

**T.C.
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MAKARNANIN PİŞİRİLMESİNDE ALTERNATİF YÖNTEM
OLARAK OHMİK ISITMANIN KULLANILMASI**

Yelizcan TURGUT

**Danışman
Doç. Dr. Erkan KARACABEY**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ISPARTA - 2018**



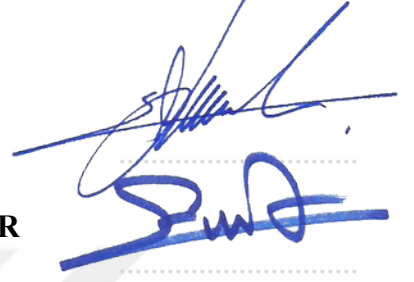
© 2018 [Yelizcan TURGUT]

TEZ ONAYI

Yelizcan TURGUT tarafından hazırlanan "**Makarnanın Pişirilmesinde Alternatif Yöntem Olarak Ohmik Isıtmanın Kullanılması**" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri üyeleri önünde Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak başarı ile savunulmuştur.

Danışman

Doç. Dr. Erkan KARACABEY
Süleyman Demirel Üniversitesi



Jüri Üyesi

Prof. Dr. Erdoğan KÜÇÜKÖNER
Süleyman Demirel Üniversitesi



Jüri Üyesi

Prof. Dr. Yusuf YILMAZ
Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi



Enstitü Müdürü

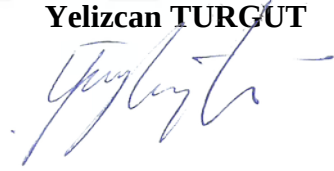
Doç. Dr. Şule Sultan UĞUR

.....

TAAHHÜTNAME

Bu tezin akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.

Yelizcan TURGUT



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER	i
ÖZET.....	iii
ABSTRACT.....	iv
TEŞEKKÜR.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	viii
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	3
2.1. Makarna Hakkında Genel Bilgi.....	3
2.2. Makarna Pişme Kalitesini Etkileyen Faktörler	6
2.3. Ohmik Isıtma	9
3. MATERYAL VE METOT.....	16
3.1. Materyal.....	16
3.1.1. Örnek hazırlama.....	16
3.1.2. Ohmik ısıtma ekipmanı.....	16
3.2. Metotlar	17
3.2.1. Optimum pişirme süresinin tayini.....	17
3.2.2. Pişirme	18
3.2.3. Ohmik ısıtma esnasında makarnaların şişme davranışları.....	19
3.2.4. Karışımın elektriksel iletkenliğinin belirlenmesi.....	19
3.2.5. Elektriksel iletkenlik hesabı için eşdeğer elektriksel model.....	20
3.2.6. Model validasyonu.....	22
3.2.7. Enerji tüketiminin hesaplanması.....	22
3.2.8. Nem tayini	23
3.2.9. Kül tayini	23
3.2.10. Tekstür analizi	23
3.2.11. Renk tayini	24
3.2.12. Nişasta jelatinizasyonunun belirlenmesi.....	24
3.2.13. Su absorpsiyonu	25
3.2.14. Pişirme kaybı	25
3.2.15. Hacim artışı.....	25
3.2.16. Duyusal analiz.....	26
3.2.17. Taramalı elektron mikroskobu.....	27
3.2.18. İstatistiksel analiz.....	27
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	28
4.1. Makarnanın Şişme Davranışı	28
4.2 . Pişme Süresi ve Elektriksel İletkenlik	32
4.2.1. Pişme süresi	32
4.2.2. Pişirme suyunun elektriksel iletkenlik katsayısı.....	33
4.2.3. Su-makarna karışımının elektriksel iletkenlik katsayısı	36
4.2.4. Makarnanın elektriksel iletkenlik katsayısı	39
4.3. Model Validasyonu.....	43
4.4. Enerji Tüketimi.....	46
4.5. Nem Tayini ve Su Absorpsiyonu	48
4.6. Kül Tayini.....	50
4.7. Tekstür Analizi	50

4.8. Nişasta Jelatinizasyon Derecesi.....	53
4.9. Pişirme Kaybı	55
4.10. Hacim Artışı	56
4.11. Renk Tayini	56
4.12. Duyusal Analiz	58
4.13. Taramalı Elektron Mikroskobu	60
4.14. Temel Bileşenler Analizi	63
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	66
KAYNAKLAR	70
EKLER.....	77
EK A. Çizelgeler	77
EK B. Şekiller.....	85
ÖZGEÇMİŞ	88



ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

MAKARNANIN PİŞİRİLMESİNDE ALTERNATİF YÖNTEM OLARAK OHMİK ISITMANIN KULLANILMASI

Yelizcan TURGUT

Süleyman Demirel Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Erkan KARACABEY

Bu çalışmada makarnaların pişirilmesi esnasında kullanılan ohmik ısıtma yönteminin pişme süresi, enerji sarfıyatı ve pişmiş makarnaların farklı kalite özellikleri üzerine etkileri araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar geleneksel pişirme yöntemi ile karşılaştırılmış olup, ayrıca ohmik ısıtma esnasında makarnaların elektriksel özellikleri belirlenmiştir. Makarna örnekleri dört farklı voltaj gradyeni kullanılarak (10-40 V/cm), ön denemeler ile belirlenen optimum sürelerde ohmik ısıtma uygulanması ile pişirilmişlerdir. Pişme suyu, makarna ve makarna-pişme suyu karışımı için ayrı ayrı elektriksel iletkenlik değerleri hesaplanmıştır (oda sıcaklığı ile kaynama sıcaklığı arasında). Sıcaklık ile elektriksel iletkenlik değeri arasında kabarcık oluşumuna kadar lineer bir artış saptanırken, kabarcık oluşumunu takiben iletkenlik değeri azalmıştır. Makarnaların pişme süresi ohmik ısıtma ile önemli ölçüde değişmiş ($p \leq 0.05$), uygulamanın voltaj değeri arttıkça pişme süresi kısalmıştır. En düşük pişme süresi (12 dk) 40 V/cm voltaj gradyeni altında pişirilen örnekler için tespit edilmiştir. Geleneksel yöntemle kıyasla ohmik ısıtma ile pişirilen örneklerde enerjiden önemli düzeyde tasarruf sağlanmıştır ($p \leq 0.05$). Ohmik ısıtma yöntemiyle pişirilen örneklerde geleneksel yöntemle kıyasla daha az pişme kaybı tespit edilmiştir ($p \leq 0.05$). Geleneksel yöntemle pişirilen ve 20, 30, 40 V/cm voltaj gradyeninde pişirilen örneklerin nişasta jelatinizasyon derecesi, renk değerleri (L^* , a^* , b^* , C^* , h° , ΔE), hacim artışı, duyu özellikleri ve mikro düzey yapısal özellikleri arasında istatistiksel olarak önemli bir fark oluşmamıştır ($p > 0.05$). Ayrıca pişmiş makarnaların tekstürel özellikleri (kesme kuvveti ve sıklık), kuru madde, su absorpsiyonu ve nem değerleri incelendiğinde ise 30 ve 40 V/cm gradyenleri ile geleneksel yöntem arasında önemli bir fark tespit edilmemiştir ($p > 0.05$). Elde edilen sonuçlara göre yüksek voltaj değerlerinde (20, 30 ve 40 V/cm) gerçekleştirilen ohmik ısıtma ile pişme süresi ve enerji sarfıyatı önemli ölçüde azalırken, geleneksel yöntemle pişirilmiş makarnalara kıyasla kalite özellikleri açısından fark tespit edilememesi söz konusu ohmik ısıtma teknolojisinin makarnaların pişirilmesinde alternatif bir yöntem olarak kullanılabileceğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Ohmik ısıtma, makarna, elektriksel iletkenlik, kalite kriterleri, enerji

2018, 88 sayfa

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

USE OF OHMIC HEATING AS AN ALTERNATIVE METHOD FOR COOKING OF PASTA

Yelizcan TURGUT

**Süleyman Demirel University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Food Engineering**

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Erkan KARACABEY

In this study, an alternative method for cooking, namely ohmic heating was applied in pasta cooking. For this purpose, pasta samples were cooked using ohmic heating method using four different voltage gradients (10-40 V/cm) and (1) possibility of employing ohmic heating method for pasta cooking was investigated, (2) effects of ohmic heating method on some quality properties of cooked pasta were determined and compared with conventional method. In this content, textural properties of cooked pasta samples (firmness and shear force), energy consumption, cooking time, cooking loss, dry matter/moisture content, colour (L^* , a^* , b^* , C^* , h° , ΔE), volume increment, degree of gelatinisation, water absorption, ash content and some sensorial properties were evaluated. Moreover, electrical conductivities (σ) were calculated for cooking water, water/pasta mixtures and only pasta samples during ohmic cooking measurements were made between 22 to 95°C and they showed a linear increase in σ values with increasing temperature. The electrical energy consumption of ohmic cooking system was found to be lower than that of conventional one. Cooking time of pasta samples for ohmic heating was lower than traditional method, as well and it was observed that as the voltage was increasing, the required time for cooking was decreasing. No statistical difference was found for degree of gelatinisation, colour values, increasing volume, sensory and SEM analysis between conventional method and ohmic cooking performed at 20, 30, 40 V/cm voltage gradients ($p>0.05$). In addition, no statistical difference was found textural properties, dry matter content, water absorption between conventional method and ohmic cooking for 30-40 V/cm voltage gradients ($p>0.05$). It was found that required energy for pasta cooking using ohmic heating technique was definitely lower than conventional method. To sum up, these results revealed that (except 10 V/cm) quality properties of pasta samples were not significantly affected by cooking method regarding ohmic heating especially at high voltage gradients (20-40 V/cm). It was concluded that this novel method may be a promising alternative for pasta cooking to conventional one with shorter processing time and less energy requirement.

Keywords: Ohmic heating, pasta, electrical conductivity, quality criteria, energy

2018, 88 pages

TEŞEKKÜR

Çalışmam boyunca yardımlarını benden esirgemeyen değerli danışman hocam Doç. Dr. Erkan KARACABEY'e, dostluklarını ve yardımlarını benden esirgemeyen arkadaşlarıma; hayatım boyunca beni yalnız bırakmayan, maddi ve manevi olarak destekleyen ve moral veren aileme ve laboratuvar çalışmalarım da dahil olmak üzere yüksek lisansımın her aşamasında, her konuda ve her zaman destek olan hocam, dostum, güzel kızımın babası, değerli eşim Arş. Gör. Sebahattin Serhat TURGUT'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Temel bileşenler analizi kapsamında gerçekleştirilen hesaplamalarda TÜBİTAK 2237-A Analitik Doğa-Kümeleme ve Ordinasyon Teknikleri Eğitimi'nde paylaşılan bilgilerden faydalanılmıştır. Başta proje yöneticisi Doç. Dr. Serkan GÜLSOY olmak üzere tüm eğitmenlere teşekkürlerimi sunarım.

Son olarak SDU BAP 4861-YL1-17 numaralı proje ile çalışmamızı maddi olarak destekleyen Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi'ne teşekkür ederim.

Yelizcan TURGUT
ISPARTA, 2018

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 3.1. Ohmik ısıtma sistemi	17
Şekil 3.2. Ohmik hücre ve paralel direnç modelinin şematik gösterimi	21
Şekil 4.1. 10 V/cm gradiyeninde makarnanın şişme davranışı	29
Şekil 4.2. 20 V/cm gradiyeninde makarnanın şişme davranışı	29
Şekil 4.3. 30 V/cm gradiyeninde makarnanın şişme davranışı	30
Şekil 4.4. 40 V/cm gradiyeninde makarnanın şişme davranışı	30
Şekil 4.5. 30 V/cm gradiyeninde makarnalarının pişme öncesi (a) ve sonrası (b) fotoğrafları	31
Şekil 4.6. 10 V/cm voltaj gradiyeninde su ve makarna-su karışımının sıcaklığa bağlı elektriksel iletkenlik katsayı değerleri	34
Şekil 4.7. 20 V/cm voltaj gradiyeninde su ve makarna-su karışımının sıcaklığa bağlı elektriksel iletkenlik katsayı değerleri	35
Şekil 4.8. 30 V/cm voltaj gradiyeninde su ve makarna-su karışımının sıcaklığa bağlı elektriksel iletkenlik katsayıları değerleri	35
Şekil 4.9. 40 V/cm voltaj gradiyeninde su ve makarna-su karışımının sıcaklığa bağlı elektriksel iletkenlik katsayıları değerleri	36
Şekil 4.10. 40 V/cm voltaj gradiyeninde pişme esnasında baloncuk oluşumu ..	38
Şekil 4.11. 10 V/cm voltaj gradiyeninde makarnanın sıcaklığa bağlı elektriksel iletkenlik katsayı değerleri	41
Şekil 4.12. 20 V/cm voltaj gradiyeninde makarnanın sıcaklığa bağlı elektriksel iletkenlik katsayı değerleri	41
Şekil 4.13. 30 V/cm voltaj gradiyeninde makarnanın sıcaklığa bağlı elektriksel iletkenlik katsayı değerleri	42
Şekil 4.14. 40 V/cm voltaj gradiyeninde makarnanın sıcaklığa bağlı elektriksel iletkenlik katsayı değerleri	42
Şekil 4.15. 10 V/cm voltaj gradiyeni için karışımın deneysel ve tahmini elektriksel iletkenlik katsayıları arasındaki korelasyon	44
Şekil 4.16. 20 V/cm voltaj gradiyeni için karışımın deneysel ve tahmini elektriksel iletkenlik katsayıları arasındaki korelasyon	44
Şekil 4.17. 30 V/cm voltaj gradiyeni için karışımın deneysel ve tahmini elektriksel iletkenlik katsayıları arasındaki korelasyon	45
Şekil 4.18. 40 V/cm voltaj gradiyeni için karışımın deneysel ve tahmini elektriksel iletkenlik katsayıları arasındaki korelasyon	45
Şekil 4.19. Duyusal analiz sonuçlarının şematik dağılımı	59
Şekil 4.20. Pişmemiş ve farklı yöntemler kullanılarak pişirilmiş makarna örneklerine ait taramalı elektron mikroskopu görüntüleri.....	62
Şekil B.1. Hacim artışı, su absorpsiyonu, jelatinizasyon derecesi, nem/kuru madde, pişme kaybı, kül, sıklık ve kesme kuvveti analizleri için gerçekleştirilen temel bileşenler analizi grafiği	85
Şekil B.2. Renk ölçüm sonuçları için gerçekleştirilen temel bileşenler analizi grafiği	86
Şekil B.3. Duyusal değerlendirme sonuçları için gerçekleştirilen temel bileşenler analizi grafiği	87

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 4.1. Dört farklı voltaj gradiyeninde makarna örneklerinin sıcaklığa göre şişme davranışları ve şişme davranışlarını tanımlayan eşitlikler.....	31
Çizelge 4.2. Makarna örneklerinin geleneksel yöntem ve 4 farklı voltajda ohmik pişme süreleri ve geleneksel yönteme göre süre kazancı (%).	32
Çizelge 4.3. Voltaj gradiyenlerine göre saf suyun elektriksel iletkenlik değerleri.....	34
Çizelge 4.4. Voltaj gradiyenlerine göre makarna-su karışımının elektriksel iletkenlik katsayı değerleri	39
Çizelge 4.5. Harcanan enerji miktarının istatistiksel analizi.....	47
Çizelge 4.6. Dört farklı voltaj gradiyeni ve geleneksel pişirme uygulanmış makarna örneklerinin su absorpsiyon değerleri	49
Çizelge 4.7. Dört farklı voltaj gradiyeni ve geleneksel pişirme uygulanmış makarna örneklerinin hacim artışı, pişme kaybı, jelatinizasyon derecesi, kuru madde, nem ve kül değerleri.....	50
Çizelge 4.8. Dört farklı voltaj gradiyeni ve geleneksel pişirme uygulanmış makarna örneklerinin renk analizi değerleri.....	57
Çizelge 4.9. Dört farklı voltaj gradiyeni ve geleneksel pişirme uygulanmış makarna örneklerinin duysal değerlendirme sonuçları	59
Çizelge 4.10. Hacim artışı, su absorpsiyonu, jelatinizasyon derecesi, nem/kuru madde, pişme kaybı, kül, sıklık ve kesme kuvveti analizleri için gerçekleştirilen temel bileşenler analizi grafiğine ilişkin bazı istatistiksel veriler.....	63
Çizelge 4.11. Renk ölçüm sonuçları için gerçekleştirilen temel bileşenler analizine ait bazı istatistiksel veriler	64
Çizelge 4.12. Duysal değerlendirme sonuçları için gerçekleştirilen temel bileşenler analizi grafiğine ait bazı istatistiksel veriler	65
Çizelge A.1. 10 V/cm gradiyeni için hesaplanan tüm hesaplamaların ortamları	77
Çizelge A.2. 10 V/cm gradiyeni için hesaplanan değerlerin standart sapmaları	78
Çizelge A.3. 20 V/cm gradiyeni için hesaplanan tüm hesaplamaların ortamları	79
Çizelge A.4. 20 V/cm gradiyeni için hesaplanan değerlerin standart sapmaları	80
Çizelge A.5. 30 V/cm gradiyeni için hesaplanan tüm hesaplamaların ortamları	81
Çizelge A.6. 30 V/cm gradiyeni için hesaplanan değerlerin standart sapmaları	82
Çizelge A.7. 40 V/cm gradiyeni için hesaplanan tüm hesaplamaların ortamları	83
Çizelge A.8. 40 V/cm gradiyeni için hesaplanan değerlerin standart sapmaları	84

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

AACC	American Association of Cereal Chemists
A	Amper
A	Kesit alanı
a^*	CIE renk sisteminde kırmızı yeşil renk değeri
b^*	CIE renk sisteminde sarı-mavi renk değeri
cm	Santimetre
C^*	Chroma
dk	Dakika
g	gram
H	Yükseklik
H_{S0}	Makarnanın ısıtma öncesi yüksekliği
H_S	Makarnanın ısıtma sonrası yüksekliği
g	Gram
h°	hue
I	Akım
J	Joule
kJ	KiloJoule
L	Elektrotlar arasındaki mesafeyi
L^*	CIE renk sisteminde aydınlık değeri
m	metre
Mg	Magnezyum
mg	Miligram
mL	Mililitre
mm	Milimetre
$^\circ\text{C}$	Derece santrigrat
P	Güç
Q	Enerji
R	Direnç
s	Karışım
S	Siemens
SEM	Scanning Electron Microscope
S	Su absorpsiyonu
t	Süre
T	Sıcaklık
TGKY	Türk Gıda Kodeksi Yönetmeliği
v	hacim
V	Volt
w	Ağırlık
W	Genişlik
β	Makarna seviyesindeki yükselme
σ	Elektriksel iletkenlik
λ	Genişleme Katsayısı
ΔE	Toplam renk değişimi

1. GİRİŞ

Gıda güvenliğini sağlamak, raf ömrünü geliştirmek, besin ve tat öğelerini koruyarak tüketiciye ulaştırabilmek gıda üreticilerin ana hedefleridir. Gıdaların işlenmesi esnasında uygulanan pişirme ve benzeri geleneksel yöntemler, hem uygulanan yüksek sıcaklık hem de uzun işlem süreleri nedeniyle gıdalarda besin değerleri, tat ve aroma kayıplarına neden olmaktadır. Ayrıca uzun süren ısıtma, pişirme, pastörizasyon, sterilizasyon, haşlama, kurutma ve benzeri ısı işlem uygulamaları ihtiyaç duyulan enerji miktarını artırmakta ve üretim maliyetlerini olumsuz etkilemektedir. Bu durumda devamlı gelişen gıda sektöründe bahsi geçen pişirme, ısıtma gibi üretim basamaklarının yerine geçebilecek alternatif yöntemler araştırılmakta ve geliştirilmektedir. Bu yöntemlerden biri olan ohmik ısıtma, günümüzde gittikçe yaygınlaşan, araştırmalara sıkça konu olan ve sanayide uygulama alanı bulunan bir teknolojidir. Elektrik devresinde gıdanın direnç görevi gördüğü ve böylece sıcaklığının yükseldiği bu sistemde hem işlem süresinden hem de enerjiden tasarruf sağlanmakta, tat ve aroma kayıpları sınırlandırılmakta, gıdanın bileşimine bağlı olarak homojen sıcaklık artışı sağlanabilmektedir. Ayrıca üretim ekipmanlarının yüzeylerinde kalıntı bırakmaması temizlik kolaylığı açısından bir artı oluşturmaktadır (Sastry vd., 2014).

Ohmik ısıtma günümüze kadar pirinç (Jittanita vd., 2017, Kanjanapongkul, 2017), ekmek (Gally vd., 2016), enginar (Guida vd., 2013), mantar (Sensoy ve Sastry, 2004), domates (Darvishi vd., 2012), farklı et ve et ürünleri (Piette vd., 2004, Zell vd., 2010) ile nar suyu (İçier ve Ilıcalı, 2005, Yıldız vd., 2009) gibi birçok gıda ürününün işlenmesi amacıyla test edilmiştir. Ohmik ısıtma işleminin gıda uygulamaları üzerine örneklerini artırmak mümkündür. Ancak erişilebilir kaynaklarda gerçekleştirilen araştırmalar esnasında birçok toplum tarafından sıklıkla tüketilen makarnanın, ohmik yöntemle pişirilmesi ve elektriksel özelliklerinin belirlenmesi üzerine bir çalışmaya rastlanmamıştır. Hâlbuki makarna lezzeti, çok farklı şekillerde tüketilebilmesi, makul fiyatı, uzun raf ömrü, kolay hazırlanması ile birlikte besleyici ve doyurucu bir besin kaynağı olması nedeniyle insanlar tarafından sıkça tercih edilmektedir. Bu nedenlerle makarnaların pişme kalitesi üzerine makarna bileşeni ve kullanılan buğday özellikleri gibi farklı faktörlerin (Antognelli, 1980, Dexter vd., 1983, Edwards vd., 1993, Del Nobile vd., 2005, Cubadda vd., 2007, Larrosa vd., 2016) ve farklı pişirme işlemlerinin

etkisi bilimsel araştırmalara sıklıkla konu olmuştur (Cocci vd., 2008, Cafieri vd., 2010).

Yukarıda bahsi geçen nedenlerden dolayı bu çalışmada, ohmik ısıtma ile makarnaların daha az enerji sarfıyatı ile daha hızlı şekilde, yüksek kalite özellikleri korunarak pişirilmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla, çalışma kapsamında makarnanın elektriksel iletkenlik katsayısı belirlenmiş, farklı voltaj gradyenleri kullanılarak ohmik ısıtma uygulanmıştır. Geleneksel pişirme yöntemine (haşlama) kıyasla ohmik ısıtma işleminin enerji sarfıyatı ve makarnaların kalite özellikleri üzerine etkisi araştırılmıştır. Bu bağlamda makarna örneklerinin pişme işlemi ile şişme davranışı, pişme süresi, su absorbsiyonu, pişme kaybı, nişasta jelatinizasyonu, hacim artışı, kül, nem, tekstür, renk değerleri incelenmiş, taramalı elektron mikroskobuyla elde edilen görüntülerle ohmik ısıtma işleminin nişasta granüllerinin yapısı üzerine etkileri incelenmiş ve ohmik ve geleneksel yöntemle pişirilen örnekler duyusal özellikleri aısısından değerlendirilmiştir. İki yöntem arasında enerji tüketimi karşılaştırılmış, hangi yöntemin daha verimli olduğu ortaya koyulmuştur. Ohmik yöntem için örneklerin elektriksel iletkenlikleri hesaplanıp bu yöntem için hangi voltaj değerinin daha uygun olduğu araştırılmıştır.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

2.1. Makarna Hakkında Genel Bilgi

Makarna, buğdaydan (*Triticum durum*) üretilen irmiğin su ile karıştırılması ile elde edilen hamurun, tekniğine uygun şekilde yoğrulup kurutulmasıyla elde edilen üründür (Anonim, 2002). Bahsi geçen bu irmiğin (semolina) farklı gıda bileşenleri ile karıştırılması sonucunda birçok farklı makarna çeşidi üretilebilmektedir. Standart kurutulmuş makarnanın yanı sıra; durum irmiğine yumurta eklenmesiyle yumurtalı makarna, durum irmiğine ıspanak ve yumurtanın eklenmesiyle “pasta verde” (yeşil makarna); irmiğin yumurta, buğday gluteni, süt proteini ve soya protein katkılarıyla oluşturduğu formülasyonlarla yüksek proteinli makarna, tam buğday makarna çeşitleri elde edilebilmektedir. Başta İtalya olmak üzere diğer ülkelerde de makarnanın et veya sebzelerle karıştırılması ile elde edilen “ravioli” (İtalyan usulü mantı), “canelloni” (oluk makarna), “lazanya” vb. makarna çeşitleri de oldukça yaygındır (Antognelli, 1980).

Makarna günümüzde İtalyan mutfağının sembolü olsa da, kökeninin nereye ait olduğu hala tartışılmaktadır. Bazı raporlarda Etruryalıların mezarlarında makarna yapmak için kullanılan aletler olduğunu belirtmiştir. Romalı şair Horace’nin bir şiirinde geçen “laganum” kelimesinin günümüz lazanyasını tasvir edebiliyor olacağı da tartışmalar arasında yerini almaktadır. Makarna İtalya’da popüler olsa da bazı kaynaklarda ülkeye 13. yüzyılda Marco Polo aracılığıyla Çin’den getirildiği belirtilmektedir. Koreliler ise makarnayı Çinlilere 12. yüzyılda kendilerinin öğrettiğini iddia etmektedirler (Toussaint-Samat, 2009).

Makarna üretimi ve makarnacılık, uygun iklimi sayesinde elverişli buğday yetiştiriciliği ve makarna kurutma bakımından oldukça uygun sıcaklıklar sayesinde özellikle İtalya’nın güneyinde gelişmiştir. İlk endüstriyel makarna üretimi ise Sicilyalılar tarafından gerçekleştirilmiştir (De Vita, 2009). Önceden özellikle makarna kurutma aşaması iklim koşullarına bağlıyken günümüzde bu işlem, modern kurutma tesisleri sayesinde çevre koşullarından bağımsız şekilde kolaylıkla yapılabilen şekilde böylece makarna üretimi dünya genelinde etkin biçimde sürdürülebilmektedir (Antognelli, 1980).

Makarnanın çok tercih edilen bir gıda olmasının nedenleri arasında tüketiciler için uygun fiyatta ve kolay ulaşılabilir, besleyici özelliğinin yüksek ve doyurucu niteliğinin iyi olması öne çıkmaktadır. Bunun yanı sıra makarna tüketiminin sindirim açısından bazı olumlu yönleri bulunmaktadır. Hem daha büyük parçalar halinde yutulabilmesi hem de protein matrisinin nişastanın sindirimini azaltması nedeniyle karbonhidratça zengin birçok gıdaya göre daha düşük glikemik indekse sahip olması makarnanın olumlu yönlerindendir (Kim vd., 2008).

Makarna üretimde kullanılan buğday, Rusya orijinlidir ve genel olarak soğuk, yarı kurak iklimlerde yetiştirilmektedir. En önemli makarnalık buğday yetiştiren ülkeler ABD, Kanada, Rusya, Arjantin, Kuzey Afrika ülkeleri, İtalya, Fransa ve Türkiye'dir. Öyle ki Dünya makarnalık buğday üretimi 2016-2017 yıllarında 40.7 milyon ton olarak gerçekleşmiş ve Türkiye 3.6 milyon ton üretim ile Kanada (7.8 milyon ton) ve İtalya (5.0 milyon ton)'dan sonra Dünya'da 3. sırayı almıştır (Pehlivan ve İkincikarakaya, 2017).

I. ve II. Dünya savaşları sırasında makarnalık buğday ihraç eden en önemli ülkeler Kanada, A.B.D ve Cezayir iken, bugün Avrupa'nın birçok ülkesinin makarnalık buğday ihtiyacı A.B.D ve Kuzey Afrika ülkeleri tarafından karşılanmaktadır (Sissons, 2004). *Gramineae* familyasının *Triticum* genusuna dahil olan buğday, niteliklerine göre farklı alanlarda değerlendirilir. Bahsedildiği üzere makarna üretimi için *Triticum durum* buğdayları kullanılmaktadır. Bunlar 28 kromozomlu buğdaylar olup sert tane yapısına sahiptirler (Özkaya ve Özkaya, 2005). Kırmızı ve amber renkli olmak üzere iki şekilde değerlendirilmektedir. Kırmızı renkli olanlar, daha çok hayvan yemi olarak kullanılır ve makarna sanayi için bir öneme sahip değillerdir. Bu çeşit buğdaylar daha çok Arjantin'de yetişmektedir. Amber rengine olanlar ise, makarna sanayinde kullanılmaktadır. En sert buğday amber renkli olanlardır. Ülkemizin Trakya, İç Anadolu'nun kuzey kısımları ve Güneydoğu Anadolu Bölgeleri durum buğdaylarının yetiştirilmesine elverişli iklime sahiptir. Bu buğdayların protein miktarı genellikle yüksek olmakla birlikte, çevre koşullarına bağlı olarak değişiklik göstermektedir (Eserkaya Güleç vd., 2010).

Pişmemiş makarnaların kalitelerinin değerlendirilmesinde farklı özelliklerden faydalanılmaktadır. Örneğin, kaliteli bir makarnanın renginin parlak sarı olması,

üstünde beyaz lekeler ya da esmer veya siyah lekeler bulunmaması gerekmektedir. Ayrıca yüzeyde hava kabarcıkları ve çatlaklar bulunmamalıdır. Diğer bir kalite kriteri ise 30-40 g arasında tane ağırlığı istenmesidir (Özkaya ve Özkaya, 2005). Ayrıca TGKY Makarna Tebliği'ne göre makarna kendine has koku ve tat olmalı, makarnanın nem miktarı en çok %13, kül miktarı en çok %1, protein miktarı ise kuru maddede en az %10.5 olmalıdır (Anonim, 2002).

Yüksek kalitede makarna üretimi için kullanılan hammadde kalitesi de en önemli noktalardan biridir. Makarna üretiminde kullanılan durum buğdayının endüstriyel ve teknolojik değeri, buğdayın öğütme performansı ve makarna kalitesini etkilemektedir (Nazlı ve Köse, 2006). Makarna buğdayının (*Triticum durum*) kimyasal bileşiminde bulunan makro besin öğeleri su (kritik nem seviyesi %10-14), karbonhidrat (yaklaşık %70) ve protein olarak sıralanmaktadır. Bunlardan protein özellikle önemlidir ve makarna yapımında kullanılan buğdaylarda yüksek protein oranı arzu edilmektedir (Morris, 2004). Şayet protein miktarı düşük olursa irmiğin su alması yavaşlamakta, yoğurma süresi uzamaktadır. Bu durum kurutma sırasında problem oluşturmakta, makarnalar kolay kırılmakta ve pişme özelliklerinde zayıflama görülmektedir (Nazlı ve Köse, 2006).

Makarnalık buğdaylarda endospermdeki protein taneleri ve nişasta taneleri şeffaftır. Bu nedenle tane camsı yapıda görülmektedir (Morris, 2004). Tanelerin camsılığı öğütme kalitesi açısından önemlidir. Camsı olmayan taneler verimi düşürmektedir. Şeffaf görünümlü sarı renkli makarnanın rengi lipoksigenaz aktivitesi ve karotenoit pigmentlerinin varlığının bir sonucudur (Nazlı ve Köse, 2006). Makarnalık buğdayların lipoksidaz aktivitesinin düşük olması istenmektedir (Özkaya ve Özkaya, 2005). Bu buğday tanelerinin şeker oranı diğer tür buğdaylara göre daha yüksektir. Fakat diastatik aktivitesi ve gaz meydana getirme gücü düşüktür. Fazla miktarda karotenoit pigmenti içermektedir. Makarnalık buğdaylar diğer buğdaylara kıyasla yaklaşık iki kat daha büyük danelidir ve endospermdeki kül miktarı daha fazladır (Morris, 2004). Ancak istenilen kalitede makarna üretimi için kısmen düşük kül miktarı tercih edilmektedir. Kül içeriğinin istenenden yüksek olması ekstraksiyon süresinin uzamasına, irmik renginin donuklaşmasına ve elde edilen makarnanın kahverengiye dönmesine sebep olmaktadır (Nazlı ve Köse, 2006).

2.2. Makarna Pişme Kalitesini Etkileyen Faktörler

Makarna pişirme, en az makarnanın üretimi kadar önem teşkil etmektedir. Yüksek kalitede elde edilmiş bir makarna, yanlış pişirme sonucu kalite özelliklerini önemli seviyede kaybedebilir (Cocci vd., 2008). Makarnada pişme kalitesi görünüş, besin değeri, tat ve rengin yanı sıra tüketici tercihini belirlemede esas rol oynaması sebebiyle makarna üretimi sırasında özellikle dikkate alınmaktadır. Pişme kalitesi genel olarak yapışkanlık, sertlik gibi tekstürel özelliklerle belirlenmektedir. Bu tekstürel özelliklere göre dağılmaya karşı dirençli, çiğnenebilir makarnaların iyi kalitede olduğu anlaşılmaktadır (Cubadda vd., 2007). Bir diğer tekstürel özellik olan yapışkanlık, pişmiş makarna yüzeyinin dil, diş, damak veya ellere yapışma durumunu ifade etmektedir ve pişirilmiş örneğin süzülmesinden sonra örnek üzerinde kalan absorbe edilmemiş su miktarına, süzme ile test etme arasında geçen zamana ve ortamın bağıl nemine bağlı olarak değişim göstermektedir. Sertlik, duyuşal olarak makarnayı ısırmak için gerekli kuvvet, enstrümental olarak ise AACC (The American Association of Cereal Chemists) tarafından önerilen yönteme göre belirli sayıda pişmiş makarna örneğinin özel bir bıçakla bölmek için yapılması gereken i  (N) olarak tanımlanmaktadır. Sertlik, kullanılan üretim yöntemine ve hammaddeye bağlı olarak makarnaların pişme toleransının belirlenmesi amacıyla ölçülmektedir. Elastikiyet ise deforme edici bir kuvvet uygulanıp kaldırıldığında, deforme olmuş makarnanın ilk durumuna geri dönme kapasitesini ifade eder. Elastikiyet, hammaddede bulunan gluten kalitesi ve miktarı ile ilişkilidir. Bu nedenle, pişirme ve taşımaya kar   ürünün sağlamlığının ölçülmesi amacıyla bu özellik kullanılmaktadır. Toplam organik madde miktarı ise makarna pişme kalitesinin değerlendirilmesinde duyuşal testlere alternatif olarak kullanılmaktadır. Buna göre pişmiş makarnadan izole edilen toplam organik madde miktarı tespit edilmektedir. Bu sonuçların duyuşal değerlendirme ve yapışkanlık ile korelasyon gösterdiği belirtilmiştir (Nazlı ve Köse, 2006).

- Makarnaların temel bileşeni ni astadır. Makarnaların yaklaşık olarak %67'lik kısmını bu karbonhidrat oluşturmaktadır (Aravind vd., 2013). Makarna gibi ni astaca zengin gıdaların (tahıllar, patates vb.) pişirilme amacı, nişastanın jelatinizasyonu sağlanarak sindirilebilir forma dönüştürülmesi gerekliliğidir. Bu esnada moleküller arası bağlar kırılarak su moleküllerinin nişasta yapısına girmesi sağlanmaktadır. Ancak bunun öncesinde su moleküllerinin kuru formda bulunan makarnalara difüze

olması gerekmektedir. Pişirme suyunun makarlara penetrasyonu esnasında makarna tanesinin yapısında üç farklı bölge gözlenmektedir. Bunlar;

- Suyun henüz penetre olmadığı, açık renkli merkez,
- Merkezin etrafını saran, suyun penetrasyonunun gerçekleştiği ancak jelatinizasyonun meydana gelmediği nötral renge sahip alan,
- Son olarak en dış katmanı oluşturan ve jelatinizasyonun gerçekleştiği yumuşak ve sarımsı kısımdır (Fasano vd., 2011).

