve 28-30°C) % 6 Sodyum Tripolifosfat (STP) Çözeltilerinde Bekletilen Etlerde Zamana Karşı STP Değişimleri (2×2×2 cm et boyutları)	51
Şekil 4.17.	28-30°C Ortam Sıcaklığında Sodyum Tripolifosfat (STP) Çözeltilerindeki Parça Etlerde STP Konsantrasyon Oranı Artışları (2×2×2 cm et boyutları)	52
Şekil 4.18.	İki Farklı Ortam Sıcaklığında (16-18°C ve 28-30°C) Kontrol Grubu Çözeltilerinde Zamana Karşı Fosfat Konsantrasyon Değişimleri (2×2×2 cm et boyutları)	53

Şekil 4.19.	İki Farklı Ortam Sıcaklığında (16-18°C ve 28-30°C) % 2 Sodyum Tripolifosfat (STP) Çözeltisinde Zamana Karşı Fosfat Konsantrasyonu Değişimleri (2×2×2 cm et boyutları) .	54
Şekil 4.20.	İki Farklı Ortam Sıcaklığında (16-18°C ve 28-30°C) % 4 Sodyum Tripolifosfat (STP) Çözeltisinde Zamana Karşı Fosfat Konsantrasyon Değişimleri (2×2×2 cm et boyutları) ...	54
Şekil 4.21.	İki Farklı Ortam Sıcaklığında (16-18°C ve 28-30°C) % 6 Sodyum Tripolifosfat (STP) Çözeltisinde Zamana Karşı Fosfat Konsantrasyon Değişimleri (2×2×2 cm et boyutları) ...	55
Şekil 4.22.	% 2 Sodyum Tripolifosfat (STP) Çözeltisinde Farklı Zamanlarda Bekletilen Etlerde Pişme Kayıplarının Pişme Zamanlarına Göre Değişimleri (2×2×2 cm et boyutları)	56
Şekil 4.23.	% 4 Sodyum Tripolifosfat (STP) Çözeltisinde Farklı Zamanlarda Bekletilen Etlerde Pişme Kayıplarının Pişme Zamanlarına Göre Değişimleri (2×2×2 cm et boyutları)	56
Şekil 4.24.	% 6 Sodyum Tripolifosfat (STP) Çözeltisinde Farklı Zamanlarda Bekletilen Etlerde Pişme Kayıplarının Pişme Zamanlarına Göre Değişimleri (2×2×2 cm et boyutları)	57
Şekil 4.25.	% 2 Sodyum Tripolifosfat (STP) Çözeltisinde Farklı Zamanlarda Bekletilen Etlerde Sertlik Değerlerinin Pişme Zamanlarına Göre Değişimleri (2×2×2 cm et boyutları)	61
Şekil 4.26.	% 4 Sodyum Tripolifosfat (STP) Çözeltisinde Farklı Zamanlarda Bekletilen Etlerde Sertlik Değerlerinin Pişme Zamanlarına Göre Değişimleri (2×2×2 cm et boyutları)	61
Şekil 4.27.	% 6 Sodyum Tripolifosfat (STP) Çözeltisinde Farklı Zamanlarda Bekletilen Etlerde Sertlik Değerlerinin Pişme Zamanlarına Göre Değişimleri (2×2×2 cm et boyutları)	62
Şekil 4.28.	% 2 Sodyum Tripolifosfat (STP) Çözeltisinde Farklı Zamanlarda Bekletilen Etlerde Sıkılık Değerlerinin Pişme Zamanlarına Göre Değişimleri (2×2×2 cm et boyutları)	64
Şekil 4.29.	% 4 Sodyum Tripolifosfat (STP) Çözeltisinde Farklı Zamanlarda Bekletilen Etlerde Sıkılık Değerlerinin Pişme Zamanlarına Göre Değişimleri (2×2×2 cm et boyutları)	64

Şekil 4.30.	% 6 Sodyum Tripolifosfat (STP) Çözeltisinde Farklı Zamanlarda Bekletilen Etlerde Sıkılık Değerlerinin Pişme Zamanlarına Göre Değişimleri (2×2×2 cm et boyutları)	65
Şekil 4.31.	% 2 Sodyum Tripolifosfat (STP) Çözeltisinde Farklı Zamanlarda Bekletilen Etlerde Sakızimsılık Değerlerinin Pişme Zamanlarına Göre Değişimleri (2×2×2 cm et boyutları)	66
Şekil 4.32.	% 4 Sodyum Tripolifosfat (STP) Çözeltisinde Farklı Zamanlarda Bekletilen Etlerde Sakızimsılık Değerlerinin Pişme Zamanlarına Göre Değişimleri (2×2×2 cm et boyutları)	66
Şekil 4.33.	% 6 Sodyum Tripolifosfat (STP) Çözeltisinde Farklı Zamanlarda Bekletilen Etlerde Sakızimsılık Değerlerinin Pişme Zamanlarına Göre Değişimleri (2×2×2 cm et boyutları)	67
Şekil 4.34.	% 2 Sodyum Tripolifosfat (STP) Çözeltisinde Farklı Zamanlarda Bekletilen Etlerde Elastikiyet Değerlerinin Pişme Zamanlarına Göre Değişimleri (2×2×2 cm et boyutları)	68
Şekil 4.35.	% 4 Sodyum Tripolifosfat (STP) Çözeltisinde Farklı Zamanlarda Bekletilen Etlerde Elastikiyet Değerlerinin Pişme Zamanlarına Göre Değişimleri (2×2×2 cm et boyutları)	68
Şekil 4.36.	% 6 Sodyum Tripolifosfat (STP) Çözeltisinde Farklı Zamanlarda Bekletilen Etlerde Elastikiyet Değerlerinin Pişme Zamanlarına Göre Değişimleri (2×2×2 cm et boyutları)	69
Şekil 4.37.	% 2 Sodyum Tripolifosfat (STP) Çözeltisinde Farklı Zamanlarda Bekletilen Etlerde Çiğnenemezlik Değerlerinin Pişme Zamanlarına Göre Değişimleri (2×2×2 cm et boyutları)	70
Şekil 4.38.	% 4 Sodyum Tripolifosfat (STP) Çözeltisinde Farklı Zamanlarda Bekletilen Etlerde Çiğnenemezlik Değerlerinin Pişme Zamanlarına Göre Değişimleri (2×2×2 cm et boyutları)	71

Şekil 4.39. % 6 Sodyum Tripolifosfat (STP) Çözeltisinde Farklı Zamanlarda Bekletilen Etlerde Çiğnenemezlik Değerlerinin Pişme Zamanlarına Göre Değişimleri (2×2×2 cm et boyutları)

71



SİMGELER VE KISALTMALAR

A	: Alan, kg-s
Bi	: Biot Sayısı
C(t)	: Zamanla değişen ortofosfat derişimi, g/kg
C _i	: Başlangıç ortofosfat derişimi, g/kg
C _∞	: STP çözeltilerinin başlangıç derişimi, g/kg
$\left[\frac{C(t) - C_{\infty}}{C_i - C_{\infty}} \right]$: Konsantrasyon oranı
CO	: Deneysel konsantrasyon oranı
D	: Difüzyon katsayısı, m ² /s
F ₁	: Sertlik, kg
Fo	: Fourier Sayısı
k	: Kütle transfer katsayısı, m/s
K	: Eğim, dk ⁻¹
L	: Karakteristik boyut, m
λ	: Analitik çözümdede karakteristik denkleğinin kökü
OP	: Ortofosfat
STP	: Sodyum Tripolifosfat
t	: Zaman, dk
T	: Sıcaklık, °C

1. GİRİŞ

Fosfatlar, et ve et ürünlerinde bir çok fonksiyonları dolayısıyla geniş kullanım alanları olan katkı maddeleridir. Et ve et ürünlerinde katkı maddesi olarak en fazla tercih edilen fosfatlar, uygun alkali pH' ya sahip olmaları, çözünürlüklerinin yüksek olması ve proteinler üzerindeki olumlu etkileri dolayısıyla polifosfatlardır. Özellikle de sodyum tripolifosfat (STP) oldukça fazla kullanım alanına sahiptir. Polifosfatlar, et proteinleri ve su ile etkileşimleri sonucunda, et ve et ürünlerinde su tutma kapasitesini arttırarak, pişme ve çözünme kayıplarını düşürmekte, et proteinlerinin fonksiyonel özelliklerini geliştirerek ürünün yapısal özelliklerini ve fiziksel kararlılığını geliştirmektedir.

Ürünlere fosfat ilavesi çeşitli şekillerde yapılmakla birlikte en çok tercih edilen yöntem, etlerin fosfat çözeltileri içerisinde bekletildiği yöntemdir ki bu yöntemde fosfatların ürün içerisine girişlerinde etkin mekanizma difüzyondur.

Et ve et ürünlerinde fosfatların fonksiyonel özellikleri ve ürünlerdeki etki mekanizmaları üzerine bir çok çalışma yapılmış olmasına rağmen bu çalışmaların çoğunda ürüne eklenen fosfatların, ürün içerisindeki difüzyonu incelenmemiş, istatistiksel değerlendirmelerle genellemeler yapılmıştır. Kullanılan fosfatların ürün içerisindeki yayınımlarının belirlenmesi ile bu katkıların endüstriyel açıdan kullanımlarının yanında, ürünlerdeki etki mekanizmaları ve kullanım amaçlarının daha iyi açıklanabilmesi sağlanacaktır. Ayrıca difüzyon katsayısının belirlenmesi ile de ürün içerisine difüze olan fosfat miktarı matematiksel olarak kolaylıkla saptanabilecektir.

Et bünyesindeki fosfat yayınımlarının incelenmesi ve fosfat difüzyon katsayısı değerinin belirlenebilmesi için ette zamanla değişen fosfat miktarının saptanması gerekmektedir. Bu amaçla literatürde verilen fosfat analiz yöntemleri et ve et ürünleri için yeterli olmayıp tam olarak da açıklanmamışlardır. Bu nedenle et ve et ürünlerinde basit, çabuk sonuç verebilen ve laboratuvar koşullarında kolaylıkla uygulanabilecek bir fosfat tayin yöntemi geliştirilmesi gerekmektedir.

Sonuç olarak bu çalışmanın amacı:

- 1- Et ve et ürünlerinde fosfat miktarlarının belirlenmesi amacıyla kullanılan spektrofotometrik yöntemin standart laboratuvar koşullarında hızlı sonuç alınabilecek şekilde geliştirilmesi,
- 2- Geliştirilen bu yöntem kullanılarak etlerde fosfat difüzyonunun incelenmesi, fosfatların difüzyon katsayıları hesaplanarak ette zamanla değişen STP miktarının saptanması ve ortam sıcaklığı ile STP çözelti konsantrasyonunun fosfat difüzyon katsayısı üzerine etkilerinin belirlenmesi, ve
- 3- Farklı konsantrasyonlarda STP çözeltileriyle muamele edilen etlerin yapısal özellikleri ve pişme kayıpları üzerinde etlerin pişirilme süreleriyle birlikte STP' ların etkilerinin belirlenmesidir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. GIDA SANAYİNDE KULLANILAN FOSFATLAR

Fosfatlar gıda sanayinde; kırmızı et ve ürünleri, kümes hayvanı etleri, su ürünleri, tahıl, süt ve meyve sebze ürünleri, katı ve sıvı yağlar, bisküvi, kek ve ekmek, alkolsüz içecekler ve bunların yanında nişasta, jöle ve pektin endüstrisi gibi alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadırlar [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9]. Ürünlerde; su bağlama, renk, aroma ve yapı oluşumunda, çökelme, emülsifikasyon, olgunlaşma işleminin hızlanması ve oluşumunda etkilidirler [10, 11, 12, 13]. Ayrıca gıdalarda pH stabilizasyonunda etkili olmalarının yanısıra yağ oksidasyonunu geciktirerek ürünlerin raf ömrünü etkilemekte ve depolama sürecinde ürünlere kararlılık kazandırmaktadırlar [3, 8, 9, 14, 15, 16, 17, 18, 19].

Gıda sanayinde katkı maddesi olarak kullanılan fosfatlar fosforik asit (H_3PO_4) tuzları olup, genel olarak orto (basit) ve poli (kondense) fosfatlar olmak üzere ikiye ayrılırlar. Ortofosfatlar, fosforik asitin alkali metal iyonları ile kısmen veya tamamen nötralizasyonu ile elde edilirler ve bir fosfor atomu ile buna bağlı dört hidrojen atomundan oluşurlar. Na veya K kationları içeren ortofosfatlar, mono, di ve tri bazik formlarında bulunabilirler. Mono bazik formundaki ortofosfatlarda bir hidrojen atomu alkali ile yer değiştirirken, di bazik formunda iki ve tri bazik formunda üç hidrojen atomu yer değiştirmiştir [2, 20]. İki veya daha fazla fosfor atomu içeren polifosfatlar, ortofosfatların yüksek sıcaklıklarda, kontrollü koşullarda ısıtılmaları ve kondenzasyonu ile elde edilirler. Polifosfatlar fosfor atomlarının oksijen atomuyla bağlanması ile oluşan düz zincir yapısında olup iki fosfor atomu içeren en basit polifosfatlar, pyrofosfatlardır. Tripolifosfatlar ise üç fosfor atomu içermektedirler [1]. Polifosfatlar çoğu zaman saf bileşenler olmayıp, farklı zincir uzunluğuna sahip bir çok polifosfatın karışımı durumunda da olabilmektedirler [3]. Polifosfatlar tam olarak nötralize edildikleri için, hidrojen atomu içermezler, asidik formdaki bazı pyrofosfatlar dışında da bazik özellik gösterirler [2].

2.2. ET ve ET ÜRÜNLERİNDE FOSFAT KULLANIMI ve FOSFATLARIN BU ÜRÜNLERDEKİ ETKİ MEKANİZMALARI

Fosfatlar, et ve et ürünlerinde bir çok fonksiyonu dolayısıyla oldukça fazla kullanım alanı bulmuştur. Parça et ürünlerinde su bağlama ve su tutma özelliğini arttırmaları nedeniyle et ürünleri işleme ve muhafaza teknolojilerinin her basamağında fireyi azaltmakta, etlerde büzüşme, pişme kaybı ve çözünme kayıplarını düşürmektedir. Bunların yanısıra üründe iyi bir yapı oluşumunu sağlamakta ve ürünün sululuğunu arttırarak lezzet ve gevrekliği olumlu yönde etkilemektedir.

Tripolifosfatlar uygun alkali pH' ya sahip olmaları, çözünürlüklerinin yüksek olması ve proteinler üzerindeki etkileri dolayısıyla et sanayinde en fazla tercih edilen fosfatlardır [6]. Tripolifosfatlar gıdalarda tek başlarına kullanıldıkları gibi diğer fosfatlarla birlikte de kullanılmaktadırlar [21].

Polifosfatların et ürünlerinde kullanımları 1950' li yıllarda başlamıştır. Yapılan ilk çalışmalarda polifosfatların özellikle de pişme kayıpları üzerine etkili olduğu saptanmış ve daha sonraki yıllarda fosfatların ürünlerdeki etki mekanizmaları ve fonksiyonları tartışılmıştır [21].

Polifosfatlar et ve et ürünlerinde esas olarak ürünün su tutma kapasitesini arttırmak amacıyla kullanılırlar. Su, taze etin önemli bir bileşenidir. Etin, yağ içeriğine bağlı olarak su miktarında değişim gözlenirse de, yaklaşık olarak %70-75' ini su oluşturmaktadır. Gerek etin gerekse bu etin kullanımı ile yapılacak olan ürünlerin kalitesi açısından suyun et bünyesinde tutulması önemlidir [22]. Kas dokusunda suyun bağlanma mekanizmasında et proteinleri, özellikle de miyofibriler proteinler önemli rol oynar. Polar olan su molekülleri miyofibriler proteinlerdeki elektriksel yüklerle yüklenmiş aktif gruplarla birleşirler. Etteki suyun %60' ı miyofibriler proteinlerle bağlı durumdadır ve diğer su molekülleri ise proteinlere bağlanmış olan suya tutunmuşlardır [6]. Etin su tutma kapasitesi, etin parçalanması, pişirilmesi, kıyma haline getirilmesi gibi dış kuvvet uygulanmalarına maruz kaldığı işlem

basamaklarında bünyesinde bulunan veya dışardan ilave edilen suyu tutabilme özelliği olarak tanımlanır [7, 23].

Fosfatların üründe su tutma kapasitesini artırma yetileri, pH ve izo elektrik noktayı etkileme, aktomiyosini çözme ve çift değerlikli metal iyonlarını bağlayabilme özelliklerinden ileri gelmektedir [2, 24, 25]. pH 5,0 ile 5,2 arasındayken et proteinleri izo elektrik noktasındadır ve proteinlerin su tutma kapasitesi bu pH aralığında minimum düzeydedir. İzo elektrik noktada protein moleküllerinin pozitif ve negatif yükleri eşit olup net yükleri sıfırdır ve su moleküllerine yönelim güçleri de oldukça zayıflamıştır. Protein molekülleri üzerindeki su tutucu aktif gruplar izo elektrik noktada bu aktivitelerini kaybettiklerinden dolayı proteinler birbirlerini çekme eğilimi göstermeye başlar ve protein yapısı oldukça sıkı bir şekilde kenetlenir. Kullanılan polifosfatların sulu çözeltileri alkali pH' ya sahip olduğu için polifosfat ilavesi ile et pH' sı yükselmekte, pH' nın proteinlerin izo elektrik noktasının üzerine çıkmasıyla pozitif ve negatif yükler arasındaki denge bozulmakta ve protein yapısında meydana gelen açılmalar sonucu suyun bağlanabileceği uygun boşluklar ortaya çıkmaktadır [5, 16, 20, 22, 24]. Bunun yanında fosfatlar, miyofibriler proteinleri oluşturan miyoflamentler (aktin ve miyosin) arasındaki elektrostatik itme kuvvetlerini de artırarak, miyofibrillerin şişmesine neden olmaktadır. Miyofibrillerde meydana gelen şişme sonucu flamentler arasında oluşan boşluklara işlem sırasında eklenen veya kas dokusunda doğal olarak bulunan su daha sıkı bir şekilde tutunur. Et işleme sırasında zamanla tuz ve fosfat konsantrasyonunun artışı ile de miyosin flamentlerin, özellikle de tripolifosfat ve pyrofosfat varlığında depolimerize olmaları ile, aktomiyosin köprüleri arasındaki bağlar açılır. Miyofibrillerin yapısındaki bu bozulma miyosin ve diğer miyofibriler proteinlerin çözünür forma geçmesine yol açar. Sonuç olarak fosfatlar etin pH' sını izo elektrik noktanın üzerine çıkararak iyonik kuvvetleri arttırıp proteinlerin, özellikle de aktin ve miyosinin çözünmelerini sağlar ve çözünen proteinlerin de fosfatla birlikte suyu bağlayarak şişmesi sonucunda ürünün su tutma kapasitesi artar [6, 21, 26, 27, 28, 29, 30]. Batista ve ark. [14] yaptıkları çalışmada, %3 düzeyinde kullanılan STP' in etin su absorpsiyonu üzerinde oldukça etkili olduğunu saptamışlardır. Bunun yanında Martin ve ark. [31], domuz etinde tuz ve

fosfatın protein ağ yapısı üzerine etkisini DSC ve elektroforez ile inceledikleri çalışmalarında, sodyum tripolifosfatların (STP) protein ağ yapısını çözerek etin su tutma kapasitesini arttırdığını saptamışlardır.

Fosfatların proteinlerin çözünürlük ve izo elektrik noktalarını etkilemelerinin yanında et bünyesinde bulunan katyonları bağlayarak da et ve et ürünlerinde su tutma kapasitesini arttırdıkları belirtilmiştir [21, 24, 31]. Et bünyesinde bulunan Ca^{++} ve Mg^{++} gibi iki değerlikli katyonlar, proteinlerin peptit zincirleri üzerindeki negatif yüklü gruplardan iki tanesi ile birleşerek köprüler oluştururlar. Oluşan Ca^{++} ve Mg^{++} köprüleri protein ağ yapısında oldukça sıkı bağlar oluşturacak şekilde davranırlar ve sonuçta protein zincirlerinin kilitlemesi ile su bağlama yetisine sahip negatif yüklü aktif grupların su bağlaması önlenir. Polifosfatlar, bu katyonlar ile kompleks bileşikler oluşturarak protein ağ yapısında oluşan köprülerin çözümlerini sağlarlar. Sonuçta bu çözünme ile, protein zinciri üzerindeki su bağlama yetisine sahip aktif gruplar serbest hale geçer ve bu kısımlara su molekülleri bağlanır [21, 24, 31].

Ete ilave edilen fosfatların, su tutma üzerindeki etkilerinde fosfat çeşitlerinin de etkili olduğu saptanmış ve ortofosfat ve hekzametafosfatların su bağlama üzerine etkileri yok denecek kadar azken, tri ve tetra metafosfatların su bağlama üzerine hiçbir etkilerinin olmadığı belirlenmiştir [20]. Bunun yanında sadece alkali fosfatların etin su tutma kapasitesini arttırdığı, asit fosfatların etin pH değerini düşürerek, proteinler arasındaki bağların çekim kuvvetlerini arttırarak, protein-protein etkileşimini arttırıp, proteinlerin su tutma yetisini olumsuz yönde etkiledikleri saptanmıştır. Tripolifosfatların ise et ve et ürünlerinde su tutma kapasitesinin arttırılması üzerinde oldukça etkili olduğu belirtilmiştir [6, 28].

Su tutma kapasitesinin artması ile ürünün gevrekliği ve sululuğunun artmasının yanında pişme kayıplarının da azalması, tüketiciler açısından duysal ve ekonomik açıdan istenen bir durumdur. Et ve et ürünleri ağırlık ile satıldıkları için su kaybının önlenmesi ekonomik açıdan önem taşımaktadır. Sızıntı ile kasın kaybedeceği su, satılacak olan et ağırlığında önemli kayıplara yol açmaktadır. Etteki su sızıntısı direk olarak etin su tutma kapasitesinin bir fonksiyonu olmakla birlikte

ürün kalitesi üzerindeki olumsuz etkileri dolayısıyla tüketiciler tarafından da istenmeyen bir durumdur. Sonuç olarak etin su tutma kapasitesinin artışı ile et ve et ürünlerinde su kaybı azalırken suda çözünen besin bileşenleri kayıplarında da azalmalar olmaktadır [3, 7, 22].

Fosfatlar, et ve et ürünlerinde, ürünün su tutma kapasitesini geliştirmelerinin yanında bir çok fonksiyonel özelliğe sahiptirler. Fosfatların, proteinlerin çözünürlüğünü artırması ve çözünen proteinlerin de et işleme sırasında emülsiyon ve jel oluşumunu etkilemeleri dolayısıyla sosis gibi emülsiyon ürünlerde, emülsiyon kapasitesi ve kararlılığını artırmak amacı ile kullanıldıkları belirtilmiştir. Sosis yapımı sırasında kullanılan polifosfatların, sosis hamuru vizkozitesini düşürdüğü ve kıtıflara dolum sırasında homojen bir dağılım oluşumunu sağladığı saptanmıştır. Ayrıca fosfatların bu ürünlerde özellikle son ürünün dilimlenme özelliği ve kabiliyetini olumlu yönde geliştirdiği de belirtilmiştir [3, 6, 10, 11, 17, 18, 20, 31, 32, 33, 34]. Fosfatlar bağlayıcı ajan olmaları dolayısıyla ürünlerde antioksidant özellik de göstermektedirler. Et ve et ürünlerinde gözlenen yağ oksidasyonu, et bünyesindeki bazı metal iyonlarınca katalizlenir. Polifosfatlar metal iyonlarını bağlayarak yağ oksidasyonunu kısmen önlemektedirler [2, 3, 7, 17, 20, 27]. Polifosfatların, çiğ etlerde, etteki renk pigmentlerinden miyoglobinin oksidasyonunu önleyerek renk üzerinde de olumlu etkileri olduğu saptanmıştır [3, 10, 11, 12, 20]. Polifosfatların et ürünlerinde kürlenme işlemi sırasında, kürlenme çözeltilerinin ürün tarafından emilimini hızlandırdıkları da belirtilmiştir. Kürlenme çözeltilerinin ürün içine iyi bir şekilde nüfuzu ile ürünün tat ve aroması gelişmektedir [6, 7]. Fosfatların et ürünlerinde kullanımındaki asıl amaç mikrobiyal koruyucu etkileri olmasa da, yapılan çalışmalar fosfatların belli ölçüde antimikrobiyal ve antioksidant özelliklerinin de olduğunu göstermiştir [7, 12, 33, 35, 36, 37]. Fosfatların antimikrobiyal etki mekanizmalarının özellikle metal iyonlarını bağlama yetilerinden ileri geldiği düşünülmektedir (Ca, Mg, Fe gibi metal iyonları mikrobiyal hücre bölünmelerini katalizleyerek ürünlerde mikroorganizma gelişimini hızlandırmaktadırlar) [1, 3, 20, 33, 35].

Fosfatların ürünlerde tek başlarına gösterdikleri bütün bu etkilerinin yanında sinerjistik etkilerinin de olduğu belirlenmiştir. Örneğin fosfatların NaCl tuzunun et ürünleri üzerindeki antioksidan etkisini arttırdığı saptanmıştır [7]. Sodyum tripolifosfatların, sodyum askorbatın et ürünlerindeki oksidatif ransidite üzerine olan etkisini oldukça fazla arttırdığı belirtilmiştir. Sodyum askorbat üründe malon aldehit oluşumunu tek başına kullanıldığı durumda %48 oranında azaltırken, STP ile birlikte kullanılması durumunda bu oran %92' ye çıkmıştır [20]. Tripolifosfatların NaOH gibi alkali bileşiklerin de, su tutma kapasitesi üzerindeki etkilerini arttırdıkları belirtilmiştir [28].

Proteinlerin fonksiyonel özelliklerinin geliştirilmesinde de fosfatların önemli etkileri olduğu saptanmıştır [20]. Proteinlerin besleyici özellikleri dışında, ürünlerde ara yüzey, jel ve köpük oluşturma, çözünme, tat ve aroma bağlama ile yapısal özellikler üzerindeki etkileri fonksiyonel özelliklerini oluşturmaktadır [38]. Fosfatlar öncelikle proteinlerin çözünürlüğünü artırırlar, çözünen proteinler de et işleme sırasında jel oluşumunu etkileyerek ürünün yapısal özelliklerini ve fiziksel kararlılığını geliştirir. Çözünen miyofibriler proteinler, viskoelastik yapışkan jel oluşturma yeteneğindedirler ki bu durum, özellikle pişmiş etlerde ürün yapısal özellikleri bakımından önem taşır. Protein yapısının çözülmesi, moleküler kümeleşmeyi ve jel ağı oluşumunu etkilerken, oluşan protein jel, ürünlerde emülsiyon stabilitesi, su tutma kapasitesi ve gevreklik gibi özellikleri direk olarak etkilemektedir [20]. Yapılan çalışmalarda polifosfat çözeltilerinde bekletilen etlerin yüzeylerinde, polifosfatların çözünen et proteinleri ile etkileşimleri sonucu jel yapısında fosfat protein katmanının şekillendiği saptanmıştır [39]. Ayrıca Martin ve ark. [31] yaptıkları çalışmada et proteinleri ve fosfat etkileşimi sonrasında şekillenen jel ağın, STP varlığında daha iyi bir şekilde geliştiğini saptamışlardır.

Et ve et ürünlerinde kullanılan ve bir çok fonksiyona sahip olan polifosfatlar, etin doğal yapısında bulunmamakla birlikte ortofosfat formundaki fosfor, et bünyesinde oldukça fazla miktarda bulunmaktadır. Fakat ortofosfatların, polifosfatların göstermiş olduğu özellikleri göstermedikleri saptanmıştır. Genel olarak protein bakımından zengin olan gıdalar fosfor bakımından da zengindir.

Fosfor ette fosfat formunda; bazı proteinler ile fosfolipit, nükleik asit, ko-enzim ve nükleotidlerin yapısında bulunur [6, 40, 41]. Polifosfatların gerek et yapısındaki doğal fosfataz enzimleri etkisiyle, gerekse çiğ ete uygulanan işlem basamakları ve depolama sürecinde veya ürüne ilave edilen diğer katkı maddelerinin etkileriyle hidroliz oldukları belirtilmiştir. Polifosfat hidrolizi, etin dondurularak depolanması veya pişirme işlemleri ile enzim aktivitesinin kaybolması veya NaCl tuzunun fosfataz enzim aktivitesi üzerindeki inhibitör etkisi dolayısıyla kısmen de olsa engellenebilmektedir [20, 28].

Et ve et ürünlerine fosfat ilavesi çeşitli şekillerde yapılmaktadır. Enjeksiyon, püskürtme, daldırma veya kuru tuzlama bunlardan bir kaçıdır. Püskürtme özellikle ürün yüzeyinde mikrobiyal gelişimin önlenmesi durumunda tercih edilen basit bir yöntemdir. Daldırma yönteminde, ürün çeşitli konsantrasyonlardaki fosfat çözeltileri içerisinde belirlenen zamanlarda bekletilir ve zamanla ürüne fosfat difüzyonu gerçekleşir. Enjeksiyonla fosfat ilavesinde fosfatlar ürün içerisine çeşitli ekipmanlar kullanılarak enjekte edilmektedir [1, 3]. Özellikle kürlenmiş et ürünlerinde fosfat tuzlarının ilavesi sırasında bu tuzların çözünmelerinde yaşanan sorunlar dolayısıyla, fosfatların et ürünlerine katılımı öncesinde çözeltilerinin hazırlanarak çözündürülmeleri önerilmiştir [6].

2.3. ET ve ET ÜRÜNLERİNDE KULLANILAN FOSFAT MİKTARININ BELİRLENMESİ

Et ve et ürünlerinde belli bir düzeyin üzerinde fosfat ilavesinin ürünün gerek yapısal özellikleri gerekse tat ve aromasında istenmeyen değişimlere yol açması nedeniyle, fosfat kullanımında yasal bir takım sınırlamalar getirilmiştir. USDA' da (United States Department of Agriculture) izin verilen maksimum kullanım düzeyi %0,5' dir [24]. Fosfatlar, pişirme işlemine tabi tutulan tüm et ürünlerinde, ister tazeyken pişirilsin ve hemen tüketilsin, isterse pişirilip dondurularak depolansın son üründe %0,5' ten fazla bulunmamalıdır. %0,5 düzeyinin üzerinde fosfat kullanımı, ürün yapısının lastiksi bir hale gelmesi ile birlikte metalik, ilaçsı ve sabunsu bir tat oluşmasına neden olmaktadır [2, 16, 17, 18, 27, 42]. Fazla fosfat kullanımının ürün

duyusal özelliklerini olumsuz yönde etkilemesinin yanında ekonomik açıdan da kayıplara neden olduğu belirtilmiştir [30]. Ayrıca ürüne ilave edilen fosfat konsantrasyonunun belli bir düzeyin üzerinde olması durumunda, fosfatların ürün içerisinde, başta su tutma kapasitesi olmak üzere diğer bir çok fonksiyonel özelliği gösteremediği saptanmıştır [20]. Sonuç olarak fosfatla muamele edilen ürünlerde duyusal ve yapısal bozulmaların yanında özellikle de getirilen yasal sınırlamalar dolayısıyla, ürüne katılan fosfat miktarının doğrudan belirlenebilmesi oldukça önemlidir. Ayrıca et ve et ürünlerine ilave edilen polifosfat miktarlarının saptanması da, bu katkıların endüstriyel açıdan kullanımlarında önem taşımaktadır.

Et ve et ürünlerinde ürüne katılan fosfat miktarının belirlenmesi amacıyla çeşitli araştırmalar yapılmıştır. Fakat etin doğal yapısında bulunan ortofosfat formundaki fosforun oldukça fazla olması ve geniş bir aralıkta değişim göstermesi dolayısıyla ilave edilen fosfatların doğrudan belirlenmesinde bir takım sorunlar yaşanmıştır. Ayrıca ete katılan polifosfatların et ürünleri üretimi sırasında, son ürün işlemeden çıkana kadar geçen aşamalarda düşük et pH' sı yardımı ile ortofosfatlara hidrolize olması da diğer bir sorunu oluşturmaktadır [21, 40, 43]. Cui ve ark. [44] deniz tarağına ilave edilen tripolifosfat miktarını belirlemek için iyon kromatografisi yöntemini geliştirmişlerdir. Baluyot ve Hartforth [45] yaptıkları çalışmada polifosfat tayininde son grup titrasyonu ve kromatografi yöntemlerini kullanmışlardır. Tenhet ve ark. [39] karideslerin bünyesine nüfuz eden tripolifosfat miktarını belirlerken spektrofotometrik yöntem kullanmışlardır. Tenhet ve ark. [40] bir başka çalışmalarında ise farklı tripolifosfat muameleleri sonrasında karideslerdeki fosfat miktarını ince tabaka kromatografisi ve spektrofotometrik yöntemlerle saptamışlardır. Batista ve ark. [14] deniz tarağını %0, 1, 2 ,3 ve 4 STP içeren çözeltilerde beklettikten sonra deniz tarağı etine nüfuz eden fosfat miktarı tayininde toplam fosfor içeriğini kalorimetrik olarak saptamıştır. Bu çalışmada örnek önce kül haline getirilmiş sonra kalorimetrik ölçüm yapılmıştır. Molins ve ark. [43] pyrofosfat ve polifosfat içeren pişmiş ve pişmemiş domuz etlerinde çözünen ortofosfat miktarının belirlenmesine yönelik çalışmada spektrofotometrik yöntem kullanmışlardır. Daha sonra Lee ve ark. [46] bu yöntemi geliştirerek sığır etinde ortofosfat tayininde kullanmışlardır. Dušek ve ark. [42] ise et ürünlerinde ilave

edilen fosfatın belirlenmesine yönelik çalışmalarında kapiler isotachophoresis kullanmışlardır. Bunların yanında, fosfat tayinlerinde yüksek basınç sıvı kromatografisinin de kullanıldığı fakat kondense fosfatların oldukça çabuk bozulmaları nedeniyle bu yöntem ile doğru sonuçlar elde edilemediği belirtilmiştir [30].

Bu çalışmalarda kullanılan fosfat analiz yöntemleri tam olarak açıklanmamakla birlikte kullanılan metotların bir çoğu oldukça karmaşık ve standart laboratuvar koşullarında uygulanmaları oldukça zordur. Esas olarak ortofosfat dönüşümü sonrasında uygulanan kalorimetrik ölçüm, en fazla tercih edilen yöntemdir. Bu yöntemde öncelikle kuru ya da ıslak yakma sonrasında organik materyallerin hidrolizi sonucunda ortofosfatlar oluşmaktadır [21, 47]. Fakat kalorimetrik yöntemdeki yakma işlemi oldukça fazla zaman almaktadır. Görüldüğü gibi laboratuvar koşullarında daha basit ve çabuk sonuç veren bir fosfat tayin yönteminin geliştirilmesi et ve et ürünlerinde fosfat kullanımına yönelik yapılacak çalışmalar ve özellikle de fosfatların bu ürünlerdeki etki mekanizmalarının daha iyi açıklanabilmesi için gereklidir.

2.4. FOSFAT DİFÜZYONU

Et ve et ürünlerinde fosfat kullanımında en çok tercih edilen yöntemlerden biri olan daldırma yönteminde etler farklı konsantrasyonlarda hazırlanan polifosfat çözeltileri içerisinde belirlenen sürelerde bekletilmekte ve zamanla ürüne fosfat difüzyonu gerçekleşmektedir. Ürünlerin fosfat çözeltilerine (STP) daldırılmaları sırasında fosfat molekülleri ürün içerisine difüze olurken aynı zamanda yüzeyde de suda çözünen proteinler ve su molekülleri ile bir tabaka oluştururlar [31, 39]. Ayrıca ürün içerisine STP difüzyonuna ilave olarak et ve et ürünlerinde yüksek konsantrasyonlarda doğal olarak bulunan ortofosfatların da konsantrasyon farkından dolayı STP ile eş zamanlı olarak ters yönde difüzyonları söz konusudur. Çözünen et proteinleri su ve fosfat etkileşimi sonucunda fosfat çözeltilerine daldırılmış olan etlerin yüzeylerinde oluşan jel yapısındaki katmanın özellikle de STP varlığında şekillendiği ve etlerde iki yönlü gerçekleşen fosfat difüzyonunu oldukça fazla

etkileyeceği düşünölmektedir. STP ve ortofosfatların difüzyon katsayılarının ve STP' ların ürün içerisindeki penetrasyon kalınlıklarının saptanması, ürün içerisinde fosfat hareketinin belirlenebilmesi ve bunun yanında fosfatların ürünlerdeki etki mekanizmaları ile kullanım amaçlarının açıklanabilmesi açısından önemli bulgulara ulaşılmasını sağlayabilir. Ayrıca difüzyon katsayısının belirlenmesi ile ürün içerisine difüze olan fosfat miktarı da kolaylıkla matematiksel olarak saptanabilir.

