T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK HİDROSTATİK BASINÇ, MİKRODALGA VE TERMOSONİKASYON İŞLEMLERİYLE FERMENTE İÇECEKLERDE PASTÖRİZASYONA ALTERNATİF OPTİMUM PROSES GELİŞTİRİLMESİ

Eylül ÖZTÜRK

DOKTORA TEZİ

Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

Gıda Mühendisliği Programı

Danışman

Prof. Dr. Muhammet ARICI

Eş Danışman

Prof. Dr. Hami ALPAS

Temmuz, 2025

T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK HİDROSTATİK BASINÇ, MİKRODALGA VE TERMOSONİKASYON İŞLEMLERİYLE FERMENTE İÇECEKLERDE PASTÖRİZASYONA ALTERNATİF OPTİMUM PROSES GELİŞTİRİLMESİ

Eylül ÖZTÜRK tarafından hazırlanan tez çalışması 16.07.2025 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Gıda Mühendisliği Programı **DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Muhammet ARICI
Yıldız Teknik Üniversitesi
Danışman

Prof. Dr. Hami ALPAS
Orta Doğu Teknik Üniversitesi
Eş-Danışman

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Muhammet ARICI, Danışman
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Prof. Dr. Salih KARASU, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Prof. Dr. Mecit Halil ÖZTOP, Üye
Orta Doğu Teknik Üniversitesi _____

Doç. Dr. Ömer Said TOKER, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Dr. Öğr. Üyesi Hatice Ebrar KIRTIL, Üye
İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi _____

Danışmanım Prof. Dr. Muhammet ARICI sorumluluğunda tarafımca hazırlanan "Yüksek Hidrostatik Basınç, Mikrodalga ve Termosonikasyon İşlemleriyle Fermente İçeceklerde Pastörizasyona Alternatif Optimum Proses Geliştirilmesi" başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Eylül ÖZTÜRK



Aileme

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam süresince sonsuz hoşgörüsü, engin deneyimi ve engin bilgi birikimi ile bana destek olan saygıdeğer tez danışmanım Prof. Dr. Muhammet ARICI'ya ve saygıdeğer eş danışmanım Prof. Dr. Hami ALPAS'a en derin takdir ve teşekkürlerimi sunmak isterim.

Tezim süresince değerli önerileri, ilgisi, yardımı ve bilimsel rehberliği için Prof. Dr. Mecit ÖZTOP'a ve Prof. Dr. Salih KARASU'ya da minnettarlığımı ifade etmek isterim. Karşılaştığım bazı sorunlarla onların desteği ve anlayışı olmadan baş etmek çok daha zor olurdu.

Çukurova Üniversitesi'nde şalgamın özel olarak üretilmesi ve temin edilmesi konusundaki desteğinden dolayı Prof. Dr. Hüseyin ERTEN'e ve Tekirdağ Bağcılık Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü'ne hardaliye üretimi aşamalarındaki desteğinden dolayı Dr. Gamze UYSAL SEÇKİN'e teşekkür ederim.

Aynı çalışma grubunun üyesi ve meslektaşım Burcu Mine KIYMAZ'a teşekkür etmek isterim. Aynı laboratuvarda çalışmak ve böylesine değerli bir dosta sahip olmaktan büyük mutluluk duyuyorum. Ayrıca Gıda Mühendisliği Bölümü'ndeki tüm hocalarıma teşekkürlerimi iletmek isterim. Bunun yanı sıra bölümümüzde çalışanlara, özellikle de Mehtap DİNÇ'e teşekkür ederim.

İhtiyaç duyduğum her an yanımda olan ve bana destek veren tüm sevdiklerime de ayrıca teşekkür etmek istiyorum.

Son olarak, sevgili ailemin tüm üyelerine – annem Ayten ÖZTÜRK ve babam Metin ÖZTÜRK'e – en derin şükranlarımı ifade etmek istiyorum. Hayatım boyunca ne karar verirsem vereyim her zaman yanımda oldular ve kararlarımı desteklediler. Böyle bir aileye sahip olduğum için kendimi çok şanslı hissediyorum. Onların desteği ve yardımı olmasaydı bu çalışma ortaya çıkamazdı. Benim için yaptığınız her şey için çok teşekkür ederim. Bu çalışma onlara ithaf edilmiştir.

Eylül ÖZTÜRK

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ **ix**

KISALTMA LİSTESİ **x**

ŞEKİL LİSTESİ **xi**

TABLO LİSTESİ **xv**

ÖZET **xxiii**

ABSTRACT **xxv**

1 GİRİŞ **1**

1.1 Fermente Gıdalar ve Fermentasyon 1

1.1.1 Şalgam İçeceği……..…....6

1.1.2 Hardaliye İçeceği……...12

1.2 Koruyucu Katkı Maddelerinin Sağlık Üzerindeki Olumsuz Etkileri..... 14

1.3 Gıda Ürünlerini İşleme Yöntemleri……....15

1.3.1 Geleneksel Termal Uygulama: Pastörizasyon……15

1.3.2 Yenilikçi Uygulamalar…….....18

1.3.2.1 Yüksek Hidrostatik Basınç Uygulaması…….18

1.3.2.2 Mikrodalga Uygulaması ……20

1.3.2.3Termosonikasyon Uygulaması…….…..24

1.4 Çalışmanın Amacı……...27

2 MATERYAL VE METOT **28**

2.1 Materyal 28

2.1.1 Şalgam……...28

2.1.2 Hardaliye……...28

2.1.3 Kimyasal Maddeler……....31

2.2 Metot 32

2.2.1 Geleneksel ve Yenilikçi Uygulamalar……32

2.2.1.1 Termal Pastörizasyon Uygulaması……32

2.2.1.2 Yüksek Hidrostatik Basınç (YHB) Uygulaması……32

2.2.1.3 Mikrodalga (MD) Uygulaması……..……33

2.2.1.4 Termosonikasyon (TS) Uygulaması……..34

2.2.2 Deneysel Deneme Deseni ve Veri Analizi…….35

2.2.3 Mikrobiyolojik Analizler……..…….39

2.2.3.1 Toplam Mezofilik Aerobik Canlı (TMAC) Sayımı …..……39

2.2.3.2 Laktik Asit Bakterileri (LAB) Sayımı …..……40

2.2.3.1 Toplam Maya ve Küf (M&K) Sayımı …..……40

2.2.4 Fizikokimyasal Analizler……..…….41

2.2.4.1 pH Analizi……... …..……41

2.2.4.2 Toplam Çözünür Katı Madde (TÇKM) Analizi……41

2.2.4.3 Toplam Asitlik (TA) Analizi……..…41

2.2.4.4 Renk Analizi……..…42

2.2.4.5 Spektrofotometrik Renk Analizi……..……..…42

2.2.4.6 İndirgen Şeker Miktarı (İŞM) Analizi……..…..…43

2.2.4.7 Biyoaktif Bileşen Analizleri……..……..……...44

2.2.4.7.1 Toplam Fenolik Madde Miktarı (TFM) Analizi.....44

2.2.4.7.2 Toplam Flavonoid Madde Miktarı (TFM) Analizi..45

2.2.4.7.3 Toplam Antioksidan Aktivitesi/Kapasitesi Analizi.45

2.2.4.7.4 Toplam Monomerik Antosiyanin Miktarı (TMA) Analizi……... 46

2.2.5 İstatistiksel Analizler……..……..…….46

3 BULGULAR VE TARTIŞMA 47

3.1 Termal Pastörüzasyonun Şalgam ve Hardaliye Üzerindeki Etkileri.....47

3.2 Yüksek Hidrostatik Basıncın Şalgam ve Hardaliye Üzerindeki Etkileri ...52

3.2.1 Mikrobiyal İnaktivasyon……..…… 52

3.2.1.1 Toplam Mezofilik Aerobik Canlı (TMAC) İnaktivasyonu....55

3.2.1.2 Laktik Asit Bakterileri (LAB) İnaktivasyonu ……57

3.2.1.3 Toplam Maya ve Küf (M&K) İnaktivasyonu ……60

3.2.2 Fizikokimyasal Özellikler……..……...64

3.2.2.1 YHB'nin pH, Toplam Çözünür Katı Madde Miktarı, Titrasyon Asitliği ve İndirgen Şeker Miktarı Üzerine Etkisi……..64

3.2.2.2 YHB'nin Renk Parametreleri Üzerine Etkisi……..75

3.2.2.3 YHB'nin Biyoaktif Bileşenler Üzerine Etkisi……..…….101

3.2.3 Model Uyumu……..……...114

3.3 Mikrodalganın Şalgam ve Hardaliye Üzerindeki Etkileri 118

3.3.1 Mikrobiyal İnaktivasyon……..……...118

3.3.1.1 Toplam Mezofilik Aerobik Canlı (TMAC) İnaktivasyonu...121

3.3.1.2 Laktik Asit Bakterileri (LAB) İnaktivasyonu …… 124

3.3.1.3 Toplam Maya ve Küf (M&K) İnaktivasyonu ……128

3.3.2 Fizikokimyasal Özellikler……..…….131

3.3.2.1 MD'nin pH, Toplam Çözünür Katı Madde Miktarı, Titrasyon Asitliği ve İndirgen Şeker Miktarı Üzerine Etkisi…….…..131

3.3.2.2 MD'nin Renk Parametreleri Üzerine Etkisi……..143

3.3.2.3 MD'nin Biyoaktif Bileşenler Üzerine Etkisi……..……..169

3.3.3 Model Uyumu……..……...181

3.4 Termosonikasyonun Şalgam ve Hardaliye Üzerindeki Etkileri.....186

3.4.1 Mikrobiyal İnaktivasyon……..……...186

3.4.1.1 Toplam Mezofilik Aerobik Canlı (TMAC) İnaktivasyonu...189

3.4.1.2 Laktik Asit Bakterileri (LAB) İnaktivasyonu …… 192

3.4.1.3 Toplam Maya ve Küf (M&K) İnaktivasyonu …….195

3.4.2 Fizikokimyasal Özellikler……..…….197

3.4.2.1 TS'nin pH, Toplam Çözünür Katı Madde Miktarı, Titrasyon Asitliği ve İndirgen Şeker Miktarı Üzerine Etkisi…….…..197

3.4.2.2 TS'nin Renk Parametreleri Üzerine Etkisi……209

3.4.2.3 TS'nin Biyoaktif Bileşenler Üzerine Etkisi……..…..……236

3.4.3 Model Uyumu……..……...251

3.5 YHB, MD ve TS Uygulamaları için Model Optimizasyonu ve Doğrulaması…….255

4 SONUÇ **263**

KAYNAKÇA **267**

TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR **296**

SİMGE LİSTESİ

±	Artı Eksi İşareti
MPa	Megapaskal
W	Vat/Güç Birimi
%	Yüzde
pH	Asitlik veya Bazlık Derecesini Gösteren Ölçü Birimi
L*	Parlaklık-Koyuluk Renk Değeri
a*	Kırmızı-Yeşil Renk Değeri
b*	Sarı-Mavi Renk Değeri
ΔE	Toplam Renk Farkı
C*	Kroma/Renk Yoğunluğu
h°	Hue/Renk Tonu
°C	Santigrat Derece
dk	Dakika
g	Gram
mg	Miligram
L	Litre
mL	Mililitre
GAE	Gallik Asit Eşdeğeri
KE	Kuersetin Eşdeğeri
TE	Troloks Eşdeğeri

KISALTMA LİSTESİ

YHB	Yüksek Hidrostatik Basınç
MD	Mikrodalga
TS	Termosonikasyon
TMAC	Toplam Mezofilik Aerobik Canlı
LAB	Laktik Asit Bakterisi
M&K	Toplam Maya ve Küf
TÇKM	Toplam Çözünür Katı Madde
TA	Toplam Asitlik
SRT	Sarı Renk Tonu Bileşeni
KRT	Kırmızı Renk Tonu Bileşeni
MRT	Mavi Renk Tonu Bileşeni
TFM	Toplam Fenolik Madde Miktarı
TFlav.M	Toplam Flavonoid Madde Miktarı
TAK	Toplam Antioksidan Aktivitesi/Kapasitesi
TMA	Toplam Monomerik Antosiyanin Miktarı

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1 Fermente ürünler **5**
Şekil 1.2 Geneksel yöntemle şalgam üretimi **8**
Şekil 1.3 Doğrudan üretim yöntemiyle şalgam üretimi **8**
Şekil 1.4 Yüksek hidrostatik basınç mekanizması **19**
Şekil 1.5 Elektromanyetik spektrum **21**
Şekil 1.6 Mikrodalganın bileşenleri **21**
Şekil 1.7 Mikrodalga etki mekanizması: dipolar rotasyon ve iyonik iletim **22**
Şekil 1.8 Isıtma yöntemleri: kondüksiyon ısıtma ve mikrodalga ısıtma **22**
Şekil 1.9 Ses spektrumu (ultrasonik aralık diyagramı) **25**
Şekil 1.10 Termosonikasyon mekanizması **26**
Şekil 1.11 US işlemi sırasında oluşan mikro akış şeması **27**
Şekil 1.12 Ultrasonikasyon etkisiyle hücre yıkımı **27**
Şekil 2.1 Tekirdağ Bağcılık Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü **28**
Şekil 2.2 Üzüm kırma makinası **29**
Şekil 2.3 Üzüm şırasının kap içinde toplanması **30**
Şekil 2.4 Üzüm şırasına hardal tohumlarının eklenmesi ve karıştırılması **30**
Şekil 2.5 Fermentasyon kapları ve düzeneği **31**
Şekil 2.6 YHB cihazı **33**
Şekil 2.7 MD cihazı **34**
Şekil 2.8 TS cihazı **35**
Şekil 3.1 RSM grafikleri: YHB'nin şalgam örneklerinin M&K azalma değerleri üzerindeki etkisi **62**
Şekil 3.2 RSM grafikleri: YHB'nin hardaliye örneklerinin M&K azalma değerleri üzerindeki etkisi **63**
Şekil 3.3 RSM grafikleri: YHB'nin şalgam örneklerinin TA değerleri üzerindeki etkisi **69**
Şekil 3.4 RSM grafikleri: YHB'nin hardaliye örneklerinin TA değerleri üzerindeki etkisi **71**
Şekil 3.5 RSM grafikleri: YHB'nin şalgam örneklerinin İŞM değerleri üzerindeki etkisi **73**

Şekil 3.6 RSM grafikleri: YHB'nin hardaliye örneklerinin İŞM değerleri üzerindeki etkisi **75**

Şekil 3.7 RSM grafikleri: YHB'nin hardaliye örneklerinin a* değerleri üzerindeki etkisi **84**

Şekil 3.8 RSM grafikleri: YHB'nin şalgam örneklerinin b* değerleri üzerindeki etkisi **85**

Şekil 3.9 RSM grafikleri: YHB'nin hardaliye örneklerinin b* değerleri üzerindeki etkisi **87**

Şekil 3.10 RSM grafikleri: YHB'nin hardaliye örneklerinin ΔE değerleri üzerindeki etkisi **89**

Şekil 3.11 RSM grafikleri: YHB'nin şalgam örneklerinin C* değerleri üzerindeki etkisi **90**

Şekil 3.12 RSM grafikleri: YHB'nin hardaliye örneklerinin C* değerleri üzerindeki etkisi **92**

Şekil 3.13 RSM grafikleri: YHB'nin şalgam örneklerinin h° değerleri üzerindeki etkisi **93**

Şekil 3.14 RSM grafikleri: YHB'nin hardaliye örneklerinin h° değerleri üzerindeki etkisi **94**

Şekil 3.15 RSM grafikleri: YHB'nin hardaliye örneklerinin renk yoğunluğu değerleri üzerindeki etkisi **97**

Şekil 3.16 RSM grafikleri: YHB'nin şalgam örneklerinin MRT değerleri üzerindeki etkisi **100**

Şekil 3.17 RSM grafikleri: YHB'nin hardaliye örneklerinin TFM değerleri üzerindeki etkisi **106**

Şekil 3.18 RSM grafikleri: YHB'nin şalgam örneklerinin TFlav.M değerleri üzerindeki etkisi **107**

Şekil 3.19 RSM grafikleri: YHB'nin hardaliye örneklerinin TFlav.M değerleri üzerindeki etkisi **108**

Şekil 3.20 RSM grafikleri: YHB'nin şalgam örneklerinin TMA değerleri üzerindeki etkisi **111**

Şekil 3.21 RSM grafikleri: MD'nin şalgam örneklerinin TMAC azalma değeri üzerindeki etkisi **122**

Şekil 3.22 RSM grafikleri: MD'nin hardaliye örneklerinin TMAC azalma değeri üzerindeki etkisi **123**

Şekil 3.23 RSM grafikleri: MD'nin hardaliye örneklerinin LAB azalma değeri üzerindeki etkisi **127**

Şekil 3.24 RSM grafikleri: MD'nin şalgam örneklerinin M&K azalma değerleri üzerindeki etkisi **129**

Şekil 3.25 RSM grafikleri: MD'nin hardaliye örneklerinin M&K azalma değeri üzerindeki etkisi **131**

Şekil 3.26 RSM grafikleri: MD'nin şalgam örneklerinin pH değerleri üzerindeki etkisi **135**

Şekil 3.27 RSM grafikleri: MD'nin hardaliye örneklerinin pH değerleri üzerindeki etkisi **137**

Şekil 3.28 RSM grafikleri: MD'nin şalgam örneklerinin TÇKM değerleri üzerindeki etkisi **139**

Şekil 3.29 RSM grafikleri: MD'nin hardaliye örneklerinin İŞM değerleri üzerindeki etkisi **142**

Şekil 3.30 RSM grafikleri: MD'nin şalgam örneklerinin L* değerleri üzerindeki etkisi **150**

Şekil 3.31 RSM grafikleri: MD'nin hardaliye örneklerinin L* değerleri üzerindeki etkisi **152**

Şekil 3.32 RSM grafikleri: MD'nin hardaliye örneklerinin b* değerleri üzerindeki etkisi **154**

Şekil 3.33 RSM grafikleri: MD'nin hardaliye örneklerinin h° değerleri üzerindeki etkisi **157**

Şekil 3.34 RSM grafikleri: MD'nin şalgam örneklerinin renk tonu değerleri üzerindeki etkisi **159**

Şekil 3.35 RSM grafikleri: MD'nin hardaliye örneklerinin renk tonu değerleri üzerindeki etkisi **160**

Şekil 3.36 RSM grafikleri: MD'nin şalgam örneklerinin SRT değerleri üzerindeki etkisi **162**

Şekil 3.37 RSM grafikleri: MD'nin hardaliye örneklerinin SRT değerleri üzerindeki etkisi **163**

Şekil 3.38 RSM grafikleri: MD'nin şalgam örneklerinin KRT değerleri üzerindeki etkisi **164**

Şekil 3.39 RSM grafikleri: MD'nin hardaliye örneklerinin KRT değerleri üzerindeki etkisi **166**

Şekil 3.40 RSM grafikleri: MD'nin şalgam örneklerinin MRT değerleri üzerindeki etkisi **167**

Şekil 3.41 RSM grafikleri: MD'nin hardaliye örneklerinin MRT değerleri üzerindeki etkisi **168**

Şekil 3.42 RSM grafikleri: MD'nin hardaliye örneklerinin TFlav.M değerleri üzerindeki etkisi **174**

Şekil 3.43 RSM grafikleri: MD'nin şalgam örneklerinin TAK değerleri üzerindeki etkisi **177**

Şekil 3.44 RSM grafikleri: MD'nin hardaliye örneklerinin TMA değerleri üzerindeki etkisi **180**

Şekil 3.45 RSM grafikleri: TS'nin hardaliye örneklerinin TMAC azalma değerleri üzerindeki etkisi **191**

Şekil 3.46 RSM grafikleri: TS'nin hardaliye örneklerinin LAB azalma değerleri üzerindeki etkisi **194**

Şekil 3.47 RSM grafikleri: TS'nin şalgam örneklerinin pH değerleri üzerindeki etkisi **201**

Şekil 3.48 RSM grafikleri: TS'nin şalgam örneklerinin TA değerleri üzerindeki etkisi **205**

Şekil 3.49 RSM grafikleri: TS'nin hardaliye örneklerinin İŞM değerleri üzerindeki etkisi **209**

Şekil 3.50 RSM grafikleri: TS'nin şalgam örneklerinin L* değerleri üzerindeki etkisi **216**

Şekil 3.51 RSM grafikleri: TS'nin şalgam örneklerinin a* değerleri üzerindeki etkisi **218**

Şekil 3.52 RSM grafikleri: TS'nin hardaliye örneklerinin a* değerleri üzerindeki etkisi **220**

Şekil 3.53 RSM grafikleri: TS'nin şalgam örneklerinin b* değerleri üzerindeki etkisi **221**

Şekil 3.54 RSM grafikleri: TS'nin hardaliye örneklerinin b* değerleri üzerindeki etkisi **223**

Şekil 3.55 RSM grafikleri: TS'nin şalgam örneklerinin ΔE değerleri üzerindeki etkisi **225**

Şekil 3.56 RSM grafikleri: TS'nin hardaliye örneklerinin ΔE değerleri üzerindeki etkisi **226**

Şekil 3.57 RSM grafikleri: TS'nin şalgam örneklerinin C* değerleri üzerindeki etkisi **228**

Şekil 3.58 RSM grafikleri: TS'nin hardaliye örneklerinin h° değerleri üzerindeki etkisi **231**

Şekil 3.59 RSM grafikleri: TS'nin şalgam örneklerinin TFM değerleri üzerindeki etkisi **240**

Şekil 3.60 RSM grafikleri: TS'nin şalgam örneklerinin TFlav.M değerleri üzerindeki etkisi **243**

Şekil 3.61 RSM grafikleri: TS'nin hardaliye örneklerinin TFlav.M değerleri üzerindeki etkisi **244**

Şekil 3.62 RSM grafikleri: TS'nin şalgam örneklerinin TAK değerleri üzerindeki etkisi **246**

Şekil 3.63 RSM grafikleri: TS'nin hardaliye örneklerinin TAK değerleri üzerindeki etkisi **248**

Şekil 3.64 RSM grafikleri: TS'nin şalgam örneklerinin TMA değerleri üzerindeki etkisi **250**

Şekil 3.65 Geleneksel pastörizasyon ve alternatif uygulamaların optimum koşullarında işlenen şalgam numuneleri **261**

Şekil 3.66 Geleneksel pastörizasyon ve alternatif uygulamaların optimum koşullarında işlenen hardaliye numuneleri **261**

TABLO LİSTESİ

Tablo 1.1 Gıda üretimiyle ilgili başlıca fermentasyon türlerinin sınıflandırılması**.3**

Tablo 2.1 YHB prosesi için Box-Behnken deneme deseni**.....36**

Tablo 2.2 MD prosesi için Box-Behnken deneme deseni**.....37**

Tablo 2.3 TS prosesi için Box-Behnken deneme deseni**.....38**

Tablo 3.1 İşlem görmemiş katkısız şalgam ve hardaliye numunelerinin mikrobiyolojik analiz sonuçları **.....47**

Tablo 3.2 Termal pastörizasyon işlemi sonrasında şalgam ve hardaliye numunelerinin mikrobiyolojik analiz sonuçları **.....48**

Tablo 3.3 Termal pastörizasyon işlemi sonrasında şalgam numunelerinin fizikokimyasal analiz sonuçları**.....50**

Tablo 3.4 Termal pastörizasyon işlemi sonrasında hardaliye numunelerinin fizikokimyasal analiz sonuçları**.....51**

Tablo 3.5 YHB uygulaması sonrası şalgam numunelerinin TMAC, LAB ve K&M azalma değerleri **.....53**

Tablo 3.6 YHB uygulaması sonrası hardaliye numunelerinin TMAC, LAB ve K&M azalma değerleri**.....54**

Tablo 3.7 YHB uygulaması sonrası şalgam numunelerinin TMAC azalma değeri için RSM modellemesi ANOVA sonuçları**.....55**

Tablo 3.8 YHB uygulaması sonrası hardaliye numunelerinin TMAC azalma değeri için RSM modellemesi ANOVA sonuçları**.....56**

Tablo 3.9 YHB uygulaması sonrası şalgam numunelerinin LAB azalma değeri için RSM modellemesi ANOVA sonuçları**.....58**

Tablo 3.10 YHB uygulaması sonrası hardaliye numunelerinin LAB azalma değeri için RSM modellemesi ANOVA sonuçları **.....59**

Tablo 3.11 YHB uygulaması sonrası şalgam numunelerinin M&K azalma değeri için RSM modellemesi ANOVA sonuçları**.....61**

Tablo 3.12 YHB uygulaması sonrası hardaliye numunelerinin M&K azalma değeri için RSM modellemesi ANOVA sonuçları**.....63**

Tablo 3.13 YHB uygulaması sonrası şalgam numunelerinin pH, TÇKM, TA ve İŞM sonuçları**.....65**

Tablo 3.14 YHB uygulaması sonrası hardaliye numunelerinin pH, TÇKM, TA ve İŞM sonuçları**.....66**

Tablo 3.15 YHB uygulaması sonrası şalgam numunelerinin TA için RSM modellemesi e ANOVA sonuçları **68**

Tablo 3.16 YHB uygulaması sonrası hardaliye numunelerinin TA için RSM modellemesi ANOVA sonuçları **70**

Tablo 3.17 YHB uygulaması sonrası şalgam numunelerinin İŞM için RSM modellemesi ANOVA sonuçları **72**

Tablo 3.18 YHB uygulaması sonrası hardaliye numunelerinin İŞM için RSM modellemesi ANOVA sonuçları **74**

Tablo 3.19 YHB uygulaması sonrası şalgam numunelerinin L*, a*, b* ve ΔE sonuçları **76**

Tablo 3.20 YHB uygulaması sonrası şalgam numunelerinin C*, h°, renk yoğunluğu ve renk tonu sonuçları **77**

Tablo 3.21 YHB uygulaması sonrası şalgam numunelerinin SRT, KRT ve MRT sonuçları **78**

Tablo 3.22 YHB uygulaması sonrası hardaliye numunelerinin L*, a*, b* ve ΔE sonuçları **79**

Tablo 3.23 YHB uygulaması sonrası hardaliye numunelerinin C*, h°, renk yoğunluğu ve renk tonu sonuçları **80**

Tablo 3.24 YHB uygulaması sonrası hardaliye numunelerinin SRT, KRT ve MRT sonuçları **81**

Tablo 3.25 YHB uygulaması sonrası hardaliye numunelerinin L* için RSM modellemesi ANOVA sonuçları **82**

Tablo 3.26 YHB uygulaması sonrası hardaliye numunelerinin a* için RSM modellemesi ANOVA sonuçları **83**

Tablo 3.27 YHB uygulaması sonrası şalgam numunelerinin b* için RSM modellemesi ANOVA sonuçları **84**

Tablo 3.28 YHB uygulaması sonrası şalgam numunelerinin b* için RSM modellemesi ANOVA sonuçları **86**

Tablo 3.29 YHB uygulaması sonrası hardaliye numunelerinin ΔE için RSM modellemesi ANOVA sonuçları **88**

Tablo 3.30 YHB uygulaması sonrası şalgam numunelerinin C* için RSM modellemesi ANOVA sonuçları **90**

Tablo 3.31 YHB uygulaması sonrası hardaliye numunelerinin C* için RSM modellemesi ANOVA sonuçları **91**

Tablo 3.32 YHB uygulaması sonrası şalgam numunelerinin h° için RSM modellemesi ANOVA sonuçları **92**

Tablo 3.33 YHB uygulaması sonrası hardaliye numunelerinin h° için RSM modellemesi ANOVA sonuçları **93**

Tablo 3.34 YHB uygulaması sonrası hardaliye numunelerinin renk yoğunluğu için RSM modellemesi ANOVA sonuçları **96**

Tablo 3.35 YHB uygulaması sonrası şalgam numunelerinin MRT için RSM modellemesi ANOVA sonuçları **99**

Tablo 3.36 YHB uygulaması sonrası şalgam numunelerinin TFM, TFlav.M, TAK ve TMA sonuçları **102**

Tablo 3.37 YHB uygulaması sonrası hardaliye numunelerinin TFM, TFlav.M, TAK ve TMA sonuçları **103**

Tablo 3.38 YHB uygulaması sonrası şalgam numunelerinin TFM için RSM modellemesi ANOVA sonuçları **104**

Tablo 3.39 YHB uygulaması sonrası hardaliye numunelerinin TFM için RSM modellemesi ANOVA sonuçları **105**

Tablo 3.40 YHB uygulaması sonrası şalgam numunelerinin TFlav.M için RSM modellemesi ANOVA sonuçları **106**

Tablo 3.41 YHB uygulaması sonrası hardaliye numunelerinin TFlav.M için RSM modellemesi ANOVA sonuçları **107**

Tablo 3.42 YHB uygulaması sonrası şalgam numunelerinin TAK için RSM modellemesi e ANOVA sonuçları **109**

Tablo 3.43 YHB uygulaması sonrası hardaliye numunelerinin TAK için RSM modellemesi ANOVA sonuçları **110**

Tablo 3.44 YHB uygulaması sonrası şalgam numunelerinin TMA için RSM modellemesi ANOVA sonuçları **111**

Tablo 3.45 YHB uygulaması sonrası şalgam numuneleri için RSM ikinci dereceden polinom modelinin tahmini regresyon katsayıları (kodlanmış)-1 ..... **114**

Tablo 3.46 YHB uygulaması sonrası şalgam numuneleri için RSM ikinci dereceden polinom modelinin tahmini regresyon katsayıları (kodlanmış)-2 ..... **115**

Tablo 3.47 YHB uygulaması sonrası hardaliye numuneleri için RSM ikinci dereceden polinom modelinin tahmini regresyon katsayıları (kodlanmış)-1 ..... **116**

Tablo 3.48 YHB uygulaması sonrası hardaliye numuneleri için RSM ikinci dereceden polinom modelinin tahmini regresyon katsayıları (kodlanmış)-2 ..... **117**

Tablo 3.49 YHB uygulaması sonrası hardaliye numuneleri için RSM ikinci dereceden polinom modelinin tahmini regresyon katsayıları (kodlanmış)-3 ..... **117**

Tablo 3.50 MD uygulaması sonrası şalgam numunelerinin TMAC, LAB ve K&M azalma değerleri **119**

Tablo 3.51 MD uygulaması sonrası hardaliye numunelerinin TMAC, LAB ve K&M azalma değerleri **120**

Tablo 3.52 MD uygulaması sonrası şalgam numunelerinin TMAC azalma değeri için RSM modellemesi ANOVA sonuçları **121**

Tablo 3.53 MD uygulaması sonrası hardaliye numunelerinin TMAC azalma değeri için RSM modellemesi ANOVA sonuçları **122**

Tablo 3.54 MD uygulaması sonrası şalgam numunelerinin LAB azalma değeri için RSM modellemesi ANOVA sonuçları **125**

Tablo 3.55 MD uygulaması sonrası hardaliye numunelerinin LAB azalma değeri için RSM modellemesi ANOVA sonuçları **126**

Tablo 3.56 MD uygulaması sonrası şalgam numunelerinin M&K azalma değeri için RSM modellemesi ANOVA sonuçları **128**

Tablo 3.57 MD uygulaması sonrası hardaliye numunelerinin M&K azalma değeri için RSM modellemesi ANOVA sonuçları **130**

Tablo 3.58 MD uygulaması sonrası şalgam numunelerinin pH, TÇKM, TA ve İŞM sonuçları **132**

Tablo 3.59 MD uygulaması sonrası hardaliye numunelerinin pH, TÇKM, TA ve İŞM sonuçları **133**

Tablo 3.60 MD uygulaması sonrası şalgam numunelerinin pH için RSM modellemesi ANOVA sonuçları **134**

Tablo 3.61 MD uygulaması sonrası hardaliye numunelerinin pH için RSM modellemesi ANOVA sonuçları **136**

Tablo 3.62 MD uygulaması sonrası şalgam numunelerinin TÇKM için RSM modellemesi ANOVA sonuçları **138**

Tablo 3.63 MD uygulaması sonrası hardaliye numunelerinin İŞM için RSM modellemesi ANOVA sonuçları **141**

Tablo 3.64 MD uygulaması sonrası şalgam numunelerinin L*, a*, b* ve ΔE sonuçları **144**

Tablo 3.65 MD uygulaması sonrası şalgam numunelerinin C*, h°, renk yoğunluğu ve renk tonu sonuçları **145**

Tablo 3.66 MD uygulaması sonrası şalgam numunelerinin SRT, KRT ve MRT sonuçları **146**

Tablo 3.67 MD uygulaması sonrası hardaliye numunelerinin L*, a*, b* ve ΔE sonuçları **147**

Tablo 3.68 MD uygulaması sonrası hardaliye numunelerinin C*, h°, renk yoğunluğu ve renk tonu sonuçları **148**

Tablo 3.69 MD uygulaması sonrası hardaliye numunelerinin SRT, KRT ve MRT sonuçları **149**

Tablo 3.70 MD uygulaması sonrası şalgam numunelerinin L* için RSM modellemesi ANOVA sonuçları **150**

Tablo 3.71 MD uygulaması sonrası hardaliye numunelerinin L* için RSM modellemesi ANOVA sonuçları **151**

Tablo 3.72 MD uygulaması sonrası hardaliye numunelerinin b* için RSM modellemesi ANOVA sonuçları **153**

Tablo 3.73 MD uygulaması sonrası hardaliye numunelerinin h° için RSM modellemesi ANOVA sonuçları **156**

Tablo 3.74 MD uygulaması sonrası şalgam numunelerinin renk tonu için RSM modellemesi e ANOVA sonuçları **158**

Tablo 3.75 MD uygulaması sonrası hardaliye numunelerinin renk tonu için RSM modellemesi ANOVA sonuçları **159**

Tablo 3.76 MD uygulaması sonrası şalgam numunelerinin SRT için RSM modellemesi ANOVA sonuçları **161**

Tablo 3.77 MD uygulaması sonrası hardaliye numunelerinin SRT için RSM modellemesi e ANOVA sonuçları **162**

Tablo 3.78 MD uygulaması sonrası şalgam numunelerinin KRT için RSM modellemesi ANOVA sonuçları **164**

Tablo 3.79 MD uygulaması sonrası hardaliye numunelerinin KRT için RSM modellemesi ANOVA sonuçları **165**

Tablo 3.80 MD uygulaması sonrası şalgam numunelerinin MRT için RSM modellemesi ANOVA sonuçları **166**

Tablo 3.81 MD uygulaması sonrası hardaliye numunelerinin MRT için RSM modellemesi ANOVA sonuçları **167**

Tablo 3.82 MD uygulaması sonrası şalgam numunelerinin TFM, TFlav.M, TAK ve TMA sonuçları **170**

Tablo 3.83 MD uygulaması sonrası hardaliye numunelerinin TFM, TFlav.M, TAK ve TMA sonuçları **171**

Tablo 3.84 MD uygulaması sonrası şalgam numunelerinin TFlav.M için RSM modellemesi ANOVA sonuçları **173**

Tablo 3.85 MD uygulaması sonrası hardaliye numunelerinin TFlav.M için RSM modellemesi ANOVA sonuçları **174**

Tablo 3.86 MD uygulaması sonrası şalgam numunelerinin TAK için RSM modellemesi ANOVA sonuçları **176**

Tablo 3.87 MD uygulaması sonrası şalgam numunelerinin TMA için RSM modellemesi ANOVA sonuçları **178**

Tablo 3.88 MD uygulaması sonrası hardaliye numunelerinin TMA için RSM modellemesi ANOVA sonuçları **179**

Tablo 3.89 MD uygulaması sonrası şalgam numuneleri için RSM ikinci dereceden polinom modelinin tahmini regresyon katsayıları (kodlanmış)-1 ..... **181**

Tablo 3.90 MD uygulaması sonrası şalgam numuneleri için RSM ikinci dereceden polinom modelinin tahmini regresyon katsayıları (kodlanmış)-2 ..... **182**

Tablo 3.91 MD uygulaması sonrası şalgam numuneleri için RSM ikinci dereceden polinom modelinin tahmini regresyon katsayıları (kodlanmış)-3 ..... **183**

Tablo 3.92 MD uygulaması sonrası hardaliye numuneleri için RSM ikinci dereceden polinom modelinin tahmini regresyon katsayıları (kodlanmış)-1 ..... **184**

Tablo 3.93 MD uygulaması sonrası hardaliye numuneleri için ikinci dereceden polinom modelinin tahmini regresyon katsayıları (kodlanmış)-2 ..... **185**

Tablo 3.94 MD uygulaması sonrası hardaliye numuneleri için RSM ikinci dereceden polinom modelinin tahmini regresyon katsayıları (kodlanmış)-3 ..... **186**

Tablo 3.95 TS uygulaması sonrası şalgam numunelerinin TMAC, LAB ve K&M azalma değerleri **187**

Tablo 3.96 TS uygulaması sonrası hardaliye numunelerinin TMAC, LAB ve K&M azalma değerleri **188**

Tablo 3.97 TS uygulaması sonrası şalgam numunelerinin TMAC azalma değeri için RSM modellemesi ANOVA sonuçları **189**

Tablo 3.98 TS uygulaması sonrası hardaliye numunelerinin TMAC azalma değeri için RSM modellemesi ANOVA sonuçları **190**

Tablo 3.99 TS uygulaması sonrası şalgam numunelerinin LAB azalma değeri için RSM modellemesiANOVA sonuçları **192**

Tablo 3.100 TS uygulaması sonrası hardaliye numunelerinin LAB azalma değeri için RSM modellemesi ANOVA sonuçları **193**

Tablo 3.101 TS uygulaması sonrası şalgam numunelerinin M&K azalma değeri için RSM modellemesi ANOVA sonuçları **195**

Tablo 3.102 TS uygulaması sonrası hardaliye numunelerinin M&K azalma değeri için RSM modellemesi ANOVA sonuçları **196**

Tablo 3.103 TS uygulaması sonrası şalgam numunelerinin pH, TÇKM, TA ve İŞM sonuçları **198**

Tablo 3.104 TS uygulaması sonrası hardaliye numunelerinin pH, TÇKM, TA ve İŞM sonuçları **199**

Tablo 3.105 TS uygulaması sonrası şalgam numunelerinin pH için RSM modellemesi ANOVA sonuçları **200**

Tablo 3.106 TS uygulaması sonrası hardaliye numunelerinin pH için RSM modellemesi ANOVA sonuçları **201**

Tablo 3.107 TS uygulaması sonrası şalgam numunelerinin TÇKM için RSM modellemesi ANOVA sonuçları **203**

Tablo 3.108 TS uygulaması sonrası şalgam numunelerinin TA için RSM modellemesi ANOVA sonuçları **204**

Tablo 3.109 TS uygulaması sonrası hardaliye numunelerinin TA için RSM modellemesi ANOVA sonuçları **205**

Tablo 3.110 TS uygulaması sonrası hardaliye numunelerinin İŞM için RSM modellemesi ANOVA sonuçları **207**

Tablo 3.111 TS uygulaması sonrası şalgam numunelerinin L*, a*, b* ve ΔE sonuçları **210**

Tablo 3.112 TS uygulaması sonrası şalgam numunelerinin C*, h°, renk yoğunluğu ve renk tonu sonuçları **211**

Tablo 3.113 TS uygulaması sonrası şalgam numunelerinin SRT, KRT ve MRT sonuçları **212**

Tablo 3.114 TS uygulaması sonrası hardaliye numunelerinin L*, a*, b* ve ΔE sonuçları **213**

Tablo 3.115 TS uygulaması sonrası hardaliye numunelerinin C*, h°, renk yoğunluğu ve renk tonu sonuçları **214**

Tablo 3.116 TS uygulaması sonrası hardaliye numunelerinin SRT, KRT ve MRT sonuçları **215**

Tablo 3.117 TS uygulaması sonrası şalgam numunelerinin L* için RSM modellemesi ANOVA sonuçları **216**

Tablo 3.118 TS uygulaması sonrası hardaliye numunelerinin L* için RSM modellemesi ANOVA sonuçları **217**

Tablo 3.119 TS uygulaması sonrası şalgam numunelerinin a* için RSM modellemesi ANOVA sonuçları **218**

Tablo 3.120 TS uygulaması sonrası hardaliye numunelerinin a* için RSM modellemesi ANOVA sonuçları **219**

Tablo 3.121 TS uygulaması sonrası şalgam numunelerinin b* için RSM modellemesi ANOVA sonuçları **220**

Tablo 3.122 TS uygulaması sonrası hardaliye numunelerinin b* için RSM modellemesi ANOVA sonuçları **222**

Tablo 3.123 TS uygulaması sonrası şalgam numunelerinin ΔE için RSM v ANOVA sonuçları **224**

Tablo 3.124 TS uygulaması sonrası hardaliye numunelerinin ΔE için RSM modellemesi ANOVA sonuçları **225**

Tablo 3.125 TS uygulaması sonrası şalgam numunelerinin C* için RSM modellemesi ANOVA sonuçları **227**

Tablo 3.126 TS uygulaması sonrası hardaliye numunelerinin C* için RSM modellemesi ANOVA sonuçları **228**

Tablo 3.127 TS uygulaması sonrası şalgam numunelerinin h° için RSM modellemesi ANOVA sonuçları **229**

Tablo 3.128 TS uygulaması sonrası hardaliye numunelerinin h° için RSM modellemesi ANOVA sonuçları **230**

Tablo 3.129 TS uygulaması sonrası hardaliye numunelerinin renk yoğunluğu için RSM modellemesi ANOVA sonuçları **232**

Tablo 3.130 TS uygulaması sonrası hardaliye numunelerinin SRT için RSM modellemesi ANOVA sonuçları **233**

Tablo 3.131 TS uygulaması sonrası hardaliye numunelerinin KRT için RSM modellemesi ANOVA sonuçları **234**

Tablo 3.132 TS uygulaması sonrası hardaliye numunelerinin MRT için RSM modellemesi ANOVA sonuçları **235**

Tablo 3.133 TS uygulaması sonrası şalgam numunelerinin TFM, TFlav.M, TAK ve TMA sonuçları **237**

Tablo 3.134 TS uygulaması sonrası hardaliye numunelerinin TFM, TFlav.M, TAK ve TMA sonuçları **238**

Tablo 3.135 TS uygulaması sonrası şalgam numunelerinin TFM için RSM modellemesi ANOVA sonuçları **239**

Tablo 3.136 TS uygulaması sonrası hardaliye numunelerinin TFM için RSM modellemesi ANOVA sonuçları **240**

Tablo 3.137 TS uygulaması sonrası şalgam numunelerinin TFlav.M için RSM modellemesi ANOVA sonuçları **242**

Tablo 3.138 TS uygulaması sonrası hardaliye numunelerinin TFlav.M için RSM modellemesi ANOVA sonuçları **243**

Tablo 3.139 TS uygulaması sonrası şalgam numunelerinin TAK için RSM modellemesi ANOVA sonuçları **246**

Tablo 3.140 TS uygulaması sonrası hardaliye numunelerinin TAK için RSM modellemesi ANOVA sonuçları **247**

Tablo 3.141 TS uygulaması sonrası şalgam numunelerinin TMA için RSM modellemesi ANOVA sonuçları **249**

Tablo 3.142 TS uygulaması sonrası şalgam numuneleri için RSM ikinci dereceden polinom modelinin tahmini regresyon katsayıları (kodlanmış)-1 ..... **252**

Tablo 3.143 TS uygulaması sonrası şalgam numuneleri için RSM ikinci dereceden polinom modelinin tahmini regresyon katsayıları (kodlanmış)-2 ..... **252**

Tablo 3.144 TS uygulaması sonrası hardaliye numuneleri için RSM ikinci dereceden polinom modelinin tahmini regresyon katsayıları (kodlanmış)-1 ..... **253**

Tablo 3.145 TS uygulaması sonrası hardaliye numuneleri için RSM ikinci dereceden polinom modelinin tahmini regresyon katsayıları (kodlanmış)-2 ..... **254**

Tablo 3.146 Optimum koşullarda işlenen şalgam numunesinin deneysel sonuçları **255**

Tablo 3.147 Optimum koşullarda işlenen hardaliye numunesinin deneysel sonuçları **257**

Tablo 4.1 YHB, MD ve TS için belirlenen optimum uygulama koşulları **265**

ÖZET

Yüksek Hidrostatik Basınç, Mikrodalga ve Termosonikasyon İşlemleriyle Fermente İçeceklerde Pastörizasyona Alternatif Optimum Proses Geliştirilmesi

Eylül ÖZTÜRK

Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı
Doktora Tezi

Danışman: Prof. Dr. Muhammet ARICI

Eş-Danışman: Prof. Dr. Hami ALPAS

Bu çalışmada, yenilikçi işleme yöntemlerinin (yüksek hidrostatik basınç (YHB), mikrodalga (MD) ve termosonikasyon (TS)) fermente içeceklerin, özellikle şalgam ve hardaliyenin mikrobiyolojik ve fizikokimyasal özellikleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Amaç, bu yöntemleri mikrobiyal güvenlik, renk parametreleri, biyoaktif bileşik stabilitesi ve diğer fizikokimyasal özellikler (pH, toplam çözünür katı madde, titrasyon asitliği ve indirgen şeker miktarı) açısından geleneksel termal pastörizasyonla karşılaştırmak ve her teknik için optimum işleme koşullarını belirlemektir. Mikrobiyolojik sonuçlar değerlendirildiğinde, tüm işlemlerin toplam mezofilik aerobik canlı, laktik asit bakterisi ve maya-küf sayımları üzerinde etkili inaktivasyon seviyeleri elde edilmiştir ($p<0,05$). Her iki içecek için pastörizasyon ve YHB işlemlerinden sonra >5 log azalma elde ederken, TS ve MD numune matrise bağlı olarak ~3–4 log azalma ile sonuçlanmıştır. Biyoaktif bileşikler açısından, termal pastörizasyon toplam fenolik madde, toplam flavonoid madde,

monomerik antosiyanin miktarı ve antioksidan kapasitede sırasıyla şalgam için %27, %11, %35 ve %45'ye ve hardaliye için %11, %4, %4 ve %36'ye varan önemli kayıplara neden olmuştur ($p<0,05$). Buna karşılık, 300 MPa – 30 °C – 10 dk uygulanan YHB işlemi, kontrol numunelerine kıyasla fenolik ve flavonoid madde miktarlarını şalgam için %9 ve %11, 500 MPa-30°C-5dk işlemi hardaliye için %7 ve %17 artırdığı tespit edilmiştir. MD işlemi %50 güç – 2 rpm – 3 dk koşullarında uygulandığında şalgam ve hardaliyenin toplam monomerik antosiyanin değerlerinde %86 ve %59'a varan artış sağlanırken, TS işlemi 500W – 20°C – 10 dk ile uygulandığında %78 ve %39'a varan artış sağlanmıştır. Renk parametreleri değerlendirildiğinde, pastörizasyon L*, a*, b* değerlerinde belirgin farklılıklara ve en yüksek toplam renk farkına (ΔE) yol açarak gözle görünür düzeyde renk değişimine neden olmuştur. YHB işleminin ardından şalgam ve hardaliye örnekleri; en stabil renk özelliklerini, kontrol numunelerine en yakın değerlerini ve en düşük ΔE değerlerini göstermiştir. TS uygulaması orta düzeyde renk stabilitesi sağlarken, MD daha belirgin renk değişimlerine neden olmuş, ancak pastörizasyon işlemine göre daha az kayıp sergilemiştir. Ayrıca çalışmanın asıl amaçlarından bir olan proses parametrelerinin optimizasyonu, mikrobiyal inaktivasyon verimliliğini ve temel kalite özelliklerinin korunmasını esas alınarak her uygulama yöntemi için gerçekleştirilmiştir. En uygun koşullar şalgam için YHB ile 367 MPa – 31,9°C – 10,5 dk, MD ile %95 güç – 2 rpm – 5 dk, TS ile 1000 W– 40°C – 6,6 dk ve hardaliye için YHB ile 431 MPa – 20°C – 7,8 dk, MD ile %99 güç – 5,8 rpm – 5 dk, TS ile 833 W– 39,2°C – 13,9 dk olarak belirlenmiştir. Genel olarak bu çalışma, YHB'nin şalgam ve hardaliyenin işlevsel ve duyusal niteliklerini korurken mikrobiyal güvenliği sağlamada üç teknoloji arasında en etkili yöntem olduğunu görülmüştür. Bu sonuçlar, yenilikçi yöntemlerin gıda endüstrisinde, özellikle biyoaktif bileşikler açısından zengin fonksiyonel içecekler için, geleneksel termal pastörizasyona temiz etiketli ve kaliteyi koruyan bir alternatif olarak benimsenme potansiyelini desteklemektedir.

Anahtar Kelimeler: Yüksek hidrostatik basınç, mikrodalga, termosonikasyon, fermente içecekler, proses optimizasyonu

ABSTRACT

Development of Alternative Process to Pasteurization in Fermented Beverages Using High Hydrostatic Pressure, Microwave and Thermosonication Treatments

Eylül ÖZTÜRK

Department of Food Engineering
Doctor of Philosophy Thesis

Supervisor: Prof. Dr. Muhammet ARICI
Co-supervisor: Prof. Dr. Hami ALPAS

This study investigated the effects of non-thermal processing methods—high hydrostatic pressure (HHP), microwave (MW), and thermosonication (TS)—on the microbiological and physicochemical properties of two fermented beverages, shalgam and hardaliye. The aim was to compare these technologies with conventional thermal pasteurization in terms of microbial safety, color parameters, bioactive compound stability, and other physicochemical characteristics (pH, total soluble solids, titratable acidity, and reducing sugar content), while also determining optimal processing conditions for each technique. Microbiological analysis revealed significant inactivation ($p<0.05$) of total mesophilic aerobic bacteria, lactic acid bacteria, and yeasts/molds across all treatments. Pasteurization and HHP achieved >5 log reductions in both beverages, whereas TS and MW resulted in ~3–4 log reductions, depending on the matrix. In terms of bioactive compounds, thermal pasteurization caused substantial losses in total phenolics, flavonoids, monomeric anthocyanins, and antioxidant capacity—up to 27%, 11%, 35%, and 45% in shalgam, and 11%, 4%, 4%, and 36% in hardaliye, respectively

($p<0.05$). In contrast, HHP at 300 MPa–30°C–10 min increased phenolic and flavonoid content in shalgam by 9% and 11%, while HHP at 500 MPa–30°C–5 min improved these parameters in hardaliye by 7% and 17%. MW (50% power, 2 rpm, 3 min) resulted in total monomeric anthocyanin content increases up to 86% and 59% in shalgam and hardaliye, respectively; TS (500 W, 20°C, 10 min) led to increases up to 78% and 39%. Color analysis showed that pasteurization caused the most significant changes in L*, a*, and b*, and yielded the highest total color difference (ΔE), indicating a visibly altered appearance. HHP-treated samples exhibited the most stable color properties with values closest to fresh controls and the lowest ΔE. TS provided moderate color stability, whereas MW caused more notable changes but still outperformed pasteurization. These effects were more prominent in hardaliye due to its higher anthocyanin content. Process optimization was carried out for each method by balancing microbial inactivation and quality preservation. The optimal conditions were determined as follows: HHP at 367 MPa–31.9°C–10.5 min, MW at 95% power–2 rpm–5 min, and TS at 1000 W–40°C–6.6 min for shalgam; HHP at 431 MPa–20°C–7.8 min, MW at 99% power–5.8 rpm–5 min, and TS at 833 W–39.2°C–13.9 min for hardaliye. As a result, HHP was found to be the most effective non-thermal technique among those tested, ensuring microbial safety while preserving the functional and sensory attributes of both beverages. These results support the potential adoption of novel non-thermal technologies in the food industry as clean-label, quality-preserving alternatives to traditional thermal pasteurization, particularly for functional beverages rich in bioactive compounds.

Keywords: High hydrostatic pressure, thermosonication, microwave, fermented beverage, process optimization

1
GİRİŞ

1.1 Fermente Gıdalar ve Fermentasyon

Fermentasyon, gıda muhafazasında kullanılan en eski yöntemlerden birisidir. Fermente gıdaların ve içeceklerin kullanımına dair en eski kanıtlar, M.Ö. 8000 dönemine kadar uzanmakta olup, Asya'da arkeolojik alanlarda bulunan kaplarla kanıtlanmıştır [1], [2], [3]. M.Ö. 7000 ila 6600 yılları arasında Jinhu (Çin) köyünde meyve, pirinç ve baldan yapılan bir alkollü içecek fermentasyonun eski arkeolojik kanıtıdır. Bunun kadar eski tarihe sahip olan şarap yapımı M.Ö. 6000'de Gürcistan'da Kafkasya bölgesinde başlamıştır. M.Ö. 3000'de Babil'de, M.Ö. 3150'de Eski Mısır'da, M.Ö. 2000'de İspanyol istilası öncesi Meksika'da ve M.Ö. 1500'de insanların alkollü içecekleri fermente ettiğine dair güçlü kanıtlar vardır [4]. Eski insanlar tarafından tüketim için yiyecekleri korumak amacıyla geleneksel fermentasyon yöntemi, tütsüleme, kurutma ve tuzlama işlemleri geliştirilmiştir. Bu yöntemler, insanlığın yemek kültürü tarihinde dönüm noktası olmuştur. Antik dönemde Çin mutfağının ve yemeklerinin, tarihi kanıtlara dayanarak M.Ö. 4000'e kadar uzandığı birkaç tarihçi tarafından belgelenmiştir. Nepal'deki antik anıtlar, Himalaya etnik yiyeceklerinin bölgede 2500 yıldan uzun süredir tüketildiğini göstermektedir [3], [4]. Diğer kaynaklarda, sebze fermentasyonunun sirke yapımı ile M.Ö. 300 civarında Çin'de, süt fermentasyonunun M.Ö. 8000 civarında Orta Doğu'da başladığı iddia edilmektedir. M.Ö. 4000'de Mısırlıların üzümleri şaraba fermente ettiği ve mayalı ekmek yapmak için maya kullandıkları bilinmektedir. Bilinen en eski balık fermentasyonu ise M.Ö. 7000 civarında İsveç'te gerçekleştirildiği bilinmektedir [3], [4], [5].