Bu üç yapıyı bünyesinde bulunduracak seviyede pişirilmiş ve merkezdeki açık renkli bölme kaybolmak üzereyken pişirme durdurulan makarnalar “al dente” terimiyle ifade edilmektedir. Makarnaların pişirilmesi esnasında nişastanın jelatinizasyonunun yanı sıra proteinlerin koagülasyonu da gerçekleşmektedir. Makarnaların pişirilmesi esnasında nişasta granülleri, protein matrisi içinde hapsolmaktadır (Kim vd., 2008). Bu nedenle makarnaların protein miktarı ve profili makarnanın pişme kalitesi hakkında en önemli kriterlerden biri olan suya geçen madde miktarını (pişme kaybı) ve makarnaların su absorpsiyonunu önemli ölçüde etkilemektedir (Del Nobile vd., 2005, Köten vd., 2014). TGKY Makarna Tebliği’ne göre makarnada pişirme suyuna geçen madde miktarı kuru madde esasına göre en çok %10 olmalıdır (Anonim, 2002). AACC’ye göre ise pişirme suyuna geçen madde miktarı kuru makarna ağırlığının %7-8’ini aşmaması istenmektedir (Nazlı ve Köse, 2006). Suyu geçen madde miktarının fazla olması pişirme suyunun bulanmasına ve düşük pişme toleransına sebep olmakla birlikte nişastayı oluşturan amiloz ve amilopektinin pişme suyuna fazla miktarda geçmesi yapışkanlığa yol açmaktadır (Del Nobile vd., 2005, Köten vd., 2014). Bu nedenle makarnaların protein içeriğinin yüksek ve gluten özelliklerinin kuvvetli olması istenmektedir (Tuncer ve Ercan, 1990). Kısaca makarnanın pişirilmesi esnasında proteinlerin koagülasyonu ile bir protein ağı oluşmakta ve nişasta şişerek pişirme suyunda çözünmektedir. Düşük protein içeriği nedeniyle pişirme esnasında yeteri kadar protein ağı oluşmaması durumunda nişasta yapıda hapsedilemeyerek pişirme suyuna olması gerekenden daha fazla geçmektedir. Bu durum makarnaların daha yumuşak ve yapışkan bir yapı kazanmasına yol açarak makarna özelliklerini olumsuz yönde etkilemektedir (Cocci vd., 2008).

Farklı değerlendirme kriterleri mevcut olmakta birlikte, makarna kalitesi açısından önem teşkil eden parametrelerden bir diğeri pişirme işlemi için harcanan süredir

(Grzybowski ve Donnelly, 1979, Edwards vd., 1993, Cocci vd., 2008). Makarnalar geleneksel olarak kaynama sıcaklığında bulunan su içerisinde, makarna granüllerinin merkez noktasına kadar yeterli miktarda suyun difüzyonuna izin verecek süre boyunca haşlanarak pişirilmekte ve tüketime uygun hale getirilmektedir. Bu süre üreticiler tarafından makarna ambalajları üzerinde genellikle belirtilmektedir. Yapılan çalışmalarda optimum kalite özelliklerine sahip ürün elde edilebilmesi için makarnaların 10 misli su içerisinde haşlanması gerektiği ortaya konmuştur (Cunin vd., 1995, Cocci vd., 2008). Makarnaların pişirilmesi için elektrikli veya alevli ısıtıcı düzenekler kullanılmaktadır. Ancak bu sistemlerde makarnaların pişirilmesi için (özellikle suyun kaynama sıcaklığına erişebilmesi için) oldukça uzun süreler gerekmektedir. Bunun en önemli nedeni muhtemelen ısının birbirini izleyen bir dizi katmandan farklı ısı transfer mekanizmaları ile aktararak gıdaya/pişirme ortamına iletilmesidir. İlk olarak ısıtıcı düzenek ile gıdanın pişirilmesinde kullanılan ekipman arasında kondüksiyonla ısı aktarımı gerçekleşmektedir. Ardından pişirme sıvısı (pişme suyu) ile pişirme ekipmanı arasında ve devamında sıvı ortam ile pişmesi hedeflenen gıda partikülleri arasında konveksiyon ile ısı aktarımı olmaktadır (Kanjapongkul, 2017). Bu esnada uzun pişirme sürelerinin yanı sıra enerji kayıpları (pişirme ekipman yüzeyi ile ortam atmosferi arasında) da meydana gelmektedir. Bu amaçla makarnaların pişirilmesi için alternatif bir yöntem olan mikrodalga uygulaması literatürde kendisine yer bulmuştur. Bu işlem sayesinde makarnaların pişirme süresi %10 kadar düşürülebilmektedir (Cocci vd., 2008). Benzer bir sonuç nişastaca zengin olan pirincin haşlanmasında da elde edilmiştir. Mikrodalga uygulaması haşlama süresini %40 kısaltmıştır. Ancak bu teknik kullanılan enerji miktarını azaltmak bir yana, yaklaşık iki kat artışa neden olmuştur (Lakshmi vd., 2007). Bu nedenle hem enerjinin verimli kullanıldığı hem de pişirme süresini kısaltan alternatif bir yöntem arayışına girilmiştir. Hızla gelişen teknoloji ile bu alternatif yöntem arayışına bir çözüm olarak ohmik ısıtma yöntemi öne çıkmıştır. Gıdanın elektrik devresinde direnç görevi görerek ısınmayı sağladığı bu yöntemle yapılan araştırmalar, mikrodalga uygulaması ve geleneksel yöntemle göre ihtiyaç duyulan pişirme enerjisi değerinin düştüğünü göstermiştir. Pirinçlerin haşlanmasında ohmik ısıtma uygulamasının denendiği bir çalışmada, harcanan enerji miktarının geleneksel yöntemle göre dörtte bir oranında azaldığı tespit edilmiştir (Kanjapongkul, 2017). Bu amaçla makarnaların ohmik ısıtma ile pişirilmesi üzerine denenmiş bir çalışmaya erişilebilir kaynaklarda rastlanmamış olup, bu çalışmada makarnaların pişirilmesinde kalite kriterleri ve

duyusal açıdan uygun, enerji ve süreden tasarruf ederek geleneksel yöntemle alternatif bir yöntem olarak görülen ohmik ısıtma yöntemi test edilmiştir.

2.3. Ohmik Isıtma

Ohmik ısıtma yöntemi ilk kez 1987 yılında Birleşik Krallıklar Elektrik Araştırma ve Geliştirme Dairesi tarafından kullanılmıştır. Ancak sistemin ticari kullanıma uygun hale gelebilmesi 1989 yılında mümkün olmuştur. Ohmik ısıtmanın gıdalar üzerinde haşlama, dehidrasyon, fermentasyon, sterilizasyon, pastörizasyon, pişirme, evaporasyon, ekstraksiyon ve çözündürme amaçlı denendiği çalışmalar mevcuttur. Söz konusu yöntem gıda endüstrisinde hazır gıdaların aseptik koşullarda işlenmesinde, meyve-sebze sularının pastörizasyonunda, sıvı yumurta ve et ürünlerinin işlenmesinde, konserve ürünlerinde uygulanan ön ısıtma işlemlerinde kullanılmaktadır. Ayrıca bazı araştırma verileri, ohmik ısıtmada uygulanan elektrik alanının hücre zarlarının elektroporasyonuna (hücrelere veya dokulara kısa süreli yüksek güçte bir elektriksel alan uygulayarak, hücre zarında DNA'nın geçebileceği nanometre boyutunda geçici gözenekler açılması mantığına dayanan gen aktarımı işlemi) neden olduğunu göstermektedir (İçier, 2005, Knirsch vd., 2010).

Ohmik ısıtma yöntemi “Joule ısıtma”, “elektrik direnci ısıtma” ya da “elektro iletken ısıtma” olarak da adlandırılmaktadır (Varghese vd., 2012). Temel prensibi, madde üzerinden direkt olarak elektrik akımının (genellikle alternatif akım) geçirilmesi; bu süreç esnasında maddenin elektrik akımına karşı direnç oluşturmaya dayanır. Moleküllerin sahip olduğu enerjinin artması sonucu gıda maddesinin sıcaklığı yükselmektedir (İçier, 2005). Maddenin yeterli su ve elektrolit içermesi halinde ohmik ısıtma yöntemi kullanılabilir olmaktadır. Ohmik ısıtma sürecinde sistem içinde enerji dönüşümü (elektrik enerjisi ısı enerjisine) meydana gelmektedir. Bu durum yeni nesil ısıtma tekniği olarak görülmektedir. Çünkü ohmik ısıtmada madde başka bir kaynaktan ısı transferine gerek olmadan, doğrudan hacimsel olarak ısınabilmektedir (Knirsch vd., 2010).

Güç kaynağı ile oluşturulan potansiyel fark voltaj ve devreden geçen akım ile ohmik sistem bir elektrik devresi olarak düşünülebilir. Gıda materyali ise iki elektrot arasına konularak üzerinden elektrik akımı geçmesi sağlanmaktadır. Ohmik ısıtmanın

uygulanabilirliği elektrik enerjisinin ısıya dönüşüm oranına, gıdanın elektrik iletkenliğine, elektrik alan gücüne, süreye ve sistemde gıdanın akış hızına (sıvı gıda maddeleri için) bağlıdır. Ohmik ısıtma sıvı gıdalar, katı gıdalar ve katı-sıvı karışım gıdalarda uygulanabilmektedir. Ohmik ısıtma yönteminin özellikle katı parçacıklı, pompalanabilir gıdalar ve katı-sıvı karışımı halinde bulunan gıdalar için daha uygun olduğu belirtilmektedir. Ancak yapılan çalışmaların çoğunda, sistemden maksimum verimi alabilmek için gıda özelliklerinin daha iyi tanımlanması gerekliliği ve bu amaçla birçok araştırma yapılmasına ihtiyaç duyulduğu belirtilmiştir (Varghese vd., 2012).

Ohmik ısıtma tekniğinin etkinliği ürünün elektriksel iletkenliğiyle ilişkilidir. Sistem boyunca geçen akım miktarı ürünün elektriksel iletkenlik katsayısına bağlı olduğundan, ohmik sistemin en önemli parametresi elektriksel iletkenlik katsayısı olarak belirtilmektedir. Elektriksel iletkenlik katsayısı ise birçok etmene bağlı olarak değişim göstermektedir. Sıcaklık, gıdanın konsantrasyonu gibi etmenler elektriksel iletkenlik değerini etkilemektedir. Sıcaklık arttıkça elektriksel iletkenlik artmaktadır (İçier, 2005). Sistemdeki tuz veya asit gibi elektrolitlerin varlığı elektriksel iletkenliği artırarak, sıcaklık yükselişini hızlandırmaktadır (Jittanita vd., 2017).

Ohmik ısıtma hücresinin özellikleri de prosesi etkilemektedir. Özellikle elektrotlar arası mesafenin elektriksel iletkenlik katsayısını önemli derecede etkilediği ancak elektrotların yüzey alanının etkisinin ise önemsiz olduğu rapor edilmiştir (Akkara ve Kayaardı, 2014). Öte yandan Ramaswamy vd. (2014) tarafından elektrotlar arası mesafenin elektrot yüzey alanına oranının (hücre sabiti) genellikle $1-50 \text{ cm}^{-1}$ değerleri arasında değiştii ve bu değer azaldıkça ohmik sistemin veriminin artacağı ifade edilmektedir.

Ohmik pişirme yönteminin diğer geleneksel yöntemlerle kıyaslandığında birçok avantajı bulunmaktadır. Bunlar aşığıda listelenmiştir.

- Üniorm (tekdüze) ısınma sağlar: Geleneksel yöntemde karışimdaki dış ortamdan önce sıvının ısınması daha sonra sıvının katıyı ısıtması söz konusuyken ohmik ısıtma yönteminde katı ve sıvının aynı anda ısınması beklenir. Bu sayede ısıtılan gıdaya eşit enerji dağılımı sağlamak için kullanılan karıştırma ekipmanları veya

alışanlarına ihtiyaç azalmaktadır. Bu durum mekanik tahribata karşı hassas gıdaların işlenmesini kolaylaştırmaktadır (İçier, 2005).

- Teorik st sıcaklık limiti yoktur: Geleneksel yöntemin aksine ohmik ısıtma yönteminde meydana gelen hacimsel ısınma nedeniyle geleneksel yöntemde mümkün olmayan sıcaklıklara ulaşılabilmektedir. Elektriksel iletkenlik değerlerine bağlı olarak gıdaların çok daha hızlı bir şekilde arzu edilen sıcaklıklara çıkarılması mümkündür. Sıcaklık-zaman ilişkisi içerisinde değerlendirildiğinde hızlı ve direkt ısıtma sayesinde ısıtma boyunca ısıya hassas gıda bileşenlerinin bozunumu azaltılmaktadır. Sistemin enerji verimliliği diğer yöntemlere göre oldukça yüksektir (Li ve Sun, 2002).
- Prosesin izlenebilirliği sağlanabilmektedir (Sastry vd., 2014).
- Diğer ısı değiştiricilerde olduğu gibi kesikli veya sürekli sistem şeklinde tasarlanabilmektedir (Sastry vd., 2014).
- Isınma oranının kontrol edilebilmesi: Isı retimi oranı sistemin elektrik alan gücü değiştirilerek kontrol edilebilir. Bu voltaj gradiyenini kontrol ederek sağlanmaktadır. Ayrıca ohmik ısıtma yöntemi sabit güç ve sabit akım uygulanmasını da mümkün kılmaktadır (Sastry vd., 2014).
- Çevreye karşı temiz teknolojilerden biridir. Enerji verimliliğini artırarak yenilenemez kaynakların kullanımını azaltmaktadır (Pereira vd., 2016).
- Ekipman: Gıda ürünü herhangi bir sıcak yüzeyle temas etmediği için yanık tabaka, birikim ve koagülasyon gibi sorunlar ortaya çıkmamaktadır. Bu nedenle ekipmanların temizlik-bakım süreleri ve masrafları azalmaktadır (Kanjapongkul, 2017).
- Maliyet: 1980'lerin başında ohmik ısıtma ortaya çıktığında, yatırım maliyetinin fazla olması, sağlanan g kaynaklarından az g çıkışı, işlem hacminin küçük olması gibi sebepler sorun teşkil etmiştir. Ancak son 10 yılda cihaz üreticilerinin artması, daha ucuz ve daha güçlü enerji kaynağı sağlanabilmesi ohmik ısıtma yöntemini cazip hale getirmiştir. Ohmik ısıtma gıdayı işleme maliyetini düşürürken ürün özelliklerini geliştirmekte, ürünün katma değerini yükseltmektedir (Akkara ve Kayaardı, 2014, Pereira vd., 2016).
- Enerji etkinliği: Üretilen enerjinin doğrudan gıdada sıcaklık artışına yol aması nedeniyle sistemin etkinliği %90 ve üzeridir (Akkara ve Kayaardı, 2014).

- Elektrik alanının termal olmayan etkileri: Mikrobiyolojik açıdan değerlendirildiğinde elektrotermal yöntemde direkt termal yöntemlere göre daha düşük sıcaklıklarda sonuç alınmaktadır (Sastry vd., 2014).
- Son ürün kalitesi: Ohmik ısıtma ile güvenli, yüksek kalitede ürün üretilebildiği ticari alanda da denenerek ispat edilmiş, raf ömrü bakımından da konserve, sterilize, aseptik işlenmiş ürünlerle benzer özelliklere sahip olduğu görülmüştür (Varghese vd., 2012).

Ohmik ısıtma, hacimsel ısınma sağlayan bir diğer yöntem olan mikrodalga yöntemiyle karşılaştırılabilir. Ohmik ısıtma ile mikrodalga ısıtma yönteminin arasındaki ana fark, mikrodalga tekniğinde magnetron boyunca elektrik enerjisinin mikrodalgalara dönüştürülmesidir. Mikrodalga ısıtmada enerji etkinliği %50 civarındayken ohmik ısıtma yönteminde enerji etkinliğinin %90 oranında olması ohmik ısıtma yöntemini daha tercih edilebilir kılmaktadır (Akkara ve Kayaardı, 2014).

Ohmik ısıtmanın avantajlarının yanı sıra bazı dezavantajları da mevcuttur. Bunların başında sistemdeki elektrotların korozyonu ve buna bağlı elektrokimyasal reaksiyonlar gelmektedir. Bu konuda Lima ve Sastry (1999) tarafından gerçekleştirilen çalışmada ohmik ısıtma sisteminde paslanmaz çelikten yapılan elektrotlar kullanıldığında meydana gelen korozyon sonucu pas renginin ortaya çıktığı ancak titanyum kaplı elektrotlarda herhangi bir değişim olmadığı tespit edilmiştir. Elektrotların reaksiyonu, karışımda meydana gelen elektroliz, elektrot materyalleri ve elektroliz ürünleri arasındaki reaksiyonlar mekanizmayı etkileyebilmektedir. Bu durumun yaşanmaması için inert elektrot kaplama ya da elektrokimyasal reaksiyonların kontrolü için yüksek frekans gücü kullanılması gerektiği önemle belirtilmektedir (İcier, 2005).

Ohmik ısıtma yöntemi üzerine yürütülen araştırmalar özellikle son 10 yılda artış göstermiş ve bu sistem oldukça çok araştırmaya konu olmuştur. Örneğin; Kanjanapongkul (2017) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada pirinçlerin haşlanmasında ohmik ısıtma tekniği uygulanmıştır. Araştırma kapsamında pirinçlerin elektriksel iletkenlik katsayısı belirlenirken, geleneksel haşlamaya kıyasla ürüne su difüzyonunun daha etkin biçimde gerçekleştiği ve işlem süresinin kısaldığı ifade edilmiştir. Bunun yanı sıra ohmik ısıtma ile haşlama için kullanılan enerjinin, elektrikli pirinç haşlama ekipmanlarının ihtiyaç duyduğu enerjinin dörtte biri kadar olduğu tespit

edilmiştir. Pirinç kepeğinin stabilizasyonu üzerine gerçekleştirilen bir çalışmada ise ohmik ısıtma ile elde edilen ürünlerin daha yüksek fenolik madde, α -tokoferol, γ -orizanol ve antioksidan aktiviteye sahip olduğu belirlenmiştir. Ayrıca ohmik ısıtmanın serbest yağ asidi birikimini, lipaz aktivitesini ve lipit oksidasyonunu geciktirdiği belirtilmiştir. Loypimai vd. (2009) çalışmalarında ise ohmik haşlama ile geleneksel haşlama işlemine kıyasla nohut püresinin enzim inaktivasyonu süresinin kısaltılabileceği ve renk özelliklerinin geliştirilebileceği ortaya konmuştur. Ohmik haşlama uygulaması ile pişirme suyuna daha az kuru madde geçişi sağlanarak pişirme kayıpları azaltılabilmektedir (Sensoy ve Sastry, 2004). Ayrıca haşlama işleminde kullanıldığında, oluşan elektrik alanın gıdaya su difüzyonunu kolaylaştırdığı ifade edilmektedir (Kemp ve Fryer, 2007).

İşlenmiş etin ohmik yöntem ile pişirilip son ürün üzerine etkileri sucuk benzeri ürün bileşiminde farklı tuz ve farklı yağ oranları denenerek incelenmiştir. Çalışmada, elektriksel iletkenlik değerlerinin tuz konsantrasyonu arttıkça yükseldiği, yağ oranı arttıkça düştüğü gözlemlenmiştir. Ohmik pişirmede enerji verim oranının elektrik gerilimine ve gıdanın iletkenliğine bağlı olduğu belirtilmiştir. Ohmik pişirmenin et üzerine kullanımında kalitesi üzerinde herhangi olumsuz etkisinin olmadığı, tekstür ve görünümünde kalite kaybına yol açmadığı belirtilmiştir (Piette vd., 2004). Hindi etinin işlenmesi esnasında ohmik ısıtma ile buharda pişirme yöntemi etkilerinin karşılaştırıldığı bir çalışmada konveksiyonel yöntemle göre önemli oranda daha açık ve daha homojen renk dağılımı, daha az renk kaybı görülmüştür. Tekstür özelliklerinde olumsuz bir sonuca rastlanmamış, ohmik ısıtmanın endüstriyel anlamda önemli bir potansiyele sahip olduğu, pişme süresini 8-10 kat kısaltarak daha yüksek kalitede ürün elde edilebileceği belirtilmiştir (Zell vd., 2010).

Ohmik ısıtma yönteminin pastörizasyon aşamasında kullanıldığı bir çalışmada Maraş dondurması ve standart dondurma karışımları üzerinde etkileri incelenmiştir. Çalışma sonucunda ohmik ısıtmanın dondurma üretim aşamasında kullanılabilecek alternatif bir yöntem olduğu belirtilmiştir. Ohmik ısıtma yönteminde uygulanan sıcaklık ve gıdanın yağ içeriğine bağlı olarak elektriksel iletkenlik katsayısının değiştiği, bu yöntem için Maraş dondurmasının normal dondurmaya göre daha güçlü reolojik özelliklere sahip olduğu, yağ içeriğinin az olması sebebiyle daha yüksek iletkenlik değerlerine ulaşıldığı sonucuna varılmıştır (Icier ve Tavman, 2006). Ozmotik kurutma

ile ohmik ısıtmanın birlikte kullanıldığı bir araştırmada ise ohmik ısıtmanın elektroporasyon (elektroplazmoliz) etkisiyle işlem etkinliğini arttırıp işlem süresini kısaltarak enerji tasarrufu sağladığı, enerji verimliliği açısından oldukça önemli olduğu vurgulanmıştır (Eroğlu ve Yıldız, 2011).

Enginarların haşlanması üzerine yapılan bir çalışma sonucunda, ohmik ısıtma ile geleneksel haşlamaya kıyasla enzim inaktivasyonunun daha kısa sürede gerçekleştiği ve enginara has rengin en iyi şekilde korunduğu belirtilmiştir. Ayrıca protein ve fenolik madde kaybı azaltılabiliştir (Guida vd., 2013). Karnabaharlar ile yapılan bir çalışmada ise, ohmik ısıtmanın karnabaharın pişirilmesi için kullanışlı bir yöntem olduğu, kısa süreli tuzlu suda ön pişirme uygulanarak ve daha düşük sıcaklık seçilerek daha yüksek kalitede ürün edilebileceği belirtilmiştir (Eliot vd., 1999). Ohmik ısıtma yöntemi, gıdalarda bulunan besin öğelerinin ve diğer bazı fiziksel özelliklerinin işlem sırasında korunmasına da katkı sağlamaktadır. Konvensiyonel ısıtmaya (90°C su banyosunda belirli süreler bekletilerek) kıyasla ohmik ısıtma nar suyunun reolojik özelliklerinde ve toplam fenolik madde içeriğinde olumsuz bir etki göstermemiş, hatta esmerleşmeyi azaltarak renk özelliklerini geliştirmiştir (Yıldız vd., 2009). Çözündürme işleminde ohmik ısıtma yönteminin kullanıldığı bir çalışmada ise tekstürel özelliklerin iyileştiği ve dokuda çok az değişiklik meydana geldiği tespit edilmiştir. Çözünme aşamasında gıdalarda aşırı ısınma oluşmadığı, sızıntı kaybının ve çözünme süresinin azaldığı, besin öğeleri içeriği ile fonksiyonel ve duyusal özelliklerinin korunduğu görülmüştür (Bozkır vd., 2014). Başka bir çalışmada ise domates püresine ohmik ısıtmanın etkileri araştırılmış, sıcaklık ile elektriksel iletkenlik değerleri arasında güçlü bir ilişki bulunmuş, uygulanan voltaj değeri arttıkça ürünün pH değerinin düştüğü belirtilmiştir (Darvishi vd., 2012). Ayva dilimlerinin ozmotik kurutulmasında ohmik ısıtmanın kullanılmasının renk değerleri üzerine olumlu etkileri olduğu belirlenmiştir (İçier vd., 2013). Ohmik ısıtmanın taze katı gıdaların üzerine etkisini araştırmak için gerçekleştirilen bir çalışmada, ohmik ısıtmanın uygulaması sırasında patates, elma ve havucun tekstürel özellikleri üzerine etkisi incelenmiştir. Sıcaklık ve elektrik alan gücü arttıkça elektriksel iletkenliğin arttığı, üç gıdanın da elektriksel iletkenliği düşük olmasına rağmen uygulanan voltaj değeri arttıkça örneklerin sertlik değerinin azaldığı görülmüştür. Elmanın içerdiği pektinden dolayı, havuç ve patatese göre daha hassas, yapısal olarak dağılmaya daha yatkın olduğu görülmüştür. Ohmik ısıtmanın uygulanacak gıdadaki tekstürel

özelliklere etkisinin bilinmesi ve uygun proses koşullarının sağlanması halinde katı gıdalara uygulanabilir olduğu belirtilmiştir (Olivera vd., 2013).

Söz konusu bilgiler ışığında ohmik ısıtmanın gıdaların pişirilmesinde geleneksel yöntemlere alternatif olarak kullanılabilecek bir teknik olduğu açıktır. Ohmik ısıtma tekniği gıdaların besin öğelerinin ve fiziksel özellikler de dâhil olmak üzere kalite parametrelerinin korunması, işlem sürelerinin kısaltılması, enerji verimliliğinin sağlanması gibi gereklilikleri sağlayabilecek alternatif bir yöntemdir. Çalışmamız kapsamında tanınırlığı giderek artan bu yöntemin laboratuvar ölçeklerinde makarna pişirme üzerine etkileri incelenmiştir. Bu amaçla makarnaların şişme davranışı, pişme süresi, su absorpsiyonu, pişme kaybı, nişasta jelatinizasyonu, hacim artışı, kül, nem, tekstür, renk değerleri, taramalı elektron mikroskopuyla nişasta yapısı ve duyusal özellikleri değerlendirilmiştir. İki yöntem arasında enerji tüketimi karşılaştırılmış, hangi yöntemin daha verimli olduğu belirlenmeye çalışılmıştır. Ohmik ısıtma yöntemi için örneklerin elektriksel iletkenlikleri hesaplanıp, makarna pişirilmesi için en uygun voltaj değeri belirlenmeye çalışılmıştır. Yapılan analizlerin sonucunda ohmik pişirme yönteminin geleneksel yöntemle göre tercih edilebilir olup olmadığı ayrıntılı şekilde, nedenleriyle birlikte açıklanmıştır.

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Materyal

3.1.1. Örnek hazırlama

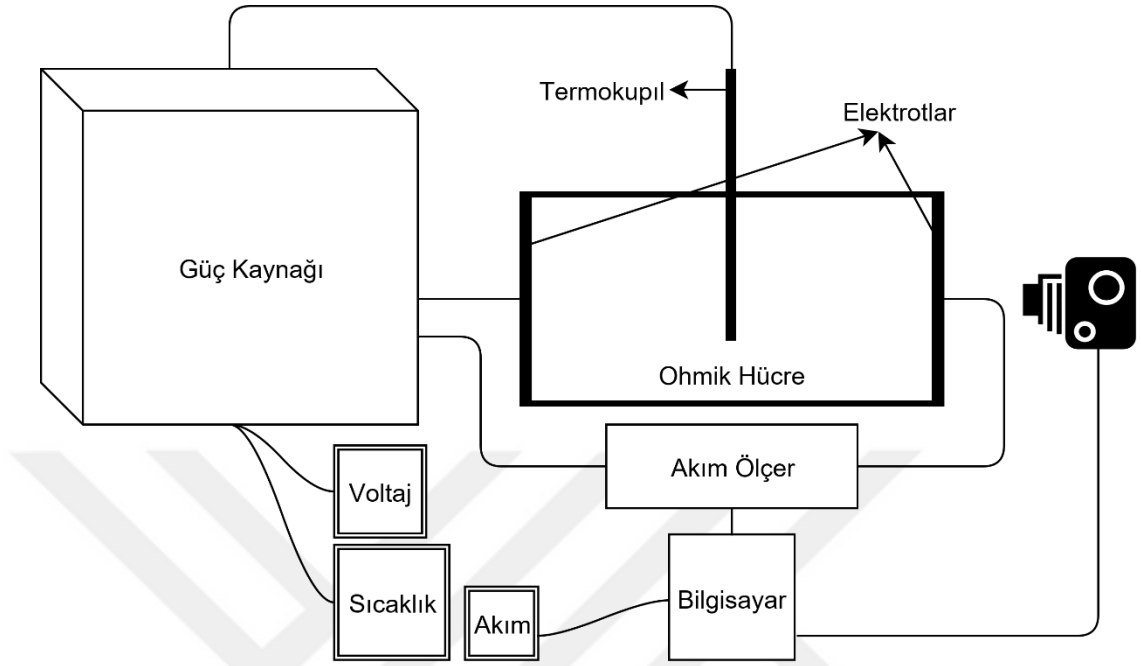
Makarna örnekleri (fıyonk makarna) ülkemizde önemli üretim kapasitesine sahip bir üreticiden homojen özelliklere sahip örnek sağlamak amacıyla gerekli örnek miktarı önceden tayin edilip tek partiden temin edilmiştir. Makarnalar kullanıma kadar oda sıcaklığında, ışık ve nemden uzak şekilde uygun koşullar altında muhafaza edilmiştir.

Piştirme suyu olarak şebeke suyu kullanılmış olup, her piştirme uygulaması için gerçekleştirilen dört tekrar için gerekli su miktarı, farklı zamanlarda şebeke suyunun iyon içeriğinin değişebilme ihtimali ve bu durumun sonuçları etkileyeceği düşünülerek tek seferde doldurulup uygun koşullarda muhafaza edilmiştir.

3.1.2. Ohmik ısıtma ekipmanı

Ohmik ısıtma ekipmanı (Şekil 3.1) laboratuvar ölçeklerinde, ohmik hücre dikdörtgenler prizması şeklindedir (10x10x20 cm). Piştirme esnasında görüntü kaydının yapılabilmesi ve makarna yüksekliğinin ölçülebilmesi için ohmik hücre camdan imal edilmiştir. Korozyon olmaması için özellikle titanyum kaplı elektrotların daha uygun olacağı daha önce yapılan bir çalışmada belirlenmiş (Lima ve Sastry, 1999) ancak imkanlar dâhilinde paslanmaz çelikten elektrotlar tercih edilmiş olup, elektrotların arasındaki mesafe 10 cm, elektrotun uzunluğu 6x10 cm ve yüzey alanı 60 cm² olarak belirlenmiştir. Piştirme ortamının sıcaklığı güç kaynağı ile entegre çalışan teflon kaplı termokapıl ve termostat ünitesi ile takip edilmiştir. Piştirme esnasında sıcaklığın her noktada tekdüze olduğu kabul edilerek sıcaklık okumalarında ohmik hücrenin merkezi hedef alınmıştır. Piştirme işlemi denemelerin gerçekleştirildiği bölgede ön çalışmalarla tespit edilmiş olan suyun kaynama sıcaklığında (95°C) gerçekleştirilmiştir. Bu sıcaklık değeri PID ünitesi ile aç/kapa kontrol sağlanarak ayarlanmıştır. Ohmik piştirme denemelerinde 4 farklı voltaj gradiyeni uygulanmıştır (10, 20, 30 ve 40 V/cm). Denemeler esnasında her 5 saniyede bir sistemdeki akım ve sıcaklık verileri kaydedilmiştir. Piştirme süresi boyunca ohmik sistemin görüntü kaydı

alınmış, makarnalarda zamana ve sıcaklığa bağlı meydana gelen hacim değişimi kaydedilmiştir.



Şekil 3.1. Ohmik ısıtma sistemi

3.2. Metotlar

3.2.1. Optimum pişirme süresinin tayini

Optimum pişirme süresinin belirlenmesinde Edwards vd. (1993) tarafından tavsiye edilen yöntem kullanılmıştır. Bu amaçla alınan makarna örnekleri iki şeffaf cam tabaka arasında sıkıştırılmıştır. Bu işlem tüm denemeler için ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir. Makarna örneklerinin merkezinde bulunan pişmemiş, beyaz kısmın kaybolma zamanı optimum pişirme süresi olarak kabul edilmiştir. Bu süre geleneksel yöntem (kontrol grubu) için 10 dk; 10, 20, 30 ve 40 V/cm voltaj gradyenleri için sırasıyla 37, 21, 15 ve 12 dk olarak saptanmıştır. Hem geleneksel haşlama hem de ohmik ısıtma işlemleri belirtilen optimum pişme süreleri boyunca uygulanmıştır.

3.2.2. Pişirme

Gerçekleştirilen ön denemelerde makarnaların haşlanması için gerekli makarna:su oranı (w/v) önceki çalışmalarda da tavsiye edildiği üzere 1:10 (g/mL) olarak belirlenmiştir (Cunin vd., 1995, Cocci vd., 2008, Alamprese vd., 2011). Kontrol grubu örnekleri (geleneksel yöntemle haşlanmış makarnalar) elektrikli ısıtıcı kullanılarak, belirtilen oranda makarna kaynamakta olan su içerisinde optimum pişme süresi boyunca (10 dk) haşlanmıştır (Larrosa vd., 2016, Serrano vd., 2016). Ohmik ısıtma yönteminde ise daha önce belirtilen elektrik alan değerleri (10, 20, 30 ve 40 V/cm) uygulanarak optimum pişme sürelerine sadık kalınmıştır. Her iki pişirme yönteminde de pişme süresinin hemen ardından makarnalar tel süzgeç yardımıyla pişme suyundan hızlıca ayrılmış ve soğumaya bırakılmıştır. Pişme suyu, gerçekleştirilecek analizlerde kullanılmak üzere saklanmıştır.

Bilindiği üzere elektriksel iletkenlik, tuz konsantrasyonu ile artış göstermektedir (Piette vd., 2004, Akkara ve Kayaardı, 2014, Anonim, 2015, Gally vd., 2016, Jittanita vd., 2017). Yani bir maddenin iyon derişimi arttıkça iletkenliği artmaktadır. Sonuç olarak gıdaya tuz ilave edilmesi ile ürünün iyon konsantrasyonu artırılarak elektriksel iletkenliği yükseltilebilmekte, böylece daha önce de değinildiği gibi ohmik ısıtma esnasında sistem performansı artırılabilir (Wang ve Sastry, 1997, Akkara ve Kayaardı, 2014, Anonim, 2015, Jittanita vd., 2017). Bu doğrultuda ön denemeler esnasında pişirme suyuna belirli oranlarda tuz (NaCl) eklenerek makarna pişirilmesi esnasında ohmik sistem performansı incelenmiştir. Bu amaçla ilk olarak voltaj gradiyeni 20 V/cm olarak seçilmiş, %0.9 oranında tuz pişme suyuna eklenmiş ve makarna pişirilmeye çalışılmıştır. Ancak iletkenliğin yükselmesi ile çok hızlı bir sıcaklık artışı meydana gelmiş ve akım çok hızlı yükselerek kısa sürede 8.5 A değerinin üzerine çıkmıştır. Tasarlanan ohmik sistem maksimum 10 A akım değerinde çalışabildiği için tuz konsantrasyonu düşürülerek (%0.2), aynı voltaj gradiyeni test edilmiştir. Fakat yine benzer sonuçlar elde edilmiş olup, sıcaklık çok hızlı şekilde artmış, akım değeri yine kısa sürede 8.5 A değerini geçmiş ve sistem kapatılmıştır. Böylece iyon konsantrasyonunun artması ile ohmik ısıtma prosesinin hızlandırabildiği tespit edilmiştir. Tuz miktarına bağlı olarak elektriksel iletkenlik hızlı bir şekilde artmıştır. Ancak pişme suyuna tuz ilave edilmesi durumunda güç kaynağının kapasitesinin aşılması nedeniyle tuz ilavesinden vazgeçilmiş olup, iyon

konsantrasyonu hazır suya göre daha yüksek olan ve ev/işletmelerde pişirme amacıyla tercih edilen içme kalitesinde şebeke suyu makarnaların pişirilmesi amacıyla doğrudan kullanılmıştır.

Bilindiği üzere makarnaların geleneksel pişirme yöntemine göre pişirme esnasında karışıma belirli miktarda tuzun yanı sıra makarna tanelerinin birbirine yapışmaması için az miktarda yağ eklenebilmektedir. Ancak literatür araştırmasında, ohmik ısıtma yönteminde bazı gıda materyalleri üzerinde gerçekleştirilen denemelerde yağ içeriği arttıkça elektriksel iletkenlik katsayısının düştüğü belirlenmiştir (Sarang vd., 2008, Jittanita vd., 2017). Çünkü kimyasal yapıları nedeniyle yağların elektriksel iletkenliği oldukça düşüktür (Icier ve Tavman, 2006). Bu sebeple ohmik ısıtma işleminde pişirme suyuna yağ ilave edilmemiştir. Gerçekçi bir kıyaslama sağlayabilmek amacıyla geleneksel pişirme işleminde de yağ kullanılmamıştır.

3.2.3. Ohmik ısıtma esnasında makarnaların şişme davranışları

Makarnaların haşlanması esnasında meydana gelen hacim artışı kamera ile kaydedilmiş ve ortalama makarna yüksekliği istenen zaman aralıklarında hesaplanarak edilmiştir. ImageJ (1.52a, National Institutes of Health, ABD) kullanılmıştır. Her bir görüntü için 5 farklı noktadan yükseklik hesaplanarak bu değerlerin ortalaması değerlendirmeye alınmıştır. Makarna seviyesinde meydana gelen yükselme (β) aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır (Kanjapongkul, 2017).

$$\beta(T) = \frac{H_s(T)}{H_{s0}} \quad (3.1)$$

Söz konusu eşitlikte H_s (cm) ve H_{s0} (cm) pişirilen makarnaların sırasıyla ısıtma sonrası ve öncesi yüksekliklerini ifade etmektedir.