Et ve et ürünlerinde fosfatların fonksiyonel özellikleri üzerine bir çok çalışma yapılmış olmasına rağmen bu çalışmaların çoğunda ürüne eklenen fosfatların, ürün içerisindeki difüzyonu incelenmemiş, istatistiksel değerlendirmelerle genellemeler yapılmıştır. Erdoğdu ve ark. [9] farklı konsantrasyonlarda polifosfat çözeltileriyle muamele ettikleri karideslerde, farklı pişirme koşulları için (sıcaklık, zaman, fosfat derişimi, soğutma koşulları) kütle kaybını saptadıkları çalışmalarında, fosfatların ne kadar derinliğe nüfuz ettiğini bilmedikleri için küçük karidesler (110-120 tane/kg) kullanmışlar ve matematiksel modelleme yolu ile pişirme kayıplarını belirlerken sadece kullandıkları fosfat çözeltileri konsantrasyonlarını referans olarak kullanmışlardır. Bu çalışmada da ürün içerisine yayılan fosfat miktarı hakkında bir bilgi verilmemiştir. Difüzyon katsayısı ile kaybın belirleneceği durumda her boyut ve şekildeki örnekte en doğru ve kesin sonuca ulaşılacaktır.

Fosfatların ürün içerisine difüzyonu üzerine bir çalışma olmamasına rağmen araştırmacılar et ve et ürünlerinde özellikle de tuz ve kütleme ajanlarının difüzyonu üzerine çalışılmıştır [48, 49, 50, 51]. Wang ve ark. [48] salmon balığında tuz difüzyonunu bir çok farklı model için saptayarak rigor öncesi ve sonrası durumları için difüzyon katsayısı değerini belirlemişlerdir. Fox Jr. [49] domuz etinde nitrit, nitrat ve klor difüzyonunu çalışmış, difüzyon prosesinin tam anlamıyla anlaşılmasının kütleme işleminde kullanılan çeşitli tuzların etkilerinin ve etkileşimlerinin daha iyi açıklanabileceğini belirtmişlerdir. Sabadini ve ark. [50] sığır etinde tuzun su kaybı ve etin su aktivitesi üzerine etkilerini incelemiş, kontrollü koşullarda difüzyon katsayısını belirlemiş, kastaki tuz ve su hareketlerini göz önüne alarak endüstriyel kurutma proseslerine uygunluğunu araştırmışlardır.

2.5. FOSFATLARIN ET ve ET ÜRÜNLERİNİN YAPISAL ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİLERİ

Yapısal özellikler (tekstür), görünüm, tat ve aroma tüketiciler tarafından gıdaların kabul edilebilirliğini etkileyen önemli faktörlerdir. Tekstür, gıdanın yapısı ve duyu kalitesi ile gıdayı oluşturan bileşenlere ve bu bileşenlerde gıdaların işlenmeleri sırasında oluşan değişimlere bağlı olarak şekillenen bir özelliktir. Bu faktörlerin etkisinden dolayı, gıdalarda yapısal özelliklerin tanımlanmasında bir takım kavram karmaşaları yaşanmaktadır. Çoğu zaman gıdaların bir özelliği bir çok terim ile açıklanabilirken bazı özelliklerini açıklamak için uygun terimler bulunamamakta veya bir terim birden fazla özelliği tanımlayabilmektedir. Bazı araştırmacılar gıdaların yapısal özelliklerini, sertlik ve yumuşaklığın yanında küçüklük büyüklük gibi boyut özellikleri olarak tanımlarken, bazıları yoğunluk, kıvam, sıklık ve elastiklik gibi fiziksel özellikler olarak tanımlamışlardır [52, 53, 54, 55]. Yapısal özellikler genel olarak mekanik özellikler ile görünüm ve geometrik özelliklerin yanında gıdaların nem ve yağ içeriğinin bir bileşimidir. Kuvvet uygulamaları (ısıрма, çiğneme, yutma) karşısında gıdaların göstermiş olduğu direnci ifade eden mekanik özellikler sertlik, vizkozite, elastikiyet, sıklık, yapışkanlık, sakızimsılık ve çiğnenebilirlik gibi parametrelerle belirtilirken, görünüm ve geometrik özellikler, şekil, büyüklük, homojenlik ve pürüzlülük gibi parametrelerle belirtilmektedir [47, 48, 49, 56, 57].

Gıdaların yapısal özellikleri aletsel ve duyu olmak üzere iki şekilde belirlenebilmektedir. Duyusal testler panelistlerin direkt olarak kullanıldıkları testler olup, uzun zaman almaktadır ve maliyetleri de oldukça yüksektir. Bunun yanında panelistlerin ürüne alışmaları ve test sırasında yorulmaları gibi fizyolojik ve psikolojik sebeplerden dolayı bu testlerin tekrarlanma olasılıkları düşüktür. Aletsel yöntemlerde ise testler hem çok fazla zaman almamakta hem de kolaylıkla tekrarlanabilmektedir. Gıdaların yapısal özelliklerini aletsel olarak belirlemede penetrometre, vizkozimetre, konsistometre, kompressimetre ve kesme aletleri (Warner-Bratzler, Kramer Shear Press) gibi çeşitli tekstür ölçüm aletleri kullanılmaktadır [53]. Bu aletlerin kullanımından maksimum verimi almak ve bir

analizle daha çok veri elde etmek amacıyla geliştirilen tekstür profil analizi (TPA), oldukça geniş kullanım alanı olan ve bir çok gıda ürününde kullanılabilen bir yöntemdir [57, 58].

Tekstür profil analizinde, farklı tekstür ölçüm aletleri kullanılarak veya bir alette farklı testler yapılarak elde edilen tekstür ölçüm parametrelerinin tamamı, aynı anda bir test ile elde edilebilmektedir [53, 57]. Analiz sonrasında elde edilen kuvvet zaman eğrisi ile sertlik, sıklık, elastikiyet, sakızimsılık, çiğnenemezlik, yapışkanlık ve kırılabilirlik olmak üzere yedi ayrı tekstür parametresi belirlenebilmektedir [57, 58]. Aletsel olarak belirlenen tekstür parametrelerinin tanımlanmaları kolay olmamakla birlikte literatürde çeşitli şekillerde ifade edilmişlerdir [52, 54, 55, 56, 57]. Bunlardan sertlik, ürüne ilk kuvvet uygulaması (sıkıştırma, baskı) sonrasında elde edilen ve ürünü deforme etmek için gereken maksimum kuvvet veya gıda maddesini dış, dil ve damak arasında sıkıştırmak için gereken kuvvet şeklinde tanımlanırken, sıklık, gıdaya dağılmadan önce uygulanan kuvvet veya gıdanın parçalanmadan önceki bozulabilirliği şeklinde tanımlanmıştır. Elastikiyet ise, gıda örneğinin maruz kaldığı ilk kuvvet uygulamasının kaldırıldıktan sonra gıdanın eski haline dönme düzeyi olarak tanımlanmıştır. Sakızimsılık, gıdayı yutmadan önce yutmaya hazır hale getirmek için harcanan parçalama kuvveti olarak ifade edilirken, gıdayı çiğneyerek yutmaya hazır hale getirmek için gereken enerji ise çiğnenemezlik olarak ifade edilmiştir. Yapışkanlık, yeme işlemi sırasında ağızda ve damakta yapışmış olan gıdanın uzaklaştırılması sırasında yapılan iş, kırılabilirlik ise gıdanın kırılması ve ufalanması için uygulanan ilk kuvvet olarak açıklanmıştır. Bu parametrelerden sertlik, sıklık, elastikiyet, yapışkanlık ve kırılabilirlik direk olarak aletsel ölçümler sonunda elde edilirken, sakızimsılık (sertlik×sıklık) ve çiğnenemezlik (sakızimsılık×elastikiyet) belirlenen bu parametrelerin kullanılması ile yapılan hesaplamalar sonucunda elde edilmektedir [57, 58, 59].

Gıdaların kompleks bir yapıya sahip olmaları nedeniyle, yapısal ve duyu özellikleri bir çok faktöre bağlıdır ve gıdaların işlenmeleri sırasında (özellikle ısı işlem uygulamalarında) bu özelliklerinde önemli değişimler meydana gelmektedir. Et ve et ürünleri tüketilmeden önce ısı işlemlere tabi tutulmaktadır ve ürünlerin

duyusal ve yapısal özellikleri bu işlemlerden oldukça fazla etkilenmektedir. Buna ilave olarak ısı işlemler sonunda ürünlerde pişme kayıpları da meydana gelmektedir. Bu nedenle ısı uygulamalarının et yapısal özellikleri üzerine etkilerinin araştırıldığı bir çok çalışmada, et ve et ürünleri farklı sıcaklıklarda pişirilerek, sıcaklık artışının duyusal ve yapısal özellikler ile ürünün pişme kayıpları üzerindeki etkisi incelenmiştir [60, 61, 62, 63, 64, 65]. Et pişirildiğinde et yapısında meydana gelen bir çok reaksiyon sonucu etin tat, aroma, renk ve yapısal özelliklerinde değişimler meydana gelmektedir.

Et ve et ürünlerinin yapısal özellikleri özellikle de, miyofibriler proteinler, bağ doku proteinleri, protein ağ yapısındaki su ve bunlar arasındaki etkileşimlere bağlıdır. Pişme sırasında proteinlerde meydana gelen kimyasal değişimler etin sertlik, elastikiyet, sıklık, yapışkanlık, çiğnenemezlik ve dağılılabirlik gibi yapısal özelliklerini önemli ölçüde etkilemektedir.

Isıl işlem sırasında miyofibriler proteinlerin özellikle de tersiyer ve sekonder ağ yapılarındaki bozulma ile meydana gelen denatürasyon sonucunda proteinlerin su tutma kapasiteleri düşmekte ve et kas yapısındaki büzüşme ile etin yapısal özellikleri değişmektedir. Bağ doku proteinleri protein ağ yapılarını ve fiziksel özelliklerini büzüşme sıcaklığına kadar koruyabilmekte ve bu sıcaklığın üzerinde jelatin formuna dönüşmektedir. Bağ doku proteinlerinin jelatinizasyonu ile et ve et ürünlerinde yumuşama meydana gelirken, özellikle miyofibriler proteinlerdeki ısı etkisiyle oluşan denatürasyon ve koagulasyon sonucunda üründe sertleşme meydana gelmektedir [61, 65, 66]. Isıl işlemlerin etkisiyle gerçekleşen denatürasyon sonucunda proteinlerin ağ yapısında meydana gelen açılmalarla birlikte proteinlerin iç kısmındaki hidrofobik uçlar açığa çıkmaktadır. Özellikle de hidrofilik karakterdeki miyofibriler proteinlerde hidrofobik uçların açığa çıkması ile bu proteinler bağladıkları suyu bırakmakta ve proteinlerin çözünürlükleri azalmaktadır. Proteinlerin yapılarındaki suyu bırakmaları sonucunda protein molekülleri arasında protein protein etkileşiminin (miyofibriler proteinlerin kendi aralarındaki ve bağ doku proteinleri ile etkileşimleri) şekillendiği ve bununla birlikte et ve et ürünlerinde sertleşmenin başladığı belirtilmektedir [53, 65, 66]. Deng [60] balık etinde yapısal özellikler

üzerine yaptığı çalışmada, ısıtma işlemi sonucu sıcaklık artışı ile enzimlerde hidroliz, bağ dokusu proteinlerinden kollogen bütüşme ve aktomyosin kompleksinde denatürasyon sonucunda ortaya çıkan protein-protein etkileşiminin yapısal özellikleri üzerinde oldukça etkili olduğunu belirlemiştir [62]. Bu konu ile ilgili yapılan diğer çalışmalarda da benzer bulgulara rastlanmıştır [63, 64, 67, 68].

Murphy ve Marks [65] yaptıkları çalışmada, tavuk etinin farklı sıcaklıklarda pişirilmesi ile et proteinleri, etin yapısal özellikleri ve pişme kayıpları üzerine sıcaklığın etkisini incelemiştir. Bu çalışmada, sıcaklık artışı ile myofibriller proteinleri, özellikle de aktomyosin kompleksinin denatürasyonu ile miyofibriller arasında dar kanallar içerisindeki suyun sızması sonucunda pişme kayıplarının arttığı ve ayrıca dokusu matrisinde meydana gelen bütüşme ile de et yapısının sertleştiği belirtilmiştir. Et ve et ürünlerinde pişme sonrası ağırlık kayıplarına esas olarak proteinlerdeki denatürasyon sonucunda protein moleküllerinin çözünürlüklerindeki azalma ile su tutma kapasitelerindeki düşüşün etkili olduğu belirtilmektedir. Sonuç olarak pişirme işlemi sırasında etin nem içeriğinin değişmesi, yapısal özelliklerini etkilemektedir [60, 62, 63, 65, 66, 69].

Isıtma işlemlerinin yapısal özellikler üzerindeki etkisinin yanında yapılan bir çok çalışmada et ve et ürünlerinde kullanılan fosfatların yapısal özellikler üzerinde oldukça etkili oldukları saptanmıştır [8, 10, 11, 31, 32, 70, 71]. Bu çalışmalarda, fosfatların yapısal özellikler üzerindeki etkisi gerek mekanik ölçüm aletleriyle, gerekse de duyu testleriyle belirlenmeye çalışılmıştır.

Lee ve ark. [46] etin yapısal özelliklerini belirlerken penetrometre, Nielsen ve ark. [8] ise Instron test cihazı kullanmışlardır. Torley ve ark. [70] normal ve solgun-yumuşak-sulu etlerin yapısal özellikleri üzerine polifosfat kullanımının etkisini incelerken et jelinin kayma gerilimi değerlerini torsion ölçüm aleti ile saptamışlardır. Hsu ve Yu [11] ise çalışmalarında, etin yapısal özelliklerini duyu testleriyle belirlemişler ve fosfat ve NaCl tuzunun ürünün sertlik, elastikiyet, yapışkanlık, parlaklık, çiğnenebilirlik ve dağılılabirlik gibi yapısal özelliklerini oldukça fazla etkilediğini saptamışlardır. Martin ve ark. [31] yaptıkları çalışmada fosfat

kullanımının domuz etinin reolojik özelliklerine etkisini incelemişler ve fosfatlarla muamele edilen etlerde çiğnenebilirlik, gevreklik, yapışkanlık ve elastikiyet gibi özelliklerin daha iyi geliştiğini saptamışlardır. Hsu ve Chung [10] emülsiyeye bir et ürününün sertlik, sıklık, elastikiyet, yapışkanlık, çiğnenebilirlik, sakızimsılık ve viskozite değerleri üzerine κ -karegenan, tuz, yağ ve polifosfatların etkisini araştırdıkları çalışmalarında, polifosfatların viskozite ve yapışkanlık üzerinde etkili olduğunu ve bunun yanında yaptıkları duyusal testler ile de polifosfatların ürünün tekstürel açıdan toplam kabul edilebilirliğini olumlu yönde etkilediğini saptamışlardır. Hsu ve Yu [11] etin yapısal özelliklerini fosfat ve tuzun özellikle de %0,5 ve %2,4 oranlarında kullanılmaları durumunda oldukça fazla etkilediğini belirtmişlerdir. Sharma ve Seltzer [72] fosfatların (STP ve sodyum hekza metafosfat) dondurularak kurutulmuş karideslerin fizikokimyasal özellikleri üzerine etkilerini araştırmışlar ve karideslerin tat, aroma ve yapısal özellikler bakımından kabul edilebilirliğini önemli düzeyde etkilediğini saptamışlardır. Sheard ve ark. [32] ise yaptıkları çalışmalarında, domuz etinde ürüne ilave edilen STP artışı ile ürünün gevreklik ve sululuğunun arttığını saptamışlar ve STP' ların bu etkisini miyosin filamentleri üzerindeki depolimerize edici etkisi ve aktomiyosin kompleksi üzerindeki çözücü etkilerine bağlamışlardır. Sheard ve ark. [32] bu çalışmalarında ayrıca tüketici tarafından gerek tat ve aroma, gerekse yapısal özellikler bakımından polifosfat eklenen ürünlerin polifosfat eklenmeyenlere göre %70 oranında daha fazla tercih edildiğini saptamışlardır. Chen ve Trout [59] sığır etinin duyusal ve yapısal özellikleri ile pişme sonrası ette meydana gelen değişimler üzerine kullanılan çeşitli katkı maddelerinin (kalsiyum karbonat, STP, peynir altı suyu proteinleri, buğday proteinleri) etkisini araştırdıkları çalışmalarında, STP' ların etin çiğnenebilirliğini etkilediğini belirlemişlerdir.

Yapılan çalışmalarda fosfatların etlerin yapısal özellikleri üzerindeki etki mekanizması açık bir şekilde ortaya konulmamakla birlikte genel olarak bu etki, fosfatların protein çözünürlüğü ve üründe su tutma kapasitesi üzerindeki artırıcı özelliklerine bağlanmıştır. Et yapısındaki miyofibriler proteinlerin dış kısmında hidrofilik karakterde hidroksil, karboksil, sülfür ve amino grupları çoğunlukta olup, bu gruplar ortam pH' sındaki artış ile iyonlaşmakta ve ortamdaki su moleküllerini

bağlamaktadır. Fosfatlar pH' ı arttırıp, protein moleküllerini iyonlaştırarak proteinlerin su ile etkileşimlerini arttırmaktadırlar. Proteinlerin suyla etkileşiminin artması ise çözünürlüklerindeki artışı beraberinde getirmektedir. Ayrıca, fosfatlar protein yükleri ile etkileşime girerek komşu moleküllerin zıt yükleri arasındaki elektrostatik etkileşimin yanında protein protein etkileşimini düşürmektedirler. Fosfatların gerek protein protein etkileşimini düşürücü etkileri gerekse de proteinlerin su bağlama yetilerini arttırarak çözünürlüklerini arttırması, et ve et ürünlerinin yapısal özellikleri üzerindeki geliştirici etkilerini sağlamaktadır [38]. Et ve et ürünlerinin pişirilerek tüketilmeleri dolayısıyla ısı etkisiyle et proteinlerinde meydana gelen değişimlerin fosfatların et yapısı üzerindeki olumlu etkilerini maskeleyeceği düşünülebilir. Fakat bu noktada et ve et ürünlerinde kullanılan fosfat gibi tuzların proteinlerin denatürasyon sıcaklığı üzerinde önemli düzeyde etkili oldukları unutulmamalıdır. Barbut ve Findlay [67] yaptıkları çalışmada sığır etinde ortam iyonik kuvvetinin artması ile aktin ve miyosinin denatürasyon sıcaklığının arttığını saptarken, ortama tuz ilavesi ile bağ doku proteinlerinin de denatüre olma düzeylerinde değişimler saptamışlardır. STP' ların da ortam iyonik kuvvetini arttırıcı etkiye sahip olmaları dolayısıyla proteinlerin denatürasyon sıcaklığı üzerinde benzer etki gösterdikleri düşünülebilir. Nitekim; Sharma ve Seltzer [72] karideslerin fizikokimyasal özellikleri üzerine fosfatların etkisini araştırdıkları çalışmalarında özellikle de STP ve sodyum hekzametafosfatların ısı etkisiyle et proteinlerinde meydana gelen denatürasyon düzeyini azaltıcı etki gösterdiklerini belirtmişlerdir. Ayrıca STP' lar protein denatürasyonu ve topaklaşma ile protein matriksinde oluşan ve proteinler arası etkileşimi arttırarak sertliğe sebep veren hidrofobik etkileşimi düşürerek yapısal özellikleri olumlu yönde etkilemektedirler [31].

Fosfatların et ve et ürünlerinin yapısal özelliklerini geliştirici fonksiyonlarının yanında, ürünlere belli bir konsantrasyonun üzerinde fosfat ilavesinin yapısal özellikleri olumsuz yönde etkilediği, özellikle de üründe lastiksi bir yapı yanında acı tat oluşumuna neden olduğu belirtilmiştir [2, 16, 17, 18, 27, 42]. Yüksek fosfat konsantrasyonunda ortamdaki su moleküllerinin fosfat tuzları ile kuvvetli bir şekilde bağlanma eğilimi göstermeleri nedeniyle protein yapısındaki su molekülleri de proteinlerden ayrılarak fosfatlarla birleşmektedir. Böylece protein yüzeyinde serbest

kalan hidrofobik kısımlar birbirleriyle etkileşime girerek birarada toplanmakta protein protein etkileşiminin protein su etkileşimine göre daha kuvvetli bir forma dönüşmesi ile de protein molekülleri çökmektedir. Sonuç olarak, ortamda belli bir konsantrasyonun üzerinde fosfat bulunması durumunda fosfatların protein protein etkileşimini artırıcı yönde davranmaları, et ve et ürünlerinin yapısal özellikleri üzerinde olumsuz etki sergilemelerine yol açmaktadır [38]. Turner ve ark. [71] STP' ların aktomiyosin kompleksi üzerinde çözücü etkiye sahip olduğunu fakat belli bir konsantrasyondan sonra STP' ların aktomiyosin çözünürlüğünü düşürdüğünü saptamışlardır. Sonuç olarak et ve et ürünlerine ilave edilen fosfatların, gerek yapısal özellikler gerekse de tat ve aroma açısından belirli bir düzeyi aşmaması gerekmektedir.

Literatür araştırmasında görüldüğü gibi et ve et ürünlerinde çeşitli amaçlarla kullanılan fosfatların ürün içerisindeki miktarlarının belirlenebilmesi, bu katkıların endüstriyel açıdan kullanımları ve ürünlerdeki etki mekanizmalarının daha iyi bir şekilde açıklanabilmesi açısından önem taşımaktadır. Et bünyesindeki fosfat hareketi ve fosfat difüzyon katsayısının belirlenebilmesi için de ette zamanla değişen fosfat miktarının saptanması gerekmektedir. Literatürde açıklanan fosfat analiz yöntemlerinin et ve et ürünleri için yeterli olmamasının yanında tam olarak açıklanmamış olması gibi nedenlerle et ve et ürünlerinde fosfat tayininde basit, çabuk sonuç verebilen ve tüm laboratuvar koşullarında kolaylıkla uygulanabilecek bir yöntem geliştirilmesi gerekmektedir.

3. MATERYAL ve METOT

3.1. MATERYAL

3.1.1. Et Örnekleri

Tez kapsamında belirtilen amaçlar doğrultusunda kullanılan tüm et örnekleri yerel bir marketten sağlanmıştır. Denemelerde kullanılan sığır etleri (*Longissimus dorsi* kasından elde edilen yağsız sığır eti) deneylerin ilk aşamasında 5×5×1 cm boyutlarında ikinci aşamasında ise 2×2×2 cm boyutlarında parçalar halinde kesilerek derin dondurucuda bekletilmiş ve denemeler öncesinde +4°C’ de çözülmeleri sağlanmıştır.

3.1.2. Fosfat Tayininde Kullanılan Kimyasallar

Difüzyon çalışmaları için et örnekleri ve sodyum tripolifosfat çözeltilerinde yapılan fosfat tayinlerinde, amonyum molibdat, tri kloro asetik asit (Carlo Erba); askorbik asit, fenol ftalin (Merck); amonyak (Atabey Kimya); sülfürik asit ve sodyum tripolifosfat (Sigma) kullanılmıştır.

3.2. METOT

3.2.1. Fosfat Tayin Yöntemi

Bu çalışmada, molibden mavisi ile spektrofotometrik fosfat tayin yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem daha önce yapılan çalışmalar [14, 30, 40, 42, 43, 44, 46, 73, 74, 75] göz önüne alınarak yeniden geliştirilmiştir. Et bünyesindeki fosfat miktarları g ortofosfat (KH₂PO₄)/kg et, çözeltilerdeki fosfat miktarları ise g ortofosfat (KH₂PO₄)/kg çözelti şeklinde verilmiştir.

3.2.1.1. Yöntemin ilkesi

Molibden mavisi ile spektrofotometrik fosfat tayininde öncelikle, polifosfatlar sülfürik asit varlığında ortofosfatlara hidrolize edilirler. Ortofosfatların amonyum molibdatla reaksiyonu ile amonyum-fosfo-molibdat bileşiği oluşur. Oluşan bu bileşik askorbik asit ile yoğun mavi renkli bir komplekse dönüşür ki bu renk fosfat konsantrasyonu ile doğru orantılıdır. Daha sonra mavi rengin absorbanısı spektrofotometrede okunarak polifosfat miktarları ortofosfat cinsinden saptanır.

3.2.1.2. Çözelti hazırlama

Modifiye edilen molibden mavisi ile spektrofotometrik fosfat tayin yönteminde kullanılan çözeltiler aşağıda belirtildiği şekilde hazırlanmıştır.

Amonyum molibdat çözeltisi (% 2,5 $(NH_4)_6Mo_7O_{24} \cdot 4H_2O$): 2,5 g amonyum molibdat yaklaşık 90 mL saf suda çözülerek 100 mL' ye tamamlanmıştır (çözelti +4°C' de saklanmalıdır).

Askorbik asit çözeltisi (% 10 $C_6H_8O_6$): 10 g askorbik asit yaklaşık 90 mL saf suda çözülerek 100 mL' ye tamamlanmıştır (çözelti haftalık hazırlanmalıdır ve koyu renkli şişede +4°C' de bekletilmelidir).

Fenol ftalin indikatörü (% 2 $C_{20}H_{14}O_4$): 2 g fenol ftalin yaklaşık 90 mL etil alkolde çözülerek 100 mL' ye tamamlanmıştır.

Tri kloro asetik asit (TCA) çözeltisi (% 10 Cl_3CCOOH): 10 g asit yaklaşık 90 mL saf suda çözülerek 100 mL' ye tamamlanmıştır.

Sülfürik asit (6 N H_2SO_4): 16 mL derişik sülfürik asit çözeltisinden 50 mL saf suya yavaşça dökülüp oda sıcaklığına soğutularak 100 mL' ye tamamlanmıştır.

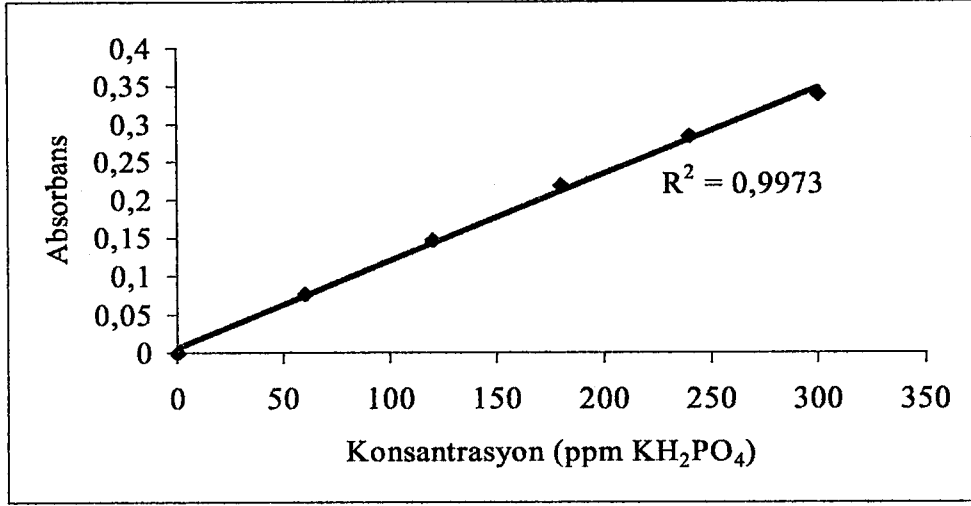
Renklendirici karışım çözeltisi: 6 N Sülfürik asit, saf su, % 2,5' luk amonyum molibdat ve % 10' luk askorbik asit çözeltileri sırasıyla 1:2:1:1 hacimsel oranında karıştırılmıştır. Renklendirici karışım çözeltisi hazırlanırken karışımı oluşturan kimyasallar karıştırma işlemi öncesinde oda sıcaklığına getirilmeli ve çözelti hazırlanırken eklenen her kimyasal sonrası hızlı bir karıştırma yapılmalıdır. Ayrıca renklendirici karışım çözeltisi günlük hazırlanmalıdır.

Standart fosfat stok çözeltisi ($Na_5P_3O_{10}$): 0,27 g sodyum tripolifosfat (STP) 50 mL saf suda çözülerek 100 mL' ye tamamlanmıştır (bu çözelti 3000 ppm ortofosfat- KH_2PO_4 içermektedir).

Sodyum tripolifosfat (STP) çözeltileri (% 2, 4 ve 6 $Na_5P_3O_{10}$): Çözeltiler (w/v) yaklaşık 65°C sıcaklıktaki distile su ile hazırlanmıştır.

3.2.1.3. Standart kalibrasyon eğrisinin oluşturulması

3000 ppm standart stok fosfat çözeltisinden 1, 2, 3, 4, 5' er mL alınıp, 50 mL' lik balonjojelere konulmuştur. Üzerlerine 10 mL renklendirici karışım çözeltisi ilave edildikten sonra hızla çalkalanarak saf su ile 50 mL'ye tamamlanmıştır. Daha sonra 37°C' de su banyosunda inkübasyona bırakılmış ve 10. dakikada 690 nm dalga boyunda absorbans değerleri spektrofotometrede okunarak standart kalibrasyon eğrisini oluşturmak için grafiğe geçirilmiştir (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Standart Kalibrasyon Eğrisi

3.2.1.4. Deneyin yapılışı

% 2, 4 ve 6 STP içeren çözeltiler ve STP içermeyen saf su (% 0 STP), 150 mL' lik beherlere konulmuş ve her bir behere de bir tane parça et eklenmiştir. Çözelti/et örneği oranı yaklaşık 5/1 (v/w) olacak şekilde ayarlanmıştır. Daha sonra belirlenen zamanlarda parça etler çözeltilerden çıkarılarak etlerin ve çözeltilerin değişen fosfat miktarları ortofosfat (KH₂PO₄) cinsinden, geliştirilen edilen spektrofotometrik yöntemle belirlenmiştir. Tüm bu işlemler sabit sıcaklıkta gerçekleştirilmiştir.

Yapılan ilk denemelerde 5×5×1 cm boyutlarında hazırlanan parça etler kullanılmış ve % 0, 2 ve 4 derişimlerdeki STP çözeltilerinde 30, 60, 90, 120, 180 ve 240 dakika süresince bekletilmiştir. Daha sonra 2×2×2 cm boyutlarındaki etler, % 0, 2, 4 ve 6 STP çözeltilerinde, 10, 20, 30, 45, 60, 75 ve 90 dakika sürelerinde bekletilmiş ve bu süreler sonunda çözeltilerden çıkarılarak gerek etlerde gerekse çözeltilerdeki fosfat değişimleri spektrofotometrik olarak saptanmıştır.

Ayrıca, kontrol amacıyla, et örnekleri STP içermeyen saf su (kontrol grubu çözeltisi) içerisine konulmuş ve yine etlerde ve suda zamanla değişen fosfat miktarları saptanmıştır.

3.2.1.5. Ette fosfat tayini

Üç farklı konsantrasyonda STP çözeltileri içerisindeki etler belirlenen zaman aralıklarında çıkarılmış ve dış kısımları saf su ile yıkanarak kurulanmıştır. Daha sonra parçalayıcıdan geçirilen etten 5 g alınmış ve 50 mL' lik bir behere konularak saf su ile 40 mL' ye tamamlanmıştır. Hazırlanan bu karışım homojen bir dağılım sağlanacak şekilde karıştırıldıktan sonra 30 dakika +4°C sıcaklıkta bekletilmiştir (fosfatlar suda çözünmektedirler ve bu bekletme aşamasında et bünyesindeki fosfatın tamamen suya geçmesi beklenmektedir). Daha sonra homojenat, Whatman#1 filtre kağıdından süzülerek süzüntü 50 mL' ye tamamlanmıştır. Süzme işlemi, polifosfatların suyu bağlamalarından dolayı özellikle de et örneklerinin muamele edildiği çözeltilerin konsantrasyonlarının artışı ile zorlaşmaktadır. Bu nedenle süzme, bunher hunisi ve nuche erleni düzeneğinde pompanın sağladığı vakum ile yapılmıştır. Süzüntüden alınan 5 mL filtrat, santrifüj tüpüne aktarılmış, üzerine 5 mL (% 10) TCA ilave edilmiş ve 4000 devir/dakika hızda 5 dakika santrifüj işlemine tabi tutulmuştur. TCA, çözünen proteinleri çöktürmüş ve berrak olan sıvı kısım 25 mL' lik balonjojeye aktarılarak saf su ile hacmine tamamlanmıştır. Hazırlanan çözeltide, kararlı olmayan polifosfatlar asidik ortamda ortofosfatlara parçalanacağı için, amonyak ile fenolftalin indikatörlüğünde pH ayarlaması yapılmıştır (pH>8). pH ayarlaması yapılan çözeltiden 50 mL' lik balonjojeye 2 mL alınıp üzerine 10 mL renklendirici karışım çözeltisi ilave edildikten sonra hızla çalkalanıp saf su ile hacmine tamamlanmıştır. Daha sonra 37°C sıcaklıktaki su banyosunda inkübasyona bırakılarak 10. dakikada 690 nm dalga boyunda absorban değerleri spektrofotometrede (UV/VIS Spektrofotometre, Lamda EZ201, Perkin Elmer) okunmuştur.

3.2.1.6. Çözeltide fosfat tayini

Parça etler çözeltilerden çıkarıldıktan sonra çözeltide uygun seyreltmeler yapılarak pH ayarlanmış ve spektrofotometrik yöntemle fosfat miktarları belirlenmiştir. STP çözeltilerinde fosfat miktarlarının saptanabilmesi için öncelikle çözeltilerde uygun seyreltmeler yapılması gerekmektedir. Seyreltme işleminin

amacı, çözelti içerisindeki fosfat miktarının spektrofotometrede okunabilen aralığa düşürülmesinin yanında, kullanılan renklendirici karışım çözeltisi içerisindeki sülfürik asitin ortamdaki polifosfatların tamamını ortofosfatlara hidroliz edebilmesi için, ortam polifosfat konsantrasyonunun belli bir miktarın altında olması gerekliliğidir. Örneğin % 2 STP çözeltisinden 5 mL alınarak 1/10 oranında seyreltilmiş ve seyreltilen bu çözeltiden de 50 mL' lik balonjojeye 4 mL alınıp pH ayarlaması yapıldıktan sonra 10 mL renklendirici karışım çözeltisi eklenerek saf su ile hacmine tamamlanmıştır. Daha sonra et örneklerinde olduğu gibi 37°C sıcaklıktaki su banyosunda inkübasyon sonrasında spektrofotometrede 10. dakikada 690 nm dalga boyunda absorpsiyon değerleri okunmuştur. Gerek parça etlerde gerekse çözeltilerdeki fosfat miktarları standart STP çözeltileri ile hazırlanan kalibrasyon eğrisi ile hesaplanmıştır (Şekil 3.1).

3.2.1.7. Geri kazanım

Parça sığır etleri parçalayıcıda homojen bir şekilde parçalandıktan sonra sulu çözeltileri hazırlanmış ve bu çözeltilere çeşitli miktarlarda KH_2PO_4 (1, 2, 3 ppm) ve STP (1, 2, 5, 10 ppm) ilave edilerek, etlerde değişen fosfat miktarları saptanmıştır. Denemeler üçer kez tekrarlanmıştır.

3.2.2. Parça Eterde Fosfat Difüzyonu

2×2×2 cm boyutlarında hazırlanan parça etler ve yukarıda belirtilen sürelerde % 0, 2, 4 ve 6 STP çözeltilerinde bekletilerek et ve çözeltilerdeki fosfat değişimleri belirlendikten sonra analitik çözümler kullanılarak STP ve ortofosfat difüzyon katsayısı değerleri hesaplanmıştır (Ek 1 ve 2).

3.2.3. Parça Eterde Fosfat Difüzyonu Üzerine Ortam Sıcaklığının Etkisi

2×2×2 cm boyutlarında hazırlanan parça etler, farklı ortam sıcaklıklarında STP çözeltilerinde bekletilmiş ve belirlenen zaman aralıklarında (5, 10, 20 ve 30 dk) etlerde ve çözeltilerde fosfat konsantrasyon değişimleri belirlendikten sonra analitik çözümlerin kullanılmasıyla ortofosfat ve STP difüzyon katsayısı değerleri

hesaplanmıştır (Ek 2). Sıcaklık değişiminin difüzyon katsayısı üzerindeki etkisinin belirlendiği bu kısımda, % 0 ve % 6 STP içeren çözeltilerdeki fosfat difüzyonu T=16-18°C ve T=20-22°C, % 0, 2, 4, 6 STP çözeltilerindeki fosfat difüzyonu T=16-18°C ve T=28-30°C, ve % 0 ve % 2 STP çözeltilerindeki fosfat difüzyonu da T=16-18°C ve T=34-36°C ortam sıcaklıklarında incelenmiştir.

