EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

(DOKTORA TEZİ)

134687

GIDALARIN OHMİK ISITMA YÖNTEMİYLE ISITILMASININ DENEYSEL VE KURAMSAL OLARAK İNCELENMESİ

Filiz İÇİER

Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

Bilim Dalı Kodu: 614.02.00

Sunuş Tarihi: 11.09.2003

Tez Danışmanı: Prof.Dr. Coşkan ILICALI

Bornova, İZMİR

134687

Filiz İÇİER tarafından **DOKTORA TEZİ** olarak sunulan "Gıdaların Ohmik Isıtma Yöntemiyle Isıtılmasının Deneysel ve Kuramsal Olarak İncelenmesi" başlıklı bu çalışma E.Ü. Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği ile E.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Eğitim ve öğretim yönergesi'nin ilgili hükümleri uyarınca tarafımızdan değerlendirilerek savunmaya değer bulunmuş ve 11.09.2003 tarihinde yapılan tez savunma sınavında aday oybirliği / ~~oyçokluğu~~ ile başarılı bulunmuştur.

Jüri Üyeleri		**İmza**
Jüri Başkanı	: Prof. Dr. Coşkun ILICALI	
Raportör Üye	: Doç. Dr. Figen ERTEKİN	
Üye	: Prof. Dr. Ali ESİN	
Üye	: Prof. Dr. Şebnem TAUMAN	
Üye	: Yrd. Doç. Dr. Semih ENGEZ	

ÖZET

GIDALARIN OHMİK ISITMA YÖNTEMİYLE ISITILMASININ DENEYSEL VE KURAMSAL OLARAK İNCELENMESİ

İÇİER, Filiz

Doktora Tezi, Gıda Mühendisliği Bölümü

Tez Yöneticisi: Prof. Dr. Coşkan ILICALI

Eylül 2003, 245 sayfa

Ohmik ısıtma sisteminin sıvı ve katı gıdaların ısıtılmasında kullanılması bu tez çalışmasında deneysel ve kuramsal olarak incelenmiştir. Laboratuar ölçekli bir ohmik ısıtma sistemi kurularak, ısıtma işlemine etki eden değişkenler belirlenmiştir.

Sıvı gıda olarak früktoz-glikoz şurubu, farklı meyve suyu ve nektarları, meyve konsantreleri ve püreleri ile çalışılmıştır. Katı gıda olarak ise farklı yağ içeriğine sahip kıyma örnekleri ile model gıda olarak seçilen farklı tuz konsantrasyonuna sahip Tylose örnekleri kullanılmıştır.

Ohmik ısıtma işleminde sıvı gıdalar için 18-77 V/cm arasında, katı örnekler için ise 10-50 V/cm arasında voltaj gradyanları uygulanmıştır. Tüm örneklerin farklı voltaj gradyanlarında Ohmik ısıtma eğrileri ve elektriksel iletkenlik değişimleri tespit edilmiştir. Örneklerin 30°C'den 60°C'ye ısıtılması için gerekli Ohmik ısıtma süreleri ölçülmüştür. Tüm örneklerde voltaj gradyanı arttıkça Ohmik ısıtma sürelerinin azaldığı saptanmıştır. Ohmik ısıtma sırasında sisteme verilen ve örnek tarafından alınabilen enerjiler dikkate alınarak sistem performans katsayıları hesaplanmıştır. Sistem performans katsayılarının sıvı örnekler için 0,47-0,92 arasında, katı örnekler için 0,36-0,53 arasında olduğu belirlenmiştir.

Sıvı gıdalarda elektriksel iletkenliğin şeker içeriği ve asitliğe bağlı olarak değiştiği belirlenmiştir. Meyve konsantrelerinde ve pürelerinde elektriksel iletkenliğin sıcaklık, voltaj gradyanı ve konsantrasyona bağlı empirik modelleri elde edilmiştir. Katı gıdalarda ise elektriksel iletkenliğin yağ ve tuz içeriğine bağlı olduğu tespit edilmiştir. Yağlı kıyma örneği için %0,5 tuz içeriğine sahip Tylose örnekleri, az yağlı kıyma örneği için ise %0,67 tuz içeriğine sahip Tylose örneklerinin Ohmik ısıtma işleminde model oluşturabileceği belirlenmiştir.

Sıvı ve katı gıdaların Ohmik ısıtılması kuramsal olarak da incelenmiştir. Elde edilen empirik elektriksel iletkenlik ilişkilerini kullanan ve sistemdeki enerji kayıplarını dikkate alan matematiksel modeller oluşturulmuş ve nümerik olarak çözülmüştür. Program kodları FORTRAN programlama diliyle yazılmıştır. Matematiksel model sonuçları deneysel sonuçlarla karşılaştırılmış, oldukça iyi uyum olduğu saptanmıştır.

Anahtar kelimeler: ohmik ısıtma, elektriksel iletkenlik, gıda, matematiksel modelleme

ABSTRACT

THE EXPERIMENTAL INVESTIGATION AND MATHEMATICAL MODELING OF OHMIC HEATING OF FOODS

İÇİER, Filiz

Ph. D in Food Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Coşkan ILICALI

September 2003, 245 pages

The use of Ohmic heating system in the heating of liquid and solid food materials was investigated in this thesis. A laboratory scale Ohmic heating system was constructed and the variables affecting heating were determined.

Fructose-glucose solutions, fruit juices and nectars, fruit concentrates and purees were studied as liquid food samples. As solid foods, minced beef samples having different fat contents and model food analog Tylose samples having different salt concentrations were used. In the Ohmic heating experiments, the range of 18-77 V/cm voltage gradient for liquid samples and the range of 10-50 V/cm voltage gradient for solid samples were used.

For all samples, Ohmic heating curves and electrical conductivity changes at different voltage gradients were obtained. The Ohmic heating times required to heat the samples from 30°C to 60°C were measured. For all samples, it was found that as the voltage gradient increased Ohmic heating times decreased. The system performance coefficients were calculated by considering the energy given to the system and the energy taken by the samples during Ohmic heating. The system

YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

performance coefficients were in the range of 0.47-0.92 for liquid samples and in the range of 0.36-0.53 for solid samples.

It was determined that the electrical conductivity depended on sugar content and acidity of liquid foods. At fruit concentrates and purees, the empirical models of electrical conductivity depending on temperature, voltage gradient and concentration were obtained. It was also found that electrical conductivity of solid food samples depended on fat and salt contents. For Ohmic heating process, Tylose samples having 0.5% and 0.67% salt concentrations were determined to be satisfactory analogs for minced beef samples having high and low fat contents, respectively.

Ohmic heating of solid and liquid foods was investigated also mathematically. Mathematical models using electrical conductivity relations obtained and considering energy losses in the system were developed and numerically solved. Program codes were written in FORTRAN. The model results were compared with experimental results and satisfactory agreement was determined.

Keywords: Ohmic heating, electrical conductivity, food, mathematical modeling

TEŞEKKÜR

Bu çalışma süresince gerekli hammaddeleri sağlayan Etap Tarım ve Gıda Ürünleri Ambalaj San. ve Tic. A. Ş., Pınar Süt Mamulleri San.A.Ş., Pendik Nişasta San. A.Ş.'ye, tez projesine maddi destek sağlayan EBİLTEM ve E:Ü. Bilimsel Araştırma Projeleri Destekleme Fonu'na, tez projesi boyunca değerli katkılarını aldığım Sayın Prof. Dr. Coşkan ILICALI'ya, görüşlerinden yararlandığım Yrd. Doç. Dr. Kemal Demirağ'a, deney düzeneğinin kurulmasında çok önemli yardımlarını aldığım Öğr .Gör. A.Varsın Kemahlıoğlu ve Öğr. Gör. Mustafa Engin'e ve her zaman benim yanımda olan aileme ve tüm mesai arkadaşlarıma teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET v

ABSTRACT vii

TEŞEKKÜR ix

ŞEKİLLER DİZİNİ xv

ÇİZELGELER DİZİNİ xxi

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ xxvi

1. GİRİŞ 1

2. OHMİK ISITMA 3

2.1 Ohmik Isıtmanın Özellikleri 4

İÇİNDEKİLER (devam)

2.2 Ohmik Isıtma Sistemi Tasarımında Dikkat Edilmesi Gereken Faktörler 8

2.3 Ohmik Isıtma Konusunda Yapılan Çalışmalar 12

2.3.1 Gıdaların işlenmesinde Ohmik ısıtmanın kullanımı 14

2.3.2 Ohmik ısıtma üzerine yapılan kuramsal çalışmalar 23

2.4 Endüstriyel Uygulamaları 29

3. MATERYAL VE METOD 31

3.1 Deney Düzeneği 31

3.2 Kullanılan Materyaller 35

3.3 Uygulanan Isıtma Yöntemi 39

3.4 Yapılan Analizler 42

3.4.1 Kuru madde tayini 42

3.4.2 Asitlik tayini ve pH ölçümü 42

3.4.3 Şeker tayini 42

3.4.4 Protein tayini 43

İÇİNDEKİLER (devam)

3.4.5 Yağ tayini 43

3.4.6 Kül tayini 43

3.4.7 Yoğunluk ölçümleri 43

3.4.8 Sonuçların değerlendirilmesi 43

3.5 Geliştirilen Model 44

4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA 50

4.1.Sıvı Gıdaların Ohmik Isıtılmasının İncelenmesi 50

4.1.1 Şurup örnekleri 50

4.1.2 Mamul meyve suyu ve nektarları 59

4.1.3 Meyve suyu konsantreleri 75

4.1.4 Meyve püreleri 100

4.2 Katı Gıdaların Ohmik Isıtılmasının İncelenmesi 118

4.2.1 Kıyma örnekleri 118

4.2.2 Model gıda örnekleri 129

5. GENEL SONUÇ VE ÖNERİLER 148

İÇİNDEKİLER (devam)

KAYNAKLAR DİZİNİ 155

EKLER 173

Ekler Dizini 175

ÖZGEÇMİŞ 245

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil Sayfa

Şekil 2.1 Ohmik ısıtmada gıda maddesi direnç olarak kullanılır 3

Şekil 2.2 Sürekli Ohmik ısıtma sistemi 13

Şekil 3.1 Ohmik ısıtma sisteminin şematik gösterimi 32

Şekil 3.2 Sistemin genel görünüşü..... 33

Şekil 3.3 Elektrotların görünüşü..... 34

Şekil 4.1 %0.427 asitlikte farklı konsantrasyona sahip şurup örneklerinin 6 farklı voltaj gradyanı ile Ohmik ısıtılması a) %13 b) %14 51

Şekil 4.2 %0.427 asitlikte farklı konsantrasyona sahip şurup örneklerinin 6 farklı voltaj gradyanı ile Ohmik ısıtılması sırasında elektriksel iletkenlik değişimleri a) %13, b) %14 52

Şekil 4.3 Farklı asitliklere sahip şurup örneklerinin 40 V/cm voltaj gradyanı ile Ohmik ısıtılması sırasında a) ısıtma eğrileri b) elektriksel iletkenlik değişimleri..... 55

Şekil 4.4 Elma suyunun farklı voltaj gradyanlarında Ohmik ısıtma eğrileri a) 18,75-33,33 b) 35-76,67 V/cm.....61

Şekil 4.5 Portakal nektarının farklı voltaj gradyanlarında Ohmik ısıtma eğrileri a) 18,75-33,33 b) 35-76,67 V/cm..... 62

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

Şekil 4.6 Vişne nektarının farklı voltaj gradyanlarında Ohmik ısıtma eğrileri a) 18,75-30 b) 35-76,67 V/cm..... 63

Şekil 4.7 Kayısı nektarının farklı voltaj gradyanlarında Ohmik ısıtma eğrileri a) 20-30 b) 35-70 V/cm 64

Şekil 4.8 Portakal nektarının farklı voltaj gradyanlarında Ohmik ısıtılması sırasında elektriksel iletkenlik değişimleri..... 65

Şekil 4.9 Meyve suyu ve nektarların 3 farklı voltaj gradyanındaki Ohmik ısıtma eğrileri 66

Şekil 4.10 Meyve suyu ve nektarların 3 farklı voltaj gradyanında Ohmik ısıtılmaları sırasında elektriksel iletkenliklerinin değişimi 71

Şekil 4.11 Filtre edilmiş portakal nektarının farklı voltaj gradyanlarında ohmik ısıtma eğrileri a) 18,75-33,33 b) 35-76,67 V/cm.... 73

Şekil 4.12 Portakal nektarına uygulanan filtrasyon işleminin a) ısıtma hızına ve b) Ohmik ısıtma sırasındaki elektriksel iletkenlik değişimine etkisi 74

Şekil 4.13 % 50 konsantrasyondaki vişne suyunun farklı voltaj gradyanlarında a) Ohmik ısıtma eğrileri b) elektriksel iletkenlik değişimleri..... 80

Şekil 4.14 % 50 konsantrasyondaki portakal suyunun farklı voltaj gradyanlarında a) Ohmik ısıtma eğrileri b) elektriksel iletkenlik değişimleri..... 81

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

Şekil 4.15 % 50 konsantrasyondaki elma suyunun farklı voltaj gradyanlarında a) Ohmik ısıtma eğrileri b) elektriksel iletkenlik değişimleri..... 82

Şekil 4.16 Farklı konsantrasyondaki vişne sularının 40 V/cm voltaj gradyanında a) Ohmik ısıtma eğrileri b) elektriksel iletkenlik değişimleri 87

Şekil 4.17 Farklı konsantrasyondaki portakal sularının 40 V/cm voltaj gradyanında a) Ohmik ısıtma eğrileri b) elektriksel iletkenlik değişimleri 88

Şekil 4.18 Farklı konsantrasyondaki elma sularının 40 V/cm voltaj gradyanında a) Ohmik ısıtma eğrileri b) elektriksel iletkenlik değişimleri 89

Şekil 4.19 Şeftali püresinin farklı voltaj gradyanlarında Ohmik ısıtma eğrileri a) 20-30 V/cm b) 35-70 V/cm..... 101

Şekil 4.20 Kayısı püresinin farklı voltaj gradyanlarında Ohmik ısıtma eğrileri a) 20-40 V/cm b) 45-70 V/cm..... 102

Şekil 4.21 Şeftali püresinin farklı voltaj gradyanlarında Ohmik ısıtılması sırasında elektriksel iletkenlik değişimleri..... 105

Şekil 4.22 Kayısı püresinin farklı voltaj gradyanlarında Ohmik ısıtılması sırasında elektriksel iletkenlik değişimleri..... 106

Şekil 4.23 Kayısı püresinin Ohmik ısıtılması sırasında voltaj gradyanı sağlama şeklinin ısıtma hızına etkisi 115

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

Şekil 4.24 Kayısı püresinin Ohmik ısıtılması sırasında voltaj gradyanı sağlama şeklinin elektriksel iletkenlik değişimlerine etkisi 115

Şekil 4.25 Kayısı püresinin Ohmik ısıtılması sırasında tıpa kullanımının etkisi ; a) ısıtma eğrileri, b)elektriksel iletkenlik-sıcaklık eğrileri 117

Şekil 4.26 Az yağlı kıyma örneklerinin (kym) farklı voltaj gradyanlarında Ohmik ısıtılması sırasında elektriksel iletkenlik değişimi 119

Şekil 4.27 Yağlı kıyma örneklerinin (ykym) farklı voltaj gradyanlarında Ohmik ısıtılması sırasında elektriksel iletkenlik değişimi 120

Şekil 4.28 Az yağlı kıyma örneklerinin (kym) 5 farklı voltaj gradyanı ile Ohmik ısıtılması 124

Şekil 4.29 Yağlı kıyma örneklerinin (ykym) 5 farklı voltaj gradyanı ile Ohmik ısıtılması 124

Şekil 4.30 %0,5 tuz içeriğine sahip Tylose örneklerinin (tyl05) 5 farklı voltaj gradyanı ile Ohmik ısıtılması 130

Şekil 4.31 %0,67 tuz içeriğine sahip Tylose örneklerinin (tyl067) 5 farklı voltaj gradyanı ile Ohmik ısıtılması 131

Şekil 4.32 %0,5 tuz içeriğine sahip Tylose örneklerinin (tyl05) farklı voltaj gradyanlarında Ohmik ısıtılması sırasında elde edilen elektriksel iletkenlik değişimleri..... 132

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

Şekil 4.33 %0,67 tuz içeriğine sahip Tylose örneklerinin (tyl067) farklı voltaj gradyanlarında Ohmik ısıtılması sırasında elde edilen elektriksel iletkenlik değişimleri..... 133

Şekil 4.34 Tylose (tyl05) ve kıyma (ykym) örneklerinin 10 V/cm voltaj gradyanında Ohmik ısıtılmasında a) ısıtma eğrileri ve b) elektriksel iletkenlik değişimleri uyumu 135

Şekil 4.35 Tylose (tyl05) ve kıyma (ykym) örneklerinin 20 V/cm voltaj gradyanında Ohmik ısıtılmasında a) ısıtma eğrileri ve b) elektriksel iletkenlik değişimleri uyumu 136

Şekil 4.36 Tylose (tyl05) ve kıyma (ykym) örneklerinin 30 V/cm voltaj gradyanında Ohmik ısıtılmasında a) ısıtma eğrileri ve b) elektriksel iletkenlik değişimleri uyumu 137

Şekil 4.37 Tylose (tyl05) ve kıyma (ykym) örneklerinin 40 V/cm voltaj gradyanında Ohmik ısıtılmasında a) ısıtma eğrileri ve b) elektriksel iletkenlik değişimleri uyumu 138

Şekil 4.38 Tylose (tyl05) ve kıyma (ykym) örneklerinin 50 V/cm voltaj gradyanında Ohmik ısıtılmasında a) ısıtma eğrileri ve b) elektriksel iletkenlik değişimleri uyumu 139

Şekil 4.39 Tylose (tyl067) ve kıyma (kym) örneklerinin 10 V/cm voltaj gradyanında Ohmik ısıtılmasında a) ısıtma eğrileri ve b) elektriksel iletkenlik değişimleri uyumu 141

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

Şekil 4.40 Tylose (tyl067) ve kıyma (kym) örneklerinin 20 V/cm voltaj gradyanında Ohmik ısıtılmasında a) ısıtma eğrileri ve b) elektriksel iletkenlik değişimleri uyumu 142

Şekil 4.41 Tylose (tyl067) ve kıyma (kym) örneklerinin 30 V/cm voltaj gradyanında Ohmik ısıtılmasında a) ısıtma eğrileri ve b) elektriksel iletkenlik değişimleri uyumu 143

Şekil 4.42 Tylose (tyl067) ve kıyma (kym) örneklerinin 40 V/cm voltaj gradyanında Ohmik ısıtılmasında a) ısıtma eğrileri ve b) elektriksel iletkenlik değişimleri uyumu 144

Şekil 4.43 Tylose (tyl067) ve kıyma (kym) örneklerinin 50 V/cm voltaj gradyanında Ohmik ısıtılmasında a) ısıtma eğrileri ve b) elektriksel iletkenlik değişimleri uyumu 145

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge Sayfa

Çizelge 2.1 Endüstriyel ve pilot çapta Ohmik ısıtma uygulamaları 29

Çizelge 3.1 Kullanılan konsantre früktoz-glikoz şurubunun özellikleri 35

Çizelge 3.2 Meyve suyu ve nektarlarının bazı özellikleri 36

Çizelge 3.3 Meyve suyu konsantreleri ve pürelerinin bazı özellikleri...37

Çizelge 3.4 Kıyma örneklerinin bazı özellikleri 38

Çizelge 3.5 Ohmik ısıtma işleminde örneklere uygulanan voltaj gradyanları..... 40

Çizelge 4.1 %0,427 asitlikte farklı konsantrasyona sahip şurup örneklerinin elektriksel iletkenlik-sıcaklık ilişkileri ve Ohmik ısıtma süreleri 53

Çizelge 4.2 Farklı asitliğe sahip şurup örneklerinin Ohmik ısıtma deneysel ve model sonuçları. 57

Çizelge 4.3 Elma suyunun farklı voltaj gradyanlarında Ohmik ısıtılması sırasında elektriksel iletkenlik-sıcaklık ilişkilerinin sabit ve katsayıları..... 67

Çizelge 4.4 Portakal nektarının farklı voltaj gradyanlarında Ohmik ısıtılması sırasında elektriksel iletkenlik-sıcaklık ilişkilerinin sabit ve katsayıları..... 68

ÇİZELGELER DİZİNİ (devam)

Çizelge 4.5 Vişne nektarının farklı voltaj gradyanlarında Ohmik ısıtılması sırasında elektriksel iletkenlik-sıcaklık ilişkilerinin sabit ve katsayıları..... 69

Çizelge 4.6 Kayısı nektarının farklı voltaj gradyanlarında Ohmik ısıtılması sırasında elektriksel iletkenlik-sıcaklık ilişkilerinin sabit ve katsayıları..... 70

Çizelge 4.7 Vişne suyu konsantrelerinin Ohmik ısıtılması sırasında elde edilen elektriksel iletkenlik-sıcaklık ilişkilerinin sabit ve katsayıları..... 76

Çizelge 4.8 Portakal suyu konsantrelerinin Ohmik ısıtılması sırasında elde edilen elektriksel iletkenlik-sıcaklık ilişkilerinin sabit ve katsayıları.....77

Çizelge 4.9 Elma suyu konsantrelerinin Ohmik ısıtılması sırasında elde edilen elektriksel iletkenlik-sıcaklık ilişkilerinin sabit ve katsayıları..... 78

Çizelge 4.10 Meyve suyu konsantrelerinin Ohmik ısıtılması sırasında uygulanan voltaj gradyanı aralığı için geçerli olan elektriksel iletkenlik-sıcaklık ilişkisi sabit ve katsayıları..... 84

Çizelge 4.11 Meyve suyu konsantrelerinin Ohmik ısıtılması sırasında voltaj gradyanı ve sıcaklığa bağlı elektriksel iletkenlik ilişkisi empirik sabitleri ve katsayıları 86

ÇİZELGELER DİZİNİ (devam)

Çizelge 4.12 Meyve suyu konsantrelerinin Ohmik ısıtılması sırasında konsantrasyon, voltaj gradyanı ve sıcaklığa bağlı elektriksel iletkenlik ilişkisi empirik sabitleri ve katsayıları 90

Çizelge 4.13 Elma suyu konsantrelerinin farklı Ohmik ısıtma koşullarında elde edilen bazı deneysel ve model sonuçları..... 92

Çizelge 4.14 Vişne suyu konsantrelerinin farklı Ohmik ısıtma koşullarında elde edilen bazı deneysel ve model sonuçları..... 93

Çizelge 4.15 Portakal suyu konsantrelerinin farklı Ohmik ısıtma koşullarında elde edilen bazı deneysel ve model sonuçları..... 94

Çizelge 4.16 Şeftali püresinin farklı Ohmik ısıtma koşullarında elde edilen elektriksel iletkenlik-sıcaklık ilişkilerinin sabit ve katsayıları.....107

Çizelge 4.17 Kayısı püresinin farklı Ohmik ısıtma koşullarında elde edilen elektriksel iletkenlik-sıcaklık ilişkilerinin sabit ve katsayıları.....108

Çizelge 4.18 Şeftali püresinin farklı Ohmik ısıtma koşullarında elde edilen bazı deneysel verileri ve model sonuçları 110

Çizelge 4.19 Kayısı püresinin farklı Ohmik ısıtma koşullarında elde edilen bazı deneysel verileri ve model sonuçları 111

ÇİZELGELER DİZİNİ (devam)

Çizelge 4.20 Meyve püresi örneklerinin Ohmik ısıtılması sırasında voltaj gradyanı ve sıcaklığa bağlı elektriksel iletkenlik ilişkisi empirik sabitleri ve katsayıları 112

Çizelge 4.21 Az yağlı kıyma örneklerinin (kym) Ohmik ısıtılması sırasında elde edilen bazı deneysel veriler 126

Çizelge 4.22 Yağlı kıyma örneklerinin (ykym) Ohmik ısıtılması sırasında elde edilen bazı deneysel veriler 126

Çizelge 4.23 Az yağlı kıyma örneklerinin (kym) Ohmik ısıtılmasının matematiksel modellenmesinde kullanılan SPK değerleri ve model sonuçları 128

Çizelge 4.24 Yağlı kıyma örneklerinin (ykym) Ohmik ısıtılmasının matematiksel modellenmesinde kullanılan SPK değerleri ve model sonuçları 128

Çizelge 4.25 %0,5 tuz içeriğine sahip Tylose (tyl05) Ohmik ısıtılması sırasında elde edilen elektriksel iletkenlik değişimi empirik sabitleri ve katsayıları ile bazı deneysel veriler 140

Çizelge 4.26 %0,67 tuz içeriğine sahip Tylose (tyl067) Ohmik ısıtılması sırasında elde edilen elektriksel iletkenlik değişimi empirik sabitleri ve katsayıları ile bazı deneysel veriler 140

Çizelge 4.27 %0,5 tuz içeriğine sahip Tylose örneklerinin (tyl05) Ohmik ısıtılmasının matematiksel modellenmesinde kullanılan SPK değerleri ve model sonuçları 147

ÇİZELGELER DİZİNİ (devam)

Çizelge 4.28 %0,67 tuz içeriğine sahip Tylose örneklerinin (tyl067) Ohmik ısıtılmasının matematiksel modellenmesinde kullanılan SPK değerleri ve model sonuçları 147

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
A	Elektrotların yüzey alanı (m^2)
A	Isıtma yüzey alanı (m^2), Denklem 3.17
B1	Empirik sıcaklık sabiti (S/mK), Denklem 3.23
B2	Empirik sıcaklık sabiti (S/mK), Denklem 4.1
B3	Empirik sıcaklık sabiti (S/mK), Denklem 4.2
C1	Empirik sabit (S/m),Denklem 3.23
C2	Empirik sabit (S/m),Denklem 4.1
C3	Empirik sabit (S/m),Denklem 4.2
Cp	Özgül ısı kapasitesi (J/kg K)

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

D	Test hücresinin deş çapı (m)
$D1$	Empirik voltaj gradyanı sabiti $(S/m(cm/V)^{-N1})$,Denklem 4.1
$D2$	Empirik voltaj gradyanı sabiti $(S/m(cm/V)^{-N2})$, Denklem 4.2
$\dot{e}$	Enerji kayıpları hızı (W/m^3)
E	Empirik konsantrasyon sabiti $(S/m\ (kütle\ kesri\ x100)^{-N2})$ Denklem 4.2
E	Enerji miktarı (J)
$\dot{E}$	Güç miktarı (W)
$\overline{h}$	Ortalama ısı transfer katsayısı (W/m^2K)
I	Akım (Amper)

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

I	Ara nokta değeri (Ek B.1-B.6)
k	Isıl iletkenlik katsayısı (W/mK)
K_c	Test hücresi sabiti (1/m)
L	Elektrotlar arasındaki mesafe (m)
m	Örneğin kütlesi (kg)
Q	Enerji miktarı (J)
$\dot{Q}$	Güç miktarı (W)
R	Direnç (ohm)
r	Silindirik kesitte merkezden uzaklık (m)
T	Sıcaklık (°C)

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

t	Süre (s)
$\dot{u}$	Hacimsel enerji jenerasyon hızı (W/m^3)
v	Örneğin hacmi (m^3)
V	Voltaj (V)
Xw	Örneğin su içeriği (kütle kesri)
ρ	Örneğin yoğunluğu (kg/m^3)
σ	Elektriksel iletkenlik (S/m)

Alt simge	Açıklama
a	Alınan
b	Birikim

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

deney	Deneysel
dk	Doğal konveksiyon
j	Jenerasyon
k	Kayıp
ort	Ortam
v	Verilen
y	yüzey

Üst simge	Açıklama
N1	Sabit, Denklem 4.1
N2	Sabit, Denklem 4.2

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

N3	Sabit, Denklem 4.2

Kısaltma	Açıklama
ANSYS	Sonlu element nümerik çözüm paket programı
%Kons	Toplam çözünür madde konsantrasyonu (%)
adb	Adyabatik koşul
Gr	Grashof sayısı
HTST	Yüksek sıcaklık kısa süreli ısıtma işlemi
kym	Az yağlı kıyma örneği
mod	Model öngörüsü

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

modCVT	Denklem 4.2'i kullanan model öngörüsü
modT	Denklem 3.21'i kullanan model öngörüsü
modVT	Denklem 4.1'i kullanan model öngörüsü
Pr	Prandtl sayısı
SPK	Sistem performans katsayısı
SPSS	İstatistik Değerlendirme Paket Programı
tyl05	%0,5 tuz içeriğine sahip Tylose örneği
tyl067	%0,67 tuz içeriğine sahip Tylose örneği
UHT	Oldukça yüksek sıcaklıkta ısıl işlem
ykym	Yağlı kıyma örneği

1 GİRİŞ

Gıdalara uygulanan ısıtma işlemlerinin genel amaçları; gıdaların mikrobiyoloijk, kimyasal ve fiziksel zararlardan korunmasını duyusal ve besinsel kalitesinde en az değişiklikle sağlamaktır. Uygulanan ısıl işlem genellikle mikrobiyolojik ve biyokimyasal aktiviteyi azaltmak ya da yok etmek amacını taşır. Pastörizasyon ve sterilizasyon işlemlerinin yanı sıra gıdaların işlenmesinde diğer basamaklarda da ısıl işlem farklı amaçlarla kullanılabilmektedir; karıştırma, ekstraksiyon, kurutma, pişirme, çözündürme, vb.

Son yıllarda gıdalara minimum işlem uygulamasının ön plana çıkmasıyla farklı teknolojilerin kullanımına yönelme olmuştur. Özellikle elektro-ısı teknolojileri günümüzde gıdalara uygulanan ısıl işlemler arasında önemli yer tutmaya başlamıştır. Bu teknolojiler arasında üzerinde en çok çalışma yapılan ve ticari uygulamalara geçilenler mikrodalga, Ohmik ve radyo-frekans (RF) ısıtmadır (Manvell, 1996). Bu üç teknoloji de gıda içerisinde hacimsel ısıtma sağlayan sistemlerdir. Mikrodalga uygulamalarına et, balık ve meyve ürünlerinin çözündürülmesi ve pişirilmesi, tahıl bazlı ürünlerin ve bisküvilerin pişirilmesi; RF uygulamalarına ise piliç, domuz ve et dilimlerinin pastörizasyonu ve pişirilmesi örnek verilebilir. Ohmik ısıtma sistemlerinde ise % 50-70'in altındaki katı konsantrasyonuna sahip pompalanabilir gıda karışımları işlenebilir (Tempest, 1996). RF uygulamaları yeni olmasına rağmen, mikrodalga ve Ohmik, uzun yıllardır üzerinde durulan ve endüstriyel uygulamaları olan elektriksel bazlı ısıtma sistemleridir. Ohmik sistemlerin diğer elektro-ısı sistemlerinden farkı gıda ile temas eden elektrot sistemidir (Sastry and Barach, 2000).

Ohmik ısıtma üzerindeki çalışmalara son 10 yıldır ağırlık verilmiş ve endüstriyel uygulamalarına ilk olarak APV'nin geliştirmiş olduğu ticari sistemle beraber 1989 yılında geçilmiştir (Fryer, 1995). Ohmik ısıtma sistemleri pompalanabilir gıda hatlarında aseptik işleme sistemlerine adapte edilebilir. Ön ısıtma ve pastörizasyon hatlarında kullanılabilir. Tüketime hazır gıdaların ısıtılması ve pişirilmesinde güvenilir bir yöntem olarak kullanılabilir. Ohmik ısıtmanın haşlama, buharlaştırma, kurutma, fermentasyon ve ekstraksiyon işlemlerinde de homojen ısıtma sağlayacak potansiyel bir uygulama olabileceği belirtilmektedir (Sastry and Barach, 2000; Butz and Tauscher, 2001).

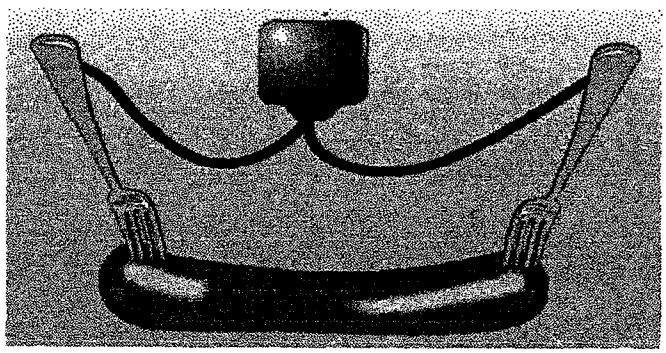
Bu tez çalışmasında, Ohmik ısıtma sisteminin sıvı ve katı gıdaların ısıtılmasında kullanılabilmesi deneysel ve kuramsal olarak incelenmiştir. Pilot çapta bir Ohmik ısıtma sistemi kurularak, ısıtma işlemine etki eden değişkenler belirlenmiştir. Sıvı gıdalar olarak şurup çözeltileri, farklı meyve suyu ve nektarları, yarı mamul meyve konsantreleri ve püreleri ile çalışılmıştır. Katı gıda olarak ise farklı yağ içeriğine sahip kıyma örnekleri ile model gıda olarak seçilen farklı tuz konsantrasyonuna sahip Tylose örnekleri kullanılmıştır. Elde edilen elektriksel iletkenlik-sıcaklık ilişkileri ve sistem performans katsayısı değerlerinin, gıda sanayinde Ohmik ısıtma ünitelerinin tasarım ve optimizasyonunda faydalı olacağı düşünülmektedir.

2 OHMİK ISITMA

Ohmik ısıtma literatürde Joule ısıtma, elektriksel direnç ısıtma, direkt direnç ısıtma, elektro-ısıtma, elektro-iletim ısıtma gibi adlarla da anılmaktadır. Ohmik ısıtma, APV'in geliştirmiş olduğu patentli sisteme vermiş olduğu isimdir. Ancak birçok çalışmada Ohmik ısıtma terimi tercih edilmektedir. Ohmik ısıtma adını Ohm Kanunundan almaktadır. Akım, voltaj ve direnç arasındaki ilişki Ohm Kanunu olarak bilinmektedir (Denklem 2.1). Ohm kanununa göre; akım ve direnç her bir rezistansa karşı I.R düşüşü oluşturur ve dirence bağlı olarak bu değerler değişebilir.

$$I = \frac{V}{R} \tag{2.1}$$

Ohmik ısıtma, gıda maddesi ile temas halinde olan elektrotlardan alternatif akım geçirilmesi ve iletkenlik özelliğine sahip olan gıda maddesinin direnç olarak kullanılması prensibine dayanır (Şekil 2.1).



Şekil 2.1 Ohmik ısıtmada gıda maddesi direnç olarak kullanılır (Tempest, 1996).

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

Gıda maddesinin elektrik akımına karşı göstermiş olduğu direnç, gıda içerisinde ısı jenerasyonuna yol açar. Başka bir deyişle elektriksel enerji ısı enerjisine dönüşür (Sastry, 1989). Oluşan homojen ısı jenerasyonu özellikle sıvı gıdalarda homojen ısı dağılımı ve dolayısıyla homojen sıcaklık dağılımına sebep olur. Gıda maddesinden geçen akıma bağlı olarak oldukça hızlı bir ısıtma gerçekleşir.

Pratikte frekans değiştiricisine gerek kalmadan, düşük frekanstaki alternatif akım (50 veya 60 Hz) uygulaması ile ısıtma gerçekleştirilebilir. Bu nedenle güç kaynağı sağlayıcısı basittir ve maliyeti düşüktür. Ayrıca çalışılan bu frekans aralığı, gıdalar içindeki elektrokimyasal reaksiyonların oluşumun en az olduğu bölgedir (Tempest, 1995). Ticari sistemlerde kullanılan elektrotlar geliştirilmiş ve elektroliz oluşumu nedeniyle olabilecek metal geçişi de engellenmiştir (Reznick, 1996).

Ohmik ısıtma işleminde mikrodalga işlemindeki ısı penetrasyonu sorunu yoktur. Gıda içerisinde yüksek sıcaklık gradyanı oluşmaz. Ancak bazı donmuş katı gıdalarda, uygulanan elektrot alanı ve örnek boyutlarına bağlı olarak sıcaklık gradyanı oluşabildiği belirtilmiş ve sıcaklık kontrol sistemleri geliştirilmiştir (Roberts et al, 1998).

2.1 Ohmik Isıtmanın Özellikleri

Ohmik ısıtmayı diğer ısıtma yöntemlerinden ayıran ve tercih edilmesine neden olan pek çok özelliği vardır.

Ohmik ısıtmada gıda maddesinden geçen elektrik akımı ani olarak ısı oluşumuna sebep olur. Isıtma hacimsel olarak gerçekleşir; ürün

içerisinde sıcaklık dağılımı homojendir. 1 s'den daha az bir süre içinde bile 55°C'lik sıcaklık farkı oluşturulabilir (Reznick, 1996). Bir karışımda bulunan sıvı ve katı, elektriksel iletkenliklerinin aynı olması durumunda, aynı sıcaklığa aynı süre içinde ısıtılabilir. Bunun sonucunda Ohmik ısıtma gıdalarda oluşabilecek ısı zararı ve besin kayıplarını da önemli ölçüde azaltabilir. İstenilen doku özelliklerine sahip, parçacık bütünlüğünü koruyan, minimum aroma kaybına sahip güvenilir ürünler işlenmesini sağlar (Tempest, 1996).

Ohmik ısıtma sistemleri aseptik ürün hatlarına adapte edilebilir. Bu nedenle mikrobiyolojik güvenlik açısından daha üstün özelliklere sahip, soğuk zincir donanımı olmaksızın taşınabilen ve daha düşük bozulma riski ile uzun süre rafta kalabilen ürünlerin elde edilebilmesi mümkün olabilmektedir. Bu özellikler gıda üreticisi, nakliye ve satıcısı ile tüketici açısından oldukça önem taşımaktadır (Biss et al., 1989).

Geleneksel sterilizasyon yöntemiyle elde edilmiş uzun ömürlü sütlerde bazı tüketiciler tarafından istenmeyen aroma oluşumu gözlenmektedir. Ohmik ısıtma uygulanan sütlerde, HTST ve UHT işlemleri sonucunda oluşan oksidatif ürünlere rastlanmadığı ve taze sütle aynı tat ve kokuya sahip ürün elde edilebildiği bildirilmiştir (Reznick, 1998; Anonymous, 2000).

Oldukça yüksek sıcaklıklara daha düşük zaman içinde çıkılabilmesi, Ohmik ısıtmanın farklı alanlarda uygulanmasını sağlamaktadır. Ohmik ısıtma bir çok gıda maddesine uygulanabilirliği olan bir ısıtma yöntemidir. Gıda üreticilerine farklı ürün geliştirme ve çok değişik özelliklerde paketleme malzemesi kullanabilme şansı vermektedir (Skudder, 1989; Zoltai and Swearingen, 1996). Katı-sıvı

karışımı olan gıda maddelerinde, geleneksel ısıtma yöntemlerinin tersine, Ohmik ısıtma ile elektriksel iletkenlik değerlerine bağlı olarak katıların sıvılardan daha çabuk ısınması mümkün olabilmektedir. Elektriksel iletkenlik değerine bağlı olarak yüksek katı içeriklerinde bile aseptik işlenmesine olanak sağlar (Kim et al., 1996a).

Ürün içerisinden homojen geçen akım, homojen ısıtmaya sebep olur. Herhangi bir ısıtma yüzeyi olmadığı için, ısı değiştiricilerdeki birikim ya da yanık tabaka oluşumu sorunu yoktur. Normal koagülasyon sıcaklığının üstüne çok kısa sürede çıkılabilir. Ardından ani soğutma uygulanırsa koagülasyon gerçekleşmeden yüksek sıcaklıklara ısıtma işlemi uygulanabilir. Yanık tabaka, birikim ve koagülasyonun oluşmaması sebebiyle temizlik ve bakım masraflarında azalma gözlenmektedir. Ayrıca bakım işlerindeki azalma günlük çalışma süresi açısından da yarar sağlar. Sistem günde 24 saat, haftada 7 gün aralıksız çalışabilir (Tempest, 1995; Reznick, 1996).

Elektriksel akımın mikroorganizmaların üreme mekanizmaları üzerine zarar verdiği belirlenmiştir. Kan plazmasından elde edilen protein bazlı ürünlerdeki çoğu zararlı bakteri ve virüsün Ohmik ısıtma işlemi ile yok edilmesinin mümkün olduğu belirtilmiştir (Palaniappan and Sastry, 1990). Ohmik ısıtma sıvı yumurtanın koagülasyon gerçekleşmeden pastörizasyonu için kullanılabilen bir ısıtma işlemidir (Reznick, 1998).

Karıştırma işlemine gerek kalmadan ısıtma işlemi gerçekleştirilmektedir. Sistemin hareketli parçaları yoktur. Özellikle mekanik zararlara hassas olan gıda karışımları için oldukça uygundur. 50 ya da 60 Hz alternatif akım ile çalışıldığında kompleks güç kaynağı sistemine gerek kalmaz. Genel olarak sistemin yatırım ve işletme

maliyeti diğer ısı transfer ekipmanlarına oranla düşüktür (Allen et al., 1996; Tempest, 1996; Reznick, 2000).

Ohmik ısıtma ekipmanının kullanımı pratiktir ve sistem diğer ısıtma ekipmanlarına göre çok daha az yer kaplar. Endüstriyel çapta Ohmik ısıtma sistemi her biri 30-40 cm uzunluğundaki 6 adet tüpün, boru sisteminin bir parçası olarak birleştirilmesinden meydana gelmektedir (Reznick, 2000). Sistem çok sessiz çalışabilir (Skudder, 1989).

Akım kesildiğinde sistemde ısı birikimi durur. Geri besleme kontrolörlü sıcaklık ölçer ile kurulmuş bir Ohmik ısıtma sisteminde, işlem boyunca uygulanan voltaj kontrol edilebilir (Stirling, 1987; Tempest, 1996; Reznick, 2000).

Bu olumlu özelliklerinin yanı sıra, sistemin iyi elektriksel izolasyona ve kontrol sistemi tasarımına ihtiyacı vardır. Sistemde çalışacak personelin yetişmiş olması ve elektriksel izolasyona sahip çalışma giysisi giymesi gerekmektedir. Sistemin mekanizması hala çalışma ve araştırma safhasındadır. Ürüne göre farklı işlem koşullarının uygulanması gerektiğinden, her ürün için Ohmik ısıtma hızını etkileyebilecek tüm değişkenlerin belirlenmesi zorunludur. Gıda içerisine elektriksel akımın doğrudan uygulandığı bu ısıtma yönteminde, ısıtma işleminin gıda üzerine yapacağı olumlu ve olumsuz tüm etkiler çok iyi tespit edilmelidir.

2.2 Ohmik Isıtma Sistemi Tasarımında Dikkat Edilmesi Gereken Faktörler

Endüstriyel çaptaki Ohmik ısıtma sistemleri konusunda deneyimlerin kısıtlı olması sebebiyle, proses tasarımında tüm parametrelerin etkilerinin ayrıntılı olarak incelenmesi gereklidir. Bu parametrelerden bir çoğu diğer ısıl yöntemlerdekilerle paralellik göstermektedir. Aşağıda Ohmik ısıtma tasarımında etkili olan faktörlerden en önemlileri özetle açıklanmıştır;

Elektroliz : Düşük frekanslı alternatif akım, doğru akım gibi fakat daha az şiddette elektrolitik etkiye sahiptir. En önemli elektrolitik etki metal elektrotların ürünü kontamine etmesidir. Bu problemi ortadan kaldırmanın bir yolu 100 kHz'in altında alternatif akım kullanmaktır. Ayrıca paslanmaz çelik, saf karbon, platin kaplı titanyum elektrot kullanımının bu problemi ortadan kaldırdığı belirtilmektedir (Sastry and Salengke, 1998; Zhao and Kolbe, 1999).

Elektriksel direnç : Ohmik ısıtma işleminin en önemli faktörlerinden biri ürünün elektriksel direnci ve bunun sıcaklıkla değişimidir. Gıda maddesinin spesifik elektriksel direnci, 1 cm aralıkla yerleştirilmiş 1 cm^2 alana sahip elektrotların arasına sıkıştırılan örneğin elektrik akımına karşı göstermiş olduğu direnç olarak ifade edilmektedir. Bir Ohmik ısıtma ünitesinin gerçek direnci ise ürünün spesifik elektriksel direncine ve ısıtıcı ünitesinin boyutlarına bağlıdır. Başka bir deyişle, gıda maddesinin spesifik elektriksel direncinin sıcaklıkla değişimi ve Ohmik ısıtıcının boyutları uygulanacak gücü belirler. Uygulanacak güç belli ise, kullanılacak ürüne göre ısıtıcı boyutlarının tasarımı gerekir (Reznick, 1996).

Uygulanacak güç : Gıdanın elektriksel direncine bağlı olarak, uygulanacak güç tespit edilebilir. Uygulanacak güce ve voltaja bağlı olarak, sistemden geçen akımın maksimum değeri de önemlidir. Sisteme ait kritik akım değeri belirlenmeli ve elektrotların yerleşiminin ayarlanması gerekmektedir (Tempest, 1996; Roberts et al., 1998).

Voltaj : Düşük voltajlarda çalışmak gerektiğinde gerekli gücün sağlanabilmesi için çok yüksek akım değerlerine ulaşmak gerekecektir. Bu nedenle düşük akım değerlerinde çalışabilmeyi sağlayan transformatörler kullanılır. Transformatörün güç spesifikasyonu, gerekli olan güçten % 30 daha fazla olacak şekilde tasarlanmalıdır (Roberts et al., 1998; Reznick, 2000).

Akım yoğunluğu : En kritik parametrelerden biri de akım yoğunluğudur. Akımın elektrot alanına bölünmesi şeklinde ifade edilir (Reznick, 1996). Kritik akım yoğunluğu değeri geçildiğinde sistemde ark oluşur. Kritik akım yoğunluğu ve sistemin toplam akım değeri biliniyorsa elektrotların minimum alanı tespit edilebilir. Ürünün direnci de alanın fonksiyonu olduğundan, elektrotlar arasındaki gerekli uzaklık da belirlenebilir (Roberts et al., 1998).

Bekletme süresi : Elektriksel akımın tek başına bazı mikroorganizmalara zarar verdiğinin bilinmesi nedeniyle, pastörizasyon ve sterilizasyon işlemlerinin tutma süreleri azaltılabilir (Kim et al., 1996a; b; Park et al., 1997).

Gıda maddesinin özellikleri : Gıda karışımlarında partikül boyutu, şekli, partikül ve taşıyıcı sıvının ortalama yoğunluğu karışım içinde farklı ısıtma hızları oluşmasına neden olabilir. Sıvılarda viskozite

etkisi oldukça azdır. Partikül ve sıvı iletkenlikleri ve özgül ısıları arasındaki fark sıcaklık gradyanları oluşumuna neden olmaktadır (Zoltai and Swearingen, 1996; Sastry and Li, 1996; Larkin and Spinak, 1996). Gıda maddesinin fiziksel ve elektriksel özellikleri bilinmeli ve dikkate alınmalıdır.

Isıtma hızı : Sürekli Ohmik ısıtıcılarda ısıtma hızına bağlı olarak ürün akış hızı ayarlanmalıdır. Özellikle koagülasyonun oluşmaması istenen protein içeriği yüksek olan gıdalarda bu kritik bir faktördür. Maddenin bir kısmı ya da tamamının faz değişimine uğraması ile sistemde ark oluşur. 50°C/s gibi yüksek ısıtma hızlarında, akış hızındaki küçük bir değişiklik önemli sıcaklık farklılıklarına sebep olacaktır. Bu durumda kullanılacak pompa ve örneğin ısıtıcı içerisinde kalma süresi iyi ayarlanmalıdır (Biss et al., 1989; Kim et al., 1996a). Marcotte et al. (2000a)'da partikül içeren karışımların Ohmik ısıtma kolonunda kalma sürelerini incelemek amacıyla ultrasonik yöntemlerden yararlanılabileceği bildirilmektedir.

Mekaniksel özellikler : Sürekli Ohmik ısıtma sistemlerinde ürün akışı genellikle alttan üste doğru dikey ya da eğimli kolonlar ile sağlanır. Sisteme hava girişi engellenmiş olur (Skudder, 1989). Ürünün elektriksel iletkenliği sıcaklıkla artış gösterdiğinden, birbiri ardına bağlanan ısıtma kolonları arasındaki bağlantı tüplerinin uzunlukları çıkışa yaklaştıkça arttırılmalıdır. Kolonların tamamının dolu olması için ısıtıcıların basınç ayarı da yapılmalıdır (Tempest, 1995; 1996).

Elektriksel özellikler : Elektrotlar ayarlanabilir voltaj uygulayabilen güç kaynağına bağlanır. Ürün hattının yüksüz kalması için sistem

topraklanmalıdır ve çalışılan zeminin elektriksel izolasyonu yapılmalıdır (Skudder, 1989; Tempest, 1995).

Sıcaklık kontrolü : Ürünün akış sıcaklığının ya da son sıcaklığının kontrolü en önemli faktörlerden biridir. Sürekli sistemlerde giriş sıcaklığı, kütlesel akış hızı ve ürünün özgül ısı kapasitesi değişimlerini ölçen geri beslemeli kontrol sistemi ile uygulanacak güç ayarlaması yapılabilir (Tempest, 1995). Statik sistemlerde ürünün değişik noktalarından sıcaklık ölçümü alınır ve güç ayarlaması yapılabilir. Sistem içinde sıcaklık ölçümü yapacak malzemenin elektriksel izolasyonu önemlidir. Bu amaçla duyarlılığı yüksek ve elektrik izolasyonu sağlayan bir malzemeyle kaplanmış sıcaklık ölçerler kullanılmalıdır. Literatürde bir çok çalışmada T-tipi teflon kaplı ısıleş kullanıldığı belirlenmiştir (Sastry, 1992; Qihua et al., 1993; Fryer et al., 1993; Sastry and Salengke, 1998). Sastry and Li (1996) sıvı kristal tabakalarının da sıcaklık dağılımı konusunda bilgi verebileceğini bildirmiştir. Ancak bu metodun otomatik kontrol sistemlerine uygulanması zordur. Ruan et al. (1999) çalışmalarında partikül içeren gıdaların Ohmik ısıtılması sırasında sıcaklık dağılımının MRI (Manyetik Rezonans Görüntüleme) yöntemi ile belirlenebileceğini ortaya koymuşlardır. MRI görüntüleri partikülün merkez bölgesindeki sıcaklığın dış bölgelerden daha yüksek olduğunu saptamıştır. Speller et al. (1999) da sıcaklık ölçümlerinde MRI tekniğinin kullanılması ile 3 boyutlu sıcaklık haritalarının oluşturabileceğini bildirmiştir.

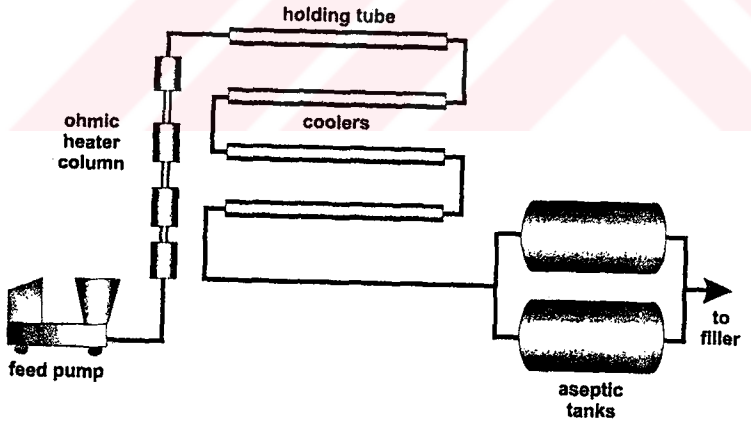
2.3 Ohmik Isıtma Konusunda Yapılan Çalışmalar

1987 yılında UK Elektrik Araştırma ve Geliştirme Merkezi'nde geliştirilip APV Baker tarafından ticari lisansı alınıncaya kadar, Ohmik ısıtma prensibine benzer patentli çalışmalar olmuştur. Ancak çalışmaların çoğunda bu ısıtma yönteminin endüstriyel bazda kullanılamamasına neden olan birçok problemden bahsedilmiştir. Sistemin tekholojik olarak geliştirilmesine kadar araştırmalar sınırlı sayıda kalmıştır. APV ve Raztek gibi uluslararası şirketlerin bu sistemi ticari olarak geliştirmesinin ardından 1989 yılından itibaren Ohmik ısıtma konusunda yapılan çalışmalar ve pilot çapta kurulan sistemler artmıştır (Fryer, 1995). Kesikli ve sürekli Ohmik ısıtma sistemlerinin modellenmesi ve sistemin karakterize edilmesi, proses kontrolü önem kazanmaya başlamıştır. Son yıllarda ise Ohmik ısıtma işleminin farklı gıda işleme basamaklarında da diğer temel işlemlere etkisi ve elektriksel iletkenlik verilerinin elde edilmesi konusunda yapılan çalışmalara ağırlık verilmektedir.

de Alwis and Fyer (1990a) elektriksel iletkenliğe dayalı ısıtma işlemlerinin gıda sanayinde kullanımının tarihçesini vermiştir. İlk çalışmaların 1897 yılında F.Jones tarafından kurulan bir sistemle başladığı söylenebilir, ayrıca 1928 yılında Fetterman tarafından geliştirilen "Electro-pure" ismi verilen pastörizasyon sisteminin, o dönemin süt endüstrisindeki en önemli gelişmesi olarak anıldığı belirtilmektedir (de Alwis and Fryer, 1990a). Ayrıca aynı çalışmada, elektriksel direnç ısıtma yönteminin gıda sanayinde haşlama, sterilizasyon, pastörizasyon, pişirme ve çözündürme amaçlı olarak kullanılmasının denendiği ancak bazı problemlerin ortaya çıktığı belirtilmektedir. Ortak problemlerden bazıları elektrot ve gıda arasındaki temasın iyi sağlanamaması, elektrot kenarlarında ark oluşumu, ürüne

metal geçişinin olması ve proses kontrolünün yapılmasının güçlüğüdür. 1990'lı yıllardan itibaren gelişen teknoloji ile bu sorunlara hızla çözüm getirilmeye başlanmıştır. Son yıllardaki çalışmalarda sistemin farklı gıdaların işlenmesinde kullanımı, ısıtma işlemine etki eden değişkenlerin belirlenmesi, sistemin karakterize edilmesi ve modellenmesi konularında ağırlık verildiği saptanmıştır. Ek A.1'de Ohmik ısıtma üzerine yapılan bazı çalışmalar özet olarak tablo şeklinde verilmiştir.

Günümüzde üzerinde çalışılan Ohmik ısıtma sistemlerinin çalışma prensibi, ilk ticari şekli APV tarafından lisansı alınan sisteme dayanmaktadır (Şekil 2.2).



Şekil 2.2. Sürekli Ohmik ısıtma sistemi (Tempest, 1996)

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

2.3.1 Gıdaların işlenmesinde Ohmik ısıtmanın kullanımı

Ohmik ısıtmanın gıda sanayinde kullanımının ilk başladığı yıllarda Stirling (1987) ve Biss et al. (1989) sistemin dizaynı ve tanıtımı konusunda daha sonra birçok araştırmacı tarafından yararlanılacak önemli çalışmalarda bulunmuşlardır.

Halden et al. (1990) domuz eti ile yağı, patates, patlıcan, çeşitli meyveler ve şeker pancarı dilimlerinin statik hücrede tuzlu çözelti içinde sabit voltaj gradyanı (10,87 V/cm) ile ısıtılmasını incelemişlerdir. Elektriksel iletkenliğin sıcaklıkla doğrusal olarak değiştiğini, gıda maddesinde yapısal bozulmaların gözlendiğini ve nişasta jelleşmesinin ısıtma hızına etkisinin olduğunu saptamışlardır. Ayrıca şeker pancarının Ohmik ısıtılmasında çözeltiye geçen renk maddelerinin oranında artış olduğunu rapor etmişlerdir.

Palaniappan and Sastry (1991a) domates ve portakal sularının Ohmik ısıtılması sırasında elektriksel iletkenlik değerlerinin farklı voltaj gradyanları (30-60 V/cm), partikül boyutu ve çözünmeyen katı içeriklerine (%0-16,7) bağlı olarak değişimini incelemiştir. Elektriksel iletkenliğin sıcaklığa ve katı içeriğine bağlı olarak değiştiğini tespit etmişlerdir. Palaniappan and Sastry (1991b) diğer çalışmalarında ise katı gıda maddelerinden patates, havuç, tavuk ve az yağlı ete statik ısıtma ünitesinde 60 V/cm voltaj gradyanında Ohmik ısıtma uygulamıştır. Sebze örneklerinde elektriksel işlemin yapısal değişikliklere sebep olduğu ve doku içi sıvıların hareketinde artışın gözlendiği, et örneklerinde ise elektriksel iletkenliğin sıcaklıkla doğrusal değiştiği belirtilmiştir.

Qihua et al. (1993) sıvı gıdalar için Ohmik ısıtma ünitesi tasarımı gerçekleştirmiştir. Sistemin optimizasyonu için kesikli ısıtma testlerinde portakal suyu örneklerini 3,3-40 V/cm voltaj gradyanı aralığında 80°C'ye kadar ısıtmışlardır. Voltaj gradyanı arttıkça gerekli olan ısıtma süresinin üssel olarak değiştiğini belirtmişlerdir. Ancak kullanılan portakal suyunun konsantrasyonu ile ilgili bilgi verilmemiştir ve elektriksel iletkenlik-sıcaklık değişim ilişkisi sadece 10 V/cm için belirtilmiştir.

Bir çok çalışmada Ohmik ısıtmanın meyve suyu ve konsantreleri, uzun ömürlü süt, puding, çorba, sos, sıvı yumurta ürünleri, bira ve şarap'a ürünün organoleptik özelliklerini bozmadan uygulanabilecek hızlı, homojen ve etkin bir işlem olduğu vurgulanmaktadır (Vakarchuk, 1992; Sperber, 1993; Wornall, 1994; Stirling and Tempest, 1995; Hong et al. 1998; Perennou, 1998; Reznick, 1998; Farr, 1999; Jamieson and Williamson, 1999; Anonymous, 2000; Reznick, 2000; Tewari and Maurice, 2000; Mermelstein, 2001).

Wang and Sastry (1993a; b) 2,35 cm çapındaki patates dilimlerini Ohmik ısıtma öncesi tuz çözeltisine daldırmışlar, ardından farklı tuz içeriklerine getirilen örnekleri statik test hücresinde 60 Hz'de 25 V/cm voltaj gradyanı uygulayarak ısıtmışlardır. Tuz içeriği arttıkça elektriksel iletkenliğin arttığını tespit etmişlerdir. % 2,5 ve %3 tuz konsantrasyonlarına sahip örneklerin, sistemin maksimum gücünü geçtiği için 100°C'e kadar ısıtılamadığını belirtmişlerdir. Elektriksel iletkenliğin sıcaklıkla değişiminin, örnek içinde homojen tuz konsantrasyonu dağılımı olmadığı için üssel olarak saptandığı yorumlanmıştır.

Goullieux et al. (1996)'da 3-11 g/l tuz konsantrasyonlarına daldırılmış patates küpleri ile 0-6,55 g/l tuz konsantrasyonuna daldırılmış kokteyl tipi domates örneklerinin tuz içeriği arttıkça elektriksel iletkenlik

değerlerinin arttığı belirtilmiştir. Bunlara ek olarak; tüm tuz konsantrasyonlarında sıcaklık arttıkça elektriksel iletkenliğin arttığı rapor edilmiştir.

Imai et al. (1995) Japon beyaz turpundan 3 cm çaplı silindirik şekil verilmiş örneklerin 20-40 V/cm voltaj gradyanı aralığında ve 50 Hz- 10 kHz frekans aralığında ısıtılmasını incelemiştir. Örnek merkezinin 80°C'e gelmesi için gerekli sürenin frekans yükseldikçe arttığını belirtmiştir. 50°C'nin üzerindeki sıcaklıklara ısıtmanın hücre zarında zarara sebep olduğu ve örneklerin impedans değerlerinin düştüğü belirlenmiştir. İmpedansın elektroporasyonun bir göstergesi olduğu belirtilerek, bu değerin düşük frekanslarda daha da çok azaldığı, başka bir deyişle, hücre zarlarının daha çok zarar gördüğü açıklanmıştır. Ohmik ısıtmanın doku sertliğinde çok önemli bir değişikliğe sebep olmadığı belirtilmiştir.

Schreier et al. (1993) Ohmik ısıtma ile çözünür madde difüzyonunun arttığını belirtmiştir. Difüzyonun, uygulanan voltaj ve partiküllerin yüzey alanıyla doğrusal değiştiğini belirtmiştir. Kim and Pyun (1995), soya fasülyesi örneklerine 500 Hz – 10 kHz frekans aralığında 3 farklı dalga boyu çeşidi kullanarak Ohmik ısıtma uygulamıştır. Ohmik ısıtma işleminin soya fasulyesinde çözünür madde difüzyonunu arttırdığını saptamışlardır. En iyi soya sütü veriminin 12,5 V/cm voltaj gradyanı ile 1000 Hz ve sinusodial dalga şekliyle sağlandığı belirtilmiştir. Cho et al. (1996)'da da hidrolik pres ile beraber 5 Hz ve 60 V'da uygulanan Ohmik ısıtma işleminin, soya sütü verimini arttırdığı belirtilmiştir.

Mizrahi (1996) ise pancar dilimlerine tuz çözeltisi içinde Ohmik haşlama işlemi uygulamıştır. Tuz çözeltisinin konsantrasyonu, elektriksel

iletkenliğinin pancarın elektriksel iletkenliği ile aynı olmasını sağlayacak şekilde ayarlanmıştır. Ancak bu çalışmada uygulanan voltaj gradyanı, sıcaklık aralığı belirtilmemiştir. Ohmik ısıtma ile oluşan katı madde kaybının suda haşlamaya oranla daha düşük olduğu belirtilmiştir. Lima (1996)'da Ohmik ısıtma sırasında pancar örneklerinin elektriksel iletkenliğindeki değişiminin, pancar boyasının kütle transferinin göstergesi olduğu belirtilmiştir. Lima et al. (2001)'de sıvı içinde Ohmik ısıtmaya uğrayan pancar dilimlerinin boya verimi, 42, 58 ve 72°C'deki su banyosunda ısıtılan örneklerle karşılaştırılmıştır. Ohmik ısıtma sisteminde, elektriksel işlemin pancar boyasının sıvı içine difüzyonunu arttırdığı belirtilmiştir. Ohmik ısıtma uygulanan pancar dokusunun elektriksel iletkenliğinin geleneksel yöntemle ısıtılan örneklere göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Wang (1995), havuç, patates ve tatlı patates silindir örneklerine uygulanan sıcak hava ile ısıtma, mikrodalga ısıtma ve Ohmik ısıtma önişlemlerinin kurutma hızına etkisini incelemiştir. Ohmik ısıtmanın kurutma hızını en çok arttırıcı ön ısıtma işlemi olduğu vurgulanmıştır. Lima and Sastry (1999)'da ön işlem olarak uygulanan Ohmik ısıtmanın tatlı patates örneklerinde kurutma hızına, elma dilimlerinde elma suyu verimine etkisi incelenmiştir. 4 Hz testere dişi (sawtooth) dalga boyunda 20 ve 40 V/cm voltaj gradyanlarında uygulanan Ohmik ısıtma ile 60 Hz sinusodial dalga boyunda 40,60 ve 70 V/cm'de uygulanan Ohmik ısıtma sonuçları karşılaştırılmıştır. Frekans düştükçe, kurutma hızı ve veriminin arttığı bildirilmiştir. Ayrıca voltaj gradyanı artışının kurutma hızı artışına etkisinin olduğu da belirtilmiştir.

Lima et al. (1999) 2,35 cm çapa sahip silindir turp örneklerini 4-60 Hz frekans aralığında farklı dalga formları ile 15,4 V/cm ve 30,8 V/cm voltaj gradyanında 25°C'den 100°C'e ısıtmıştır. Her üç dalga formunda

da sıcaklık arttıkça elektriksel iletkenliğin arttığı tespit edilmiştir. Tüm frekanslarda karesel dalga formundaki elektriksel iletkenliğin sinusoyidal ve testere dişi dalga formundan daha düşük olduğu ve frekans arttıkça ısıtma hızının düştüğü belirtilmiştir.

Wang and Wu (1999) elma parçacıkları içeren karışımın Ohmik ısıtılmasında asitlendirilmiş izotonik şeker çözeltisini taşıyıcı ortam olarak kullanmıştır. Partiküllerin elektriksel iletkenliğinin oda sıcaklığında şeker çözeltisininkinden düşük olduğu, ancak sıcaklık arttıkça partikül elektriksel iletkenliğinin çözeltiden daha fazla artış gösterdiği, bu nedenle daha çabuk ısındıklarını belirtmiştir. Bazhal and Vorobiev (2000), 1000 V'da 10 s periyotla uygulanan puls elektrik alanının elma preslemede ekstraksiyona olumlu etkisinin olduğunu belirtmiştir. 50, 100 ve 200 mA direkt akımın 30 dak uygulanması sonucu meyve suyu veriminin ve elektriksel iletkenlik değerinin arttığı belirtilmiştir.

Sıvı viskozitesinin Ohmik ısıtma hızı üzerine etkisinin incelendiği çalışmalarda, sistemin statik olup olmamasının sonuçları etkilediği görülmektedir. de Alwis et al. (1989) viskozitesi yüksek sıvıların elektriksel iletkenliğinin daha düşük olduğu ancak, bu sıvılarda sıcaklık arttıkça elektriksel iletkenlik artışının daha hızlı olduğu belirtilmektedir. Fryer et al (1993) statik Ohmik ısıtma hücresinde doğal konveksiyonun düşük viskozitelerdeki sıcaklık farkını azaltmaya yardımcı olduğunu saptamıştır.

Khalaf and Sastry (1996)'da katı-sıvı karışım örneklerine uygulanan Ohmik ısıtma işleminde sıvı viskozitesinin ısıtma hızına etkisini incelemiştir. 0,7 cm boyuta sahip patates küpleri, %0-0,6 konsantrasyonlarındaki karboksi-metil selüloz (CMC) çözeltilerinin

içinde, 100 V ve 60 Hz alternatif akım ile ısıtılmıştır. Isıtma, statik veya karışımın uygulandığı koşullarda uygulanmıştır. Statik Ohmik ısıtma koşullarında, sıvı ve partikül ısıtma hızlarının, sıvı viskozitesinden etkilenmediği belirtilmiştir. Ancak yeterince karıştırma sağlanan durumda viskozite arttıkça ısıtma hızının arttığı belirlenmiştir. Kim et al. (1996c) da %8-10 tuz konsantrasyonuna ve farklı viskozitelere sahip tavuk suyu ekstraktı örneklerinin statik Ohmik ısıtma koşullarında aynı hızda ısındığını tespit etmişlerdir.

Ju and Mittal (1995)'de et emülsiyonlarında nişasta bazlı bileşenlerin konsantrasyonunun %10'dan %30'a çıkartılmasının elektriksel iletkenliği % 100 arttırdığı rapor edilmiştir. Marcotte et al. (1998) hidrokolloid çözeltilerin konsantrasyonunda sağlanan artışın elektriksel iletkenlik değerlerini arttırdığını saptamışlar, ayrıca karragenan, ksantan, jelatin, pektin ve nişasta örneklerinin elektriksel iletkenlik değerlerinin pH'dan çok kül miktarına bağlı olduğunu tespit etmişlerdir. Karragenan, jelatin ve pektin çözeltileri için, karıştırma olmadığı durumlarda da Ohmik ısıtma hücresi içinde homojen ısıtma sağlanabildiğini belirtmişlerdir. Nişasta örneklerinde ısı kayıplarının olması nedeniyle test hücresi içinde sıcaklık gradyanının oluştuğu belirtilmiştir. Ksantan örneklerinde meydana gelen sıcaklık gradyanının ise, viskozitesinin çok yüksek olması ve sıcaklık artışıyla çok az değişmesine bağlı olduğu vurgulanmıştır. Marcotte et al. (2000b) yaptıkları diğer çalışmada ise, karragenan, ksantan, pektin ve nişasta çözeltilerinin pH'ını sitrik asit ile ayarlamışlar ve %0,25-%1 tuz konsantrasyonlarındaki hidrokolloid çözeltilerini 80°C'ye kadar ısıtmışlardır. Elektriksel iletkenlik ve sıcaklık profillerinin hidrokolloid tipine bağlı olduğunu rapor etmişlerdir. Ksantan ve karragenanın nişastadan daha hızlı ısınmasını yüklü kolloid olmalarına bağlamışlardır.

Tuz konsantrasyonunun %1'den yüksek olduğu durumlarda, hidrokolloid tipinden daha etkili olduğu belirtilmiştir.

Wang and Sastry (1997) nişasta jelleşmesinin elektriksel iletkenliğe etkisini incelemişlerdir. Mısır ve patates nişastalarının 20 V/cm'de 60 Hz alternatif akım uygulaması ile 90°C'ye kadar Ohmik ısıtılması sırasında, elektriksel iletkenlik değerlerinin sıcaklıkla artış gösterdiği ancak jelleşme derecesine bağlı olarak düştüğü saptanmıştır. Jelleşmenin yapısal değişimlere ve bağlı su oranında artışa neden olduğu, sonuç olarak elektriksel iletkenliği düşürdüğü belirlenmiştir. Nişastanın jelleşmesinin elektriksel iletkenlik eğrileri yardımıyla tespit edilebileceği ortaya koyulmuştur.

Sung et al. (1995) balık proteini jelinin Ohmik ısıtılmasında frekansın etkisini incelemiştir. Jel örnekleri, 50 Hz-10 kHz arasındaki frekanslarda ve 0-20 V alternatif akım aralığında 90°C'ye ısıtılmıştır. Frekans arttıkça ısıtma hızının arttığı bildirilmiştir.

Yongsawatdigul et al. (1995) ise balık ezmesinden elde edilen suriminin elektriksel iletkenliğinin, eklenen tuz konsantrasyonuna ve nem içeriğine bağlı olduğunu belirlemişlerdir. 3,3-13,3 V/cm arasındaki voltaj gradyanının elektriksel iletkenliğe etkisinin olmadığını saptamışlardır. Aynı şekilde, Wu et al. (1998) suriminin 30 Hz-1 MHz frekans aralığında Ohmik ısıtılması sırasında, tuz konsantrasyonu ve sıcaklık arttıkça d.c. (doğru akım) elektriksel iletkenlik değerinin arttığını tespit etmişlerdir. Park et al. (1997; 1998) Ohmik ısıtmanın endüstriyel çapta surimi yapımında kullanıldığını ve surimi jellerinin 55°C'ye Ohmik yöntemle ısıtılmasının iyi jel fonksiyonu sağlayan en etkin metod olduğunu belirtmiştir. Yaser and Kolbe (2000) surimi ezmesinin

ısıtılmasında 1200 V/cm'de uygulanan Ohmik ısıtmanın 90°C'de su banyosundaki ısıtmaya oranla 11 kat daha hızlı olduğunu saptamıştır.

Huang et al. (1997) donmuş balık ezmesi yıkama suyundan Ohmik ısıtma ile balık proteinlerinin koagüle edilmesini incelemişlerdir. 90 V alternatif akımda 40,50,60,70 ve 80°C'ye ısıtılan örneklerin elektriksel iletkenliklerinin sıcaklık arttıkça yükseldiğini tespit etmişlerdir. En etkin koagülasyon sıcaklığının 70 °C olduğunu saptamışlardır.

Imai et al. (1998) ise yumurta albumin çözeltisinin Ohmik ısıtılmasının doğrusal sıcaklık artışına sahip homojen ve hızlı bir metod olduğunu, daha iyi ve pürüzsüz bir dokuya sahip jel oluşturduğunu bildirmiştir.

Uemura et al. (1998) yüksek basınç ile Ohmik ısıtma işlemini birleştirerek pirincin pişirilmesine etkilerini incelemiştir. Bu kombine işlemin yüksek amiloz içeriğine sahip Hindistan pirincinin yapısal kalitesine olumlu etkileri olduğu belirtilmiştir.

Chaiwanichsiri et al. (2001) nişasta ve un süspansiyonlarının jelleşme işleminin elektriksel iletkenlik ölçümleri ile gözlenebileceğini ve bu metodun üretimde hızlı bir metod olarak kullanılabileceğini rapor etmişlerdir.

Piette and Jacques (1996) Ohmik ısıtmanın yağlı kıymaların yağ içeriğini belirlemek için bir yöntem olabileceğini belirtmişler ve bu prensibe dayalı bir yağ analizörünü tanıtmışlardır. Bellmer et al. (1999) yağlı kıymaların Ohmik ısıtılmasında yağ içeriğinin ve partikül boyutunun etkisini incelemişlerdir. Elektriksel iletkenliğin artışının yağ

içeriğindeki azalmaya ve sıcaklıktaki artışa bağlı olduğunu bildirmişlerdir.

Li and Sun (2002), Ohtsuki (1993)'ün donmuş gıdaların çözündürülmesinde Ohmik ısıtmayı kullandığı bir sistemin patentini aldığını bildirmiştir. Bu sistemde donmuş ton balığı, et ve yumurtanın -3°C'den +3°C'ye çok kısa sürede çözündürülmesinin mümkün olduğunu belirtmiştir. Luzuriaga and Balaban (1996) donmuş karides örneklerinin çözündürülmesinde Ohmik ısıtma işleminin alternatif olabileceğini bildirmiştir. 120 V/cm'e kadar uygulanan voltaj gradyanının spesifik elektriksel iletkenliğe etkisinin olmadığı ancak, sıcaklık arttıkça elektriksel iletkenliğin arttığını tespit etmişlerdir. Roberts et al. (1998) donmuş deniz ürünlerinin çözündürülmesi amacıyla otomatik kontrollü Ohmik sistem tasarımında bulunmuşlardır. Diğer bir çalışmada, 60 V-120 V arasındaki alternatif akım ve 60 Hz – 60 kHz arasındaki frekanslarda donmuş et kalıplarına uygulanan Ohmik çözündürmenin, daha az çözünme kaybına ve daha yüksek su tutma kapasitesine neden olduğunu bildirilmiştir (Yun et al., 1998).

Son yıllarda elektriksel iletkenliğe etki eden faktörler üzerine yapılan çalışmalardan Wang et al. (2001)'de sebzelerde yapısal doku içi yerleşim farklılıkların elektriksel iletkenlik ölçümlerini etkilediği tespit edilmiştir. Ohmik ısıtma uygulanacak sebze dilimlerinin boyuna veya enine kesitinin elektriksel iletkenliğinin farklı olduğuna dikkat edilmesi gerektiği vurgulanmıştır. Eliot-Godereaux et al. (2001)'de ise karnabahar sebzesinin elektriksel iletkenliğinin Ohmik ısıtma uygulamaları için yeterince yüksek olduğu, 10 kW APV Ohmik ısıtma ünitesinde yapılan pilot çaptaki denemelerde oldukça iyi yapısal özelliklere sahip ürün elde edildiği belirtilmiştir. Bu teknolojinin karnabahar gibi çabuk zarar

görebilecek ürünler içeren hazır gıdalar için de uygun olabileceği bildirilmiştir.