Gıda işlemede fermentasyon temel olarak mikroorganizmalar (mayalar veya bakteriler) kullanılarak basit karbonhidrat yapılarının alkole veya organik asitlere dönüştürülmesi olarak ifade edilmektedir. Fermente ürünler ise, kontrollü mikrobiyal gelişme ve gıda bileşenlerinin enzimatik etki yoluyla dönüştürülmesiyle üretilen gıdalar veya içecekler olarak tanımlanmaktadır [6]. Başka bir tanımda fermente ürünler için "mikroorganizmaların (bakteriler, küfler ve mayalar) etkisine maruz kalan gıdalar" denilmektedir. Tablo 1.1'de özetlenmiş olan gıda fermentasyonu biyokimyasal olarak dört grupta incelebilir: alkol fermentasyonu, laktik asit fermentasyonu, asetik asit fermentasyonu ve alkali fermentasyon [7], [8]. Alkol fermentasyonu, şeker monomerlerinin alkole ve karbondioksite dönüştürülmesi işlemidir ve mayalar bu tür fermentasyondan baskın olarak sorumludurlar. Laktik asit fermentasyonu basit yapıdaki karbonhidratların laktik asit gibi organik bir asite dönüştürülmesidir ve esas olarak laktik asit bakterileri (LAB) bu fermentasyondan sorumludur. Asetik asit fermentasyonu ise substrattaki alkolün ve monomerik karbonhidratların asetik aside dönüştürülmesi işlemidir ve bu fermentasyondan *Acetobacter* türüne ait bakteriler sorumludur [5], [9], [10]. Bu mikroorganizmalar fermentasyon sırasında fermente edilebilir karbonhidratları alkol, karbondioksit ve organik asitlere kadar parçalamalarının yanı sıra gıda kaynaklı patojenleri inaktive ederek ve çoğalmasını engelleyerek gıda güvenliğine katkıda bulunan bakteriyosinler gibi antimikrobiyal metabolitlerin ortaya çıkmasına sebep olurlar [7], [11], [12]. Kombucha ürünü için örnek verecek olursak *Propionibacterium* ve *Gluconacetobacter* türleri tarafından üretilen propiyonik asit ve glukuronik asit, fermente ürüne zararlı mikroorganizmalara karşı antimikrobiyal aktivite ve antioksidan özellikler kazandırır [5], [13].

Fermente gıdalar dünyadaki hemen hemen her kültürün mutfağında sağlam bir yere sahiptir. Eski çağlardan beri insan diyetinin vazgeçilmez bir parçası olmuştur ve yerel kültür ve geleneklerin ayrılmaz bir parçası oldukları birçok gelişmekte olan ülkede önemini korumaktadır [11], [12], [14]. Çünkü fermentasyon özellikle de kolay bozulabilir gıdaların raf ömrünü artırma etkisine sahip ve gıdanın besin değerini, organoleptik özelliklerini, proteinlerin ve karbonhidratların sindirilebilirliğini, vitamin ve minerallerin biyoyararlanımını artırmaktadır [12], [15], [16]. Tüm dünyada ve hatta özellikle batı ülkelerinde, fermente gıdaların popülaritesinde son yıllarda önemli bir artış olmuştur; bunun başlıca nedenleri

fermente gıdaların önerilen sağlık yararları ve gastrointestinal sağlığa olan ilginin artması olduğu düşünülmektedir [6]. Konstantinidi vd. [17]'nin yapmış olduğu çalışmada bu gıdaları "besleyici etkilerin ötesinde, insan organizmasındaki hedef işlevler üzerinde yapıcı etkilere sahip, sağlık teşviki ve refahı ve/veya kronik hastalıkların azaltılmasını amaçlayan gıdalar" olarak tanımlamıştır. Bu sebeple, fermente gıdalar ve içeceklerin yalnızca vücuda besin sağladığı düşünülmemekte; diyabet, obezite, inflamatuar hastalıklar, kalp rahatsızlıkları, metabolik sendrom, tromboz, bakteriyel ve viral enfeksiyonlar, alerji ve ishal gibi belirli hastalıklarla ilgili faydaları öne sürülmektedir [1], [18], [19], [20].

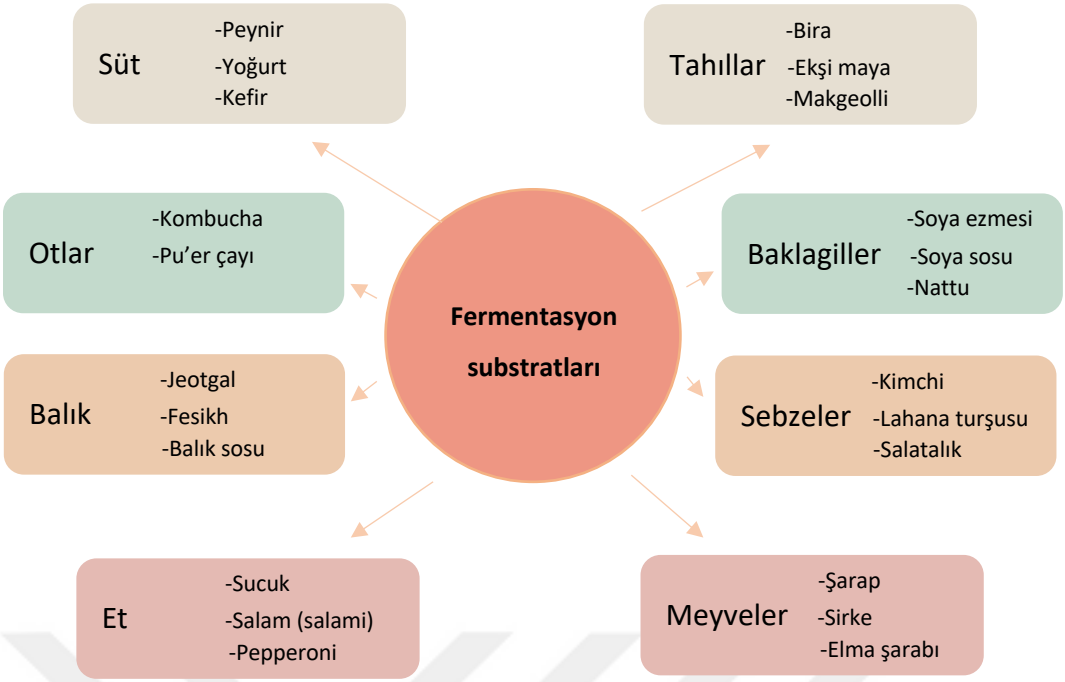
Tablo 1.1 Gıda üretimiyle ilgili başlıca fermentasyon türlerinin sınıflandırılması [5]

Tür	**Biyosentez yolu**	**Sorumlu Mikroorganizma**	**Fermente Ürün**
Laktik Asit	Şeker laktik aside dönüştürülür	Laktik asit bakterileri	Yoğurt ve kimchi
Asetik Asit	Bazı substratlar asetik aside dönüştürülür	*Acetobacter*	Sirke ve su kefiri
Alkol	Şeker alkolle ve CO_2'ye dönüştürülür	Maya	Şarap ve bira
Allkali	Protein amino aside, peptide ve amonyağa dönüştürülür	*Bacillus* ve *Staphylococcus* spp.	Japon nattu

Fermente gıdalar dünyadaki hemen hemen her kültürün mutfağında sağlam bir yere sahiptir. Eski çağlardan beri insan diyetinin vazgeçilmez bir parçası olan bu ürünler, ve yerel kültür ve geleneklerin ayrılmaz bir parçası oldukları birçok gelişmekte olan ülkede önemini korumaktadır [11], [12], [14].

Fermente gıdaların sağlık ve hastalık üzerinde yararlı etkiler gösterebileceği çeşitli mekanizmalar vardır. Bu ürünler laktik asit bakterileri gibi potansiyel olarak probiyotik mikroorganizmalar içermekte ve türetilen metabolitler sağlık yararları gösterebilmektedir. Laktik asit bakterileri kardiyovasküler, bağışıklık sistemi ve metabolik sağlık üzerinde potansiyel etkileri olan biyoaktif peptitler ve poliaminler üretir. Fermentasyon aracılığıyla LAB fenolik bileşikleri (flavonoidler gibi) biyolojik olarak aktif metabolitlere dönüştürebilir. Prebiyotikler ve vitaminler gibi fermente gıdalarda bulunan gıda bileşenleri de sağlık yararları gösterebilmektedir. Ayrıca fermentasyon, toksinleri ve anti-besin unsurlarını azaltabilmektedir [6], [9], [21], [22]. Fermente gıdalarla ilişkili sağlık yararları genellikle fermentasyona katılan bakteriler tarafından proteinlerin mikrobiyal bozunmasında sentezlenen biyoaktif peptitlere atfedilir [23], [24]. Fermente gıdalar, kan kolesterol seviyelerini düşürerek, bağışıklığı artırarak, patojenlere karşı koruyarak, karsinogenez, osteoporoz, alerji ve aterosklerozla savaşarak ve laktoz intoleransı semptomlarını hafifleterek sağlık üzerinde yararlı etkiler göstermektedir [25].

Tarih boyunca insanlar açlıklarını gidermek için farklı yollar bulmuşlardır. Farklı tipteki gıda substratlarının çeşitli kombinasyonları ve ilgili fermentasyon mikrobiyotası dünya çapında binlerce fermente ürüne yol açmıştır [5]. Yoğurt, peynir, crème fraiche, fermente sosisler, ekşi mayalı ekmek, soya sosu, balık sosu, "miso" (fermente soya fasulyesi), "kimchi" (fermente baharatlı lahana), "Sauerkraut" (Alman fermente lahanası) ve "surströmming" (fermente ringa balığı) gibi fermente sebzeler veya "kefir" (fermente süt), "kombucha" (fermente çay), bira, şarap veya "kvas" gibi farklı içecekler, farklı geleneksel fermente gıdalar dünya çapında mevcuttur [1], [26], [27], [28], [29]. Başlıca fermente yiyecekler ve içecekler ve bu gıdaların fermentasyonundan sorumlu mikroorganizmalar Şekil 1.1'de gösterilmektedir.



Şekil 1.1 Fermente ürünler [5]

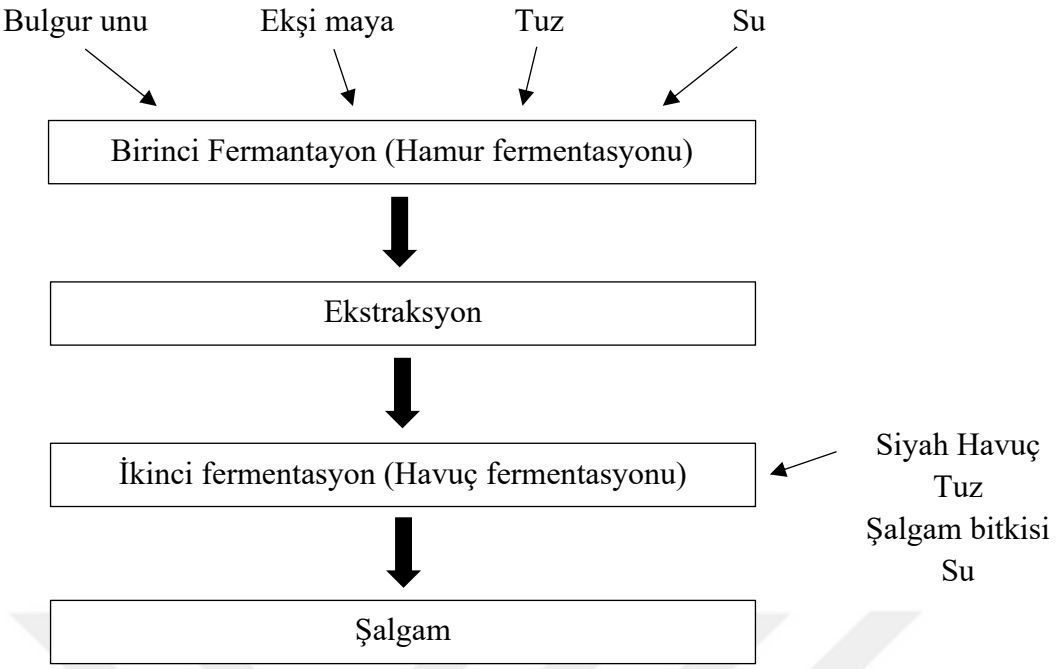
İnsan toplulukları, tarih boyunca ve dünya çapında, fermente içeceklerin yerel yaşam alanlarında bulunan şeker kaynaklarından üretilebileceğini keşfettiler. Bilinen farmakolojik, besinsel ve duyusal faydaları nedeniyle, fermente içecekler insan kültürünün ve teknolojisinin gelişiminde önemli roller oynamış, tarımın, bahçeciliğin ve gıda işleme tekniklerinin ilerlemesine ve yoğunlaşmasına katkıda bulunmuştur. Bu evrensel olgu, fermentasyon gıdaların ve içeceklerin besin değerini korumaya ve artırmaya yardımcı olmasının yanında etanolün ağrı kesici, dezenfektan ve derin zihin değiştirici etkileriyle açıklanmaktadır [3]. Bazı Orta Doğu ülkelerinde laktik asit fermentasyonuyla üretilmiş meyveler ve meyve suları (üzüm suyu, fermente kiraz ve muşmula vb.) yaygındır. Buna paralel olarak, Türkiye'nin pek çok bölgesinde, belirli bir bölgenin ürünlerinden üretilen birçok farklı geleneksel fermente gıda bulunmaktadır. Hâlihazırda piyasada lahana, havuç, kereviz, domates, kırmızı-beyaz üzüm, kırmızı pancar ve şalgamdan elde edilen fermente edilmiş sebze sularının yanı sıra, belirtilmemiş sayıda değişik formülasyona sahip sebze karışımları mevcuttur [30], [31], [32].

1.1.1 Şalgam İçeceği

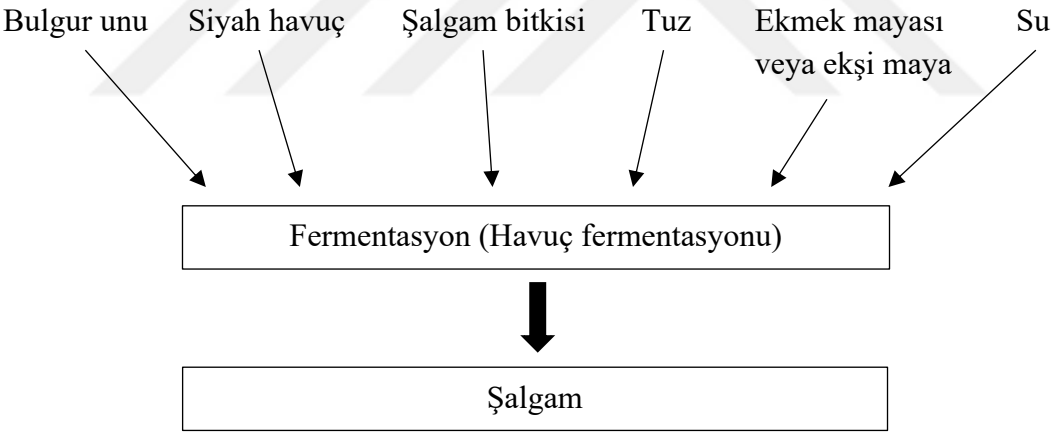
Morumsu kırmızı renkli, bulanık ve ekşi bir içecek olan Şalgam, esas olarak siyah havuçtan üretilen, laktik asit fermentasyonuyla elde edilmiş yerel bir içecektir. Türkiye, Orta ve Uzak Doğu menşeli siyah veya mor havuç en az 3000 yıldır yetiştirilmektedir. Günümüzde bazı ülkeler (Türkiye, Afganistan, Mısır, Hindistan ve diğer Uzak Doğu ülkeleri) hâlâ iyi bilinmekte ve günlük yaşamlarında kullanılmaktadır [33], [34]. Türkiye'nin güneyindeki bazı illerde, özellikle Adana, Mersin, Hatay ve Kahramanmaraş'ta evde veya ev ölçeğinde ve hatta küçük ölçekte ticari olarak da üretimi yapılmaktadır. Şalgam, çoğunlukla bu illerde yemeklerle birlikte serinletici bir içecek olarak yaygın olarak tüketilmektedir. Ayrıca İstanbul, Ankara ve İzmir gibi büyük şehirler başta olmak üzere salgam ülkenin hemen her yerinde tüketilmekte ve endüstriyel ölçekte üretilmektedir. Ayrıca, salgamın şu anda bazı Avrupa ülkelerindeki pazarlarda satışta olduğu belirtilmiştir [35], [36], [37], [38].

Şalgam; siyah havuç (*Daucus carota* ssp. *sativus* var. *atrorubens* Alef.), bulgur unu, ekşi maya, ticari rafine edilmemiş tuz (kaya veya deniz tuzu), şalgam turpu (*Brassica rapa* L.) ve içme suyu olan bir karışımın laktik asit fermentasyonu yoluyla elde edilmektedir. Bu tür fermentasyon, laktik asit bakterileri (LAB) ve mayaların karışık bir kültürünü içeren kendiliğinden gerçekleşen (spontan) bir fermentasyondur ve laktik asit, etanol ve diğer organik bileşiklerin üretimi ile içeceğe karakteristik tat ve lezzet kazandırılır. Bulanık, koyu kırmızı-mor renkli ve çok güçlü bir ekşi tada sahip bir içecektir [39].

Geleneksel yöntemle şalgam üretiminde iki aşama mevcuttur (Şekil 1.2). Birinci aşamaya birinci fermentasyon yani ekşi maya fermentasyonu ve ikinci aşamaya ikinci fermentasyon yani ana fermentasyon olarak adlandırılmaktadır. Birinci fermentasyon, LAB ve mayaların zenginleştirilmesi için yapılır [40], [41]. Bulgur unu, tuz, ekşi maya ve yeterli su karıştırılır. Daha sonra karışım oda sıcaklığında (25 °C'de) 3-5 gün fermentasyona bırakılır. Birinci fermentasyon sırasında esas olarak LAB ve mayanın küçük miktarlarda önemli aktiviteleri nedeniyle asit içeriği önemli ölçüde artar (pH düşer) [37], [41]. Fermentasyonun sonunda hamurda çatlaklar oluşur. Daha sonra hamur çıkarılır ve 5–10 dakika boyunca 3–5 kez suyla karıştırılır. Tortu dibe çöktüğünde, hamur karışımı süzülür Fermente edilmiş bulgur unu ve ekşi maya karışımı yeterli su ile üç ila beş kez bu şekilde ekstrakte edilir [40], [41]. Ekşi maya florasını da içeren birinci fermentasyondan elde edilen ekstrakt, ana fermentasyona iyi bir başlangıç sağlamaya yardımcı olur. İstenirse siyah havuç, tuz ve dilimlenmiş şalgam eklenir ve bu malzemeler ikinci fermentasyon için tankta yeterli su ile birleştirilir. Geleneksel olarak fermentasyon için ahşap tanklar kullanılır. Günümüzde fiberglas, plastik veya paslanmaz çelik tanklar kullanılmaktadır [40]. Fermentasyon genellikle ortam sıcaklığında (10-35 °C) 3-10 gün boyunca gerçekleştirilir (Fermentasyon süresi 25 °C'de yaklaşık 7 gündür). Fermentasyon sırasında renkli bileşikler (antosiyaninler) sıvıya geçer. Toplam asitlik esas olarak LAB'nin aktivitesini artırır [40], [41]. Fermentasyonun sonunda kırmızı, ekşi bir içecek elde edilir. Fermente sıvıya acı veya tatlı biber tozu eklenerek tatlandırılabilir. Şalgam üretiminde berraklaştırma yapılmaz [36], [37]. Fermentasyonun sonunda şalgam süzülür, havalandırılmayan şişelere veya plastik kaplara doldurulur ve piyasaya sunulur. Daha sonra tüketilene kadar soğuk koşullarda (4 °C) saklanmalıdır [40]. Şalgam üretiminde alternatif olarak doğrudan üretim yöntemin de kullanılmaktadır. Bu yöntemde, ilk fermentasyon (ekşi maya fermentasyonu) uygulanmaz (Şekil 1.3) [41].



Şekil 1.2 Geleneksel yöntemle şalgam üretimi [41]



Şekil 1.3 Doğrudan üretim yöntemiyle şalgam üretimi [41]

Şalgam üretiminde ana hammadde olarak siyah havuç kullanılmaktadır. Fermentasyon sonunda baskın son ürün olarak açığa çıkan organik asit laktik asittir ve kırmızı şalgam renginde önemli rol oynar [36], [42]. Şalgam karakteristik morumsu kırmızı rengi siyah havuç köklerinde bulunan antosiyanin pigmentlerinin yoğunluğundan kaynaklanır. Şalgam üretiminde az miktarda bulgur unu (kepek) kullanılmaktadır. Geleneksel ve endüstriyel şalgam üretiminde fermentasyonunun ilk aşamasında mikroorganizmalar için besin görevi yapmaktadır. Şalgam üretiminde önemli bir bileşen olan tuz, fermentasyon sırasında çeşitli işlevler görür

ve içeceğe tuzlu bir tat verir. Konsantrasyona bağlı olarak mikroorganizma kaynaklı bozulmaları ve patojenik mikroorganizmaların gelişimini önlemek yani tuza dayanıklı olan ve bozulmayı önleyen LAB dışındaki mikrobiyotanın gelişmesini kontrol etmek gibi bazı avantajlar sağlamaktadır. Aksi belirtilmediği sürece tuz olarak sodyum klorür kullanılır ve genellikle üretim sırasında kaya tuzu eklenmektedir. Ayrıca, kaya tuzu LAB gelişimini destekler. Şalgam bitkisi (*Brassica rapa* L.) ve ekşi maya üretime katılan diğer hammaddelerdir [38], [42], [43], [44].

Şalgamın mikrobiyotası karmaşıktır ve detaylı olarak tespit edilememiştir. Fermentasyon LAB ve mayaların karışık kültürlerini içerir ve doğal olarak gerçekleştirilir. Ham maddelerin yüzeylerinde ve ekşi maya özütünde bulunan mikroorganizmalar şalgam fermentasyonundan sorumludur. Toplam mikrobiyal yük, daha az ölçüde maya ile birlikte LAB tarafından domine edilir [41]. Şalgam içeceğinde yapılan çalışmalarda birinci fermentasyon aşamasından izole edilen mikroorganizmaların tanımlaması yapılmıştır. Tangüler ve Erten [45] şalgam içeceğinde laktik asit bakterilerinde yaptığı tanımlamalarda *Lactiplantibacillus plantarum* türünü baskın olacak şekilde sırasıyla *Levilactobacillus brevis, Lactobacillus delbrueckii* ssp. *delbrueckii, Lacticaseibacillus paracasei* ssp. *paracasei* ve *Pediococcus pentosaceus* türleri tespit edilmiştir. Arıcı'nın [46] yapmış olduğu çalışmada ise şalgam örneklerinden izole edilen laktik asit bakterilerinin *Lactobacillus* cinsine ait olduğu, *L. plantarum ve L. paracasei* ssp. *paracasei* türlerinin baskın olduğu tespit edilmiştir. Şalgam üreticileri, şalgam fermentasyonu için ticari kültür bulunmadığından, fermentasyon tanklarını seçilmiş LAB suşlarıyla aşılamazlar; ancak bazen önceki bir üretim partisinden %15'e kadar şalgam aşılama yöntemi kullanılmaktadır [45]. Şalgam üretiminde en sık bulunan mayalar *Saccharomyces cerevisiae* ve daha az ölçüde *Saccharomyces exiguous, Candida krusei* ve *Candida milleri*'dir [41], [47], [48].

Şalgamda kırk dört uçucu tat bileşiği tespit edilmiştir. Bu bileşenler uçucu asitler, uçucu fenoller, esterler, terpenoller, yüksek alkoller, karbonil bileşikleri, norisoprenoidler ve laktonlardır. Şalgam aromasının oluşumuna bu bileşenler katkıda bulunurlar. Tat, aroma ve dokusunun oluşumunda mikroorganizmalar önemli bir rol oynar. Laktik asit tat ve aroma oluşumuna yardımcı olur ve aynı zamanda şalgamı korur. Mayalar ve heterofermentatif laktik asit bakterileri

tarafından oluşturulan asetik asit başlıca uçucu asitliği sağlar. Şalgamda *Saccharomyces* ve *Saccharomyces* olmayan mayalar ve küfler de bulunmaktadır. Bunların başlıca kaynağı çevre koşulları ve hammaddelerdir. Ayrıca mayalar şalgamın kimyasal ve duyusal özelliklerinde önemli katkıya sahiptir [44].

Şalgam içeceğinin iyi bir mineral kaynağı olduğu bilinmektedir. İçeceğin mineral bileşimi, üretiminde kullanılan hammaddelerin çeşidi, olgunluk derecesi, hasat yöntemleri ve hasat sonrası işleme prosedürlerinden etkilenir. Ayrıca depolama koşulları, marka ve paketleme malzemesi de mineral bileşimde değişikliklere sebep olabilecek parametrelerdir. Yilmaz-Ersan ve Turan'ın [39] yapmış oldukları çalışmada Türkiye'de tüketilen şalgam içeceğindeki birkaç majör ve minör elementin seviyelerini değerlendirmişlerdir. Şalgam içeceğinde en yaygın bulunan temel elementlerin Na, K, Ca, Ma ve P olduğunu ortaya koymuştur. Belli koşullara bağlı tespit edilen elementler çeşitlilik göstermektedir; bu durumun ham madde kökeni, havuç ve şalgamın genetik çeşitliliği, fermentasyon süreci, endüstriyel prosedür ve eklenen koruyucuların miktarı (NaCl, sodyum benzoat, vb.) gibi faktörlerden kaynaklanabileceği belirtilmiştir. Dahası, mineral elementlerin insan diyetindeki önemi ve bu içeceğin çeşitli minerallere göre besin yoğunluğu nedeniyle, bu rapor daha iyi ve daha pazarlanabilir şalgam içeceklerine olan talebi teşvik edebilir [39]. Şalgam içeceği, yüksek amino asit seviyeleri, suda çözünen vitaminler (B1, B2 ve C), doğal antioksidanlar ve fenolikler nedeniyle popüler hale gelmiştir ve tüketimi artmaktadır. Şalgam içeceğinin mineral ve vitamin bileşimi sayesinde bağışıklığı desteklemek ve sindirim bozukluklarını önleme gibi terapötik özelliklere sahip olduğu belirtilmektedir [36], [37], [39], [49].

Siyah havuç, salgam üretiminde kullanılan ana hammaddedir ve antioksidan vitaminler, karotenoidler ve fenolikler içerir [40]. En önemli doğal gıda renklendiricisi olarak kabul edilen antosiyanin grubunu bünyesinde bulundurmaktadır. Siyah havuç antosiyaninleri, yüksek oranda monoasile edilmiş antosiyaninlere sahip siyanidin türevleridir; şalgamın morumsu kırmızı renginden sorumludur. Bu antosiyaninler ferulik, sinapik ve p-kumarik asitlerle daha da monoasile edilmiş olan siyanidin-3-ksilosil-galaktozid ve siyanidin-3-ksilosil-glukozil-galaktozid olarak sıralanabilir [38], [41], [49], [50]. Taze siyah havuçtaki antosiyanin içeriğinin 1750 mg/kg'a kadar çıkabildiği bildirilmiştir [51].

Şalgam son derece besleyici ve mikrobiyolojik olarak güvenli bir içecektir. Laktik asit şalgamın ekşi tadından sorumlu olmasının yanında, sindirim sisteminin pH'ının düzenlenmesine ve vücudun bazı mineralleri daha iyi kullanmasına yardımcı olur. Şalgam içerdiği mikroorganizmalar (*L. plantarum, L. paracasei, L. brevis, L. fermentum, L. pentosus, L. buchneri, L. helveticus, L. reuteri, S. cerevisiae, Lactococcus, Pediococcus, and Leuconostoc*) sayesinde, aynı zamanda potansiyel probiyotik kaynağı bir içecektir [40]. Probiyotiklerin bağırsak mikrobiyotasını zenginleştirerek bağırsaklardaki enteropatojenlere karşı antagonistik bir etkiye sahip olduğu bilinmektedir [52]. Şalgamın içermiş olduğu C vitamini aynı zamanda bir antioksidandır ve bağışıklık sistemini destekleyerek kemik sağlığını iyileştirmede ve vücuttaki demir emilimini artırmada etkilidir. B grubu vitaminleri içerdiğinden sinirleri ve mideyi yatıştırır ve karaciğer fonksiyonu üzerinde olumlu etkiye sahiptir. Şalgam, kanser tedavisinde yardımcı etkiye sahip olan glukozinolatlar içerir. Vücuttaki detoksifikasyon sistemlerini destekler ve vücudun kendi doğal antioksidan sistemlerini uyarır [40], [53], [54]. Aynı şekilde şalgam içeceğinde bulunan yüksek potasyum minerali vücut hücrelerinde pozitif bir elektrolittir; sinirlerin, kalbin, kemiklerin, böbreklerin ve midenin normal işlevini sürdürmesini sağlar. Kalsiyum, potasyum ve demir kemikleri ve dişleri güçlendirir. Siyah havuçta yüksek miktarda bulunan β-karotenin (pro-vitamin A) kardiyovasküler hastalıklar, katarakt ve bağışıklık sistemi üzerinde olumlu etkileri olduğu kanıtlanmıştır [55], [56]. Ayrıca bünyesinde barındırdığı antosiyaninler, renklendirici özelliklerinin yanı sıra antioksidan ve antikanser aktivitelere sahiptir. Koroner kalp hastalığı riskini azaltmak ve görme keskinliğini iyileştirmek gibi birçok sağlık yararına sahiptirler [40], [57].

Şalgamın işlenmesi, diğer meyve suları gibi, uygun bir işleme tekniğinin kullanılmasını gerektirir çünkü maya aşırı gelişmesi, genel olarak işlenmemiş fermente ürünler için potansiyel bir risktir. Fermente içeceklerin korunması çok önemli bir konudur. Şalgamın ekşi tadı, bakteri üremesini engelleyen laktik asitten elde edilir, ancak maya üremesini engellemede hiçbir etkisi yoktur ve ürün kısa sürede tüketilmelidir. Öte yandan, maya aktivasyonu uzun süreli kontrolsüz depolama veya taşıma koşullarında sorunlara neden olabilir [58].

Mayalar, laktik asidi metabolize edip pH'ı artırdıkları için zararlı olabilmekte ve bu da bozulmaya neden olabilmektedir [41]. Bu nedenle, bu fermente ürünü mikrobiyal bozulmaya karşı korumak için kullanılan sınırlı teknikler pastörizasyon ve izin verilen katkı maddelerinin (benzoik asit vb.) kullanılmasıdır. Ticari amaçlarla kullanılan ısıl işlemin (pastörizasyon) fiziksel, işlevsel ve kimyasal özellikler üzerinde bazı istenmeyen etkilere neden olduğu bilinen bir durumdur. Bunun en büyük nedeni yüksek uygulama sıcaklıklarıdır. Hem kimyasal katkı maddelerinin kullanımından hem de ısıl işlemin istenmeyen etkilerden kaçınmak ve şalgamın kalite parametrelerinde kayıpları önlemek için yeni, termal olmayan/hafif termal işlemler ve kimyasal olmayan koruma yöntemleri uygulanmalıdır [59].

1.1.2 Hardaliye İçeceği

Hardaliye, Türkiye'nin Avrupa kıtasında bulunan Trakya'da ve özellikle Kırklareli şehrine özgü, eski çağlardan beri üretilen ve tüketilen, üzüm bazlı lakto-fermente bir içecektir. Geleneksel bir Osmanlı içeceği olarak kabul edilir ve en az 500 yıl önce ortaya çıktığı düşünülmektedir. Hardaliye, üzüm ve üzüm suyu, hardal tohumları, ezilmiş vişne (*Prunus cerasus*) yaprakları ve koruyucu (benzoik asit) ile üretilmektedir. Hardaliye zengin laktik asit bakteri çeşitliliği nedeniyle süt ürünü olmayan potansiyel probiyotik kaynağı içecek olarak sınıflandırılmaktadır [60], [61], [62].

Hardaliye yapmak için kırmızı veya beyaz her türlü üzüm kullanılabilmektedir; ancak özellikle aromatik olması sebebiyle koyu kırmızı üzüm çeşitleri genellikle tercih edilmektedir. Tarihsel olarak hardaliye üretimi için en popüler üzüm çeşidi Papazkarasıdır ve Pamit (Bulgaristan'da Dimyat olarak bilinen beyaz üzüm çeşidi), Adakarası ve siyah Muscat da yaygındır. Son zamanlarda, Syrah ve Merlot gibi uluslararası çeşitler geleneksel çeşitlerle birlikte hardaliye için kullanılmaktadır [63].

Geleneksel hardaliye üretimi nispeten basit basamaklardan oluşmaktadır. Üzüm kışın bulunmamakta ve yazın hasat edilen üzümlerden üretilen hardaliye, kışın üzüm yemek isteyen tüketiciler için iyi bir fırsat sağlamaktadır [64]. Hasat mevsiminde taze üzümler saplarından, bozulmuş ve olgunlaşmamış kısımlarından, yapraklardan arındırılır. Temizlenen üzümler kırma işlemi denilen aşamada

patlatılır ve ezilir [63]. Ezilmiş üzümler ve üzüm suyu, tercihen tahta (veya plastik) fıçılarda öğütülmüş veya ezilmiş hardal tohumlarının (%0,2-0,4) ve vişne yapraklarının dönüşümlü katmanları olan bir kaba yerleştirilir ve bu karışıma benzoik asit (%0,1) de eklenir [61], [63], [65]. Ardından karışım oda sıcaklığında bırakılır. Hava sıcaklığına bağlı olarak 1-3 hafta boyunca laktik asit fermentasyonuna uğrar; fakat sıcaklık daha düşük olduğunda fermentasyon daha yavaş gerçekleşmektedir. Geleneksel olarak ahşap (genellikle meşe) veya toprak kaplar kullanılır; ancak günümüzde plastik kaplar daha yaygındır [63], [65]. Fermente olan üzüm şırası her birkaç günde bir karıştırılır. Eğer ahşap fıçılar kullanılıyorsa, fıçının altındaki bir musluktan bir miktar şıra boşaltılması ve ardından üstten geri dökülmesiyle karıştırma gerçekleştirilir. Fermentasyondan sonra hardaliye sıkılır ve filtrelenir. Şişelemenin ardından yaklaşık 4 °C'lik bir sıcaklıkta muhafaza edilir. Taze olarak tüketilebilmekte veya 3-4 aya kadar olgunlaşmaya bırakılabilmektedir. Olgunlaşmış hardaliyede genellikle düşük bir alkol yüzdesi bulunur; ancak alkolsüz bir içecek olarak kabul edilmektedir [61], [63].

Hardaliye kelimesi hardal tohumlarından yani "hardal" kelimesinden türemiştir. Hardal tohumlarının hardaliyeye belirgin bir tat vermesinin yanı sıra kimyasal etkileri de bulunmaktadır. Hardal tohumlarındaki benzoik asit ve eterik yağlar, üzümlerde doğal olarak bulunan mayaları etkileyerek meyve suyunda alkolik fermentasyonun meydana gelmesini önler. Bu etki aslen allil izotiyosiyanatın hardal yağının ana bileşeni olmasından kaynaklanmaktadır (>%95). Benzoik asit mayayı etkileyerek alkol üretimini engeller veya azaltır[61], [66].

Hardaliyenin içeriğinde bulunan ve fermentasyondan kaynaklanan bileşikler (vitaminler, fenolik bileşenler ve antioksidanlar) nedeniyle birçok faydalı sağlık etkisi de vardır [64]. Bu içecek trans-resveratrol, gallik asit, 2,5-dihidroksibenzoik asit, protokatekuik asit ve en yüksek konsantrasyonlara sahip absisik asit dahil olmak üzere 15'ten fazla ayrı fenolik madde ile yüksek bir antioksidan kapasiteye ve fenolik madde içeriğine sahiptir. Üzüm fermentasyon süreci ayrıca hardaliyenin besin değerini geliştirmeye yardımcı olur. İşlevsel ve sağlığı geliştirici özellikleri yüksek fenolik içerikli belirli üzümler ile eterik yağlar, alil izotiyosiyanat ve sinigrin içeren hardal tohumlarının bileşenlerinin katkısı hardaliyeyi çok özel bir içecek kılmaktadır [67]. Sinigrinin kanserojenize karşı baskılayıcı bir ajan olarak

tanımlandığını gösteren araştırmalar bulunmaktadır. Genel olarak bağışıklık sistemini güçlendirmek, kan basıncını dengelemek ve dolaşım sistemini dengede tutmak gibi etkileri bulunmaktadır. Sindirim sistemi üzerindeki faydalı etkisi, koroner kalp hastalığının önlenmesi ve serum homosistein konsantrasyonlarını azaltması nedeniyle tüketilmesi tavsiye edilmektedir. Hardaliyede bulunan hardal yağı ayrıca dolaşım sistemindeki bozuklukları, bronşiti ve soğuk algınlığını iyileştirmeye yardımcı olur ve bazı yaygın patojenik mikroorganizmalara karşı antimikrobiyal özellikler sunmaktadır [64], [67].

Hardaliye çok özel bir içecek olmasına rağmen, kısa raf ömrü nedeniyle üretim hacmi sınırlıdır. Fermente ürünü mikrobiyal bozulmaya karşı korumak ve raf ömrünü artırmaya yönelik mevcut uygulamalar izin verilen katkı maddelerinin kullanılmasıdır. Bu sebeple hardaliye üretiminde koruyucu etki sodyum benzoat eklenmesiyle sağlamaktadır [64], [68].

1.2 Koruyucu Katkı Maddelerinin Sağlık Üzerindeki Olumsuz Etkileri

Koruyucular, gıdanın fermentasyonunu, asitlenmesini veya diğer ayrışmasını engelleyerek veya durdurarak gıdanın bozulmasına neden olan mikroorganizmaların gelişmesini engellemeye yardımcı olan kimyasal veya doğal bileşiklerdir. Ayrıca, bozulmasını önleyerek gıdanın raf ömrünü uzatmaya yardımcı olmaktadırlar [69]. Hazır ve kolay tüketilebilen gıdalara talebin artması nedeniyle, pazardaki kimyasal koruyuculara olan talep de artmaktadır [70]. Günümüzde yaygın olarak kullanılan koruyucu maddeler arasında, sodyum klorür (tuz) belki de en eski koruyucu maddedir. Gıda katkı maddelerinin kullanımı, hangi gıdada kullanılabileceğini, en çok kullanılabilir miktarlarda, kimyasal karakterizasyon ve saflığı göz önünde bulundurarak belirli yasalarla (Avrupa Birliği, vb.) yönlendirilir [69], [71].

Sodyum benzoat, zararlı bakteri, maya ve küflerin gelişmesini engellemek için çoğunlukla meyve sularında ve içeceklerde koruyucu olarak kullanılan bir sodyum tuzudur. Sodyum benzoatla işlenmiş gıdaların aşırı alımının çocuklarda ürtiker, hiperaktiviteye neden olabileceği ve ayrıca DNA'ya zararlı olduğu bildirilen raporlar vardır. Sodyum benzoat genotoksik, nörotoksik olarak kabul edilmekte ve ayrıca DNA yapısındaki interkalasyondan sorumludur [69]. Sodyum benzoat ile

işlenmiş gıda ürünlerinin uzun süreli kullanımının, C vitamini veya askorbik asit ile birleştiğinde kanserojen bileşikler üretebileceği de bulunmuştur [72]. Sodyum benzoat ile işlenmiş gıda ürünleri, kromozomal aberasyonlar, kardeş kromatit değişimleri ve kültürlenmiş insan periferik lenfositlerinde mikronükleus analizi ve lenfositlerde kuyruklu yıldız testi kullanılarak genotoksik etkiler açısından test edilmiştir [73].

Sodyum benzoatın ve diğer koruyucuların insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkileri konusunda endişeler ortaya çıktığı ve tüketici bilinci arttığı için bu ürünlere olan talepler gün geçtikçe azalmaktadır. Bu nedenle, endüstride sodyum benzoat ve diğer koruyucuların ilavesine alternatif çözümler aranmaktadır. Özellikle fermente bir ürünü mikrobiyal bozulmaya karşı korumak için kullanılan sınırlı alternatif teknikler arasında pastörizasyon gösterilebilir. Ticari amaçlarla kullanılan ısıl işlem (pastörizasyon) yüksek sıcaklık uygulamalarını kapsamasından ötürü ürünlerin fiziksel, işlevsel ve kimyasal özellikleri üzerinde bazı istenmeyen etkilere neden olduğu bilinmektedir [68]. Hem kimyasal katkı maddelerinin kullanımından hem de ısıl işlemin istenmeyen etkilerinden kaçınmak ve ürünlerin kalite parametrelerindeki kayıpların önüne geçmek amacıyla yeni, yeni ve çevre dostu muhafaza yöntemlerine fırsat verilmelidir.

1.3 Gıda Ürünlerini İşleme Yöntemleri

1.3.1 Geleneksel Termal Uygulama: Pastörizasyon

Pastörizasyon, suyun kaynama noktasının altındaki bir sıcaklıkta gıdalardan bakterileri ortadan kaldıran ve enzimleri etkisiz hale getiren orta düzeyde bir ısıtma prosedürüdür. Genellikle 60 °C ile 80 °C arasındaki sıcaklıklarda uygulanan nispeten düşük seviyede bir ısıl işlemdir. Pastörizasyonun iki temel amacı bulunmaktadır: (i) Gıdalardan patojenik mikroorganizmaları ortadan kaldırarak gıda kaynaklı zehirlenmeleri / hastalıkları sınırlamak ve (ii) vejetatif bozulma (ekşime) mikroorganizmalarını ortadan kaldırarak gıdanın raf ömrünü artırmak. Ürün işleme parametreleri, ortam faktörleri ve mikroorganizma ve ürün özellikleri, termal işlemin verimliliğini etkileyen unsurlardır. Etkili olması için pastörizasyon sıklıkla yoğunlaştırma, asitleştirme, kimyasal inhibisyon vb. gibi başka bir koruma yöntemiyle birleştirilebilmektedir. Genellikle düşük sıcaklıklarda (genellikle 4 °C) gıdanın raf ömrünü birkaç günden (yüksek su aktivitesine sahip düşük asitli ürünler)

aylara (yüksek asitli ve/veya düşük su aktivitesine sahip ürünler) uzatmak için kullanılan hafif bir termal tekniktir [74], [75]

Pastörizasyonda hedef mikroorganizmayı yok etme mekanizması bir sıcaklık-zaman kombinasyonu ile ifade edilebilmekte ve bu açıdan pastörizasyon yavaş ve hızlı olmak üzere iki türlü kullanılabilmektedir. Yavaş pastörizasyon (düşük sıcaklık uzun süre - LTLT), birkaç dakika boyunca belli sıcaklıkların uygulanmasıdır; tipik sıcaklık-zaman kombinasyonları 63 ila 65°C'de 30 dakika veya 75°C'de 8 ila 10 dakika şeklindedir. Hızlı, yüksek veya flaş pastörizasyon uygulamasında, yalnızca saniyeler süresince yaklaşık 85 ila 90°C veya daha yüksek pastörizasyon sıcaklıkları kullanılmaktadır. Tipik sıcaklık-zaman kombinasyonları ise 88°C (190°F)'de 1 dakika; 100°C' de 12 saniye ; 121°C'de 2 saniye olabilmektedir [74], [76].

Yüksek sıcaklık kısa süre (HTST) ve çok kısa tutma süreleri için ultra yüksek sıcaklık (UHT) yöntemleri, geleneksel pastörizasyon veya sterilizasyon süreçlerinin yerini alarak geliştirilmiştir. Bu kadar kısa tutma süreleri ve yüksek sıcaklıklar, düzgün ısıl işlem sağlamak için özel ekipman gerektirir ve genellikle sıvı ürünler için uygulanabilir. İşlemlerin kısa süresi ve hızlı performansı dikkate alındığında, bu yalnızca ısı eşanjörleri kullanılarak sürekli bir işlemde elde edilebilir. Sütün işlenmesi örnek verilecek olursa, şişelenmiş ürün gerekli sıcaklık-süre uygulamasıyla (LTST-63°C'de 30 dakika) bir konveyör bant üzerinde ısıl işlemden geçirilebilmekte veya sütün sürekli bir ısı eşanjörü kullanılarak 72°C'de 15 saniye pastörize edildiği yüksek sıcaklık kısa süre (HTST) yöntemi uygulanabilmektedir. Süt işleme için endüstrideki güncel bir uygulama ise, ultra yüksek sıcaklıktır (UHT); sütün paketlenmesinden önce sadece 2-5 saniye boyunca 135°C'de yapılan ve daha sonra aseptik olarak kaplara doldurulan bir sterilizasyon işlemidir. Belirli süt ürünleri için pastörizasyon koşulları ürünün yağ içeriğine bağlı olarak farklılık göstermektedir. Dondurma, sütlü tatlı karışımı, krema veya işlenmiş peynir (70°C'de 25–30 dakika veya 80°C'de 25 saniye) için daha işlem uygulanması gerekmektedir [74].

Pastörizasyon ayrıca meyve suları, meşrubatlar, bira, elma şarabı, şarap, krema ve işlenmiş peynir, sıvı yumurtalar, şuruplar, soslar, çorbalar ve bazı hazır yemekler gibi çeşitli sıvı ve belirli viskoz ve parçacıklı gıdalara da yaygın olarak uygulanır. Meyve suları ve meşrubatlar gibi birçok üründe, hafif ısıl işlemden sonra uzun bir

raf ömrü sağlayan şey, ürünün doğal olarak düşük pH'ıdır [74]. Meyve suyu HACCP kuralına göre, uygulanan işlemin hedef patojeninin 5 log azalma sağlaması beklenmektedir. Hedef patojen, meyve suyu türüne ve kullanılan işleme türüne göre değişebilir; ancak genellikle *Salmonella* veya *Escherichia coli* O157:H7 olmaktadır [77].

Çoğu sebze ürünü olan düşük asitli (pH>4,6) ürünler ve yüksek asitli turşular ve fermente sebzeler hariç diğer gıda ürünleri sterilize edilmeleri gerekmektedir. %0,6-1,0 sirke ve şeker içeren tuzlu suda asitlendirilmiş turşu ürünleri 80-85 °C'de pastörize edilmelidir. Domatesler asidik ürünlerdir ve pH değeri yaklaşık 4,6 veya daha düşüktür. Bu nedenle genellikle pastörizasyon gibi hafif ısıl işlemle korunabilmektedirler. Domates salçası, daha fazla pastörizasyona gerek kalmadan 90-92 °C'de sıcak doldurma ile korunabilen bir üründür. Meyve ürünleri, meyve suları ve reçeller genellikle 3,2-3,8 gibi düşük bir pH'a sahiptir ve genellikle 70-75 °C'de pastörize edilebilmektedirler. Bu işlem, patojenik bakterilerin vejetatif formunun 5 log azaltılmasını sağlar; ancak mayaların ısı direnci daha yüksek olabilmektedir. Bu sebeple mayalar, meyve bazlı içeceklerde ve meşrubatlarda birincil bozulma etkenleridir [74], [78].

Pastörizasyon, bira ve diğer fermente içecekleri meyve sularında olduğu gibi atmosferik basınç altında belirli bir sıcaklık ve süreye kadar ısıtarak koruyan geçerli bir yöntemdir. Kaplara doldurulduktan sonra, sıvı gıda ürünleri (bira ve meyve suları gibi) pastörize edilebilmektedir. Pastörizasyon, en kolay ısıtma tekniklerinden biri olan su banyosunda yapılabilmektedir [74]. Fermente içeceklere bir örnek de şaraptır; mayalı bir şarap pastörize edilmemelidir. Maya tortusu fermentasyondan sonra uzaklaştırılır ve pastörizasyon, yaklaşık üç ila beş dakika boyunca 65 ila 75 °C'ye (tatlı şaraplar için 85 °C) hızlı ısıtma ile gerçekleştirilir. Bunu 25 ila 30 °C'ye hızlı soğutma izlemektedir [79].

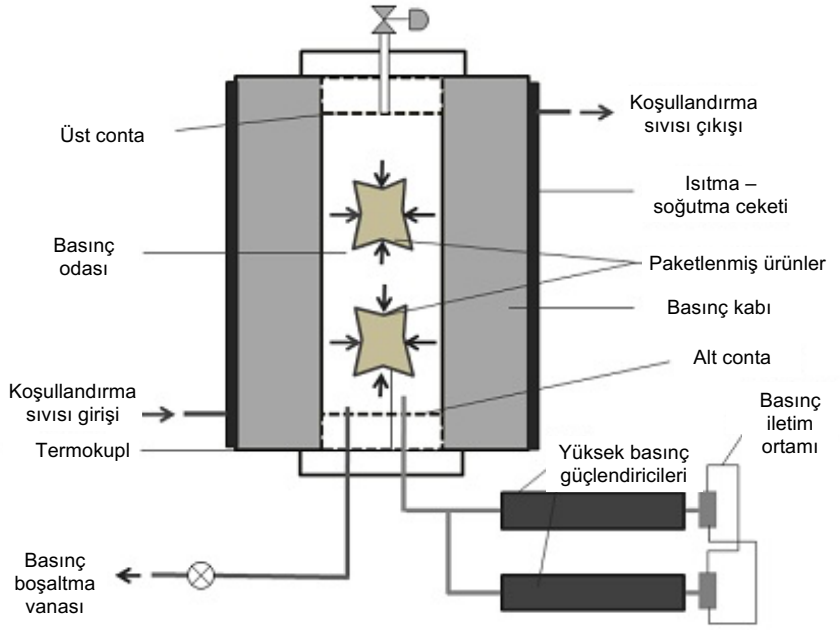
1.3.2 Yenilikçi Uygulamalar

1.3.2.1 Yüksek Hidrostatik Basınç Uygulaması

Yüksek hidrostatik basınç (YHB) işlemi, yenilikçi bir ürün işleme yöntemidir ve soğuk pastörizasyon tekniği olarak bilinmektedir. Bu yöntem mikroorganizmaları yok etmek için kullanılabilir ve ayrıca gıdaların güvenliğini ve raf ömrünü artırmak için enzimleri inaktif hale getirmek için de kullanılabilir. Bu nedenle, HHP gıda endüstrisinde bir gerçeklik haline gelmiş ve dünya çapında yayılmıştır [80], [81]. 2000'den sonra, gıda endüstrisinde yüksek basınç uygulamasının yaygınlığı katlanarak artmıştır [81].

Gıdaların yüksek basınç etkisi altındaki davranışı, Le Chatelier, izostatik presleme ve mikroskobik-düzenleme prensipleri gibi genel prensiplerle açıklanabilir. Le Chatelier Prensibi, denge koşulundaki bir kimyasal sistemin ve basınç artırıldığında hacimde bir azalmaya eşlik eden bir reaksiyon değişiminin yaşandığını belirtir. İkinci olarak, izostatik presleme durumunda (Pascal Prensibi), basınç tüm yönlere düzgün bir şekilde iletilir. Dekompresyonun ardından, malzeme ilk şekline geri döner. Son olarak, mikroskobik-düzenleme prensibi, basınçtaki artışın, sabit bir sıcaklıkta bir maddenin moleküllerinin düzenlenme derecesini karşılıklı olarak artan bir etkiye sahip olduğunu vurgular. Sonuç olarak, basınç ve sıcaklık, moleküler yapı üzerinde antagonistik kuvvetler uygular (Şekil 1.4) [82].