3.2.4. Sodyum Tripolifosfat' ın (STP) Etlerin Pişme Kayıpları ve Yapısal Özellikleri Üzerine Etkisinin Belirlenmesi

3.2.4.1. Örnek hazırlama ve pişme kayıpları

Hazırlanan parça etler (2×2×2 cm) farklı konsantrasyonlarda 50 mL STP içeren çözeltiler (% 2, 4 ve 6) 150 mL' lik beherlere konulmuş ve çözelti/et örneği oranı yaklaşık 5/1 (v/w) olacak şekilde ayarlanmıştır. Parça etler, çözeltilerden 10, 20 ve 30. dakikalarda çıkarılarak 100 mL kaynar saf su içerisinde üç farklı zaman diliminde (5, 10 ve 15 dk) pişirilmiştir. Daha sonra pişme sularından çıkarılarak dış kısımları kağıt havlu ile kurulanmış ve ağırlıkları kaydedilmiştir. Etler pişme sularından çıkarıldıktan sonra 5 dakika bekletilerek tekrar tartılmış ve pişme sonrasında belirlenen ağırlık ile pişme öncesi çiğ et ağırlıkları arasındaki farklar alınarak pişme kayıpları hesaplanmıştır. Bu bekleme süresinin (5 dk) etlerin ağırlık değişimlerinin sabitlenmesi için yeterli olduğu yapılan ön denemelerle belirlenmiştir. Ayrıca STP çözeltileri ile muamele edilmeden belirlenen sürelerde (5, 10 ve 15 dk) pişirilen etlerde de pişirme kayıpları belirlenmiştir. Tüm ölçümler üç paralel olacak şekilde yapılmıştır.

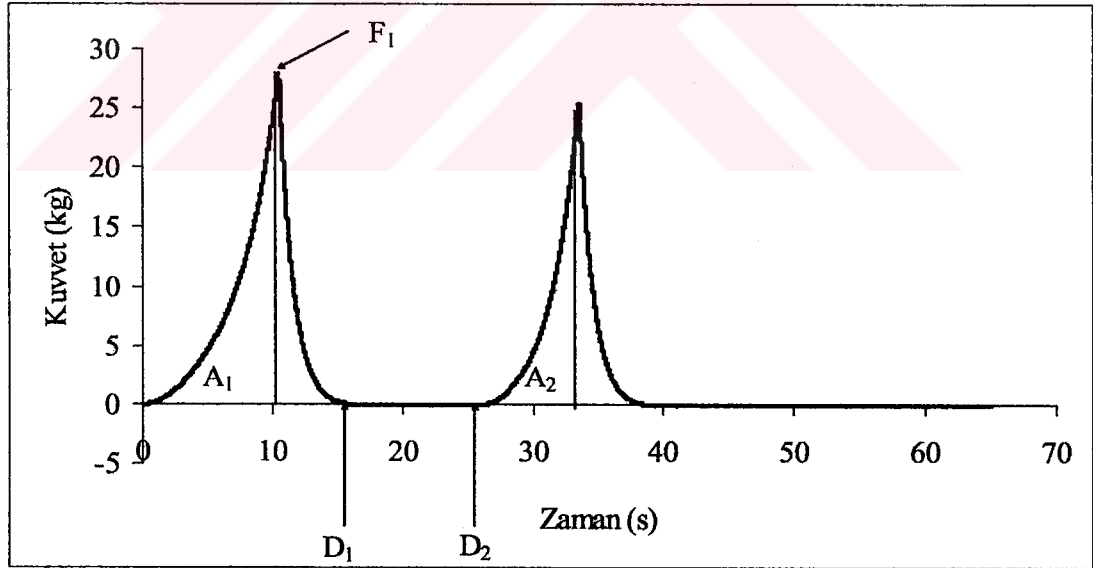
3.2.4.2. Etlerde yapısal özelliklerin belirlenmesi (Tekstür Profil Analizi-TPA)

Etlerde pişme kayıpları belirlendikten sonra (etler pişme suyundan çıkarıldıktan yaklaşık 10 dakika sonra) yapısal özellikleri, Texture Analyzer-TA-XT2i (Stable Micro Systems) kullanılarak tekstür profil analiz yöntemi ile belirlenmiştir. STP çözeltileri ile belirlenen sürelerde muamele edilerek pişirilen

etlerin yanısıra, STP çözeltileri ile muamele edilip pişirilmeyen etler ile hiçbir işlem görmemiş çiğ etlerin de yapısal özellikleri belirlenmiştir.

Tekstür profil analizi için 75 mm çapında silindirik alüminyum uç kullanılmış ve 25 kg ağırlığındaki yük hücresi ile et örneklerini 1 mm/s hız ile iki defa % 70 oranında sıkıştırarak şekilde kuvvet uygulamıştır (örneğin 2 cm kalınlığındaki pişmemiş etler 0,6 cm kalınlığına kadar sıkıştırılmışlardır). Analizler sonrasında elde edilen kuvvet-zaman eğrileri kullanılarak etlerin sertlik, sıklık, elastikiyet, sakızimsılık, ve çiğnenemezlik gibi yapısal özellikleri belirlenmiştir. Yapısal özelliklerden sertlik, sıklık ve elastikiyet doğrudan alınan ölçümler sonunda, çiğnenemezlik ve sakızimsılık ise ölçülen parametreler kullanılarak yapılan hesaplamalar sonucunda belirlenmiştir [57, 58].

Şekil 3.2' de yapılan denemelerden alınan tipik bir tekstür profil analiz (TPA) eğrisi görülmektedir. Bu TPA eğrisi % 6' lık STP çözeltisinde 20 dakika bekletildikten sonra 15 dakika pişirilen et örneklerinden birisi için elde edilmiştir.



Şekil 3.2. Tekstür Profil Analiz (TPA) Eğrisi (% 6 STP çözeltisinde 20 dk bekletilip 15 dk pişirilen et örneği için)

TPA eğrisi kullanılarak TPA parametreleri aşağıdaki şekilde hesaplanabilir.

$$\text{Sertlik (kg)} = F_1 \quad (3.1)$$

$$\text{Sıkılık} = A_2/A_1 \quad (3.2)$$

3.2 nolu eşitlikteki A_1 ve A_2 değerleri; Şekil 3.2' de birinci ve ikinci sıkıştırma sırasında elde edilen eğrinin altında kalan alanlardır.

$$\text{Elastikiyet (mm)} = D_1 - D_2 \quad (3.3)$$

3.3 nolu eşitlikteki D_1 ve D_2 değerleri Tekstür Profil verilerinden birinci sıkıştırmanın sonu ve ikinci sıkıştırmanın başladığı zamanlarda elde edilen uzaklık değerleridir.

$$\text{Sakızimsılık (kg)} = \text{Sertlik} \times \text{Sıkılık} \quad (3.4)$$

$$\text{Çiğnenemezlik (kg-mm)} = \text{Sakızimsılık} \times \text{Elastikiyet} \quad (3.5)$$

Analiz sonucunda elde edilen verilerde Statistica 5.0 istatistik programı kullanılarak varyans analizi (ANOVA) yapılmış ve istatistiksel olarak önemli bulunan ortalamalar en küçük önemli fark (LDS) yöntemi kullanılarak gruplandırılmıştır.

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

4.1. YÖNTEM ÇALIŞMASI

4.1.1. Yöntem Geliştirilmesi

Spektrofotometrik fosfat tayin yöntemi, literatürde daha önce bu konuda yapılan çalışmalar göz önüne alınarak metot kısmında anlatılan doğrultuda, et ve et ürünleri için yeniden uyarlanmış ve yöntem, standart laboratuvar koşullarında hızlı sonuç alınabilecek şekilde geliştirilmiştir. Sodyum tripolifosfat (STP) muamelesi sonucunda parça etlerde zamanla değişen fosfat miktarları, geliştirilen bu yöntemle polifosfatların ortofosfatlara hidrolizi ile ortofosfat (KH_2PO_4) cinsinden belirlenmiştir. Polifosfatların ortofosfatlara hidroliz tepkimesini sıcaklık artışı hızlandırdığı için örnekler 37°C sıcaklıktaki su banyosunda 10 dakika bekletildikten sonra spektrofotometrede absorbans okumaları yapılmıştır. Su ve atık sularda fosfat analizinde, kondense fosfatların ortofosfatlara dönüşmesi için 2,5 M sülfürik asit çözeltisinde 15 dakika kaynatma işlemi yapılması gerektiği belirtilmektedir [76]. Ayrıca yapılan çalışmalarda, renklendirici karışım çözeltisi ilavesinden sonra, bu çözeltinin zamanla kararlılığını kaybetmesi nedeniyle, spektrofotometredeki okumaların belli bir süre içerisinde yapılması gerektiği vurgulanmıştır. Molins ve ark. [43] pişmiş ve pişmemiş domuz etlerinde poli ve pyrofosfat saptanması için yaptıkları metot çalışmasında bu süreyi bir saat olarak vermişlerdir. Özdemir [75] okumaların, ortofosfat hidrolizini sağlayan kimyasal ilavesinden 29 dakika sonra yapılması gerekliliğini belirtmiştir. Lee ve ark. [46] işlem görmemiş sığır etinde yaptıkları fosfat tayininde 37°C sıcaklıkta 10 dakika inkübasyon sonrası okuma yapmışlardır.

Et ve et ürünleri için uyarlanan bu yöntemde örnek hazırlama aşamasında proteinlerin çöktürülmesi amacıyla tri kloro asetik asit (TCA) kullanılmaktadır. Fakat TCA aynı zamanda, parça ete difüze olan polifosfatları kısmen ortofosfatlara parçalamaktadır. Yöntemde esas olarak ete difüze olan polifosfatların ortofosfatlara hidrolizi spektrofotometrede okuma öncesi ilave edilen renklendirici karışım

çözeltisi içerisindeki sülfürik asit ile sağlanmaktadır. Eklenen TCA' in polifosfatları ortofosfatlara parçalaması, erken hidroliz olayını doğurmakta ve bu da sonuçları etkilemektedir. TCA ilavesi sonrasında ortam pH değerinin amonyak eklenerek 8' in üzerine ayarlanması ile gerçekleşen erken hidroliz olayının önlenebileceği düşünülmüştür. Cui ve ark. [44] da iyon kromatografisi ile bir deniz ürünüde yaptıkları polifosfat tayininde örnek hazırlama kısmında TCA muamelesi sonrası ortam pH' sının 8' in üstüne çıkarılması gerektiğini, yüksek sıcaklık ve düşük pH değerinin polifosfat hidrolizini hızlandırdığını belirtmişler ve pH' yı sodyum hidroksit ilavesi ile ayarlamışlardır. Özdemir [75] ise fosfat tayin yönteminde ortam pH değerinin amonyak varlığında, fenol ftalin indikatörlüğünde, 8' in üzerine ayarlanabileceğini belirtmiştir.

4.1.2. Geri Kazanım

Difüzyon çalışmalarına geçilmeden önce geliştirilen yöntemin güvenilirliğini test etmek amacıyla geri kazanım çalışmaları yapılmıştır. Bu amaçla parçalayıcıda homojen bir şekilde parçalandıktan sonra sulu çözeltileri hazırlanan etlere çeşitli miktarlarda ortofosfat (1, 2 ve 3 ppm) ve STP (1, 2, 5 ve 10 ppm) doğrudan ilave edilerek, etlerde değişen fosfat miktarları saptanmıştır. Geri kazanım sonuçlarının ortalama değerleri çizelge 4.1' de gösterilmiştir. Çizelge 4.1' de de görüldüğü gibi geri kazanım değerleri oldukça yüksektir ve geliştirilen yöntemin güvenilir olduğu bu şekilde belirlenmiştir.

Çizelge 4.1. Geri Kazanım Sonuçları

Örnek et miktarı	Eklenen fosfat miktarı	% Geri kazanım
1 g	1 ppm KH_2PO_4	98,9
1 g	2 ppm KH_2PO_4	100,0
1 g	3 ppm KH_2PO_4	97,8
2 g	1 ppm KH_2PO_4	91,0
0,5 g	10 ppm STP	109,7
1 g	1 ppm STP	106,2
1 g	2 ppm STP	116,4
1 g	5 ppm STP	111,9

4.2. DİFÜZYON

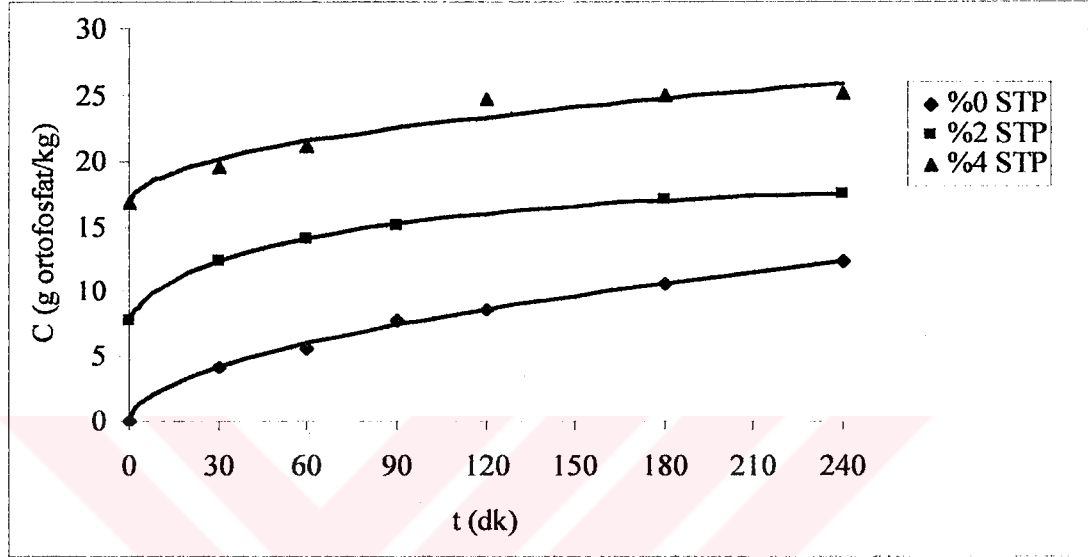
4.2.1. STP Çözeltilerindeki Parça Etlerde Fosfat Difüzyon Mekanizması

Difüzyon çalışmalarının ilk aşamasında sonsuz plaka oluşturacak şekilde, 5×5×1 cm boyutlarında hazırlanan etler kullanılmış, daha sonra üç boyut da aynı olacak şekilde (2×2×2 cm) hazırlanan etlerle difüzyon çalışmalarına devam edilmiştir. Hazırlanan parça sığır etleri % 0, 2, 4 ve 6 STP içeren çözeltilerde belirlenen sürelerde bekletilerek etlerdeki ve çözeltilerdeki fosfat değişimleri belirlenmiştir.

STP çözeltileri ile muamele edilen etlerde başlangıçta tek yönlü fosfat difüzyonu gerçekleşmesi bekleniyordu. Yani çözeltilere konulan parça etlerde zamanla fosfat artışı olurken çözeltilerdeki fosfat konsantrasyonlarında ise azalmalar olacağı düşünülmüştü. Fakat hem çözeltilerde hem de parça etlerdeki fosfat değişimlerinin ortofosfat cinsinden belirlenmesi, sığır etlerinin doğal yapısında oldukça fazla miktarda ortofosfat bulunması ve bu ortofosfatın zamanla çözeltiye difüze olması nedenleri ile çözeltilerde fosfat artışları saptanmıştır. Bunun yanında, çözelti içerisindeki polifosfatların da ete difüze olmaları ile sistemde iki yönlü bir difüzyon mekanizması şekillenmiştir. Bu iki yönlü difüzyon mekanizması et örnekleri ile çözeltiler arasındaki fosfat konsantrasyon farkının doğal bir sonucu olarak ortaya çıkmıştır (parça etler başlangıçta STP içermezken, STP çözeltilerinde de ortofosfat bulunmamaktadır).

Parça et boyutlarının 5×5×1 cm olduğu ilk denemelerde etler 30, 60, 90, 120, 180 ve 240 dakika sürelerince % 0, 2 ve 4 STP çözeltileri ile muamele edilmiş, et ve çözeltilerdeki fosfat değişimleri belirlenmiştir. Kontrol grubu çözeltisinde ve STP çözeltilerinde düzenli fosfat artışları saptanırken (Şekil 4.1), parça etlerde fosfat konsantrasyonlarında düzenli değişimler saptanamamıştır. STP çözeltileriyle muamele edilen etler, belirlenen sürelerde çözeltilerden çıkarıldıktan sonra Bölüm 3.2.1.5' de açıklandığı gibi etlerdeki fosfat değişimleri spektrofotometrik olarak saptanmıştır. Ancak, süzme işleminin yetersizliği nedeniyle ette fosfat

değişimlerinde kararsızlıklar gözlenmiştir. Bu durumda, süzme probleminin giderilmesi için vakum pompasının kullanılmasının yanında parça etlerin boyutlarının da küçültülmesinin uygun olacağı düşünülerek daha sonraki denemelerde parça etler 2×2×2 cm boyutlarında hazırlanmıştır.



Şekil 4.1. Sodyum Tripolifosfat (STP) ve Kontrol Grubu Çözeltilerinde Zamana Karşı Fosfat Konsantrasyonu Değişimleri (5×5×1 cm et boyutları, T=16-18°C)

2×2×2 cm et boyutları belirlenirken sonsuz ve sonlu plaka şekilli geometriler için analitik difüzyon denkliklerinden yola çıkılarak et örneklerinin aynı muamele

zamanında aynı konsantrasyon oranına $\left(\frac{C(t) - C_{\infty}}{C_i - C_{\infty}} \right)$ ulaştığı boyutlar değişik STP

difüzyon katsayıları (10^{-9} ve 10^{-10} m²/s) için deneme yanılma yolu ile belirlenmiştir.

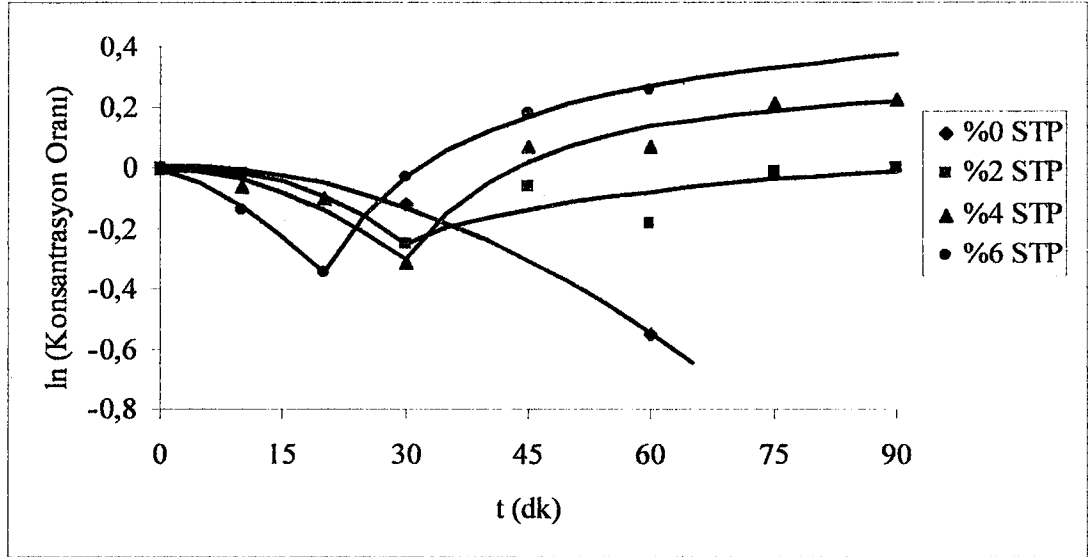
Bu şekilde 2×2×2 cm boyutlarındaki sonlu plaka şekilli parça etlerin konsantrasyon oranlarının 5×5×1 cm boyutlarındaki sonsuz plaka şekilli parça etlerle eşdeğer olduğu belirlenmiştir. Değişik STP difüzyon katsayılarında farklı boyutlardaki parça etler için aynı muamele zamanlarındaki konsantrasyon oranları Çizelge 4.2' de gösterilmiştir. Bu bölümle ilgili hesaplamalar Ek-1' de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Farklı STP Difüzyon Katsayısı Değerlerinde Et Örneklerinin (2×2×2 cm, 5×5×1 cm) Aynı Muamele Zamanlarındaki Konsantrasyon Oranı Değerleri

Zaman (dk)	Konsantrasyon Oranı ($D=10^{-9}$ m ² /sn)		Konsantrasyon Oranı ($D=10^{-10}$ m ² /sn)	
	2×2×2 cm et boyutları için	5×5×1 cm et boyutları için	2×2×2 cm et boyutları için	5×5×1 cm et boyutları için
10	0,7625	0,7710	0,9220	0,9267
20	0,6754	0,6825	0,8892	0,8959
30	0,6133	0,6169	0,8658	0,8718
60	0,4873	0,4795	0,8129	0,8202

Ayrıca STP çözeltilerindeki fosfat artışlarında 90 dakika muamele süresi sonrasında önemli bir değişim gözlenmemesinin (Şekil 4.1) yanında etlerin çok uzun süre STP çözeltilerinde kalmalarının da uygun olmayacağı düşünülerek daha sonra yapılan denemelerde ilk 90 dakikadaki değişimlerin gözlenmesinin yeterli olacağı kanısına varılmıştır. Sonuç olarak ön denemeler sonrasında yapılan asıl denemelerde parça etler, 2×2×2 cm boyutlarında hazırlanmış ve 10, 20, 30, 45, 60, 75 ve 90 dakika sürelerinde % 0, 2, 4 ve 6 STP çözeltileri ile muamele edilerek et ve çözeltilerdeki fosfat değişimleri belirlenmiştir.

Et örneklerinde zamanla değişen fosfat miktarları spektrofotometrik yöntemle saptandıktan sonra konsantrasyon oranlarının doğal logaritma değerleri $\left(\ln \left[\frac{C(t) - C_{\infty}}{C_i - C_{\infty}} \right] \right)$ hesaplanmış ve çözeltilerde bekletme zamanlarına karşı grafiğe geçirilmiştir (Şekil 4.2).



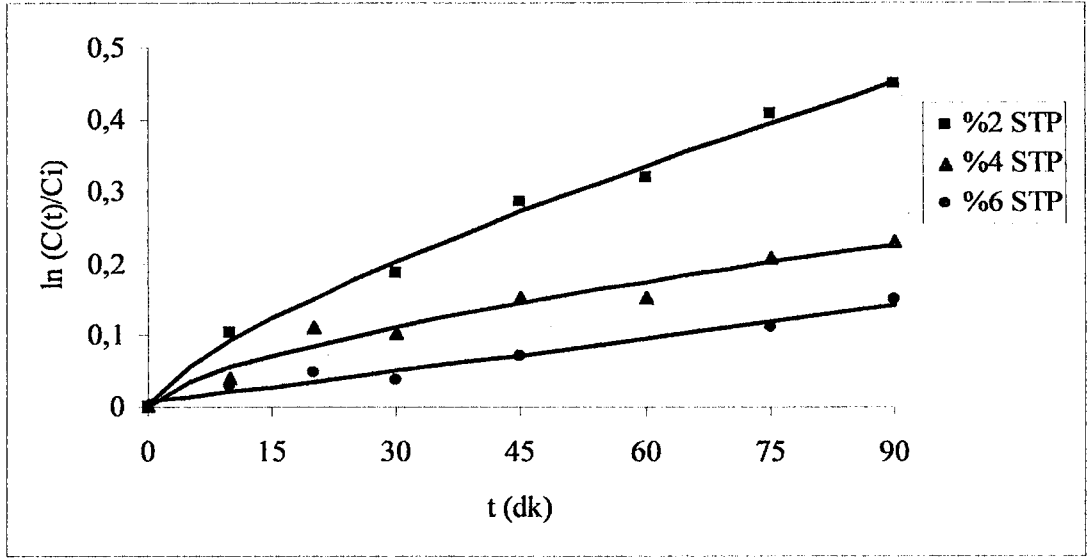
Şekil 4.2. Sodyum Tripolifosfat (STP) ve Kontrol Grubu Çözeltileri İçerisindeki Etlere Zamana Karşı Fosfat Konsantrasyon Oranları Değişimi (2×2×2 cm et boyutları, T=16-18°C)

Burada $C(t)$ değeri; et örneklerinin zamanla değişen ortofosfat miktarını g/kg olarak, C_i değeri ise g/kg cinsinden etin başlangıç ortofosfat miktarını göstermektedir. C_∞ değeri ise STP çözeltilerinin ortofosfat cinsinden başlangıç fosfat konsantrasyonudur (g/kg). STP çözeltilerinde başlangıçta ortofosfat bulunmamaktadır. Ancak gerek etlerde gerekse çözeltilerde fosfat miktarları hesaplanırken kullanılan modifiye yöntemde sonuçlar ortofosfat cinsinden hesaplanmaktadır. Bu durumda, % 2, 4 ve 6 STP çözeltilerinin başlangıç fosfat miktarları ortofosfat cinsinden 22,2, 44,4 ve 66,6 g/kg olarak hesaplanmıştır. Şekil 4.2' de görüldüğü gibi, etlerde fosfat artışı öncesinde belirli bir bekletme zamanına kadar etlerin fosfat miktarlarında azalma gözlenmektedir. Bunun yanında, polifosfat içermeyen saf su içerisinde bekletilen kontrol grubu etlerinde sürekli bir fosfat azalışı saptanmıştır.

STP' ların proteinlerin çözünürlüğü üzerine etkili oldukları özellikle de viskoelastik yapışkan jel oluşturma özelliğindeki miyofibriler proteinlerin çözünürlüklerini arttırdıkları belirtilmiştir [20, 31, 39]. STP çözeltilerinde bekletilen etlerin yüzeylerinde zamanla, polifosfatların çözünen et proteinleri ile etkileşimleri sonucu jel yapısında fosfat-protein-su katmanı şekillenmektedir. Et yüzeyinde

katman oluşumuna kadar geçen süreçte etten çözeltiliye hızlı bir ortofosfat çıkışı olmaktadır. Bu aşamada, çözeltiliden ete doğru olan STP difüzyonunun, etten çözeltiliye doğru olan ortofosfat difüzyonuna göre daha yavaş olduğu düşünülmekte ve et bünyesindeki ortofosfat konsantrasyonunun yüksek düzeyde olması, çözeltili ile et arasında yüksek ortofosfat konsantrasyon farkını doğurmaktadır. Bunun yanında ortofosfat molekül ağırlığının (136,1 g/mol) STP molekül ağırlığının (367,9 g/mol) üçte biri olması, ortofosfat difüzyonunun STP difüzyonuna göre daha hızlı gerçekleşmesine yol açtığı düşünülebilir. Yüzeyde katman oluşumu öncesinde ortofosfat difüzyonu oldukça hızlı olduğu için, sistemde iki yönlü bir difüzyon olmasına rağmen ette STP artışları gözlenememiştir. Sonuç olarak et yüzeyinde ortofosfat çıkışını yavaşlatan katman oluşumuna kadar STP çözeltileri içerisinde bekletilen parça etlerin fosfat konsantrasyonlarında azalma saptanırken, katman oluşumu sonrasında artışlar gözlenmiştir. Bu bulgularla ilgili olarak, Martin ve ark. [31] yüzeyde protein denatürasyonu ve su ile etkileşim sonucunda oluşan sıkı elastik jel ağı, özellikle de STP varlığında şekillendiğini saptamışlardır.

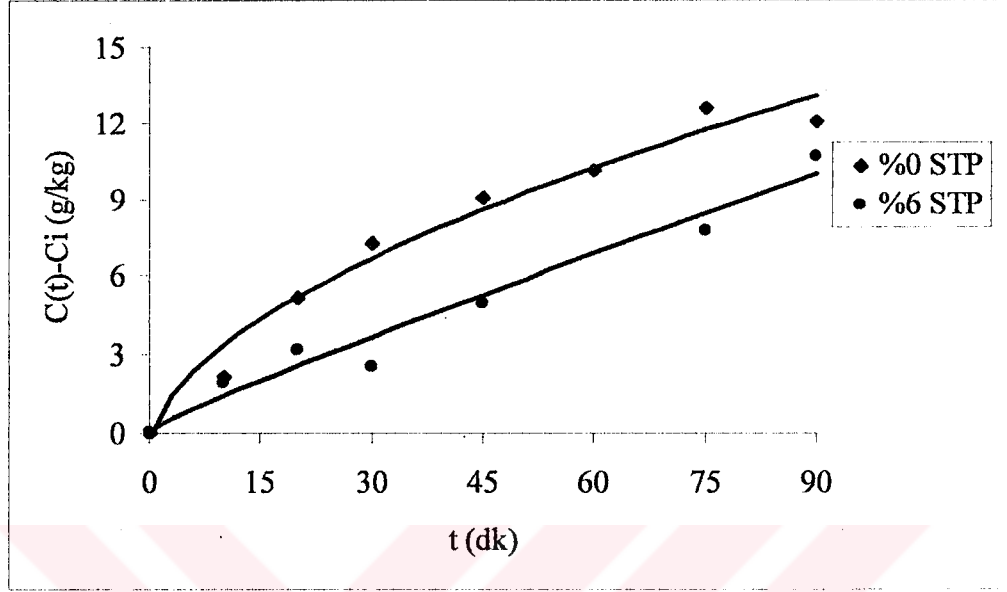
Etteki bu değişimlere karşılık, çözeltilerde (% 2, 4 ve 6 STP) düzenli olarak fosfat artışları gözlenmiştir (Şekil 4.3). Şekil 4.3' de çözeltilerin ortofosfat değişimleri $\left(\ln\left[\frac{C(t)}{C_i}\right]\right)$ zamana karşı grafiğe geçirilmiştir. Burada C(t) g ortofosfat/kg cinsinden çözeltilinin zamanla değişen fosfat konsantrasyonu, C_i ise çözeltilinin yine g ortofosfat/kg cinsinden başlangıç konsantrasyonunu göstermektedir. Şekil 4.3' de kontrol grubu çözeltilisindeki değişim, çözeltilinin başlangıç fosfat konsantrasyonu sıfır olduğu için gösterilmemiştir.



Şekil 4.3. Sodyum Tripolifosfat (STP) Çözeltilerinde Zamana Karşı Fosfat Konsantrasyon Değişimleri (2×2×2 cm et boyutları, T=16-18°C)

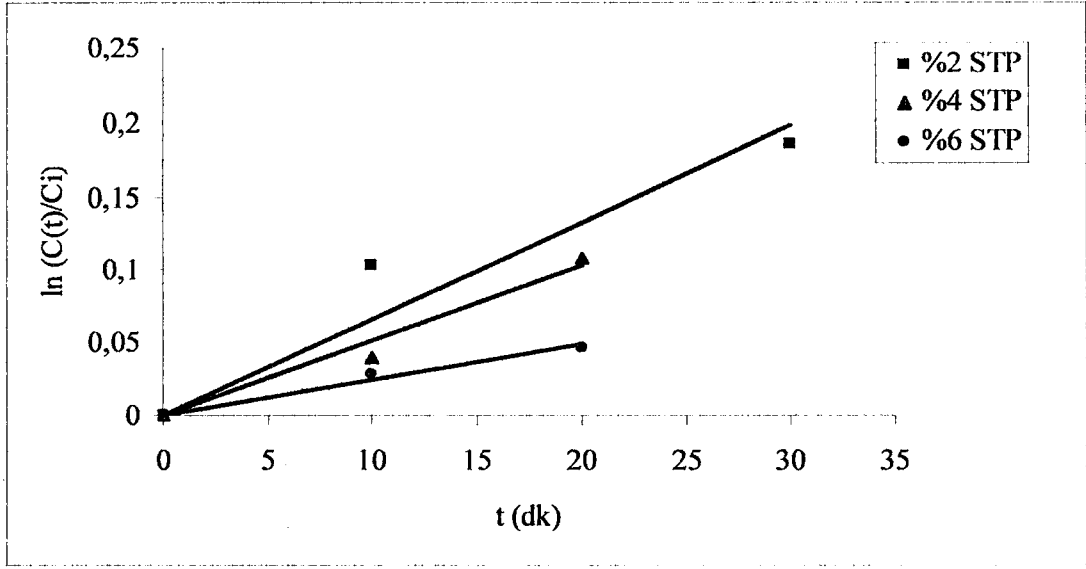
Şekil 4.4' te çözeltilerdeki ortofosfat konsantrasyon değişimleri, zamanla değişen çözelti konsantrasyonları ile başlangıç çözelti konsantrasyonları arasındaki farklar alınarak, bu değerlerin zamana karşı grafiğe geçirilmeleri ile gösterilmiştir. Burada başlangıç STP konsantrasyonu % 6 olan çözeltideki değişim ile kontrol grubu çözeltisindeki değişim arasında oldukça belirgin bir fark olduğu gözlenmektedir. Benzer fark % 2 ve % 4' lük çözeltiler için de aynı şekilde saptanmıştır. Bu durum doğrudan saf suda bekletilen etlerdeki suya geçen ortofosfat miktarı ve dolayısıyla çözeltide artan ortofosfat miktarının, % 2, 4 ve 6 STP içeren çözeltilerdeki ortofosfat artışlarından daha fazla olduğunu göstermektedir. Bu farkın STP çözeltileri içerisindeki etlerin yüzeyinde oluşan katman ve bu katmanın kalınlığı ile doğrudan ilişkili olduğu açıktır. Katman oluşum hızı ve etlere polifosfat difüzyonuna bağlı olarak katman kalınlığı arttıkça, etlerden çözeltilere olan ortofosfat difüzyonu azalmaktadır. Yani et yüzeyinde oluşan katman ortofosfat çıkışını engelleyici bir etki sergilemektedir. STP içermeyen kontrol grubu çözeltisindeki (% 0 STP) etlerin yüzeyinde herhangi bir katman oluşumu söz konusu olmadığı için etlerden ortofosfat çıkışı oldukça hızlı ve bu çözeltide artan ortofosfat miktarı da oldukça fazladır. Bunun yanında etlerin bekletildiği STP çözeltilerinin derişimi arttıkça, et yüzeyinde katman oluşum hızı ve katman kalınlığı artmakta ve böylece etlerden ortofosfat çıkış hızı yavaşladığı için çözeltilerde ortofosfat artış hızı da azalmaktadır. Bu nedenle de

Şekil 4.3' de görüldüğü gibi STP çözeltileri için ortofosfat artışı % 2 STP çözeltisinde en fazla, % 6 STP çözeltisinde ise en azdır.

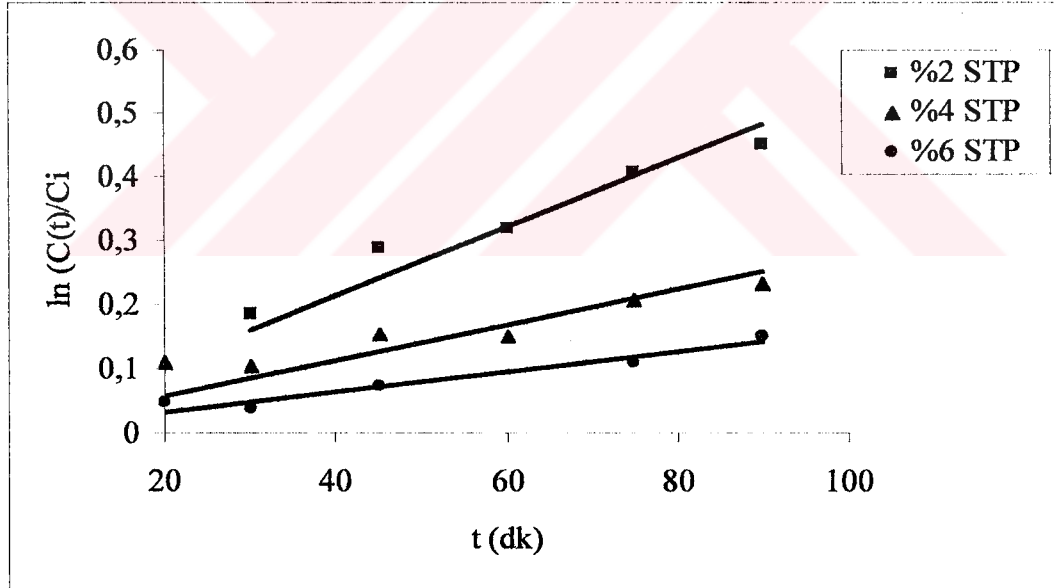


Şekil 4.4. Kontrol Grubu Çözeltisi ve % 6 Sodyum Tripolifosfat (STP) Çözeltisinde Zamana Karşı Fosfat Konsantrasyon Değişimi (2×2×2 cm et boyutları, T=16-18°C)

Şekil 4.2 incelendiğinde, STP çözeltilerindeki ortofosfat artış hızının etlerde STP artışı başladıktan sonra azaldığı görülmektedir. Çözeltilerdeki ortofosfat artış hızının logaritmik olarak değiştiği farz edilerek, Şekil 4.3' deki eğrilerin eğimleri hesaplanmıştır. Hesaplanan eğim değerlerinin (K: dk⁻¹) etlerde STP artışları gözlenmeden önceki dönemde, (örneğin % 6 STP çözeltilerindeki etlerde ilk 20 dakikada) etlerde STP artışlarının saptandıktan sonraki döneme göre daha yüksek olduğu göze çarpmaktadır (Şekil 4.5, 4.6 ve Çizelge 4.3). Ayrıca, beklenildiği gibi, artan STP derişimi ile K değerleri de azalmaktadır.