Castro et al. (2003)'de çilek bazlı ürünlerin elektriksel iletkenliğinin sıcaklık arttıkça arttığı, ancak şeker içeriği ve katı madde içeriği arttıkça azaldığı rapor edilmiştir. Alan şiddetinin taze çileklerin ve çilek jölesinin elektriksel iletkenliği üzerine etkisinin olmadığı ancak, çilek pulpunda önemli bir parametre olduğu belirtilmiştir. Ancak yüksek konsantrasyona sahip çilek ürünlerinin elektriksel iletkenliğinin çok düşük olması nedeniyle özel bir Ohmik ısıtma ünitesi tasarımının gerekli olduğu önerilmiştir.

Literatürde Ohmik ısıtmanın mikroorganizmalar üzerine etkisi ve bu işlemin gıdaların güvenlik limitlerini sağlayabilirliği üzerine yapılan çalışmalar da oldukça fazladır. Bu konuda geniş bilgi şu kaynaklardan elde edilebilir; Palaniappan and Sastry, 1990; Parrott, 1992; Sensoy et al., 1995; Kim et al., 1996a; b; Hyung et al., 1996; 1999; Larkin and Spinak, 1996; Zoltai and Swearingen, 1996; Tucker, 1999; Mainville et al., 2001.

2.3.2 Ohmik ısıtma üzerine yapılan kuramsal çalışmalar

de Alwis and Fryer (1990b; 1992a) gıdaların Ohmik ısıtılması sırasında ısı jenerasyonu ve transferini analiz etmiştir. Sonlu element yöntemiyle çözerek geliştirmiş oldukları modeli tanıtmışlar ve statik Ohmik ısıtma sisteminde, partikül şekli ve yerleşiminin önemli olduğunu vurgulanmışlardır. Aynı zamanda partikül ve sıvıların elektriksel iletkenliklerin farklı olduğu durumlardaki sıcaklık dağılımlarını öngörmüşlerdir. de Alwis and Fryer (1992b) daha önceki çalışmalarında geliştirmiş oldukları model sonuçlarını deneysel sonuçlarla

karşılaştırmışlar, elektriksel iletkenliği homojen olmayan gıdalara model olması açısından kompozit partiküllerin sıvı içindeki Ohmik ısıtılmasını incelemişlerdir. Oldukça yüksek veya düşük elektriksel iletkenliğe sahip katılarda katı-sıvı arasında sıcaklık farkının oluşabileceği belirlenmiştir.

Sastry and Palaniappan (1992) statik bir Ohmik ısıtıcıda sıvı-katı karışımlarının ısıtılmasını deneysel ve kuramsal olarak incelemişlerdir. Modelde enerji denklemleri sıvı ve katı için ayrı ayrı yazılmış, pozisyon için üç boyutlu sonlu element yöntemiyle, zaman için sonlu farklar yöntemiyle çözülmüştür. Sistemde varolabilecek birden fazla partikül için devre analojisi oluşturulmuş, sıvı ve partikül dirençleri paralel devrelere benzetilmiştir. Deneysel çalışma kısmında farklı miktarlarda patates küpleri içeren farklı molaritedeki sodyum fosfat çözeltileri kullanılmıştır. Partikül iletkenliği düşük ise, düşük konsantrasyonlarda partiküllerin sıvıdan daha geç ısındığı tespit edilmiştir. Ancak partikül konsantrasyonu arttıkça, partiküllerden daha fazla akım geçeceği ve partiküllerin daha hızlı ısınacağı saptanmıştır. de Alwis and Fryer (1992b)'de de belirtildiği gibi, partikül yerleşiminin önemli olduğu, akıma dik yerleştirilen dörtgen kesitli partikülün sıvıdan daha çabuk ısınacağı ancak, akıma paralel olarak yerleştirildiğinde ise ısınmanın sıvı ile katının elektriksel iletkenliğine bağlı olacağı bildirilmiştir.

Sastry (1992) sürekli akışa sahip Ohmik ısıtıcılarda sıvı-partikül karışımlarının ısıtılması üzerine modelleme çalışması yapmıştır. Daha önce Sastry and Palaniappan (1992) tarafından geliştirilen model, yüksek partikül konsantrasyonuna sahip karışımların sürekli akış sisteminde Ohmik ısıtılması için modifiye edilmiştir. Katı partiküllerin sıvılardan daha hızlı ısındığı öngörülmüştür. Ancak sisteme yalıtkan partiküller girerse, bu partiküllerin yerleşimine bağlı olarak sıvının çok daha geç ısınmasına neden olacakları öngörülmüştür.

Zaror et al. (1993) Ohmik ısıtmanın sterilizasyon amaçlı kullanımı için matematiksel model çalışmasında bulunmuştur. Sürekli akışa sahip Ohmik ısıtma ünitesinde katı ve sıvı fazlar için enerji denklemleri ayrı ayrı çözülmüştür. Sterilizasyon bekletme kısmı için de enerji denklemleri boyutsuz forma dönüştürülerek ele alınmıştır. Mikrobiyolojik ölüm oranı, 1. dereceden kinetik denklemlerle ifade edilmiştir. Sıvı fazın 135°C'ye ulaşması için Ohmik ısıtıcıda kalma süresi ve belirlenmiş mikrobiyolojik ölüm oranına ulaşmak için bekletme bölümündeki kalma süreleri (tutma süreleri) model ile hesaplatılmıştır. 160°C'de doygun buharın kullanıldığı ve toplam ısı transfer katsayısı 3000 W/m^2K olan adyabatik sterilizasyon sistemi sonuçlarıyla model sonuçları karşılaştırılmıştır. Partikülün yalıtkan olduğu durum için bile model sonuçlarının daha hızlı ısıtma hızları öngördüğü bulunmuştur.

Fryer et al. (1993) katı-sıvı karışımları üzerine yaptıkları kuramsal çalışmanın sonuçlarını karşılaştırmak için bu çalışmalarında deneysel veriler de elde etmişlerdir. Sıvı olarak tuz eklenmiş CMC çözeltileri, yalıtkan katı olarak ahşap parçacıklar kullanmışlardır. Statik test hücresinde sıvı içinde yalıtkan madde olması durumunu, düşük elektriksel iletkenliğe sahip katı maddelerin Ohmik ısıtılmasına ait model sonuçları ile karşılaştırmışlardır. Modelde katı içinde ısı iletiminin olmadığı ve sıvı içinde oldukça hızlı ısı iletimi ve konveksiyonunun olduğu durumlar için sıcaklık profilleri öngörmüşlerdir.

Sastry and McFate (1993)'de katı-sıvı gıda karışımlarının sürekli Ohmik ısıtma sistemi ile sterilizasyonu incelenmiştir. Karışım içindeki partikül-sıvı oranlarının ve partikül yerleşiminin ısıtma hızına etkisi deneysel ve kuramsal olarak incelenmiştir. Deneysel çalışmada statik Ohmik ısıtıcıda, karışım içindeki sıcaklık farkının sıvı kristaller ile ölçülmesi, CMC çözeltilerinin viskozitesinin etkisi ve patateslerin

jelleşmesi incelenmiştir. Sürekli ısıtıcıda ise, tuz eklenmiş Na-CMC jelleri ile agar jel küpleri materyal olarak kullanılmıştır. Geliştirilen modelin deneysel sonuçlara çok yakın sıcaklık profili öngördüğü belirtilmiştir. Bazı koşullarda modelin daha düşük sıcaklıklar öngörmesinin nedeni olarak, sıvı-partikül konvektif ısı transferi varsayımları olduğunun düşünüldüğü rapor edilmiştir. Ayrıca viskozitenin artışının elektriksel iletkenliği değiştirmediği ancak, katı-sıvı faz dağılımını önlediği ve daha homojen ısıtma sağlamaya yardımcı olduğu vurgulanmıştır. Karışım gıdalarda viskozitesi yüksek sıvıların kullanımının, geleneksel ısıtma sistemlerinin tersine Ohmik ısıtmada avantaj sağladığı belirtilmiştir.

Quarini (1995) Ohmik ısıtma kolonunun termo-hidrolik özelliklerini incelemiş ve matematiksel model geliştirmiştir. Momentum ve ısı denkliklerini beraber çözmüştür. Sıvıların Ohmik ısıtılması sırasında, kolon içi hız dağılımının sıcaklık profili üzerinde etkili olduğu ve kolon duvarlarının soğutulmasının homojen sıcaklık profili sağlamaya yararı olduğu belirtilmiştir. Hacimsel ısı jenerasyon hızı sıcaklığın doğrusal fonksiyonu olarak yazılmış ve yüksek sıcaklık bölgelerinde düşük sıcaklık bölgelerinden daha fazla ısı jenerasyonu olduğu vurgulanmıştır.

Fryer (1995) katı-sıvı karışımlarının Ohmik ısıtma ile ısıtılması konusunda yaptıkları tüm kuramsal çalışmaları derlemiş ve karşılaştırmalı olarak vermiştir.

Zhang and Fryer (1995); katı-sıvı karışımlarında ısı jenerasyonunun farklı öngörüldüğü iki çalışmanın sonuçlarını karşılaştırmıştır. Zhang and Fryer (1993)'deki Laplace denklemi öngörüleri ile Sastry (1992)'deki devre analojisi öngörüleri incelenmiştir.

Düşük katı oranlarında devre anolojisinin ısıtma hızını doğru öngörmediği belirtilmiştir.

Sastry and Salengke (1998) de Zhang and Fryer (1995)'de olduğu gibi, daha önceden geliştirilmiş olan Laplace denklemi yaklaşımı (Zhang and Fryer, 1993) ve devre analojisi yaklaşımını (Sastry, 1992) karşılaştırmıştır. Katı-sıvı karışımlarında olabilecek en kötü ısıtma koşullarının katının sıvıyı, sıvının da katının ısınmasını engellemesi olduğu belirtilmiş, en yavaş ısınan bölge tanımlaması yapılmıştır. Devre analojisinde iyi karışmış akışkan varsayımının olmasına rağmen, Laplace denklemi yaklaşımında konvektif etkilerin dikkate alınmadığı vurgulanmıştır. Katı ve sıvı elektriksel iletkenliklerinin aynı olduğu durumlarda, her iki model yaklaşım öngörüleri ve analitik çözüm sonuçları birbirine yakın saptanmıştır. Devre analojisinin, sıvıdan daha düşük elektriksel iletkenliğe sahip katı madde olması koşulunda, deneysel verilere Laplace denkleminin konvektif etkiyi ihmal ettiği durumdan daha yakın sonuçlar öngördüğü saptanmıştır. Katının sıvıdan daha yüksek iletkenliğe sahip olduğu durumlarda da Laplace yaklaşımının deneysel verilere devre anolojisi yaklaşımından daha yakın öngörülerde bulunduğu belirlenmiştir. Her iki model, pratik kullanımı, deneysel sonuçlara yakınlıkları ve hesaplama zamanları açısından karşılaştırılmıştır.

Davies et al. (1999), iki farklı katı bloğun sıvı içinde ısıtılmasında yalıtkan bloğun model gıda partikülüne (yumurta albumini) etkisini deneysel ve kuramsal olarak incelemiştir. Sıvı olarak agar jel kullanılmıştır. Model denklemleri FIDAP Paket programı (Fluent Co, ABD) yardımı ile çözülmüştür. Sonlu element metodunu kullanan paket programın öngördüğü sonuçlarla deneysel sonuçlar karşılaştırılmıştır. Yalıtkan bloğun etrafından elektrik akımının geçmesini engellediği, bu

yüzden ısıtma hızı ve sıcaklık farkı oluştuğu bildirilmiştir. Matematiksel model sonuçları, partikülün etrafına yapmış olduğu termal etkinin partikülün boyutuna, iki fazın da elektriksel iletkenliğine ve deney süresine bağlı olduğunu ortaya koymuştur.

Fu and Hsieh (1999) statik Ohmik ısıtma ünitesinde iki boyutlu sıcaklık dağılımını incelemiştir. ANSYS sonlu element paket programı kullanılarak, dörtgen kesitli Ohmik ısıtma sisteminde partikül-sıvı sıcaklık profili öngörülmüştür. Dörtgen kesikli patates partiküllerinin merkez noktalarının en soğuk nokta olduğu ve hücre içinde sıcaklık gradyanının oluştuğu belirlenmiştir. Matematiksel modelde öngörülen sıcaklık değerlerinin deneysel sonuçlardan daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Sıcaklık gradyanının ise deneysel olarak daha geniş ölçüldüğü, aradaki farkın dış ortama olan ısı kayıplarından kaynaklandığı vurgulanmıştır. Ohmik ısıtma test hücresinin üst yüzeyinin açık olması nedeniyle partiküllerin yüzeyinde kısmi kurumanın olabileceği, bunun da sıcaklık ölçümlerini etkileyebileceği belirtilmiştir. Ek olarak; elektriksel iletkenliği yüksek olan katıdan daha fazla akım geçeceği, sıvının daha az ısınacağı belirtilmiştir.

Lacey et al. (1999) gıdaların Ohmik ısıtılmasının modellenmesinde değişkenlerin ısıtma sırasındaki değişimlerini ve homojen olmayan dağılımlarını dikkate almıştır. Gıda içinde homojen yapının olmaması durumunda, bölgesel aşırı ısınan ve yanan kısımların oluşabileceğini vurgulamıştır.

Benabderrahmane and Pain (2000), katı-sıvı karışımlarının sterilizasyonunda kullanılan sürekli akışa sahip bir Ohmik ısıtıcının termal durumunu inceleyen modelleme çalışmasında bulunmuştur. Kayan faz (slip phase) modelinin kullanıldığı nümerik çalışmada kolon içi hız

dağılımı ve enerji denklemleri birlikte çözülmüştür. Karışımın elektriksel iletkenliğinin homojen olduğu durumda, katı-sıvı hacimsel oranı azaldıkça ve katı-sıvı arasındaki hız farkı arttıkça, partiküllerin merkezinde daha yüksek sterilizasyon sağlandığı belirlenmiştir. Homojen olmayan elektriksel iletkenlik durumunda ise yeterli sterilizasyon etkisinin sağlanmasının zor olduğu öngörülmüştür.

Bouallou et al. (1997) Ohmik ısıtma sisteminin farklı bir amaçla kullanılmasını incelemiştir. Tuzlu suyun Ohmik ısıtılması sonucu buhar jenerasyonunun sağlanması ve tuz eldesini deneysel ve kuramsal olarak incelemiştir. Enerji, süreklilik ve difüzyon denklikleriyle elde edilmiş kısmi diferansiyel denklemler merkezi sonlu farklar metodu ile çözülmüş ve deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır. 1 g/l tuz konsantrasyonunda 55 V uygulanması gibi yüksek güç seviyelerinde, elektrotlardaki enerji kayıplarının daha çok olduğu, bu nedenle model sonuçlarının deneysel sonuçlara göre daha yüksek elektrik akım değerleri öngördüğü belirtilmiştir.

2.4 Endüstriyel Uygulamaları

Ohmik ısıtma, gıda işleme endüstrisinde; tüketime hazır gıdaların aseptik işlenmesinde, pompalanabilir meyve sebze ürünlerinin pastörizasyonu, sıvı yumurtanın işlenmesi ve konserve sanayinde ön ısıtma olarak kullanılması gibi uygulamalara sahiptir.

Çizelge 2.1'den görüldüğü gibi, günümüzde 300 kW ve 3000 kg/saat'lik kapasiteli sistemler ile 75 kW ve 750 kg/saat'lik endüstriyel sistemler mevcuttur (Tempest, 1995; Sastry and Barach, 2000; Anonymous, 2002). A.B.D.'de Californiya'da sıvı yumurtanın

işlenmesinde Ohmik ısıtma sistemini kullanan bir işletmenin olduğu belirtilmiştir (Reznick, 1998). Ayrıca çalışmaları devam eden 100 kg/saat kapasiteli sürekli sistemler ile 50 kg/saat kapasiteli kesikli sistemler bulunmaktadır (Tempest, 1995; Sastry and Barach, 2000) (Çizelge 2.1).

Çizelge 2.1 Endüstriyel ve pilot çapta Ohmik ısıtma uygulamaları

Sistem özellikleri (kW)	(kg/saat)	Kullanıldığı ülke	İşlenen gıdalar
Endüstriyel sistemler			
300	3000	İngiltere	Düşük asitli gıdalar
300	3000	A.B.D.	Düşük asitli gıdalar ve sıvı yumurta
300	3000	Japonya	Düşük asitli gıdalar
75	750	İngiltere	Düşük asitli et ve sebze yemekleri
75	750	Japonya	Yüksek asitli gıdalar
75	750	Japonya	Meyve, et ve sebze karışımı
75	750	İtalya	Karışım gıdalar
Pilot Tesis -sürekli sistem			
bilinmiyor	50	A.B.D.	Karışım gıdalar
bilinmiyor	100	Fransa	Karışım gıdalar
bilinmiyor	100	İtalya	Karışım gıdalar
bilinmiyor	50	Japonya	Karışım gıdalar
bilinmiyor	bilinmiyor	İngiltere	Karışım gıdalar

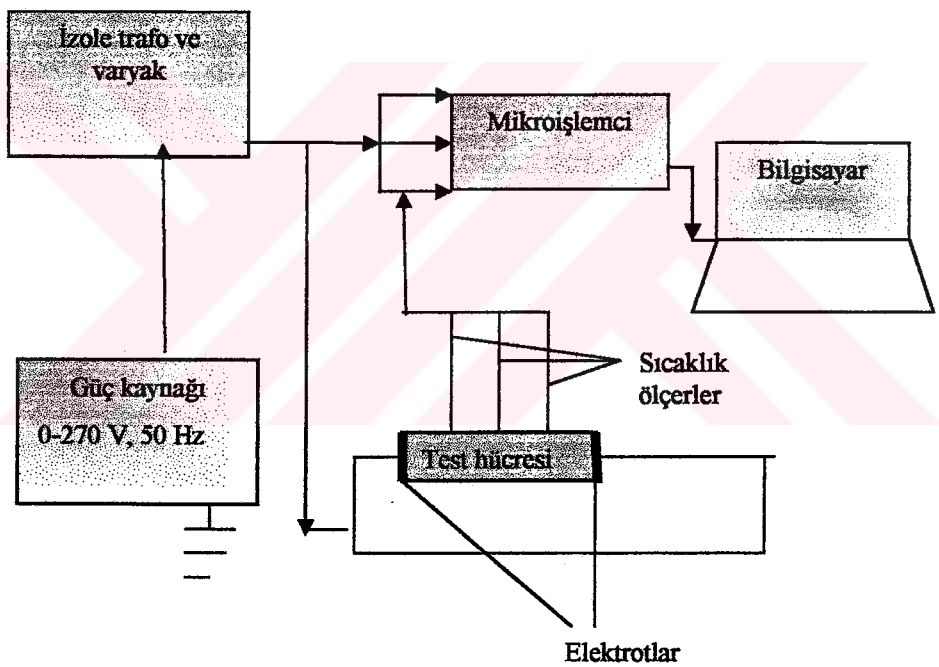
3 MATERYAL VE METOD

3.1 Deney Düzeneği

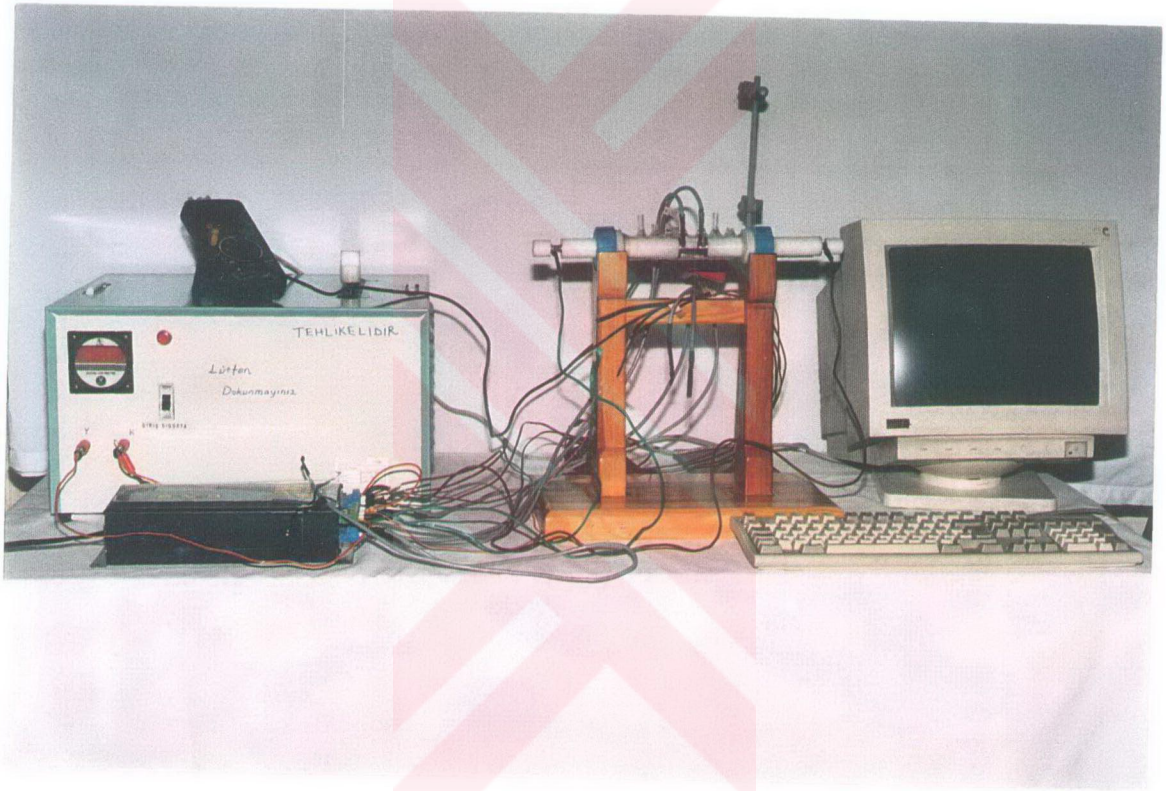
Şekil 3.1 ve Şekil 3.2'de görülen deney düzeneği bir güç kaynağı, bir izole trafo-varyak sistemi ve mikroişlemci-kişisel bilgisayar sisteminden oluşmaktadır. İzole trafonun maksimum çalışma voltajı 2,5 kV, maksimum çalışma akımı 10 A' dir. Varyak, 0-250 V arasında istenilen voltajı ayarlamak için kullanılmıştır. Ohmik ısıtma test hücresi 0.025 m iç çapında Pyrex camdan silindirik örnek haznesidir ve 7 adet ısıl-eş girişine sahiptir. Paslanmaz çelik elektrotlar teflondan yapılmış silindirik desteklerin taban yüzeylerine sabitlendirilmiştir. Teflon destekler, test hücresinin iki tarafından sıkıştırılarak, örneğin test hücresi içinde hapsedilmesini sağlar (Şekil 3.3). Elektrot aralığı istenilen voltaj gradyanına göre ayarlanabilir. Test hücresi yatay pozisyonda ayaklı bir sistem üzerinde durmaktadır (Ek A.2). Örneğin farklı noktalarından sıcaklık ölçümleri almak için, sıvı örneklerde 0-150 °C arasında çalışan ±0,1°C hassasiyete ve 0,5 s zaman sabitine sahip Teflon-FEP kaplı elektronik LM- 35 sıcaklık sensörleri (Omega Inc, USA), katı örneklerde ise -250°C ile +200 °C arasında çalışabilen ±0,1°C hassasiyete ve 0,1 s zaman sabitine sahip Teflon-FEP kaplı T-tipi ısıleşler (Cole-Parmer Inc., USA) kullanılmıştır. Sensörlerin ve ısıleşlerin sabitlenmesi için test hücresinin üzerinde bulunan ısıleş girişlerinden yararlanılmıştır. Test hücresinin dış yüzey sıcaklığını ölçmek için -250 °C +400°C arasında çalışabilen ±1°C hassasiyete ve 0,1 s zaman sabitine sahip K-tipi yüzey ısıleşi (GOF 130 Greisinger Electronic., Almanya) kullanılmıştır. Sıcaklık sensörlerinin ve ısıl-eşlerin sıcaklık ölçümleri uygun kalibrasyon çözeltileri ile test edilmiştir.

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

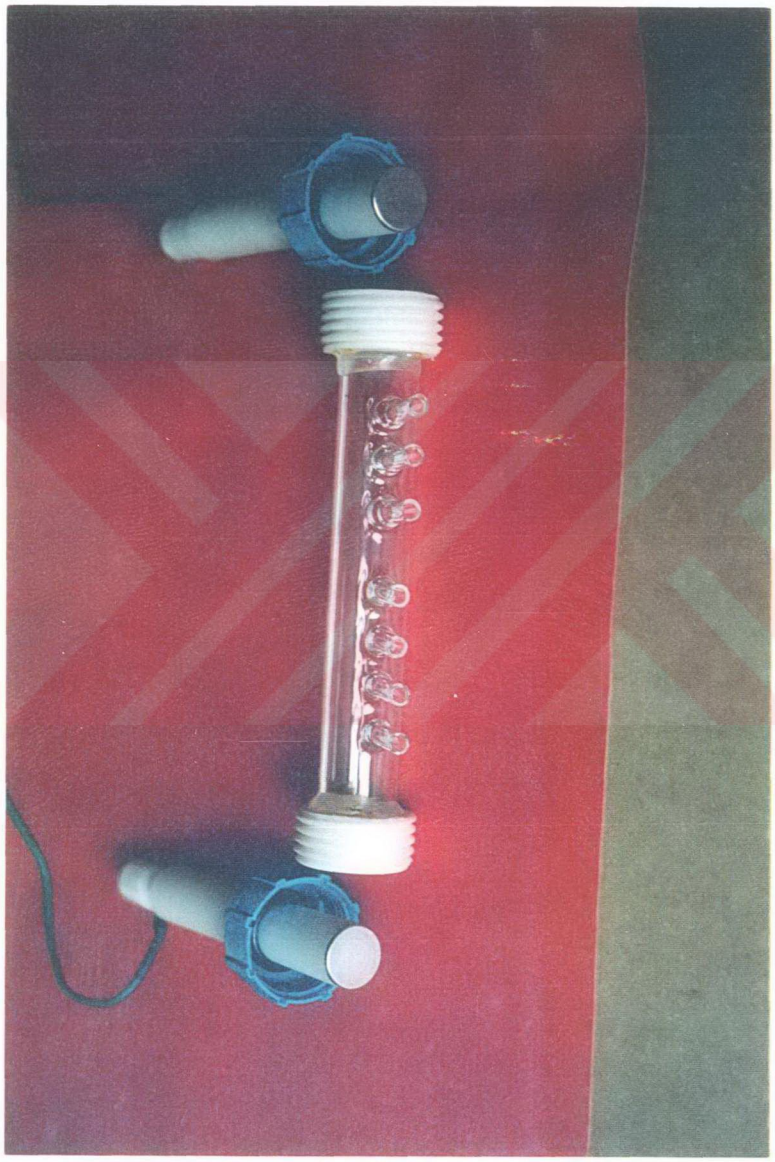
Mikroişlemci sistemi ısıtma süresince örnekten geçen akım, voltaj ve örneğin farklı noktalarından ölçülen sıcaklık değerlerini görüntülemek ve 0,2-1 s aralıkla bilgisayara aktarmak amacıyla Ege Üniversitesi Ege Meslek Yüksekokulu Mikroişlem Bölümü'nde özel olarak geliştirilmiştir. Yüzey ısıleşinin 1 s aralıkla yapmış olduğu ölçümler de RS-232 bağlantısı olan bir multimetre (Metex ME-32, UK) ile bilgisayara aktarılmıştır. Mikroişlemci ve multimetrenin bilgisayara aktarmış olduğu dosyalar MS Excel 2000 paket programı ile uyumludur. Tüm veriler MS Excel dosyası formatına dönüştürülmüştür.



Şekil 3.1. Ohmik ısıtma sisteminin şematik gösterimi



Şekil 3.2 Sistemin genel görünüşü



Şekil 3.3 Elektrotların görünüşü

3.2 Kullanılan Materyaller

Früktoz-glikoz şurubu, Pendik Nişasta Sanayi A.Ş. tarafından hammadde desteği şeklinde sağlanmıştır. Früktoz-glikoz şurubu, meyve suyu ve nektarlarında şeker oranını ayarlamak için kullanılmaktadır.Nişastanın enzimatik konversiyonu ve ardından izomerizasyonu ile elde edilen doğal şekerlerin saflaştırılmış ve konsantre edilmiş bir sulu solüsyonudur. Şurubun özellikleri Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Kullanılan früktoz-glikoz şurubunun konsantrasyonu, meyve suyu ve nektarlarına model oluşturması amacıyla 13 Briks'e ayarlanmıştır. Sıvı gıdalarda asitlik düzeyinin elektriksel iletkenliğe etkisini incelemek amacıyla früktoz-glikoz şurubuna sitrik asit ilavesi yapılmış ve % 0,2 , 0,3 , 0,4 , 0,5 ve 0,6 asitlik düzeyine sahip şurup çözeltileri hazırlanmıştır.

Çizelge 3.1 Kullanılan konsantre früktoz-glikoz şurubunun özellikleri (Pendik Nişasta San.A.Ş.)

Özellik	Değeri
Dekstroz eşdeğeri (DE)	Min 94
Briks (20°C)	70-71
Spesifik gravite (20°C) , kg/l	1,35
pH	3,5-5,0
% Dekstroz	52
% Früktoz	42
% Maltoz	3
% Maltotrioz	1
% Yüksek şekerler	2

Ayrıca, şeker konsantrasyonunda az miktardaki değişimlerin etkisini inceleyebilmek için, % 0,427 asitlik içeriğine sahip 13 ve 14 Briks'teki früktoz-glikoz şurupları hazırlanmıştır. %0,427 asitlik içeriği mamul meyve suyu ve nektarlarının ortalama asitlik içeriğine model oluşturması amacıyla seçilmiştir.

Mamul meyve suyu ve nektarları Pınar Süt Mamulleri Sanayi A.Ş. tarafından, yarı-mamul konsantre meyve suyu ve püreleri ise Etap Tarım ve Gıda Ürünleri, Ambalaj Sanayi A.Ş. tarafından hammadde desteği şeklinde temin edilmiştir. Mamul meyve su ve nektarları elma suyu, portakal nektarı, vişne nektarı, kayısı nektarı'dır.

Çizelge 3.2 Meyve suyu ve nektarlarının bazı özellikleri

Özellik	Vişne nektarı	Portakal nektarı	Filtre edilmiş portakal nektarı	Kayısı nektarı	Elma suyu
Brix (20°C)	12,20	12,20	12,10	12,60	11,00
Toplam Şeker (%)	12,20	11,80	11,80	10,30	9,97
pH (20°C)	3,42	3,76	3,74	4,09	4,24
Asitlik (%)	0,68	0,60	0,60	0,41	0,23
Toplam kuru madde (%)	12,37	12,44	12,27	12,70	10,90
Çözünmeyen kuru madde (%)	0,20	0,40	0,10	0,50	<0,10

Ayrıca portakal nektarlarında asılı kalan pulp miktarının önemini araştırmak için portakal nektarlarının filtrasyonu Nüche vakum sistemi kullanılarak yapılmış, kaba pulpu azalan portakal nektarı Ohmik ısıtma sonuçları ile filtre edilmemiş portakal nektarının sonuçları karşılaştırılmıştır. Mamul meyve suyu ve nektarlarının özellikleri Çizelge 3.2'de verilmiştir.

Pastörizasyon öncesi yarı mamul ürün olarak temin edilen konsantre meyve suyu ve pürelerinin bazı özellikleri Çizelge 3.3'de verilmiştir. Konsantre meyve suları; elma, portakal ve vişne, % 20, 30, 40, 50 ve 60 olmak üzere 5 farklı konsantrasyonda hazırlanmıştır. Kayısı ve şeftali pürelerinde ise tek konsantrasyon için ısıtma işlemleri uygulanmıştır. Kıyma örnekleri Pınar Et Sanayi A.Ş. tarafından sağlanmış olan sığır eti örneklerinden kıydırılmış ve homojen bir yapıya getirilmiştir. 2 farklı kompozisyona sahip kıyma örnekleri hazırlanmıştır (Çizelge 3.4). Denemelerde kıyma örnekleri, hazırlanan kompozisyonlara ait tek karışımdan örnekleme yapılarak alınmıştır. Örneklere 0.025 cm çapında ve 3 cm boyunda boyutlara sahip olacak şekilde silindirik şekil verilmiş ve test hücresi içinde iki elektrot arasına sıkıştırılarak Ohmik yöntemle ısıtılmışlardır.

Çizelge 3.3 Meyve suyu konsantreleri ve pürelerinin bazı özellikleri

Özellik	Portakal konsantresi	Elma konsantresi	Vişne konsantresi	Kayısı püresi	Şeftali püresi
Brix (20°C)	65,20	70,08	65,20	12,79	9,90
pH (20°C)	3,36	3,82	3,05	3,75	4,01
Asitlik (%)	6,80	0,45	7,2	1,32	0,62

Çizelge 3.4 Kıyma örneklerinin bazı özellikleri

Özellik (%)	Az yağlı kıyma örneği (kym)	Yağlı kıyma örneği (ykym)
Toplam Su	70,1	65,7
Protein	18,6	16,9
Yağ	9,6	16,1
Kül	1,2	0,9
Diğerleri	0,5	0,4

Model katı gıda örneği saf metil selüloz Tylose MH 1000 (Fluka,USA) kullanılarak hazırlanmıştır. Tylose örneği jelleşip soğuduktan sonra verilen şeklini korumakta ve katı forma dönüşmektedir. Literatürde %77 su içeriğine sahip Tylose'un %74 su içeriğine sahip az yağlı sığır etine benzer termo-fiziksel özellikler gösterdiği belirtilmiştir (Becher and Fricke, 1999). Tylose bazı çalışmalarda Karlsruhe test maddesi olarak da isimlendirilmiştir. Birçok araştırmacı tarafından donma ve çözünme işlemlerinde model gıda analoğu olarak kullanılmıştır (Succar and Hayakawa, 1983, 1984, 1986; Hung and Thompson, 1983; Abdalla and Singh, 1985; Dolan et al., 1987; Cleland et al., 1987; Sheen and Hayakawa, 1991; Pham, 1996; Sanz et al., 1996; Becher and Fricke, 1999).

Bu tez çalışmasında Tylose ve az yağlı sığır etinin termo-fiziksel özellikleri arasındaki benzerliğin, elektriksel iletkenlik özelliği açısından da olup olmadığı test edilmiş, Tylose örneklerinin Ohmik ısıtma işleminin modellenmesi amacıyla da model gıda olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Bu amaçla Tylose örneklerinin elektriksel iletkenliğini kıyma örneklerinin elektriksel iletkenliği düzeyine getirebilmek için tuz içerikleri NaCl ile ayarlanmıştır. %0,2-0,78 arasında değişik tuz

içeriklerine sahip Tylose örneklerinin Ohmik ısıtma ön denemeleri yapılarak iki farklı kompozisyona sahip kıyma örneklerine yakın sonuç veren tuz içerikleri belirlenmiştir. % 0,5 ve %0,67 tuz içeriğinde hazırlanan Tylose örneklerinde farklı voltaj gradyanlarında gerçekleştirilen Ohmik ısıtma sonuçları, farklı yağ içeriğine sahip kıyma örneklerinin sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

Her bir Ohmik ısıtma denemesinde istenilen voltaj gradyanının sağlanabilmesi için kullanılan elektrot aralığına ve örnek yoğunluğuna bağlı olarak yaklaşık 16-50 g örnek kullanılmıştır. Denemeler 3 tekrarlı yapılmıştır ve sonuçlar ortalama olarak verilmiştir.

3.3 Uygulanan Isıtma Yöntemi

Test materyali olarak kullanılan tüm sıvı ve katı örnekler için aynı test hücresi kullanılmıştır. Örnekler iki elektrot arasına elektrot desteklerinin vidalı sıkıştırılması şeklinde sızdırmazlık sağlanarak sabitlenmiştir. Test hücresinin ayaklı bir sistemde yatay pozisyonda statik durması sağlanmıştır (Ek A.2, Şekil 3.2 ve Şekil 3.3). Uygulanmak istenen voltaj gradyanı elektrotlar arası açıklık ayarlanarak ve varyaktan sisteme gönderilen voltaj değeri değiştirilerek sağlanmıştır. Isıtma sabit voltaj gradyanı uygulanarak 50 Hz'de gerçekleştirilmiştir. Isıtma süresince 1 saniye birim zaman aralığında örnekten geçen voltaj ve akım değerleri, örneğin farklı noktalarındaki sıcaklıklar ve test hücresinin dış yüzey sıcaklığı değerleri mikroişlemci ve multimetre RS-232 bağlantıları ile bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Sistemde izole trafo olmasına rağmen herhangi bir elektrik kaçağına karşı ölçümlerin alınacağı ortamın zemininde elektrik izolasyonu sağlanmıştır.

Çizelge 3.5 Ohmik ısıtma işleminde örneklere uygulanan voltaj gradyanları

Örnek	Voltaj Gradyanı (V/cm)
Früktoz-glikoz şurubu örnekleri	
%13 konsantrasyon	20 30 40 50 60 70
%14 konsantrasyon	20 30 40 50 60 70
Mamul meyve suyu ve nektarları	
Elma suyu	18,75 20 21,25 22,5 23,75 25 26,25 27,5 28,75 30 33,33 35 38,3 40 45 50 56,25 60 65 70 75 76,67
Vişne nektarı	18,75 20 21,25 23,75 25 26,25 28,75 30 35 38,3 40 45 50 60 65 70 75 76,67
Kayısı nektarı	20 22,5 25 27,5 30 35 40 45 50 55 60 65 70
Portakal nektarı	18,75 20 21,25 22,5 23,75 25 26,25 27,5 28,75 30 32,83 35 38,3 40 45 55 65 70 75 76,67
Filtre edilmiş portakal nektarı	18,75 21,25 22,5 23,75 25 30 33,33 35 38,3 40 45 55 58,3 60 65 70 75 76,67
Meyve suyu konsantreleri	
Elma suyu konsantresi	20 30 40 50 60
Vişne suyu konsantresi	20 30 40 50 60
Portakal suyu konsantresi	20 30 40 50 60
Meyve püreleri	
Kayısı püresi	20 22,5 27,5 30 35 40 45 50 55 60 65 70
Şeftali püresi	20 22,5 25 27,5 30 35 40 45 50 55 60 65 70
Kıyma örnekleri	
Az yağlı kıyma örneği	10 20 30 40 50
Yağlı kıyma örneği	10 20 30 40 50
Tylose örnekleri	
% 0,5 tuz içerikli Tylose	10 20 30 40 50
% 0,67 tuz içerikli Tylose	10 20 30 40 50

Örneklere Ohmik ısıtma denemelerinde uygulanan voltaj gradyanları Çizelge 3.5'de verilmiştir. Örnekler 25°C'den 80°C'ye kadar ısıtılmaya çalışılmış fakat yüksek voltaj gradyanlarında köpürme olduğundan, özellikle meyve pürelerinde ancak yaklaşık 60°C'e kadar sağlıklı veri elde edilebilmiştir. Bu nedenle tez içerisinde sonuçlar verilirken karşılaştırma yapabilmek amacıyla 30-60°C arasındaki veriler kullanılmıştır.

Uygulanan voltaj gradyanının farklı elektrot aralıkları veya voltaj uygulamaları ile sağlanmasının, ısıtma hızına ve elektriksel iletkenliğe etkisini araştırmak amacıyla kayısı püresi örnekleri ile çalışılmıştır (Çizelge 3.5).

Köpürme etkisi gösteren meyve pürelerinde sıcaklık ölçümü yapılmayan ısıleş girişlerinin tıpa ile kapatılmasının köpürme üzerine etkisini incelemek amacıyla kayısı püresi örneklerinde 20, 30, 40, 50 ve 60 V/cm voltaj gradyanlarında aynı elektrot açıklığı ve voltaj uygulamaları için tıpalı ve tıpasız ısıtma işlemleri yapılmıştır. Kullanılan tıpalar, kauçuk malzemeden özel olarak yaptırılmıştır. Isıleş girişlerine kapatıldığında sızdırmazlığı sağlaması amacıyla konik bir şekle sahiptir. Tıpalar örnekle temas halinde olmayan, teflon elektrot desteklerinin üzerine denk gelen ısıleş girişlerine takılmıştır.

Örneklerin elektriksel iletkenliği, ısıtma süresince kaydedilen voltaj ve akım verileri kullanılarak Denklem 3.1 ile hesaplanmıştır (Wang and Sastry, 1993a);

$$\sigma = \frac{L.I}{A.V} \qquad (3.1)$$

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

3.4 Yapılan Analizler

3.4.1 Kuru madde tayini

Şurup, meyve suyu, nektar ve püre örneklerinde suda çözünür kuru madde sıcaklık düzeltmesine sahip refraktometre (RFM 330 Bellingham & Stanley Ltd., İngiltere) ile tespit edilmiştir (Cemeroğlu, 1992). Toplam kuru madde şurup, meyve suyu, nektar ve püre örneklerinde TS 01129'a göre (Anon,1972), kıyma örneklerinde ise TS 11566'a göre (Anon, 1995) yapılmıştır. Çözünmeyen katı madde miktarı Cemeroğlu (1992)'de verilen yönteme göre bulunmuştur.

3.4.2 Asitlik tayini ve pH ölçümü

Şurup, meyve suyu, nektar ve püre örneklerinde titrasyon asitliği (Cemeroğlu, 1992)'de belirtilen elektrometrik titrasyon yöntemine göre yapılmış ve sitrik asit cinsinden ifade edilmiştir. pH ölçümleri Crison micropH 2000 (Barselona, İspanya) marka sıcaklık düzeltmeli pH metre kullanılarak ölçülmüştür. pH metre her ölçüm öncesi kalibrasyon çözeltileri (pH 2, 4 ve 7) ile kalibre edilmiştir.

3.4.3 Şeker tayini

Şurup, meyve suyu, nektar ve püre örneklerinde şeker tayini Lane-Eynon volumetrik yöntemine göre yapılmıştır (Cemeroğlu, 1992). Toplam şeker miktarı, indirgen olan ve olmayan şeker miktarları tespit edilmiştir.

3.4.4 Protein tayini

Kıyma örneklerinin kompozisyonunun belirlenmesi için protein tayini TS 11566 (Anon, 1995)'de belirtildiği gibi TS 1748 (Anon, 1974a)'ya göre yapılmış ve bulunan azot miktarı 6,25 faktörü ile çarpılmıştır.

3.4.5 Yağ tayini

Kıyma örneklerinin kompozisyonunun belirlenmesi için yağ tayini TS 11566 (Anon, 1995)'de belirtildiği gibi TS 1744 (Anon, 1974b)'ye göre yapılmıştır.

3.4.6 Kül tayini

Kıyma örneklerinin kompozisyonunun belirlenmesi için kül tayini TS 00135'e göre (Anon, 1964) yapılmıştır.

3.4.7 Yoğunluk ölçümleri

Şurup, meyve konsantreleri ve pürelerinin yoğunluklarını tespit etmek için, hassas derecelendirilmiş mezürde birim hacimlerinin ağırlıkları ölçülmüştür. Yoğunluk değerleri kg/m^3 olarak ifade edilmiştir.

3.4.8 Sonuçların değerlendirilmesi

Elektriksel iletkenlik ile sıcaklık arasındaki ilişkileri veren eğriler ile ısıtma eğrileri MS Excel-XP paket programı ile çizilmiştir.

Elektriksel iletkenliğin sıcaklık, voltaj gradyanı ve konsantrasyona bağlı değişim ilişkileri SPSS 10.0 Paket programı kullanılarak doğrusal veya doğrusal olmayan regresyon analizleri ile elde edilmiştir.

3.5 Geliştirilen Model

İletken bir gıdadan geçen elektrik akımının kararlı olduğu durum için, Ohm Kanunu (Denklem 2.1) ile elektrik akımı için yazılan süreklilik denklemi birleştirilerek sıvı iletken içindeki voltaj dağılımı şu şekilde yazılabilir (Sastry and Salangke, 1998);

$$\nabla(\sigma \nabla V) = 0 \tag{3.2}$$

Ortam durağan olduğundan, homojen karışım halindeki bir gıda için enerji denkliği Denklem 3.3'deki gibi oluşturulabilir.

$$\nabla(k \nabla T) + \dot{u} = \rho Cp \frac{\partial T}{\partial t} + \dot{e}_k \tag{3.3}$$

burada $\dot{u}$ sıcaklığa bağlı hacimsel ısı jenerasyon hızıdır.

Isıtma hızları örnek içinde hacimsel uniform ısı jenerasyonu varsayılarak hesaplanabilir. Eğer örnek içinde ısı transferinin iletimle oldukça hızlı gerçekleştiği kabul edilirse, tüm örnek aynı hızda ısınacaktır. Bu durumda Denklem 3.3, Denklem 3.4 halini alır. Katı örneklerde ayrıca ısı iletimi ihmal edilmeden de çözüm yapılmıştır.

$$\dot{u} = \rho Cp \frac{dT}{dt} + \dot{e}_k \tag{3.4}$$

Denklem 3.4'ün her iki tarafı örnek hacmi ile çarpılırsa ;

$$\dot{u}v = mCp\frac{dT}{dt} + \dot{E}_k \tag{3.5}$$

elde edilir. Hacimsel ısı jenerasyon terimi (W/m^3) sabit voltaj gradyanı uygulandığı durumda şu şekilde yazılabilir;

$$\dot{u} = |\nabla V|^2 \sigma \tag{3.6}$$

Sıvı içindeki ortalama voltaj gradyanı Sastry and Salengke (1998) tarafından Denklem 3.7'deki gibi ifade edilmiştir.

$$\nabla V = \frac{\Delta V}{L} \tag{3.7}$$

Denklem 3.6 ve 3.7 birleştirildiğinde ısı jenerasyon hızı (W) aşağıdaki forma dönüşür;

$$\dot{Q}_j = \Delta V^2 \sigma / K_c \tag{3.8}$$

Denklem 3.8'deki K_c test hücresi sabitidir;

$$K_c = \frac{L}{A} \tag{3.9}$$

Sistemdeki ısı birikim hızı (W) Denklem 3.10 ile ifade edilebilir.

$$\dot{Q}_b = mCp\frac{dT}{dt} \tag{3.10}$$

Denklem 3.10, Denklem 3.8 ile birleştirilirse ve enerji denkliği tekrar düzenlenirse Denklem 3.11 ve 3.12 elde edilir.

$$\dot{Q}_j = \dot{Q}_b + \dot{E}_k \tag{3.11}$$

$$\Delta V^2 \sigma / K_c = mCp\frac{dT}{dt} + \dot{E}_k \tag{3.12}$$

Katı örneklerde ayrıca ısı iletimi de göz önünde bulundurulmuş ve Denklem 3.13 elde edilmiştir.

$$\left(\frac{k}{r}\frac{\partial}{\partial r}(r\frac{\partial T}{\partial r})\right) + \Delta V^2 \sigma/(K_c v) = \rho Cp\frac{\partial T}{\partial t} + \frac{\dot{E}_k}{v} \tag{3.13}$$

Sisteme verilen enerji (J), ısıtma deneyleri sırasında kaydedilen voltaj ve akım değerleri kullanılarak hesaplanabilir;

$$Q_v = \Sigma \Delta V\, I\, t \tag{3.14}$$

Örneği belirlenen bir sıcaklığa ısıtmak için gerekli enerji (J) ise aşağıdaki denklemle hesaplanabilir;

$$Q_a = mCp(T_{son} - T_{ilk}) \tag{3.15}$$

Örneklerin özgül ısı kapasitelerinin sıcaklıktan bağımsız oldukları kabul edilmiştir. Sisteme verilecek enerji, örneği ısıtmak için gerekli enerji ve kayıpların toplamına eşit olacaktır.

$$Q_v = Q_a + E_k \tag{3.16}$$

E_k terimi, test hücresinin ve elektrotların ısınması için kaybedilen kısmı, doğal konveksiyonla dış ortama olan ısı kaybını ve kimyasal reaksiyonlar, faz değişimi gibi sıvıyı ısıtmak dışında diğer amaçlar için kullanılan elektrik enerjisi miktarını ifade eden sistemdeki elektriksel kayıpları içermektedir. Örnek hücresini ısıtmak için gerekli ısı miktarı, örnek hücresinin kütlesi, Pyrex malzemenin özgül ısısı (Incropera and De Witt, 1990) ve test hücresinin sıcaklık yükselmesi ölçümleri ile hesaplanabilir. Doğal konveksiyonla dış ortama olan ısı kaybı aşağıdaki denklem ile hesaplanabilir;

$$Q_{dk} = \bar{h} A \left(\bar{T}_y - T_{ort} \right) \Delta t \tag{3.17}$$

Ortalama ısı transfer katsayısı, geçerli Gr.Pr. aralığı için basitleştirilmiş denklem ile hesaplanabilir (Geankoplis, 1993);

$$\bar{h} = 1{,}32 \left(\frac{\bar{\Delta T}}{D} \right)^{1/4} \tag{3.18}$$

$\bar{\Delta T}$, test hücresinin dış yüzeyi ile ortam arasındaki başlangıç ve son sıcaklık farklarının ortalaması olarak alınmıştır. E_k'nın özellikle yüksek voltaj gradyanlarında önemli düzeye ulaştığı tespit edilmiştir. Voltaj gradyanı arttıkça sistemdeki kayıpların arttığı saptanmıştır. Düşük E_k, sistemin yüksek performansını göstermektedir. Bu amaçla sistem performans katsayıları (SPK) Denklem 3.19'daki gibi tanımlanmıştır.

$$SPK = \frac{Q_a}{Q_v} \tag{3.19}$$

Kayıp içermeyen bir sistem için SPK "1" 'e eşittir. Isıtma işlemi süresince SPK'ın sabit olduğu kabul edilirse, ısı denkliği Denklem 3.20, 3.21 ve 3.22'deki gibi yazılabilir.

$$SPK.\dot{Q}_j = \dot{Q}_b \tag{3.20}$$

$$SPK.\Delta V^2 \sigma / K_c = mCp\frac{dT}{dt} \tag{3.21}$$

katı örnekler için ise

$$\left(\frac{k}{r}\frac{\partial}{\partial r}(r\frac{\partial T}{\partial r})\right) + SPK.\Delta V^2 \sigma/(K_c v) = \rho Cp\frac{\partial T}{\partial t} \tag{3.22}$$

şeklinde yazılabilir. Örneğin elektriksel iletkenliği ile sıcaklık arasındaki ilişki doğrusal ise ;

$$\sigma = B1.T + C1 \tag{3.23}$$

Denklem 3.21 aşağıdaki forma dönüşür;

$$SPK.V^2\frac{(B1.T + C1)}{K_c} = mCp\frac{dT}{dt} \tag{3.24}$$

Elektriksel iletkenlik-sıcaklık ilişkilerine bağlı olarak, Denklem 3.21,22 ve Denklem 3.24 nümerik olarak ileri sonlu farklar metodu kullanılarak çözülmüştür (Ek B.1 ve B.2). Program kodları FORTRAN

Programlama Dili kullanılarak yazılmıştır (Ek B.3-B.6). Hesaplamalarda birim zaman olarak 0,01 s kullanılmıştır. Model programlarda kullanılan bazı parametreler ve özellikler Ek A.3'de verilmiştir. Sıvı örneklerin özgül ısıları Denklem 3.25 ile hesaplanmıştır (Sweat, 1995). Kıyma ve Tylose örneklerinin yoğunluk, ısıl iletkenlik ve özgül ısı değerleri Succar and Hayakawa (1983)'den alınmıştır.

$$Cp = 1672 + 2508X_w \qquad \text{(J/kgK)} \qquad (3.25)$$

4 SONUÇLAR VE TARTIŞMA

4.1 Sıvı Gıdaların Ohmik Isıtılmasının İncelenmesi

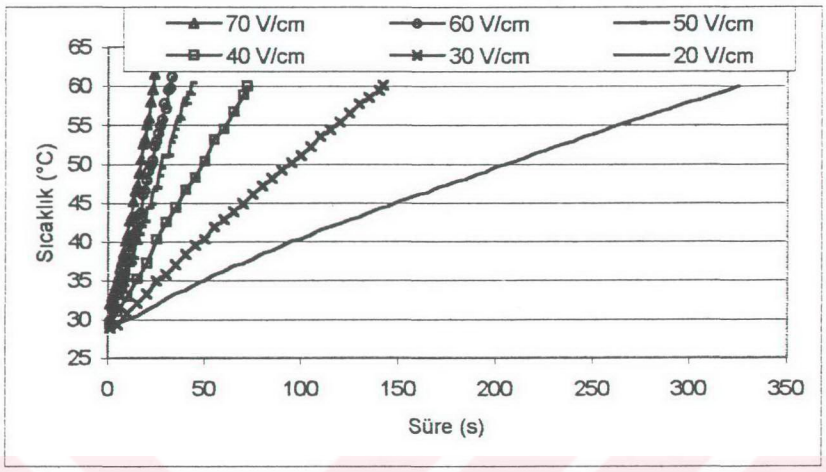
Ohmik ısıtmanın incelenmesi ve sistemin karakterize edilmesi amacıyla öncelikle sıvı gıdalarla çalışılmıştır. Test materyali olarak, sonuçların pratikte de kullanılabilmesi açısından Ohmik ısıtmanın sanayide uygulanabileceği meyve suyu örnekleri seçilmiştir. Meyve suları arasındaki asitlik ve şeker farkının etkisini daha detaylı incelemek için daha homojen yapıya sahip şurup örnekleri model olarak kullanılmıştır. Konsantrasyonun etkisi ise konsantre meyve suyu ve püreleri kullanarak hazırlanan örneklerde incelenmiştir.

4.1.1 Şurup örnekleri

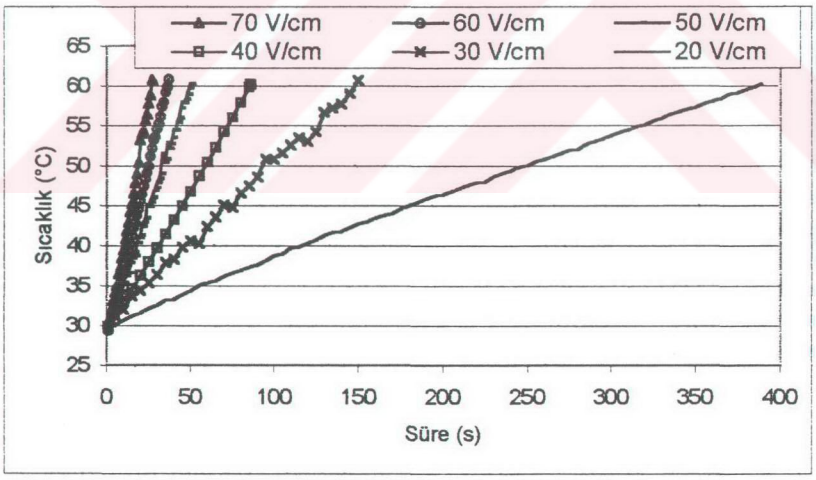
Fiziksel özelliklerdeki değişimlerin en aza indirilmesi amacıyla homojen bir yapıya sahip bir sıvı örneği ile çalışılmasının uygun olacağı düşünülmüştür. Früktoz-glikoz şurubu, nişastanın konversiyonu ve ardından izomerizasyonu ile elde edilen doğal şekerlerin saflaştırılmış ve konsantre edilmiş bir sulu solüsyonu olup özellikle meyve suyu ve nektarlarında şeker ayarlanması amacıyla kullanılmaktadır. Şeker içeriğinin ve asit miktarının ayarlanmasının etkisinin incelenmesi amacıyla, konsantre früktoz-glikoz şurubundan destile su ile seyreltilmiş şurup örnekleri, belli oranlarda sitrik asit ilavesi ile istenilen asitlik düzeylerine getirilmiştir.

%13 ve 14 şeker içeriklerine sahip şuruplarda şeker oranının az miktarda değişmesinin ısıtma süresine ve elektriksel iletkenliğe etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır.

a)



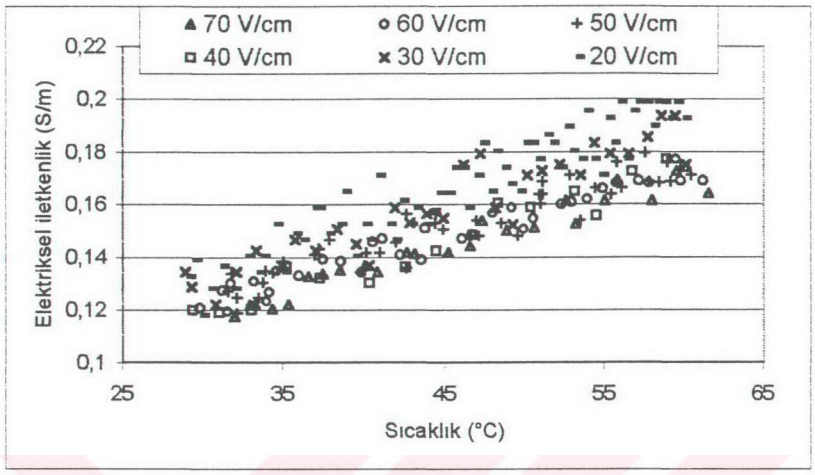
b)



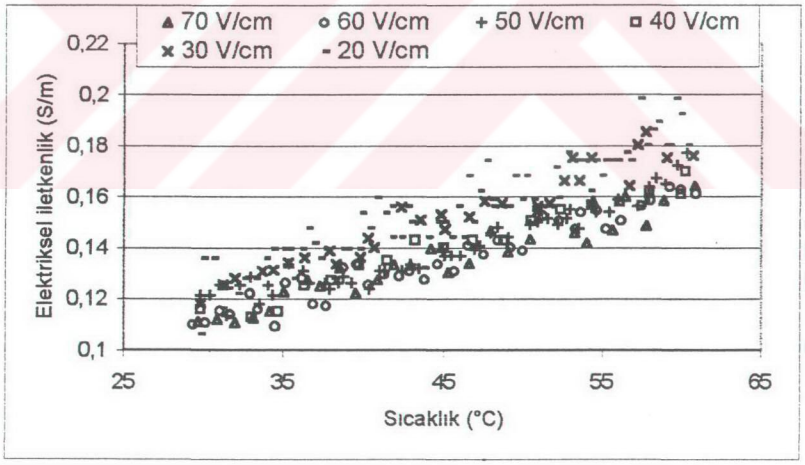
Şekil 4.1 %0.427 asitlikte farklı konsantrasyona sahip şurup örneklerinin 6 farklı voltaj gradyanı ile Ohmik ısıtılması a) %13, b) %14

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

a)



b)



Şekil 4.2 %0.427 asitlikte farklı konsantrasyona sahip şurup örneklerinin 6 farklı voltaj gradyanı ile Ohmik ısıtılması sırasında elektriksel iletkenlik değişimleri a) %13, b) %14

% 0,427 asitlik içeriğine sahip şurup örnekleri 20, 30, 40, 50, 60 ve 70 V/cm voltaj gradyanlarında Ohmik yöntem ile ısıtılmıştır. Şurup örneklerinin elektriksel iletkenlik değerleri, ısıtma sırasında kaydedilen voltaj ve akım değerleri ile Denklem 3.1 kullanılarak hesaplanmıştır.

Çizelge 4.1. %0,427 asitlikte farklı konsantrasyona sahip şurup örneklerinin elektriksel iletkenlik-sıcaklık ilişkileri ve Ohmik ısıtma süreleri

Konsantrasyon (%)	Voltaj gradyanı (V/cm)	Elektriksel iletkenlik-sıcaklık ilişkisi	R^{2*}	t-deney (s)
13	70	$\sigma = 0,0015\ T+0,0762$	0,968	24
	60	$\sigma = 0,0015\ T+0,0784$	0,956	33
	50	$\sigma = 0,0016\ T+0,0791$	0,948	43
	40	$\sigma = 0,0016\ T+0,0750$	0,941	72
	30	$\sigma = 0,0018\ T+0,0755$	0,932	141
	20	$\sigma = 0,0019\ T+0,0774$	0,924	320
14	70	$\sigma = 0,0015\ T+0,0690$	0,950	27
	60	$\sigma = 0,0015\ T+0,0686$	0,958	37
	50	$\sigma = 0,0017\ T+0,0642$	0,956	50
	40	$\sigma = 0,0017\ T+0,0644$	0,951	86
	30	$\sigma = 0,0018\ T+0,0661$	0,970	150
	20	$\sigma = 0,0018\ T+0,0709$	0,904	389

* Regresyon katsayısı

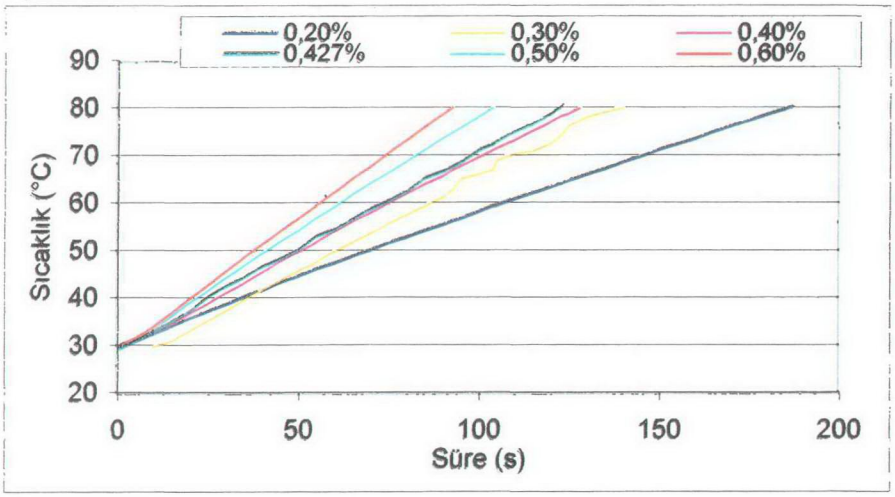
Her iki şeker içeriğine sahip şurup örneklerinde de voltaj gradyanı arttıkça ısıtma süresi azalmıştır (Şekil 4.1 ve Çizelge 4.1). Ancak aynı şeker ve asitlik içeriğinde voltaj gradyanının elektriksel iletkenlik-sıcaklık değişimini etkilemediği ve 0,1-0,2 S/m arasında sıcaklığa bağlı bir bant oluşturduğu görülmüştür (Şekil 4.2). Voltaj gradyanı artışı ısı jenerasyonu terimini de arttırmakta ve dolayısıyla ısıtma hızı da

artmaktadır. Bununla birlikte; sıcaklık arttıkça elektriksel iletkenlik değerindeki artış da ısı jenerasyonu teriminin artmasına neden olmaktadır. Voltaj gradyanı artışının ısıtma süresini düşürmesi Palaniappan and Sastry (1991a; b) ve Imai et.al (1995)'da da rapor edilmiştir.

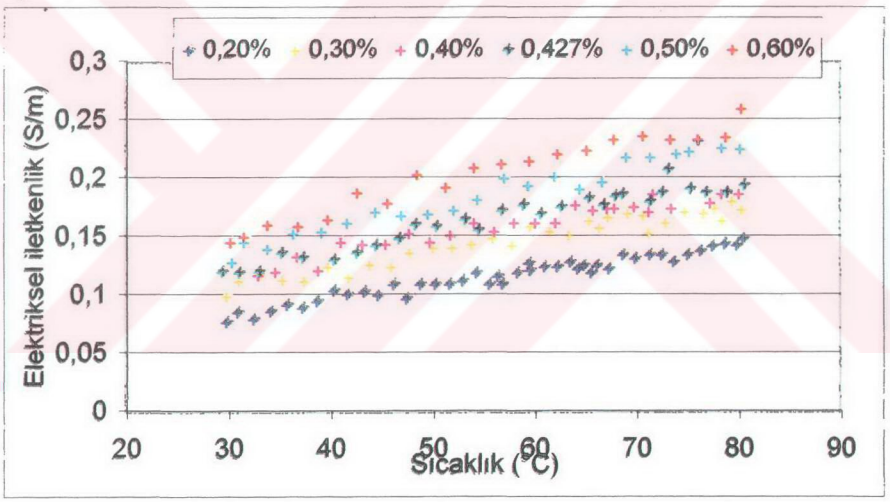
Aynı voltaj gradyanında şeker içeriği arttıkça 30°C'den 60°C'ye ısıtmak için gerekli sürenin arttığı görülmüştür (Çizelge 4.1). 20 V/cm'de %13 şeker içeriğine sahip şurup 320 s'de ısınırken, %14 şeker içeriğine sahip şurup 69 s daha geç ısınmıştır. 70 V/cm'de iki farklı şeker içeriğine sahip şurup için ısıtma süresi farkı 3 s'ye inmiştir. Ayrıca şeker içeriğinin %13'den %14'e artması, aynı voltaj gradyanlarında ve aynı sıcaklık için, elektriksel iletkenlik değerlerinde de azalışa neden olmuştur (Şekil 4.2). Palaniappan and Sastry (1991a)'da şekerin iyonik olmayan bir bileşen olması nedeniyle, şeker miktarı artışının örnek içindeki iyonik hareketlilikte düşüşe sebep olabileceği belirtilmiştir. Bu tez çalışmasında da bu olasılığın etkisi 6 farklı voltaj gradyanında da net olarak gözlenmiştir. Castro et al. (2003)' de de çilek ürünlerinde şeker içeriği arttıkça elektriksel iletkenliğin düştüğü ve çok yüksek şeker konsantrasyonlarında (40 briksin üstünde) ısıtma yapabilmek için özel bir Ohmik ısıtma ünitesi tasarımına gerek olduğu belirtilmiştir.

Asitliğin etkisini incelemek amacıyla %13 şeker konsantrasyonunda %0,2 ,0,3 ,0,4 , 0,5 ve 0,6 olmak üzere 5 farklı asitlik içeriğine sahip şurup örnekleri 6 farklı voltaj aralığında (20, 30, 40, 50, 60 ve 70 V/cm) Ohmik yöntemle ısıtılmıştır. Bu örneklere ait ısıtma eğrileri ile elektriksel iletkenlik-sıcaklık değişim grafikleri Şekil 4.3 ve Ek C.1-C.5'de verilmiştir. Elektriksel iletkenliğin sıcaklıkla doğrusal arttığı tespit edilmiş ve Denklem 3.23 ile ifade edilen ilişkilerin sabitleri ve regresyon katsayıları Çizelge 4.2'de verilmiştir.

a)



b)



Şekil 4.3 Farklı asitliklere sahip şurup örneklerinin 40 V/cm voltaj gradyanı ile Ohmik ısıtılması sırasında a) ısıtma eğrileri b) elektriksel iletkenlik değişimleri

Tüm asitlik içeriklerinde voltaj gradyanı artışının ısıtma hızında artışa sebep olduğu ve sıcaklık arttıkça elektriksel iletkenliğin artığı tespit edilmiştir (Şekil 4.3 ve Ek C.1-C.5). % 0,2 asitlik içeriğine sahip şurup örneğinde voltajın 20 V/cm'den 70 V/cm'e arttırılması ısıtma süresini 15 kat azaltırken, %0.6 asitlik içeriğinde bu azalış 9 kata düşmüştür (Çizelge 4.2). Asitlik arttıkça voltaj gradyanındaki değişimin ısıtma süresine etkisi azalmıştır.

Aynı asitlik içeriğine sahip şurup örneği için voltaj gradyanı artışının elektriksel iletkenlik-sıcaklık ilişkisini önemli ölçüde değiştirmediği saptanmıştır (Çizelge 4.2). Ancak asitlik içeriği arttığında aynı voltaj gradyanı ve sıcaklık için elektriksel iletkenlik değerlerinde artış olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4.3 ve Ek C.1-C.5). Asitlik artışının çözelti içindeki iyonik hareketliliği arttırdığı ve elektriksel direnci düşürdüğü düşünülmektedir. Palanaippan and Sastry (1991a) domates ve portakal suyu örneklerinin Ohmik ısıtılması ile ilgili yaptığı çalışmada elektriksel iletkenlik değişimlerinin iyonik hareketlilik değişiminden kaynaklanabileceğini belirtmiştir.

Aynı voltaj gradyanı için asitlik arttıkça, elektriksel iletkenlik değerlerindeki artışa bağlı olarak, ısıtma hızlarının arttığı belirlenmiştir. 20 V/cm'de asitliğin %0,2'den %0,6' ya çıkması 30°C'den 60°C'ye ısıtmak için gerekli süreyi 584 s'den 192 s' ye düşürmüştür. Ancak yüksek voltaj gradyanında (70 V/cm)'de bu azalış 16 s' ye inmiştir. Asitlik artışının ısıtma hızını düşük voltaj gradyanlarında daha fazla etkilediği saptanmıştır.

Özet olarak şurup örneklerinin Ohmik ısıtılması denemelerinde, şeker içeriği düştükçe ve asitlik miktarı arttıkça elektriksel iletkenlik değerlerinin arttığı ve ısıtma süresinin azaldığı tespit edilmiştir.

Çizelge 4.2 Farklı asitliğe sahip şurup örneklerinin Ohmic ısıtma deneysel ve model sonuçları

Asitlik (%)	V.G. (V/cm)	T-baş (°C)	T-son (°C)	B1 (Bkz.Denklem 3.23)	C1	R^2	Qv (J)	Qa (J)	SPK	tdeney (s)	t-adb (s)	t-mod (s)
0,2	70	29,5	60,6	0,001	0,051	0,953	2425	1870	0,771	38	30	39
	60	29,8	60,6	0,001	0,051	0,952	2517	1851	0,736	48	35	49
	50	29,8	60,0	0,001	0,046	0,953	2716	1815	0,668	74	51	75
	40	29,9	60,3	0,001	0,049	0,939	2607	1830	0,702	107	76	108
	30	29,9	60,3	0,001	0,053	0,906	3005	1821	0,606	207	126	207
	20	29,8	60,0	0,001	0,051	0,976	3827	1815	0,474	584	282	596
0,3	70	29,9	60,8	0,001	0,066	0,947	2436	1858	0,763	27	22	28
	60	30,1	60,7	0,001	0,065	0,945	2534	1842	0,727	39	30	40
	50	29,9	60,6	0,001	0,067	0,932	2465	1785	0,724	51	41	55
	40	29,9	60,0	0,001	0,068	0,932	2345	1812	0,773	76	60	77
	30	30,0	60,1	0,001	0,064	0,930	2605	1812	0,696	151	108	154
	20	29,9	60,1	0,002	0,067	0,877	3027	1815	0,600	366	229	372
0,4	70	32,6	61,3	0,002	0,077	0,938	2448	1725	0,705	24	17	24
	60	32,5	60,4	0,002	0,079	0,933	2267	1674	0,739	30	23	30
	50	32,7	60,3	0,002	0,079	0,939	2232	1662	0,745	42	31	42
	40	32,8	60,2	0,002	0,074	0,928	2272	1644	0,724	68	51	68
	30	32,7	60,2	0,002	0,076	0,930	2293	1650	0,720	117	84	117
	20	32,6	60,3	0,002	0,074	0,902	2510	1650	0,657	265	175	266
0,5	70	31,7	60,2	0,002	0,093	0,952	2610	1710	0,655	22	16	23
	60	31,3	60,2	0,002	0,084	0,929	2453	1737	0,708	29	22	30
	50	30,2	60,1	0,002	0,085	0,924	2529	1794	0,710	44	32	45
	40	30,4	60,6	0,002	0,086	0,946	2453	1815	0,740	62	48	63
	30	30,3	60,2	0,002	0,086	0,935	2520	1797	0,713	110	79	111
	20	30,8	60,3	0,002	0,083	0,922	2657	1755	0,661	249	165	249
0,6	70	30,8	61,4	0,002	0,101	0,937	2811	1842	0,655	22	16	22
	60	31,0	60,6	0,002	0,109	0,940	2346	1782	0,760	25	19	25
	50	31,0	60,6	0,002	0,094	0,949	2378	1776	0,747	37	28	37
	40	30,3	60,2	0,002	0,094	0,953	2348	1794	0,764	56	43	56
	30	30,5	60,1	0,002	0,097	0,950	2363	1779	0,753	94	72	95
	20	31,5	60,0	0,002	0,097	0,924	2324	1716	0,739	192	146	197

Şurup örneklerinin Ohmik ısıtılması sırasında elde edilen empirik elektriksel iletkenlik-sıcaklık ilişkilerini kullanan Ek B.3'de verilen matematiksel model ile ısıtma süreleri öngörülmüştür. İlk olarak sistemdeki enerji kayıplarını dikkate almayan adyabatik bir sistem için (SPK=1), Denklem 3.24 kullanılarak geliştirilmiş olan model sonuçları (t-adb) elde edilmiştir (Çizelge 4.2). Sistem performans katsayısının (SPK) "1" 'e eşit olması sistemdeki kayıpların ihmal edilmesi, sisteme verilen enerjinin tamamının örneğe aktarılabilmesi anlamına gelmektedir.

6 farklı asitlik ve 6 farklı voltaj gradyanı için şurup örneklerinin SPK değerlerinin 0,600-0,771 aralığında olduğu hesaplanmıştır. Bu oran sisteme verilen enerjinin yaklaşık %27-40'ının kayba uğradığını göstermektedir. Bu nedenle öngörülen t-adb sürelerinin tüm ısıtma koşullarında deneysel sürelerden daha düşük hesaplanması beklenen bir sonuçtur. Tüm şurup örneklerinde test hücresinin dış yüzey sıcaklıkları Ohmik ısıtma denemeleri süresince kaydedilmiştir. Örneklerin 30 °C'den 60 °C'ye ısınması için gerekli süre boyunca cam yüzeyin tüm örneklerde yaklaşık 15-20 °C ısındığı tespit edilmiştir. Uygulanan voltaj gradyanına bağlı olarak cam yüzeyin ısınma hızı da değişmiştir. Bu da ısı kaybının olduğunu gösteren diğer bir sonuçtur.

Uygulanan ikinci matematiksel modelde SPK değerleri dikkate alınmış ve deneysel sürelere oldukça yakın sonuçlar elde edilmiştir (Çizelge 4.2). Tüm asitlik içeriklerinde, matematiksel modelin öngördüğü ısıtma süreleri (t-mod) deneysel sürelerden en fazla %2,6 daha uzundur. Bu sonuç, sistemde enerji kayıplarının varlığını ve dikkate alınmasının gerekliliğini vurgulamaktadır. İleriki bölümlerde sıvı ve katı örneklerin Ohmik ısıtılmasının kuramsal incelenmesinde, sisteme verilen ve örneğin aldığı enerjiler hesaplanmış, SPK değerleri tespit edilerek modelde dikkate alınmıştır (Bkz. Bölüm 4.1.3-4.2.2).

4.1.2 Mamul meyve suyu ve nektarları

Mamul meyve suları konsantre ürünlerden hazırlanırlar ve ısıl işleme tabi tutulurlar. Nektar tipi ürünler ise meyve suyu konsantreleri veya pürelerinde asitlik ve şeker ayarlaması yapılması ile elde edilen paketleme öncesi ısıl işlem görmüş ürünlerdir (Schobinger, 1987; Cemeroğlu ve Karadeniz, 2001).

Tüketime sunulan meyve suyu ve nektarlarının sıcaklıkla değişim gösteren elektriksel iletkenlik değerlerinin tespit edilmesi ve ısıtma eğrilerinin karşılaştırılması amacıyla "Pınar" marka elma suyu ve vişne, portakal, kayısı nektarları ile çalışılmıştır. Kullanılan meyve suyu ve nektarlarının özellikleri Çizelge 3.2'de verilmiştir.