Öncelikle, mikrobiyal inaktivasyon etkinliğinin tespiti için YHB teknolojisi ile ilgili çalışmalar yapılmıştır. YHB ile enzim inaktivasyonu da araştırmacıların değindiği ikincil önemli konu haline gelmiştir; bu nedenle, enzim inaktivasyonunun/aktivasyonunun uygulama koşullarına ve ortamına bağlı olduğunu kanıtlayan çok sayıda sonuç elde edilmiştir [83]. Yüksek basınç uygulamasından sonra hem gıdaların hem de bileşenlerinin yeni veya geliştirilmiş özellikleri araştırma konusu olmuştur ve bu durum yeni katma değerli ürünlerin geliştirilmesine yol açmıştır. Birçok yüksek asitli gıdanın raf ömrünü uzatmak için yüksek basınç uygulaması, pastörizasyon işlemi için de etkili bir alternatif olmuştur. YHB ile mikrobiyal ve enzimatik inaktivasyon açısından önemli sonuçlar araştırılmaya devam etmektedir [83].



Şekil 1.4 Yüksek hidrostatik basınç mekanizması [84]

YHB uygulaması ayrıca protein parçalanması için etkili bir yöntem olarak da bilinmektedir. Yüksek basınç sayesinde protein yapısını denatüre ederek gıdaları patojenlere ve mikroorganizmalara karşı korumak mümkündür [85]. Sıcaklık etkisi olmaması ve karmaşık deney sistemi ile YHB uygulaması protein dinamiklerini değiştirebilir ve protein-protein etkileşimini etkileyebilir [86]. Alpas vd. [80] *S. aureus* 485, *L. monocytogenes* CA, *E. coli* O157:H7 933 ve *S.* Enteritidis FDA'nın aynı türün ilgili suşlarından daha fazla basınca dayanıklı olduğunu bildirmiştir. Genel olarak, basınç ve sıcaklık seviyesi arttırılırken tüm patojenlerin inaktivasyon derecesi önemli ölçüde artmıştır. *S. aureus* 485 hariç tüm suşlar, 50°C'de 5 dakika boyunca 345 MPa'da basınç uygulandıktan sonra 8 log'dan fazla azalma göstermiştir. Bakteri hücreleri esas olarak hidrostatik basınçla membran fonksiyonlarının bozulmasından dolayı inaktive olmuştur [80].

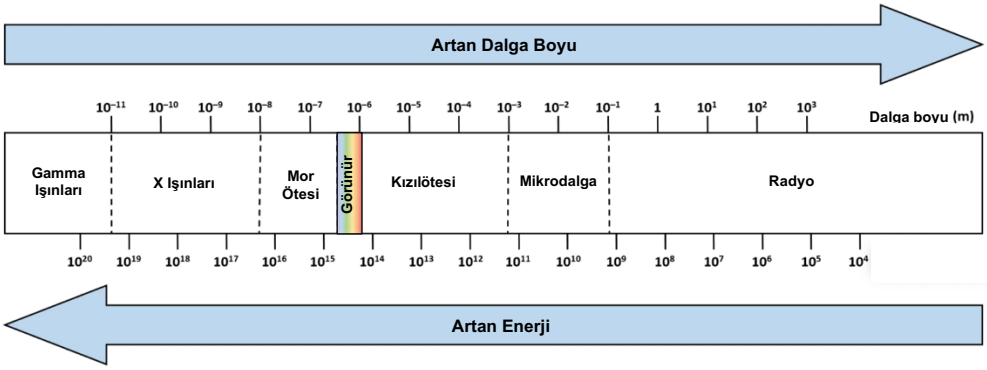
Isıl işleme alternatifi, içeceklerin besinsel, işlevsel ve duyusal niteliklerini koruma açısından ümit verici sonuçlar göstermiştir. YHB işleminin temel avantajlarından biri, içeceklerin tatlarını, lezzetini ve besinlerini koruma yeteneğidir [87]. Xu vd. [88] tarafından yapılan deneysel bir araştırmada, YHB ile işlenmiş ve Se ile zenginleştirilmiş kivi meyvesi sularının depolama süresi boyunca toplam Se içeriğinde ve ayrıca toplam çözünebilir katıların kimyasal-fiziksel niteliklerinde, viskozitede, titrasyon asidinde ve pH'ta önemli farklılıklar görülmemiştir. YHB

kullanımı, kovalent bağları koparmadığı için tat, renk ve dokuda önemli bir bozulmaya neden olmaz [89], [90]. Ayrıca, bu yöntem benzersiz bir gıda reolojisinin geliştirilmesine de yol açabilir ve genel kaliteye ve içme deneyimine katkıda bulunabilir. Ek olarak, yüksek hidrostatik basınç işleminin içeceklerin antioksidan aktivitesi ve polifenol içeriği üzerinde minimal bir etkiye sahip olduğu bulunmuştur. Nar suyuyla yapılan önceki çalışmalardan birinde, tüm basınç seviyelerinde (200, 300, 400 MPa) antioksidan aktivitede, toplam fenolik içerikte ve monomerik antosiyanin pigment konsantrasyonlarında önemli bir azalma gözlemlenmezken, termal işlemde önemli düşüşler gözlemlendi [91]. Torres-Ossandón ve arkadaşları [92] çalışmalarında, 2 dakika boyunca 300 MPa'nın üzerinde basınçlandırmadan sonra üzüm sularının antioksidan seviyesinin korunduğunu iddia ettiler, ancak hem ORAC hem de DPPH değerleri HHP işleminden sonra kontrol örneklerine kıyasla biraz azaldı. Genel olarak, yüksek hidrostatik basınç işlemi, içeceklerin besinsel ve duyusal özelliklerini korurken güvenliğini ve raf ömrünü iyileştirmek için umut verici bir yöntemdir.

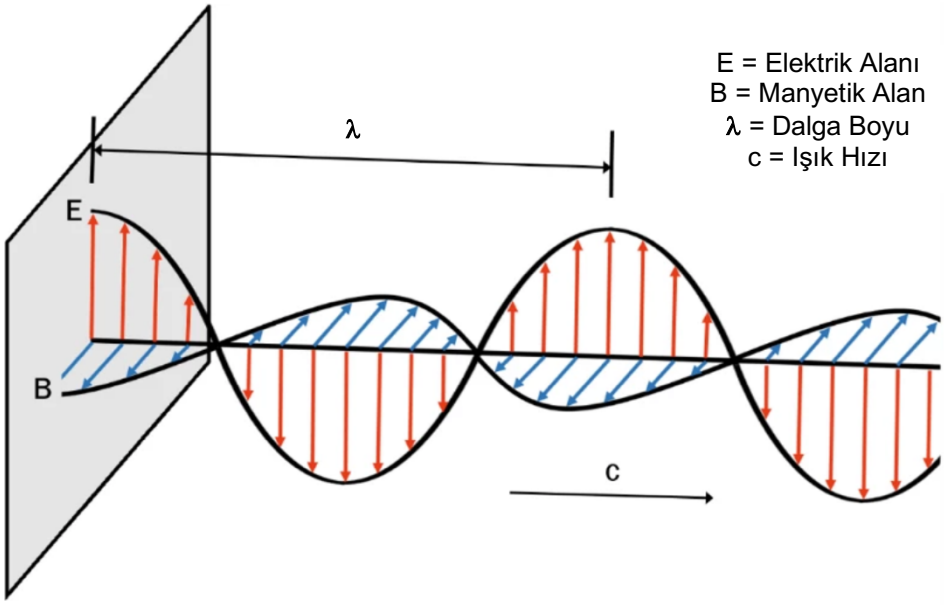
1.3.2.2 Mikrodalga Uygulaması

Mikrodalga ve kızılötesi enerji, yiyeceğe nüfuz eden ve daha sonra ısıya dönüştürülen dalgalar olarak iletilir. Günümüzde mikrodalga tüm dünyada çok yönlü uygulama yöntemlerinden biridir. Geleneksel ısı uygulamalarına kıyasla enerji verimliliği fazladır ve ısınma süresini azaltır. Endüstriyel uygulamalar için mikrodalga ısıtma, temperleme, susuzlaştırma, haşlama, pişirme, pastörizasyon ve sterilizasyon dahil olmak üzere birçok işlem için kullanılabilir [93].

Mikrodalga, 0,001-0,3 metre aralığında dalga boyuna ve 1.000-300.000 MHz aralığında frekansa sahip düşük enerjili bir elektromanyetik dalgadır (Şekil 1.5). Laboratuvar (ve ev) mikrodalga cihazları genellikle 2450 MHz (veya 12,2 cm dalga boyu) frekansındaki mikrodalgalarla çalışır. Mikrodalga, diğer tüm elektromanyetik dalgalar gibi, ışık hızında (300.000 km/sn) hareket eder ve iki dik salınımlı alandan oluşur: bir elektrik alanı ve bir manyetik alan (Şekil 1.6). Mikrodalga foton enerjisi nispeten düşüktür (0,03 – 0,00003 kcal/mol) ve yalnızca kinetik moleküler uyarımı etkiler [94].

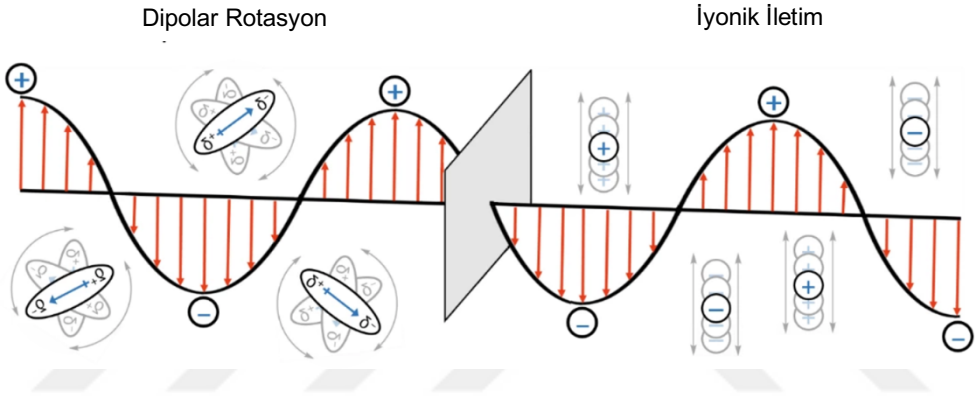


Şekil 1.5 Elektromanyetik spektrum [94]

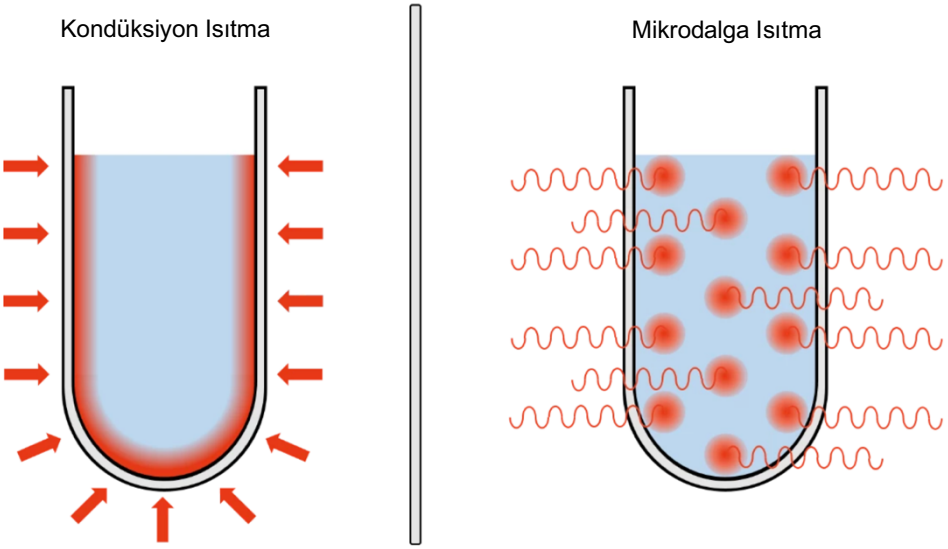


Şekil 1.6 Mikrodalganın bileşenleri [94]

Mikrodalgalarda, elektrik alanı esas olarak ısı üretiminden sorumludur ve moleküllerle iki etki modu aracılığıyla etkileşime girer: dipolar rotasyon ve iyonik iletim (Şekil 1.7). Dipolar rotasyonda, bir molekül sürekli olarak ileri geri döner ve dipolünü sürekli salınan elektrik alanıyla hizalamaya çalışır; dönen her molekül arasındaki sürtünme ısı üretimiyle sonuçlanır. İyonik iletimde, serbest bir iyon veya iyonik tür, uzayda translasyonel olarak hareket eder ve değişen elektrik alanıyla hizalanmaya çalışır. Dipolar rotasyonda olduğu gibi, bu hareket eden türler arasındaki sürtünme ısı üretimiyle sonuçlanır ve reaksiyon karışımının sıcaklığı ne kadar yüksek olursa, enerji transferi o kadar verimli olur. Her iki durumda da, tür ne kadar polar ve/veya iyonikse, ısı üretim hızı o kadar verimli olur [94], [95].



Şekil 1.7 Mikrodalga etki mekanizması: dipolar rotasyon ve iyonik iletim [94]



Şekil 1.8 Isıtma yöntemleri: kondüksiyon ısıtma ve mikrodalga ısıtma [94]

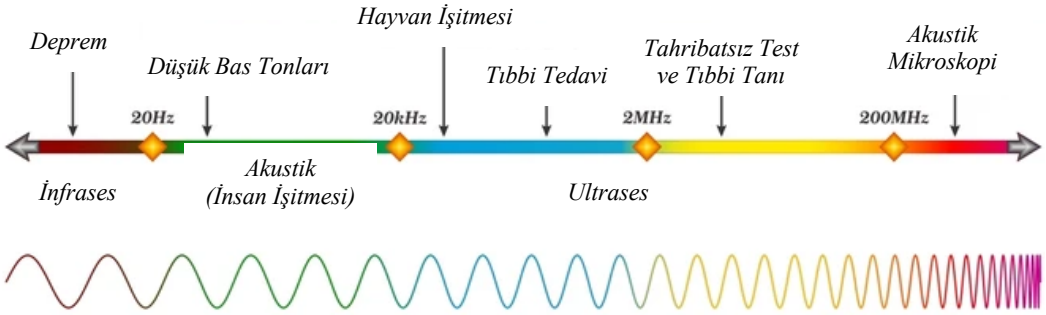
Mikrodalgalar reaksiyon karışımının içeriğiyle doğrudan etkileşime girdiğinden, enerji transferi geleneksel ısıtma tekniklerine göre daha verimli gerçekleşir (Şekil 1.8). Mikrodalgalar, farklı termal iletkenliklere dayanmak yerine, çözeltideki herhangi bir çözücüyü, çözünen maddeyi veya malzemeyi dipolar rotasyon ve/veya iyonik iletim yoluyla anında ısıtır ve daha verimli, daha hassas ve daha güvenli bir ısıtma moduyla sonuçlanır. Geleneksel ısıtma teknikleri, ısının önce kaynaktan kaba ve sonra kaptan çözeltiye aktarıldığı termal iletkenliğe dayanır. Bu, farklı ısıl iletkenliklerin sıcaklık kontrol yeteneklerini zorlaştırdığı ve termal dengeye ulaşmayı uzattığı yavaş ve verimsiz bir ısı transferi yöntemidir [94], [95].

Mikrodalga uygulamasında, yağ ve su molekülleri radyo dalgalarının yiyeceğe veya içeceğe nüfuz etmesiyle eşit şekilde uyarılır. İletkenlikle ürün içine aktarılan bir ısı yoktur. Aslında, moleküller uyarıldığında her yerde ısı vardır. Ancak sınırlamalar da vardır. Radyo dalgaları, yiyeceğin ortasında olmayan kalın yiyecek parçalarına eşit olmayan şekilde nüfuz eder ve ayrıca dalga girişiminin neden olduğu "sıcak noktalar" da vardır. Tüm olgu farklıdır çünkü radyo dalgaları "ısıyı iletmek" yerine "uyarıcı atomlardır". Mikrodalga fırınlardaki hava oda sıcaklığındadır, bu nedenle kabuk oluşma olasılığı çok düşüktür [96]. Çünkü ısının ürünün içinde üretildiği ve yüzey sıcaklığının gıdanın diğer kısımlarının sıcaklığının üzerine çıkmadığı hafif bir işlem biçimidir [97]. Mikrodalga pişirmenin avantajları arasında etin 5 ila 7 cm derinliğe kadar nüfuz etmesi ve bunun daha hızlı pişirme ve daha düşük besin kaybıyla sonuçlanması yer alır. Mikrodalgaların köftelere uygulanmasıyla mikrobiyal sayıda 2 log10 kob/g azalma bildirilmiştir. Bu nedenle mikroorganizma gelişimini kontrol etmek için etkili bir yöntemdir [96], [98].

Sürekli mikrodalga pastörizasyon işlemi, meyve suları, içecekler ve sütler gibi sıvılar veya mikrodalga geçirgen bir tüpten akabilen çorbalar gibi ürünler için mümkündür. Mikrodalga, pastörizatörden akarken sıvının sıcaklığını kontrol etmek için tamamlayıcı veya alternatif bir enerji kaynağı haline gelebilmektedir [99]. Mikrodalga uygulaması, ısının ürünün içinde üretildiği ve yüzey sıcaklığının gıdanın diğer kısımlarının sıcaklığının üzerine çıkmadığı, hafif bir işlem biçimi olduğu düşünülmektedir [97]. Bu düzenleme, enerji kaynağı olarak harici sıcak su veya buhar kullanan pastörizasyon sistemlerine kıyasla daha düşük ısı değişim yüzeyi sıcaklığı avantajına sahiptir. Bu durumlarda, ısı değiştiricinin yüzeyi ile temas sıvısı arasındaki yüksek sıcaklık farkı, süt proteinleri gibi sıcaklığa duyarlı ürünlerin yanması, yüzey kirlenmesi ve ısı transferini engellemesi riskini taşır [100], [101]. Mikrodalgalar için enerji girişi, karşılık gelen buhar veya sıcak su enerji kaynaklarından daha hızlı değişkendir. Bu, mikrodalga sistemleri tarafından işlem içi ısı işleminin hassas bir şekilde uyarlanmasına olanak tanır [99].

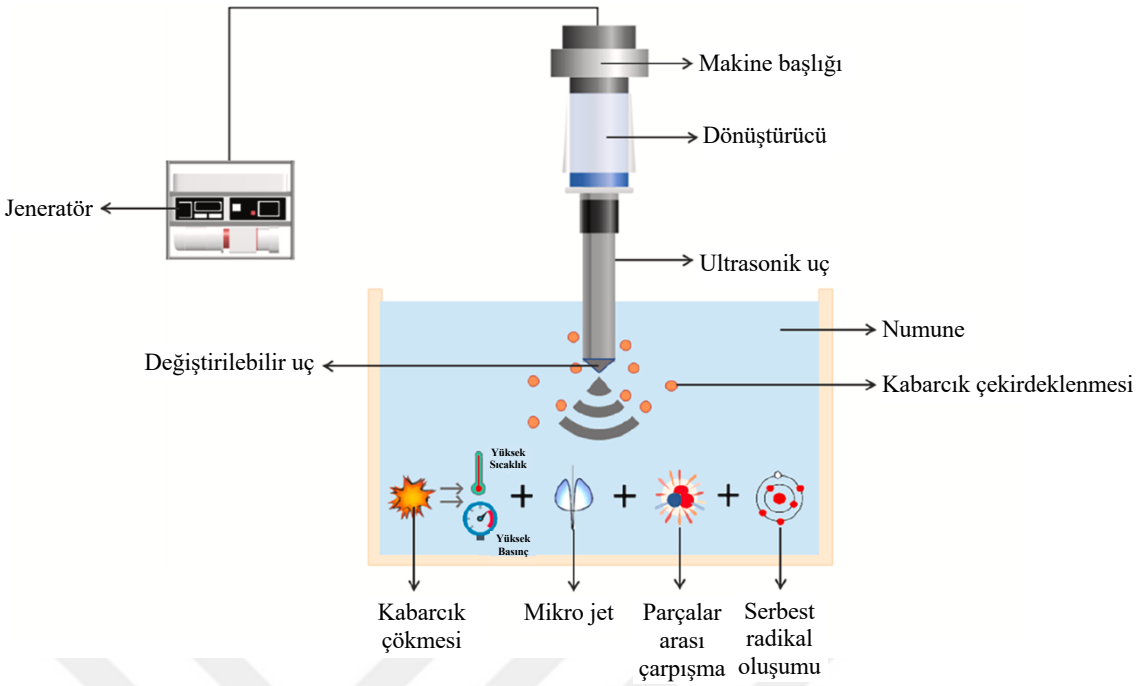
1.3.2.3 Termosonikasyon Uygulaması

Termosonikasyon, ultrasonikasyon işleminin sıcaklıkla birlikte kullanıldığı bir yöntemdir. Bu metot mikroorganizmaların inaktivasyonunda ısının tek başına kullanılmasından daha etkilidir. Gıda işlemede biyoaktif maddelerin (örn. polisakkaritler, lipitler ve proteinler) çıkarılmasında yaygın olarak kullanılan hücre parçalama için yeşil bir teknolojidir. Hücre parçalamanın en etkili yöntemlerinden biridir ve onlarca yıldır lipit giderimi için yaygın olarak kullanılmaktadır [102]. İnsanın işitme duyusu 0,016 ile 18 kHz frekans aralığındadır ve normal konuşmanın güç yoğunluğu yaklaşık 1W/cm^{2}'dir. Bu teknoloji, belirli bir frekans aralığında yani 20 kHz ile 10 MHz arasında bir frekansa sahip, insan kulağının duyabileceği aralığın ötesindeki ses dalgaları olarak tanımlanmaktadır (Şekil 1.9). Ultrasonikasyon, hücre duvarı matrislerindeki bağlantıları mekanik olarak parçalayan kesme kuvvetleri oluşturmak için kullanılabilmektedir [103], [104].



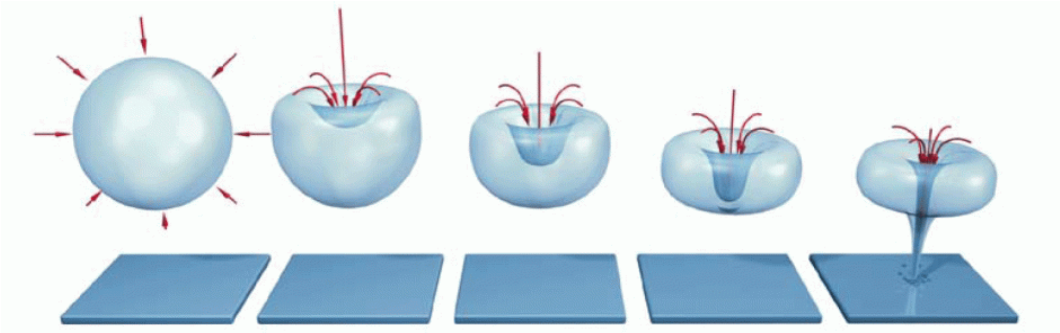
Şekil 1.9 Ses spektrumu (ultrasonik aralık diyagramı)

18 kHz'den yüksek frekanslara sahip ultrases dalgaları, bir malzemenin yüzeyine bir titreşim kuvvetinin uygulanmasıyla üretilir. Titreşim kuvveti bir malzemenin yüzeyine uygulandığında, moleküller içindeki bağlar vasıtasıyla iletilir. Ayrıca moleküllerin her biri, bu süreçte yaklaşık olarak orijinal konumuna dönmeden önce hareketi bitişik bir moleküle iletir [105]. Tipik olarak, çözücü bir ortamda bir dizi sıkıştırma (yüksek basınç) ve genişletme (düşük basınç) oluşturmak için yüksek yoğunluklu sonikasyon (10-1000 W/cm^2) kullanılmaktadır ve bir sıvıya uygulanması kompresyon oluşturmaktadır (Şekil 1.10) [104]. Yeterli yüksek genliğe sahip ses dalgaları kabarcıklar veya boşluklar üretir ve bu olay "kavitasyon" olarak adlandırılmaktadır. Bu kavitasyon kabarcıklarının sınırlı bir ömrü vardır ve daha küçük kabarcıklara bölünür veya tamamen kaybolur [106], [107], [108], [109].



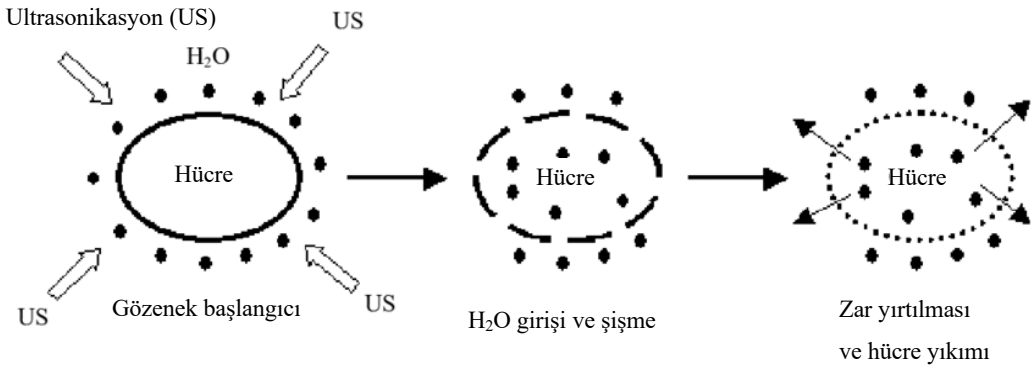
Şekil 1.10 Termosonikasyon mekanizması [110]

Ultrasonikasyon dalgaları sıvının içinden geçerken bu kabarcıkları titreştirir ve çevreleyen sıvıda güçlü akım üretilir. Ayrıca, diğer küçük baloncukları ses alanına çeker ve sıvıda mikro akımlar oluşur. Bu etkiye mikro akış adı verilir ve hücrelerin kabarcıklar çökmeden kesilmesine ve parçalanmasına neden olan önemli bir kuvvet sağlar (Şekil 1.11). Bu işlemin oluşturduğu kesme kuvveti, hücrelerin bozulmasına yol açan eylemlerden biridir. Daha büyük kabarcıklar nihayetinde 100 MPa'ya kadar yüksek basınçlar ve anında 5000 °K'ye kadar yüksek sıcaklıklar üreterek çöker. Kabarcık çökmesi sırasında üretilen basınç, hücre duvarlarını bozmaya ve sonunda hücre bozulmasına yol açmaya da yeterlidir (Şekil 1.12). Termosonikasyonun bir sıvıya uygulanması, bu yüksek basınçlar ve sıcaklıklar nedeniyle suyun sonolizi ile serbest radikallerin oluşumuna da yol açmaktadır [106], [107], [108], [109].



Şekil 1.11 US işlemi sırasında oluşan mikro akış şeması

(https://fpel.landfood.ubc.ca/ultrasonic-pasteurization/)



Şekil 1.12 Ultrasonikasyon etkisiyle hücre yıkımı [111]

1.4 Çalışmanın Amacı

Bu çalışmanın amacı, mikrobiyal bozulmayı önlemek ve katkı maddesi kullanımının önüne geçmek amacıyla termal pastörizasyona alternatif olarak yüksek hidrostatik basınç, mikrodalga ve termosonikasyon işlemlerini şalgam ve hardaliye numunelerine uygulamak; ayrıca bu teknolojilerin mikrobiyolojik, fizikokimyasal ve biyoaktif bileşen parametreleri üzerindeki etkilerini belirlemektir. YHB (100-500 MPa, 20-40 °C, 5-15 dakika), MD (%50-100 güç, 2-10 rpm, 1-5 dk) ve TS (500-1000W, 20-40 °C, 5-15 dakika) uygulamaları şalgam ve hardaliye numunelerine belirli parametrelerin kombinasyonlarıyla uygulanmıştır. Yenilikçi hafif termal işlemlerden sonra gerekli mikrobiyolojik ve fizikokimyasal analizleri gerçekleştirilmiş ve analiz sonuçları hem yanıt yüzey yöntemi (RSM) hem de ANOVA kullanılarak istatistiksel olarak değerlendirilmiştir.

2
MATERYAL VE METOT

2.1 Materyal

2.1.1 Şalgam

İzin verilen hiçbir katkı maddesi kullanılmadan ve pastörizasyon işlemi uygulanmadan geleneksel yöntemle üretilen şalgam içeceği Çukurova Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümü'nden (Adana, Türkiye) temin edilmiştir.

2.1.2 Hardaliye

Hardaliye içeceği Tekirdağ Bağcılık Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü'nde (Tekirdağ, Türkiye) yetkililer ile birlikte üretilmiş (Şekil 2.1); fermentasyon aşaması Yıldız Teknik Üniversitesinde gözetim altında gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2.1 Tekirdağ Bağcılık Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü

Geleneksel hardaliye üretimi, yeterli olgunluğa erişmiş üzümlerin belirli işlem aşamalarına maruz bırakılmasının ardından öğütülmüş siyah hardal tohumu, kurutulmuş vişne yaprağı ve koruyucular (sodyum benzoat ve potasyum sorbat) eklenerek laktik asit fermentasyonuna maruz bırakılmasını içermektedir [63]. Bu çalışma için hardaliye içeceği izin verilen hiçbir katkı maddesi kullanılmadan ve pastörizasyon işlemi uygulanmadan geleneksel yönteme bağlı kalınarak üretilmiştir. Yeni hasat edilmiş üzümler ilk olarak yapraklar, yabancı cisimler, hastalıklı ve olgunlaşmamış taneleri ayırmak amacıyla banda dökülmüş; üzümler, saplarından ayrılmak üzere salkım ayırma makinasına aktarılmıştır. Salkım ayırma makinasının hızı; üzüm tanelerinin parçalanmayacağı ancak salkımlarından tam olarak ayrılacağı hıza ayarlanmıştır. Saplarından ayıklanmış sağlıklı üzüm taneleri çatlatılmak için kırma makinasından geçirilmiştir (Şekil 2.2). Kırma makinası dönen iki silindir arasından üzümlerin geçirilerek çatlamasını sağlamaktadır.



Şekil 2.2 Üzüm kırma makinası

Parçalanmış üzüm parçalarının da içinde bulunduğu şıra (cibre)bir kap içine aktarılmış ve üzüm miktarına göre eklenmesi gereken hardal tohumları öğütüldükten sonra hesaplanan miktarda şıra içerisinde eklenerek eşit dağılması için karıştırılmıştır (Şekil 2.3 ve 2.4). Bu aşamada eklenmesi gereken koruyucular araştırmanın amacı doğrultusunda kullanılmamıştır.



Şekil 2.3 Üzüm şırasının kap içinde toplanması



Şekil 2.4 Üzüm şırasına hardal tohumlarının eklenmesi ve karıştırılması

Hardal tohumu ile karıştırılan şıra fermentasyon kaplarında tepe boşluğu kalacak seviyeye kadar dolum işlemi gerçekleştirilmiştir. Fermentasyon kabının hava ile teması kesilecek şekilde bir düzenek yapılmış ve bu kapaklarla kapatılmıştır (Şekil 2.5). Hazırlanan karışım oda sıcaklığında, yaklaşık 14-21 gün sürecek laktik asit fermentasyonuna bırakılmıştır. Şıra fermentasyon süresince belli aralıklarla karıştırılmıştır. Fermentasyon sürecinin sonlanmasının ardından üzüm kabukları ve çekirdeklerini uzaklaştırılmak amacıyla sıkılarak ürünün suyu ayrılmış ve yeni bir kaba alınarak dinlendirme aşamasına geçilmiştir. Dinlenme sürecinin ardından hardaliye yeni bir şişeye aktarılarak dibe çöken tortusundan ayrılmıştır. Şişelenen

numuneler uygun sıcaklık koşullarında (10 °C'nin altında) muhafaza edilmiş ve analizler uygulamalardan hemen sonra gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2.5 Fermentasyon kapları ve düzeneği

2.1.3 Kimyasal Maddeler

Mikrobiyolojik analizlerde kullanılan Plate Count Agar (PCA)ve Potato Dextrose Agar (PDA) Neogen (Ayr, Birleşik Krallık) firmasından; Man, Rogosa ve Sharpe Agar (MRS) Biolife (Milano, İtalya) firmasından tedarik edilmiştir. İndirgen şeker anlizinde kullanılan 3-5 dinitrosalisilik asit, fenol, Rochelle tuzu (Sodyum potasyum tartarat) Sigma-Aldrich (St. Lois, MO, ABD) firmasından satın alınmıştır. Sodyum sülfat (Na_2SO_4) ve sodyum hidroksit (NaOH) Merck (Darmstadt, Almanya) firmasından satın alınmıştır. Bioaktif bileşen analizlerinde kullanılan Folin-Ciocalteu reaktifi, alüminyum klorür ($AlCl_3$), sodyum nitrit ($NaNO_2$), bakır (II) klorür ($CuCl_2$) Sigma-Aldrich (St. Lois, MO, ABD) firmasından sodyum karbonat (Na_2CO_3), neokuproin, amonyum asetat (NH_4Ac), potasyum klorür (KCl) ve sodyum asetat ($C_2H_3NaO_2$) Merck (Darmstadt, Almanya) firmasından satın alınmıştır.

2.2 Metot

2.2.1 Geleneksel ve Yenilikçi Uygulamalar

2.2.1.1 Termal Pastörizasyon Uygulaması

Ön işleme tabii tutulmamış ve koruyucu eklenmemiş şalgam ve hardaliye numunelerine uygulanacak olan yenilikçi işlemler sonucunda etkilerin karşılaştırılması amacıyla geleneksel termal pastörizasyon işlemi de uygulanmıştır. Endüstriyel üretim dahilinde fermentasyon sonrasında filtrelenerek şişelenen şalgam suları 65°C de 30 dakika pastörize edilirken [112], [113], şişelenen hardaliyelerin 75°C de 30 dakika [114] uygulama ile kısmi pastörizasyon gerçekleştirilmiştir. Fermente ürünler için kullanılan pastörizasyon koşulları da ürün matriksine bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Bira için uygulanmakta olan sürekli pastörizasyon koşulunun 75°C'de 30 sn (yüksek sıcaklık kısa süre-HTST) olduğu kayda geçmiştir [115]. Şalgam ve hardaliye için yapılan denemelerde bu sıcaklık uygulamasının mikrobiyolojik olarak yeterli olmadığı belirlenmiştir. Bu nedenle termal pastörizasyon işlemi her iki numune için 85°C'de 20 sn boyunca uygulanmıştır. Uygulama ardından numuneler hızlıca soğutularak +4 °C'de muhafaza edilmiştir.

2.2.1.2 Yüksek Hidrostatik Basınç (YHB) Uygulaması

YHB uygulamalarını kapsayan deneyler, SITEC-Sieber Engineering AG (Zürih, İsviçre) tarafından üretilmiş olan laboratuvar ölçekli bir basınç ünitesinde (tip 760.0118) Orta Doğu Teknik Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümü'nde gerçekleştirilmiştir. Ünitenin basınçlama haznesinin hacmi 100 mL, iç çapı 24 mm ve uzunluğu 153 mm'dir (Şekil 2.6). Ünite ayrıca haznedeki gerekli sıcaklığı korumak ve kontrol etmek için K tipi termokupl ile ölçüm yapan yerleşik bir ısıtma-soğutma sistemine (Huber Circulation Thermostat, Offenburg, Almanya) sahiptir. Hazne, basınç iletici ortamla oluşturabilecek distile su ile doldurulmuştur. Basınçlanma hızı 100 MPa için 75 MPa/dak ve 500 MPa için 300 MPa/dak'dır. Basınç tahliye süreleri 20 saniyeden azdır.



Şekil 2.6 YHB cihazı (SITEC-Sieber Engineering AG, Zürih, İsviçre)

YHB uygulama parametreleri hiç işlem görmemiş ve katkı maddesi eklenmemiş şalgam ve hardaliye numunelerine basınç uygulanarak gerçekleştirilmiştir. Şalgam ve hardaliye numuneleri, bek alevi eşliğinde steril ortam şartlarında 25 mL'lik polietilen şişelere doldurma işlemi yapılarak hazırlanmıştır. Ancak şişeleri doldururken hava kabarcığı oluşmaması çok önemlidir. Şişeler ve kapaklar işlem görmemiş koruyucusuz şalgam veya hardaliye ile doldurularak hava kabarcıklarını mümkün olduğunca önleyecek şekilde hızlıca kapatılmıştır. Hazırlanan numune şişeleri basınçlı kaba yerleştirilmiş ve basınç haznesinin kapağı kapatılmıştır. Kompresör çalıştırılarak 100-500 MPa istenen basınçlar elde edilmiştir. Daha sonra hazne vanası açılarak numunelere istenilen süre ve sıcaklık (5-15 dakika ve 20-40°C sıcaklık) uygulanacak işlem basıncı ile birlikte elde edilmiştir. Basınç uygulamasının ardından basınç kaldırılarak numuneler hazneden çıkarılmıştır.

2.2.1.3 Mikrodalga (MD) Uygulaması

MD uygulamalarını kapsayan deneyler, IFTECH (Ankara, Türkiye) tarafından üretilmiş olan laboratuvar ölçekli bir mikrodalga ünitesinde Orta Doğu Teknik Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümü'nde gerçekleştirilmiştir. Ünite 1 kW gücünde 1 magnetron ile 2450MHz frekans değerinde çalışmaktadır. Güç

uygulaması 1 dakikalık döngü (%100) içrisinde yüzde olarak ifadesiyle ayarlama yapılmaktadır (%50 = 30 sn uygulama-30 sn durma).



Şekil 2.7 MD cihazı (IFTECH, Ankara, Türkiye)

MD uygulama parametreleri hiç işlem görmemiş ve katkı maddesi eklenmemiş şalgam ve hardaliye numunelerine işlem uygulanarak gerçekleştirilmiştir. Şalgam ve hardaliye numuneleri, bek alevi eşliğinde steril ortam şartlarında 400 mL'lik steril cam şişelere 200 mL ürün doldurma işlemi yapılarak hazırlanmıştır. Hazırlanan numune cihazın iç kısmına yerleştirilerek uygulama gerçekleştirilmiştir. Mikrodalga uygulaması %50-100 güç, 1-3 dakika ve 2-10 rpm dönüş hızı parametre aralıkları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Uygulama ardından numuneler hızlıca soğutularak +4 °C de muhafaza edilmiştir.

2.2.1.4 Termosonikasyon (TS) Uygulaması

Şalgam ve hardaliye için gerçekleştirilen termosonikasyon uygulamalarında UIP1000hdT (Hielscher Ultrasound Technology, Almanya) termosonikasyon cihazı kullanılmıştır (Şekil 2.8). Ürün sıcaklığının sabit tutulabilmesi için çift cidarlı hazneye bağlı olarak su sirkülasyonlu soğutucu ünite kullanılmıştır (WiseCircu, Daihan Scientific Group, Kore).



Şekil 2.8 TS cihazı (UIP1000hdT, Hielscher, Almanya)

TS uygulama parametreleri hiç işlem görmemiş ve katkı maddesi eklenmemiş şalgam ve hardaliye numunelerine termosonikasyon uygulanarak gerçekleştirilmiştir. Şalgam ve hardaliye numuneleri, bek alevi eşliğinde steril ortam şartlarında 400 mL'lik steril cam şişelere 200 mL ürün doldurma işlemi yapılarak hazırlanmış, hazırlanan numune Şekil 2.3'deki gibi çift cidarlı soğutma haznesine yerleştirilerek ve sıcaklık değişimi kontrolü termometre ile sağlanarak sonikasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Termosonikasyon uygulaması 500-1000W güç, 5-15 dakika ve 20-40 °C sıcaklık parametre aralıkları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Uygulama ardından numuneler hızlıca soğutularak +4°C'de muhafaza edilmiştir.

2.2.2 Deneysel Deneme Deseni ve Veri Analizi

Şalgam ve hardaliye numunelerinin işlenmesi için YHB, MD ve TS yöntemlerine ait proses parametrelerinin en yüksek ve en düşük limitleri değerleri tespit edilmiştir. Veri analizleri ile birlikte parametre optimizasyonu çalışmaları tepki yüzeyi metodolojisi (RSM) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu yöntem, ikinci dereceden bir modele sahip bir Box−Behnken deneysel tasarımı ile şekillendirilmiştir. Belirlenen proses limitleri ve Box-Behnken modeli kullanılarak YHB, MD ve TS prosesleri için oluşturulan deneme desenleri sırası ile Tablo 2.1, 2.2 & 2.3'te verilmiştir.

Tablo 0.1 YHB prosesi için Box-Behnken deneme deseni

	Basınç (MPa)	**Sıcaklık (°C)**	**Süre (dk)**
Düşük (-1)	100	20	5
Orta (0)	300	30	10
Yüksek (1)	500	40	15
Proses	**Basınç**	**Sıcaklık**	**Süre**
YHB1	100 (-1)	20 (-1)	10 (0)
YHB2	500 (1)	20 (-1)	10 (0)
YHB3	100 (-1)	40 (1)	10 (0)
YHB4	500 (1)	40 (1)	10 (0)
YHB5	100 (-1)	30 (0)	5 (-1)
YHB6	500 (1)	30 (0)	5 (-1)
YHB7	100 (-1)	30 (0)	15 (1)
YHB8	500 (1)	30 (0)	15 (1)
YHB9	300 (0)	20 (-1)	5 (-1)
YHB10	300 (0)	40 (1)	5 (-1)
YHB11	300 (0)	20 (-1)	15 (1)
YHB12	300 (0)	40 (1)	15 (1)
YHB13*	300 (0)	30 (0)	10 (0)
YHB14*	300 (0)	30 (0)	10 (0)
YHB15*	300 (0)	30 (0)	10 (0)

Tablo 0.2 MD prosesi için Box-Behnken deneme deseni

	Güç (%)	**Dönüş Hızı (rpm)**	**Süre (dk)**
Düşük (-1)	50	2	1
Orta (0)	75	6	3
Yüksek (1)	100	10	5
Proses	**Güç**	**Dönüş Hızı**	**Süre**
MD1	50 (-1)	2 (-1)	3 (0)
MD2	100 (1)	2 (-1)	3 (0)
MD3	50 (-1)	10 (1)	3 (0)
MD4	100 (1)	10 (1)	3 (0)
MD5	50 (-1)	6 (0)	1 (-1)
MD6	100 (1)	6 (0)	1 (-1)
MD7	50 (-1)	6 (0)	5 (1)
MD8	100 (1)	6 (0)	5 (1)
MD9	75 (0)	2 (-1)	1 (-1)
MD10	75 (0)	10 (1)	1 (-1)
MD11	75 (0)	2 (-1)	5 (1)
MD12	75 (0)	10 (1)	5 (1)
MD13*	75 (0)	6 (0)	3 (0)
MD14*	75 (0)	6 (0)	3 (0)
MD15*	75 (0)	6 (0)	3 (0)

Tablo 0.3 TS prosesi için Box-Behnken deneme deseni

	Güç (W)	**Sıcaklık (°C)**	**Süre (dk)**
Düşük (-1)	500	20	5
Orta (0)	750	30	10
Yüksek (1)	1000	40	15
Proses	**Güç**	**Sıcaklık**	**Süre**
TS1	500 (-1)	20 (-1)	10 (0)
TS2	1000 (1)	20 (-1)	10 (0)
TS3	500 (-1)	40 (1)	10 (0)
TS4	1000 (1)	40 (1)	10 (0)
TS5	500 (-1)	30 (0)	5 (-1)
TS6	1000 (1)	30 (0)	5 (-1)
TS7	500 (-1)	30 (0)	15 (1)
TS8	1000 (1)	30 (0)	15 (1)
TS9	750 (0)	20 (-1)	5 (-1)
TS10	750 (0)	40 (1)	5 (-1)
TS11	750 (0)	20 (-1)	15 (1)
TS12	750 (0)	40 (1)	15 (1)
TS13*	750 (0)	30 (0)	10 (0)
TS14*	750 (0)	30 (0)	10 (0)
TS15*	750 (0)	30 (0)	10 (0)

Yüksek hidrostatik basınç, mikrodalga ve termosonikasyon uygulamalarının deneme desenleri oluşturulurken bağımsız değişkenler ve parametre değer aralıkları literatür araştırmasından elde edilen sonuçlara göre belirlenmiştir. YHB uygulaması için basınç (100-500 MPa), sıcaklık (20-40 °C), süre (5-15 dk); MD uygulaması için güç (%50-100), dönüş hızı (2-10 rpm), süre (1-5 dk); TS için güç (500-1000 W), sıcaklık (20-40 °C), süre (5-15 dk) olarak seçilmiştir.

YHB, MD ve TS uygulamaları için optimum koşulun belirlenmesi, hem farklı proses koşulları arasındaki etkileşimi hem de farklı kalite parametrelerinin toplu tepkisinin etkisini gözlemlemek için kullanılan temel istatistiksel yaklaşımdır.

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_{11} {X_1}^2 + \beta_{22} {X_2}^2 + \beta_{33} {X_3}^2 + \beta_{12} X_1 X_2 + \beta_{13} X_1 X_3 + \beta_{23} X_2 X_3 + \varepsilon \quad (2.1)$$

Grafiksel ve istatistiksel tasarım için Minitab 19 yazılımı (Minitab Inc., Penn State, ABD) kullanılmıştır. Bağımsız ve bağımlı faktörler arasındaki ilişkiyi açıklamak için ikinci dereceden bir polinom modeli (denklem 2.1) kullanılmıştır. HHP, MD ve TS parametreleri kodlanmış değişkenler olarak ifade edildi ve yanıt fonksiyonları Y olarak gösterilmiştir. Polinom modelinin regresyon katsayıları sabit terim için β_0, doğrusal etkiler için β_i, ikinci dereceden etkiler için β_{ii} ve etkileşim etkileri için β_{ij} harfleriyle gösterilir. Rastgele hata ε terimiyle gösterilir. Modelin etkinliği, regresyon katsayılarının istatistiksel önemini hesaplamak için de kullanılan varyans analizi (ANOVA) kullanılarak değerlendirilmiştir. Tek bir işlem parametresinin etkisini veya birkaç parametrenin her incelenen yanıt üzerindeki etkileşimini göstermek için matematiksel bir model geliştirilmiştir. Aynı yazılım kullanılarak, diğerleri sabit tutulurken iki parametrenin fonksiyonu kullanılarak 3B yüzey çizimi oluşturulmuştur.

2.2.3 Mikrobiyolojik Analiziler

2.2.3.1 Toplam Mezofilik Aerobik Canlı (TMAC) Sayımı

Toplam mezofilik aerob canlı sayımı için Plate Count agar (PCA, Neogen, Ayr, Birleşik Krallık) hazırlanmıştır. 23,5 g agar 1 L distile su içerisine eklenerek tamamen çözdürülmüş ve 121°C'de 15 dk otoklavda sterilizasyonu

gerçekleştirilmiştir. Hazırlanan agar steril petri kaplarına dökülerek soğumaya bırakılmış ve inokülasyon yapılmaya hazır hale getirilmiştir.

İşleme tabi tutulmuş şalgam ve hardaliye numuneleri %0,85'lik FTS (fizyolojik tuzlu su) bulunan tüplere 1:10 oranında seri dilüsyon yöntemiyle seyreltilmiştir. Hazırlanmış olan PCA petrilerine bu dilüsyonlardan 0,1 mL alınarak inokülasyon üç paralel olarak gerçekleştirilmiştir. Bu plakalar 35 °C'de 24-48 saat inkübe edilmiştir. İnkübasyon sonrasında mikrobiyolojik gelişmeler kontrol edilerek petrilerde sayımlar yapılmış ve sonuçlar log kob/mL olarak kaydedilmiştir.

2.2.3.2 Laktik Asit Bakterileri (LAB) Sayımı

Laktik asit bakterileri sayımı için de Man, Rogosa and Sharpe agar (MRS, Biolife, Milano, İtalya) hazırlanmıştır. 67,3 g agar 1 L distile su içerisine eklenerek tamamen çözdürülmüş ve 121°C'de 15 dk otoklavda sterilizasyonu gerçekleştirilmiştir. Hazırlanan agar steril petri kaplarına dökülerek soğumaya bırakılmış ve inokülasyon yapılmaya hazır hale getirilmiştir.

İşleme tabi tutulmuş şalgam ve hardaliye numuneleri %0,85'lik FTS (fizyolojik tuzlu su) bulunan tüplere 1:10 oranında seri dilüsyon yöntemiyle seyreltilmiştir. Hazırlanmış olan MRS petrilerine bu dilüsyonlardan 0,1 mL alınarak inokülasyon üç paralel olarak gerçekleştirilmiştir. Bu plakalar 30 °C'de 48 saat inkübe edilmiştir. İnkübasyon sonrasında mikrobiyolojik gelişmeler kontrol edilerek petrilerde sayımlar yapılmış ve sonuçlar log kob/mL olarak kaydedilmiştir.

2.2.3.3 Toplam Maya ve Küf (M&K) Sayımı

Toplam maya ve küf sayımı için Potato Dextrose agar (PDA, Neogen, Ayr, Birleşik Krallık) hazırlanmıştır. 39 g agar 1 L distile su içerisine eklenerek tamamen çözdürülür ve 121 °C'de 15 dk otoklavda sterilizasyonu gerçekleştirilmiştir. Hazırlanan agar steril petri kaplarına dökülerek soğumaya bırakılır ve inokülasyon yapılmaya hazır hale getirilmiştir.

İşleme tabi tutulmuş şalgam ve hardaliye numuneleri %0,85'lik FTS (fizyolojik tuzlu su) bulunan tüplere 1:10 oranında seri dilüsyon yöntemiyle seyreltilmiştir. Hazırlanmış olan PDA petrilerine bu dilüsyonlardan 0,1 mL alınarak inokülasyon üç paralel olarak gerçekleştirilmiştir. Bu plakalar 25 °C'de 72-96 saat inkübe edilmiştir. İnkübasyon sonrasında mikrobiyolojik gelişmeler kontrol edilerek petrilerde sayımlar yapılmış ve sonuçlar log kob/mL olarak kaydedilmiştir.

2.2.4 Fizikokimyasal Analiziler

2.2.4.1 pH Analizi

RSM deneme desenlerindeki koşulların her biri için alınan 10 mL numunelerin pH ölçümü WTW pH7110 (Xylem Analytics, Almanya) marka pH metre cihazı ile yapılmıştır. Analizler üç tekrar olarak gerçekleştirilmiştir.

2.2.4.2 Toplam Çözünür Katı Madde (TÇKM) Analizi

Farklı koşullarda uygulama yapılmış tüm numunelerin toplam çözünür katı madde analizleri dijital refraktometre (HANNA Instruments HI96801, İtalya) kullanılarak gerçekleştirilmiş ve sonuçlar °Brix olarak kaydedilmiştir. Analizler üç tekrar olarak gerçekleştirilmiştir.