Şekil 4.5. Sodyum Tripolifosfat (STP) Çözeltilerindeki Eterde Fosfat Artışı Gözlenmeden Önceki Süreçte Zamana Karşı Fosfat Konsantrasyonu Değişimleri (2×2×2 cm et boyutları, T=16-18°C)



Şekil 4.6. Sodyum Tripolifosfat (STP) Çözeltilerindeki Eterde Fosfat Artışı Gözlendikten Sonraki Süreçte Zamana Karşı Fosfat Konsantrasyonu Değişimleri (2×2×2 cm et boyutları, T=16-18°C)

Çizelge 4.3. Eterde Fosfat Artışları Gözlenmeden Önce ve Gözlendikten Sonraki Süreçlerde Sodyum Tripolifosfat Çözeltilerindeki (% 2, 4, 6 STP) Ortofosfat Artış Hızlarının Sayısal Değerleri (K: dk⁻¹)

STP Çözelti Konsantrasyonu	K (dk ⁻¹): Eterde Fosfat Artışları Gözlenmeden Önce	K (dk ⁻¹): Eterde Fosfat Artışları Gözlendikten Sonra
% 2	$6,6 \times 10^{-3}$	$5,4 \times 10^{-3}$
% 4	$5,2 \times 10^{-3}$	$2,8 \times 10^{-3}$
% 6	$2,4 \times 10^{-3}$	$1,6 \times 10^{-3}$

Bu sonuçlar yukarıda belirtildiği gibi etlerin yüzeyinde polifosfatlar, suda çözünen proteinler ve suyun etkileşimi sonucu jelatinize protein formunda bir film katman oluştuğunu ve bu katmanın et yüzeyinde ortofosfat çıkışını engelleyici bir duvar gibi davrandığı teorisini desteklemektedir. STP çözeltilerinde bekletilen etlerde STP difüzyonu sonucu et yüzeyinde oluşan katman kalınlığı artışına bağlı olarak etlerden çözeltilere ortofosfat difüzyon hızı azalmıştır. Ayrıca etlerden çözeltilere ortofosfat difüzyon hızının azalması sonrasında da etlerde STP artışı gözlenebilmiştir. Eterdeki fosfat artışının gözlenebilmesi ete difüze olan STP miktarının etten çözeltilere difüze olan ortofosfat miktarına göre daha fazla olmaya başlamasının sonucudur.

Şekil 4.2' de görüldüğü gibi belli bir zamana kadar et örneklerinde fosfat miktarları azalmış ve sonra difüzyon olayının tersine dönmesi ile etlerde STP artışları başlamıştır. Difüzyonun tersine dönmesi ve dolayısıyla etlerde STP artışı ilk önce % 6 STP içeren çözelti ile muamele edilen etlerde gözlenmiştir. % 6 STP çözeltisindeki etlerde difüzyon 20 dakika bekletme süresi sonrasında tersine dönerken, % 2 STP çözeltisinde 30 dakika sonra tersine dönmüştür. Bu durum katmanın en önce en yüksek konsantrasyondaki STP çözeltisi içerisindeki etlerde oluştuğunu göstermektedir. Eterin muamele edildiği STP çözeltilerinin konsantrasyonları arttıkça katman oluşum hızı da artmaktadır. Difüzyonun tersine dönmelerinden sonra et örneklerinde en fazla STP artışı % 6 STP içeren çözeltide bekletilen etlerde gözlenmiş, bunu % 4 ve % 2 STP çözeltilerindeki etler izlemiştir. Konsantrasyon artışı ile ete difüze olan STP miktarında artış olması beklenen bir sonuçtur.

Et örneklerindeki fosfat hareketinde gözlenen tersine döngü olayı çözelti sonuçlarında gözlenmemiş ve tüm bekletme sürelerinde STP çözeltilerinde ortofosfat artışları saptanmıştır (Şekil 4.3). Fakat etlerde difüzyonun tersine dönmesi ile çözeltilerdeki ortofosfat artış hızlarında azalmalar saptanmıştır (Şekil 4.5, 4.6 ve Çizelge 4.3). Çözeltilerdeki ortofosfat artış hızındaki bu azalma ilk olarak % 6 STP çözeltisinde gözlenirken bunu sırasıyla % 4 ve % 2 STP çözeltileri izlemiştir. Bu bulgu yukarıda et örneklerindeki değişimlerde açıklandığı gibi, % 6 STP çözeltisindeki etlerde katman oluşum hızının % 4 ve % 2 STP çözeltilerindeki etlere göre daha hızlı olması sonucunu da desteklemektedir. Yani et yüzeyinde katman oluşumu ile etlerden çözeltilere ortofosfat çıkışı yavaşlamakta ve dolayısıyla çözeltilerde artan ortofosfat miktarı azalmaktadır. Katman oluşumu etten fosfat çıkışını yavaşlatmakta, fakat bu çıkışı tam olarak durduracak bir engel oluşturmamaktadır. Bu nedenle de çözeltiden ete STP girişi ile ette fosfat artışı gözlemlendikten sonra dahi çözeltilerde fosfat artışı görülmektedir.

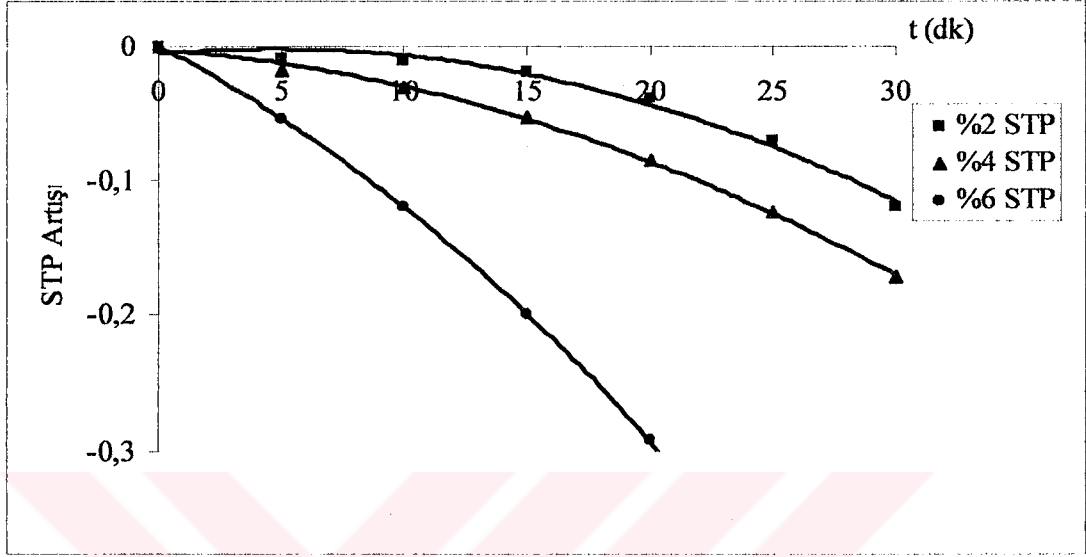
Difüzyon mekanizmasının tersine dönmesi olayı en geç % 2 STP çözeltisinde gözlenmiştir (Şekil 4.2). Difüzyonun tersine dönmesi yani etlerde STP artışlarının gözlenmesinin başlamasından önceki süreçte, etlerden çözeltilere hızlı bir ortofosfat geçişi olduğu için en fazla ortofosfat artışı % 2 STP içeren çözeltide saptanmıştır. Yüzeyde katman oluşumu ve dolayısıyla bunun sonunda difüzyon mekanizmasının tersine dönmesi olayı en önce % 6 STP çözeltisindeki etlerde gerçekleştiği için de çözeltilerdeki fosfat artışı en az % 6 STP çözeltisinde gözlenmiştir (Şekil 4.3). Bunun yanında çözeltilerde en fazla ortofosfat artışının kontrol grubu çözeltisinde olduğu unutulmamalıdır. Çünkü kontrol grubunda etler saf su içerisinde bekletilmiş ve bu sistemde et yüzeyinde doğal olarak ortofosfat çıkışını yavaşlatıcı herhangi bir protein-polifosfat-su katmanı oluşmamıştır. Bu olay da yukarıda açıklanan teorileri desteklemektedir.

4.2.2. STP Difüzyon Katsayısı Değerinin Belirlenmesi

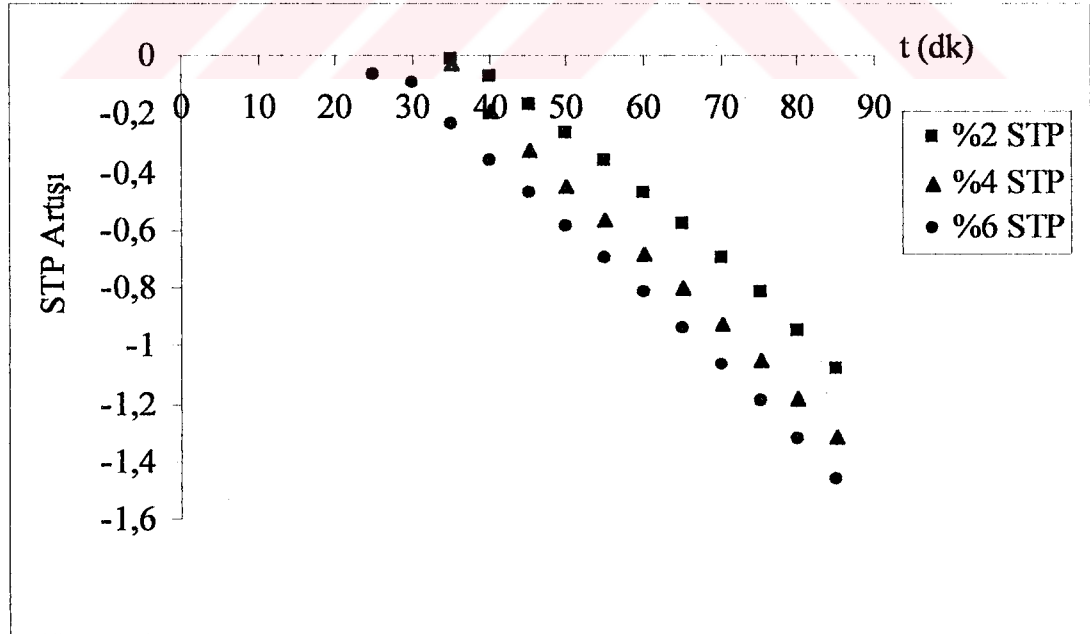
Farklı STP çözeltilerinde bekletilen et örneklerinde STP' ın et örneklerine difüzyonunda difüzyon katsayısı değerleri, katman oluşumu öncesi ve sonrası için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Difüzyon katsayısı değerlerinin belirlenebilmesi için sonlu plakalarda konveksiyon sınır koşulları durumu için geliştirilen analitik çözümler kullanılmıştır (Ek-2). Bu çözümlerin kullanılması için et örnekleri içerisindeki STP değişim değerlerinin bilinmesi gerekmektedir. Fakat geliştirilen fosfat tayin yöntemi ile sonuçlar ortofosfat cinsinden elde edildiğinden, analitik çözüm metotları bazı kabuller ile birlikte uygulanmıştır: Farklı konsantrasyonlardaki STP ve kontrol grubu çözeltilerinde başlangıçta ortofosfat bulunmadığı için bu çözeltilerdeki etlerden çözeltilere ortofosfat difüzyonu ve dolayısıyla ortofosfat difüzyon katsayısı değeri eşit kabul edilmiştir. Ancak bu durumda, çözeltiler içerisindeki etlerin fosfat değişimlerinin de aynı olması gerekirdi. Fakat % 0 STP çözeltisindeki etlerdeki fosfat azalışı diğer çözeltilerdeki etlere göre daha fazla bulunmuştur. Bunun nedeni daha önce de açıklandığı gibi, STP çözeltilerinde bekletilen etlerde ortofosfat çıkışının yanında etlere STP difüzyonunun da olmasıdır. Bu durumda STP içermeyen kontrol çözeltisinde (% 0 STP) bekletilen etlerin zamanla değişen ortofosfat miktarlarıyla % 2, 4, 6 STP çözeltilerindeki etlerin değişen ortofosfat miktarları arasındaki farklar etlerdeki STP artışlarını ortofosfat cinsinden verecektir. Bu artışlar et yüzeyinde katman oluşumu öncesi ve sonrasında ayrı ayrı hesaplanmış, analitik çözümlerin de kullanılmasıyla STP difüzyon katsayıları belirlenmiştir.

Şekil 4.7 ve 4.8' de etlerdeki STP artışları, % 2, 4 ve 6 STP çözeltilerindeki etler ile saf suda bekletilen etlerin $\left(\ln \left[\frac{C(t) - C_{\infty}}{C_i - C_{\infty}} \right] \right)$ değerleri arasındaki farkların zamana karşı grafiğe geçirilmesiyle gösterilmiştir. Bu değerler kullanılarak, literatürde konsantrasyon oranlarındaki değişimler için verilen analitik çözümlerden yola çıkılarak ve Şekil 4.7 ile 4.8' deki eğrilerin belli bir zamandan sonra ($Fo > 0,2$) doğrusal oldukları kabul edilerek, difüzyon katsayıları hesaplanmıştır. Analitik çözümlerin difüzyon katsayılarının hesaplanması için kullanımı Ek-2' de verilmiştir. Eğrilerin belli bir noktadan sonra doğrusal olduğu yaklaşımı yüzeyde katman

oluşumu öncesi ve sonrası için ayrı ayrı uygulanmıştır. Çizelge 4.4' de, bu yaklaşımla, farklı STP çözelti konsantrasyonları için hesaplanan difüzyon katsayısı değerleri verilmiştir.



Şekil 4.7. Sodyum Tripolifosfat (STP) Çözeltilerindeki Eterde Katman Oluşumu Öncesinde STP Konsantrasyon Oranı Artışları (2×2×2 cm et boyutları, T=16-18°C)



Şekil 4.8. Sodyum Tripolifosfat (STP) Çözeltilerindeki Eterde Katman Oluşumu Sonrasında STP Konsantrasyon Oranı Artışları (2×2×2 cm et boyutları, T=16-18°C)

Çizelge 4.4. % 2, 4, 6 STP Çözeltilerindeki Etlarin Yüzeyinde Katman Oluşumu Öncesi ve Sonrasında Sodyum Tripolifosfat Difüzyon Katsayısı Değerleri

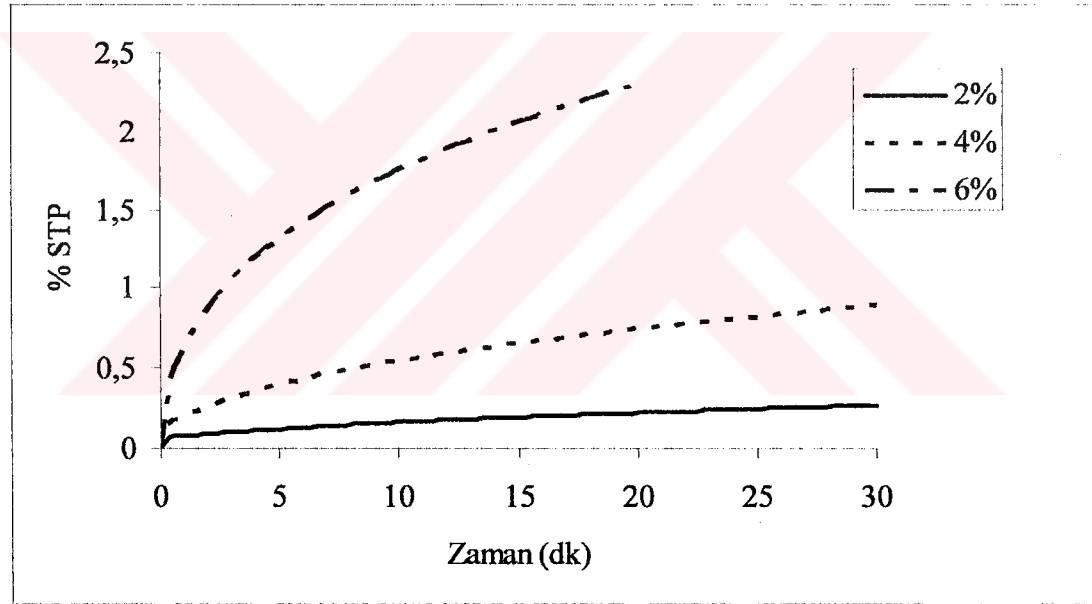
STP Çözelti Konsantrasyonu	Katman Oluşumu Öncesi		Katman Oluşumu Sonrası	
	Eğim (1/dk)	D (m ² /s)	Eğim (1/dk)	D (m ² /s)
% 2	-0,008084	1,82×10 ⁻⁹	-0,024021	5,41×10 ⁻⁹
% 4	-0,008858	2,00×10 ⁻⁹	-0,024275	5,47×10 ⁻⁹
% 6	-0,017257	3,99×10 ⁻⁹	-0,023831	5,37×10 ⁻⁹

Difüzyon katsayılarının hesaplanmasında kullanılan bu yaklaşımın doğru olması için Fo sayısının 0,2' den büyük olması gerekmektedir. Fo sayısının 0,2' den büyük olduğu durumda konsantrasyon oranlarının zamanla değişimi de doğrusal olacaktır. Bu yaklaşım uygulanırken sadece Şekil 4.7 ve 4.8' deki eğrilerde doğrusallığa yakın olarak gözlenen bölgelerin eğimleri hesaplanmış ve Ek-2' de de açıklandığı gibi bu yaklaşım kullanılarak difüzyon katsayıları bulunmuştur. Ek-2' de verilen analitik çözümlerin kullanılabilmesinin önemli bir şartı da difüzyon katsayısının sabit olması durumudur. Daha önce belirtildiği gibi etler STP çözeltilerine daldırıldıktan sonra STP' lar zamanla et içerisine difüze olurken ortofosfatlar da etden çözeltiliye difüze olmakta, bu arada et yüzeyinde STP' ların ve ortofosfatların hareketlerini önemli düzeyde etkileyen bir katman şekillenmektedir. Deneysel veriler (Şekil 4.2, 4.7, 4.8) ve Çizelge 4.4' de verilen difüzyon katsayısı değerlerinde de görüldüğü gibi katman oluşumu öncesi ve sonrasında STP hareketi farklı hızlarda olmaktadır. Bu nedenle hem difüzyon katsayısının sabit hem de Fo sayısının 0,2' den büyük olduğu yaklaşımını kullanmak doğru olmayabilir. Bu durumda Fo sayısının 0,2' den büyük ve difüzyon katsayısının da sabit olmadığı durumlarda geçerli olacak bir yaklaşımın kullanılması gerekmektedir. Bu nedenle yine analitik çözümlerden yola çıkarak farklı zamanlarda elde edilen verilerin kullanımını sağlayacak bir yöntem kullanılmıştır (Ek-3).

Ek-3' de açıklanan bu yöntem kullanılarak difüzyon katsayıları hesaplanmış ve difüzyon katsayısı değerlerinin zamana karşı değişim gösterdiği saptandığı için de ayrıca ortalama difüzyon katsayısı değerleri belirlenmiştir. Hesaplanan bu değerler ve ortalama difüzyon katsayısı değerleri kullanılarak etlerde zamanla belirlenen STP artışları Çizelge 4.5 ve Şekil 4.9' da görülmektedir.

Çizelge 4.5. % 2, 4, 6 STP Çözeltilerindeki Etlerin Yüzeyinde Katman Oluşumu Öncesi ve Sonrasında Sodyum Tripolifosfat Difüzyon Katsayısı ($\bar{D} \times 10^{11}$) Değerlerinin Zamanla Değişimi

	Zaman (dk)	% 2 STP		% 4 STP		% 6 STP	
		\bar{D} Değeri (m^2/s)	Ortalama \bar{D} Değeri (m^2/s)	\bar{D} Değeri (m^2/s)	Ortalama \bar{D} Değeri (m^2/s)	\bar{D} Değeri (m^2/s)	Ortalama \bar{D} Değeri (m^2/s)
Katman Oluşumu Öncesi	10	0,17	1,75	1,38	5,55	20,0	31,8
	15	0,37		2,69		36,5	
	20	1,08		5,00		56,4	
	30	6,66		13,7		-	
Katman Oluşumu Sonrası	40	2,01	47,2	12,3	87,4	41,0	105
	50	7,66		50,4		82,5	
	60	45,3		90,5		124	
	70	79,9		131		166	
	80	120		173		208	



Şekil 4.9. Ortalama Difüzyon Katsayısı Değerleri Kullanılarak % 2, 4 ve 6 STP Çözeltilerinde Bekletilen Etlerdeki Zamanla STP (%) Artışları (2×2×2 cm et boyutları, T=16-18°C)

Katman oluşum öncesinde hesaplanan ortalama difüzyon katsayısı değerleri kullanılarak et örneklerine difüze olan STP miktarları analitik çözümler kullanılarak hesaplandığında % 0,5' lik yasal sınıra, % 6' lık STP çözeltilerinde bir dakikada ulaşılırken, % 4' lük STP çözeltilerinde sekiz dakikada ulaşılmıştır. % 2' lik STP

çözümlerinde bekletilen etlerde ise ilk 30 dakikalık sürenin sonunda etlere difüze olan STP miktarı % 0,27 olarak bulunmuştur.

4.2.3. Ortam Sıcaklığının Fosfat Difüzyonu Üzerindeki Etkisi

Bu aşamaya kadar saptanan tüm bulgular, deneylerin 16-18°C ortam sıcaklığı koşullarında yapılması ile elde edilmiştir. Ortam sıcaklığında meydana gelecek değişmelerin etlerden ortofosfat çıkışı ve etlere STP giriş mekanizmasında önemli değişimlere yol açmasının düşünülmesi çalışmayı sıcaklığın ortofosfat ve STP difüzyonuna etkisi yönünde geliştirmiştir. Sıcaklık artışı ile moleküllerin termal enerjilerindeki artış nedeniyle difüzyon hızının artması yani difüzyon katsayısının sıcaklığın bir fonksiyonu olması bu düşüncüyü destekleyen bir etkidir. Ek-1 ve 2' de verilen analitik çözümlerde görüldüğü gibi difüzyon katsayısındaki değişmeler Fourier (Fo) ve Biot (Bi) sayılarını dolayısıyla da konsantrasyon oranlarındaki değişimleri ($\frac{C(t)-C_{\infty}}{C_i-C_{\infty}}$) etkilemektedir.

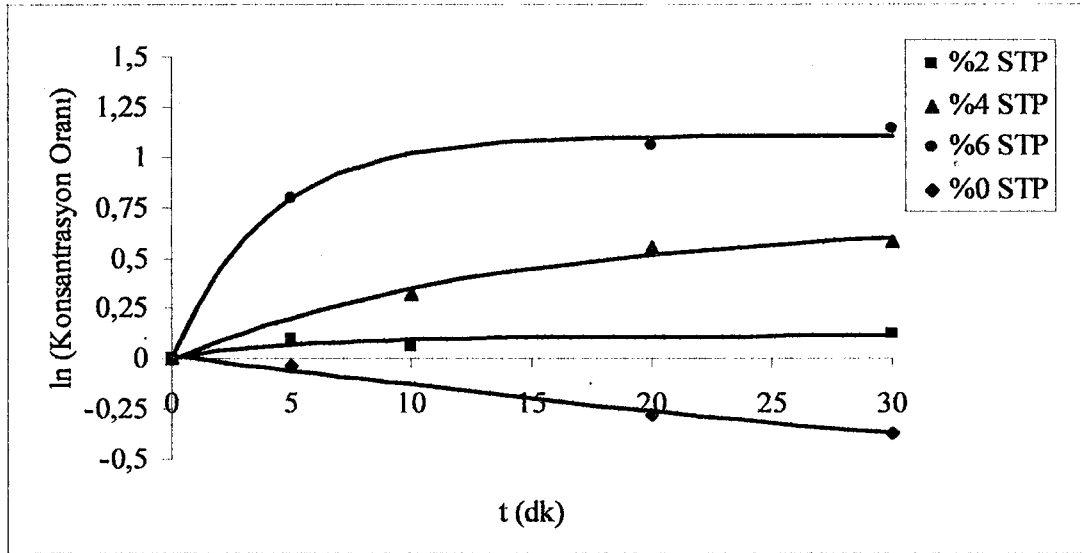
Çizelge 4.6, sıcaklığın artmasıyla difüzyon katsayısında meydana gelecek değişmelerin sonlu plaka şekilli bir geometride konsantrasyon oranlarını nasıl etkilediğini göstermektedir. Görüldüğü gibi Biot sayısının ∞ olduğu durumda difüzyon katsayısındaki 2 kat artış konsantrasyon oranını % 21,8 (0,5957' den 0,4661'e) oranında azaltırken, difüzyon katsayısındaki 4 kat artış konsantrasyon oranı değerini % 46,7 (0,5957' den 0,3170'e) oranında azaltmıştır. Bu çizelge için referans Fo sayısı 0,02, Bi sayısı ise 10 ve ∞ olarak alınmıştır.

Çizelge 4.6. Difüzyon Katsayısındaki Değişmelerin Konsantrasyon Oranlarına Etkileri (Referans: Fo=0,02, Bi=10; Fo=0,02, Bi= ∞)

Difüzyon Katsayısındaki Artış	Biot Sayısı	Fourier Sayısı	Konsantrasyon Oranı
1,0	10	0,02	0,7457
2,0	10/2,0	0,02×2,0	0,7021
4,0	10/4,0	0,02×4,0	0,6621
1,0	∞	0,02	0,5957
2,0	∞	0,02×2,0	0,4661
4,0	∞	0,02×4,0	0,3170

Sonuç olarak, ilk 30 dakika denemeleri, ortam sıcaklığının 20-22°C, 28-30°C ve 34-36°C olduğu durumlar için tekrarlanmıştır. Bu deneylerde % 0 ve % 6 STP içeren çözeltilerdeki fosfat difüzyonu 20-22°C' de, % 0, 2, 4, 6 STP çözeltilerindeki fosfat difüzyonu 28-30°C' de, ve % 0 ve %2 STP çözeltilerindeki fosfat difüzyonu da 34-36°C ortam sıcaklıklarında incelenmiştir. Sıcaklığın 16-18°C olduğu ortam koşullarında yapılan denemelerde ilk 30 dakikada etlerden hızlı bir ortofosfat çıkışı ve yüzeyde katman oluşumu gözlenmiştir. Sıcaklık artışı ile difüzyon katsayısının artması ve ilk 30 dakikada yüzeyde katman oluşumuna kadar şekillenen bu olayın daha hızlı olması beklentisiyle sıcaklığın fosfat difüzyonuna etkisi ile bu denemelerin ilk 30 dakikada incelenmesinin yeterli olacağı düşünülmüştür.

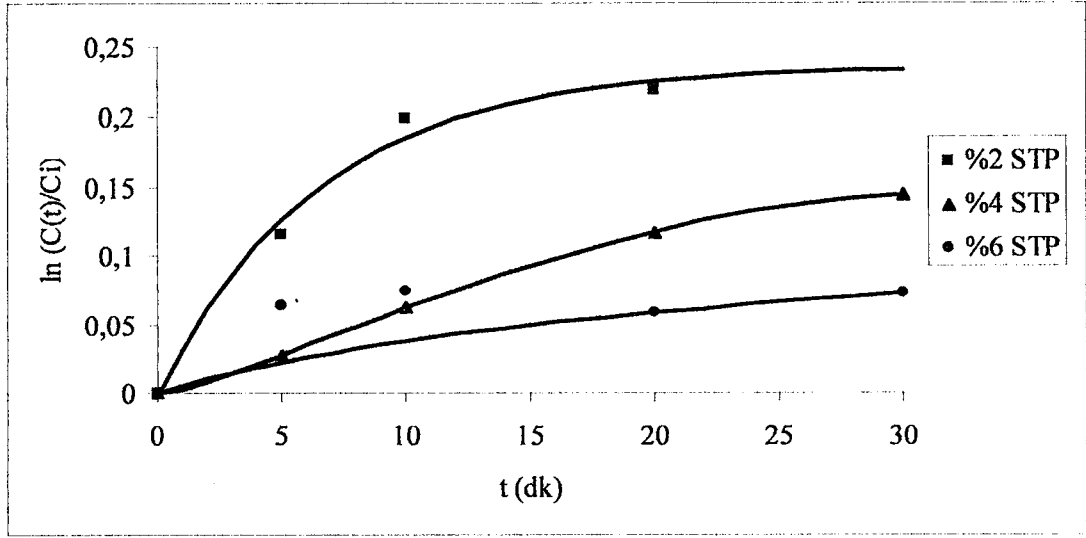
Et örneklerinin zamanla değişen fosfat miktarları belirlendikten sonra konsantrasyon oranlarının doğal logaritma değerleri $\left(\ln \left[\frac{C(t) - C_{\infty}}{C_i - C_{\infty}} \right] \right)$ hesaplanmış ve zamana karşı grafiğe geçirilerek 28-30°C ortam koşullarında etlerde fosfat artışı olduğu görülmüştür (Şekil 4.10). Oysaki sıcaklığın 16-18°C olduğu ortam koşullarında yapılan denemelerde, ilk 30 dakikada etlerde, ortofosfatların STP' ye göre daha hızlı olan difüzyonundan dolayı fosfat azalışı saptanırken, bu sürenin sonunda et yüzeyinde katman oluşumu ile difüzyon olayının tersine dönmesi sonucunda fosfat artışı saptanmıştı (Şekil 4.2). Sıcaklığın 28-30°C olduğu ortam koşullarında yapılan denemelerde, etlerde fosfat azalışının gözlenmeyip doğrudan artışlar gözlenmesi, çözelti içerisindeki etlerin yüzeyinde oluşan katmanın çok hızlı şekillenmiş olmasının bir göstergesi olarak düşünülebilir. Bunun yanında en fazla fosfat artışı, % 6 STP çözeltisine konulmuş etlerde saptandığı için çözelti konsantrasyonu arttıkça ete difüze olan STP miktarının artması da beklenen bir sonuç olarak ortaya çıkmıştır.



Şekil 4.10. 28-30°C Ortam Sıcaklığında Kontrol Grubu ve Sodyum Tripolifosfat (STP) Çözeltileri İçerisindeki Eterde Fosfat Konsantrasyon Oranları Değişimleri (2×2×2 cm et boyutları)

Eterlerdeki bu durumun yanında, çözeltilerde de tüm bekleme sürelerinde yine düzenli fosfat artışları olduğu gözlenmiştir. Bu durum etlerde fosfat azalışı saptanmamasına rağmen, etlerden çözeltilere yine ortofosfat çıkışı olduğunu göstermektedir. Çözeltilerdeki fosfat değişimleri Şekil 4.11’ de $\ln\left[\frac{C(t)}{C_i}\right]$

değerlerinin zamana karşı grafiğe geçirilmesi ile gösterilmiştir. Yine daha önce saptandığı gibi, etlerin bekletildiği çözeltilerin STP konsantrasyonları arttıkça, yüzeyde katman oluşum hızı ve oluşan bu katmanın kalınlığı artmış ve bunun sonunda çözeltide artan ortofosfat miktarı da azalmıştır. Şekil 4.11’ de başlangıç konsantrasyonu % 6 STP olan çözeltide ortofosfat artışının en az olması da bu nedenledir.

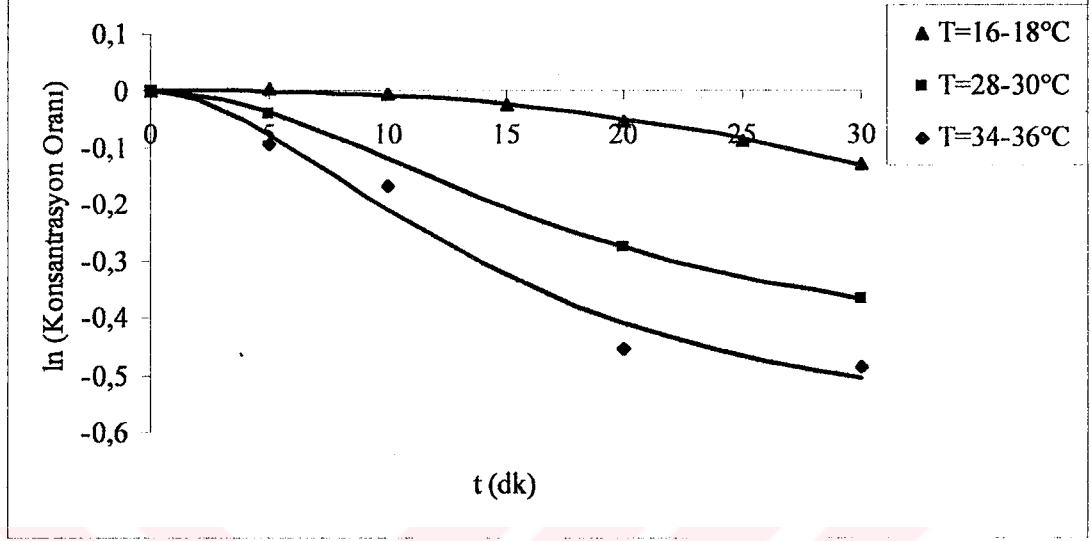


Şekil 4.11. 28-30°C Ortam Sıcaklığında Sodyum Tripolifosfat (STP) Çözeltilerinde Zamana Karşı Fosfat Konsantrasyon Değişimleri (2×2×2 cm et boyutları)

STP çözeltilerinin yanında, kontrol grubunu oluşturan STP içermeyen çözeltiye konulan parça etlerden çözeltiye yine düzenli olarak ortofosfat çıkışı gerçekleşmiş ve etlerin ortofosfat miktarları zamanla azalırken çözeltilerin ortofosfat miktarları artmıştır. Dört farklı sıcaklıkta (16-18, 20-22, 28-30 ve 34-36°C) yapılan kontrol grubu denemelerinde elde edilen veriler sıcaklığın ortofosfat difüzyonu üzerine etkisini açık bir şekilde göstermektedir. Şekil 4.12' de görüldüğü gibi sıcaklık artışı ile etlerde ortofosfat konsantrasyonlarında saptanan azalma oranları artmaktadır. Bu veriler sıcaklık artışının ortofosfat difüzyon katsayısını artırdığını göstermektedir. Şekil 4.12' de konsantrasyon oranı $\left(\ln \left[\frac{C(t) - C_{\infty}}{C_i - C_{\infty}} \right] \right)$ şeklinde

hesaplanmıştır. Bu değerlerle birlikte, Ek-2 ve 3' de açıklandığı gibi sonlu plaka şekilli geometrilerin analitik çözümleri kullanılarak ortofosfatlar için difüzyon katsayıları hesaplanmıştır. $Fo > 0,2$ yaklaşımı yapıldığında farklı sıcaklıklarda (16-18°C, 28-30°C, 34-36°C) kontrol grubu çözeltilerinde beklenen etlerde ortofosfat difüzyon katsayısı değerleri sırasıyla $1,56 \times 10^{-9}$, $3,21 \times 10^{-9}$, ve $5,53 \times 10^{-9}$ m²/s olarak bulunmuştur. Daha sonra Ek-3' de açıklandığı şekilde ortofosfatlar için zamana karşı hesaplanan difüzyon katsayılarında belirgin bir değişim görülmemiş ve tüm deneysel verilerin kullanılması durumunda da ortalama difüzyon katsayıları $2,61 \times 10^{-11}$, $5,48 \times 10^{-10}$ ve $1,1 \times 10^{-9}$ m²/s olarak hesaplanmıştır. Yukarıda açıklandığı gibi

ortofosfatlar için de difüzyon katsayılarının hesaplanmasında $Fo > 0,2$ yaklaşımı yerine diğer yöntemin kullanılması daha doğru bir yaklaşım olacaktır.