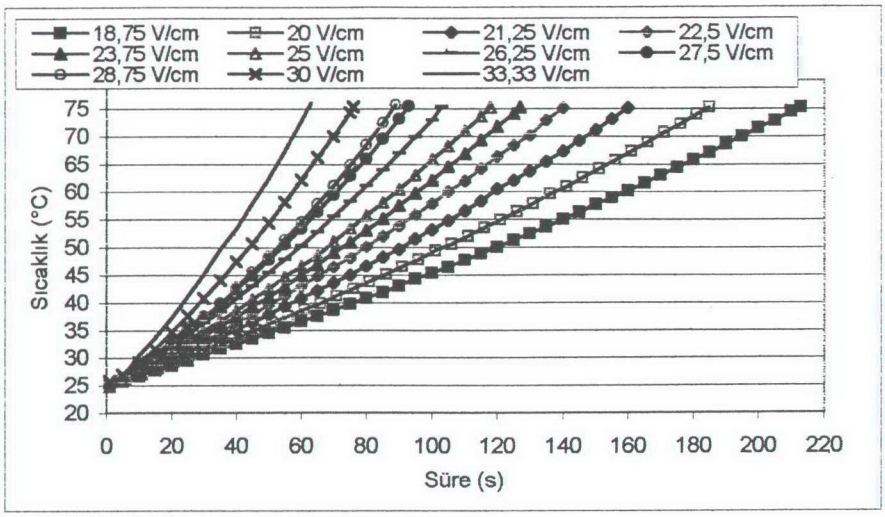
Tüm mamul meyve suyu ve nektarlarının 25°C'den 75°C'e ısıtılması amacıyla 18.75-76.67 V/cm arasındaki voltaj gradyanları ile Ohmik ısıtma uygulanmıştır. Elma suyunda ve portakal nektarında 65 V/cm'in üzerindeki bazı yüksek voltaj gradyanlarında köpürme oluşmuş, sıcaklık 75°C'e ulaşamadan ısıtma işlemi durdurulmuştur. Palaniappan and Sastry (1991a) yüksek sıcaklıklarda (80-85°C) akımın çok artış gösterdiğini ve elektrotlar yanında köpürme gözlendiğini belirtilmiştir. Voltaj arttıkça bu kritik sıcaklığın düştüğünden bahsedilmiş ancak değeri verilmemiştir. Qihua et al (1993)'de portakal suyunun Ohmik ısıtılmasında özellikle 50°C'nin üzerinde oluşan elektrokimyasal reaksiyonlar sonucu gaz çıkışının olduğu ve köpürme gözlendiği belirtilmiştir. Lima and Sastry (1999)'da ise yüksek voltaj gradyanlarında (70 V/cm) son sıcaklığın kontrol edilmesinin güçlüğünden bahsedilmiştir. Bu tez çalışmasında da elma suyu ve portakal nektarı dışında diğer örneklerde 75°C'den sonra köpürme oluştuğu

belirlenmiştir. Örnekler arasında karşılaştırma yapılması amacıyla 30-60°C arasındaki veriler kullanılmıştır.

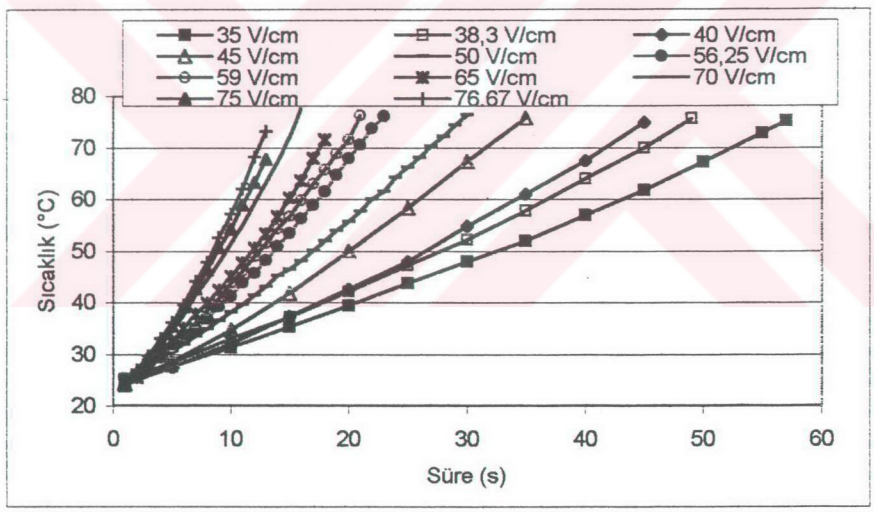
Tüm meyve suyu ve nektarlarında voltaj gradyanı arttırıldıkça Ohmik ısıtma süresinin azaldığı tespit edilmiştir (Şekil 4.4-4.7). Meyve suyu ve nektarlarının ısıtma eğrileri incelendiğinde, 18,75-30 V/cm arasında uygulanan voltaj gradyanlarını aralığında, 1,25 , 2,5 ve 5 V/cm'lik voltaj gradyanı değişimlerinin bile ısıtma hızına etki ettiği tespit edilmiştir. Her 1,25 V/cm değerindeki artışın ısıtma süresinde elma suyunda %10-25, portakal nektarında %5-20, vişne nektarında %11-20 ve kayısı nektarında ise % 13-28 arasında azalmaya neden olduğu saptanmıştır. Voltaj gradyanı 70 V/cm'den 20 V/cm'ye düşürüldüğünde ısıtma süresi elma suyunda 12, portakal nektarında 13,7, kayısı nektarında 11,9 ve vişne nektarında 17,5 katına çıkmıştır. Hong et al. (1998)'de elma suyunun Ohmik ısıtma ile sterilizasyonu sonucu geleneksel ısıtma metodlarına benzer fizikokimyasal özellikler gösterdiği belirtilmiştir. Isıtma hızının 60 Hz - 60 kHz arasındaki frekanslardan veya alternatif akım dalga boylarından etkilenmediği, uygulanan voltaja bağlı olduğu belirtilmiştir. Uygulanan voltaj arttırıldıkça elma suyunun daha hızlı ısındığının saptandığı belirtilmiş ancak, uygulanan voltaj gradyanı ve kullanılan elma suyunun özellikleri belirtilmemiştir.

Mamul meyve suyu ve nektarlarının elektriksel iletkenlik değerleri, ısıtma sırasında kaydedilen voltaj ve akım değerleri ile Denklem 3.1 kullanılarak hesaplanmıştır. Tüm voltaj gradyanlarında sıcaklık arttıkça elektriksel iletkenlik değerleri doğrusal olarak artış göstermiştir (Şekil 4.8). Her meyve suyu ve nektarı kendi içinde 18,75-76,67 V/cm voltaj gradyanı aralığında bir bant oluşturmuştur (Ek C.6-C.8).

a)

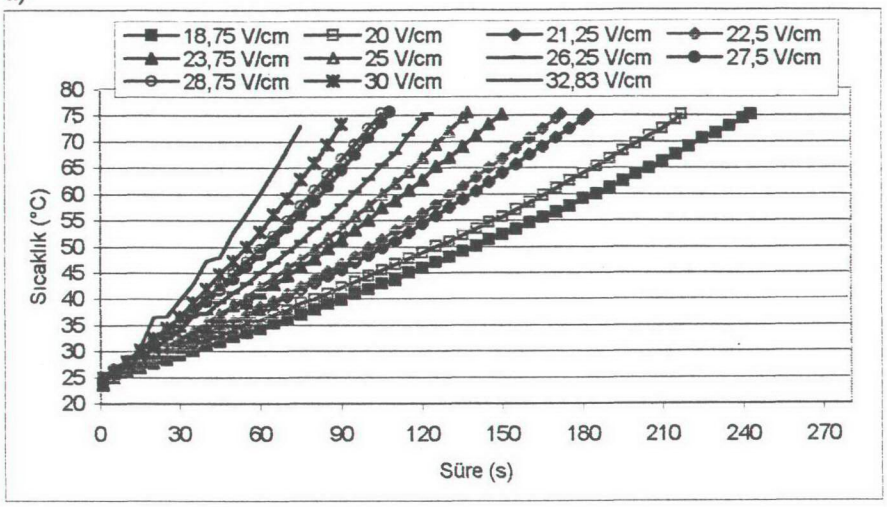


b)

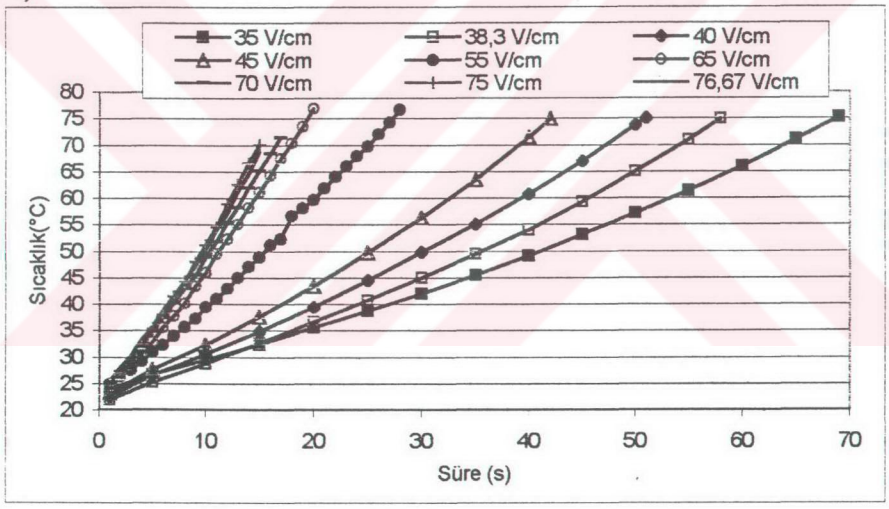


Şekil 4.4 Elma suyunun farklı voltaj gradyanlarında Ohmik ısıtma eğrileri
a) 18,75-33,33 V/cm b) 35-76,67 V/cm

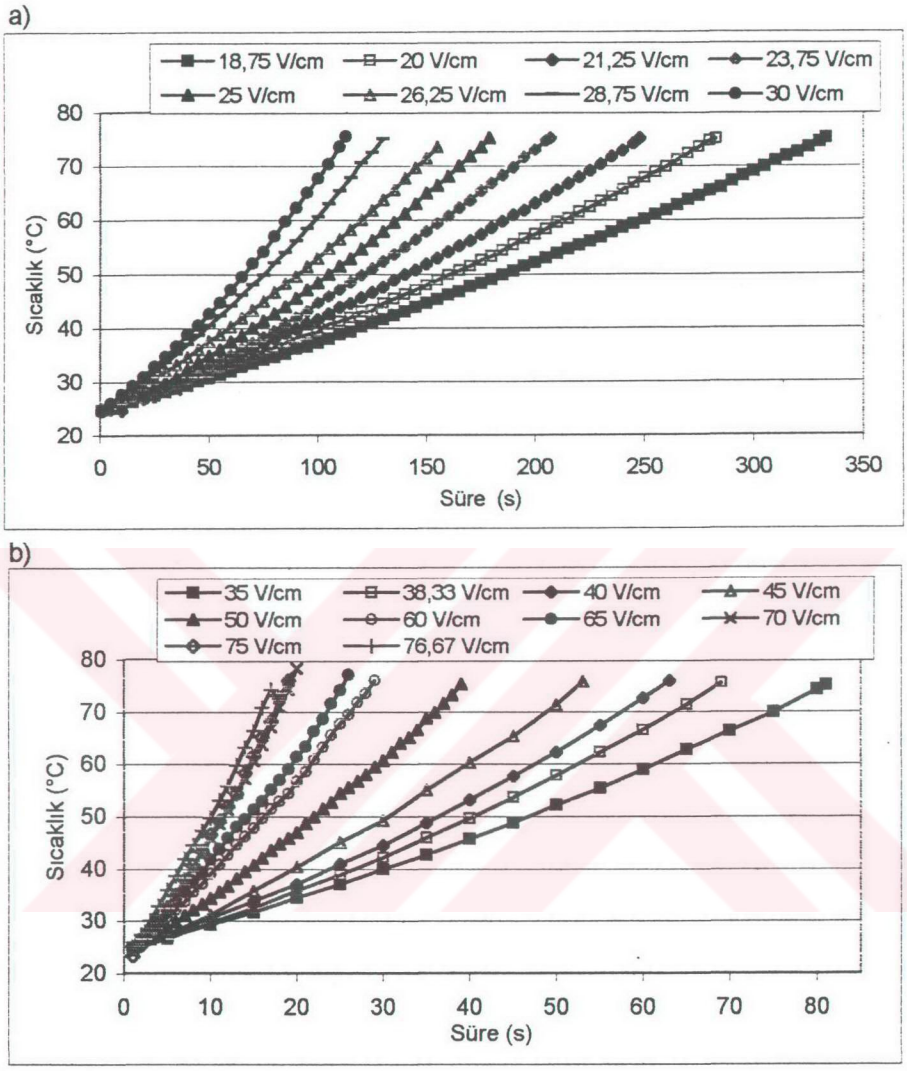
a)



b)



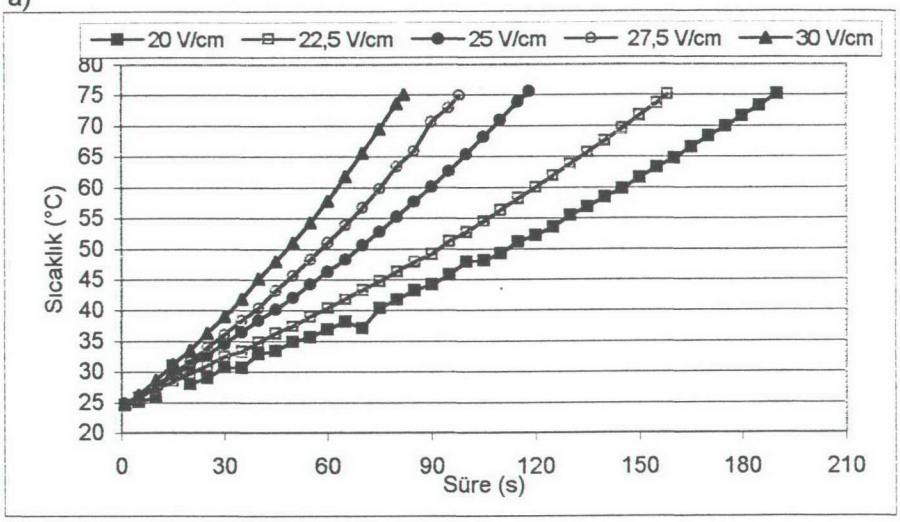
Şekil 4.5 Portakal nektarının farklı voltaj gradyanlarında Ohmik ısıtma eğrileri
a) 18,75-33,33 V/cm b) 35-76,67 V/cm



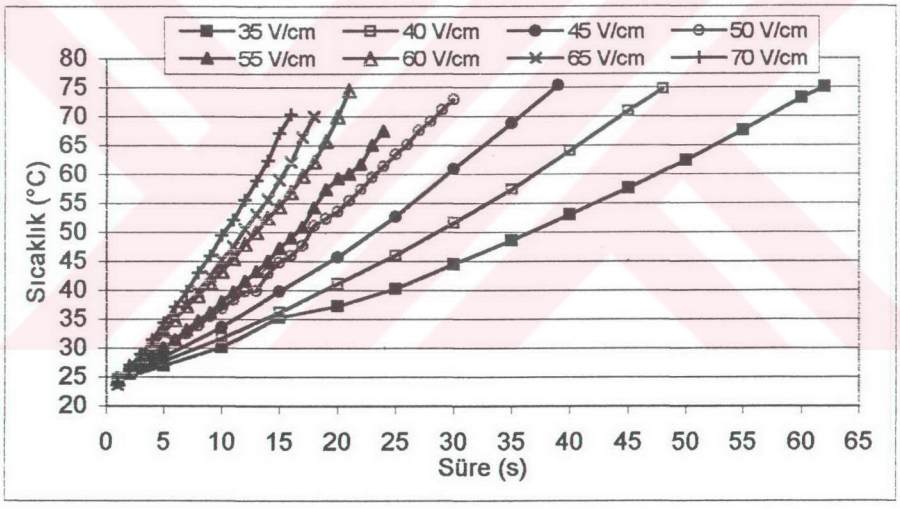
Şekil 4.6 Vişne nektarının farklı voltaj gradyanlarında Ohmik ısıtma eğrileri
a) 18,75-30 V/cm b) 35-76,67 V/cm

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

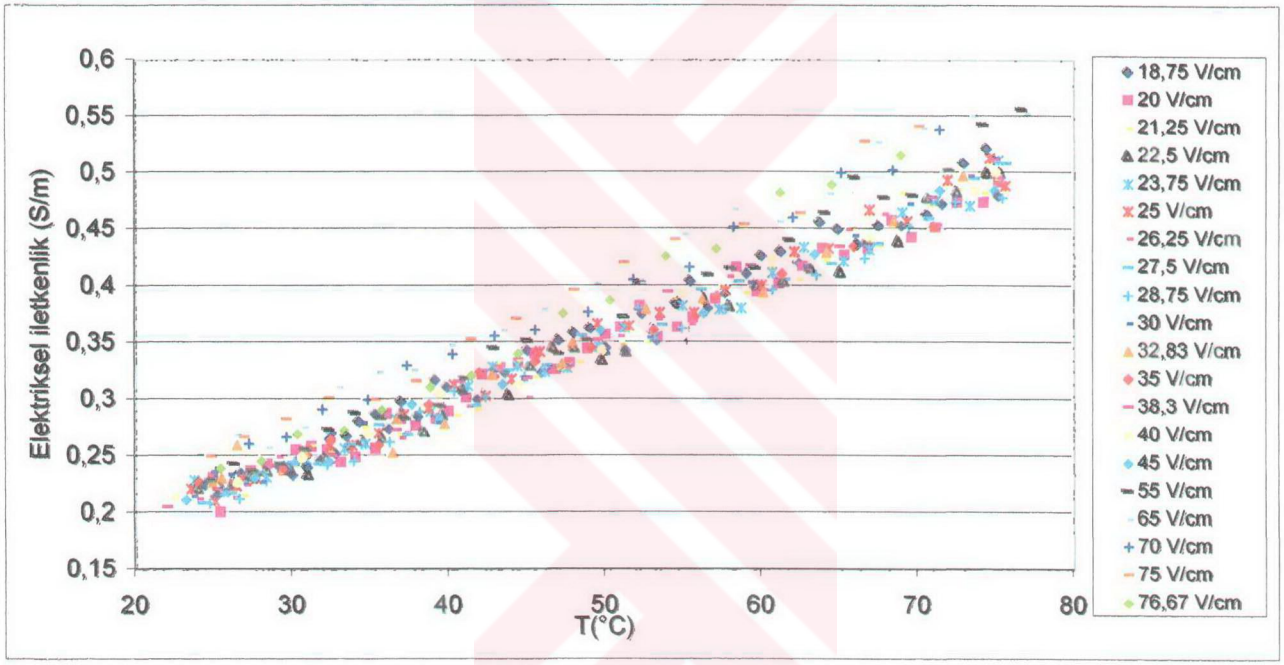
a)



b)

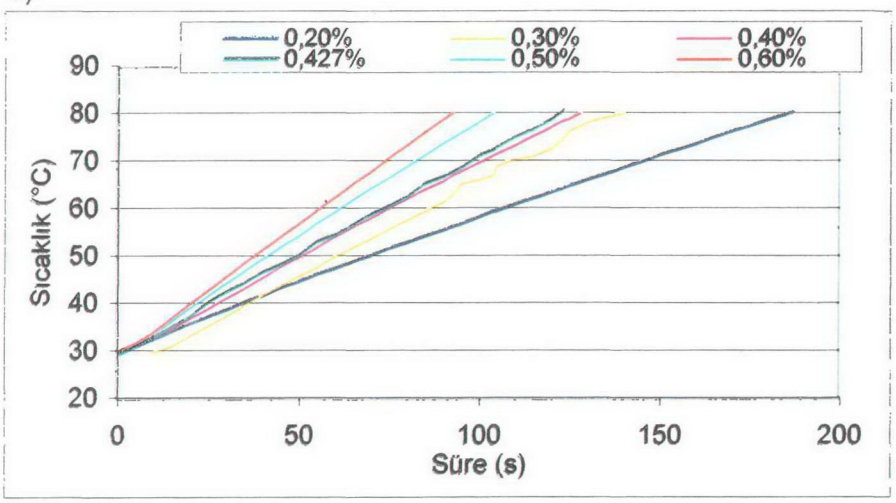


Şekil 4.7 Kayısı nektarının farklı voltaj gradyanlarında Ohmik ısıtma eğrileri
a) 20-30 V/cm b) 35-70 V/cm

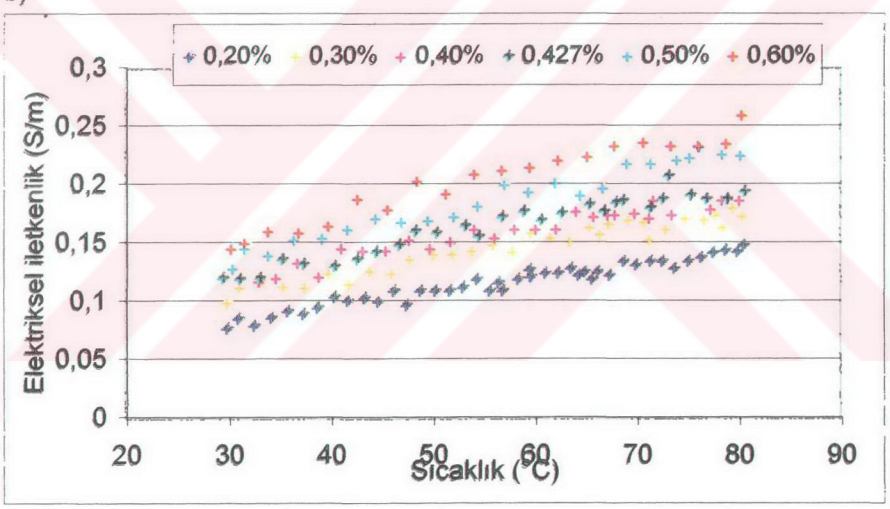


Şekil 4.8 Portakal nektarının farklı voltaj gradyanlarında Ohmik ısıtılması sırasında elektriksel iletkenlik değişimleri

a)



b)



Şekil 4.3 Farklı asitliklere sahip şurup örneklerinin 40 V/cm voltaj gradyanı ile Ohmik ısıtılması sırasında a) ısıtma eğrileri b) elektriksel iletkenlik değişimleri

Tüm asitlik içeriklerinde voltaj gradyanı artışının ısıtma hızında artışa sebep olduğu ve sıcaklık arttıkça elektriksel iletkenliğin artığı tespit edilmiştir (Şekil 4.3 ve Ek C.1-C.5). % 0,2 asitlik içeriğine sahip şurup örneğinde voltajın 20 V/cm'den 70 V/cm'e arttırılması ısıtma süresini 15 kat azaltırken, %0.6 asitlik içeriğinde bu azalış 9 kata düşmüştür (Çizelge 4.2). Asitlik arttıkça voltaj gradyanındaki değişimin ısıtma süresine etkisi azalmıştır.

Aynı asitlik içeriğine sahip şurup örneği için voltaj gradyanı artışının elektriksel iletkenlik-sıcaklık ilişkisini önemli ölçüde değiştirmediği saptanmıştır (Çizelge 4.2). Ancak asitlik içeriği arttığında aynı voltaj gradyanı ve sıcaklık için elektriksel iletkenlik değerlerinde artış olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4.3 ve Ek C.1-C.5). Asitlik artışının çözelti içindeki iyonik hareketliliği arttırdığı ve elektriksel direnci düşürdüğü düşünülmektedir. Palanaippan and Sastry (1991a) domates ve portakal suyu örneklerinin Ohmik ısıtılması ile ilgili yaptığı çalışmada elektriksel iletkenlik değişimlerinin iyonik hareketlilik değişiminden kaynaklanabileceğini belirtmiştir.

Aynı voltaj gradyanı için asitlik arttıkça, elektriksel iletkenlik değerlerindeki artışa bağlı olarak, ısıtma hızlarının arttığı belirlenmiştir. 20 V/cm'de asitliğin %0,2'den %0,6' ya çıkması 30°C'den 60°C'ye ısıtmak için gerekli süreyi 584 s'den 192 s' ye düşürmüştür. Ancak yüksek voltaj gradyanında (70 V/cm)'de bu azalış 16 s' ye inmiştir. Asitlik artışının ısıtma hızını düşük voltaj gradyanlarında daha fazla etkilediği saptanmıştır.

Özet olarak şurup örneklerinin Ohmik ısıtılması denemelerinde, şeker içeriği düştükçe ve asitlik miktarı arttıkça elektriksel iletkenlik değerlerinin arttığı ve ısıtma süresinin azaldığı tespit edilmiştir.

Çizelge 4.2 Farklı asitliğe sahip şurup örneklerinin Ohmic ısıtma deneysel ve model sonuçları

Asitlik (%)	V.G. (V/cm)	T-baş (°C)	T-son (°C)	B1 (Bkz.Denklem 3.23)	C1	R^2	Qv (J)	Qa (J)	SPK	tdeney (s)	t-adb (s)	t-mod (s)
0,2	70	29,5	60,6	0,001	0,051	0,953	2425	1870	0,771	38	30	39
	60	29,8	60,6	0,001	0,051	0,952	2517	1851	0,736	48	35	49
	50	29,8	60,0	0,001	0,046	0,953	2716	1815	0,668	74	51	75
	40	29,9	60,3	0,001	0,049	0,939	2607	1830	0,702	107	76	108
	30	29,9	60,3	0,001	0,053	0,906	3005	1821	0,606	207	126	207
	20	29,8	60,0	0,001	0,051	0,976	3827	1815	0,474	584	282	596
0,3	70	29,9	60,8	0,001	0,066	0,947	2436	1858	0,763	27	22	28
	60	30,1	60,7	0,001	0,065	0,945	2534	1842	0,727	39	30	40
	50	29,9	60,6	0,001	0,067	0,932	2465	1785	0,724	51	41	55
	40	29,9	60,0	0,001	0,068	0,932	2345	1812	0,773	76	60	77
	30	30,0	60,1	0,001	0,064	0,930	2605	1812	0,696	151	108	154
	20	29,9	60,1	0,002	0,067	0,877	3027	1815	0,600	366	229	372
0,4	70	32,6	61,3	0,002	0,077	0,938	2448	1725	0,705	24	17	24
	60	32,5	60,4	0,002	0,079	0,933	2267	1674	0,739	30	23	30
	50	32,7	60,3	0,002	0,079	0,939	2232	1662	0,745	42	31	42
	40	32,8	60,2	0,002	0,074	0,928	2272	1644	0,724	68	51	68
	30	32,7	60,2	0,002	0,076	0,930	2293	1650	0,720	117	84	117
	20	32,6	60,3	0,002	0,074	0,902	2510	1650	0,657	265	175	266
0,5	70	31,7	60,2	0,002	0,093	0,952	2610	1710	0,655	22	16	23
	60	31,3	60,2	0,002	0,084	0,929	2453	1737	0,708	29	22	30
	50	30,2	60,1	0,002	0,085	0,924	2529	1794	0,710	44	32	45
	40	30,4	60,6	0,002	0,086	0,946	2453	1815	0,740	62	48	63
	30	30,3	60,2	0,002	0,086	0,935	2520	1797	0,713	110	79	111
	20	30,8	60,3	0,002	0,083	0,922	2657	1755	0,661	249	165	249
0,6	70	30,8	61,4	0,002	0,101	0,937	2811	1842	0,655	22	16	22
	60	31,0	60,6	0,002	0,109	0,940	2346	1782	0,760	25	19	25
	50	31,0	60,6	0,002	0,094	0,949	2378	1776	0,747	37	28	37
	40	30,3	60,2	0,002	0,094	0,953	2348	1794	0,764	56	43	56
	30	30,5	60,1	0,002	0,097	0,950	2363	1779	0,753	94	72	95
	20	31,5	60,0	0,002	0,097	0,924	2324	1716	0,739	192	146	197

Şurup örneklerinin Ohmik ısıtılması sırasında elde edilen empirik elektriksel iletkenlik-sıcaklık ilişkilerini kullanan Ek B.3'de verilen matematiksel model ile ısıtma süreleri öngörülmüştür. İlk olarak sistemdeki enerji kayıplarını dikkate almayan adyabatik bir sistem için (SPK=1), Denklem 3.24 kullanılarak geliştirilmiş olan model sonuçları (t-adb) elde edilmiştir (Çizelge 4.2). Sistem performans katsayısının (SPK) "1" 'e eşit olması sistemdeki kayıpların ihmal edilmesi, sisteme verilen enerjinin tamamının örneğe aktarılabilmesi anlamına gelmektedir.

6 farklı asitlik ve 6 farklı voltaj gradyanı için şurup örneklerinin SPK değerlerinin 0,600-0,771 aralığında olduğu hesaplanmıştır. Bu oran sisteme verilen enerjinin yaklaşık %27-40'ının kayba uğradığını göstermektedir. Bu nedenle öngörülen t-adb sürelerinin tüm ısıtma koşullarında deneysel sürelerden daha düşük hesaplanması beklenen bir sonuçtur. Tüm şurup örneklerinde test hücresinin dış yüzey sıcaklıkları Ohmik ısıtma denemeleri süresince kaydedilmiştir. Örneklerin 30 °C'den 60 °C'ye ısınması için gerekli süre boyunca cam yüzeyin tüm örneklerde yaklaşık 15-20 °C ısındığı tespit edilmiştir. Uygulanan voltaj gradyanına bağlı olarak cam yüzeyin ısınma hızı da değişmiştir. Bu da ısı kaybının olduğunu gösteren diğer bir sonuçtur.

Uygulanan ikinci matematiksel modelde SPK değerleri dikkate alınmış ve deneysel sürelere oldukça yakın sonuçlar elde edilmiştir (Çizelge 4.2). Tüm asitlik içeriklerinde, matematiksel modelin öngördüğü ısıtma süreleri (t-mod) deneysel sürelerden en fazla %2,6 daha uzundur. Bu sonuç, sistemde enerji kayıplarının varlığını ve dikkate alınmasının gerekliliğini vurgulamaktadır. İleriki bölümlerde sıvı ve katı örneklerin Ohmik ısıtılmasının kuramsal incelenmesinde, sisteme verilen ve örneğin aldığı enerjiler hesaplanmış, SPK değerleri tespit edilerek modelde dikkate alınmıştır (Bkz. Bölüm 4.1.3-4.2.2).

4.1.2 Mamul meyve suyu ve nektarları

Mamul meyve suları konsantre ürünlerden hazırlanırlar ve ısıl işleme tabi tutulurlar. Nektar tipi ürünler ise meyve suyu konsantreleri veya pürelerinde asitlik ve şeker ayarlaması yapılması ile elde edilen paketleme öncesi ısıl işlem görmüş ürünlerdir (Schobinger, 1987; Cemeroğlu ve Karadeniz, 2001).

Tüketime sunulan meyve suyu ve nektarlarının sıcaklıkla değişim gösteren elektriksel iletkenlik değerlerinin tespit edilmesi ve ısıtma eğrilerinin karşılaştırılması amacıyla "Pınar" marka elma suyu ve vişne, portakal, kayısı nektarları ile çalışılmıştır. Kullanılan meyve suyu ve nektarlarının özellikleri Çizelge 3.2'de verilmiştir.

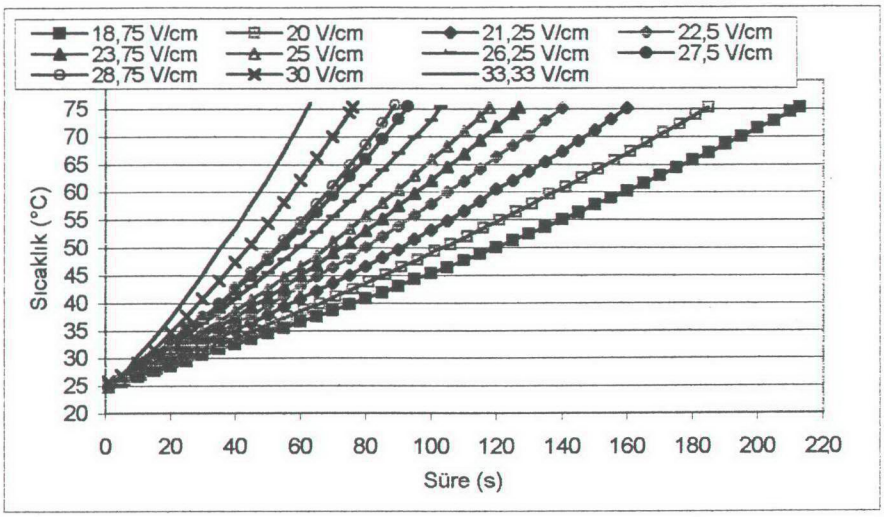
Tüm mamul meyve suyu ve nektarlarının 25°C'den 75°C'e ısıtılması amacıyla 18.75-76.67 V/cm arasındaki voltaj gradyanları ile Ohmik ısıtma uygulanmıştır. Elma suyunda ve portakal nektarında 65 V/cm'in üzerindeki bazı yüksek voltaj gradyanlarında köpürme oluşmuş, sıcaklık 75°C'e ulaşamadan ısıtma işlemi durdurulmuştur. Palaniappan and Sastry (1991a) yüksek sıcaklıklarda (80-85°C) akımın çok artış gösterdiğini ve elektrotlar yanında köpürme gözlendiğini belirtilmiştir. Voltaj arttıkça bu kritik sıcaklığın düştüğünden bahsedilmiş ancak değeri verilmemiştir. Qihua et al (1993)'de portakal suyunun Ohmik ısıtılmasında özellikle 50°C'nin üzerinde oluşan elektrokimyasal reaksiyonlar sonucu gaz çıkışının olduğu ve köpürme gözlendiği belirtilmiştir. Lima and Sastry (1999)'da ise yüksek voltaj gradyanlarında (70 V/cm) son sıcaklığın kontrol edilmesinin güçlüğünden bahsedilmiştir. Bu tez çalışmasında da elma suyu ve portakal nektarı dışında diğer örneklerde 75°C'den sonra köpürme oluştuğu

belirlenmiştir. Örnekler arasında karşılaştırma yapılması amacıyla 30-60°C arasındaki veriler kullanılmıştır.

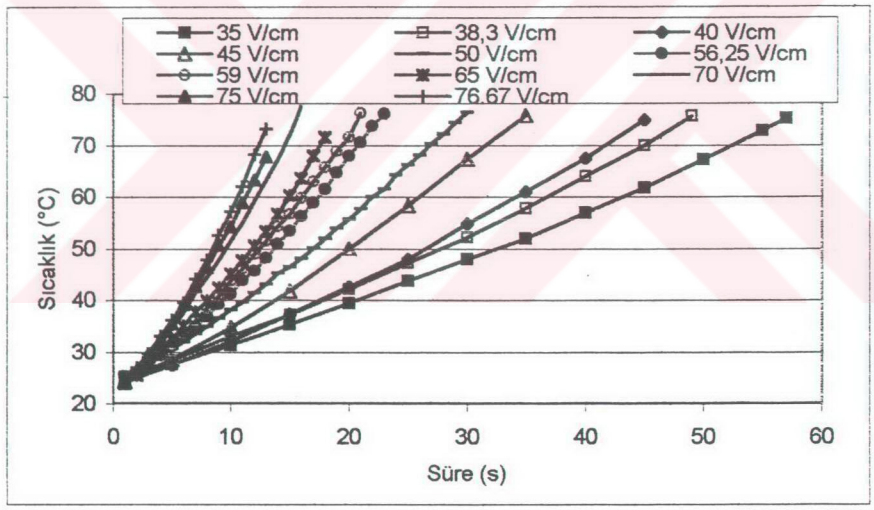
Tüm meyve suyu ve nektarlarında voltaj gradyanı arttırıldıkça Ohmik ısıtma süresinin azaldığı tespit edilmiştir (Şekil 4.4-4.7). Meyve suyu ve nektarlarının ısıtma eğrileri incelendiğinde, 18,75-30 V/cm arasında uygulanan voltaj gradyanlarını aralığında, 1,25 , 2,5 ve 5 V/cm'lik voltaj gradyanı değişimlerinin bile ısıtma hızına etki ettiği tespit edilmiştir. Her 1,25 V/cm değerindeki artışın ısıtma süresinde elma suyunda %10-25, portakal nektarında %5-20, vişne nektarında %11-20 ve kayısı nektarında ise % 13-28 arasında azalmaya neden olduğu saptanmıştır. Voltaj gradyanı 70 V/cm'den 20 V/cm'ye düşürüldüğünde ısıtma süresi elma suyunda 12, portakal nektarında 13,7, kayısı nektarında 11,9 ve vişne nektarında 17,5 katına çıkmıştır. Hong et al. (1998)'de elma suyunun Ohmik ısıtma ile sterilizasyonu sonucu geleneksel ısıtma metodlarına benzer fizikokimyasal özellikler gösterdiği belirtilmiştir. Isıtma hızının 60 Hz - 60 kHz arasındaki frekanslardan veya alternatif akım dalga boylarından etkilenmediği, uygulanan voltaja bağlı olduğu belirtilmiştir. Uygulanan voltaj arttırıldıkça elma suyunun daha hızlı ısındığının saptandığı belirtilmiş ancak, uygulanan voltaj gradyanı ve kullanılan elma suyunun özellikleri belirtilmemiştir.

Mamul meyve suyu ve nektarlarının elektriksel iletkenlik değerleri, ısıtma sırasında kaydedilen voltaj ve akım değerleri ile Denklem 3.1 kullanılarak hesaplanmıştır. Tüm voltaj gradyanlarında sıcaklık arttıkça elektriksel iletkenlik değerleri doğrusal olarak artış göstermiştir (Şekil 4.8). Her meyve suyu ve nektarı kendi içinde 18,75-76,67 V/cm voltaj gradyanı aralığında bir bant oluşturmuştur (Ek C.6-C.8).

a)

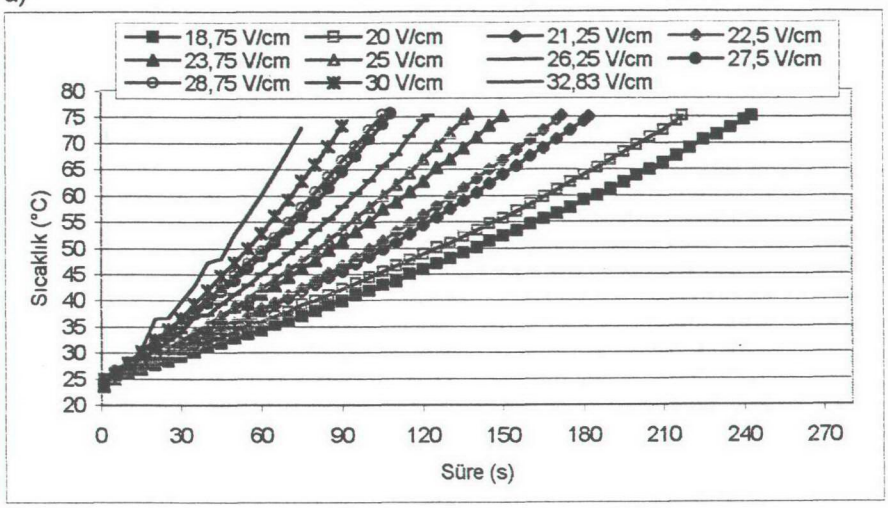


b)

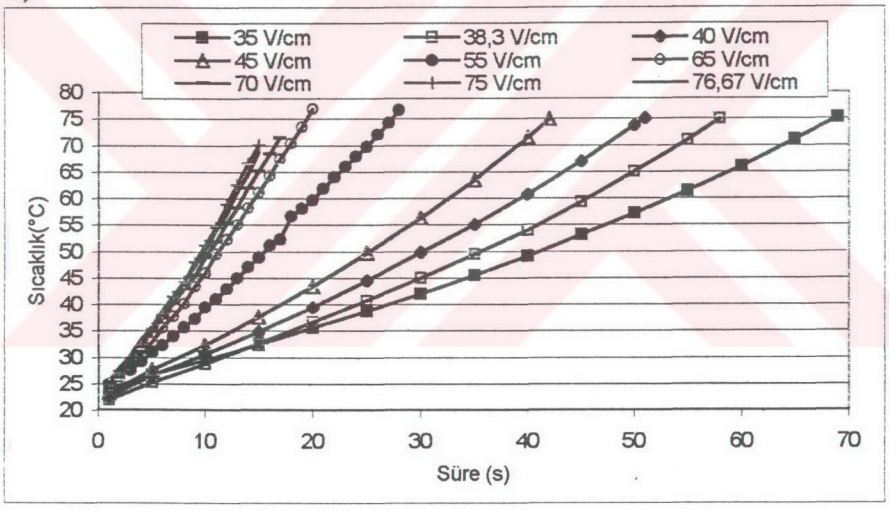


Şekil 4.4 Elma suyunun farklı voltaj gradyanlarında Ohmik ısıtma eğrileri
a) 18,75-33,33 V/cm b) 35-76,67 V/cm

a)

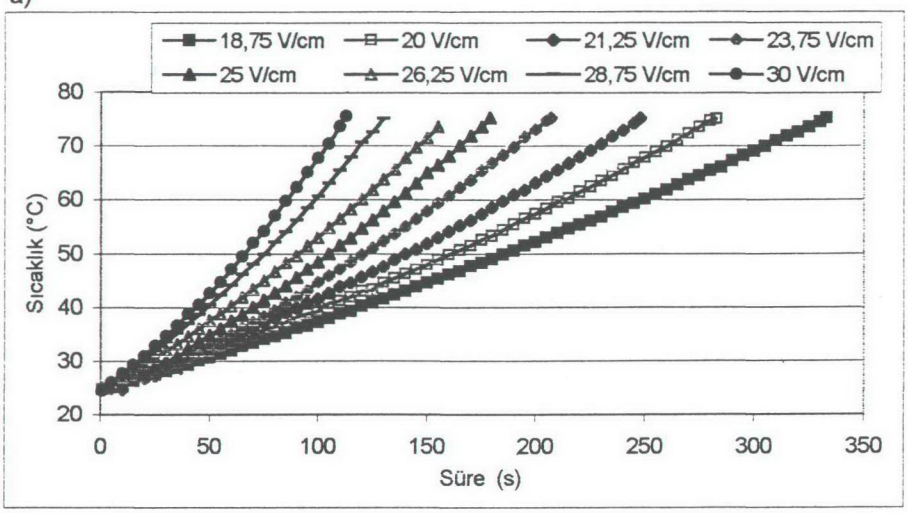


b)

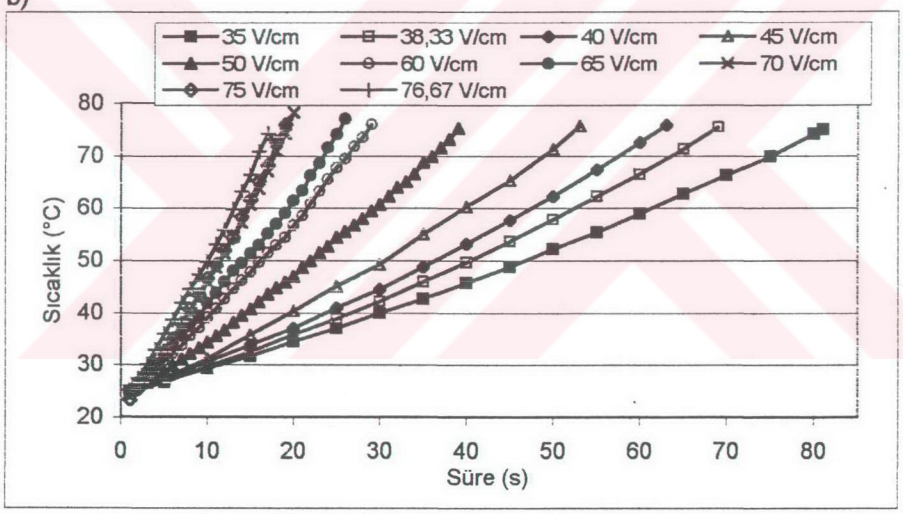


Şekil 4.5 Portakal nektarının farklı voltaj gradyanlarında Ohmik ısıtma eğrileri
a) 18,75-33,33 V/cm b) 35-76,67 V/cm

a)



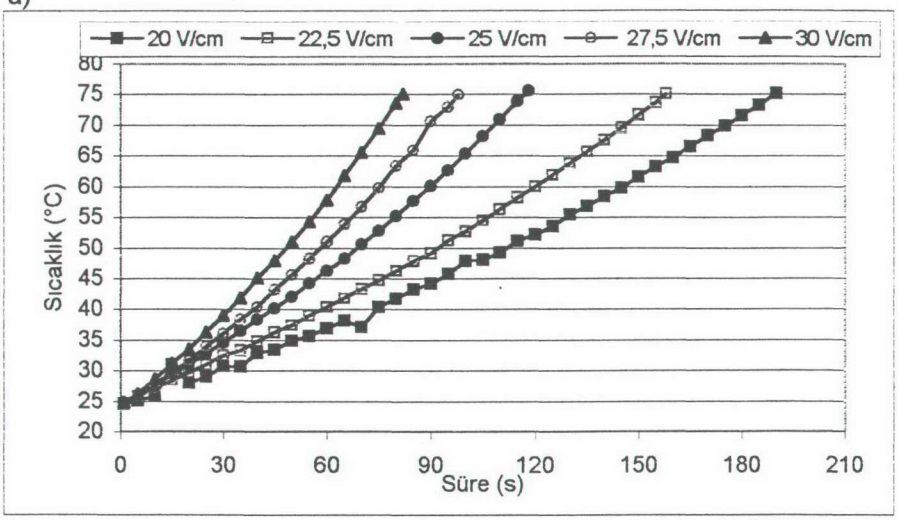
b)



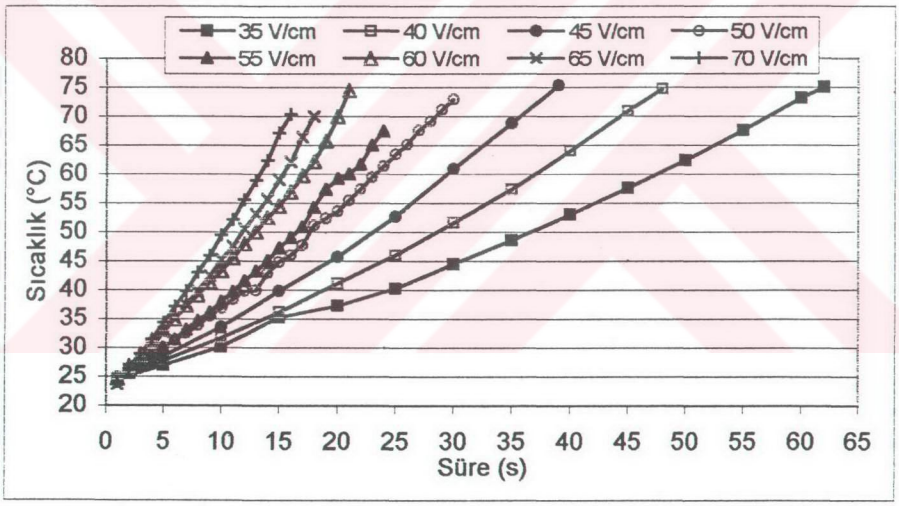
Şekil 4.6 Vişne nektarının farklı voltaj gradyanlarında Ohmik ısıtma eğrileri
a) 18,75-30 V/cm b) 35-76,67 V/cm

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

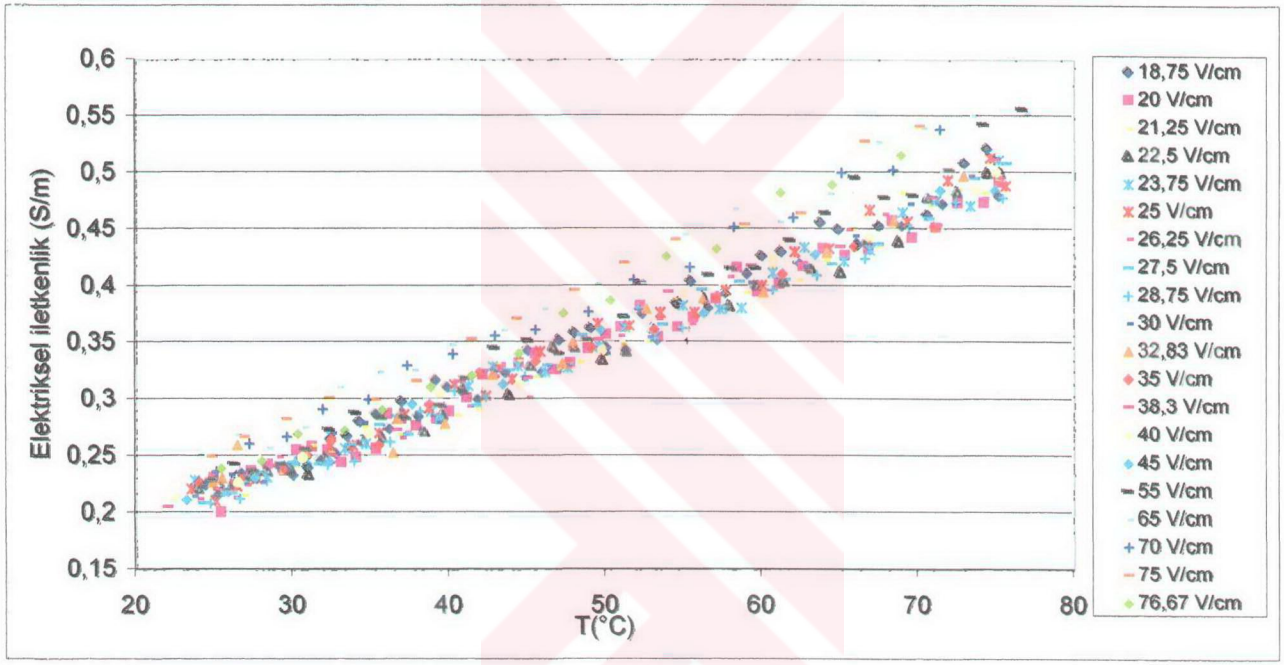
a)



b)



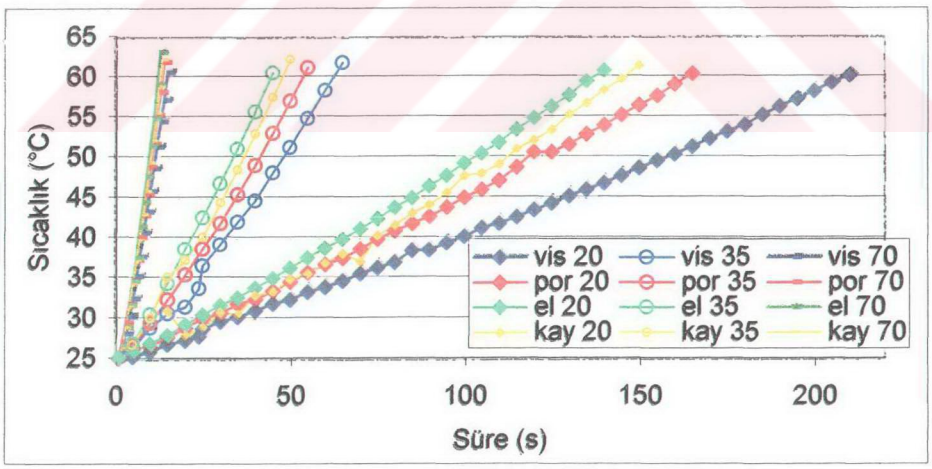
Şekil 4.7 Kayısı nektarının farklı voltaj gradyanlarında Ohmik ısıtma eğrileri
a) 20-30 V/cm b) 35-70 V/cm



Şekil 4.8 Portakal nektarının farklı voltaj gradyanlarında Ohmik ısıtılması sırasında elektriksel iletkenlik değişimleri

Tüm voltaj gradyanları için elektriksel iletkenliğin sıcaklıkla değişim ilişkileri doğrusal regresyon analizi ile elde edilmiş ve Çizelge 4.3-4.6'da gösterilmiştir.

Şekil 4.9'da 3 farklı voltaj gradyanında meyve suyu ve nektarlarının ısınma eğrileri, Şekil 4.10'da ise elektriksel iletkenlik-sıcaklık değişimleri karşılaştırılmıştır. Kuru madde oranları birbirine yakın olan meyve nektarları arasında karşılaştırma yapıldığında, vişne nektarı asitlik miktarı yüksek olmasına rağmen, diğer nektar örneklerinden tüm voltaj gradyanlarında daha yavaş ısınmıştır. Kayısı nektarı ise portakal suyu ile benzer kuru madde ve çözünür maddeye sahip olmakla beraber, asitlik ve şeker içeriği daha düşük ve pH'ı daha yüksektir. Şeker miktarının portakal nektarından daha düşük olması, hazırlama sırasında katılan şurup miktarları arasındaki farktan da kaynaklanabilir.



Şekil 4.9 Meyve suyu ve nektarların 3 farklı voltaj gradyanındaki Ohmik ısıtma eğrileri (göstergede; vis: vişne nektarı, el:elma suyu, por:portakal nektarı, kay:kayısı nektarı; yanlarındaki rakamlar ise voltaj gradyanı değerlerini göstermektedir).

Çizelge 4.3 Elma suyunun farklı voltaj gradyanlarında Ohmik ısıtılması sırasında elektriksel iletkenlik-sıcaklık ilişkilerinin sabit ve katsayıları

Voltaj gradyanı (V/cm)	B1	C1	R^2 *
	(Denklem 3.23)		
18,75	0,0063	0,0915	0,987
20	0,0062	0,1017	0,990
21,25	0,0064	0,0886	0,989
22,5	0,0063	0,0990	0,991
23,75	0,0062	0,0971	0,991
25	0,0061	0,1007	0,990
26,25	0,0063	0,0946	0,991
27,5	0,0062	0,0992	0,991
28,75	0,0063	0,0880	0,994
30	0,0063	0,0928	0,989
33,33	0,0059	0,1026	0,988
35	0,0065	0,0922	0,990
38,3	0,0065	0,0818	0,991
40	0,0067	0,0917	0,991
45	0,0062	0,1094	0,992
50	0,0068	0,0887	0,995
56,25	0,0073	0,0926	0,995
59	0,0075	0,0870	0,990
65	0,0079	0,0726	0,993
70	0,0066	0,1075	0,989
75	0,0079	0,0784	0,992
76,67	0,0071	0,1019	0,995

* Regresyon katsayısı

Çizelge 4.4 Portakal nektarının farklı voltaj gradyanlarında Ohmik ısıtılması sırasında elektriksel iletkenlik-sıcaklık ilişkilerinin sabit ve katsayıları

Voltaj gradyanı (V/cm)	B1	C1	R^2 *
	(Denklem 3.23)		
18,75	0,0055	0,0823	0,989
20	0,0054	0,0841	0,990
21,25	0,0054	0,0849	0,991
22,5	0,0055	0,0757	0,991
23,75	0,0054	0,0831	0,991
25	0,0054	0,0850	0,991
26,25	0,0052	0,0883	0,990
27,5	0,0054	0,0829	0,991
28,75	0,0053	0,0823	0,987
30	0,0053	0,0922	0,993
32,83	0,0053	0,0877	0,987
35	0,0054	0,0857	0,991
38,3	0,0055	0,0878	0,992
40	0,0054	0,0840	0,993
45	0,0053	0,0874	0,995
55	0,0060	0,0762	0,991
65	0,0061	0,0986	0,994
70	0,0060	0,0984	0,994
75	0,0064	0,0891	0,995
76,67	0,0060	0,0920	0,987

* Regresyon katsayısı

Çizelge 4.5 Vişne nektarının farklı voltaj gradyanlarında Ohmik ısıtılması sırasında elektriksel iletkenlik-sıcaklık ilişkilerinin sabit ve katsayıları

Voltaj gradyanı (V/cm)	B1	C1	R^2 *
	(Denklem 3.23)		
18,75	0,0046	0,0713	0,986
20	0,0045	0,0744	0,988
21,25	0,0045	0,0712	0,990
23,75	0,0044	0,0741	0,983
25	0,0044	0,0779	0,988
26,25	0,0044	0,0715	0,988
28,75	0,0044	0,0746	0,988
30	0,0045	0,0750	0,992
35	0,0047	0,0660	0,099
38,33	0,0044	0,0719	0,992
40	0,0044	0,0795	0,993
45	0,0048	0,0659	0,991
50	0,0048	0,0753	0,992
60	0,0046	0,0822	0,987
65	0,0049	0,0770	0,992
70	0,0049	0,0943	0,974
75	0,0046	0,0934	0,991
76,67	0,0048	0,0969	0,961

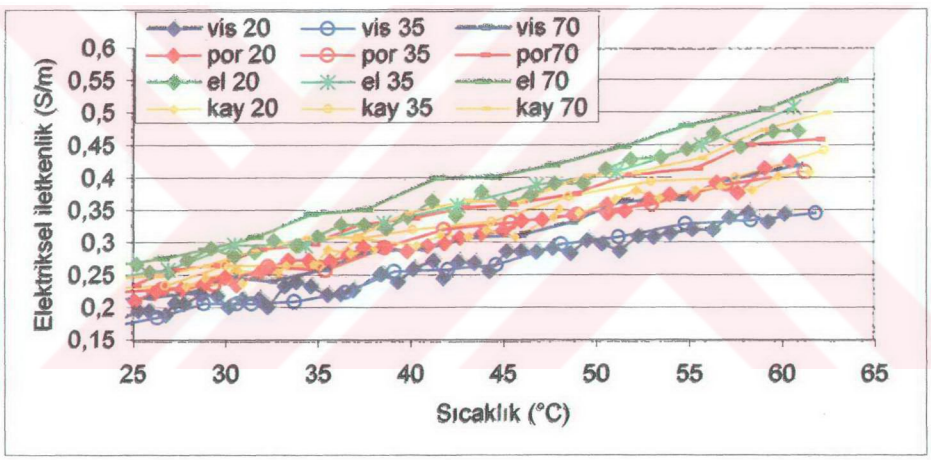
* Regresyon katsayısı

Çizelge 4.6 Kayısı nektarının farklı voltaj gradyanlarında Ohmik ısıtılması sırasında elektriksel iletkenlik-sıcaklık ilişkilerinin sabit ve katsayıları

Voltaj gradyanı (V/cm)	B1	C1	R^2 *
	(Denklem 3.23)		
20	0,0045	0,0744	0,988
22,5	0,0045	0,0712	0,990
25	0,0044	0,0779	0,988
27,5	0,0044	0,0746	0,988
30	0,0045	0,0750	0,992
35	0,0047	0,0660	0,994
40	0,0044	0,0795	0,993
45	0,0048	0,0659	0,991
50	0,0048	0,0753	0,992
55	0,0046	0,0822	0,987
60	0,0049	0,0770	0,992
65	0,0049	0,0943	0,974
70	0,0046	0,0934	0,991

* Regresyon katsayısı

Şekil 4.9'da görüldüğü gibi, kayısı nektarı üç ayrı voltaj gradyanında da portakal nektarından daha hızlı ısınmıştır. Palaniappan and Sastry (1991a)'da da aynı katı madde oranında pH'ı daha yüksek olan (pH=4,03) domates suyu pH'ı 3,71 olan portakal suyundan daha hızlı ısındığı belirtilmiştir. Ayrıca domates suyunun "0" katı madde oranlı serumunun bile portakal suyunun %16,7 katı madde içeren örneğinden daha hızlı ısındığı belirtilmiştir. Araştırmacılar katı madde ve asitlik arttıkça ısınma süresinin azaldığını ancak, meyve sularının içerdiği yağ ve şeker gibi iyonik olmayan bileşenlerin de etkili olabileceğini belirtmişlerdir.



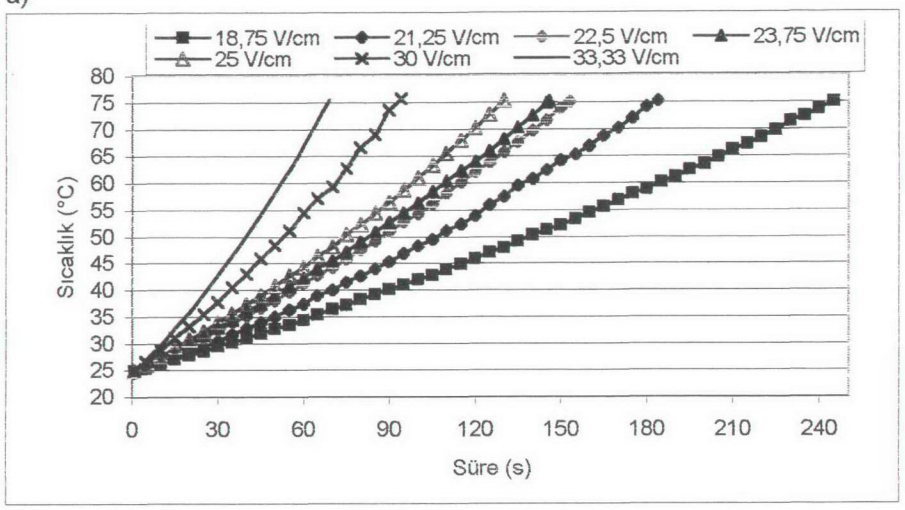
Şekil 4.10 Meyve suyu ve nektarların 3 farklı voltaj gradyanında Ohmik ısıtılmaları sırasında elektriksel iletkenliklerinin değişimi (göstergede; vis: vişne nektarı, el:elma suyu, por:portakal nektarı, kay:kayısı nektarı; yanlarındaki rakamlar ise voltaj gradyanı değerlerini göstermektedir).

Şeker miktarının etkisi elma suyunun nektarlarla karşılaştırılmasında da görülebilmektedir. Bölüm 4.1.1'de de şurup

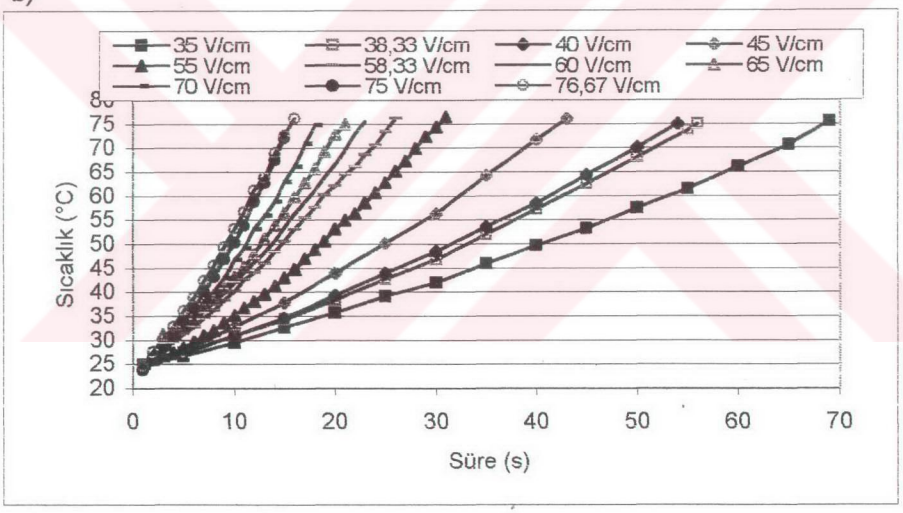
örneklerinin elektriksel iletkenliğinin düşük olduğu ve şeker içeriğindeki %1'lik artışın bile ısıtma süresini arttırdığı vurgulanmıştı. Meyve suyu ve nektarlarına hazırlama sırasında katılan şurup miktarına ve mamul ürün şeker içeriğine bağlı olarak ısıtma hızının değişebileceği saptanmıştır. Şekil 4.9 ve 4.10'da da görüldüğü gibi, hazırlama sırasında şurup katılmayan ve şeker miktarı nektarlara göre daha düşük olan elma suyu, asitliği en düşük örnek olmasına rağmen, daha yüksek elektriksel iletkenlik ve daha kısa ısıtma süresine sahiptir. Vişne suyunun en yavaş ısınan nektar olması da şeker içeriğinin yüksek olması ile açıklanabilir.

Çözünmeyen katı madde miktarının meyve nektarlarının elektriksel iletkenliği ve ısıtma hızına etkisini incelemek amacıyla portakal nektarı kullanılmıştır. % 0,4 çözünmeyen katı madde oranına sahip portakal nektarı Nuche vakum sistemiyle filtre edilmiş ve bu oran %0,1'e indirilmiştir. "fpor" ile gösterilen filtre edilmiş portakal nektarı da diğer portakal nektarı örneklerine uygulanan 18,75-76,67 V/cm voltaj gradyanı aralığında Ohmik ısıtma ile ısıtılmıştır. Diğer nektar örneklerinde de olduğu gibi, voltaj gradyanı arttıkça belli bir sıcaklığa ulaşmak için gerekli ısıtma süresi azalmış ve elektriksel iletkenlik-sıcaklık değişimi 25-65°C arasında bir bant oluşturmuştur (Ek C.19 ve Şekil 4.11). 5 ayrı voltaj gradyanında karşılaştırma yapıldığında, filtre edilmiş portakal nektarının portakal nektarına çok yakın sonuçlar verdiği saptanmıştır (Şekil 4.12). Portakal nektarının filtre edilmiş portakal nektarından en fazla %5 daha hızlı ısındığı tespit edilmiştir. Düşük oranda bulunan çözünmeyen katı madde miktarının elektriksel iletkenlik değerleri üzerine etki etmediği sonucuna varılmıştır. Palaniappan and Sastry (1991a) domates ve portakal suyuna tek voltaj gradyanında (42,42 V/cm) Ohmik ısıtma uygulamıştır.

a)

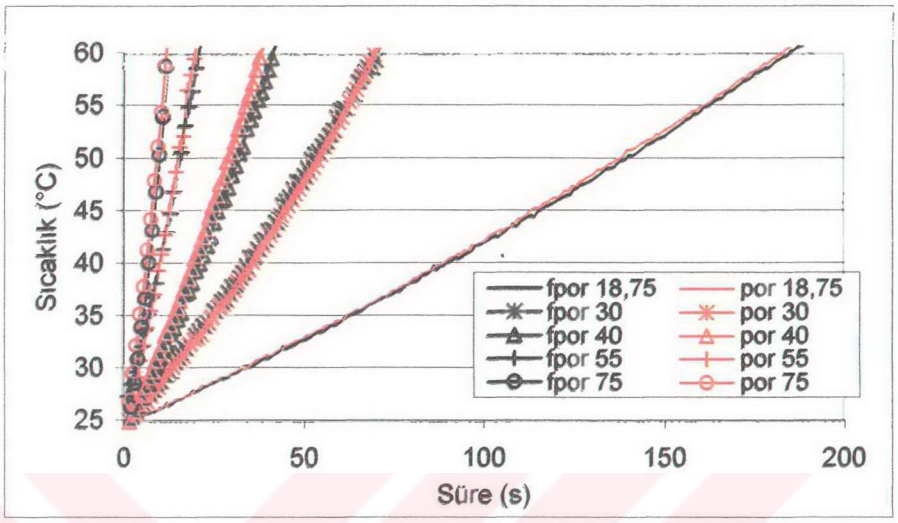


b)

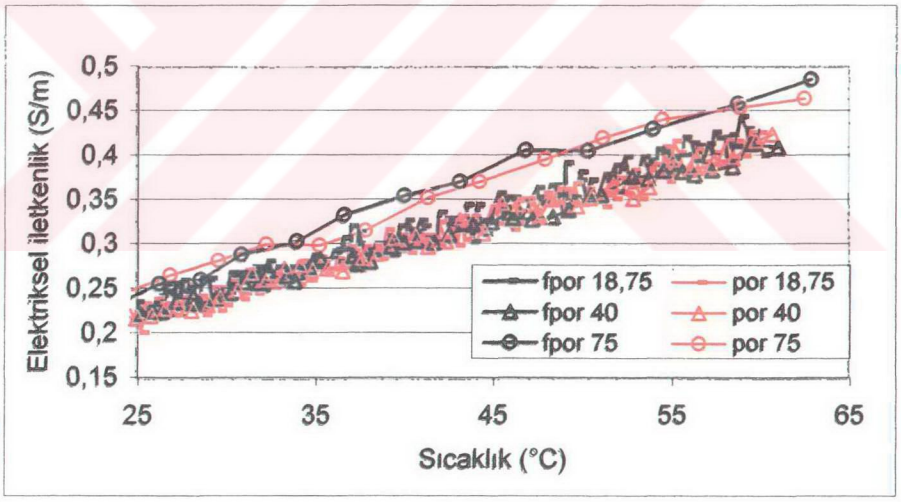


Şekil 4.11 Filtre edilmiş portakal nektarının farklı voltaj gradyanlarında Ohmik ısıtma eğrileri a) 18,75- 33,33 V/cm b) 35-76,67 V/cm

a)



b)



Şekil 4.12 Portakal nektarına uygulanan filtrasyon işleminin a) ısıtma hızına ve b) Ohmik ısıtma sırasındaki elektriksel iletkenlik değişimine etkisi (göstergede; por:portakal nektarı, fpor:filtre edilmiş portakal nektarı; yanlarındaki rakamlar ise voltaj gradyanı değerlerini göstermektedir).

Örneklerde % 4,8 çözünmeyen katı madde oranının altında elektriksel iletkenlik değerleri arasında farkın az olduğunu belirtmiştir. Bu tez çalışmasında da nektar örneklerine uygulanan voltaj gradyanı aralığında gerçekleştirilen Ohmik ısıtma işlemine, sahip oldukları düşük çözünmeyen katı madde oranlarının etkisinin olmadığı sonucuna varılmıştır.

Özetle, meyve suyu ve nektarlarına hazırlama sırasında yapılan şeker ve asitlik ayarlaması elektriksel iletkenliklerini ve ısıtma hızlarını değiştirmektedir. Ayrıca paketleme öncesi uygulanan ısıl işlemin de her meyve suyuna etkisinin farklı olabileceği düşünülmektedir. Sanayide Ohmik ısıtmanın paketleme öncesi uygulanacak son ısıl işleme alternatif oluşturması durumunda daha detaylı bilgiye gereksinim olacaktır. Bu nedenle nektar haline getirilmemiş ve paketleme öncesi son ısıl işlemi uygulanmamış yarı mamul meyve konsantreleri ve pürelerinde konsantrasyonun ve voltaj gradyanının etkisi bir sonraki bölümde daha detaylı incelenmiştir.

4.1.3 Meyve suyu konsantreleri

Çizelge 3.3'de özellikleri verilen meyve konsantrelerinden % 20, 30, 40, 50 ve 60 olmak üzere beş farklı konsantrasyonda hazırlanan portakal, elma ve vişne suyu konsantrelerinin elektriksel iletkenlik değerleri, ısıtma sırasında kaydedilen voltaj ve akım değerleri kullanılarak Denklem 3.1 ile hesaplanmıştır.

Tüm konsantrelerde her bir konsantrasyon ve voltaj gradyanı için sıcaklık ile elektriksel iletkenlik arasındaki ilişkinin doğrusal olduğu saptanmıştır (Çizelge 4.7, 4.8 ve 4.9).

Çizelge 4.7 Vişne suyu konsantrelerinin Ohmik ısıtılması sırasında elde edilen elektriksel iletkenlik-sıcaklık ilişkilerinin sabit ve katsayıları

Konsantrasyon (%)	Voltaj gradyanı (V/cm)	B1	C1	R^2 *
		(Denklem 3.23)		
20	60	0,0293	-0,0554	0,944
	50	0,0290	-0,1012	0,965
	40	0,0202	0,2479	0,968
	30	0,0160	0,3861	0,927
	20	0,0177	0,3357	0,964
30	60	0,0342	-0,2032	0,981
	50	0,0275	-0,0114	0,962
	40	0,0223	0,1503	0,955
	30	0,0190	0,2496	0,959
	20	0,0173	0,2696	0,963
40	60	0,0288	-0,1855	0,991
	50	0,0278	-0,1812	0,986
	40	0,0269	-0,1526	0,991
	30	0,0227	-0,0518	0,996
	20	0,0224	-0,0086	0,991
50	60	0,0266	-0,3455	0,991
	50	0,0243	-0,2955	0,991
	40	0,0231	-0,2352	0,994
	30	0,0228	-0,2405	0,993
	20	0,0206	-0,1718	0,992
60	60	0,0216	-0,4272	0,991
	50	0,0193	-0,3492	0,995
	40	0,0185	-0,3401	0,995
	30	0,0165	-0,2741	0,985
	20	0,0151	-0,2407	0,978

* Regresyon katsayısı

Çizelge 4.8 Portakal suyu konsantrelerinin Ohmik ısıtılması sırasında elde edilen elektriksel iletkenlik-sıcaklık ilişkilerinin sabit ve katsayıları

Konsantrasyon (%)	Voltaj gradyanı (V/cm)	B1 (Denklem 3.23)	C1 (Denklem 3.23)	R^2 * (Denklem 3.23)
20	60	0,0199	-0,0781	0,972
	50	0,0204	-0,0151	0,995
	40	0,0187	0,0397	0,982
	30	0,0105	0,1603	0,986
	20	0,0153	0,1608	0,979
30	60	0,0179	-0,0270	0,973
	50	0,0197	-0,0742	0,979
	40	0,0183	-0,0373	0,972
	30	0,0160	0,0562	0,986
	20	0,0201	-0,0515	0,986
40	60	0,0141	-0,0027	0,967
	50	0,0140	-0,0212	0,982
	40	0,0184	-0,1338	0,983
	30	0,0159	-0,0406	0,975
	20	0,0168	-0,0854	0,986
50	60	0,0106	-0,0399	0,949
	50	0,0106	-0,0506	0,961
	40	0,0135	-0,1558	0,982
	30	0,0131	-0,1562	0,990
	20	0,0135	-0,1759	0,987
60	60	0,0093	-0,0736	0,960
	50	0,0109	-0,0946	0,956
	40	0,0121	-0,2152	0,986
	30	0,0106	-0,1381	0,990
	20	0,0120	-0,1208	0,989

* Regresyon katsayısı

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU DOKÜMANTASYON MERKEZİ

Çizelge 4.9 Elma suyu konsantrelerinin Ohmik ısıtılması sırasında elde edilen elektriksel iletkenlik-sıcaklık ilişkilerinin sabit ve katsayıları

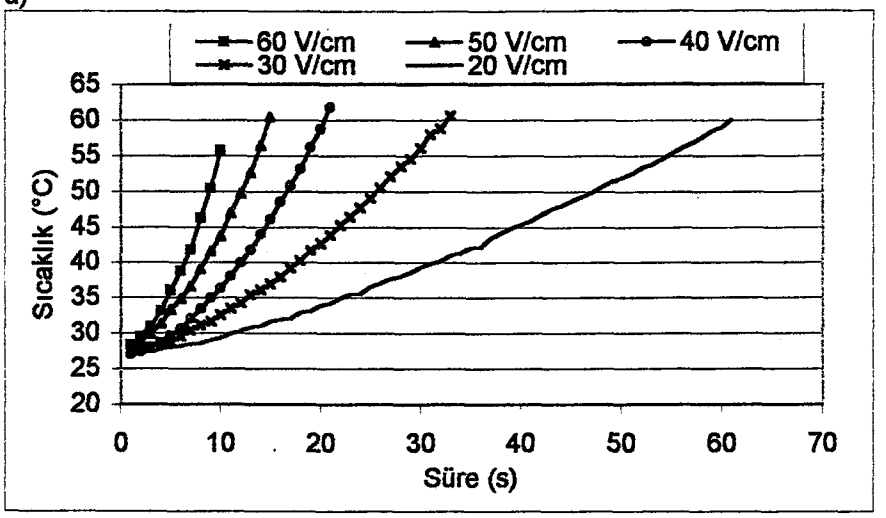
Konsantrasyon (%)	Voltaj gradyanı (V/cm)	B1 (Denklem 3.23)	C1 (Denklem 3.23)	R^2 * (Denklem 3.23)
20	60	0,0122	0,0300	0,948
	50	0,0125	0,0141	0,980
	40	0,0112	0,0669	0,985
	30	0,0108	0,0458	0,983
	20	0,0108	0,0711	0,982
30	60	0,0162	-0,0127	0,972
	50	0,0142	-0,0585	0,979
	40	0,0135	-0,0474	0,985
	30	0,0125	-0,0159	0,988
	20	0,0124	-0,0043	0,987
40	60	0,0145	-0,1728	0,988
	50	0,0128	-0,1250	0,994
	40	0,0136	-0,1497	0,994
	30	0,0130	-0,1363	0,986
	20	0,0114	-0,0732	0,982
50	60	0,0118	-0,2088	0,994
	50	0,0111	-0,1842	0,994
	40	0,0105	-0,1701	0,988
	30	0,0091	-0,1266	0,099
	20	0,0090	-0,1155	0,987
60	60	0,0097	-0,1645	0,991
	50	0,0087	-0,1426	0,986
	40	0,0079	-0,1329	0,980
	30	0,0089	-0,1628	0,988
	20	0,0081	-0,1425	0,981

* Regresyon katsayısı

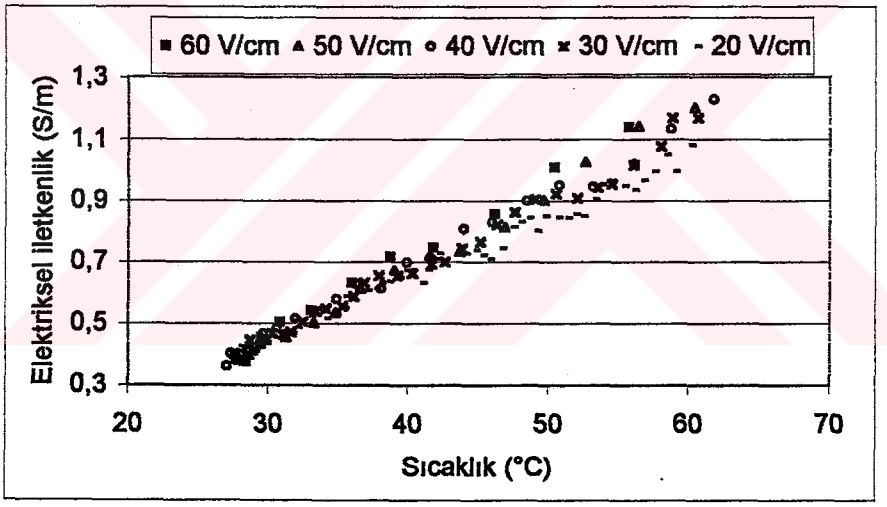
Sıcaklık arttıkça elektriksel iletkenlik değerleri artmıştır. Meyve konsantrelerinin belirtilen konsantrasyonları için genel olarak, 25 - 80°C sıcaklık aralığında, 0,15-1,8 S/m arasındaki elektriksel iletkenlik değerlerine sahip olduğu belirlenmiştir. Qihua et al. (1993) taze portakal suyunun 3,6 – 40 V/cm voltaj gradyanı aralığında Ohmik ısıtılmasını incelemişler ve portakal suyunun sıcaklığı ve elektriksel iletkenliği arasındaki ilişkinin doğrusal olduğunu rapor etmişlerdir. Ancak sonuçlar sadece 10 V/cm için verilmiştir ve portakal suyunun konsantrasyonu belirtilmemiştir. Bu nedenle karşılaştırma yapılamamaktadır. Castro et al. (2003) çilek bazlı ürünlerin elektriksel iletkenliğinin sıcaklıkla değişiminin ürünün tipine göre doğrusal ya da polinomiyal olabildiğini belirtmişlerdir.