2.2.4.3 Toplam Asitlik (TA) Analizi

Farklı koşullarda işlem görmüş numunelerin toplam asitlik değerleri, titrasyon asitliği titrimetrik yöntemin genel prosedürüne göre belirlenmiştir [116]. Her bir numuneden 5 mL alınarak 5 mL distile su ile seyreltilmiş ve vorteks yardımıyla homojen olarak karıştırılmıştır. Homojen hale getirilen karışıma titrasyon metodunda indikatör olarak kullanılacak olan fenolftaleinden 0,5 mL (3-4 damla) eklenmiştir. Ardından hazırlanan bu çözeltinin pH'ı 8,1 değerine gelinceye kadar 0,1N NaOH çözeltisi ile titre edilerek, harcanan NaOH çözelti miktarları kaydedilmiştir. Analizler üç tekrar olarak gerçekleştirilmiştir. Numunelere ait toplam asitlik aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanmış ve laktik asit cinsinden ifade edilmiştir.

$$Toplam\ Asitlik\ \left({}^{g}/_{100ml}\right) = \frac{N\ x\ V\ x\ F\ x\ m_{Eq.}\ x\ 100}{G} \qquad (2.2)$$

N: NaOH normalitesi

V: Harcanan NaOH miktarı (mL)

F: NaOH faktörü

$m_{Eq.}$: Gıdalarda etkin/en çok bulunan organik asidin mili ekivalen ağırlığı (g)

G: Alınan numune miktarı (g veya mL)

2.2.4.4 Renk Analizi

Uygulamalar sonucunda elde edilen numunelerin renk analizleri Konica Minolta CR-400 Chroma Meter (Konica Minolta Inc., Tokyo, Japonya) cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Analizler üç tekrar olarak gerçekleştirilmiştir. Renk değerleri L* (parlaklık ve koyuluk), a* (kırmızılık ve yeşil) ve b* (sarılık ve mavilik) değerleri olarak belirtilmiştir. Diğer renk değerleri, toplam renk farkı (ΔE), renk yoğunluğu (C*, kroma) ve renk tonu (h°); L*, a* ve b* değerlerini içeren aşağıdaki formüllerle türetilmiştir.

$$\Delta E = \sqrt{(L_0 - L^*)^2 + (a_0 - a^*)^2 + (b_0 - b^*)^2} \quad (2.3)$$

$$C^* = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \quad (2.4)$$

$$h° = arctan\left({}^{b^*}/_{a^*}\right) \quad (2.5)$$

L_0, a_0, b_0: Kontrol numunelerine ait renk parametreleri

2.2.4.5 Spektrofotometrik Renk Analizi

Örneklerin renk yoğunluğu (IC), renk tonu (RT) ve renk bileşenlerinin yüzdeleri (sarı, mavi ve kırmızı) spektrofotometrik yöntem kullanılarak hesaplanmıştır. Uygulamalardan sonra elde edilen numuneler 5000 rpm'de 5 dakika boyunca santrifüj edilmiştir ve kalan süpernatantın (üst sıvısının) absorbans değerleri (420, 520 ve 620 nm) UV Spektrofotometre cihazı (OPTIZEN POP UV/vis spektrofotometre, Mecasys Co. Ltd., Kore) ile ölçülmüştür. Bu sonuçlar, referans numuneye (distile su) karşı renkler, sarı (OD_{420}), kırmızı (OD_{520}) ve mavi (OD_{620}) renk tonları açısından farklı spesifik dalga boylarında elde edilmiştir. Analizler üç tekrar olarak gerçekleştirilmiştir. Ölçülen renk bileşenleri kullanılarak renk yoğunluğu, renk tonu ve renk bileşenlerinin yüzdeleri (SRT, KRT ve MRT) aşağıdaki formüller kullanılarak hesaplanmıştır.

$$Renk\ Yoğunluğu\ (RY) = (OD_{420} + OD_{520} + OD_{620}) \quad (2.6)$$

$$Renk\ Tonu\ (RT) = \left(\frac{OD_{420}}{OD_{520}}\right) \quad (2.7)$$

$$Sarı\ Renk\ Bileşeni\ (\%, SRT) = \left({}^{OD_{420}}/_{RY}\right)\ x\ 100 \quad (2.8)$$

$$Kırmızı\ Renk\ Bileşeni\ (\%, KRT) = \left({}^{OD_{520}}/_{RY}\right)\ x\ 100 \quad (2.9)$$

$$Mavi\ Renk\ Bileşeni\ (\%, MRT) = \left({}^{OD_{620}}/_{RY}\right)\ x\ 100 \quad (2.10)$$

2.2.4.6 İndirgen Şeker Miktarı (İŞM) Analizi

Şeker analizinde kullanılan geleneksel yöntemlerden biri olan DNS (Dinitrosalisilik asit) yöntemi [117] indirgeyici şeker içeriğini belirlemek için kullanılmıştır. Öncelikle sodyum hidroksit, 3,5-dinitrosalisiklik asit, Rochelle tuzu (sodyum potasyum tartrat), sodyum sülfat ve fenol kullanılarak DNS reaktifi hazırlanmıştır. Şalgam ve hardaliye numuneleri belirli seyreltme oranında distile su ile seyreltilmiştir ve tüplerdeki örnekler 25°C'de ve 150 rpm'de yaklaşık 3 dakika vorteks kullanılarak karıştırılmıştır. Bu çözeltilerin her birine 1:1.5 v/v veya mL/mL DNS reaktifi eklenmiş ve çözeltiler tekrar karıştırılmıştır. Karıştırılan çözeltiler 90-100°C'deki su banyosuna 5-8 dakika bekletilmiştir. Tüm karışımlar için istenilen renk değişimi (sarı rengin turuncu veya koyu turuncu renge dönmesi) elde edilmiştir. Karışımları soğutmak için 5 dakika boyunca buz banyosuna veya soğuk su banyosuna konulmuştur ve tekrar vorteksle karıştırılmıştır. Tüm hazırlama adımlarından sonra, absorbans ölçümleri 575 nm'de bir UV Spektrofotometresi (OPTIZEN POP UV/vis spectrophotometer, Mecasys Co. Ltd., Kore) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Analizler üç tekrar olarak gerçekleştirilmiştir.

DNS kalibrasyon eğrisi elde etmek amacıyla 1 g/L glikoz stok çözeltisi hazırlanmıştır ve distile su kullanılarak farklı konsantrasyonlarda tekrar seyreltilmiştir. Seyreltilmiş glikoz stok çözeltileri vorteks kullanılarak karıştırılmıştır. Tüm numune hazırlama prosedüründe olduğu gibi, DNS reaktifleri bu çözeltilerin her birine 1:1,5 v/v veya mL/mL olarak eklenmiş ve çözeltiler tekrar karıştırılmıştır. Karışımlar 90-100°C'de 5-8 dakika su banyosuna konulmuş ve istenen renk değişimi (turuncu renk) elde edilmiştir. Daha sonra, karışımlar soğutulmak için 5 dakika boyunca buz banyosuna veya soğuk su banyosuna konulmuş ve tekrar karıştırılmıştır. Örneklerin absorbans değerleri, 575 nm'de bir UV Spektrofotometresi kullanılarak absorbans değerleri ölçülmüştür. Bu sonuçlar ışığında, absorbans-konsantrasyon (seyreltilmiş glikoz stok çözeltisinin konsantrasyonu) grafiği kalibrasyon eğrisi olarak elde edilmiştir.

Şalgam ve hardaliye numunelerinin indirgen şeker içeriği, ölçülen absorbans değerleri ve hazırlanan DNS kalibrasyon eğrisinin denklemi kullanılarak hesaplanmıştır.

2.2.4.7 Biyoaktif Bileşen Analizleri

2.2.4.7.1 Toplam Fenolik Madde Miktarı (TFM) Analizi

Toplam fenolik madde miktarı, Singleton ve Rossi [118] yöntemine göre Folin-Ciocalteu reaktifi kullanılarak belirlenmiştir. Şalgam ve hardaliye numuneleri belirli seyreltme oranında distile su ile seyreltilmiş ve tüplerdeki örnekler 25°C'de ve 150 rpm'de yaklaşık 2 dakika vorteks kullanılarak karıştırılmıştır. Seyreltilmiş şalgam ve hardaliye numuneleri (0,5 mL) sırasıyla 2,5 ve 2 mL miktarlarda Folin−Ciocalteu fenol reaktifi (1:10 v/v) ve Na_2CO_3 (7,5 g/100 g) ile karıştırılmıştır. Çözeltiler 30 dakika karanlıkta tutulmuş ve böylece bir UV−vis spektrofotometresi (OPTIZEN POP UV/vis spektrofotometre, Mecasys Co. Ltd., Kore) kullanılarak 760 nm'de bir absorbans okuması elde edilmiştir. Analizler üç tekrar olarak gerçekleştirilmiştir. Fenolik içerik, şalgam örneklerinin litresi başına gallik asit eşdeğerleri (mg GAE/L) olarak hesaplanmıştır.

2.2.4.7.2 Toplam Flavonoid Madde Miktarı (TFlav.M) Analizi

Toplam flavonoid madde miktarı, Zhishen vd. [119] tarafından açıklanan prosedüre dayalı modifiye edilmiş bir yöntemle değerlendirilmiştir. Test için tüplere 0,3 mL %5 $NaNO_2$ çözeltisi, 0,4 mL uygun şekilde seyreltilmiş şalgam ve hardaliye numuneleriyle eklenmiştir. 5 dakikalık bir inkübasyondan sonra, karışıma 0,3 mL %1 $AlCl_3$ eklenmiş ve oda sıcaklığında 6 dakika daha inkübe edilmiştir. Daha sonra, 2 mL 1 M NaOH ve 1 mL distile su eklenmiştir. Karışımların absorbans değerleri UV spektrofotometre kullanılarak 510 nm'de okuma yapılmış ve toplam flavonoid içeriği, 1 mL şalgam başına miligram kuersetin eşdeğeri (KE) olarak verilmiştir. Analizler üç tekrar olarak gerçekleştirilmiştir.

2.2.4.7.3 Toplam Antioksidan Aktivitesi/Kapasitesi (TAK) Analizi

Numunelerin toplam antioksidan kapasitesi/aktivitesinin değerlendirilmesi için bakır indirgeyici antioksidan kapasitesi (CUPRAC) yöntemi kullanılmıştır [120]. Test için 1 mL $CuCl_2$ (10 mmol/L), 1 mL neokuproin (7,5 mmol/L) ve 1 mL NH_4Ac (1 mol/L) ile 0,1 mL seyreltilmiş numune çözeltileri hazırlanmıştır. Daha sonra bu çözeltiye toplam hacmi 4,1 mL yapmak için 1 mL distile su eklenmiştir. Absorbans değerleri karanlıkta yaklaşık bir saatlik inkübasyon süresinden sonra 450 nm'de UV spektrometre kullanılarak ölçülmüştür. Analizler üç tekrar olarak gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar mililitre numune başına troloks eşdeğeri cinsinden (umol TE/mL) hesaplanmıştır.

2.2.4.7.4 Toplam Monomerik Antosiyanin Miktarı (TMA) Analizi

Şalgam ve hardaliye numunelerinin toplam monomerik antosiyanin miktarları (TMAC) Giusti ve Wrolstad [121] tarafından geliştirilen pH-diferansiyel yöntemine göre belirlenmiştir. Numunelerden 0,1 mL cam tüplere alınarak üzerine 2,4 mL 0,025 M KCl çözeltisi (HCl ile pH 1,0'a ayarlanmış) veya 0,4 M $C_2H_3NaO_2$ (HCl ile pH 4,5'a ayarlanmış) çözeltisi ile karıştırılmıştır. Hem pH 1,0 hem de 4,5 örnekleri bir vortex yardımıyla karıştırıldıktan sonra 15 dakika karanlık ortamda bekletilmiştir. Absorbans ölçümleri, UV spektrofotometre kullanılarak KCl ve $C_2H_3NaO_2$ çözeltilerinin referans alınması ile yapılmıştır. Absorbans, şalgamın ham maddelerinden bir olan siyah havucun antosiyanin içeriğinin en yüksek seviyede absorbans değeri verdiği dalga boyu 520 nm'de ve bulanıklığı belirlemek amacıyla 700 nm'de UV-spektrofotometre kullanılarak ölçülmüştür. Analizler üç tekrar olarak gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar, numunenin litresi başına mg siyanidin-3-glukozit (mg siyanidin-3-glukozit/L) olarak ifade edilmiştir.

2.2.5 İstatistiksel Analiziler

Tüm mikrobiyolojik ve fizikokimyasal sonuçlar, Cevap Yüzeyi Yöntemi (Response surface methodology-RSM) ile Box-Behnken deneysel tasarımı kullanılarak doğrusal, ikinci dereceden ve ayrıca etkileşim terimlerinin fonksiyonları olarak bağımsız değişkenlere (basınç, sıcaklık, zaman, güç ve dönüş hızı değerleri) göre istatistiksel olarak analiz edilmiştir. Değerlendirme, değişkenlerin R^2 değerleri (belirleme katsayısı), modelin uyum eksikliği değeri (lack-of-fit value) ve p-değerleri açısından modelin varyans analizini dikkate almak için gerçekleştirilmiştir. Modelleme ile elde edilen ANOVA tablolarında önemsiz olarak belirlenen ($p>0,05$) faktörler tablolardan çıkarılmıştır; sadece istatistiksel olarak anlamlı faktörler tablolarda gösterilmiştir. RSM modelinde anlamlı (<0,05) uyum eksikliği değerine sahip yanıtlar için RSM modelinin bu datalarda uygulanamayacağı sonucuna ulaşılmış olup, Box-Behnken tasarımındaki numuneler arasındaki benzerlik veya farklılıkları belirlemek için ANOVA ile harflendirme yapılarak gerçekleştirilmiştir. İstatistiksel analiz için Minitab 19 (Minitab Inc., Penn State, ABD) kullanılmıştır.

3
BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1 Termal Pastörizasyonun Şalgam ve Hardaliye Üzerindeki Etkileri

İşleme tabi tutulmamış ve koruyucu katılmamış olarak şalgam ve hardaliye numunelerinin ilk mikrobiyolojik analiz sonuçları Tablo 3.1'de verilmiştir.

Tablo 3.1 İşlem görmemiş katkısız şalgam ve hardaliye numunelerinin mikrobiyolojik analiz sonuçları (log kob/mL)

Mikroorganizma	Şalgam	Hardaliye
Toplam mezofilik aerobik bakteri sayısı	8,06 ± 0,06	5,77 ± 0,02
Laktik Asit Bakteri sayısı	6,68 ± 0,02	5,71 ± 0,01
Maya	4,63 ± 0,05	2,83 ± 0,03
Küf	-	-
E. coli	-	-

İşleme tabii tutulmamış olan bu şalgam ve hardaliye numuneleri, öncelikli olarak geleneksel termal pastörizasyon işleminden geçirilmiştir. Pastörizasyon işleminden sonra mikrobiyolojik analiz sonuçları Tablo 3.2'de verilmiştir.

Tablo 3.2 Termal pastörizasyon işlemi sonrasında şalgam ve hardaliye numunelerinin mikrobiyolojik analiz sonuçları (log kob/mL)

	Şalgam		**Hardaliye**	
	Mikrobiyolojik yük (log kob/mL)	**Azalma miktarı (log kob/mL)**	**Mikrobiyolojik yük (log kob/mL)**	**Azalma miktarı (log kob/mL)**
TMAC	-	8,06	-	5,77
LAB	-	6,68	-	5,71
Maya	-	4,63	-	2,83

Termal pastörizasyon, şalgam suyu, hardaliye ve ayrıca meyve ve sebze bazlı içecekler dahil olmak üzere çeşitli fermente ve fermente olmayan içeceklerin mikrobiyolojik güvenliğini önemli ölçüde artırmaktadır. Şalgamda pastörizasyonun toplam mezofilik aerobik bakteri, maya ve küf sayısını önemli ölçüde azalttığı ve soğutulmuş depolamada laktik asit bakteri düzeylerinin korunmasına yardımcı olduğu gösterilmiştir [122]. Şalgamın ticari üretiminde genellikle 85 °C'de 26 saniye gibi kısa süreli bir pastörizasyon işlemine tabi tutulabilmektedir. Bu işlem, pastörize şalgam örneklerinin toplam mezofilik aerobik bakteri, maya ve küf gelişimi açısından kontrole kıyasla çok daha düşük mikrobiyal yükler sergilediğini doğrulanmıştır; 150 günlük 4-25 °C depolama sırasında 72 °C/20 s'lik pastörizasyon işlemi uygulanan şalgam örneklerinde TMAC, LAB ve maya/küf yükleri hiçbir zaman kontrol numunesinin seviyesine yükselmemiştir [123]. Benzer şekilde, geleneksel olarak 5 dakika boyunca yaklaşık 80°C'de ısıl işleme tabi tutulan hardaliye, mikrobiyal dekontaminasyondan faydalanır, ancak bu içecek için termal pastörizasyona ilişkin doğrudan nicel çalışmalar sınırlıdır. Bununla birlikte, benzer matrislerde (örneğin, üzüm suyu veya sebze karışımları) yüksek basınçlı işleme ve termal yöntemleri içeren karşılaştırmalı çalışmalar, mayalar ve koliformlar dahil olmak üzere bozulma organizmalarının etkili bir şekilde inaktivasyonunu göstermektedir. Örnek verilecek olursa, dikenli armut suyunda, 30 saniye boyunca 71,1°C'de termal pastörizasyon, toplam aerobik bakteri ve bozulma mayalarını kontrol ederken, işlenmemiş meyve suyuna kıyasla mikrobiyolojik raf ömrünü 22 gün uzatmıştır. 7 °C'de 60 günlük depolama süresinde koliformları düzenleyici

sınırların altında (<4 kob/mL), psikrotrofları 47 kob/mL altında ve mayaları/küfleri 1–23 kob/mL altında tutmuştur [124], [125]. Başka bir örnekte, limon otu-misket limonu bitkisel içeceğinin termal pastörizasyonu sonrasında mezofilik bakteri, maya veya küf tespit edilememiş; sekiz haftalık depolama boyunca mikrobiyal stabiliteyi korumuştur [125]. Benzer şekilde, 90 °C'de 60 saniye pastörize edilen jabuticaba suyunda, 4 °C'de 28 gün boyunca depolama süresince aerobik mezofiller, koliformlar veya maya ve küflerin gelişimi gözlemlenmemiştir [126]. Bu sonuçlar, zaman ve sıcaklık açısından uygun şekilde optimize edildiğinde termal pastörizasyonun, kimyasal koruyuculara güvenmeden çok çeşitli içeceklerde mikrobiyal güvenliği sağlamak için sağlam bir yöntem olduğunu doğrulamaktadır.

Termal pastörizasyon, fermente edilmiş ve fermente edilmemiş içeceklerin mikrobiyal güvenliğini artırmada önemli bir rol oynarken; içecek matrisine ve işlem yoğunluğuna bağlı olarak değişkenlik gösteren fiziksel-kimyasal ve biyoaktif özellikleri etkilemektedir. Limon otu-lime suyu [127], kaju elması suyu [128][128], portakal [129], şeker kamışı suyu [130] ve tropik meyve suyu [131] gibi içeceklerde, çalışmalar, tipik olarak 63-85°C arasında değişen sıcaklıklarda 30 saniyeden birkaç dakikaya kadar pastörizasyonun, artan organik asit çözünürlüğü nedeniyle pH'ı hafifçe düşürebileceğini ve titre edilebilir asitliği (TA) artırabileceğini göstermiştir. °Brix değerleri, suyun buharlaşması veya şekerlerin çözünmesi nedeniyle sabit kalma veya hafifçe artma eğilimindedir. Isıl işlem genellikle askorbik asitte (C vitamini), toplam fenolik içerikte (TPC) ve antioksidan aktivitede kayıplara yol açmakta, kayıplar tipik olarak %5-20 arasında değişmektedir. L*, a*, b* gibi renk parametreleri ve ΔE, *chroma (C)** ve hue açısı gibi türetilmiş değerler genellikle kabul edilebilir kalite eşikleri içinde kalabilmektedir; içecek matrisine bağlı olarak artışlar ve azalmalar görülebilmektedir. Örneğin, portakal posası yan ürünleri pastörizasyondan sonra toplam fenoliklerinin çoğunlukla korunduğu, ancak antioksidan aktivite (DPPH ve FRAP ile ölçülen) hassas bileşiklerin termal etkiyle parçalanması nedeniyle azaldığı tespit edilmiştir [129], [132]. Benzer şekilde, mumlu elma suyunda [132] ve limon otu-lime içeceğinde [127] fenolik ve flavonoid içerikleri azalırken, antioksidan aktivite termal olarak işlenmiş numunelerde işlem görmemiş olanlara kıyasla zamanla daha yüksek elde edilmiştir.

Pastörizasyon işleminden önce ve sonra şalgam ve hardaliye numunelerinin fizikokimyasal analiz sonuçları Tablo 3.3 ve 3.4'te verilmiştir.

Tablo 3.3 Termal pastörizasyon işlemi sonrasında şalgam numunelerinin fizikokimyasal analiz sonuçları

Analizler	Şalgam	
	Kontrol Numunesi	**Pastörize Numune**
pH	3,96 ± 0,01[a]	3,88 ± 0,01[b]
TÇKM (°Brix)	1,83 ± 0,15[a]	1,79 ± 0,03[a]
TA (g LA/L)	2,40 ± 0,21[a]	2,68 ± 0,09[a]
İŞM (mg/ 100mL)	5,90 ± 0,09[a]	14,11 ± 0,04[b]
L*	39,48 ± 2,29[a]	29,17 ± 0,81[b]
a*	53,39 ± 1,28[a]	46,07 ± 0,71[b]
b*	24,30 ± 0,30[a]	18,06 ± 0,91[b]
ΔE	-	14,10 ± 1,73
C*	58,66 ± 1,20[a]	49,49 ± 0,99[b]
h°	0,43 ± 0,01[a]	0,37 ± 0,01[b]
Renk Yoğunluğu	10,63 ± 0,03[a]	4,89 ± 0,09[b]
Renk Tonu	0,357 ± 0,002[a]	0,370 ± 0,009[a]
SRT (%)	25,07 ± 0,08[a]	25,27 ± 0,44[a]
KRT (%)	70,06 ± 0,15[a]	68,15 ± 0,55[b]
MRT (%)	4,87 ± 0,10[a]	6,64 ± 0,13[b]
TFM (mg GAE/ 100mL)	43,22 ± 0,40[a]	31,56 ± 0,25[b]
TFlav.M (mg KE/ 100 mL)	186,85 ± 23,49[a]	167,14 ± 0,94[b]
TAK (µmol TE/ 100 mL)	787,67 ± 8,12[a]	590,61 ± 5,34[b]
TMA (mg/100 mL)	13,27 ± 0,57[a]	7,35 ± 0,18[b]

Farklı küçük harfler önemli farklılıkları temsil eder ($p<0,05$).

Tablo 3.4 Termal pastörizasyon işlemi sonrasında hardaliye numunelerinin fizikokimyasal analiz sonuçları

Analizler	Hardaliye	
	Kontrol Numunesi	**Pastörize Numune**
pH	3,60 ± 0,00[a]	3,75 ± 0,34[a]
TÇKM (°Brix)	20,17 ± 0,06[a]	19,06 ± 0,06[b]
TA (g LA/L)	8,4 ± 0,21[a]	11,88 ± 0,36[b]
İŞM (mg/ mL)	42,02 ± 0,12[a]	33,38 ± 0,20[b]
L*	46,53 ± 0,39[a]	58,53 ± 0,64[b]
a*	31,39 ± 0,23[a]	17,74 ± 0,41[b]
b*	6,72 ± 0,10[a]	11,96 ± 0,30[b]
ΔE	-	42,26 ± 0,98
C*	32,10 ± 0,24[a]	21,40 ± 0,50[b]
h°	0,21 ± 0,00[a]	0,59 ± 0,01[b]
Renk Yoğunluğu	3,50 ± 0,01[a]	2,19 ± 0,01[b]
Renk Tonu	0,989 ± 0,002[a]	1,046 ± 0,016[b]
SRT (%)	43,23 ± 0,09[a]	45,51 ± 0,40[b]
KRT (%)	43,69 ± 0,09[a]	43,54 ± 0,33[a]
MRT (%)	13,08 ± 0,04[a]	10,95 ± 0,21[b]
TFM (mg GAE/ 100mL)	66,64 ± 0,35[a]	59,07 ± 0,39[b]
TFlav.M (mg KE/ 100 mL)	307,27 ± 0,95[a]	294,77 ± 2,01[b]
TAK (µmol TE/ 100 mL)	765,61 ± 3,30[a]	737,73 ± 11,60[b]
TMA (mg/100 mL)	1,22 ± 0,12[a]	0,78 ± 0,07[b]

Farklı küçük harfler önemli farklılıkları temsil eder ($p<0,05$).

Şalgam ve hardaliye örneklerinden elde ettiğimiz bulgular bu yapılmış olan çalışmalarla paraleldir. Şalgamda 85 °C'de 20 saniye pastörizasyon, pH'ta (3,96'dan 3,88'e) ve °Brix'te (1,83'ten 1,79'a) az miktarda azalmaya, titrasyon asitliğinde ise 2,40 g LA/L'den 2,68 g LA/L'ye belirgin bir artışa neden olmuştur. Biyoaktif bileşenlerdeki termal etki toplam fenolikler 43,22'den 31,56 mg GAE/100 mL'ye, flavonoidler 186,85'ten 167,14 mg KE/100 mL'ye ve antioksidan kapasite 787,67'den 590,61 µmol TE/100 mL'ye azalmalar olarak tespit edilmiştir. Antosiyanin içeriğinde ise keskin bir şekilde düşüş (13,27'den 7,35 mg/100 mL'ye) gözlemlenmiştir. Renk parametreleri (L*, a*, b*) ve kroma (C*) değerlerinde pastörizasyon ile azalmalar meydana gelmiştir. Hardaliyede pastörizasyon etkisi TÇKM değerlerinde azalma (20,17'den 19,06'ya) ve titrasyon asitliğinde artış (8,4'ten 11,88 g LA/L'ye) olarak tespit edilmiştir. pH değerleri literatürdeki diğer çalışmalardaki sonuçlarla ters olarak beklenmedik şekilde artmış (3,60'tan 3,75'e); fakat diğer çalışmalarda olduğu gibi toplam fenolik madde 66,64'ten 59,07 mg GAE/100 mL'ye, toplam flavonoid madde 307,27'den 294,77 mg KE/100 mL'ye ve antioksidan aktivite 765,61'den 737,73 µmol TE/100 mL'ye düşmüştür. Renk değişimleri, renk tonu ve kroma değerlerinde önemli kaymalarla ve ayrıca L* ve b*'deki artışlarla tespit edilmiştir. Toplam monomerik antosiyanin miktarındaki kayıplar (TMA: 1,22 ila 0,78 mg/100 mL) ve sarı renk tonundaki kaymalarla paralel değerler vermiştir. Değerlerin değişimindeki bu eğilimler, diğer ısıl işlem görmüş meyve sularıyla da uyumludur ve pastörizasyonun mikrobiyal güvenliği ve depolama stabilitesini önemli ölçüde iyileştirirken temel kalite parametreleri üzerinde istatistiksel olarak anlamlı farlılıklara yol açtığı Tablo 3.3. ve 3.4'te görülmektedir.

3.2 Yüksek Hidrostatik Basıncın Şalgam ve Hardaliye Üzerindeki Etkileri

3.2.1 Mikrobiyal İnaktivasyon

Farklı basınç seviyesi, sıcaklık ve işlem süresi kombinasyonlarında YHB işleminden sonra şalgam ve hardaliye numunelerinin toplam mezofilik aerobik canlı (TMAC), laktik asit bakterisi (LAB) ve küf ve maya (K&M) yüklerindeki azalmalar Tablo 3.5 ve 3.6'da gösterilmiştir.

Tablo 3.5 YHB uygulaması sonrası şalgam numunelerinin TMAC, LAB ve K&M azalma değerleri

Kontrol				TMAC (log kob/mL)	LAB (log kob/mL)	M&K (log kob/mL)
				8,06 ± 0,06	6,68 ± 0,02	4,63 ± 0,05
Deneme deseni	**Bağımsız Değişkenler**			**Yanıtlar**		
	Basınç (MPa)	**Sıcaklık (°C)**	**Süre (dk)**	**TMAC (log kob/mL azalma)**	**LAB (log kob/mL azalma)**	**M&K[1] (log kob/mL azalma)**
1	100	20	10	2,46 ± 0,14^{g}	0,61 ± 0,21^{ghı}	1,02 ± 0,36
2	500	20	10	4,99 ± 0,21^{abc}	6,68 ± 0,00^{a}	2,86 ± 0,07
3	100	40	10	4,80 ± 0,04^{cde}	0,76 ± 0,08^{gh}	1,40 ± 0,21
4	500	40	10	5,41 ± 0,14^{ab}	6,68 ± 0,00^{a}	4,63 ± 0,00
5	100	30	5	1,57 ± 0,21^{h}	0,82 ± 0,05^{g}	1,05 ± 0,11
6	500	30	5	5,00 ± 0,10^{abc}	6,68 ± 0,00^{a}	3,24 ± 0,09
7	100	30	15	3,57 ± 0,10^{f}	1,64 ± 0,21^{f}	1,13 ± 0,10
8	500	30	15	5,46 ± 0,04^{a}	6,68 ± 0,00^{a}	4,63 ± 0,00
9	300	20	5	256 ± 0,34^{g}	1,89 ± 0,03^{d}	2,80 ± 0,16
10	300	40	5	4,40 ± 0,27^{g}	3,43 ± 0,22^{c}	3,33 ± 0,00
11	300	20	15	5,19 ± 0,06^{abc}	6,68 ± 0,00^{a}	3,09 ± 0,06
12	300	40	15	5,22 ± 0,10^{abc}	6,68 ± 0,00^{a}	4,63 ± 0,00
13	300	30	10	5,11 ± 0,06^{abc}	5,58 ± 0,17^{b}	3,63 ± 0,00
14	300	30	10	5,11 ± 0,09^{abc}	4,98 ± 0,07^{b}	3,93 ± 0,04
15	300	30	10	5,22 ± 0,13^{abc}	5,20 ± 0,13^{b}	3,89 ± 0,07

[1]RSM yöntemi uygulanmıştır.

Farklı küçük harfler önemli farklılıkları temsil eder ($p<0,05$).

Tablo 3.6 YHB uygulaması sonrası hardaliye numunelerinin TMAC, LAB ve K&M azalma değerleri

Kontrol				TMAC (log kob/mL)	LAB (log kob/mL)	M&K (log kob/mL)
				5,77 ± 0,02	5,71 ± 0,01	2,83 ± 0,03
Deneme deseni	**Bağımsız Değişkenler**			**Yanıtlar**		
	Basınç (MPa)	**Sıcaklık (°C)**	**Süre (dk)**	**TMAC (log kob/mL azalma)**	**LAB (log kob/mL azalma)**	**M&K[1] (log kob/mL azalma)**
1	100	20	10	1,14 ± 0,03^{f}	1,28 ± 0,02^{g}	0,81 ± 0,07
2	500	20	10	5,77 ± 0,00^{a}	5,71 ± 0,00^{a}	2,83 ± 0,00
3	100	40	10	1,07 ± 0,08^{f}	1,33 ± 0,09^{g}	0,97 ± 0,03
4	500	40	10	5,77 ± 0,00^{a}	5,71 ± 0,00^{a}	2,83 ± 0,00
5	100	30	5	1,18 ± 0,10^{f}	1,26 ± 0,08^{g}	0,74 ± 0,09
6	500	30	5	5,77 ± 0,00^{a}	5,71 ± 0,17^{a}	2,63 ± 0,00
7	100	30	15	2,44 ± 0,08^{e}	2,48 ± 0,02^{f}	1,38 ± 0,07
8	500	30	15	5,77 ± 0,00^{a}	5,71 ± 0,00^{a}	2,83 ± 0,00
9	300	20	5	3,01 ± 0,21^{d}	3,30 ± 0,16^{e}	1,18 ± 0,12
10	300	40	5	4,55 ± 0,10^{c}	4,51 ± 0,10^{d}	1,47 ± 0,03
11	300	20	15	5,77 ± 0,00^{a}	5,71 ± 0,04^{a}	1,83 ± 0,00
12	300	40	15	5,77 ± 0,00^{a}	5,71 ± 0,00^{a}	2,83 ± 0,00
13	300	30	10	5,05 ± 0,05^{b}	4,92 ± 0,07^{bc}	2,31 ± 0,10
14	300	30	10	4,91 ± 0,09^{b}	5,06 ± 0,10^{b}	2,41 ± 0,06
15	300	30	10	4,89 ± 0,09^{b}	4,85 ± 0,10^{c}	2,47 ± 0,09

[1]RSM yöntemi uygulanmıştır.

Farklı küçük harfler önemli farklılıkları temsil eder ($p<0,05$).

3.2.1.1 Toplam Mezofilik Aerobik Canlı (TMAC) İnaktivasyonu

Yüksek basınç uygulaması sonrasında elde edilen şalgam numunelerinin TMAC azalma değerleri RSM ile modellenmiş ve ANOVA analiz çıktıları Tablo 3.7'de gösterilmiştir.

Tablo 3.7 YHB uygulaması sonrası şalgam numunelerinin TMAC azalma değeri için RSM modellemesi ANOVA sonuçları

Kaynak	**SD**	**Kareler Toplamı**	**Kareler Ortalaması**	**F değeri**	**P değeri**
Model	9	21,0119	2,33466	14,17	0,005
P	1	8,9465	8,94645	54,31	0,001
T	1	2,6796	2,67961	16,27	0,010
t	1	4,3660	4,36601	26,50	0,004
P*P	1	1,2726	1,27262	7,73	0,039
t*t	1	1,6063	1,60634	9,75	0,026
Hata	5	0,8236	0,16473		
Uyum Eksikliği	3	0,8156	0,27186	67,40	***0,015***
Saf Hata	2	0,0081	0,00403		
Toplam	14	21,8356			

Standart Sapma	**R^2**	**Düzeltilmiş R^2**	**Tahmini R^2**
0,405867	96,23%	89,44%	40,16%

Şalgam numunelerinin TMAC azalma değerlerine ait RSM modellenmesinde uyum eksikliği değerinin p=0,015<0,05 olması sebebiyle değerler başarılı şekilde modellenememiştir. Buna rağmen, TMAC'nin inaktivasyon başarısı ANOVA sonuçlarına göre tüm YHB parametreleriyle doğrudan ilişkili olarak değişmiştir (p<0,05). Basınç seviyesi, işlem sıcaklığı ve uygulama süresinin, bazı parametrelerin doğrusal ve kare kuvvetlerinin artışı TMAC yükünün azalmasını arttırmıştır.

Yüksek basınç uygulaması sonrasında elde edilen hardaliye numunelerinin TMAC azalma değerleri RSM ile modellenmiş ve ANOVA analiz çıktıları Tablo 3.8'de gösterilmiştir.

Tablo 3.8 YHB uygulaması sonrası hardaliye numunelerinin TMAC azalma değeri için RSM modellemesi ANOVA sonuçları

Kaynak	**SD**	**Kareler Toplamı**	**Kareler Ortalaması**	**F değeri**	**P değeri**
Model	9	47,9557	5,3284	17,48	0,003
P	1	37,2528	37,2528	122,23	0,000
t	1	3,4371	3,4371	11,28	0,020
Hata	5	1,5238	0,3048		
Uyum Eksikliği	3	1,5099	0,5033	72,37	***0,014***
Saf Hata	2	0,0139	0,0070		
Toplam	14	49,4796			

Standart Sapma	**R^2**	**Düzeltilmiş R^2**	**Tahmini R^2**
0,552057	96,92%	91,38%	51,11%

Hardaliye numunelerinin TMAC azalma değerlerine ait RSM modellenmesinde uyum eksikliği değerinin p=0,014<0,05 olması sebebiyle değerler başarılı şekilde modellenememiştir. Fakat, TMAC'nin inaktivasyon başarısı ANOVA sonuçlarına göre YHB parametrelerinden basınç ve süre ile doğrusal olarak ve ayrıca basıncın karesel kuvvetiyle ilişkili olarak değişmiştir (p<0,05). Bu parametrelerin artışı TMAC yükünün azalmasını arttırmıştır.

Şalgam için uygulanan parametre aralıkları nedeniyle toplam inaktivasyon elde edilememiştir; ancak 500 MPa'da, 40 °C'de 10 dakika boyunca YHB uygulaması durumunda 5,41 log kob/mL'lik bir azalma tespit edilmiş ve bu işlem yöntemi kullanılarak elde edilen bu azalmanın beklenen düzeyde olduğu sonucuna varılmıştır. Hardaliye için elde edilen sonuçlarda tüm sıcaklık değerleri için 300MPa-15 dk ve üzerindeki seviyelerde toplam inaktivasyon elde edilmiştir (5,77 log kob/mL). Benzer şekilde, nar suyu ile yapılan başka bir çalışmada, TMAC için 300 MPa-10 dk-5 & 15 °C ve 400 MPa-5 & 10 dk-5, 15 & 25 °C basınçlandırma koşullarında 3,85 log kob/mL azalma ile toplam inaktivasyon elde edilebilmiştir [133].

Mert vd.[134] inaktivasyon verimliliğinin 30 °C'de 5 dakika sabit koşullarında basınç seviyesinin 150'den 250 MPa'ya yükseltilmesiyle arttığını vurgulamıştır. Ateş vd.[135] şalgam üzerine yaptıkları çalışmada, TMAC sayısında 0,91 ve 0,74 log kob/mL azalmaların, acılı ve tatlı şalgam içecekleri için optimum YHB uygulama koşullarının sırasıyla 500 MPa-34,23°C-15 dk ve 363,6 MPa- 40°C-15dk olarak elde edildiğinden bahsetmişlerdir. Tatlı şalgam suyu ile yapılan önceki çalışmalarla karşılaştırıldığında, bizim elde ettiğimiz bulgular daha etkili bir inaktivasyon (>5,22 log azalma) elde edildiğini göstermiştir. Meyve suyu HACCP kuralına göre, uygulanan işlemin hedef patojeninin 5 log azalma sağlaması beklenmektedir. Hedef patojen, meyve suyu türüne ve kullanılan işleme türüne göre değişebilir; ancak genellikle *Salmonella* veya *Escherichia coli* O157:H7 olmaktadır [77].

3.2.1.2 Laktik Asit Bakterileri (LAB) İnaktivasyonu

Yüksek basınç uygulaması sonrasında elde edilen şalgam numunelerinin LAB azalma değerleri RSM ile modellenmiş ve ANOVA analiz çıktıları Tablo 3.9'da gösterilmiştir.

Tablo 3.9 YHB uygulaması sonrası şalgam numunelerinin LAB azalma değeri için RSM modellemesi ANOVA sonuçları

Kaynak	SD	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F değeri	P değeri
Model	9	81,6896	9,0766	6,40	0,027
P	1	65,4940	65,4940	46,19	0,001
t	1	9,8125	9,8125	6,92	0,047
Hata	5	7,0903	1,4181		
Uyum Eksikliği	3	6,9061	2,3020	24,99	***0,039***
Saf Hata	2	0,1843	0,0921		
Toplam	14	88,7799			

Standart Sapma	R^2	Düzeltilmiş R^2	Tahmini R^2
1,19083	92,01%	77,64%	0,00%

Şalgam numunelerinin LAB azalma değerlerinin RSM modellenmesinde uyum eksikliği değerinin $p=0,039<0,05$ olması sebebiyle değerler başarılı şekilde modellenememiştir.

Yüksek basınç uygulaması sonrasında elde edilen hardaliye numunelerinin LAB azalma değerleri RSM ile modellenmiş ve ANOVA analiz çıktıları Tablo 3.10'da gösterilmiştir.

Tablo 3.10 YHB uygulaması sonrası hardaliye numunelerinin LAB azalma değeri için RSM modellemesi ANOVA sonuçları

Kaynak	SD	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F değeri	P değeri
Model	9	43,5643	4,8405	22,64	0,002
P	1	33,9850	33,9850	158,97	0,000
t	1	2,9196	2,9196	13,66	0,014
P*P	1	5,5485	5,5485	25,95	0,004
Hata	5	1,0689	0,2138		
Uyum Eksikliği	3	1,0461	0,3487	30,64	***0,032***
Saf Hata	2	0,0228	0,0114		
Toplam	14	44,6332			
Standart Sapma		**R^2**	**Düzeltilmiş R^2**	**Tahmini R^2**	
0,462361		97,61%	93,29%	62,38%	

Hardaliye numunelerinin LAB azalma değerlerinin RSM modellenmesinde uyum eksikliği değerinin p=0,032<0,05 olması sebebiyle değerler başarılı şekilde modellenememiştir.

ANOVA sonuçları dikkate alındığında, şalgam numuneleri için LAB inaktivasyonu YHB parametrelerinin uygulanma seviyesine bağlıdır. Sonuçlar, YHB'nin etkisinin basınç seviyesi ve uygulama süresindeki artışlarla önemli ölçüde arttığını göstermiştir (p<0,05). Tüm sıcaklık değerleri dahil olmak üzere, 15 dk boyunca 300 MPa ve daha yüksek seviyelerin kombinasyonlarında toplam inaktivasyon (6,68 log kob/mL) elde edilmiştir. Hardaliye numuneleri için sıcaklık ve süre parametreleri farketmeksizin 500MPa basınç seviyesindeki uygulamalarda ve ayrıca 300MPa-40°C-15dk uygulamasında toplam inaktivasyon elde edilebilmiştir (2,88 log kob/mL).

15 dk boyunca 400 ve 500 MPa uygulamasıyla şarap örneklerinde LAB için 1 log kob/mL'den fazla bir azalma elde edilirken [136], 500 MPa-3 dk uygulama ile domates suyunda 4,0 log kob/mL'den fazla azalma [137] ve Aloe vera suyunda 400-600 MPa'da 10-30 dk boyunca YHB uygulaması ile 6,51 log kob/mL'lik bir azalma elde edilmiştir [138]; bu etkilerin ürün matriksine bağlı olarak değiştiği göz önünde bulundurulmuştur. Ayrıca, şalgam üzerinde yapılan çalışmada, *Lactococcus lactis* subsp. *cremoris* ve *Lactobacillus paracasei* için 500 MPa−34,23 °C−15 dk ve 363,6 MPa−40°C−15 dk koşullarında 1,71 & 1,59 log kob/mL ve 1,28 & 1,40 log kob/mL azalmalar gözlemlenmiştir. Çalışmamıza paralel olarak, YHB'nin inaktivasyon etkisi özellikle basınç seviyesi ve uygulama süresi artışları ile önemli ölçüde artan bir eğilim göstermiştir [135].

3.2.1.3 Toplam Maya ve Küf (M&K) İnaktivasyonu

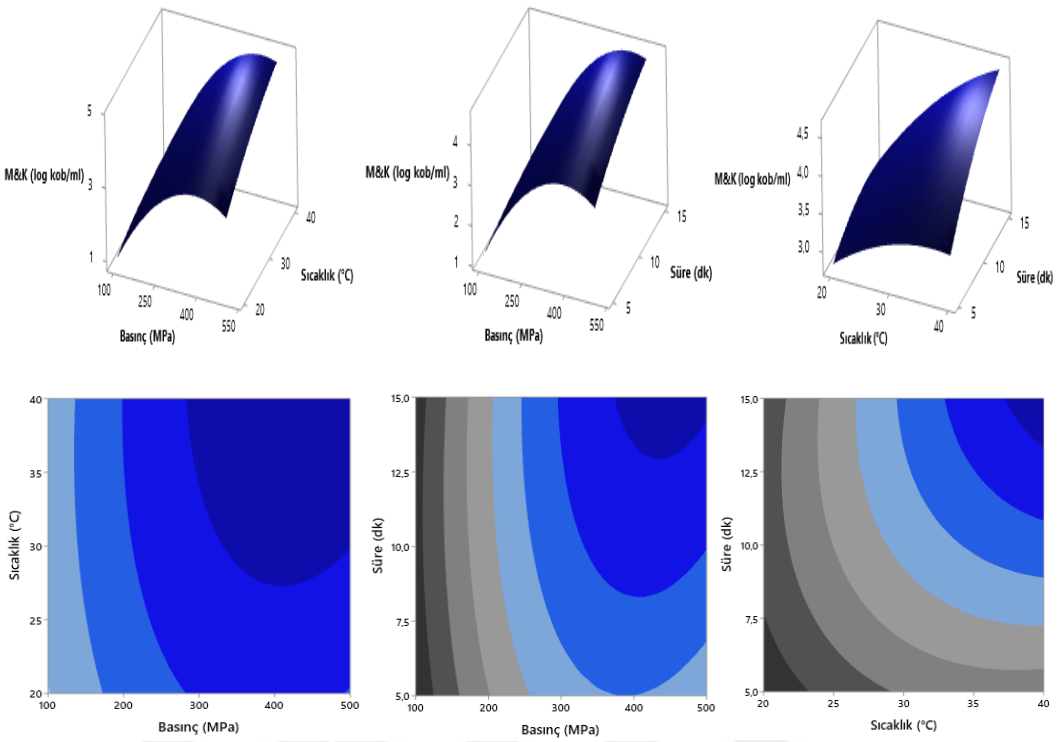
Yüksek basınç uygulaması sonrasında elde edilen şalgam numunelerinin M&K azalma değerleri RSM ile modellenmiş ve ANOVA analiz çıktıları Tablo 3.11'de gösterilmiştir.

Şalgam numunelerinin M&K azalma değerleri RSM modellenmesi ile değerlendirildiğinde uyum eksikliği değerinin istatistiksel olarak anlamlı ($p>0,05$) olmaması sebebiyle başarılı şekilde modellenmiştir. Şalgam için odaklanılması gereken en önemli mikrobiyota elemanı olan maya tespitinin sonuçları M&K sayımlarına ait ANOVA analizi varyans tablosuna göre değerlendirildiğinde, hem doğrusal ve ikinci dereceden kuvvetlerinin (t*t hariç) hem de basınç seviyesi, uygulama süresi ve sıcaklık parametrelerinin etkileşimlerinin mikroorganizma sayısındaki azalma üzerinde istatistiksel olarak etkili olduğu görülmüştür ($p<0,05$). Tüm parametrelerdeki artış, inaktivasyon etkinliğinde önemli bir artış sağlamakta, ayrıca basıncın diğer parametrelerle olan (P*T & P*t) etkileşimlerinin zaman-sıcaklık etkileşimine göre daha olumlu etkiye sahip olduğu görülmüştür ($p=0,005$, $p=0,006 < p=0,017$). Şekil 3.1'de M&K yükünün azalmaları basınç-sıcaklık (10dk süre), basınç-zaman (30°C) ve sıcaklık-zaman (300 MPa) 3D yüzey grafikleri sırasıyla gösterilmektedir. Deneysel koşullar altında basınç ∼350 ila 450 MPa, sıcaklık ∼30 ila 40 °C ve süre ∼10 ila 15 dakika olduğunda, M&K azalmasının maksimum eğimde arttığı grafiklerle gösterilmiştir (Şekil 3.1).

Tablo 3.11 YHB uygulaması sonrası şalgam numunelerinin M&K azalma değeri için RSM modellemesi ANOVA sonuçları

Kaynak	SD	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F değeri	P değeri
Model	9	23,9304	2,6589	128,18	0,000
P	1	14,4722	14,4722	697,68	0,000
T	1	2,2261	2,2261	107,31	0,000
t	1	1,1705	1,1705	56,43	0,001
P*P	1	4,8372	4,8372	233,19	0,000
T*T	1	0,1398	0,1398	6,74	0,048
P*T	1	0,4830	0,4830	23,29	0,005
P*t	1	0,4290	0,4290	20,68	0,006
T*t	1	0,2550	0,2550	12,29	0,017
Hata	5	0,1037	0,0207		
Uyum Eksikliği	3	0,0506	0,0169	0,64	***0,659***
Saf Hata	2	0,0531	0,0265		
Toplam	14	24,0341			

Standart Sapma	**R^2**	**Düzeltilmiş R^2**	**Tahmini R^2**
0,144025	99,57%	98,79%	96,13%



Şekil 3.1 RSM grafikleri: YHB'nin şalgam örneklerinin M&K azalma değerleri üzerindeki etkisi

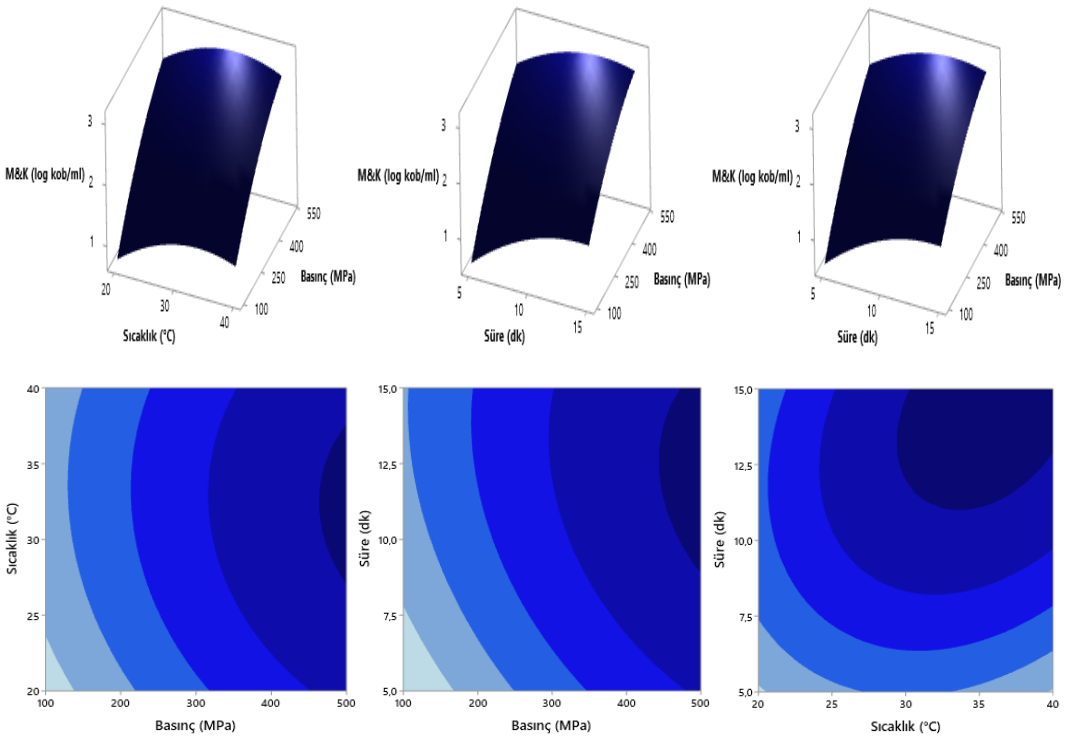
Yüksek basınç uygulaması sonrasında elde edilen hardaliye numunelerinin M&K azalma değerleri RSM ile modellenmiş ve ANOVA analiz çıktıları Tablo 3.12'de gösterilmiştir.

Hardaliye numunelerinin M&K azalma değerleri RSM modellenmesi ile değerlendirildiğinde uyum eksikliği değerinin istatistiksel olarak anlamlı ($p>0,05$) olmaması sebebiyle başarılı şekilde modellenmiştir. ANOVA analizi varyans tablosu değerlendirildiğinde, basınç seviyesi ve uygulama süresi parametrelerinin doğrusal artışının mikroorganizma sayısındaki azalma üzerinde istatistiksel olarak etkili olduğu görülmüştür ($p<0,05$). Şekil 3.2'de M&K yükünün azalmaları 3D yüzey grafikleri sırasıyla gösterilmektedir. 500 MPa basınç seviyesindeki tüm sıcaklık ve süre kombinasyonlarında toplam inaktivasyon elde edilmiştir (Tablo 3.6).

Tablo 3.12 YHB uygulaması sonrası hardaliye numunelerinin M&K azalma değeri için RSM modellemesi ANOVA sonuçları

Kaynak	SD	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F değeri	P değeri
Model	9	8,71698	0,96855	12,86	0,006
P	1	6,54383	6,54383	86,91	0,000
t	1	1,02057	1,02057	13,55	0,014
Hata	5	0,37648	0,07530		
Uyum Eksikliği	3	0,36354	0,12118	18,74	***0,051***
Saf Hata	2	0,01294	0,00647		
Toplam	14	9,09346			

Standart Sapma	R^2	Düzeltilmiş R^2	Tahmini R^2
0,274400	95,86%	88,41%	35,71%



Şekil 3.2 RSM grafikleri: YHB'nin hardaliye örneklerinin M&K azalma değerleri üzerindeki etkisi

Chang vd.'nin [139] üzüm suyuyla yaptığı çalışmada, 300 MPa'da 3 dakikalık uygulamada 1,1 log kob/mL'lik bir azalma tespit edilmiştir ve toplam inaktivasyon seviyesine, uygulanan basınç 600 MPa'ya (>2,0 log) çıkarıldığında ulaşılmıştır. Başka bir çalışmada, ahududu suyuna 2, 5 ve 10 dk boyunca 400 MPa ve üzeri basınç seviyeleri uygulandığında, toplam inaktivasyon 3,19 log kob/mL'lik olarak elde edilmiştir [140]. Şalgamla ilgili bir çalışmaya göre, toplam maya ve küf sayısının, uygulama basıncından bağımsız olarak, artan sıcaklıkla doğrusal olarak arttığı görülmüştür [135]. Uygulama süresi 3 dakikadan 9 dakikaya çıkarıldığında toplam maya ve küf sayısında orantılı bir artış tespit edilmiş; ancak, bu aralığın ötesinde 9 ila 15 dk uygulamalarında, M&K sayısının uygulama süresinin artmasıyla birlikte azalması beklenmektedir.

3.2.2 Fizikokimyasal Özellikler

3.2.2.1 YHB'nin pH, Toplam Çözünür Kuru Madde Miktarı, Titrasyon Asitliği ve İndirgen Şeker Miktarı Üzerindeki Etkisi

Farklı basınç seviyesi, sıcaklık ve işlem süresi kombinasyonlarında YHB işleminden sonra şalgam ve hardaliye numunelerinin pH, toplam çözünür katı madde miktarı (TÇKM), titrasyon asitliği (TA) ve indirgen şeker miktarı (İŞM) analizleri sonuçları Tablo 3.13 ve 3.14'te verilmiştir.