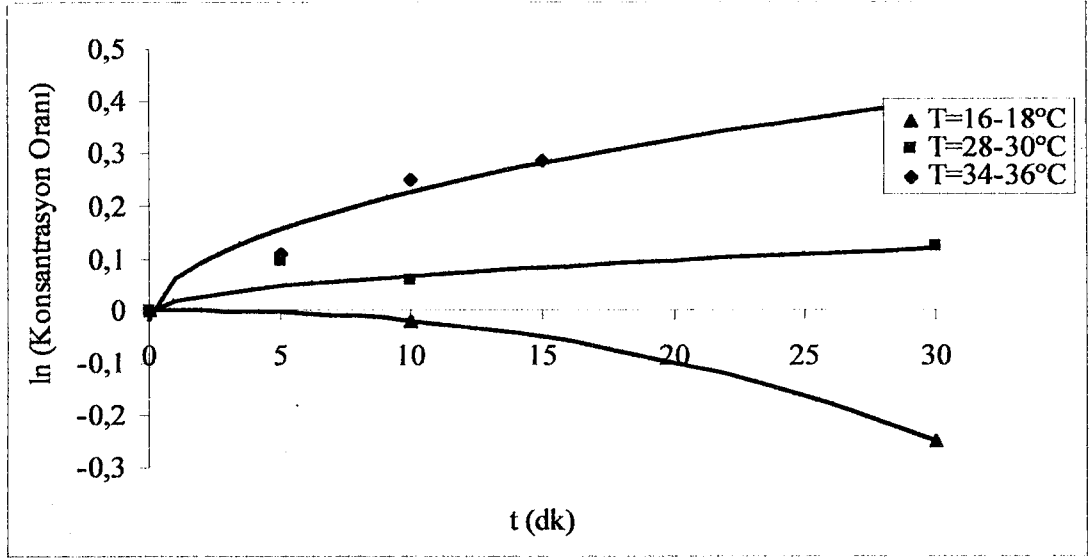
Şekil 4.12. Üç Farklı Ortam Sıcaklığında (16-18°C, 28-30°C ve 34-36°C) Kontrol Grubu Çözeltilerinde Bekletilen Etlerde Zamana Karşı Ortofosfat Değişimleri (2x2x2 cm et boyutları)

Şekil 4.13 ve 4.14' de farklı sıcaklıklarda % 2 ve % 6 STP çözeltilerinde bekletilen etlerdeki fosfat değişimleri gösterilmiştir. Görüldüğü gibi, sıcaklık artışı ile parça etlerdeki fosfat artışı artmaktadır. Etlerdeki ortofosfat cinsinden fosfat artışları daha önce hesaplandığı gibi, % 2 ve % 6 STP çözeltilerindeki etlerin

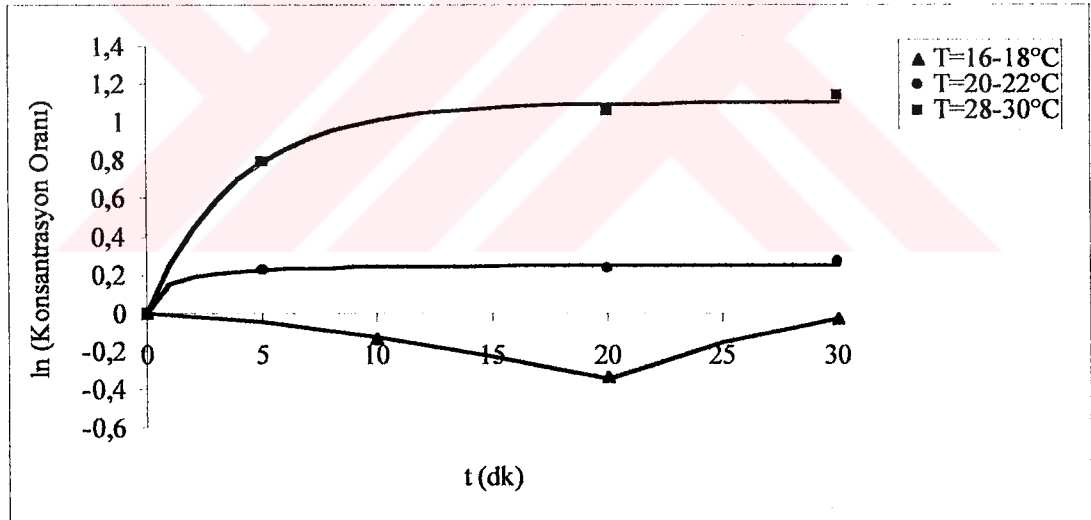
$\left(\ln \left[\frac{C(t) - C_{\infty}}{C_i - C_{\infty}} \right] \right)$ değerleri ile STP içermeyen kontrol grubundaki etlerin

$\left(\ln \left[\frac{C(t) - C_{\infty}}{C_i - C_{\infty}} \right] \right)$ değerleri arasındaki farklar alınarak hesaplanmıştır (Şekil 4.15 ve

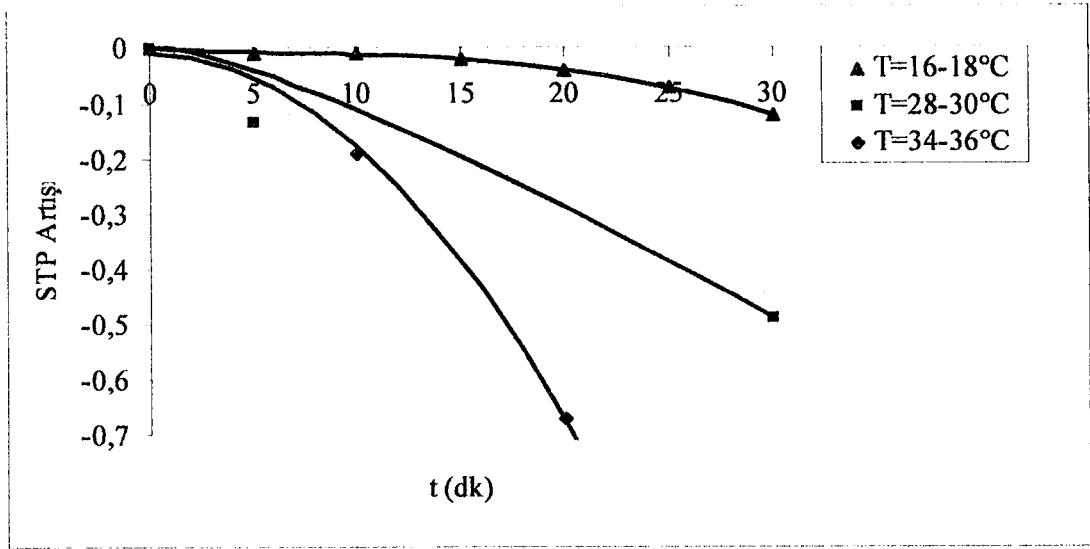
4.16). Şekil 4.15 ve 4.16' da da sıcaklık artışı ile etlere difüze olan STP konsantrasyonlarında artışlar olduğu görülmektedir.



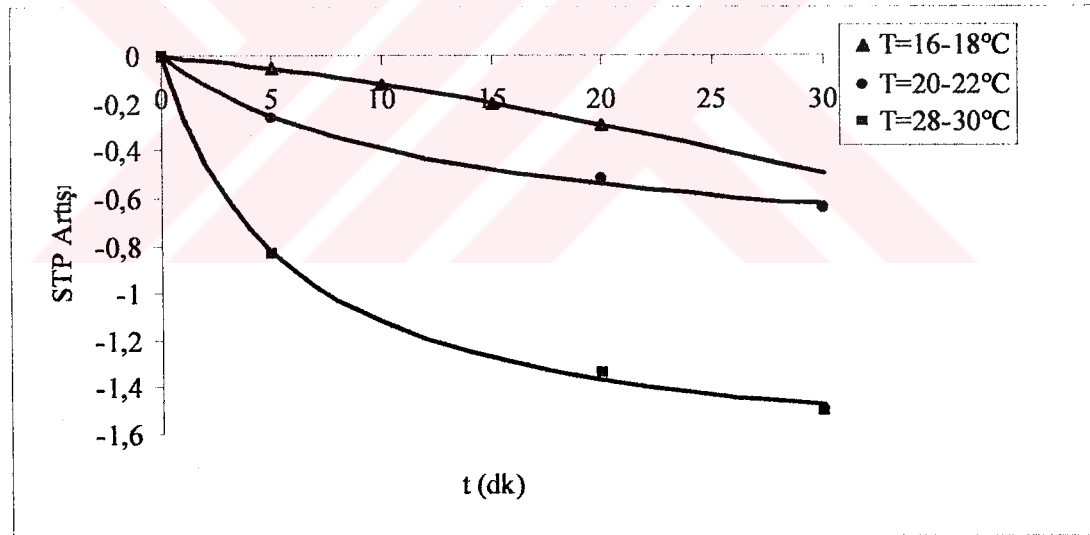
Şekil 4.13. Üç Farklı Ortam Sıcaklığında (16-18°C, 28-30°C ve 34-36°C), % 2 Sodyum Tripolifosfat (STP) Çözeltisinde Bekletilen Etlerdeki Fosfat Değişimleri (2×2×2 cm et boyutları)



Şekil 4.14. Üç Farklı Ortam Sıcaklığında (16-18°C, 20-22°C ve 28-30°C), % 6 Sodyum Tripolifosfat (STP) Çözeltisinde Bekletilen Etlerdeki Fosfat Değişimleri (2×2×2 cm et boyutları)



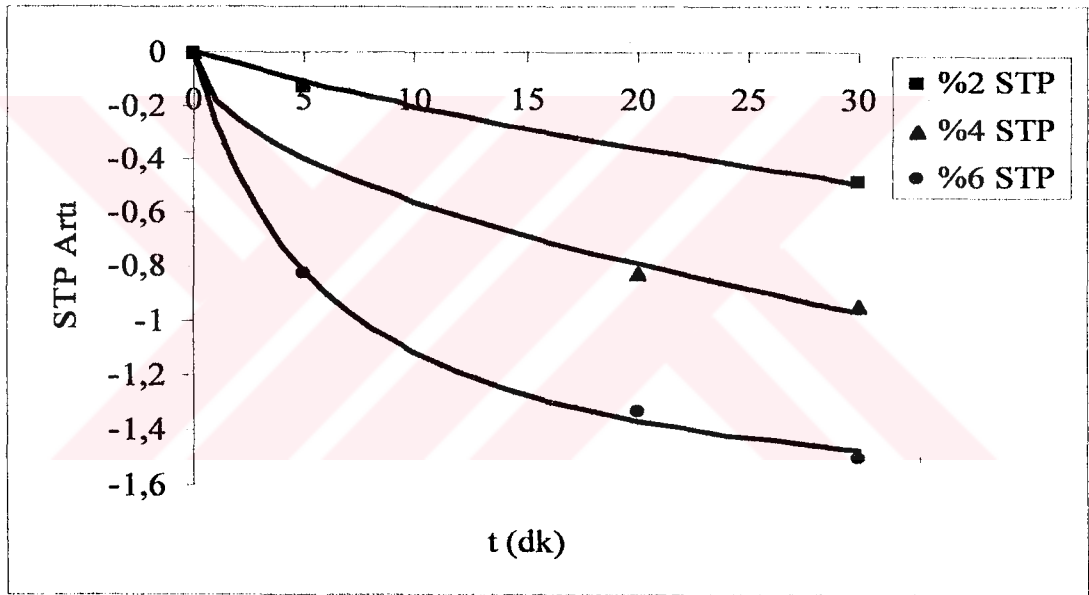
Şekil 4.15. Üç Farklı Ortam Sıcaklığında (16-18°C, 28-30°C ve 34-36°C) % 2 Sodyum Tripolifosfat (STP) Çözeltilerinde Bekletilen Eterde Zamana Karşı STP Konsantrasyon Değişimleri (2×2×2 cm et boyutları)



Şekil 4.16. Üç Farklı Ortam Sıcaklığında (16-18°C, 20-22°C ve 28-30°C) % 6 Sodyum Tripolifosfat (STP) Çözeltilerinde Bekletilen Eterde Zamana Karşı STP Değişimleri (2×2×2 cm et boyutları)

STP difüzyonu için difüzyon katsayıları Ek-2' de belirtildiği şekilde hesaplanmıştır. STP difüzyon katsayısı değeri hesaplanırken yine öncelikle etlerdeki STP artış değerleri bekletme zamanına karşı grafiğe geçirilmiş ve eğrilerin belli bir

zamandan sonra doğrusal olduğu kabul edilerek eğimleri hesaplanmıştır (Şekil 4.17). Çizelge 4.7' de ortam sıcaklığının 28 ile 30°C arasında olduğu durumda, % 2, 4 ve 6 STP çözeltileri için $Fo > 0,2$ yaklaşımı ve ortalama değerlerin bulunması için kullanılan yaklaşımlarla hesaplanan STP difüzyon katsayısı değerleri verilmiştir. Bu değerler ortam sıcaklığının 16-18°C olduğu durumda et yüzeyinde katman oluşumu öncesinde hesaplanan STP difüzyon katsayısı değerlerinin (Çizelge 4.4) üzerinde bulunmuştur. Her iki yaklaşımla hesaplanan STP difüzyon katsayısı değerlerinin özellikle % 4 ve % 6 STP çözeltileri için yakın bulunması sıcaklığın etkisiyle difüzyon katsayısı değerlerinin artmış olması ve bu artış sonucunda da $Fo > 0,2$ bölgesine yaklaşılmış olmasıyla açıklanabilir.

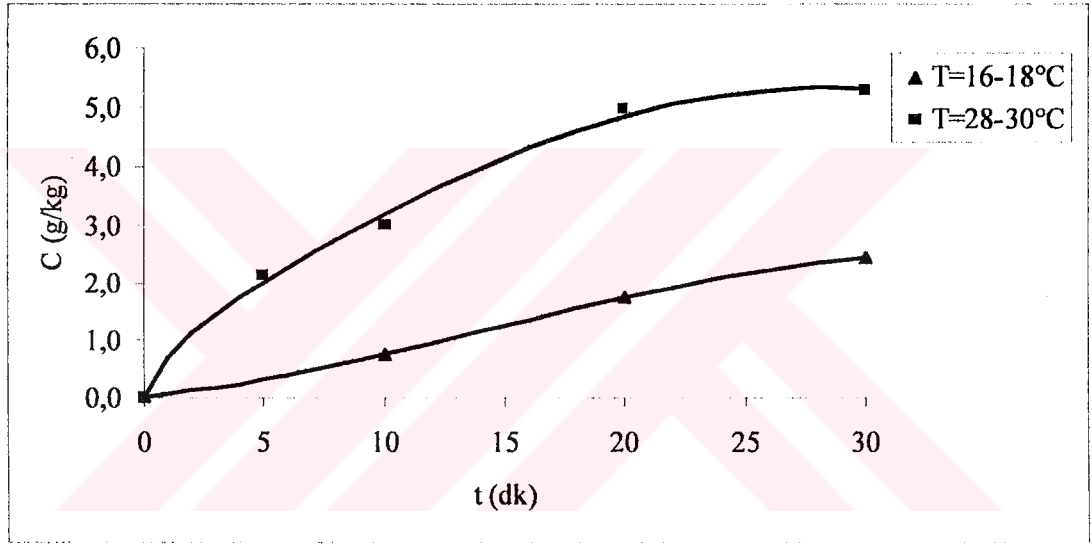


Şekil 4.17. 28-30°C Ortam Sıcaklığında Sodyum Tripolifosfat (STP) Çözeltilerindeki Parça Etlerde STP Konsantrasyon Oranı Artışları (2x2x2 cm et boyutları)

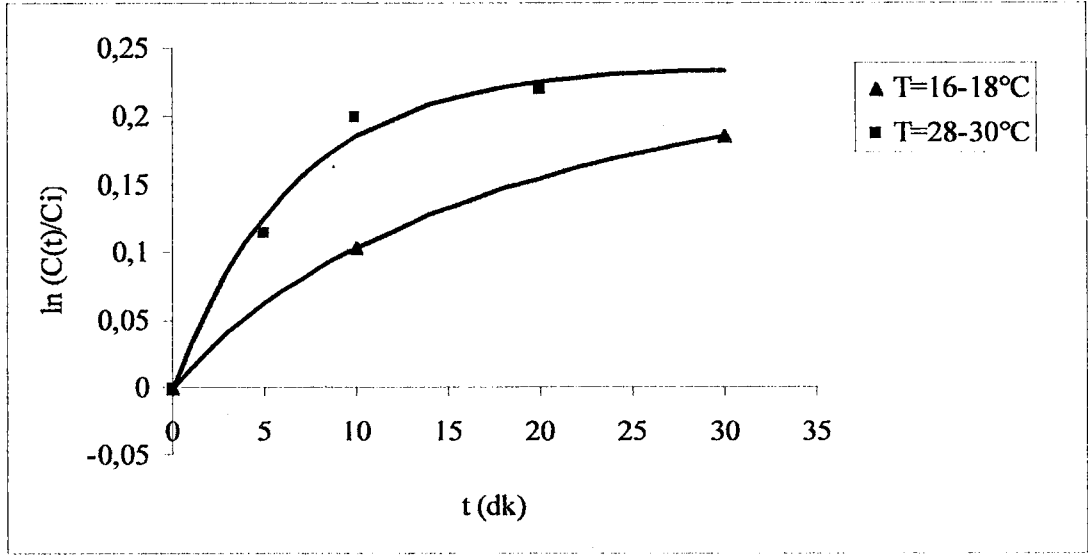
Çizelge 4.7. Sıcaklık Artışı (T=28-30°C) ile Saptanan Sodyum Tripolifosfat (STP) Difüzyon Katsayısı (D) Değerleri

STP Çözelti Konsantrasyonu	Fo>0,2 Yaklaşımı		Ortalama D-Değeri (m ² /s)
	Eğim (1/dk)	D (m ² /s)	
% 2	-0,015654	3,52×10 ⁻⁹	8,34×10 ⁻¹⁰
% 4	-0,032920	7,41×10 ⁻⁹	3,46×10 ⁻⁹
% 6	-0,044729	10,1×10 ⁻⁹	8,73×10 ⁻⁹

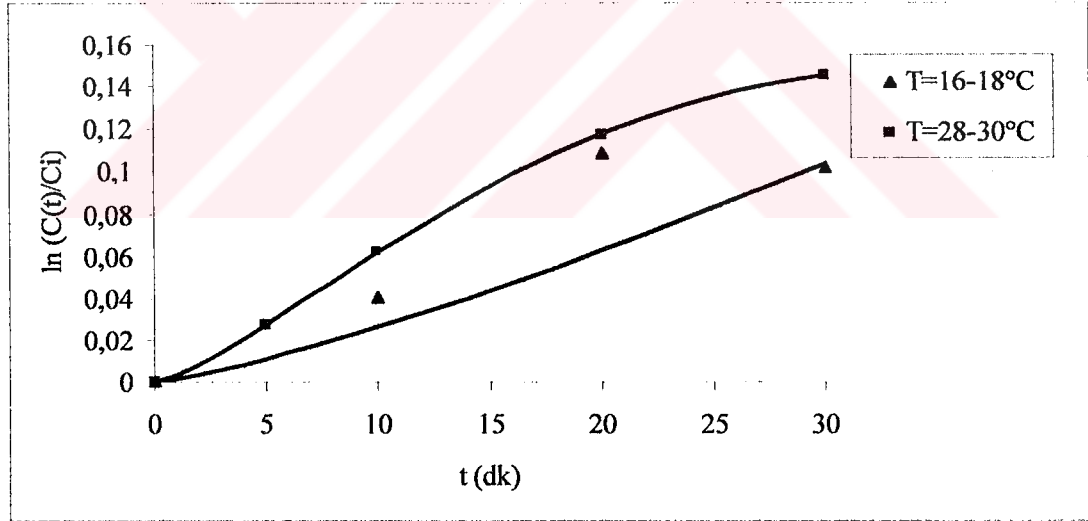
16-18°C ortam sıcaklığında, çözeltilerdeki fosfat artışında katman oluşumu sonrasında azalma saptanmıştı (Şekil 4.3, 4.5, 4.6 ve Çizelge 4.3). Sıcaklık artışı sonrasında et yüzeyinde katman oluşumunun çok daha hızlı şekillenmesinden dolayı çözeltilerde artan ortofosfat miktarlarının ortam sıcaklığının 16-18°C olduğu koşullarda yapılan denemelerdeki çözelti ortofosfat artışlarına göre daha az olması bekleniyordu. Fakat, sıcaklık artışının ortofosfat difüzyon katsayısı değerini de arttırmış olması nedeniyle çözeltilerde daha fazla ortofosfat artışı gözlenmiştir. Şekil 4.18, 4.19, 4.20, 4.21' de, STP çözeltilerinde ve kontrol grubu çözeltilisinde farklı sıcaklıklardaki ortofosfat değişimleri gösterilmektedir.



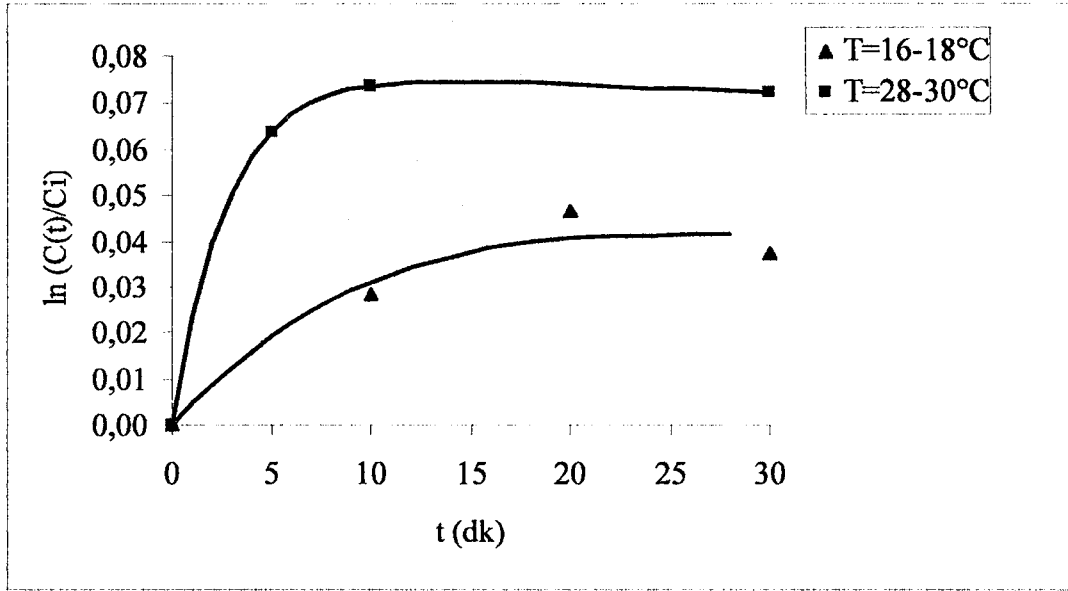
Şekil 4.18. İki Farklı Ortam Sıcaklığında (16-18°C ve 28-30°C) Kontrol Grubu Çözeltilerinde Zamana Karşı Fosfat Konsantrasyon Değişimleri (2×2×2 cm et boyutları)



Şekil 4.19. İki Farklı Ortam Sıcaklığında (16-18°C ve 28-30°C) % 2 Sodyum Tripolifosfat (STP) Çözeltisinde Zamana Karşı Fosfat Konsantrasyonu Değişimleri (2×2×2 cm et boyutları)



Şekil 4.20. İki Farklı Ortam Sıcaklığında (16-18°C ve 28-30°C) % 4 Sodyum Tripolifosfat (STP) Çözeltisinde Zamana Karşı Fosfat Konsantrasyon Değişimleri (2×2×2 cm et boyutları)



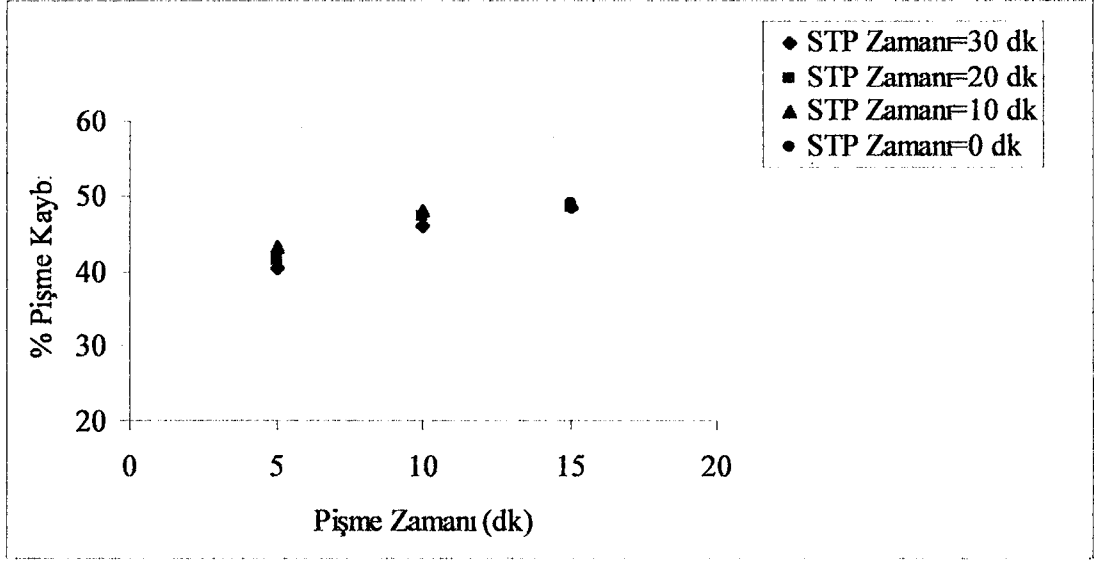
Şekil 4.21. İki Farklı Ortam Sıcaklığında (16-18°C ve 28-30°C) % 6 Sodyum Tripolifosfat (STP) Çözeltisinde Zamana Karşı Fosfat Konsantrasyon Değişimleri (2×2×2 cm et boyutları)

4.3. PARÇA ETLERDE PİŞME KAYIPLARI

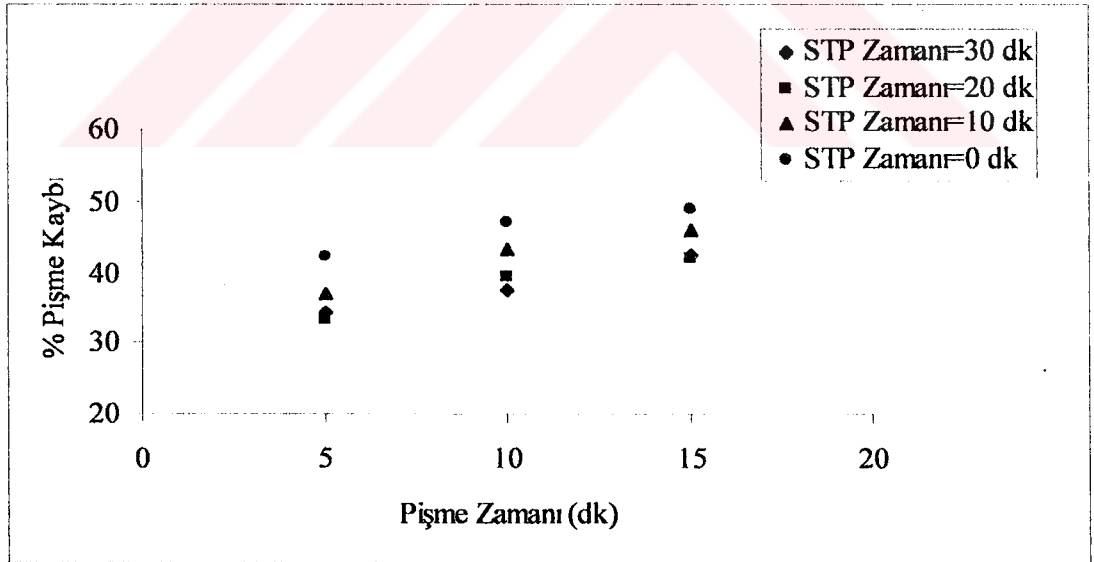
Bu çalışmada farklı konsantrasyonlardaki STP çözeltileriyle (% 2, 4 ve 6) farklı zamanlarda muamele edilerek (0, 10, 20 ve 30 dk), kaynar suda farklı sürelerde pişirilen (5, 10 ve 15 dk) et örneklerindeki pişme kayıpları, pişme öncesi ve sonrasında etlerin ağırlıkları kaydedilerek hesaplanmıştır (Ek-4, Çizelge 1). STP çözeltileri ile muamele süresi, STP çözelti konsantrasyonu ve pişirme zamanlarının pişme kayıpları üzerine etkileri istatistiksel olarak varyans analizi (ANOVA) testiyle belirlenmiş ve bu faktörlerden istatistiksel olarak önemli olanların etkileri en küçük önemli fark (LSD) testiyle saptanmıştır (Ek-4, Çizelge 2 ve 3).

Sonuçlar incelendiğinde etlerde pişme kayıplarının etlerin muamele edildiği STP çözeltilerinin konsantrasyonlarındaki artış ile azaldığı görülmektedir. Yapılan istatistiksel değerlendirme sonucunda da STP konsantrasyonunun pişme kayıpları üzerine etkisinin önemli düzeyde olduğu saptanmıştır ($p < 0,05$). Ayrıca STP çözeltileri ile muamele edilmeden pişirilen etlerdeki pişme kayıplarının STP

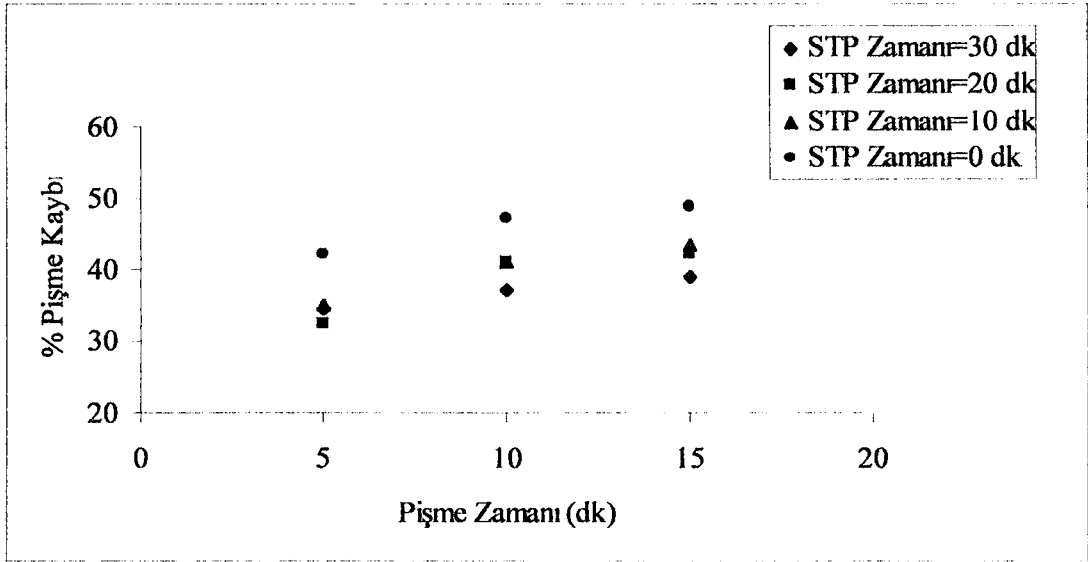
çözeltileri ile muamele edilen etlere göre daha fazla olduğu gözlenmiştir (Şekil 4.22, 4.23 ve 4.24).



Şekil 4.22. % 2 Sodyum Tripolifosfat (STP) Çözeltisinde Farklı Zamanlarda Bekletilen Eterde Pişme Kayıplarının Pişme Zamanlarına Göre Değişimleri (2x2x2 cm et boyutları)



Şekil 4.23. % 4 Sodyum Tripolifosfat (STP) Çözeltisinde Farklı Zamanlarda Bekletilen Eterde Pişme Kayıplarının Pişme Zamanlarına Göre Değişimleri (2x2x2 cm et boyutları)



Şekil 4.24. % 6 Sodyum Tripolifosfat (STP) Çözeltisinde Farklı Zamanlarda Bekletilen Etlere Pişme Kayıplarının Pişme Zamanlarına Göre Değişimleri (2×2×2 cm et boyutları)

Daha önce belirtildiği gibi etlerin muamele edildiği çözeltilerin STP konsantrasyonu arttıkça ete difüze olan STP miktarı artmaktadır. STP' ların proteinlerin çözünürlüğünü arttırmaları ve çözünen proteinlerin de suyu bağlamaları nedeni ile etlerde su kaybı azalmakta ve bunun yanında STP' ların çözünen protein ve su ile etkileşimleri sonucunda et yüzeyinde bir film katmanı oluşturarak etlerdeki su kaybını önledikleri düşünülmektedir [2, 7, 11, 17, 20, 23, 24, 39, 41, 77]. STP çözeltilerinde bekletilmeden pişirilen etlerdeki pişme kayıplarının daha yüksek saptanması, STP' ların etin su tutma kapasitesi üzerinde etkili olduğu ve et yüzeyindeki katmanın etlerden su çıkışını engellediği teorisini desteklemektedir. STP çözeltisi ile muamele edilmeyen etlerde yüzeyde etten su çıkışını engelleyecek herhangi bir film katmanı oluşmadığı için en fazla verim kaybının bu etlerde saptanması beklenen bir sonuçtur. Hsu ve Yu [11] fosfat (sodyum polifosfat ve sodyum pyrofosfat, 50/50, w/w), su, NaCl tuzu ve yağın emülsiyeye bir et ürününde pişme kayıpları, renk, yapısal özellikler ve duyu kalite üzerine etkisini inceledikleri çalışmalarında, ürüne ilave edilen fosfat düzeyindeki artışın pişme kaybı üzerinde istatistiksel olarak önemli düzeyde etkisi olduğunu saptamışlar ve fosfat artışı ile pişme kaybının azaldığını belirtmişlerdir. Hsu ve Chung da [10] yaptıkları çalışmada emülsiyeye et ürününde pişme kaybının polifosfat ilavesindeki

artış ile önemli düzeyde azaltılabildiğini belirlemişlerdir. Sheard ve ark. [32] üç farklı konsantrasyonda STP ile (% 0, 3 ve 5) muamele ettikleri etlerde pişme kayıplarının polifosfat konsantrasyonundaki artış ile önemli düzeyde azaldığını saptamışlardır. Erdoğan ve ark. [9, 69] farklı konsantrasyonlarda STP çözeltileri ile muamele ettikleri karideslerde pişme kayıpları üzerine yaptıkları çalışmalarında STP' ların pişme kayıplarını önemli düzeyde azalttığını belirlemişler ve deneysel olarak saptadıkları verim kaybı değerlerini pişirme sıcaklığı ve süresinin bir fonksiyonu olarak matematiksel yöntemlerle tespit etmişlerdir.

Bu çalışmada ayrıca istatistiksel olarak STP çözeltilerinde bekletme sürelerinin de etlerdeki pişirme kayıpları üzerine önemli düzeyde etkisi olduğu ve STP çözeltilerinde bekletme süresi arttıkça pişme kayıplarının azaldığı saptanmıştır ($p<0,05$, Ek-4, Çizelge 1, 2, Şekil 4.22, 4.23, 4.24). Bu bulgu özellikle de % 4 ve 6 STP çözeltisi ile muamele edilen etlerde oldukça açık bir şekilde gözlenmektedir. Fakat % 2 STP çözeltilerinde farklı sürelerde bekletilerek pişirilen etlerdeki pişme kaybı değerlerinde, 5 dakikanın üzerindeki pişirme sürelerinde etlerdeki pişme kaybı değerlerinin çözeltide bekletme sürelerindeki artışa bağlı olmadığı saptanmıştır (Şekil 4.22). Ayrıca burada pişme süresinin 10 dakikanın üzerine çıkarılması durumunda STP ile muamele edilmeyen etlerdeki pişme kayıpları ile % 2 STP çözeltisi ile farklı sürelerde muamele edilen etlerdeki verim kayıplarının birbirine çok yakın olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.22, Ek-4, Çizelge 1).

Bu bulguların yanısıra, STP çözeltilerinde bekletme süreleri ve STP konsantrasyonu etkileşiminin de istatistiksel olarak verim kayıpları üzerinde önemli etkisi olduğu saptanmıştır ($p<0,05$, Ek-4, Çizelge 2). Bu durum çözeltilerde bekletme süreleri ve STP konsantrasyonlarındaki artış sonrasında etlere difüze olan STP miktarlarının artması ile etlerin su tutma kapasitelerinin artması ve bunun yanısıra et proteinlerinin denatürasyon sıcaklıklarındaki yükselmenin doğal bir sonucudur.