3.2.4. Karışımın elektriksel iletkenliğinin belirlenmesi

Makarna-su karışımı oda sıcaklığından, kaynama sıcaklığına sabit elektrik alanı altında ısıtılmıştır. Karışımın elektriksel iletkenliği ve suyun elektriksel iletkenliği ($\sigma_{\text{karışım}}$) Eşitlik 3.2 yardımıyla hesaplanmıştır (Kanjapongkul, 2017).

$$\sigma_{karışım} = \frac{I L}{V W H} \quad (3.2)$$

Söz konusu eşitlikte I ve V değeri sırasıyla elektik akımı ve voltajını; L (10 cm), W (10 cm) ve H (6 cm) ise sırasıyla elektrotlar arasındaki mesafeyi, genişliği ve yüksekliği ifade etmektedir.

3.2.5. Elektriksel iletkenlik hesabı için eşdeğer elektriksel model

Söz konusu modelin geliştirilebilmesi için öncelikle sistemin geometrisinin tanımlanmıştır. Pişirme esnasında yoğunluğu sudan daha yüksek olan makarnaların ohmik hücrenin alt kısmında birikmiştir. Ohmik hücrenin üst kısmında kalan su ve alt kısımdaki makarna su karışımındaki bileşenlerin ayrı ayrı alanları hesaplanmıştır. Makarna ve suyun olduğu kısımda su:makarna oranının (1:1, g/mL) olduğu kabul edilmiştir ($A_{I-üst}$, A_s , A_{I-alt} sırasıyla sadece suyun, makarnanın ve karışım kısmındaki makarna ile suyun kapladığı kesit alanını ifade etmektedir) (Şekil 3.2).

Bahsedildiği gibi sistem alt ve üst kısımdan oluşmaktadır (Şekil 3.2). Alt kısımda bulunan her bir makarna tanesi veya su bir elektrottan diğerine bağlı bulunmaktadır. Bu durumda, eşdeğer elektrik alanının tanımlanmasında paralel akım modelinin sisteme uygun olacağı düşünülmüştür (Kanjapongkul, 2017). Bu bağlamda sistemde üç farklı direnç bulunmaktadır ($R_{I-üst}$, R_s , R_{I-alt}).

Söz konusu dirençler paralel akım modeline göre aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

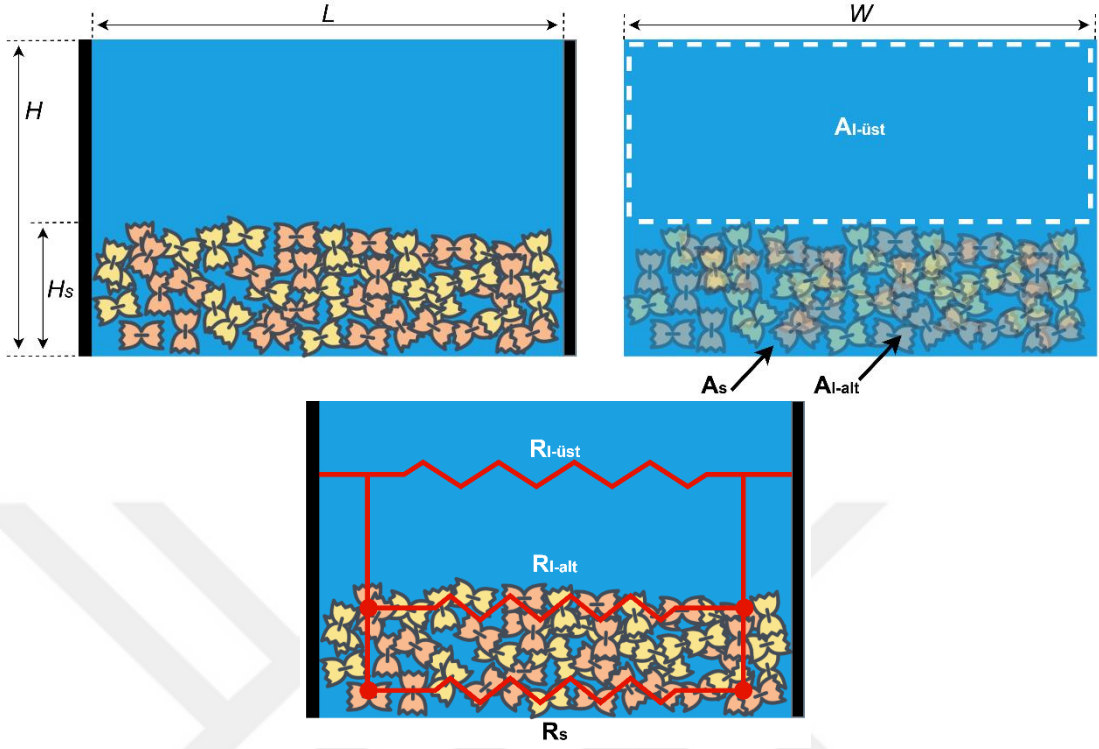
$$\frac{1}{\Sigma R_s} = \frac{1}{R_{I-üst}} + \frac{1}{R_{I-alt}} + \frac{1}{R_s} \quad (3.3)$$

$$\frac{1}{\Sigma R_s} = \sigma_{karışım} \left(\frac{H W}{L} \right) \quad (3.4)$$

$$\frac{1}{R_{I-üst}} = \frac{\sigma_I (H - H_s) W}{L} \quad (3.5)$$

$$\frac{1}{R_{I-alt}} = \left(\frac{A_{I-alt}}{A_s + A_{I-alt}} \right) \frac{\sigma_I H_s W}{L} \quad (3.6)$$

$$\frac{1}{R_s} = \left(\frac{A_s}{A_s + A_{I-alt}} \right) \frac{\sigma_s H_s W}{L} \quad (3.7)$$



Şekil 3.2. Ohmik hücre ve paralel direnç modelinin şematik gösterimi

Burada R_s , $R_{I-üst}$, R_{I-alt} , R_s terimleri sırasıyla tüm karışımı, sadece su (üst faz), alt katmandaki su ve alt katmandaki makarna dirençlerini ifade ederken; $\sigma_{karışım}$, σ_I ve σ_s sırasıyla tüm karışım, su ve makarnanın elektriksel iletkenliklerini temsil etmektedir.

Genişleme katsayısı (λ) ise Eşitlik 3.8 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\lambda = \beta \frac{H_{s0}}{H} \quad (3.8)$$

Bu eşitlikte H_{s0} ve H terimleri sırasıyla haşlama öncesi ve sonrasındaki makarna yüksekliğini ifade etmektedir. Verilen eşitlikler yeniden düzenlendiğinde Eşitlik 3.9 elde edilmektedir.

$$\sigma_s = \left(\frac{A_s + A_{I-alt}}{A_s} \right) \lambda^{-1} \sigma_{karışım} + \left[1 - \left(\frac{A_s + A_{I-alt}}{A_{I-alt}} \right) \right] \lambda^{-1} \sigma_I \quad (3.9)$$

Yukarıda verilen eşitlik kullanılarak makarna örneğinin elektriksel iletkenlik katsayısı hesaplanmıştır. Yine aynı eşitlik düzenlenerek tüm karışıma ait elektriksel iletkenlik katsayısı değerleri tahmin edilmiş olup, böylece modelin validasyonu sağlanmıştır (Kanjapongkul, 2017).

3.2.6. Model validasyonu

Kullanılan modelin doğruluğunun test edilmesi amacıyla daha önce belirtilen makarna:su karışım oranı (1:10, g/mL) dışında farklı bir karışım oranı (1:5, g/mL) seçilmiştir. Karışım oranı seçilirken, makarna oranının azaltılıp su oranının artırılması ortamın elektriksel özelliklerini etkilemeyeceği ve elde edilen modelin test edilemeyeceği düşünülmüştür. Bu yüzden diğer ihtimal olan makarna oranının artırılıp su oranı azaltılmıştır. Seçilen oranda (1:5, g/mL) hesaplanan ve ölçülen elektriksel iletkenlik değerleri birbirileri ile karşılaştırılmıştır. 4 farklı voltaj gradiyeni için (10, 20, 30 ve 40 V/cm) deneyler tekrarlanmıştır. Hesaplamalar yapılırken Bölüm 3.2.1’de bahsedildiği üzere ohmik sistemin paralel bağlı devre olduğu kabul edilerek yapılmıştır (Kanjapongkul, 2017). Karışımın deneysel elektriksel iletkenlik katsayı değerleri Eşitlik 3.2 ile hesaplanırken; validasyon için karışımın tahmin edilen elektriksel iletkenlik katsayısı değerleri Eşitlik 3.10 yardımıyla elde edilmiştir.

$$\sigma_{tahmin} = \frac{\lambda \sigma_s}{2} - \left(\frac{\lambda}{2} - 1\right) \sigma_l \quad (3.10)$$

Hesaplamaların ardından bulunan model verileri (elektriksel iletkenlik) ile gerçek değerler kıyaslanmıştır.

3.2.7. Enerji tüketiminin hesaplanması

Piştirme işlemleri için harcanan toplam enerji (Q), ohmik ısıtıcının anlık gücü (P) ve ohmik ısıtıcının ortalama gücü (P_{ort}) aşağıdaki eşitlikler kullanılarak hesaplanmıştır (Kanjapongkul, 2017).

$$P = VI \quad (3.11)$$

$$Q = \int P dt \quad (3.12)$$

$$P_{ort} = \frac{Q}{t} \quad (3.13)$$

Geleneksel haşlama işlemi için kullanılmış olan elektrikli ısıtıcı sabit güçte (1100 W) çalıştırılmış olup, cihazın açık kaldığı süreler kaydedilerek harcanan enerji miktarı hesaplanmıştır. Her bir pişirme yöntemi için tüketilen toplam enerji miktarı hesaplanarak birbirileri ile karşılaştırılmıştır.

3.2.8. Nem tayini

Nem tayini için standart gravimetrik yöntem kullanılmıştır. Bu amaçla örnekler hassas terazi ile 1/1000 g hassasiyette tartılmış, önceden sabit tartıma getirilmiş ve soğutulmuş kurutma kaplarına konulmuştur. Kaplar kurutma fırınına yerleştirilerek, sabit tartıma gelene kadar kurutulmuştur. Örneklerin nem miktarları kuru madde üzerinden verilmiştir (Horwitz ve Latimer, 2005).

3.2.9. Kül tayini

Örneklerin kül tayini AOAC (2000) tarafından tavsiye edilen yöntemle göre gerçekleştirilmiştir. Buna göre 1-2 g arasında örnek tartılarak daha önceden sabit tartıma getirilmiş kül krezelerine konup örneğin, tamamı yanana kadar 600°C sıcaklığında kül fırınında bekletilmiştir. Ardından krezeler tekrar sabit tartıma getirilerek sonuçlar g kül/100 g kuru madde cinsinden ifade edilmiştir.

3.2.10. Tekstür analizi

İşlem görmüş örneklerin tekstür analizlerinde AACC (2000) tarafından önerilen yöntem kullanılmıştır. Ölçümler tekstür analiz cihazı (TA-XT Plus, Texture Stable Micro Systems, İNGİLTERE) ile yapılmıştır. Sıkılık (N) ve kesme kuvveti (N) tayin amacıyla, yan yana dizilmiş 5 adet örneğin Perspex bıçak kullanılarak kesilebilmesi için gerekli olan kuvvet belirlenmiştir. Prob hızı 1.00 mm/s hızı ve kesme derinliği dilim

kalınlığının %75'ine denk gelecek şekilde uygulanmıştır. Ölçüm, makarnalar süzdürülüp 30 saniye soğumaya bırakılmasının ardından dört tekrarlı gerçekleştirilmiştir.

3.2.11. Renk tayini

Makarna örneklerinin rengini belirlemek amacıyla taşınabilir renk ölçüm cihazı (NH310, Shenzhen 3NH Technology, ÇİN) kullanılarak belirlenmiştir. Analizlerde CIE Renk Skalası (L^* , a^* , b^*) kullanılmıştır. Renk düzleminde L^* örneğin aydınlık ya da karanlık yoğunluğunu; a^* , kırmızı (+ a) ya da yeşil (- a) renk yoğunluğunu; b^* , sarı (- b) ya da mavi (- b) renk yoğunluğunu göstermektedir. Ölçümler her bir yöntem için 4 tekrarlı olacak şekilde yapılmıştır. Aynı zamanda örneklerin doygunluk (C^*), toplam renk değişimi (ΔE) ve Hue (h°) değerleri de hesaplanmıştır. C^* , ΔE ve h° değerlerinin hesaplanmasında aşağıda verilen eşitlikler kullanılmıştır. Toplam renk değişimi (ΔE) ohmik yöntemle pişirilen örneklerde hesaplanmış olup referans olarak geleneksel yöntemle pişirilmiş makarnaların renk değerleri alınmıştır.

$$C^* = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \quad (3.14)$$

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (3.15)$$

$$h^\circ = \arctan\left(\frac{b^*}{a^*}\right) \quad (3.16)$$

3.2.12. Nişasta jelatinizasyonunun belirlenmesi

İşlem görmüş makarnalarda bulunan nişastanın jelatinizasyon düzeyinin belirlenmesinde (Wootton vd., 1971) tarafından tavsiye edilen ve (Dalla Rosa vd., 1989) tarafından modifiye edilen kolorimetrik yöntem kullanılmıştır. Buna göre her makarna örneğinden 2 g olmak üzere ikişer numune (A ve B) alınmıştır. A numunesi 100 mL saf su içerisinde 1 dk homojenize edilmiştir. Ardından 2594xg devir hızında santrifüjlenmiştir. Üst fazdan 1 mL alınarak, saf su ile 10 mL hacme seyreltilmiştir. Üzerine 0.1 mL iyot çözeltisi (100 mL saf su içerisinde 4 g potasyum iyodür ve 1 g iyot) ilave edilmiştir. Karışımın absorbans değeri 600 nm dalga boyundaki

spektrofotometrede okunmuştur. B numunesi ise nişastanın tam jelatinizasyonunu sağlamak amacıyla 135°C sıcaklıkta otoklavda bir saat bekletilmiş ve aynı işlemler onun içinde tekrar edilmiştir. Örneklerin jelatinizasyon derecesi % olarak Eşitlik 3.17 yardımıyla hesaplanmıştır.

$$\text{Jelatinizasyon derecesi (\%)} = \left(\frac{A_A}{A_B} \right) 100 \quad (3.17)$$

A_A ve A_B değerleri sırasıyla A ve B numuneleri için elde edilen absorbans değerlerinin ifade etmektedir.

3.2.13. Su absorpsiyonu

İşlem görmüş makarna örneklerinin pişirme kaybı değerleri Cocci vd. (2008) tarafından tavsiye edilen yöntem modifiye edilerek belirlenmiştir. Pişmiş makarna örnekleri pişirme ortamında alınarak fazla suyun uzaklaşması için 30 saniye boyunca uygun ekipman içerisinde bekletilmiştir. Ardından tartım alınmıştır (S_2). Su absorpsiyon değeri, pişirme önce tartım (S_1) hesaplamaya dahil edilerek % değeri ile ifade edilmiştir.

$$\text{Su Absorpsiyonu (\%)} = \left(\frac{S_2}{S_1} \right) 100 \quad (3.18)$$

3.2.14. Pişirme kaybı

İşlem görmüş makarna örneklerinin pişirme kaybı değerleri Cocci vd. (2008) tarafından önerilen yöntem modifiye edilerek belirlenmiştir. Makarnaların pişirme suyundan 3 g örnek alınarak 105°C sıcaklığında mevcut suyun uzaklaştırılması sağlanmıştır. Örnekler sabit ağırlığa geldikten sonraki tartımları alınarak, pişirme kaybı pişirme suyunda bulunan % kuru madde cinsinden ifade edilmiştir.

3.2.15. Hacim artışı

İşlem görmüş örneklerin hacim artışı, işlem görmemiş halde bulunan kuru makarna ile kıyaslanarak Eşitlik 3.19 yardımıyla hesaplanmıştır (Bhattacharya, 1995).

$$\text{Hacim artışı (\%)} = \left(\frac{V_2 - V_1}{V_1} \right) 100 \quad (3.19)$$

Eşitlikte yer alan V_2 değeri haşlanmış makarna örneklerinin hacmini; V_1 değeri işlem görmemiş kuru makarna örneklerinin hacmini ifade etmektedir.

3.2.16. Duyusal analiz

Geleneksel yöntemle ve ohmik ısıtma ile pişirilen makarnaların bazı duyusal özelliklerinin kıyaslanması hedeflenmiştir. Bu amaçla örneklerin şekil (dağılma), sarı renk yoğunluğu, yapışkanlık, sertlik, yumuşaklık, çiğnenebilirlik, pişme homojenitesi, makarna lezzeti ve genel beğeni düzeyi parametreleri incelenmiştir. Duyusal analiz işlemi 11 kişiden oluşan yarı-eğitilmiş panelist grubu tarafından gerçekleştirilmiş olup katılımcılara panel öncesinde makarna ve değerlendirmeleri gereken kriterler hakkında ön bilgi verilmiştir. Ohmik ısıtma yöntemi ve geleneksel yöntemle pişirilmiş örnekler numerik olarak üç rakamdan oluşacak şekilde rastgele kodlanmış ve tabaklara rastgele olacak şekilde yerleştirilmiştir. Örnekler bir odada uygun masa düzeninde tuzsuz kraker ve su ile birlikte sunulmuş ve panelistler örnekleri ayrı ayrı değerlendirmiştir. Bu doğrultuda duyusal analiz formunda yer alan kriterler;

- Şekil (dağılma): makarna bütünlüğünün korunduğunu,
- Sarı renk yoğunluğu, makarnanın renk bozulmasını,
- Yapışkanlık: pişmiş makarna yüzeyinin dil, diş, damak veya ellere yapışma durumunu,
- Sertlik: makarnayı ısırma için gerekli kuvveti,
- Yumuşaklık: jelatinizasyonun iyi derece olduğunu,
- Çiğnenebilirlik: Yeterli pişen makarna kolayca çiğnenebilmesini
- Pişme Homojenitesi: Yeterince jelatinize olan makarna içerisinde sert kısım olmaması gerektiğini
- Lezzet: Makarnanın ağza alınmasından itibaren uçucu bileşiklerin koklama yoluyla algılanması, ağızda çözünen maddelerin tatma yoluyla algılanması ve kimyasal algı-ağız ve geniz boşluğundaki sinirlerin uyarılması ile algılanan hissi,

- Genel Beğeni Düzeyi: Genel olarak makarnanın fiziksel açıdan değerlendirilmesini ifade etmektedir.

Panelist grubunu Süleyman Demirel Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümü akademisyenleri ve lisansüstü öğrencilerinden oluşmuştur. Değerlendirme için 5 puanlık skala kullanılmış olup, “1” her kriter için en kötü seviyeyi ve “5” her kriter için en iyi seviyeyi temsil etmektedir.

3.2.17. Taramalı elektron mikroskobu

İşlem görmüş makarna örnekleri ve pişmemiş makarna örneklerinin yüzey morfolojileri taramalı elektron mikroskobu ile incelenmiştir (Fei Quanta FEG 250, ÇEK CUMHURİYETİ). 1.4 nm çözünürlüğe kadar duyarlı olan cihaz $14 \cdot 10^6 \times$ büyütme yapabilmektedir. Gaseous ESEM (GSED) dedektörüne sahip olduğundan biyolojik numuneler gibi nemli örneklerde iletken kaplama yapılmadan inceleme yapılabilmektedir. Bu özelliği sayesinde makarna örneklerine herhangi bir ön işlem uygulanmadan belirtilen cihazdan görüntü alınmıştır.

3.2.18. İstatistiksel analiz

Analizlerden elde edilen sonuçların kıyaslanması amacıyla Minitab 17 istatistik paket programı kullanılmıştır. Elde edilen sonuçların ortalamaları arasındaki farklılıklar Tukey çoklu karşılaştırma testi ile tespit edilmiştir ($p \leq 0.05$). Sonuçlar “ortalama $\pm$ ortalamanın standart hatası” şeklinde ifade edilmiştir. Ayrıca PCORD (6.08, MjM Yazılım, ABD) yazılımı yardımı ile temel bileşenler analizi uygulanmış ve birden fazla değişkenin örneklerin birbiri ile olan farklılıklarına etkisi incelenmiştir (Gülsoy, 2017).

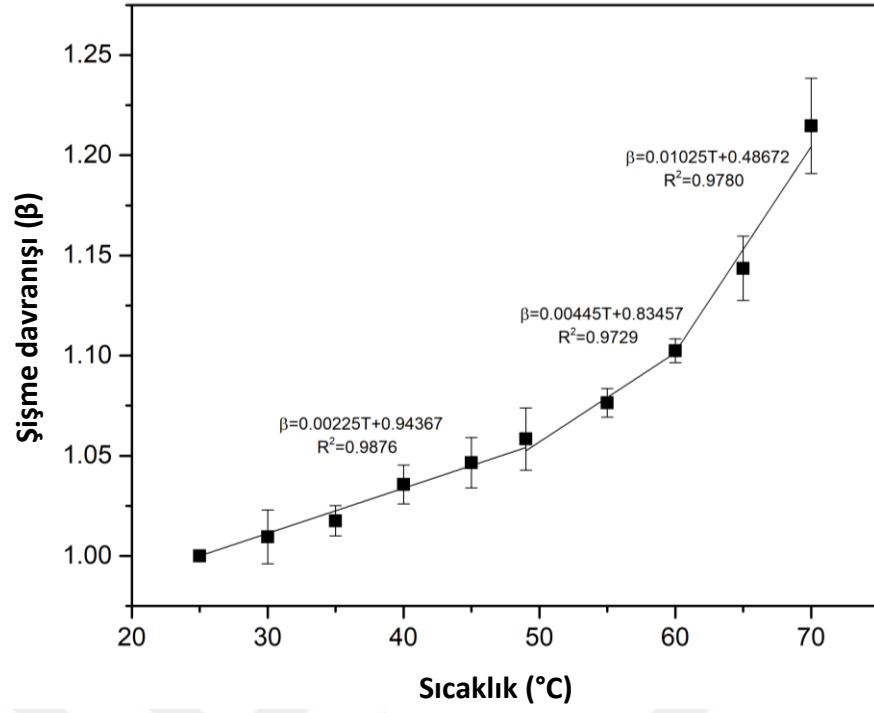
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Söz konusu çalışmada makarnaların pişirilmesinde ohmik ısıtma yönteminin kullanılabilirliği araştırılmış, makarnaların elektriksel iletkenliği ve bazı kalite özellikleri belirlenmiştir. Bu doğrultuda makarna örnekleri hem geleneksel yöntemle hem de ohmik ısıtma ile pişirilmiş olup, ohmik ısıtma yönteminin makarnaların pişme süresi, enerji sarfıyatı, pişme kaybı, hacim artışı, kül, nem, su absorpsiyonu, nişasta jelatinizasyonu, tekstürel, yapısal ve duyuşsal özellikleri üzerine etkileri araştırılmıştır. Gerçekleştirilen ön denemeler esnasında Isparta’da, şebeke suyunun kaynama sıcaklığı yaklaşık 95°C olarak belirlenmiştir. Bu nedenle geleneksel ısıtma işlemi ile aynı sıcaklık değerinde pişirme işlemi gerçekleştirmek amacıyla ohmik sistem, pişirme ortamı sıcaklığı söz konusu dereceye gelince kapanacak şekilde aç/kapa (on/off) sistemi ile kontrol edilmiştir. Ayrıca şebekeden farklı zamanlarda alınan sularda ortaya çıkması muhtemel bileşim farklılıklarının çalışmayı olumsuz etkilemesini önlemek amacıyla, tüm denemelerde daha önceden tek seferde elde edilen, uygun şartlarda depolanmış su kullanılmıştır. Hem geleneksel hem de ohmik ısıtma ile gerçekleştirilen pişirme işlemlerinde 1:10 (g/mL) oranında makarna:su oranı sağlanmıştır. Ohmik pişirme esnasında 4 farklı voltaj gradiyeni (10, 20, 30 ve 40 V/cm) uygulanmıştır.

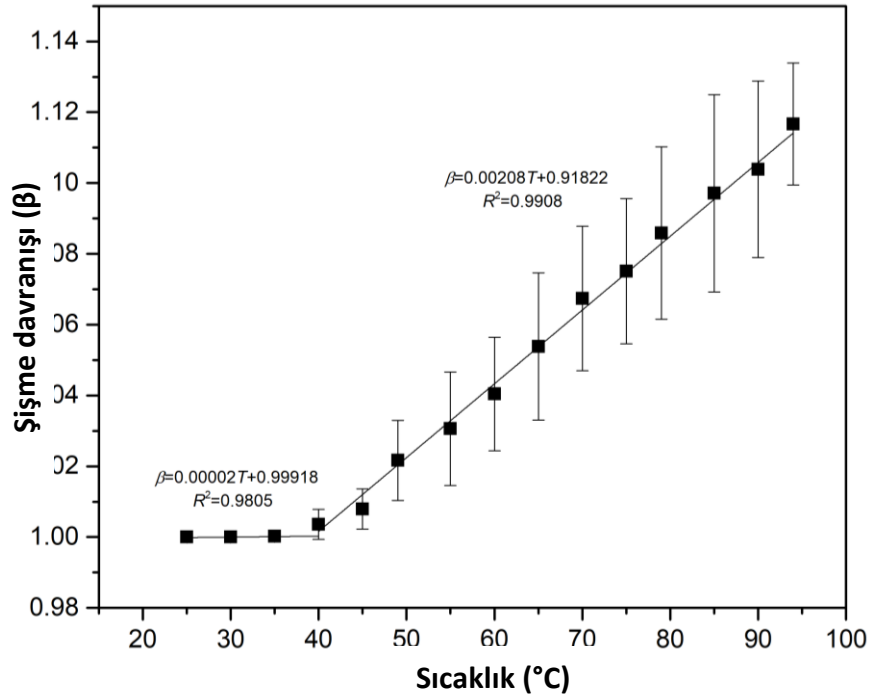
4.1. Makarnanın Şişme Davranışı

Geleneksel ve ohmik yöntemle pişirilen makarna örneklerin şişme davranışları (β) Şekil 4.1 (10 V/cm), Şekil 4.2 (20 V/cm), Şekil 4.3 (30 V/cm), Şekil 4.4’te (40 V/cm) sunulmuştur. Ayrıca Şekil 4.5’te 30 V/cm gradiyeninde ohmik pişirilme öncesi ve sonrasına ait fotoğraflar yer almaktadır. Pişme esnasında suyun makarna tanelerine difüzyonu gerçekleşmiş ve makarna hacminde artış meydana gelmiştir.

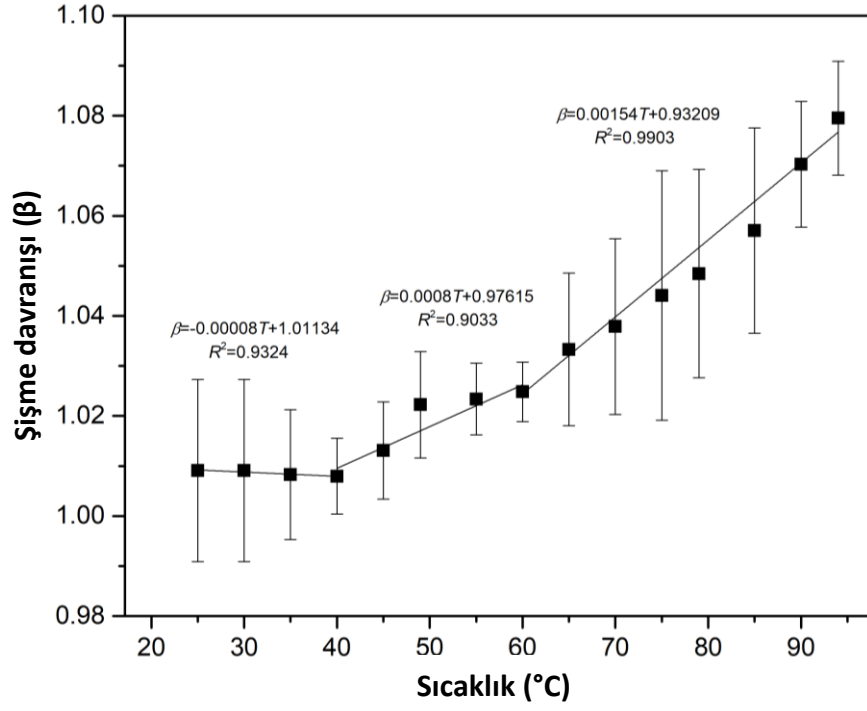
Sonuçlar incelendiğinde, makarnalarda meydana gelen şişme davranışının pişme süresi ilerledikçe pişme ortamının sıcaklığının artması ile birlikte hız kazandığı görülmektedir. Makarnaların şişme eğilimlerinin sıcaklığa göre değişimini ifade eden eşitlikler, deneysel veriler kullanılarak elde edilen doğrusal modellerle ifade edilmiştir (Çizelge 4.1).



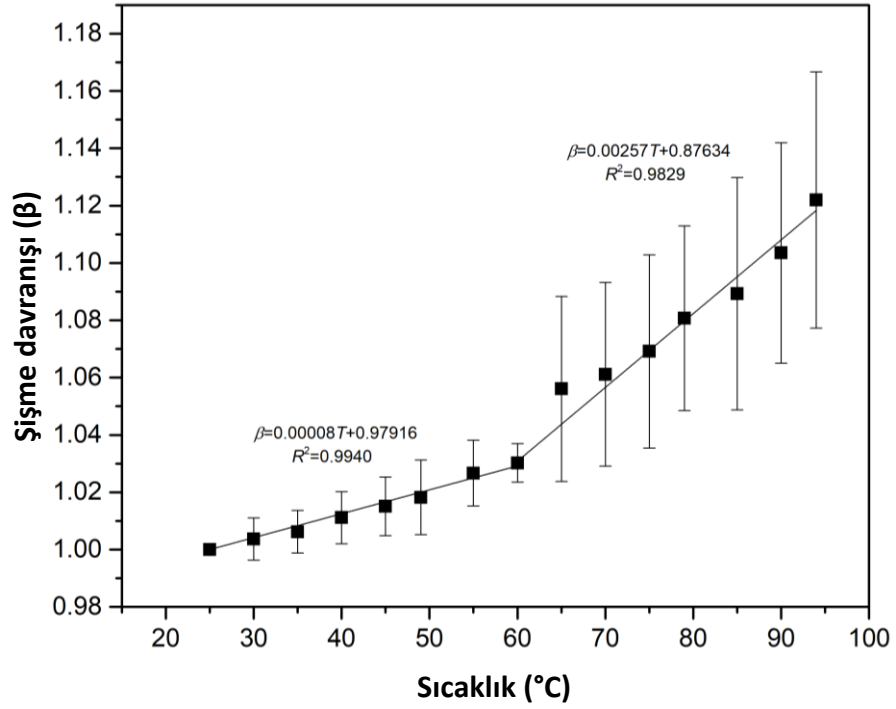
Şekil 4.1. 10 V/cm gradiyeninde makarnanın şişme davranışı



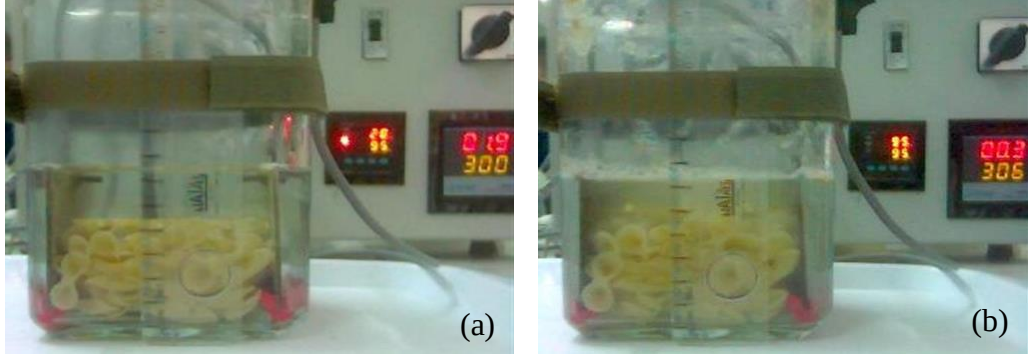
Şekil 4.2. 20 V/cm gradiyeninde makarnanın şişme davranışı



Şekil 4.3. 30 V/cm gradiyeninde makarnanın şişme davranışı



Şekil 4.4. 40 V/cm gradiyeninde makarnanın şişme davranışı



Şekil 4.5. 30 V/cm gradiyeninde makarnalarının pişme öncesi (a) ve sonrası (b) fotoğrafları

Çizelge 4.1. Dört farklı voltaj gradiyeninde makarna örneklerinin sıcaklığa göre şişme davranışları ve şişme davranışlarını tanımlayan eşitlikler

Voltaj Gradiyeni (V/cm)	Sıcaklık Aralığı	Eşitlik
10 V/cm	$25^{\circ}\text{C} \leq T \leq 50^{\circ}\text{C}$	$\beta = 0.00225T + 0.94367$ (4.1)
	$51^{\circ}\text{C} \leq T \leq 62^{\circ}\text{C}$	$\beta = 0.00445T + 0.83457$ (4.2)
	$63^{\circ}\text{C} \leq T \leq 71^{\circ}\text{C}$	$\beta = 0.01025T + 0.48672$ (4.3)
20 V/cm	$25^{\circ}\text{C} \leq T \leq 40^{\circ}\text{C}$	$\beta = 0.00002T + 0.99918$ (4.4)
	$41^{\circ}\text{C} \leq T \leq 97^{\circ}\text{C}$	$\beta = 0.00208T + 0.91822$ (4.5)
30 V/cm	$25^{\circ}\text{C} \leq T \leq 40^{\circ}\text{C}$	$\beta = -0.00008T + 1.01134$ (4.6)
	$41^{\circ}\text{C} \leq T \leq 60^{\circ}\text{C}$	$\beta = 0.0008T + 0.97615$ (4.7)
	$61^{\circ}\text{C} \leq T \leq 97^{\circ}\text{C}$	$\beta = 0.00154T + 0.93209$ (4.8)
40 V/cm	$25^{\circ}\text{C} \leq T \leq 60^{\circ}\text{C}$	$\beta = 0.00008T + 0.97916$ (4.9)
	$61^{\circ}\text{C} \leq T \leq 97^{\circ}\text{C}$	$\beta = 0.00257T + 0.87634$ (4.10)

Tüm voltaj gradiyenleri için, özellikle yaklaşık 61°C sıcaklıktan sonra makarna örneklerinde daha hızlı bir hacim artışı ortaya çıkmıştır. Belirli bir sıcaklıktan sonra şişme davranışının daha hızlı olması makarnanın ihtiva ettiği nişastanın kristalize yapısındaki hidrojen bağlarının kırılmasının ardından jelatinizasyona uğraması sonucu nişasta hacminin hızlı şekilde artmasına bağlanmaktadır (Kanjapongkul, 2017). Li vd. (2004), ohmik ısıtmada nişasta jelatinizasyon sıcaklığının araştırıldığı çalışmada, jelatinizasyonun 62°C 'de başladığını ve 70°C 'den sonra ise jelatinizasyonun hızlandığını belirtmiştir (An ve King, 2007). Grafiklerde görüldüğü üzere örneklerin şişme davranışı, nişastanın jelatinizasyon sıcaklık derecesinin altında da sıcaklık artışı haliyle zamanla birlikte giderek hızlanmaktadır.

4.2. Pişme Süresi ve Elektriksel İletkenlik

4.2.1. Pişme süresi

Geleneksel yöntemle ve farklı elektrik alan uygulanarak pişirilen makarnaların optimum pişme süreleri ve geleneksel yöntemle göre pişme süresinde ne kadar azalma tespit edildiği Çizelge 4.2’de sunulmuştur.

Çizelge 4.2. Makarna örneklerinin geleneksel yöntem ve 4 farklı voltajda ohmik pişme süreleri ve geleneksel yöntemle göre süre kazancı (%)

	Geleneksel	10 V/cm	20 V/cm	30 V/cm	40 V/cm
Piştirme Süresi (dk)	39	37	21	15	12
Süre Kazancı (%)	-	5.13	43.59	61.54	69.23
- Süre kazancı (%), ohmik ısıtma ile piştirme süresinin geleneksel pişirmeye kıyasla ne kadar kısaldığını ifade etmektedir.					