Tablo 3.13 YHB uygulaması sonrası şalgam numunelerinin pH, TÇKM, TA ve İŞM sonuçları

Deneme Deseni	Yanıtlar			
	pH	TÇKM (°Briks)	TA[1] (g lactic acid/L)	İŞM[1] (mg/100 mL)
Kontrol	3,96 ± 0,01^{g}	1,83 ± 0.15^{ef}	2,40 ± 0,21	5,90 ± 0,09
1	3,92 ± 0,01^{h}	3,13 ± 0.06^{b}	4,08 ± 0,21	13,47 ± 0,21
2	4,02 ± 0,01^{f}	1,73 ± 0.06^{fg}	3,12 ± 0,21	8,17 ± 0,07
3	4,05 ± 0,01^{ef}	1,90 ± 0.00^{e}	3,36 ± 0,21	15,12 ± 0,03
4	4,08 ± 0,02^{cde}	1,90 ± 0.00^{e}	2,76 ± 0,21	9,26 ± 0,06
5	4,08 ± 0,03^{de}	1,90 ± 0.00^{e}	4,44 ± 0,21	14,42 ± 0,16
6	4,11 ± 0,00^{bcd}	1,80 ± 0.00^{efg}	2,52 ± 0,00	8,45 ± 0,10
7	4,08 ± 0,01^{cde}	2,90 ± 0.00^{c}	3,24 ± 0,00	11,68 ± 0,02
8	4,12 ± 0,00^{bc}	1,13 ± 0.06^{h}	3,12 ± 0,21	8,84 ± 0,20
9	407 ± 0,00^{e}	3,20 ± 0.00^{b}	3,24 ± 0,00	13,41 ± 0,03
10	4,05 ± 0,02^{ef}	3,50 ± 0,00^{a}	3,12 ± 0,21	14,65 ± 0,11
11	4,17 ± 0,03^{a}	1,23 ± 0,06^{h}	2,92 ± 0,21	8,41 ± 0,09
12	4,08 ± 0,01^{cde}	2,97 ± 0,06^{c}	3,24 ± 0,00	12,57 ± 0,08
13	4,11 ± 0,00^{bcd}	2,10 ± 0,00^{d}	2,56 ± 0,21	7,37 ± 0,11
14	4,13 ± 0,00^{b}	1,87 ± 0,06^{ef}	2,40 ± 0,21	6,78 ± 0,17
15	4,14 ± 0,00^{ab}	1,67 ± 0,06^{g}	2,52 ± 0,00	7,48 ± 0,03

[1]RSM yöntemi uygulanmıştır.

Farklı küçük harfler önemli farklılıkları temsil eder ($p<0,05$).

Tablo 3.14 YHB uygulaması sonrası hardaliye numunelerinin pH, TÇKM, TA ve İŞM sonuçları

Deneme Deseni	Yanıtlar			
	pH	TÇKM (°Briks)	TA[1] ($g_{lactic\ acid}$/L)	İŞM[1] (mg/mL)
Kontrol	3,60 ± 0,00^{c}	20,17 ± 0,06^{a}	8,4 ± 0,21	42,02 ± 0,12
1	3,88 ± 0,01^{ab}	18,50 ± 0,06^{f}	11,04 ± 0,21	36,50 ± 0,20
2	3,90 ± 0,00^{a}	18,27 ± 0,06^{g}	10,08 ± 0,36	39,51 ± 0,12
3	3,85 ± 0,00^{ab}	18,76 ± 0,06^{e}	10,92 ± 0,55	33,18 ± 0,24
4	3,87 ± 0,00^{ab}	18,57 ± 0,06^{f}	10,32 ± 0,21	36,60 ± 0,43
5	3,85 ± 0,00^{ab}	19,55 ± 0,06^{b}	11,52 ± 0,36	41,23 ± 0,53
6	3,67 ± 0,02^{bc}	18,01 ± 0,06^{h}	10,92 ± 0,21	53,17 ± 0,73
7	3,84 ± 0,00^{ab}	17,03 ± 0,06^{j}	11,64 ± 0,21	40,22 ± 0,20
8	3,84 ± 0,00^{ab}	16,77 ± 0,06^{k}	10,56 ± 0,21	51,83 ± 0,24
9	3,84 ± 0,00^{ab}	17,78 ± 0,06^{ı}	10,32 ± 0,21	46,66 ± 0,80
10	3,83 ± 0,00^{ab}	19,25 ± 0,06^{c}	11,28 ± 0,21	43,92 ± 0,12
11	3,83 ± 0,01^{ab}	19,35 ± 0,06^{c}	11,64 ± 0,21	35,63 ± 0,29
12	3,85 ± 0,01^{ab}	18,66 ± 0,06^{ef}	11,40 ± 0,55	44,83 ± 0,38
13	3,85 ± 0,00^{ab}	19,25 ± 0,06^{c}	11,64 ± 0,21	42,04 ± 0,08
14	3,83 ± 0,03^{ab}	18,96 ± 0,06^{d}	12,00 ± 0,21	37,18 ± 0,39
15	3,79 ± 0,00^{ab}	18,76 ± 0,06^{e}	11,88 ± 0,36	42,07 ± 0,29

[1]RSM yöntemi uygulanmıştır.

Farklı küçük harfler önemli farklılıkları temsil eder ($p<0,05$).

Yüksek basınç uygulaması sonrasında elde edilen şalgam ve hardaliye numunelerinin pH analiz sonuçları için RSM modellemesi uygulanmış ve ANOVA çıktıları elde edilmiştir. pH analiz sonuçları RSM modellenmesi ile değerlendirildiğinde uyum eksikliği değerinin $p=0,054>0,05$ (şalgam) ve $p=0,205>0,05$ (hardaliye) olması sebebiyle sonuçlar başarılı şekilde modellenmiştir; ancak elde edilen ANOVA çıktılarında tüm modelleme parametrelerinin istatistiksel olarak önemsiz olduğu belirlenmiştir. Bu nedenle RSM modeline ait 3D yüzey grafikleri gösterilmemiştir.

Yüksek hidrostatik basınç uygulaması sonrasında elde edilen şalgam ve hardaliye numunelerinin TÇKM analiz sonuçları için RSM modellemesi uygulanmış ve ANOVA çıktıları elde edilmiştir. TÇKM analiz sonuçları RSM modellenmesi ile değerlendirildiğinde uyum eksikliği değerinin $p=0,060>0,05$ (şalgam) ve $p=0,057>0,05$ (hardaliye) olması sebebiyle sonuçlar başarılı şekilde modellenmiştir; ancak elde edilen ANOVA çıktılarında tüm modelleme parametrelerinin istatistiksel olarak önemsiz olduğu belirlenmiştir. Bu nedenle RSM modeline ait 3D yüzey grafikleri gösterilmemiştir.

Yenilikçi yöntemlerinden biri olan HHP, birçok çalışmada belirtildiği ve kanıtlandığı üzere istenmeyen kalite değişimlerini önlemek için alternatif bir uygulamadır. Gıda güvenliğini mikrobiyolojik olarak sağlamadaki başarısının yanı sıra, uygulamasının en önemli avantajının meyve sularının fizikokimyasal ve organoleptik özelliklerinde önemli kayıplara neden olmaması olduğu ileri sürülmüştür [134], [141]. Yapılan çalışmalarda, pH ve TÇKM değerlerinin YHB'den hemen sonra çeşitli örnekler için elde ettiğimiz sonuçlara benzer olarak belirgin bir değişim göstermediği tespit edilmiştir. 350-650 MPa ve 5-10 dk uygulaması yapılan papaya suyu [142]; 200-600 MPa, 5-60 dakikada ve 20°C uygulama yapılan karpuz suyu [143]; 450-600 MPa, 3 dakikada ve 20°C uygulama yapılan citrus-maqui içeceği [144]; 200-400 MPa, 2-4 dakikada ve 20°C uygulama yapılan beyaz üzüm suyu [92] örnek olarak verilebilir.

İşlemden hemen sonraki etkilere ek olarak, birçok çalışmadaki farklı ürünlerde bu değerlerin korunmasının depolama süresi boyunca devam ettiği kanıtlanmıştır. pH ve TÇKM parametreleri, 42 gün boyunca 550 MPa-10 dk ve 600 MPa-5 dk'da işlemden geçirilmiş nar içeceği ile yapılan çalışmalarda [141], 4 hafta boyunca 400

MPa - 10 dk - 25 °C uygulama yapılmış maoberry suyu ile yapılan çalışmalarda [145] ve depolama süresi boyunca 500 MPa-10 dk-25 °C işlem uygulanmış kivi suyu ile yapılan çalışmalarda sabit kaldığı analiz sonuçlarıyla gösterilmiştir [88]. RSM varyans tabloları incelendiğinde, bu yapılan çalışmaların sonuçlarıyla da uyumlu olarak, basınçlı şalgam numunelerimizin pH (3,92 ± 0,01−4,17 ± 0,03) ve TÇKM (1,13 ± 0,06−3,50 ± 0,00 °Brix) değerleri (Tablo 3.13) farklı YHB koşulları altında önemli bir değişiklik göstermemiştir ($p>0,05$).

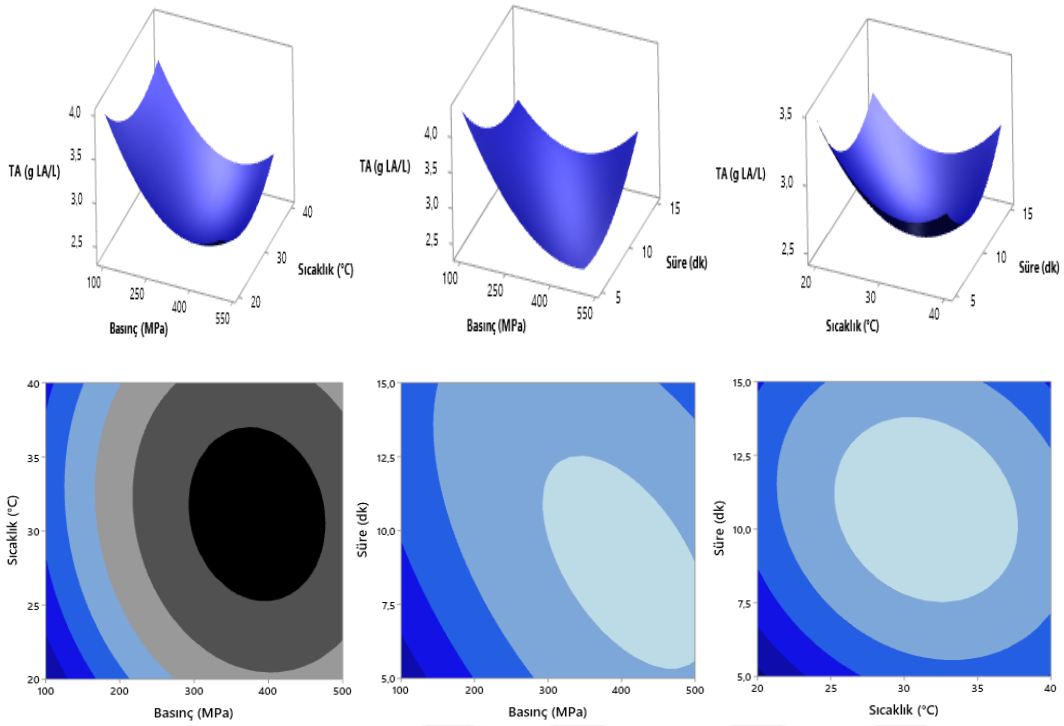
Yüksek hidrostatik basınç uygulaması sonrasında elde edilen şalgam numunelerinin TA analiz sonuçları RSM ile modellenmiş ve ANOVA analiz çıktıları Tablo 3.15'te gösterilmiştir.

Tablo 3.15 YHB uygulaması sonrası şalgam numunelerinin TA için RSM modellemesi ANOVA sonuçları

Kaynak	**SD**	**Kareler Toplamı**	**Kareler Ortalaması**	**F değeri**	**P değeri**
Model	9	4,21723	0,46858	8,76	0,014
P	1	1,62000	1,62000	30,28	0,003
P*P	1	0,99201	0,99201	18,54	0,008
T*T	1	0,37416	0,37416	6,99	0,046
t*t	1	0,37416	0,37416	6,99	0,046
P*t	1	0,81000	0,81000	15,14	0,012
Hata	5	0,26747	0,05349		
Uyum Eksikliği	3	0,25360	0,08453	12,19	***0,077***
Saf Hata	2	0,01387	0,00693		
Toplam	14	4,48469			

Standart Sapma	**R^2**	**Düzeltilmiş R^2**	**Tahmini R^2**
0,231286	94,04%	83,30%	8,83%

Şalgam numunelerinin TA analiz sonuçları RSM modellenmesi ile değerlendirildiğinde uyum eksikliği değerinin istatistiksel olarak anlamlı ($p>0,05$) olmaması sebebiyle başarılı şekilde modellenmiştir.



Şekil 3.3 RSM grafikleri: YHB'nin şalgam örneklerinin TA değerleri üzerindeki etkisi

Yüksek hidrostatik basınç uygulaması sonrasında elde edilen hardaliye numunelerinin TA analiz sonuçları RSM ile modellenmiş ve ANOVA analiz çıktıları Tablo 3.16'da gösterilmiştir.

Tablo 3.16 YHB uygulaması sonrası hardaliye numunelerinin TA için RSM modellemesi ANOVA sonuçları

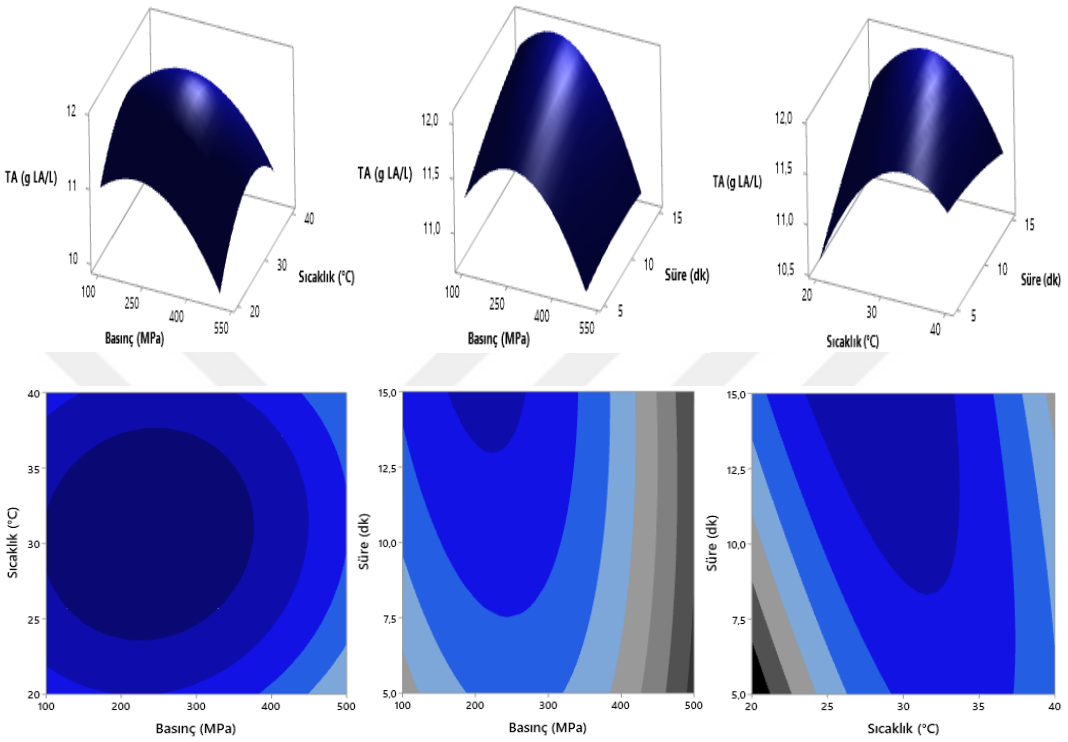
Kaynak	SD	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F değeri	P değeri
Model	9	4,71336	0,52371	5,61	0,036
P	1	1,31220	1,31220	14,06	0,013
P*P	1	1,44231	1,44231	15,45	0,011
T*T	1	1,44231	1,44231	15,45	0,011
Hata	5	0,46680	0,09336		
Uyum Eksikliği	3	0,39960	0,13320	3,96	***0,208***
Saf Hata	2	0,06720	0,03360		
Toplam	14	5,18016			

Standart Sapma	R^2	Düzeltilmiş R^2	Tahmini R^2
0,305549	90,99%	74,77%	0,00%

Hardaliye numunelerinin TA analiz sonuçları RSM modellenmesi ile değerlendirildiğinde uyum eksikliği değerinin istatistiksel olarak anlamlı ($p>0,05$) olmaması sebebiyle başarılı şekilde modellenmiştir.

Şalgam ve hardaliye laktik asit fermentasyon ürünleri olduğu düşünüldüğünde [146], işlem görmemiş örneklerin titrasyon asitliği ölçümleri laktik asit açısından $2,40 \pm 0,21$ g/L ve $8,4 \pm 0,21$ olarak belirlenmiştir. Basınç işleminden sonra şalgam numunesinin TA değerlerinde önemli değişiklikler gözlenmiş ve bu değişiklikler basınç seviyesi, uygulama parametrelerinin kareleri ve basınç-süre etkileşimle ilişkili olduğu tespit edilmiştir ($p<0,05$).

100-500 MPa basınç aralındaki artışla ters orantılı ve 5-15 dakikaya uygulama süresi artışıyla doğru orantılı olan etkileşimin etkisinin sonucu olan TA artışı Şekil 3.3'teki 3D yüzey grafiğinde açıkça görülebilmektedir. Hardaliye numuneleri için elde edilen sonuçların, basıncın doğrusal, basınç ve sıcaklığın karesel kuvvetinin etkisinden etkilendiği tespit edilmiştir (Şekil 3.4).



Şekil 3.4 RSM grafikleri: YHB'nin hardaliye örneklerinin TA değerleri üzerindeki etkisi

Liu vd.'nin [147] yaptığı çalışmadaki deneysel sonuçlarda, 400 MPa ve üzeri basınç uygulamasında çilek sularının TA değerlerinin değişmediğini, ancak bu değerin 300 MPa ve altındaki uygulamada sürenin artışla arttığını vurgulamaktadırlar. Beyaz üzüm suyu [139], bulanık nar suyu [148], elma suyu [149], ve kivi suyunun [88] TA değerlerinin stabilitesi, sırasıyla 600 MPa/ 20 °C/ 3 dk, 300−400 MPa/2,5−25 dk, 200−400 MPa/10 dk ve 500 MPa/10 dk/25 °C koşullarında YHB işleminden sonra kontrol örnekleriyle karşılaştırıldığında korunmuştur. Başka bir çalışmada, mikrofludizasyon aralığında (150−200 MPa/1-3 döngü) yüksek basınç altında şeker kamışı suyu örneklerinin titrasyon asitliği değerleri %0,1−0,26 aralığında hafif düşüşler gözlemlenirken, pH değeri kontrol örneğiyle karşılaştırıldığında 5,2−5,7 aralığında sabit kalmıştır [150].

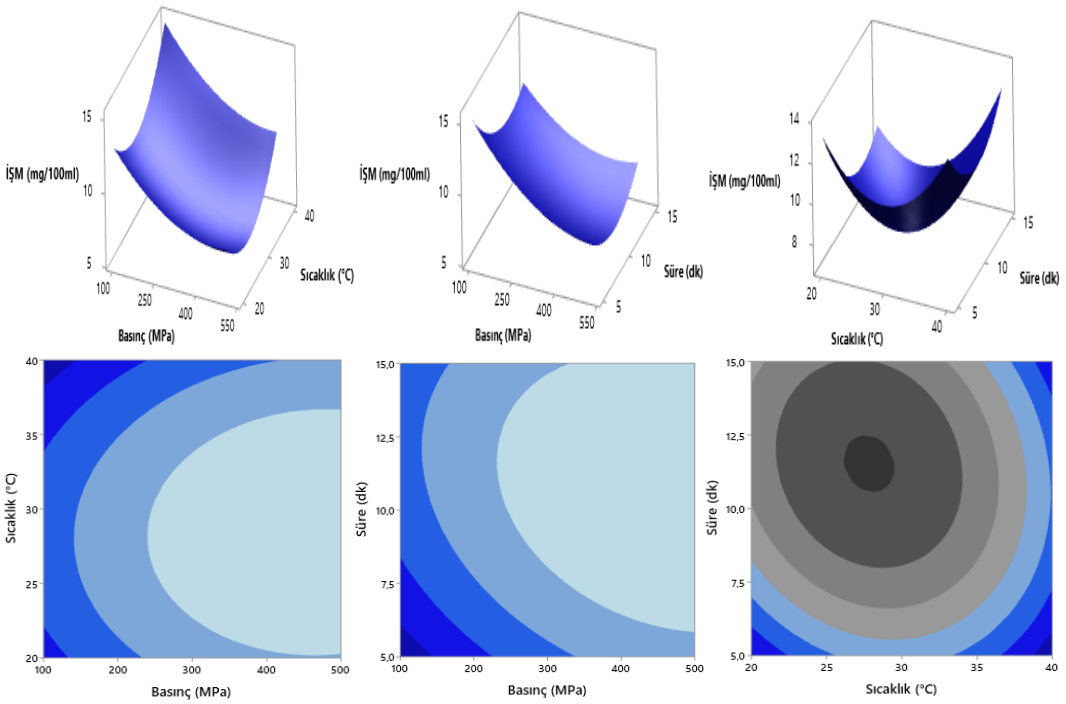
Yüksek hidrostatik basınç uygulaması sonrasında elde edilen şalgam numunelerinin İŞM analiz sonuçları RSM ile modellenmiş ve ANOVA analiz çıktıları Tablo 3.17'de gösterilmiştir.

Tablo 3.17 YHB uygulaması sonrası şalgam numunelerinin İŞM için RSM modellemesi ANOVA sonuçları

Kaynak	**SD**	**Kareler Toplamı**	**Kareler Ortalaması**	**F değeri**	**P değeri**
Model	9	122,852	13,6503	14,69	0,004
P	1	49,880	49,8803	53,70	0,001
T	1	8,281	8,2806	8,91	0,031
t	1	11,068	11,0679	11,91	0,018
P*P	1	7,650	7,6501	8,24	0,035
T*T	1	30,087	30,0867	32,39	0,002
t*t	1	17,824	17,8238	19,19	0,007
Hata	5	4,645	0,9289		
Uyum Eksikliği	3	4,360	1,4534	10,22	***0,090***
Saf Hata	2	0,285	0,1423		
Toplam	14	127,497			

Standart Sapma	**R^2**	**Düzeltilmiş R^2**	**Tahmini R^2**
0,963802	96,36%	89,80%	44,78%

Şalgam numunesinin İŞM analiz sonuçları RSM modellenmesi ile değerlendirildiğinde uyum eksikliği değerinin istatistiksel olarak anlamlı ($p>0,05$) olmaması sebebiyle başarılı şekilde modellenmiştir.



Şekil 3.5 RSM grafikleri: YHB'nin şalgam örneklerinin İŞM değerleri üzerindeki etkisi

YHB parametrelerinin tüm doğrusal ve kare kuvvetleri şalgamın İŞM değerleri üzerinde önemli ölçüde etkilidir ve RSM sonuçlarıyla belirlenmiştir. Basınç ~300 ila 500 MPa, sıcaklık ~25 ila 30 °C ve süre 10−12 dakika olan deneysel koşullar altında, 3D yüzey grafikleri (Şekil 3.5) indirgen şeker değerlerinde minimum bir artış olduğunu göstermektedir. Bu parametre aralıkları haricinde, indirgeyici şeker seviyeleri 40 °C'ye kadar sıcaklık artışı ve her iki basıncın 300'den 100 MPa'ya düşürülmesi ve işlem süresinin 5 dakikaya doğru azalmasıyla daha fazla artış eğilimi göstermektedir.

Yüksek hidrostatik basınç uygulaması sonrasında elde edilen hardaliye numunelerinin İŞM analiz sonuçları RSM ile modellenmiş ve ANOVA analiz çıktıları Tablo 3.18'de gösterilmiştir.

Tablo 3.18 YHB uygulaması sonrası hardaliye numunelerinin İŞM için RSM modellemesi ANOVA sonuçları

Kaynak	SD	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F değeri	P değeri
Model	9	383,679	42,631	2,66	0,147
P	1	112,320	112,320	7,01	0,046
t*t	1	144,146	144,146	9,00	0,030
Hata	5	80,089	16,018		
Uyum Eksikliği	3	64,227	21,409	2,70	***0,282***
Saf Hata	2	15,862	7,931		
Toplam	14	463,768			

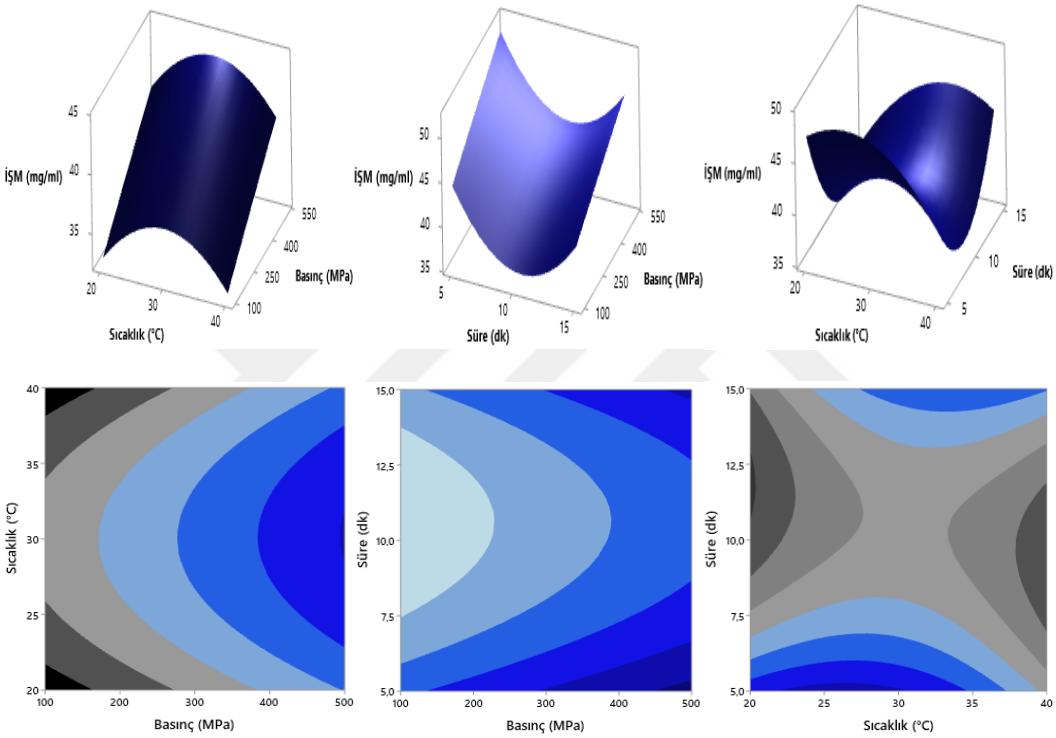
Standart Sapma	R^2	Düzeltilmiş R^2	Tahmini R^2
4,00222	82,73%	51,65%	0,00%

Hardaliye numunelerinin İŞM analiz sonuçları RSM modellenmesi ile değerlendirildiğinde uyum eksikliği değerinin istatistiksel olarak anlamlı ($p>0,05$) olmaması sebebiyle başarılı şekilde modellenmiştir.

Hardaliye numuneleri için YHB parametrelerinden basıncın doğrusal ve sürenin karesel kuvveti İŞM değerleri üzerinde önemli ölçüde etkilidir ve RSM sonuçlarıyla belirlenmiştir. Basıncın minimum ve sürenin orta değerlerde olduğu deneysel koşullar altında, 3D yüzey grafikleri (Şekil 3.6) indirgen şeker değerlerinde minimum seviyeleri; basıncın maksimum ve sürenin uç değerlerde (5 ve 15 dk) olduğu deneysel koşullar altında ise maksimum seviyeleri göstermektedir.

YHB uygulamasından sonra, Çin pirinç şarabı üzerine yapılan önceki çalışmalardan birinde elde edilen deneysel sonuçlara benzer şekilde, elde ettiğimiz sonuçlardaki indirgeyici şeker miktarında bir artış gözlemlenmiştir [151]. Basınç işleminin enzim aktivitesi üzerinde hem artırıcı hem de dengeleyici özelliklere sahip olduğu bilinmesine rağmen, β-glikozidaz, β-galaktozidaz ve α-arabinosidaz

gibi sakkarifikasyon enzimlerinin aktivasyonundaki artışın, indirgeyici şeker miktarındaki artıştan sorumlu olabileceği belirtilmiştir [152], [153]. Bu enzim grubu, antosiyaninleri antosiyanidinlere ve şekerlere parçalar; böylelikle indirgeyici şeker miktarında artışa neden olabilmektedir [152] . Ferreira vd. [112], *Opuntia ficus-indica* (Hint inciri) suyu üzerinde yaptıkları çalışmada, YHB ile muamele edilmiş meyve sularının İŞM değerlerinin, polisakkaritlerin hidrolizi ve basit şekerlere dönüşümü üzerindeki artan enzimatik aktivite nedeniyle 4 °C'de depolama sırasında artış eğilimi gösterdiğini ifade etmişlerdir.



Şekil 3.6 RSM grafikleri: YHB'nin hardaliye örneklerinin İŞM değerleri üzerindeki etkisi

3.2.2.2 YHB'nin Renk Parametreleri Üzerindeki Etkisi

YHB işleminden sonra şalgam numunelerinin L* (parlaklık ve koyuluk), a* (kırmızılık ve yeşil), b* (sarılık ve mavilik), toplam renk farkı (ΔE), renk yoğunluğu/netliği (C*, kroma), renk tonu (h°) değerleri ve spektrofotometrik renk analiz sonuçları (renk yoğunluğu, renk tonu ve sarı-SRT, kırmızı-KRT, mavi-MRT renk bileşenleri yüzdeleri) Tablo 3.19, 3.20 ve 3.21'de verilmiştir.

Tablo 3.19 YHB uygulaması sonrası şalgam numunelerinin L*, a*, b* ve ΔE sonuçları

Deneme Deseni	Yanıtlar			
	L*	**a***	**b*[1]**	**ΔE**
Kontrol	39,48 ± 2,29[a]	53,39 ± 1,28[a]	24,30 ± 0,30	-
1	40,65 ± 1,38[a]	54,32 ± 0,80[a]	24,10 ± 0,50	4,41 ± 1,59[a]
2	40,46 ± 2,54[a]	54,30 ± 0,84[a]	22,00 ± 5,03	6,59 ± 1,48[a]
3	42,38 ± 4,56[a]	54,13 ± 2,86[a]	24,21 ± 0,33	6,42 ± 4,39[a]
4	43,80 ± 0,31[a]	55,32 ± 0,01[a]	24,39 ± 0,45	7,64 ± 0,28[a]
5	42,92 ± 1,27[a]	55,28 ± 0,35[a]	25,77 ± 0,92	7,04 ± 1,07[a]
6	42,31 ±3,27[a]	54,44 ± 0,77[a]	24,59 ± 1,67	6,26 ± 2,80[a]
7	39,21 ± 1,71[a]	54,67 ± 1,14[a]	26,35 ± 0,76	4,09 ± 2,01[a]
8	41,43 ± 1,28[a]	54,76 ± 0,24[a]	25,12 ± 0,92	5,41 ± 1,12[a]
9	40,71 ± 2,89[a]	55,47 ± 0,81[a]	26,39 ± 1,11	5,95 ± 1,62[a]
10	39,32 ± 2,93[a]	55,21 ± 0,98[a]	26,77 ± 0,80	5,12 ± 1,87[a]
11	42,54 ±0,97[a]	53,47 ± 0,23[a]	23,38 ± 0,41	5,89 ± 1,03[a]
12	39,87 ± 2,81[a]	54,84 ± 0,88[a]	26,05 ± 0,98	4,81 ± 2,05[a]
13	40,66 ± 3,43[a]	54,07 ± 0,82[a]	25,06 ± 1,51	4,86 ± 2,69[a]
14	42,84 ± 2,90[a]	54,51 ± 0,46[a]	23,98 ± 2,05	6,73 ± 2,66[a]
15	44,41 ± 0,22[a]	54,14 ± 0,22[a]	21,98 ± 0,47	8,15 ± 0,30[a]

[1]RSM yöntemi uygulanmıştır.

Farklı küçük harfler önemli farklılıkları temsil eder ($p < 0,05$).

Tablo 3.20 YHB uygulaması sonrası şalgam numunelerinin C*, h°, renk yoğunluğu ve renk tonu sonuçları

Deneme Deseni	Yanıtlar			
	C*[1]	h°[1]	Renk yoğunluğu	Renk Tonu
Kontrol	58,66 ± 1,20	0,43 ± 0,01	10,63 ± 0,03^{fgh}	0,357 ± 0,002^{ab}
1	59,43 ± 0,77	0,42 ± 0,01	18,11 ± 0,25^{b}	0,345 ± 0,005^{bcd}
2	58,69 ± 2,56	0,38 ± 0,08	10,60 ± 0,21^{fgh}	0,355 ± 0,007^{abc}
3	59,30 ± 2,70	0,42 ± 0,02	10,85 ± 0,09^{fg}	0,348 ± 0,002^{bcd}
4	60,46 ± 0,18	0,42 ± 0,01	10,33 ± 0,09^{ghı}	0,345 ± 0,003^{bcd}
5	61,00 ± 0,07	0,44 ± 0,02	10,50 ± 0,07^{fgh}	0,344 ± 0,001^{bcd}
6	59,75 ± 0,13	0,42 ± 0,03	10,12 ± 0,05^{hı}	0,342 ± 0,004^{bcd}
7	60,69 ± 1,34	0,45 ± 0,00	16,51 ± 0,17^{d}	0,341 ± 0,002^{bcd}
8	60,25 ± 0,18	0,43 ± 0,02	12,61 ± 0,17^{e}	0,343 ± 0,002^{bcd}
9	61,44 ± 0,34	0,44 ± 0,02	18,39 ± 0,22^{b}	0,341 ± 0,006^{bcd}
10	61,37 ± 0,66	0,45 ± 0,02	19,73 ± 0,19^{a}	0,338 ± 0,000^{cd}
11	58,36 ± 0,21	0,41 ± 0,01	10,51 ± 0,14^{fgh}	0,344 ± 0,006^{bcd}
12	60,62 ± 0,44	0,44 ± 0,02	17,43 ± 0,45^{c}	0,348 ± 0,014^{bcd}
13	59,61 ± 0,48	0,43 ± 0,03	12,55 ± 0,11^{e}	0,341 ± 0,003^{bcd}
14	59,57 ± 0,49	0,41 ± 0,03	10,95 ± 0,09^{f}	0,335 ± 0,001^{d}
15	58,44 ± 0,33	0,39 ± 0,01	9,99 ± 0,16^{ı}	0,373 ± 0,013^{a}

[1]RSM yöntemi uygulanmıştır.

Farklı küçük harfler önemli farklılıkları temsil eder ($p < 0,05$).

Tablo 3.21 YHB uygulaması sonrası şalgam numunelerinin SRT, KRT ve MRT sonuçları

Deneme Deseni	Yanıtlar		
	SRT (%)	KRT (%)	MRT (%)[1]
Kontrol	25,07 ± 0,08^{b}	70,06 ± 0,15^{bc}	4,87 ± 0,10
1	24,45 ± 0,18^{bcd}	70,80 ± 0,46^{abc}	4,75 ± 0,27
2	24,85 ± 0,25^{bc}	69,94 ± 0,66^{bc}	5,21 ± 0,43
3	24,53 ± 0,11^{bcd}	70,52 ± 0,48^{abc}	4,94 ± 0,56
4	24,46 ± 0,11^{bcd}	70,87 ± 0,28^{abc}	4,67 ± 0,17
5	24,42 ± 0,06^{bcd}	70,98 ± 0,16^{abc}	4,60 ± 0,15
6	24,30 ± 0,20^{bcd}	71,16 ± 0,35^{ab}	4,54 ± 0,15
7	24,27 ± 0,06^{bcd}	71,23 ± 0,17^{ab}	4,49 ± 0,11
8	24,37 ± 0,06^{bcd}	71,12 ± 0,32^{ab}	4,51 ± 0,26
9	24,27 ± 0,24^{bcd}	71,15 ± 0,57^{ab}	4,58 ± 0,33
10	24,08 ± 0,09^{cd}	71,25 ± 0,27^{ab}	4,67 ± 0,36
11	24,42 ± 0,24^{bcd}	71,01 ± 0,63^{abc}	4,56 ± 0,41
12	24,65 ± 0,73^{bcd}	70,88 ± 0,82^{abc}	4,47 ± 0,12
13	24,23 ± 0,12^{cd}	71,09 ± 0,38^{ab}	4,68 ± 0,28
14	23,99 ± 0,11^{d}	71,53 ± 0,14^{a}	4,47 ± 0,25
15	25,93 ± 0,62^{a}	69,63 ± 0,75^{c}	4,43 ± 0,16

[1]RSM yöntemi uygulanmıştır.

Farklı küçük harfler önemli farklılıkları temsil eder ($p < 0,05$).

YHB işleminden sonra hardaliye numunelerinin L* (parlaklık ve koyuluk), a* (kırmızılık ve yeşil), b* (sarılık ve mavilik), toplam renk farkı (ΔE), renk yoğunluğu/netliği (C*, kroma), renk tonu (h°) değerleri ve spektrofotometrik renk analiz sonuçları (renk yoğunluğu, renk tonu ve sarı-SRT, kırmızı-KRT, mavi-MRT renk bileşenleri yüzdeleri) Tablo 3.22, 3.23 ve 3.24'te verilmiştir.

Tablo 3.22 YHB uygulaması sonrası hardaliye numunelerinin L*, a*, b* ve ΔE sonuçları

Deneme Deseni	Yanıtlar			
	L*	a*[1]	b*[1]	ΔE[1]
Kontrol	46,53 ± 0,39^{cde}	31,39 ± 0,23	6,72 ± 0,10	-
1	46,51 ± 0,62^{cde}	28,51 ± 0,16	7,77 ± 0,11	3,11 ± 0,11
2	45,00 ± 0,73^{e}	29,14 ± 0,46	8,37 ± 0,06	3,24 ± 0,51
3	47,38 ± 1,45^{bcd}	26,60 ± 0,63	8,42 ± 0,22	5,28 ± 0,78
4	46,15 ± 0,94^{cde}	26,76 ± 0,11	8,95 ± 0,05	5,22 ± 0,07
5	47,77 ± 0,29^{abcd}	27,68 ± 0,32	7,86 ± 0,06	4,09 ± 0,31
6	47,18 ± 0,27^{cde}	28,29 ± 0,16	8,76 ± 0,10	3,78 ± 0,07
7	48,61 ± 0,97^{abc}	27,77 ± 0,70	8,00 ± 0,25	4,41 ± 0,93
8	48,04 ± 0,36^{abcd}	28,63 ± 0,13	8,79 ± 0,16	3,78 ± 0,12
9	48,40 ± 0,90^{abc}	27,84 ± 0,29	8,11 ± 0,14	4,31 ± 0,40
10	48,32 ± 0,52^{abcd}	29,08 ± 0,82	7,69 ± 0,26	3,12 ± 0,80
11	47,04 ± 0,21^{cde}	29,98 ± 0,37	8,00 ± 0,21	2,00 ± 0,20
12	47,75 ± 0,50^{abcd}	27,73 ± 0,68	8,50 ± 0,30	4,29 ± 0,53
13	49,47 ± 0,55^{ab}	27,38 ± 0,27	7,55 ± 0,11	5,05 ± 0,52
14	49,72 ± 1,10^{a}	27,35 ± 0,41	7,64 ± 0,35	5,26 ± 1,00
15	49,60 ± 0,49^{a}	27,90 ± 0,25	8,10 ± 0,17	4,86 ± 0,34

[1]RSM yöntemi uygulanmıştır.

Farklı küçük harfler önemli farklılıkları temsil eder ($p < 0,05$).

Tablo 3.23 YHB uygulaması sonrası hardaliye numunelerinin C*, h°, renk yoğunluğu ve renk tonu sonuçları

Deneme Deseni	Yanıtlar			
	C*[1]	h°[1]	Renk yoğunluğu[1]	Renk Tonu
Kontrol	32,10 ± 0,24	0,21 ± 0,00	3,50 ± 0,01	0,989 ± 0,002[a]
1	29,55 ± 0,16	0,27 ± 0,00	2,82 ± 0,01	0,842 ± 0,002[de]
2	30,32 ± 0,46	0,28 ± 0,00	2,98 ± 0,01	0,868 ± 0,008[c]
3	27,90 ± 0,66	0,31 ± 0,00	2,71 ± 0,00	0,863 ± 0,003[c]
4	28,21 ± 0,12	0,32 ± 0,00	2,90 ± 0,01	0,904 ± 0,004[b]
5	28,78 ± 0,32	0,28 ± 0,00	2,86 ± 0,02	0,825 ± 0,003[ef]
6	29,61 ± 0,18	0,30 ± 0,00	2,64 ± 0,00	0,866 ± 0,002[c]
7	28,90 ± 0,74	0,28 ± 0,00	2,43 ± 0,01	0,854 ± 0,000[cd]
8	29,95 ± 0,17	0,30 ± 0,00	3,30 ± 0,00	0,899 ± 0,005[b]
9	29,00 ± 0,31	0,28 ± 0,00	3,25 ± 0,02	0,911 ± 0,002[b]
10	30,08 ± 0,85	0,26 ± 0,00	2,87 ± 0,01	0,842 ± 0,006[de]
11	31,03 ± 0,41	0,26 ± 0,00	2,78 ± 0,01	0,821 ± 0,001[f]
12	29,00 ± 0,73	0,30 ± 0,01	2,87 ± 0,01	0,864 ± 0,001c
13	28,41 ± 0,29	0,27 ± 0,00	2,71 ± 0,01	0,869 ± 0,009[c]
14	28,40 ± 0,40	0,27 ± 0,01	2,65 ± 0,01	0,852 ± 0,002[cd]
15	29,06 ± 0,20	0,28 ± 0,01	2,75 ± 0,01	0,845 ± 0,007[d]

[1]RSM yöntemi uygulanmıştır.

Farklı küçük harfler önemli farklılıkları temsil eder ($p < 0,05$).

Tablo 3.24 YHB uygulaması sonrası hardaliye numunelerinin SRT, KRT ve MRT sonuçları

Deneme Deseni	Yanıtlar		
	SRT (%)	KRT (%)	MRT (%)
Kontrol	$43,23 \pm 0,09^{a}$	$43,69 \pm 0,09^{ı}$	$13,08 \pm 0,04^{fg}$
1	$39,72 \pm 0,03^{defg}$	$47,15 \pm 0,05^{b}$	$13,13 \pm 0,01^{fg}$
2	$39,92 \pm 0,12^{cdef}$	$45,97 \pm 0,27$	$14,11 \pm 0,015^{c}$
3	$40,30 \pm 0,03^{bc}$	$46,69 \pm 0,12^{cd}$	$13,01 \pm 0,08^{fg}$
4	$40,68 \pm 0,14^{b}$	$44,99 \pm 0,08^{g}$	$14,33 \pm 0,12^{c}$
5	$39,4 \pm 0,06^{hı}$	$47,82 \pm 0,20^{a}$	$12,75 \pm 0,24^{gh}$
6	$40,32 \pm 0,08^{bc}$	$46,56 \pm 0,04^{cde}$	$13,13 \pm 0,08^{fg}$
7	$40,02 \pm 0,01^{cdef}$	$46,88 \pm 0,00^{bc}$	$13,09 \pm 0,01^{fg}$
8	$39,70 \pm 0,10^{defg}$	$44,16 \pm 0,14^{h}$	$16,14 \pm 0,09^{a}$
9	$40,22 \pm 0,02^{bcd}$	$44,14 \pm 0,08^{h}$	$15,63 \pm 0,07^{b}$
10	$39,65 \pm 0,20^{efgh}$	$47,12 \pm 0,08^{b}$	$13,23 \pm 0,14^{ef}$
11	$39,48 \pm 0,05^{ghı}$	$48,07 \pm 0,08^{a}$	$12,46 \pm 0,13^{h}$
12	$40,03 \pm 0,01^{cdef}$	$46,31 \pm 0,09^{def}$	$13,65 \pm 0,11^{d}$
13	$40,17 \pm 0,31^{bcde}$	$46,21 \pm 0,13^{ef}$	$13,62 \pm 0,18^{de}$
14	$39,60 \pm 0,10^{fghı}$	$46,47 \pm 0,02^{cde}$	$13,92 \pm 0,10^{cd}$
15	$39,28 \pm 0,16^{ı}$	$46,49 \pm 0,03^{cde}$	$14,23 \pm 0,09^{c}$

[1]RSM yöntemi uygulanmıştır.

Farklı küçük harfler önemli farklılıkları temsil eder ($p < 0,05$).

Yüksek hidrostatik basınç uygulaması sonrasında elde edilen şalgam numunelerinin L* analiz sonuçları için RSM modellemesi uygulanmış ve ANOVA çıktıları elde edilmiştir. L* analiz sonuçları RSM modellenmesi ile değerlendirildiğinde uyum eksikliği değerinin p=0,416>0,05 olması sebebiyle sonuçlar başarılı şekilde modellenmiştir; ancak elde edilen ANOVA çıktılarında tüm modelleme parametrelerinin istatistiksel olarak önemsiz olduğu belirlenmiştir. Bu nedenle RSM modeline ait 3D yüzey grafikleri gösterilmemiştir.

Yüksek hidrostatik basınç uygulaması sonrasında elde edilen hardaliye numunelerinin L* analiz sonuçları RSM ile modellenmiş ve ANOVA analiz çıktıları Tablo 3.25'te gösterilmiştir.

Tablo 3.25 YHB uygulaması sonrası hardaliye numunelerinin L* için RSM modellemesi ANOVA sonuçları

Kaynak	**SD**	**Kareler Toplamı**	**Kareler Ortalaması**	**F değeri**	**P değeri**
Model	9	22,1573	2,4619	5,53	0,037
P*P	1	10,1133	10,1133	22,71	0,005
T*T	1	10,4005	10,4005	23,36	0,005
Hata	5	2,2262	0,4452		
Uyum Eksikliği	3	2,1950	0,7317	46,80	***0,021***
Saf Hata	2	0,0313	0,0156		
Toplam	14	24,3836			

Standart Sapma	**R^2**	**Düzeltilmiş R^2**	**Tahmini R^2**
0,667266	90,87%	74,44%	0,00%

Hardaliye numunelerinin L* analiz sonuçları RSM modellenmesinde uyum eksikliği değerinin p=0,021<0,05 olması sebebiyle değerler başarılı şekilde modellenememiştir.

Yüksek hidrostatik basınç uygulaması sonrasında elde edilen şalgam numunelerinin a* analiz sonuçları için RSM modellemesi uygulanmış ve ANOVA çıktıları elde edilmiştir. a* analiz sonuçları RSM modellenmesi ile değerlendirildiğinde uyum eksikliği değerinin p=0,144>0,05 olması sebebiyle sonuçlar başarılı şekilde modellenmiştir; ancak elde edilen ANOVA çıktılarında tüm modelleme parametrelerinin istatistiksel olarak önemsiz olduğu belirlenmiştir. Bu nedenle RSM modeline ait 3D yüzey grafikleri gösterilmemiştir.

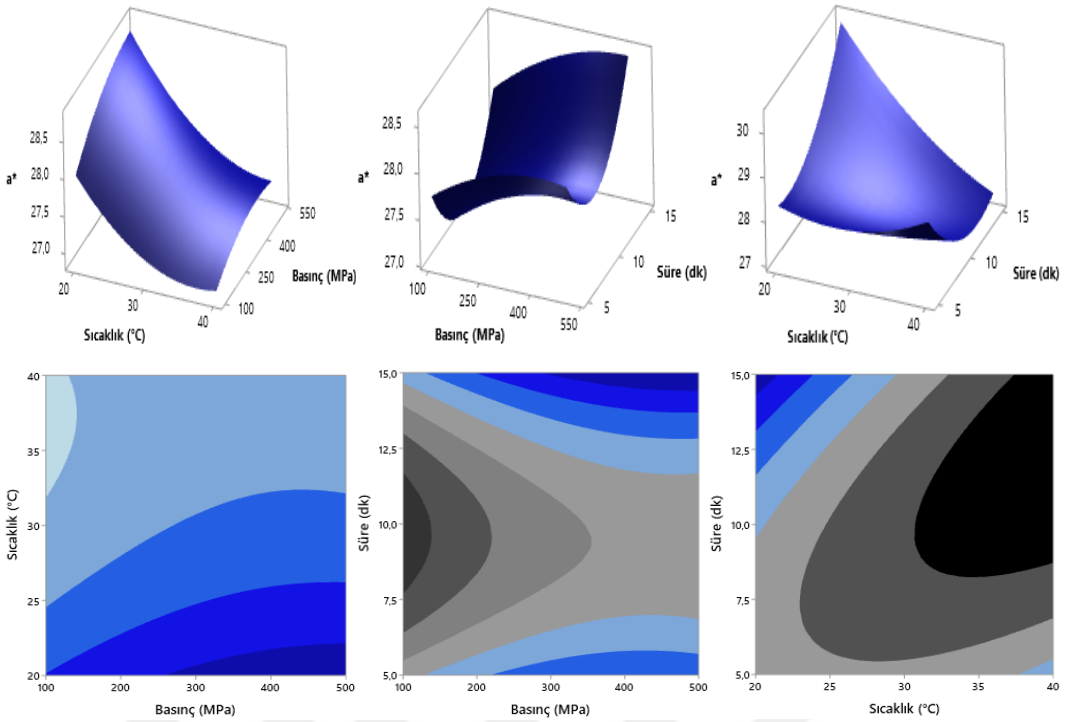
Yüksek hidrostatik basınç uygulaması sonrasında elde edilen hardaliye numunelerinin a* analiz sonuçları RSM ile modellenmiş ve ANOVA analiz çıktıları Tablo 3.26'da gösterilmiştir.

Tablo 3.26 YHB uygulaması sonrası hardaliye numunelerinin a* için RSM modellemesi ANOVA sonuçları

Kaynak	**SD**	**Kareler Toplamı**	**Kareler Ortalaması**	**F değeri**	**P değeri**
Model	9	10,0554	1,11726	3,46	0,093
T	1	3,5157	3,51567	10,88	0,022
T*t	1	3,0450	3,04502	9,42	0,028
Hata	5	1,6161	0,32322		
Uyum Eksikliği	3	1,4235	0,47451	4,93	***0,173***
Saf Hata	2	0,1926	0,09628		
Toplam	14	11,6715			

Standart Sapma	**R^2**	**Düzeltilmiş R^2**	**Tahmini R^2**
0,568522	86,15%	61,23%	0,00%

Hardaliye numunelerinin a* analiz sonuçları RSM modellenmesi ile değerlendirildiğinde uyum eksikliği değerinin istatistiksel olarak anlamlı (p>0,05) olmaması sebebiyle başarılı şekilde modellenmiştir.



Şekil 3.7 RSM grafikleri: YHB'nin hardaliye örneklerinin a* değerleri üzerindeki etkisi

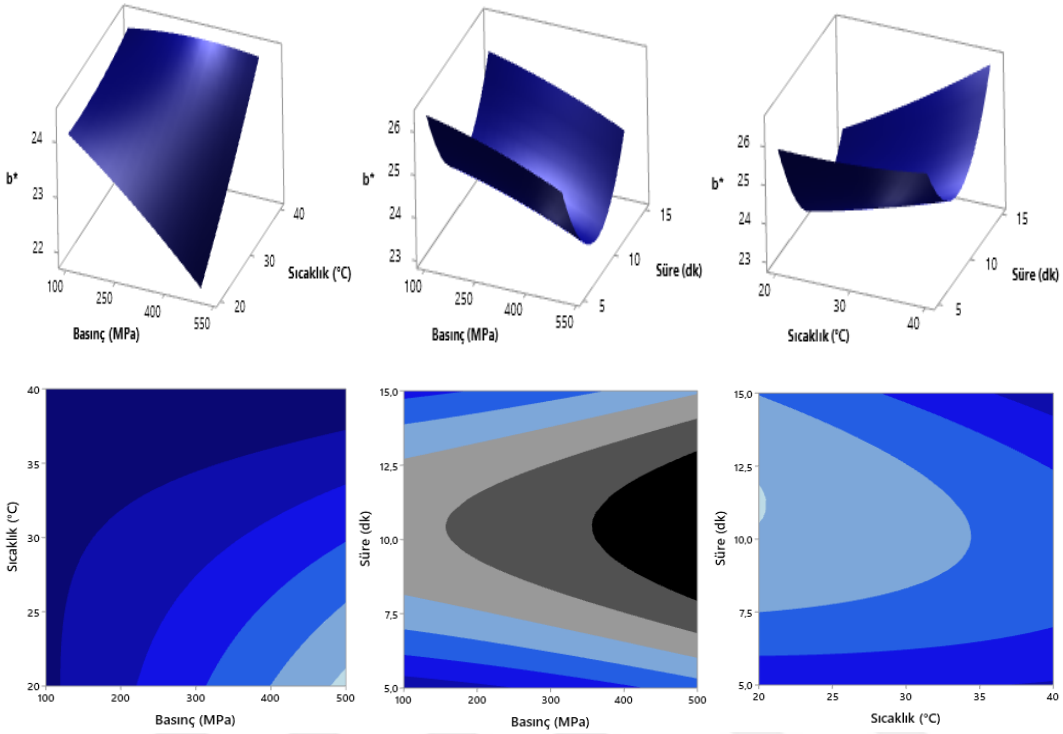
Yüksek hidrostatik basınç uygulaması sonrasında elde edilen şalgam numunelerinin b* analiz sonuçları RSM ile modellenmiş ve ANOVA analiz çıktıları Tablo 3.27'de gösterilmiştir.