Ayrıca etlerin pişme sürelerinin de pişme kayıpları üzerindeki etkisinin istatistiksel olarak önemli olduğu saptanmıştır ($p<0,05$, Ek-4, Çizelge 2). Pişme

sürelerindeki artış ile etlerin pişme kaybı değerlerinde artışlar gözlenmiştir (Şekil 4.22, 4.23, 4.24). Etlerin kaynar suda pişirilmeleri sırasında pişirme süresinde artış ve et sıcaklığının artmasıyla et proteinleri denatüre olmakta ve bunun sonucunda proteinlerin su bağlama kapasiteleri düşmekte ve pişme kayıpları artmaktadır. Literatürde de, bu çalışmada gözlemlendiği gibi, sıcaklık artışı ile pişme kayıplarında artışların saptandığı çeşitli çalışmalar bulunmaktadır. Örneğin Palka ve Daun (62) yedi farklı sıcaklıkta (50, 60, 70, 80, 90, 100 ve 121°C) pişirdikleri etlerde sıcaklık artışı ile pişme kayıplarında düzenli artışlar saptamışlardır. Murphy ve Marks [65] beş ayrı sıcaklıktaki (40, 50, 60, 70 ve 80°C) su banyosunda pişirdikleri tavuk etlerinde sıcaklık artışı ile çözünen protein içeriğindeki azalmanın yanında pişme kayıplarında artışlar saptamışlardır. Combes ve ark. [63] yaptıkları çalışmada pişirme sıcaklığındaki artış ile verim kayıplarında artış olduğunu belirlemiş ve sıcaklığın 50°C' den 80°C' ye çıkarıldığı durumda pişme kaybı değerinde % 83 oranında artış saptamışlardır. Erdoğan [78] da pişme sıcaklığının karideslerde pişme kayıpları üzerinde önemli bir faktör olduğunu belirtmiştir.

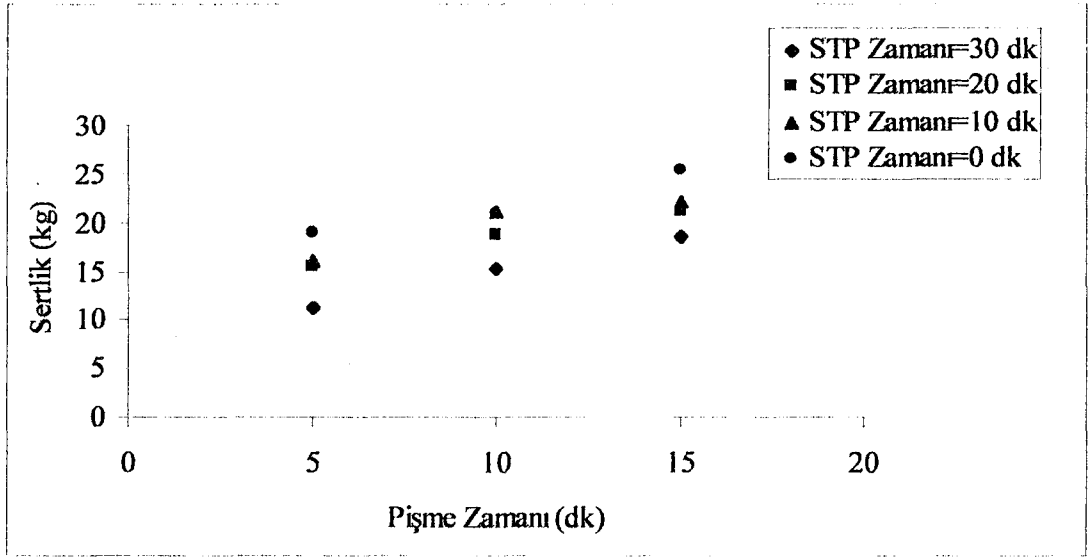
Pişirme sırasında proteinlerin denatürasyonu ve çözünürlüklerindeki azalmaya bağlı olarak su tutma kapasiteleri düşmekte, bu nedenle de pişme ile etlerde su kaybı ve ağırlık azalışı olmaktadır [38, 59, 62, 65]. Et ve ürünlerinde kullanılan STP' ların, etlerin su tutma kapasitesini artırarak pişme sonrası ağırlık kayıplarını azaltmaktadırlar [3, 7, 22, 77]. Ayrıca STP' ların etlerin denatürasyon sıcaklığını yükselterek pişme süresindeki artış ile etlerdeki sıcaklık artışına bağlı olarak artan pişme kaybı değerlerini de kısmen azalttıkları da düşünülebilir.

4.4. PARÇA ETLERDE YAPISAL ÖZELLİKLER

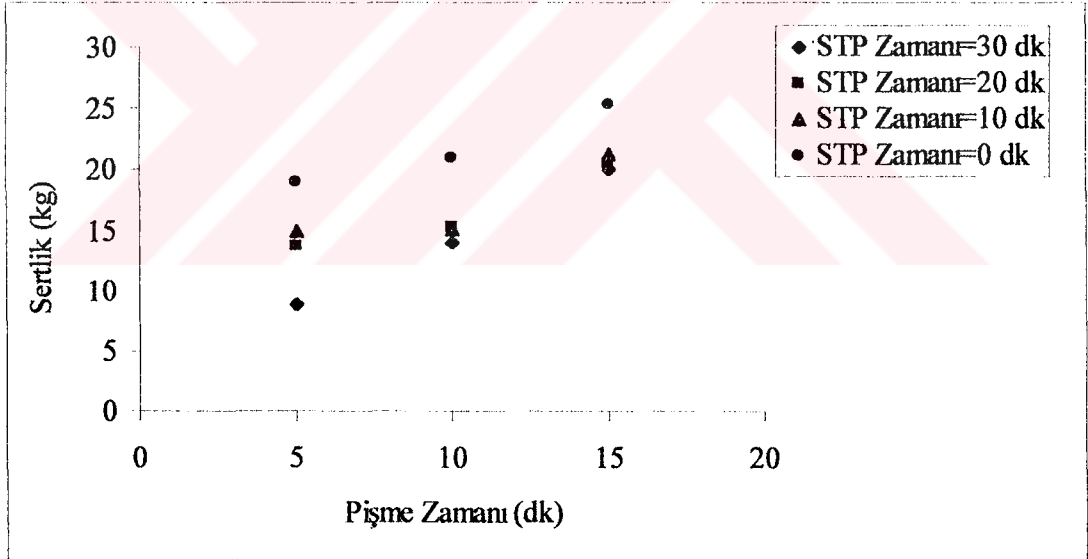
% 2, 4 ve 6 STP çözeltilerinde farklı sürelerde bekletildikten sonra (0, 10, 20 ve 30 dk), kaynar suda farklı sürelerde pişirilen (5, 10 ve 15 dk) ve pişirilmeyen et örneklerinde yapısal özellikler TPA testi ile belirlenmiş ve kuvvet zaman eğrileri kullanılarak beş ayrı tekstür parametresi (sertlik, sıklık, sakızimsılık, elastikiyet ve çiğnenemezlik) belirlenmiştir. Ek-4, (Çizelge 4, 5, 6, 7 ve 8) sertlik, sıklık, sakızimsılık, elastikiyet ve çiğnenemezlik değerlerinin STP konsantrasyonu, STP

çözümleri ile muamele zamanı ve pişme zamanları ile değişimlerini göstermektedir. Ek-4, Çizelge 9` da ise farklı konsantrasyonlardaki STP (% 2, 4, 6) çözümlerinde bekletme zamanlarının çiğ etlerin yapısal özellikleri üzerine etkisi verilmiştir. Etlerin STP ile muamele süresi, STP çözelti konsantrasyonu ve pişirme zamanlarının bu parametreler üzerine etkileri istatistiksel olarak varyans analizi (ANOVA) testi ile belirlenmiş ve bu faktörlerden yapısal özellikler üzerinde istatistiksel olarak önemli olanların etkileri de en küçük önemli fark (LSD) testi ile saptanmıştır (Ek-4, Çizelge 10 ve 11).

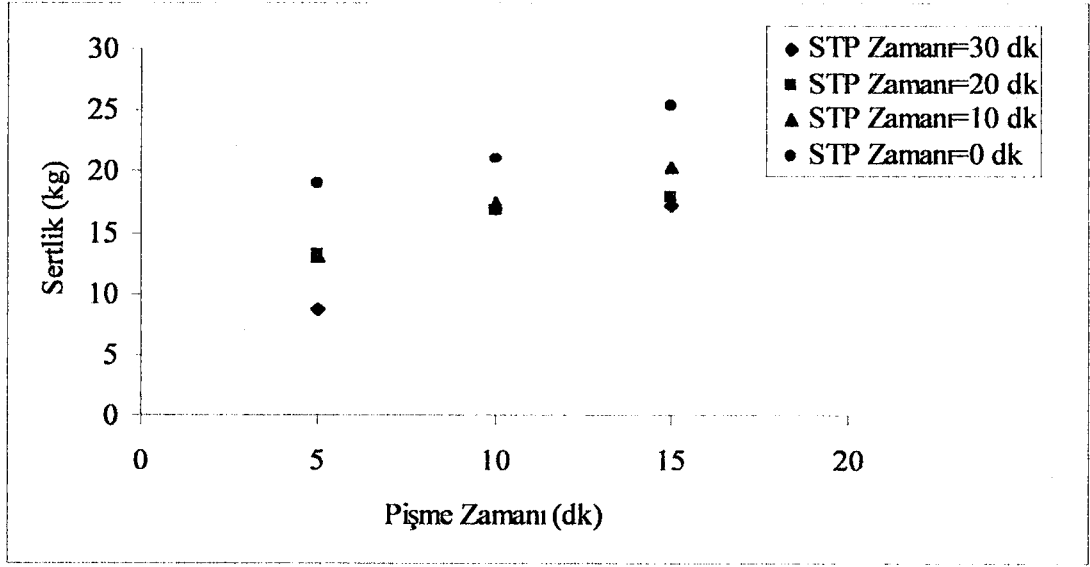
Etlerin pişirme süreleri arttıkça yapısal özelliklerinden sertlik değerlerinde artış olduğu gözlenmiş (Şekil 4.25, 4.26, 4.27) ve yapılan varyans analiziyle de etlerin pişirilme sürelerinin sertlik değerleri üzerinde istatistiksel olarak önemli etkisi olduğu saptanmıştır ($p < 0,05$; Ek-4, Çizelge 10). Bu sonuçlara paralel olarak Bhattacharya ve ark. [79] yaptıkları çalışmada pişme süresi ve sıcaklığındaki artış ile ürünün sertliğinin arttığını belirtmişlerdir. Driver ve Venkata-Raman da [66] farklı proses uygulamaları ve katkı maddelerinin sığır eti yapısal özelliklerine etkisini araştırdıkları çalışmalarında, etlerde pişirme sıcaklığındaki artış ile sertliğin arttığını saptayarak, bu bulguyu sıcaklık artışı ile miyofibriler proteinlerde meydana gelen denatürasyon ile bağ doku proteinlerinden kollogen proteinlerdeki büzüşmeye bağlamışlardır. Bu bulgulara bağlı olarak miyofibriler proteinlerin denatürasyonu ve bağ doku proteinlerinde sıcaklıkla meydana gelen değişimlerin protein-protein etkileşimlerini artırarak etlerde pişme sırasında sertliğe sebep olduğu sonucuna varılabilir. Bunlara ek olarak Driver ve Venkata-Raman [66] belli bir sıcaklığın üzerinde sığır etlerinde kollogen proteinlerdeki çözünme ve jelatinizasyon sonucunda yumuşama gözlemişlerdir. Pişme sıcaklığının etlerin sertlik değerleri üzerine etkisi ile ilgili olarak benzer bulgular literatürdeki diğer çalışmalarda da göze çarpmaktadır [62, 65].



Şekil 4.25. % 2 Sodyum Tripolifosfat (STP) Çözeltisinde Farklı Zamanlarda Bekletilen Etlerde Sertlik Değerlerinin Pişme Zamanlarına Göre Değişimleri (2×2×2 cm et boyutları)



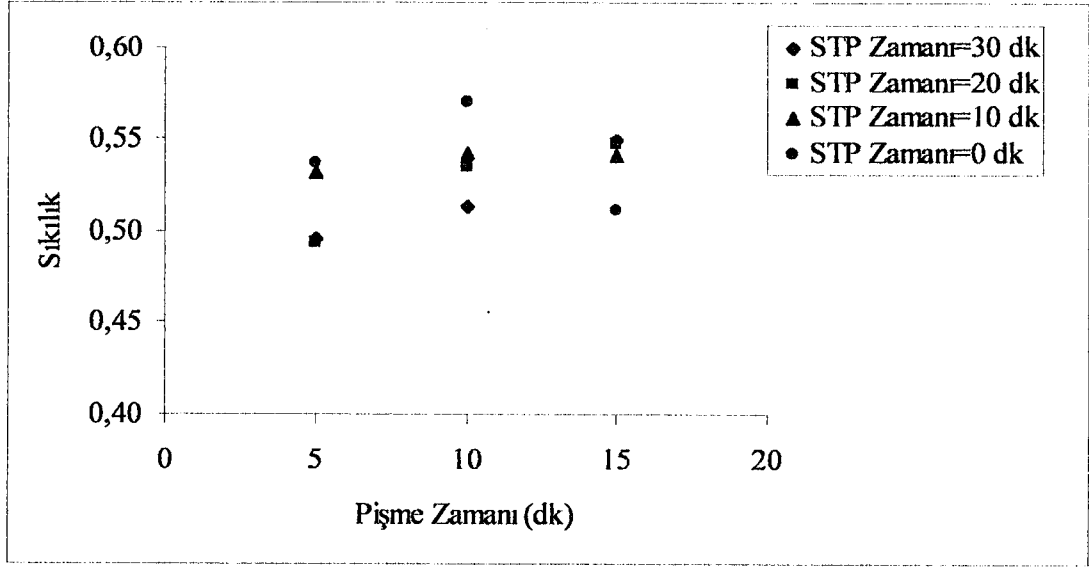
Şekil 4.26. % 4 Sodyum Tripolifosfat (STP) Çözeltisinde Farklı Zamanlarda Bekletilen Etlerde Sertlik Değerlerinin Pişme Zamanlarına Göre Değişimleri (2×2×2 cm et boyutları)



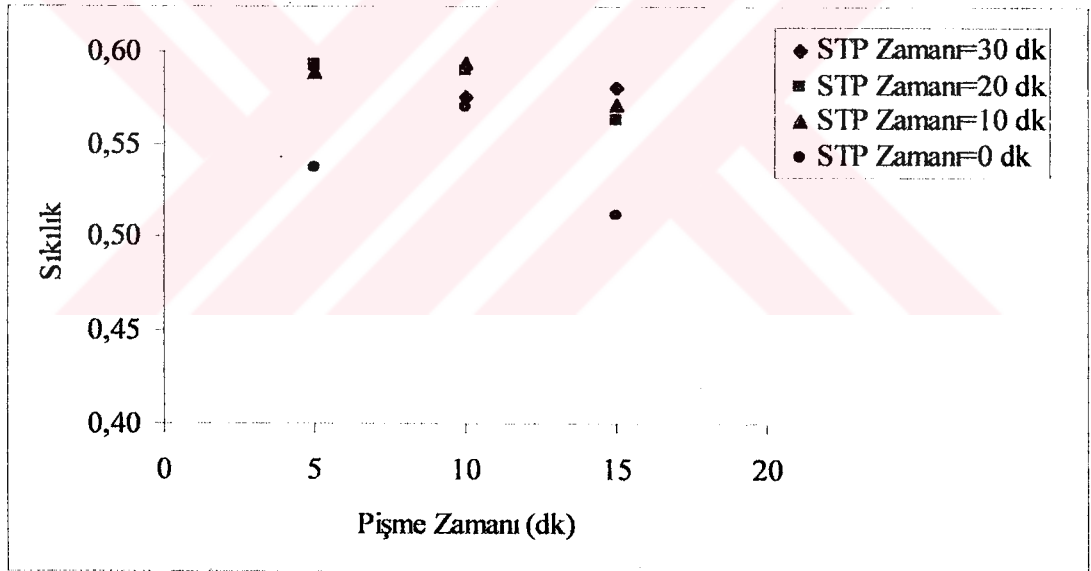
Şekil 4.27. % 6 Sodyum Tripolifosfat (STP) Çözeltilisinde Farklı Zamanlarda Bekletilen Etlerde Sertlik Değerlerinin Pişme Zamanlarına Göre Değişimleri (2×2×2 cm et boyutları)

Pişme süresinin aksine etlerin bekletildiği çözeltilerin STP konsantrasyonlarının et sertliği üzerinde önemli bir etkisi saptanmazken ($p>0,05$), çözeltilerde bekletme sürelerinin sertlik üzerindeki etkisinin önemli düzeyde olduğu saptanmıştır ($p<0,05$, Ek-4, Çizelge 10). Şekil 4.25, 4.26 ve 4.27' de görüldüğü gibi STP muamele sürelerindeki artış ile et örneklerinin sertlik değerleri azalırken STP ile muamele edilmeyen etlerin, STP çözeltilerinde bekletilen etlerden daha sert olduğu saptanmıştır (Ek-4, Çizelge 4). Ahmed ve ark [80] STP' ların karideslerin yapısal özelliklerine etkisini araştırdıkları çalışmalarında, karidesleri % 5 STP içeren çözeltilerde ve saf suda birer saat beklettikten sonra pişirmişler ve STP ile muamele edilen karideslerin sertlik değerlerinin suda bekletilenlere göre daha az olduğunu saptayarak bu bulguyu polifosfatların, kas lif yapısında zayıflama ve protein jel sisteminde şişmeye yol açarak proteinlerin su tutma kapasitelerini arttırmalarına bağlamışlardır. Sharma ve Seltzer [72] de yaptıkları çalışmada pişme kayıplarındaki artış sonrasında kas yapısındaki büzüşmeye bağlı olarak et dokusunun sertleştiğini saptamışlardır. Etlerde pişme kayıpları ve sertlik değişimleri sonuçlarına bağlı olarak proteinlerde ısı işlemlerle olan değişimler sonucunda etlerin su tutma kapasitesinin azalması ve pişme kayıplarının artması ile sertliklerinin arttığı kanısına da varılabilir.

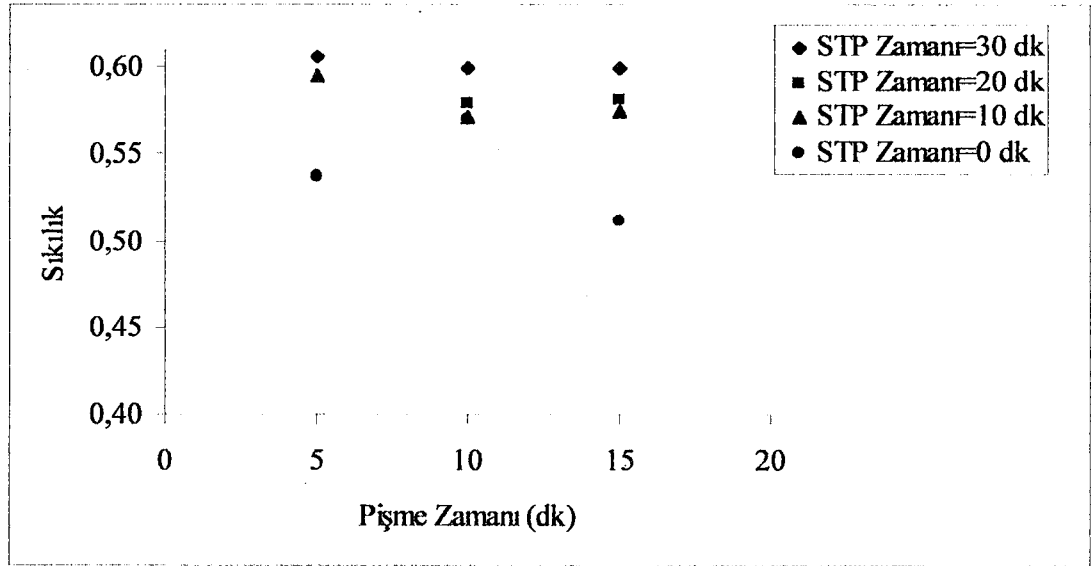
Etlere yapısal özelliklerinden sıklık üzerinde çözeltilerin STP konsantrasyonları, çözeltilerde bekletme süreleri ve bunlar arasındaki etkileşimlerin önemli etkisi olduğu belirlenirken ($p < 0,05$) pişirme sürelerinin önemli bir etkisi olmadığı saptanmıştır ($p > 0,05$, Ek-4, Çizelge 10). Bhattacharya ve ark. [79] da yaptıkları çalışmada etlerin sıklık değerleri üzerinde pişirme sıcaklıklarının önemli bir etkisi olmadığını saptamışlardır. Hsu ve Yu [11] ise, bu çalışmada elde edilen bulgulara paralel olarak, yaptıkları çalışmada emülsiyeli bir et ürününe ilave edilen polifosfat düzeyindeki artışın ürünün sıklık değerini önemli oranda etkilediğini saptamış ve polifosfat artışı ile sıklık değerinde artış saptamışlardır. STP çözeltileri ile muamele zamanlarının etlerin sıklık değerleri üzerindeki etkisi istatistiksel olarak önemli düzeyde bulunsa da (Ek-4, Çizelge 10), STP çözeltilerinde bekletme sürelerinin (10, 20 ve 30 dakika) STP konsantrasyonundan bağımsız olarak sıklık üzerindeki etkilerinin birbirinden farklı olmadığı saptanmıştır (Ek-4, Çizelge 11). Pişirme süresinin ise sıklık değeri üzerinde tek başına önemli bir etkisinin olmadığı saptanmış ve STP çözeltileriyle muamele zamanı ile STP çözelti konsantrasyonu etkileşiminin etkisinin istatistiksel olarak önemli düzeyde olduğu belirlenmiştir (Ek-4, Çizelge 10). Şekil 4.28, 4.29 ve 4.30 STP çözeltilerinde farklı zamanlarda bekletilen etlerde sıklık değerlerinin pişirme zamanlarına göre değişimlerini göstermektedir.



Şekil 4.28. % 2 Sodyum Tripolifosfat (STP) Çözeltisinde Farklı Zamanlarda Bekletilen Etlerde Sıklık Değerlerinin Pişme Zamanlarına Göre Değişimleri (2×2×2 cm et boyutları)

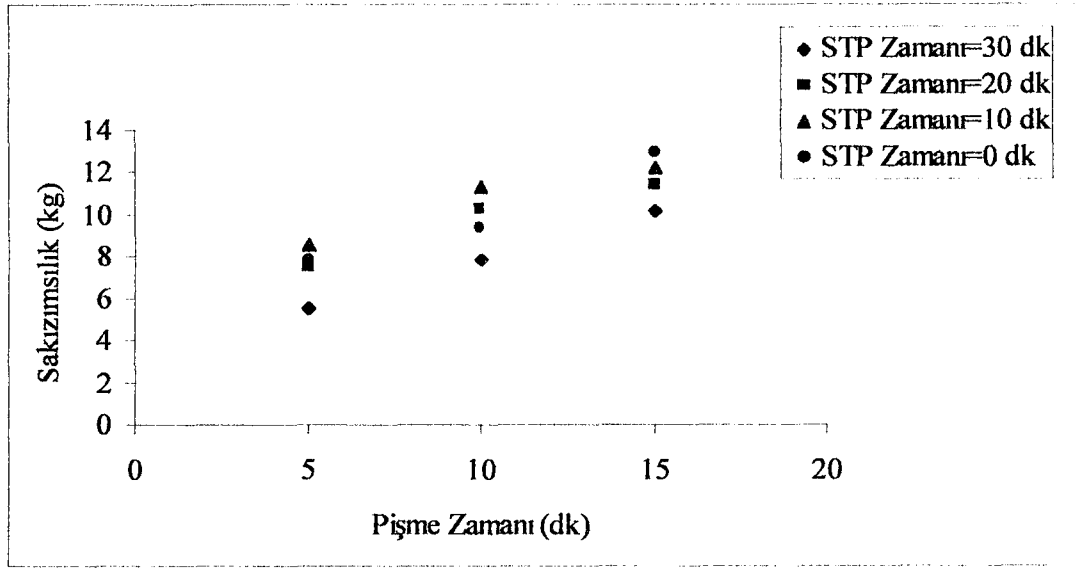


Şekil 4.29. % 4 Sodyum Tripolifosfat (STP) Çözeltisinde Farklı Zamanlarda Bekletilen Etlerde Sıklık Değerlerinin Pişme Zamanlarına Göre Değişimleri (2×2×2 cm et boyutları)

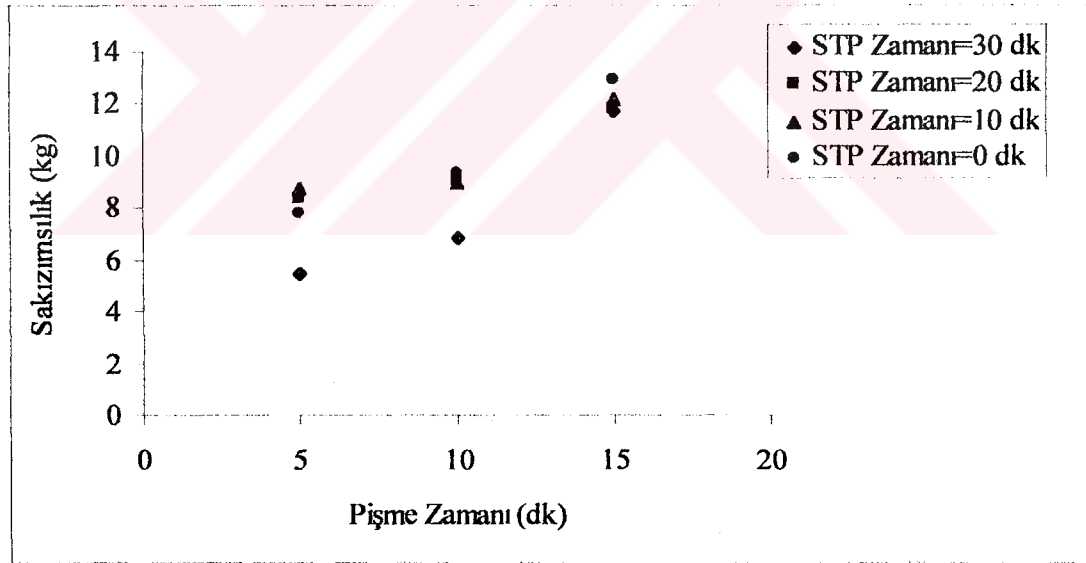


Şekil 4.30. % 6 Sodyum Tripolifosfat (STP) Çözeltilisinde Farklı Zamanlarda Bekletilen Etlerde Sıklık Değerlerinin Pişme Zamanlarına Göre Değişimleri (2×2×2 cm et boyutları)

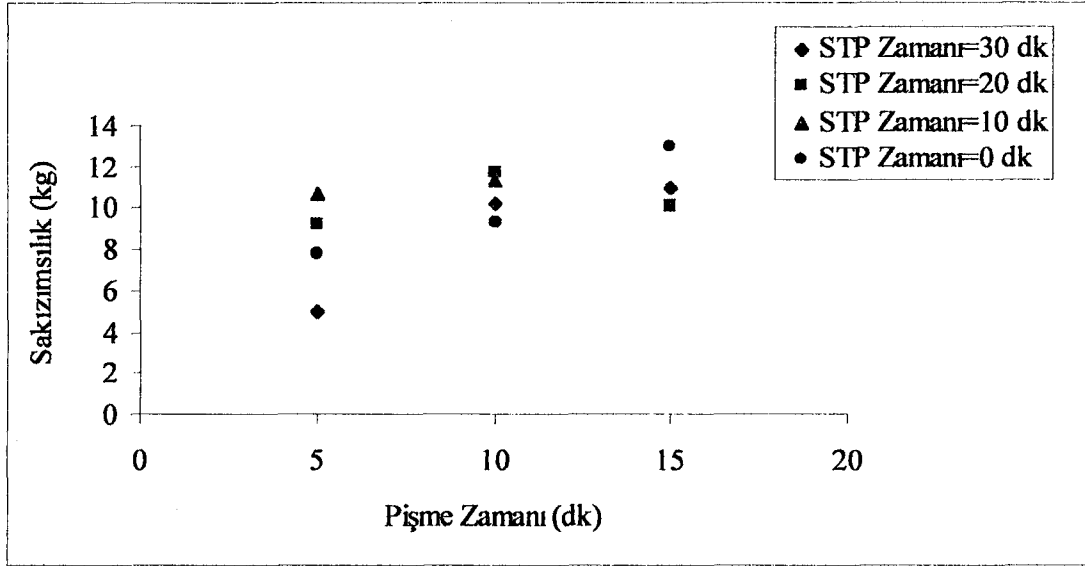
Yapısal özelliklerden sertlik ve sıklık değerlerinin bir fonksiyonu olan sakızimsılık değerinin etlerin pişirilme süreleri arttıkça arttığı saptanmıştır ($p < 0,05$, Ek-4, Çizelge 10 ve 11). Fakat gerek STP konsantrasyonu gerekse çözeltilerde bekletme zamanlarının ve bunlar arasındaki etkileşimin sakızimsılık üzerinde önemli bir etkisi saptanmamıştır ($p > 0,05$, Ek-4, Çizelge 10). Etlerin pişme sürelerindeki artışın sakızimsılık değerleri ile sertlik değerleri üzerine olan etkilerinin benzer olması, sakızimsılık değerinin sertliğin bir fonksiyonu olması dolayısıyla beklenen bir sonuçtur. Erdoğan [78] da pişirme sıcaklığındaki artış ile karideslerin sakızimsılık değerlerinin sertlik değerleri gibi arttığını belirlemiştir. Şekil 4.31, 4.32 ve 4.33 STP çözeltilerinde farklı zamanlarda bekletilen etlerde sakızimsılık değerlerinin pişme zamanlarına göre değişimlerini göstermektedir.



Şekil 4.31. % 2 Sodyum Tripolifosfat (STP) Çözeltisinde Farklı Zamanlarda Bekletilen Eterde Sakızimsılık Değerlerinin Pişme Zamanlarına Göre Değişimleri (2×2×2 cm et boyutları)



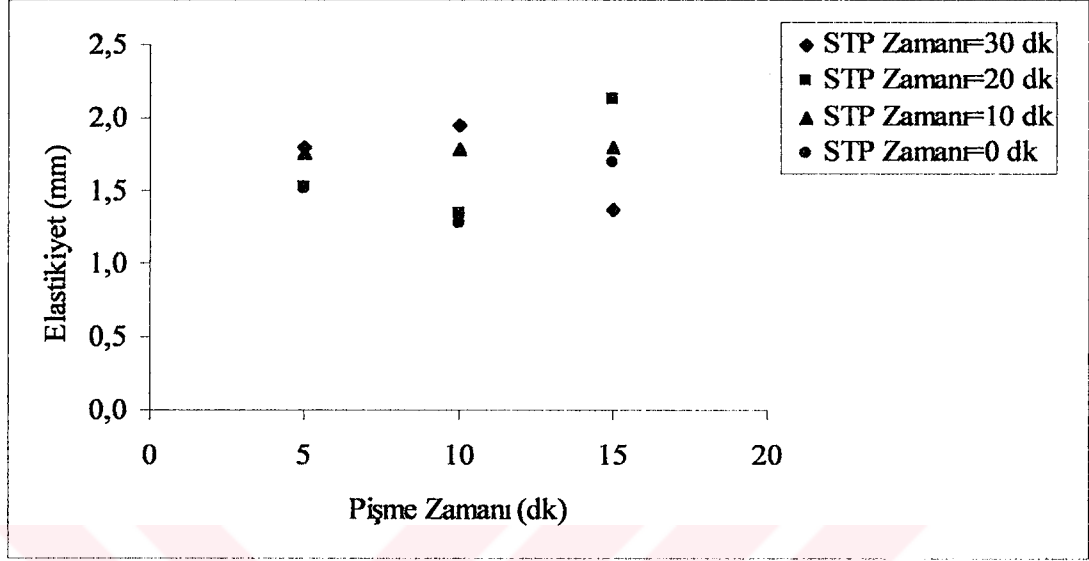
Şekil 4.32. % 4 Sodyum Tripolifosfat (STP) Çözeltisinde Farklı Zamanlarda Bekletilen Eterde Sakızimsılık Değerlerinin Pişme Zamanlarına Göre Değişimleri (2×2×2 cm et boyutları)



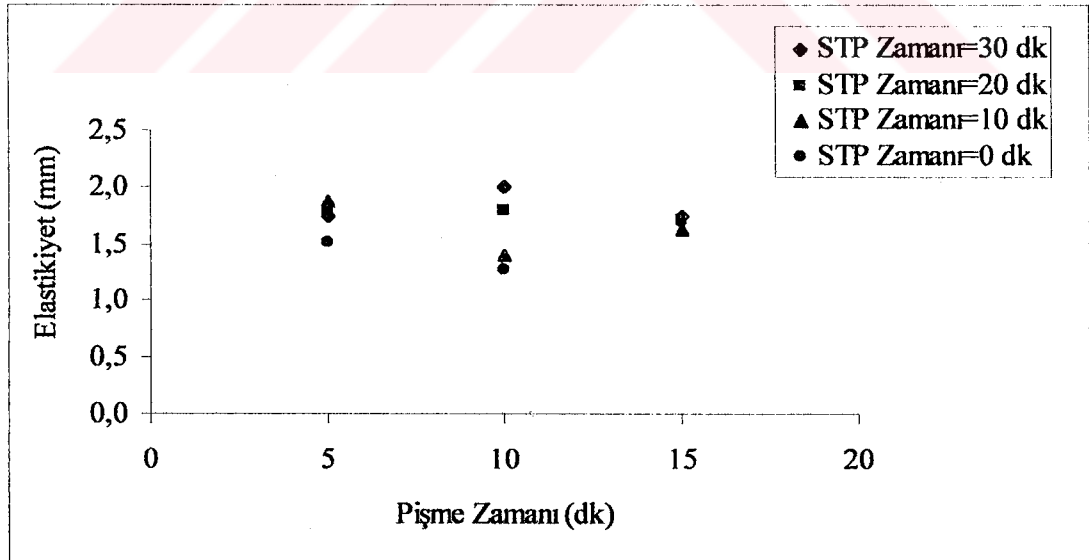
Şekil 4.33. % 6 Sodyum Tripolyfosfat (STP) Çözeltisinde Farklı Zamanlarda Bekletilen Etlerde Sakızimsılık Değerlerinin Pişme Zamanlarına Göre Değişimleri (2×2×2 cm et boyutları)

Etlere yapısal özelliklerinden elastikiyet değerleri üzerinde STP çözelti konsantrasyonu ve pişirme süresinin istatistiksel olarak önemli bir etkisi olmadığı saptanırken ($p>0,05$) çözeltilerde bekletme süresinin elastikiyet üzerindeki etkisi önemli bulunmuştur ($p<0,05$, Ek-4, Çizelge 10 ve 11). Şekil 4.34, 4.35 ve 4.36 STP çözeltilerinde farklı zamanlarda bekletilen etlerde elastikiyet değerlerinin pişme zamanlarına göre değişimlerini göstermektedir. Etlere elastikiyetin kas liflerindeki şişmeye bağlı olarak lif çapının artması ile ilgili olduğu belirtilmiştir [61]. STP' lar et proteinlerinde özellikle de miyofibriller proteinlerde ve kas liflerinde şişmeye neden olmaktadır [20, 72]. STP çözeltilerinde muamele süresindeki artış ile et örneklerine difüze olan STP miktarı artmakta ve dolayısıyla da etlerin elastikiyet değerleri artmaktadır. Benzer bulgular Hsu ve Yu' nun [11] yaptıkları çalışmada da göze çarpmaktadır. Chen ve Trout [59] da çeşitli katkı maddelerinin sığır etinin yapısal özellikleri üzerine etkisini inceledikleri çalışmalarında elastikiyet üzerine STP' ların oldukça etkili olduğunu saptamışlardır. Çözelti konsantrasyonunun etlerin elastikiyet değerleri üzerindeki etkisi istatistiksel olarak önemsiz bulunsada yüksek STP çözelti konsantrasyonunda (% 6) belirlenen elastikiyet değerlerinin STP çözeltilerinde muamele zamanlarındaki artış ile birbirine yaklaştığı saptanmıştır. Şekil 4.36' da da görüldüğü gibi % 6 STP çözeltilerinde bekletilen etlerin 10 dakika

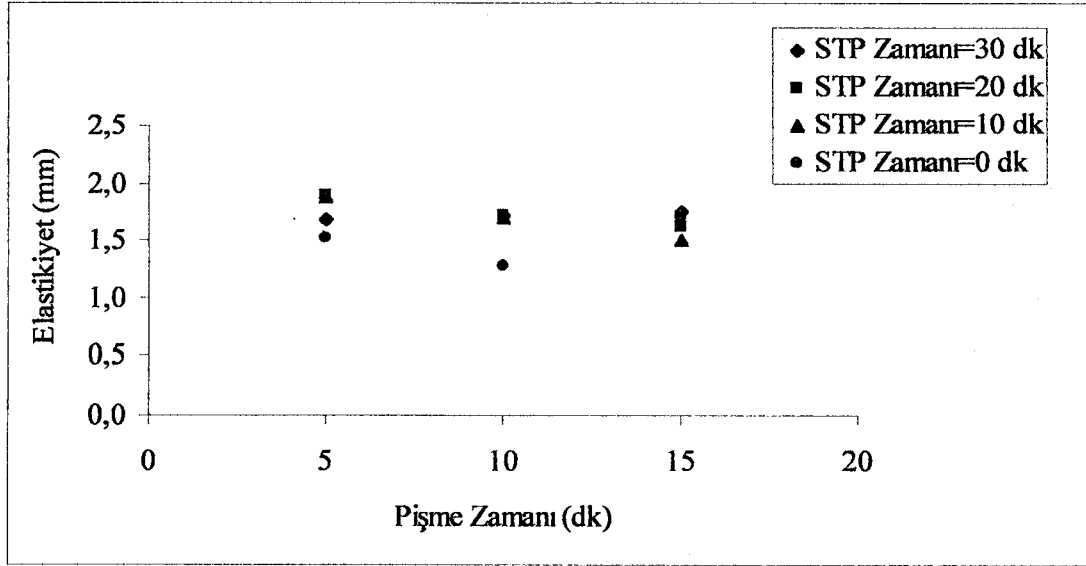
pişirme süresi sonundaki elastikiyet değerleri 10, 20 ve 30 dakika STP çözeltisinde bekletme süreleri sonunda benzer bulunmuştur.