Hem geleneksel hem de ohmik ısıtma ile piştirme için optimum piştirme süresi ön denemelerle ile belirlenmiş olup, takip eden denemeler optimum piştirme süreleri boyunca (10, 20, 30, 40 V/cm için sırasıyla 37, 21, 15 ve 12 dakika) gerçekleştirilmiştir. Ayrıca her bir deneme için belirtilen süre sonunda makarnaların arzu edilen şekilde pişip pişmediği ayrıca teyit edilmiştir. Geleneksel yöntemle gerçekleştirilen denemelerde makarna, piştirme suyu kaynama sıcaklığına (yaklaşık 95°C) yükselir yükselmez eklenerek piştirme süresi başlatılmıştır. Piştirme suyunun kaynaması farklı denemeler sonucunda 29-30 dk aralığında bulunmuştur. Burada piştirme süresi daha önce de belirtildiği üzere, üretici firma tarafından tavsiye edilen ve doğruluğu ön denemelerle de teyit edilen süre (10 dakika) kabul edilmiştir. Yani kontrol grubu olan geleneksel yöntemde suyun kaynama süresi 30 dk makarnanın piştirme süresi 10 dk olmak üzere toplam 40 dk olarak tespit edilmiştir. Ohmik ısıtma ile gerçekleştirilen piştirme işlemlerinde ise piştirme suyu sıcaklığının, özellikle yüksek voltaj değerlerinde, çok hızlı şekilde kaynama derecesine eriştiği gözlemlenmiştir. Bu nedenle ohmik haşlamada piştirme suyunun ısınması beklenmeden, oda sıcaklığında piştirme suyuna işlem başlamadan makarnalar ilave edilmiştir. Bu durumda ohmik ısıtma yönteminin geleneksel yöntemle göre makarnaların pişirilmesi için gereken toplam süreyi önemli ölçüde kısalttığı söylenebilir. Ayrıca ohmik ısıtma ile pişirilen örneklerle

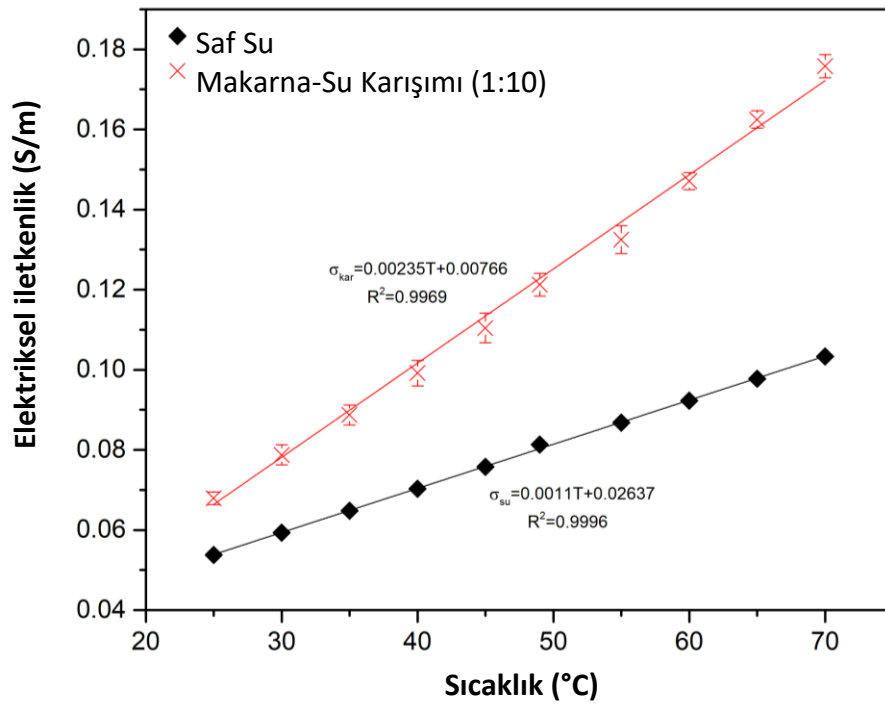
uygulanan voltaj değeri arttıkça, sistemden geçen akım artmış olup, bu durum ohmik yöntemle makarnaların pişme süresini önemli ölçüde kısaltmıştır.

4.2.2. Pişirme suyunun elektriksel iletkenlik katsayısı

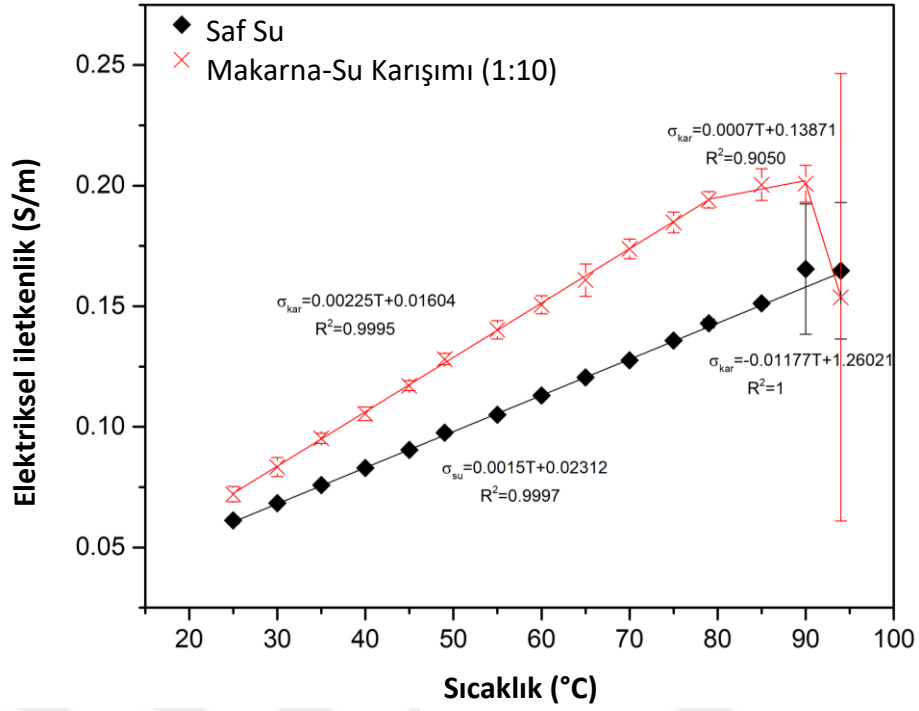
Elektriksel iletkenlik katsayısı kısaca gıdanın elektrik yükünü iletme kabiliyetini ifade etmekte olup ohmik ısıtma işleminin hızı, etkinliği üzerinde oldukça önemli bir parametredir. Bu nedenle ohmik ısıtma uygulanan gıdaların ısınma oranını ve hızını etkileyen elektriksel iletkenliğin belirlenmesi çoğu çalışmada esas amacı teşkil etmektedir (Palaniappan ve Sastry, 1991, An ve King, 2007, Akkara ve Kayaardı, 2014). Elektriksel iletkenliği düşük olan bir madde yavaş ısınırken, iletkenliği yüksek olan maddenin sıcaklığı güçlü bir elektrik alan uygulandığında daha hızlı yükselmekte ve pişme süresi kısalmaktadır. Ayrıca gıdaların elektriksel iletkenlik değerleri genellikle artan sıcaklıkla yükseliş göstermektedir (Jittanita vd., 2017). Aynı şekilde, sabit voltaj değeri altında ohmik ısıtma yöntemi uygulandığında zamana bağlı olarak ya da diğer bir ifade ile sıcaklık artışı ile ortamdan geçen akım değerinin yükseldiği ve sıcaklık artışının da bu nedenle hızlandığı belirtilmiştir (Piette vd., 2004). Çalışmamızda sabit voltaj değerleri (10, 20, 30 ve 40 V/cm) uygulanmış olup, ohmik ısıtma neticesinde oraya çıkan sıcaklık artışıyla birlikte hem elektriksel iletkenlik değerlerinin hem de ortamdan geçen akımın arttığı bunun sonucu olarak sıcaklık artışının da hız kazandığı tespit edilmiştir (Şekil 4.6-4.9). Sıcaklık ile elektriksel iletkenlik arasında doğrusal bir ilişki bulunmaktadır (İcier, 2005). Araştırmamızdan elde edilen suyun elektriksel iletkenlik katsayılarına bakıldığında; 10 ve 20 V/cm için sıcaklıkla birlikte doğrusal bir artış görülmektedir (Şekil 4.6 ve 4.7). 10 V/cm gradyaninde değerler 0.055-0.105 S/m, 20 V/cm gradyaninde 0.0525-0.1483 S/m arasında bulunmuştur. 30 ve 40 V/cm gradyanlerinde ise 3 kademeli bir davranış görülmektedir. 30 V/cm değeri için 25-65°C, 65-77°C, 77-95°C sıcaklık aralıklarında; 40 V/cm değeri için de 25-60°C, 60-80°C, 80-95°C sıcaklık aralıklarında 3 faz olduğu açıkça görülmektedir (Şekil 4.8 ve 4.9). Elektriksel iletkenlik değerleri 30 V/cm için 0.0594-0.1510 S/m, 40 V/cm için 0.0592-0.1417 S/m arasında bulunmuştur.

Çizelge 4.3. Voltaj gradienlerine göre saf suyun elektriksel iletkenlik değeri

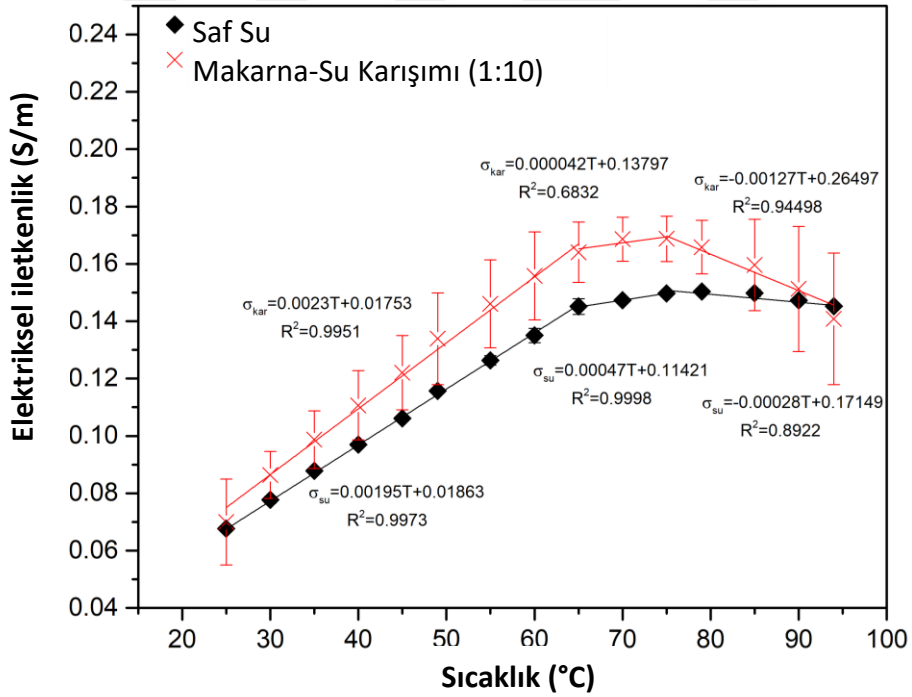
Voltaj Gradiyeni (V/cm)	Sıcaklık Aralığı	Eşitlik
10 V/cm	25°C≤T≤70°C	$\sigma = 0.0011T + 0.02637$ (4.11)
20 V/cm	25°C≤T≤97°C	$\sigma = 0.0015T + 0.02312$ (4.12)
	25°C≤T≤65°C	$\sigma = 0.00195T + 0.01863$ (4.13)
30 V/cm	66°C≤T≤80°C	$\sigma = 0.0004T + 0.11421$ (4.14)
	81°C≤T≤97°C	$\sigma = -0.00028T + 0.17149$ (4.15)
	25°C≤T≤60°C	$\sigma = 0.00202T + 0.0171$ (4.16)
40 V/cm	61°C≤T≤80°C	$\sigma = 0.00037T + 0.11168$ (4.17)
	81°C≤T≤97°C	$\sigma = -0.00083T + 0.2074$ (4.18)



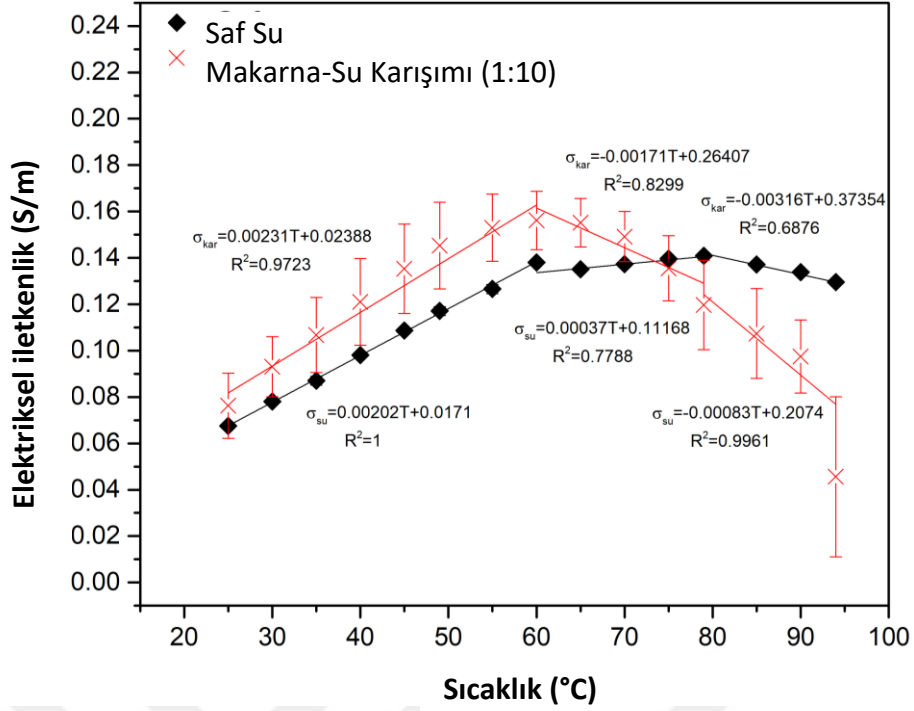
Şekil 4.6. 10 V/cm voltaj gradieninde su ve makarna-su karışımının sıcaklığa bağlı elektriksel iletkenlik katsayı değeri



Şekil 4.7. 20 V/cm voltaj gradiyeninde su ve makarna-su karışımının sıcaklığa bağlı elektriksel iletkenlik katsayı değerleri



Şekil 4.8. 30 V/cm voltaj gradiyeninde su ve makarna-su karışımının sıcaklığa bağlı elektriksel iletkenlik katsayıları değerleri

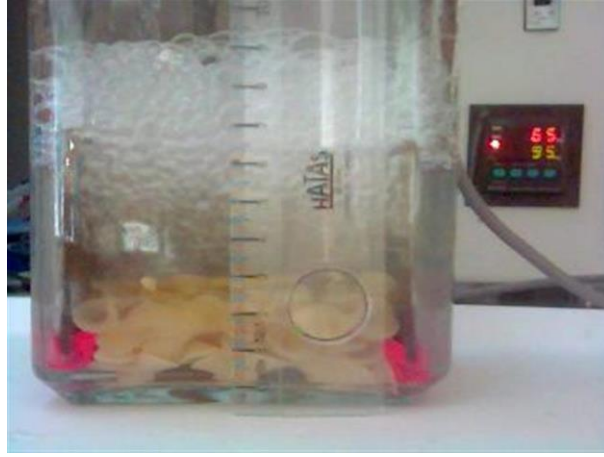


Şekil 4.9. 40 V/cm voltaj gradyaninde su ve makarna-su karışımının sıcaklığa bağlı elektriksel iletkenlik katsayıları değerleri

4.2.3. Su-makarna karışımının elektriksel iletkenlik katsayısı

Katı partiküller ve sıvı kısımdan oluşan iki fazlı karışım gıdaların ohmik ısıtma yönteminde tek katı ya da tek sıvı gıdalara kıyasla daha iyi sonuç verdiği belirtilmektedir (Sastry vd., 2014). Ohmik ısıtmanın katı-sıvı karışımının sıcaklık artışı üzerine olan etkinliğini bilmek ve ürün güvenliğini sağlamak (heterojen yapı nedeniyle arzu edilen sıcaklığına erişemeyen noktaların kalmaması) için katı ve sıvı fazların elektriksel özelliklerinin bilinmesi gerekmektedir. Dolayısıyla daha önce de ifade edildiği üzere karışımın elektriksel iletkenlik katsayısının bilinmesi gerekmektedir. Ancak bu sayede ohmik ısıtma işleminin etkinliği hakkında fikir sahibi olunabilir. Karışımın elektriksel iletkenliği katı ve sıvı fazın elektriksel iletkenliğiyle bağlantılıdır. Bunun dışında karışımı meydana getiren her bir fazın hacmi, büyüklüğü ve şekli, katı fazın sıvı fazın içerisindeki kalış süresi tüm sistemin elektriksel iletkenlik katsayısını etkileyen diğer parametrelerdendir (Sastry vd., 2014). Makarna-su karışımının ve çalışmada kullanılan şebeke suyunun elektriksel iletkenlik değerleri farklı elektriksel alanlarda ve sıcaklığa bağlı olarak değişim eğilimleri incelendiğinde sıcaklık artışı ile elektriksel iletkenlik arasında doğrusal bir ilişki gözlenmektedir (Çizelge 4.4). Bu durum karışımın elektriksel iletkenlik katsayısı için özellikle 10

V/cm voltaj gradyeninde açıkça görülmektedir (0.068-0.176 S/m) (Şekil 4.6). Aynı değer 20 V/cm 'de 80°C'ye kadar (0.0721-0.2008 S/m) (Şekil 4.7), 30 V/cm'de 65°C'ye kadar (0.07-0.1688 S/m) (Şekil 4.8), 40 V/cm'de 60°C'ye kadar ancak gözlenebilmiştir (0.0763-0.1561 S/m) (Şekil 4.9). Elektriksel iletkenlik değeri artışı 20 V/cm için 80-90°C sıcaklıkları arasında yavaşlama eğilimine girmiş, 90°C sıcaklıktan sonra ise hızlı bir düşüş göstermiştir (Şekil 4.7). 30 V/cm için 65-77°C arasında benzer bir yavaşlama gözlenirken, 77°C'den sonra hızlı bir düşüş ortaya çıkmıştır (Şekil 4.8). 40 V/cm için ise 60°C sıcaklıktan sonra elektriksel iletkenlik düşmeye başlamış, 80°C'den sonra düşüş hızı artmıştır (Şekil 4.9). Bunun sebebi makarna-su karışımının, uygulanan farklı voltaj gradyenlerinde farklı eşik sıcaklık değerlerini aşmasını takiben pişme suyunda oluşan köpürme ile ortaya çıkan hava kabarcıklarıdır (Castro vd., 2004, Icier ve Tavman, 2006, Darvishi vd., 2012). Ortam sıcaklığının artması ile köpürme devam etmiş, bahsi geçen kabarcıklarının kapladıkları hacim giderek artmıştır. Bu durum sıcaklıkla elektriksel iletkenlik arasındaki doğrusal artışı bozmuş, aksine ortamın elektriksel iletkenlik değeri azalmış ve akım değerlerinde düşüş meydana gelmiştir. Benzer sonuçlar literatürde daha önce de rapor edilmiş olup, ortamdaki hava kabarcıklarının artması ile iletken olmayan gaz baloncuklarından dolayı (elektriksel iletkenliği sıfır varsayılan havadan dolayı), elektriksel iletkenlik değerlerinde düşüş görüldüğü ifade edilmiştir (Castro vd., 2004, Icier ve Tavman, 2006, Darvishi vd., 2012). Baloncuk oluşumu 10 V/cm'de gözlenmezken; 20 V/cm'de 86°C'de, 30 V/cm'de 66°C'de, 40 V/cm'de 59°C'de görülmüştür. Şekil 4.10'da 40 V/cm gradyeninde uygulanan ohmik pişirme esnasında 65°C sıcaklıktaki köpürme açıkça görülmektedir. Ayrıca kabarcık oluşumu ile gözlenen iletkenlik azalışı sadece makarna-su karışımı ortamında değil şebeke suyunun elektriksel iletkenliğinin belirlenmesi için gerçekleştirilen (makarna kullanılmadan) denemelerde de ortaya çıkmıştır. Yani söz konusu köpürmenin makarnaların pişirilmesinde ortaya çıkan köpürme ile bir ilgisinin olmadığı düşünülmektedir. Kısaca uygulanan tüm voltaj gradyenlerinde sıcaklık ve iletkenlik arasında doğrusal bir ilişki gözlenmiş olup, hem şebeke suyu hem de makarna-su karışımında benzer sıcaklıklarda kabarcık oluşumunu takiben gerçekleşerek, pişirme ortamının elektriksel iletkenliğini önemli derecede düşürmüştür.



Şekil 4.10. 40 V/cm voltaj gradyeninde pişme esnasında baloncuk oluşumu

Kabarcık oluşumunun dışında, elektriksel iletkenlik katsayılarının azalması belirtilen sıcaklıklarda makarna örneklerinde meydana gelen nişasta jelatinizasyonun da etkili olduğu düşünülebilir. Çünkü 10 V/cm voltaj gradyeninde muamele edilen örnekler dışında tüm uygulamalarda, nişastanın jelatinizasyon sıcaklığına erişilmesini takiben elektriksel iletkenlik katsayılarında düşme dikkati çekmektedir (Şekil 4.7, 4.8 ve 4.9). Bu durum, benzer çalışmalarla da desteklenmekte ve nişasta jelatinizasyonunun ortalama olarak 65°C’de başlayıp 76°C’de sonlandığı ifade edilerek, bu sıcaklık değerlerinde ortamın elektriksel iletkenliğinin azaldığı belirtilmektedir (Wang ve Sastry, 1997, Li vd., 2004). Örneğin mısır nişastasının ısıtılması esnasında nişasta jelatinizasyonu ve elektriksel iletkenlik katsayısı arasında ilişkiyi inceleyen bir çalışmada 62°C’ye kadar elektriksel iletkenlik değeri hızlı bir şekilde artmış, nişasta jelatinizasyonun başladığı sıcaklık olan 62°C’den 70 °C’ye kadar artış hızı düşmüştür. Ancak jelatinizasyonun hızlandığı ifade edilen 70°C sıcaklığın aşılmasının ardından jelatinizasyon tamamlanana dek elektriksel iletkenlik değerleri gitgide azalmıştır (Li vd., 2004). Benzer şekilde çalışmamızda da elektriksel iletkenlik katsayıları belirli bir sıcaklığa kadar (yaklaşık 65°C) hızla artmış, daha sonra bu artış yavaşlamış ve son olarak kademeli şekilde düşüş göstermiştir. Jelatinizasyon başladıktan sonra nişasta granülleri suyu absorbe ederek şişmekte ve dolayısıyla ortamdaki serbest suyun azalmasına sebep olmaktadır. Genişleyen nişasta granülleri, granüller arası mesafenin azalmasına yol açmakla birlikte vizkoziteyi de keskin şekilde artırmaktadır. Bu durum boş alandaki yüklü ve iyon partiküllerinin azalması ve elektrik akımına karşı direncin artması anlamına gelmektedir (Wang ve Sastry, 1997). Nişasta-su sisteminde nişasta granüllerinin şişmesi ve vizkozitesinin artması

elektriksel iletkenlik katsayısının düşüşüyle sonuçlanmaktadır. Yukarıda izah edilenin aksi bazı çalışmalarda nişasta jelatinizasyonundan sonra sıcaklık artışıyla birlikte elektriksel iletkenlik katsayısının tekrar artış gösterdiği ifade edilmiş olsa da (Wang ve Sastry, 1997, Karapantsios vd., 2000, Li vd., 2004, Jittanita vd., 2017), çalışmamızda nişastanın jelatinizasyonu bittikten sonra baloncuk oluşumunun devam etmesi elektriksel iletkenlik katsayısının artışını baskılamıştır.

Çizelge 4.4. Voltaj gradienlerine göre makarna-su karışımının elektriksel iletkenlik katsayı değerleri

Voltaj Gradiyeni (V/cm)	Sıcaklık Aralığı	Eşitlik
10 V/cm	$25^{\circ}\text{C} \leq T \leq 70^{\circ}\text{C}$	$\sigma = 0.00235T + 0.00766$
20 V/cm	$25^{\circ}\text{C} \leq T \leq 80^{\circ}\text{C}$	$\sigma = 0.00225T + 0.01604$
	$81^{\circ}\text{C} \leq T \leq 97^{\circ}\text{C}$	$\sigma = 0.0007T + 0.13871$
30 V/cm	$25^{\circ}\text{C} \leq T \leq 65^{\circ}\text{C}$	$\sigma = 0.0023T + 0.1753$
	$66^{\circ}\text{C} \leq T \leq 75^{\circ}\text{C}$	$\sigma = 0.000042T + 0.13797$
	$75^{\circ}\text{C} \leq T \leq 97^{\circ}\text{C}$	$\sigma = -0.00127T + 0.26497$
40 V/cm	$25^{\circ}\text{C} \leq T \leq 60^{\circ}\text{C}$	$\sigma = 0.00231T + 0.02388$
	$61^{\circ}\text{C} \leq T \leq 80^{\circ}\text{C}$	$\sigma = 0.00171T + 0.26407$
	$81^{\circ}\text{C} \leq T \leq 97^{\circ}\text{C}$	$\sigma = -0.00316T + 0.37354$

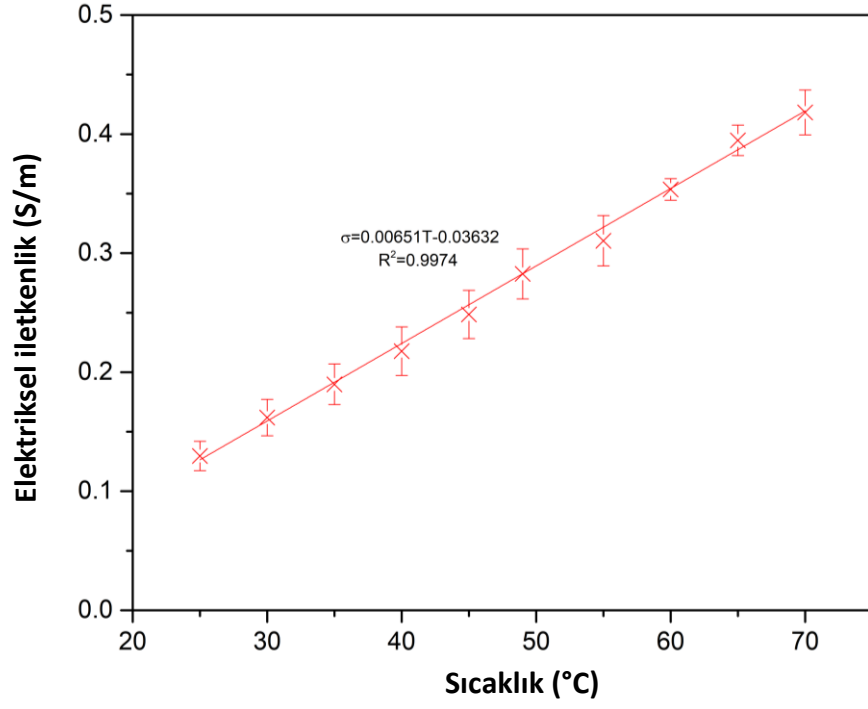
Hesaplanan bu elektriksel iletkenlik katsayıları değerlerine göre ohmik ısıtma yönteminin makarna pişirme işlemi için uygulanabilir olduğuna kanaat getirilmiştir. Çünkü ohmik ısıtmanın gıdaya uygunluğunun, esasen gıdanın elektriksel iletkenliğine (σ) bağlı olduğu ve elektriksel iletkenlik katsayısı 0.01 S/m altında veya 10 S/m değerinin üzerinde olan gıdaların ohmik ısıtma için uygun olmadığı belirtilmektedir. Çünkü bu aralığın dışında iletkenlik değerine sahip bir gıdayı ısıtabilmek, sıcaklığını arzu edilen dereceye getirebilmek için çok büyük voltaj ve/veya akım değerleri gerekmektedir (Piette vd., 2004, Jittanita vd., 2017). Bu durumda ohmik ısıtma amacıyla bazen yüksek kapasiteli güç kaynaklarının kullanılması gerektirirken, bazen de sistem kapasitesinin aşılması nedeniyle sorunlar yaşanabilmektedir.

4.2.4. Makarnanın elektriksel iletkenlik katsayısı

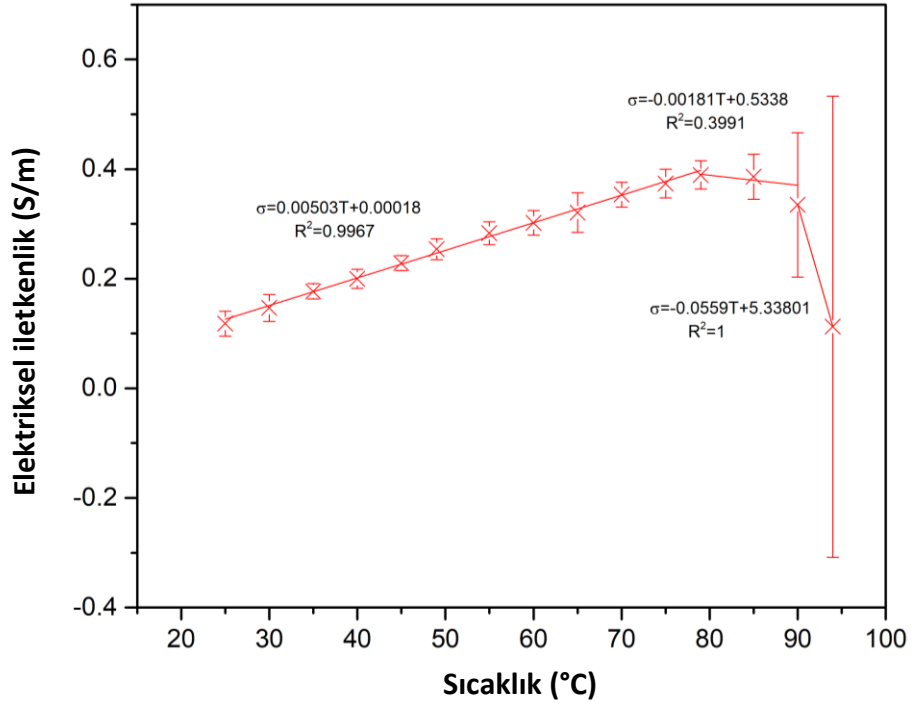
Makarnanın elektriksel iletkenlik katsayısını belirlemek için ohmik hücreyi makarnaya göre tasarlamak oldukça önemlidir. Çünkü makarna taneleri gibi küçük boyutta ve düzgün bir şekle sahip olmayan maddelerin elektriksel iletkenliğinin doğrudan ölçülmesi oldukça zordur (Kanjapongkul, 2017). Ayrıca pişirmenin

başlangıcında makarnaların çok düşük nem içeriğine sahip olması, elektrik iletimini olumsuz etkilemekte, ancak makarna bünyesine bir miktar su nüfuz ettikten sonra etkin bir iletim sağlanabilmektedir (Kanjapongkul, 2017). Bu sebeple makarnanın elektriksel iletkenliği dolaylı olarak Eşitlik (3.9) kullanılarak hesaplanmıştır. Bu hesaplama için 1) makarna-su karışımının elektriksel iletkenlik değerleri, 2) suyun elektriksel iletkenlik değerleri kullanılmıştır.

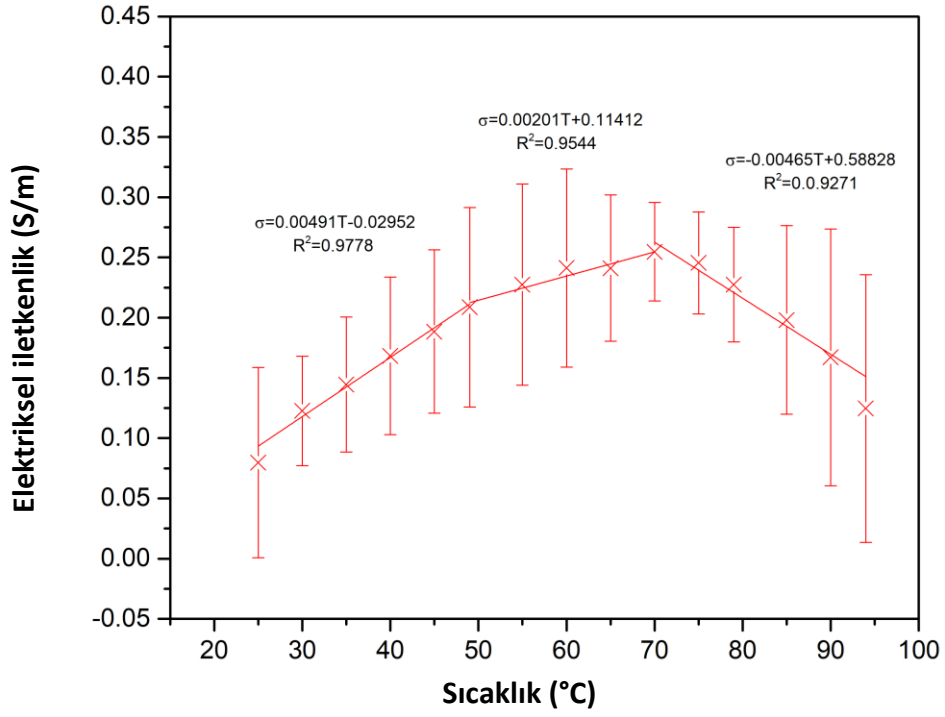
Çalışmamızda makarnanın uygulanan voltaj değerlerine göre elektriksel iletkenlik değeri belirtilen yöntemle hesaplanmıştır. Sonuçlar incelendiğinde 10 V/cm gradiyeni için elektriksel iletkenlik katsayı değerlerinin doğrusal biçimde arttığı görülmektedir (0.1296-0.4181 S/m) (Şekil 4.11). Öte yandan 20, 30 ve 40 V/cm için 3 kademeli bir grafik olduğu görülmektedir. 20 V/cm için 25-50 °C ve 50-70 °C değerleri arasında farklı hızlarda doğrusal artış, 70-96°C arasında ise doğrusal azalış tespit edilmiştir (0.1181-0.3896 S/m) (Şekil 4.12). Benzer şekilde 30 V/cm için de 25-65°C ve 65-77°C sıcaklıklarında arasında yine farklı hızlarda doğrusal artış, 77-95°C aralığında doğrusal azalış gözlenmiştir (0.0797-0.2547 S/m) (Şekil 4.13). Son olarak 40 V/cm için 25-60°C sıcaklık aralığında doğrusal artış gösterirken, 60-80°C ve 80-95°C sıcaklık aralıklarında farklı hızlarda doğrusal azalış ortaya çıkmıştır (0.1127-0.2618 S/m) (Şekil 4.14). Sonuç olarak makarnanın elektriksel iletkenlik katsayısının sıcaklıkla doğrusal şekilde arttığı ancak pişirme esnasında kabarcık oluşumu ile makarnanın ihtiva ettiği nişastanın jelatinizasyona uğraması sonucu elektriksel iletkenlik katsayılarının düşüş eğilimi gösterdiği kanaatine varılmıştır.