Tablo 3.27 YHB uygulaması sonrası şalgam numunelerinin b* için RSM modellemesi ANOVA sonuçları

Kaynak	**SD**	**Kareler Toplamı**	**Kareler Ortalaması**	**F değeri**	**P değeri**
Model	9	22,9234	2,5470	1,62	0,311
t*t	1	13,0135	13,0135	8,25	0,035
Hata	5	7,8844	1,5769		
Uyum Eksikliği	3	2,9909	0,9970	0,41	***0,766***
Saf Hata	2	4,8935	2,4468		
Toplam	14	30,8078			

Standart Sapma	**R^2**	**Düzeltilmiş R^2**	**Tahmini R^2**
1,25574	74,41%	28,34%	0,00%

Şalgam numunelerinin b* analiz sonuçları RSM modellenmesi ile değerlendirildiğinde uyum eksikliği değerinin istatistiksel olarak anlamlı ($p>0,05$) olmaması sebebiyle başarılı şekilde modellenmiştir.



Şekil 3.8 RSM grafikleri: YHB'nin şalgam örneklerinin b* değerleri üzerindeki etkisi

Yüksek hidrostatik basınç uygulaması sonrasında elde edilen şalgam numunelerinin b* analiz sonuçları RSM ile modellenmiş ve ANOVA analiz çıktıları Tablo 3.28'de gösterilmiştir.

Tablo 3.28 YHB uygulaması sonrası şalgam numunelerinin b* için RSM modellemesi ANOVA sonuçları

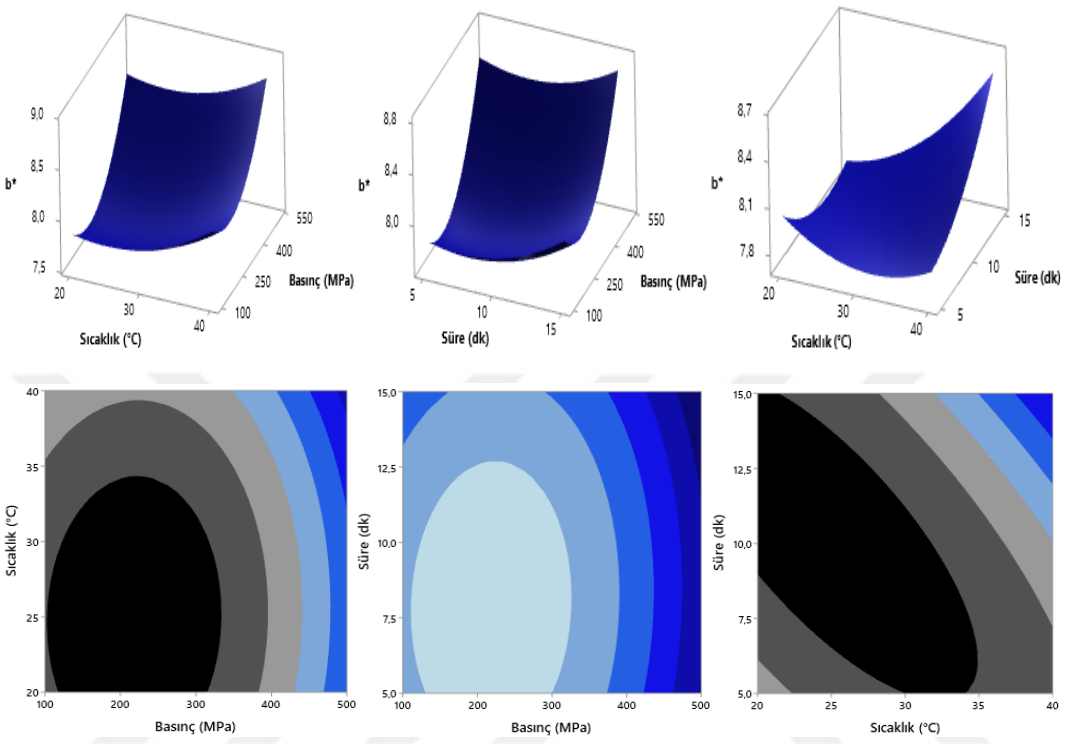
Kaynak	SD	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F değeri	P değeri
Model	9	2,35192	0,261325	3,17	0,109
P	1	0,99640	0,996401	12,07	0,018
P*P	1	0,72889	0,728889	8,83	0,031
Hata	5	0,41282	0,082564		
Uyum Eksikliği	3	0,23733	0,079108	0,90	***0,564***
Saf Hata	2	0,17550	0,087748		
Toplam	14	2,76474			

Standart Sapma	R^2	Düzeltilmiş R^2	Tahmini R^2
0,287340	85,07%	58,19%	0,00%

Hardaliye numunelerinin b* analiz sonuçları RSM modellenmesi ile değerlendirildiğinde uyum eksikliği değerinin istatistiksel olarak anlamlı ($p>0,05$) olmaması sebebiyle başarılı şekilde modellenmiştir.

Kalite parametrelerinin çoğunda hiç veya minimal etkiye sahip olan YHB, beklentileri karşılayarak şalgamın renk kalitesi özelliklerinde de aynı eğilimi göstermiştir. RSM sonuçları değerlendirildiğinde, basınçlama işleminde kullanılan üç parametre açısından temel renk parametrelerinin L* (39,21±1,71 − 42,92±1,27) ve a* (53,39±1,28 − 55,47±0,81) değerlerinde önemli bir değişiklik gözlemlenmemiştir ($p>0,05$); ancak b* (21,98 ± 0,47−26,77 ± 0,80) değerlerinde zamanın karesiyle önemli bir değişiklik gözlemlenmiştir ($p<0,05$) (Şekil 3.8). Hardaliyenin renk kalitesi üzerinde YHB'ın gözle fark edilemeyecek fakat istatistiksel olarak anlamlı değişikliklere sebep olmuştur. L* (45,00±0,73 − 49,60±0,49) değerlerinde önemli bir değişiklik gözlemlenmemiştir ($p>0,05$); ancak a* (26,76±0,11 – 29,98±0,37) değerlerinde sıcaklıkla doğrusal olarak ve sıcaklık-süre etkileşimiyle ve ayrıca b* (7,55±0,11− 8,95±0,05) değerlerinde basınçla

doğrusal olarak ve basıncın karesiyle önemli bir değişiklik gözlemlenmiştir ($p<0,05$) (Şekil 3.7 ve 3.9). a* değerindeki düşüş sıcaklığın düşüşü ve sürenin artışı ile minimum seviyede elde edilmiş; b* değerindeki artış ise uygulama süresinin 5 ve 15 dk olduğu koşullarda maksimum seviyede olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 3.9 RSM grafikleri: YHB'nin hardaliye örneklerinin b* değerleri üzerindeki etkisi

Bazı çalışmalarda özellikle elma suyu[154], karışık balkabağı-mango-hünnap suyu [155], portakal suyu [156], ve limon otu-limon karışımı içecekler [157] gibi farklı ürünlere odaklanılmıştır; basınç uygulamasının bu üç renk parametresi üzerinde etkisi gözlenmemiştir. Ancak, en yüksek a* ve b* değerleri, fermente nar içeceği için 5 dakika boyunca 600 MPa'da YHB uygulamasından hemen sonra (24,51 ve 11,23) elde edilmiştir, bunu 550 MPa-10 dakika (23,99 ve 10,56) ve 500 MPa-10 dakika (23,97 ve 10,49) izlemiştir [141]. Ayrıca, çilek suyunun a* ve b* değerlerinde 400 MPa'da basınçlamadan sonra düşüşler görülmüştür; ancak bu değerler basınç seviyesinden bağımsız olarak uygulama süresine göre de artmıştır [147].

Yüksek hidrostatik basınç uygulaması sonrasında elde edilen şalgam numunelerinin ΔE analiz sonuçları için RSM modellemesi uygulanmış ve ANOVA çıktıları elde edilmiştir. ΔE analiz sonuçları RSM modellenmesi ile değerlendirildiğinde uyum eksikliği değerinin p=0,640>0,05 olması sebebiyle sonuçlar başarılı şekilde modellenmiştir; ancak elde edilen ANOVA çıktılarında tüm modelleme parametrelerinin istatistiksel olarak önemsiz olduğu belirlenmiştir. Bu nedenle RSM modeline ait 3D yüzey grafikleri gösterilmemiştir.

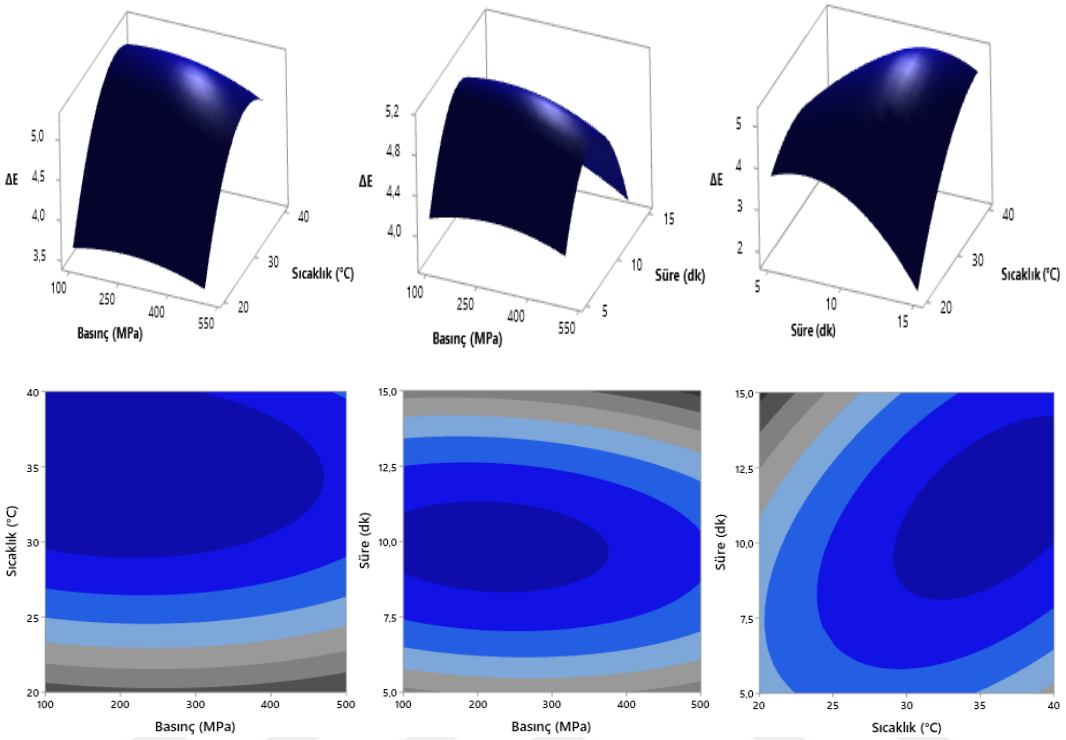
Yüksek hidrostatik basınç uygulaması sonrasında elde edilen hardaliye numunelerinin ΔE analiz sonuçları RSM ile modellenmiş ve ANOVA analiz çıktıları Tablo 3.29'da gösterilmiştir.

Tablo 3.29 YHB uygulaması sonrası hardaliye numunelerinin ΔE için RSM modellemesi ANOVA sonuçları

Kaynak	**SD**	**Kareler Toplamı**	**Kareler Ortalaması**	**F değeri**	**P değeri**
Model	9	11,2904	1,25449	3,83	0,077
T	1	3,4443	3,44430	10,51	0,023
t*t	1	3,0666	3,06663	9,36	0,028
T*t	1	3,0207	3,02067	9,22	0,029
Hata	5	1,6378	0,32757		
Uyum Eksikliği	3	1,5580	0,51932	13,00	***0,072***
Saf Hata	2	0,0799	0,03994		
Toplam	14	12,9282			

Standart Sapma	**R^2**	**Düzeltilmiş R^2**	**Tahmini R^2**
0,572335	87,33%	64,53%	0,00%

Hardaliye numunelerinin ΔE analiz sonuçları RSM modellenmesi ile değerlendirildiğinde uyum eksikliği değerinin istatistiksel olarak anlamlı (p>0,05) olmaması sebebiyle başarılı şekilde modellenmiştir.



Şekil 3.10 RSM grafikleri: YHB'nin hardaliye örneklerinin ΔE değerleri üzerindeki etkisi

Diğer renk parametrelerinin incelenmesi açısından, çeşitli koşullar arasında şalgamın ΔE değerlerinde önemli bir fark bulunmamıştır (p>0,05); bunun aksine hardaliye için sıcaklığın doğrusal etkisi, sürenin karesel kuvveti ve sıcaklık-süre etkileşimi değerler üzerinde anlamlı değişimlere sebep olmuştur (Şekil 3.10). Quiroz-González vd. [158] ve Xu vd. [88] benzer şekilde, pitaya ve kivi suyu gibi ürünler için sırasıyla 16, 12 dk/500 MPa ve 10 dakika/25 °C/550, 600 MPa koşullarında YHB uygulamasından hemen sonra ΔE değerlerinin sabit kaldığı vurgulamıştır.

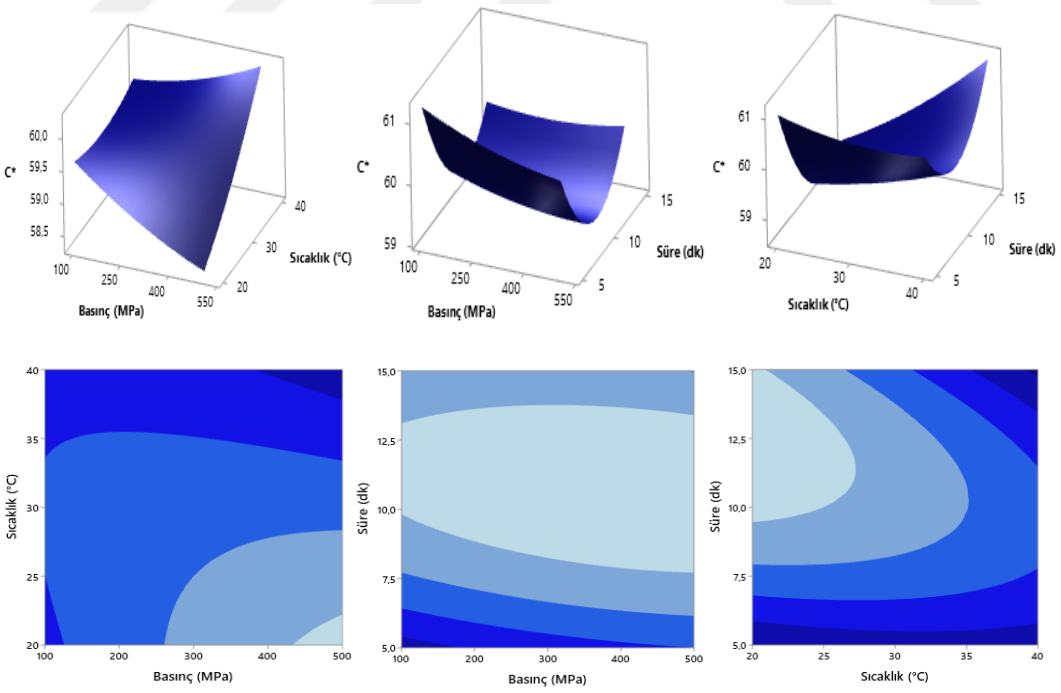
Yüksek hidrostatik basınç uygulaması sonrasında elde edilen şalgam numunelerinin C* analiz sonuçları RSM ile modellenmiş ve ANOVA analiz çıktıları Tablo 3.30'da gösterilmiştir.

Tablo 3.30 YHB uygulaması sonrası şalgam numunelerinin C* için RSM modellemesi ANOVA sonuçları

Kaynak	SD	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F değeri	P değeri
Model	9	10,7798	1,19776	1,76	0,278
t*t	1	4,5267	4,52670	6,63	0,050
Hata	5	3,4114	0,68229		
Uyum Eksikliği	3	2,5174	0,83913	1,88	***0,366***
Saf Hata	2	0,8940	0,44702		
Toplam	14	14,1913			

Standart Sapma	R^2	Düzeltilmiş R^2	Tahmini R^2
0,826005	75,96%	32,69%	0,00%

Şalgam numunelerinin C* analiz sonuçları RSM modellenmesi ile değerlendirildiğinde uyum eksikliği değerinin istatistiksel olarak anlamlı ($p>0,05$) olmaması sebebiyle başarılı şekilde modellenmiştir.



Şekil 3.11 RSM grafikleri: YHB'nin şalgam örneklerinin C* değerleri üzerindeki etkisi

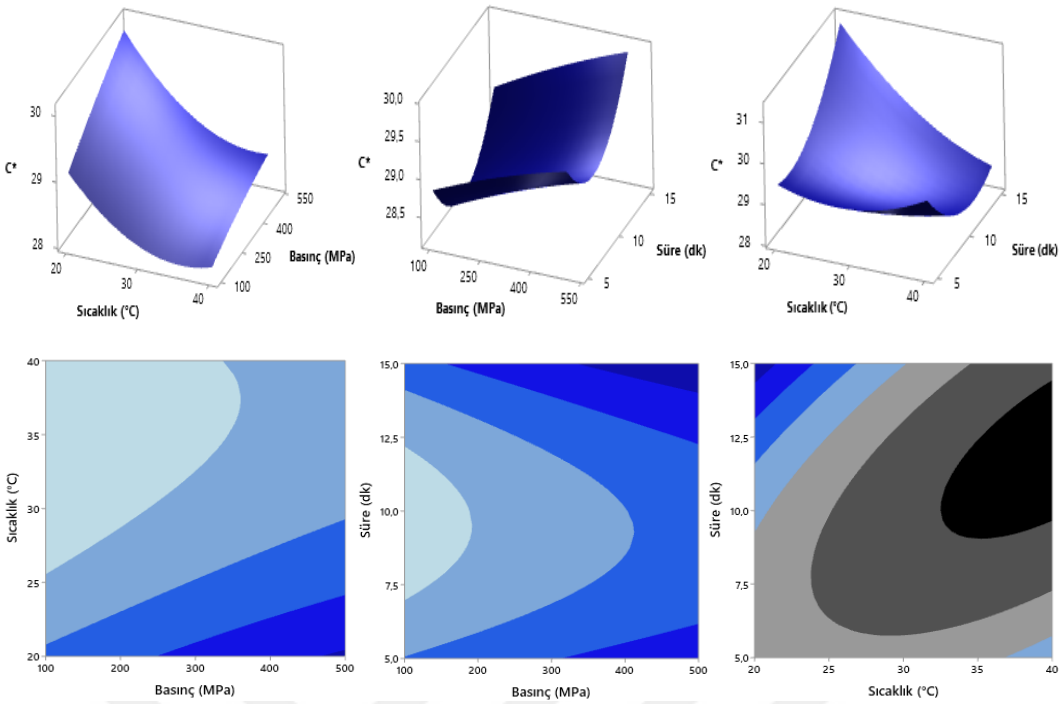
Yüksek hidrostatik basınç uygulaması sonrasında elde edilen hardaliye numunelerinin C* analiz sonuçları RSM ile modellenmiş ve ANOVA analiz çıktıları Tablo 3.31'de gösterilmiştir.

Tablo 3.31 YHB uygulaması sonrası hardaliye numunelerinin C* için RSM modellemesi ANOVA sonuçları

Kaynak	**SD**	**Kareler Toplamı**	**Kareler Ortalaması**	**F değeri**	**P değeri**
Model	9	9,1403	1,01559	3,66	0,083
T	1	2,7582	2,75823	9,94	0,025
t*t	1	1,9998	1,99983	7,21	0,044
T*t	1	2,4120	2,41196	8,69	0,032
Hata	5	1,3876	0,27752		
Uyum Eksikliği	3	1,1020	0,36735	2,57	***0,292***
Saf Hata	2	0,2856	0,14279		
Toplam	14	10,5279			

Standart Sapma	**R^2**	**Düzeltilmiş R^2**	**Tahmini R^2**
0,526805	86,82%	63,09%	0,00%

Hardaliye numunelerinin C* analiz sonuçları RSM modellenmesi ile değerlendirildiğinde uyum eksikliği değerinin istatistiksel olarak anlamlı ($p>0,05$) olmaması sebebiyle başarılı şekilde modellenmiştir.



Şekil 3.12 RSM grafikleri: YHB'nin hardaliye örneklerinin C* değerleri üzerindeki etkisi

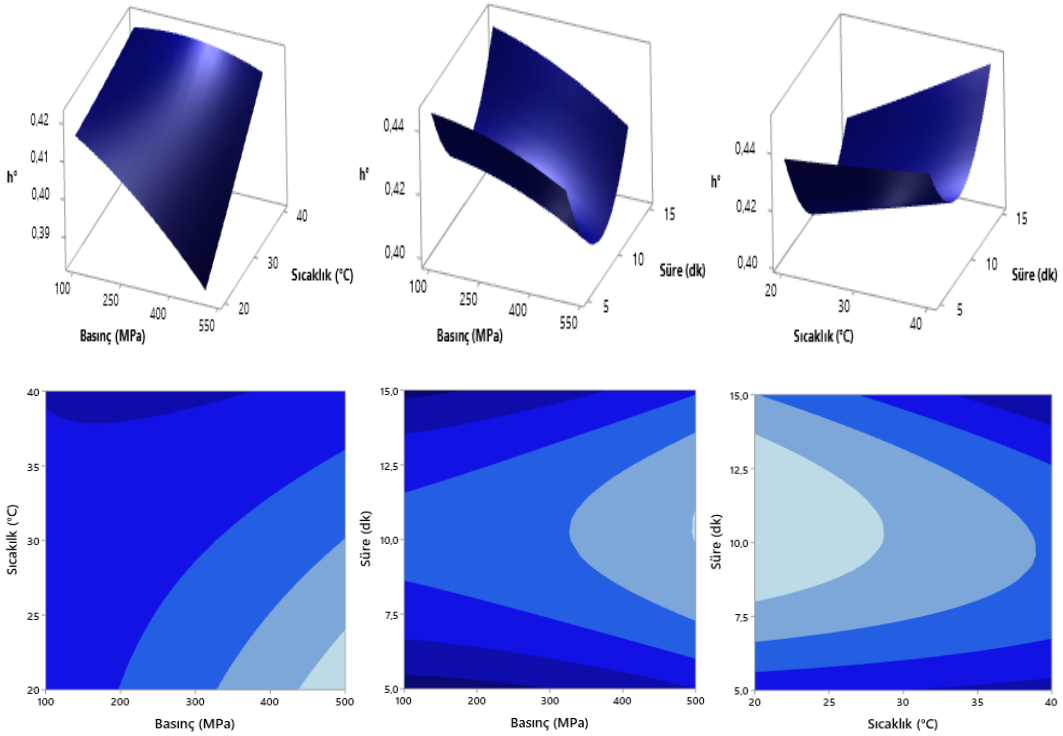
Yüksek hidrostatik basınç uygulaması sonrasında elde edilen şalgam numunelerinin h° analiz sonuçları RSM ile modellenmiş ve ANOVA analiz çıktıları Tablo 3.32'de gösterilmiştir.

Tablo 3.32 YHB uygulaması sonrası şalgam numunelerinin h° için RSM modellemesi ANOVA sonuçları

Kaynak	SD	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F değeri	P değeri
Model	9	0,004373	0,000486	1,49	0,344
t*t	1	0,002519	0,002519	7,73	0,039
Hata	5	0,001628	0,000326		
Uyum Eksikliği	3	0,000442	0,000147	0,25	***0,858***
Saf Hata	2	0,001186	0,000593		
Toplam	14	0,006002			

Standart Sapma	R^2	Düzeltilmiş R^2	Tahmini R^2
0,0180466	72,87%	24,03%	0,00%

Şalgam numunelerinin h° analiz sonuçları RSM modellenmesi ile değerlendirildiğinde uyum eksikliği değerinin istatistiksel olarak anlamlı ($p>0,05$) olmaması sebebiyle başarılı şekilde modellenmiştir.



Şekil 3.13 RSM grafikleri: YHB'nin şalgam örneklerinin h° değerleri üzerindeki etkisi

Yüksek hidrostatik basınç uygulaması sonrasında elde edilen hardaliye numunelerinin h° analiz sonuçları RSM ile modellenmiş ve ANOVA analiz çıktıları Tablo 3.33'te gösterilmiştir.

Tablo 3.33 YHB uygulaması sonrası hardaliye numunelerinin h° için RSM modellemesi ANOVA sonuçları

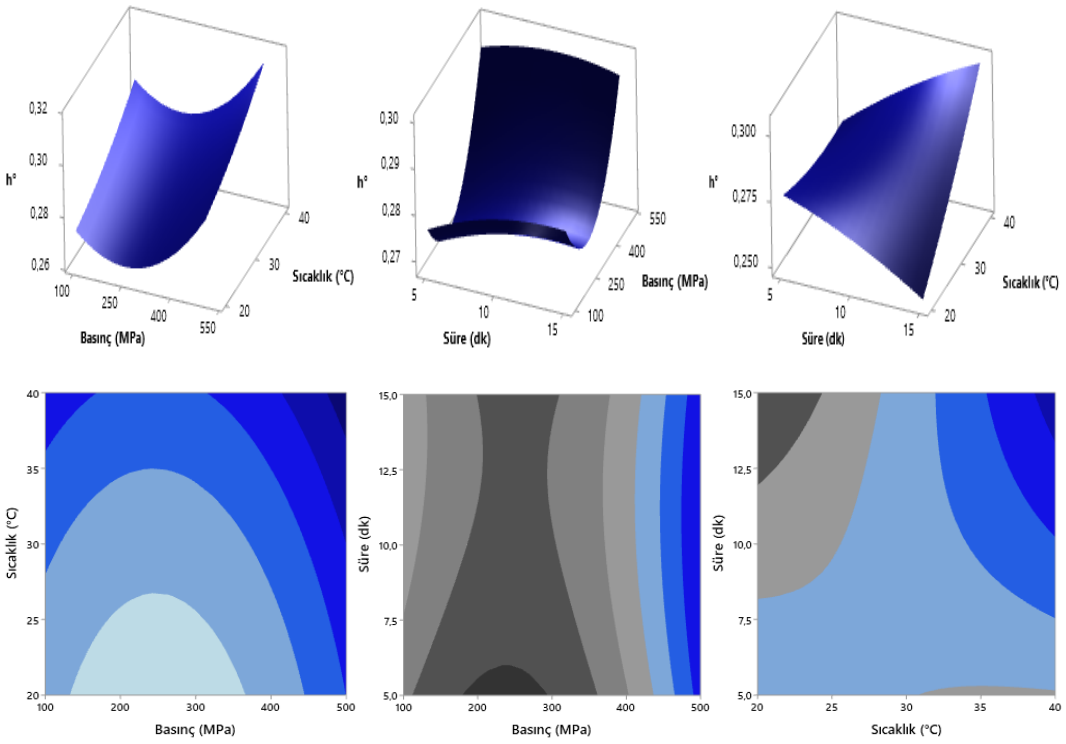
Kaynak	SD	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F değeri	P değeri
Model	9	0,003817	0,000424	2,70	0,143
T	1	0,001132	0,001132	7,21	0,044
Hata	5	0,000785	0,000157		
Uyum Eksikliği	3	0,000685	0,000228	4,55	***0,186***

Tablo 3.33 YHB uygulaması sonrası hardaliye numunelerinin h° için RSM modellemesi ANOVA sonuçları (devamı)

Saf Hata	2	0,000100	0,000050
Toplam	14	0,004601	

Standart Sapma	**R^2**	**Düzeltilmiş R^2**	**Tahmini R^2**
0,0125288	82,94%	52,24%	0,00%

Hardaliye numunelerinin h° analiz sonuçları RSM modellenmesi ile değerlendirildiğinde uyum eksikliği değerinin istatistiksel olarak anlamlı ($p>0,05$) olmaması sebebiyle başarılı şekilde modellenmiştir.



Şekil 3.14 RSM grafikleri: YHB'nin hardaliye örneklerinin h° değerleri üzerindeki etkisi

Yukarıda b* değerleri için belirtildiği gibi, işlemden geçirilmiş şalgam numunelerinin C* ve h° değerleri uygulama zamanının karesinden önemli ölçüde etkilenmektedir ($p<0,05$). C*, h° ve b* değerleri 3D RSM grafiğine yorumlandığında (Şekil 3.8, 3.11 ve 3.13), genel yapı olarak çok benzer olma eğilimindedirler. Model değerlendirildiğinde, bu renk parametreleri basınç seviyesi ve sıcaklık değerinin azalmasıyla (yaklaşık 500 MPa-20 °C-10 dk) minimum noktalarına ulaşmaktadır. h° ve b* değerleri maksimum noktalar için aynı grafik düzenini sergilerken, C* parametresi için maksimum değerde ufak farklılıklar gözlemlenmiştir.

Hardaliye ait C* ve h° değerleri YHB uygulaması ardından daha farklı bir tepki göstermiştir. C* değeri üzerinde sıcaklığın doğrusal ve sıcaklık-süre etkileşiminin etkilerinin anlamlı olduğunu; sıcaklığın azalması ve sürenin artmasıyla maksimum seviyeler elde edildiğini Şekil 3.12'de 3D yüzey grafiklerinde gösterilmektedir. h° değerinin sıcaklığın doğrusal etkisinden anlamlı olarak değiştiği ve sıcaklığın artmasıyla değerlerin arttığı tespit edilmiştir (Şekil 3.14).

Yüksek hidrostatik basınç uygulaması sonrasında elde edilen şalgam numunelerinin renk yoğunluğu analiz sonuçları için RSM modellemesi uygulanmış ve ANOVA çıktıları elde edilmiştir. Şalgam numunelerinin renk yoğunluğu analiz sonuçları RSM modellenmesinde uyum eksikliği değerinin $p=0,046<0,05$ olması sebebiyle değerler başarılı şekilde modellenememiştir; ayrıca elde edilen ANOVA çıktılarında tüm modelleme parametrelerinin istatistiksel olarak önemsiz olduğu belirlenmiştir.

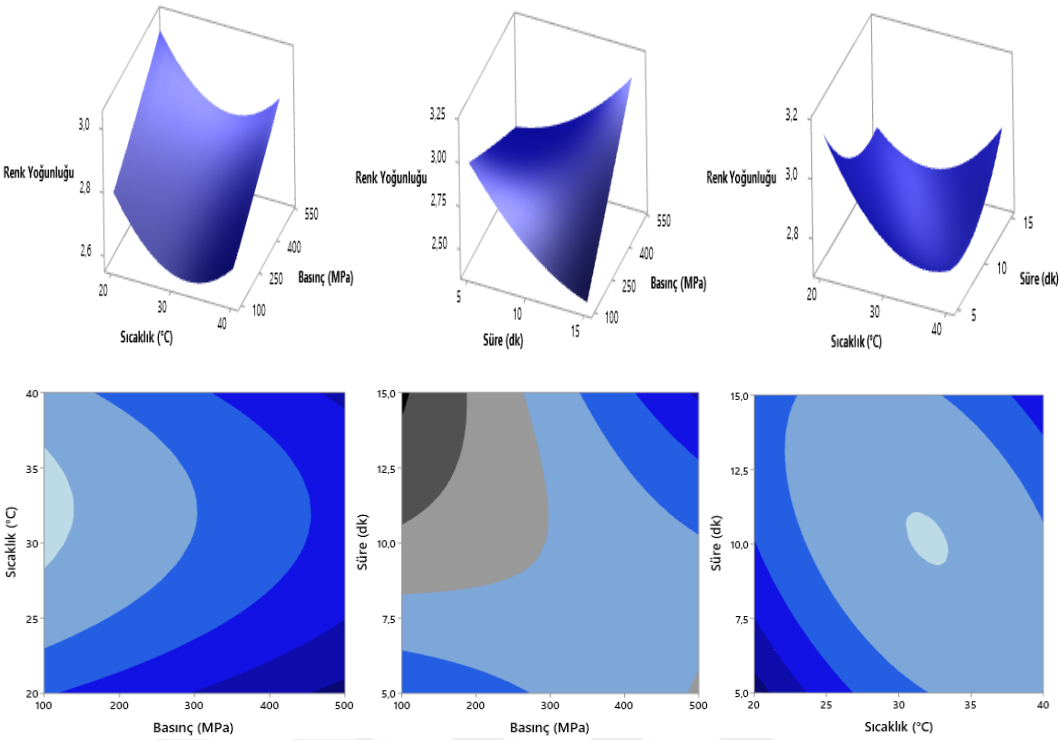
Yüksek hidrostatik basınç uygulaması sonrasında elde edilen hardaliye numunelerinin renk yoğunluğu analiz sonuçları RSM ile modellenmiş ve ANOVA analiz çıktıları Tablo 3.34'te gösterilmiştir.

Tablo 3.34 YHB uygulaması sonrası hardaliye numunelerinin renk yoğunluğu için RSM modellemesi ANOVA sonuçları

Kaynak	SD	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F değeri	P değeri
Model	9	0,617087	0,068565	4,46	0,057
P	1	0,127260	0,127260	8,29	0,035
P*t	1	0,297934	0,297934	19,40	0,007
Hata	5	0,076793	0,015359		
Uyum Eksikliği	3	0,071715	0,023905	9,42	***0,098***
Saf Hata	2	0,005078	0,002539		
Toplam	14	0,693879			

Standart Sapma	R^2	Düzeltilmiş R^2	Tahmini R^2
0,123930	88,93%	69,01%	0,00%

Hardaliye numunelerinin renk yoğunluğu analiz sonuçları RSM modellenmesi ile değerlendirildiğinde uyum eksikliği değerinin istatistiksel olarak anlamlı ($p>0,05$) olmaması sebebiyle başarılı şekilde modellenmiştir.



Şekil 3.15 RSM grafikleri: YHB'nin hardaliye örneklerinin renk yoğunluğu değerleri üzerindeki etkisi

Yüksek hidrostatik basınç uygulaması sonrasında elde edilen şalgam ve hardaliye numunelerinin renk tonu analiz sonuçları için RSM modellemesi uygulanmış ve ANOVA çıktıları elde edilmiştir. Renk tonu analiz sonuçları RSM modellenmesi ile değerlendirildiğinde uyum eksikliği değerinin p=0,988>0,05 (şalgam) ve p=0,139>0,05 (hardaliye) olması sebebiyle sonuçlar başarılı şekilde modellenmiştir; ancak elde edilen ANOVA çıktılarında tüm modelleme parametrelerinin istatistiksel olarak önemsiz olduğu belirlenmiştir. Ayrıca şalgam numunesine ait R^2, düzeltilmiş R^2 ve tahmini R^2 değerleri çok düşük elde edilmiştir. Bu sebeple sonuçlar RSM modeliyle başarılı şekilde modellenememiştir; RSM modeline ait 3D yüzey grafikleri gösterilmemiştir.

Yüksek hidrostatik basınç uygulaması sonrasında elde edilen şalgam ve hardaliye numunelerinin SRT analiz sonuçları için RSM modellemesi uygulanmış ve ANOVA çıktıları elde edilmiştir. SRT analiz sonuçları RSM modellenmesi ile değerlendirildiğinde uyum eksikliği değerinin $p=0,990>0,05$ (şalgam) ve $p=0,771>0,05$ (hardaliye) olması sebebiyle sonuçlar başarılı şekilde modellenmiştir; ancak elde edilen ANOVA çıktılarında tüm modelleme parametrelerinin istatistiksel olarak önemsiz olduğu belirlenmiştir. Ayrıca şalgam numunesine ait R^2, düzeltilmiş R^2 ve tahmini R^2 değerleri çok düşük elde edilmiştir. Bu sebeple sonuçlar RSM modeliyle başarılı şekilde modellenememiştir; RSM modeline ait 3D yüzey grafikleri gösterilmemiştir.

Yüksek hidrostatik basınç uygulaması sonrasında elde edilen şalgam numunelerinin KRT analiz sonuçları için RSM modellemesi uygulanmış ve ANOVA çıktıları elde edilmiştir. KRT analiz sonuçları RSM modellenmesi ile değerlendirildiğinde uyum eksikliği değerinin $p=0,978>0,05$ olması sebebiyle sonuçlar başarılı şekilde modellenmiştir; ancak elde edilen ANOVA çıktılarında tüm modelleme parametrelerinin istatistiksel olarak önemsiz olduğu belirlenmiştir. Ayrıca R^2, düzeltilmiş R^2 ve tahmini R^2 değerleri çok düşük elde edilmiştir. Bu sebeple sonuçlar RSM modeliyle başarılı şekilde modellenememiştir.

Yüksek hidrostatik basınç uygulaması sonrasında elde edilen hardaliye numunelerinin KRT analiz sonuçları için RSM modellemesi uygulanmış ve ANOVA çıktıları elde edilmiştir. Hardaliye numunelerinin KRT analiz sonuçları RSM modellenmesinde uyum eksikliği değerinin $p=0,012<0,05$ olması sebebiyle değerler başarılı şekilde modellenememiştir. Ayrıca elde edilen ANOVA çıktılarında tüm modelleme parametrelerinin istatistiksel olarak önemsiz olduğu belirlenmiştir.

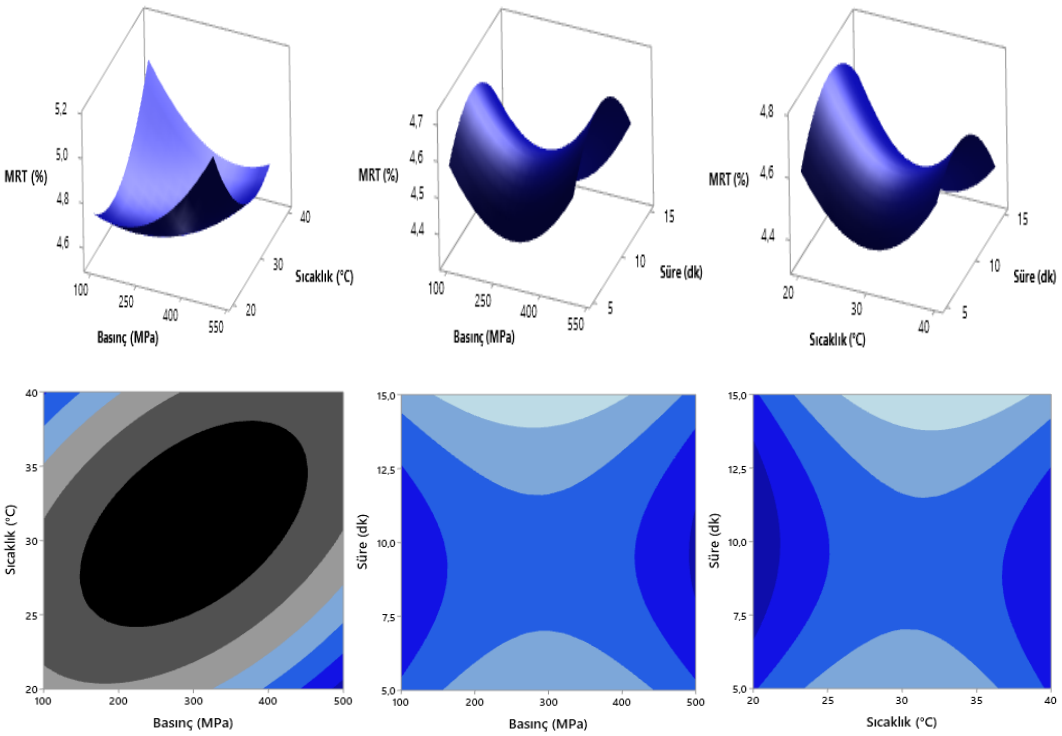
Yüksek hidrostatik basınç uygulaması sonrasında elde edilen şalgam numunelerinin MRT analiz sonuçları RSM ile modellenmiş ve ANOVA analiz çıktıları Tablo 3.35'te gösterilmiştir.

Tablo 3.35 YHB uygulaması sonrası şalgam numunelerinin MRT için RSM modellemesi ANOVA sonuçları

Kaynak	SD	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F değeri	P değeri
Model	9	0,533434	0,059270	5,07	0,044
P*P	1	0,100790	0,100790	8,61	0,032
T*T	1	0,145775	0,145775	12,46	0,017
t*t	1	0,093778	0,093778	8,02	0,037
P*T	1	0,132846	0,132846	11,35	0,020
Hata	5	0,058498	0,011700		
Uyum Eksikliği	3	0,022357	0,007452	0,41	***0,764***
Saf Hata	2	0,036141	0,018070		
Toplam	14	0,591932			

Standart Sapma	R^2	Düzeltilmiş R^2	Tahmini R^2
0,108164	90,12%	72,33%	25,83%

Şalgam numunelerinin MRT analiz sonuçları RSM modellenmesi ile değerlendirildiğinde uyum eksikliği değerinin istatistiksel olarak anlamlı ($p>0,05$) olmaması sebebiyle başarılı şekilde modellenmiştir.



Şekil 3.16 RSM grafikleri: YHB'nin şalgam örneklerinin MRT değerleri üzerindeki etkisi

Yüksek hidrostatik basınç uygulaması sonrasında elde edilen hardaliye numunelerinin MRT analiz sonuçları için RSM modellemesi uygulanmış ve ANOVA çıktıları elde edilmiştir. MRT analiz sonuçları RSM modellenmesi ile değerlendirildiğinde uyum eksikliği değerinin p=0,053>0,05 olması sebebiyle sonuçlar başarılı şekilde modellenmiştir; ancak elde edilen ANOVA çıktılarında tüm modelleme parametrelerinin istatistiksel olarak önemsiz olduğu belirlenmiştir. Bu nedenle RSM modeline ait 3D yüzey grafikleri gösterilmemiştir.

Şalgam numuneleri için renk yoğunluğu, renk tonu, SRT, KRT ve MRT değerleri istatistiksel olarak değerlendirildiğinde, MRT değeri (p<0,05) dışında belirtilen diğer parametrelerde anlamlı bir değişim gözlenmedi (p>0,05). MRT değerlerinde 4,43±0,16 ile 5,21±0,43 arasındaki bu değişim, işlem sonrası mavi/sarı değerlerinde görülen anlamlı değişimin bir sonucudur. Tablo 3.49, tüm YHB parametrelerinin karesi ve basınç-sıcaklık etkileşiminin bu değişimler üzerinde etkili olduğunu ve minimum MRT değerinin, Şekil 3.16'daki 3D RSM grafiğinde gösterildiği gibi, neredeyse orta koşullarda (25-35 °C'de 7-12 dakika boyunca 200-400 MPa) gözlendiğini göstermektedir. En yüksek değer, 500 MPa, 20 °C ve 10 dakikada kaydedilmiş ve ikinci en yüksek değer, basınç ve sıcaklık açısından ilk değerin zıt

koşullarına sahip koşullarda meydana gelmiştir. Atmaca vd. [67] basınç uygulama parametrelerinin %OD620 üzerinde etkili olduğu yönünde benzer bir yaklaşıma ulaşmışlardır.

Hardaliye numuneleri için renk yoğunluğu, renk tonu, SRT, KRT ve MRT değerleri istatistiksel olarak değerlendirildiğinde, renk yoğunluğu değeri ($p<0,05$) dışında belirtilen diğer parametrelerde anlamlı bir değişim gözlenmemiştir ($p>0,05$). Renk yoğunluğu değerlerindeki 2,64 ± 0,00 ile 3,30 ± 0,00 arasındaki bu değişim, her ne kadar SRT, KRT ve MRT değerlerinde anlamlı olarak tespit edilememiş olsa da YHB uygulaması sonrası a* ve b* değerlerinde görülen anlamlı değişim ile ilişkili olabileceği düşünülmüştür. YHB parametrelerinden basınç doğrusal etkisi ve basınç-sıcaklık etkileşiminin renk yoğunluğu sonuçları üzerinde etkili olduğunu ve kontrol değerine en yakın olan maksimum renk yoğunluğu sonuçlarının Şekil 3.15'teki 3D RSM grafiğinde gösterildiği gibi 20 °C'de 5 dakika boyunca 500 MPa sınır koşullarında gözlemlendiğini göstermektedir. En düşük değer ise, 100 MPa, 30-35°C ve 15 dakikada kaydedilmiş ve basınç ve süre açısından ters orantılı koşullarda meydana gelmiştir. Bu elde edilen sonuçlar, renk yoğunluğu değerlerinde basınç seviyesinin artışı ve uygulama süresinin azalışı ile kaybın minimuma indiği tespit edilmiştir.

3.2.2.3 YHB'nin Biyoaktif Bileşenler Üzerindeki Etkisi

YHB işleminden sonra şalgam ve hardaliye numunelerinin toplam fenolik madde miktarı (TFM), toplam flavonoid madde miktarı (TFlav.M), toplam antioksidan aktivitesi/kapasitesi (TAK) ve toplam monomerik antosiyanin miktarı (TMA) değerleri Tablo 3.36 ve 3.37'de verilmiştir.

Tablo 3.36 YHB uygulaması sonrası şalgam numunelerinin TFM, TFlav.M, TAK ve TMA sonuçları

Deneme Deseni	Yanıtlar			
	TFM (mg GAE/100 mL)	**TFlav.M[1] (mg KE/100 mL)**	**TAK (µmol TE/100 mL)**	**TMA[1] (mg/100 mL)**
Kontrol	43,22 ± 0,40^{cd}	186,85 ± 23,49	787,67 ± 8,12^{a}	13,27 ± 0,57
1	34,16 ± 0,42^{f}	151,44 ± 2,17	754,72 ± 1,25^{bc}	7,45 ± 0,38
2	30,29 ± 0,51^{gh}	131,23 ± 7,51	611,21 ± 3,14^{h}	7,79 ± 0,64
3	45,04 ± 1,60^{bc}	178,73 ± 7,19	763,53 ± 13,75^{ab}	11,79 ± 1,24
4	38,69 ± 0,65^{e}	161,02 ± 2,19	691,11 ± 5,20^{ef}	10,00 ± 0,15
5	42,61 ± 0,99^{d}	178,73 ± 9,69	749,80 ± 3,14^{bc}	11,98 ± 0,81
6	29,31 ± 0,88^{h}	119,77 ± 14,39	591,23 ± 4,73^{hı}	6,63 ± 0,46
7	24,72 ± 0,58^{j}	112,90 ± 15,28	643,37 ± 2,16^{g}	6,21 ± 0,53
8	28,43 ± 0,55^{hı}	129,15 ± 6,86	586,65 ± 10,09^{ij}	6,65 ± 0,14
9	26,67 ± 0,40^{ij}	95,60 ± 9,81	455,55 ± 19,40^{l}	4,96 ± 0,18
10	31,63 ± 0,91^{g}	118,31 ± 7,58	503,83 ± 0,72^{k}	6,91 ± 0,13
11	37,73 ± 0,24^{e}	164,56 ± 7,37	667,39 ± 3,14^{fg}	7,83 ± 0,76
12	25,09 ± 0,73^{j}	122,69 ± 8,17	562,51 ± 6,28^{j}	7,36 ± 0,18
13	46,00 ± 0,24^{ab}	195,01 ± 1,48	738,35 ± 7,49^{c}	12,00 ± 0,24
14	47,33 ± 0,86^{a}	192,27 ± 1,80	733,57 ± 5,63^{cd}	12,96 ± 0,95
15	45,57 ± 0,44^{ab}	206,65 ± 7,46	710,68 ± 8,65^{de}	11,60 ± 0,96

[1]RSM yöntemi uygulanmıştır.

Farklı küçük harfler önemli farklılıkları temsil eder ($p < 0,05$).

Tablo 3.37 YHB uygulaması sonrası hardaliye numunelerinin TFM, TFlav.M, TAK ve TMA sonuçları

Deneme Deseni	Yanıtlar			
	TFM[1] (mg GAE/100 mL)	TFlav.M[1] (mg KE/100 mL)	TAK (µmol TE/100 mL)	TMA (mg/100 mL)
Kontrol	66,64 ± 0,35	307,27 ± 0,95	765,61 ± 3,30^{f}	1,22 ± 0,12^{fgh}
1	66,83 ± 0,44	324,35 ± 1,57	813,06 ± 2,50^{cd}	1,38 ± 0,04^{def}
2	66,53 ± 0,53	313,73 ± 0,95	832,62 ± 3,81^{bc}	1,36 ± 0,06^{def}
3	70,77 ± 0,12	344,56 ± 0,63	845,10 ± 8,03^{ab}	1,27 ± 0,03^{efg}
4	69,71 ± 0,17	334,56 ± 2,50	863,00 ± 4,99^{a}	1,25 ± 0,08^{efg}
5	69,73 ± 0,26	355,40 ± 1,91	818,88 ± 4,73^{cd}	1,57 ± 0,08^{abc}
6	71,26 ± 0,30	358,52 ± 2,19	831,37 ± 2,60^{bc}	1,17 ± 0,04^{gh}
7	61,51 ± 0,08	292,69 ± 3,13	714,42 ± 5,44^{ı}	1,27 ± 0,04^{efg}
8	63,41 ± 0,39	300,40 ± 1,57	732,32 ± 5,20^{hı}	1,04 ± 0,04^{h}
9	70,11 ± 0,53	347,90 ± 3,44	786,00 ± 9,20^{e}	1,21 ± 0,02^{fgh}
10	69,89 ± 0,17	345,81 ± 2,72	802,65 ± 9,54^{de}	1,72 ± 0,03^{a}
11	60,40 ± 0,35	287,69 ± 0,63	790,58 ± 2,50^{e}	1,70 ± 0,03^{ab}
12	68,24 ± 0,21	334,35 ± 2,01	823,46 ± 8,31^{c}	1,59 ± 0,09^{abc}
13	66,29 ± 0,12	339,35 ± 4,16	741,89 ± 11,44^{gh}	1,41 ± 0,03^{cde}
14	67,33 ± 0,81	333,10 ± 3,08	759,37 ± 6,61^{fg}	1,53 ± 0,07^{bcd}
15	68,27 ± 0,51	321,23 ± 5,67	748,55 ± 6,88^{fgh}	1,65 ± 0,07^{ab}

[1]RSM yöntemi uygulanmıştır.

Farklı küçük harfler önemli farklılıkları temsil eder ($p < 0,05$).

Yüksek hidrostatik basınç uygulaması sonrasında elde edilen şalgam numunelerinin TFM analiz sonuçları RSM ile modellenmiş ve ANOVA analiz çıktıları Tablo 3.38'de gösterilmiştir.

Tablo 3.38 YHB uygulaması sonrası şalgam numunelerinin TFM için RSM modellemesi ANOVA sonuçları

Kaynak	**SD**	**Kareler Toplamı**	**Kareler Ortalaması**	**F değeri**	**P değeri**
Model	9	782,849	86,983	2,71	0,142
t*t	1	438,773	438,773	13,67	0,014
Hata	5	160,488	32,098		
Uyum Eksikliği	3	158,802	52,934	62,80	***0,016***
Saf Hata	2	1,686	0,843		
Toplam	14	943,338			
Standart Sapma		**R^2**	**Düzeltilmiş R^2**	**Tahmini R^2**	
5,66548		82,99%	52,36%	0,00%	

Şalgam numunelerinin TFM analiz sonuçları RSM modellenmesinde uyum eksikliği değerinin p=0,016<0,05 olması sebebiyle değerler başarılı şekilde modellenememiştir.

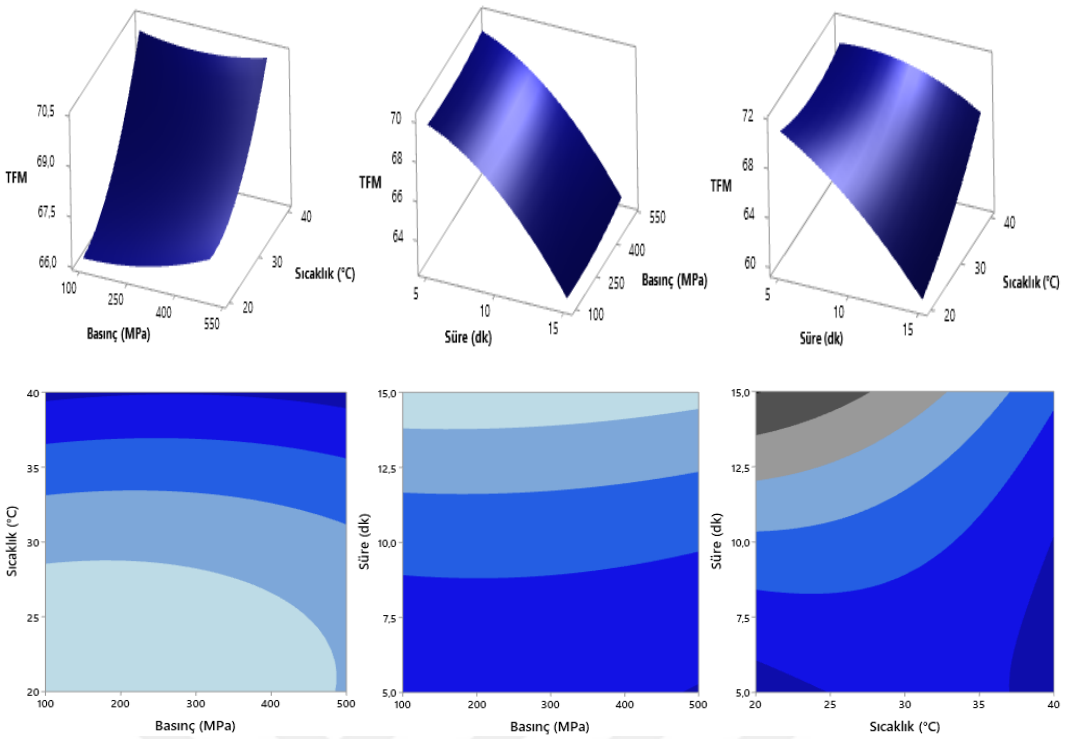
Yüksek hidrostatik basınç uygulaması sonrasında elde edilen hardaliye numunelerinin TFM analiz sonuçları RSM ile modellenmiş ve ANOVA analiz çıktıları Tablo 3.39'da gösterilmiştir.