Aynı konsantrasyona sahip meyve konsantreleri arasında karşılaştırma yapıldığında, tüm voltaj gradyanlarında aynı sıcaklık için, vişne konsantrelerinin en yüksek elektriksel iletkenliğe, elma konsantrelerinin ise en düşük elektriksel iletkenliğe sahip olduğu saptanmıştır (Şekil 4.13-4.15 ve Ek C.10-21).. Bunun sonucu olarak da, en yüksek asitlik değerine sahip vişne konsantreleri tüm konsantrasyonlarda ve tüm voltaj gradyanları için portakal konsantrelerinden ve elma konsantrelerinden daha hızlı ısınmıştır. En geç ısınan örnekler asitlik ve elektriksel iletkenlik değeri en düşük olan elma konsantreleri olmuştur. % 20 konsantrasyona sahip meyve sularında 60 V/cm voltaj gradyanı uygulamasında vişne , portakal ve elma suları sırasıyla 8, 9, 12 s'de 30°C'den 60°C'ye ısınmıştır. En yüksek konsantrasyon olan % 60'a sahip vişne, portakal ve elma sularında ise en düşük voltaj gradyanında (20 V/cm) sırasıyla 97, 78, 168 s Ohmik ısıtma süreleri elde edilmiştir ki; portakal suyu konsantresi deneysel olarak sadece bu konsantrasyon ve voltaj gradyanında vişne suyu konsantresinden daha çabuk ısınmıştır.

a)

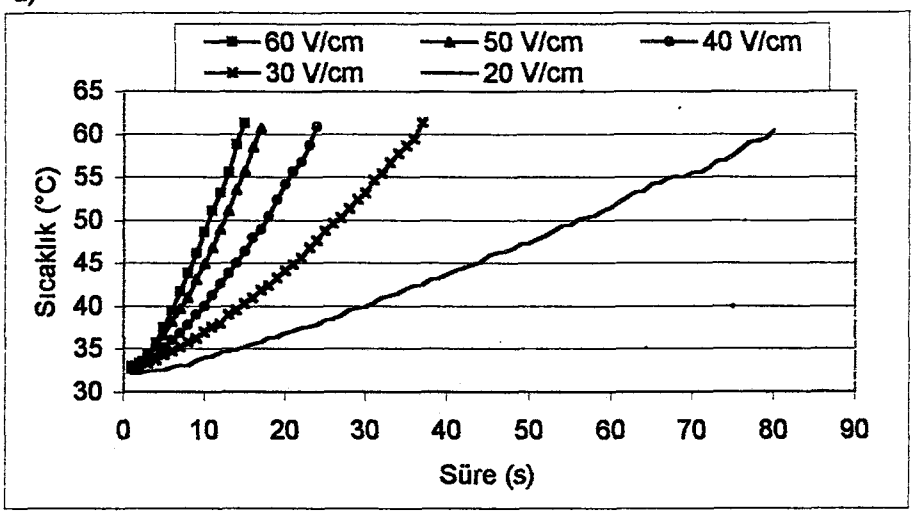


b)

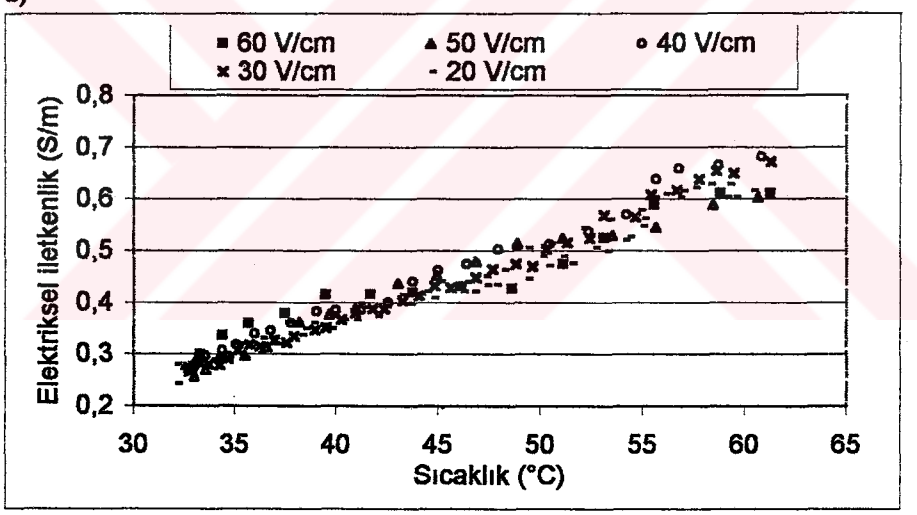


Şekil 4.13 %50 konsantrasyondaki vişne suyunun farklı voltaj gradyanlarında a) Ohmik ısıtma eğrileri b) elektriksel iletkenlik değişimleri

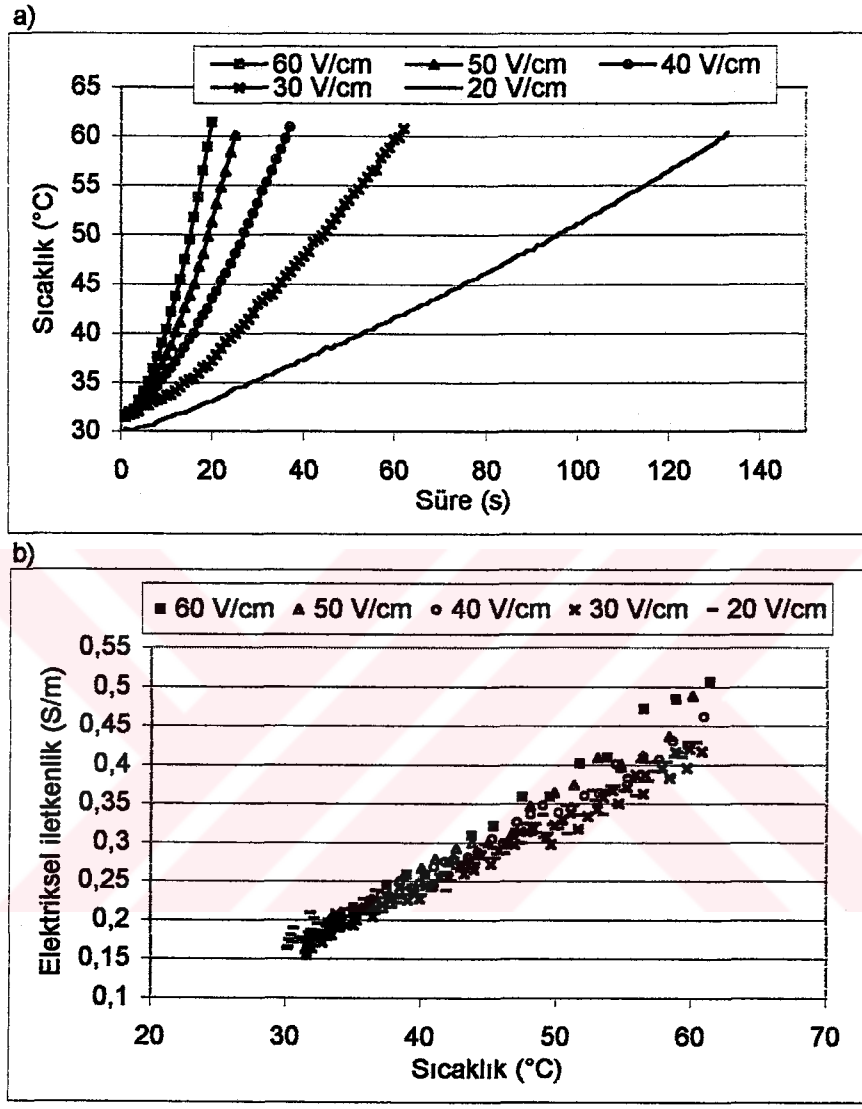
a)



b)



Şekil 4.14 %50 konsantrasyondaki portakal suyunun farklı voltaj gradyanlarında a) Ohmik ısıtma eğrileri b) elektriksel iletkenlik değişimleri



Şekil 4.15 %50 konsantrasyondaki elma suyunun farklı voltaj gradyanlarında a) Ohmik ısıtma eğrileri b) elektriksel iletkenlik değişimleri

Aslında portakal suyunun % 60 konsantrasyonda 20 V/cm voltaj aralığında elektriksel iletkenliği vişne konsantresi ile çok yakındır. Bu durumun belirtilen koşullarda iki meyve konsantresinin sistem performans katsayıları arasındaki farktan kaynaklandığı düşünülmektedir ve ileriki kısımda açıklaması yapılacaktır.

Elektriksel iletkenlik değerlerinin sıcaklıkla artışı, iyon hareketliliğindeki artma ile açıklanabilir (Palaniappan and Sastry, 1991b). Konsantrasyon artışının ve asitlik düzeyindeki azalmanın iyon hareketliliğinde düşüşe sebep olduğu düşünülebilir. Farklı meyve konsantreleri arasındaki elektriksel iletkenlik farkına asitlik düzeyindeki farklılığın etkisinin olduğu söylenebilir. Aynı meyve konsantresinin farklı konsantrasyonları arasındaki elektriksel iletkenlik değerleri farkının da iyonik hareketlilikteki farklılıktan dolayı, elektrik akımına gösterilen direncin değişmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Meyve suyu konsantrelerinin, uygulanan deneysel voltaj gradyanı aralığında, 5 farklı konsantrasyonu için elde edilen toplu elektriksel iletkenlik–sıcaklık ilişkileri Çizelge 4.10'da düzenlenmiştir. Doğrusal ilişkiler için elde edilen regresyon katsayıları Çizelge 4.7-4.9' dan daha düşük olsa da, hala kabul edilebilir orandadır. Voltaj gradyanı arttıkça sistemden geçen akım, daha düşük sıcaklıklarda daha yüksek değerlere ulaşmıştır. Bunun sonucu olarak da örneklerde ani köpürme gözlenmiştir. Böyle bir durum gözlenen örneklerde, Ohmik ısıtma işlemi durdurulmuş ve örnekler 80°C'ye kadar ısıtılamamıştır. Yüksek voltaj gradyanı uygulamalarının benzer etkisi Lima and Sastry (1999)'da da tartışılmıştır. Araştırmacılar çalışmalarında kurutma öncesi elma dilimlerine Ohmik ısıtma önişlemi uygulamışlardır. Örneklerin ısıtılması sırasındaki kontrolünün ve veri elde edilmesinin 70 V/cm gibi yüksek voltajlarda çok zor olduğunu rapor etmişlerdir.

Çizelge 4.10 Meyve suyu konsantrelerinin Ohmik ısıtılması sırasında uygulanan voltaj gradyanı aralığı için geçerli olan elektriksel iletkenlik-sıcaklık ilişkisi sabit ve katsayıları

Konsantrasyon (%)	B1 (Denklem 3.23)	C1	R^{2*}
Vişne suyu konsantreleri			
20	0,0176	0,3416	0,930
30	0,0183	0,2702	0,887
40	0,0235	-0,0455	0,978
50	0,0218	-0,2051	0,977
60	0,0160	-0,2615	0,961
Portakal suyu konsantreleri			
20	0,0158	0,1416	0,967
30	0,0188	-0,0301	0,970
40	0,0162	-0,0645	0,967
50	0,0129	-0,1442	0,975
60	0,0117	-0,1521	0,912
Elma suyu konsantreleri			
20	0,0109	0,0641	0,966
30	0,0127	-0,0113	0,973
40	0,0123	-0,1042	0,973
50	0,0094	-0,1286	0,971
60	0,0083	-0,1399	0,968

* Regresyon katsayısı

Meyve suyu konsantrelerinde aynı konsantrasyon için, aynı sıcaklıkta, voltaj gradyanı artışının elektriksel iletkenlik değerleri üzerine etkili olduğu belirlenmiştir. Yüksek voltaj gradyanlarında, yüksek elektriksel iletkenlik etkisiyle oluşan yüksek ısı jenerasyonu örneklerin daha kısa sürede ısınmasını sağlamıştır (Ek C.10-C.21). Her bir meyve suyu konsantrasyonu için, sıcaklık ve voltaj gradyanına bağlı elde edilen elektriksel iletkenlik denklemi aşağıdaki gibidir;

$$\textit{Elektriksel iletkenlik}\ (\sigma) = D1.(V/cm)^{N1} + B2.T + C2 \qquad (4.1)$$

SPSS 10.0 İstatistiksel Paketi kullanılarak elde edilen doğrusal olmayan regresyon (nonlinear regression) denklem sabitleri ve katsayıları Çizelge 4.11'de verilmiştir. Örnek SPSS İstatistiksel analiz sonucu Ek D.1'de görülebilir. Regresyon analizinde voltaj gradyanı ve sıcaklığa bağlı doğrusal olmayan farklı ilişkiler denenmiş, çoklu regresyon katsayısı en yüksek olan ve en iyi uyum verdiği saptanan Denklem 4.1'deki denklem formunun kullanılmasına karar verilmiştir. Bazı konsantrasyonlarda N1 sabitinin değeri çok küçük olmasına rağmen, ön değerlendirme olarak yapılan eşleştirilmiş t-testi sonuçlarında bazı voltaj gradyanlarının elektriksel iletkenlik değerlerinde etkili olduğu saptanmıştır. Çizelge 4.11'deki regresyon katsayılarının Çizelge 4.10'dan daha yüksek olmasından dolayı, voltaj gradyanına bağlı elektriksel iletkenlik ilişkilerinin kullanımı tercih edilmiştir. Literatürde voltaj gradyanına bağlı elektriksel iletkenlik denklemi hakkında daha önce yapılan bir çalışmaya rastlanamadığından, bu tez çalışmasında elde edilen Denklem 4.1 için karşılaştırma yapılamamıştır.

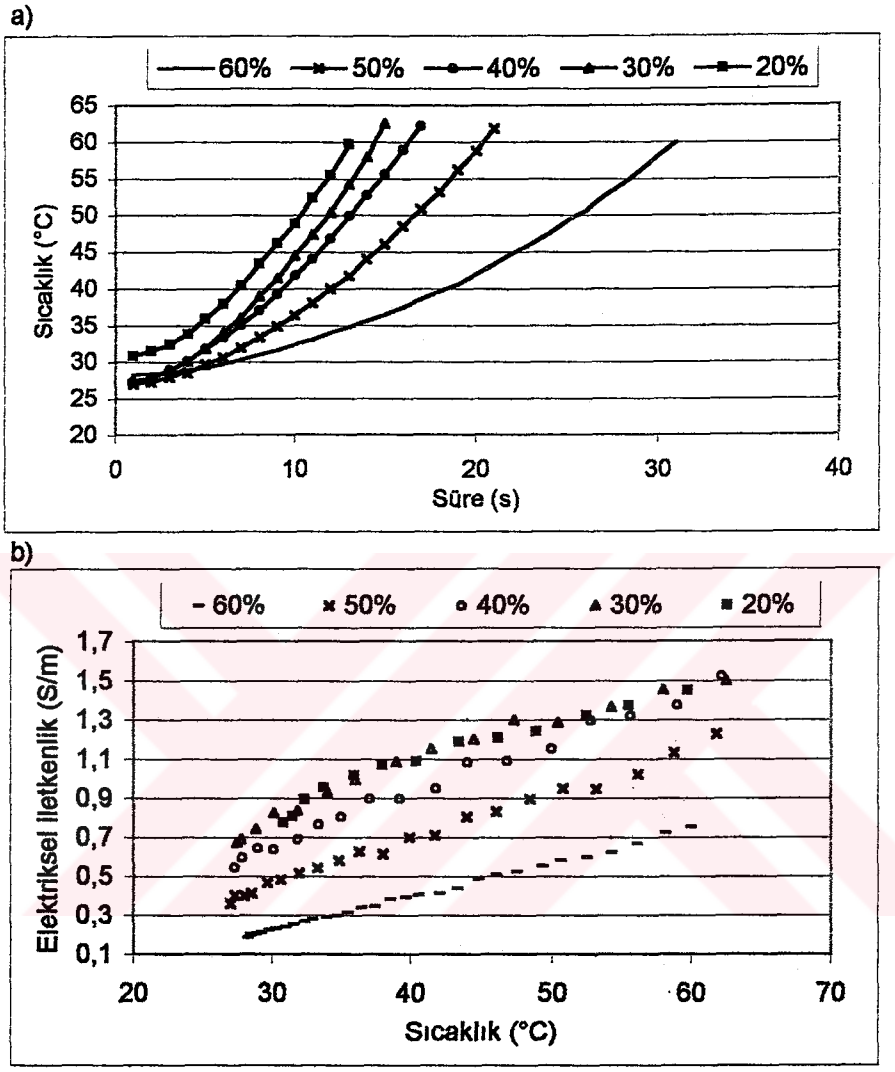
Aynı voltaj gradyanı için, aynı sıcaklıkta, konsantrasyon arttıkça ölçülen elektriksel iletkenlik değerleri genel olarak azalmıştır (Şekil 4.16-4.18 ve Ek C.22-C.33). Dolayısıyla, konsantrasyon arttıkça ısıtma hızlarının azalması sonucu ısıtma süreleri artmıştır. Palaniappan and Sastry (1991a) içine belli oranlarda çözünmeyen katı madde eklenmiş portakal sularının ısıtma eğrilerinin artan eğim gösterdiğini saptamıştır. Bu tez çalışmasında da vişne, portakal ve elma suyu konsantrelerinin ısıtma eğrilerinin genel olarak doğrusal olduğu saptanmıştır. Ancak çözünmüş katı madde konsantrasyonuna bağlı olarak artan eğimlere de rastlanmıştır (Şekil 4.16-4.18 ve Ek C.22-4.33). Palaniappan and Sastry (1991a) meyve sularının elektriksel iletkenliğinin çözünmeyen katı madde oranı azaldıkça doğrusal olarak arttığını belirtmişlerdir. Castro et al. (2003) ise çilek bazlı ürünlerin katı madde oranı ve şeker içeriği

arttıkça elektriksel iletkenliğin düştüğünü saptamışlardır. Aynı çalışmada, ağırlıkça % 20 katı madde ve 40° Briks'in üzerindeki ürün formülasyonlarının çok düşük elektriksel iletkenliğe sahip oldukları ve farklı bir Ohmik ısıtma sistemi dizaynına ihtiyaç olduğu belirtilmiştir.

Çizelge 4.11 Meyve suyu konsantrelerinin Ohmik ısıtılması sırasında voltaj gradyanı ve sıcaklığa bağlı elektriksel iletkenlik ilişkisi empirik sabitleri ve katsayıları

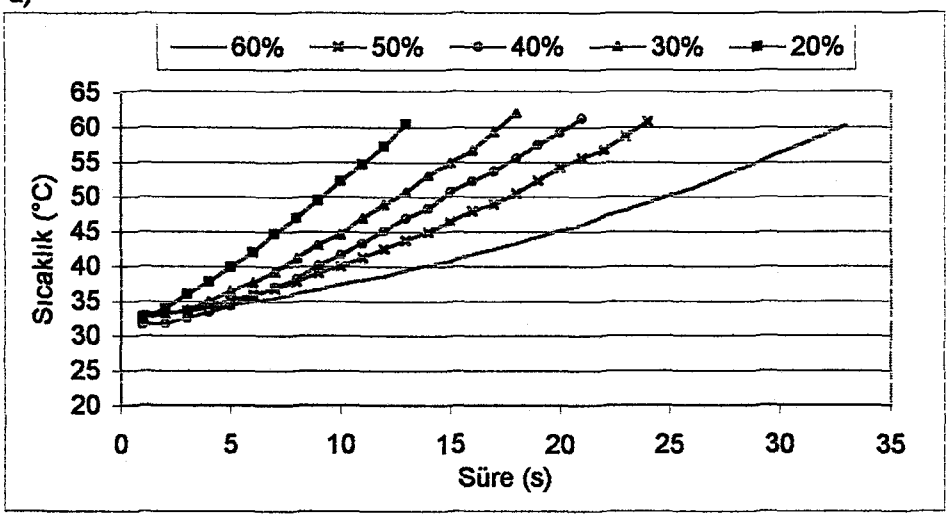
Konsantrasyon (%)	D1	N1	B2 (Denklem 4.1)	C2	R^{2*}
Vişne suyu konsantreleri					
20	$4,07x10^{-8}$	3,492	0,018	0,315	0,934
30	0,071	0,459	0,019	-0,100	0,933
40	$1,53x10^{-5}$	2,153	0,024	-0,098	0,984
50	10,854	0,006	0,022	-11,303	0,983
60	*0,579*	0,100	0,016	-1,069	0,974
Portakal suyu konsantreleri					
20	7,141	0,003	0,016	-7,082	0,968
30	-25,385	0,003	0,018	25,678	0,959
40	$-5,42x10^{-8}$	3,376	0,016	-0,045	0,972
50	$-1,01x10^{-8}$	3,346	0,013	-0,144	0,977
60	-22,284	0,004	0,011	22,418	0,947
Elma suyu konsantreleri					
20	$3,97x10^{-8}$	3,422	0,011	0,042	0,972
30	$1,84x10^{-8}$	3,667	0,013	-0,037	0,980
40	2,586	0,015	0,013	-2,825	0,979
50	$5,66x10^{-7}$	2,781	0,010	-0,142	0,982
60	$2,67x10^{-8}$	3,514	0,009	-0,156	0,978

* Çoklu regresyon katsayısı

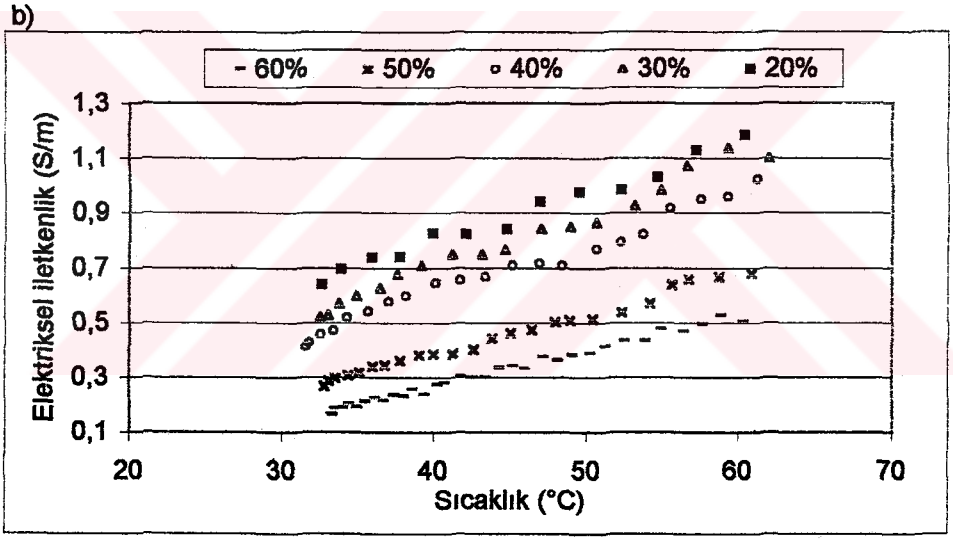


Şekil 4.16 Farklı konsantrasyondaki vişne sularının 40 V/cm voltaj gradyanında a) Ohmik ısıtma eğrileri b) elektriksel iletkenlik değişimleri

a)

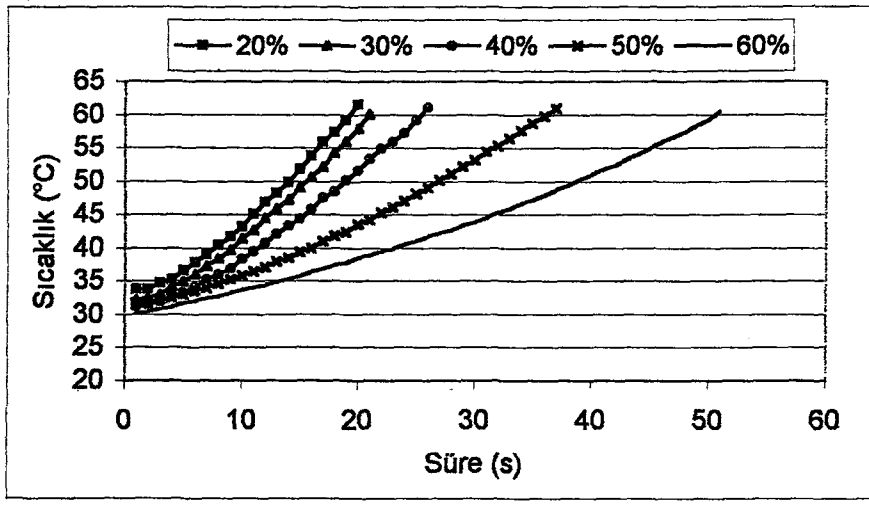


b)

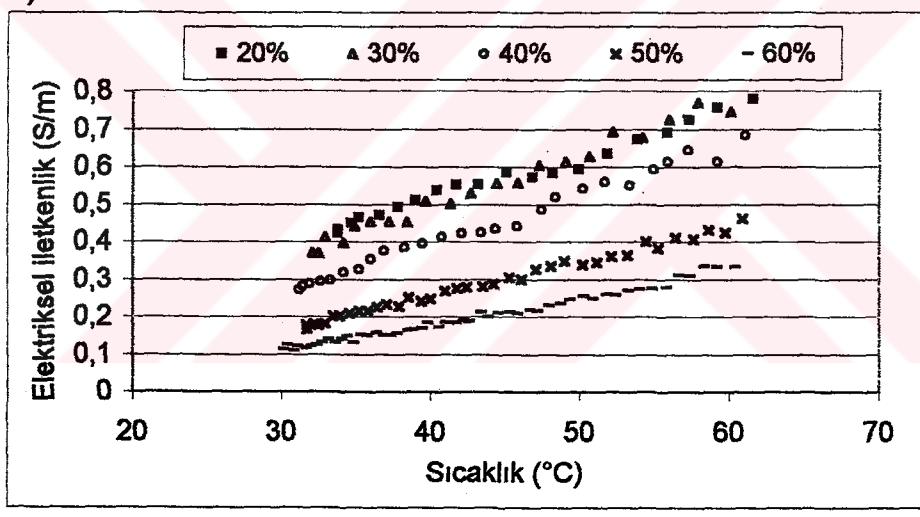


Şekil 4.17 Farklı konsantrasyonlardaki portakal sularının 40 V/cm voltaj gradyanında a) Ohmik ısıtma eğrileri b) elektriksel iletkenlik değişimleri

a)



b)



Şekil 4.18 Farklı konsantrasyonlardaki elma sularının 40 V/cm voltaj gradyanında a) Ohmik ısıtma eğrileri b) elektriksel iletkenlik değişimleri

Bu tez çalışmasında ise meyve suyu konsantrelerinde çözünür katı madde oranı artışının elektriksel iletkenlik değerini düşürdüğü ve aralarındaki ilişkinin üssel olduğu saptanmıştır.

Uygulanan voltaj gradyanı ve konsantrasyon aralıklarını kapsayacak genel bir elektriksel iletkenlik denkleminin elde edilmesinin, pratikte Ohmik ısıtıcıların dizaynında çok önemli yer tutacağı düşünülmektedir. Bu amaçla geliştirilen ilişki Denklem 4.2'de verilmiştir. SPSS 10.0 İstatistiksel Paketi (1999) kullanılarak elde edilen üssel denklemin regresyon sabitleri ve katsayıları Çizelge 4.12'de, istatistiksel analiz sonuçları Ek D.2-D.4'de verilmiştir.

$$\sigma = E\,.(\%\text{Kons})^{N3} + D2\,.(V/cm)^{N2} + B3\,.T + C3 \qquad (4.2)$$

Çizelge 4.12 Meyve suyu konsantrelerinin Ohmik ısıtılması sırasında konsantrasyon, voltaj gradyanı ve sıcaklığa bağlı elektriksel iletkenlik ilişkisi empirik sabitleri ve katsayıları

Sabit veya katsayı (Denklem 4.2)	Vişne suyu konsantresi	Portakal suyu konsantresi	Elma suyu konsantresi
E	$-2{,}11\text{x}10^{-7}$	-0,003	$-3{,}19\text{x}10^{-4}$
N3	3,663	1,346	1,771
D2	0,008	-7,249	$5{,}92\text{x}10^{-6}$
N2	0,731	0,005	2,225
B3	0,019	0,014	0,010
C3	0,202	7,802	0,187
R^{2*}	0,971	0,938	0,954

* Çoklu regresyon katsayısı

Çizelge 4.12'de görüldüğü gibi, vişne ve portakal suyu konsantrelerinde konsantrasyonun etkisini ifade eden N3 sabitlerinin değeri voltaj gradyanının etkisini ifade eden N2 sabitlerinden daha yüksek saptanmıştır. Bu nedenle özellikle portakal suyu konsantresinde, elektriksel iletkenlik değerleri üzerine, konsantrasyonun voltaj gradyanından daha etkili olduğu sonucu çıkarılmıştır. Elma suyunda konsantresinde ise elektriksel iletkenlik değerleri üzerine sıcaklık dışında voltaj gradyanının ve konsantrasyonun da etkili olduğu saptanmıştır.

Bu çalışmada kullanılan konsantrasyon ve uygulanan voltaj gradyanı aralıklarının meyve suyu sanayindeki uygulamalar için yeterli genişlikte olması, elde edilen genel denklemin bu sanayide Ohmik ısıtma ünitelerinin tasarımı için önemli yer tutacağı düşünülmektedir.

3 farklı meyve suyu konsantresinin 5 farklı konsantrasyonunun 5 farklı voltaj gradyanı uygulaması ile Ohmik ısıtılmasına ait deneysel ısıtma süreleri (t-deney) Çizelge 4.13, 4.14 ve 4.15'de görülmektedir. Elma suyunun %20 ve %30 konsantrasyonlarında, ısıtma süreleri 20 V/cm voltaj gradyanı uygulaması dışında birbirine çok yakın çıkmıştır (Çizelge 4.13). Vişne suyunun %20 , %30 ve %40 konsantrasyonlarında ise özellikle 40, 50 ve 60 V/cm voltaj gradyanlarında ısıtma sürelerinin birbirine çok benzer olduğu saptanmıştır (Çizelge 4.14). Portakal suyu konsantrelerinde de yine düşük konsantrasyonlarda yüksek voltaj gradyanı uygulamalarında diğer meyve suyu konsantrelerinde olduğu gibi birbirine çok yakın ısıtma süreleri gözlenmiştir (Çizelge 4.15). Düşük konsantrasyona sahip meyve sularına yüksek voltaj gradyanı uygulandığında, sahip oldukları yüksek elektriksel iletkenliğin hızlı ısınmaya sebep olduğu ve aradaki ısınma süresi farkını azalttığı düşünülmektedir.

Çizelge 4.13 Elma suyu konsantrelerinin farklı Ohmik ısıtma koşullarında elde edilen bazı deneysel ve model sonuçları

Konsantrasyon (%)	Voltaj grad (V/cm)	Qa (J)	Qv (J)	SPK	Tilk (°C)	Tson (°C)	t-deney (s)	t-adb (s)	t-modT (s)	t-modVT (s)	t-modCVT (s)
20	60	1945	3523	0,552	31,0	61,5	12	8	12	12	11
	50	1976	3116	0,634	31,0	62,0	15	11	15	15	14
	40	1951	2659	0,734	31,0	61,6	20	16	20	21	19
	30	1868	2235	0,836	31,5	60,8	32	30	32	31	29
	20	1865	2030	0,918	31,5	60,7	61	61	61	64	59
30	60	2122	3601	0,589	30,0	61,9	12	8	12	12	12
	50	1961	3042	0,645	31,0	60,2	15	11	15	15	16
	40	1903	2672	0,712	31,0	60,1	21	17	22	21	22
	30	1955	2321	0,842	31,0	60,7	33	30	32	32	33
	20	1955	2163	0,904	31,0	61,4	67	65	66	67	70
40	60	2080	3674	0,566	30,0	62,9	15	10	15	14	14
	50	2024	2843	0,712	30,0	60,7	18	18	18	17	17
	40	1956	2677	0,731	30,0	61,1	26	21	26	25	26
	30	1944	2458	0,791	30,0	61,1	43	37	43	41	43
	20	1839	2031	0,906	30,5	60,1	81	81	81	80	82
50	60	1817	3128	0,581	30,5	61,4	20	14	21	19	17
	50	1799	2624	0,686	30,5	60,1	25	19	25	24	22
	40	1788	2506	0,713	31,0	60,9	37	29	37	37	32
	30	1752	2270	0,772	31,0	60,8	62	53	63	61	53
	20	1829	2153	0,849	29,8	60,4	132	124	133	136	119
60	60	1699	2612	0,650	29,9	61,0	21	15	21	20	24
	50	1756	2512	0,699	30,0	60,5	30	23	30	30	35
	40	1674	2334	0,717	29,8	60,4	51	40	50	48	58
	30	1652	2225	0,742	30,0	60,6	75	61	74	78	94
	20	1641	2158	0,760	31,0	60,2	168	142	172	171	214

Çizelge 4.14 Vişne suyu konsantrelerinin farklı Ohmik ısıtma koşullarında elde edilen bazı deneysel ve model sonuçları

Konsantrasyon (%)	Voltaj grad. (V/cm)	Qa (J)	Qv (J)	SPK	Tilk (°C)	Tson (°C)	t-deney (s)	t-adb (s)	t-modT (s)	t-modVT (s)	t-modCVT (s)
20	60	2088	4454	0,469	30,1	62,8	8	4	7	8	8
	50	1916	3434	0,558	31,1	61,0	9	6	9	9	9
	40	2219	3659	0,607	29,0	63,8	14	9	14	14	14
	30	1925	2639	0,730	30,8	61,0	19	15	19	18	18
	20	1938	2361	0,821	29,7	60,0	36	33	37	37	37
30	60	2009	3729	0,539	29,8	61,1	6	4	6	6	7
	50	2283	3640	0,627	28,5	64,0	9	6	9	9	9
	40	2164	2976	0,727	28,9	62,5	12	10	12	12	12
	30	2067	2472	0,836	30,0	62,1	17	16	17	17	17
	20	2038	2467	0,826	29,4	61,1	40	37	40	41	40
40	60	2305	4028	0,572	28,3	65,7	8	5	8	7	7
	50	2157	3547	0,608	28,6	63,5	10	7	10	10	10
	40	2049	3151	0,650	29,0	62,2	14	10	14	14	14
	30	1910	2780	0,687	29,6	60,5	23	18	24	23	23
	20	1925	2328	0,827	29,8	61,0	41	38	41	42	42
50	60	1808	3373	0,536	29,5	60,3	9	6	9	9	9
	50	1799	3074	0,585	29,9	60,5	12	8	12	12	11
	40	1888	2772	0,681	29,7	61,8	16	12	16	16	15
	30	1829	2638	0,693	29,6	60,7	27	21	28	28	26
	20	1776	2134	0,832	29,9	60,1	50	46	51	51	49
60	60	1814	3487	0,520	29,4	62,6	15	9	15	14	15
	50	1759	2939	0,599	30,0	62,1	18	12	17	17	18
	40	1679	2637	0,637	29,8	60,5	30	24	32	31	33
	30	1679	2264	0,742	29,4	60,1	43	35	42	42	45
	20	1669	2212	0,754	29,9	60,4	97	79	94	97	102

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

Çizelge 4.15 Portakal suyu konsantrelerinin farklı Ohmik ısıtma koşullarında elde edilen bazı deneysel verileri ve model sonuçları

Konsantrasyon (%)	Voltaj grad. (V/cm)	Qa (J)	Qv (J)	SPK	Tilk (°C)	Tson (°C)	t-deney (s)	t-adb (s)	t-modT (s)	t-modVT (s)	t-modCVT (s)
20	60	2013	3557	0,566	30,0	60,4	9	6	9	9	9
	50	2225	3529	0,630	29,5	63,1	11	8	12	12	12
	40	2026	2834	0,715	29,9	60,5	15	11	15	15	14
	30	1880	2486	0,756	32,0	60,4	29	26	29	23	22
	20	1777	2071	0,858	34,0	60,3	41	38	41	41	38
30	60	2074	4023	0,516	29,5	60,7	11	7	11	12	11
	50	2121	3484	0,609	29,5	61,4	13	9	13	14	13
	40	2068	3096	0,668	31,0	62,1	18	13	17	17	18
	30	1915	2260	0,847	32,5	61,3	23	21	22	21	22
	20	1828	1990	0,919	32,6	60,1	40	41	41	41	43
40	60	2027	3459	0,586	29,4	61,1	11	7	11	12	12
	50	1832	2934	0,625	32,5	61,2	14	10	14	13	13
	40	1995	3163	0,631	30,0	61,3	21	15	21	22	23
	30	1915	2292	0,836	30,0	60,0	28	26	28	28	29
	20	1941	2106	0,922	30,0	60,4	56	59	58	57	58
50	60	1808	3246	0,557	31,5	61,3	15	10	15	15	14
	50	1741	2518	0,691	32,0	60,7	17	13	17	17	16
	40	1753	2397	0,731	32,0	60,9	24	19	24	25	22
	30	1780	2029	0,878	32,0	61,3	37	34	36	36	31
	20	1756	2005	0,876	31,5	60,4	80	76	80	79	67
60	60	1544	2685	0,575	32,5	60,0	16	10	16	18	20
	50	1634	2792	0,585	32,0	61,6	20	13	19	23	26
	40	1589	2350	0,676	32,0	60,3	33	25	33	31	36
	30	1586	2046	0,775	32,0	60,3	48	41	48	43	50
	20	1628	1797	0,906	31,0	60,0	78	77	78	80	96

Isıtma süresince test hücresinde örneklerin farklı noktalarından alınan sıcaklık değerleri birbirine çok yakın çıkmış, ölçümler arasındaki fark en fazla 1°C ölçülmüştür. 3 farklı meyve suyunun 5 farklı konsantrasyonuna uygulanan 5 farklı voltaj gradyanı uygulaması için Ohmik ısıtma işlemi matematiksel olarak modellenmiştir. İlk yaklaşımda, sisteme verilen elektrik enerjisinin tamamının meyve suyu konsantrelerinin içinde ısıya dönüştüğü kabul edilmiştir. Diğer bir deyişle Denklem 3.12'deki kayıp terimi "0" olarak alınmıştır. Nümerik çözüm sonuçları elma, vişne ve portakal suyu konsantreleri için sırasıyla Çizelge 4.13, 4.14 ve 4.15'de t-adb olarak gösterilmiştir. Matematiksel model sisteme verilen enerjinin tamamının meyve suyu içinde sıcaklık artışına sebep olduğunu kabul etmekte ve daha yüksek ısıtma hızları öngörmektedir. Bu nedenle istenilen bir sıcaklığa gelmesi için gerekli ısıtma süresi deneysel ısıtma sürelerinden daha düşük çıkmaktadır. Sonuç olarak, sistemde kayıpların olduğu ve "0" kaybın kabul edilmesinin daha hızlı ısınma ve daha düşük ısıtma süreleri hesaplanmasına neden olduğu saptanmıştır. Huang et al. (1997) donmuş balık ezmesinden balık proteinlerinin koagülasyonu üzerine yaptıkları çalışmada, Ohmik ısıtma sisteminde elektriksel enerjinin tamamının ısı enerjisine dönüştürülemediğini belirtmişlerdir. Bu tez çalışmasında da sistemde oluşan elektriksel ve ısı kayıplarının da matematiksel modelde dikkate alınması gerektiği düşünülmüştür.

Isıtma süresince Ohmik ısıtma sisteminde verilen elektrik enerjisi ile meyve suyu konsantrelerinin almış olduğu ısı enerjileri deneysel veriler kullanılarak hesaplanmıştır. Sistemin enerji performansının değerlendirilmesinde kullanılacak sistem performans katsayıları (SPK) Denklem 3.19'a göre meyve suyu konsantrelerinin her bir ısıtma denemesi için hesaplanmıştır (Çizelge 4.13, 4.14 ve 4.15). Sonuçlar SPK değerlerinin uygulanan voltaj gradyanı değerlerine bağlı olduğunu

göstermektedir. Tüm meyve suyu konsantrelerinde voltaj gradyanı arttıkça SPK değerlerinde azalma gözlenmiştir.

Sisteme verilen elektrik enerjisinin bir kısmı örnek içinde ısı enerjisine dönüşebilmektedir. Enerjinin geri kalan kısmı test hücresinin materyalinin ısınması, çevreye olan konvektif ısı kayıpları ve sistemdeki elektriksel kayıplar nedeniyle kayba uğramaktadır. Hesaplanan doğal konveksiyon ısı transfer katsayıları oldukça küçüktür, yaklaşık 4-5,6 W/m^2K'dir (Ek E.1) . Meyve konsantrelerinin Ohmik ısıtma denemeleri sırasında test hücresindeki sıcaklık yükselmesi 4-18°C arasında ölçülmüştür. Isıtma yüzey alanı da oldukça düşüktür. Bu nedenle çevreye olan ısı kayıpları % 0,003-0,64 arasındadır ve ihmal edilebilir. Test hücresini ısıtmak için gerekli ısı enerjisi ise sisteme verilen enerjinin sadece portakal ve elma konsantrelerinde % 2-8, vişne konsantresinde ise %1-10 arasındadır. Düşük voltaj gradyanlarında, sıcaklık yükselmesinin ve ısıtma zamanlarının daha yüksek olmasından dolayı, test hücresinin ısınması için kaybedilen ısı enerjisi miktarının da daha yüksek olduğu saptanmıştır. Örneğin 20 V/cm için enerji kaybı kısmen test hücresinin ısıtılması için gerekli ısı miktarı ile açıklanabilir. 20 V/cm'de SPK değerleri portakal konsantrelerinde 0,86-0,92, elma konsantrelerinde 0,76-0,92 ve vişne konsantrelerinde 0,75-0,83 arasındadır. Ancak daha yüksek voltaj gradyanlarında SPK değerleri daha düşük ve test hücresini ısıtmak için gerekli ısı enerjisi miktarı toplam enerji kayıplarına göre çok küçük kalmaktadır.

Bu araştırmada deneysel veriler, Denklem 3.16'da belirtilen enerji kayıpları teriminin sadece çevreye olan ısı kayıpları ile test hücresinin ısıtılması için kaybedilen ısı miktarını içermediğini göstermektedir. Elektrik enerjisinin geri kalan kısmı örnek içerisinde fiziksel, kimyasal ve elektrokimyasal bazı reaksiyonlar için kullanılmış olabilir. Ancak bu

kayıplar hakkında daha detaylı yorum yapmak bu çalışma çerçevesinde mümkün değildir. Assiry et al (2003) kaplanmamış paslanmaz çelik elektrotlara sahip bir Ohmik ısıtma sisteminde bir çok reaksiyon gerçekleştiğini, bunlardan bir kısmının elektrot reaksiyonları, çözeltinin elektrolizi, elektrot materyalleri ve elektroliz ürünleri arasındaki reaksiyonlar olabileceğini rapor etmiştir. Bu çalışmada da kaplanmamış paslanmaz çelik elektrotlar kullanılmıştır ve elektrik enerjisinin geri kalan kısmının bu tür reaksiyonlarda kullanılmış olabileceği söylenebilir.

Ancak deneysel verilerden görüldüğü kadarıyla bu kayıp voltaj gradyanına bağlıdır. Herhangi bir konsantrasyonda voltaj gradyanı arttıkça enerji kaybı terimi artmıştır. Bir başka deyişle, voltaj gradyanı arttıkça elektriksel enerjinin ısı enerjisine dönüşümü azalmıştır. Düşük voltaj gradyanlarında elektrik enerjisinin ısıya dönüşümünün daha yüksek ve sistem performansının daha iyi olduğu söylenebilir. Sistem performans katsayıları bu etkiyi nicel olarak göstermek için tanımlanmıştır. Meyve suyu konsantrelerinde Ohmik ısıtma sırasında sisteme verilen elektrik enerjisinin % 50'inden fazlasının örnek içinde faydalanabilir ısı enerjisine dönüşebildiği saptanmıştır

Portakal suyu konsantrelerinde 60 V/cm voltaj gradyanlarında SPK değerleri yaklaşık olarak 0,6'dır. Bu değer, sisteme verilen elektrik enerjisinin % 40'ın kayba uğradığını ve örnekte ısı enerjisine dönüşemediğini göstermektedir. Portakal suyunun tüm konsantrasyonlarında 20 V/cm için SPK değerleri yaklaşık 0,9 değerindedir (Çizelge 4.15). Düşük voltajlarda kaybın çok az olduğunu ve elektriksel enerjinin daha verimli kullanılarak örnek içinde ısı enerjisine dönüşebildiğini göstermektedir. Örneğin % 60 konsantrasyonda 20 V/cm'de ısıtma uygulanan portakal suyu ile vişne suyunun elektriksel iletkenlikleri birbirine çok yakın iken, portakal

suyunun daha hızlı ısındığı belirlenmiştir. SPK'ın portakal konsantresinde 0,91 olmasından dolayı, dış ortamdaki konvektif ısı kayıplarının, test hücresinin ısınmasının ve elektriksel kayıpların çok az olduğu ya da hiç olmadığı ve verilen tüm enerjinin örnek içinde ısı enerjisine dönüşebildiği saptanmıştır. Fakat vişne konsantresinde SPK katsayısının 0,75 olmasından dolayı elektrik enerjisinin % 25' inin kayba uğradığı saptanmıştır.

Elma suyu konsantrelerinde 60 V/cm voltaj gradyanlarında SPK değerleri, konsantrasyona bağlı olarak, 0,55-0,65 aralığında vişne suyu konsantrelerinde ise aynı koşullar için 0,471-0,57 aralığında hesaplanmıştır (Çizelge 4.13). Elma ve vişne konsantrelerinde de portakal suyu konsantresinde olduğu gibi yüksek voltaj gradyanlarında sisteme verilen elektrik enerjisinin %35-50'sinin örnek içinde ısı enerjisine dönüştürmede kullanılamadığı saptanmıştır. Elma sularının düşük konsantrasyonlarında 20 V/cm voltaj gradyanında elde edilen yüksek SPK değerleri sistemde az toplam enerji kaybının olduğunu göstermektedir. Voltaj gradyanının elektriksel iletkenlikleri de etkilediği düşünüldüğünde, aynı konsantrasyon için elektriksel iletkenlik değerleri arttıkça SPK değerlerinin azaldığı ve toplam enerji kayıplarının arttığı söylenebilir.

Herhangi bir konsantrasyon ve voltaj gradyanı için bakıldığında genel olarak vişne suyu konsantrelerinin SPK değerleri elma suyu konsantrelerinin SPK değerlerinden daha düşüktür. Portakal suyu konsantreleri ile elma suyu konsantrelerinin SPK değerleri ise özellikle düşük konsantrasyonlarda birbirine çok yakındır. Meyve suyu çeşitleri arasındaki asitlik ve dolayısıyla elektriksel iletkenlik değerlerinin farkının yukarıdaki yaklaşıma benzer olarak SPK değerleri arasındaki farka da etki ettiği düşünülmektedir. Elma ve portakal suyu

konsantrelerinin vişne suyu konsantrelerine oranla elektriksel iletkenlik değerleri daha düşüktür ve SPK değerleri ise daha yüksek olarak saptanmıştır.

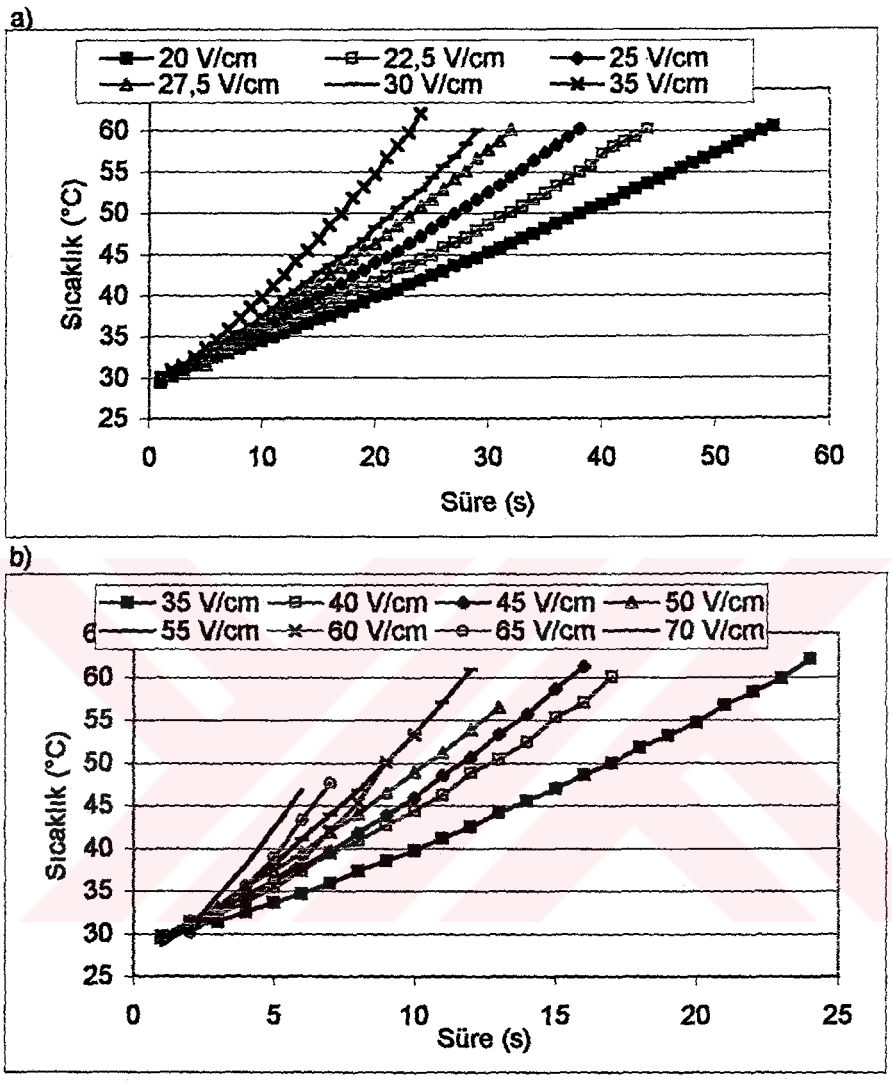
Matematiksel model, Çizelge 4.13, 4.14 ve 4.15'de gösterilen SPK değerlerini kullanarak, sistemde enerji kayıplarını dikkate almak üzere modifiye edilmiştir. Bu amaçla Denklem 3.21 çözülmüştür (Ek B.1). Matematiksel modelde Çizelge 4.10, 4.11 ve 4.12'de verilen 3 farklı elektriksel iletkenlik modeli kullanılmıştır. Sıcaklığa bağlı elektriksel iletkenlik denklemini kullanan matematiksel modelin (Ek B.3) hesaplamış olduğu ısıtma süreleri "t-modT" ile, sıcaklık ve voltaj gradyanına bağlı elektriksel iletkenlik ilişkilerini kullanarak hesaplama yapan matematiksel modelin (Ek B.4) öngördüğü ısıtma süreleri "t-modVT" ile, genel elektriksel iletkenlik denklemi şeklinde ifade edilen sıcaklık, voltaj ve konsantrasyona bağlı elektriksel iletkenlik modelini kullanan matematiksel modelin (Ek B.5) hesapladığı ısıtma süreleri ise "t-modCVT" ile gösterilerek Çizelge 4.13, 4.14 ve 4.15'de verilmiştir. 3 farklı meyve suyu konsantresinde de t-modT sürelerinin t-modVT sürelerine çok yakın olduğu belirlenmiştir. Aynı zamanda sıcaklığa ve voltaj ile sıcaklığa bağlı elektriksel iletkenlik denklemleri kullanıldığında matematiksel modelin deneysel verilerle de uyumunun, bazı konsantrasyonlarda 30 V/cm uygulamalarındaki %18'lik fark dışında, çok iyi olduğu saptanmıştır. Bazı konsantrasyonlarda ve voltaj gradyanlarında deneysel verilerle t-modT arasındaki 168 s'lik ısıtma için ±4 s ve t-modVT arasındaki 29 s'lik ısıtma süresi için ± 6 s' lik farkların deneysel koşullardaki bazı sapmalardan ve/veya türetilen elektriksel iletkenlik denklemlerinin korelasyonundan kaynaklandığı düşünülmektedir.

Genel elektriksel iletkenlik denklemini kullanan matematiksel modelin hesaplamış olduğu t-modCVT süreleri, portakal ve vişne suyu konsantrelerinde deneysel ısıtma süreleri ile genel olarak birbirine yakın çıkmıştır. Ancak matematiksel model portakal suyunun yüksek konsantrasyonlarında bazı voltaj gradyanlarında deneysel verilerden sapma göstermiştir. 20 V/cm'de %50 konsantrasyonu için deneysel sürelerden %16 daha düşük değerler öngörürken, %60 konsantrasyonu için %4-30 arasında daha uzun ısıtma süreleri hesaplamıştır.

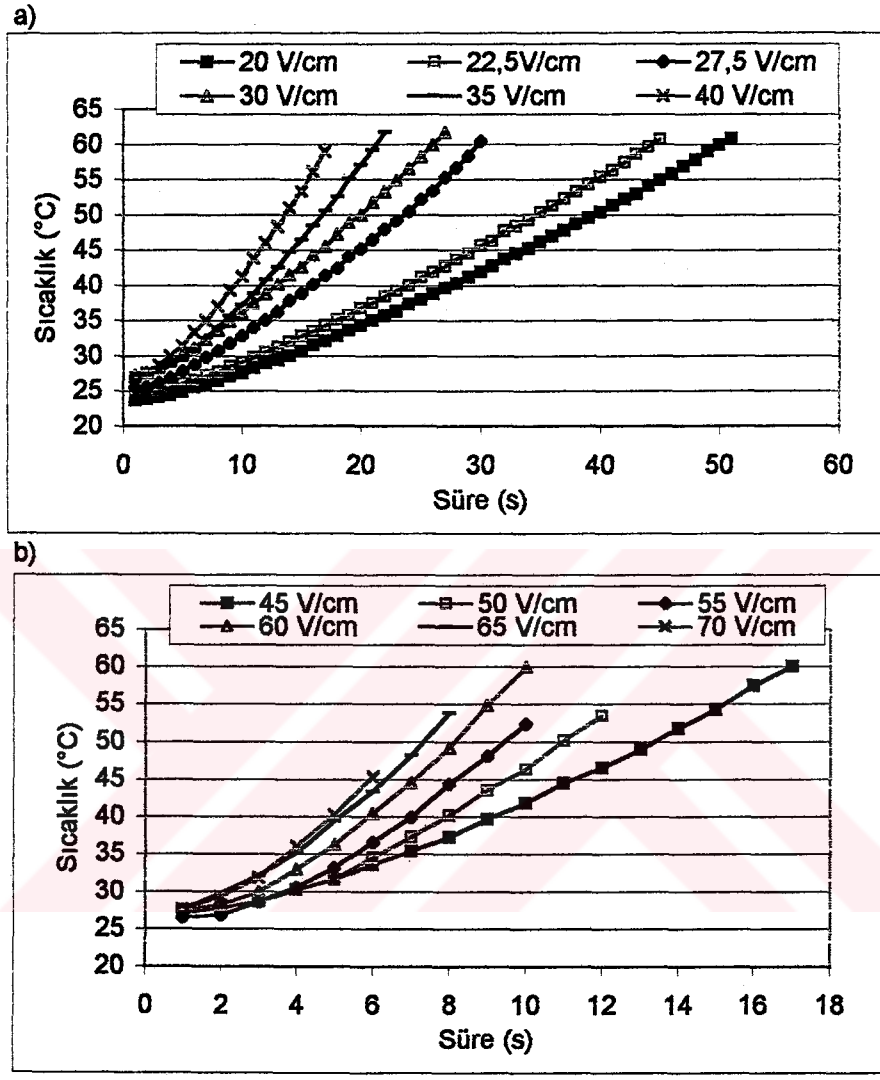
Elma suyu konsantrelerinde de portakal suyu konsantrelerine benzer durum gözlenmiştir. Yüksek konsantrasyonlarda uyumun azaldığı belirlenmiştir; örneğin % 50 konsantrasyon için genel elektriksel iletkenlik denklemi %10-15 arasında daha kısa süreler öngörmüştür. %60 konsantrasyonda ise %12-27 arasında daha uzun süreler hesaplamıştır. Elektriksel iletkenlik ilişkilerinin korelasyon katsayıları arttıkça (Çizelge 4.7-4.12) sonuçlar arasındaki uyumun da arttığı belirlenmiştir. Vişne suyu konsantrelerinde matematiksel model ile deneysel sonuçlar arasındaki farkın daha az olması empirik elektriksel iletkenlik denklemlerinin daha yüksek regresyon katsayılarına sahip olması ile açıklanabilir.

4.1.4 Meyve püreleri

Şeftali ve kayısı püreleri pastörizasyon öncesi yarı mamul olarak Etap Tarım Gıda Sanayi A.Ş. tarafından hammadde desteği şeklinde sağlanmıştır. Çizelge 3.3'de belirtilen özelliklere sahip şeftali ve kayısı pürelerine Ohmik ısıtma işlemi uygulanmıştır. 20-70 V/cm voltaj gradyanı aralığında şeftali püresine 13, kayısı püresine 12 ayrı voltaj gradyanı uygulanmıştır.



Şekil 4.19 Şeftali püresinin farklı voltaj gradyanlarında Ohmik ısıtma eğrileri
a) 20-30 V/cm b) 35-70 V/cm



Şekil 4.20 Kayısı püresinin farklı voltaj gradyanlarında Ohmik ısıtma eğrileri
a) 20-40 V/cm b) 45-70 V/cm

Meyve püreleri ile meyve suyu konsantrelerinin en düşük konsantrasyona ait ısıtma zamanları aynı voltaj gradyanı için karşılaştırıldığında, pürelerin hem konsantrasyonlarının daha düşük olması hem de asitlik düzeylerinin daha yüksek olması nedeniyle, %20 konsantrasyona sahip elma suyundan daha hızlı ısındığı tespit edilmiştir (Ek C.18 ile Şekil 4.19 ve 4.20). Kayısı püresi %20 konsantrasyona sahip portakal suyundan da daha hızlı, şeftali püresi ise daha yavaş ısınmıştır. Vişne suyunun en düşük konsantrasyonu ise kayısı püresi ile birbirine yakın ve şeftali püresinden daha kısa ısıtma süreleri göstermiştir.

%13 çözünür katı maddenin altında ve birbirine yakın konsantrasyona sahip olan bu iki meyve püresi kendi aralarında karşılaştırıldığında ise, asitlik düzeyi yüksek olan kayısı püresinin tüm voltaj gradyanlarında şeftali püresinden daha hızlı ısındığı görülmektedir (Şekil 4.19 ve 4.20). 70 V/cm'de kayısı püresi 6 s'de ve şeftali püresi 7 s'de 30°C'den 50°C'ye ısıtılabilirken, 20 V/cm'de aradaki fark 15 s'ye çıkmıştır. Çözünür katı madde miktarı şeftali püresinde %9,9, kayısı püresinde ise %12,79 olmasına rağmen, kayısı püresinin yaklaşık 2 kat daha fazla olan asitlik miktarının ısıtma hızını etkilediği düşünülmektedir.

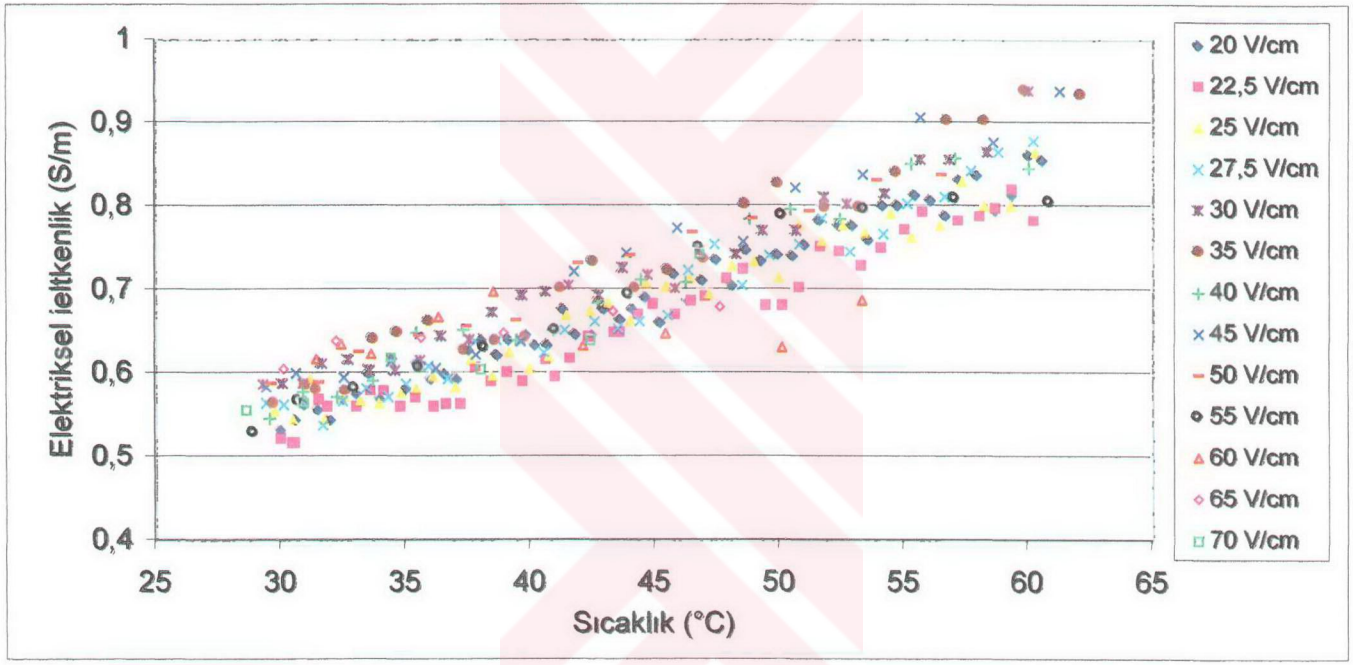
Asitlik düzeyleri yüksek olan pürelerin özellikle yüksek voltaj gradyanlarında 50°C'ye yakın sıcaklıklarda köpürme gözlenmiş ve ısıtma durdurulmak zorunda kalmıştır. Köpürmenin etkisiyle bu sıcaklıklardan sonra elektriksel iletkenlik değerlerinde azalma oluşmuştur (Şekil 4.21 ve 4.22, Çizelge 4.16 ve 4.17). Kayısı püresinde 65 ve 70 V/cm, şeftali püresinde 60 ve 70 V/cm'de 60°C'ye ulaşılamamıştır. Daha önce de üzerinde durulduğu gibi, yüksek voltaj gradyanlarında sıcaklık artışının da etkisiyle örnek içinden geçen akım artmakta, oluşan elektrokimyasal reaksiyonlar sonucu gaz çıkışı başka bir deyişle köpürme meydana

gelmektedir. Bu durum diğer bazı araştırmacılar tarafından da gözlenmiştir (Palaniappan and Sastry, 1991a; Qihua et.al, 1993; Lima and Sastry, 1999).

Çizelge 4.18 ve 4.19'da meyve suyu konsantreleri ile de karşılaştırma yapılabilmesi amacıyla 30°C'den 60°C'ye ısıtmak için gerekli ısıtma süreleri verilmiştir. Matematiksel model hesaplamaları da Çizelge 4.18 ve 4.19'da belirtilen ilk ve son sıcaklıklara göre yaptırılmıştır.

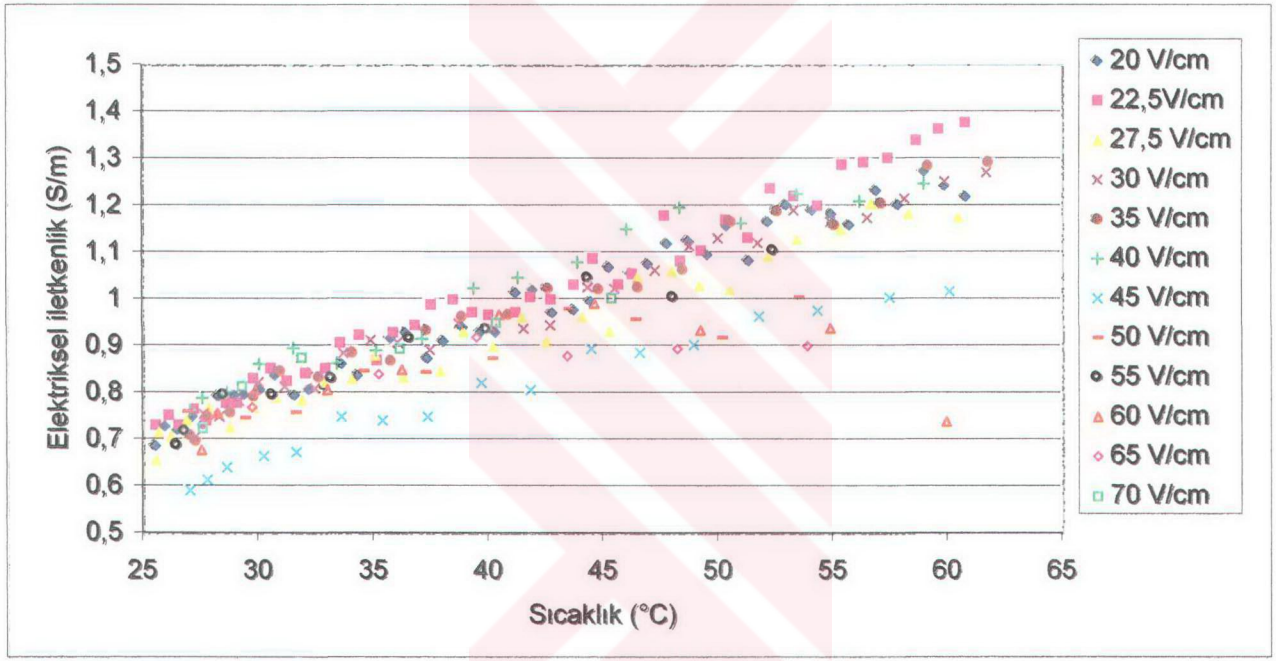
Şeftali püresine 20-70 V/cm arasında uygulanan 13 farklı voltaj gradyanına ait Ohmik ısıtma eğrileri incelendiğinde meyve suyu konsantrelerinde olduğu gibi, voltaj gradyanı arttıkça belirlenen sıcaklığa ulaşmak için gerekli ısıtma süresinin azaldığı saptanmıştır (Şekil 4.19). Eğriler arasındaki farkın daha iyi görünebilmesi için Şekil 4.19 iki kısma bölünmüştür. Voltaj gradyanı 70 V/cm'den 20 V/cm'ye düşürüldüğünde 30°C'den 60°C'ye ısıtmak için gerekli sürenin yaklaşık 7 kat arttığı tespit edilmiştir (Çizelge 4.18).

Kayısı püresinde de voltaj gradyanının artışının ısıtma süresi üzerine önemli derecede etkisi olduğu Şekil 4.20'de görülmektedir. Uygulanan yüksek voltaj gradyanının etkisiyle oluşan daha yüksek ısı jenerasyonu, örneğin daha kısa sürede istenilen sıcaklığa ulaşmasına neden olmaktadır. Sıcaklık arttıkça artan elektriksel iletkenlik de ısı jenerasyonunun artışına neden olan diğer etkendir. Kayısı püresinde voltaj gradyanında yapılacak 2 kat artışın (30 V/cm'den 60 V/cm'ye) ısıtma süresini 5 kat azalttığı tespit edilmiştir(Çizelge 4.19)



Şekil 4.21 Şeftali püresinin farklı voltaj gradyanlarında Ohmik ısıtılması sırasında elektriksel iletkenlik değişimleri

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ



Şekil 4.22 Kayısı püresinin farklı voltaj gradyanlarında Ohmik ısıtılması sırasında elektriksel iletkenlik değişimleri

Çizelge 4.16 Şeftali püresinin farklı Ohmik ısıtma koşullarında elde edilen elektriksel iletkenlik-sıcaklık ilişkilerinin sabit ve katsayıları

Voltaj gradyanı (V/cm)	B1	C1	R^2 *
	(Denklem 3.23)		
20	0,0093	0,2683	0,981
22,5	0,0096	0,2348	0,983
25	0,0100	0,2367	0,984
27,5	0,0098	0,2492	0,978
30	0,0108	0,2449	0,980
35	0,0115	0,2184	0,976
40	0,0111	0,2218	0,982
45	0,0118	0,2073	0,967
50	0,0105	0,2640	0,968
55	0,0112	0,2043	0,973
60	0,0111	0,2648	0,920
65	0,0038	0,5034	0,886
70	0,0099	0,2515	0,886
Genel	0,0096	0,2711	0,922

* Regresyon katsayısı

Çizelge 4.17 Kayısı püresinin farklı Ohmik ısıtma koşullarında elde edilen elektriksel iletkenlik-sıcaklık ilişkilerinin sabit ve katsayıları

Voltaj gradyanı (V/cm)	B1	C1	R^2 *
	(Denklem 3.23)		
20 (160/8)	0,0153	0,3369	0,981
20 (60/3)	0,0116	0,4482	0,960
22,5 (180/8)	0,0179	0,2721	0,986
27,5 (220/8)	0,0142	0,3461	0,979
30 (180/6)	0,0158	0,3185	0,978
30 (90/3)	0,0108	0,4936	0,941
35 (210/6)	0,0163	0,3010	0,978
40 (240/6)	0,0159	0,3644	0,955
40 (120/3)	0,0092	0,5317	0,915
45 (225/5)	0,0129	0,2757	0,974
50 (200/4)	0,0111	0,4273	0,902
50 (150/3)	0,0114	0,4284	0,925
55 (220/4)	0,0149	0,3378	0,946
60 (180/3)	0,0165	0,2714	0,918
65 (195/3)	0,0149	0,3323	0,925
70 (210/3)	0,0137	0,3966	0,901
Genel	0,0160	0,3040	0,925

* Regresyon katsayısı

Pürelerde voltaj gradyanını arttırarak ısıtma süreleri azaltılabilir ancak köpürme gerçekleşmeden 60°C'nin üzerine ısıtılmak istendiğinde 60 V/cm'nin altında voltaj gradyanı uygulamak gerekmektedir.

Her bir voltaj gradyanı için elektriksel iletkenliğin sıcaklıkla değişimini ifade eden doğrusal ilişkiler, şeftali püresi için Çizelge 4.16'da kayısı püresi için Çizelge 4.17'de verilmiştir. Şeftali püresinde yüksek voltaj gradyanlarında sapmalar gözlenmiş ve daha düşük regresyon katsayıları elde edilmiştir. Tüm voltaj gradyanlarında kayısı püresinin elektriksel iletkenlik değerlerinin şeftali püresinden daha yüksek olması, daha kısa sürede ısınmasına neden olmaktadır. Kayısı ve şeftali pürelerinin ısıtma sırasında elektriksel iletkenlik değerlerinin sıcaklıkla değişimi Şekil 4.21 ve 4.22'de görülmektedir. Her iki püre için de Ohmik ısıtma sırasında elektriksel iletkenliğin sıcaklıkla değişimi bir bant oluşturmaktadır. Ancak genel olarak bakıldığında aradaki fark az da olsa, voltaj gradyanı arttıkça elektriksel iletkenlik değerinin artış gösterdiği görülmektedir.