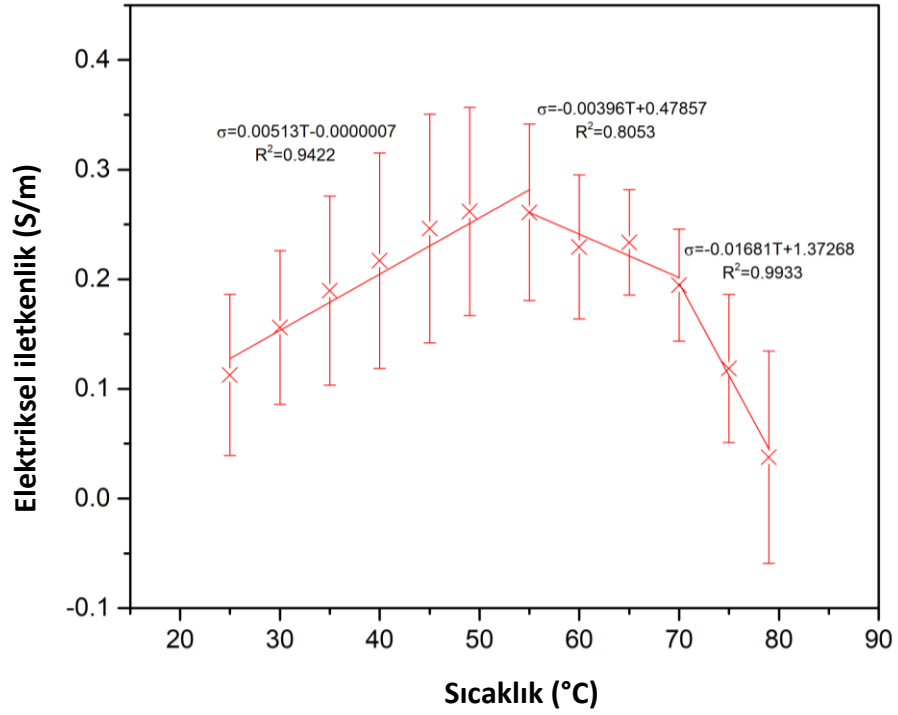
Şekil 4.11. 10 V/cm voltaj gradyeniinde makarnanın sıcaklığa bağlı elektriksel iletkenlik katsayı değerleri



Şekil 4.12. 20 V/cm voltaj gradyeniinde makarnanın sıcaklığa bağlı elektriksel iletkenlik katsayı değerleri



Şekil 4.13. 30 V/cm voltaj gradieninde makarnanın sıcaklığa bağlı elektriksel iletkenlik katsayı değerleri

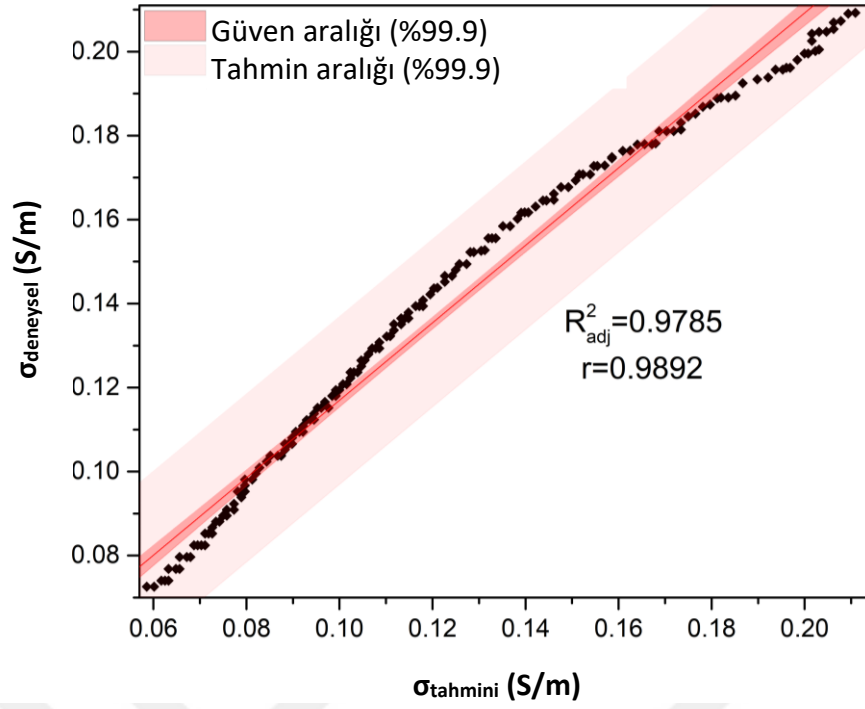


Şekil 4.14. 40 V/cm voltaj gradieninde makarnanın sıcaklığa bağlı elektriksel iletkenlik katsayı değerleri

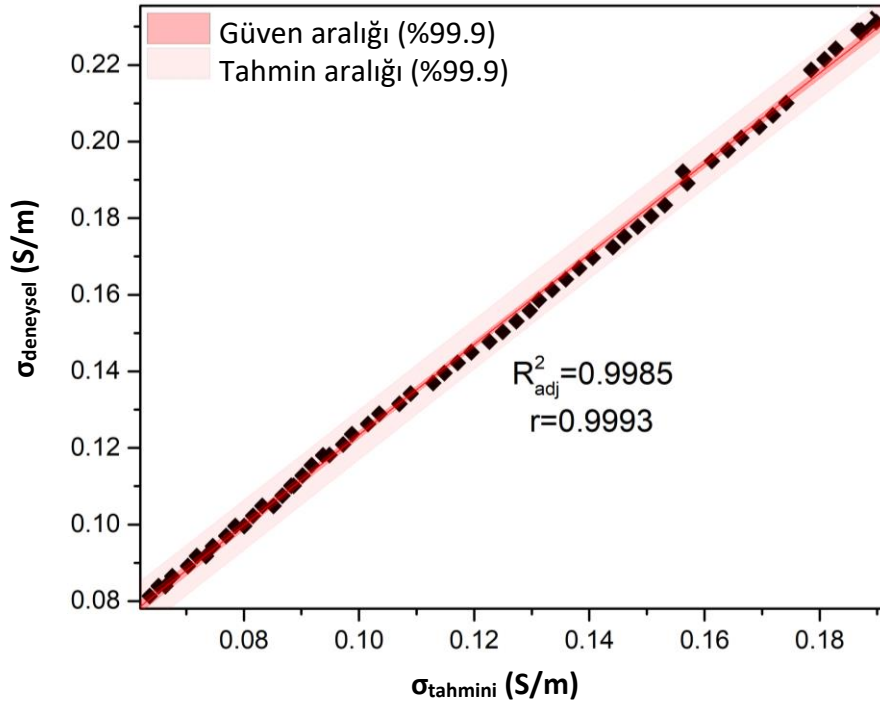
4.3. Model Validasyonu

Kullanılan paralel bağılı direnç modelinin doğruluğunun test edilmesi amacıyla proste uygulanan makarna:su karışım oranı 1:10 (g/mL) dışında farklı bir karışım oranı seçilerek 1:5 (g/mL) gerçekleştirilen denemelerde ölçülen elektriksel iletkenlik değerleri ile model kullanılarak hesaplanan değerler birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Her bir voltaj değeri için karışımın elektriksel iletkenlik katsayıları Eşitlik 3.9 kullanılarak ayrı ayrı elde edilmiştir. Şekil 4.15, Şekil 4.16 ve Şekil 4.17’de 1:5 (g/mL) karışım oranında sırasıyla 10, 20, 30 V/cm gradiyeni için tahmini ve deneysel elektriksel iletkenlik değerleri görülmektedir. Şekil 4.18’de 40 V/cm için kaynama öncesi (pembe) ve kaynama sonrası (mavi) olmak üzere iki kısımda tahmini ve deneysel elektriksel iletkenlik katsayıları görülmektedir. Bunun nedeni özellikle 40 V/cm elektrik alan uygulamasında ortamda yoğun kabarcık oluşumu ile gözlenen hızlı elektriksel iletkenlik düşüşüdür. Elektriksel iletkenliğin artış gösterdiği bölge yukarı oklarla, azaldığı bölge ise aşağı oklarla birbirinden ayrılmıştır. Makarna:su karışımı için uygulanan yeni oranda 1:5 (g/mL) suyun daha az olması ve pişme esnasında makarnanın bu suyu absorbe etmesi, pişme sürecinin sonuna doğru ohmik hücrede kalan su seviyesinin azalmasına sebep olmuştur. Bu durumun hesaplamalarda hataya sebep olabileceği düşünülmüştür. Ayrıca makarna ve suyun farklı ısı özelliklerine sahip olması, karışım içerisinde makarna ve suyun sıcaklığının birbirlerinden farklı olabileceği ihtimalini ortaya çıkarmıştır. Ancak karışım içerisindeki sıcaklık derecesi tüm noktalarda homojen olduğu kabul edilmiştir. Ayrıca suyun ve makarnanın geçirgenliklerinin farklı olmasının karışımdaki her noktada elektrik alanının aynı olmasını engelleyebileceği düşünülmüş ancak ihmal edilmiştir (Kanjapongkul, 2017). Hataya sebebiyet verebilecek bu hususlara rağmen şekillerde görüldüğü üzere paralel model yaklaşımı ile elde edilen değerler deney verileri ile oldukça yüksek korelasyon göstermektedir.

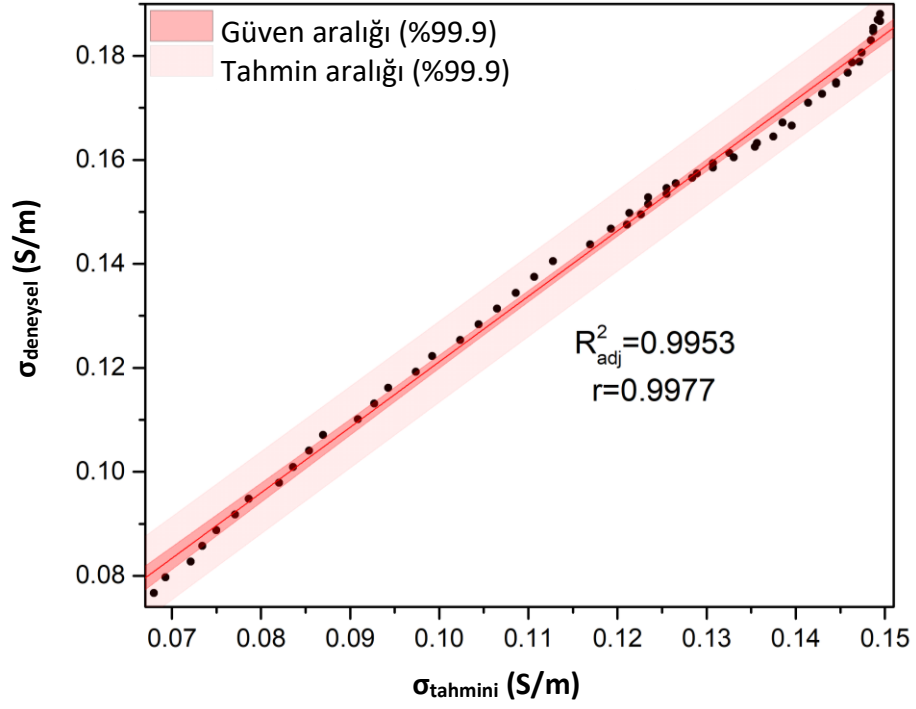
Tahmin edilen ve gerçekte ölçülen iletkenlik değerleri arasındaki korelasyon değerleri (R^2), 10 V/cm için 0.9785, 20 V/cm için 0.9985, 30 V/cm için 0.9953, 40 V/cm için 0.9925 bulunmuştur. Bu sonuçlar paralel bağılı devre yaklaşımının tatmin edici doğrulukta sonuçlar verdiğini göstermektedir.



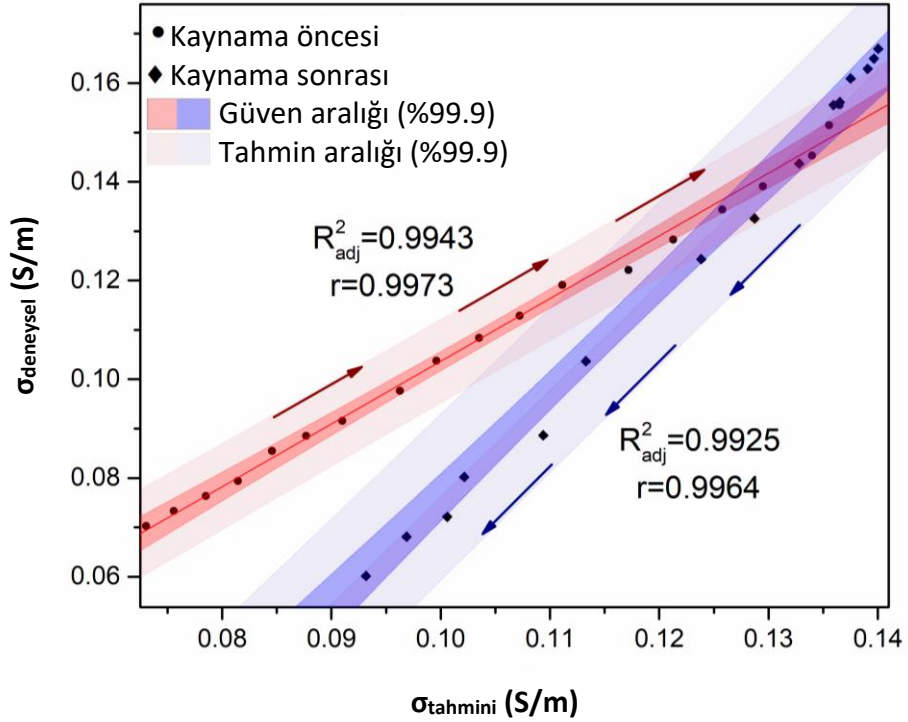
Şekil 4.15. 10 V/cm voltaj gradiyeni için karışımın deneysel ve tahmini elektriksel iletkenlik katsayıları arasındaki korelasyon



Şekil 4.16. 20 V/cm voltaj gradiyeni için karışımın deneysel ve tahmini elektriksel iletkenlik katsayıları arasındaki korelasyon



Şekil 4.17. 30 V/cm voltaj gradiyeni için karışımın deneysel ve tahmini elektriksel iletkenlik katsayıları arasındaki korelasyon



Şekil 4.18. 40 V/cm voltaj gradiyeni için karışımın deneysel ve tahmini elektriksel iletkenlik katsayıları arasındaki korelasyon

4.4. Enerji Tüketimi

Ohmik ısıtmada enerji iletimi elektriksel potansiyele ve gıdanın iletkenliğine bağlıdır. Sistemdeki enerji (ısı) kaybı ohmik test hücresinin ısıtılması, elektrotların ısıtılması, çevreye olan ısı kaybı, kimyasal reaksiyonlar vs. gibi sebeplerden dolayı meydana gelmektedir. Önceki çalışmalara göre doğal konveksiyonla çevreye olan ısı kaybının ohmik ısınma boyunca toplam enerjinin yalnızca %0,5-1'i oranında olduğu belirlenmiştir. Bu nedenle ohmik ısıtma sisteminde doğal konveksiyonla çevreye olan ısı kaybının göz ardı edilebilir kabul edilmiştir (Piette vd., 2004, İçier, 2005, Darvishi vd., 2012). Kısaca çalışmamız kapsamında ısı kaybının gerçekleşmediği, ayrıca karışım sıcaklığının her noktada tekdüze olduğu kabul edilmiştir.

Ohmik ısıtma yönteminde, örneklerin pişme süresi 10 V/cm değerinde 37 dakika, 20 V/cm değerinde 21 dakika, 30 V/cm değerinde 15 dakika, 40 V/cm değerinde 12 dakika olarak belirlenmiştir. Kontrol grubu (geleneksel yöntem ile pişirme) suyun kaynama süresi 29-30 dk, makarnanın pişme süresi 10 dk olmak üzere toplam 39-40 dk olarak tespit edilmiştir. Bu durumda ohmik ısıtma yöntemi geleneksel yöntemle göre makarna pişirme için gereken toplam süreyi azaltmıştır. Ohmik ısıtma prosesi için voltaj değeri arttıkça pişme süresinin azaldığı belirlenmiştir. Makarna-su karışımını ısıtabilmek, hedeflenen sıcaklığa ulaşabilmek için gereken zamanın ohmik hücreye uygulanan voltaj gradিয়েনে bağlı olduğu görülmüştür. Örneğin 40 V/cm gradিয়েনে 95°C'ye ulaşmak için gerekli süre 4.5 dakika iken; 10 V/cm gradিয়েনে 70°C'ye 37 dakika sonunda ulaşıldığı görülmüştür. Daha uzun süre işlemin devam ettirilmesi sistem sıcaklığını yükseltecek olsa da; geleneksel yöntemle göre süre konusunda kazanç sağlamayacağı görülmüştür. Dolayısıyla ohmik ısıtma yönteminde voltaj değeri önem teşkil etmekte, voltaj değerinin pişirme için gereken enerji ve süre üzerinde etkisi olmaktadır. Yapılan diğer çalışmalar da bu durumu desteklemektedir (Nicky Shirsat vd., 2004, Kanjanapongkul, 2017).

Ohmik ısıtma ile Çizelge 4.5'te görüldüğü üzere 10 V/cm için 138.4 kJ, 20 V/cm için 299.9 kJ, 30 V/cm 345.9 kJ, 40 V/cm için 380.0 kJ enerji harcandığı belirlenmiştir. Geleneksel yöntemde ise gereken enerji 844.1 kJ olarak belirlenmiştir. Görüldüğü üzere voltaj değeri arttıkça toplam enerji gereksinimi 10 V/cm değerinden 40 V/cm değerine kadar artış göstermiştir. Harcanan enerji, en yüksek voltaj değeri olan 40

V/cm’de dahi geleneksel yöntemle kıyasla %54 oranında azalmıştır. Diğer voltaj değerlerinde ise bu oran çok daha fazla, gereken enerji miktarı 30 V/cm voltajda %59; 20 V/cm voltajda %64; 10 V/cm voltajda ise % 98 oranında azalmıştır. En düşük enerji tüketimi 10 V/cm voltaj gradiyeninden elde edilmiş olsa da bu voltajda ohmik ısıtma ile pişirilen örnekler yenebilir, duyuşal özellikler açısından kabul edilebilir bulunmamıştır. Pişme testine göre 10 V/cm’de 37 dk ohmik ısıtma sonrası suyun makarna merkezine kadar ulaştığı, cam testine göre piştiği anlaşılsa da; tüketilebilir tat ve dokuda olmadığından 10 V/cm voltaj tercih edilebilir bulunmamıştır. İstatistiksel açıdan enerji tüketimi bakımından 30 V/cm ve 40 V/cm arasında önemli bir fark bulunmamıştır ($p>0.05$). Ayrıca 20 V/cm ve 30 V/cm arasında da önemli bir fark bulunmamıştır ($p>0.05$). Geleneksel yöntem ile duyuşal ve tekstürel açıdan benzer ve kabul edilebilir nitelikte makarna örnekleri sunan 20 V/cm, 30 V/cm ve 40 V/cm voltaj değerlerinin enerji bakımından da tasarruf sağlayacağı görülmüştür. Özellikle 30 V/cm ve 40 V/cm değerleri zaman bakımından da geleneksel yöntemle göre daha kısa sürede sonuçlandırıldığı için bu iki voltaj gradiyeni daha tercih edilebilir.

Çizelge 4.5. Harcanan enerji miktarının istatistiksel analizi

	Geleneksel	10 V/cm	20 V/cm	30 V/cm	40 V/cm
Enerji Tüketimi (kJ)	844.1±28.6 ^a	138.4 ±3.5 ^d	299.9±4.2 ^c	345.9±9.9 ^{bc}	380.0±10.7 ^b
Enerji Tasarrufu (%)	-	98	64	59	54

- ^{a-d} Aynı satırda, üst indisleri farklı olan ortalamaların arasındaki fark istatistiki olarak önemli bulunmuştur ($p\leq 0.05$).
- Sonuçlar “ortalama±ortalamanın standart hatası” olarak verilmiştir. (n=4)

Benzer bir çalışmada ohmik ısıtma yöntemi pirinçlerin pişirilmesi amacıyla uygulanmış ve enerji tüketiminin konvensiyonel pişirme yöntem için gereken enerji miktarının %73-90’ı kadar olduğu bulunmuştur (Jittanita vd., 2017). Diğer bir çalışmada elektrikli ısıtıcı kullanılarak pişirilen pirincin enerji tüketiminin, ohmik yöntemle göre 4 kat fazla olduğu görülmüştür (Kanjapongkul, 2017). Kısaca ohmik ısıtma tekniğinin gerektirdiği enerji tüketimi, diğer yöntemlerle kıyaslandığında oldukça düşüktür. Bunun sebebi yöntemler arasındaki enerji aktarım mekanizmalarında ortaya çıkan farklılıklardır. Ohmik ısıtmada doğrudan ürünün içerisinde sıcaklık artışı sağlayan hacimsel bir ısınma meydana gelirken, geleneksel yöntemde ana güç kaynağı elektrik enerjisini (çalışmamızda elektrikli ısıtıcı kullanılmıştır) termal enerjiye dönüştürerek ocağı ısıtmakta daha sonra pişirme ekipmanı ısınmaktadır. Ardından ısı pişme suyuna iletilmekte ve en son makarnaya

ulaşmaktadır. Ohmik ısıtma dışında kalan alışlagelmiş yöntemlerdeki ısı transferi basamakları enerji kaybına yol açıp termal verimliliği düşürmektedir (Jittanita vd., 2017, Kanjanapongkul, 2017).

4.5. Nem Tayini ve Su Absorpsiyonu

Makarna ağırlığı, pişirme süresince ilk ağırlığına göre artış göstermektedir (Alamprese vd., 2011). Pişen makarnanın zamana bağlı ağırlık artışı, makarnanın su absorpsiyonu ile nişasta ve proteinlerin kompleks yapısına hidrasyon olayıyla ilişkilendirilmektedir (Cafieri vd., 2010, Larrosa vd., 2016). Aynı zamanda makarnaların absorbe ettiği su ile sahip oldukları hacim artmaktadır. Su absorpsiyonu ilk başta hızlı şekilde gerçekleşirken, zaman ilerledikçe ortam ile makarna arasındaki nem konsantrasyon farkı azalmakta ve absorpsiyon giderek yavaşlamaktadır (Cunningham vd., 2007).

Geleneksel ve ohmik yöntemle pişirilen makarna örneklerinin su absorpsiyonu değerleri Çizelge 4.6'da sunulmuştur. İstatistiksel açıdan su absorpsiyon sonuç değerleri kıyaslandığında geleneksel yöntemle pişirilmiş makarna örneklerine göre 30 ve 40 V/cm gradiyeninde ohmik ısıtma ile pişirilen makarna örneklerin sonuçlarında önemli bir değişim görülmemiştir ($p>0.05$). 10 ve 20 V/cm voltaj gradiyeninde pişirilen makarna örneklerinin su absorpsiyon değerleri ile diğer tüm örneklerin söz konusu değerleri arasındaki fark istatistiksel açıdan önemli bulunmuştur ($p\leq 0.05$). Sonuçlar değerlendirildiğinde en yüksek su absorpsiyon değeri 20 V/cm voltaj değerinde elde edilirken, en düşük değer 10 V/cm voltaj değerinde pişen örneklerde tespit edilmiştir. 10 V/cm seviyesinde uygulanan ohmik yöntemde pişmiş makarna örneklerinin su absorpsiyon değerlerinin diğerlerinden daha düşük olmasının sebebinin, 10 V/cm gradiyeninde maksimum sıcaklığın ancak 70°C'ye kadar ulaşması, yapılan pişme testine göre piştiği belirlense de jelatinizasyonun tam gerçekleşmemesi olduğu düşünülmektedir. Yapılan araştırmalarda ayrıca su absorpsiyon oranının makarnanın bulunduğu suyun sıcaklığına bağlı olduğu belirtilmiştir. Daha yüksek sıcaklıkta daha yüksek su absorpsiyon oranına ulaşıldığı belirlenmiştir (Cunningham vd., 2007). Yani pişirme süresince sıcaklık değerinin artmasıyla su absorpsiyonun arttığı dolayısıyla da geleneksel yöntem ve 20, 30, 40 V/cm gradiyenlerinde 10 V/cm gradiyenine göre daha yüksek sıcaklık değerlerine ulaşıldığından su absorpsiyonun daha fazla olduğu görülmüştür (Kanjanapongkul, 2017). 20 V/cm voltaj gradiyeninde pişirilen örneklerin

30 ve 40 V/cm seviyesinde uygulanan işleme kıyasla daha yüksek oran su absorbe etmesi ise toplam pişirme süresi ile açıklanabilir. Sistemde uygulanan voltaj değerinin düşmesi ile daha uzun pişirme sürelerine ihtiyaç duyulduğu daha önce belirtilmiştir. Örneklerin 20 V/cm potansiyel fark altında iken daha uzun süre su içinde zaman geçirmeleri suyun yapıya nüfuz etmesi için daha uygun bir durum ortaya çıkarmış olabilir.

Çizelge 4.6. Dört farklı voltaj gradiyeni ve geleneksel pişirme uygulanmış makarna örneklerinin su absorpsiyon değerleri

	Geleneksel	10 V/cm	20 V/cm	30 V/cm	40 V/cm
Su absorpsiyonu	219.44±1.20 ^b	179.98±2.87 ^c	228.21±3.94 ^a	219.55±2.39 ^b	216.33±1.49 ^b
Nem(%)	58.88±0.47 ^b	51.28±0.29 ^c	62.43±0.52 ^a	59.54±0.51 ^b	59.24±0.40 ^b
- ^{a-c} Aynı satırda, üst indisleri farklı olan ortalamaların arasındaki fark istatistiki olarak önemli bulunmuştur ($p \leq 0.05$).					
- Sonuçlar "ortalama±ortalamanın standart hatası" olarak verilmiştir. (Su absorpsiyonu için n=4, nem için n=8)					

Aynı şekilde nem tayini değerlerine göre (Çizelge 4.6) nem içeriği bakımından 30 ve 40 V/cm gradiyeninde ohmik teknikle pişirilen örnekler ile geleneksel yöntem arasında istatistiksel açıdan önemli bir fark bulunmamıştır ($p > 0.05$). 10 V/cm gradiyeninde ohmik yöntemle pişirilen örneklerin tüm örnekler arasında en düşük nem değerine sahip olduğu görülmüştür. 20 V/cm gradiyeninde muamele edilen örneklerin ise diğerlerine kıyasla daha yüksek nem değerine sahip olduğu görülmüştür ($p \leq 0.05$). Bu durum, su absorpsiyon analizi sonuçları ile kolayca açıklanabilmektedir. Su absorpsiyon analizi sonuçlarına göre 10 V/cm değerinde uygulanan ohmik pişirme sonucu makarna örneklerinin geleneksel yöntem ve diğer voltaj gradiyenlerine göre daha az su absorbladığı görülmektedir. Diğer tüm proses uygulamalarında sıcaklık değeri 95°C'ye ulaşırken 10 V/cm gradiyeninde sıcaklığın pişme süresince 70°C'ye ancak ulaştığından pişme açısından suyun makarnanın merkezine kadar difüze olduğu ancak nişastanın jelatinize olmadığı düşünülmektedir. Nişasta jelatinizasyonunun 65-76°C arasında meydana geldiği göz önüne alındığında (Wang ve Sastry, 1997), 10 V/cm voltaj gradiyeninde uygulanan ohmik ısıtmada makarnanın ihtiva ettiği nişastanın yeterince jelatinize olamadığı, nişasta ve protein matrisine yeterince su girmedeği düşünülmektedir. Ayrıca pişirme süresinde meydana gelen uzamanın makarnanın absorbe ettiği nem miktarını artırdığı düşünülmektedir (Irie vd., 2017). Özellikle 20 V/cm voltajda pişen makarna örneklerinin nem miktarının diğer örneklerle göre yüksek olması bu duruma bağlanmaktadır.

4.6. Kül Tayini

Makarna için kül miktarının fazla olması, rengi olumsuz etkilemektedir (Eserkaya Güleç vd., 2010). Makarna örneklerine uygulanan dört farklı voltaj gradiyeninde ohmik ısıtma ve geleneksel pişirme yönteminin kül tayini analizi sonuçları Çizelge 4.7’de sunulmuştur. Sonuçlar incelendiğinde 20, 30, 40 V/cm voltaj gradiyenlerinde ohmik ısıtma uygulanan örneklerde kendi aralarında istatistiksel açıdan önemli bir fark gözlenmemiştir ($p>0.05$). Geleneksel yöntem ile karşılaştırıldığında ise; geleneksel yöntem ile pişirilen örnekler ile 10, 30, 40 V/cm elektriksel alanda ohmik pişirme uygulanan örnekler arasında istatistiksel açıdan önemli bir fark gözlenmemiştir ($p>0.05$). Tüm örneklerin kül tayini sonuçları birbirine yakın olduğu görülmektedir. Bu durumda, geleneksel yöntem ile ohmik ısıtma yöntemi arasında örneklerin kül değerleri açısından önemli bir fark oluşmadığı, ohmik ısıtmanın kül değerleri üzerinde etki göstermediği belirlenmiştir.

Çizelge 4.7. Dört farklı voltaj gradiyeni ve geleneksel pişirme uygulanmış makarna örneklerinin hacim artışı, pişme kaybı, jelatinizasyon derecesi, kuru madde, nem ve kül değerleri

	Geleneksel	10 V/cm	20 V/cm	30 V/cm	40 V/cm
Hacim artışı (%)	175.98±2.47 ^a	93.64±1.79 ^b	183.39±3.87 ^a	178.44±2.93 ^a	174.87±1.73 ^a
Pişme kaybı (%KM)	9.31±0.16 ^a	9.65±1.17 ^a	7.49±0.49 ^a	7.83±0.55 ^a	7.75±0.78 ^a
Jelatinizasyon derecesi (%)	29.96±0.74 ^{bc}	23.37±0.70 ^c	35.04±3.00 ^b	47.34±2.93 ^a	48.23±1.27 ^a
Kuru madde (%)	41.12±0.47 ^b	48.72±0.29 ^a	37.57±0.52 ^c	40.46±0.51 ^b	40.76±0.40 ^b
Kül (%KM)	0.12±0.00 ^{ab}	0.15±0.01 ^a	0.09±0.01 ^c	0.10±0.01 ^{bc}	0.11±0.00 ^{bc}
Sıklık (N)	283.47±9.96 ^a	207.23±12.77 ^b	259.77±18.66 ^b	274.73±24.12 ^a	273.60±10.30 ^a
Kesme kuvveti (N)	95.71±2.18 ^a	45.19±2.62 ^c	81.82±2.91 ^b	95.63±4.93 ^a	94.77±2.01 ^a

- ^{a-c} Aynı satırda, üst indisleri farklı olan ortalamaların arasındaki fark istatistiki olarak önemli bulunmuştur ($p<0.05$).
- Sonuçlar “ortalama±ortalamanın standart hatası” olarak verilmiştir (n=8).

4.7. Tekstür Analizi

Durum buğday irmiğinden yapılan yüksek kalitede bir makarnadan iyi tekstür özellikleri beklenmektedir. Makarnanın parçalanmaya karşı dirençli, pişme suyuna aşırı madde salmayan, sıkı bir yapıda, yüzeyi yapışkanlık göstermeyen özellikte olması istenmektedir. Bu özellikler buğday unundaki ana yapıyı oluşturan gluten proteini ile ilgilidir ve buğdayın türüne, amiloz içeriğine, jelatinizasyon sıcaklığına,

buğdayın işlenme parametrelerine göre farklılık gösterebilmektedir (Jittanita vd., 2017).

Ohmik ısıtma ve geleneksel yöntemle pişirilmiş makarna örneklerinin tekstür analizi sonuçları (sıkılık ve kesme kuvveti) Çizelge 4.7’de sunulmuştur. Azı dişler arasında ezmek için maksimum kuvveti gösteren sıkılık değeri, direkt olarak makarnanın kesme kuvvetiyle ilişkilendirilebilir (Larrosa vd., 2016). Geleneksel yöntemle pişirilmiş makarna örneklerinin sıkılık değeri ile 10 ve 20 V/cm voltaj gradyaninde ohmik yöntemle pişirilmiş örnekler için sonuçlar önemli seviyede farklılık göstermiştir ($p \leq 0.05$). Buna karşın, 30 ve 40 V/cm voltaj gradyaninde pişirilen makarna örnekleri ile geleneksel yöntemle pişirilen örneklerin sıkılık değerleri arasında istatistiksel olarak önemli bir fark tespit edilememiştir ($p > 0.05$).

Kesme kuvveti değerleri incelendiğinde ise 30 ve 40 V/cm gradyaninde ohmik yöntemle pişirilmiş örneklerin kesme kuvveti değerleri ile geleneksel yöntemle pişirilenler arasında önemli bir farklılık gözlenmemiştir ($p > 0.05$). Ancak 10 ve 20 V/cm gradyaninde pişirilmiş örneklerin kesme kuvveti değerlerinin geleneksel yöntemle pişirilen örneklerin değerlerinden önemli seviyede farklı olduğu söylenebilir ($p \geq 0.05$). Analiz sonuçlarına göre uygulanan dört voltaj gradyanı arasında en düşük kesme kuvveti değeri 10 V/cm uygulama sonrası örnekler için, 20 V/cm uygulamaya maruz kalan örneklerin kesme kuvveti değerleri geleneksel yöntemle pişirilen örnekler için bulunmuştur. En yüksek kesme kuvveti değeri 30 ve 40 V/cm elektrik alan altında pişirilen örnekler için bulunmuştur.

10 V/cm gradyanın sıkılık ve kesme kuvveti değerlerinin diğer gradyanlara ve geleneksel yöntemle göre oldukça düşük olması görünüş ve tüketici açısından kabul edilebilirliğini olumsuz şekilde etkilemiştir. Olması gerekenden daha düşük sıkılık ve kesme kuvveti değerleri 10 V/cm’de pişen örneklerin fazla yumuşak ve yapışkan oluşunu açıklamaktadır.

Özellikle zamandan ve enerjiden tasarruf sağlayan 30 ve 40 V/cm voltaj gradyanlarından tekstürel özellikler bakımından geleneksel yöntemle eş değer sonuçlar alınması ohmik ısıtmanın bu amaçla kullanılabilirliği açısından oldukça önemlidir. Makarnaların kalitesinin değerlendirilmesi üzerine gerçekleştirilmiş olan

bir çalışmada pişme süresinin uzamasıyla sıklık değerinin azaldığını belirtmiştir (Dziki ve Laskowski, 2005). Sıklık değerleri diğer iki voltaj gradিয়েনে kıyasla daha uzun pişme sürelerine sahip 20 V/cm (21 dk) ve 10 V/cm (37 dk) gradিয়েনে pişirilmiş örneklerin sıklık değerleri daha düşük iken; en kısa pişme sürelerine sahip olan 30 V/cm (15 dk) ve 40 V/cm (12 dk) gradিয়েনে muamele edilmiş örneklerin sıklık değerleri daha yüksek bulunmuştur.

30 ve 40 V/cm gradিয়েনlerinin bu kadar kısa sürede hem suyun kaynamasını sağlayıp hem de makarnanın sıklık değerleri açısından geleneksel yöntemle istatistiksel açıdan yakın sonuçları vermesi, ohmik ısıtmanın hacimsel ve üniform ısıtma sağlamasına bağlanmaktadır (Jittanita vd., 2017). Yapılan araştırmalarda ohmik ısıtma yönteminin bahsedilen bu özelliklerinin ürünlerin tekstür özelliklerini olumlu yönde etkilediği belirtilmektedir (de Alwis ve Fryer, 1992). Çünkü ohmik ısıtma yönteminde daha önce de belirtildiği gibi makarna tanelerinin suyu absorplama hızı geleneksel yöntemle kıyasla çok daha yüksektir ve karışımındaki sıcaklık dağılımının homojen olması karışımında hacimsel ısınma sağlamaktadır. Böylece jelatinizasyon, örnekte suyun ilerlediği, elektrik akımının geçebildiği her noktada hızlıca ve aynı anda gerçekleşmektedir. Geleneksel pişirme yönteminde ise su difüzyonu ohmik ısıtmada gözlemlendiğinden daha yavaştır. Isınma kondüksiyon ve konveksiyon mekanizmalarına dayandığı için jelatinizasyon dış katmandan merkeze doğru ilerlemektedir. Bu durum jelatinizasyonun daha yavaş olmasına neden olmaktadır. Dolayısıyla ohmik yöntem, geleneksel yöntemle göre daha hızlı ve yüksek seviyede nişasta jelatinizasyonu sağlamaktadır (Yang vd., 2006, Cocci vd., 2008).

Bahsedildiği üzere yüzey parçalanmasına karşı dirençli, pişme kaybı az ve yapışkan olmayan makarna için sıklık değerinin yüksek olması istenmektedir. Tekstür analizi sonuçları (sıklık ve kesme kuvveti) birlikte değerlendirildiğinde geleneksel yöntem ile pişirilen makarna örnekleri ile 30 V/cm ve 40 V/cm gradিয়েنی uygulanarak pişirilmiş makarna örnekleri arasında istatistiksel açıdan önemli bir fark tespit edilmemiştir ($p>0.05$). Bu doğrultuda 30 ve 40 V/cm gradিয়েنleri tekstür özelliklerine olumsuz bir etki göstermediği, herkes tarafından alışılmış ve kabul edilmiş geleneksel yöntemle aynı tekstürel özelliklere sahip olduğu sonucuna varılmıştır. Üretici için en yüksek enerji ve süre tasarrufunun ve tüketici içinse en kabul edilebilir tekstür

sonuçlarının 30 ve 40 V/cm gradiyeninde uygulanan ohmik pişirme ile elde edilebileceği kanaatine varılmıştır.