Tablo 3.39 YHB uygulaması sonrası hardaliye numunelerinin TFM için RSM modellemesi ANOVA sonuçları

Kaynak	SD	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F değeri	P değeri
Model	9	146,264	16,2516	10,67	0,009
T	1	27,183	27,1830	17,85	0,008
t	1	94,028	94,0278	61,75	0,001
T*t	1	16,214	16,2140	10,65	0,022
Hata	5	7,614	1,5228		
Uyum Eksikliği	3	5,665	1,8884	1,94	***0,358***
Saf Hata	2	1,949	0,9745		
Toplam	14	153,879			

Standart Sapma	R^2	Düzeltilmiş R^2	Tahmini R^2
1,23403	95,05%	86,15%	38,24%

Hardaliye numunelerinin TFM analiz sonuçları RSM modellenmesi ile değerlendirildiğinde uyum eksikliği değerinin istatistiksel olarak anlamlı ($p>0,05$) olmaması sebebiyle başarılı şekilde modellenmiştir.



Şekil 3.17 RSM grafikleri: YHB'nin hardaliye örneklerinin TFM değerleri üzerindeki etkisi

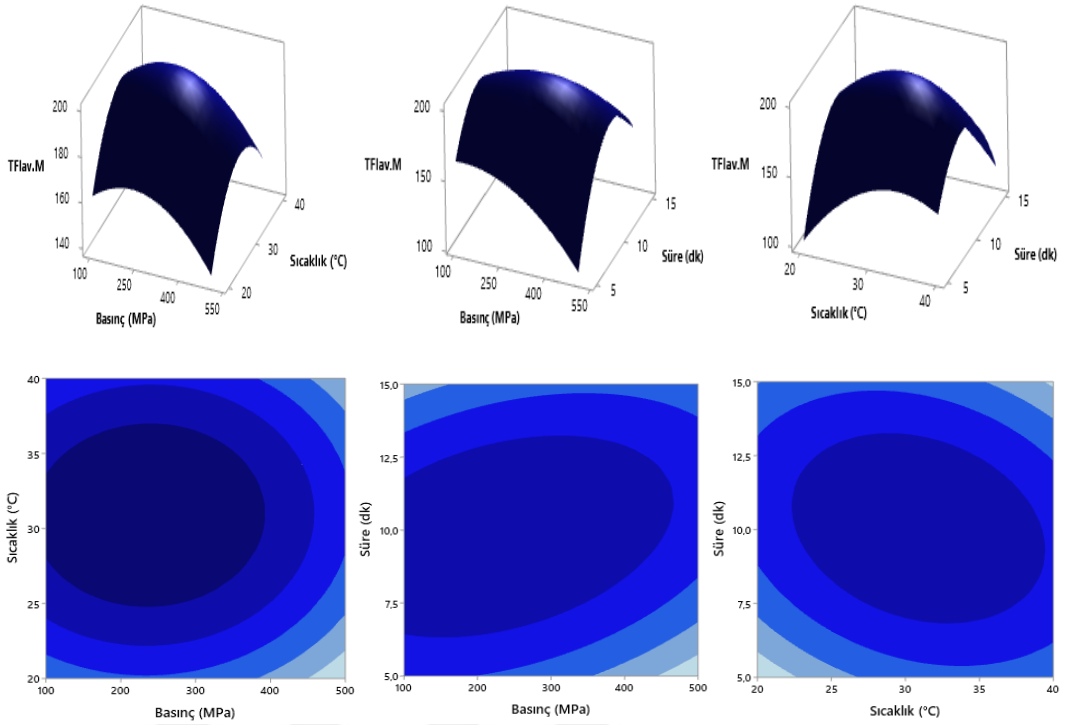
Yüksek hidrostatik basınç uygulaması sonrasında elde edilen şalgam numunelerinin TFlav.M analiz sonuçları RSM ile modellenmiş ve ANOVA analiz çıktıları Tablo 3.40'ta gösterilmiştir

Tablo 3.40 YHB uygulaması sonrası şalgam numunelerinin TFlav.M için RSM modellemesi ANOVA sonuçları

Kaynak	**SD**	**Kareler Toplamı**	**Kareler Ortalaması**	**F değeri**	**P değeri**
Model	9	13837,6	1537,51	2,60	0,152
t*t	1	8009,5	8009,49	13,57	0,014
Hata	5	2951,9	590,38		
Uyum Eksikliği	3	2835,4	945,12	16,22	***0,059***
Saf Hata	2	116,6	58,28		
Toplam	14	16789,5			

Standart Sapma	**R^2**	**Düzeltilmiş R^2**	**Tahmini R^2**
24,2978	82,42%	50,77%	0,00%

Şalgam numunelerinin TFlav.M analiz sonuçları RSM modellenmesi ile değerlendirildiğinde uyum eksikliği değerinin istatistiksel olarak anlamlı ($p>0,05$) olmaması sebebiyle başarılı şekilde modellenmiştir.



Şekil 3.18 RSM grafikleri: YHB'nin şalgam örneklerinin TFlav.M değerleri üzerindeki etkisi

Yüksek hidrostatik basınç uygulaması sonrasında elde edilen hardaliye numunelerinin TFlav.M analiz sonuçları RSM ile modellenmiş ve ANOVA analiz çıktıları Tablo 3.41'de gösterilmiştir.

Tablo 3.41 YHB uygulaması sonrası hardaliye numunelerinin TFlav.M için RSM modellemesi ANOVA sonuçları

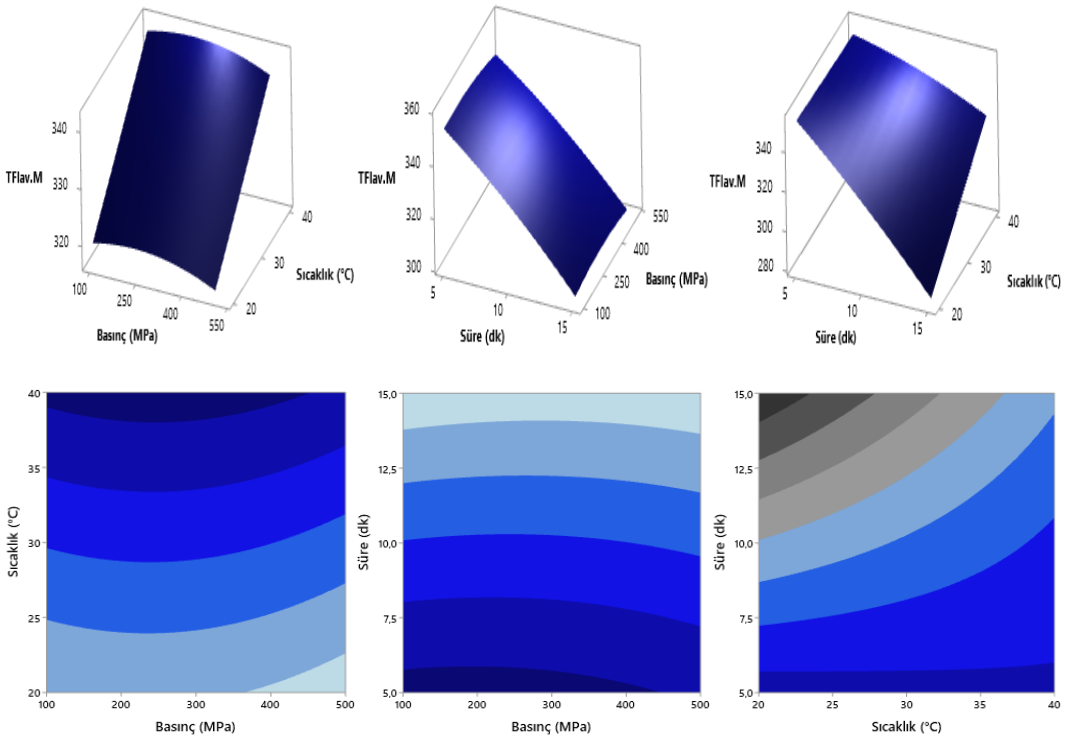
Kaynak	SD	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F değeri	P değeri
Model	9	6195,38	688,38	5,77	0,034
T	1	916,46	916,46	7,68	0,039
t	1	4632,03	4632,03	38,80	0,002

Tablo 3.41 YHB uygulaması sonrası hardaliye numunelerinin TFlav.M için RSM modellemesi ANOVA sonuçları (devamı)

Hata	5	596,97	119,39		
Uyum Eksikliği	3	427,44	142,48	1,68	***0,394***
Saf Hata	2	169,53	84,77		
Toplam	14	6792,35			

Standart Sapma	**R^2**	**Düzeltilmiş R^2**	**Tahmini R^2**
10,9268	91,21%	75,39%	0,00%

Hardaliye numunelerinin TFlav.M analiz sonuçları RSM modellenmesi ile değerlendirildiğinde uyum eksikliği değerinin istatistiksel olarak anlamlı ($p>0,05$) olmaması sebebiyle başarılı şekilde modellenmiştir.



Şekil 3.19 RSM grafikleri: YHB'nin hardaliye örneklerinin TFlav.M değerleri üzerindeki etkisi

Yüksek hidrostatik basınç uygulaması sonrasında elde edilen şalgam numunelerinin TAK analiz sonuçları RSM ile modellenmiş ve ANOVA analiz çıktıları Tablo 3.42'de gösterilmiştir.

Tablo 3.42 YHB uygulaması sonrası şalgam numunelerinin TAK için RSM modellemesi ANOVA sonuçları

Kaynak	**SD**	**Kareler Toplamı**	**Kareler Ortalaması**	**F değeri**	**P değeri**
Model	9	108838	12093,1	2,84	0,131
t*t	1	54323	54322,7	12,77	0,016
Hata	5	21272	4254,5		
Uyum Eksikliği	3	20835	6944,9	31,74	***0,031***
Saf Hata	2	438	218,8		
Toplam	14	130110			
Standart Sapma		**R^2**	**Düzeltilmiş R^2**	**Tahmini R^2**	
65,2264		83,65%	54,22%	0,00%	

Şalgam numunelerinin TAK analiz sonuçları RSM modellenmesinde uyum eksikliği değerinin $p=0,031<0,05$ olması sebebiyle değerler başarılı şekilde modellenememiştir.

Yüksek hidrostatik basınç uygulaması sonrasında elde edilen hardaliye numunelerinin TAK analiz sonuçları RSM ile modellenmiş ve ANOVA analiz çıktıları Tablo 3.43'te gösterilmiştir.

Tablo 3.43 YHB uygulaması sonrası hardaliye numunelerinin TAK için RSM modellemesi ANOVA sonuçları

Kaynak	SD	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F değeri	P değeri
Model	9	21643,9	2404,9	1,79	0,271
T*T	1	12194,1	12194,1	9,06	0,030
Hata	5	6732,2	1346,4		
Uyum Eksikliği	3	6576,5	2192,2	28,17	***0,034***
Saf Hata	2	155,7	77,8		
Toplam	14	28376,1			

Standart Sapma	R^2	Düzeltilmiş R^2	Tahmini R^2
36,6938	76,28%	33,57%	0,00%

Hardaliye numunelerinin TAK analiz sonuçları RSM modellenmesinde uyum eksikliği değerinin p=0,034<0,05 olması sebebiyle değerler başarılı şekilde modellenememiştir.

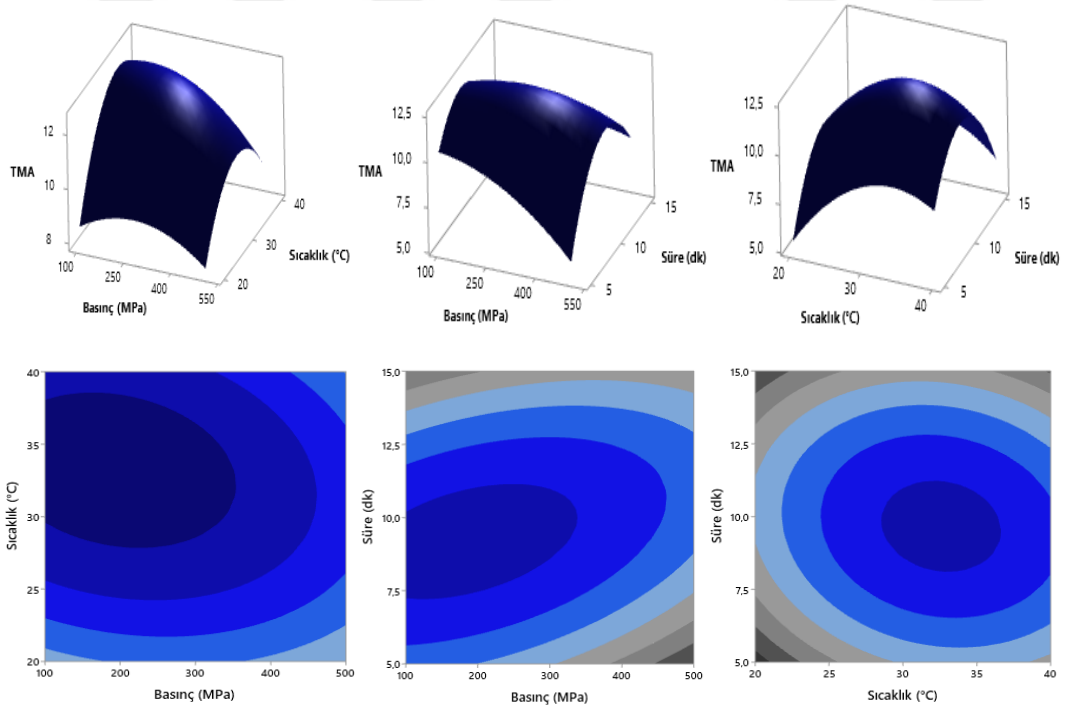
Yüksek hidrostatik basınç uygulaması sonrasında elde edilen şalgam numunelerinin TMA analiz sonuçları RSM ile modellenmiş ve ANOVA analiz çıktıları Tablo 3.44'te gösterilmiştir.

Tablo 3.44 YHB uygulaması sonrası şalgam numunelerinin TMA için RSM modellemesi ANOVA sonuçları

Kaynak	SD	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F değeri	P değeri
Model	9	80,1391	8,9043	2,78	0,136
t*t	1	42,8142	42,8142	13,38	0,015
Hata	5	15,9975	3,1995		
Uyum Eksikliği	3	15,0237	5,0079	10,28	***0,090***
Saf Hata	2	0,9739	0,4869		
Toplam	14	96,1366			

Standart Sapma	R^2	Düzeltilmiş R^2	Tahmini R^2
1,78872	83,36%	53,41%	0,00%

Şalgam numunelerinin TMA analiz sonuçları RSM modellenmesi ile değerlendirildiğinde uyum eksikliği değerinin istatistiksel olarak anlamlı ($p>0,05$) olmaması sebebiyle başarılı şekilde modellenmiştir.



Şekil 3.20 RSM grafikleri: YHB'nin şalgam örneklerinin TMA değerleri üzerindeki etkisi

Yüksek hidrostatik basınç uygulaması sonrasında elde edilen hardaliye numunelerinin TMA analiz sonuçları için RSM modellemesi uygulanmış ve ANOVA çıktıları elde edilmiştir. TMA analiz sonuçları RSM modellenmesi ile değerlendirildiğinde uyum eksikliği değerinin p=0,214>0,05 olması sebebiyle sonuçlar başarılı şekilde modellenmiştir; ancak elde edilen ANOVA çıktılarında tüm modelleme parametrelerinin istatistiksel olarak önemsiz olduğu belirlenmiştir. Bu nedenle RSM modeline ait 3D yüzey grafikleri gösterilmemiştir.

Chang vd. [139], beyaz üzüm suyu numunelerine 20 °C'de 300 ve 600 MPa basınç altında 3 dakika boyunca YHB uygulanmasından sonra kontrol numunesi (23,47 mg/mL) ile karşılaştırıldığında 25,26 ve 26,81 mg/mL'lik daha yüksek fenolik içeriğine sahip oldukları belirlendiğini ve ayrıca basınçlanma antosiyanin içeriği üzerinde önemli bir etkisinin olmadığını vurgulamıştır. Torres-Ossandón vd. [92], beyaz üzüm suyu için YHB'nin tüm uygulama koşullarından sonra (200, 300, 400 MPa; 2, 4 dakika; 20 °C) fenolik içeriklerinde artış gözlemlendiğini, ancak buna benzer bir artışın antioksidan tutulumu açısından 2 dakika boyunca 300 MPa'nın üzerindeki seviyelerde gözlemlendiğini belirtmiştir. Ancak şarapta yapılan çalışmada en yüksek antosiyanin düzeyine en düşük basınç seviyesinde (200 MPa; 20 °C; 10 dk) ulaşılmıştır [136]. Çalışmamızda şalgam numuneleri için hem TFM hem de TAK değerleri zaman karesi (p<0,05) dışında basınçlandırma koşulları açısından anlamlı bir şekilde farklılaşmamıştır (p>0,05). Kontrol şalgam numunesiyle karşılaştırıldığında TFM değerinin 300 MPa-30 °C-10 dk koşulları altında arttığı, tüm YHB koşulları için TAK ölçümlerinde kayıp olduğu gözlenmiştir. Ancak TAK değerinde hemen hemen tüm basınç seviyelerinde 10 dk uygulamasında kayıpların daha az olduğu belirlenmiştir.

Şalgamda bulunan TFlav.M ve TMA bileşenleri basınçlama işleminden benzer şekilde etkilenmiştir (Şekil 3.18 ve 3.20). Varyans analizi tabloları incelendiğinde, istatistiksel olarak anlamlı bir değişime neden olan tek faktörün zaman karesi olduğu gözlenmiştir (p= 0,014 ve p= 0,015). Kontrol örneğinde TFlav.M 186,85 ± 23,49 mg KE/100 mL ve TMA 13,27 ± 0,57 mg/100 mL olarak tespit edilmiştir. Yüzey grafiklerinde basınç ~100 ila 350 MPa, sıcaklık ~25 ila 35 °C ve süre ~7 ila 12 dakika olan deneysel koşullar altında maksimum TFlav.M seviyesi gözlenmiştir.

Ayrıca, TMA'nın maksimum seviyesi de yüzey grafiklerinde basınç~100 ila 350 MPa, sıcaklık~30 ila 38 °C ve süre~8 ila 12 dakika kombinasyonunda gözlemlenmiştir. TFlav.M için maksimum seviyeler elde edildiğinde, kontrol örneğinden daha yüksek seviyelerde bileşen içeriğine ulaşılmışken, TMA için maksimum seviye kontrol seviye değerinin altında kalmıştır. Başka bir ifadeyle, TMA değerleri açısından genel olarak kayıpların olduğu sonucuna varılmıştır. Citrus-maqui içecekleri ile yapılan çalışmada, 20 °C'de 3 dakika boyunca 450 ve 600 MPa'da işlemden sonra flavonoid düzeylerinde istatistiksel olarak önemli küçük değişiklikler ve biraz daha düşük antosiyanin içerikleri gözlenmiştir [144]. Antosiyaninlerin parçalanması pH değişimi ve sıcaklık etkisi gibi birçok nedene bağlı olmasına rağmen, bunlar arasında en belirgin olanı ortamdaki enzimlerin aktivitesidir.

Çalışmamızda, basınçlama süresinin karesine bağlı olarak, indirgen şeker konsantrasyonunun artmasıyla aynı yönde antosiyanin seviyesinde bir azalma gözlemledik. Özellikle β-glukozidaz, β-galaktozidaz ve α-arabinosidaz enzimlerinin basınç uygulamasıyla artan aktiviteleri nedeniyle antosiyaninlerin antosiyanidinlere ve şekerlere parçalandığının bir göstergesi olabileceği düşünülmektedir [159].

Hardaliyenin içeriğinde bulunan TFM ve TFlav.M bileşenlerinin işleminden benzer şekilde etkilendiği sonucu elde edilmiştir (Şekil 3.17 ve 3.19). Varyans analizi tabloları incelendiğinde, istatistiksel olarak anlamlı bir değişime neden olan parametrelerin sıcaklık ve sürenin doğrusal etkisi olduğu tespit edilmiştir. TFM sonuçlarında ayrıca sıcaklık ve sürenin etkileşiminde etkili olduğu görünmektedir. Her iki bileşen için de sıcaklığın artışı olumlu bir etki yaparken uygulama süresinin artışı değerlerde düşüşlere yol açmaktadır. Hardaliyeye ait TFM ve TFlav.M bileşenleri için model grafiklerine bakıldığında maksimum seviyeler sıcaklık~40°C ve süre~5 dakika kombinasyonunda olabileceği tahmin edilmiştir. Basınç seviyeleri incelendiğinde her iki bileşen için anlamlı etkiye sahip olmasa da TFM için ~450 ila 500 MPa ve TFlav.M için ~100 ila 150 MPa seviyelerinin daha yüksek değer verebileceği modellenmiştir.

Hardaliye numunelerinde ise hem TAK hem de TMA değerleri basınçlandırma koşulları açısından anlamlı bir şekilde farklılaşmamıştır ($p>0,05$). Kontrol numunesi ile karşılaştırıldığında TAK ve TMA değerinde artışlar ve düşüşler olduğu ancak bunları belli bir parametre kombinasyonu ile tespit edilemediği sonuç tablosundan görebilmektedir (Tablo 3.52). Torres-Ossandón vd. [92] üzüm suyu konsantresi için, toplam flavonoid içeriği açısından oda sıcaklığında 200, 300 ve 400 MPa'da 2 ve 4 dakika boyunca YHB ile muamele edilmiş örneklerle kontrol örnekleri arasında önemli bir fark olmadığını bildirmiştir.

3.2.3 Model Uyumu

Önemli bir uyum eksikliği değeri, modellerin deneydeki verileri temsil etmede başarısız olduğunu, özellikle de belirli noktaların regresyon analizinde dikkate alınmadığını ifade etmektedir [160]. Şalgam numunesi için yanıtların modellenmesi (M&K azalması, TA, İŞM, TFlav.M, TMA, b*, C*, h°, MRT) başarıyla gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, uygulanan ikinci dereceden polinom model denklemlerinin katsayıları, önemsiz uyum eksikliğine ($p>0.05$) sahip dokuz yanıt için göstermektedir (Tablo 3.45 ve 3.46). RSM modellerindeki bazı sonuçlar için (TMAC azalması, LAB azalması, pH, TÇKM, a*, renk yoğunluğu) belirleme katsayısı (R^2) değerleri yüksek elde edilmiş olsa da, uyum eksikliği değerleri modellemeye uygun elde edilememiştir ($p<0,05$).

Tablo 3.45 YHB uygulaması sonrası şalgam numuneleri için RSM ikinci dereceden polinom modelinin tahmini regresyon katsayıları (kodlanmış)-1

Katsayılar	Yanıtlar				
	M&K Azalma	**TA**	**İŞM**	**TFM**	**TMA**
β_0 (sabit)	3,8167	2,493	7,209	198,0	12,19
β_1	1,345	-0,45	-2,497	-10,08	-0,795
β_2	0,5275	-0,11	1,017	4,74	1,005
β_3	0,3825	-0,1	-1,176	2,11	-0,303

Tablo 3.45 YHB uygulaması sonrası şalgam numuneleri için RSM ikinci dereceden polinom modelinin tahmini regresyon katsayıları (kodlanmış)-1 (devamı)

β_{11}	-1,1446	0,518	1,439	-16,3	-0,913
β_{22}	-0,1946	0,318	2,855	-26,1	-2,015
β_{33}	-0,1596	0,318	2,197	-46,6	-3,405
β_{12}	0,3475	0,09	-0,141	0,6	-0,531
β_{13}	0,3275	0,45	0,783	18,8	1,45
β_{23}	0,2525	0,11	0,731	-16,1	-0,605

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_{11} {X_1}^2 + \beta_{22} {X_2}^2 + \beta_{33} {X_3}^2 + \beta_{12} X_1 X_2 + \beta_{13} X_1 X_3 + \beta_{23} X_2 X_3 + \varepsilon$$

X_1:Basınç (MPa), X_2:Sıcaklık (°C), X_3:Süre (dk)

Tablo 3.46 YHB uygulaması sonrası şalgam numuneleri için RSM ikinci dereceden polinom modelinin tahmini regresyon katsayıları (kodlanmış)-2

Katsayılar	**Yanıtlar**			
	b*	**C***	**h°**	**MRT**
β_0 (sabit)	23,674	59,207	0,4113	4,5309
β_1	-0,542	-0,159	-0,00899	0,0192
β_2	0,695	0,491	0,00938	-0,0434
β_3	-0,328	-0,442	-0,00266	-0,0434
β_{11}	-0,095	0,108	-0,00254	0,1652
β_{22}	0,096	0,156	0,00042	0,1987
β_{33}	1,877	1,107	0,02612	-0,1594
β_{12}	0,57	0,473	0,00722	-0,1822
β_{13}	-0,012	0,2	-0,00175	0,0185
β_{23}	0,574	0,609	0,006	-0,0463

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_{11} {X_1}^2 + \beta_{22} {X_2}^2 + \beta_{33} {X_3}^2 + \beta_{12} X_1 X_2 + \beta_{13} X_1 X_3 + \beta_{23} X_2 X_3 + \varepsilon$$

X_1:Basınç (MPa), X_2:Sıcaklık (°C), X_3:Süre (dk)

Hardaliye numunesi için yanıtların modellenmesi (M&K azalması, pH, TÇKM, TA, İŞM, a*, b*, ΔE, C*, h°, renk yoğunluğu, renk tonu, SRT, MRT, TFM, TFlav.M ve TMA) başarıyla gerçekleştirildi. Ayrıca, uygulanan ikinci dereceden polinom model denklemlerinin katsayıları, önemsiz uyum eksikliğine ($p>0.05$) sahip on yedi yanıt için göstermektedir (Tablo 3.47, 3.48 ve 3.49). RSM modellerindeki bazı sonuçlar için (TMAC azalması, LAB azalması, L*, KRT, TAK) belirleme katsayısı (R^2) değerleri yüksek elde edilmiş olsa da, uyum eksikliği değerleri modellemeye uygun elde edilememiştir ($p<0.05$).

Tablo 3.47 YHB uygulaması sonrası hardaliye numuneleri için RSM ikinci dereceden polinom modelinin tahmini regresyon katsayıları (kodlanmış)-1

Katsayılar	Yanıtlar				
	M&K Azalma	**pH**	**TÇKM**	**TA**	**İŞM**
β_0 (sabit)	2,400	3,8238	18,990	11,840	40,43
β_1	0,9044	-0,0176	-0,278	-0,405	3,75
β_2	0,1825	-0,0055	0,168	0,105	0,03
β_3	0,3572	0,0225	-0,347	0,150	-1,56
β_{11}	-0,237	0,0060	-0,695	-0,625	-0,07
β_{22}	-0,302	0,0428	0,229	-0,625	-3,92
β_{33}	-0,268	-0,0306	-0,458	-0,055	6,25
β_{12}	-0,042	-0,0009	0,008	0,090	0,10
β_{13}	-0,111	0,0414	0,319	-0,120	-0,08
β_{23}	0,177	0,0082	-0,539	-0,300	2,98

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_{11} {X_1}^2 + \beta_{22} {X_2}^2 + \beta_{33} {X_3}^2 + \beta_{12} X_1 X_2 + \beta_{13} X_1 X_3 + \beta_{23} X_2 X_3 + \varepsilon$$

X_1:Basınç (MPa), X_2:Sıcaklık (°C), X_3:Süre (dk)

Tablo 3.48 YHB uygulaması sonrası hardaliye numuneleri için RSM ikinci dereceden polinom modelinin tahmini regresyon katsayıları (kodlanmış)-2

Katsayılar	Yanıtlar					
	a*	b*	ΔE	C*	h°	Renk Yoğunluğu
β_0 (sabit)	27,546	7,766	5,057	28,620	0,27474	2,7040
β_1	0,282	0,353	-0,110	0,371	0,00888	0,1261
β_2	-0,663	0,163	0,656	-0,587	0,01190	-0,0594
β_3	0,153	0,108	-0,100	0,177	0,00216	-0,0298
β_{11}	-0,179	0,444	-0,131	-0,046	0,01641	0,0066
β_{22}	0,385	0,167	-0,715	0,421	0,00262	0,1412
β_{33}	0,727	0,143	-0,911	0,736	-0,00233	0,0970
β_{12}	-0,117	-0,017	-0,047	-0,112	0,00066	0,0060
β_{13}	0,063	-0,024	-0,082	0,054	-0,00144	0,2729
β_{23}	-0,872	0,232	0,869	-0,777	0,01545	0,1171

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_{11} {X_1}^2 + \beta_{22} {X_2}^2 + \beta_{33} {X_3}^2 + \beta_{12} X_1 X_2 + \beta_{13} X_1 X_3 + \beta_{23} X_2 X_3 + \varepsilon$$

X_1:Basınç (MPa), X_2:Sıcaklık (°C), X_3:Süre (dk)

Tablo 3.49 YHB uygulaması sonrası hardaliye numuneleri için RSM ikinci dereceden polinom modelinin tahmini regresyon katsayıları (kodlanmış)-3

Katsayılar	Yanıtlar					
	Renk Tonu	SRT	MRT	TFM	TFlav.M	TMA
β_0 (sabit)	0,8555	39,684	13,926	67,298	331,23	1,533
β_1	0,01918	0,142	0,715	0,258	-1,22	-0,0849
β_2	0,00377	0,165	-0,137	1,843	10,70	0,0223
β_3	-0,00063	-0,049	0,076	-3,428	-24,06	-0,0083
β_{11}	0,0076	0,246	-0,123	0,240	-2,06	-0,254

Tablo 3.49 YHB uygulaması sonrası hardaliye numuneleri için RSM ikinci dereceden polinom modelinin tahmini regresyon katsayıları (kodlanmış)-3 (devamı)

β_{22}	0,0064	0,224	-0,157	0,922	0,13	0,038
β_{33}	-0,0023	-0,061	-0,026	-1,060	-2,42	-0,015
β_{12}	0,0038	0,045	0,085	-0,193	0,16	-0,0000
β_{13}	0,0010	-0,301	0,666	0,095	1,15	0,0417
β_{23}	0,0282	0,281	0,900	2,013	12,19	-0,1559

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_{11} {X_1}^2 + \beta_{22} {X_2}^2 + \beta_{33} {X_3}^2 + \beta_{12} X_1 X_2 + \beta_{13} X_1 X_3 + \beta_{23} X_2 X_3 + \varepsilon$$

X_1:Basınç (MPa), X_2:Sıcaklık (°C), X_3:Süre (dk)

3.3 Mikrodalganın Şalgam ve Hardaliye Üzerindeki Etkileri

3.3.1 Mikrobiyal İnaktivasyon

Farklı güç seviyesi, dönüş hızı ve işlem süresi kombinasyonlarında YHB işleminden sonra şalgam ve hardaliye numunelerinin toplam mezofilik aerobik canlı (TMAC), laktik asit bakterisi (LAB) ve küf ve maya (K&M) yüklerindeki azalmalar Tablo 3.50 ve 3.51'de gösterilmiştir.

Tablo 3.50 MD uygulaması sonrası şalgam numunelerinin TMAC, LAB ve K&M azalma değerleri

Kontrol				TMAC (log kob/mL)	LAB (log kob/mL)	K&M (log kob/mL)
				8,06 ± 0,06	6,68 ± 0,02	4,63 ± 0,05
Deneme deseni	**Bağımsız Değişkenler**			**Yanıtlar**		
	Güç (%)	**Dönüş Hızı (rpm)**	**Süre (dk)**	**TMAC[1] (log kob/mL azalma)**	**LAB (log kob/mL azalma)**	**K&M[1] (log kob/mL azalma)**
1	50	2	3	2,72 ± 0,06	1,65 ± 0,05^{cd}	1,36 ± 0,05
2	100	2	3	3,58 ± 0,05	1,65 ± 0,05^{cd}	1,89 ± 0,05
3	50	10	3	2,73 ± 0,07	1,73 ± 0,13^{c}	1,31 ± 0,15
4	100	10	3	3,64 ± 0,03	1,61 ± 0,09^{cd}	1,93 ± 0,06
5	50	6	1	1,50 ± 0,05	0,59 ± 0,01^{cd}	1,11 ± 0,04
6	100	6	1	2,22 ± 0,14	0,63 ± 0,12^{cd}	1,01 ± 0,07
7	50	6	5	4,82 ± 0,06	2,69 ± 0,05^{c}	2,95 ± 0,02
8	100	6	5	5,66 ± 0,08	4,10 ± 0,16^{a}	3,40 ± 0,02
9	75	2	1	1,47 ± 0,10	0,52 ± 0,07^{d}	1,08 ± 0,07
10	75	10	1	2,57 ± 0,04	0,64 ± 0,02^{cd}	1,17 ± 0,05
11	75	2	5	4,43 ± 0,06	3,38 ± 0,15^{b}	3,14 ± 0,09
12	75	10	3	4,75 ± 0,12	3,50 ± 0,06^{b}	3,54 ± 0,04
13	75	6	3	2,95 ± 0,17	1,66 ± 0,03^{cd}	1,57 ±0,07
14	75	6	3	2,69 ± 0,06	1,67 ± 0,08^{cd}	1,37 ± 0,02
15	75	6	3	2,65 ± 0,01	1,61 ± 0,10^{cd}	1,22 ± 0,05

[1]RSM yöntemi uygulanmıştır.

Farklı küçük harfler önemli farklılıkları temsil eder ($p<0,05$).

Tablo 3.51 MD uygulaması sonrası hardaliye numunelerinin TMAC, LAB ve K&M azalma değerleri

Kontrol				TMAC (log kob/mL)	LAB (log kob/mL)	K&M (log kob/mL)
				5,77 ± 0,02	5,71 ± 0,01	2,83 ± 0,03
Deneme deseni	Bağımsız Değişkenler			Yanıtlar		
	Güç (%)	Dönüş Hızı (rpm)	Süre (dk)	TMAC[1] (log kob/mL azalma)	LAB[1] (log kob/mL azalma)	K&M[1] (log kob/mL azalma)
1	50	2	3	2,43 ± 0,05	2,24 ± 0,05	0,56 ± 0,03
2	100	2	3	3,77 ± 0,14	3,38 ± 0,06	0,64 ± 0,05
3	50	10	3	2,50 ± 0,04	2,45 ± 0,05	0,56 ± 0,05
4	100	10	3	3,40 ± 0,03	3,39 ± 0,05	0,62 ± 0,05
5	50	6	1	1,60 ± 0,06	1,48 ± 0,05	0,30 ± 0,06
6	100	6	1	1,57 ± 0,13	1,51 ± 0,11	0,32 ± 0,14
7	50	6	5	2,67 ± 0,10	2,39 ± 0,04	1,74 ± 0,10
8	100	6	5	3,47 ± 0,11	3,32 ± 0,06	1,83 ± 0,00
9	75	2	1	1,65 ± 0,05	1,47 ± 0,05	0,34 ± 0,10
10	75	10	1	1,71 ± 0,13	1,46 ± 0,13	0,33 ± 0,02
11	75	2	5	3,52 ± 0,02	3,37 ± 0,13	1,64 ± 0,10
12	75	10	3	3,51 ± 0,05	3,37 ± 0,06	1,41 ± 0,09
13	75	6	3	2,48 ± 0,07	2,33 ± 0,02	1,09 ± 0,04
14	75	6	3	2,77 ± 0,08	2,74 ± 0,03	0,97 ± 0,07
15	75	6	3	2,94 ± 0,04	2,92 ± 0,08	1,04 ± 0,05

[1]RSM yöntemi uygulanmıştır.

Farklı küçük harfler önemli farklılıkları temsil eder ($p<0,05$).

3.3.1.1 Toplam Mezofilik Aerobik Canlı (TMAC) İnaktivasyonu

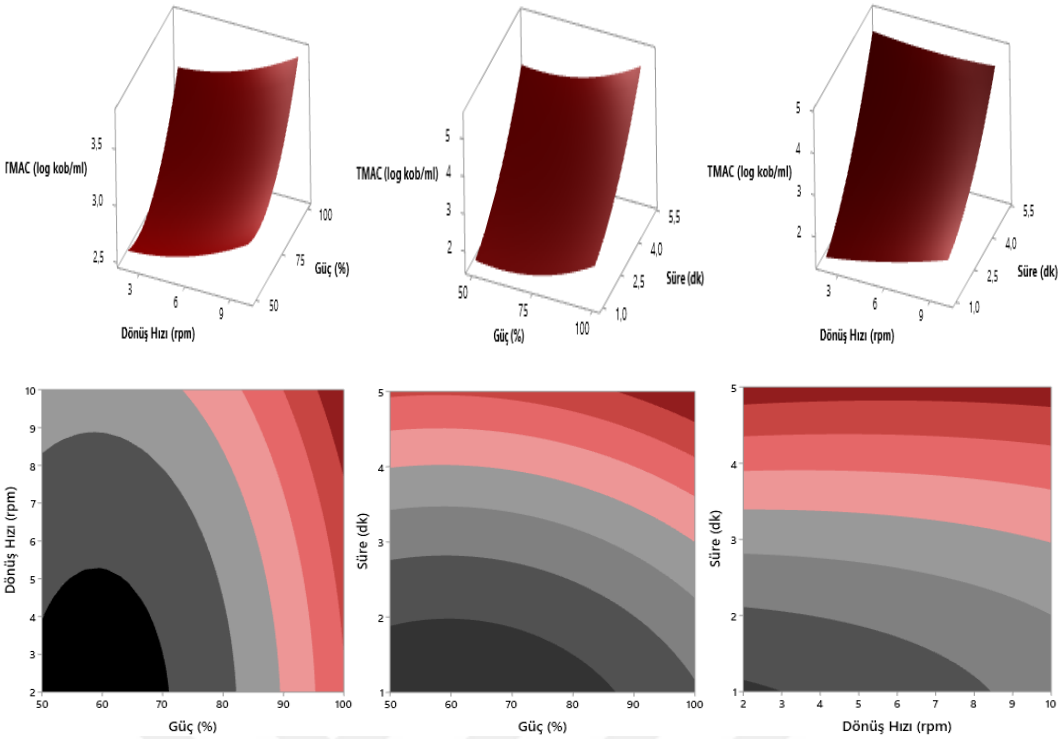
Mikrodalga uygulaması sonrasında elde edilen şalgam numunelerinin TMAC azalma değerleri RSM ile modellenmiş ve ANOVA analiz çıktıları Tablo 3.52'de gösterilmiştir.

Tablo 3.52 MD uygulaması sonrası şalgam numunelerinin TMAC azalma değeri için RSM modellemesi ANOVA sonuçları

Kaynak	SD	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F değeri	P değeri
Model	9	20,6368	2,2930	18,42	0,003
G	1	1,3876	1,3876	11,15	0,021
t	1	17,7136	17,7136	142,27	0,000
Hata	5	0,6225	0,1245		
Uyum Eksikliği	3	0,5676	0,1892	6,89	***0,129***
Saf Hata	2	0,0549	0,0275		
Toplam	14	21,2594			

Standart Sapma	R^2	Düzeltilmiş R^2	Tahmini R^2
0,352854	97,07%	91,80%	56,70%

Şalgam numunelerinin TMAC azalma değerleri RSM modellenmesi ile değerlendirildiğinde uyum eksikliği değerinin istatistiksel olarak anlamlı ($p>0,05$) olmaması sebebiyle başarılı şekilde modellenmiştir.



Şekil 3.21 RSM grafikleri: MD'nin şalgam örneklerinin TMAC azalma değeri üzerindeki etkisi

Mikrodalga uygulaması sonrasında elde edilen hardaliye numunelerinin TMAC azalma değerleri RSM ile modellenmiş ve ANOVA analiz çıktıları Tablo 3.53'te gösterilmiştir.

Tablo 3.53 MD uygulaması sonrası hardaliye numunelerinin TMAC azalma değeri için RSM modellemesi ANOVA sonuçları

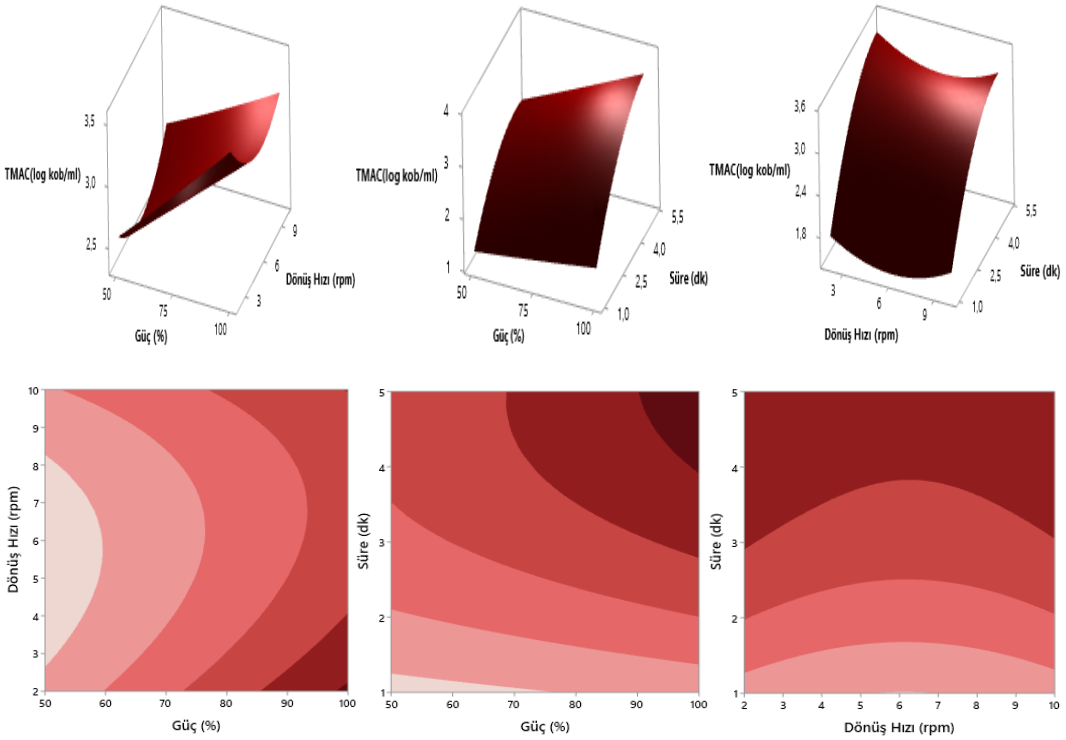
Kaynak	SD	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F değeri	P değeri
Model	9	7,86066	0,87341	9,66	0,011
G	1	1,13374	1,13374	12,53	0,017
t	1	5,50330	5,50330	60,84	0,001
t*t	1	0,63055	0,63055	6,97	0,046
Hata	5	0,45226	0,09045		
Uyum Eksikliği	3	0,34369	0,11456	2,11	***0,338***

Tablo 3.53 MD uygulaması sonrası hardaliye numunelerinin TMAC azalma değeri için RSM modellemesi ANOVA sonuçları (devamı)

Saf Hata	2	0,10858	0,05429
Toplam	14	8,31293	

Standart Sapma	**R^2**	**Düzeltilmiş R^2**	**Tahmini R^2**
0,300754	94,56%	84.77%	30,91%

Hardaliye numunelerinin TMAC azalma değerleri RSM modellenmesi ile değerlendirildiğinde uyum eksikliği değerinin istatistiksel olarak anlamlı ($p>0,05$) olmaması sebebiyle başarılı şekilde modellenmiştir.



Şekil 3.22 RSM grafikleri: MD'nin hardaliye örneklerinin TMAC azalma değeri üzerindeki etkisi

Uygulanan parametre aralıklarında her iki üründe de toplam inaktivasyon elde edilememiştir; ancak şalgam için %100 güç, 6 rpm dönüş hızı ve 5 dakika boyunca uygulamadan sonra 5,66 log kob/mL'lik bir azalma tespit edilmiş ve bu işlem yöntemi kullanılarak elde edilen azalmanın beklenen düzeyde olduğu sonucuna varılmıştır. Hardaliye için ise %100 güç, 2 rpm dönüş hızı ve 3 dakika boyunca uygulamadan sonra 3,77 log kob/mL'lik bir azalma tespit edilmiştir. Meyve suyu HACCP kuralına göre, uygulanan işlemin hedef patojeninin 5-log azalma sağlaması beklenmektedir [77]. Citrus-maqui içeceklerinde geleneksel ve mikrodalga pastörizasyonu karşılaştıran bir çalışma, her iki yöntemin mikrobiyal sayımlarının işlemden hemen sonra ve oda sıcaklığında 60 günlük bir depolama süresi boyunca tespit edilebilir seviyelerin altında (<10 kob/mL) başarıyla koruduğunu tespit etmiştir [161].

TMAC inaktivasyon başarısı ANOVA sonuçlarına göre bazı MD parametreleriyle doğrudan ilişkili olarak değişmiştir ($p<0,05$). Güç seviyesinin ve uygulama süresinin doğrusal artışı TMAC yükünün azalmasını arttırmıştır (Şekil 3.21 ve 3.22). Trabzonhurması suyu üzerinde yapılan bir çalışma, 120 saniye mikrodalga işleminin, işlenmemiş meyve suyuna kıyasla aerobik mezofilik sayılarda 2 log azalmaya yol açtığını göstermiştir [162]. Ayrıca mikrodalgaya daha uzun süre maruz kalan ürünlerde mikrobiyal inaktivasyonu arttığı ve bu sayede meyve suyu güvenliğini iyileştirmek için uygulanabilir bir yöntem haline geldiğini göstermektedir. Siddique vd. [163] chia tohumlarıyla zenginleştirilmiş mango-peynir altı suyu içeceklerini değerlendiren çalışmada, 30 ila 120 saniye arasında değişen mikrodalga işlem süreleri test edilmiştir. En uzun işlem (120 saniye), 90 günlük buzdolabında saklamadan sonra en düşük toplam canlı sayısı 0,71 log kob/mL olarak tespit edilmiş ve pastörize edilmiş numunelerden daha iyi korunmuş mikrobiyal kaliteye sahip olduğu belirlenmiştir.

3.3.1.2 Laktik Asit Bakterileri (LAB) İnaktivasyonu

Mikrodalga uygulaması sonrasında elde edilen şalgam numunelerinin LAB azalma değerleri RSM ile modellenmiş ve ANOVA analiz çıktıları Tablo 3.54'te gösterilmiştir.

Tablo 3.54 MD uygulaması sonrası şalgam numunelerinin LAB azalma değeri için RSM modellemesi ANOVA sonuçları

Kaynak	SD	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F değeri	P değeri
Model	9	17,1092	1,9010	29,75	0,001
t	1	15,9360	15,9360	249,36	0,000
t*t	1	0,4619	0,4619	7,23	0,043
G*t	1	0,4722	0,4722	7,39	0,042
Hata	5	0,3195	0,0639		
Uyum Eksikliği	3	0,3171	0,1057	85,31	***0,012***
Saf Hata	2	0,0025	0,0012		
Toplam	14	17,4288			

Standart Sapma	R^2	Düzeltilmiş R^2	Tahmini R^2
0,252800	98,17%	94,87%	70,86%

Şalgam numunelerinin LAB azalma değerlerinin RSM modellenmesinde uyum eksikliği değerinin p=0,012<0,05 olması sebebiyle değerler başarılı şekilde modellenememiştir.

Şalgam ANOVA analiz tablosu dikkate alındığında, LAB inaktivasyonu, MD uygulama süresinin doğrusal ve kare kuvveti ve ayrıca basınç-süre etkileşimiyle önemli ölçüde etkilendiği görülmektedir (p<0,05). Tüm kombinasyonlar karşılaştırıldığında, %100 güç, 6 rpm dönüş hızı ve 5 dakika parametrelerinde toplam LAB inaktivasyon 4,10 log kob/mL olarak elde edilmiştir.

Mikrodalga uygulaması sonrasında elde edilen hardaliye numunelerinin LAB azalma değerleri RSM ile modellenmiş ve ANOVA analiz çıktıları Tablo 3.55'te gösterilmiştir.

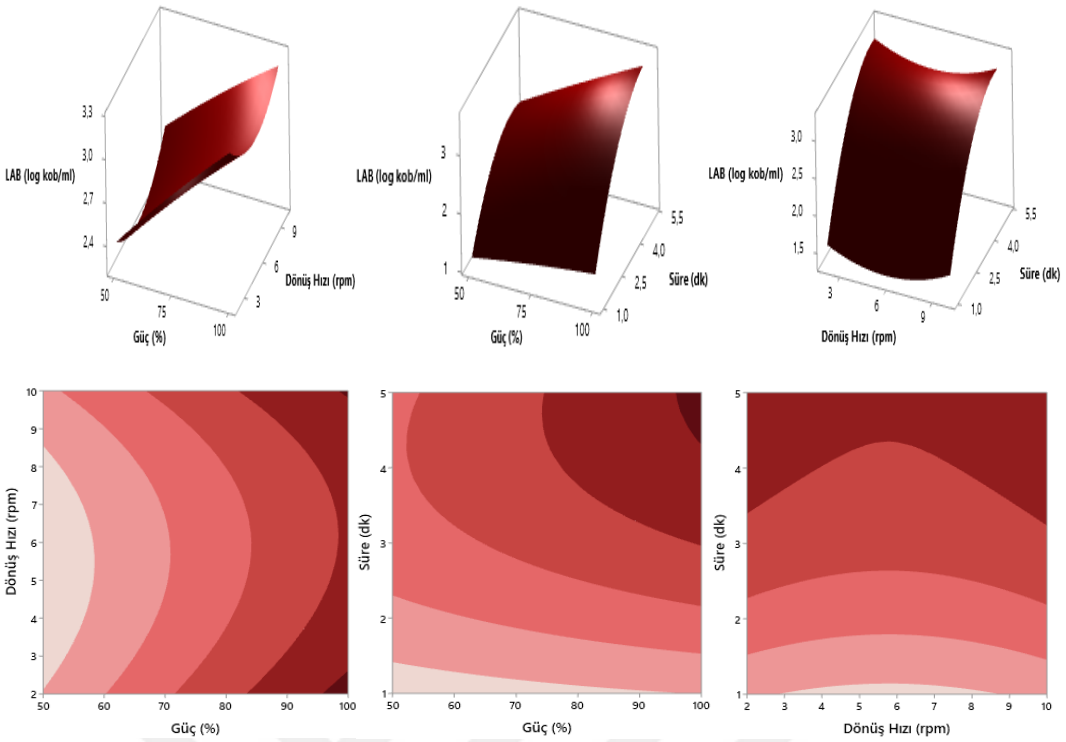
Tablo 3.55 MD uygulaması sonrası hardaliye numunelerinin LAB azalma değeri için RSM modellemesi ANOVA sonuçları

Kaynak	SD	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F değeri	P değeri
Model	9	7,76104	0,86234	8,68	0,014
G	1	1,15378	1,15378	11,61	0,019
t	1	5,33057	5,33057	53,66	0,001
t*t	1	0,81227	0,81227	8,18	0,035
Hata	5	0,49674	0,09935		
Uyum Eksikliği	3	0,31626	0,10542	1,17	***0,492***
Saf Hata	2	0,18048	0,09024		
Toplam	14	8,25779			

Standart Sapma	R^2	Düzeltilmiş R^2	Tahmini R^2
0,315196	93,98%	83,16%	33,81%

Hardaliye numunelerinin LAB azalma değerleri RSM modellenmesi ile değerlendirildiğinde uyum eksikliği değerinin istatistiksel olarak anlamlı ($p>0,05$) olmaması sebebiyle başarılı şekilde modellenmiştir.

Şalgam numunelerinde olduğu gibi hardaliye için de ANOVA analiz tablosu dikkate alındığında, LAB inaktivasyonu, MD uygulamasının uygulama süresinin doğrusal ve kare kuvvetinden önemli ölçüde etkilendiği görülmektedir ($p<0,05$). Ayrıca basıncın doğrusal kuvvetinin önemli ölçüde etkili olduğu tespit edilmiştir. Tüm kombinasyonlar karşılaştırıldığında en yüksek LAB inaktivasyon değerleri, %100 güç-3 dakika parametrelerinde 2 ve 10 rpm dönüş hızlarında 3,38 ve 3,39 log kob/mL olarak elde edilmiştir.