Şekil 4.34. % 2 Sodyum Tripolifosfat (STP) Çözeltisinde Farklı Zamanlarda Bekletilen Etlere Elastikiyet Değerlerinin Pişme Zamanlarına Göre Değişimleri (2×2×2 cm et boyutları)



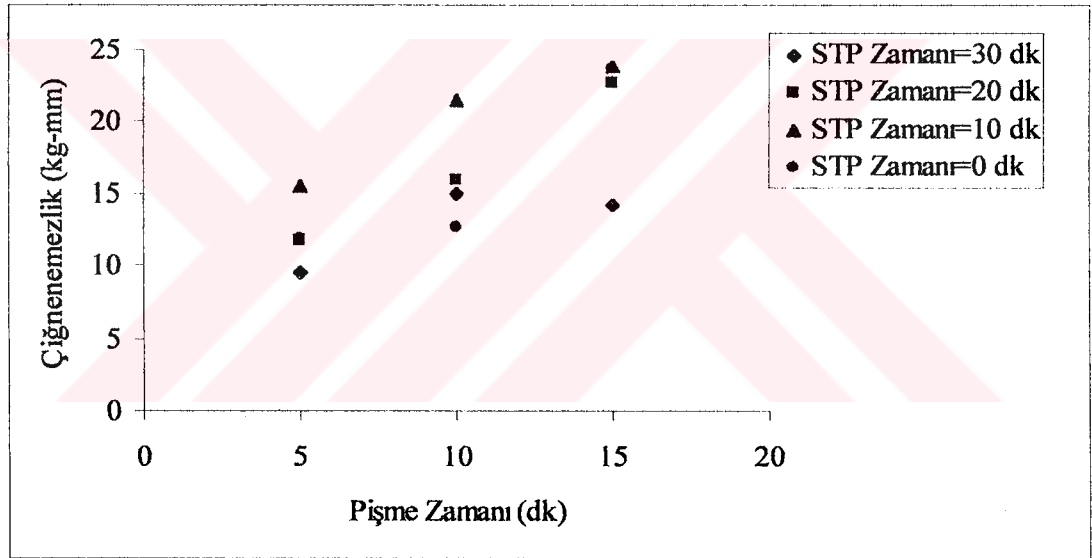
Şekil 4.35. % 4 Sodyum Tripolifosfat (STP) Çözeltisinde Farklı Zamanlarda Bekletilen Etlere Elastikiyet Değerlerinin Pişme Zamanlarına Göre Değişimleri (2×2×2 cm et boyutları)



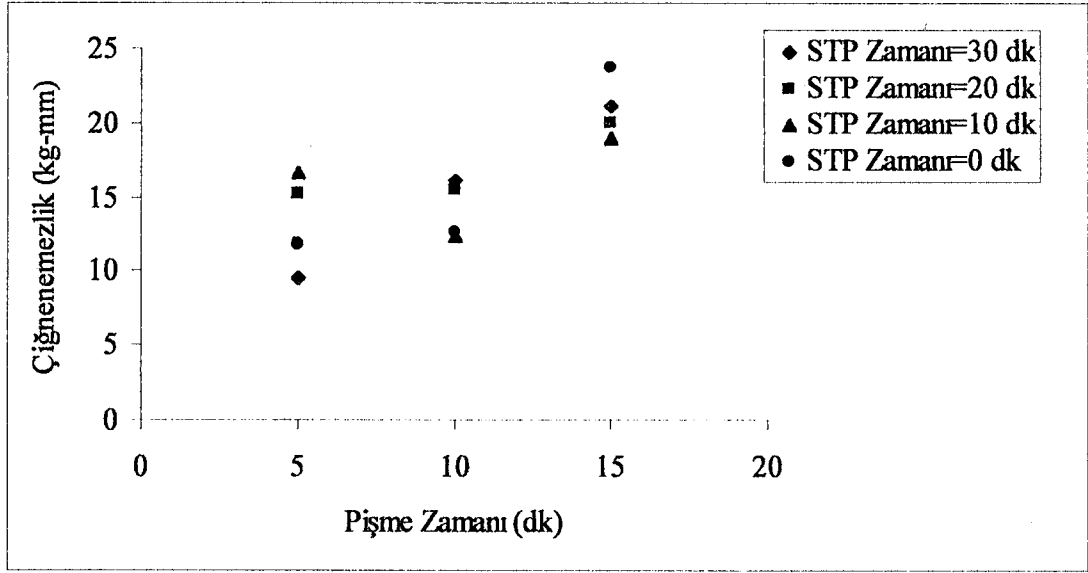
Şekil 4.36. % 6 Sodyum Tripolifosfat (STP) Çözeltisinde Farklı Zamanlarda Bekletilen Etlerde Elastikiyet Değerlerinin Pişme Zamanlarına Göre Değişimleri (2×2×2 cm et boyutları)

Et örneklerinin çiğnenemezlik değerlerinde gerek çözeltilerin STP konsantrasyonu gerekse de çözeltilerde bekletme sürelerindeki artışa bağlı olarak düzenli değişimler gözlenememiş olsa da, STP çözeltileri ile muamele edilmeden 15 dakika pişirilen etlerin çiğnenemezlik değerlerinin STP ile muamele edilen etlerin çiğnenemezlik değerlerinden daha yüksek olduğu saptanmıştır (Şekil 4.37, 4.38, 4.39). İstatistiksel olarak sadece pişirme süresinin etlerin çiğnenemezlik değerleri üzerindeki etkisi önemli düzeyde bulunmuştur ($p < 0,05$, Ek-4, Çizelge 10 ve 11). Yani, pişirme sürelerindeki artış ile etlerin sıcaklık ve sertliklerindeki artışlara paralel olarak çiğnenmeleri sırasında harcanması gereken enerji değerleri de artmaktadır. Özellikle de 15 dakika pişme süresinin etlerin çiğnenmeye karşı gösterdikleri dirençler üzerinde belirgin bir etkisi olduğu gözlenmiştir. Pişirme sırasında etlere uygulanan ısısal işlemler ile et proteinlerindeki değişimler (denatürasyon, koagülasyon, büzüşme, protein protein etkileşimi) sonucu etlerin sertliklerindeki artış, bunların çiğnenmeleri sırasında harcanan enerjinin de artmasına neden olmaktadır. Genel olarak gıdaların sertliği arttıkça çiğnenmeleri sırasında harcanan enerji ve çiğneme süresinin artması beklenen bir sonuçtur. Literatürde de bu bulgulara paralel sonuçlar bulunmaktadır. Palka ve Daun [62] yaptıkları çalışmada

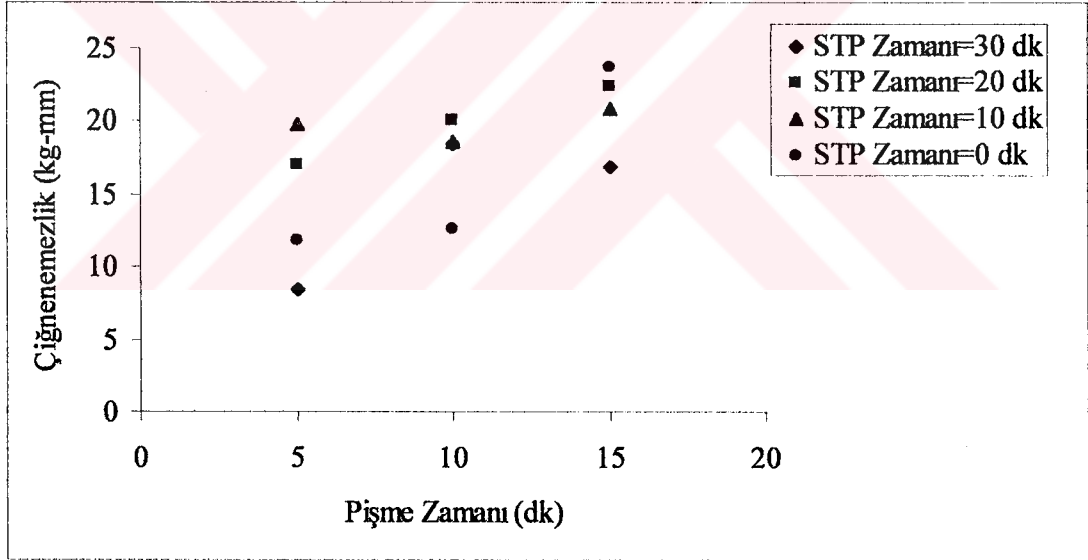
pişme sıcaklığındaki artışlarla etlerin yutmaya hazır hale getirilmeleri sırasında harcanan zamanın, dolayısıyla da çiğnenmeleri sırasında harcanması gereken enerjinin arttığını saptamışlar ve sertliğin maksimum olduğu sıcaklık değerinde, bu değer de maksimum olduğunu saptamışlardır. Bhattacharya ve ark. [79] som balığının yapısal özellikleri üzerine pişme süresi ve sıcaklığının etkisini araştırdıkları çalışmalarında, pişme süresi ve sıcaklığının artması ile balığın çiğnenemezlik değerlerinin de arttığını belirtmişlerdir. Martin ve ark. [31] ise yaptıkları çalışmada, etlerde su tutma kapasitesindeki artış ile etin sertlik ve çiğnenmesi sırasında harcanan enerji değerlerinin azaldığını saptayarak, STP eklenen etlerde pişme sonrasında bu değerlerin STP ilave edilmeden pişirilen etlere göre oldukça düşük olduğunu belirtmişlerdir.



Şekil 4.37. % 2 Sodyum Tripolifosfat (STP) Çözeltisinde Farklı Zamanlarda Bekletilen Etlerde Çiğnenemezlik Değerlerinin Pişme Zamanlarına Göre Değişimleri (2×2×2 cm et boyutları)



Şekil 4.38. % 4 Sodyum Tripolifosfat (STP) Çözeltisinde Farklı Zamanlarda Bekletilen Etlerde Çiğnenemezlik Değerlerinin Pişme Zamanlarına Göre Değişimleri (2×2×2 cm et boyutları)



Şekil 4.39. % 6 Sodyum Tripolifosfat (STP) Çözeltisinde Farklı Zamanlarda Bekletilen Etlerde Çiğnenemezlik Değerlerinin Pişme Zamanlarına Göre Değişimleri (2×2×2 cm et boyutları)

Sonuç olarak etlerin muamele edildiği STP çözelti konsantrasyonları ve etlerin bu çözeltilerde muamele süreleri ile pişme zamanları etlerin yapısal özellikleri ve pişme kayıplarını oldukça fazla etkilemektedir. STP' lar etlerde su tutma kapasitesini arttırarak pişme kayıplarını azaltmakta ve etlerin sertliklerini

düşürmektedir. Etlere difüze olan STP konsantrasyonlarındaki artış ile de etlerin elastikiyet ve sıkılıkları artmakta, pişme kayıpları ise azalmaktadır. Bunların yanısıra etlerin pişirilme süreleri arttıkça sıcaklık artışı ile birlikte et proteinlerinde meydana gelen değişimler (denatürasyon, koagülasyon, büzüşme, protein protein etkileşimi) sonucunda etlerin pişme kayıpları ile sertlik, sakızimsılık, ve çiğnenemezlik gibi yapısal özelliklerinde artışlar meydana gelmektedir. Fosfatların gerek proteinler arası etkileşimi azaltan ve proteinlerin su bağlama yetilerini arttırarak çözünürlüklerini arttıran etkileri, gerekse de et proteinlerinde ısı işlemler sırasında meydana gelen değişimleri, denatürasyon sıcaklığını yükselterek kısmen de olsa azaltmaları, et ve et ürünlerinde yapısal özellikler ve pişme kayıpları üzerindeki etkilerini açıklamaktadır.



5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Et ve et ürünlerinde fosfat miktarlarının belirlenmesi amacıyla kullanılan spektrofotometrik yöntem, standart laboratuvar koşullarında daha hızlı sonuç alınabilecek şekilde geliştirilmiştir. Geliştirilen bu yöntem kullanılarak etlerde ve etlerin konulduğu STP çözeltilerinde zamanla değişen fosfat miktarları belirlenerek, et örneklerindeki fosfat hareketleri incelenmiştir.

STP çözeltilerinde beklenen etlerin yüzeylerinde zamanla, polifosfatların çözünen et proteinleri ile etkileşimleri sonucu jel yapısında fosfat-protein-su katmanının şekillendiği ve bu katmanın etlerde fosfat hareketini yönlendirdiği saptanmıştır. Etlerin yüzeyinde katman oluşumuna kadar geçen süreçte etlerden çözeltiliye hızlı ortofosfat çıkışı sonucunda etlerde fosfat azalışı, katman oluşumu sonrasında ise ortofosfat çıkışının yavaşlaması ile STP difüzyonuna bağlı olarak etlerde fosfat artışları saptanmıştır. Ayrıca etlerin STP ve ortofosfat değişimi deneysel verileri kullanılarak STP ve ortofosfatlar için difüzyon katsayıları belirlenmiş, ortam sıcaklığının STP ve ortofosfat difüzyon katsayıları üzerine etkisi incelenerek sıcaklık artışı ile difüzyon katsayılarının arttığı saptanmıştır. Difüzyon katsayılarının belirlenmesinde özellikle de et yüzeylerinde katman oluşumundan önce literatürde kullanılan $Fo > 0,2$ yaklaşımının doğru sonuç vermediği görülmüş ve yine analitik çözümlerin kullanıldığı başka bir yöntem kullanılarak hesaplamalar yapılmıştır. Bu yöntemle elde edilen katsayılarla yapılan hesaplamalar sonucunda etlere difüze olan STP miktarları belirlenmiştir. Ayrıca sıcaklık artışı ile etlerin yüzeyinde şekillenen fosfat-protein-su katmanının oldukça hızlı bir şekilde oluşması sonucu etlerde fosfat azalışı gözlenmeyerek direk olarak artışlar saptanmıştır. Etlerdeki bu değişimlerin yanında tüm denemelerde etlerden çözeltilere ortofosfat difüzyonu sonucu, STP çözeltilerinde fosfat artışı gözlenmiş, bu artış hızında yüzeyde katman oluşumu sonrasında azalma olduğu saptanmıştır.

Bunların yanında STP' in, etlerde pişirme kayıpları ve ısıl işlemler sırasında etlerin yapısal özelliklerindeki değişimler üzerine etkileri incelenmiş, pişme öncesinde STP' la muamele edilen etlerin su tutma kapasitelerinin artması ile pişme

kayıplarının azaldığı belirlenmiştir. STP' ların etlerin yapısal özelliklerini de önemli ölçüde etkilediği saptanmış, etlere difüze olan STP miktarındaki artış ile etlerin elastikiyet ve sıklığı artarken STP' ların etlerde su tutma kapasitesi ve et proteinlerinin çözünürlüğünü artırarak etlerin sertlik değerlerini azalttığı belirlenmiştir. Ayrıca etlerin pişirilme sürelerinin artması ile de pişme kayıpları ile sertlik, sakızimsılık, ve çiğnenemezlik gibi yapısal özelliklerinde artışlar olduğu gözlenmiştir.

Bu çalışmada pişme sonrasında etlerin yapısal özelliklerindeki değişimler sadece aletsel olarak saptanmış, duyuşal testler yapılmamıştır. Yapısal özellikleri belirlerken aletsel olarak elde edilen bulguların duyuşal testlerle de desteklenmeleri ürün kabul edilebilirliği açısından önemlidir. Etlerde duyuşal testlerin yapılması ile STP' ların etlerin yapısal özellikleri üzerindeki etkisi ve tüketiciler tarafından kabul edilebilirliği daha açık bir şekilde ortaya konulabilir.

Ayrıca bu çalışmada geliştirilen fosfat tayin yöntemi ile gerek et bünyesinde gerekse de STP çözeltilerinde zamanla değişen fosfat miktarları ortofosfat cinsinden belirlenmektedir. Etlerdeki fosfat değişimlerinin direk olarak STP cinsinden saptanabildiği etkin olarak kullanılacak bir STP tayin yöntemi geliştirilirse STP difüzyon katsayısı daha kesin ve kolay bir şekilde saptanabilecektir.

KAYNAKLAR

- [1] Dziezak, J.D. "Phosphate Improve Many Foods", *Food Technology*, **44(4)**: 80-92 (1990).
- [2] Steinhauer J.E., "Food Phosphates for Use in the Meat, Poultry and Seafood Industry", *Dairy and Sanitation*, **3(7)**: 244-247 (1983).
- [3] Gökalp, Y.H., Zorba, Ö. ve Kaya, M. "Et Ürünleri İşleme", Atatürk Üniversitesi Yayınları, Erzurum, 558 s., (1999).
- [4] Wang, H., Sun, D., Zeng, Q. and Lu Y. "Effect of pH, Corn Starch and Phosphate on the Pasting Properties of Rice Flour", *Journal of Food Engineering*, **46**: 133-138, (2000).
- [5] Claus, J.R., Colby, J-W. and Flick, G.J. "Processed Meats/Poultry/Seafood", Kinsman, D. M., Kotula, A. W. and Breidenstein, B.C. (ed), Muscle Foods Meat Poultry and Seafood Technology, Chapman&Hall, New York, s.106-163, (1994).
- [6] Merkel R.A. "Inorganic Constituents", Townsend, W.E. and Olson, D.G. "Cured Meats and Cured Meat Product Processing", Price, J. F. and Schweigert, B. S. (ed), The Science of Meat and Meat Products, Food and Nutrition, Westford, s.125-141, 431-456, (1987).
- [7] Varnam, A. H., Sutherland, J. P. "Meat and Meat Products: Technology, Chemistry and Microbiology", Chapman&Hall, London, 430 s., (1995).
- [8] Nielsen, G.S., Petersen, B.R. and Moller, A.J. "Impact of Salt, Phosphate and Temperature on the Effect of a Transglutaminase (F XIIa) on the Texture of Restructured Meat", *Meat Science*, **41(3)**: 293-299, (1994).
- [9] Erdoğan, F., Luzuriaga, D.A., Balaban, M.O. and Chau, K.V. "A Predictive Model and Yield Loss in Phosphate-Treated, Cooked Tiger Shrimp (*Penaeus monodon*)", *Journal of Aquatic Food Product Technology*, **10(2)**: 31-44, (2001).
- [10] Hsu, S.Y. and Chung, H.Y. "Effects of κ -caragellan, Salt, Phosphate and Fat on Qualities of Low fat Emulsified Meatballs", *Journal of Food Engineering*, **47**: 115-121, (2001).

- [11] Hsu, S.Y. and Yu, S.H. "Effects of Phosphate, Water, Fat and Salt on Qualities of Low-Fat Emulsified Meatball", *Journal of Food Engineering*, **39**: 123-130, (1999).
- [12] Pohlman, F.W., Stivarius, M.R., McElyea, K.S. and Waldroup, A.L. "Reduction of E. coli, Salmonella typhimurium, Coliforms, Aerobic Bacteria and Improvement of Ground Beef Color Using Trisodium Phosphate or Cetylpyridinium Chloride Before Grinding", *Meat Science*, **60**: 349-356, (2002).
- [13] Krause, R.J., Plimpton, R.F., Ockerman, H.W. and Carhill, V.R. "Influence of Tumbling and Sodium Tripolyphosphate on Salt and Nitrite Distribution in Porcine Muscle", *Journal of Food Science*, **43**: 190-192, (1978).
- [14] Batista, I., Vidal, I., Lourenço, H.M., Sousana, I. and Nunes, M.L. "Tenderisation of the Dog Cockle (*Glycymeris Glycymeris*) Meat By Polyphosphates", *European Food Research Technology*, **210**: 31-33, (1999).
- [15] McDermott, M., Mitchell, P.C. and Welch, R.W. "Effects of Meat Piece Size and Phosphate on Maximum Slicing Rate, Cooking Loss and Sensory Quality of a Re-formed Pig Meat Shoulder Product", *International Journal of Food Science and Technology*, **34**: 101-106, (1999).
- [16] Moiseev, I.V. and Cornforth, D.P. "Sodium Hydroxide and Sodium Tripolyphosphate Effects on Bind Strength and Sensory Characteristics of Restructured Beef Rolls", *Meat Science*, **45(1)**:53-60, (1996).
- [17] Monaha, F.J. and Troy, D.J. "Overcoming Sensory Problems in Low Fat and Salt Product", Collins, J.E. "Reducing Salt Sodium Levels in Processed Meat Poultry and Fish Products", Pearson, A.M and Dutson, T.R. (ed), Production and Processing of Healthy Meat, Poultry and Fish Products, Blackie Academic & Professional, London, s.257-298, (1997).
- [18] Martin, M. "Meat Curing Technology", Hui, Y.H., Nip, W.K., Rogers, R.W. and Young, O. (ed), Meat Science and Applications, Marcel Dekker, New York, s.491-508, (2001).
- [19] Lemos, A.L.S.C., Nunes, D.R.M. and Viana, A.G. "Optimization of the Still-Marinating Process of Chicken Parts", *Meat Science*, **52**: 227-234, (1999).

- [20] Rhee, K.S. "Storage Stability of Meat Products as Affected by Organic and Inorganic Additives and Functional Ingredients", Laack, R.L.J.M.V. "Role of Proteins in Water-Holding Capacity of Meat", Xiong, Y. L. "Phosphate-Mediated Water Uptake, Swelling, and Functionality of the Myofibril Architecture", Xiong, Y. L., Chi-Tang Ho and Shahidi, F. (ed), Quality Attributes of Muscle Foods, Kluwer Academic/Plenum, New York, s.95-115,309-335. (1999).
- [21] Gautefongea, R. "Salting and Curing", Girard J.P. (ed), Technology of Meat and Meat Products, Ellis Harwood, London, s.115-137, (1992).
- [22] Cassens, R. G. "Meat Preservation Preventing Losses and Assuring Safety", Food and Nutrition, Trumbull, 133 s., (1994).
- [23] Hanikel, K.O. and Hamm,R. "Measurement of Water Holding Capacity and Juiciness", Pearson, A. M. and Dutson, T. R. (ed), Quality Attributes and Their Measurement in Meat, Poultry and Fish Products: Advances in Meat Research, Aspen, New York, s.125-161, (1999).
- [24] Shahidi, F. and Synowiecki, J. "Protein Hydrolyzates From Seal Meat as Phosphate Alternatives in Food Processing Applications", Food Chemistry, **60(1)**: 29-32, (1997).
- [25] Puolanne, E.J., Ruusunen, M.H. and Vainionpää, J.I. "Combined Effects of NaCl and Raw Meat pH on Water-Holding in Cooked Sausage With and Without Added Phosphate", Meat Science, **58**: 1-7, (2001).
- [26] Lawrie, R.A "Lawrie's Meat Science", Technomic, Cambridge, 336s., (1998).
- [27] VanGarde, S. J., Woodburn, M. "Food Preservation and Safety: Principles and Practice", Iowa State University, Iowa, 261 s., (1994).
- [28] Kramlich, W.E., Pearson, A.M., Tauber F.W. "Processed Meats", The Avi Publishing Company Inc., Westport Connecticut, 348 s., (1973).
- [29] Warriss, P. D. "Meat Science: An Introductory Text", Cabi, New York, 310 s., (2000).
- [30] Lampila, L.E. "Functions and Uses of Phosphates in the Seafood Industry", Journal of Aquatic Food Products and Technology, **1(3/4)**: 29-41 (1992).

- [31] Martin, F.F., Cofrades, S., Carballo, J. and Jiménez-Colmenero, F. "Salt and Phosphate Effects on the Gelling Process of Pressure/Heat Treated Pork Batters", *Meat Science*, **61**: 15-23, (2002).
- [32] Sheard, P.R., Nute, G.R., Richardson, R.I., Perry, A. and Taylor, A.A. "Injection of Water and Polyphosphate into Pork to Improve Juiciness and Tenderness after Cooking", *Meat Science*, **51**: 371-376, (1999).
- [33] Scanga, J.A, Delmore, R.J., Ames, R.P., Belk, K.E., Ttum, J.D. and Smith, G.C. "Palability of Beef Steaks Marinated With Solutions of Calcium Chloride, Phosphate and (or) Beef- Flavoring", *Meat Science*, **55**: 397-401, (2000).
- [34] Muguruma, M., Tsuruoka, K., Katayama, K., Erwanto, Y., Kawahara, S., Yamauchi, K., Sathe, S.K. and Soeda, T. "Soybean and Milk Proteins Modified by Transglutaminase Improves Chicken Sausage Texture Even at Reduced Levels of Phosphate", *Meat Science*, **63**: 191-197, (2003).
- [35] Banks, W.T. Wang, C. and Brewer, M.S. "Sodium Lactate/ Sodium Tripolyphosphate Combination Effects on Aerobic Plate Counts, pH and Color of Fresh Pork Longissimus Muscle", *Meat Science*, **50**: 499-504, (1998).
- [36] Capita, R., Alonso-Calleja, C., Sierra, M. and Moreno, B. "Effect of Trisodium Phosphate Solutions Washing on Poultry Meat", *Meat Science*, **55**: 471-474, (2000).
- [37] Mu, D., Huang, Y.W., Gates, K.W. and Wu, W.H. "Effect of Trisodium Phosphate on *Listeria Monocytogenes* Attached to Rainbow Trout (*Oncorhynchus Mykiss*) and Shrimp (*Penaeus* spp.) During Refrigerated Storage", *Journal of Food Safety*, **17**: 37-46, (1997).
- [38] Cheftel, J.C., Cuq, J. and Lorient, D. "Amino Acids, Peptides, and Proteins", Fennema, O. (ed), *Food Chemistry*, 2. Baskı, Marcel Dekker Inc., New York and Basel, s.245-370, (1985).
- [39] Tenhet, V., Finne, G., Nickelson II, R. and Toloday, D. "Penetration of Sodium Tripolyphosphate into Fresh and Prefrozen Peeled and Deveined Shrimp", *Journal of Food Science*, **46**: 344-349 (1981).

- [40] Tenhet, V., Finne, G., Nickelson II, R. and Toloday, D. "Phosphorous Levels in Peeled and Deveined Shrimp Treated with Sodium Tripolyphosphate", *Journal of Food Science*, **46**: 350-356 (1981).
- [41] Baysal, A. "Beslenme", Hatipoğlu Yayınevi, Ankara, 494 s., (1995).
- [42] Dušek M., Kvasnička, F., Lukáková, L. and Krátká, J. (Baskıda) "Isotachophoretic Determination of Added Phosphate in Meat Products", *Meat Science*, (2003).
- [43] Molins, R.A., Kraft A.A. and Olson, D.G. "Adaptation of Method for Determination of Soluble Orthophosphates in Cooked and Cooked and Uncooked Pork Containing Acid-Labile Poly- and Pyrophosphates", *Journal of Food Science*, **50**: 1482-1483, (1985).
- [44] Cui H., Cai, F. and Xu, Q. "Determination of Tripolyphosphate in Frozen Cod and Scallop Adductor by Ion Chromatography", *Journal of Chromatography A*, **884**: 89-92, (2000).
- [45] Baluyot, E. S. & Hartforth, G. C. "Comparison of Polyphosphate Analysis by Ion Chromatography and by Modified End-group Titration", *Journal of Chromatography A*, **739(1-2)**: 217-222, (1996).
- [46] Lee, B.J., Hendricks, D.G. and Cornforth, D.P. "Effect of Sodium Phytate, Sodium Pyrophosphate and Tripolyphosphate on Physico-chemical Characteristics of Restructured Beef", *Meat Science*, **50(3)**: 273-283, (1998).
- [47] Greenfield, H., Southgate, D.A.T. "Food Composition Data: Production, Management and Use", Chapman&Hall, London, 243 s., (1992).
- [48] Wang, D., Tang, J. and Correia, L. R. "Salt Diffusivities and Salt Diffusion in Farmed Atlantic Salmon Muscle as Influenced by Rigor Mortis", *Journal of Food Engineering*, **43**: 115-123, (2000).
- [49] Fox, B.J., "Diffusion of Chloride, Nitrite and Nitrate in Beef and Pork", *Journal of Food Science*, **45**: 1740-1744, (1980).
- [50] Sabadini, E., Carvalho, Jr.B.C., Sobral, P.J.doA. and Hubinger, M.D. "Mass Transfer and Diffusion Coefficient Determination in the Wet and Dry Salting of Meat", *Drying Technology*, **16(9&10)**: 2095-2115, (1998).

- [51] Djelveh, G. and Gros, J.B. "Measurement of Effective Diffusivities of Ionic and Non-Ionic Solutes Through Beef and Pork Muscles Using a Diffusion Cell", *Meat Science*, **23**: 11-20, (1988).
- [52] Szczesniak A.S. "Classification of Textural Characteristics", *Journal of Food Science*, **28**: 385-389, (1979).
- [53] Szczesniak A.S. "Instrumental Methods of Texture Measurement", *Food Technology*, **1**: 50-56, (1972).
- [54] Brandt, M.A, Skinner, E.Z. ve Coleman, J.A. "Texture Profile Method" 404-409, (1962).
- [55] Abbott, J.A. "Sensory Assessment of Food Texture", *Food Technology*, **26**: 40-49, (1972).
- [56] Brady, P.L. and Hunecke, M.E. "Correlations of Sensory and Instrumental Evaluations of Roast Beef Texture", *Journal of Food Science*, **50**: 300-303, (1985).
- [57] Bourne M.C. "Texture Profile Analysis", *Food Technology*, 62-72, (1978).
- [58] Peleg, M. "A Research Note Texture Profile Analysis Parameters Obtained by an Instron Universal Testing Machine", *Journal of Food Science*, **41**: 721-722, (1976).
- [59] Chen, C.M. and Trout, G.R. "Sensory, Instrumental Texture Profile and Cooking Properties of Restructured Beef Made with Various Binders", *Journal of Food Science*, **56(16)**: 1457-1460, (1991).
- [60] Deng, J.C. "Effects of Temperatures on Fish Protease, Protein Interaction and Texture Quality", *Journal of Food Science*, **46**: 62-65, (1981).
- [61] Ledward, D.A. and Lawrie, R.A. "A Note on the Dependence of Meat Texture on the Temperature of Measurement", *Journal of Food Science and Agriculture*, **26**: 691-695, (1975).
- [62] Palka, K. and Daun, H. "Changes in Texture, Cooking Losses, and Myofibrillar Structure of Bovine M.Semitendinosus during Heating", *Meat Science*, **51**: 237-243, (1999).
- [63] Combes, S., Lepetit, J., Darce, B. and Lebas, F. "Effect of Cooking Temperature and Cooking Time on Warner-Bratzler Tenderness

- Measurement and Collagen Content in Rabbit Meat”, *Meat Science*, **63**: 1-6, (2002).
- [64] Brady, P.L. and Penfield, M.P. “Textural Characteristics of Beef: Effects of the Heating System”, *Journal of Food Science*, **46**: 216-219, (1981).
- [65] Murphy, R.Y. and Marks B.P. “Effect of Meat Temperature on Proteins, Texture, and Cook Loss for Ground Chicken Breast Patties”, *Poultry Science*, **79**: 99-104, (2000).
- [66] Driver, G.E. and Venkata-Raman, S. “Effect of Processing Conditions and Additives on the Texture of Stored Freeze-Dried Beef”, *Journal of Food Science*, **41**: 743-747, (1976).
- [67] Barbut, S. and Findlay, C.J. “Influence of Sodium, Potassium and Magnesium Chloride on Thermal Properties of Beef Muscle”, *Journal of Food Science*, **56(1)**: 180-182, (1991).
- [68] Action, J.C. “The Effect of Meat Particle Size on Extractable Protein, Cooking Loss and Binding Strength in Chicken Loaves”, *Journal of Food Science*, **37**: 240-243, (1972).
- [69] Erdoğdu, F., Balaban, M.O. and Chau, K.V. “Mathematical Model to Predict Yield Loss of Medium and Large Tiger Shrimp (*Penaeus Monodon*) During Cooking”, *Journal of Food Process Engineering*, **22**: 383-394, (1999).
- [70] Torley, P.J., D’Arcy, B.R. and Trout, G.R. “The Effect of Ionic Strength, Polyphosphates Type, pH, Cooking Temperature and Preblending on the Functional Properties of Normal and Pale, Soft, Exudative (PSE) Pork”, *Meat Science*, **55**: 451-462, (2000).
- [71] Turner, R.H., Jones, P.N. and Macfarlane, J.J. “Binding of Meat Pieces: An Investigation of the Use of Myosin-Containing Extracts From Pre-and Post-Rigor Bovine Muscle as Meat Binding Agents”, *Journal of Food Science*, **44**: 1443-1446, (1979).
- [72] Sharma, S.C. and Seltzer, E. “Effect of Phosphates on the Physicochemical Characteristics of Freeze-Dried Shrimp”, *Journal of Food Science*, **44(1)**: 177-180, (1979).
- [73] Wang, T. and Li, S.F.Y. “Separation of Polyphosphates and Polycarboxylates by Capping Electrophoresis in a Carrier Electrolyte Containing Adenosine

- 5-Triphosphate and Cetyltrimethylammonium Bromide with Indirect UV Detection”, *Journal of Chromatography A*, **723**: 197-205, (1996).
- [74] McNeal, J.E. “Meat and Meat Products”, Helrich, K. (ed), Official Methods of Analysis of the AOAC, 15th Edition, Arlington, V.A.-USA, s.931-948, (1990).
- [75] Özdemir Y. “Gıda Analizleri Ders Notları”, ME.Ü. Mühendislik Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü, Mersin,143s., (2001). (Yayınlanmamış)
- [76] Ballinger, D.G. “Methods for Chemical Analysis of Water and Wastes”, Environmental Monitoring and Support Laboratory, Cincinnati, Ohio, 430 s., (1979).
- [77] Hellendoorn, E.W. “Water-Binding Capacity of Meat as Affected by Phosphates”, *Food Technology*, **16(9)**: 119-124, (1962).
- [78] Erdoğan, F. “Modelling of Temperature Distribution in Shrimp, and Measurement of its Effects on Texture, Shrinkage and Yield Loss”, Yüksek Lisans Tezi, University of Florida, Gainesville, Florida, 242s, (1996).
- [79] Bhattacharya, S., Choudhury, G.S. and Studebaker, S. “Hydrothermal Properties of Pacific Chum Salmon: Effects on Texture and In-Vitro Digestibility”, *Journal of Food Quality*, **16**: 243-251, (1993).
- [80] Ahmed, E.M., Mendenhall, V.T. and Koburgen, J.A. “A Research Note Modification of Cocktail Shrimp Texture”, *Journal of Food Science*, **38**: 356-359, (1973).
- [81] Crank, J. “The Mathematics of Diffusion”, Clarendon Press, Oxford, 414 s., (1975).
- [82] Çengel, Y. “Heat Transfer A Practical Approach”, McGraw-Hill, USA, 1004 s., (1998).