Voltaj gradyanının elektriksel iletkenliğe etkisini denklemlerle ifade edebilmek için püreler için de SPSS 10.0 İstatistiksel paketi kullanılarak doğrusal olmayan regresyon analizi yapılmış ve Denklem 4.1'deki ilişkinin sabitleri ve katsayıları elde edilmiştir (Çizelge 4.20, Ek D.5-D.6). 20-70 V/cm arasındaki voltaj gradyanı aralığında geçerli olan pürelere ait genel elektriksel iletkenlik-sıcaklık empirik ilişkileri sabit ve katsayıları Çizelge 4.16 ve 4.17'de verilmiştir. Castro et al. (2003)'de çilek bazlı ürünlerde elektriksel alan şiddeti artışının çilek jölesinin elektriksel iletkenliği üzerine etkili olduğu ancak çilek püresinde herhangi bir etkisinin olmadığı rapor edilmiştir. Çilek püresinin özellikleri ve uygulanan elektriksel alan şiddeti bilinmemektedir. Bu nedenle sonuçlar arasında karşılaştırma yapılamamaktadır.

Çizelge 4.18 Şeftali püresinin farklı Ohmik ısıtma koşullarında elde edilen bazı deneysel verileri ve model sonuçları

Voltaj grad. (V/cm)	Qa (J)	Qv (J)	SPK	Tilk (°C)	Tson (°C)	t-deney (s)	t-adb (s)	t-modT (s)	t-modVT (s)
20	5682	5671	1,002	30,0	60,0	54	55	55	56
22,5	5714	5727	0,998	30,0	60,2	44	45	43	44
25	5770	6100	0,946	29,7	60,3	38	36	38	38
27,5	5821	6152	0,946	29,4	60,2	32	31	32	32
30	4356	5246	0,830	29,3	60,0	29	25	29	30
35	4592	6016	0,763	29,7	62,1	24	18	23	24
40	4323	5696	0,759	29,5	60,0	17	15	19	19
45	3792	5348	0,709	29,4	61,3	16	12	16	16
50	3024	4843	0,624	29,6	61,6	15	10	15	15
55	3019	4846	0,623	28,9	60,9	12	9	13	13
60	1552	2797	0,555	29,6	53,3	11	6	10	10
65	2417	3841	0,629	28,4	62,5	10	7	10	10
70	1928	3096	0,623	28,6	58,1	8	6	9	8

Çizelge 4.19 Kayısı püresinin farklı Ohmik ısıtma koşullarında elde edilen bazı deneysel verileri ve model sonuçları

Voltaj grad. (V/cm)	Qa (J)	Qv (J)	SPK	Tilk (°C)	Tson (°C)	t-deney (s)	t-adb (s)	t-modT (s)	t-modVT (s)
20 (160/8)	6426	6263	1,026	29,3	60,8	39	41	40	40
20 (60/3)	2369	2355	1,006	29,6	60,5	39	41	41	38
22,5	6481	6406	1,012	29,4	61,1	42	41	41	42
27,5	6235	6548	0,952	29,7	60,2	24	23	24	24
30 (180/6)	4922	5429	0,907	29,1	61,2	22	20	22	22
30 (90/3)	2334	2701	0,864	29,8	60,2	22	20	22	22
35	4952	6179	0,801	29,7	62,0	17	14	18	18
40 (240/6)	4906	6152	0,798	28,6	60,6	14	12	14	15
40 (120/3)	2699	3564	0,757	28,9	62,1	16	12	16	15
45	4018	5723	0,702	28,6	60,1	15	11	16	14
50 (200/4)	2463	3799	0,648	29,4	53,5	10	7	10	10
50 (150/3)	2614	4053	0,645	29,2	63,3	11	8	12	12
55	2443	3663	0,667	28,5	52,4	8	6	9	9
60	2304	3755	0,613	29,9	59,9	8	6	9	9
65	1851	3139	0,590	29,7	53,9	7	5	7	7
70	1234	2502	0,493	29,3	45,3	5	3	5	6

Meyve püre lerinde uygulanan Ohmik ısıtma işleminin kuramsal olarak da incelenmesi amacıyla, öncelikle enerji kayıplarının ihmal edildiği durum incelenmiştir. Bu amaçla Denklem 3.24'ün çözülmesi ile elde edilen model programda SPK terimi "1" olarak alınmıştır (Ek B.1). Böylece sisteme verilen enerjinin tamamının püre tarafından alınabildiği varsayılmıştır.

Öngörülen ısıtma süreleri, t-adb, deneysel sonuçlarla beraber Çizelge 4.18 ve 4.19'da verilmiştir. Karşılaştırmanın yapılabilmesi için matematiksel modelde deneysel başlangıç ve son sıcaklıkları dikkate alınmıştır. Her iki püre için de t-adb değerleri deneysel ısıtma sürelerinden daha kısa olarak hesaplanmıştır. Bu sonuç diğer örneklerde de elde edildiği gibi, matematiksel modelde enerji kayıplarının dikkate alınmasının gerekliliğini ortaya koymaktadır.

Çizelge 4.20 Meyve püresi örneklerinin Ohmik ısıtılması sırasında voltaj gradyanı ve sıcaklığa bağlı elektriksel iletkenlik ilişkisi empirik sabitleri ve katsayıları

Sabit veya katsayı (Denklem 4.1)	Kayısı püresi	Şeftali püresi
D1	-3,432	11,878
N1	0,017	0,004
B2	0,015	0,010
C2	3,963	-11,793
R^{2*}	0,925	0,936

*Çoklu regresyon katsayısı

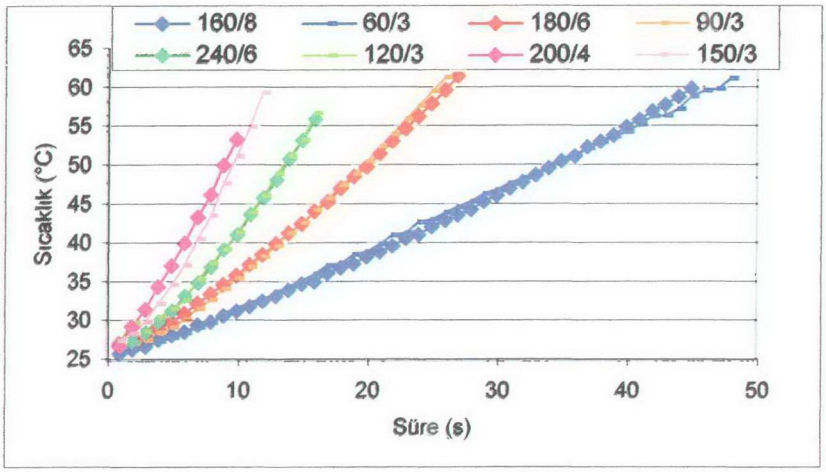
Şeftali ve kayısı pürelerinin belirlenen son sıcaklığa Ohmik ısıtılması sırasında, sisteme verilen (Q_v) ve püreler tarafından alınabilen (Q_a) enerji miktarları Denklem 3.14 ve 3.15'e göre hesaplanmış ve Çizelge 4.18 ve 4.19'da verilmiştir. Uygulanan voltaj gradyanı azaldıkça genel olarak kayıpların azaldığı görülmektedir. Sisteme verilen enerji ile pürenin almış olduğu enerji arasındaki oranı veren SPK değerlerinin de voltaj gradyanı artışıyla 1'den 0,5'e azaldığı saptanmıştır. SPK'nın düşük voltaj gradyanlarında 1'e yakın olduğu Çizelge 4.18 ve 4.19'da görülebilir. Pürelerde 20-70 V/cm arasında uygulanan voltaj gradyanının artışının enerji kayıpları üzerinde etkili olduğu sonucuna varılmıştır.

Meyve pürelerinde enerji kayıplarını daha detaylı incelemek amacıyla yapılan hesaplamalarda doğal konveksiyon ısı transfer katsayılarının kayısı püresinde uygulanan voltaj gradyanına bağlı olarak 4-5 W/m^2K, şeftali püresinde 3,3-5 W/m^2K olduğu saptanmıştır. Ohmik ısıtma denemeleri sırasında test hücresi materyalindeki sıcaklık yükselmesi kayısı püresinde 4-11°C, şeftali püresinde 2-11°C arasında ölçülmüştür. Isıtma yüzey alanı da oldukça küçüktür. Bu nedenle çevreye olan ısı kayıpları sisteme verilen enerjinin ancak %0,002-0,06 arasında oldukça düşük orandadır ve ihmal edilebilir. Test hücresini ısıtmak için kaybedilen ısı enerjisi miktarı ise sisteme verilen elektrik enerjisinin yaklaşık %0,65-5 arasındadır. Düşük voltaj gradyanlarında sisteme verilen verilen enerji ile örneğin almış olduğu enerji arasındaki fark bu ısı kayıpları ile kısmen açıklanabilir (Ek E.1). Ancak yüksek voltaj gradyanlarında bu ısı kayıpları toplam enerji kayıplarına göre çok küçük kalmaktadır ve geriye kalan enerji kayıplarının örnek içerisindeki fiziksel, kimyasal ve elektrokimyasal değişimler için harcandığı söylenebilir (Assiry et al, 2003). Başka bir deyişle, elektrik enerjisinin tamamı ısı enerjisine dönüşememekte ve verimli kullanılamamaktadır. Voltaj gradyanı arttıkça enerjinin ısıya dönüşümü azalmakta, enerji

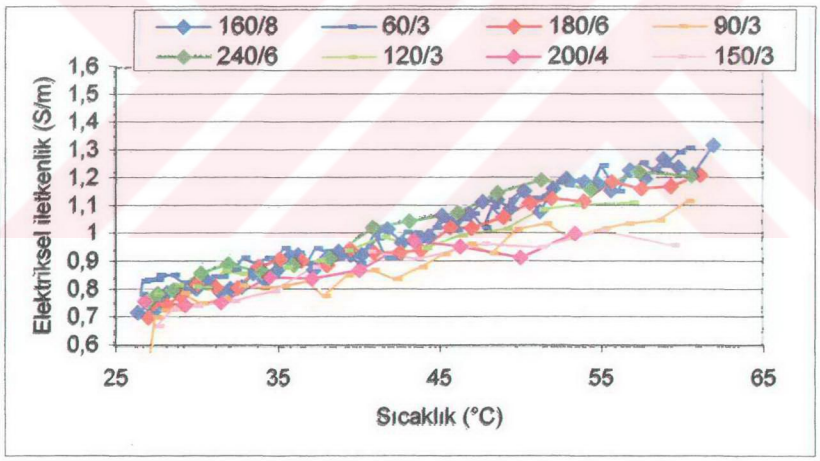
kayıpları teriminin önemi artmakta ve dolayısıyla sistem performansını ifade eden SPK değerleri azalmaktadır. SPK değerleri bu açıdan sistemin performansını tespit etmek için kullanılabilmektedir. Literatürde Ohmik ısıtıcı sistemlerinin enerji analizinin yapılarak sistem performansının incelendiği detaylı çalışmalara rastlanamamış, bu çalışmanın bu boşluğu gidereceği düşünülmektedir.

Farklı elektriksel iletkenlik-sıcaklık ilişkilerini kullanan ve sistemde oluşan enerji kayıplarını da dikkate alan matematiksel model sonuçları da Çizelge 4.18 ve 4.19'da verilmiştir. Çizelge 4.16 ve 4.17'deki sıcaklıkla doğrusal değişim gösteren elektriksel iletkenlik ilişkilerini kullanan matematiksel modelin öngördüğü süreler "t-modT", Çizelge 4.20'deki voltaj gradyanı ve sıcaklığa bağlı elektriksel iletkenlik ilişkisini kullanan matematiksel modelin öngördüğü süreler "t-modVT" ile gösterilmiştir. Uygulanan tüm voltaj gradyanlarında şeftali püresi için t-modT ile t-modVT sürelerinin ±1s olmak üzere birbirine çok yakın öngörüldüğü tespit edilmiştir. Matematiksel model sonuçlarının deneysel verilerle de oldukça iyi uyum sağladığı saptanmıştır (Çizelge 4.16 ve 4.18). Kayısı püresinde ise t-modT ve t-modVT süreleri arasında en fazla ±3 s fark saptanmıştır. Ayrıca deneysel ısıtma süreleri ile matematiksel model sonuçları arasında da oldukça iyi uyum elde edilmiştir; en fazla 2 s fark gözlenmiştir (Çizelge 4.17 ve 4.19).

Voltaj gradyanının sağlanma şeklinin ısıtma süreleri üzerine etkisini incelemek amacıyla, kayısı püresi örneklerinin ısıtılmasında farklı elektrot aralığı ve voltaj uygulamaları denenmiştir. Şekil 4.23'de görüldüğü gibi, 20, 30, 40 ve 50 V/cm voltaj gradyanları iki farklı şekilde sağlanmıştır. Isıtma eğrileri ve elektriksel iletkenliğin sıcaklıkla değişimleri incelendiğinde voltaj gradyanı sağlanma şeklinin ısıtma hızını etkilemediği tespit edilmiştir.



Şekil 4.23 Kayısı püresinin Ohmik ısıtılması sırasında voltaj gradyanı sağlama şeklinin ısıtma hızına etkisi

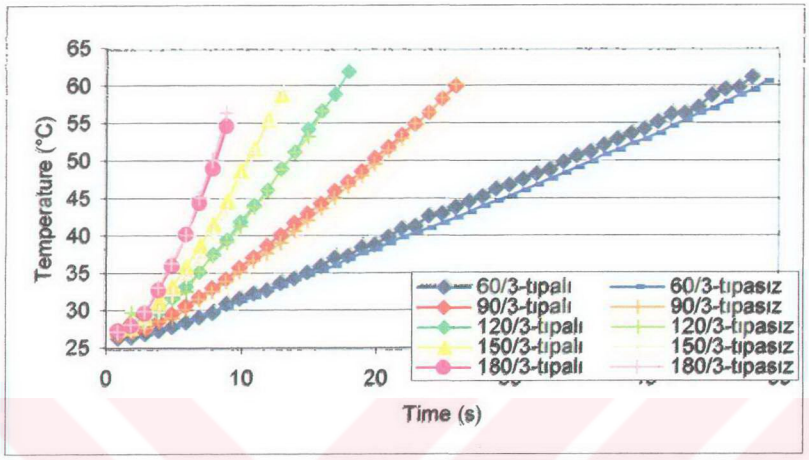


Şekil 4.24 Kayısı püresinin Ohmik ısıtılması sırasında voltaj gradyanı sağlama şeklinin elektriksel iletkenlik değişimlerine etkisi

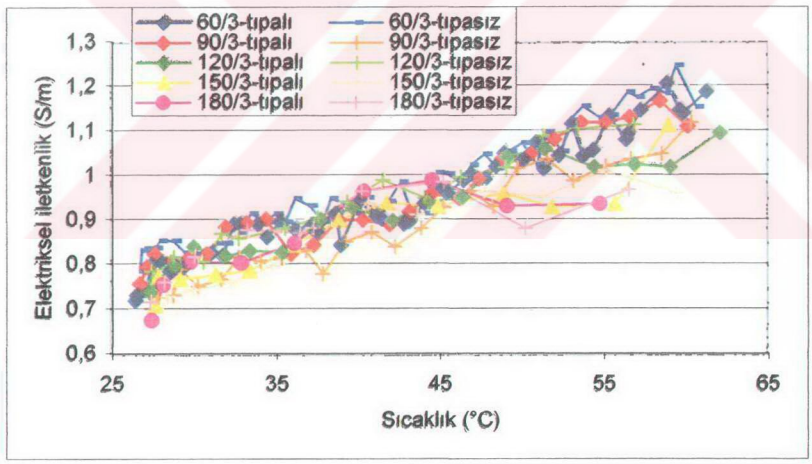
Elektriksel iletkenlik değişimleri 0,7-1,3 S/m aralığında bir bant oluşturmaktadır (Şekil 4.24). Çizelge 4.17, 4.19 ve 4.20 aynı voltaj gradyanının farklı şekilde sağlandığı durumlardaki verileri de kapsamaktadır. Aynı voltaj gradyanı için deneysel ısıtma süreleri 20 ve 30 V/cm'de aynı iken, 40 V/cm'de 2 s ve 50 V/cm'de ise 1 s'lik fark olduğu tespit edilmiştir. Yüksek voltaj gradyanlarında Lima et al (1999)'da da belirtildiği gibi, deneysel olarak son sıcaklığı kontrol etmek oldukça zordur. 40 ve 50 V/cm voltaj gradyanlarında deneysel son sıcaklıklar arasında fark olması süreleri karşılaştırırken yanıltıcı olabilmektedir. Genel olarak ısıtma hızı üzerine voltaj gradyanı sağlama şeklinden çok voltaj gradyanının değerinin etkisi olduğu sonucuna varılmıştır.

Ölçümlere etki ettiği düşünüldüğünden, kayısı püresinde köpürme işlemini geciktirmesi amacıyla test hücresinin ölçüm alınmayan ısıleş girişlerinin tıpa ile kapatılmasının etkisi incelenmiştir. Tıpa ile kapatmak köpürme işlemini geciktirmiş, özellikle 20 V/cm'de ısıtma hızını arttırmıştır (Şekil 4.25). Ancak daha önce veri alınamayan 65 ve 70 V/cm yüksek voltaj gradyanlarında, tıpa kullanarak bile sırasıyla 54 ve 45 °C'ye ulaşılabilmiştir. Tıpa kullanmanın hava sızdırmazlığı sağladığı ve daha kısa sürede istenilen sıcaklığa ulaşılabildiği saptanmıştır. Özellikle 60 V/cm'de tıpa kullanıldığında köpürme gerçekleşmeden 60°C'ye ulaşılabilmesine rağmen, 55 V/cm'de tıpa kullanılmadığı durumda 52,4°C'de köpürme gerçekleşmiştir. Daha düşük voltaj gradyanlarında ise tıpa kullanılmadan 60 °C'ye kadar köpürme sorunu olmadan veri kaydedilebilmiştir. Isıtma ünitelerinde sistem içinde basıncın artırılması örneğin daha yüksek sıcaklıklarda faz değişimine uğramasına neden olmaktadır. Sisteme hava girişi engellendiğinde ısıtma atmosferik koşullardan basınçlı ısıtma koşuluna dönüşmektedir. Bu nedenle Ohmik ısıtma ünitesi tasarımlarında, meyve suyu gibi yüksek elektriksel

iletkenliğe sahip ürünlerde köpürme sorununu geciktirebilmek amacıyla sisteme hava girişinin engellenmesi önem taşımaktadır.



a)



b)

Şekil 4.25 Kayısı püresinin Ohmik ısıtılması sırasında tıpa kullanımının etkisi ; a) ısıtma eğrileri, b)elektriksel iletkenlik-sıcaklık eğrileri.

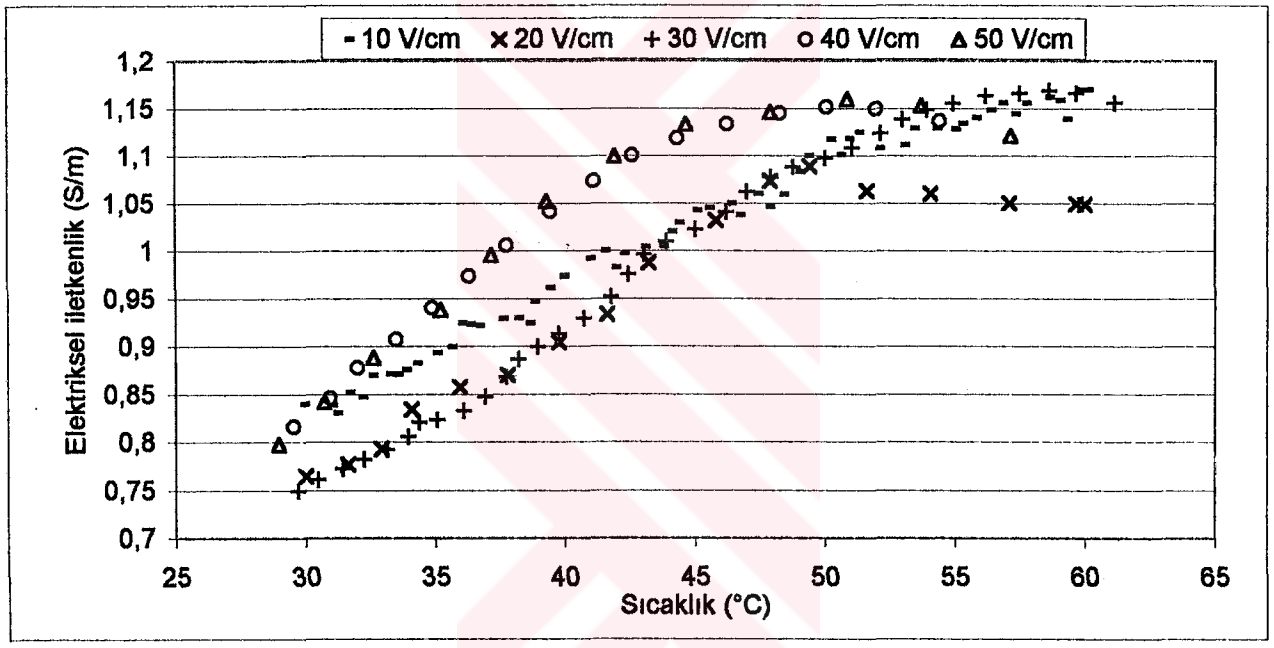
4.2 Katı Örneklerin Ohmik Isıtılmasının İncelenmesi

Katı örneklerin Ohmik ısıtma yöntemiyle ısıtılmasının incelenmesi amacıyla yapılan denemelerde Çizelge 3.4'de kompozisyonları verilen dana kıyması örnekleri ile farklı tuz içeriklerine sahip Tylose (model gıda) örnekleri kullanılmıştır.

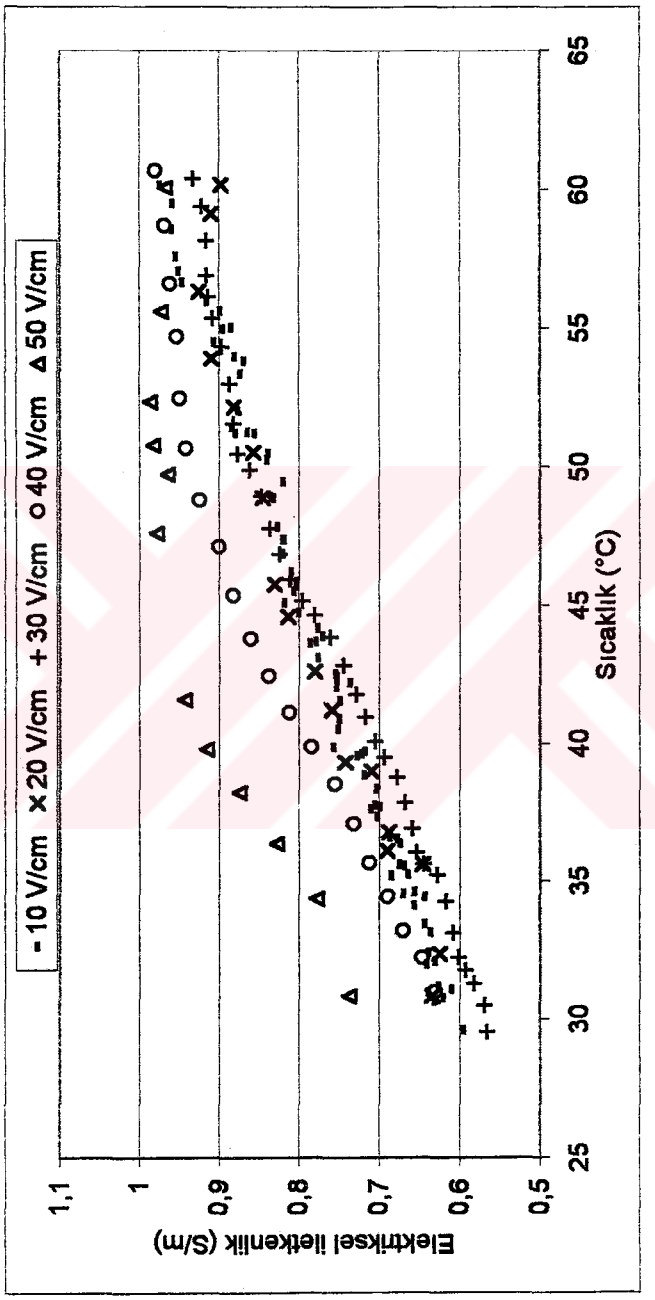
4.2.1 Kıyma örnekleri

Silindirik şekil verilen 3 cm uzunluğundaki kıyma örnekleri test hücresinin içinde iki elektrot arasına sıkıştırılıp, farklı voltaj gradyanları uygulanarak ısıtılmıştır. Şekil 4.26 ve 4.27'de görüldüğü gibi, her voltaj gradyanı uygulamasında kıyma örneklerinin elektriksel iletkenlikleri 50-60°C'ye kadar sıcaklık artıkça artmış, ancak bu kritik sıcaklıklara ulaştıktan sonra azalma gözlenmiştir. Kritik sıcaklık değerlerinin yüksek voltaj gradyanlarında düşük voltaj gradyanlarına oranla daha düşük olduğu saptanmıştır. Kıyma örneklerinde, sıcaklık ve elektrik akımının etkisiyle meydana gelen bazı kimyasal reaksiyonların sonucu olarak, elektriksel iletkenliğin düştüğü düşünülmektedir. Kimyasal reaksiyonlardan özellikle protein yapısındaki değişimlerin (jelleşme, koagülasyon vs.) iyonik yapıda değişikliğe neden olması ve sonucunun elektriksel iletkenlik değerlerinde düşüş olarak gözlenmesi şeklinde açıklanabilir.

Huang et al. (1997) Ohmik ısıtma ile donmuş balık ezmesi yıkama suyundan balık proteinlerinin koagülasyonu üzerine yaptığı çalışmada, sabit voltajda farklı sıcaklıklara kadar Ohmik ısıtma uygulamıştır. Protein koagülasyonunun 50°C'de başladığını ve sıcaklık arttıkça proteinlerin koagülasyonunun arttığını saptamışlardır.



Şekil 4.26 Az yağlı kıyma örneklerinin farklı voltaj gradyanlarında Ohmik ısıtılması sırasında elde edilen elektriksel iletkenlik değişimleri



Şekil 4.27 Yağlı kıyma örneklerinin farklı voltaj gradyanlarında Ohmik ısıtılması sırasında elde edilen elektrik iletkenlik değişimleri

Park et al. (1998) yaptıkları çalışmada balık proteinlerinin Ohmik ısıtma ile parçalanmasını ve jelleşmesini incelemişler ve proteolitik parçalanmanın 50-65 °C arasında başladığını bildirmişlerdir. Ohmik ısıtma ile balık ezmelerinin jel kalitesinin daha yüksek olduğunu, proteolizin ve miyosin ile aktin degradasyonunun azaltıldığını saptamışlardır. Kıymada bulunan proteinlerin de balık proteinlerine benzer olarak Ohmik ısıtma yöntemi sonucu sıcaklık ve elektrik akımı etkisiyle 50-60°C arasında kimyasal değişiklere uğradığı düşünülmektedir.

Wang and Sastry (1997)'de nişastanın jelleşmesinin elektriksel iletkenliğe etkisini incelemişlerdir. Mısır ve patates nişastaları 20 V/cm ve 60 Hz'de 90°C'ye kadar ısıtılmıştır. Elektriksel iletkenliğin sıcaklıkla arttığını, fakat jelleşmenin başlaması ile jelleşme derecesine bağlı olarak, yapısal değişimlerin ve bağlı sudaki artışın etkisiyle, azalma gösterdiğini belirlemişlerdir. DSC (diferansiyel tarama kalorimetresi) eğrileri ile elektriksel iletkenlik eğrilerinin çakıştığını saptayarak, iletkenliğin jelleşmenin etkisiyle oluşan yapısal değişimlerle senkronize değiştiğini saptamışlardır. Ani hidrasyon artışı etkisiyle 52°C'de serbest su içeriğinde de hızlı bir düşüşün olmasının elektriksel iletkenliğin azalışına neden olan diğer bir etken olacağını belirtmişlerdir. Chaiwanichsiri et al. (2001) jelleşme sırasında örnekte iyon artışını sağlamışlar ve elektriksel iletkenlik üzerine etkisini incelemişlerdir.

Bu çalışmada da kıyma örnekleri ile çalışırken ısınma sırasında yaklaşık 50°C'de kıyma örneklerinin su saldığı ve suyun test hücresinin altında toplandığı gözlenmiştir. Serbest su ile beraber suda çözünür iyonik bileşikler de örnek içinden uzaklaşmıştır. Aynı sıcaklıklarda örneklerde meydana gelen kimyasal reaksiyonlar sonucu oluşan muhtemel yapısal değişimler ve bağlı su oranındaki artışın da etkisiyle

elektriksel iletkenliğin azalması literatüre dayalı olarak açıklanabilir. Ancak bu değişimlerin elektriksel iletkenliğe etkisi ileride üzerinde detaylı olarak çalışılması gereken konulardan biridir.

Kıyma örneklerinin kompozisyonunun ve dolayısıyla iyonik hareketteki değişimin örneklerin elektriksel iletkenliğine ve Ohmik ısıtma süresine etkisi önemlidir. 2 farklı kompozisyona sahip kıyma örneklerinin elektriksel iletkenlik değerleri karşılaştırıldığında; yağı düşük protein oranı yüksek olan kıyma örneklerinin, yağ oranı yüksek protein oranı düşük olan kıyma örneklerine göre aynı sıcaklıkta daha yüksek elektriksel iletkenliğe sahip oldukları saptanmıştır (Şekil 4.26 ve 4.27). Yağ içeriğindeki artışın ve protein oranındaki düşüşün, iyonik hareketliliğin, dolayısıyla elektriksel iletkenliğin, azalmasına neden olduğu düşünülmektedir.

Bellmer et al. (1999) parçalanmış et ürünlerinin ticari olarak pişirilmesi için sabit voltajda çalışan bir Ohmik ısıtma sistemi geliştirmişlerdir. Elektriksel iletkenliğin et ürünlerinin yağ içeriğine ve sıcaklığa önemli ölçüde bağlı olduğunu belirlemişlerdir. Parçalanmış et ürünlerinin boyutuna bağlı olarak elektriksel iletkenliğin ve dokudaki sertliğin değiştiğini belirtmişlerdir. Piette and Jacques (1996)'da ise kıyma örneklerinin yağ oranlarına göre sınıflandırılması için Ohmik ısıtma tekniğinin kullanıldığı hızlı yağ analizörününün sonuçlarını değerlendirmişlerdir. Analizör, Ohmik ısıtma uygulayarak belirli miktarda kıyma örneğinden sızan yağ miktarını ölçmektedir. Araştırmacılar düşük yağ içeriklerinde olduğundan daha yüksek, yüksek yağ içeriklerinde de olduğundan daha düşük sonuçlar verdiğini tespit etmişler ve analizörün ±2% hata payına sahip olduğunu rapor etmişlerdir. Aynı çalışmada farklı yağ içeriklerine sahip kıyma örnekleri için, farklı voltaj gradyanları uygulamaları ile sıcaklık eğrilerinin ve elektriksel

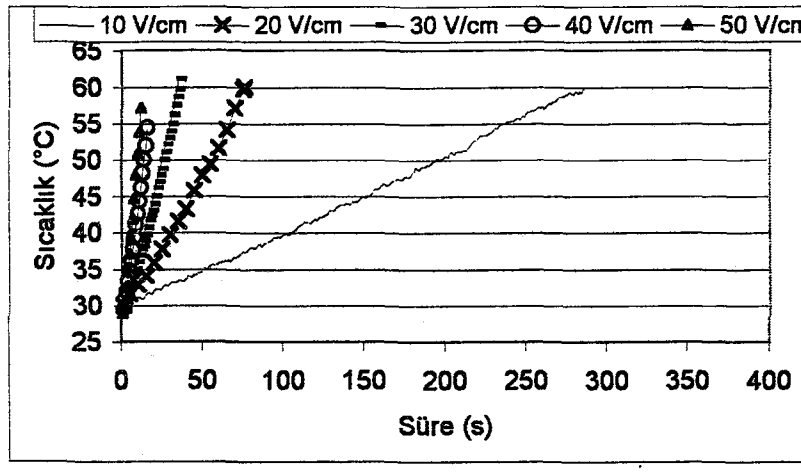
iletkenlik değişimlerinin belirlenmesi üzerine çalışmaların yapılması gerektiğini ve bu tip analizörlerin pratikte faydalı olabileceğini vurgulamışlardır.

Bu tez çalışmasında 10 V/cm ile 50 V/cm arasında uygulanan farklı voltaj gradyanlarının Ohmik ısıtma süreleri üzerine etkisinin önemli düzeyde olduğu saptanmıştır. Şekil 4.28 ve 4.29'da görüldüğü gibi uygulanan voltaj gradyanı arttıkça örneklerin belirlenen sıcaklığa ulaşma sürelerinin azaldığı belirlenmiştir. 50 V/cm' de yağ oranı yüksek kıyma örnekleri 60°C'ye 12 s, yağ oranı düşük kıyma örnekleri ise 11 s'de ulaşırken, 10 V/cm'de aynı sıcaklığa sırasıyla 370 s ve 273 s'de ulaşmışlardır (Çizelge 4.21 ve 4.22). Özellikle yüksek voltaj gradyanı olarak uygulanan 40 V/cm ve 50 V/cm'de 55 °C'nin üstünde kıyma örneklerinden geçen akım değeri oldukça yükselmiş ve elektrotlarla örnek yüzeyleri arasındaki temasın sağlanması zorlaşmıştır. Bu nedenle bu voltaj gradyanı uygulamalarında en fazla 55-60°C'ye kadar sağlıklı veri kaydedilebilmiştir.

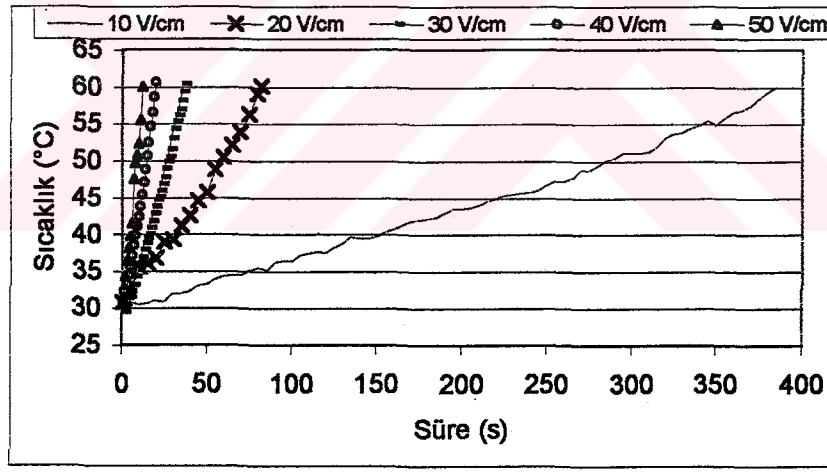
Yongsawatdigul et al. (1995)'de Pasifik beyaz surimi ezmesinin Ohmik ısıtılması sırasında elektriksel iletkenliğin sıcaklıkla arttığı ve 3,3-13,3 V/cm aralığındaki voltaj gradyanı uygulamalarının elektriksel iletkenliğe etkisinin olmadığı açıklanmıştır.

Aynı şekilde Luzuriaga and Balaban (1996) donmuş karideslerin çözündürülmesinde Ohmik ısıtma yöntemini kullanmışlardır. Elektriksel iletkenliğin sıcaklıkla artış gösterdiğini ve 120 V/cm'ye kadar uygulanan voltaj gradyanlarının spesifik elektriksel iletkenlik üzerinde çok fazla etkisinin olmadığını rapor etmişlerdir.

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ



Şekil 4.28 Az yağlı kıyma örneklerinin (kym) 5 farklı voltaj gradyanı ile Ohmik ısıtılması



Şekil 4.29 Yağlı kıyma örneklerinin (ykym) 5 farklı voltaj gradyanı ile Ohmik ısıtılması

Yapılan bu tez çalışmasında ise 10 V/cm ile 50 V/cm arasında uygulanan voltaj gradyanlarında kıyma örneklerinin spesifik elektriksel

iletkenlik değerleri, 30°C ile 60°C arasında sıcaklıkla artış gösteren bir bant şeklinde saptanmıştır. Özellikle 40 V/cm ve 50 V/cm voltaj gradyanında aynı sıcaklık değerleri için elde edilen elektriksel iletkenlik değerlerinin diğer voltaj gradyanlarındakilere oranla daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Düşük voltaj gradyanı uygulamaları daha uzun ısıtma sürelerine sebep olduğundan, örnek içindeki değişimlerin elektriksel iletkenlik değişimine etkileri daha belirgin gözlenebilmektedir (Şekil 4.26 ve 4.27).

Kıyma örneklerinin elektriksel iletkenliklerinin sıcaklıkla değişimini ifade eden denklemlerin sabitleri ve katsayıları ile bu ilişkilerin geçerli olduğu sıcaklık aralığı Çizelge 4.21 ve 4.22'de verilmiştir. Katı örneklerin Ohmik ısıtılmasının matematiksel olarak ifade edilmesi amacıyla geliştirilen modelde kıyma örnekleri için Çizelge 4.21 ve 4.22'deki deneysel sıcaklık aralıkları ve elektriksel iletkenlik modelleri kullanılmıştır.

Sisteme verilen enerjinin tamamının kıyma örneklerine aktarıldığını kabul eden, SPK değerlerini "1" alarak ısıtma süreleri öngören model sonuçları "t-adb" olarak gösterilmiştir. Bu modelde katı örnek içinde iletimle ısı transferi de dikkate alınmıştır (Ek B.2 ve B.6).

Çizelge 4.23 ve 4.24'den de görüldüğü gibi t-adb süreleri tüm voltaj gradyanlarında deneysel ısıtma sürelerinden daha kısa öngörülmüştür. Bu nedenle matematiksel model sistemdeki enerji kayıplarını da dikkate alacak şekilde düzenlenmiştir. Çizelge 4.23 ve 4.24'de tüm voltaj gradyanları için sisteme verilen ve kıyma örnekleri tarafından alınan enerjiler, SPK değerleri ve model sonuçları görülmektedir. SPK değerlerini kullanan modelin ısıtma süreleri "t-mod" ile gösterilmiştir.

Çizelge 4.21 Az yağlı kıyma örneklerinin (kym) Ohmik ısıtılması sırasında elde edilen bazı deneysel veriler

Voltaj Gradyanı (V/cm)	B1	C1	R^{2*}	T_{ilk} (°C)	T_{son} (°C)	t-deney (s)
	(Bkz. Denklem 3.23)					
10	0,0118	0,4880	0,975	31,1	60,1	273
20	0,0164	0,2698	0,961	32,9	60,0	64
30	0,0159	0,2816	0,973	30,5	61,2	34
40	0,0173	0,3339	0,957	29,5	54,4	16
50	0,0153	0,4200	0,914	32,6	60,4	11

* Regresyon katsayısı

Çizelge 4.22 Yağlı kıyma örneklerinin (ykym) Ohmik ısıtılması sırasında elde edilen bazı deneysel veriler

Voltaj Gradyanı (V/cm)	B1	C1	R^{2*}	T_{ilk} (°C)	T_{son} (°C)	t-deney (s)
	(Bkz. Denklem 3.23)					
10	0,0133	0,2598	0,971	29,6	60,0	370
20	0,0117	0,2675	0,953	30,9	60,2	82
30	0,0132	0,1790	0,979	29,6	60,4	36
40	0,0125	0,2768	0,938	31,0	60,7	20
50	0,0158	0,2580	0,927	30,9	60,1	12

* Regresyon katsayısı

Kıyma örnekleri için SPK değerleri 0,36 ile 0,48 arasında değişmektedir. Başka bir deyişle sisteme verilen elektrik enerjisinin %50-65'i kayba uğraması demektir. Sıvı örneklerle karşılaştırıldığında

oldukça yüksek olan bu enerji kayıplarının, katı örnekler için kullanılacak Ohmik ısıtma sistemlerinin tasarımında dikkate alınması gerekmektedir.

Kıyma örneklerinin Ohmik ısıtılmasında enerji kayıplarını daha detaylı incelemek amacıyla yapılan hesaplamalarda doğal konveksiyon ısı transfer katsayılarının yaklaşık 3-6 W/m^2K arasında değiştiği saptanmıştır (Ek E.1). Ohmik ısıtma denemeleri sırasında test hücresindeki sıcaklık artışının sıvı örneklere oranla daha yüksek yaklaşık 8-32° C arasında ölçülmesine rağmen, doğal konveksiyonla olan ısı kayıpları yine çok düşük, sisteme verilen elektrik enerjisinin yaklaşık %0,01-1,3 arasında olduğu hesaplanmıştır. Cam hücrenin ısınması için kaybedilen ısı miktarı ise %2-10 arasındadır. Ancak örneğin ısınması için almış olduğu enerji kıyma örneklerinde verilen elektrik enerjisinin sadece % 36-48 arasındadır. Bu oran sıvı örneklere göre oldukça düşüktür. Bu nedenle kıyma örneklerinde sisteme verilen elektrik enerjisinin yaklaşık %43-62'inin örnek içerisinde ve elektrot etkileşimleri sonucu kimyasal, elektrokimyasal, faz değişimi vb. reaksiyonlar nedeniyle kayba uğradığı (Assiry et al, 2003) ve ısıya dönüşemediği sonucuna varılmıştır.

t-mod sonuçları ile deneysel sonuçların uyumu oldukça iyidir. Az yağlı kıyma örneğinde matematiksel model tüm voltaj gradyanlarında deneysel sonuçlara göre daha düşük ya da aynı ısıtma süreleri öngörmüştür (Çizelge 4.21 ve 4.23). Az yağlı kıyma örneği için deneysel süreler ile t-mod öngörüleri arasındaki fark en çok 30 V/cm'de %8,8'dir. Daha yağlı kıyma örneği için de deneysel verilerle t-mod öngörüleri oldukça yakındır; 30 V/cm voltaj gradyanı dışında tüm voltaj gradyanlarında matematiksel model daha düşük ısıtma süreleri öngörmüştür. Deneysel ve t-mod süreleri arasındaki fark 12-36 s ısıtma süresi aralığında en fazla ±2 s'dir.

Çizelge 4.23 Az yağlı kıyma örneklerinin (kym) Ohmik ısıtılmasının matematiksel modellenmesinde kullanılan SPK değerleri ve model sonuçları

Voltaj Gradyanı (V/cm)	Q_a (J)	Q_v (J)	SPK	t-adb (s)	t-mod (s)
10	1508	3864	0,390	104	267
20	1458	3626	0,402	25	61
30	1712	4119	0,416	13	31
40	1613	4279	0,377	6	15
50	1777	4993	0,356	4	11

Çizelge 4.24 Yağlı kıyma örneklerinin (ykym) Ohmik ısıtılmasının matematiksel modellenmesinde kullanılan SPK değerleri ve model sonuçları

Voltaj Gradyanı (V/cm)	Q_a (J)	Q_v (J)	SPK	t-adb (s)	t-mod (s)
10	1637	4562	0,359	133	370
20	1575	3712	0,424	34	81
30	1662	3750	0,443	17	38
40	1677	3674	0,456	9	18
50	1707	3580	0,477	5	10

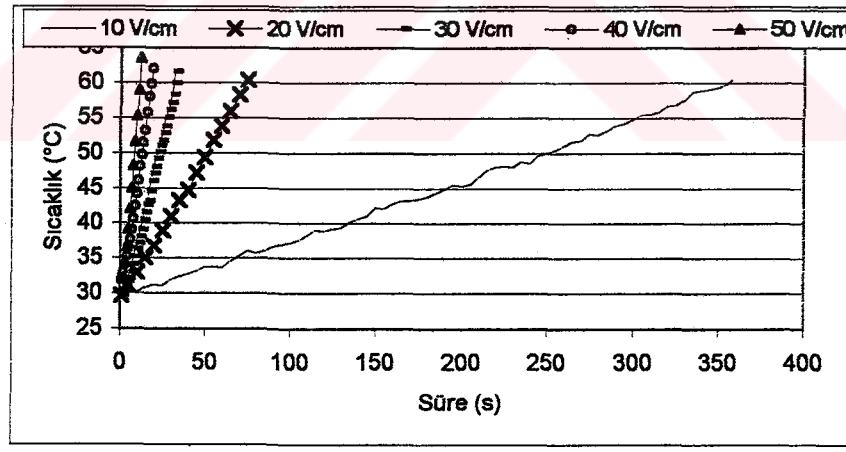
4.2.2 Model gıda örnekleri

Tylose (metil selüloz) donma ve çözünme işlemlerinin modellenmesinde birçok araştırmacı tarafından model gıda analoğu olarak kullanılmıştır (Succar and Hayakawa, 1983, 1984, 1986; Hung and Thompson, 1983; Abdalla and Singh, 1985; Dolan et al., 1987; Cleland et al., 1987; Sheen and Hayakawa, 1991; Pham, 1996; Sanz et al., 1996; Becher and Fricke, 1999, Icier et al., 2000a). %77 su içeriğine sahip olan Tylose örneklerinin termo-fiziksel özelliklerinin % 74 su içeriğine sahip az yağlı sığır etinin termo-fiziksel özelliklerine benzer olduğu belirtilmektedir (Becher and Fricke, 1999). Bu nedenle aynı yaklaşımla %0,2 ile %0,78 arasında farklı tuz içeriğine sahip Tylose örnekleri hazırlanarak, çalışılan dana kıyması örneklerinin elektriksel iletkenliğine ve Ohmik ısıtma hızına yakın bir Tylose karışımı kompozisyonu saptanmaya çalışılmıştır. Elektriksel iletkenliğin örneğin içindeki tuz oranına bağlı olarak değiştiği çeşitli araştırmacılar tarafından belirlenmiştir (Wang and Sastry, 1993a; b; Yongsawatdigul et al., 1995; Park et al., 1995; Kim et al., 1996a; b; Marcotte et al., 2000b; Icier et al., 2000b). Bu etkiden yararlanılarak, ön denemelerde farklı tuz içeriklerine sahip Tylose örneklerinin Ohmik ısıtılması sağlanarak, kıyma örneklerine yakın elektriksel iletkenlik değerleri ve Ohmik ısıtma eğrileri veren tuz kompozisyonları saptanmıştır. Yağ oranı yüksek olan kıyma örneklerinin %0,5 tuz oranına sahip Tylose örnekleri ile yağ oranı düşük olan kıyma örneklerinin ise %0,67 tuz oranına sahip Tylose örnekleri ile benzer elektriksel özelliklere sahip olduğu saptanmıştır.

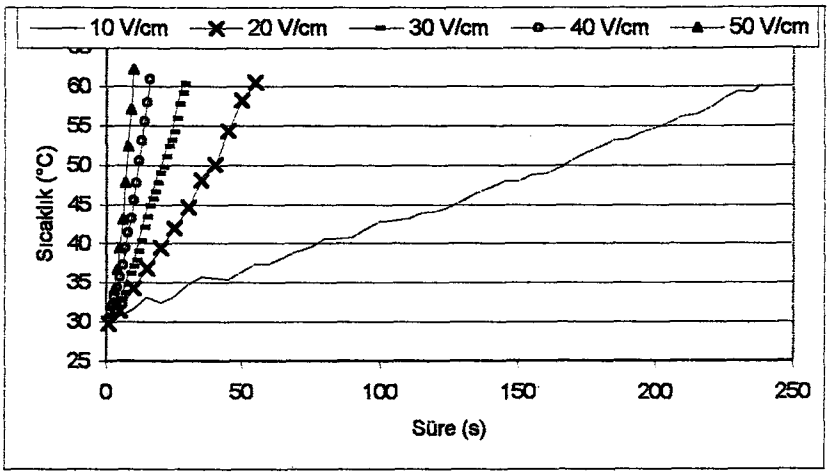
Saptanan kompozisyonlara sahip Tylose örnekleri 5 farklı voltaj gradyanı uygulanarak Ohmik ısıtma yöntemiyle ısıtılmış ve ısıtma

eğrileri (Şekil 4.30 ve 4.31) ile elektriksel iletkenliğin sıcaklıkla değişim eğrileri (Şekil 4.32 ve 4.33) elde edilmiştir.

Aynı tuz içeriğine sahip Tylose örneklerinin elektriksel iletkenlik değerlerinin aynı sıcaklıkta 50 V/cm dışında birbirine çok yakın olduğu saptanmıştır. Sıcaklık arttıkça elektriksel iletkenlik değerlerinin arttığı belirlenmiştir. Tylose örneklerinde de kıyma örneklerinde olduğu gibi 50 V/cm' de örnekten geçen akım değeri oldukça yükselmiş ve 60 °C'nin üzerinde elektrotlar ile örnek yüzeyleri arasında temasın sağlanması zorlaşmıştır. Bu sıcaklığın üzerinde kaydedilen verilerin sağlıklı olmadığı düşünülmüş ve sonuçları verilmemiştir. Aynı zamanda bu voltaj gradyanında Tylose örneklerinde 60°C'nin üzerinde su salımı başlamış ve örneklerde genleşme saptanmış ve jel yapının bozulduğu gözlenmiştir.

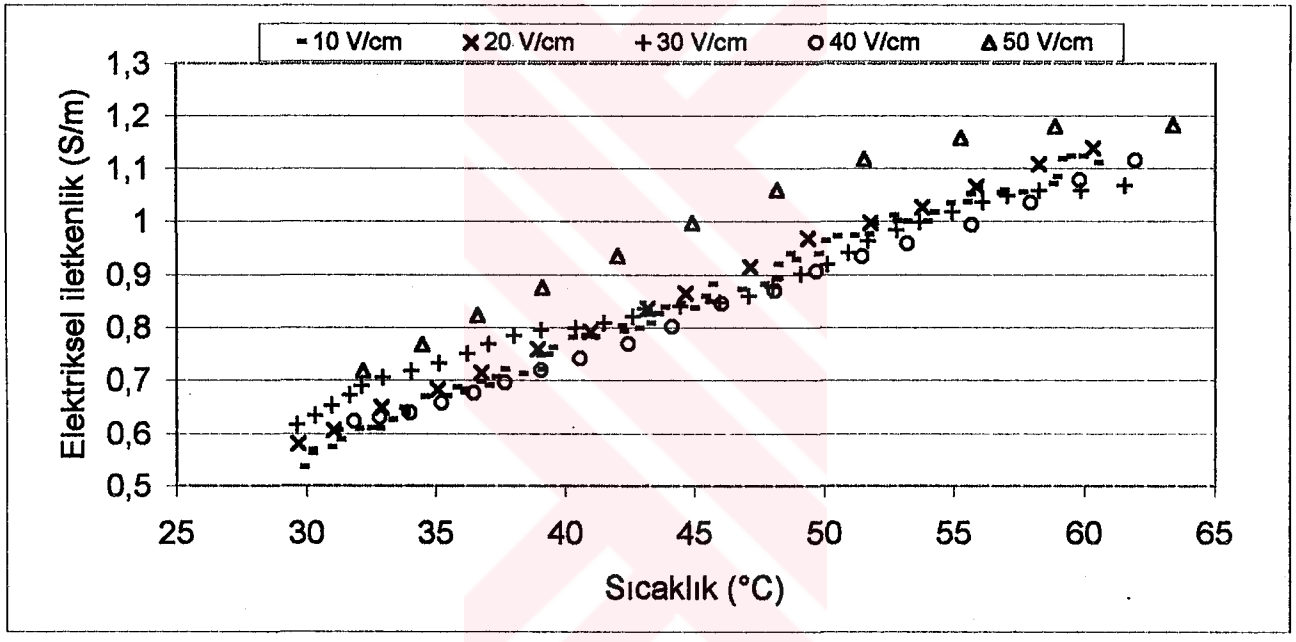


Şekil 4.30 %0,5 tuz içeriğine sahip Tylose örneklerinin (tyl05) 5 farklı voltaj gradyanı ile Ohmik ısıtılması

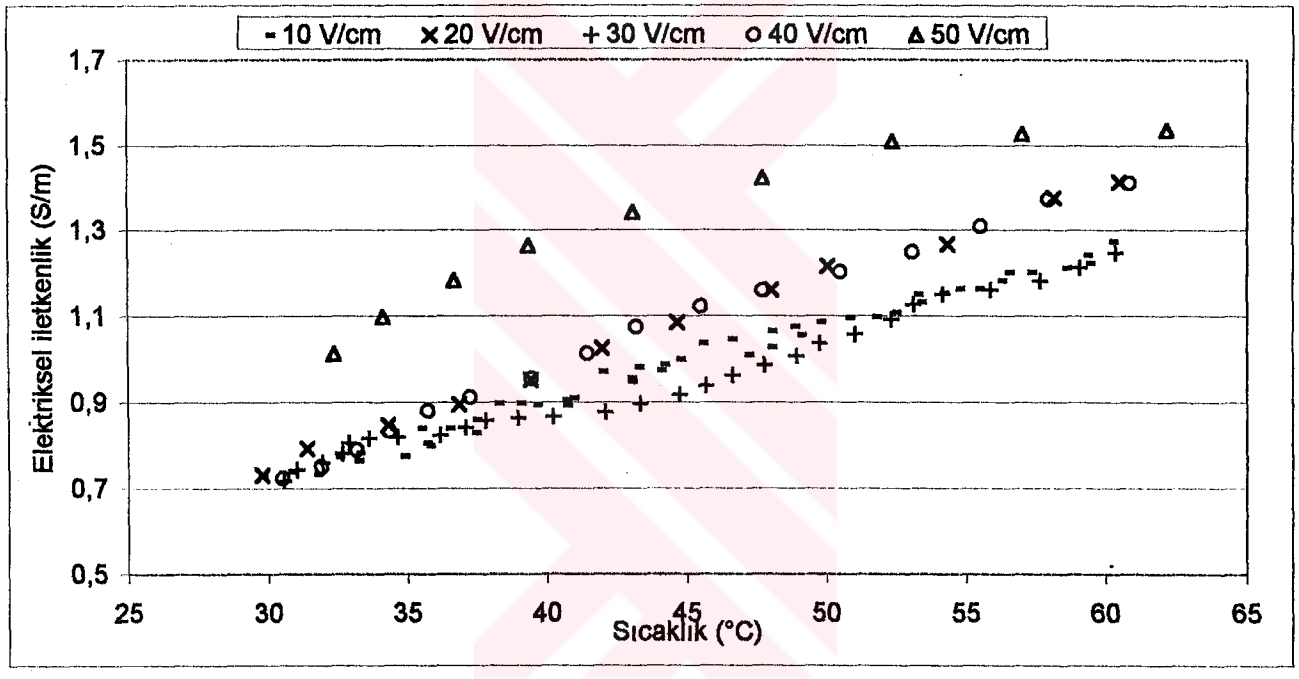


Şekil 4.31 %0,67 tuz içeriğine sahip Tylose örneklerinin (tyl067) 5 farklı voltaj gradyanı ile Ohmik ısıtılması

Her bir voltaj gradyanı uygulaması için Tylose ile kıyma örnekleri arasındaki elektriksel iletkenlik ve ısınma eğrileri benzerliği incelenmiştir (Şekil 4.34-4.43). %0,5 tuz içeren Tylose örnekleri (tyl05) ile yağlı kıyma örneklerinin (ykym) ısıtma eğrileri ve elektriksel iletkenlik değerlerinin sıcaklıkla değişimleri arasındaki uyum voltaj gradyanı arttıkça artmıştır. Benzer ilişki %0,67 tuz içeren Tylose örnekleri (tyl067) ile yağ oranı daha düşük olan kıyma örnekleri (kym) arasında da gözlenmiştir. Tüm voltaj gradyanlarında örnekler arasındaki uyum, kıyma örneklerinde elektriksel iletkenlik düşüşüne denk gelen kritik sıcaklık değerlerinden sonra bozulmaktadır. Kritik sıcaklık değerlerinin uygulanan voltaj gradyanı değeri arttıkça düştüğü belirlenmiştir. Kritik sıcaklık değerlerindeki elektriksel iletkenlik düşüşünün ardından ısıtma hızı düşmüş ve ısıtma eğrilerinin eğiminde değişme gözlenmiştir. Tylose örneklerinde ise kritik sıcaklık jel yapının bozulmaya başladığı 65°C'nin üstünde olmaktadır.



Şekil 4.32 %0,5 tuz içeriğine sahip Tylose örneklerinin farklı voltaj gradyanlarında Ohmik ısıtılması sırasında elde edilen elektriksel iletkenlik değişimleri



Şekil 4.33 %0,67 tuz içeriğine sahip Tylose örneklerinin farklı voltaj gradyanlarında Ohmik ısıtılması sırasında elde edilen elektriksel iletkenlik değişimleri

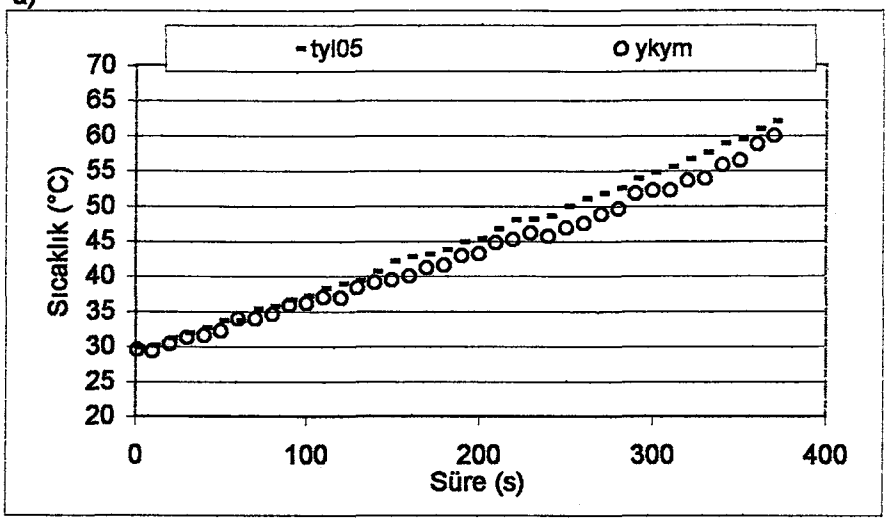
Bu nedenle kritik sıcaklık değerleri kıyma ve Tylose örneklerinde farklıdır. Isıtma eğrilerindeki eğim değişimi bu iki örnek için farklı sıcaklıklarda meydana gelmekte ve uyum bozulmaktadır.

Tylose örneklerinin elektriksel iletkenliklerinin sıcaklıkla değişim ilişkilerinin sabit ve katsayıları ile bu ilişkilerin geçerli olduğu sıcaklık aralığı Çizelge 4.25 ve 4.26'da verilmiştir.

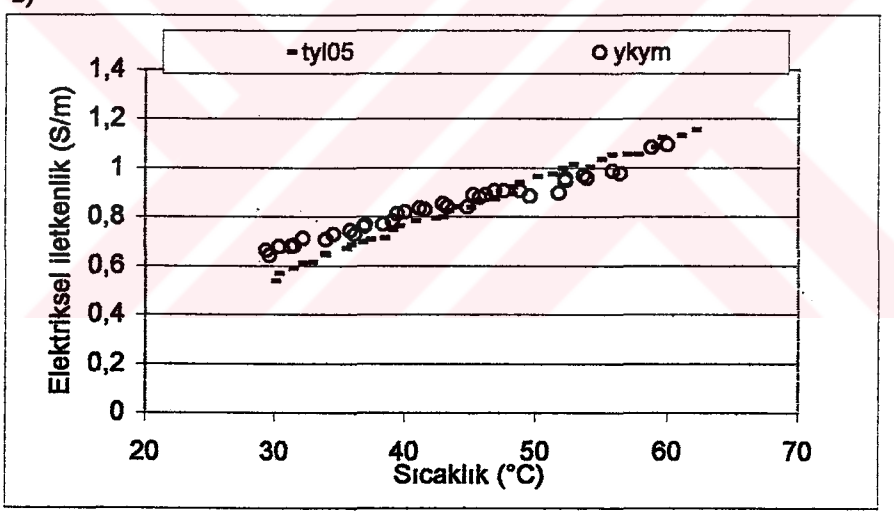
Katı örneklerin Ohmik ısıtılmasının matematiksel olarak ifade edilmesi amacıyla geliştirilen modelde, Tylose örnekleri için Çizelge 4.25 ve 4.26'da verilen elektriksel iletkenlik-sıcaklık ilişkileri ve sıcaklık aralıkları kullanılmıştır.

Sisteme verilen enerjinin tamamının Tylose örneklerine aktarıldığını kabul eden ve SPK değerlerinin "1" olarak alınması ile ısıtma süreleri öngören model sonuçları "t-adb" olarak gösterilmiştir (Çizelge 4.27 ve 28). Bu modelde katı örnek içinde iletimle ısı transferi de dikkate alınmıştır (Ek B.2). Çizelge 4.27 ve 4.28'den de görüldüğü gibi tüm voltaj gradyanlarında t-adb süreleri deneysel ısıtma sürelerinden daha kısa öngörülmüştür. Bu nedenle matematiksel model, sistemdeki enerji kayıplarını da dikkate alacak şekilde düzenlenmiştir (Ek B.2). Çizelge 4.27 ve 4.28'de tüm voltaj gradyanları için sisteme verilen ve örnek tarafından alınan enerjiler, SPK değerleri ve model sonuçları görülmektedir. SPK değerlerini kullanan modelin ısıtma süreleri "t-mod" ile gösterilmiştir. Tylose örnekleri için SPK değerleri 0,41 ile 0,53 arasında değişmektedir. Bu da sisteme verilen elektrik enerjisinin yaklaşık %50'i kayba uğraması demektir ki; sistem ekonomisi açısından oldukça önemli bir kayıptır. Bu kaybın önlenmesi ve/veya ölçülebilmesi amacıyla çalışmaların devam etmesi gerektiği düşünülmektedir.

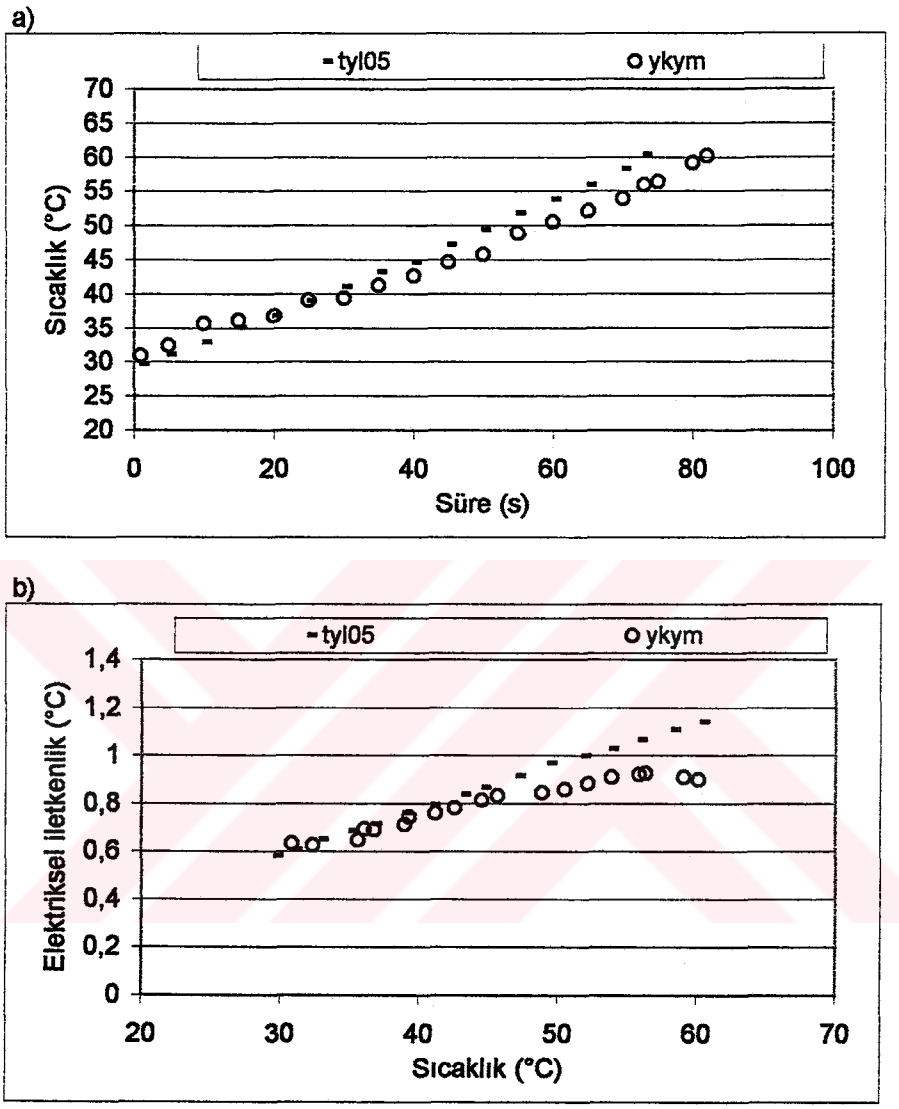
a)



b)

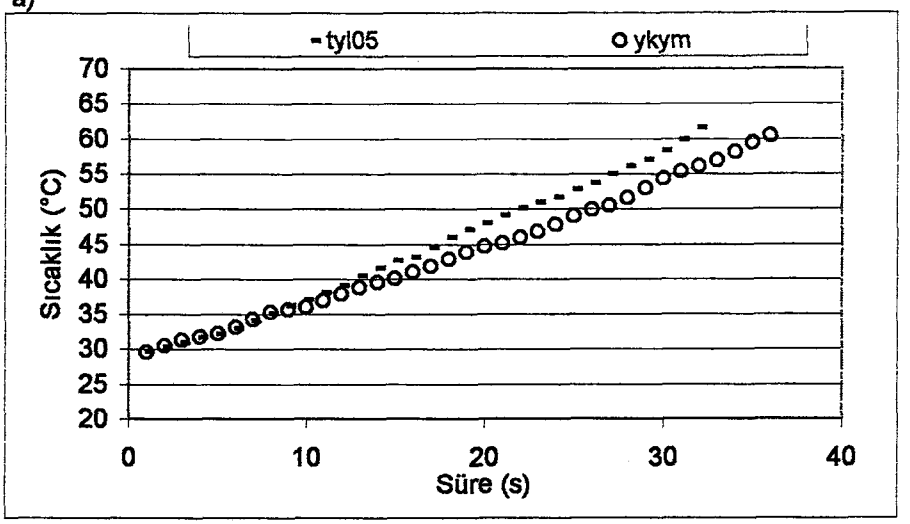


Şekil 4.34 Tylose (tyl05) ve kıyma (ykym) örneklerinin 10 V/cm voltaj gradyanında Ohmik ısıtılmasında a) ısıtma eğrileri ve b) elektriksel iletkenlik değişimleri uyumu

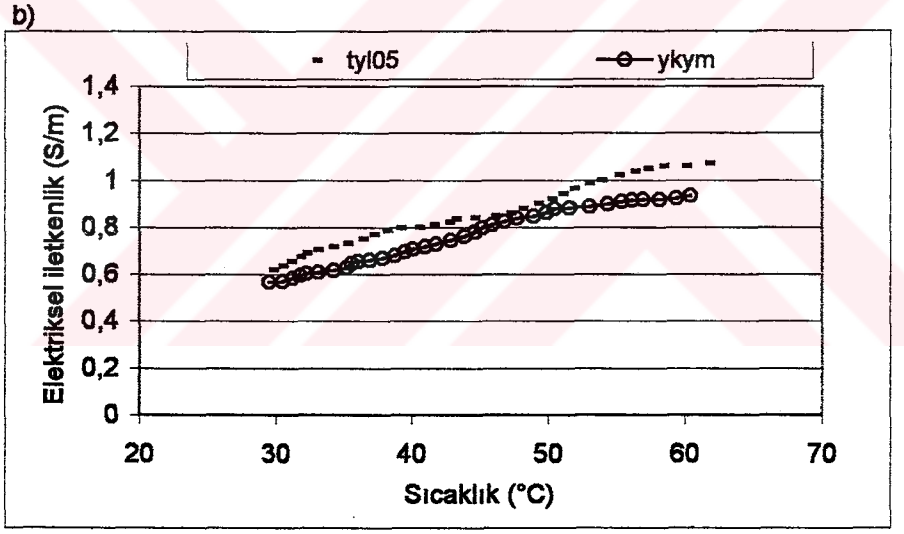


Şekil 4.35 Tylose (tyl05) ve kıyma (ykym) örneklerinin 20 V/cm voltaj gradyanında Ohmik ısıtılmasında a) ısıtma eğrileri ve b) elektriksel iletkenlik değişimleri uyumu

a)

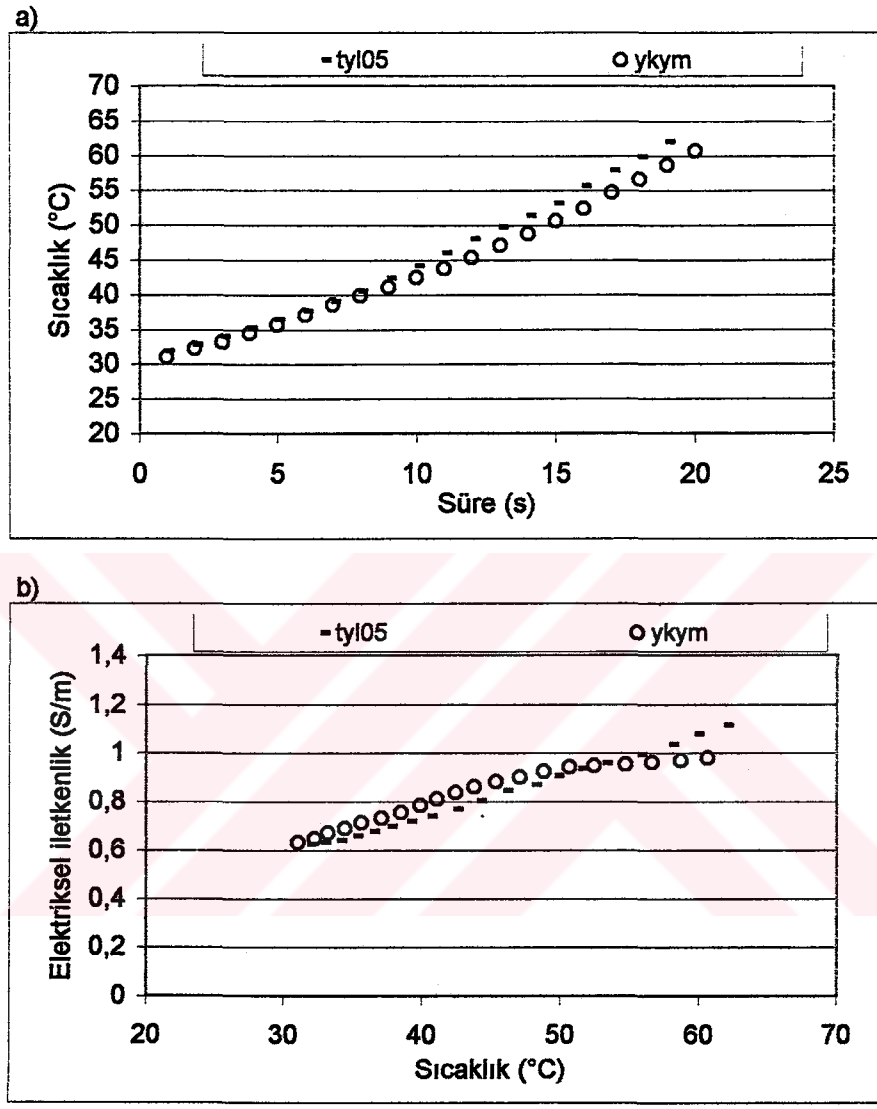


b)

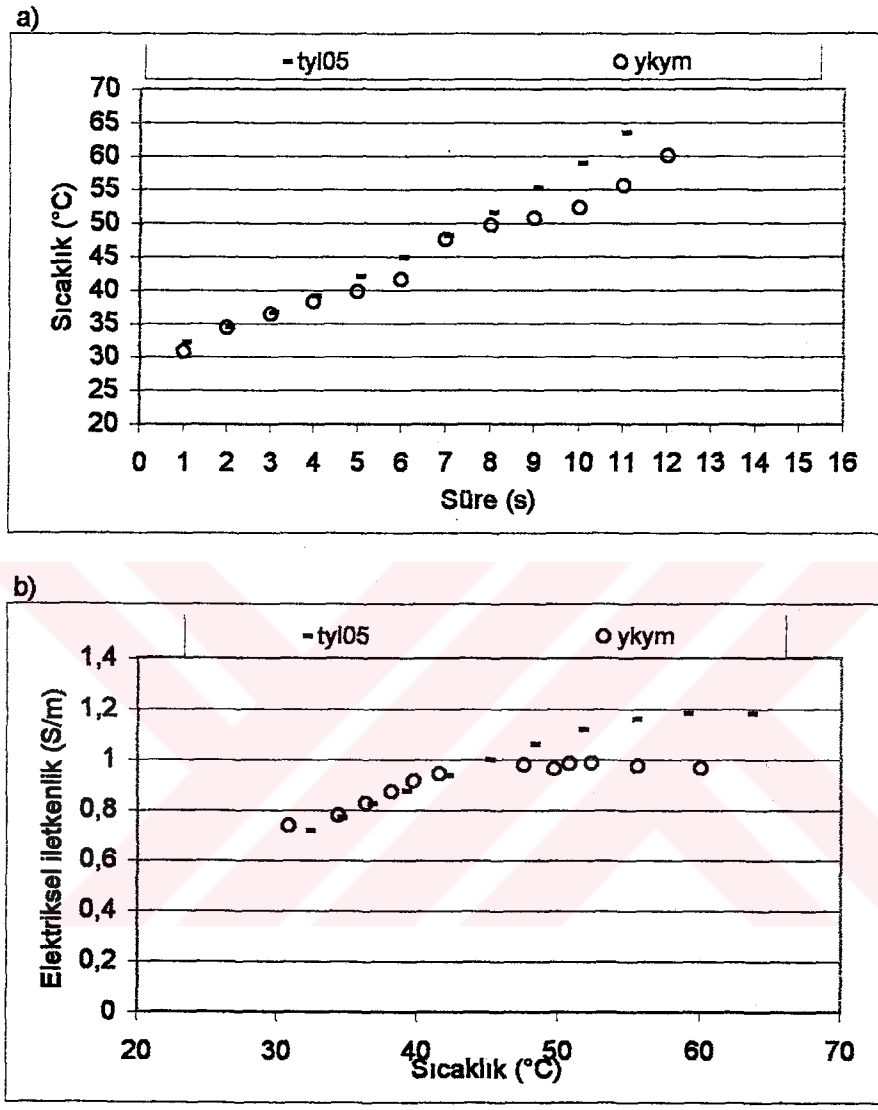


Şekil 4.36 Tylose (tyl05) ve kıyma (ykym) örneklerinin 30 V/cm voltaj gradyanında Ohmik ısıtılmasında a) ısıtma eğrileri ve b) elektriksel iletkenlik değişimleri uyumu

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ



Şekil 4.37 Tylose (tyl05) ve kıyma (ykym) örneklerinin 40 V/cm voltaj gradyanında Ohmik ısıtılmasında a) ısıtma eğrileri ve b) elektriksel iletkenlik değişimleri uyumu



Şekil 4.38 Tylosc (tyl05) ve kıyma (ykym) örneklerinin 50 V/cm voltaj gradyanında Ohmik ısıtılmasında a) ısıtma eğrileri ve b) elektriksel iletkenlik değişimleri uyumu