4.8. Nişasta Jelatinizasyon Derecesi

Jelatinizasyon, nişastanın yeteri kadar su bulunan ortamda ısıtılmasıyla oluşur. Basitçe nişasta jelatinizasyonu, su ile ısıtılması sonucu nişasta granüllerinin su emerek jel hale gelmesidir. Bu olay, ilk olarak nişastanın kristal yapısının bozulması ve daha sonra amorf granüllerin su alarak orijinal boyutlarından farklılaşıp şişmesiyle oluşur (Karapantsios vd., 2000). Makarnanın pişme süresi boyunca sıcaklık değeri artıp, makarna suyu absorpladıkça, makarnada nişasta jelatinizasyonu meydana gelmekte ve bu olayın sonucunda nişasta polimerleri şişmekte ve yumuşamaktadır (Cocci vd., 2008). Nişastanın jelatinizasyonu sonrasında gıdalar arzu edilen fiziksel ve kimyasal özellikleri kazanmakta, sindirilebilir ve tüketilebilir hale gelmektedir. Jelatinizasyon, gıda proseslerinin/özelliklerinin analizi ve tasarımında en önemli parametrelerden biri olarak kabul edilmektedir (Wang ve Sastry, 1997). Nişasta jelatinizasyonunun etkinliğini belirleyen en önemli parametreler ise granüllerdeki su hareketi ve ısı transferi olarak belirtilmektedir (Karapantsios vd., 2000).

Jelatinizasyon derecesi, bir gıda maddesinde jelatinize olmuş nişasta miktarı ile jelatinize olabilir (toplam) nişasta miktarının oranını ifade etmektedir (Zardetto ve Dalla Rosa, 2007). Çalışmamızda geleneksel yöntemle ve ohmik ısıtma ile pişirilen örneklerin nişasta jelatinizasyonu dereceleri Çizelge 4.7’de sunulmuştur. Sonuçlar incelendiğinde, geleneksel yöntem ile 10 ve 20 V/cm gradiyenlerinde ohmik ısıtma ile pişirilen örnekler arasında istatistiksel açıdan önemli bir fark tespit edilmemiştir ($p>0.05$). Öte yandan 30 ve 40 V/cm voltaj gradiyenlerinde pişirilen örneklerin kendi aralarında önemli bir fark bulunmazken ($p>0.05$); diğer tüm uygulamalara kıyasla bu örneklerin nişasta jelatinizasyonu derecelerinin önemli ölçüde yüksek olduğu tespit edilmiştir ($p\leq 0.05$). 10 ve 20 V/cm potansiyeli karşılaştırıldığında ise 20 V/cm potansiyelinde ohmik yöntemle pişirilen makarna örneklerinin jelatinizasyon derecelerinin daha yüksek olduğu görülmüştür ($p\leq 0.05$).

Voltaj değeri yükseldikçe jelatinizasyon derecesinin de arttığı çizelgede açık şekilde görülmektedir. Ohmik yöntemde, hacimsel ve tekdüze ısınma özelliklerinin yanı sıra

uygulanan voltaj değerinin artması, birim yüke uygulanan elektriksel kuvvetin artmasına böylece daha etkin ve hızlı bir ısınma sağlanması olanak tanımıştır. Bu doğrultuda, nişasta molekülleri ile ortamda bulunan su daha kolay ve hızlı şekilde karşı karşıya gelmiş ve nişastanın jelatinizasyonuna ortam sağlanmıştır. Bu durum farklı çalışmalarda ohmik ısıtma sonrası yapıda meydana gelen değişimin ardından oluşan kütle (su) transfer hızının artışı ile desteklenmektedir (Knirsch vd., 2010).

Ayrıca daha önce de bahsedildiği üzere nişasta jelatinizasyonu 65-76°C arasında meydana gelmektedir (Wang ve Sastry, 1997). Uygulanan voltaj değeri yükseldikçe örnekler çok daha kısa sürede kaynama noktasına ulaşıp, bu sıcaklıkta pişme sağlanmaktadır. Yani 10 V/cm gradiyeninde örnekler 37 dk pişme süresi boyunca maksimum 70°C'yi kısa süre görmektedir. Ancak 40 V/cm gradiyeni birkaç dakika içerisinde kaynama sıcaklığı olan 95°C'ye ulaşmakta ve örnekler toplamda 12 dk boyunca daha yüksek sıcaklıkta pişmektedirler. Bu yüzden düşük voltaj değerinde uygulanan ohmik pişirme süresince (10 V/cm) ulaşılan sıcaklığın ancak 70°C olması bu süreçte nişasta jelatinizasyonunun başladığını ancak yeteri kadar ilerleyemediğini göstermektedir. Bu sebeple yüksek voltaj değerlerinde ohmik ısıtma uygulanan örneklerin pişme süresince sıcaklık değerinin 95°C'ye rahatlıkla ulaşması nişasta jelatinizasyonun yeteri kadar gerçekleşmesini, bundan dolayı daha yüksek jelatinizasyon değerleri elde edilmesini sağlamıştır.

Nişastanın irişlenmesi ve takiben jelatinizasyonu yapısı gereği endotermik bir reaksiyon olarak kabul edilse de kaynaklarda farklı nişasta türlerinin (mısır, patates) ohmik ısıtılması esnasında nişasta jelatinizasyonu incelenmiş, jelatinizasyon esnasında da sıcaklığın artmaya devam ettiği belirtilmiştir. Bu durumun suyun hareketiyle ilişkili olabileceği düşünülmüştür (Wang ve Sastry, 1997). Bahsi geçen çalışmada ohmik ısıtmada nişasta jelatinizasyonu incelendiğinde 52°C sıcaklığa kadar hidrasyon sebebiyle nişastadaki su hareketliğinin azaldığı; 55°C'den sonra sıcaklık artışıyla makromoleküllerin vizkozitesinin azalmasından dolayı su hareketliliğinde artış gözlemlendiği belirtilmiştir. 65-76°C sıcaklık aralığında ise nişasta jelatinizasyonunun gerçekleştiği ifade edilmiştir. Nişasta jelatinizasyonu nedeniyle gerçekleşen su hareketliliğindeki değişmeler incelendiğinde, jelatinize olmuş örneklerdeki hareketli suyun, jelatinizasyonun öncesine göre çok daha düşük olduğu görülmüştür. Spagettinin pişme esnasında nişasta jelatinizasyonunu inceleyen diğer bir çalışmada

ise ortam sıcaklığı 58°C seviyesine ulaştıktan sonra hidrasyonun hızla artmaya başladığı gözlenmiş ve bu durum nişasta jelatinizasyonu ile açıklanmıştır. Çalışmada, 58°C sıcaklıkta nişasta jelatinizasyonunun başladığı ve su absorpsiyonunun nem dengesine ulaştığı ana kadar devam ettiğini belirtmiştir (Cocci vd., 2008). Çalışmamızda da kaynaklarda bahsi geçtiği üzere nişasta jelatinizasyonu esnasında ortam sıcaklığı artmaya devam etmiştir. Her ne kadar daha önce detaylı şekilde açıklandığı üzere, ortamın elektriği iletme yeteneği farklı nedenler dolayısıyla nişastanın yaklaşık jelatinizasyon sıcaklıklarında düşme eğilimi göstermiş ve bu durum muhtemelen ortamın sıcaklık artış hızı üzerine etki göstermiş olsa da, neticede suyun kaynama sıcaklığına kadar ortam sıcaklığı artmaya devam etmiştir.

4.9. Pişirme Kaybı

Pişirme kaybı makarna kalitesini belirlemek için değerlendirmeye alınan ana parametrelerden biridir. Kısaca pişme kaybı, pişirme esnasında pişme suyuna geçen kuru madde miktarıdır. Makarnanın parçalanmaya karşı direnciyle ilişkilidir. Pişirme kaybının fazla olması, makarnanın elastikiyet özelliklerinin yetersiz olması ile açıklanmaktadır. Bu yüzden pişirme suyuna geçen kalıntı miktarının azlığı yüksek kalitede bir makarnayı işaret etmektedir (Dexter vd., 1983, Larrosa vd., 2016). Genel olarak pişme kaybı, durum buğdayından üretilen makarnalarda kuru madde üzerinden % 6.4-13.7; irmikten yapılan makarnalarda ise % 4.9-9.2 arasında bulunmaktadır. Yüksek kaliteli bir üründe pişirme kaybı kuru maddenin %8'ini geçmemelidir (Dziki ve Laskowski, 2005). TGKY Makarna Tebliği'ne göre makarnada pişirme suyuna geçen madde miktarı kuru madde esasına göre en çok %10 olmalıdır (Anonim, 2002).

Çalışmamız sonucunda örneklerin pişirme kaybı kuru madde üzerinden %7.49- 9.65 arasında bulunmuş olup örnekler arasından istatistiksel bir fark tespit edilmemiştir ($p>0.05$). Bu durumda tüm örneklerin pişirme kaybı açısından kabul edilebilir sonuçlar verdiği görülmektedir (Çizelge 4.7). Her ne kadar örnekler arasındaki, fark önemsiz bulunsun da, sayısal anlamda en yüksek pişirme kaybı geleneksel pişirme yöntemiyle pişirilen örneklerde gözlenirken; en düşük pişirme kaybı 40 V/cm değerinde uygulanan ohmik yöntemle pişirilen makarna örneklerinden alınmıştır. Ayrıca 20, 30, 40 V/cm gradyanlarında ohmik pişirilen makarna örneklerinin pişme kayıplarının kuru madde cinsinden %8'i geçmediği görülmektedir. Bu 3 voltaj değerinde pişme

kaybı açısından yüksek kalitede sonuç alınmıştır. Buradaki “yüksek kalite” sıfatı makarna kalitesini değil, uygulanan pişirme etkinliğinin pişirme kalitesini ifade etmek amacıyla seçilmiştir. Farklı yöntemler arasındaki farklılıkların makarna örneklerinin pişirme sürelerinden kaynaklandığı düşünülmektedir (Dziki ve Laskowski, 2005). Pişirme süreleri göz önüne alındığında en uzun süre geleneksel yöntemde görülmüştür. Öte yandan ohmik ısıtmada uygulanan voltaj gradিয়েনindeki artışa pişirme süresi kısalmıştır. Pişirme süresinin kısalması, pişirme kaybının azalışını beraberinde getirmektedir. Bu bakımdan ohmik ısıtma ile pişirme yöntemi makarna pişirme için kullanıldığında pişirme kaybına olumlu yönde etki ettiği sonucuna varılmıştır.

4.10. Hacim Artışı

Pişirme süresi boyunca karışım içerisindeki suyun makarna tarafından absorbe edilmesi ile makarna şişer ve hacmi artar (Cunningham vd., 2007). Analiz sonuçları incelendiğinde (Çizelge 4.7) geleneksel yöntem ile 20, 30, 40 V/cm gradিয়েনlerinde ohmik ısıtma uygulanan örnekler arasında istatistiksel açıdan önemli bir fark bulunmamıştır ($p>0.05$). Örnekler arasından sadece 10 V/cm gradিয়েনinde uygulanan ohmik pişirme işleminde hacim artışının önemli oranda daha düşük olduğu gözlemlenmiştir ($p\leq 0.5$). Bunun sebebi pişirme süresince sıcaklığın, diğer tüm proses uygulamalarında (3 voltaj gradিয়েni ve geleneksel yöntem) 95°C’ye ulaşırken, 10 V/cm gradিয়েninde 70°C’de kalmasıyla ilgilidir. Buna bağlı olarak makarna içerisine yeterince suyun difüze olmamış, su absorpsiyonun yetersiz kalmış, nişasta ve protein matriksine yeterince suyun nüfuz edemediği için nişasta jelatinizasyonunun tamamlanamamıştır. Bu durumun sonucunda makarnaların yeteri kadar hacim kazanamadığı düşünülmektedir (Wang ve Sastry, 1997, Kanjanapongkul, 2017).

4.11. Renk Tayini

Tüketiciler açısından görsellik ürünün kabul edilebilirliğinin değerlendirilmesinde en önemli kriterdir. Kişi ürüne ilk baktığında o ürünün rengini görmektedir. Bu bakımdan renk büyük önem teşkil etmektedir (McGuire, 1992). Genellikle tüketiciler makarnada parlak sarı rengi tercih etmektedirler (Švec vd., 2008). Hem geleneksel yöntemle hem de ohmik ısıtma ile pişirilen makarna örneklerinin renk değerleri (L^* , a^* , b^* , C^* , h° , ΔE) Çizelge 4.8’de sunulmuştur.

Çizelge 4.8. Dört farklı voltaj gradiyeni ve geleneksel pişirme uygulanmış makarna örneklerinin renk analizi değerleri

	Pişmemiş Makarna	Geleneksel	10 V/cm	20 V/cm	30 V/cm	40 V/cm
L*	47.74±0.57	66.60±0.94 ^{bc}	73.01±0.42 ^a	68.57±0.92 ^b	65.70±0.54 ^c	66.18±0.56 ^{bc}
a*	7.32±0.24	2.44±0.35 ^b	4.13±0.42 ^a	2.94±0.41 ^{ab}	3.06±0.30 ^{ab}	3.17±0.30 ^{ab}
b*	30.80±0.47	22.11±1.04 ^a	24.80±0.72 ^a	23.36±1.07 ^a	22.36±0.89 ^a	22.66±0.81 ^a
C*	31.65±0.50	22.26±1.07 ^a	24.92±0.72 ^a	23.58±1.11 ^a	22.57±0.91 ^a	22.89±0.84 ^a
h°	76.64±0.33	84.10±0.65 ^a	80.83±0.74 ^b	83.30±0.75 ^a	82.46±0.52 ^{ab}	82.23±0.50 ^{ab}
ΔE	-	-	7.74±0.54 ^a	5.75±0.59 ^b	4.27±0.20 ^{bc}	3.98±0.31 ^c

- ^{a-c} Aynı satırda, üst indisleri farklı olan ortalamaların arasındaki fark istatistiki olarak önemli bulunmuştur ($p \leq 0.05$).
- L*, aydınlık; a*, yeşil-kırmızı; b*, mavi-sarı; C*, doygunluk; h°, Hue; ΔE, toplam renk değişimi. - Sonuçlar "ortalama±ortalamanın standart hatası" olarak verilmiştir. (n=16)

Renk analizi sonuçlarına göre ohmik ısıtma uygulanmış örneklerde a* (+a, kırmızı renge doğru), b* (+b, sarı renge doğru), C* değerlerinin artış eğiliminde olduğu görülmüştür.

Analiz sonuçları incelendiğinde b* ve C* renk değerleri için örnekler arasında istatistiksel açıdan bir fark tespit edilmemiştir ($p > 0.05$). L*, a*, h° renk değerlerinde ise 10 V/cm gradiyeni geleneksel yöntemle göre istatistiksel açıdan farklı bulunmuştur ($p \leq 0.05$). 20, 30, 40 V/cm gradiyenlerinde geleneksel yöntemle göre belirgin bir farklılık tespit edilmemiştir. Ayrıca verilere göre toplam renk değişimi (ΔE) hesaplanmış, geleneksel yöntemle göre en büyük renk farkı 10 V/cm gradiyeninde bulunmuştur. İstatistiksel olarak kendi aralarında 20 V/cm ile 30 V/cm; 30 V/cm ile 40 V/cm gradiyenleri arasında farklılık tespit edilmezken ($p > 0.05$); 10 V/cm gradiyeni ile diğer 3 voltaj gradiyeni arasında farklılık tespit edilmiştir ($p \leq 0.05$). Genel eğilime bakıldığında 30 ve 40 V/cm gradiyeninde pişirilen örneklerin geleneksel yöntemle pişirilen örneklerle daha yakın renk değerlerine sahip olduğu belirlenmiştir.

Konu ile alakalı çalışmalar incelendiğinde Chai ve Park (2007) tarafından belirtildiği üzere, nişastanın ohmik ısıtma yöntemi ile pişirilmesi sırasında nişasta granüllerinin su alıp şişmesiyle, yani jelatinizasyon derecesinin artması ile L* değerinin azaldığı tespit edilmiştir. Benzer şekilde pirinç nişastasının jelatinizasyonu üzerine gerçekleştirilen bir araştırmada nişasta jelatinizasyonu derecesi arttıkça aydınlık

derecesinin azaldığını belirtilmiştir (Miah vd., 2002). Çalışmamız sonucunda 10 V/cm gradiyeninde ohmik ısıtma ile pişen örneklerin L^* değerinin diğer örneklerle göre yüksek olduğu görülmektedir. Bu durumun sebebinin bahsedilen çalışmalarda belirtildiği üzere jelatinizasyon değeriyle ilgili olduğu düşünülmüştür. 10 V/cm gradiyeninde nişasta jelatinizasyonunun henüz tamamlanmadan pişme evresinin sonlandırılması, L^* değerinin diğer örneklerle göre daha yüksek çıkmasına neden olmuştur. Ayrıca Apruzzese vd. (2000)'de pişme prosesinin mısır unu özelliklerine etkisini araştırdığı çalışmada daha az pişen örneklerde (diğer örneklerle kıyaslandığında nem içeriği daha düşük olan örneklerde), L^* değerinin daha yüksek olduğu belirtilmiştir. Dolayısıyla 10 V/cm gradiyeninde pişen örneklerin diğer örneklerle göre daha az pişmesinin ve daha az nem içeriğine sahip olmasının da L^* değerinin daha yüksek çıkmasına neden olduğu düşünülmektedir. Genel olarak değerlendirildiğinde ise nispeten yüksek voltaj değerlerinde (30, 40 V/cm) ohmik ısıtma yönteminin makarna pişirme üzerinde renk değerlerine olumsuz etkisi olmadığı belirlenmiştir.

4.12. Duyusal Analiz

Geleneksel yöntem ve ohmik ısıtma işlemi ile pişirilen makarna örneklerine ait duyusal analiz sonuçları Çizelge 4.9 ve Şekil 4.19'da sunulmuştur. Gerçekleştirilen duyusal analiz dahilinde örneklerin şekil (dağılma), sarı renk yoğunluğu, yapışkanlık, sertlik, yumuşaklık, çiğnenebilirlik, pişme homojenitesi, makarna lezzeti özellikleri ve genel beğeni düzeyi panelistler tarafından değerlendirilmiş ve sonuçlara göre, tüm duyusal analiz kriterleri için, 10 V/cm gradiyeni dışında, diğer örnekler arasında istatistiksel açıdan önemli bir fark bulunmamıştır ($p>0.05$). 10 V/cm voltaj gradiyeninde pişen örnekler tüketicinin alışmış olduğu makarna tadı ve görünüşünden uzak bulunmuştur. Bunun sebebi, pişmenin tam anlamıyla gerçekleşmemesi yani nişasta jelatinizasyonunun başlaması ancak tamamlanmamasıdır (Wang ve Sastry, 1997, Kanjanapongkul, 2017). Makarna örneklerinin pişme esnasında nişasta granülleri su alıp şişerek jel forma dönüşmekte ve bu sayede nişasta yenebilir, sindirilebilir bir forma ulaşmaktadır. Makarnanın absorpladığı su miktarının gereken miktardan az olması, jelatinizasyonun tamamlanmaması ve örneğin tüketilebilir özelliğinin azalmasına neden olmuştur. Genel olarak panelistler yüksek voltaj gradiyenlerinde pişen örneklerle (20, 30 ve 40 V/cm) geleneksel yöntemle eş değer

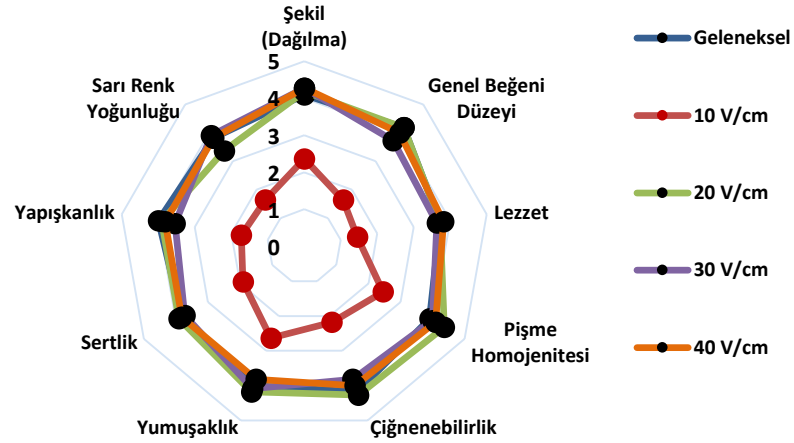
puanlar vermişlerdir. Bu doğrultuda ohmik ısıtma yöntemi için yüksek voltaj gradienlerinin geleneksel yöntem ile duysal açıdan bir fark oluşturmadığı, bu pişirme yönteminin tüketici tarafından tercih edilebilir sonuçlar verdiği görülmüştür.

Çizelge 4.9. Dört farklı voltaj gradienini ve geleneksel pişirme uygulanmış makarna örneklerinin duysal değerlendirme sonuçları

	Geleneksel	10 V/cm	20 V/cm	30 V/cm	40 V/cm
Şekil (Dağılıma)	175.98±2.47 ^a	93.64±1.79 ^b	183.39±3.87 ^a	178.44±2.93 ^a	174.87±1.73 ^a
Sarı renk yoğunluğu	3.82±0.24 ^a	1.64±0.24 ^b	3.36 ±0.20 ^a	3.91±0.25 ^a	3.82±0.33 ^a
Yapışkanlık	4.00±0.19 ^a	1.73±0.27 ^b	3.91±0.28 ^a	3.55±0.28 ^a	3.82±0.29 ^a
Sertlik	3.82±0.23 ^a	1.91±0.31 ^b	3.91±0.21 ^a	3.72±0.27 ^a	3.82±0.26 ^a
Yumuşaklık	4.00±0.19 ^a	2.64±0.45 ^b	4.18±0.12 ^a	4.09±0.21 ^a	3.82±0.26 ^a
Çiğnenebilirlik	4.18±0.23 ^a	2.18±0.38 ^b	4.27±0.24 ^a	3.82±0.30 ^a	4.00±0.30 ^a
Pişme homojenitesi	3.91±0.21 ^a	2.45±0.39 ^b	4.36±0.15 ^a	4.00±0.271 ^a	4.10±0.31 ^{bc}
Lezzet	3.73±0.19 ^a	1.45±0.21 ^b	3.73±0.27 ^a	3.63±0.34 ^a	3.82±0.33 ^a
Genel beğeni düzeyi	4.18±0.18 ^a	1.66±0.24 ^b	4.18±0.23 ^a	3.73±0.19 ^a	4.00±0.23 ^a

- ^{a-c} Aynı satırda, üst indisleri farklı olan ortalamaların arasındaki fark istatistiki olarak önemli bulunmuştur ($p \leq 0.05$).

- Sonuçlar “ortalama±ortalamanın standart hatası” olarak verilmiştir (n=11).



Her bir duysal parametre için aynı renk istatistiksel açıdan fark olmadığını ifade etmektedir ($p > 0.05$).

Şekil 4.19. Duyusal analiz sonuçlarının şematik dağılımı

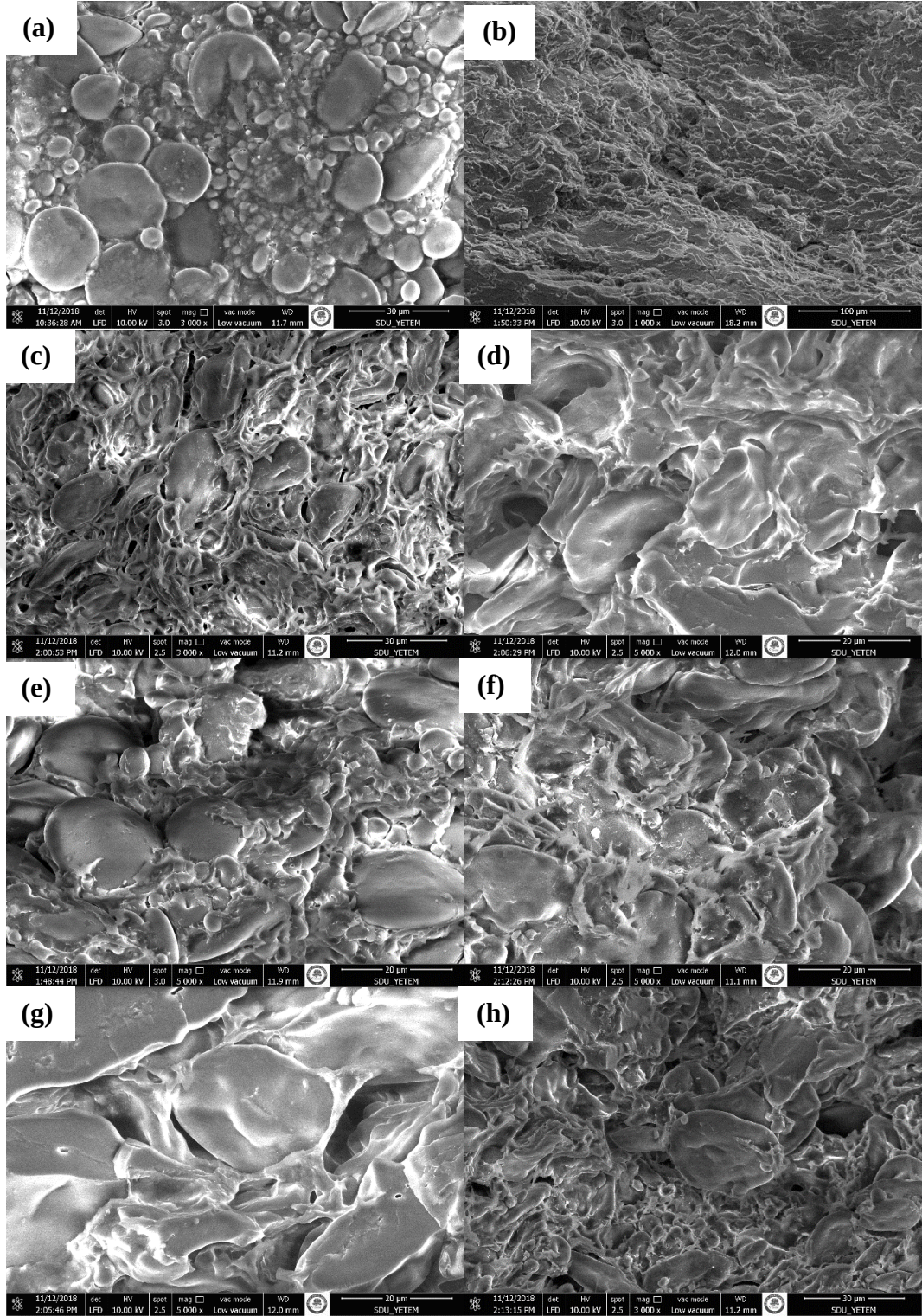
4.13. Taramalı Elektron Mikroskopu

Taramalı Elektron mikroskopu (SEM), elektronları kullanarak örnek yüzeyinden yüksek çözünürlüklü görüntü alınmasını sağlayan sistemdir. SEM, örnek yüzeyinin üç boyutlu görüntülerinin belirlenmesinde son derece kullanışlı bir yöntemdir (TAEK, 2018). Taramalı elektron mikroskopu gluten ağının modifikasyonu ve zedelenmiş nişasta hakkında bilgi vermektedir. Enzimatik metotlar granüllerin kendisi hakkında yeterli bilgi vermezken taramalı elektron mikroskopu (SEM) analizi daha ayrıntılı bilgi sağlayabilmektedir (Lewandowicz vd., 2000, Barrera vd., 2013).

Makarnaların pişirilmesi ve jelatinizasyon süresince nişasta granülleri şişip, gluten proteiniyle ağ oluşturmaktadır. Sıcaklıkla birlikte jelatinizasyon derecesi arttıkça morfolojik yapı değişip daha yoğun, sıkı bir ağ yapısı ortaya çıkmakta ve daha sıkı gluten ağı, daha yüksek miktarda protein denatürasyonuna sebep olmaktadır (Cocci vd., 2008). Taramalı elektron mikroskopu sayesinde bu granüllerin yüzeyi detaylı olarak resmedilebilmektedir (Glaring vd., 2006). Dört farklı voltaj gradiyeninde ohmik ısıtma ile ve geleneksel yöntemle pişirilen makarna örneklerinin taramalı elektron mikroskopu ile elde edilen görüntüleri Şekil 4.20’de sunulmuştur. Bu görüntülerin incelenmesi sonucunda, pişmemiş makarna örnekleri ile pişen örnekler arasındaki farklılıklar belirlenmiştir (Şekil 4.20 (a)) Pişmemiş makarna granülleri etrafında henüz gluten ağı oluşmamışken, pişme süresince voltaj ve sıcaklık arttıkça granül yapısında modifikasyon meydana gelmiştir. Pişen örneklerde nişasta jelatinizasyon derecesinin artmasıyla daha yoğun gluten nişasta matriksi olduğu görülmüştür. Pişme süresince nişasta granüllerinin su absorplayarak şişmesi, jelatinizasyonun gerçekleşmesiyle gluten ağı nişasta granüllerini sarmıştır. Ohmik yöntem ve geleneksel yöntem karşılaştırıldığında 20, 30, 40 V/cm gradiyenlerinden alınan görüntüler ile geleneksel yöntemle pişen örneklerden alınan görüntülerin oldukça benzer, 10 V/cm gradiyeninden alınan görüntünün ise farklı olduğu görülmüştür (Şekil 4.20 (b)-(f)). Öte yandan, 10 V/cm gradiyeninde diğerlerine göre nişasta granülleri etrafında daha az gluten ağı olduğu görülebilmektedir (Şekil 4.20 (c)). Bunun sebebi nişasta jelatinizasyonun tamamlanmamış olmasıdır. Jelatinizasyon süresince gluten proteini nişastayı saracak sıkı bir yapı oluşturacakken jelatinizasyonun tamamlanmamış olması bu ağın yeterince oluşmadığını göstermektedir. Bu konuda yapılan çalışmalar bu görüşü desteklemektedir. Makarnanın pişme süreci incelenen bir çalışmada pişmiş

bölgelerde (jelatinizasyonu tamamlanmış) yoğun şekilde nişasta protein matriksi olduğu görülmüştür (Baldwin vd., 1995). Aynı şekilde makarnanın pişirilmesinde mikrodalga yöntemiyle geleneksel yöntemin karşılaştırıldığı çalışmada taramalı elektron mikroskobu ile yapılan inceleme sonucu daha çok jelatinize olmuş örneklerin daha yoğun gluten ağına sahip olduğu görülmüştür (Cocci vd., 2008). Makarnaların su absorpsiyonunun incelendiği diğer bir çalışmada ise sıcaklık değeri arttıkça nişasta granüllerinin giderek şiştiği daha yoğun karmaşık bir protein matriksi oluşturduğu belirtilmiştir (Cunningham vd., 2007). Dolayısıyla örneğin içerdiği nem miktarının bu zincirin yapısını, görüntüsünü etkilediği belirtilmiştir (Matsuo vd., 1978). Ayrıca taramalı elektron mikroskobu nişasta granülleri üzerinde meydana gelen zedelenmenin görüntülenmesini de sağlamaktadır. Nişasta granülleri üzerinde oluşan zedelenme terimi aslında nişastanın modifiye olmasını tanımlamaktadır. Zedelenmiş nişasta granülleri daha fazla su absorbe ettiği için nem miktarı ve hacim artışı gibi özellikler açısından bu durum oldukça önem teşkil etmektedir (Baldwin vd., 1995, Lewandowicz vd., 2000). Örneklerin görüntüleri incelendiğinde 20, 30 ve 40 V/cm gradiyenlerinde (Şekil 4.20 (d), (g), (h)) nişasta granüllerinde zedelenme olduğu net şekilde görülmektedir. 10 V/cm gradiyeninde ise nişasta granüllerindeki zedelenme oranının daha az olduğu görülmüştür (Şekil 4.20 (c)). Bu görüntüler 3 voltaj gradiyeninde nem ve su absorpsiyon sonuçlarının 10 V/cm gradiyenine göre daha yüksek olmasını destekler niteliktedir.

Genel eğilime bakıldığında ohmik ısıtma yönteminin geleneksel yöntemle göre makarnanın yapısında önemli bir değişiklik oluşturmadığı gözlemlenmiştir. Özellikle yüksek voltaj gradiyenlerinin (20, 30 ve 40 V/cm) geleneksel yöntemle aynı yapısal değişikliğe sahip olduğu belirlenmiştir. Ohmik ısıtma yöntemi gibi hacimsel ısınma sağlayan diğer bir yöntem olan mikrodalga ile ısıtmada nişasta yapısına ait incelemede de geleneksel yöntemle göre nişasta granüllerinde önemli bir değişiklik oluşmadığı gözlemlenmiştir. Nişasta granüllerinde az miktarda zedelenme meydana geldiği ve bu zedelenme hassasiyetinin çalışmamızda da olduğu gibi sıcaklıkla arttığı belirtilmiştir (Lewandowicz vd., 2000). Ohmik ısıtma yönteminin makarna pişirme üzerine olumsuz bir morfolojik yapı oluşturmadığı görülmüştür.



Şekil 4.20. Pişmemiş ve farklı yöntemler kullanılarak pişirilmiş makarna örneklerine ait taramalı elektron mikroskobu görüntüleri ((a), pişmemiş; (b), geleneksel yöntemde pişirilmiş makarna örneği; (c), 10 V/cm; (d), 20 V/cm; (e), 30 V/cm; (f), 40 V/cm gradyeni kullanılarak pişirilmiş makarna örnekleri; (g), 30 V/cm’de zedelenme; (h) 40 V/cm’de zedelenme)

4.14. Temel Bileşenler Analizi

Elde edilen sonuçlar kullanılarak gerçekleştirilen temel bileşenler analizine ait görseller Şekil B.1–B.3’te ve bu analizlere ait bazı istatistiksel veriler Çizelge 4.10-Çizelge 4.12’de sunulmuştur. Elde edilen grafiklerde tekstür analizi sonuçları ve diğer bazı kalite parametreleri Şekil B.1’de sunulmuştur. Burada Eksen 1 (%62.51) ve Eksen 2 (%16.39) toplam varyansın %78.90’ını açıklama kabiliyetine sahip bulunmuştur. Burada kül, kuru madde ve nem dışında tüm değişkenlerin 10 V/cm ile pişirilen örneklerde diğerlerine göre düşük olduğu ve 10 V/cm gerilim altında pişirilmiş örneklerin diğer tüm örneklerden belirgin şekilde ayrıldığı görülmektedir. Öte yandan 20, 30 ve 40 V/cm voltaj gradyeni ve geleneksel yöntemle pişirilen örnekler ise birbirileri ile benzer yerlerde konumlanmış olup, bu durum bu örneklerin benzer özelliklere sahip olduğunu ifade etmektedir. Eksen 1 ile özellikle su absorpsiyonu, hacim artışı, nem (kuru madde) ve kısmen kesme kuvveti değerleri yüksek korelasyon göstermektedir (Çizelge 4.10).

Çizelge 4.10. Hacim artışı, su absorpsiyonu, jelatinizasyon derecesi, nem/kuru madde, pişme kaybı, kül, sıklık ve kesme kuvveti analizleri için gerçekleştirilen temel bileşenler analizi grafiğine ilişkin bazı istatistiksel veriler

	R^2	
	Eksen 1 (Var(%)=62.51)	Eksen 2 (Var(%)=16.39)
	Top. Var(%)=78.90	
Su absorpsiyonu	(-) 0.934	(+) 0.006
Hacim artışı	(-) 0.948	(+) 0.000
Pişme kaybı	(+) 0.165	(+) 0.535
Jelatinizasyon derecesi	(-) 0.412	(+) 0.003
Nem	(-) 0.897	(+) 0.013
Kuru madde	(+) 0.897	(+) 0.013
Kül	(+) 0.507	(+) 0.014
Sıklık	(-) 0.186	(+) 0.694
Kesme kuvveti	(-) 0.678	(+) 0.196
-	R^2 , her bir değişken-eksen çifti için korelasyon katsayılarını ifade etmektedir	
-	Var (%), ait olduğu eksenin tüm değişkenlere ait varyansı açıklama yüzdesini, Top. Var (%), eksenlerin tüm değişkenlere varyansı toplam açıklama yüzdesini ifade etmektedir.	
-	(+) , söz konusu değişken-eksen çifti arasında doğru orantılı; (-), söz konusu değişken-eksen çifti arasında ters orantılı bir ilişki bulunduğunu ifade etmektedir.	