EKLER	83
EK 1. ET BOYUTLARININ MATEMATİKSEL OLARAK BELİRLENMESİ.....	84
EK 2. SABİT DİFÜZYON KATSAYISI DEĞERİNİN HESAPLANMASI.....	86
EK 3. ORTALAMA DİFÜZYON KATSAYISI DEĞERİNİN HESAPLANMASI.....	89
EK 4. PIŞME KAYIPLARI ve YAPISAL ÖZELLİKLER: İSTATİSTİKSEL ANALİZ SONUÇLARI.....	93



EK 1. ET BOYUTLARININ MATEMATİKSEL OLARAK BELİRLENMESİ

2×2×2 cm et boyutları belirlenirken sonsuz ve sonlu plaka şekilli geometriler için analitik çözümlerden yola çıkılarak et örneklerinin 5×5×1 cm örnekleri ile aynı muamele zamanında aynı konsantrasyon oranına ulaştığı boyutlar (1 nolu denklik) değişik STP difüzyon katsayıları (10^{-9} ve 10^{-10} m²/s) için deneme yanılma yolu ile belirlenmiştir.

$$\frac{\bar{C}_{5 \times 5 \times 1}(t) - C_{\infty}}{C_i - C_{\infty}} = \frac{\bar{C}_{2 \times 2 \times 2}(t) - C_{\infty}}{C_i - C_{\infty}} \quad (\text{EK 1.1})$$

Ek 2' de açıklandığı gibi parça etlerdeki hacimsel ortalama STP konsantrasyonu değişimleri 2 numaralı denklik kullanılarak hesaplanmıştır [81].

$$\frac{\bar{C}(t) - C_{\infty}}{C_i - C_{\infty}} = \prod_{i=1}^3 \left[\sum_{n=1}^{\infty} \left[A_n \cdot \exp\left(-\lambda_n^2 \cdot \frac{D \cdot t}{L^2}\right) \right] \right] \quad (\text{EK 1.2})$$

Burada $\frac{D \cdot t}{L^2}$ değeri, Fourier (Fo) sayısıdır. Biot (Bi) sayısının $\left(\frac{k \cdot L}{D}\right)$ sonsuz kabul edildiği koşullarda aynı muamele zamanlarında (10, 20, 30 ve 60 dakika), iki farklı STP difüzyon katsayısı değeri için (10^{-9} ve 10^{-10} m²/s) Fo sayıları hesaplanmış, Erdoğan, F. tarafından değişik analitik çözümler için yazılan program kullanılarak konsantrasyon oranları değerleri belirlenmiştir. Bu değerler aşağıdaki çizelgede belirtilmiştir.

Bu şekilde 2×2×2 cm boyutlarındaki sonlu plaka şekilli parça etlerin konsantrasyon oranlarının 5×5×1 cm boyutlarındaki sonsuz plaka şekilli parça etlerle eşdeğer olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 1. 5×5×1 cm Boyutlarındaki Et Örneklerinde Konsantrasyon Oranlarının Fourier (Fo) ve Biot (Bi) Sayılarına Bağlı Olarak Değişimi

Zaman (dk)	$D=10^{-9} \text{ m}^2/\text{s} (Bi = \infty)$		$D=10^{-10} \text{ m}^2/\text{s} (Bi = \infty)$	
	Fourier Sayıları	Konsantrasyon Oranları	Fourier Sayıları	Konsantrasyon Oranları
10	Fo ₁ =0,00096	0,7710	Fo ₁ =0,000096	0,9267
	Fo ₂ =0,00096		Fo ₂ =0,000096	
	Fo ₃ =0,02400		Fo ₃ =0,002400	
20	Fo ₁ =0,00192	0,6825	Fo ₁ =0,000192	0,8959
	Fo ₂ =0,00192		Fo ₂ =0,000192	
	Fo ₃ =0,04800		Fo ₃ =0,004800	
30	Fo ₁ =0,00288	0,6169	Fo ₁ =0,000288	0,8718
	Fo ₂ =0,00288		Fo ₂ =0,000288	
	Fo ₃ =0,07200		Fo ₃ =0,007200	
60	Fo ₁ =0,00576	0,4795	Fo ₁ =0,000576	0,8202
	Fo ₂ =0,00576		Fo ₂ =0,000576	
	Fo ₃ =0,14400		Fo ₃ =0,014400	

Çizelge 2. 2×2×2 cm Boyutlarındaki Et Örneklerinde Konsantrasyon Oranlarının Fourier (Fo) ve Biot (Bi) Sayılarına Bağlı Olarak Değişimi

Zaman (dk)	$D=10^{-9} \text{ m}^2/\text{s} (Bi = \infty)$		$D=10^{-10} \text{ m}^2/\text{s} (Bi = \infty)$	
	Fourier Sayıları	Konsantrasyon Oranları	Fourier Sayıları	Konsantrasyon Oranları
10	Fo ₁ =0,006	0,7625	Fo ₁ =0,0006	0,9220
	Fo ₂ =0,006		Fo ₂ =0,0006	
	Fo ₃ =0,006		Fo ₃ =0,0006	
20	Fo ₁ =0,012	0,6754	Fo ₁ =0,0012	0,8892
	Fo ₂ =0,012		Fo ₂ =0,0012	
	Fo ₃ =0,012		Fo ₃ =0,0012	
30	Fo ₁ =0,018	0,6133	Fo ₁ =0,0018	0,8658
	Fo ₂ =0,018		Fo ₂ =0,0018	
	Fo ₃ =0,018		Fo ₃ =0,0018	
60	Fo ₁ =0,036	0,4873	Fo ₁ =0,0036	0,8129
	Fo ₂ =0,036		Fo ₂ =0,0036	
	Fo ₃ =0,036		Fo ₃ =0,0036	

EK 2. SABİT DİFÜZYON KATSAYISI DEĞERİNİN HESAPLANMASI

Küp şeklinde (2L en, boy ve kalınlığında) parça etlerde konsantrasyon dağılımını veren eşitlik (1 ve 2 nolu denklüklerde verilen) başlangıç ve sınır koşulları kullanılarak çözülebilir [81].

$$\frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} = \frac{1}{D} \cdot \frac{\partial C}{\partial t} \quad -L \leq (x, y, z) \leq L \quad (\text{EK 2.1})$$

$$C(x, y, z, 0) = C_i$$

$$-D \cdot \frac{\partial C}{\partial x} \Big|_{x=\pm L} = -D \cdot \frac{\partial C}{\partial y} \Big|_{y=\pm L} = -D \cdot \frac{\partial C}{\partial z} \Big|_{z=\pm L} = k \left[C \Big|_{(x,y,z)=\pm L} - C_\infty \right] \quad (\text{EK 2.2})$$

$$\frac{\partial C}{\partial x} \Big|_{x=0} = \frac{\partial C}{\partial y} \Big|_{y=0} = \frac{\partial C}{\partial z} \Big|_{z=0} = 0$$

Bu denkliğin değişik kaynaklarda çözümü verilmiş olsa da kullanımı kolay değildir. Fakat küp şeklindeki materyalin uzayda üç sonsuz plakanın kesişimi şeklinde düşünüldüğü durumda sisteme 'super imposition' kuralı uygulanırsa 1 nolu denkliğin 2 nolu denklüklerle verilen başlangıç ve sınır koşullarındaki çözümü, aşağıdaki gibi olur ve çözümün bu şekilde verilmesi gerekli sonuçların herhangi bir ısı ya da kütle transferi kitabında bulunabilecek Heisler çizelgelerinin kullanımı ile kolayca elde edilmesini sağlar [82].

$$\frac{C(x, y, z, t) - C_\infty}{C_i - C_\infty} = \prod_{i=1}^3 \left[\sum_{n=1}^{\infty} \left[\frac{2 \cdot \text{Sin} \lambda_n}{\lambda_n + \text{Sin} \lambda_n \cdot \text{Cos} \lambda_n} \cdot \text{Cos} \left(\lambda_n \cdot \frac{x}{L} \right) \cdot \exp \left(-\lambda_n^2 \cdot \frac{D \cdot t}{L^2} \right) \right] \right] \quad (\text{EK 2.3})$$

$$Fo = \frac{D \cdot t}{L^2}$$

Aşağıda verilen 4 numaralı denkliğin kökleri λ_n değerlerini oluşturmaktadır.

$$Bi = \frac{k \cdot L}{D} = \lambda \cdot \tan(\lambda) \quad (\text{EK 2.4})$$

- D: Difüzyon katsayısı, m²/s
 L: Karakteristik boyut, m
 k: Kütle transferi katsayısı, m/s
 t: Zaman, s.

3 nolu denklik, et örneğinde belirli bir zamanda belirli bir noktadaki STP konsantrasyonunu vermektedir. Fakat deneylerde parça etlere difüze olan toplam STP miktarları belirlendiğinden, hesaplamalarda 3 nolu denkleğin toplam hacimde integre edilmesi ile elde edilen 5 numaralı denklik kullanılmıştır.

$$\frac{\bar{C}(t) - C_\infty}{C_i - C_\infty} = \prod_{i=1}^3 \left[\sum_{n=1}^{\infty} \left[A_n \cdot \exp\left(-\lambda_n^2 \cdot \frac{D \cdot t}{L^2}\right) \right] \right] \quad (\text{EK 2.5})$$

5 numaralı denklikte verilen A_n değerleri 6 nolu denklik kullanılarak bulunabilir.

$$A_n = \frac{2 \cdot \sin^2 \lambda_n}{\lambda_n \cdot (\lambda_n + \sin \lambda_n \cdot \cos \lambda_n)} \quad (\text{EK 2.6})$$

Küp şekilli geometride konsantrasyon oranının zamana göre değişimi bu şekilde bulunduktan sonra, elde edilen bu denklikler ve konsantrasyon değişiminin belli bir zamandan sonra doğrusal olduğu yaklaşımı kullanılarak ($Fo > 0,2$) STP' lar için difüzyon katsayısı (D) değeri kolaylıkla hesaplanabilir. Bu yaklaşımı uygulamak için 5 nolu denklikte verilen analitik çözümün ilk terimi (1 numaralı terim), konsantrasyon oranının doğrusal değişiminden dolayı, kullanılıp ortaya çıkan eşitliğin her iki tarafının doğal logaritması alınarak aşağıda görülen 7 nolu eşitlik elde edilir:

$$\ln \left[\frac{\bar{C}(t) - C_\infty}{C_i - C_\infty} \right] = \ln \left[\prod_{i=1}^3 \left[A_i \cdot \exp \left(-\lambda_i^2 \cdot \frac{D \cdot t}{L^2} \right) \right] \right] \quad (\text{EK 2.7})$$

$$= \ln [A_1 \cdot A_2 \cdot A_3] - 3 \cdot \lambda_1^2 \cdot \frac{D \cdot t}{L^2}$$

7 nolu eşitlikte görüldüğü gibi konsantrasyon oranlarının doğal logaritma değerlerinin zamana karşı değişimi grafiğe geçirildiğinde elde edilen eğrinin, doğrusal bölümünün eğimi, λ_1 değerinin de bilindiği durumda, direk olarak difüzyon katsayısı değerini vermektedir. Aslında difüzyon katsayısını belirlemek için aynı anda hem λ_1 hem de D değerlerinin değişik optimizasyon yöntemleri kullanılarak bulunması daha doğru bir yaklaşımdır. Ancak çözelti ve yüzey arasındaki sınırdaki kütle transfer katsayısı değerinin sonsuz olduğu kabulü bu tür problemlerde başvurulan genel bir uygulama olduğundan bu yaklaşım uygulandığında λ_1 değeri $\frac{\pi}{2}$ olarak bulunur. Daha sonra bu değer ve $\ln(\text{konsantrasyon oranı})$ -zaman eğrisinin doğrusal kısmının eğimi kullanılarak difüzyon katsayısı değeri 8 nolu denklikle verildiği şekilde hesaplanabilir.

$$D = -\frac{\text{Eğim}}{3 \cdot \lambda_1^2} \cdot L^2 \quad (\text{EK 2.8})$$

EK 3. ORTALAMA DİFÜZYON KATSAYISI DEĞERİNİN HESAPLANMASI

Ek-2, de denklik 1 ve 2' de verilen koşullarda 3 boyutlu bir sistemde hacimsel ortalama konsantrasyon değişimini veren denklik:

$$\frac{\bar{C}(t)-C_{\infty}}{C_i-C_{\infty}} = \prod_{i=1}^3 \left[\sum_{n=1}^{\infty} \left[\frac{2 \cdot \sin^2 \lambda_n}{\lambda_n \cdot (\lambda_n + \sin \lambda_n \cdot \cos \lambda_n)} \cdot \exp\left(-\lambda_n^2 \cdot \frac{D \cdot t}{L^2}\right) \right] \right] \quad (\text{EK 3.1})$$

şeklinde verilmektedir.

Bi sayısının sonsuz kabul edildiği durumlarda λ değerleri için verilen karakteristik denkleğin ($Bi = \lambda \cdot \tan \lambda$) kökleri $\frac{(2n+1)}{2} \cdot \pi$ ($n=0,1,2,\dots$) olarak hesaplanabilir. Bu kökler kullanılarak 1 numaralı denklik en, boy ve kalınlığı eşit olan 3 boyutlu bir sistem için tekrar düzenlenirse 2 numaralı denklik elde edilir.

$$\frac{\bar{C}(t)-C_{\infty}}{C_i-C_{\infty}} = \left[\sum_{n=1}^{\infty} \frac{2}{\lambda_n^2} \cdot \exp\left(-\lambda_n^2 \cdot \frac{D \cdot t}{L^2}\right) \right]^3 \quad (\text{EK 3.2})$$

2 numaralı denklik düzenlenirse:

$$A = \left[\frac{\bar{C}(t)-C_{\infty}}{C_i-C_{\infty}} \right]^{\frac{1}{3}} = \sum_{n=1}^{\infty} \left[\frac{2}{\lambda_n^2} \cdot \exp\left(-\lambda_n^2 \cdot \frac{D \cdot t}{L^2}\right) \right] \quad (\text{EK 3.3})$$
$$= \frac{2}{\lambda_1^2} \cdot \exp\left(-\lambda_1^2 \cdot \frac{D \cdot t}{L^2}\right) + \frac{2}{\lambda_2^2} \cdot \exp\left(-\lambda_2^2 \cdot \frac{D \cdot t}{L^2}\right) + \dots$$

3 numaralı denklikle birlikte deneysel veriler kullanılarak her veri zamanında bir difüzyon katsayısı değeri hesaplanabilir. Bu durumda, eğer difüzyon katsayısı sabitse, hesaplanan değerler hep aynı bulunacağından bu yöntem hem difüzyon katsayısı sabit olan hem de sabit olmayan sistemler için kullanılabilir. Ayrıca bu

yöntemde $Fo > 0,2$ yaklaşımının da kullanılmasına gerek olmadığı için (toplam içerisindeki bütün terimler kullanıldığı için) konsantrasyon değişiminin doğrusal olduğu bölgenin eğimini almaya çalışmak gibi bir problem de ortadan kalkmaktadır.

Bu amaçla doğrusal olmayan bu denklemin çözümü olan difüzyon katsayısı değerini hesaplamak için Newton-Raphson Metodu kullanılmıştır:

$$f(D) = \left[\sum_{n=1}^{\infty} \frac{2}{\lambda_n^2} \cdot \exp\left(-\lambda_n^2 \cdot \frac{D \cdot t}{L^2}\right) \right] - CO \quad (\text{EK 3.4})$$

$$= \left[\frac{2}{\lambda_1^2} \cdot \exp\left(-\lambda_1^2 \cdot \frac{D \cdot t}{L^2}\right) + \frac{2}{\lambda_2^2} \cdot \exp\left(-\lambda_2^2 \cdot \frac{D \cdot t}{L^2}\right) + \dots \right] - CO$$

$$f'(D) = - \left[\sum_{n=1}^{\infty} \frac{2 \cdot t}{L^2} \cdot \exp\left(-\lambda_n^2 \cdot \frac{D \cdot t}{L^2}\right) \right] \quad (\text{EK 3.5})$$

$$= - \frac{2 \cdot t}{L^2} \cdot \left[\exp\left(-\lambda_1^2 \cdot \frac{D \cdot t}{L^2}\right) + \exp\left(-\lambda_2^2 \cdot \frac{D \cdot t}{L^2}\right) + \dots \right]$$

$$D_{m+1} = D_m - \frac{f(D_m)}{f'(D_m)} \quad (\text{EK 3.6})$$

4, 5 ve 6 numaralı denklemlerle deneysel verilerden yola çıkılarak D değerini hesaplamak için Erdoğan, F. tarafından geliştirilen bir bilgisayar programı kullanılmıştır.

Difüzyon katsayısının sabit olmadığı bir sistemde gerekli analizleri yapmak için iki yol seçilebilir. Bunlardan birincisi zamana karşı elde edilen verilerin hepsi birden kullanılarak ortalama bir difüzyon katsayısı değeri hesaplamak, diğeri ise zamanla değişimi elde edilen difüzyon katsayısı değerlerini sayısal çözümlene yöntemleri, örneğin sonlu fark yöntemleri, ile birlikte kullanmaktır.

Deneyisel verilerden ortalama bir difüzyon katsayısı değeri elde etmek için en az kareler toplamı yaklaşımı kullanılmıştır. Bu metoda göre önce deneysel veriler ve analitik çözümlerden elde edilen sonuçların farklarının kareleri alınmış ve bu farkların karelerinin toplamını (S) en küçük yapan difüzyon katsayısı değeri hesaplanmıştır. Bu hesaplama için yine Erdoğan, F. tarafından geliştirilen bir bilgisayar programı kullanılmıştır. Hesaplamalarda kullanılan eşitlikler aşağıda verilmiştir:

$$S = \sum_{i=1}^n [(A - CO)_i]^2 \quad (\text{EK 3.7})$$

Bu denklikte CO, deneysel veriyi; A, analitik çözümden deneysel verinin elde edildiği zamanda alınan sonucu; n ise toplam veri sayısını göstermektedir. 7 numaralı denklikte S değerini minimum yapacak D değerinin hesaplanması için $\frac{\partial S}{\partial D} = 0$ olmalıdır.

$$\frac{\partial S}{\partial D} = \sum_{i=1}^n \left[2 \cdot (A - CO) \cdot \frac{\partial A}{\partial D} \right]_i = 0 \quad (\text{EK 3.8})$$

Buradan yine Bi sonsuz kabul edilip A yerine 2 ve 3 numaralı denkliklerden elde edilen denklikler yazılırsa (9) numaralı denklik elde edilir.

$$\begin{aligned} \frac{\partial S}{\partial D} = \sum_{i=1}^n & \left\{ \left[\left(\frac{2}{\lambda_1^2} \cdot \exp\left(-\lambda_1^2 \cdot \frac{D \cdot t}{L^2}\right) + \frac{2}{\lambda_2^2} \cdot \exp\left(-\lambda_2^2 \cdot \frac{D \cdot t}{L^2}\right) + \dots \right)_i \right] \right. \\ & \left. \left[-CO_i \right] \right. \\ & \left. \left[-\frac{2 \cdot t}{L^2} \cdot \exp\left(-\lambda_1^2 \cdot \frac{D \cdot t}{L^2}\right) - \frac{2 \cdot t}{L^2} \cdot \exp\left(-\lambda_2^2 \cdot \frac{D \cdot t}{L^2}\right) - \dots \right] \right\} \quad (\text{EK 3.9}) \\ & = 0 \end{aligned}$$

9 numaralı denklik dikkatle incelenirse, sonucunun sıfır olması için gerekli koşulun aşağıdaki şekilde olması gerektiği görülür:

$$\begin{aligned}
f(D) = & \left[\left(\frac{2}{\lambda_1^2} \cdot \exp\left(-\lambda_1^2 \cdot \frac{D \cdot t}{L^2}\right) + \frac{2}{\lambda_2^2} \cdot \exp\left(-\lambda_2^2 \cdot \frac{D \cdot t}{L^2}\right) + \dots \right)_1 + \right. \\
& \left. \left[\left(\frac{2}{\lambda_1^2} \cdot \exp\left(-\lambda_1^2 \cdot \frac{D \cdot t}{L^2}\right) + \frac{2}{\lambda_2^2} \cdot \exp\left(-\lambda_2^2 \cdot \frac{D \cdot t}{L^2}\right) + \dots \right)_2 + \dots \right] \right. \\
& \left. \left[\begin{array}{l} -CO_1 \\ -CO_2 \end{array} \right] \right] + \dots \quad (\text{EK 3.10}) \\
= & 0
\end{aligned}$$

10 numaralı denklik yine Newton-Raphson yöntemi kullanılarak çözülmüştür.



**EK 4. PIŞME KAYIPLARI ve YAPISAL ÖZELLİKLER:
İSTATİSTİKSEL ANALİZ SONUÇLARI**

Çizelge 1. Etlere Pişme Kayıplarının (%) Sodyum Tripolifosfat (STP) Çözelti Konsantrasyonu, STP Çözeltilerinde Bekletme Zamanı ve Pişme Zamanı ile Değişimi (Ortalama ± Standart Sapma)

STP Çözeltisi ile Muamele Süresi (dk)	Pişme Zamanı (dk)	STP Çözelti Konsantrasyonu (%)		
		% 2	% 4	% 6
0	5	42,21 ± 1,33	42,21 ± 1,33	42,21 ± 1,33
	10	47,09 ± 1,28	47,09 ± 1,28	47,09 ± 1,28
	15	48,99 ± 0,66	48,99 ± 0,66	48,99 ± 0,66
10	5	43,26 ± 0,94	36,93 ± 2,02	35,13 ± 3,93
	10	48,00 ± 1,19	43,32 ± 0,54	41,18 ± 2,94
	15	49,02 ± 2,33	46,01 ± 3,02	43,50 ± 2,61
20	5	41,47 ± 0,28	33,13 ± 0,43	32,47 ± 4,83
	10	47,10 ± 0,74	39,24 ± 2,50	40,99 ± 2,44
	15	48,31 ± 1,73	42,07 ± 0,81	42,01 ± 0,85
30	5	40,40 ± 1,32	34,25 ± 2,59	34,51 ± 2,77
	10	45,98 ± 1,18	37,37 ± 1,59	37,07 ± 2,76
	15	48,41 ± 0,47	42,59 ± 1,08	38,91 ± 2,20

Çizelge 2. Sodyum Tripolifosfat (STP) Çözelti Konsantrasyonu (C), STP Çözeltilerinde Bekletme Zamanı (t), Pişme Zamanı (Pt) ve Bu Değişkenler Arasındaki Etkileşimlerin Pişme Kayıpları (%) Üzerine Etkilerinin Varyans Analizi

Değişkenler	(%) Pişme Kayıpları
% STP Çözelti Konsantrasyonu	*
STP Çözeltisinde Bekletme Zamanı (dk)	*
Pişme Zamanı (dk)	*
C × t	*
C × Pt	-
t × Pt	-
C × t × Pt	-

*İstatistiksel olarak % 5 düzeyinde önemli

Çizelge 3. En Küçük Önemli Fark (LSD) Yöntemi Kullanılarak Pişme Kayıplarının Sodyum Tripolifosfat, Çözelti Konsantrasyonu, STP Çözeltilerinde Bekletme Zamanı ve Pişme Zamanı Değişkenlerine Göre Gruplandırılması

Değişkenler		(%) Pişme Kayıpları *
% STP Konsantrasyonu	2	a
	4	b
	6	b
STP Çözeltilerinde Bekletme Zamanı (dk)	0	a
	10	b
	20	c
	30	c
Pişme Zamanı (dk)	5	a
	10	b
	15	c

*Her değişken için aynı harf ile gösterilen ortalamalar arasında istatistiksel olarak fark yoktur ($p < 0,05$)

Çizelge 4. Etlerin Sertlik (kg) Değerlerinin Sodyum Tripolifosfat (STP) Çözelti Konsantrasyonu, STP Çözeltilerinde Bekletme Zamanı ve Pişme Zamanı ile Değişimi (Ortalama \pm Standart Sapma)

STP Çözeltisi ile Muamele Süresi (dk)	Pişme Zamanı (dk)	STP Çözelti Konsantrasyonu (%)		
		% 2	% 4	% 6
0	5	18,90 \pm 4,98	18,90 \pm 4,98	18,90 \pm 4,98
	10	20,97 \pm 5,01	20,97 \pm 5,01	20,97 \pm 5,01
	15	25,32 \pm 6,51	25,32 \pm 6,51	25,32 \pm 6,51
10	5	16,13 \pm 5,14	14,90 \pm 2,36	13,05 \pm 1,14
	10	21,09 \pm 3,72	15,08 \pm 0,82	17,44 \pm 6,03
	15	22,07 \pm 1,00	21,31 \pm 0,61	20,36 \pm 1,54
20	5	15,50 \pm 3,92	13,66 \pm 5,80	13,20 \pm 2,97
	10	18,87 \pm 5,12	15,27 \pm 0,30	16,83 \pm 0,62
	15	21,08 \pm 11,72	20,51 \pm 1,99	17,80 \pm 7,12
30	5	11,13 \pm 1,82	8,92 \pm 1,00	8,75 \pm 1,00
	10	15,20 \pm 2,85	13,93 \pm 3,50	16,89 \pm 3,12
	15	18,54 \pm 8,44	20,05 \pm 1,68	17,33 \pm 1,90

STP ile muamele edilmeyen çiğ et için: 27,59 \pm 8,23 kg

Çizelge 5. Etlerin Sıklık Değerlerinin Sodyum Tripolifosfat (STP) Çözelti Konsantrasyonu, STP Çözeltilerinde Bekletme Zamanı ve Pişme Zamanı ile Değişimi (Ortalama \pm Standart Sapma)

STP Çözeltilisi ile Muamele Süresi (dk)	Pişme Zamanı (dk)	STP Çözelti Konsantrasyonu (%)		
		% 2	% 4	% 6
0	5	0,54 \pm 0,05	0,54 \pm 0,05	0,54 \pm 0,05
	10	0,57 \pm 0,01	0,57 \pm 0,01	0,57 \pm 0,01
	15	0,51 \pm 0,01	0,51 \pm 0,01	0,51 \pm 0,01
10	5	0,53 \pm 0,01	0,59 \pm 0,03	0,60 \pm 0,01
	10	0,54 \pm 0,02	0,59 \pm 0,01	0,57 \pm 0,03
	15	0,54 \pm 0,04	0,57 \pm 0,02	0,57 \pm 0,04
20	5	0,49 \pm 0,05	0,59 \pm 0,02	0,62 \pm 0,02
	10	0,54 \pm 0,04	0,59 \pm 0,02	0,58 \pm 0,02
	15	0,55 \pm 0,02	0,56 \pm 0,01	0,58 \pm 0,03
30	5	0,50 \pm 0,02	0,62 \pm 0,01	0,61 \pm 0,02
	10	0,51 \pm 0,03	0,58 \pm 0,03	0,60 \pm 0,02
	15	0,55 \pm 0,01	0,58 \pm 0,03	0,60 \pm 0,02

STP ile muamele edilmeyen çiğ et için: 0,35 \pm 0,11

Çizelge 6. Etlerin Sakızimsılık (kg) Değerlerinin Sodyum Tripolifosfat (STP) Çözelti Konsantrasyonu, STP Çözeltilerinde Bekletme Zamanı ve Pişme Zamanı ile Değişimi (Ortalama \pm Standart Sapma)

STP Çözeltilisi ile Muamele Süresi (dk)	Pişme Zamanı (dk)	STP Çözelti Konsantrasyonu (%)		
		% 2	% 4	% 6
0	5	7,80 \pm 3,85	7,80 \pm 3,85	7,80 \pm 3,85
	10	9,33 \pm 3,84	9,33 \pm 3,84	9,33 \pm 3,84
	15	12,94 \pm 3,53	12,94 \pm 3,53	12,94 \pm 3,53
10	5	8,60 \pm 2,80	8,77 \pm 1,46	10,66 \pm 3,42
	10	11,35 \pm 2,20	8,94 \pm 0,47	11,32 \pm 4,03
	15	12,19 \pm 1,00	12,19 \pm 0,88	14,07 \pm 4,22
20	5	7,52 \pm 1,16	8,35 \pm 3,13	9,22 \pm 2,94
	10	10,22 \pm 2,92	9,04 \pm 6,79	11,69 \pm 0,28
	15	11,39 \pm 6,62	11,81 \pm 0,68	10,14 \pm 0,70
30	5	5,51 \pm 0,89	5,50 \pm 1,00	5,01 \pm 1,00
	10	7,83 \pm 1,74	6,87 \pm 0,10	10,21 \pm 2,05
	15	10,13 \pm 4,50	11,76 \pm 0,30	10,98 \pm 1,20

STP ile muamele edilmeyen çiğ et için: 9,90 \pm 4,54 kg

Çizelge 7. Etlerin Elastikiyet (mm) Değerlerinin Sodyum Tripolifosfat (STP) Çözelti Konsantrasyonu, STP Çözeltilerinde Bekletme Zamanı ve Pişme Zamanı ile Değişimi (Ortalama ± Standart Sapma)

STP Çözeltisi ile Muamele Süresi (dk)	Pişme Zamanı (dk)	STP Çözelti Konsantrasyonu (%)		
		% 2	% 4	% 6
0	5	1,51 ± 0,09	1,51 ± 0,09	1,51 ± 0,09
	10	1,27 ± 0,37	1,27 ± 0,37	1,27 ± 0,37
	15	1,69 ± 0,28	1,69 ± 0,28	1,69 ± 0,28
10	5	1,76 ± 0,30	1,88 ± 0,50	1,88 ± 0,19
	10	1,77 ± 0,23	1,39 ± 0,46	1,69 ± 0,19
	15	1,79 ± 0,28	1,63 ± 0,17	1,50 ± 0,11
20	5	1,52 ± 0,57	1,77 ± 0,21	1,89 ± 0,48
	10	1,34 ± 0,36	1,79 ± 0,29	1,72 ± 0,34
	15	2,12 ± 0,35	1,70 ± 0,23	1,61 ± 0,14
30	5	1,79 ± 1,27	1,75 ± 0,05	1,68 ± 0,09
	10	1,95 ± 0,58	2,01 ± 0,15	1,72 ± 0,18
	15	1,37 ± 0,07	1,74 ± 0,15	1,75 ± 0,33

STP ile muamele edilmeyen çiğ et için: 2,54 ± 0,72 mm

Çizelge 8. Etlerin Çiğnenemezlik (kg-mm) Değerlerinin Sodyum Tripolifosfat (STP) Çözelti Konsantrasyonu, STP Çözeltilerinde Bekletme Zamanı ve Pişme Zamanı ile Değişimi (Ortalama ± Standart Sapma)

STP Çözeltisi ile Muamele Süresi (dk)	Pişme Zamanı (dk)	STP Çözelti Konsantrasyonu (%)		
		% 2	% 4	% 6
0	5	11,81 ± 6,10	11,81 ± 6,10	11,81 ± 6,10
	10	12,60 ± 8,70	12,60 ± 8,70	12,60 ± 8,70
	15	23,71 ± 9,14	23,71 ± 9,14	23,71 ± 9,14
10	5	15,50 ± 7,48	16,68 ± 6,25	19,73 ± 5,58
	10	21,44 ± 6,28	12,33 ± 3,61	18,61 ± 4,82
	15	23,77 ± 5,00	18,92 ± 2,02	20,87 ± 5,38
20	5	11,77 ± 5,91	15,18 ± 7,48	17,01 ± 4,80
	10	15,89 ± 1,46	15,48 ± 5,00	20,10 ± 3,91
	15	22,67 ± 12,76	19,98 ± 3,36	22,33 ± 7,24
30	5	9,56 ± 6,53	9,51 ± 5,00	8,51 ± 2,00
	10	14,95 ± 4,87	16,13 ± 5,52	18,49 ± 4,95
	15	14,14 ± 6,93	21,10 ± 2,41	16,89 ± 0,85

STP ile muamele edilmeyen çiğ et için: 26,04 ± 17,57 kg-mm

Çizelge 9. Farklı Konsantrasyonlardaki Sodyum Tripolifosfat (% 2, 4, 6 STP) Çözeltilerinde Bekletme Zamanlarının Çiğ Etlere Yapısal Özellikleri Üzerine Etkisi (Ortalama ± Standart Sapma)

Yapısal Özellikler	STP Konsantrasyonu (%)	STP Bekleme Zamanı (dk)		
		10	20	30
Sertlik (kg)	2	28,90 ± 6,05	20,18 ± 6,86	18,31 ± 6,25
	4	18,95 ± 5,86	19,53 ± 6,77	24,22 ± 4,22
	6	21,50 ± 4,43	25,85 ± 3,97	26,03 ± 7,12
Sıklık	2	0,36 ± 0,03	0,27 ± 0,04	0,28 ± 0,06
	4	0,33 ± 0,01	0,23 ± 0,04	0,28 ± 0,04
	6	0,32 ± 0,09	0,28 ± 0,05	0,27 ± 0,04
Sakızimsılık (kg)	2	10,47 ± 1,83	6,69 ± 2,37	5,77 ± 1,99
	4	5,28 ± 2,52	4,68 ± 2,29	6,67 ± 1,28
	6	5,91 ± 1,57	7,20 ± 1,48	6,95 ± 1,62
Elastikiyet (mm)	2	2,63 ± 0,62	2,81 ± 0,36	2,76 ± 0,42
	4	2,41 ± 0,45	1,80 ± 0,30	1,94 ± 0,42
	6	2,68 ± 1,03	1,92 ± 0,34	2,10 ± 0,24
Çiğnenemezlik (kg-mm)	2	26,80 ± 1,76	18,81 ± 6,77	15,65 ± 5,16
	4	13,46 ± 8,66	8,12 ± 3,20	13,16 ± 4,19
	6	15,64 ± 5,71	14,15 ± 5,54	14,57 ± 3,36

Çizelge 10. Sodyum Tripolifosfat (STP) Çözelti Konsantrasyonu (C), STP Çözeltilerinde Bekletme Zamanı (t), Pişme Zamanı (Pt) ve bu Değişkenler Arasındaki Etkileşimlerin Yapısal Özellikler Üzerine Etkilerinin Varyans Analizi

Değişkenler	Sertlik (kg)	Sıklık	Sakızimsılık (kg)	Elastikiyet (mm)	Çiğnenemezlik (kg-mm)
% STP Çözelti Konsantrasyonu	-	*	-	-	-
STP Çözeltilerinde Bekletme Zamanı (dk)	*	*	-	*	-
Pişme Zamanı (dk)	*	-	*	-	*
C × t	-	*	-	-	-
C × Pt	-	*	-	-	-
t × Pt	-	*	-	-	-
C × t × Pt	-	-	-	-	-

*İstatistiksel olarak % 5 düzeyinde önemli

Çizelge 11*. En Küçük Önemli Fark (LSD) Yöntemi Kullanılarak Yapısal Özelliklerin Sodyum Tripolifosfat (STP) Çözelti Konsantrasyonu (C), STP Çözeltilerinde Bekletme Zamanı (t) ve Pişme Zamanı (Pt) Değişkenlerine Göre Gruplandırılması

Değişkenler		Sertlik (kg)	Sıklık	Sakızimsılık (kg)	Elastikiyet (mm)	Çiğnenemezlik (kg-mm)
% STP Konsantrasyonu	2	-	a	-	-	-
	4	-	b	-	-	-
	6	-	b	-	-	-
STP Çözeltilerinde Bekletme Zamanı (dk)	0	a	a	-	a	-
	10	b	b	-	b	-
	20	b	b	-	b	-
	30	b	b	-	b	-
Pişme Zamanı (dk)	5	a	-	a	-	a
	10	b	-	b	-	a
	15	c	-	c	-	b

*Her değişken için aynı sütunda aynı harf ile gösterilen ortalamalar arasında istatistiksel olarak fark yoktur ($p < 0,05$)

ÖZGEÇMİŞ

S. Belgin ÜNAL
Mersin Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi
Gıda Mühendisliği Bölümü
Çiftlikköy, Mersin 33343

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Üniversite	Yıl
Hazırlık	Yabancı Diller Bölümü	Ege Üniversitesi	1995-1996
Lisans	Gıda Mühendisliği	Ege Üniversitesi	1996-2000
Yüksek Lisans	Gıda Mühendisliği	Mersin Üniversitesi	2000-

GÖREVLER

Görev Ünvanı	Görev Yeri	Yıl
Arş. Gör.	Mersin Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü	2001-

KİŞİSEL BİLGİLER

Doğum Tarihi: 04.03.1977
Doğum Yeri: Tarsus, Mersin
Yabancı Dil: İngilizce
E-mail: belgin_unal@yahoo.com