Çizelge 4.25 %0,5 tuz içeriğine sahip Tylose (tyl05) Ohmik ısıtılması sırasında elde edilen elektriksel iletkenlik değişimi empirik sabitleri ve katsayıları ile bazı deneysel veriler

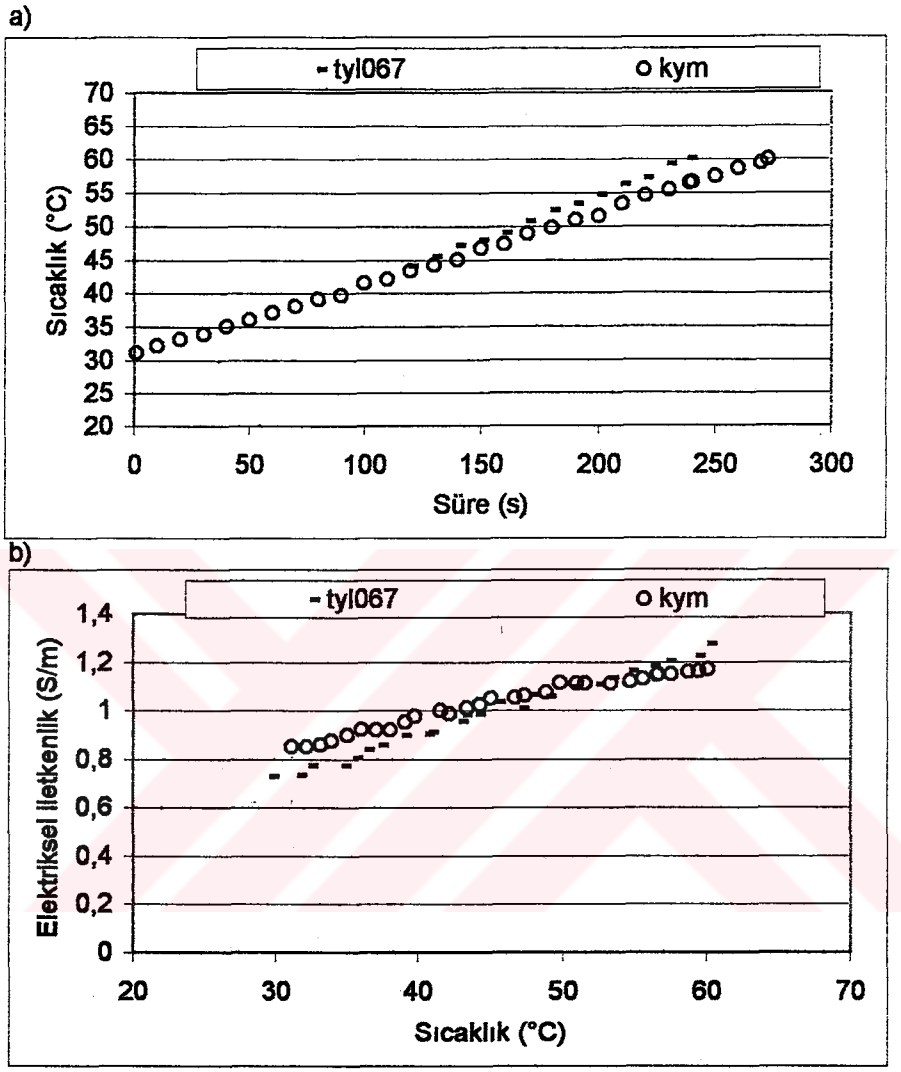
Voltaj Gradyanı (V/cm)	B1 (Bkz. Denklem 3.23)	C1	R^{2*}	T_{ilk} (°C)	T_{son} (°C)	t-deney (s)
10	0,0181	0,0338	0,996	29,7	60,1	310
20	0,0182	0,0495	0,997	29,7	60,4	73
30	0,0141	0,2284	0,986	29,6	61,6	32
40	0,0167	0,0734	0,998	31,9	62,0	19
50	0,0160	0,2450	0,947	32,2	63,4	11

* Regresyon katsayısı

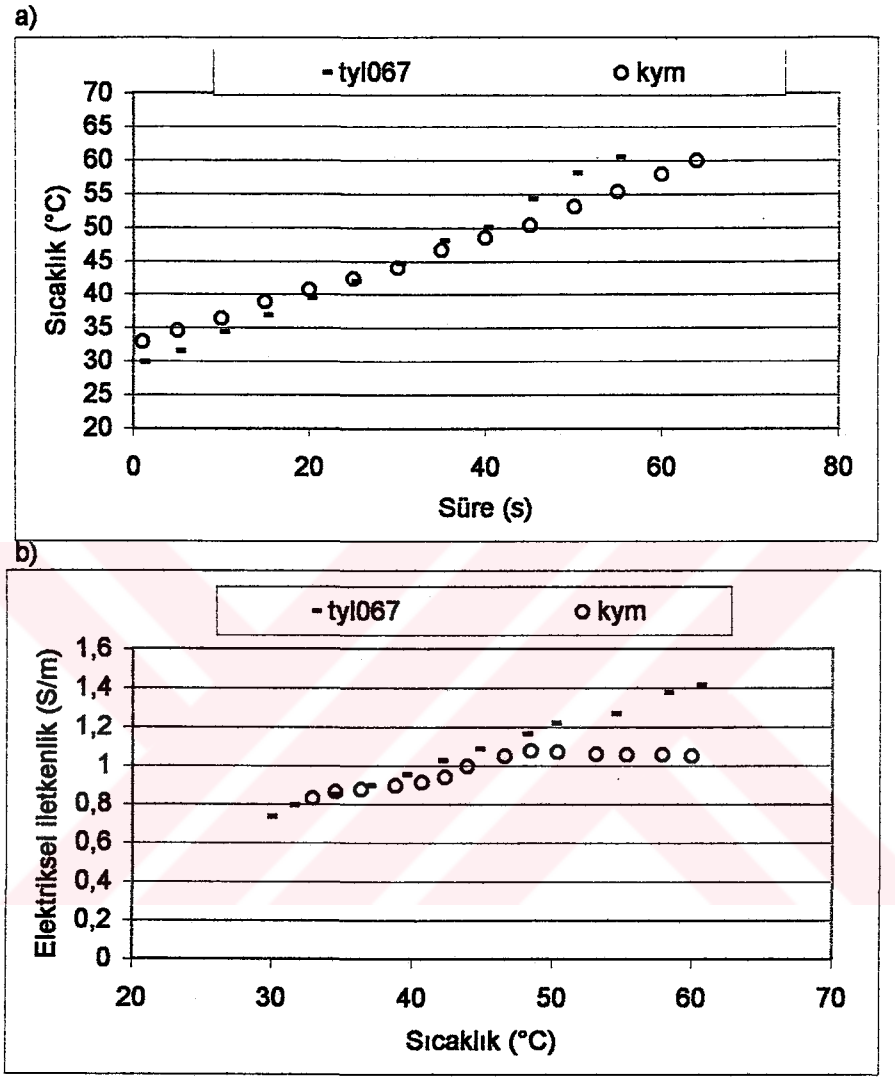
Çizelge 4.26 %0,67 tuz içeriğine sahip Tylose (tyl067) Ohmik ısıtılması sırasında elde edilen elektriksel iletkenlik değişimi empirik sabitleri ve katsayıları ile bazı deneysel veriler

Voltaj Gradyanı (V/cm)	B1 (Bkz. Denklem 3.23)	C1	R^2	T_{ilk} (°C)	T_{son} (°C)	t-deney (s)
10	0,0173	0,2151	0,994	29,7	60,2	239
20	0,0219	0,0948	0,996	29,8	60,5	53
30	0,0160	0,2500	0,982	30,6	60,3	28
40	0,0208	0,1316	0,985	30,5	60,9	16
50	0,0200	0,3949	0,948	32,4	62,2	9

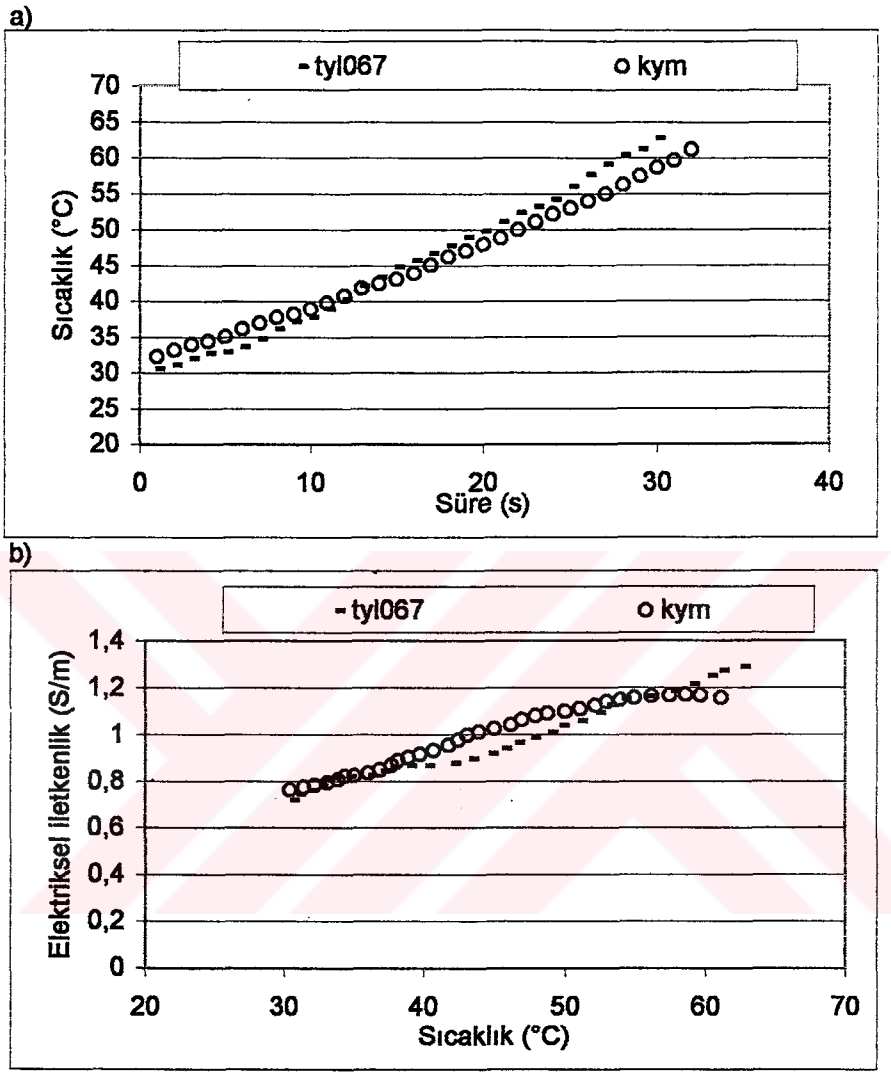
* Regresyon katsayısı



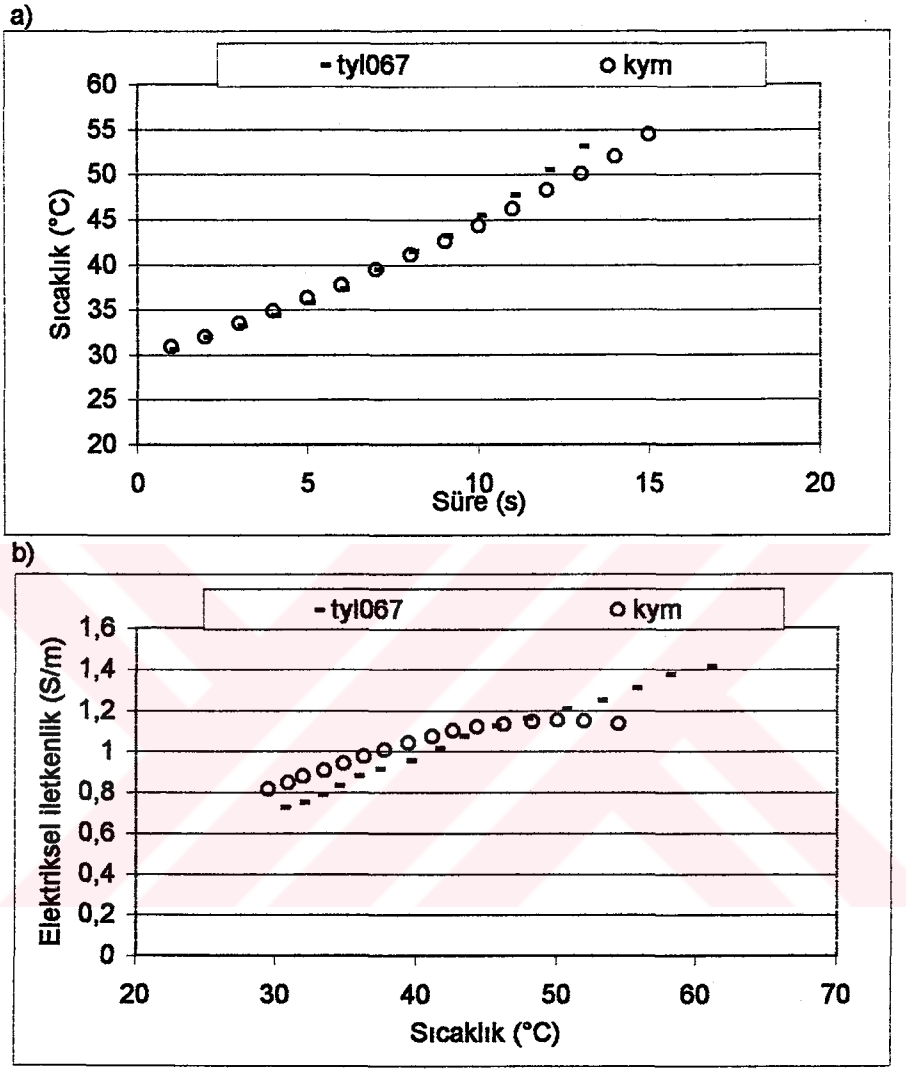
Şekil 4.39 Tylose (tyl067) ve kıyma (kym) örneklerinin 10 V/cm voltaj gradyanında Ohmik ısıtılmasında a) ısıtma eğrileri b) elektriksel iletkenlik değişimleri uyumu



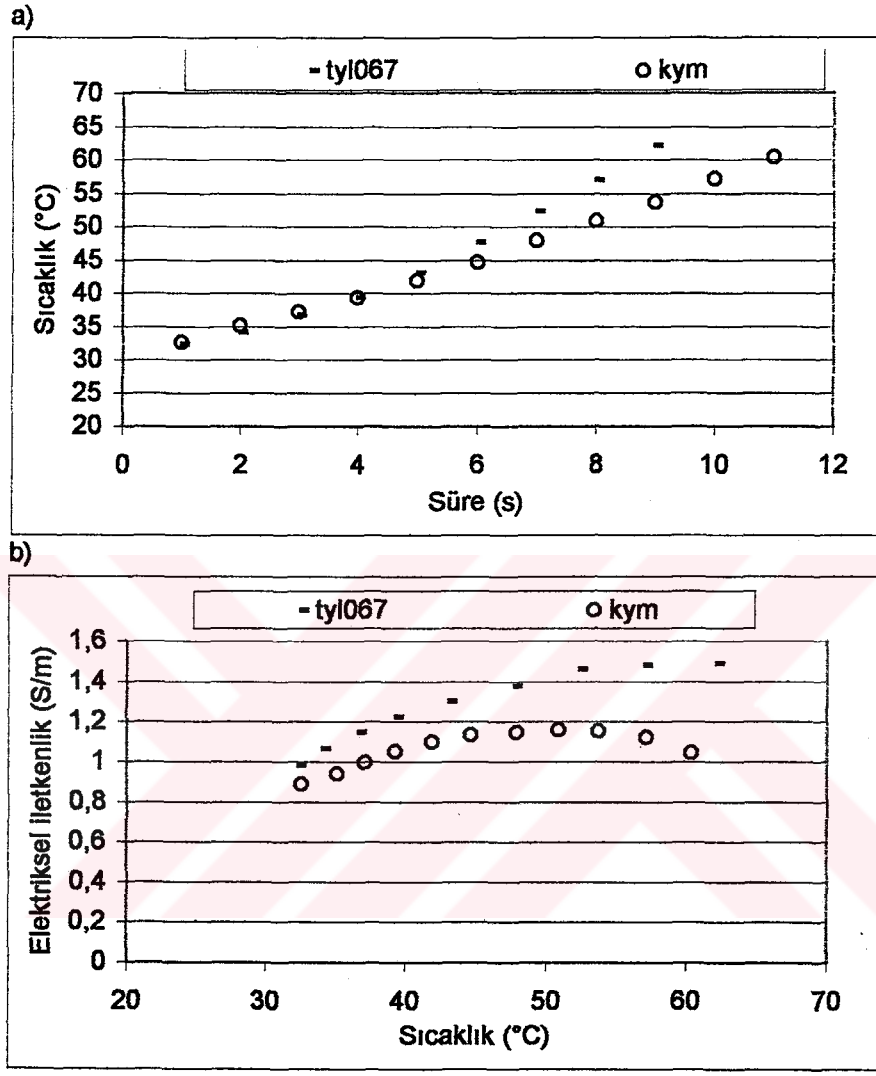
Şekil 4.40 Tylose (tyl067) ve kıyma (kym) örneklerinin 20 V/cm voltaj gradyanında Ohmik ısıtılmasında a) ısıtma eğrileri b) elektriksel iletkenlik değişimleri uyumu



Şekil 4.41 Tylose (tyl067) ve kıyma (kym) örneklerinin 30 V/cm voltaj gradyanında Ohmik ısıtılmasında a) ısıtma eğrileri b) elektriksel iletkenlik değişimleri uyumu



Şekil 4.42 Tylose (tyl067) ve kıyma (kym) örneklerinin 40 V/cm voltaj gradyanında Ohmik ısıtılmasında a) ısıtma eğrileri b) elektriksel iletkenlik değişimleri uyumu



Şekil 4.43 Tylosc (tyl067) ve kıyma (kym) örneklerinin 50 V/cm voltaj gradyanında Ohmik ısıtılmasında a) ısıtma eğrileri b) elektriksel iletkenlik değişimleri uyumu

Tylose örneklerinin Ohmik ısıtılmasında da enerji kayıpları detaylı olarak incelenmiştir. Doğal konveksiyon ısı transfer katsayılarının 4-6 W/m^2K arasında olduğu ve test hücresi materyalindeki sıcaklık artışının 4-25°C arasında değiştiği ölçülmüştür. Doğal konveksiyonla olan ısı kayıplarının voltaj gradyanı arttıkça azaldığı ve %0,004-1,5 arasında olduğu hesaplanmıştır. Cam hücrenin ısınması için kaybedilen ısı miktarı da %1,2-8 arasındadır. Kıyma örneklerinde olduğu gibi örneğin ısınması için almış olduğu enerji sisteme verilen elektrik enerjisinin yaklaşık %41-53'ü düzeyindedir ve sıvı örneklere kıyasla oldukça düşüktür. Sisteme verilen enerjinin yukarıda bahsedilen kayıplar dışında kalan kısmı ise ısı enerjisine dönüşemeyen ve örnek içerisinde gerçekleşen bazı reaksiyonlara harcanan kısmıdır denilebilir (Assiry et al, 2003). Bu kayıpların düşük voltaj gradyanlarında % 42 -50 arasında olduğu ve yüksek voltaj gradyanlarında % 52-58 arasında olduğu saptanmıştır. Voltaj gradyanı artışının sistemdeki kayıpların artışına neden olduğu ve SPK değerlerinin de bu açıdan sistem performansını gösterebildiği belirlenmiştir.

Tylose örnekleri için t-mod öngörüleri genel olarak deneysel sonuçlara yakındır. %0,5 tuz içeriğine sahip Tylose örneği için 10 ve 30 V/cm voltaj gradyanı ile %0,67 tuz içeriğine sahip Tylose örneği için 10 V/cm voltaj gradyanı dışında tüm voltaj gradyanlarında matematiksel model deneysel sonuçlardan daha kısa ısıtma süreleri öngörmüştür. Tylose örnekleri için t-mod ile deneysel sonuçlar arasındaki fark en fazla en düşük voltaj gradyanında saptanmıştır. Elektriksel iletkenlik değerleri arasındaki uyum bozulsa da ısıtma eğrileri arasındaki benzerlik devam etmektedir Bu nedenle, % 0,5 tuz içeriğine sahip Tylose örneklerinin yağlı kıyma örnekleri için (Çizelge 3.4), %0,67 tuz içeriğine sahip Tylose örneklerinin ise az yağlı kıyma örnekleri için (Çizelge 3.4) bir model gıda alternatifi olabileceği düşünülmektedir.

Çizelge 4.27 %0,5 tuz içeriğine sahip Tylose örneklerinin (tyl05) Ohmik ısıtılmasının matematiksel modellenmesinde kullanılan SPK değerleri ve model sonuçları

Voltaj Gradyanı (V/cm)	Q_a (J)	Q_v (J)	SPK	t-adb (s)	t-mod (s)
10	1680	3975	0,423	140	331
20	1700	3404	0,500	35	69
30	1700	3633	0,468	16	34
40	1554	3371	0,461	9	19
50	1875	4297	0,436	5	11

Çizelge 4.28 %0,67 tuz içeriğine sahip Tylose örneklerinin (tyl067) Ohmik ısıtılmasının matematiksel modellenmesinde kullanılan SPK değerleri ve model sonuçları

Voltaj Gradyanı (V/cm)	Q_a (J)	Q_v (J)	SPK	t-adb (s)	t-mod (s)
10	1681	3694	0,453	118	259
20	1694	3210	0,528	28	53
30	1643	3476	0,473	13	28
40	1674	3627	0,462	7	15
50	1644	4005	0,411	4	9

5 GENEL SONUÇ VE ÖNERİLER

Genel olarak tüm örneklerde voltaj gradyanı arttıkça ısıtma süresinin azaldığı ve gıda maddelerinin elektriksel iletkenlik değerlerinin sıcaklık arttıkça doğrusal olarak artış gösterdiği saptanmıştır.

Elektriksel iletkenlik değerlerinin sıcaklığa, uygulanan voltaj gradyanına ve gıdanın kompozisyonuna bağlı olarak değişebildiği tespit edilmiştir. Bu çalışmada elde edilen elektriksel iletkenlik ilişkilerinin Ohmik ısıtıcı tasarımlarında önemli yer tutacağı düşünülmektedir.

Ohmik ısıtma sistemlerinin matematiksel modellenmesinde sistemdeki enerji kayıpları da dikkate alınmıştır. Sisteme verilen elektrik enerjisinin ve örneğin ısınması için aldığı enerjinin dışında kalan enerji kayıplarının analizi yapılmış ve matematiksel modelde dikkate alınarak deneysel verilere daha iyi uyum sağlayan Ohmik ısıtma süreleri öngörülmüştür. Örneklerin Ohmik ısıtılmasında enerji kayıplarını daha detaylı incelemek amacıyla yapılan hesaplamalarda doğal konveksiyon ısı transfer katsayılarının 3-6 W/m^2K arasında değiştiği saptanmıştır. Doğal konveksiyonla dış ortama olan ısı kaybının sisteme verilen elektrik enerjisinin sıvı örneklerde % 0,002-0,64'ü, katı örneklerde %0,004-1,5'i arasında olduğu saptanmış ve ihmal edilebilecek düzeyde olduğu sonucuna varılmıştır. Cam test hücresini ısıtmak için kaybedilen ısı miktarı ise sisteme verilen elektrik enerjisinin sıvı örneklerde %0,65-10'u, katı örneklerde %1,2-10'u arasında olduğu hesaplanmış ve özellikle düşük voltaj gradyanlarında enerji kaybını açıklayabileceği ancak yüksek voltaj gradyanlarında ihmal edilebilecek düzeyde oldukları sonucuna varılmıştır. Özellikle katı örneklerde önem taşıyan ve bahsedilen ısı kayıpları dışında kalan elektrik enerjisi kayıplarının elektrot etkileşimleri ve örnek içerisindeki kimyasal, elektrokimyasal ve

fiziksel reaksiyonlara harcandığı düşünülmektedir (Assiry et al, 2003). Ancak bu konuda bu çalışma kapsamında daha detaylı yorum yapmak mümkün olamamaktadır. Bu konuda ileride daha detaylı çalışmalar yapılması gerektiği düşünülmektedir.

Bunun yanında kullanılan gıda maddesine ve kompozisyonuna, uygulanan voltaj gradyanı aralığına bağlı olarak bulunan sonuçlar ve öneriler bu bölümde genel sonuçlar şeklinde özetle verilmiştir.

% 13 ve %14 şeker içeriklerine sahip şurup örneklerinde, aynı asitlik içeriğinde voltaj gradyanının elektriksel iletkenlik-sıcaklık değişimini etkilemediği ve 0,1-0,2 S/m arasında sıcaklığa bağlı bir bant oluşturduğu görülmüştür. Aynı voltaj gradyanında şeker içeriği arttıkça 30°C'den 60°C'ye ısıtmak için gerekli sürenin arttığı görülmüştür. Ayrıca şeker içeriğinin %13'den %14'e artması, aynı voltaj gradyanlarında ve aynı sıcaklık için, elektriksel iletkenlik değerlerinde de azalışa neden olmuştur. Tüm asitlik içeriklerinde voltaj gradyanı artışının ısıtma hızında artışa sebep olduğu ve sıcaklık arttıkça elektriksel iletkenliğin artığı tespit edilmiştir. Asitlik içeriği arttığında aynı voltaj gradyanı ve sıcaklık için elektriksel iletkenlik değerlerinde artış olduğu tespit edilmiştir. Özet olarak şurup örneklerinin Ohmik ısıtılması denemelerinde şeker içeriği düştükçe ve asitlik miktarı arttıkça elektriksel iletkenlik değerlerinin arttığı ve ısıtma süresinin azaldığı tespit edilmiştir.

Tüm meyve suyu ve nektarlarında voltaj gradyanı arttırıldıkça Ohmik ısıtma süresinin azaldığı tespit edilmiştir. Tüm voltaj gradyanlarında sıcaklık arttıkça elektriksel iletkenlik değerleri doğrusal olarak artış göstermiştir. Her meyve suyu ve nektarı kendi içinde 18,75-76,67 V/cm voltaj gradyanı aralığında bir bant oluşturmuştur. Meyve

suyu ve nektarlarına hazırlama sırasında katılan şurup miktarına ve mamul ürün şeker içeriğine bağlı olarak ısıtma hızının değişebileceği saptanmıştır. Düşük oranda bulunan çözünmeyen katı madde miktarının elektriksel iletkenlik değerleri üzerine etki etmediği sonucuna varılmıştır. Özetle, meyve suyu ve nektarlarına hazırlama sırasında yapılan şeker ve asitlik ayarlaması elektriksel iletkenliklerini ve ısıtma hızlarını değiştirmektedir.

Aynı konsantrasyona sahip meyve konsantreleri arasında karşılaştırma yapıldığında, tüm voltaj gradyanlarında aynı sıcaklık için, vişne konsantrelerinin en yüksek elektriksel iletkenliğe, elma konsantrelerinin ise en düşük elektriksel iletkenliğe sahip olduğu saptanmıştır. Bunun sonucu olarak da, en yüksek asitlik değerine sahip vişne konsantreleri tüm konsantrasyonlarda ve tüm voltaj gradyanları için portakal konsantrelerinden ve elma konsantrelerinden daha hızlı ısınmıştır. En geç ısınan örnekler asitlik ve elektriksel iletkenlik değeri en düşük olan elma konsantreleri olmuştur.

Meyve suyu konsantrelerinde aynı konsantrasyon için, aynı sıcaklıkta, voltaj gradyanı artışının elektriksel iletkenlik değerleri üzerine etkili olduğu belirlenmiştir. Yüksek voltaj gradyanlarında, yüksek elektriksel iletkenlik etkisiyle oluşan yüksek ısı jenerasyonu örneklerin daha kısa sürede ısınmasını sağlamıştır.Aynı voltaj gradyanı için, aynı sıcaklıkta, konsantrasyon arttıkça ölçülen elektriksel iletkenlik değerleri genel olarak azalmıştır. Meyve suyu konsantrelerinde çözünür katı madde oranı artışının elektriksel iletkenlik değerini düşürdüğü ve aralarındaki ilişkinin üssel olduğu saptanmıştır. Uygulanan voltaj gradyanı ve konsantrasyon aralıklarını kapsayacak genel bir elektriksel iletkenlik denkleminin elde edilmesinin, pratikte Ohmik ısıtıcıların dizaynında çok önemli yer tutacağı düşünülmektedir.

SPK değerlerinin uygulanan voltaj gradyanı değerlerine bağlı olduğunu göstermektedir. Tüm meyve suyu konsantrelerinde voltaj gradyanı arttıkça SPK değerlerinde azalma gözlenmiştir. SPK değerleri meyve suyu konsantreleri için 0,47-0,92 arasında saptanmıştır.

Sisteme verilen elektrik enerjisinin bir kısmı örnek içinde ısı enerjisine dönüşebilmektedir. Enerjinin geri kalan kısmı test hücresinin materyalinin ısınması, çevreye olan konvektif ısı kayıpları ve sistemdeki elektriksel kayıplar nedeniyle kayba uğramaktadır. Voltaj gradyanının elektriksel iletkenlikleri de etkilediği düşünüldüğünde, aynı konsantrasyon için elektriksel iletkenlik değerleri arttıkça SPK değerlerinin azaldığı ve toplam enerji kayıplarının arttığı söylenebilir. Elma ve portakal suyu konsantrelerinin vişne suyu konsantrelerine oranla elektriksel iletkenlik değerleri daha düşüktür ve SPK değerleri daha yüksek olarak saptanmıştır.

Sıcaklığa ve voltaj ile sıcaklığa bağlı elektriksel iletkenlik denklemleri kullanıldığında matematiksel modelin deneysel verilerle de uyumunun, bazı konsantrasyonlarda 30 V/cm uygulamalarındaki %18'lik fark dışında, çok iyi olduğu saptanmıştır. Genel elektriksel iletkenlik denklemini kullanan matematiksel modelin hesaplamış olduğu t-modCVT süreleri, meyve suyu konsantrelerinde deneysel ısıtma süreleri ile genel olarak birbirine yakın çıkmıştır. Ancak matematiksel model portakal ve elma sularının yüksek konsantrasyonlarında bazı voltaj gradyanlarında deneysel verilerden sapma göstermiştir.

Meyve püreleri ile meyve suyu konsantrelerinin en düşük konsantrasyona ait ısıtma zamanları aynı voltaj gradyanı için karşılaştırıldığında, pürelerin hem konsantrasyonlarının daha düşük olması hem de asitlik düzeylerinin daha yüksek olması nedeniyle, %20

konsantrasyona sahip elma suyundan daha hızlı ısındığı tespit edilmiştir. İki meyve püresi kendi aralarında karşılaştırıldığında ise, asitlik düzeyi yüksek olan kayısı püresinin tüm voltaj gradyanlarında şeftali püresinden daha hızlı ısındığı görülmektedir (Şekil 4.19 ve 4.20). Asitlik düzeyleri yüksek olan pürelerin özellikle yüksek voltaj gradyanlarında 50°C'ye yakın sıcaklıklarda köpürme gözlenmiş ve ısıtma durdurulmak zorunda kalmıştır. Köpürmenin etkisiyle bu sıcaklıklardan sonra elektriksel iletkenlik değerlerinde azalma oluşmuştur.

Pürelerde voltaj gradyanını arttırarak ısıtma süreleri azaltılabilir ancak köpürme gerçekleşmeden 60°C'nin üzerine ısıtılmak istendiğinde 60 V/cm'nin altında voltaj gradyanı uygulamak gerekmektedir.

Her iki püre için de Ohmik ısıtma sırasında elektriksel iletkenliğin sıcaklıkla değişimi bir bant oluşturmaktadır. Şeftali ve kayısı pürelerinin belirlenen son sıcaklığa Ohmik ısıtılması sırasında, sisteme verilen (Qv) ve püreler tarafından alınabilen (Qa) enerji miktarları Denklem 3.14 ve 3.15'e göre hesaplanmış ve Çizelge 4.18 ve 4.19'da verilmiştir. Uygulanan voltaj gradyanı azaldıkça genel olarak kayıpların azaldığı görülmektedir. Matematiksel model sonuçlarının deneysel verilerle de oldukça iyi uyum sağladığı saptanmıştır.

Isıtma eğrileri ve elektriksel iletkenliğin sıcaklıkla değişimleri incelendiğinde voltaj gradyanı sağlanma şeklinin ısıtma hızını etkilemediği tespit edilmiştir. Genel olarak ısıtma hızı üzerine voltaj gradyanı sağlama şeklinden çok voltaj gradyanının değerinin etkisi olduğu sonucuna varılmıştır.

Tıpa ile kapatmak köpürme işlemini geciktirmiş, özellikle 20 V/cm'de ısıtma hızını arttırmıştır.

Genel olarak katı örneklerin Ohmik ısıtılmasının sıvı örneklere oranla daha sorunlu olduğu ve sistem performansının daha düşük olduğu saptanmıştır.

Her voltaj gradyanı uygulamasında kıyma örneklerinin elektriksel iletkenlikleri 50-60°C'ye kadar sıcaklık artıkça artmış, ancak bu kritik sıcaklıklara ulaştıktan sonra azalma gözlenmiştir. Kritik sıcaklık değerlerinin yüksek voltaj gradyanlarında düşük voltaj gradyanlarına oranla daha düşük olduğu saptanmıştır.

Yağı düşük protein oranı yüksek olan kıyma örneklerinin, yağ oranı yüksek protein oranı düşük olan kıyma örneklerine göre aynı sıcaklıkta daha yüksek elektriksel iletkenliğe sahip oldukları saptanmıştır. 10 V/cm ile 50 V/cm arasında uygulanan farklı voltaj gradyanlarının kıyma örneklerinin Ohmik ısıtma süreleri üzerine etkisinin önemli düzeyde olduğu saptanmıştır.

Kıyma örnekleri için SPK değerleri 0,36 ile 0,48 arasında değişmektedir. Başka bir deyişle sisteme verilen elektrik enerjisinin %50-65'i kayba uğraması demektir. Sıvı örneklerle karşılaştırıldığında oldukça yüksek olan bu enerji kayıplarının, katı örnekler için kullanılacak Ohmik ısıtma sistemlerinin tasarımında dikkate alınması gerekmektedir.

t-mod sonuçları ile deneysel sonuçların uyumu oldukça iyidir. Az yağlı kıyma örneğinde matematiksel model tüm voltaj gradyanlarında deneysel sonuçlara göre daha düşük ya da aynı ısıtma süreleri öngörmüştür.

Tylose örnekleri için SPK değerleri 0,41 ile 0,53 arasında değişmektedir. Bu da sisteme verilen elektrik enerjisinin yaklaşık %50'i kayba uğraması demektir ki; sistem ekonomisi açısından oldukça önemli bir kayıptır. Bu kaybın önlenmesi ve/veya ölçülebilmesi amacıyla çalışmaların devam etmesi gerektiği düşünülmektedir.

Tylose örnekleri için t-mod ile deneysel sonuçlar arasındaki fark en fazla en düşük voltaj gradyanında saptanmıştır. Tylose örneklerinde de kıyma örneklerinde olduğu gibi 50 V/cm' de örnekten geçen akım değeri oldukça yükselmiş ve 60 °C'nin üzerinde elektrotlar ile örnek yüzeyleri arasında temasın sağlanması zorlaşmıştır.

Yağ oranı yüksek olan kıyma örneklerinin %0,5 tuz oranına sahip Tylose örnekleri ile yağ oranı düşük olan kıyma örneklerinin ise %0,67 tuz oranına sahip Tylose örnekleri ile benzer elektriksel özelliklere sahip olduğu saptanmıştır. Her bir voltaj gradyanı uygulaması için Tylose ile kıyma örnekleri arasındaki elektriksel iletkenlik ve ısınma eğrileri benzerliği incelenmiştir. Isıtma eğrileri ve elektriksel iletkenlik değerlerinin sıcaklıkla değişimleri arasındaki uyum voltaj gradyanı arttıkça artmıştır. Tüm voltaj gradyanlarında örnekler arasındaki uyum, kıyma örneklerinde elektriksel iletkenlik düşüşüne denk gelen kritik sıcaklık değerlerinden sonra bozulmaktadır. Kritik sıcaklık değerlerinin uygulanan voltaj gradyanı değeri arttıkça düştüğü belirlenmiştir. Kritik sıcaklık değerlerindeki elektriksel iletkenlik düşüşünün ardından ısıtma hızı düşmüş ve ısıtma eğrilerinin eğiminde değişme gözlenmiştir. Elektriksel iletkenlik değerleri arasındaki uyum bozulsa da ısıtma eğrileri arasındaki benzerlik devam etmektedir. Bu nedenle, % 0,5 tuz içeriğine sahip Tylose örneklerinin yağlı kıyma örnekleri için (Çizelge 3.4), %0,67 tuz içeriğine sahip Tylose örneklerinin ise az yağlı kıyma örnekleri için (Çizelge 3.4) bir model gıda alternatifi olabileceği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

Abdalla, H. and Singh, R.P., 1985, Simulation of thawing of foods using finite element method, *Journal of Food Process Engineering*, 7, 273-286.

Allen, K., Eidman, V. and Kinsey, J., 1996, An economic-engineering study of Ohmic food processing. *Food Technology*, May, 269-273.

Anon, 1964, İnorganik Madde (kül) Tayini Standart Test Metodu, Türk Standartları Enstitüsü, TS 00135/Nisan 1964, Ankara.

Anon, 1972, Meyve ve Sebze Mamülleri- Toplam Katı Madde Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, TS 01129/Kasım 1972, Ankara.

Anon, 1974a, Et ve Et Mamülleri- Azot Miktarının Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, TS 1748/Kasım 1974, Ankara.

Anon, 1974b, Et ve Et Ürünleri- Toplam Yağ Miktarı Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, TS 1744/Kasım 1974, Ankara.

Anon, 1995, Kırmızı Etler-Hazır Kıyma, Türk Standartları Enstitüsü, TS 11566/Mart 1995, Ankara.

Anonymous, 2000, Zap! better-tasting UHT milks!, *Food Engineering*, 72(6): 14-15.

Anonymous, 2002, Ohmic system for sterilization and aseptic filling, *Italian Food and Beverage Technology*, 27, March, 28-29.

Assiry, A., Sastry, S.K. and Samaranayake, C., 2003, Degradation kinetics of ascorbic acid during ohmic heating with stainless steel electrodes, *Journal of Applied Electrochemistry*, 33(2):187-196.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Bazhal, M. and Vorobiev, E., 2000, Electrical treatment of apple cossettes for intensifying juice pressing, *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 80 (11): 1668-1674.

Becker, B.R. and Fricke, B.A., 1999, Freezing times of regularly shaped food items, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 26, 617-629.

Bellmer, D., Tilahun, M and Achour, M., 1999, Electrical conductivity of ground beef during ohmic heating: effects of fat content and particle size, in Proceedings of ASAE-CSAE-SCGR Annual International Meeting, Toronto, Ontario, Canada, 18-21 July, 1999, ASAE Paper NO.996065, 14 p.

Benabderrahmane, Y. and Pain, J.P., 2000, Thermal behaviour of a solid/liquid mixture in an Ohmic heating sterilizer-slip phase model, *Chemical Engineering Science*, 55, 1371-1384.

Biss, C.H., Coombes, S.A. and Skudder, P.J., 1989, The development and application of ohmic heating for the continuous heating of particulate foodstuffs, in Field, R.W., Howell, J.A. (Eds), Process Engineering in the Food Industry, Developments and Opportunities, Elsevier, New York, 17-25.

Bouallou, C., Buzan, G. And Meyrignac, R.. 1997, Steam generation in porous media by volumetric Ohmic heating, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 40(17): 4229-4238.

Butz, P. and Tauscher, B., 2002, Emerging technologies: chemical aspects, *Food Research International*, 35 (2-3): 279-284.

Castro, I., Teixeira, J.A., Salengke, S., Sastry, S.K. and Vicente, A.A., 2003, The influence of field strength, sugar and solid content on electrical conductivity of strawberry products, *Journal of Food*

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Process Engineering , 26(1): 17-30 (summary from http://www. foodscipress.com/ JFPE261.htm).

Cemeroğlu, B., 1992, Meyve ve Sebze İşleme Endüstrisinde Temel Analiz Metodları, Biltav yayınları, Ankara, 263 s.

Cemeroğlu, B. ve Karadeniz, F., 2001, Meyve ve Sebze İşleme Teknolojisi 2- Meyve Suyu Üretim Teknolojisi, Gıda Teknolojisi Derneği Yayınları, No.25, Ankara, 379 s.

Chaiwanichsiri, S., Ohnishi, S., Suzuki, T., Takai, R. and Miyawaki, O., 2001, Measurement of electrical conductivity, differential scanning calorimetry and viscosity of starch and flour suspensions during gelatinization process, *Journal of Food Science and Agriculture*, 81, 1586-1591.

Cho, W.I., Pyun, Y.R., Lee, Y.S. and Kwon, I.B., 1996, Dewatering of soybean milk residue by hydraulic press with ohmic heating, *Korean Journal of Food Science and Technology*, 28 (2): 324-329.

Cleland, D.J., Cleland, A.C., Earle, R.L. and Bryne, S.J., 1987, Experimental data for freezing and thawing of multi-dimensional objects, *International Journal of Refrigeration*, 10, 22-31.

Davies, L.J., Kemp, M.R. and Fryer, P.J., 1999, The geometry of shadows: effects of inhomogeneties in electrical field processing, *Journal of Food Engineering*, 40, 245-258.

de Alwis, A.A.P. and Fryer, P.J., 1989, Shape and conductivity effects in the Ohmic heating of foods, *Chemical Engineering Research and Design*, 67, 159-168.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

de Alwis, A.A.P. and Fryer, P.J., 1990a, The use of direct resistance heating in the food industry, *Journal of Food Engineering*, 11, 3-27.

de Alwis, A.A.P. and Fryer, P.J., 1990b, A finite-element analysis of heat generation and transfer during Ohmic heating of foods, *Chemical Engineering Science*, 45(6): 1547-1559.

de Alwis, A.A.P. and Fryer, P.J., 1992a, Mathematical modeling of the Ohmic heating process, in Process Engineering in the Food Industry-2. Convenience Foods and Quality Assurance, (Eds.) R.W. Field and J.A. Howell, Elsevier Applied Science, 45-58.

de Alwis, A.A.P. and Fryer, P.J., 1992b, Operability of the Ohmic heating process: electrical conductivity effects, *Journal of Food Engineering*, 15, 21-48.

Dolan, K.D., Singh, R.P. and Heldman, D.R., 1987, Prediction of temperature in frozen foods exposed to solar radiation, *Journal of Food Processing and Preservation*, 11, 135-158.

Eliot-Godereaux, S.C., Zuber, F. and Goullieux, A., 2001, Processing and stabilization of cauliflower by Ohmic heating technology, *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 2, 279-287.

Farr, D.R., 1999, New processes and products for the next millennium, *Indian Dairyman*, 51(10), 7-11.

Fryer, P., 1995, Electrical Resistance Heating of Foods, in New Methods of Food Preservation, First Edition, G.V.Gould (Ed.), Chapman and Hall, 205-235.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Fryer, P.J., de Alwis, A.A.P., Koury, E., Stapley, A.G.F. and Zhang, L., 1993, Ohmic processing of solid-liquid mixtures: heat generation and convection effects, *Journal of Food Engineering,* 18, 101-125.

Fu, W.R. and Hsieh, C.C., 1999, Simulation and verification of two-dimensional Ohmic heating in static system, *Journal of Food Science,* 64, 946-949.

Goullieux, A., Pain, J.P. and Baudez, P., 1996, A new pilot-scale batch ohmic heater, IFT Annual Meeting Proceedings, C29-C32.

Halden, K., de Alwis, A.A.P. and Fryer, P.J., 1990, Changes in the electrical conductivity of foods during Ohmic heating, *International Journal of Food Science and Technology,* 25, 9-25.

Hong, H.D., Kim, S. S., Kim, K., T. and Choi, H.D., 1998, Changes in heating profiles of apple juice by ohmic heating, *Hanguk Nongwhahak Hoechi, (from English summary),* 41 (6): 431-436.

Huang, L., Chen, Y. and Morrissey, M.T., 1997, Coagulation of fish proteins from frozen fish mince wash water by ohmic heating, *Journal of Food Process Engineering,* 20 (4): 285-300.

Hung, Y.C. and Thompson, D.R., 1983, Freezing time prediction for slab shape foodstuffs by an improved analytical method, *Journal of Food Science,* 48, 555-560.

Hyung, Y.C., Yousef, A.E. and Sastry, S.K., 1996, Growth kinetics of Lactobacillus acidophilus under ohmic heating, *Biotechnology and Bioengineering,* 49 (3): 334-340.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Hyung, Y.C., Yousef, A.E. and Sastry, S.K., 1999, Kinetics of inactivation of Bacillus subtilis spores by continuous or intermittent ohmic and conventional heating, *Biotechnology and Bioengineering*, 62 (3): 368-372.

Icier, F., Ilıcalı, C. and Sastry, S.K., 2000a, The development of a mathematical model for Ohmic thawing, (Unpublished observation).

Icier, F., Sastry, S.K. and Ilıcalı, C., 2000b, The effect of operating conditions and perturbations on the Ohmic heating rate of salt solutions, (Unpublished observation).

Imai, T., Uemura, K., and Noguchi, A., 1998, Heating rate of egg albumin solution and its change during ohmic heating, in Advances in Experimental Medicine & Biology, Vol. 4, Process-Induced Chemical Changes in Food (Eds) F., Shadidi, C.T. Ho and N.V. Chayen, Plenum Press, New York, 101-108.

Imai, T., Uemura, K., Ishida, N., Yoshizaki, S. and Noguchi, A., 1995, Ohmic heating of Japanese White Radish *Rhaphanus sativus* L. , *International Journal of Food Science and Technology*, 30, 461-472.

Jamieson, L. and Williamson, P., 1999, The potential of electro-technologies for the processing of foods, *Food Science and Technology-Today*, 13 (2): 97-101.

Ju, J. and Mittal, G.S., 1995, Physical properties of various starch based fat-substitutes, *Journal of Food Processing and Preservation*, 19, 361-383.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Khalaf, W.G. and Sastry, S.K., 1996, Effect of viscosity on the Ohmic heating rate of solid-liquid mixtures, *Journal of Food Engineering*, 27, 145-158.

Kim, H.J., Choi, Y.M., Yang, A.P.P., Yang, T.C.S., Taub, I.A., Giles, J., Ditusa, C., Chall, S. and Zoltai, P., 1996b, Microbiological and chemical investigation of Ohmic heating of particulate foods using a 5 kw Ohmic system, *Journal of Food Processing and Preservation*, 20, 41-58.

Kim, H.J., Choi, Y.M., Yang, T.C.S., Taub, I.A., Tempest, P., Skudder, P., Tucker, G. and Parrott, D.L., 1996a, Validation of Ohmic heating for quality enhancement of food products, *Food Technology*, May, 253-255, 257-261.

Kim, J. and Pyun, Y., 1995, Extraction of soy milk using ohmic heating, Abstract, 9th Congress of Food Science and Technology, Budapest, Hungary.

Kim, S.H., Kim, G.T., Park, J.Y., Cho, M.G. and Han, B.H., 1996c, A study on the Ohmic heating of viscous food, *Foods and Biotechnology*, 5(4): 274-279.

Lacey, A.A., Tzanetis, D.E. and Vlamos, P.M., 1999, Behaviour of a non-local reactive convective problem modelling Ohmic heating of foods. *Quarterly Journal of Mechanics and Applied Mathematics*, 52(4): 623-644.

Larkin, J.W. and Spinak, S.H., 1996, Safety considerations for ohmically heated, aseptically processed, multiphase low-acid food products, *Food Technology*, 50 (5): 242-245.

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU DOKÜMANTASYON MERKEZİ

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Li, B. and Sun, D.W., 2002, Novel methods for rapid freezing and thawing of foods-a review, *Journal of Food Engineering*, 54 (3): 175-182.

Lima, M., 1996, Ascorbic Acid Degradation Kinetics and Mass Transfer Effects in Biological Tissue During Ohmic Heating, Ph.D. dissertation, The Ohio state University, Columbus, OH, (unpublished).

Lima, M. and Sastry, S.K., 1999, The effects of Ohmic heating frequency on hot-air drying rate and juice yield, *Journal of Food Engineering*, 41, 115-119.

Lima, M., Heskitt, B.F. and Sastry, S.K., 1999, The effect of frequency and wave form on the electrical conductivity-temperature profiles of turnip tissue, *Journal of Food Process Engineering*, 22, 41-54.

Lima, M., Heskitt, B.F. and Sastry, S.K., 2001, Diffusion of beet dye during electrical and conventional heating at steady state temperature, *Journal of Food Process Engineering*, 24 (5): 331-340.

Luzuriaga, D.A. and Balaban, M.O., 1996, Electrical conductivity of frozen shrimp and flounder at different temperatures and voltage levels, *Journal of Aquatic Food Product Technology*, 5 (3): 41-63.

Mainville, L, Montpetit, D., Durand, N. and Farnworth, E.R., 2001, Deactivating the bacteria and yeast in kefir using heat treatment, irradiation and high pressure, *International Dairy Journal*, 11(1-2): 45-49.

Manvell, C., 1996, Minimal processing, presented in *European Federation of Food Science and Technology (EFFoST) Conference, Cologne 6th November 1996*, Technical Digest, 25-44.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Marcotte, M., Ramaswamy, H.S. and Piette, J.P., 1998, Ohmic heating behaviour of hydrocolloid solutions, *Food Research International,* 31(6-7): 493-502.

Marcotte, M., Trigui, M., Ramaswamy, H.S., 2000b, Effect of salt and citric acid on electrical conductivities and ohmic heating of viscous liquids, *Journal of Food Processing and Preservation,* 24 (5): 389-406.

Marcotte, M., Trigui, M., Tatibouet, J. and Ramaswamy, H.S. , 2000a, An ultrasonic method for assessing the residence time distribuiton of particulate foods during Ohmic heating, *Journal of Food Science*, 65(7): 1180-1186.

Mermelstein, N.H., 2001, High temperature, short time processing, *Food Technology,* 55 (6): 65, 66, 68, 70, 78.

Mizrahi, S., 1996, Leaching of soluble solids during blanching of vegetables by Ohmic heating, *Journal of Food Engineering,* 29, 153-166.

Ohtsuki, T., 1993, Process for Thawing Foodstuffs, European Patent, 0409430.

Palaniappan, S. and Sastry, S.K., 1990, Effects of electricity on microorganisms: a review, *Journal of Food Processing and Preservation,* 14, 393-414.

Palaniappan, S. and Sastry, S.K., 1991a, Electrical conductivity of selected juices: influences of temperature, solids content, applied voltage, and particle size, *Journal of Food Process Engineering,* 14, 247-260.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Palaniappan, S. and Sastry, S.K., 1991b, Electrical conductivities of selected solid foods during Ohmic heating, *Journal of Food Process Engineering*, 14, 221-236.

Park, J.W., Lin, T.M. and Yongsawatdigul, J., 1997, New developments in manufacturing of surimi and surimi seafood, *Food Reviews International*, 13 (4): 577-610.

Park, J.W., Yongsawatdigul, J. and Kolbe, E., 1998, Proteolysis and gelation of fish proteins under Ohmic heating, in Advances in Experimental Medicine & Biology, Vol. 4, Process-Induced Chemical Changes in Food (Eds) F., Shadidi, C.T. Ho and N.V. Chayen, Plenum Press, New York, 25-33.

Park, S, J., Kim, D., Uemura, K. and Noguchi, A., 1995, Influence of frequency on ohmic heating of fish protein gel, *Journal of Japanese Society of Food Science and Technology*, 42 (8): 569-574.

Parrott, D. L., 1992, Use of Ohmic heating for aseptic processing of food particulates, *Food Technology*, December, 68-72.

Perennou, H., 1998, Alternatives to traditional heat treatments, *Revue Laitiere Francaise (from English summary)*, 578, 18-19.

Pham, Q.T., 1996, Prediction of calorimetric properties and freezing time of foods from composition data, *Journal of Food Engineering*, 30, 95-107.

Piette, J.P.G. and Jacques, L., 1996, Evaluation of a rapid fat analyzer, based on ohmic heating, for the classification for ground beef, *Fleischwirtschaft(from English summary)*, 76 (12): 1340-1342.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Qihua, T., Jindal, V.K. and van Winden, J., 1993, Design and performance evaluation of an Ohmic heating unit for liquid foods, *Computers and Electronics in Agriculture*, 9, 243-253.

Quarini, G.L., 1995, Thermalhydraulic aspects of the Ohmic heating process, *Journal of Food Engineering*, 24, 561-574.

Reznick, D., 1996, Ohmic heating of fluid foods, *Food Technology*, May, 250-251.

Reznick, D., 1998, Electroheating technology promises to send shock waves through the food processing industry, in www.raztek.com/news.html (unpublished).

Reznick, D., 2000, Electroheating, www.raztek.com/electroheating.html . (unpublished).

Roberts, J.S., Balaban, M.O., Zimmerman, R. and Luzuriaga, D., 1998, Design and testing of a prototype Ohmic thawing unit, *Computers and Electronics in Agriculture*, 19, 211-222.

Ruan, R., Chen, P., Chang, K., Kim, H.J. and Taub, I.A., 1999, Rapid food particle temperature mapping during Ohmic heating using flash MRI, *J. Food Sci.*, 64(6), 1024-1026.

Sanz, P.D. Ramos, M. and Mascheroni, R.H., 1996, Using equivalent volumetric enthalpy variation to determine the freezing time in foods, *Journal of Food Engineering*, 27, 177-190.

Sastry, S.K. 1989, A model for continuous sterilization of particulate foods by Ohmic heating, presented at the 5th Int. Cong. Eng. Food, Cologne, Germany, May 28-June 03, 1989.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Sastry, S.K., 1992, A model for heating of liquid-particle mixtures in a continuous flow Ohmic heater, *Journal of Food Process Engineering*, 15, 263-278.

Sastry, S.K. and Barach, J.T., 2000, Ohmic and inductive heating, *Journal of Food Science*, 65(4): 42-46.

Sastry, S.K. and Li, Q., 1996, Modeling the Ohmic heating of foods, *Food Technology*, May, 246-248.

Sastry, S.K. and McFate, K. L., 1993, Electroconductive (Ohmic) heating for continous sterilization of solid-liquid food mixtures, Research Project Final Report, 2782-04, Ohio State University Research Foundation (unpublished).

Sastry, S.K. and Palaniappan, S., 1992, Mathematical modeling and experimental studies on Ohmic heating of liquid-particle mixtures in a static heater, *Journal of Food Process Engineering*, 15, 241-261.

Sastry, S.K. and Salengke, S., 1998, Ohmic heating of solid-liquid mixtures: a comparison of mathematical models under worst-case heating conditions, *Journal of Food Process Engineering*, 21, 441-458.

Schobinger, U., 1987, Meyve ve Sebze Suyu Üretim Teknolojisi, (Çeviren J.Acar), Hacettepe Üniversitesi, 1988, 591 s.

Schreier, P.J.R., Reid, D.G. and Fryer, P.J., 1993, Enhanced diffusion during the electrical heating of foods, *International Journal of Food Science and Technology*, 28 (3): 249-260.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Sensoy, A., Zhang, Q.H.; Sastry, S.K., 1995, A high voltage electric field treatment for preservation of electrically conductive foods, in IFT Annual Meeting, 1995 Conference Proceeedings, 150p.

Sheen, S. and Hayakawa, K., 1991, Parametric analysis for the freezing of spheroidal or finitely cylindrical objects with volumetric changes, *Journal of Food Science*, 56(2): 543-549.

Skudder, J., 1989, Ohmic heating in food processing, *Asean Food Journal*, 4(4): 162-163.

Speller, M.N., Litchfield, J.B. and Webb, A., 1999, temperature mapping during Ohmic heating using proton resonance frequency magnetic resonance imaging, presented in ASAE-CSAE-SCGR Annual International Meeting, Toronto, Ontario, Canada, 18-21 July, 1999, ASAe Paper No. 99-6036, 25 p.

Sperber, B., 1993, Ohmic- a shock to the system, *Food Processing-USA*, 53 (11): 97-99.

Stirling, R., 1987, Ohmic heating-a new process for the food industry, *Power Engineering Journal*, November, 365-371.

Stirling, R. and Tempest, P., 1995, The development and applications of ohmic heating technology in food and beverage manufacturing, in Bridging 2000 and beyond-.Joint Australia and New Zealand Institutes of Food Science and Technology 1995 Conference Proceedings, 33.

Succar, J. and Hayakawa, K., 1983, Empirical formulae for predicting thermal physical properties of food at freezing or defrosting temperatures, *Lebensmittel Wissenschaft und Technologie*, 16, 326-331.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Succar, J. and Hayakawa, K., 1984, Parametric analysis for predicting freezing time of infinitely slab-shaped food, *Journal of Food Science*, 49, 468-477.

Succar, J. and Hayakawa, K., 1986, A response surface method for the estimation of convective and radiative heat transfer coefficients during freezing and thawing of foods, *Journal of Food Science*, 51(5): 1314-1322.

Sung, J.P., Dong, K., Uemura, K., Noguchi, A., 1995, Influence of frequency on Ohmic heating of fish protein gel, *Journal of Japanese Society of Food Science and Technology (from English summary)*, 42(8): 569-574.

Sweat, V.E., 1995, Thermal Properties of Foods, in Engineering Properties of Foods, 2nd Ed., Rao, M.A. and Rizvi, S.S.H. (Eds), Marcel Dekker, New York, 99-136.

Tempest, P., 1995, Ohmic Heating Systems, in APV Processed Food Sector Process Manual Section-9, Electrical Heating, Issue 1, 54 p.

Tempest, P., 1996, Electroheat Technologies in Food Processing, APV Marketing Bulletin, 16 p.

Tewari, G. and Maurice, T., J., 2000, Current trends in thermal and non-thermal food preservation, presented in ASAE Annual International Meeting, Wisconsin, 9-12 July 2000, ASAE Paper No 006022, 1-13.

Tucker, G., 1999, A novel validation method: application of time-temperature integrators to food pasteurization treatments, *Food and Bioproducts Processing*, 77(C3): 223-231.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Uemura, K., Toyoshima, H. and Okadome, H., 1998, High pressure Ohmic heating process for cooking rice, *Nippon Shokuhin Kagaku Kogaku Kaishi (from English summary)*, 45(9): 533-538.

Vakarchuk, L.T., 1992, Application of grape pulp maceration in rose winemaking technology, *Sadovodstvo-i- Vinogradarstvo-Moldavii, (from English summary)*, 1, 22-27.

Wang, C.S. and Wu, J.S.B., 1999, Ohmic heating of fluid containing apple particulates, *Food Science and Agricultural Chemistry*, 1 (2): 154-161.

Wang, C.S., Kuo, S.Z., Kuo-Huang, L.L. and Wu, J.S.B., 2001, Effect of tissue infrastructure on electric conductance of vegetable stems, *Journal of Food Science*, 66(2): 284-288.

Wang, W., 1995, Ohmic Heating of Foods: Physical Properties and Applications, Ph.D. dissertation, The Ohio state University, Columbus, OH, (unpublished).

Wang, W.C. and Sastry, S.K., 1993a, Salt diffusion into vegetable tissue as a pre-treatment for Ohmic heating: electrical conductivity profiles and vacuum infusion studies, *Journal of Food Engineering*, 20, 299-309.

Wang, W.C. and Sastry, S.K., 1993b, Salt diffusion into vegetable tissue as a pre-treatment for Ohmic heating: determination of parameters and mathematical model verification, *Journal of Food Engineering*, 20, 311-323.

Wang, W.C. and Sastry, S.K., 1997, Starch gelatinization in ohmic heating, *Journal of Food Engineering*, 34, 225-242.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Wornall, P., 1994, The fruit juice factory of the future, *Fruit Processing,* 4 (8): 220-227.

Wu, H., Kolbe, E., Flugstad, B., Park, J.W. and Yongsawatdigul, J., 1998, Electrical properties of fish mince during multi-frequency ohmic heating, *Journal of Food Science,* 63 (6): 1028-1032.

Yaser A., and Kolbe, E., 2000, Analysis of heat transfer in surimi paste heated by conventional and ohmic means, *Journal of Aquatic Food Product Technology,* 9(2): 43-54.

Yongsawatdigul, J., Park, J.W. and Kolbe, E., 1995, Electrical conductivity of Pacific whiting surimi paste during ohmic heating, *Journal of Food Science,* 60 (5): 922-935.

Yun, C.G., Lee, D.H. and Park, J., 1998, Ohmic thawing of a frozen meat chunk, *Korean Journal of. Food Science and Technology,* 30(4): 842-847.

Zaror, C.A., Pyle, D.L. and Molnar, G., 1993, Mathematical modelling of an Ohmic heating sterilizer, *Journal of Food Engineering,* 19, 33-53.

Zhang, L. and Fryer, P.J., 1993, Models for the electrical heating of solid-liquid food mixtures, *Chemical Engineering Science,* 48, 633-643.

Zhang, L. and Fryer, P.J., 1995, A comparison of alternative formulations for the prediction of electrical heating rates of solid-liquid food materials, *Journal of Food Process Engineering,* 18, 85-97.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Zhao, Y. and Kolbe, E., 1999, A method to characterize electrode corrosion during Ohmic heating, *Journal of Food Process Engineering*, 22, 81-89.

Zoltai, P. and Swearingen, P., 1996, Product development considerations for ohmic processing, *Food Technology*, May, 263-266.

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

EKLER

EKLER DİZİNİ

Ek A.1 Ohmik ısıtma üzerine yapılan bazı önemli çalışmalar..... 181

Ek A.2 Test hücresi ve sıcaklık sensörlerinin genel görünüşü 185

Ek A.3 Model programlarda kullanılan bazı parametreler ve özellikler186

Ek B.1 Sıvı gıdalar için ısı denkliklerinin çözümü.....187

Ek B.2 Katı gıdalar için ısı denkliklerinin nümerik çözümü.....188

Ek B.3 Sıvı gıdalar için model programı-1.....193

Ek B.4 Sıvı gıdalar için model programı-2.....195

Ek B.5 Sıvı gıdalar için model programı-3.....197

Ek B.6 Katı gıdalar için model programı..... 199

Ek C.1 Farklı asitliklere sahip şurup örneklerinin 20 V/cm voltaj gradyanı ile Ohmik ısıtılması sırasında a) ısıtma eğrileri b) elektriksel iletkenlik değişimleri..... 203

Ek C.2 Farklı asitliklere sahip şurup örneklerinin 30 V/cm voltaj gradyanı ile Ohmik ısıtılması sırasında a) ısıtma eğrileri b) elektriksel iletkenlik değişimleri..... 204

EKLER DİZİNİ (devam)

Ek C.3 Farklı asitliklere sahip şurup örneklerinin 50 V/cm voltaj gradyanı ile Ohmik ısıtılması sırasında a) ısıtma eğrileri b) elektriksel iletkenlik değişimleri..... 205

Ek C.4 Farklı asitliklere sahip şurup örneklerinin 60 V/cm voltaj gradyanı ile Ohmik ısıtılması sırasında a) ısıtma eğrileri b) elektriksel iletkenlik değişimleri..... 206

Ek C.5 Farklı asitliklere sahip şurup örneklerinin 70 V/cm voltaj gradyanı ile Ohmik ısıtılması sırasında a) ısıtma eğrileri b) elektriksel iletkenlik değişimleri..... 207

Ek C.6 Elma suyunun farklı voltaj gradyanlarında Ohmik ısıtılması sırasında elektriksel iletkenlik değişimleri..... 208

Ek C.7 Vişne nektarının farklı voltaj gradyanlarında Ohmik ısıtılması sırasında elektriksel iletkenlik değişimleri..... 209

Ek C.8 Kayısı nektarının farklı voltaj gradyanlarında Ohmik ısıtılması sırasında elektriksel iletkenlik değişimleri..... 210

Ek C.9 Filtre edilmiş portakal nektarının farklı voltaj gradyanlarında Ohmik ısıtılması sırasında elektriksel iletkenlik değişimleri..... 211

Ek C.10 %20 konsantrasyondaki vişne suyunun farklı voltaj gradyanlarında a) Ohmik ısıtma eğrileri b) elektriksel iletkenlik değişimleri 212

EKLER DİZİNİ (devam)

Ek C.11 %30 konsantrasyondaki vişne suyunun farklı voltaj gradyanlarında a) Ohmik ısıtma eğrileri b) elektriksel iletkenlik değişimleri 213

Ek C.12 %40 konsantrasyondaki vişne suyunun farklı voltaj gradyanlarında a) Ohmik ısıtma eğrileri b) elektriksel iletkenlik değişimleri 214

Ek C.13 %60 konsantrasyondaki vişne suyunun farklı voltaj gradyanlarında a) Ohmik ısıtma eğrileri b) elektriksel iletkenlik değişimleri 215

Ek C.14 %20 konsantrasyondaki portakal suyunun farklı voltaj gradyanlarında a) Ohmik ısıtma eğrileri b) elektriksel iletkenlik değişimleri 216

Ek C.15 %30 konsantrasyondaki portakal suyunun farklı voltaj gradyanlarında a) Ohmik ısıtma eğrileri b) elektriksel iletkenlik değişimleri 217

Ek C.16 %40 konsantrasyondaki portakal suyunun farklı voltaj gradyanlarında a) Ohmik ısıtma eğrileri b) elektriksel iletkenlik değişimleri 218

Ek C.17 %60 konsantrasyondaki portakal suyunun farklı voltaj gradyanlarında a) Ohmik ısıtma eğrileri b) elektriksel iletkenlik değişimleri 219

EKLER DİZİNİ (devam)

Ek C.18 %20 konsantrasyondaki elma suyunun farklı voltaj gradyanlarında a) Ohmik ısıtma eğrileri b) elektriksel iletkenlik değişimleri 220

Ek C.19 %30 konsantrasyondaki elma suyunun farklı voltaj gradyanlarında a) Ohmik ısıtma eğrileri b) elektriksel iletkenlik değişimleri 221

Ek C.20 %40 konsantrasyondaki elma suyunun farklı voltaj gradyanlarında a) Ohmik ısıtma eğrileri b) elektriksel iletkenlik değişimleri 222

Ek C.21 %60 konsantrasyondaki elma suyunun farklı voltaj gradyanlarında a) Ohmik ısıtma eğrileri b) elektriksel iletkenlik değişimleri 223

Ek C.22 Farklı konsantrasyondaki vişne sularının 60 V/cm voltaj gradyanında a) Ohmik ısıtma eğrileri b) elektriksel iletkenlik değişimleri..... 224

Ek C.23 Farklı konsantrasyondaki vişne sularının 50 V/cm voltaj gradyanında a) Ohmik ısıtma eğrileri b) elektriksel iletkenlik değişimleri..... 225

Ek C.24 Farklı konsantrasyondaki vişne sularının 30 V/cm voltaj gradyanında a) Ohmik ısıtma eğrileri b) elektriksel iletkenlik değişimleri..... 226

EKLER DİZİNİ (devam)

Ek C.25 Farklı konsantrasyondaki vişne sularının 20 V/cm voltaj gradyanında a) Ohmik ısıtma eğrileri b) elektriksel iletkenlik değişimleri..... 227

Ek C.26 Farklı konsantrasyondaki portakal sularının 60 V/cm voltaj gradyanında a) Ohmik ısıtma eğrileri b) elektriksel iletkenlik değişimleri..... 228

Ek C.27 Farklı konsantrasyondaki portakal sularının 50 V/cm voltaj gradyanında a) Ohmik ısıtma eğrileri b) elektriksel iletkenlik değişimleri..... 229

Ek C.28 Farklı konsantrasyondaki portakal sularının 30 V/cm voltaj gradyanında a) Ohmik ısıtma eğrileri b) elektriksel iletkenlik değişimleri..... 230

Ek C.29 Farklı konsantrasyondaki portakal sularının 20 V/cm voltaj gradyanında a) Ohmik ısıtma eğrileri b) elektriksel iletkenlik değişimleri..... 231

Ek C.30 Farklı konsantrasyondaki elma sularının 60 V/cm voltaj gradyanında a) Ohmik ısıtma eğrileri b) elektriksel iletkenlik değişimleri..... 232

Ek C.31 Farklı konsantrasyondaki elma sularının 50 V/cm voltaj gradyanında a) Ohmik ısıtma eğrileri b) elektriksel iletkenlik değişimleri..... 233

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU DOKÜMANTASYON MERKEZİ

EKLER DİZİNİ (devam)

Ek C.32 Farklı konsantrasyondaki elma sularının 30 V/cm voltaj gradyanında a) Ohmik ısıtma eğrileri b) elektriksel iletkenlik değişimleri..... 234

Ek C.33 Farklı konsantrasyondaki elma sularının 20 V/cm voltaj gradyanında a) Ohmik ısıtma eğrileri b) elektriksel iletkenlik değişimleri..... 235

EK D.1 %60 konsantrasyona sahip elma suyunun voltaj gradyanı ve sıcaklığa bağlı elektriksel iletkenlik ilişkisinin SPSS İstatistik analiz sonuçları 237

EK D.2 Elma suyu konsantrelerinin konsantrasyon, voltaj gradyanı ve sıcaklığa bağlı elektriksel iletkenlik ilişkisinin SPSS İstatistik analiz sonuçları 238

EK D.3 Vişne suyu konsantrelerinin konsantrasyon, voltaj gradyanı ve sıcaklığa bağlı elektriksel iletkenlik ilişkisinin SPSS İstatistik analiz sonuçları..... 239

EK D.4 Portakal suyu konsantrelerinin konsantrasyon, voltaj gradyanı ve sıcaklığa bağlı elektriksel iletkenlik ilişkisinin SPSS İstatistik analiz sonuçları..... 240

EK D.5 Kayısı püresinin voltaj gradyanı ve sıcaklığa bağlı elektriksel iletkenlik ilişkisinin SPSS İstatistik analiz sonuçları..... 241

EK D.6 Şeftali püresinin voltaj gradyanı ve sıcaklığa bağlı elektriksel iletkenlik ilişkisinin SPSS İstatistik analiz sonuçları 242

EK E.1 Enerji kayıplarının analizi için örnek hesaplama.....243

Ek A.1 Ohmik ısıtma üzerine yapılan bazı önemli çalışmalar

Çalışmaların konusu	Araştırma	Ek açıklama
Sistem tasarımı ve tanıtımı	Stirling, 1987	
	Biss et al, 1989	
	De Alwis and Fryer, 1990a	
Statik Ohmik ısıtma	Halden et al, 1990	Çeşitli katı gıdalar, çözelti içinde
	Palaniappan and Sastry, 1991a	Domates ve portakal suyu
	Palaniappan and Sastry, 1991b	Patates, havuç, tavuk eti ve az yağlı sığır eti
	Qihua et al, 1993	Postakal suyu
	Wang and Sastry, 1993a;b	Tuzlu suya daldırılmış patates dilimleri
	Imai et al, 1995	Japon beyaz turpu
	Goullieux et al, 1996	Tuzlu suya daldırılmış patates küpleri ve kokteyl domates
	Wang et al, 2001	Sebzeler
	Eliot-Godereaux et al, 2001	Karnabahar
	Castro et al, 2003	Çilek bazlı ürünler
Ohmik ısıtmanın kütle transferine etkisi	Schreier et al, 1993	Soya sütü
	Kim and Pyun, 1995	Soya sütü verimi
	Cho et al, 1996	Soya sütü verimi
	Wang, 1995	Havuç, patates dilimleri
	Mizrahi, 1996	Pancar dilimleri
	Lima and Sastry, 1999	Tatlı patates ve elma dilimleri
	Wang and Wu, 1999	Şeker çözeltisi içinde elma dilimleri
	Lima et al, 1999	Turp dilimleri

Ek A.1 Ohmik ısıtma üzerine yapılan bazı önemli çalışmalar (devam)

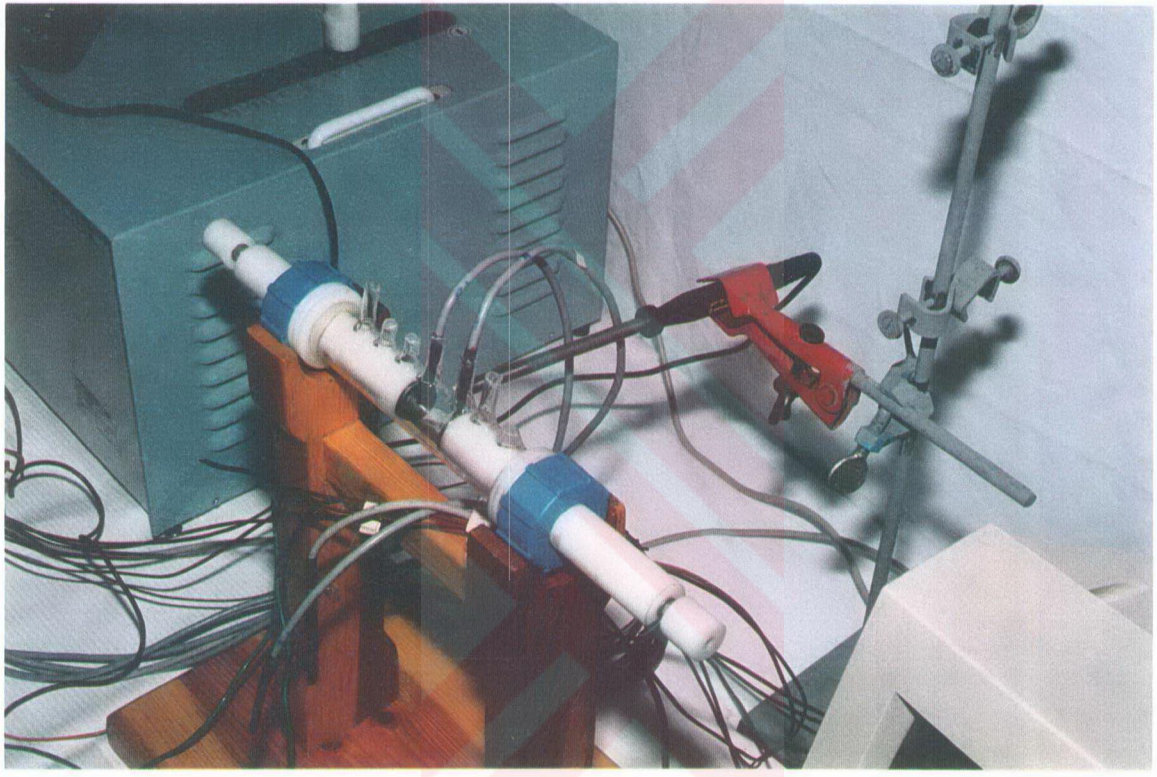
Çalışmaların konusu	Araştırma	Ek açıklama
Ohmik ısıtmanın kütle transferine etkisi	Bazhal and Vorobiev, 2000	Elma presleme
	Lima et al, 2001	Sıvı içinde pancar dilimleri
Sıvı viskozitesinin Ohmik ısıtma hızına etkisi	de Alwis et al, 1989	
	Fryer et al, 1993	
	Khalaf and Sastry, 1996	CMC içinde patates küpleri
	Kim et al, 1996c	Tavuk suyu ekstraktı
Hidrokolloid çözeltilerin Ohmik ısıtılması	Ju and Mittal, 1995	Et emülsiyonlarında nişasta bazlı bileşenler
	Marcotte et al, 1998	Çeşitli hidrokolloid çözeltiler
	Marcotte et al, 2000b	Çeşitli hidrokolloid çözeltiler
Ohmik ısıtmanın jelleşmeye ve koagülasyona etkisi	Sung et al, 1995	Balık proteini jeli
	Yongsawatdigul et al, 1995	Surimi
	Wang and Sastry, 1997	Mısır, patates nişastaları
	Huang et al, 1997	Donmuş balık ezmesi
	Wu et al, 1998	Surimi
	Park et al, 1997; 1998	Surimi
	Imai et al, 1998	Yumurta albumin çözeltisi
	Yaser and Kolbe, 2000	Surimi
	Chaiwanichsiri et al, 2001	Nişasta ve un süspansiyonları
Yağ içeriğinin etkisi	Piette and Jacques, 1996	Yağlı kıyma
	Bellmer et al, 1999	Yağlı kıyma

Ek A.1 Ohmik ısıtma üzerine yapılan bazı önemli çalışmalar (devam)

Çalışmaların konusu	Araştırma	Ek açıklama
Ohmik çözündürme	Luzuriaga and Balaban, 1996	Donmuş karides
	Roberts et al, 1998	Donmuş deniz ürünü
	Yun et al, 1998	Donmuş et kalıpları
	Icier et al, 2000a	Tylose-gıda analoğu
	Li and Sun, 2002	Donmuş ton balığı, et ve yumurta
Mikrobiyolojik etkisi	Palaniappan and Sastry, 1990	
	Parrott, 1992	
	Sensoy et al, 1995	
	Kim et al, 1996a;b	
	Hyung et al, 1996; 1999	
	Larkin and Spinak, 1996	
	Zoltai and Swearingen, 1996	
	Tucker, 1999	
	Sastry and Barach, 2000	
	Mainville et al, 2001	
Kuramsal çalışmalar-statik Ohmik ısıtma	de Alwis and Fryer, 1990b; 1992a	Partikül sıvı karışımı
	de Alwis and Fryer, 1992b	Partikül sıvı karışımı
	Sastry and Palaniappan, 1992	Partikül sıvı karışımı
	Fryer et al, 1993	Partikül sıvı karışımı
	Sastry and Salangke, 1998	Partikül sıvı karışımı

Ek A.1 Ohmik ısıtma üzerine yapılan bazı önemli çalışmalar (devam)

Çalışmaların konusu	Araştırma	Ek açıklama
Kuramsal çalışmalar-statik Ohmik ısıtma	Fu and Hsieh, 1999	Partikül sıvı karışımı
	Lacey et al, 1999	
Kuramsal çalışmalar-sürekli Ohmik ısıtma	Sastry, 1992	Partikül sıvı karışımı
	Zaror et al, 1993	Partikül sıvı karışımı
	Sastry and McFate, 1993	Partikül sıvı karışımı
	Quarini, 1995	Partikül sıvı karışımı
	Fryer, 1995	Partikül sıvı karışımı
	Zhang and Fryer, 1993; 1995	Partikül sıvı karışımı
	Bouallou et al, 1997	Tuzlu su
	Davies et al, 1999	Partikül sıvı karışımı
	Benabderrahmane and Pain, 2000	Partikül sıvı karışımı
Elektrotların korozyonu	Zhao and Kolbe, 1999	
Elektrot ve kimyasal reaksiyonlar	Lima, 1996	
	Assiry et al, 2003	



Ek A.2 Test hücresi ve sıcaklık sensörlerinin genel görünüşü

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

Ek A.3 Model programlarda kullanılan bazı parametreler ve özellikler

Özellik veya parametre	**Örnek**	**Değeri**
Yoğunluk (kg/m^3)	Şurup örnekleri	
	%13	1060
	%14	1070
	Portakal suyu konsantresi	
	%20	1225
	%30	1320
	%40	1365
	%50	1410
	%60	1425
	Vişne suyu konsantresi	
	%20	1180
	%30	1275
	%40	1320
	%50	1365
	%60	1388
	Elma suyu konsantresi	
	%20	1180
	%30	1275
	%40	1320
	%50	1365
	%60	1388
	Kayısı püresi	1350
	Şeftali püresi	1225
	Az yağlı kıyma (kym)	1070
	Yağlı kıyma (ykym)	1070
	Tylose örnekleri	1010
Özgül ısı (J/kgK)	Az yağlı kıyma (kym)	3411
	Yağlı kıyma (ykym)	3411
	Tylose örnekleri	3710
Isıl iletkenlik (W/mK)	Az yağlı kıyma (kym)	0,51
	Yağlı kıyma (ykym)	0,51
	Tylose örnekleri	0,51
Elektrotların çapı (m)		0,025
Elektrot aralığı (m)		0,030

EK B

Ek B.1 Sıvı gıdalar için ısı denkliklerinin çözümü

Ohmik ısıtma sisteminde ısı jenerasyonunun sıvı içinde sıcaklık artışına neden olacağı düşünülürse ve ısı kayıpları dikkate alınarak ısı denkliği (Denklem 3.21) eksplisit formda sonlu farklar metoduna göre düzenlenirse;

$$SPK\ (\Delta V^2/K_c)\ \sigma(I) = \rho(I)\ C_p(I)\ (T'_I - T_I)/\ \Delta t \qquad (E.1)$$

$$T'_I = SPK\ (\Delta V^2/K_c)\ \sigma(I)\ \Delta t\ /\ (\rho(I)\ C_p(I)) + T_I \qquad (E.2)$$

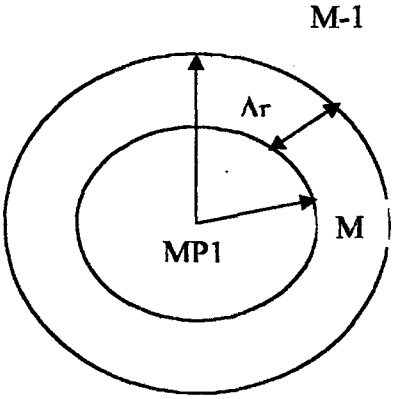
olarak elde edilir.