Örneklerin renk özellikleri incelendiğinde ise farklı uygulamalar arasındaki ayırım bir önceki kadar net olmadığı anlaşılmıştır. Ancak, yine 10 V/cm voltaj gradyeni altında pişirilen örneklerin diğerlerinden farklı konumlandığı ve özellikle L^* ve toplam renk değişimi değerlerinin 100 V gerilim altında ohmik ısıtma ile pişirilen örneklerde

diğerlerinden daha yüksek olduğu görülmüştür. Elde edilen grafik Şekil B.2’de sunulmuştur. Eksen 1 (%66.73) ve Eksen 2 (%27.68) toplam varyansın %94.41’ini açıklayabilmektedir. Özellikle a^* , b^* , C , h° değişkenleri ile Eksen 1 ve ΔE ile Eksen 2 arasında yüksek korelasyon gözlenmektedir (Çizelge 4.11)

Çizelge 4.11. Renk ölçüm sonuçları için gerçekleştirilen temel bileşenler analizine ait bazı istatistiksel veriler

	R^2	
	Eksen 1 (Var(%)=66.73)	Eksen 2 (Var(%)=27.68)
	Top. Var(%)=94.41	
L^*	(-) 0.429	(+) 0.567
a^*	(-) 0.909	(-) 0.050
b^*	(-) 0.907	(-) 0.019
C	(+) 0.903	(-) 0.024
h°	(+) 0.802	(+) 0.065
ΔE	(-) 0.053	(+) 0.937

- R^2 , her bir değişken-eksen çifti için korelasyon katsayılarını ifade etmektedir.
- $Var(\%)$, ait olduğu eksenin tüm değişkenlere ait varyansı açıklama yüzdesini, $Top. Var(\%)$, eksenlerin tüm değişkenlere varyansı toplam açıklama yüzdesini ifade etmektedir.
- (+), söz konusu değişken-eksen çifti arasında doğru orantılı; (-), söz konusu değişken-eksen çifti arasında ters orantılı bir ilişki bulunduğunu ifade etmektedir.
- L^* , aydınlık; a^* , yeşil-kırmızı; b^* , mavi-sarı; C^* , doygunluk; h° , Hue; ΔE , toplam renk değişimini ifade etmektedir.

Farklı yöntemler kullanılarak pişirilen makarna örneklerine ait duyuşal özelliklerin kıyaslaması Şekil B.3’te sunulmuştur. Eksen 1 (%67.76) ve Eksen 2 (%7.44) toplam varyansın %75.19’unu açıklayabilmektedir. Görüldüğü üzere neredeyse tüm duyuşal kriterler 10 V/cm gerilim altında pişirilen örneklerde diğerlerinden daha düşüktür. Bu sonuçlar neticesinde bu uygulamanın diğerlerinden belirgin bir biçimde ayrıldığı ve 20, 30 ve 40 V/cm voltaj gradyeninde muamele edilen makarnalarla geleneksel yöntem ile pişirilen örnekler arasında bir ayrım olmadığı gözlemlenmiştir. Özetlemek gerekirse hemen hemen incelenen tüm kalite özelliklerinde 20, 30 ve 40 V/cm gerilim altında ohmik ısıtma ile pişirilen örnekler geleneksel yöntemle benzer sonuçlar vermektedir. Buna karşın daha öncede belirtildiği üzere 10 V/cm uygulaması, başta yeterli nişasta jelatinizasyonunun sağlanamaması nedeniyle diğerlerinden belirgin şekilde ayrılmaktadır. Bu sonuçlar ohmik ısıtma yönteminin makarna pişirme amacıyla etkin şekilde kullanılabileceğine ve geleneksel yöntemle alternatif oluşturabileceğini ortaya koymaktadır (Çizelge 4.12).

Çizelge 4.12. Duyusal değerlendirme sonuçları için gerçekleştirilen temel bileşenler analizi grafiğine ait bazı istatistiksel veriler

	R^2	
	Eksen 1 (Var(%)=67.76)	Eksen 2 (Var(%)=7.44)
	Top. Var(%)=75.19	
Şekil	(-) 0.603	(+) 0.250
Sertlik	(-) 0.695	(+) 0.123
Lezzet	(-) 0.802	(-) 0.041
Pişme homojenitesi	(-) 0.528	(-) 0.200
Çiğnenebilirlik	(-) 0.711	(+) 0.017
Yumuşaklık	(-) 0.482	(-) 0.049
Yapışkanlık	(-) 0.722	(+) 0.005
Sarı renk	(-) 0.641	(-) 0.011
Genel beğeni	(-) 0.823	(-) 0.015
-	R^2 , her bir değişken-eksen çifti için korelasyon katsayılarını ifade etmektedir	
-	Var (%), ait olduğu eksenin tüm değişkenlere ait varyansı açıklama yüzdesini, Top. Var (%), eksenlerin tüm değişkenlere varyansı toplam açıklama yüzdesini ifade etmektedir.	
-	(+) , söz konusu değişken-eksen çifti arasında doğru orantılı; (-), söz konusu değişken-eksen çifti arasında ters orantılı bir ilişki bulunduğunu ifade etmektedir.	

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Çalışmamız kapsamında ohmik ısıtma yöntemiyle makarna pişirilmesi sağlanmış olup, farklı voltaj gradienlerinin (10, 20, 30 ve 40 V/cm), geleneksel yöntemle kiyasla makarnaların kalite özellikleri ve pişme süreleri üzerine etkisi incelenmiş, makarnaların elektriksel iletkenlik değeri tespit edilmiş ve farklı yöntemlerin enerji sarfiyatları birbirileri ile karşılaştırılmıştır.

Gerçekleştirilen analizler neticesinde ohmik ısıtma ile gözlenen pişme süresinin uygulanan voltaj gradienine bağlı olduğu bulunmuştur. Uygulanan voltaj seviyesi yükseldikçe ortamın ısınma süresi kısalmıştır. Elektriksel iletkenlik değeri (S/m) ise sıcaklık ile doğru orantılı şekilde arttığı tespit edilmiştir. Ancak, belirli bir eşik sıcaklığına ulaşıldığında gözlenen kabarcık oluşumu elektriksel iletkenlik katsayısının düşmesine neden olmuştur. Baloncuk oluşumu 10 V/cm’ de görülmezken; 20 V/cm’de yaklaşık 86°C’de, 30 V/cm’de yaklaşık 66°C’de ve 40 V/cm’de yaklaşık 59°C’de başlamıştır. Ayrıca belirtilen sıcaklıklarda elektriksel iletkenlik katsayılarının azalmasında makarna örneklerinde meydana gelen nişasta jelatinizasyonu da etkili olabileceği düşünülmektedir. Yaklaşık olarak 65°C’de başlayıp 76°C’de sonlanan nişasta jelatinizasyonu gerçekleşme evresinde elektriksel iletkenlik katsayılarında düşüş tespit edilmiştir. Bunun sebebinin jelatinizasyon gerçekleştikçe granüllerin su alıp şişerek, nişasta granülleri arasındaki mesafenin azalması olduğu düşünülmüştür. Bunun neticesinde ortamda bulunan serbest su miktarı azalmakta ve iletkenlik düşmektedir. Nişasta jelatinizasyonu tamamlandıktan sonra iletkenlik katsayısının tekrar artması beklenirken çalışmamızda baloncuk oluşumunun devam etmesi elektriksel iletkenlik katsayısının artışını baskılamıştır. Uygulanan voltaj değeri yükseldikçe artan gerilimin etkisiyle nişasta jelatinizasyon değeri artmıştır. Ayrıca 65-76°C arasında gerçekleşen nişasta jelatinizasyonu için uygulamada 10 V/cm gradieninde pişme süresince ancak 70°C’ye ulaşılırken, 40 V/cm gradieninde çok daha kısa sürede kaynama sıcaklığına ulaşılıp, örnekler bu sıcaklıkta pişmişlerdir. Dolayısıyla 10 V/cm gradieninde jelatinizasyonun başladığı ancak bitmediği belirlenmiştir. Diğer örneklerin tam jelatinize olduğu ve uygulanan voltaj değeri sıcaklık derecesinin artmasına ve bu sayede örneklerin nişasta jelatinizasyon derecelerinin giderek daha yüksek çıkmasına neden olmuştur.

Ohmik ısıtma yöntemi ile pişirme işleminde, geleneksel yöntemle göre daha az enerjiye gereksinim olduğu saptanmıştır. Voltaj değeri düştükçe harcanan enerji miktarı da azalmıştır. Geleneksel yöntemle göre en yüksek voltaj değeri olan 40 V/cm'de %54, 30 V/cm'de %59, 20 V/cm'de %64 ve en düşük voltaj değeri olan 10 V/cm'de %98 oranında azaltarak enerjiden yüksek oranda tasarruf edilmiştir. En fazla enerji tasarrufu 10 V/cm değerinden elde edilmiş olduğu görülse de, bu voltajda pişen örnekler tüketilebilir bulunmamıştır. Pişme testine göre örneklerin merkezine su difüzyonu sağlansa da; jelatinizasyon tam olarak gerçekleşmemiş, pişme tamamlanmamıştır. Örneklerin tam pişmesi için daha uzun süre pişirilmesi gereklidir. Ancak zaten uzun olan pişme süresini uzatmak (10 V/cm için bu değer 37 dk olup, yeterli jelatinizasyon bu süre içerisinde elde edilememiştir.) geleneksel yöntemle karşı bir avantaj sağlamayacağı için 10 V/cm için süre uzatımı yapılmamıştır. Makarna örneklerinin pişme süreleri, uygulanan voltaj değeri arttıkça kısalmıştır. Ayrıca uygulanan tüm gradienler (10-40 V/cm) geleneksel yöntemle göre daha kısa sürmüştür. Pişme süresi, geleneksel yöntemle göre (39 dk) 10 V/cm'de %5 (37 dk) , 20 V/cm'de %43 (21 dk), 30 V/cm'de %61 (15 dk) ve 40 V/cm'de %69 (12 dk) oranında azalarak süreden tasarruf edilmiştir.

Makarnalarda gözlenen pişirme kaybı en fazla geleneksel yöntemde ortaya çıkmıştır. Voltaj gradienini arttıkça pişme kaybı değerinin azaldığı tespit edilmiştir. En düşük pişme kaybı, 40 V/cm gradieninde ohmik ısıtma ile pişirilen makarna örneklerinde gözlenmiştir. Bu doğrultuda pişirme kaybı için ohmik ısıtmanın, geleneksel yöntemle göre daha olumlu sonuçlar doğurduğu söylenebilir.

Ohmik ısıtma yönteminin tekstürel özelliklere olumsuz etkisi görülmemiş, geleneksel yöntemle ile 30 ve 40 V/cm potansiyelinde pişmiş örnekler arasında tekstürel özellikler açısından bir fark bulunmadığı tespit edilmiştir ($p>0.05$). Renk değerleri (L^* , a^* , b^* , c^* , h° , ΔE), arasından 20, 30, 40 V/cm gradienleri arasında istatistiksel açıdan fark bulunmazken ($p>0.05$), 10 V/cm için fark önemli bulunmuştur ($p\leq 0.05$). 10 V/cm voltajda gradieninde pişirilen makarna örnekleri, yetersiz jelatinizasyon derecesi sebebiyle daha az su absorplamış ve diğer örneklerle kıyasla daha az pişmesi nedeniyle L^* değeri yüksek çıkmıştır. Ohmik ısıtma yönteminin kül değerine olumsuz etkisi görülmemiştir. İstatistiki açıdan kuru madde, su absorpsiyonu ve nem analiz sonuçlarına göre 30 ve 40 V/cm gradienlerinde pişirilen örnekler ve geleneksel

yöntem ile pişirilen örnekler arasında önemli bir fark görülmemiştir ($p>0.05$). Özellikle 30, 40 V/cm gradiyenleri için çok daha kısa sürede pişme suyunun kaynama sıcaklığına ulaştığı ve bu sıcaklık değerinde çok kısa sürede pişmenin tamamlandığı görülmektedir. Aynı zamanda çalışmada incelenen kriterlerin geleneksel yöntemle benzer sonuçlar verdiği görülmektedir. Bu durum ohmik ısıtmanın hacimsel ve üniform ısıtma sağlamasıyla, artan elektrik potansiyel farkının su difüzyonunu hızlandırmasıyla ilişkilendirilmiştir.

Hacim artışı ve duysal analiz sonuçlarına göre 10 V/cm gradiyeni dışında, diğer üç voltaj gradiyeni (20, 30, 40 V/cm) geleneksel yöntemden farklı bulunmamıştır ($p>0.05$). 10 V/cm gradiyeninde ohmik ısıtma ile pişirilen örneklerin su absorpsiyonu, hacim artışı ve nem değerleri geleneksel yöntemle pişirilen örneklerle göre oldukça düşük çıkmıştır. Duyusal olarak da değerlendirilen özelliklere göre düşük puanlar almış, bu voltaj değerinde pişen örnekler tüketilen makarna özelliklerini taşımadığı belirlenmiştir.

Taramalı elektron mikroskopuyla yapılan incelemede ohmik ısıtma yönteminin geleneksel yöntemle göre nişasta granüllerinde önemli bir değişiklik oluşturmadığı gözlemlenmiştir. Geleneksel yöntemle aynı yapısal değişiklikler olduğu belirlenmiştir. Nişasta jelatinizasyon derecesi arttıkça nişasta protein ağının daha yoğun daha kompakt hale geldiği, zedelenen nişasta miktarının arttığı tespit edilmiştir.

Araştırmanın sonucunda ohmik ısıtma yönteminin uygulanan voltaj değerlerinde (özellikle 20, 30 ve 40 V/cm), geleneksel yöntemle kıyasla makarnanın kalite özellikleri üzerine herhangi bir olumsuz etki göstermediği, elde edilen ürünlerin alışlagelmiş makarna özelliklerine sahip olduğu belirlenmiştir. Ayrıca ohmik ısıtma yöntemi ile geleneksel yöntemle kıyasla zaman ve enerjiden kayda değer oranda tasarruf sağlanmıştır. Hatta ohmik ısıtma yöntemi ile pişme kaybının azaldığı, jelatinizasyon derecesinin ise daha yüksek oranda olduğu sonucuna varılmıştır. Umut vadeden alternatif sistemlerden biri olduğu görülen ohmik ısıtma yönteminin makarna pişirmek için kullanılabilir, büyük ölçekli üretim amacıyla denenebilir, ticari alanda uygulanıp zamandan ve enerjiden tasarruf sağlamak amacıyla kullanılabilecek bir yöntem olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Ancak söz konusu sistemin bu amaçla

uygulanabilir olması için sistem tasarımını da kapsayan ileri düzey çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır.



KAYNAKLAR

- AACC, 2000. Approved Methods of the AACC. American Association of Cereal Chemists International, St. Paul, Minnesota.
- Akkara, M., Kayaardı, S., 2014. İleri Muhafaza Tekniklerinin Et Kalitesi Üzerine Etkisi. Akademik Gıda, 12(4), 79-85.
- Alamprese, C., Casiraghi, E., Rossi, M., 2011. Effects of Housing System And Age of Laying Hens on Egg Performance in Fresh Pasta Production: Pasta Cooking Behaviour. Journal of the Science of Food and Agriculture, 91(5), 910-914.
- An, H.J., King, J.M., 2007. Thermal Characteristics of Ohmically Heated Rice Starch and Rice Flours. Journal of Food Science, 72(1), C084-C088.
- Anonim. 2002. Türk Gıda Kodeksi Makarna Tebliği. Resmi Gazete.
- Anonim. 2015. Makarna Tüketimi. Erişim Tarihi: 08.17.2016. <http://www.makarna.org.tr/d/makarna-sektoru/makarna-tuketimi/42/>.
- Antognelli, C., 1980. The Manufacture and Applications of Pasta as a Food And as a Food Ingredient: a Review. International Journal of Food Science & Technology, 15(2), 125-145.
- Apruzzese, F., Balke, S., Diosady, L., 2000. In-Line Colour and Composition Monitoring in the Extrusion Cooking Process. Food Research International, 33(7), 621-628.
- Aravind, N., Sissons, M., Fellows, C.M., Blazek, J., Gilbert, E.P., 2013. Optimisation of Resistant Starch II and III Levels in Durum Wheat Pasta to Reduce in Vitro Digestibility While Maintaining Processing and Sensory Characteristics. Food Chemistry, 136(2), 1100-1109.
- Baldwin, P.M., Adler, J., Davies, M.C., Melia, C.D., 1995. Starch Damage Part 1: Characterisation of Granule Damage in Ball-milled Potato Starch Study by SEM. Starch-Stärke, 47(7), 247-251.
- Barrera, G.N., Calderón-Domínguez, G., Chanona-Pérez, J., Gutiérrez-López, G.F., León, A.E., Ribotta, P.D., 2013. Evaluation of the Mechanical Damage on Wheat Starch Granules by Sem, Esem, Afm and Texture Image Analysis. Carbohydrate polymers, 98(2), 1449-1457.
- Bhattacharya, S., 1995. Kinetics of Hydration of Raw and Roasted Corn Semolina. Journal of Food Engineering, 25(1), 21-30.
- Bozkır, H., Baysal, T., Ergün, A.R., 2014. Gıda Endüstrisinde Uygulanan Yeni Çözündürme Teknikleri. Akademik Gıda, 12(3), 38-44.

- Cafieri, S., Mastromatteo, M., Chillo, S., Del Nobile, M., 2010. Modeling the Mechanical Properties of Pasta Cooked at Different Times. *Journal of Food Engineering*, 100(2), 336-342.
- Castro, I., Teixeira, J.A., Salengke, S., Sastry, S.K., Vicente, A.A., 2004. Ohmic Heating of Strawberry Products: Electrical Conductivity Measurements and Ascorbic Acid Degradation Kinetics. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 5(1), 27-36.
- Cocci, E., Sacchetti, G., Vallicelli, M., Angioloni, A., Dalla Rosa, M., 2008. Spaghetti Cooking by Microwave Oven: Cooking Kinetics and Product Quality. *Journal of Food Engineering*, 85(4), 537-546.
- Cubadda, R.E., Carcea, M., Marconi, E., Trivisonno, M.C., 2007. Influence of Gluten Proteins and Drying Temperature on the Cooking Quality of Durum Wheat Pasta. *Cereal Chemistry*, 84(1), 48-55.
- Cunin, C., Handschin, S., Walther, P., Escher, F., 1995. Structural Changes of Starch During Cooking of Durum Wheat Pasta. *LWT - Food Science and Technology*, 28(3), 323-328.
- Cunningham, S.E., McMinn, W.A.M., Magee, T.R.A., Richardson, P.S., 2007. Modelling Water Absorption of Pasta During Soaking. *Journal of Food Engineering*, 82(4), 600-607.
- Dalla Rosa, M., Lerici, C., Pinnavaia, G., Cencic, L., 1989. Sul Grado di Gelatinizzazione Dell'amido in Alimenti Diversi. *Tecnica Molitoria*.
- Darvishi, H., Hosainpour, A., Nargesi, F., 2012. Ohmic Heating Behaviour and Electrical Conductivity of Tomato Paste. *Nutrition & Food Sciences*, 2(9).
- de Alwis, A.A.P., Fryer, P.J., 1992. Operability of the Ohmic Heating Process: Electrical Conductivity Effects. *Journal of Food Engineering*, 15(1), 21-48.
- De Vita, O.Z., 2009. *Encyclopedia of Pasta*. Univ of California Press.
- Del Nobile, M.A., Baiano, A., Conte, A., Mocci, G., 2005. Influence of Protein Content on Spaghetti Cooking Quality. *Journal of Cereal Science*, 41(3), 347-356.
- Dexter, Matsuo R.R., B.C., M., 1983. Spaghetti Stickiness: Some Factors Influencing Stickiness and Relationship to Other Cooking Quality Characteristics. *Journal of Food Science*, 48, 1545-1551.
- Dziki, D., Laskowski, J., 2005. Evaluation of the Cooking Quality of Spaghetti. *Polish Journal Of Food And Nutrition Sciences*, 14(55), 153-158.

- Edwards, N., Izydorczyk, M., Dexter, J., Biliaderis, C., 1993. Cooked Pasta Texture: Comparison of Dynamic Viscoelastic Properties to Instrumental Assessment of Firmness. *Cereal Chemistry*, 70, 122-122.
- Eliot, S., Goullieux, A., Pain, J., 1999. Processing of Cauliflower by Ohmic Heating: Influence of Precooking on Firmness. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 79, 1406-1412.
- Eroğlu, E., Yıldız, H., 2011. Gıdaların Ozmotik Kurutulmasında Uygulanan Yeni Tekniklerin Enerji Verimliliği Bakımından Değerlendirilmesi. *Gıda Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 6(2), 41-48.
- Eserkaya Güleç, A. Sönmezoğlu, Ö., Yıldırım, A., 2010. Makarnalık Buğdaylarda Kalite ve Kaliteyi Etkileyen Faktörler GOÜ. *Ziraat Fakültesi Dergisi*, 27(1), 113-120.
- Fasano, A., Primicerio, M., Tesi, A., 2011. A Mathematical Model for Spaghetti Cooking with Free Boundaries. *NHM*, 6(1), 37-60.
- Gally, T., Rouaud, O., Jury, V., Le-Bail, A., 2016. Bread Baking Using Ohmic Heating Technology; a Comprehensive Study Based on Experiments and Modelling. *Journal of Food Engineering*, 190, 176-184.
- Glaring, M.A., Koch, C.B., Blennow, A., 2006. Genotype-Specific Spatial Distribution of Starch Molecules In The Starch Granule: a Combined Clsm and Sem Approach. *Biomacromolecules*, 7(8), 2310-2320.
- Grzybowski, R.A., Donnelly, B.J., 1979. Cooking Properties of Spaghetti: Factors Affecting Cooking Quality. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 27(2), 380-384.
- Guida, V., Ferrari, G., Pataro, G., Chambery, A., Di Maro, A., Parente, A., 2013. The Effects of Ohmic and Conventional Blanching on the Nutritional, Bioactive Compounds and Quality Parameters of Artichoke Heads. *LWT - Food Science and Technology*, 53(2), 569-579.
- Gülsoy, S., 2017. Analitik Doğa - Kümeleme ve Ordınasyon Teknikleri. TÜBİTAK 2237-A Analitik Doğa - Kümeleme ve Ordınasyon Teknikleri Eğitimi, Antalya.
- Horwitz, W., Latimer, G.W., 2005. Official Methods of Analysis of AOAC International. AOAC International, Gaithersburg.
- Icier, F., Tavman, S., 2006. Ohmic Heating Behaviour and Rheological Properties of Ice Cream Mixes. *International Journal of Food Properties*, 9(4), 679-689.
- İcier, F., 2005. Gıda İşlemede Alternatif Isıtma Yöntemi-Ohmik Isıtma. *Gıda*, 30(2), 139-143.

- İçier, F., Ilıcalı, C., 2005. The Effects of Concentration on Electrical Conductivity of Orange Juice Concentrates During Ohmic Heating. *Eur Food Res Technol*, , 406–414.
- İçier, F., Yıldız, H., Eroğlu, S., Sabancı, S., Eroğlu, E., 2013. Ayva Dilimlerinin Ozmotik Kurutulmasında Elektriksel ve Ultrasonik Ön İşlemlerin Etkileri. *Academic Food Journal/Akademik GIDA*, 11(2).
- Irie, K., Kawahara, T., Hirauchi, T., Horigane, A.K., Yoshida, M., 2017. Analysis of Moisture Distribution and Texture of Quick Boil Spaghetti. *LWT-Food Science and Technology*, 80, 364-370.
- Jittanita, Khuenpetb K., Kaewsria P., Dumrongpongpaiboon N., Hayamina P., K., J., 2017. Ohmic Heating for Cooking Rice: Electrical Conductivity Measurements, Textural Quality Determination and Energy Analysis. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 42, 16-24.
- Kanjanapongkul, K., 2017. Rice Cooking Using Ohmic Heating: Determination of Electrical Conductivity, Water Diffusion and Cooking Energy. *Journal of Food Engineering*, 192, 1-10.
- Karapantsios, T.D., Sakonidou, E.P., Raphaelides, S.N., 2000. Electrical Conductance Study of Fluid Motion and Heat Transport During Starch Gelatinization. *Journal of Food Science*, 65(1), 144-150.
- Kemp, M.R., Fryer, P.J., 2007. Enhancement of Diffusion Through Foods Using Alternating Electric Fields. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 8(1), 143-153.
- Kim, E.H.-J., Petrie, J.R., Motoi, L., Morgenstern, M.P., Sutton, K.H., Mishra, S., Simmons, L.D., 2008. Effect of Structural and Physicochemical Characteristics of the Protein Matrix in Pasta on in Vitro Starch Digestibility. *Food Biophysics*, 3(2), 229-234.
- Knirsch, M.C., Alves dos Santos, C., Martins de Oliveira Soares Vicente, A.A., Vessoni Penna, T.C., 2010. Ohmic Heating – a Review. *Trends in Food Science & Technology*, 21(9), 436-441.
- Köten, M., Ünsal, A., Atlı, A., 2014. Türkiye’de Üretilen Makarnaların Bazı Kimyasal Bileşimlerinin ve Pişme Kalitelerinin Belirlenmesi. *Gıda*, 39(1), 33-40.
- Lakshmi, S., Chakkaravarthi, A., Subramanian, R., Singh, V., 2007. Energy Consumption in Microwave Cooking of Rice and Its Comparison with Other Domestic Appliances. *Journal of Food Engineering*, 78(2), 715-722.
- Larrosa, V., Lorenzo, G., Zaritzky, N., Califano, A., 2016. Improvement of the Texture and Quality of Cooked Gluten-Free Pasta. *LWT - Food Science and Technology*, 70(Supplement C), 96-103.

- Lewandowicz, G., Fornal, J., Walkowski, A., Mączyński, M., Urbaniak, G., Szymańska, G., 2000. Starch Esters Obtained by Microwave Radiation — Structure and Functionality. *Industrial Crops and Products*, 11(2), 249-257.
- Li, B., Sun, D.-W., 2002. Novel Methods for Rapid Freezing and Thawing of Foods – a Review. *Journal of Food Engineering*, 54(3), 175-182.
- Li, F.-D., Li, L.-T., Li, Z., Tatsumi, E., 2004. Determination of Starch Gelatinization Temperature by Ohmic Heating. *Journal of Food Engineering*, 62(2), 113-120.
- Lima, M., Sastry, S.K., 1999. The effects of ohmic heating frequency on hot-air drying rate and juice yield. *Journal of Food Engineering*, 41(2), 115-119.
- Loypimai, P., Moongarm, A., Chottanom, P., 2009. Effects of Ohmic Heating on Lipase Activity, Bioactive Compounds and Antioxidant Activity of Rice Bran. *Aust J Basic Appl Sci*, 3(4), 3642-3652.
- Matsuo, R., Dexter, J., Dronzek, B., 1978. Scanning Electron Microscopy Study of Spaghetti Processing.
- McGuire, R.G., 1992. Reporting of Objective Color Measurements. *Hortscience*, 27(12), 1254-1255.
- Miah, M.K., Haque, A., Douglass, M.P., Clarke, B., 2002. Parboiling of Rice. Part II: Effect of Hot Soaking Time on the Degree of Starch Gelatinization. *International Journal of Food Science & Technology*, 37(5), 539-545.
- Morris, S.R., 2004. *Encyclopedia of Grain Science*. Elsevier Ltd, Amsterdam.
- Nazlı, Köse, E., 2006. Makarnada Kaliteyi Belirlemede Kullanılan Yöntemler. *Türkiye 9. Gıda Kongresi, Bolu*, 747-750.
- Nicky Shirsat, Brunton N., Lyng J., McKenna B., A., S., 2004. Texture, Colour and Sensory Evaluation of a Conventionally And Ohmically Cooked Meat Emulsion Batter. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 84, 1861–1870.
- Olivera, D.F., Salvadori, V.O., Marra, F., 2013. Ohmic Treatment of Fresh Foods Effect on Textural Properties. *International Food Research Journal*, 20(4), 1617-1621.
- Özkaya, H., Özkaya, B., 2005. *Öğütme Teknolojisi*. Sim Matbaacılık Ltd. Şti., Ankara.
- Palaniappan, S., Sastry, S.K., 1991. Electrical Conductivities of Selected Solid Foods During Ohmic Heating. *Journal of Food Process Engineering*, 14(3), 221-236.
- Pehlivan, A., İkincikarakaya, S.U., 2017. Makarnalık Buğdayda Kalite Islahı Çalışmaları. *Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 26(1), 127 - 151.

- Pereira, R.N., Rodrigues, R.M., Genisheva, Z., Oliveira, H., de Freitas, V., Teixeira, J.A., Vicente, A.A., 2016. Effects of Ohmic Heating on Extraction of Food-Grade Phytochemicals from Colored Potato. *LWT-Food Science and Technology*, 74, 493-503.
- Piette, G., Buteau, M.L., De Halleux, D., Chiu, L., Raymond, Y., Ramaswamy, R.S., M., D., 2004. Ohmic Cooking of Processed Meats and its Effects on Product Quality. *Journal of Food Science*, 69(2).
- Ramaswamy, H.S., Marcotte, M., Sastry, S., Abdelrahim, K., 2014. Ohmic Heating in Food Processing. CRC Press 530s, Boca Raton.
- Sarang, S., Sastry, S.K., Knipe, L., 2008. Electrical Conductivity of Fruits and Meats During Ohmic Heating. *Journal of Food Engineering*, 87(3), 351-356.
- Sastry, S., Abdelrahim, K., Ramaswamy, H.S., Marcotte, M., 2014. Ohmic Heating in Food Processing. CRC press.
- Sensoy, I., Sastry, S.K., 2004. Ohmic Blanching of Mushrooms. *Journal of Food Process Engineering*, 27(1), 1-15.
- Serrano, A., Font, G., Mañes, J., Ferrer, E., 2016. Development a mitigation strategy of enniatins in pasta under home-cooking conditions. *LWT-Food Science and Technology*, 65, 1017-1024.
- Sissons, M., 2004. *Encyclopedia of Grain Science*. Elsevier Ltd., Amsterdam.
- Švec, Hrušková M., Vítová M., H, S., 2008. Colour Evaluation of Different Pasta Samples. *Czech Journal of Food Sciences*, 26(6), 421-427.
- TAEK. 2018. Taramalı Elektron Mikroskobu Nedir? Erişim Tarihi: 27.11.2018.2018. <http://www.taek.gov.tr>.
- Toussaint-Samat, M., 2009. *A History of Food*. John Wiley & Sons.
- Tuncer, T., Ercan, R., 1990. Makarna Kalitesi ve Etkili Faktörler. *Gıda*, 15(4), 199-204.
- Varghese, K.S., Pandey, M.C., Radhakrishna, K., Bawa, A.S., 2012. Technology, Applications and Modelling of Ohmic Heating: a Review. *Journal of food science and technology*, 51(10), 2304-2317.
- Wang, W.-C., Sastry, S.K., 1997. Starch Gelatinization in Ohmic Heating. *Journal of Food Engineering*, 34(3), 225-242.
- Wootton, M., Weeden, D., Munk, N., 1971. Rapid Method for the Estimation of Starch Gelatinization in Processed Foods. Food Technol Australia.

- Yang, M.D., Chen, X., Sun, Z.Y., Li, G., Liu, Z.D., 2006. Study on the Characteristics of Ohmic Heating of Rice. *Food Sci.Technol.*, 8, 74-76.
- Yildiz, H., Bozkurt, H., Icier, F., 2009. Ohmic and Conventional Heating of Pomegranate Juice: Effects on Rheology, Color, and Total Phenolics. *Food Science and Technology International*, 15(5), 503-512.
- Zardetto, S., Dalla Rosa, M., 2007. Effect of Heat Treatment on the Microbiology and Quality of Fresh Filled Pasta. 45-66.
- Zell, M., Lyng, J.G., Cronin, D.A., Morgan, D.J., 2010. Ohmic Cooking of Whole Turkey Meat—Effect of Rapid Ohmic Heating on Selected Product Parameters. *Food Chemistry*, 120(3), 724-729.