Sıvı gıdalar için yoğunluk ve özgül ısı terimlerinin sıcaklıkla çok fazla değişmediği kabul edilerek, çözümlerde sabit fiziksel özellikler kullanılmıştır.

Sistemde enerji kayıpların ihmal edilmesi durumunda SPK terimi "1" olarak alınmıştır. Bu durumda belirtilen başlangıç sıcaklığından, belirtilen son sıcaklığa ulaşması için öngörülen Ohmik ısıtma süreleri tez içerisinde t-adb olarak gösterilmiştir (Ek B.3).

Model program, SPK değerlerini dikkate alarak da çalıştırılmıştır. Elektriksel iletkenlik ilişkilerinde, Denklem 3.23'i kullanan model program (Ek B.3) t-modT sürelerini, Denklem 4.1'i kullanan model program (Ek B.4) t-modVT sürelerini, Denklem 4.2'i kullanan model program (Ek B.5) ise t-modCVT sürelerini öngörmüştür.

Ek B.2 Katı gıdalar için ısı denkliklerinin nümerik çözümü



M adet ara nokta alınırsa; $r_I=(M+1-I)\,\Delta r$

Ara noktalar için;	$2 \square I \square M$	$A=2\pi\,(M+1-I)\,\Delta r\,\Delta r$
Merkez için;	I=MP1	$A=\pi\,(\Delta r/2)^2$
Yüzey için;	I=1	$A=2\pi\,(M-0{,}5)\,\Delta r\,\Delta r/2$

Ara noktalar için ısı denkliğinin nümerik çözümü:

Ohmik ısıtma sisteminde ısı iletimi ve ısı jenerasyonunun katı içinde sıcaklık artışına neden olacağı düşünülürse ve ısı denkliği (Denklem 3.22) implisit formda sonlu farklar metoduna göre düzenlenirse;

$$[k_{+1/2}\,(I)\,2\pi\,((r_I+r_{I+1})/2)\,\Delta L\,(T'_{I+1}-T'_I)\,/\,\Delta r]-[k_{-1/2}\,(I)\,2\pi\,((r_I+r_{I-1})/2)\,\Delta L\,(T'_I-T'_{I-1})\,/\,\Delta r]+[\,(\Delta V^2/\Delta L^2)\sigma(I)\,2\pi\,r_I\,\Delta r\,\Delta L\,]=\rho(I)\,C_p(I)\,2\pi\,r_I\,\Delta r\,\Delta L\,(T'_I-T_I)/\,\Delta t \qquad (E.3)$$

Ek B.2 (devam)

$[k_{+1/2}\ (I)\ 2\pi\ (M\text{-}I\text{+}0{,}5)\ \Delta r\ \Delta L\ (T'_{I+1}\text{-}T'_I)\ /\ \Delta r]\text{-}[k_{-1/2}\ (I)\ 2\pi\ ((M\text{-}I\text{+}1{,}5)\ \Delta r\ \Delta L\ (T'_I\text{-}T'_{I-1})\ /\ \Delta r] + [\ (\Delta V^2/\Delta L^2)\sigma(I)\ 2\pi\ (M\text{+}1\text{-}I)\ \Delta r\ \Delta r\ \Delta L\ ] = \rho(I)\ C_p(I)\ 2\pi\ (M\text{+}1\text{-}I)\ \Delta r\ \Delta r\ \Delta L\ (T'_I\text{-}T_I)/\ \Delta t$ (E.4)

eğer Gamma (I) Denklem E.5'deki gibi tanımlanırsa;

$\text{Gamma}(I)= \rho(I)\ C_p(I)\ \Delta r\ \Delta r\ /\ \Delta t$ (E.5)

Denklem E.4, aşağıdaki gibi düzenlenebilir;

$[(k_{+1/2}\ (I)\ /\ \text{Gamma}(I))\ ((M\text{-}I\text{+}0{,}5)\ /\ (M\text{-}I\text{+}1))\ (T'_{I+1}\text{-}T'_I)] - [(k_{-1/2}\ /\ \text{Gamma}(I))\ ((M\text{-}I\text{+}1{,}5)\ /\ (M\text{-}I\text{+}1))\ (T'_I\text{-}T'_{I-1})] + [\ (\Delta V^2/\Delta L^2)\ \sigma(I)\ ((M\text{+}1\text{-}I)\ /\ (M\text{+}1\text{-}I))\ \Delta t\ /\ \rho(I)\ C_p(I)] = (T'_I\text{-}T_I)$ (E.6)

Isı jenerasyonu terimi Genna (I) olarak ifade edilirse,

$\text{Genna}(I)= (\Delta V^2/\Delta L^2)\ \sigma(I)\ \Delta t\ /\ (\rho(I)\ C_p(I))$ (E.7)

Denklem E.6 tekrar düzenlenebilir;

$[(k_{+1/2}\ (I)\ /\ \text{Gamma}(I))\ ((M\text{-}I\text{+}0{,}5)\ /\ (M\text{-}I\text{+}1))\ T'_{I+1}] - [(k_{+1/2}\ (I)\ /\ \text{Gamma}(I))\ ((M\text{-}I\text{+}0{,}5)\ /\ (M\text{-}I\text{+}1))\ T'_I]\text{-}\ [(k_{-1/2}\ /\ \text{Gamma}(I))\ ((M\text{-}I\text{+}1{,}5)\ /\ (M\text{-}I\text{+}1))\ T'_I\ ]+\ [(k_{-1/2}\ /\ \text{Gamma}(I))\ ((M\text{-}I\text{+}1{,}5)\ /\ (M\text{-}I\text{+}1))\ T'_{I-1}\ ] + \text{Genna}(I) = T'_I\text{-}T_I$ (E.8)

herhangi bir I ara noktasındaki sıcaklık eşitliği Denklem E.9'de olduğu gibi yazılabilir.

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

Ek B.2 (devam)

$$T_I = -[(k_{-1/2}(I) / Gamma(I))((M-I+1,5) / (M-I+1))]\, T'_{I-1} + [(1+(k_{+1/2}(I) / Gamma(I))((M-I+0,5) / (M-I+1)) + (k_{-1/2} / Gamma(I))((M-I+1,5) / (M-I+1))]\, T'_I - [(k_{+1/2}(I) / Gamma(I))((M-I+0,5) / (M-I+1))]\, T'_{I+1} - Genna(I)$$

(E.9)

Merkez noktası için ısı denkliğinin nümerik çözümü:

Merkez noktası için yazılan ısı denkliği implisit formda sonlu farklar metoduna göre düzenlenirse;

$$-[k_{-1/2}(I)\, 2\pi((\Delta r)/2)\,\Delta L\,(T'_{MP1}-T'_M) / \Delta r] + [(\Delta V^2/\Delta L^2)\sigma(I)\,\pi\,(\Delta r/2)^2\,\Delta L] = \rho(I)\,C_p(I)\,\pi\,(\Delta r/2)^2\,\Delta L\,(T'_{MP1}-T_{MP1})/\Delta t \quad (E.10)$$

Denklem E.5'de tanımlanan Gamma(I) ile Denklem E.10 tekrar düzenlenirse;

$$-[(k_{-1/2}(I)/Gamma(I))\,\pi\,(T'_{MP1}-T'_M)] + [(\Delta V^2/\Delta L^2)\sigma(I)\,(\pi/4)\,(\Delta t/(\rho(I)\,C_p(I))] = (\pi/4)\,(T'_{MP1}-T_{MP1}) \quad (E.11)$$

Isı jenerasyonu terimi Genna(I) olarak Denklem E.7'deki gibi ifade edilip, Denklem E.11'de yerine koyulursa;

$$-[4\,(k_{-1/2}(I) / Gamma(I))\,(T'_{MP1}-T'_M)] + Genna(I) = (T'_{MP1}-T_{MP1}) \quad (E.12)$$

merkez noktası için sıcaklık eşitliği Denklem E.13'de olduğu gibi yazılabilir.

Ek B.2 (devam)

T_{MP1}= -4 ($k_{-1/2}$ (I) / Gamma(I)) T'_M + [1+ 4 ($k_{-1/2}$ (I) / Gamma(I))] T'_{MP1} - Genna(I) (E.13)

Yüzey sınır şartı için ısı denkliklerinin nümerik çözümü:

Yüzey sınır şartı için yazılan ısı denkliği implisit formda sonlu farklar metoduna göre düzenlenirse;

$[k_{+1/2}$ (I) 2π $((r_1+r_2)/2)$ ΔL $(T'_2-T'_1)$ / $\Delta r]$ - $[h\ 2\pi\ r_1\ \Delta L\ (T'_1-T_{amb})]$ + [$(\Delta V^2/\Delta L^2)\sigma(I)\ 2\pi\ ((r_I+r_2)/2)\ (\Delta r/2)\ \Delta L\ ]$ =ρ(I) C_p(I) 2π $((r_I+r_2)/2)$ $(\Delta r/2)$ ΔL $(T'_I-T_I)/\ \Delta t$ (E.14)

Denklem E.3'de tanımlanan Gamma(I) ile Denklem E.14 tekrar düzenlenirse;

$[(k_{+1/2}$ (I) /Gamma(I)) 2π (M-0,5) Δr ΔL $(T'_2-T'_1)$ / $\Delta r]$ - $[h\ 2\pi\ M\ \Delta r\ \Delta L$ $(T'_1-T_{amb})]$ + [$(\Delta V^2/\Delta L^2)\sigma(I)\ 2\pi$ (M-0,5) Δr $(\Delta r/2)$ ΔL] =ρ(I) C_p(I) 2π (M-0,5) $(\Delta r/2)$ Δr ΔL $(T'_I-T_I)/\ \Delta t$ (E.15)

Isı jenerasyonu terimi Genna(I) olarak Denklem E.7'deki gibi ifade edilip, Denklem E.15'de yerine koyulursa;

$[(k_{+1/2}$ (I) / Gamma(I)) $(T'_2-T'_1)$ / $\Delta r]$ - [(h (M/(M-0,5)) Δr / Gamma(I)) $(T'_1-T_{amb})]$ + [Genna(I)/ 2)] = $(T'_I-T_I)/\ 2$ (E.16)

yüzey sınır şartı için sıcaklık eşitliği Denklem E.17'de olduğu gibi yazılabilir.

Ek B.2 (devam)

$T_1 = [1 + 2 (k_{+1/2} (I) / Gamma(I)) + 2 (h (M/(M-0,5)) \Delta r / Gamma(I))] T'_1 - 2 (k_{+1/2} (I) / Gamma(I)) T'_2 - Genna(I) - 2(h (M/(M-0,5)) \Delta r / Gamma(I)) Tamb$ (E.17)

Ek B.6'da verilen model program yukarıda verilen eşitlikleri kullanarak katı gıdalar için belirtilen başlangıç sıcaklığından, belirtilen son sıcaklığa kadar uygulanması gereken Ohmik ısıtma sürelerini öngörmektedir.

Kıyma örnekleri ve model gıda için çalışılan sıcaklık aralığında, yoğunluk ve özgül ısı terimlerinin sıcaklıkla çok fazla değişmediği kabul edilerek, çözümlerde sabit fiziksel özellikler kullanılmıştır.

Sistemde enerji kayıpların ihmal edilmesi durumunda SPK terimi "1" olarak alınmıştır. Bu durumda öngörülen Ohmik ısıtma süreleri tez içerisinde t-adb olarak gösterilmiştir (Ek B.6).

Sıcaklığa bağlı elektriksel iletkenlik ilişkisi olarak Denklem 3.21'i kullanan model program, SPK değerlerini alarak çalıştırıldığında öngördüğü süreler t-mod olarak gösterilmiştir.

```
C     ******** EK B.3.****************************************193**
C     ************************************************************
C     ************  OHMIC ISITMA-homojen isi jenerasyonu  *******
C     ***************                                 *****************
C     *****      -- SILINDIRIK KESIT--  SIVI GIDALAR IÇIN-1  *****
C     ***********  Enerji kaybi dikkate alinmiftir   ************
C     ******      t-adb ve t-modT surelerini  hesaplar       ******
C     * SPK degerini 1 alirsaniz kayiplari ihmal etmis olursunuz*
C     ************************************************************
C     ************************************************************
      REAL L,XW,B1,C1,SPK,K
      DIMENSION T(20),TP(20),
     &CAP(20),GENNA(20),SIG(20)
      IFREQ=1.
C
      WRITE(*,*)'voltaj,T-ILK,T-SON,%KONS,yogunluk DEG.GIRINIZ'
      READ(*,*) DV,TILK,TSON,K,ROL
      WRITE(*,*)'ELEKTRiKSEL ILETKENLIK DENKLEMI 3.21'
      WRITE(*,*)'SABÝT ve KATSAYILARI B1 ve C1 i GIRINIZ'
      READ(*,*) B1,C1
      WRITE(*,*)'KAYIPLARI IHMAL EDECEKSENIZ SPK icin 1 GIRINIZ'
      WRITE(*,*)'ETMEYECEKSENIZ SPK DEG.GIRINIZ'
      READ(*,*) SPK
C
      DTAU=0.1
      M=10.
      L=0.03
      RD=0.025
      TAUMAX=9999999.
      WRITE(*,200) L,K,TILK,TSON,DV
      MP1=M+1
      FN=M
      DX=RD/FN
      RATIO=DTAU/(DX*DX)
      XW=1-(K/100)
C
C     BASLANGIC KOSULU
      DO 2 I=1,MP1
 2    T(I)=TILK
      TAU=0.0
      WRITE(*,201) TAU,(T(I),I=1,MP1)
C
      CP=1672+2508*XW
 66   TAU=TAU+DTAU
C
      ICOUNT=ICOUNT+1
C
      DO 3 I=1,MP1
  300 CAP(I)=ROL*CP
      SIG(I)=B1*T(I)+C1
 3    GENNA(I)=DV*DV*SIG(I)*DTAU/(L*L*CAP(I))
      CONTINUE
C
      DO 4 I=1,MP1

      TP(I)=SPK*GENNA(I)+T(I)
```

```
C     194


      GO TO 222
C
 666  IFREQ=1.
 222  WRITE(*,201) TAU,(T(I),I=1,MP1)
      WRITE(*,201) GENNA(1)
      MOV=MP1
      IF(T(MOV).GE.TSON) GO TO 1
      IF(TAU.LE.TAUMAX)GO TO 66
      GO TO 1
C
100   FORMAT(5X,I2,2X,6E9.2,/,9X,6E9.2,/,9X,5E9.2)
101   FORMAT(5X,10F5.1,/,5X,7F5.1)
102   FORMAT(5X,I2,2X,9F4.2)
103   FORMAT(5X,9F5.1)
200   FORMAT(/2X,'L =',F5.3/2X,'%KONS=',F5.1/2X,'T-ILK=',
     &F5.1/2X,'T-SON=',F5.1/2X,'Voltaj =',
     &F5.1/3X,'GENNA(1)=',F6.2)
201   FORMAT(1H ,F8.1(1H ,1X,18F7.2,1X),F5.2/3X)

  1   STOP
      END
```

```
C     ******** EK B.4.****************************************195**
C     ************************************************************
C     ************  OHMIC ISITMA-homojen isi jenerasyonu  *******
C     ***************                                  *************
C     *****    -- SILINDIRIK KESIT --  SIVI GIDALAR IÇIN-2  *****
C     ***********  Enerji kaybi dikkate alinmistir   *************
C     *************                                 **************
C     *SPK degerini 1 alirsaniz kayiplari ihmal etmis olursunuz**
C     ******* t-mod VT surelerini hesaplatiyorsunuz      ********
C     ************************************************************
C     ************************************************************
      REAL L,XW,B2,C2,SPK,K,D1,N1
      DIMENSION T(20),TP(20),
     &CAP(20),GENNA(20),SIG(20)
      IFREQ=1.
C
      WRITE(*,*)'voltaj,T-ILK,T-SON,%KONS,yogunluk DEG.GIRINIZ'
      READ(*,*) DV,TILK,TSON,K,ROL
      WRITE(*,*)'ELEKTRIKSEL ILETKENLIK DENKLEMI 4.1'
      WRITE(*,*)'SABİT ve KATSAYILARI D1,N1,B2 ve C2 i GIRINIZ'
      READ(*,*) D1,N1,B2,C2
      WRITE(*,*)'KAYIPLARI IHMAL EDECEKSENIZ SPK icin 1 GIRINIZ'
      WRITE(*,*)'ETMEYECEKSENIZ SPK DEG.GIRINIZ'
      READ(*,*) SPK
      DTAU=0.10
C
      M=10.
      L=0.03
      RD=0.025
      TAUMAX=9999999.
      WRITE(*,200) L,K,TILK,TSON,DV
      MP1=M+1
      FN=M
      DX=RD/FN
      RATIO=DTAU/(DX*DX)
      XW=1-(K/100)
C
C     BASLANGIC KOSULU
      DO 2 I=1,MP1
 2    T(I)=TILK
      TAU=0.0
      WRITE(*,201) TAU,(T(I),I=1,MP1)
C
C
      CP=1672+2508*XW
 66   TAU=TAU+DTAU
C
      ICOUNT=ICOUNT+1
C
      DO 3 I=1,MP1
  300 CAP(I)=ROL*CP
      SIG(I)=D1*((DV/(L*100))**N1)+B2*T(I)+C2
 3    GENNA(I)=DV*DV*SIG(I)*DTAU/(L*L*CAP(I))
      CONTINUE
```

```
      DO 4 I=1,MP1
      TP(I)=SPK*GENNA(I)+T(I)
4     T(I)=TP(I)
C
      IF(T(MP1).LE.1.)GO TO 666
      IF((ICOUNT/IFREQ)*IFREQ.NE.ICOUNT) GO TO 66
      GO TO 222
C
 666  IFREQ=1.
 222  WRITE(*,201) TAU,(T(I),I=1,MP1)
      WRITE(*,201) GENNA(1)
      MOV=MP1
      IF(T(MOV).GE.TSON) GO TO 1
      IF(TAU.LE.TAUMAX)GO TO 66
      GO TO 1
100   FORMAT(5X,I2,2X,6E9.2,/,9X,6E9.2,/,9X,5E9.2)
101   FORMAT(5X,10F5.1,/,5X,7F5.1)
102   FORMAT(5X,I2,2X,9F4.2)
103   FORMAT(5X,9F5.1)
200   FORMAT(/2X,'L =',F5.3/2X,'%KONS=',F5.1/2X,'T-ILK=',
     &F5.1/2X,'T-SON=',F5.1/2X,'Voltaj =',
     &F5.1/3X,'GENNA(1)=',F6.2)
201   FORMAT(1H ,F8.1(1H ,1X,18F7.2,1X),F5.2/3X)


  1   STOP
      END
```

```
C     ******** EK B.5.**************************************197**
C     ************************************************************
C     ************  OHMIC ISITMA-homojen ìsì jenerasyonu  *******
C     ***************                                  ************
C     *****     -- SILINDIRIK KESIT --  SIVI GIDALAR ICIN-3  *****
C     ***********  Enerji kaybì dikkate alìnmìstìr   ************
C     *************                                  **************
C     *SPK degerini 1 alirsaniz kayiplarì ihmal etmis olursunuz**
C     ******* t-mod CVT surelerini hesaplatiyorsunuz       *******
C     ************************************************************
C     ************************************************************
      REAL L,XW,B3,C3,SPK,K,D2,N2,E,N3
      DIMENSION T(20),TP(20),
     &CAP(20),GENNA(20),SIG(20)
      IFREQ=1.
C
      WRITE(*,*)'voltaj,T-ILK,T-SON,%KONS,yogunluk DEG.GIRINIZ'
      READ(*,*) DV,TILK,TSON,K,ROL
      WRITE(*,*)'ELEKTRIKSEL ILETKENLIK DENKLEMI 4.2'
      WRITE(*,*)'icin E,N3,D2,N2,B3 ve C3 ü GIRINIZ'
      READ(*,*) E,N3,D2,N2,B3,C3
      WRITE(*,*)'KAYIPLARI IHMAL EDECEKSENIZ SPK icin 1 GIRINIZ'
      WRITE(*,*)'ETMEYECEKSENIZ SPK DEG.GIRINIZ'
      READ(*,*) SPK
      DTAU=0.1
C
      M=10.
      L=0.03
      RD=0.025
      TAUMAX=9999999.
      WRITE(*,200) L,K,TILK,TSON,DV
      MP1=M+1
      FN=M
      DX=RD/FN
      RATIO=DTAU/(DX*DX)
      XW=1-(K/100)
C
C     BASLANGIC KOSULU
      DO 2 I=1,MP1
 2    T(I)=TILK
      TAU=0.0
      WRITE(*,201) TAU,(T(I),I=1,MP1)
C
C
      CP=1672+2508*XW
 66   TAU=TAU+DTAU
C
      ICOUNT=ICOUNT+1
C
      DO 3 I=1,MP1
  300 CAP(I)=ROL*CP
      SIG(I)=E*(K)**N3+D2*((DV/(L*100))**N2)+B3*T(I)+C3
 3    GENNA(I)=DV*DV*SIG(I)*DTAU/(L*L*CAP(I))
      CONTINUE
```

```
      DO 4 I=1,MP1
      TP(I)=SPK*GENNA(I)+T(I)
4     T(I)=TP(I)
C
      IF(T(MP1).LE.1.)GO TO 666
      IF((ICOUNT/IFREQ)*IFREQ.NE.ICOUNT) GO TO 66
      GO TO 222
C
 666  IFREQ=1.
 222  WRITE(*,201) TAU,(T(I),I=1,MP1)
      WRITE(*,201) GENNA(1)
      MOV=MP1
      IF(T(MOV).GE.TSON) GO TO 1
      IF(TAU.LE.TAUMAX)GO TO 66
      GO TO 1
100   FORMAT(5X,I2,2X,6E9.2,/,9X,6E9.2,/,9X,5E9.2)
101   FORMAT(5X,10F5.1,/,5X,7F5.1)
102   FORMAT(5X,I2,2X,9F4.2)
103   FORMAT(5X,9F5.1)
200   FORMAT(/2X,'L =',F5.3/2X,'%KONS=',F5.1/2X,'T-ILK=',
     &F5.1/2X,'T-SON=',F5.1/2X,'Voltaj =',
     &F5.1/3X,'GENNA(1)=',F6.2)
201   FORMAT(1H ,F8.1(1H ,1X,18F7.2,1X),F5.2/3X)


  1   STOP
      END
```

```
C      ******** EK B.6.*****************************************199**
C      ************************************************************
C      ************************************************************
C      *****    - SILINDIRIK KESIT --  KATI GIDALAR ICIN      *****
C      ***********  Enerji kaybi dikkate alinmistir   ************
C      *************                                  **************
C      * SPK degerini 1 alirsaniz kayiplarî ihmal etmis olursunuz*
C      ******t-adb veya t-mod surelerini hesaplatiyorsunuz  ******
C      ************************************************************
C      ************************************************************
       REAL L,K,KIP12,KIM12,K0
       DIMENSION A(20),B(20),C(20),D(20),GAMMA(20),T(20),
      &K(20),CAP(20),KIP12(20),KIM12(20),RO(20), GENNA(20), SIG(20)
       IFREQ=1.
       WRITE(*,*)'Voltaj,T-ILK,T-SON DEG.GIRINIZ'
       READ(*,*) DV,TILK,TSON
       WRITE(*,*)'ELEKTRiKSEL ILETKENLIK DENKLEMI 3.21'
       WRITE(*,*)'icin B1 ve C1 DEG.GIRINIZ'
       READ(*,*) B1,C1
       WRITE(*,*)'Kayìplarî ihmal edecekseniz SPK icin 1 GIRINIZ'
       WRITE(*,*)'Etmeyeceksenìz SPK DEG.GIRINIZ'
       READ(*,*) SPK

       DTAU=0.1
       M=10
       L=0.03
       RD=0.025
       TAUMAX=9999999.
       WRITE(*,200) DTAU,TILK,TSON,DV,L
       MP1=M+1
       FN=M
       DX=RD/FN
       RATIO=DTAU/(DX*DX)


       DO 2 I=1,MP1
 2     T(I)=TILK
       TAU=0.0
       WRITE(*,201) TAU,(T(I),I=1,MP1),GENNA(MP1)

C FIZIKSEL OZELLIKLER ICIN SABITLER
       ROL=1010
C      ROL=1070.
       K0=0.51
       RO(1)=ROL

 66    TAU=TAU+DTAU

       WRITE(*,201) TAU

       ICOUNT=ICOUNT+1
```

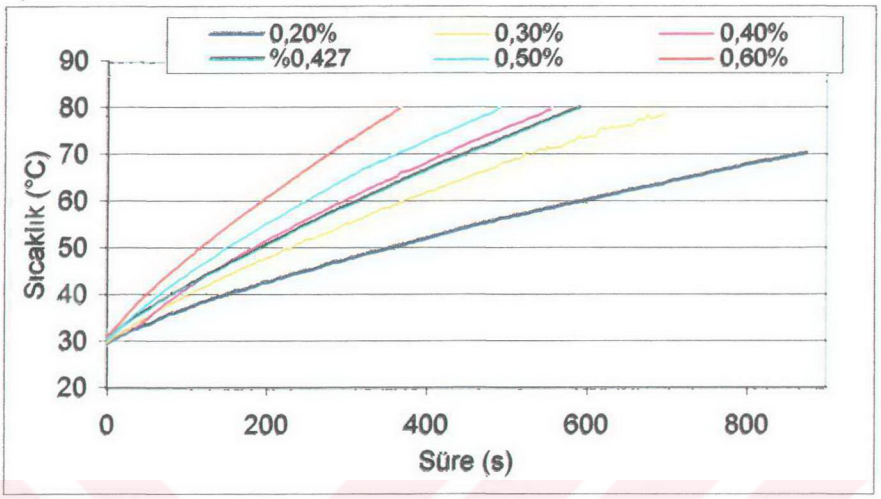
```
C     200


 112  K(1)=K0
      CAP(1)=1010*3710
C     CAP(1)=3.65E06
 111  GAMMA(1)=CAP(1)/RATIO
      SIG(1)=B1*T(1)+C1
      GENNA(1)=DV*DV*SIG(1)*DTAU/(L*L*CAP(1))
      WRITE(*,201) GENNA(1)

      DO 3 I=2,MP1
  300 CAP(I)=1010*3710
C 300 CAP(I)=3.65E06
      K(I)=K0
      KIM12(I)=(K(I-1)+K(I))/2.
      GAMMA(I)=CAP(I)/RATIO
      SIG(I)=B1*T(I)+C1
 3    GENNA(I)=DV*DV*SIG(I)*DTAU/(L*L*CAP(I))
      CONTINUE

      DO 400 I=2,M
      KIP12(I)=(K(I)+K(I+1))/2.
 400  KIM12(I)=(K(I-1)+K(I))/2.
      KIM12(MP1)=KIP12(M)
      KIP12(1)=(K(2)+K(1))/2.
      KIM12(1)=KIP12(1)

      DO 4 I=2,M
      A(I)=-KIM12(I)*((M-(I-1.5))/(MP1-I))
      B(I)=(KIM12(I)*((M-(I-1.5))/(MP1-I))+KIP12(I)*((M-(I-.5))
     $/(MP1-I)))+GAMMA(I)
 4    C(I)=-KIP12(I)*((M-(I-.5))/(MP1-I))

      A(MP1)=-4.*KIM12(MP1)
      B(MP1)=4.*KIM12(MP1)+GAMMA(MP1)
      C(MP1)=0.
      A(1)=0.0
      B(1)= KIM12(2)+GAMMA(1)/2.
      C(1)=-KIM12(2)
C
      DO 188 I=1,MP1
 188  D(I)=T(I)*GAMMA(I)+GENNA(I)*GAMMA(I)*SPK
      D(1)=T(1)*GAMMA(1)/2.+GENNA(1)*GAMMA(1)/2.*SPK
C
      CALL TRIDAG(1,MP1,A,B,C,D,T)
      IF(T(MP1).LE.1.)GO TO 666
      IF((ICOUNT/IFREQ)*IFREQ.NE.ICOUNT) GO TO 66
      GO TO 222
```

```
 666  IFREQ=1.
 222  WRITE(*,201) TAU,(T(I),I=1,MP1)
      MOV=MP1
      IF(T(MOV).GE.TSON) GO TO 1
      IF(TAU.LE.TAUMAX)GO TO 66
      GO TO 1

100   FORMAT(5X,I2,2X,6E9.2,/,9X,6E9.2,/,9X,5E9.2)
101   FORMAT(5X,10F5.1,/,5X,7F5.1)
102   FORMAT(5X,I2,2X,9F4.2)
103   FORMAT(5X,9F5.1)
200   FORMAT(/2X,'DTAU=',F6.2/2X,
     &'T-İLK=',F5.1/2X,'TSON=',F5.1/2X,'DV=',
     &F7.1/2X,'L=',F6.4/2X)
201   FORMAT(1H ,F8.1(1H ,1X,18F7.2,1X),F6.2)


   1  STOP
      END

      SUBROUTINE TRIDAG(IF,L,R,P,S,D,V)
      DIMENSION R(1),P(1),S(1),D(1),V(1),BETA(101),GAMMA(101)
      BETA(IF)=P(IF)
      GAMMA(IF)=D(IF)/BETA(IF)
      IFP1=IF+1
      DO 1 I=IFP1,L
      BETA(I)=(P(I)-R(I)*S(I-1)/BETA(I-1))
 1    GAMMA(I)=((D(I)-R(I)*GAMMA(I-1))/BETA(I))
      V(L)=GAMMA(L)
      LAST=L-IF
      DO 2 K=1,LAST
      I=L-K
 2    V(I)=GAMMA(I)-S(I)*V(I+1)/BETA(I)
      RETURN
      END
```

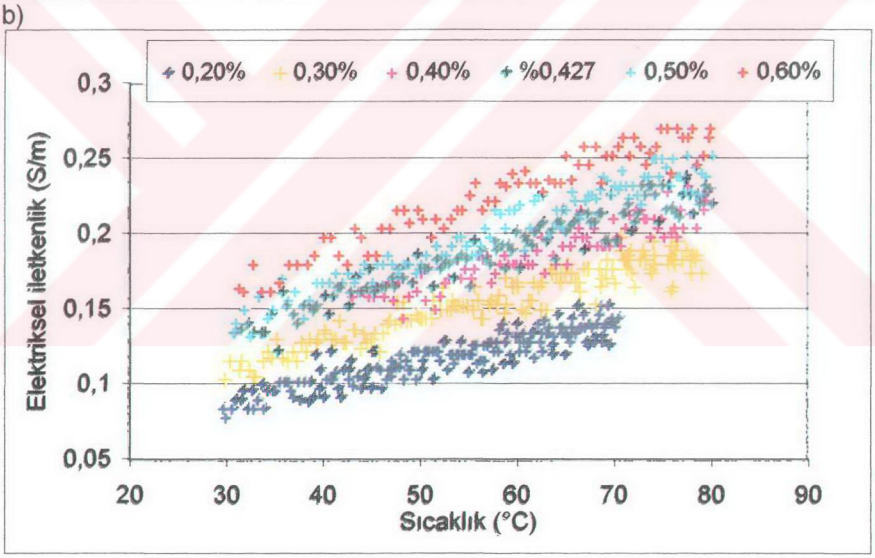
T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

EK C

a)

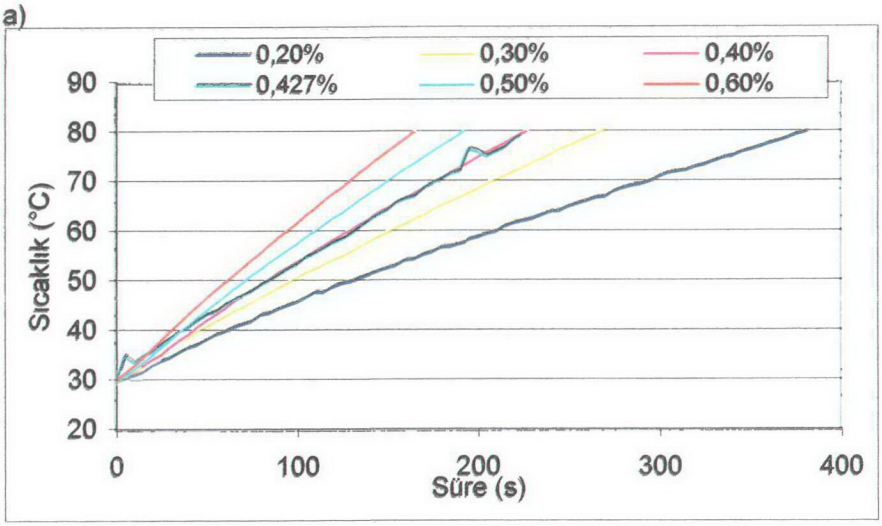


b)

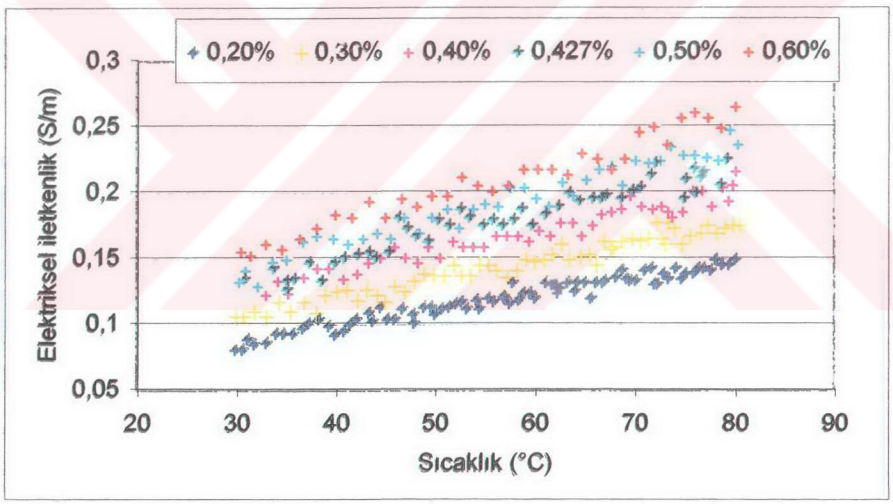


Ek C.1 Farklı asitliklere sahip şurup örneklerinin 20 V/cm voltaj gradyanı ile Ohmik ısıtılması sırasında a) ısıtma eğrileri b) elektriksel iletkenlik değişimleri

a)

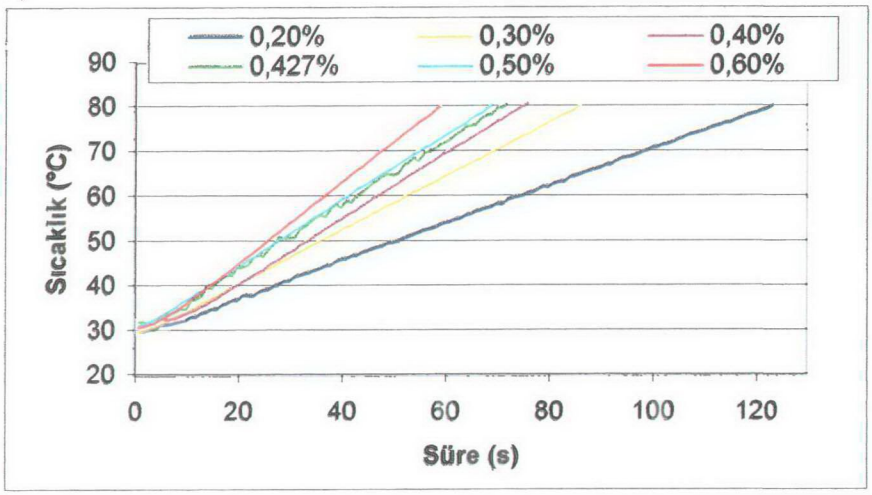


b)

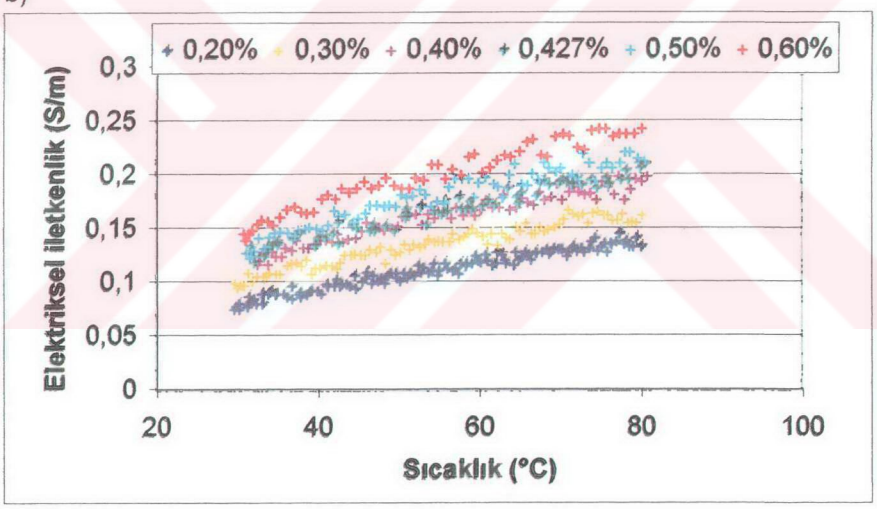


Ek C.2 Farklı asitliklere sahip şurup örneklerinin 30 V/cm voltaj gradyanı ile Ohmik ısıtılması sırasında a) ısıtma eğrileri b) elektriksel iletkenlik değişimleri

a)

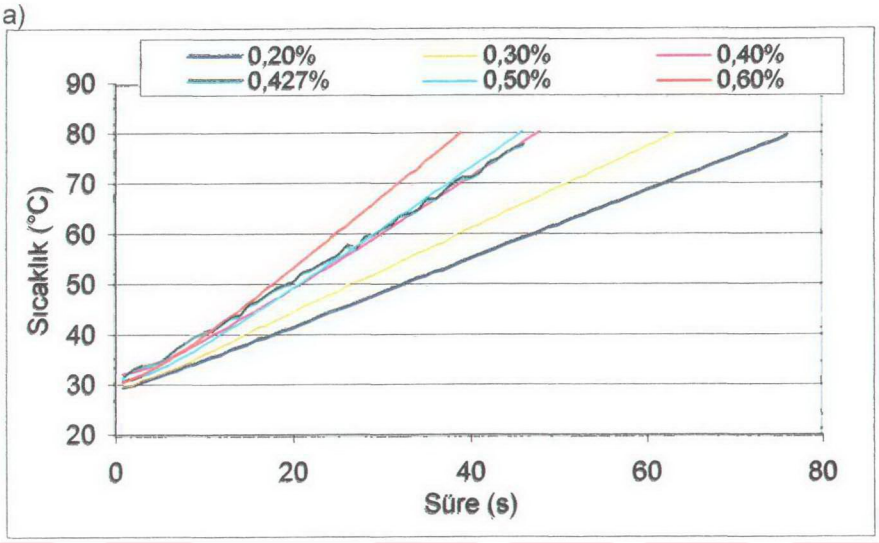


b)

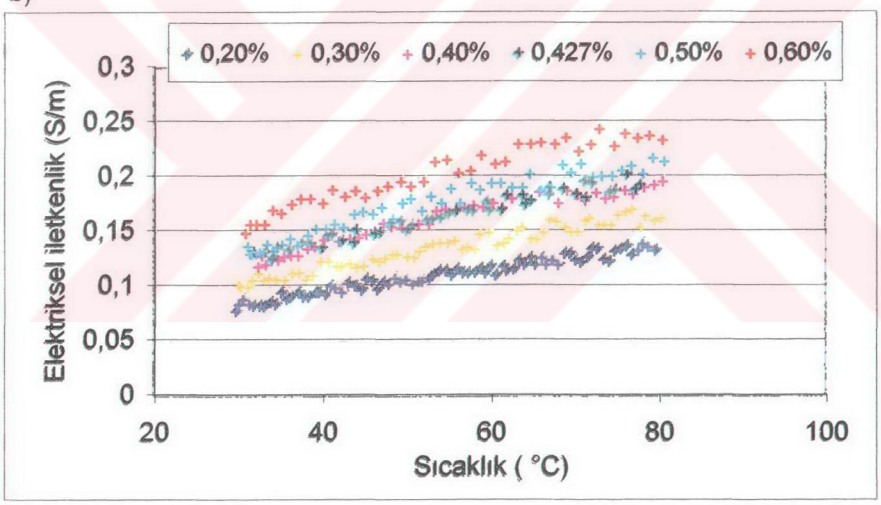


Ek C.3 Farklı asitliklere sahip şurup örneklerinin 50 V/cm voltaj gradyanı ile Ohmik ısıtılması sırasında a) ısıtma eğrileri b) elektriksel iletkenlik değişimleri

a)

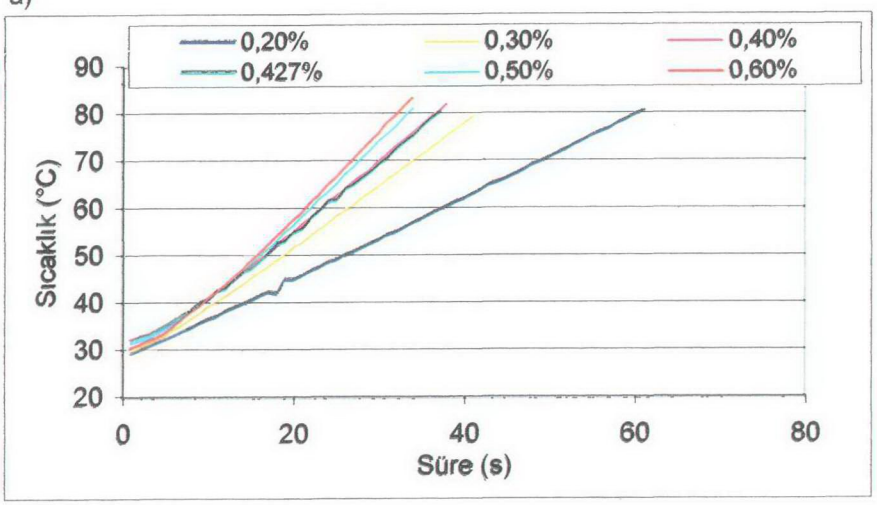


b)

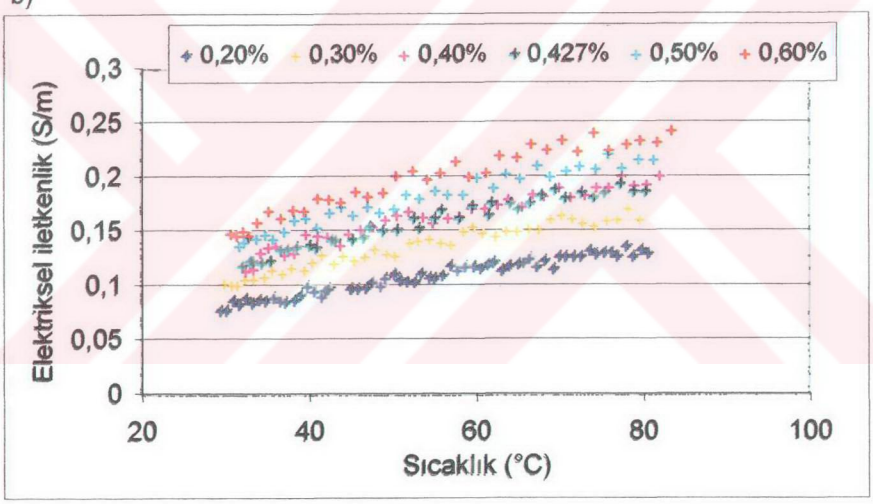


Ek C.4 Farklı asitliklere sahip şurup örneklerinin 60 V/cm voltaj gradyanı ile Ohmik ısıtılması sırasında a) ısıtma eğrileri b) elektriksel iletkenlik değişimleri

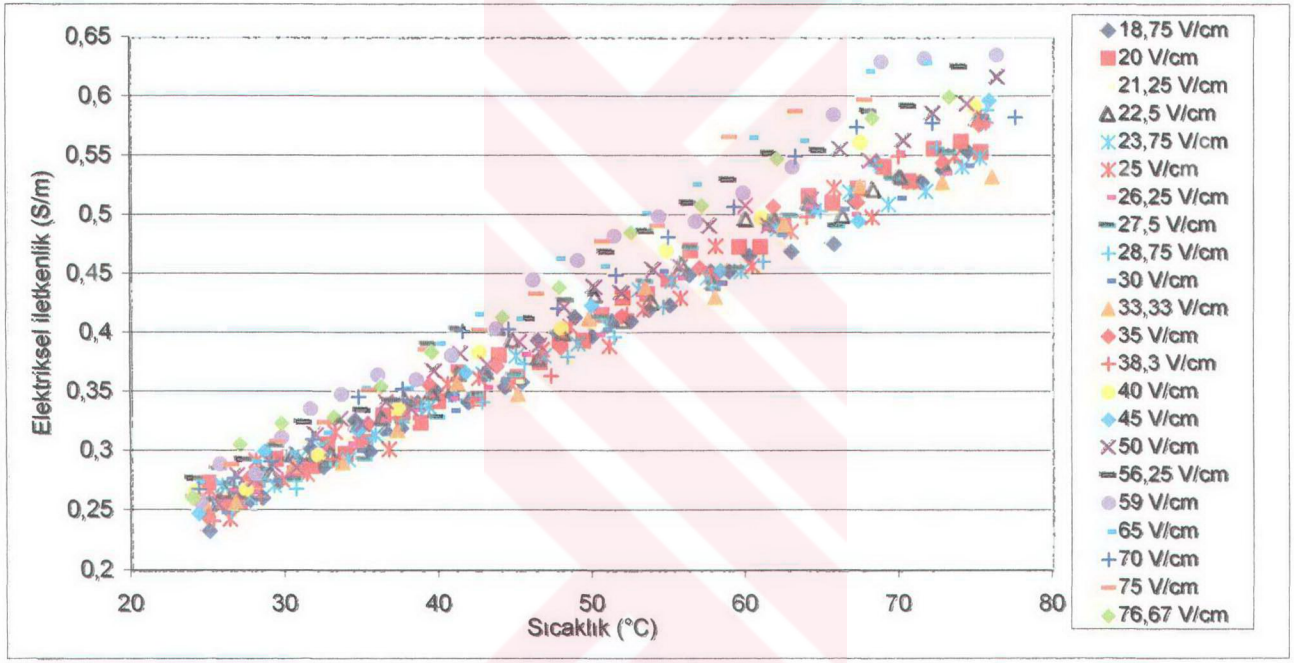
a)



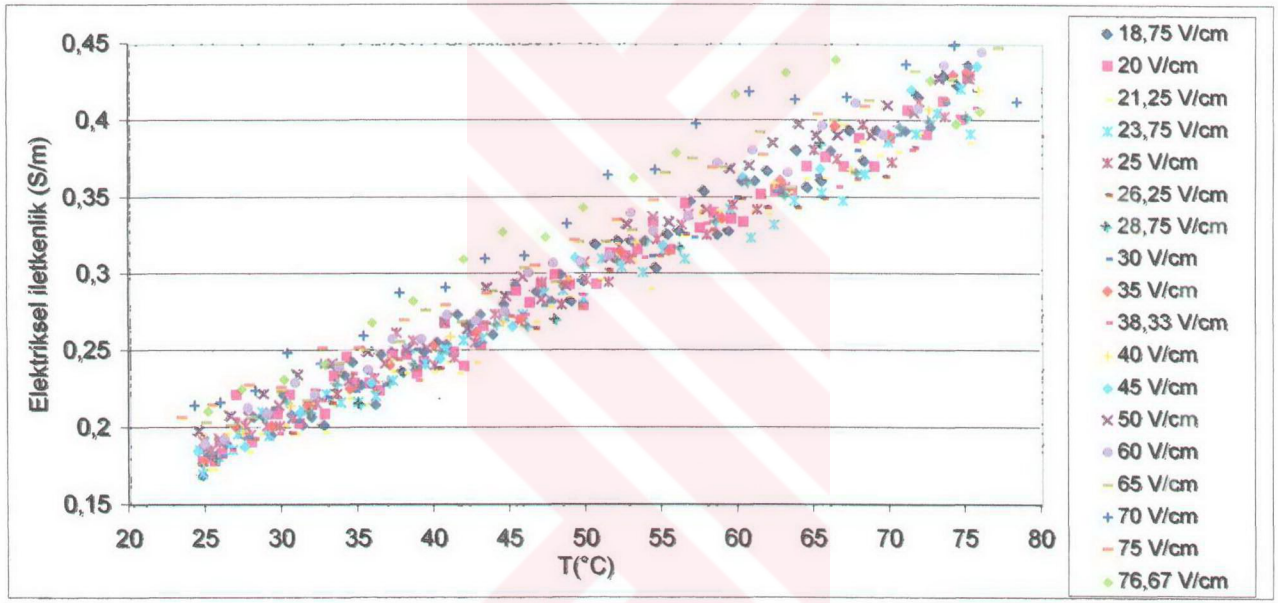
b)



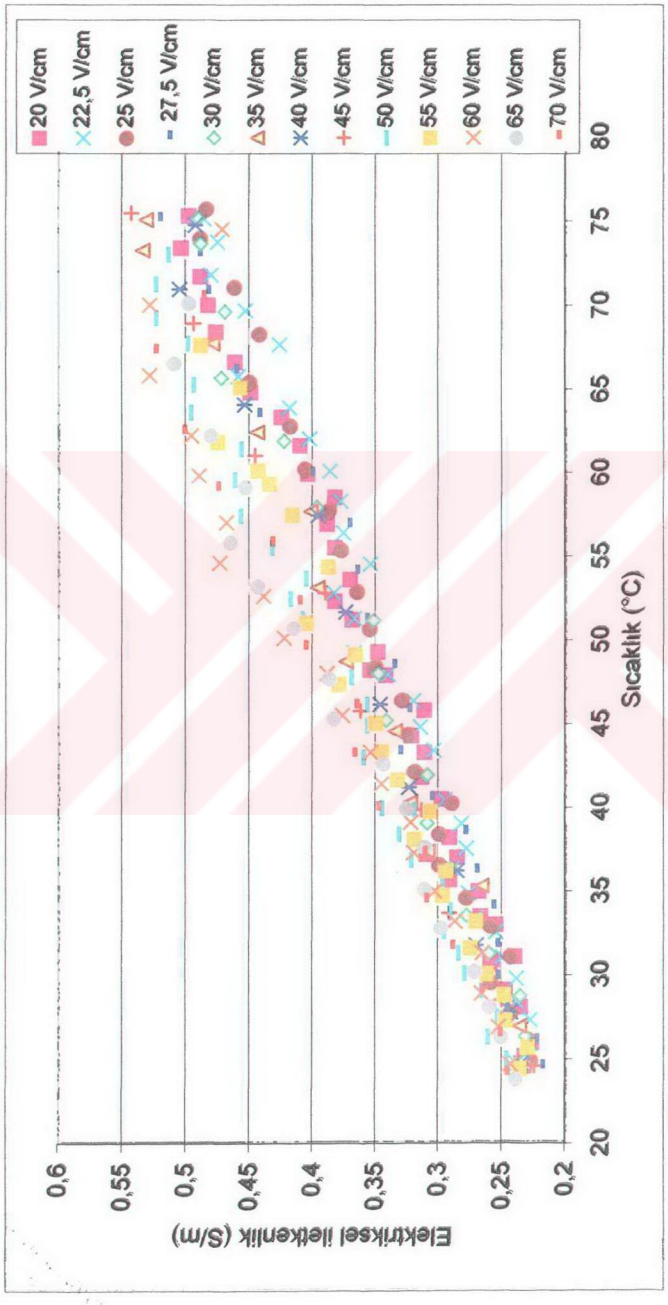
Ek C.5 Farklı asitliklere sahip şurup örneklerinin 70 V/cm voltaj gradyanı ile Ohmik ısıtılması sırasında a)ısıtma eğrileri b) elektriksel iletkenlik değişimleri



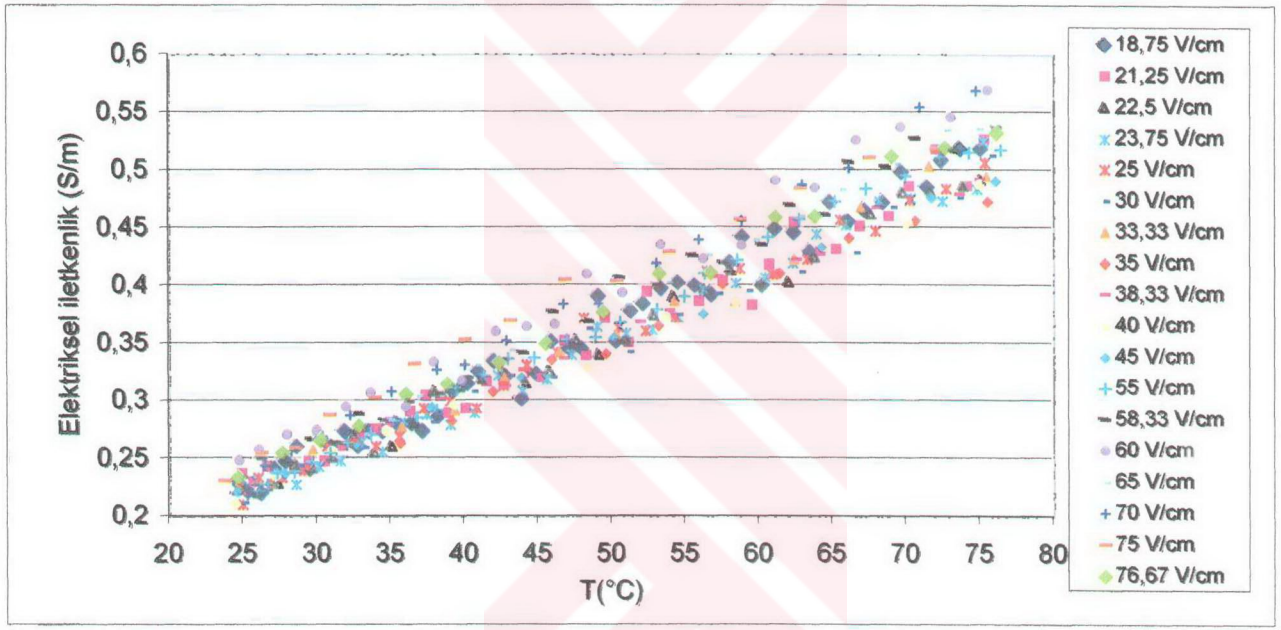
Ek C.6 Elma suyunun farklı voltaj gradyanlarında Ohmik ısıtılması sırasında elektriksel iletkenlik değişimleri



Ek C.7 Vişne nektarının farklı voltaj gradyanlarında Ohmik ısıtılması sırasında elektriksel iletkenlik değişimleri

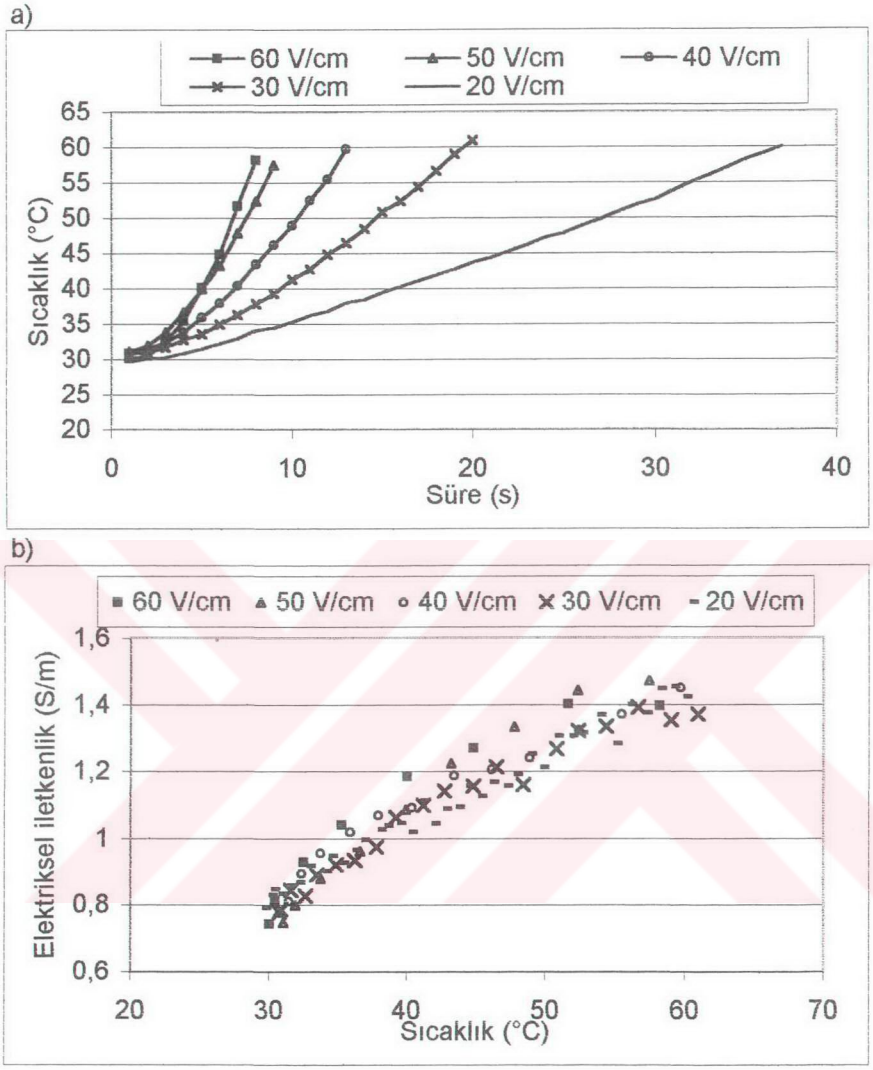


Ek C.8 Kayısı nektarının farklı voltaj gradyanlarında Ohmik ısıtılması sırasında elektriksel iletkenlik değişimleri

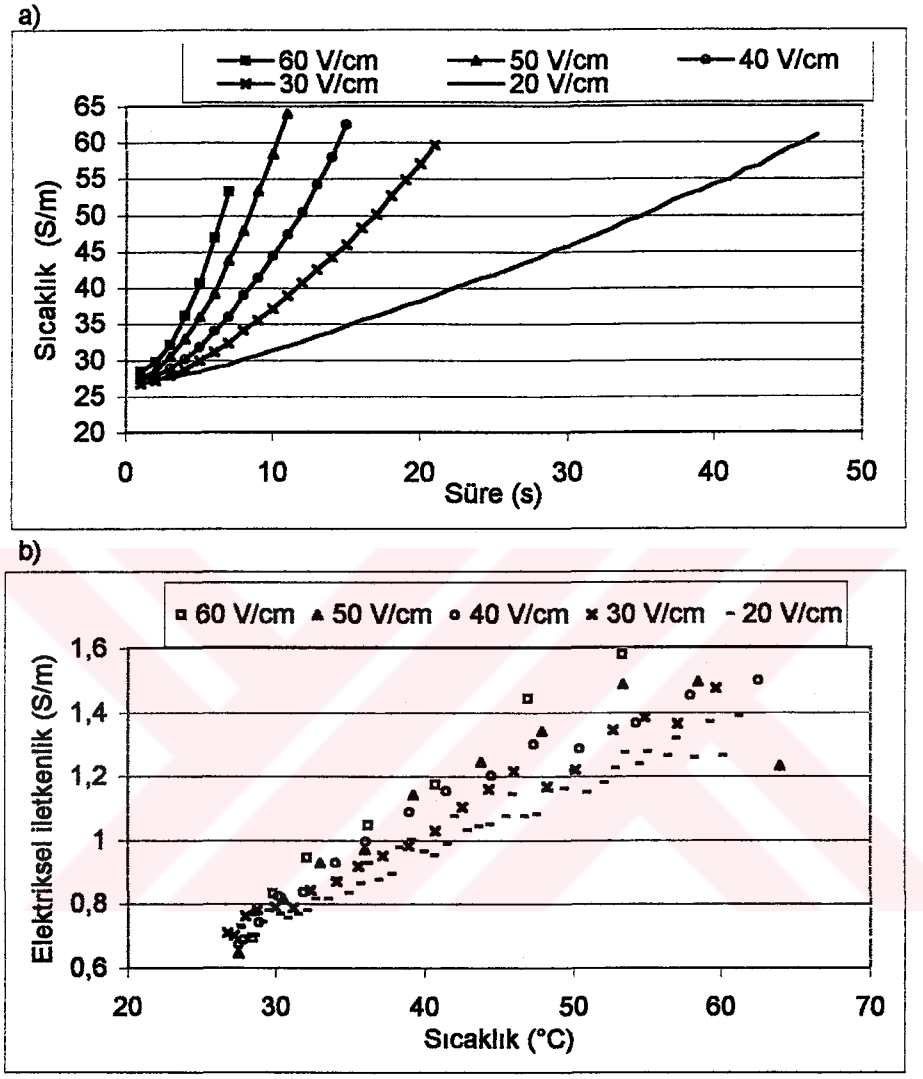


Ek C.9 Filtre edilmiş portakal nektarının farklı voltaj gradyanlarında Ohmik ısıtılması sırasında elektriksel iletkenlik değişimleri

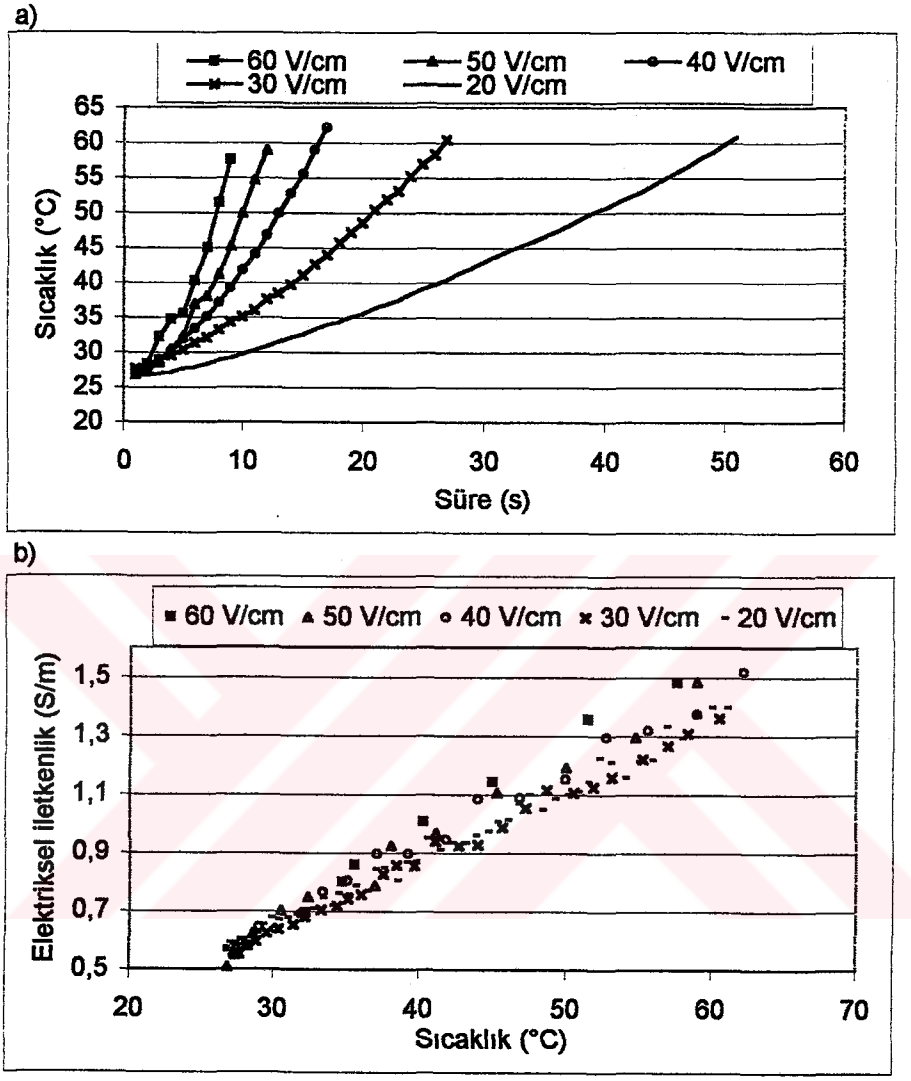
T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ



Ek C.10 %20 konsantrasyondaki vişne suyunun farklı voltaj gradyanlarında a) Ohmik ısıtma eğrileri b) elektriksel iletkenlik değişimleri

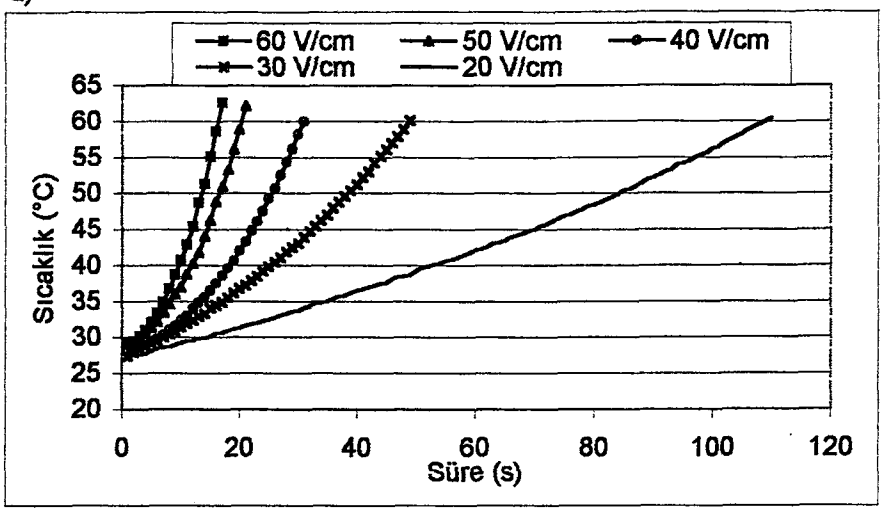


Ek C.11 %30 konsantrasyondaki vişne suyunun farklı voltaj gradyanlarında a) Ohmik ısıtma eğrileri b) elektriksel iletkenlik değişimleri

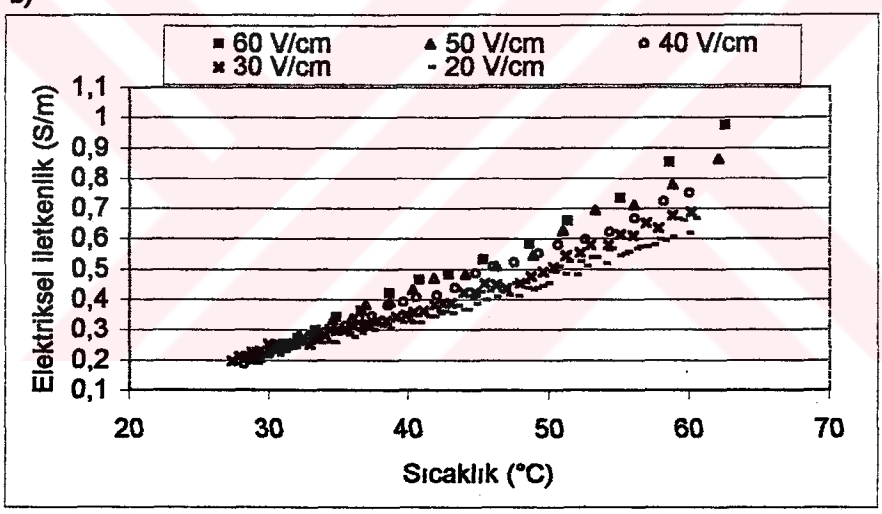


Ek C.12 %40 konsantrasyondaki vişne suyunun farklı voltaj gradyanlarında a) Ohmik ısıtma eğrileri b) elektriksel iletkenlik değişimleri

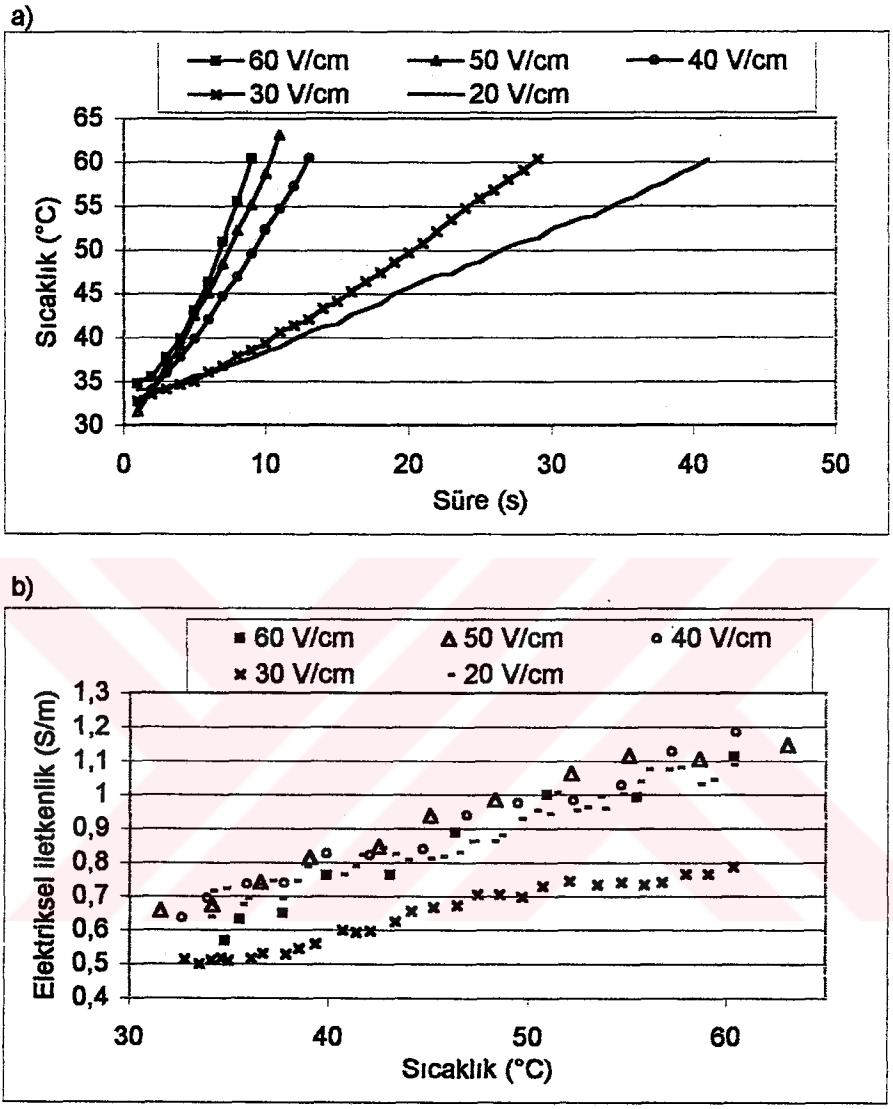
a)



b)