EKLER

EK A. Çizelgeler

Çizelge A.1 10 V/cm gradiyeni için hesaplanan tüm hesaplamaların ortamları

T	β	λ $\times 10^1$	σ_{mix} $\times 10^2$	A_{top} $\times 10^3$	A_s $\times 10^4$	A_{bottom} $\times 10^4$	σ_1 $\times 10^2$	σ_s $\times 10^1$	$1/R_s$ $\times 10^3$	R_s	$1/R_{\text{bottom}}$ $\times 10^4$	R_{bottom}	$1/R_{\text{top}}$ $\times 10^3$	R_{top}	$1/\Sigma R_{\text{mix}}$ $\times 10^3$	ΣR_{mix}
25	1.00	3.83	6.80	3.70	6.90	6.90	5.38	1.30	1.49	675.11	6.19	1616.29	1.99	376.77	4.25	244.11
30	1.01	3.87	7.90	3.68	6.97	6.97	5.93	1.62	1.88	534.81	6.89	1450.61	2.18	344.56	4.88	210.74
35	1.02	3.90	8.90	3.66	7.02	7.02	6.48	0.19	2.22	452.74	7.58	1318.83	2.37	316.65	5.50	187.09
40	1.03	3.97	9.90	3.62	7.15	7.15	7.03	0.22	2.59	387.47	8.39	1192.25	2.54	295.51	6.15	167.56
45	1.05	4.01	11.00	3.59	7.22	7.22	7.58	0.25	2.99	335.77	9.12	1096.25	2.72	275.97	6.80	151.07
50	1.06	4.06	12.10	3.57	7.30	7.30	8.13	0.28	3.44	291.78	9.90	1010.74	2.90	259.49	7.48	136.61
55	1.08	4.13	13.30	3.52	7.43	7.43	8.68	0.31	3.84	261.11	10.74	930.76	3.06	245.50	8.18	125.48
60	1.10	4.23	14.70	3.46	7.61	7.61	9.23	0.35	4.48	223.18	11.70	854.60	3.20	234.90	9.12	113.01
65	1.14	4.38	16.30	3.37	7.89	7.89	9.78	0.39	5.19	192.64	12.87	777.05	3.29	228.84	10.00	102.32
70	1.21	4.66	17.60	3.21	8.38	8.38	10.33	0.42	5.85	171.19	14.45	692.23	3.31	228.66	7.90	94.369

T: Sıcaklık(°C); β : makarna seviyesindeki yükselme; λ : genişleme katsayısı; σ_{mix} : karışımın elektriksel iletkenlik katsayısı (S/m); A_{top} : suyun kesit alanı (m²); A_s : makarnanın kesit alanı (m²); A_{bottom} : karışımın kesit alanı (m²); σ_1 : suyun elektriksel iletkenlik katsayısı (S/m); σ_s : makarnanın elektriksel iletkenlik katsayısı (S/m); R_s : makarnanın direnci ; R_{bottom} : karışımın direnci (ohm) R_{top} : suyun direnci (ohm); ΣR_{mix} : ortalama direnç (ohm)

Çizelge A.2 10 V/cm gradiyeni için hesaplanan değerlerin standart sapmaları

T	β	λ $\times 10^2$	σ_{mix} $\times 10^2$	A_{top} $\times 10^5$	A_s $\times 10^5$	A_{bottom} $\times 10^5$	σ_1 $\times 10^2$	σ_s $\times 10^1$	$1/R_s$ $\times 10^3$	R_s	$1/R_{\text{bottom}}$ $\times 10^5$	R_{bottom}	$1/R_{\text{top}}$ $\times 10^5$	R_{top}	$1/\Sigma R_{\text{mix}}$ $\times 10^3$	ΣR_{mix}
25	0.00	0.00	0.16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.12	0.14	60.21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.14	8.22
30	0.01	0.52	0.25	3.10	0.93	0.93	0.01	0.15	0.17	48.58	0.84	17.59	1.69	3.57	0.17	7.68
35	0.01	0.29	0.25	1.73	0.52	0.52	0.02	0.17	0.19	37.02	0.56	9.70	1.12	2.00	0.19	6.60
40	0.01	0.37	0.32	2.23	0.67	0.67	0.01	0.20	0.23	33.17	0.69	9.72	1.38	2.14	0.24	6.48
45	0.01	0.48	0.37	2.90	0.87	0.87	0.01	0.20	0.21	23.43	1.10	13.10	2.20	2.98	0.22	5.02
50	0.02	0.60	0.28	3.57	1.07	1.07	0.02	0.21	0.21	17.50	1.45	14.75	2.90	3.47	0.22	4.11
55	0.01	0.27	0.35	1.64	0.49	0.49	0.02	0.21	0.25	16.48	0.71	6.16	1.43	1.53	0.25	3.90
60	0.01	0.23	0.21	1.38	0.41	0.41	0.03	0.09	0.10	4.64	0.63	4.64	1.27	1.24	0.10	1.26
65	0.02	0.62	0.22	3.70	1.11	1.11	0.02	0.13	0.15	5.54	1.96	11.84	3.91	3.60	0.15	1.57
70	0.02	0.91	0.29	5.47	1.64	1.64	0.03	0.19	0.21	6.17	2.85	13.90	5.70	5.14	0.22	1.95

T: Sıcaklık(°C); β : makarna seviyesindeki yükselme; λ : genişleme katsayısı; σ_{mix} : karışımın elektriksel iletkenlik katsayısı (S/m); A_{top} : suyun kesit alanı (m²); A_s : makarnanın kesit alanı (m²); A_{bottom} : karışımın kesit alanı (m²); σ_1 : suyun elektriksel iletkenlik katsayısı (S/m); σ_s : makarnanın elektriksel iletkenlik katsayısı (S/m); R_s : makarnanın direnci ; R_{bottom} : karışımın direnci (ohm) R_{top} : suyun direnci (ohm); ΣR_{mix} : ortalama direnç (ohm)

Çizelge A.3 20 V/cm gradiyeni için hesaplanan tüm değerlerin ortalamaları

T	β	λ $\times 10^1$	σ_{mix} $\times 10^2$	A_{top} $\times 10^3$	A_s $\times 10^4$	A_{bottom} $\times 10^4$	σ_1 $\times 10^2$	σ_s $\times 10^1$	$1/R_s$ $\times 10^3$	R_s	$1/R_{\text{bottom}}$ $\times 10^4$	R_{bottom}	$1/R_{\text{top}}$ $\times 10^2$	R_{top}	$1/\Sigma R_{\text{mix}}$ $\times 10^3$	ΣR_{mix}
25	1.00	3.83	7.21	3.70	6.90	6.90	6.11	1.18	1.35	754.90	7.04	1421.74	1.04	243.99	4.32	231.55
30	1.00	3.83	8.33	3.70	6.90	6.90	6.83	1.47	1.68	605.03	7.85	1273.46	1.05	222.76	5.00	200.34
35	1.00	3.83	9.52	3.70	6.90	6.90	7.58	1.77	2.04	493.36	8.72	1147.17	1.07	203.62	5.71	175.11
40	1.00	3.84	10.54	3.69	6.92	6.92	8.29	2.00	2.31	435.81	9.57	1044.95	1.07	189.98	6.32	158.18
45	1.00	3.86	11.71	3.68	6.95	6.95	9.04	2.28	2.65	378.69	10.48	954.10	1.09	176.91	7.03	142.38
49	1.02	3.92	12.81	3.65	7.05	7.05	9.76	2.54	2.98	336.68	11.46	872.79	1.10	167.25	7.69	130.11
55	1.03	3.95	14.02	3.63	7.11	7.11	10.50	2.83	3.36	299.13	12.45	803.41	1.10	158.90	8.41	118.94
60	1.04	3.99	15.06	3.60	7.18	7.18	11.29	3.02	3.61	277.76	13.51	740.29	1.11	150.76	9.038	110.70
65	1.05	4.04	16.08	3.57	7.27	7.27	12.04	3.21	3.88	259.85	14.59	685.44	1.11	144.67	9.65	103.77
70	1.08	4.09	17.36	3.55	7.37	7.37	12.756	3.54	4.34	231.15	15.66	638.95	1.12	139.06	10.43	95.96
75	1.08	4.12	18.48	3.53	7.42	7.42	13.58	3.74	4.62	217.22	17.00	595.84	1.13	132.99	11.09	90.22
79	1.09	4.16	19.42	3.50	7.49	7.49	14.29	3.89	4.86	206.28	17.85	560.64	1.14	128.58	11.65	85.85
85	1.10	4.21	20.04	3.48	7.57	7.57	15.11	3.86	4.86	206.83	19.08	524.65	01.14	124.21	12.025	83.23
90	1.10	4.23	20.08	3.46	7.62	7.62	16.54	3.34	4.23	286.95	21.03	485.50	1.18	112.33	12.05	83.08
95	1.12	4.30	12.46	3.41	7.75	7.75	16.47	-2.61	-2.70	-9.33	21.29	480.20	1.16	113.94	7.48	365.18

T: Sıcaklık(°C); β : makarna seviyesindeki yükselme; λ : genişleme katsayısı; σ_{mix} : karışımın elektriksel iletkenlik katsayısı (S/m); A_{top} : suyun kesit alanı (m²); A_s : makarnanın kesit alanı (m²); A_{bottom} : karışımın kesit alanı (m²); σ_1 : suyun elektriksel iletkenlik katsayısı (S/m); σ_s : makarnanın elektriksel iletkenlik katsayısı (S/m); R_s : makarnanın direnci ; R_{bottom} : karışımın direnci (ohm) R_{top} : suyun direnci (ohm); ΣR_{mix} : ortalama direnç (ohm)

Çizelge A.4 20 V/cm gradiyeni için hesaplanan değerlerin standart sapmaları

T	β	λ $\times 10^2$	σ_{mix} $\times 10^2$	A_{top} $\times 10^5$	A_s $\times 10^5$	A_{bottom} $\times 10^5$	σ_1 $\times 10^2$	σ_s $\times 10^1$	$1/R_s$ $\times 10^3$	R_s	$1/R_{\text{bottom}}$ $\times 10^5$	R_{bottom}	$1/R_{\text{top}}$ $\times 10^2$	R_{top}	$1/\Sigma R_{\text{mix}}$ $\times 10^3$	ΣR_{mix}
25	0.00	0.02	0.32	0.10	0.029	0.29	0.14	0.23	0.26	130.98	1.67	34.04	0.94	219.32	0.19	10.07
30	0.00	0.00	0.39	0.00	0.00	0.00	0.12	0.25	0.28	99.20	1.41	22.84	0.92	194.83	0.24	9.54
35	0.00	0.02	0.21	0.10	0.29	0.29	0.12	0.14	0.16	38.46	1.44	18.93	0.90	172.73	0.13	3.86
40	0.00	0.16	0.28	0.10	0.29	0.29	0.08	0.18	0.19	35.52	1.14	12.58	0.89	156.96	0.17	4.10
45	0.01	0.22	0.21	1.30	0.39	0.39	0.08	0.14	0.16	22.01	0.86	7.82	0.87	141.66	0.13	2.53
49	0.01	0.43	0.24	2.60	0.78	0.78	0.15	0.19	0.21	22.29	2.46	18.84	0.85	130.14	0.14	2.39
55	0.01	0.61	0.38	3.69	1.11	1.11	0.09	0.21	0.23	20.05	2.74	17.48	0.83	119.65	0.23	3.22
60	0.02	0.61	0.38	3.69	1.11	1.11	0.08	0.23	0.26	18.76	2.51	13.62	0.81	110.52	0.23	2.71
65	0.02	0.79	0.67	4.78	1.44	1.44	0.08	0.36	0.42	29.45	3.23	15.20	0.80	103.16	0.40	4.45
70	0.02	0.78	0.41	4.70	1.41	1.41	0.09	0.23	0.26	13.85	4.03	16.43	0.77	96.14	0.25	2.27
75	0.02	0.78	0.43	4.71	1.41	1.41	0.12	0.26	0.31	14.06	4.07	14.44	0.75	88.81	0.26	2.08
79	0.02	0.93	0.34	5.60	1.68	1.68	0.19	0.26	0.28	11.46	5.41	17.00	0.74	83.40	0.20	1.48
85	0.03	1.07	0.66	6.41	1.92	1.92	0.14	0.41	0.43	17.52	6.32	17.34	0.72	77.98	0.40	2.72
90	0.02	0.95	0.76	5.73	1.72	1.72	2.70	1.32	1.63	175.81	38.00	74.56	0.66	67.04	0.46	3.15
95	0.02	0.87	0.87	5.24	1.57	1.57	2.85	3.69	4.75	528.10	39.60	75.69	0.66	68.59	5.25	499.22

T: Sıcaklık(°C); β : makarna seviyesindeki yükselme; λ : genişleme katsayısı; σ_{mix} : karışımın elektriksel iletkenlik katsayısı (S/m); A_{top} : suyun kesit alanı (m^2); A_s : makarnanın kesit alanı (m^2); A_{bottom} : karışımın kesit alanı (m^2); σ_1 : suyun elektriksel iletkenlik katsayısı (S/m); σ_s : makarnanın elektriksel iletkenlik katsayısı (S/m); R_s : makarnanın direnci ; R_{bottom} : karışımın direnci (ohm) R_{top} : suyun direnci (ohm); ΣR_{mix} : ortalama direnç (ohm)

Çizelge A.5 30 V/cm gradiyeni için hesaplanan tüm değerlerin ortalaması

T	β	λ $\times 10^1$	σ_{mix} $\times 10^2$	A_{top} $\times 10^3$	A_s $\times 10^4$	A_{bottom} $\times 10^4$	σ_1 $\times 10^2$	σ_s $\times 10^1$	$1/R_s$ $\times 10^3$	R_s	$1/R_{bottom}$ $\times 10^4$	R_{bottom}	$1/R_{top}$ $\times 10^3$	R_{top}	$1/\Sigma R_{mix}$ $\times 10^3$	ΣR_{mix}
25	1.01	3.87	7.00	3.68	6.96	6.96	6.76	0.80	0.93	-32.58	7.85	1274.51	2.49	402.05	4.20	248.86
30	1.01	3.87	8.63	3.68	6.96	6.96	7.77	1.23	1.42	785.65	9.02	1109.00	2.86	349.83	5.18	194.20
35	1.01	3.87	9.87	3.68	6.96	6.96	8.79	1.44	1.67	660.43	10.19	981.98	3.23	309.27	5.93	170.02
40	1.01	3.87	11.07	3.68	6.95	6.95	9.70	1.68	1.95	569.13	11.24	889.72	3.57	280.11	6.64	151.84
45	1.01	3.88	12.20	3.67	6.99	6.99	10.61	1.89	2.19	494.22	12.36	808.84	3.90	256.77	7.33	137.61
50	1.02	3.92	13.38	3.65	7.05	7.05	11.58	2.09	2.45	447.61	13.61	734.98	4.22	236.78	8.03	125.70
55	1.02	3.92	14.61	3.65	7.06	7.06	12.64	2.27	2.67	404.57	14.87	672.64	4.60	217.09	8.77	114.94
59	1.02	3.92	15.60	3.64	7.07	7.07	13.50	2.41	2.84	377.96	15.91	628.59	4.92	203.35	9.35	107.67
64	1.03	3.96	16.40	3.62	7.13	7.13	14.51	2.41	2.86	363.51	17.25	580.22	5.26	190.21	9.84	101.91
70	1.04	3.97	16.86	3.61	7.16	7.16	14.74	2.55	3.03	334.95	17.59	568.74	5.32	187.86	10.12	98.99
75	1.04	4.00	16.88	3.60	7.20	7.20	14.97	2.45	2.94	346.16	17.98	556.52	5.39	185.63	10.13	98.93
80	1.05	4.02	16.58	3.59	7.23	7.23	15.04	2.28	2.74	375.25	18.13	551.60	5.40	185.31	9.95	100.73
84	1.06	4.05	15.96	3.57	7.29	7.29	14.98	1.98	2.41	486.62	18.21	549.41	5.35	187.07	9.58	105.26
90	1.07	4.10	15.13	3.54	7.38	7.38	14.72	1.67	2.06	112.36	18.12	552.04	5.21	192.00	9.08	112.09
95	1.08	4.14	9.99	3.51	7.45	7.45	14.50	-0.73	-0.91	178.16	18.00	555.59	5.10	196.09	5.99	232.07

T: Sıcaklık(°C); β : makarna seviyesindeki yükselme; λ : genişleme katsayısı; σ_{mix} : karışımın elektriksel iletkenlik katsayısı (S/m); A_{top} : suyun kesit alanı (m²); A_s : makarnanın kesit alanı (m²); A_{bottom} : karışımın kesit alanı (m²); σ_1 : suyun elektriksel iletkenlik katsayısı (S/m); σ_s : makarnanın elektriksel iletkenlik katsayısı (S/m); R_s : makarnanın direnci ; R_{bottom} : karışımın direnci (ohm) R_{top} : suyun direnci (ohm); ΣR_{mix} : ortalama direnç (ohm)

Çizelge A.6 30 V/cm gradiyeni için hesaplanan değerlerin standart sapması

T	β	λ $\times 10^1$	σ_{mix} $\times 10^2$	A_{top} $\times 10^5$	A_s $\times 10^5$	A_{bottom} $\times 10^5$	σ_1 $\times 10^2$	σ_s $\times 10^1$	$1/R_s$ $\times 10^3$	R_s	$1/R_{\text{bottom}}$ $\times 10^5$	R_{bottom}	$1/R_{\text{top}}$ $\times 10^5$	R_{top}	$1/\Sigma R_{\text{mix}}$ $\times 10^3$	ΣR_{mix}
25	0.02	0.07	1.50	4.18	1.25	1.25	0.07	0.79	0.91	1524.96	0.52	8.52	5.56	9.18	0.90	67.01
30	0.02	0.07	0.82	4.18	1.25	1.25	0.12	0.45	0.51	315.36	1.22	15.04	7.05	8.69	0.49	17.94
35	0.01	0.05	1.00	2.98	0.89	0.89	0.10	0.56	0.64	225.49	2.02	19.25	3.75	3.54	0.60	16.33
40	0.01	0.03	1.20	1.75	0.52	0.52	0.10	0.65	0.75	200.56	1.38	10.92	3.89	3.04	0.72	15.65
45	0.01	0.04	1.29	2.24	0.67	0.67	0.03	0.68	0.78	147.93	1.47	9.54	1.5	0.99	0.78	13.66
50	0.01	0.04	1.59	2.44	0.73	0.73	0.05	0.83	0.96	135.35	1.96	10.48	1.49	0.83	0.96	13.62
55	0.01	0.03	1.53	1.64	0.49	0.49	0.17	0.83	0.97	113.19	2.89	13.04	4.67	2.18	0.92	11.00
59	0.01	0.02	1.53	1.37	0.41	0.41	0.24	0.82	0.95	104.30	3.33	13.01	8.67	3.55	0.92	9.77
64	0.01	0.06	1.05	3.51	1.05	1.05	0.27	0.61	0.68	77.75	5.51	18.49	6.52	2.36	0.63	6.20
70	0.02	0.07	0.76	4.04	121	1.21	0.03	0.41	0.45	49.14	3.25	10.39	5.19	1.85	0.46	4.48
75	0.02	0.09	0.79	5.74	1.72	1.72	0.05	0.42	0.45	51.88	4.76	14.56	7.31	2.55	0.47	4.59
80	0.02	0.07	0.93	4.79	1.44	1.44	0.04	0.47	0.55	68.63	3.30	9.88	8.19	2.84	0.56	5.47
84	0.02	0.08	1.59	4.72	1.42	1.42	0.13	0.78	0.94	252.81	4.84	14.43	4.63	1.66	0.96	11.04
90	0.01	0.05	2.18	2.89	0.87	0.87	0.08	1.06	1.29	1453.19	3.10	9.39	1.84	0.68	1.31	17.66
95	0.01	0.04	5.34	2.61	0.78	0.78	0.06	2.56	3.18	640.03	2.43	7.44	3.01	1.15	3.21	173.57

T: Sıcaklık(°C); β : makarna seviyesindeki yükselme; λ : genişleme katsayısı; σ_{mix} : karışımın elektriksel iletkenlik katsayısı (S/m); A_{top} : suyun kesit alanı (m²); A_s : makarnanın kesit alanı (m²); A_{bottom} : karışımın kesit alanı (m²); σ_1 : suyun elektriksel iletkenlik katsayısı (S/m); σ_s : makarnanın elektriksel iletkenlik katsayısı (S/m); R_s : makarnanın direnci ; R_{bottom} : karışımın direnci (ohm) R_{top} : suyun direnci (ohm); ΣR_{mix} : ortalama direnç (ohm)

Çizelge A.7 40 V/cm gradiyeni için hesaplanan tüm değerlerin ortalamaları

T	β	λ $\times 10^1$	σ_{mix} $\times 10^2$	A_{top} $\times 10^3$	A_s $\times 10^4$	A_{bottom} $\times 10^4$	σ_1 $\times 10^2$	σ_s $\times 10^1$	$1/R_s$ $\times 10^3$	R_s	$1/R_{\text{bottom}}$ $\times 10^4$	R_{bottom}	$1/R_{\text{top}}$ $\times 10^3$	R_{top}	$1/\Sigma R_{\text{mix}}$ $\times 10^3$	ΣR_{mix}
25	1.00	3.83	7.63	3.70	6.90	6.90	6.76	1.13	1.30	1166.42	7.77	1286.33	2.50	399.80	4.58	224.35
30	1.00	3.85	9.30	3.70	6.93	6.93	7.81	1.56	1.80	653.18	9.02	1109.54	2.88	346.89	5.58	181.82
35	1.01	3.86	1.07	3.69	6.94	6.94	8.71	1.90	2.18	541.18	10.08	992.60	3.21	311.66	6.40	158.90
40	1.01	3.87	1.21	3.67	6.98	6.98	9.81	2.17	2.51	471.83	11.41	876.77	3.60	277.45	7.26	140.22
45	1.01	3.89	1.35	3.67	7.00	7.00	10.86	2.46	2.87	405.74	12.68	788.92	3.98	251.26	8.12	125.11
49	1.02	3.90	1.45	3.66	7.03	7.03	11.71	2.62	3.06	368.27	13.71	729.57	4.28	233.50	8.73	116.21
54	1.03	3.93	1.53	3.64	7.08	7.08	12.66	2.61	3.08	352.80	14.95	669.22	4.60	217.13	9.18	109.67
60	1.03	3.95	1.56	3.63	7.11	7.11	13.81	2.29	2.72	392.24	16.36	611.22	5.01	199.47	9.37	107.26
65	1.05	4.05	1.55	3.57	7.29	7.29	13.51	2.33	2.85	365.56	16.41	609.90	4.82	207.34	9.31	107.75
70	1.06	4.07	1.49	3.56	7.32	7.32	13.73	1.94	2.39	444.33	16.75	597.26	4.89	204.69	8.95	112.16
75	1.07	4.09	1.35	3.54	7.38	7.38	13.96	1.19	1.47	929.24	17.16	583.01	4.94	202.38	8.13	123.98
80	1.08	4.14	1.20	3.51	7.46	7.46	14.09	0.37	4.79	-642.42	17.51	571.45	4.95	202.02	7.18	141.94
85	1.09	4.17	1.08	3.49	7.52	7.52	13.71	-0.06	-0.06	5532.52	17.17	582.90	4.79	208.82	6.44	158.67
90	1.10	4.23	9.75	3.46	7.61	7.61	13.39	-0.4	-0.48	-1124.56	16.99	589.01	4.63	215.84	5.85	174.08
94	1.12	4.30	4.50	3.42	7.74	7.74	12.95	-2.56	-3.36	-420.91	16.71	599.19	4.43	225.98	2.74	653.78

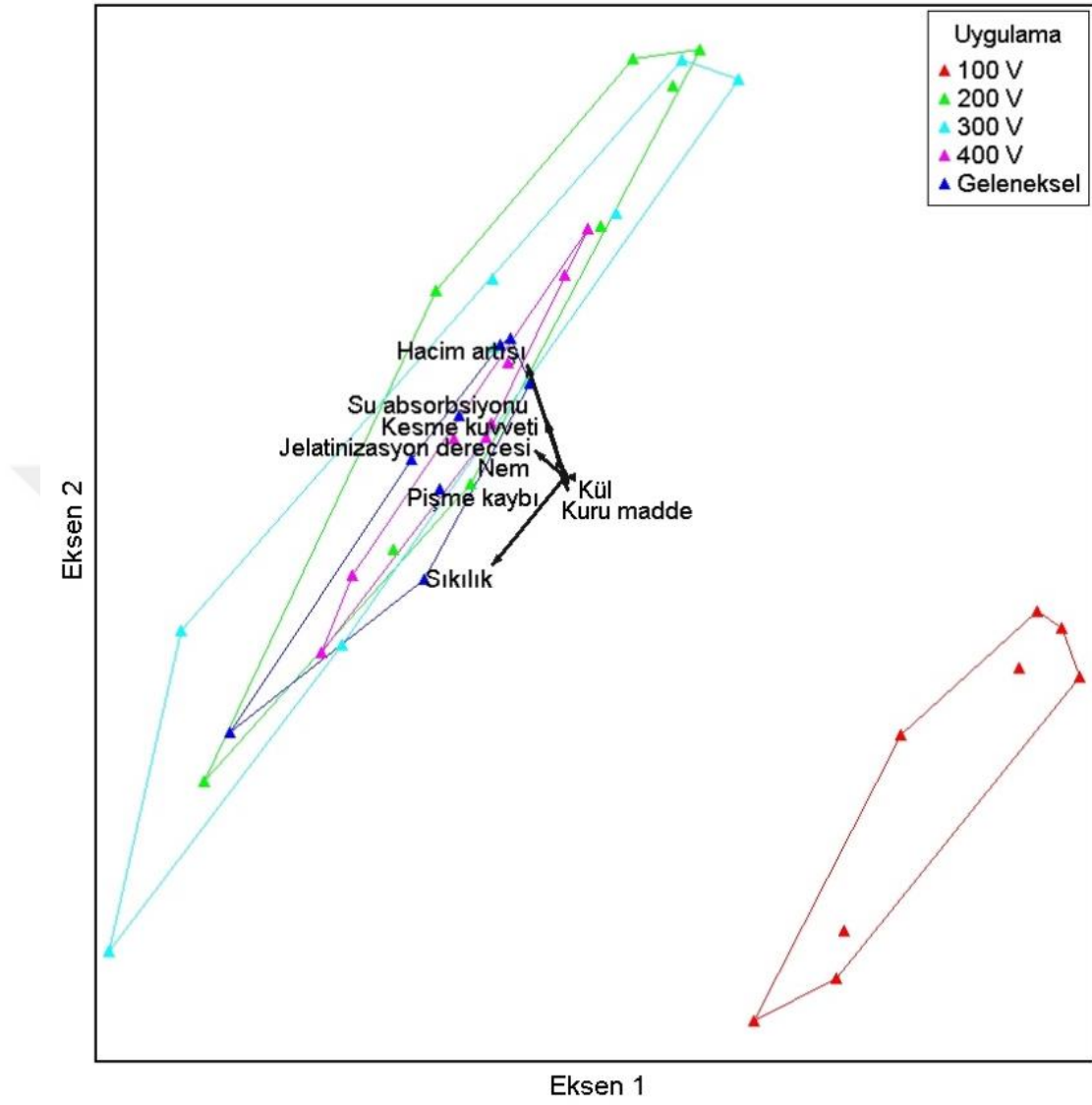
T: Sıcaklık(°C); β : makarna seviyesindeki yükselme; λ : genişleme katsayısı; σ_{mix} : karışımın elektriksel iletkenlik katsayısı (S/m); A_{top} : suyun kesit alanı (m²); A_s : makarnanın kesit alanı (m²); A_{bottom} : karışımın kesit alanı (m²); σ_1 : suyun elektriksel iletkenlik katsayısı (S/m); σ_s : makarnanın elektriksel iletkenlik katsayısı (S/m); R_s : makarnanın direnci ; R_{bottom} : karışımın direnci (ohm) R_{top} : suyun direnci (ohm); ΣR_{mix} : ortalama direnç (ohm)

Çizelge A.8 40 V/cm gradiyeni için hesaplanan değerlerin standart sapmaları

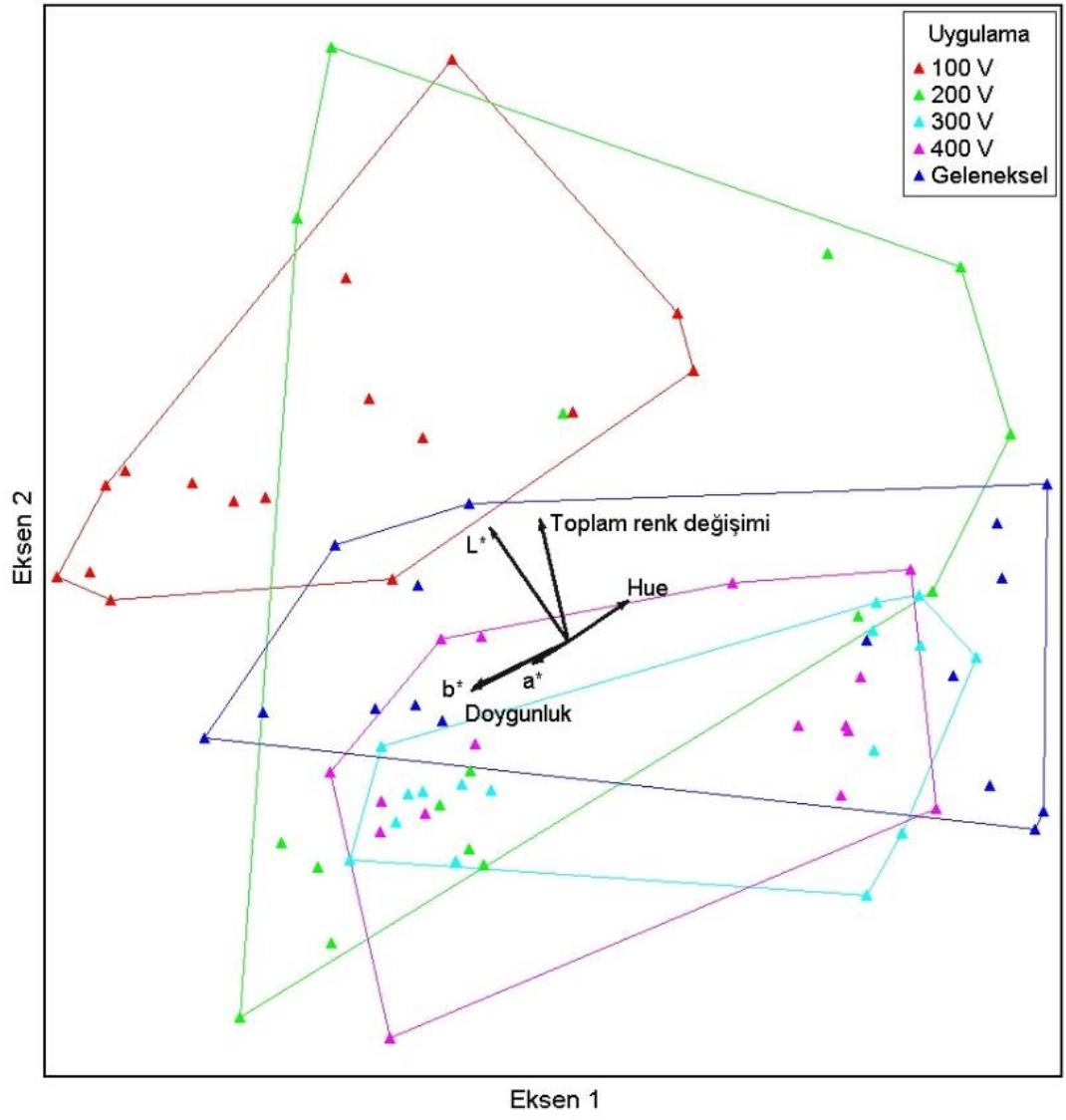
T	β	λ *10 ¹	σ_{mix} *10 ²	A_{top} *10 ⁵	A_s *10 ⁵	A_{bottom} *10 ⁵	σ_1 *10 ²	σ_s *10 ¹	$1/R_s$ *10 ³	R_s	$1/R_{\text{bottom}}$ *10 ⁵	R_{bottom}	$1/R_{\text{top}}$ *10 ⁵	R_{top}	$1/\Sigma R_{\text{mix}}$ *10 ³	ΣR_{mix}
25	0.00	0.00	1.41	0.00	0.00	0.00	0.00	0.73	0.84	842.18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.84	41.76
30	0.01	0.03	1.23	1.70	0.51	0.51	0.10	0.70	0.80	289.70	1.83	22.05	2.34	2.80	0.78	25.32
34	0.01	0.03	1.62	1.71	0.51	0.51	0.19	0.86	0.98	253.69	2.39	23.22	7.10	6.87	0.97	24.66
40	0.01	0.03	1.86	2.10	0.62	0.62	0.10	0.98	1.13	227.31	1.48	11.43	4.35	3.33	1.12	21.92
45	0.01	0.04	1.93	2.35	0.70	0.70	0.12	1.04	1.21	187.36	2.40	15.02	3.14	1.99	1.16	18.14
50	0.01	0.05	1.87	2.99	0.90	0.90	0.19	0.95	1.11	158.53	3.38	18.09	6.34	3.43	1.12	15.81
54	0.01	0.04	1.45	2.63	0.80	0.80	0.20	0.81	0.94	124.66	3.11	13.89	7.44	3.48	0.87	10.62
60	0.01	0.03	1.26	1.54	0.46	0.46	0.10	0.66	0.78	115.17	1.57	5.87	4.25	1.69	0.76	8.74
65	0.03	0.12	1.05	7.42	2.22	2.22	0.02	0.48	0.66	83.463	5.19	18.74	9.53	4.18	0.62	7.24
70	0.03	0.12	1.08	7.37	2.21	2.21	0.03	0.51	0.70	118.90	5.14	17.89	9.99	4.27	0.65	7.87
75	0.03	0.13	1.40	7.75	2.33	2.33	0.06	0.67	0.87	588.20	5.20	17.16	11.70	4.89	0.84	12.88
81	0.03	0.12	1.93	7.41	2.22	2.22	0.08	0.97	1.20	1629.01	5.73	18.11	9.59	3.96	1.16	22.28
86	0.04	0.16	1.94	9.33	2.80	2.80	0.05	0.96	1.18	12098.26	6.68	21.85	12.20	5.42	1.16	25.83
90	0.03	0.15	1.57	8.84	2.65	2.65	0.05	0.77	0.96	2271.60	5.48	18.87	13.10	6.14	0.94	26.10
94	0.04	0.17	3.45	10.30	3.08	3.08	0.00	1.47	2.01	287.49	6.66	23.79	13.30	6.83	2.07	536.65

T: Sıcaklık(°C); β : makarna seviyesindeki yükselme; λ : genişleme katsayısı; σ_{mix} : karışımın elektriksel iletkenlik katsayısı (S/m); A_{top} : suyun kesit alanı (m²); A_s : makarnanın kesit alanı (m²); A_{bottom} : karışımın kesit alanı (m²); σ_1 : suyun elektriksel iletkenlik katsayısı (S/m); σ_s : makarnanın elektriksel iletkenlik katsayısı (S/m); R_s : makarnanın direnci ; R_{bottom} : karışımın direnci (ohm) R_{top} : suyun direnci (ohm); ΣR_{mix} : ortalama direnç (ohm)

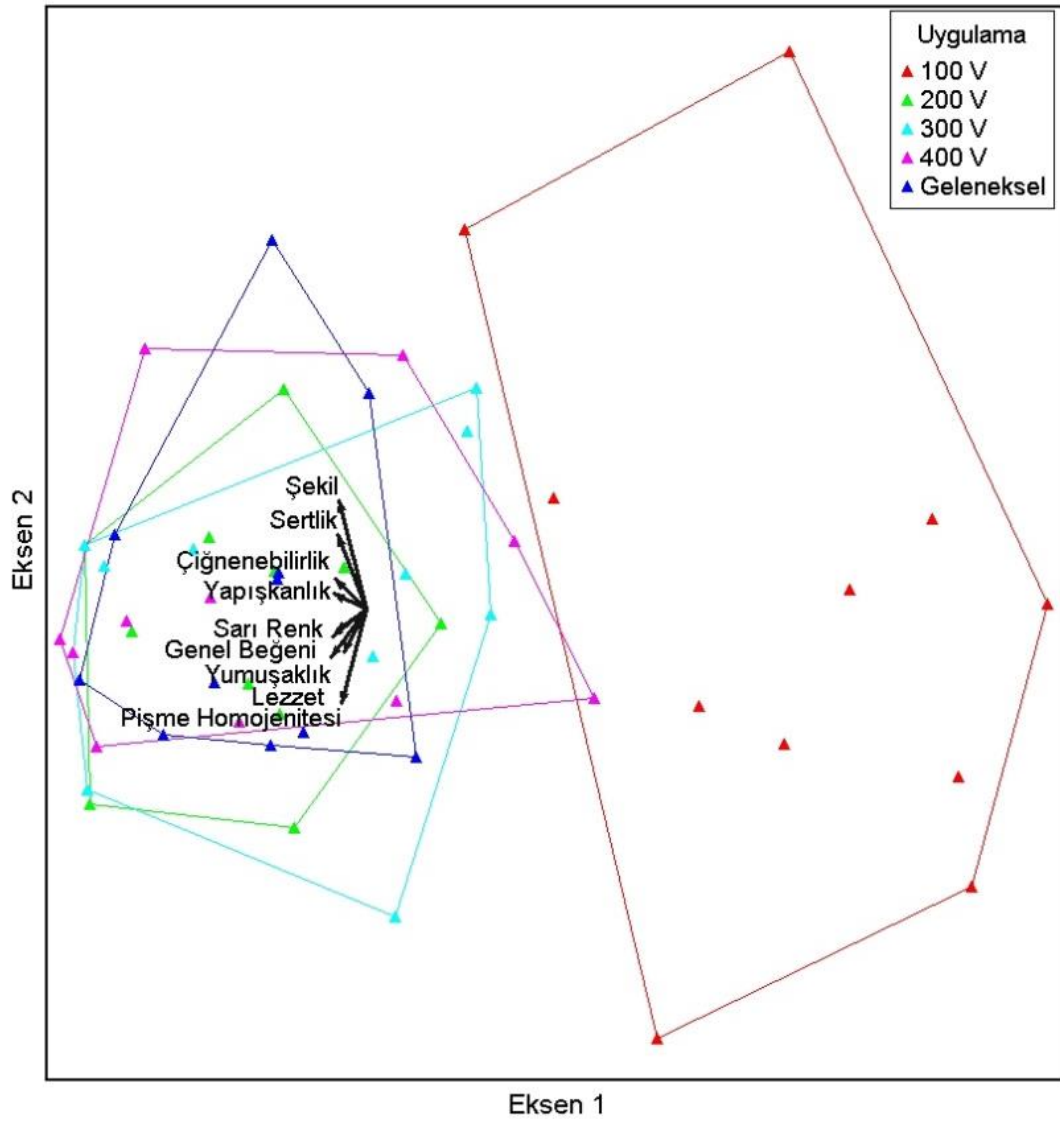
EK B. Şekiller



Şekil B.1 Hacim artışı, su absorpsiyonu, jelatinizasyon derecesi, nem/kuru madde, pişme kaybı, kül, sıklık ve kesme kuvveti analizleri için gerçekleştirilen temel bileşenler analizi grafiği



Şekil B.2 Renk ölçüm sonuçları için gerçekleştirilen temel bileşenler analizi grafiği



Şekil B.3 Duyusal değerlendirme sonuçları için gerçekleştirilen temel bileşenler analizi grafiği

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Yelizcan TURGUT
Doğum Yeri ve Yılı : Kayseri, 1989
Medeni Hali : Evli
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : yl1330119510@stud.sdu.edu.tr

Eğitim Durumu

Lise :Adem Tolunay Anadolu Lisesi, 2007
Lisans :Ankara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü
:Anadolu Üniversitesi, İşletme Fakültesi, İşletme Bölümü
Yüksek Lisans :SDÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği

Mesleki Deneyim

GNC ANKARA	2012-2013
EÜAŞ Karacaören Burdur/BUCAK	2014-2017
Tarım ve Orman Bakanlığı ISPARTA	2017- (halen)

Yayınları

Turgut, Y., Gül, H., 2015. İyonize Radyasyon Enerjisinin Tahıl Ürünlerinde Kullanımı. İç Anadolu Bölgesi 2. Tarım ve Gıda Kongresi, 28-30 Nisan, Nevşehir.

Turgut, Y., Turgut, S.S., Karacabey, E., Küçüköner, E., 2017. Ohmik Isıtma İşlemi Ve Gıda Endüstrisinde Kullanım Alanları. V. İleri Teknolojiler Çalıştayı, 23 Ekim, İstanbul, 67.

Turgut, Y., Turgut, S. S., Küçüköner, E., Karacabey, E., 2018. The Use Of Ohmic Heating As An Alternative Method For Pasta Cooking And Its Effects On Quality Properties. International Congress on Agriculture and Animal Sciences ICAGAS, 7-9 Kasım, Alanya.