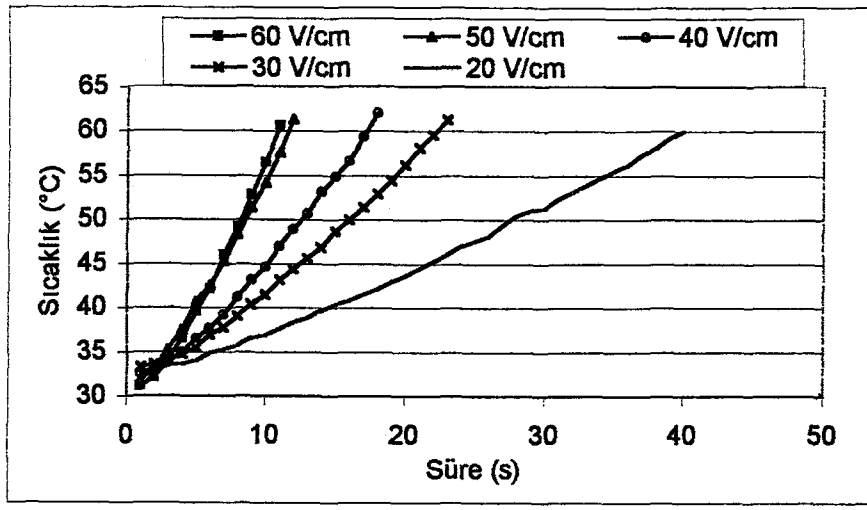


Ek C.13 %60 konsantrasyondaki vişne suyunun farklı voltaj gradyanlarında a) Ohmik ısıtma eğrileri b) elektriksel iletkenlik değişimleri

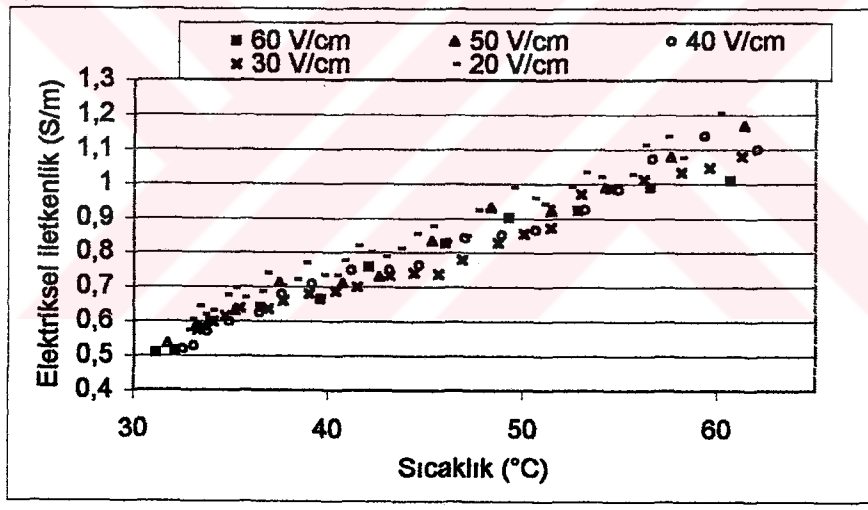


Ek C.14 %20 konsantrasyondaki portakal suyunun farklı voltaj gradyanlarında a) Ohmik ısıtma eğrileri b) elektriksel iletkenlik değişimleri

a)

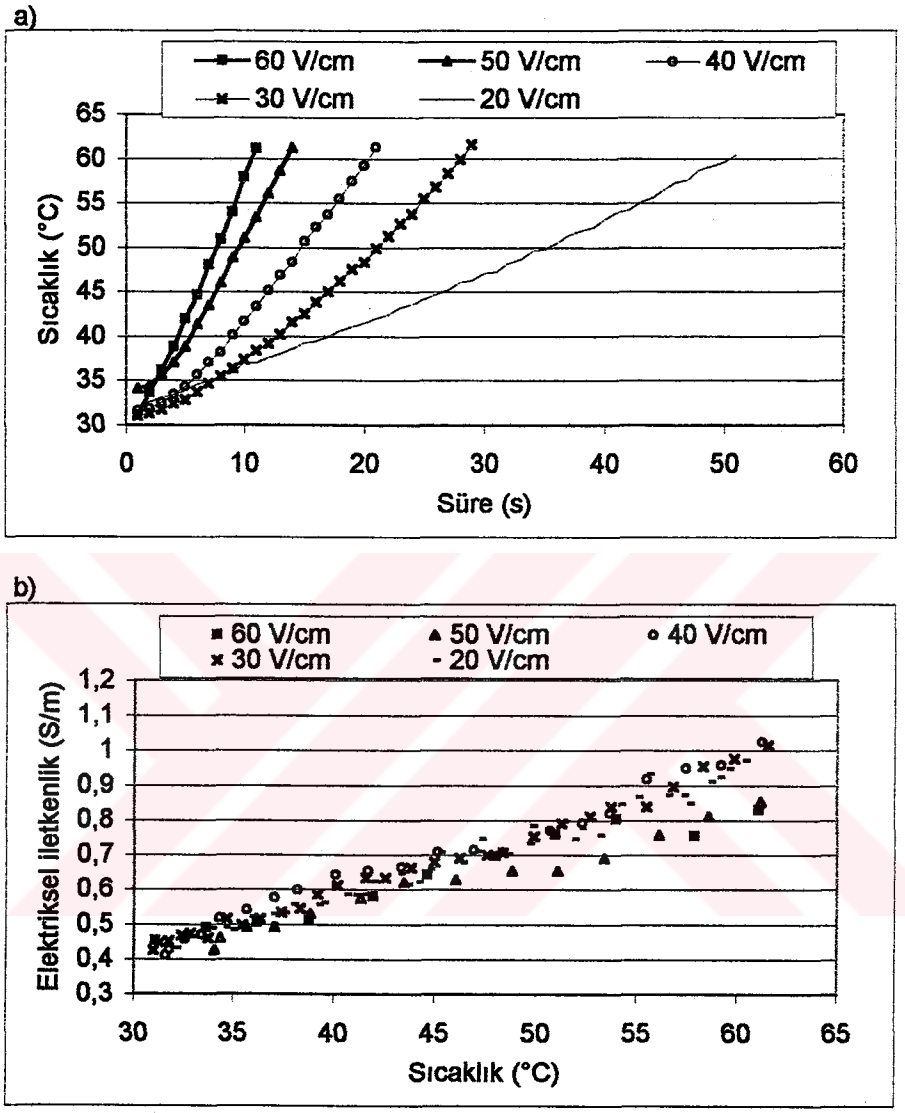


b)



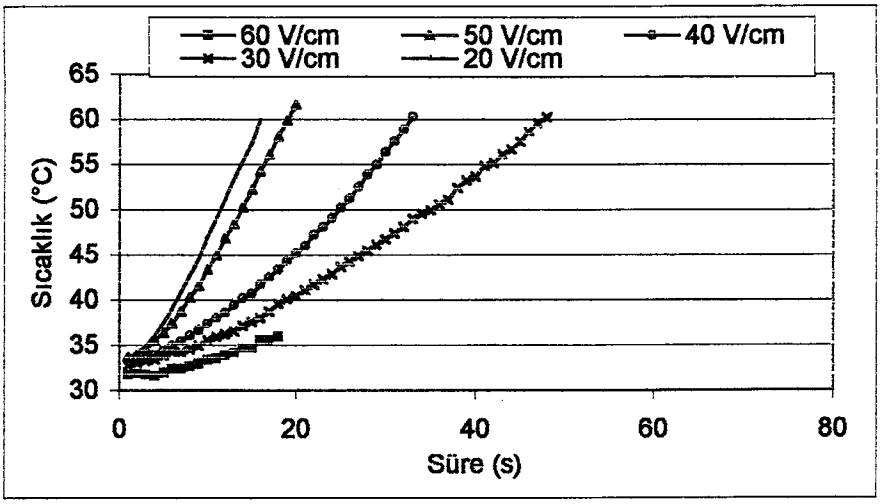
Ek C.15 %30 konsantrasyondaki portakal suyunun farklı voltaj gradyanlarında a) Ohmik ısıtma eğrileri b) elektriksel iletkenlik değişimleri

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

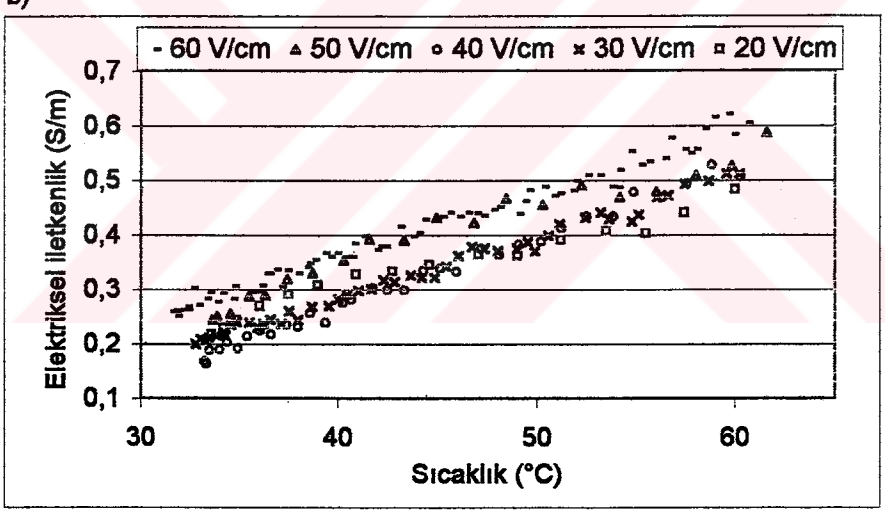


Ek C.16 %40 konsantrasyondaki portakal suyunun farklı voltaj gradyanlarında a) Ohmik ısıtma eğrileri b) elektriksel iletkenlik değişimleri

a)

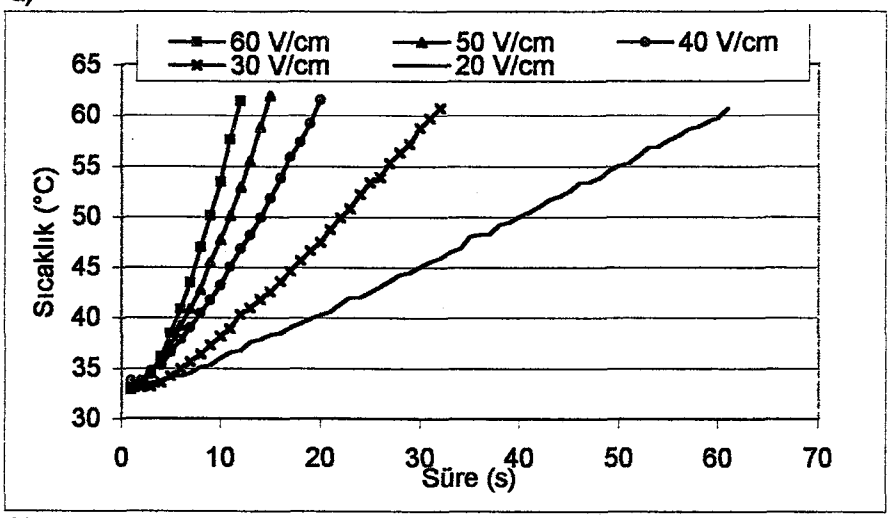


b)

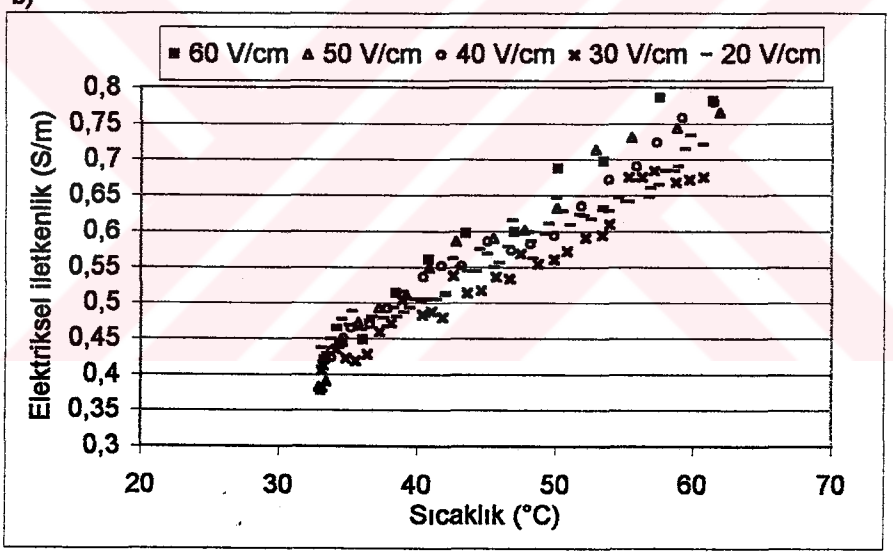


Ek C.17 %60 konsantrasyondaki portakal suyunun farklı voltaj gradyanlarında a) Ohmik ısıtma eğrileri b) elektriksel iletkenlik değişimleri

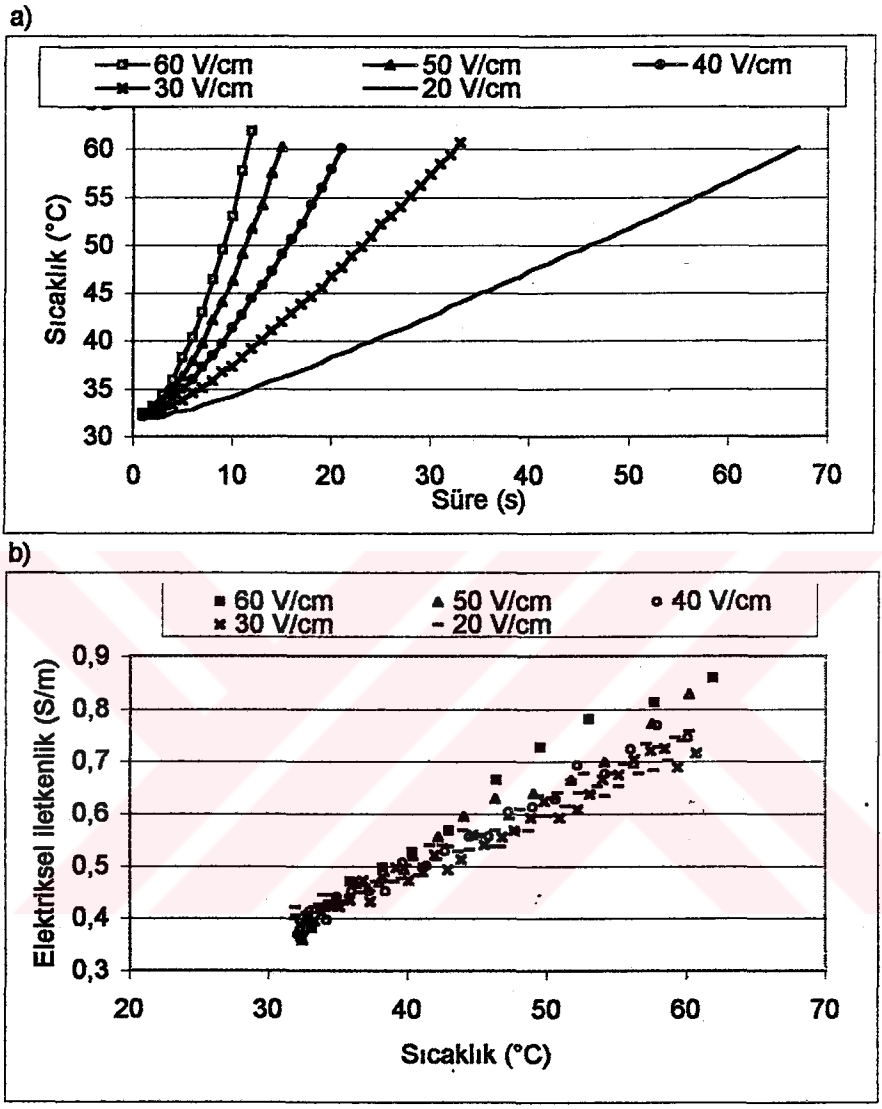
a)



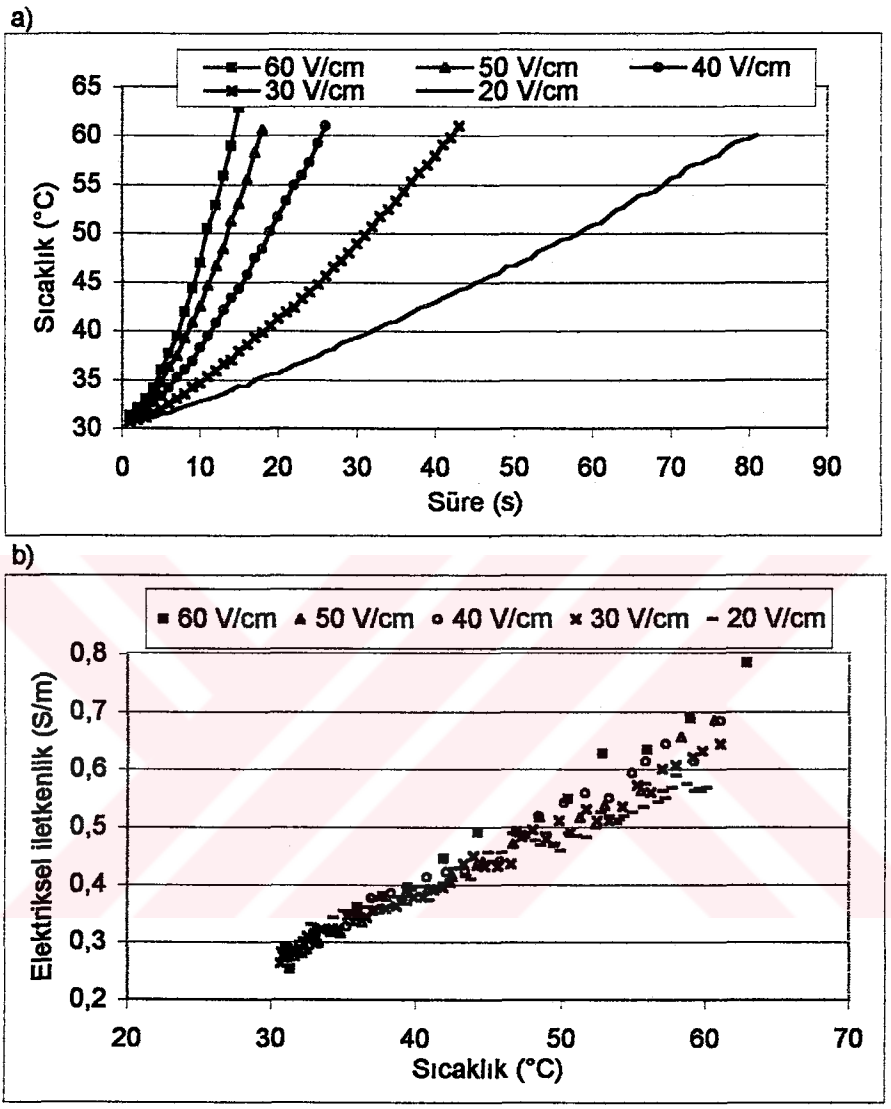
b)



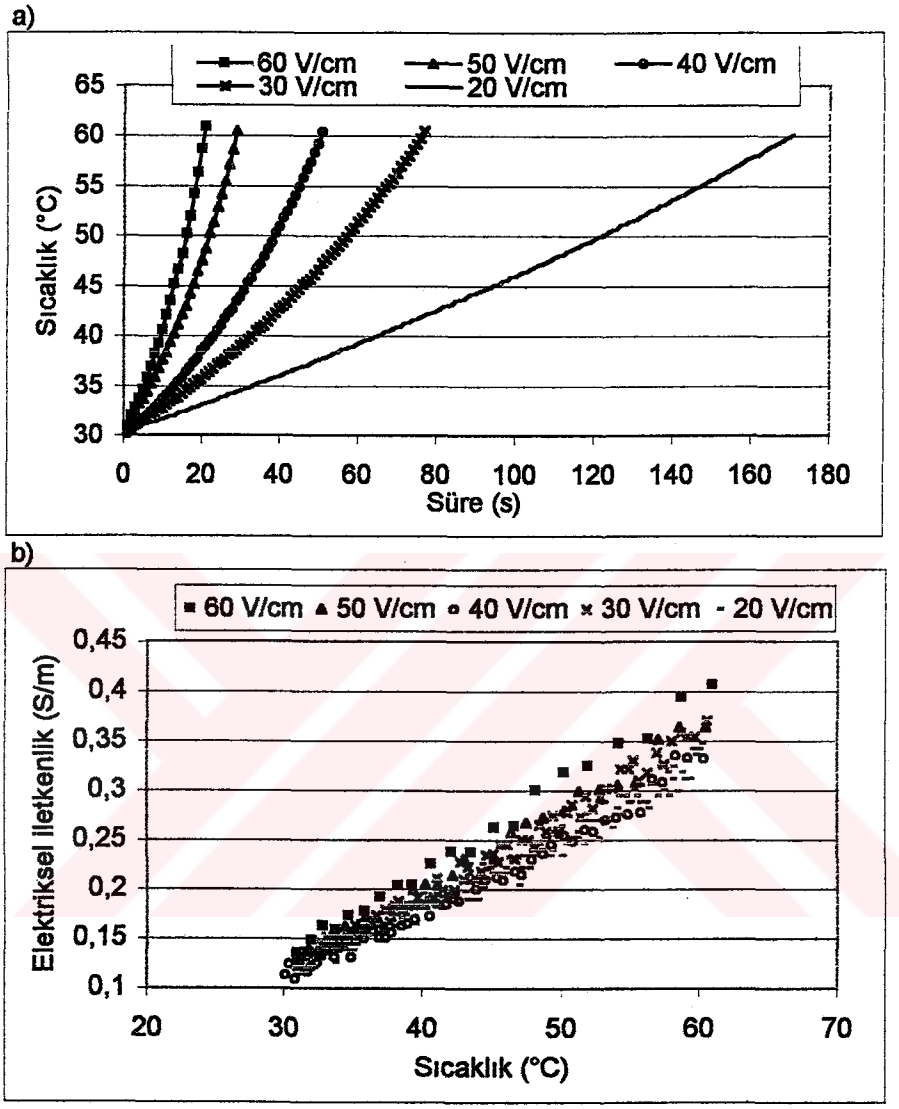
Ek C.18 %20 konsantrasyondaki elma suyunun farklı voltaj gradyanlarında a) Ohmik ısıtma eğrileri b) elektriksel iletkenlik değişimleri



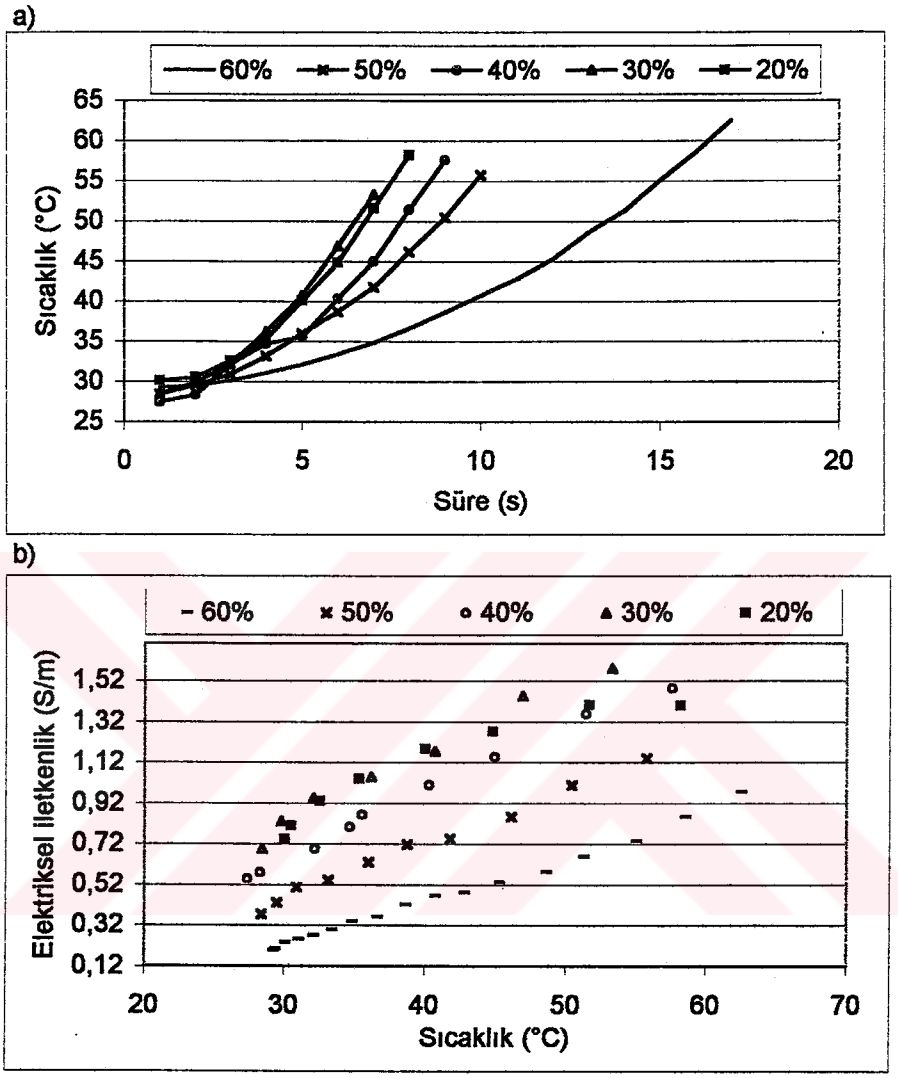
Ek C.19 %30 konsantrasyondaki elma suyunun farklı voltaj gradyanlarında a) Ohmik ısıtma eğrileri b) elektriksel iletkenlik değişimleri



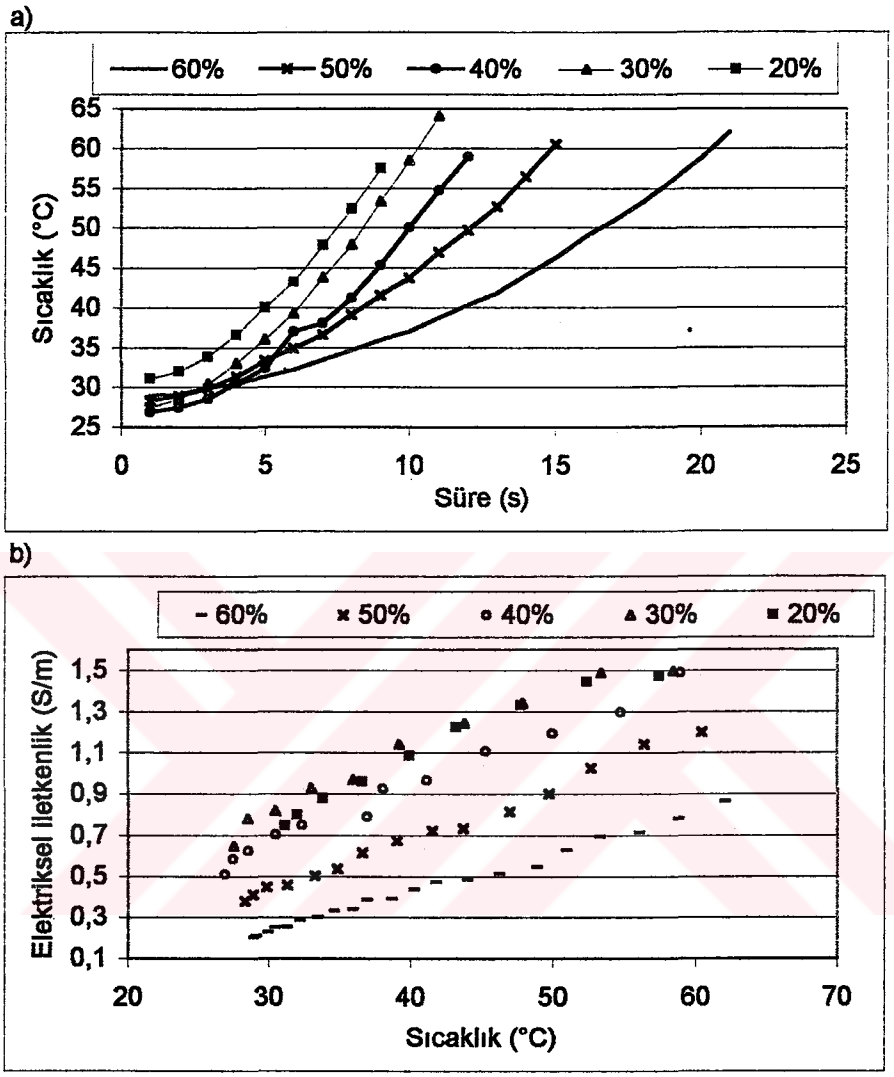
Ek C.20 %40 konsantrasyondaki elma suyunun farklı voltaj gradyanlarında a) Ohmik ısıtma eğrileri b) elektriksel iletkenlik değişimleri



Ek C.21 %60 konsantrasyondaki elma suyunun farklı voltaj gradyanlarında a) Ohmik ısıtma eğrileri b) elektriksel iletkenlik değişimleri

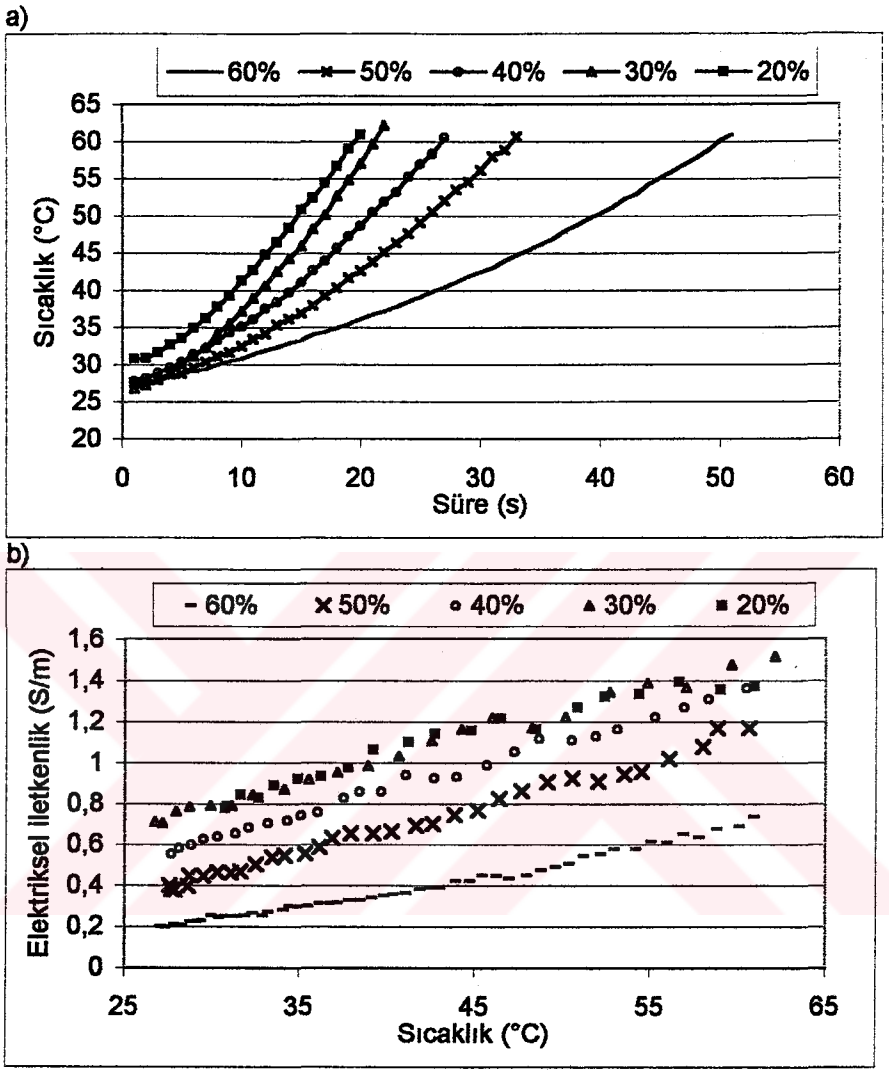


Ek C.22 Farklı konsantrasyondaki vişne sularının 60 V/cm voltaj gradyanında a) Ohmik ısıtma eğrileri b) elektriksel iletkenlik değişimleri

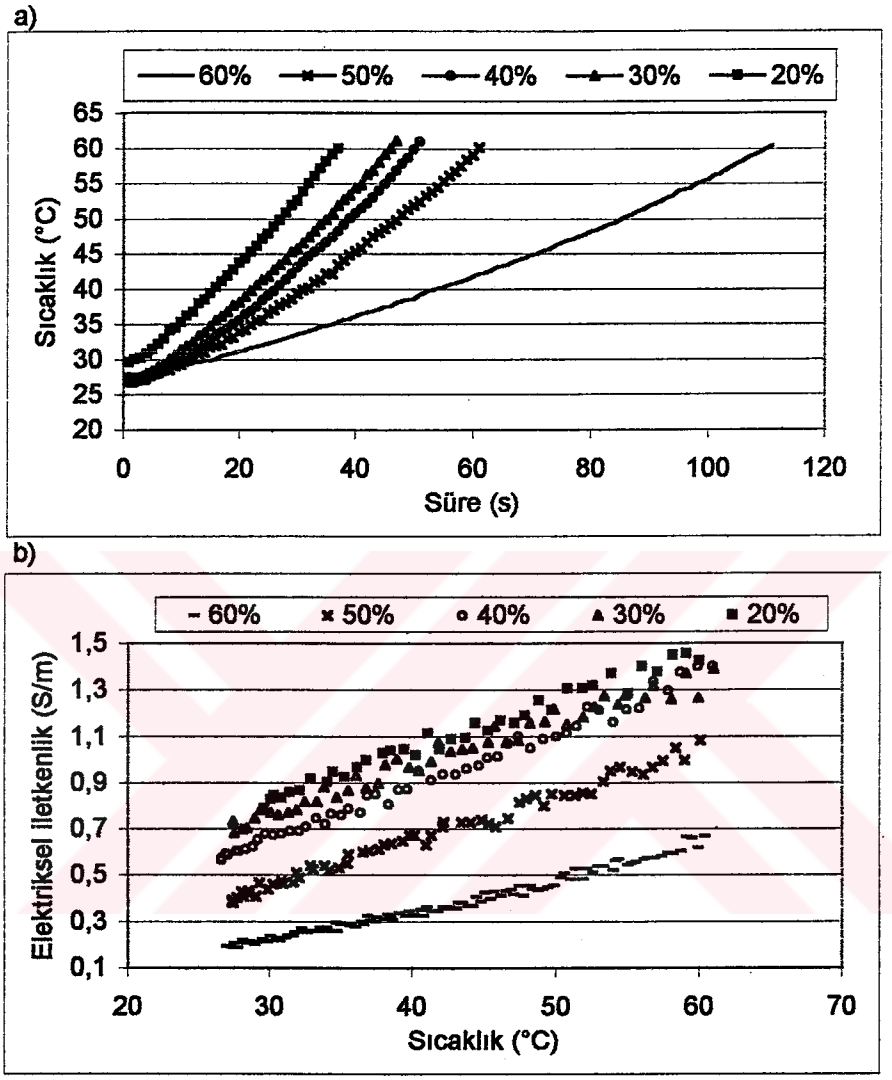


Ek C.23 Farklı konsantrasyondaki vişne sularının 50 V/cm voltaj gradyanında a) Ohmik ısıtma eğrileri b) elektriksel iletkenlik değişimleri

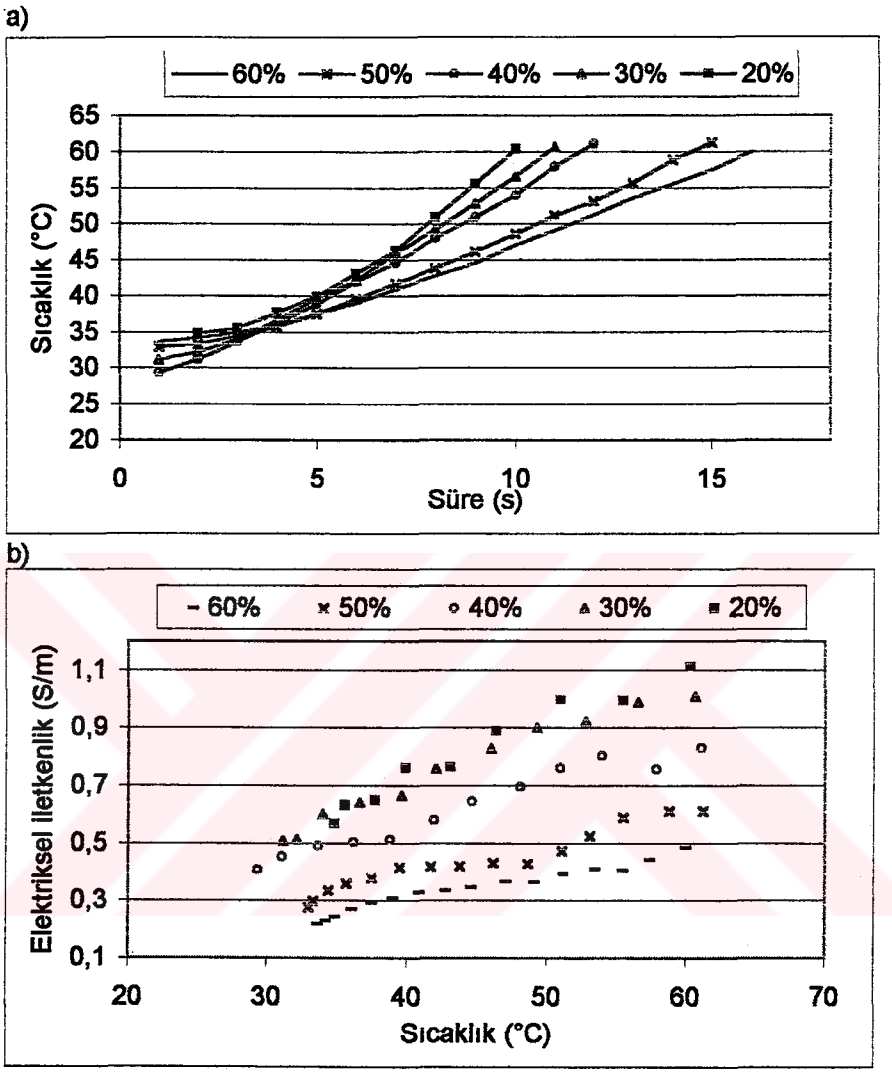
T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ



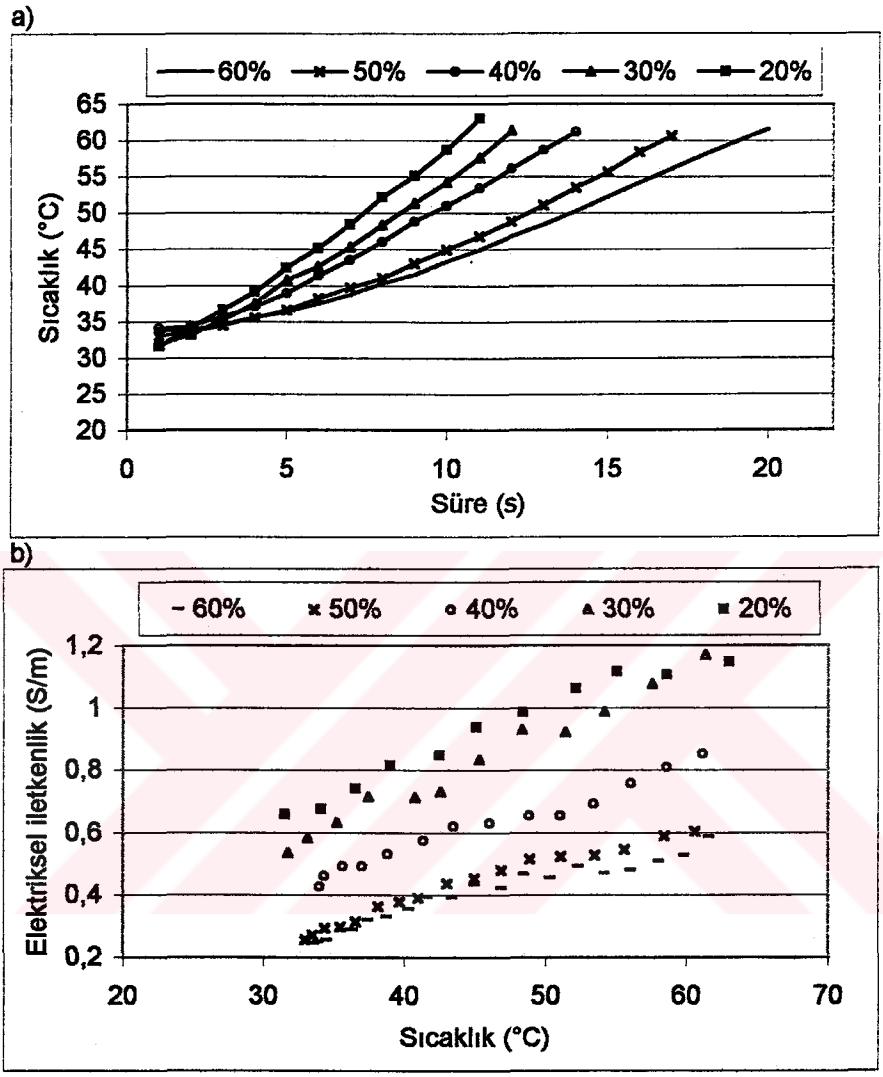
Ek C.24 Farklı konsantrasyondaki vişne sularının 30 V/cm voltaj gradyanında a) Ohmik ısıtma eğrileri b) elektriksel iletkenlik değişimleri



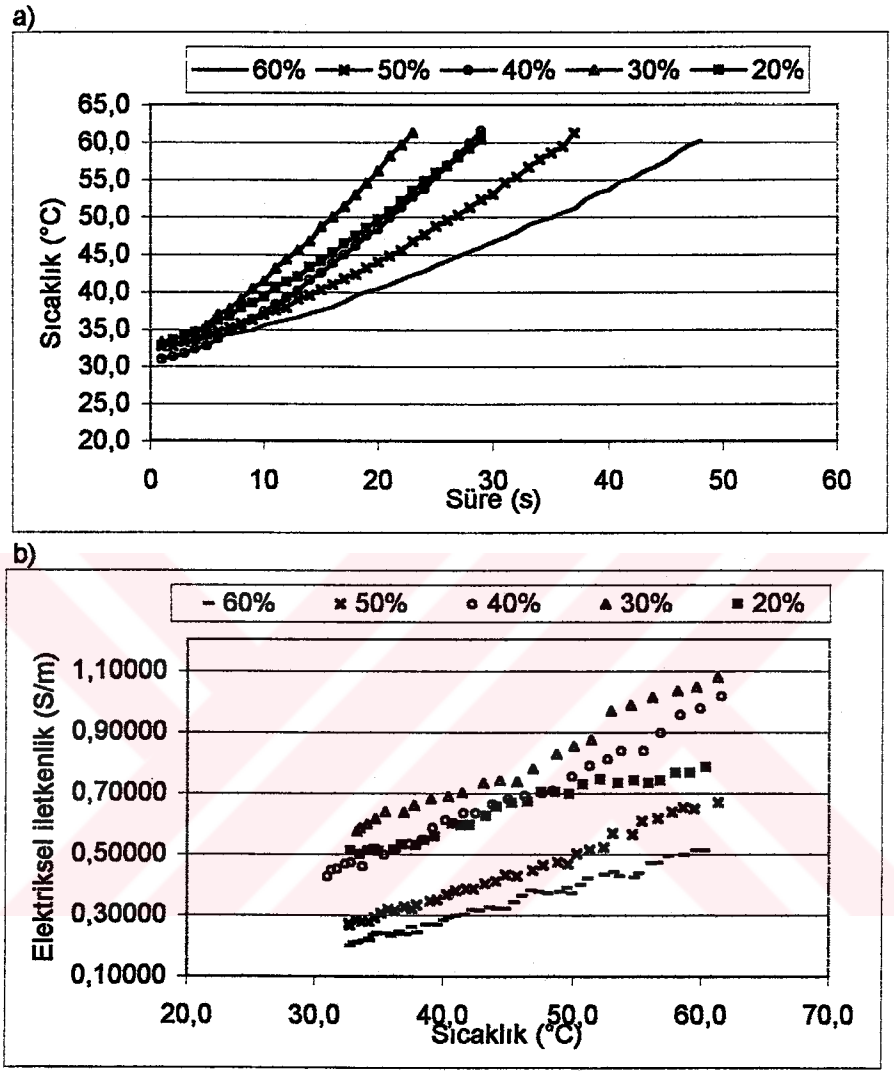
Ek C.25 Farklı konsantrasyondaki vişne sularının 20 V/cm voltaj gradyanında a) Ohmik ısıtma eğrileri b) elektriksel iletkenlik değişimleri



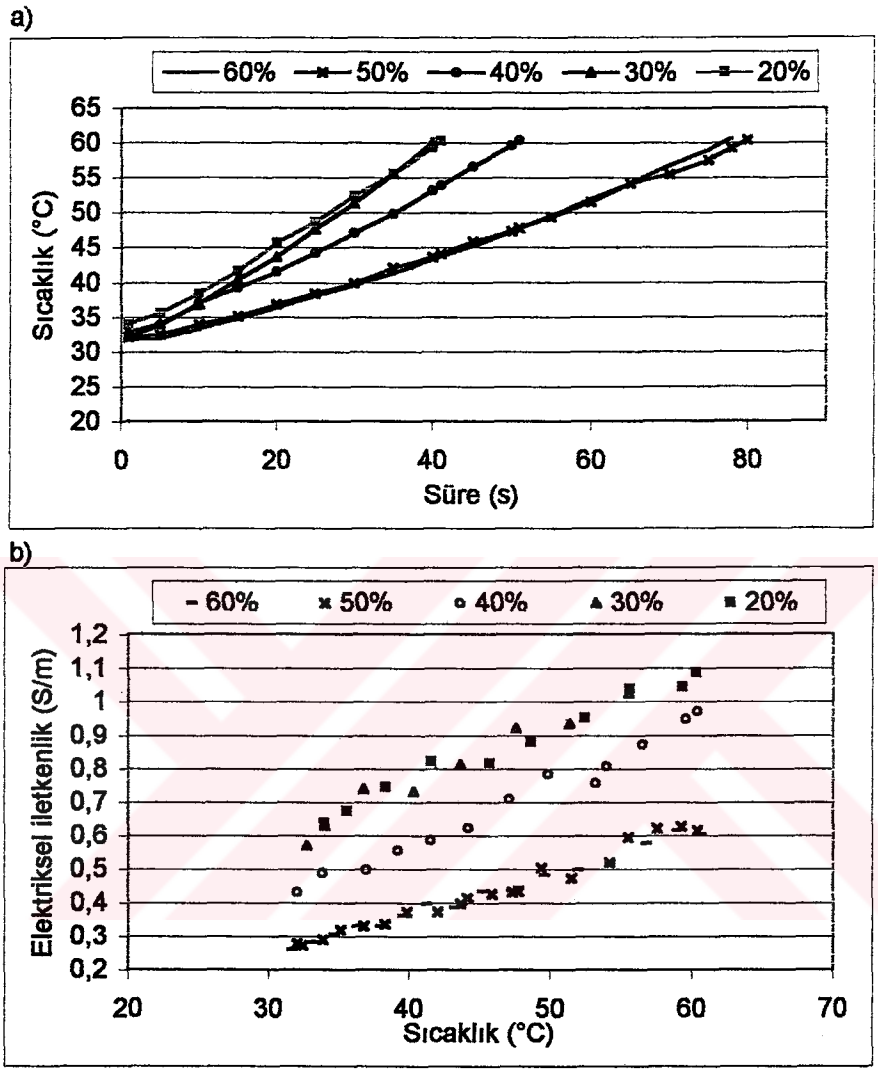
Ek C.26 Farklı konsantrasyonlardaki portakal sularının 60 V/cm voltaj gradyanında a) Ohmik ısıtma eğrileri b) elektriksel iletkenlik değişimleri



Ek C.27 Farklı konsantrasyonlardaki portakal sularının 50 V/cm voltaj gradyanında a) Ohmik ısıtma eğrileri b) elektriksel iletkenlik değişimleri

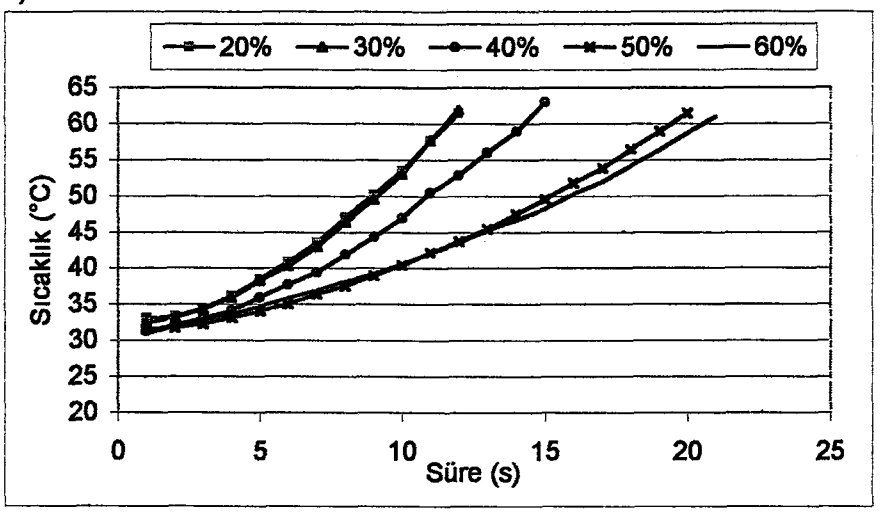


Ek C.28 Farklı konsantrasyonlardaki portakal sularının 30 V/cm voltaj gradyanında a) Ohmik ısıtma eğrileri b) elektriksel iletkenlik değişimleri

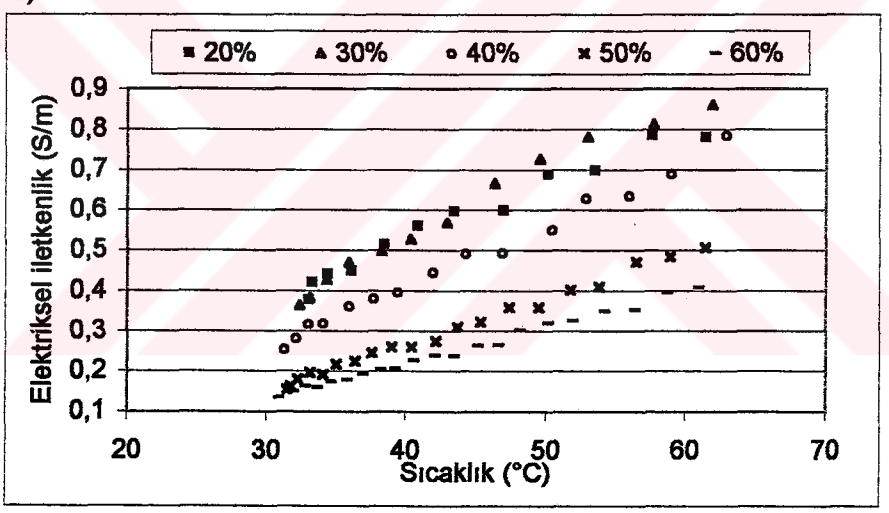


Ek C.29 Farklı konsantrasyonlardaki portakal sularının 20 V/cm voltaj gradyanında a) Ohmik ısıtma eğrileri b) elektriksel iletkenlik değişimleri

a)

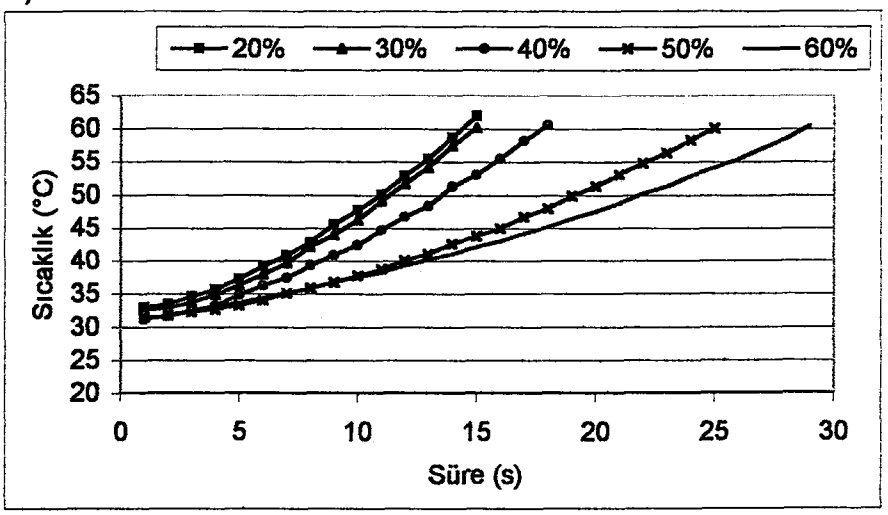


b)

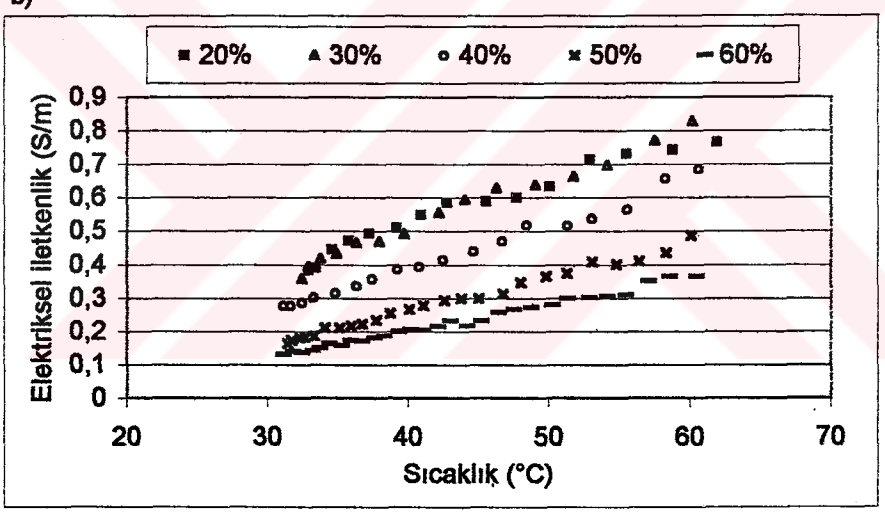


Ek C.30 Farklı konsantrasyonlardaki elma sularının 60 V/cm voltaj gradyanında a) Ohmik ısıtma eğrileri b) elektriksel iletkenlik değişimleri

a)



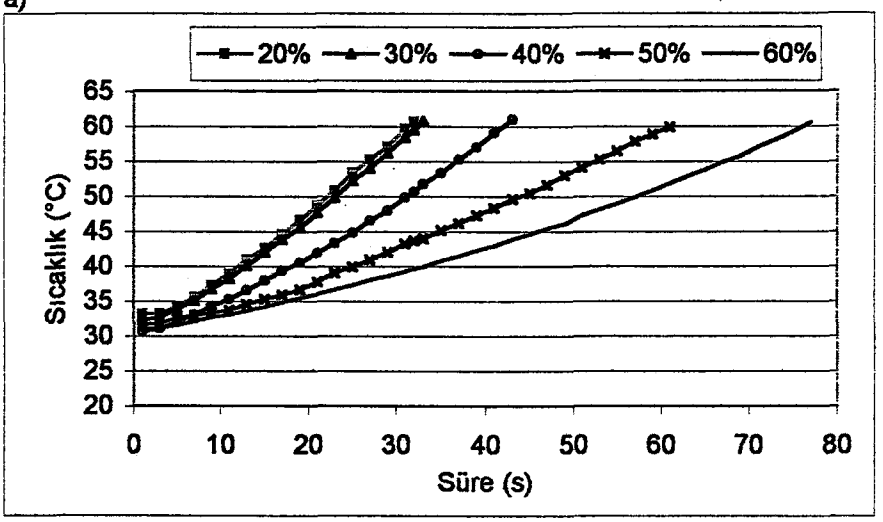
b)



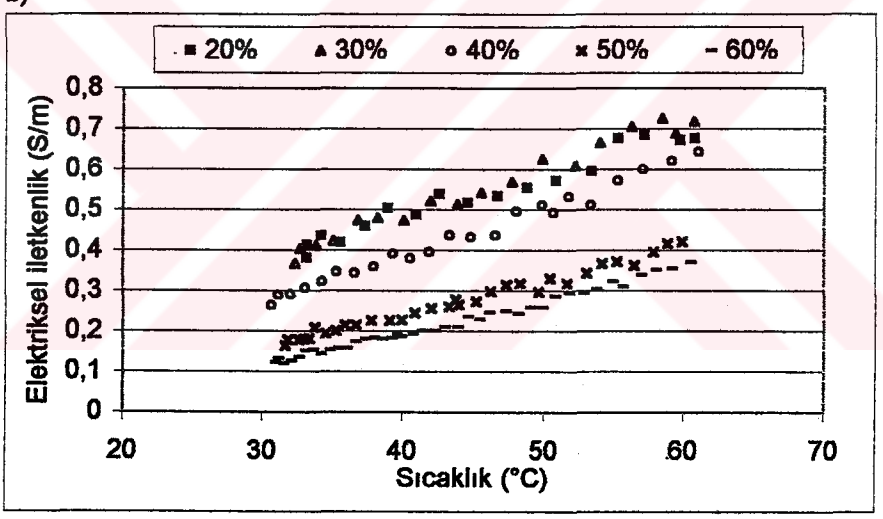
Ek C.31 Farklı konsantrasyonlardaki elma sularının 50 V/cm voltaj gradyanında a) Ohmik ısıtma eğrileri b) elektriksel iletkenlik değişimleri

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

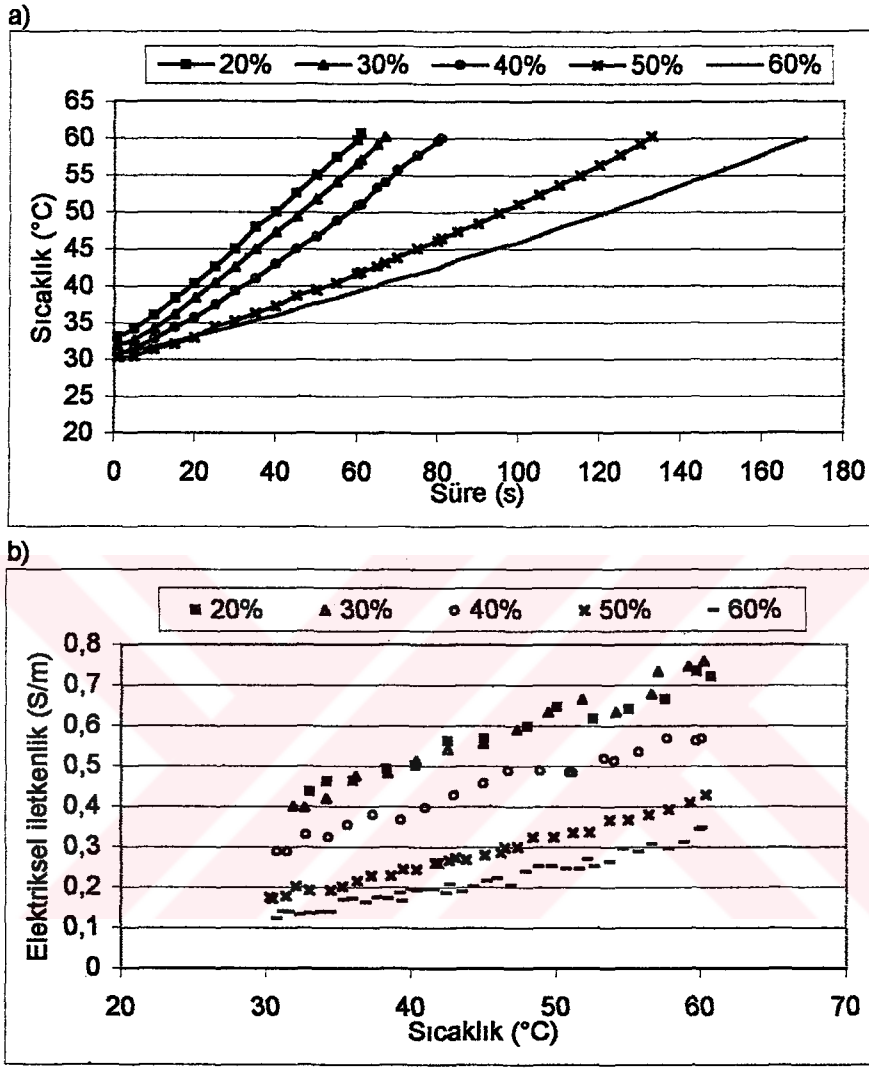
a)



b)



Ek C.32 Farklı konsantrasyonlardaki elma sularının 30 V/cm voltaj gradyanında a) Ohmik ısıtma eğrileri b) elektriksel iletkenlik değişimleri



Ek C.33 Farklı konsantrasyonlardaki elma sularının 20 V/cm voltaj gradyanında a) Ohmik ısıtma eğrileri b) elektriksel iletkenlik değişimleri

EK D

EK D.1 %60 konsantrasyona sahip elma suyunun voltaj gradyanı ve sıcaklığa bağlı elektriksel iletkenlik ilişkisinin SPSS İstatistik analiz sonuçları

Nonlinear Regression Summary Statistics Dependent Variable VAR00005

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square
Regression	4	44,52946	11,13236
Residual	520	,18398	3,538129E-04
Uncorrected Total	524	44,71344	
(Corrected Total)	523	8,22812	

R squared = 1 - Residual SS / Corrected SS = ,97764

Parameter	Estimate	Asymptotic Std. Error	Asymptotic 95 % Confidence Interval Lower	Upper
D1	2,66533E-08	5,76282E-08	-8,65594E-08	1,39866E-07
N1	3,514061858	,527718077	2,477340433	4,550783284
B2	,008387244	,000056221	,008276795	,008497693
C2	-,155668784	,003356071	-,162261908	-,149075660

Asymptotic Correlation Matrix of the Parameter Estimates

	D1	N1	B2	C2
D1	1,0000	-,9995	,1185	-,4463
N1	-,9995	1,0000	-,1127	,4362
B2	,1185	-,1127	1,0000	-,8924
C2	-,4463	,4362	-,8924	1,0000

EK D.2 Elma suyu konsantrelerinin konsantrasyon, voltaj gradyanı ve sıcaklığa bağlı elektriksel iletkenlik ilişkisinin SPSS İstatistik analiz sonuçları

Nonlinear Regression Summary Statistics Dependent Variable VAR00006

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square
Regression	6	353,22410	58,87068
Residual	1566	3,36223	2,147021E-03
Uncorrected Total	1572	356,58634	
(Corrected Total)	1571	72,82701	

R squared = 1 - Residual SS / Corrected SS = ,95383

Parameter	Estimate	Asymptotic Std. Error	Asymptotic 95 % Confidence Interval Lower	Upper
E	-,000319006	,000086599	-,000488868	-,000149145
N3	1,771051868	,062734111	1,648000164	1,894103571
D2	5,92196E-06	,000013780	-,000021108	,000032952
N2	2,225073816	,561402771	1,123893510	3,326254122
B3	,010173165	,000082162	,010012006	,010334325
C3	,187036369	,009963208	,167493735	,206579003

Asymptotic Correlation Matrix of the Parameter Estimates

	E	N3	D2	N2	B3	C3
E	1,0000	,9995	,0132	-,0125	,0031	-,7535
N3	,9995	1,0000	,0135	-,0128	,0004	-,7453
D2	,0132	,0135	1,0000	-,9993	,0314	-,4023
N2	-,0125	-,0128	-,9993	1,0000	-,0261	,3954
B3	,0031	,0004	,0314	-,0261	1,0000	-,4664
C3	-,7535	-,7453	-,4023	,3954	-,4664	1,0000

EK D.3 Vişne suyu konsantrelerinin konsantrasyon, voltaj gradyanı ve sıcaklığa bağlı elektriksel iletkenlik ilişkisinin SPSS İstatistik analiz sonuçları

Nonlinear Regression Summary Statistics Dependent Variable VAR00006

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square
Regression	6	709,72328	118,28721
Residual	866	4,30970	4,976557E-03
Uncorrected Total	872	714,03297	
(Corrected Total)	871	148,41762	

R squared = 1 - Residual SS / Corrected SS = ,97096

Parameter	Estimate	Asymptotic Std. Error	Asymptotic 95 % Confidence Interval Lower	Upper
E	-2,11142E-07	9,03484E-08	-3,88469E-07	-3,38141E-08
N3	3,662637344	,103022920	3,460433529	3,864841160
D2	,007765756	,021337061	-,034112646	,049644158
N2	,730507243	,561368658	-,371295005	1,832309491
B3	,019006711	,000162881	,018687023	,019326398
C3	,201476834	,076005953	,052299410	,350654259

Asymptotic Correlation Matrix of the Parameter Estimates

	E	N3	D2	N2	B3	C3
E	1,0000	,9998	-,0119	,0113	,0266	-,0589
N3	,9998	1,0000	-,0119	,0112	,0250	-,0579
D2	-,0119	-,0119	1,0000	-,9995	-,0254	-,9868
N2	,0113	,0112	-,9995	1,0000	,0303	,9833
B3	,0266	,0250	-,0254	,0303	1,0000	-,0892
C3	-,0589	-,0579	-,9868	,9833	-,0892	1,0000

EK D.4 Portakal suyu konsantrelerinin konsantrasyon, voltaj gradyanı ve sıcaklığa bağlı elektriksel iletkenlik ilişkisinin SPSS İstatistik analiz sonuçları

Nonlinear Regression Summary Statistics Dependent Variable VAR00005

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square
Regression	6	447,20815	74,53469
Residual	895	4,75587	5,313821E-03
Uncorrected Total	901	451,96402	
(Corrected Total)	900	76,05077	

R squared = 1 - Residual SS / Corrected SS = ,93746

Parameter	Estimate	Asymptotic Std. Error	Asymptotic 95 % Confidence Interval Lower	Upper
E	-,002976587	,001125931	-,005186360	-,000766814
N3	1,346426063	,084632959	1,180323886	1,512528240
D2	-7,249394607	1550,2756970	-3049,848528	3035,3497391
N2	,005207689	1,119454661	-2,191854285	2,202269662
B3	,014364024	,000181289	,014008222	,014719826
C3	7,802146705	1550,5243357	-3035,284970	3050,8892634

Asymptotic Correlation Matrix of the Parameter Estimates

	E	N3	D2	N2	B3	C3
E	1,0000	,9995	-,0646	-,0646	,0015	,0646
N3	,9995	1,0000	-,0611	-,0611	,0010	,0611
D2	-,0646	-,0611	1,0000	1,0000	-,0204	-1,0000
N2	-,0646	-,0611	1,0000	1,0000	-,0206	-1,0000
B3	,0015	,0010	-,0204	-,0206	1,0000	,0204
C3	,0646	,0611	-1,0000	-1,0000	,0204	1,0000

EK D.5 Kayısı püresinin voltaj gradyanı ve sıcaklığa bağlı elektriksel iletkenlik ilişkisinin SPSS İstatistik analiz sonuçları .

Nonlinear Regression Summary Statistics Dependent Variable VAR00006

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square
Regression	4	275,03815	68,75954
Residual	272	,94390	3,470215E-03
Uncorrected Total	276	275,98205	
(Corrected Total)	275	12,65653	

R squared = 1 - Residual SS / Corrected SS = ,92542

Parameter	Estimate	Asymptotic Std. Error	Asymptotic 95 % Confidence Interval Lower	Upper
D1	-3,431859343	192,01078918	-381,4480790	374,58436027
N1	,016989273	,896790130	-1,748542842	1,782521388
B2	,015348960	,000281938	,014793901	,015904018
C2	3,963360688	192,33826343	-374,6975653	382,62428666

Asymptotic Correlation Matrix of the Parameter Estimates

	D1	N1	B2	C2
D1	1,0000	1,0000	-,0159	-1,0000
N1	1,0000	1,0000	-,0166	-1,0000
B2	-,0159	-,0166	1,0000	,0158
C2	-1,0000	-1,0000	,0158	1,0000

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU DOKÜMANTASYON MERKEZİ

EK D.6 Şeftali püresinin voltaj gradyanı ve sıcaklığa bağlı elektriksel iletkenlik ilişkisinin SPSS İstatistik analiz sonuçları

Nonlinear Regression Summary Statistics Dependent Variable VAR00006

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square
Regression	4	207,75716	51,93929
Residual	372	,39836	1,070861E-03
Uncorrected Total	376	208,15552	
(Corrected Total)	375	6,23339	

R squared = 1 - Residual SS / Corrected SS = ,93609

Parameter	Estimate	Asymptotic Std. Error	Asymptotic 95 % Confidence Interval Lower	Upper
D1	11,878854792	1582,9730876	-3100,818486	3124,5761954
N1	,004194735	,567945313	-1,112591065	1,120980534
B2	,009905670	,000135577	,009639076	,010172263
C2	-11,79369372	1583,1465758	-3124,832175	3101,2447875

Asymptotic Correlation Matrix of the Parameter Estimates

	D1	N1	B2	C2
D1	1,0000	-1,0000	-,0475	-1,0000
N1	-1,0000	1,0000	,0477	1,0000
B2	-,0475	,0477	1,0000	,0475
C2	-1,0000	1,0000	,0475	1,0000

EK E

Ek E.1 Enerji kayıplarının analizi için örnek hesaplama

Denklem 3.16'daki E_k terimi, test hücresinin ve elektrotların ısınması için kaybedilen kısmı, doğal konveksiyonla dış ortama olan ısı kaybını ve kimyasal, elektrokimyasal, fiziksel reaksiyonlar, faz değişimi gibi sıvıyı ısıtmak dışında diğer amaçlar için kullanılan elektrik enerjisi miktarını ifade eden sistemdeki elektriksel kayıpları içermektedir (Denklem E.18).

$$E_k = Q_{cam} + Q_{dk} + E_{diğğ} \qquad \text{(E.18)}$$

Burada verilen örnek çözümde, % 60 konsantrasyona sahip portakal suyunun 20 V/cm voltaj gradyanında Ohmik ısıtılması sırasında enerji kayıplarının hesaplanması amaçlanmaktadır.

Örnek hücresini ısıtmak için gerekli ısı miktarını (Q_{cam}) bulabilmek için Denklem E.19 kullanılabilir.

$$Q_{cam} = m_{cam} Cp_{cam} \Delta T_{cam} \qquad \text{(E.19)}$$

Örnek hücresinin kütlesi: 0,015 kg

Pyrex malzemenin özgül ısısı: 835 J/kg K (Incropera and De Witt, 1990)

Portakal konsantresinin 30°C'den 60°C'e Ohmik ısıtılması sırasında test hücresinin sıcaklık yükselmesi : 12 °C

Q_{cam}=0,015 x 835 x 12 = 150,3 J olarak hesaplanabilir. Sisteme verilen elektrik enerjisinin % Q_{cam} = (Q_{cam} / Q_v) x 100 =(150,3 / 1797) x 100 = **% 8,36**'dır.

$\bar{\Delta T}$, test hücresinin dış yüzeyi ile ortam arasındaki başlangıç ve son sıcaklık farklarının ortalaması olarak alınmıştır. Bu örnekte 6°C olduğu varsayılarak hesaplama yapılmıştır.

10^3 < Gr.Pr. <10^9 aralığında geçerli olan Denklem 3.18 kullanılarak doğal konveksiyon ortalama ısı transfer katsayısı hesaplanmıştır. Test hücresinin dış çapı 0,025 m olarak alınmıştır.

$$\bar{h} = 1{,}32\left(\frac{6}{0{,}025}\right)^{1/4} = 5{,}195 \text{ W/m}^2\text{K}$$

L=0,03 m ve Δt=78s olduğuna göre doğal konveksiyon ile dış ortama olan ısı kaybı (Q_{dk}) Denklem 3.17 ile hesaplanabilir ,

Q_{dk}= 5,195 x π x 0,025 x 0,03 x 6 x 78 =5,725 J olarak bulunur.

Sisteme verilen elektrik enerjisinin % Q_{dk}=(Q_{dk} / Q_v)x 100 = (5,725 / 1797) x 100 = **%0,32**'idir.

Q_a=1628 J olduğuna göre Denklem 3.16'dan E_k hesaplandığında;

E_k=1797-1628=169 J, sisteme verilen elektrik enerjisinin **% 9,4**'üdür.

Denklem E.18 % kayıp cinsinden tekrar düzenlendiğinde, diğer elektrik enerjisi kayıplarının (%$E_{diğer}$) değeri de bulunabilir.

%$E_{diğer}$=%E_k-(%Q_{cam}+%Q_{dk}) = 9,4 - (8,36+0,32)= **% 0,72** .

Bu sonuçlar göstermektedir ki; düşük voltaj gradyanlarında enerji kayıplarının büyük bir kısmını test hücresinin ısınması nedeniyle sonucu oluşan ısı kaybı içermektedir. Düşük voltaj gradyanlarında doğal konveksiyonla dış ortama olan ısı kayıpları ve diğer elektriksel enerji kayıpları ihmal edilecek düzeydedir.

ÖZGEÇMİŞ

Filiz İÇİER, 1972 yılında Manisa'da doğmuş ilk ve orta öğretimini Manisa'da tamamlamıştır. 1994 yılında Ege Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümünü bitirmiştir. 1994-1996 yılları arasında PAGMAT A.Ş.'de çalışmış, Ocak 1996'da Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaya başlamıştır. Şubat 1995'de başlamış olduğu Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimini Eylül 1997'de tamamlamıştır. Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı'nda doktora eğitimine Eylül 1997'de başlamıştır. Haziran 2000-Eylül 2000 arasında A.B.D. Ohio State Üniversitesi'nde Ohmik ısıtma sistemi dizaynı ve gıdaların Ohmik ısıtma yöntemiyle ısıtılması konusunda araştırma projelerinde görev almıştır. Halen Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü'nde Araştırma Görevlisi olarak görev yapmaktadır.

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