Şekil 3.23 RSM grafikleri: MD'nin hardaliye örneklerinin LAB azalma değeri üzerindeki etkisi

MD (600–800 W) işleminin citrus-maqui içecekleri üzerindeki etkisi geleneksel pastörizasyona (TP) karşı incelenmiştir ve LAB sayımlarını işlemden hemen sonra tespit edilebilir seviyelerin (<10 kob/mL) altına etkili bir şekilde düşürmüştür. Bu mikrobiyolojik stabilite, oda sıcaklığında (20°C) 60 günlük bir depolama süresi boyunca korunmuştur [161]. *Lactiplantibacillus plantarum* da dahil olmak üzere şarap kökenli mikroorganizmalara odaklanan bir araştırmada yüksek yoğunluklu MD işlemlerinin LAB canlılığını tespit edilebilir seviyelerin altına düşürebileceğini göstermekle birlikte işlem kombinasyonları bağlı olarak *L. plantarum* için tam inaktivasyonu elde edilebilmiştir. Çalışma ayrıca belirli MD parametrelerinin gecikme fazını uzatabileceğini ve LAB yükünün maksimum optik yoğunluğunu azaltabileceğini, bunun da metabolik aktivitelerinde bir azalmaya işaret ettiğini belirtmiştir [164].

3.3.1.3 Toplam Maya ve Küf (M&K) İnaktivasyonu

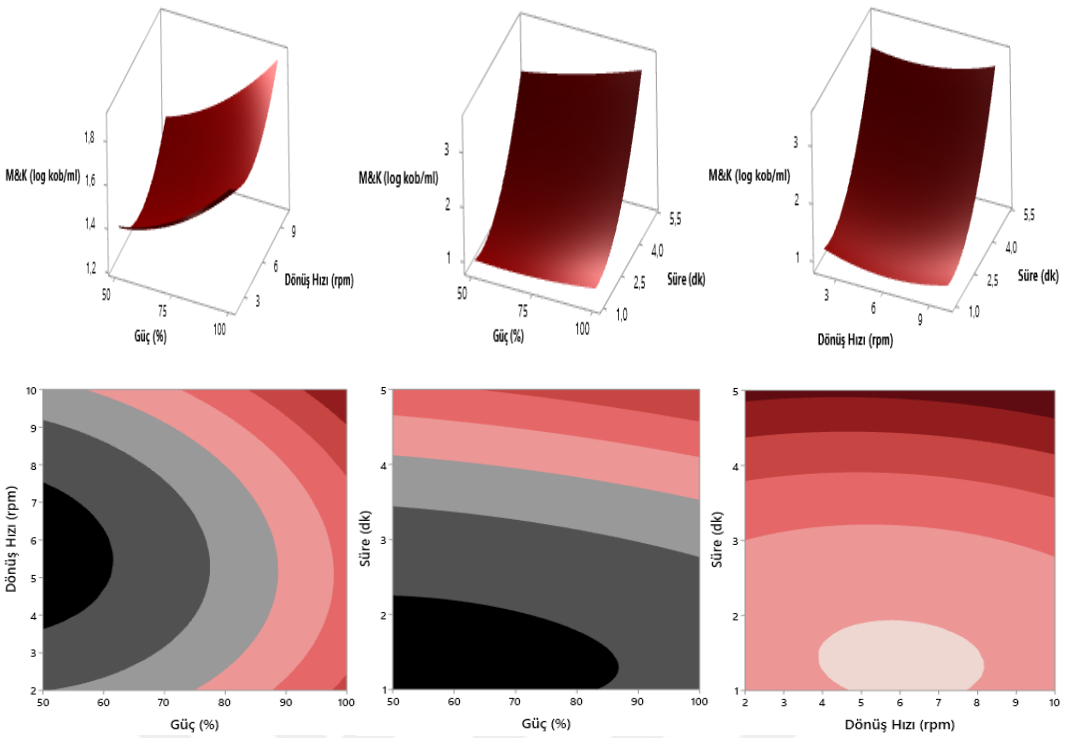
Mikrodalga uygulaması sonrasında elde edilen şalgam numunelerinin M&K azalma değerleri RSM ile modellenmiş ve ANOVA analiz çıktıları Tablo 3.56'da gösterilmiştir.

Tablo 3.56 MD uygulaması sonrası şalgam numunelerinin M&K azalma değeri için RSM modellemesi ANOVA sonuçları

Kaynak	**SD**	**Kareler Toplamı**	**Kareler Ortalaması**	**F değeri**	**P değeri**
Model	9	11,4847	1,27608	35,39	0,001
G	1	0,2815	0,28149	7,81	0,038
t	1	9,3535	9,35346	259,41	0,000
t*t	1	1,6652	1,66520	46,18	0,001
Hata	5	0,1803	0,03606		
Uyum Eksikliği	3	0,1193	0,03978	1,31	***0,461***
Saf Hata	2	0,0609	0,03047		
Toplam	14	11,6650			

Standart Sapma	**R^2**	**Düzeltilmiş R^2**	**Tahmini R^2**
0,189888	98,45%	95,67%	82,45%

Şalgam numunelerinin M&K azalma değerleri RSM modellenmesi ile değerlendirildiğinde uyum eksikliği değerinin istatistiksel olarak anlamlı ($p>0,05$) olmaması sebebiyle başarılı şekilde modellenmiştir.



Şekil 3.24 RSM grafikleri: MD'nin şalgam örneklerinin M&K azalma değerleri üzerindeki etkisi

Şalgam için odaklanılması gereken en önemli mikrobiyota üyesi olan maya tespitinin sonuçları M&K sayımlarına ait ANOVA analizi varyans tablosuna göre değerlendirildiğinde, işlem süresinin hem doğrusal hem de ikinci dereceden kuvveti (t*t), ayrıca güç seviyesinin doğrusal etkileri mikroorganizma sayısındaki azalma üzerinde istatistiksel olarak önemli olduğu görülmüştür ($p<0,05$). İnaktivasyon etkinliğindeki artış, doğrusal kuvvette sürenin basınca göre daha verimli etkiye sahip olduğu görülmüştür ($p=0,000<p=0,038$). M&K yükünde %75 güç, 10 rpm dönüş hızı ve 3 dakika kombinasyonu ile uygulamadan sonra 3,54 log kob/mL'lik bir azalma tespit edilmiş ve bu azalma uygulama koşulları arasında maksimum olduğu görülmüştür.

Mikrodalga uygulaması sonrasında elde edilen hardaliye numunelerinin M&K azalma değerleri RSM ile modellenmiş ve ANOVA analiz çıktıları Tablo 3.57'de gösterilmiştir.

Tablo 3.57 MD uygulaması sonrası hardaliye numunelerinin M&K azalma değeri için RSM modellemesi ANOVA sonuçları

Kaynak	SD	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F değeri	P değeri
Model	9	4,12349	0,45817	42,19	0,000
t	1	3,57151	3,57151	328,92	0,000
G*G	1	0,09895	0,09895	9,11	0,029
DH*DH	1	0,28912	0,28912	26,63	0,004
t*t	1	0,11183	0,11183	10,30	0024
Hata	5	0,05429	0,01086		
Uyum Eksikliği	3	0,04718	0,01573	4,42	***0,190***
Saf Hata	2	0,00711	0,00355		
Toplam	14	4,17778			

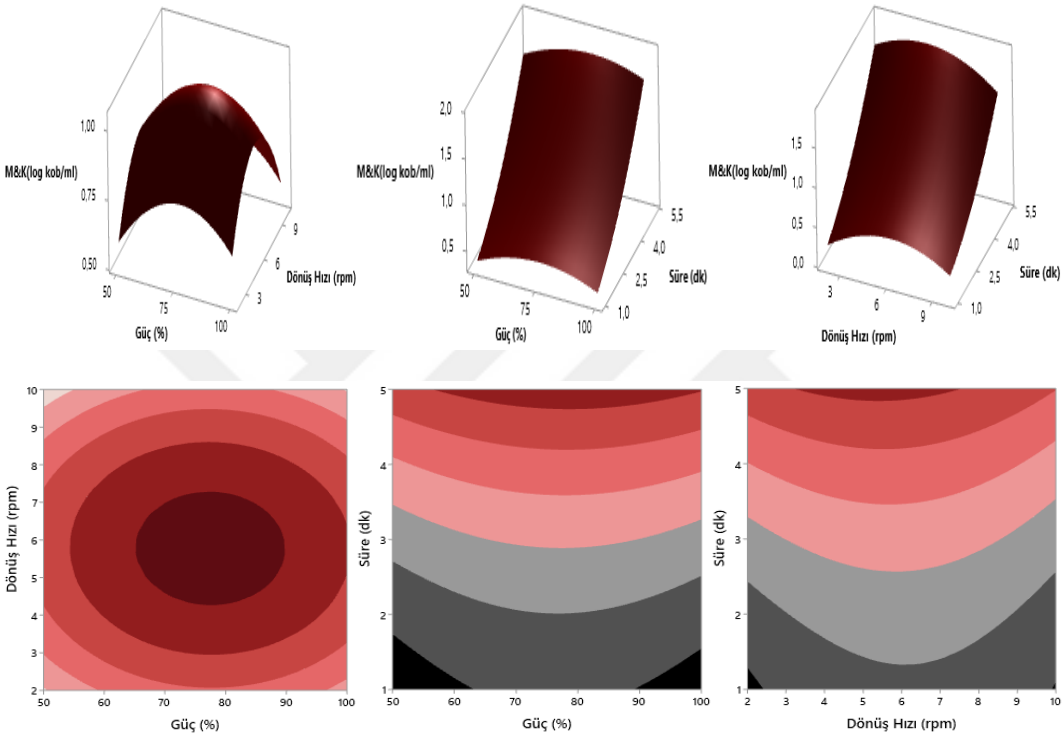
Standart Sapma	R^2	Düzeltilmiş R^2	Tahmini R^2
0,104204	98,70%	96,36%	81,55%

Hardaliye numunelerinin M&K azalma değerleri RSM modellenmesi ile değerlendirildiğinde uyum eksikliği değerinin istatistiksel olarak anlamlı ($p>0,05$) olmaması sebebiyle başarılı şekilde modellenmiştir.

ANOVA analizi varyans tablosu ve 3D yüzey grafikleri değerlendirildiğinde, işlem süresinin doğrusal kuvvet etkisi ve tüm parametrelerin ikinci dereceden kuvvet (G*G, DH*DH, t*t) etkileri mikroorganizma sayısındaki azalma üzerinde istatistiksel olarak önemli olduğu görülmüştür ($p<0,05$). M&K yükünde %100 güç, 6 rpm dönüş hızı ve 5 dakika kombinasyonu ile uygulamadan sonra 1,83 log kob/mL'lik bir azalma tespit edilmiş ve bu azalma uygulama koşulları arasında maksimum olduğu görülmüştür.

Şarap üretiminde kullanılan *S. cerevisiae* kültürleri üzerinde yapılan bir araştırma bir dakika boyunca MD işlemine (800W) maruz bırakılan üründe maya hücresi deformasyonu, büyümenin yavaşlaması, fermentasyon aktivitesinin azalması ve toksin üretiminin engellenmesine neden olduğu ortaya çıkmıştır [165]. Portakal

suyu işleme üzerine yapılan araştırmada, ultrasonikasyon ve mikrodalga işlemi birleştirilerek *S. cerevisiae* yükünü etkili bir şekilde azaltıldığı tespit edilmiştir; MD gücünün (900W), ultrasonikasyon gücünün ve maruz kalma süresinin (20-100 sn) maya azalmasında önemli faktörler olduğunu bulunmuştur [166]. 600W ve1–5 dakika koşullarındaki MD uygulamasının *Candida albicans*'ın hücre zarı bütünlüğü üzerindeki etkisi değerlendirildiğinde mayayı inaktive etme ve kontrol etmedeki etkinliği açısından başarılı bir yöntem olduğu vurgulanmıştır [167].



Şekil 3.25 RSM grafikleri: MD'nin hardaliye örneklerinin M&K azalma değeri üzerindeki etkisi

3.3.2 Fizikokimyasal Özellikler

3.3.2.1 MD'nin pH, Toplam Çözünür Katı Madde Miktarı, Titrasyon Asitliği ve İndirgen Şeker Miktarı Üzerindeki Etkisi

Farklı güç seviyesi, dönüş hızı ve işlem süresi kombinasyonlarında MD işleminden sonra şalgam ve hardaliye numunelerinin pH, toplam çözünür katı madde miktarı (TÇKM), titrasyon asitliği (TA) ve indirgen şeker miktarı (İŞM) analizleri sonuçları Tablo 3.58 ve 3.59'da verilmiştir.

Tablo 3.58 MD uygulaması sonrası şalgam numunelerinin pH, TÇKM, TA ve İŞM sonuçları

Deneme Deseni	Yanıtlar			
	pH[1]	**TÇKM[1] (°Briks)**	**TA ($g_{lactic\ acid}$/L)**	**İŞM (mg/100 mL)**
Kontrol	3,96 ± 0,01	1,83 ± 0,15	2,40 ± 0,21^{cde}	5,90 ± 0,09^{c}
1	3,95 ± 0,01	1,71 ± 0,06	2,68 ± 0,21^{bc}	4,25 ± 0,03^{h}
2	3,95 ± 0,00	1,50 ± 0,06	1,89 ± 0,21^{f}	3,40 ± 0,00^{k}
3	3,93 ± 0,01	1,64 ± 0,06	1,72 ± 0,18^{f}	5,20 ± 0,02^{e}
4	3,92 ± 0,01	1,62 ± 0,06	2,22 ± 0,21^{e}	5,00 ± 0,02^{f}
5	3,92 ± 0,01	1,83 ± 0,06	1,77 ± 0,21^{f}	4,77 ± 0,05^{g}
6	3,93 ± 0,01	1,71 ± 0,06	1,72 ± 0,21^{f}	4,18 ± 0,03^{hı}
7	3,92 ± 0,00	2,05 ± 0,06	2,78 ± 0,21^{ab}	6,68 ± 0,05^{a}
8	3,93 ± 0,00	1,76 ± 0,06	2,63 ± 0,21^{bcd}	4,71 ± 0,03^{g}
9	3,91 ± 0,00	2,07 ± 0,06	2,98 ± 0,21^{a}	6,36 ± 0,07^{b}
10	3,94 ± 0,00	1,79 ± 0,06	2,63 ± 0,21^{bcd}	5,47 ± 0,03^{d}
11	3,94 ± 0,01	1,93 ± 0,06	2,37 ± 0,21^{de}	5,57 ± 0,08^{d}
12	3,93 ± 0,00	1,91 ± 0,06	2,63 ± 0,21^{bcd}	3,67 ± 0,06^{j}
13	3,97 ± 0,01	1,50 ± 0,06	2,68 ± 0,21^{bc}	4,26 ± 0,04^{h}
14	3,98 ± 0,00	1,64 ± 0,06	2,32 ± 0,21^{e}	4,85 ± 0,00^{g}
15	3,96 ± 0,01	1,62 ± 0,06	2,68 ± 0,21^{bc}	4,11 ± 0,00^{ı}

[1]RSM yöntemi uygulanmıştır.

Farklı küçük harfler önemli farklılıkları temsil eder ($p<0,05$).

Tablo 3.59 MD uygulaması sonrası hardaliye numunelerinin pH, TÇKM, TA ve İŞM sonuçları

Deneme Deseni	Yanıtlar			
	pH[1]	TÇKM (°Briks)	TA ($g_{lactic\ acid}$/L)	İŞM[1] (mg/mL)
Kontrol	3,60 ± 0,00	20,17 ± 0,06^{bc}	8,4 ± 0,21^{d}	42,02 ± 0,12
1	3,61 ± 0,00	20,57 ± 0,06^{a}	9,96 ± 0,21^{abc}	36,50 ± 0,20
2	3,64 ± 0,01	20,03 ± 0,06^{cd}	9,96 ± 0,21^{abc}	36,12 ± 0,13
3	3,68 ± 0,02	19,07 ± 0,06^{gh}	8,16 ± 0,21^{d}	38,09 ± 0,13
4	3,69 ± 0,00	18,67 ± 0,06^{ı}	9,84 ± 0,21^{bc}	34,29 ± 0,26
5	3,71 ± 0,00	19,73 ± 0,06^{ef}	9,84 ± 0,21^{bc}	40,32 ± 0,12
6	3,74 ± 0,01	19,13 ± 0,06^{g}	9,72 ± 0,36^{bc}	38,52 ± 0,51
7	3,70 ± 0,01	18,93 ± 0,06^{h}	9,84 ± 0,21^{bc}	43,49 ± 0,26
8	3,72 ± 0,00	20,33 ± 0,06^{b}	10,56 ± 0,21^{a}	36,06 ± 0,58
9	3,74 ± 0,00	18,73 ± 0,06^{ı}	9,84 ± 0,21^{bc}	30,72 ± 0,59
10	3,72 ± 0,00	19,87 ± 0,06^{de}	9,96 ± 0,21^{abc}	41,16 ± 0,04
11	3,72 ± 0,00	20,03 ± 0,06^{cd}	9,48 ± 0,21^{c}	44,50 ± 0,32
12	3,73 ± 0,01	19,23 ± 0,06^{g}	10,20 ± 0,21^{ab}	33,58 ± 0,32
13	3,74 ± 0,00	19,57 ± 0,06^{f}	10,32 ± 0,21^{ab}	37,33 ± 0,08
14	3,74 ± 0,01	19,93 ± 0,06^{d}	10,20 ± 0,21^{ab}	33,18 ± 0,27
15	3,73 ± 0,01	19,07 ± 0,06^{gh}	10,20 ± 0,21^{ab}	38,02 ± 0,20

[1]RSM yöntemi uygulanmıştır.

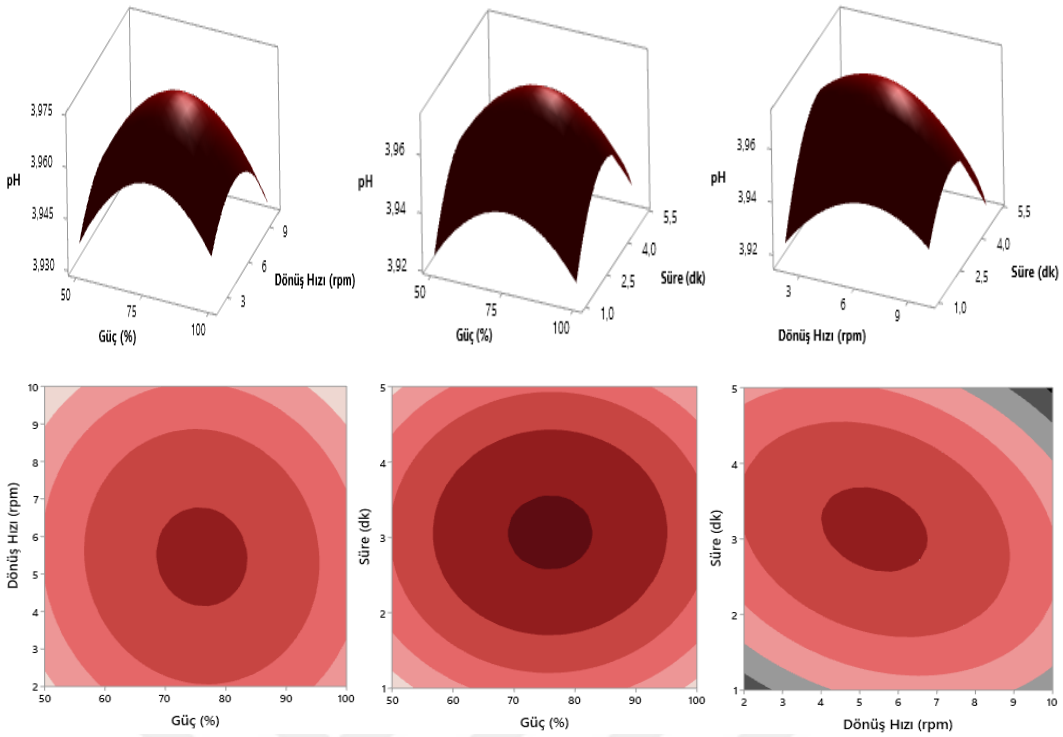
Farklı küçük harfler önemli farklılıkları temsil eder ($p<0,05$).

Mikrodalga uygulaması sonrasında elde edilen şalgam numunelerinin pH analiz sonuçları RSM ile modellenmiş ve ANOVA analiz çıktıları Tablo 3.60'ta gösterilmiştir.

Tablo 3.60 MD uygulaması sonrası şalgam numunelerinin pH için RSM modellemesi ANOVA sonuçları

Kaynak	**SD**	**Kareler Toplamı**	**Kareler Ortalaması**	**F değeri**	**P değeri**
Model	9	0,004643	0,000516	2,44	0,169
G*G	1	0,001401	0,001401	6,64	0,050
t*t	1	0,002269	0,002269	10,75	0,022
Hata	5	0,001055	0,000211		
Uyum Eksikliği	3	0,000770	0,000257	1,80	***0,376***
Saf Hata	2	0,000285	0,000142		
Toplam	14	0,005698			
Standart Sapma		**R^2**	**Düzeltilmiş R^2**	**Tahmini R^2**	
0,0145263		81,48%	48,15%	0,00%	

Şalgam numunelerinin pH analiz sonuçları RSM modellenmesi ile değerlendirildiğinde uyum eksikliği değerinin istatistiksel olarak anlamlı ($p>0,05$) olmaması sebebiyle başarılı şekilde modellenmiştir.



Şekil 3.26 RSM grafikleri: MD'nin şalgam örneklerinin pH değerleri üzerindeki etkisi

ANOVA varyans tablosu ve 3D yüzey grafikleri incelendiğinde, pH değerleri değişimlerinin güç ve sürenin kare kuvvetiyle anlamlı olarak değiştiği görülmektedir. pH analizi sonucunda elde edilen en yüksek değerin (3,98 ± 0,00) parametrelerin orta değerlerin kombinasyonunda (%75 güç- 6 rpm-3 dk) elde edilmiştir.

Mikrodalga uygulaması sonrasında elde edilen hardaliye numunelerinin pH analiz sonuçları RSM ile modellenmiş ve ANOVA analiz çıktıları Tablo 3.61'de gösterilmiştir.

Tablo 3.61 MD uygulaması sonrası hardaliye numunelerinin pH için RSM modellemesi ANOVA sonuçları

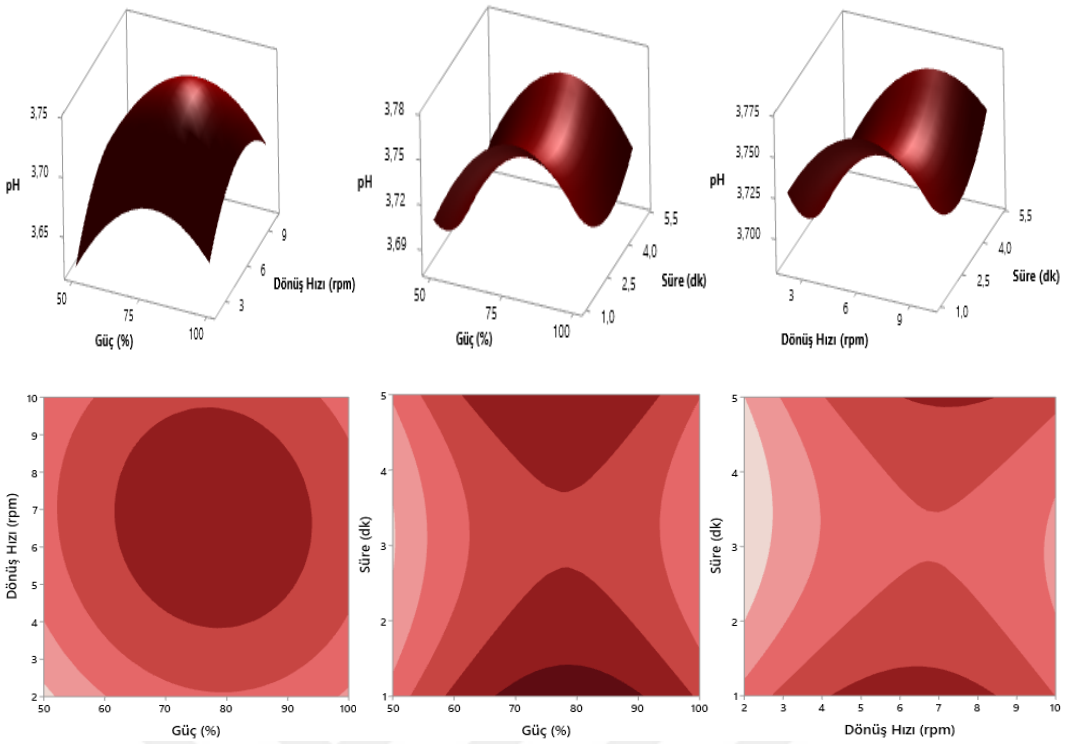
Kaynak	SD	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F değeri	P değeri
Model	9	0,020217	0,002246	5,19	0,042
G*G	1	0,008487	0,008487	19,60	0,007
DH*DH	1	0,005040	0,005040	11,64	0,019
Hata	5	0,002165	0,000433		
Uyum Eksikliği	3	0,002091	0,000697	18,88	***0,051***
Saf Hata	2	0,000074	0,000037		
Toplam	14	0,022382			

Standart Sapma	R^2	Düzeltilmiş R^2	Tahmini R^2
0,0208081	90,33%	72,92%	0,00%

Hardaliye numunelerinin pH analiz sonuçları RSM modellenmesi ile değerlendirildiğinde uyum eksikliği değerinin istatistiksel olarak anlamlı ($p>0,05$) olmaması sebebiyle başarılı şekilde modellenmiştir.

Hardaliyeye ait ANOVA varyans tablosu ve 3D yüzey grafikleri incelendiğinde, pH değerleri değişimlerinin güç ve dönüş hızının kare kuvvetiyle anlamlı olarak değiştiği görülmektedir. Şalgam ile paralel olarak, pH analizi sonucunda elde edilen en yüksek değerin (3,74 ± 0,00) parametrelerin orta değerlerin kombinasyonunda (%75 güç- 6 rpm-3 dk) elde edilmiştir.

Miskkavunu-şeker kamışı suyu karışımı ile yapılmış olan bir araştırmada, 400 W-90 °C-120 sn parametreleri kullanılarak yapılan MD uygulaması sonrasında kontrol numunelerine göre daha yüksek pH (5,07±0,02) seviyesi elde edilmiş ve bu artışın istatistiksel olarak anlamlı ($p\leq0,05$) olduğu belirtilmiştir[168].



Şekil 3.27 RSM grafikleri: MD'nin hardaliye örneklerinin pH değerleri üzerindeki etkisi

Benzer olarak, 800W gücünde MD işlemden sonra citrus-maqui içeceğinin pH değerlerinin hafifçe arttığı (3,38'den 3,46'ya), bu değişimin kabul edilebilir duyusal eşikler içinde kaldığı belirtilmiştir [161]. Mukhtar vd.'nin[169] şeker kamışı ile yapmış olduğu çalışmada ise pH değerlerinde hafif bir düşüş (%0,036) gözlenmiştir; bu durum muhtemelen sıcaklık kaynaklı değişikliklerden kaynaklandığı belirtilmiştir. Lalou vd.'nin [162] araştırmasında, 30, 60 ve 120 sn MD uygulaması ile işlenmiş trabzon hurması sularının pH değerleri, kontrol örneğiyle (3,12) karşılaştırıldığında 2,91 ila 3,40 arasında değişmiştir. Daha uzun mikrodalga işlemine maruz kalan numunelerde asetik asit konsantrasyonlarının asidik koşullar altında pektin deasetilasyonu nedeniyle artabileceği de ifade edilmiştir.

Mikrodalga uygulaması sonrasında elde edilen şalgam numunelerinin TÇKM analiz sonuçları RSM ile modellenmiş ve ANOVA analiz çıktıları Tablo 3.62'de gösterilmiştir.

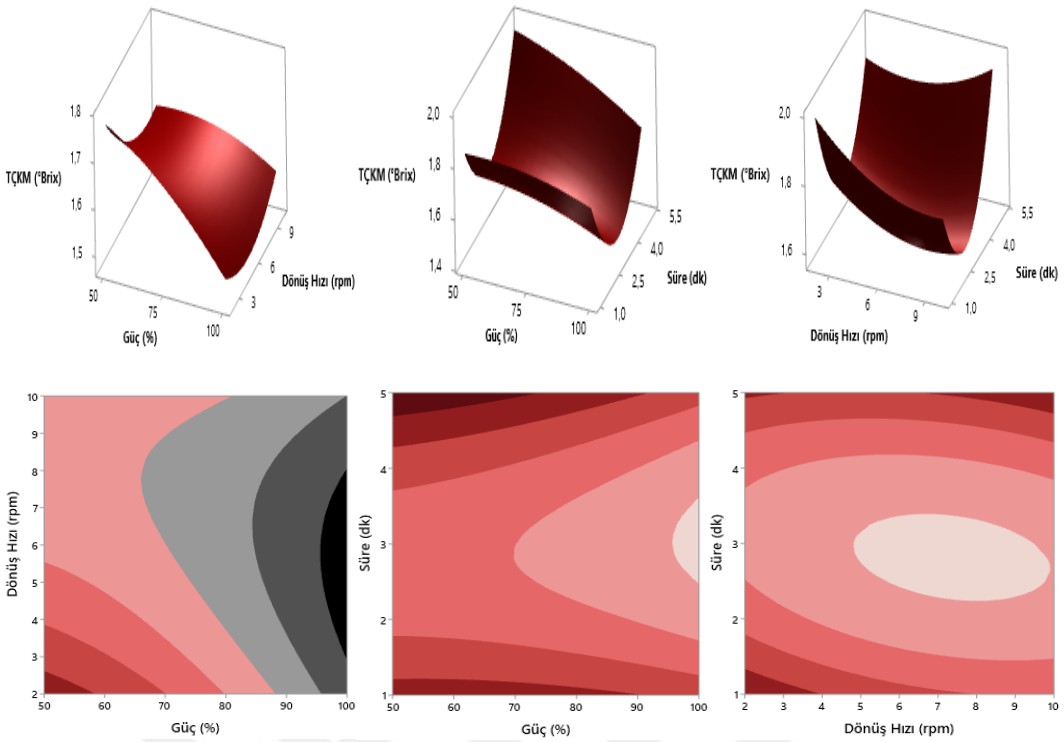
Tablo 3.62 MD uygulaması sonrası şalgam numunelerinin TÇKM için RSM modellemesi ANOVA sonuçları

Kaynak	SD	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F değeri	P değeri
Model	9	0,408804	0,045423	5,32	0,040
t*t	1	0,291142	0,291142	34,11	0,002
Hata	5	0,042683	0,008537		
Uyum Eksikliği	3	0,030405	0,010135	1,65	***0,399***
Saf Hata	2	0,012278	0,006139		
Toplam	14	0,451487			

Standart Sapma	R^2	Düzeltilmiş R^2	Tahmini R^2
0,0923938	90,55%	73,53%	0,00%

Şalgam numunelerinin TÇKM analiz sonuçları RSM modellenmesi ile değerlendirildiğinde uyum eksikliği değerinin istatistiksel olarak anlamlı ($p>0,05$) olmaması sebebiyle başarılı şekilde modellenmiştir.

ANOVA varyans tablosu incelendiğinde mikrodalga ile işlenmiş şalgam numunesine ait TÇKM değerlerinde değişimler gözlemlenmiştir. İşlem süresin kare kuvveti ile değerlerde istatistiksel olarak anlamlı etkiler 3D yüzey grafiklerinde gösterilmiştir (Şekil 3.28). Uygulama süresinin orta değerlerinde (3 dk) en düşük seviyede TÇKM değerleri elde edilmiş, sürenin azalması veya artması ile değerlerde artışlar görülmüştür.



Şekil 3.28 RSM grafikleri: MD'nin şalgam örneklerinin TÇKM değerleri üzerindeki etkisi

Mikrodalga uygulaması sonrasında elde edilen hardaliye numunelerinin TÇKM analiz sonuçları için RSM modellemesi uygulanmış ve ANOVA çıktıları elde edilmiştir. TÇKM analiz sonuçları RSM modellenmesi ile değerlendirildiğinde uyum eksikliği değerinin p=0,265>0,05 olması sebebiyle sonuçlar başarılı şekilde modellenmiştir; ancak elde edilen ANOVA çıktılarında tüm modelleme parametrelerinin istatistiksel olarak önemsiz olduğu belirlenmiştir. Bu nedenle RSM modeline ait 3D yüzey grafikleri gösterilmemiştir.

Yapılan çalışmalarda, numunelere ait TÇKM değerlerinin mikrodalga işleminden sonra değişiklikler gösterdiği tespit edilmiştir. Trabzon hurması suyu numunelerinin toplam çözünür katılar, 30 sn MD işlemindeki azalma dışında, diğer koşullarda nispeten sabit kalmıştır. Glikoz ve fruktoz seviyeleri, şeker içeriği üzerinde minimum etkiye sebep olmuştur [162]. Şeker kamışı suyu numunelerine 700W-5dk mikrodalga uygulaması ile TÇKM %106,5 oranında artmış [169]; 120 saniye boyunca 90 °C'de 400 W-90 °C-120 sn uygulaması yapılan muskkavunu-şeker kamışı suyu karışımına ait toplam çözünür katılar değeri 12,00 ± 0,40 °Brix'e yükselmiştir [168].

Citrus-maqui içeceği üzerine Salar vd.'nin [161] çalışmada, 600-800W uygulamadan sonra TÇKM değerleri 60 günlük depolama boyunca 16,00°Brix'te sabit kalmıştır ve bu da MD işleminin şeker içeriğini olumsuz etkilemediği belirtilmiştir.

Mikrodalga uygulaması sonrasında elde edilen şalgam numunelerinin TA analiz sonuçları için RSM modellemesi uygulanmış ve ANOVA çıktıları elde edilmiştir. TA analiz sonuçları RSM modellenmesi ile değerlendirildiğinde uyum eksikliği değerinin $p=0,134>0,05$ olması sebebiyle sonuçlar başarılı şekilde modellenmiştir; ancak elde edilen ANOVA çıktılarında tüm modelleme parametrelerinin istatistiksel olarak önemsiz olduğu belirlenmiştir. Bu nedenle RSM modeline ait 3D yüzey grafikleri gösterilmemiştir. Şalgamın laktik asit fermentasyon ürünü olduğu düşünüldüğünde, işlem görmemiş örneklerin titrasyon asitliği ölçümleri laktik asit açısından 2,40 ± 0,21 g/L olarak belirlenmiştir [146]. Mikrodalga işleminden sonra TA değerlerinde değişiklikler gözlemlense de bu etki istatistiksel olarak önemli değildir ($p>0,05$).

Mikrodalga uygulaması sonrasında elde edilen hardaliye numunelerinin TA analiz sonuçları için RSM modellemesi uygulanmış ve ANOVA çıktıları elde edilmiştir. TA analiz sonuçlarının RSM modellenmesinde uyum eksikliği değerinin $p=0,012<0,05$ olması sebebiyle değerler başarılı şekilde modellenememiştir. Ayrıca elde edilen ANOVA çıktılarında tüm modelleme parametrelerinin istatistiksel olarak önemsiz olduğu belirlenmiştir. Bu nedenle RSM modeline ait 3D yüzey grafikleri gösterilmemiştir.

Çalışmamızdaki sonuçların aksine, mikrodalga uygulamasının ardından pomelo suyuna ait TA değerinin %1,248'den %1,68'e yükseldiği tespit edilmiştir; MW işleminin etkisiyle organik asitlerin salınması nedeniyle asitliği artırabileceğini düşündürmektedir [170]. Benzer olarak MD işleminden sonra trabzonhurması suyunda TA değeri 0,57 g malik asit/100mL'den MW işleminden sonra 0,69-0,71g/100mL'ye yükselmiştir. Asitlikteki artış, asetile edilmiş pektinlerin hidrolizine ve bunun da asetik asit salınımına yol açtığı yaklaşımıyla açıklanmıştır [162]. MD ile işlenmiş şaraplar, kontrol örneklerine kıyasla TA değerinde bir azalma göstermiştir. Özellikle, TA değerleri MD ile işlenmiş şaraplarda 7,88±0,10 g/L iken kontrollerde 8,48±0,61 g/L olarak tespit edilmiştir [171].

Mikrodalga uygulaması sonrasında elde edilen şalgam numunelerinin İŞM analiz sonuçları için RSM modellemesi uygulanmış ve ANOVA çıktıları elde edilmiştir. İŞM analiz sonuçları RSM modellenmesi ile değerlendirildiğinde uyum eksikliği değerinin p=0,061>0,05 olmasına rağmen R^2, düzeltilmiş R^2 ve tahmini R^2 değerleri çok düşük elde edilmiştir. Ayrıca elde edilen ANOVA çıktılarında tüm modelleme parametrelerinin istatistiksel olarak önemsiz olduğu belirlenmiştir. Bu sebeple sonuçlar RSM modeliyle başarılı şekilde modellenememiştir.

Mikrodalga işleminden sonra indirgen şeker miktarında istatistiksel olarak önemli değişiklikler tespit edilmemiştir (p>0,05). Ancak, Tablo 3.58'deki sonuçlar incelendiğinde yüksek güç seviyelerindeki İŞM değerlerinin diğer koşullarda işlenen ürünlerinkinden daha yüksek seviyelerdedir.

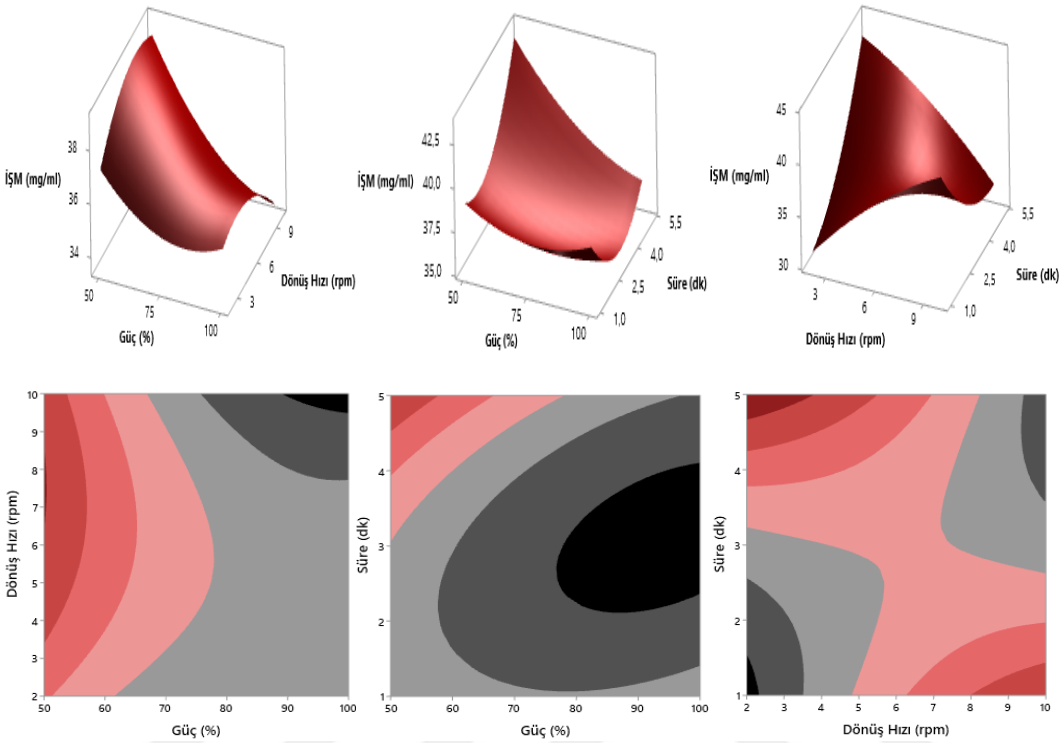
Mikrodalga uygulaması sonrasında elde edilen hardaliye numunelerinin İŞM analiz sonuçları RSM ile modellenmiş ve ANOVA analiz çıktıları Tablo 3.63'te gösterilmiştir.

Tablo 3.63 MD uygulaması sonrası hardaliye numunelerinin İŞM için RSM modellemesi ANOVA sonuçları

Kaynak	**SD**	**Kareler Toplamı**	**Kareler Ortalaması**	**F değeri**	**P değeri**
Model	9	182,552	20,284	4,90	0,047
DH*t	1	114,070	114,070	27,57	0,003
Hata	5	20,686	4,137		
Uyum Eksikliği	3	6,966	2,322	0,34	***0,805***
Saf Hata	2	13,720	6,860		
Toplam	14	203,238			

Standart Sapma	**R^2**	**Düzeltilmiş R^2**	**Tahmini R^2**
2,03399	89,82%	71,50%	29,97%

Hardaliye numunelerinin İŞM analiz sonuçları RSM modellenmesi ile değerlendirildiğinde uyum eksikliği değerinin istatistiksel olarak anlamlı ($p>0,05$) olmaması sebebiyle başarılı şekilde modellenmiştir.



Şekil 3.29 RSM grafikleri: MD'nin hardaliye örneklerinin İŞM değerleri üzerindeki etkisi

Mikrodalga işleminden sonra hardaliyenin indirgen şeker miktarında dönüş hızı-süre etkileşiminin istatistiksel olarak önemli değişikliklere sebep olduğu tespit edilmemiştir ($p<0,05$). Ancak, 3D yüzey grafikleri incelendiğinde dönüş hızı ve uygulama süresinin birbirleriyle ters ilişkileri olduğu; yani yüksek seviyelerindeki İŞM değerleri artan dönüş hızı ve azalan süre veya azalan dönüş hızı ve artan süre ile ilişkili olduğu gözlemlenmiştir.

Benzer sonuçlar elde etmiş olan Lalou vd. [162], MD işlemi trabzonhurması suyunun hem glikoz hem de fruktoz konsantrasyonlarında artışa yol açtığını tespit etmiştir. Özellikle glikoz seviyeleri 120 saniyelik MD işleminden sonra 74,43 g/L (kontrol)'den 80,30 g/L'ye yükselirken, fruktoz 78,24 g/L'den 91,12 g/L'ye yükselmiştir. Bu değişiklikler, MD ısıtmasının meyve matrisinden indirgeyici şekerlerin salınımını artışı ile ilişkilendirilmiştir. Şeker kamışı-nane suyu karışımı ile yapılmış olan bir çalışmada [172], mikrodalga ve sonikasyon işlemlerinin kombinasyonu, indirgeyici şeker içeriğinde hafif bir artışa yol açmış; bu işlemlerin sinerjik etkisi, disakkaritlerin monosakkaritlere parçalanmasını kolaylaştırabileceği ve böylece indirgeyici şeker seviyelerini artırabileceği ile açıklanmaya çalışılmıştır.

3.3.2.2 MD'nin Renk Parametreleri Üzerindeki Etkisi

MD işleminden sonra şalgam numunelerinin L* (parlaklık ve koyuluk), a* (kırmızılık ve yeşil), b* (sarılık ve mavilik), toplam renk farkı (ΔE), renk yoğunluğu/netliği (C*, kroma), renk tonu (h°) değerleri ve spektrofotometrik renk analiz sonuçları (renk yoğunluğu, renk tonu ve sarı-SRT, kırmızı-KRT, mavi-MRT renk bileşenleri yüzdeleri) Tablo 3.64, 3.65 ve 3.66'da verilmiştir.

Tablo 3.64 MD uygulaması sonrası şalgam numunelerinin L*, a*, b* ve ΔE sonuçları

Deneme Deseni	Yanıtlar			
	L*[1]	a*	b*	ΔE
Kontrol	39,48 ± 2,29	53,39 ± 1,28^{a}	24,30 ± 0,30^{a}	-
1	40,41 ± 1,03	51,19 ± 0,56^{b}	23,80 ± 0,74^{ab}	2,68 ± 0,27^{ab}
2	39,52 ± 0,61	52,42 ± 0,63^{ab}	24,43 ± 0,46^{a}	1,19 ± 0,55^{b}
3	40,91 ± 0,89	51,44 ± 0,70^{b}	23,43 ± 0,61^{ab}	2,61 ± 1,17^{ab}
4	37,11 ± 0,54	51,08 ± 0,30^{b}	22,93 ± 0,47^{ab}	3,59 ± 0,72^{ab}
5	38,17 ± 0,72	51,25 ± 0,31^{b}	22,92 ± 0,38^{ab}	2,88 ± 0,75^{ab}
6	37,45 ± 0,08	51,63 ± 0,03^{b}	22,92 ± 0,38^{ab}	3,04 ± 0,14^{ab}
7	39,11 ± 0,91	52,35 ± 0,24^{ab}	24,01 ± 0,17^{ab}	1,37 ± 0,29^{b}
8	38,91 ± 1,78	51,76 ± 0,79^{ab}	24,07 ± 0,65^{ab}	2,36 ± 0,67^{ab}
9	37,15 ± 1,22	52,11 ± 0,73^{ab}	23,08 ± 0,49^{ab}	2,93 ± 1,48^{ab}
10	37,43 ± 1,24	51,40 ± 0,74^{b}	22,91 ± 0,93^{ab}	3,20 ± 1,65^{ab}
11	36,74 ± 0,70	50,97 ± 0,28^{b}	22,47 ± 0,50^{b}	4,11 ± 0,79^{a}
12	36,64 ± 0,19	51,04 ± 0,15^{b}	22,38 ± 0,41^{b}	4,16 ± 0,41^{a}
13	36,94 ± 0,20	51,26 ± 0,29^{b}	23,56 ± 0,21^{ab}	3,40 ± 0,34^{ab}
14	37,60 ± 1,54	50,98 ± 0,51^{b}	22,96 ± 0,72^{ab}	3,44 ± 1,44^{ab}
15	37,00 ± 0,62	51,42 ± 0,44^{b}	22,87 ± 0,93^{ab}	3,51 ± 1,03^{ab}

[1]RSM yöntemi uygulanmıştır.

Farklı küçük harfler önemli farklılıkları temsil eder ($p < 0,05$).

Tablo 3.65 MD uygulaması sonrası şalgam numunelerinin C*, h°, renk yoğunluğu ve renk tonu sonuçları

Deneme Deseni	Yanıtlar			
	C*	h°	Renk yoğunluğu	Renk Tonu[1]
Kontrol	58,66 ± 1,20^{a}	0,43 ± 0,01^{a}	10,63 ± 0,03^{bc}	0,357 ± 0,002
1	56,46 ± 0,48^{bc}	0,44 ± 0,01^{a}	9,92 ± 0,09^{fg}	0,356 ± 0,004
2	57,84 ± 0,76^{ab}	0,44 ± 0,00^{a}	9,51 ± 0,26^{hı}	0,383 ± 0,007
3	56,52 ± 0,89^{bc}	0,43 ± 0,00^{a}	10,26 ± 0,08^{de}	0,364 ± 0,003
4	55,99 ± 0,47^{bc}	0,42 ± 0,01^{a}	9,96 ± 0,22^{efg}	0,356 ± 0,007
5	56,15 ± 0,44^{bc}	0,42 ± 0,00^{a}	10,37 ± 0,10^{cd}	0,357 ± 0,004
6	56,49 ± 0,15^{bc}	0,42 ± 0,01^{a}	9,37 ± 0,05^{ı}	0,356 ± 0,002
7	57,59 ± 0,29^{abc}	0,43 ± 0,00^{a}	11,63 ± 0,02^{a}	0,361 ± 0,001
8	57,09 ± 0,50^{abc}	0,44 ± 0,02^{a}	9,81 ± 0,07^{gh}	0,362 ± 0,005
9	56,99 ± 0,86^{abc}	0,42 ± 0,00^{a}	11,57 ± 0,04^{a}	0,363 ± 0,005
10	56,28 ± 1,06^{bc}	0,42 ± 0,01^{a}	10,62 ± 0,06c	0,360 ± 0,001
11	55,70 ± 0,42^{c}	0,42 ± 0,01^{a}	10,93 ± 0,09^{b}	0,363 ± 0,001
12	55,73 ± 0,31^{c}	0,41 ± 0,01^{a}	10,22 ± 0,02^{def}	0,359 ± 0,001
13	56,41 ± 0,35^{bc}	0,43 ± 0,00^{a}	7,35 ± 0,03^{j}	0,358 ± 0,001
14	55,91 ± 0,74^{bc}	0,42 ± 0,01^{a}	9,22 ± 0,02^{ı}	0,362 ± 0,001
15	56,28 ± 0,78^{bc}	0,42 ± 0,01^{a}	11,77 ± 0,02^{a}	0,360 ± 0,000

[1]RSM yöntemi uygulanmıştır.

Farklı küçük harfler önemli farklılıkları temsil eder ($p < 0,05$).

Tablo 3.66 MD uygulaması sonrası şalgam numunelerinin SRT, KRT ve MRT sonuçları

Deneme Deseni	Yanıtlar		
	SRT (%)[1]	**KRT (%)[1]**	**MRT (%)[1]**
Kontrol	25,07 ± 0,08	70,06 ± 0,15	4,87 ± 0,10
1	24,94 ± 0,13	70,06 ± 0,45	5,00 ± 0,32
2	25,74 ± 0,07	67,22 ± 1,11	7,04 ± 1,09
3	25,19 ± 0,07	69,13 ± 0,37	5,68 ± 0,32
4	24,99 ± 0,25	70,25 ± 0,68	4,76 ± 0,43
5	24,99 ± 0,13	69,99 ± 0,35	5,02 ± 0,23
6	25,04 ± 0,07	70,35 ± 0,17	4,61 ± 0,11
7	25,13 ± 0,07	69,67 ± 0,16	5,19 ± 0,22
8	25,16 ± 0,25	69,45 ± 0,26	5,39 ± 0,02
9	25,28 ± 0,22	69,69 ± 0,37	5,04 ± 0,17
10	25,06 ± 0,04	69,53 ± 0,20	5,41 ± 0,24
11	25,17 ± 0,00	69,30 ± 0,19	5,53 ± 0,19
12	25,07 ± 0,01	69,76 ± 0,21	5,17 ± 0,22
13	25,07 ± 0,03	69,94 ± 0,13	4,99 ± 0,15
14	25,14 ± 0,02	69,51 ± 0,10	5,35 ± 0,08
15	25,10 ± 0,02	69,65 ± 0,06	5,25 ± 0,07

[1]RSM yöntemi uygulanmıştır.

Farklı küçük harfler önemli farklılıkları temsil eder ($p < 0,05$).

MD işleminden sonra hardaliye numunelerinin L* (parlaklık ve koyuluk), a* (kırmızılık ve yeşil), b* (sarılık ve mavilik), toplam renk farkı (ΔE), renk yoğunluğu/netliği (C*, kroma), renk tonu (h°) değerleri ve spektrofotometrik renk analiz sonuçları (renk yoğunluğu, renk tonu ve sarı-SRT, kırmızı-KRT, mavi-MRT renk bileşenleri yüzdeleri) Tablo 3.67, 3.68 ve 3.69'da verilmiştir.

Tablo 3.67 MD uygulaması sonrası hardaliye numunelerinin L*, a*, b* ve ΔE sonuçları

Deneme Deseni	Yanıtlar			
	L*[1]	a*	b*[1]	ΔE
Kontrol	46,53 ± 0,39	31,39 ± 0,23^{a}	6,72 ± 0,10	-
1	47,62 ± 0,50	29,88 ± 0,54^{bcd}	6,27 ± 0,41	2,01 ± 0,83^{cd}
2	49,25 ± 0,64	28,68 ± 0,96^{de}	5,68 ± 0,44	3,99 ± 0,97^{ab}
3	48,24 ± 0,76	28,97 ± 0,58^{bcde}	5,91 ± 0,11	3,13 ± 1,19^{bc}
4	46,28 ± 0,56	29,63 ± 0,31^{bcd}	6,33 ± 0,47	2,02 ± 0,38^{cd}
5	47,12 ± 0,39	29,57 ± 0,31^{bcd}	6,67 ± 0,19	1,95 ± 0,24^{cd}
6	48,55 ± 0,31	26,49 ± 0,57^{f}	7,38 ± 0,19	5,36 ± 0,89^{a}
7	47,07 ± 0,23	29,93 ± 0,35^{bcd}	6,85 ± 0,15	1,58 ± 0,35^{d}
8	45,82 ± 0,44	30,29 ± 0,53^{ab}	6,74 ± 0,20	1,54 ± 0,12^{d}
9	45,53 ± 0,19	28,86 ± 0,05^{cde}	7,71 ± 0,09	2,92 ± 0,12^{bcd}
10	48,89 ± 0,51	28,01 ± 0,24^{e}	7,74 ± 0,17	4,27 ± 0,47^{ab}
11	50,11 ± 0,09	28,84 ± 0,19^{cde}	6,28 ± 0,04	4,42 ± 0,63^{ab}
12	46,41 ± 0,36	29,93 ± 0,16^{bcd}	7,06 ± 0,01	1,52 ± 0,36^{d}
13	47,47 ± 0,40	30,02 ± 0,28^{bc}	6,91 ± 0,09	1,76 ± 0,53^{cd}
14	47,18 ± 0,51	29,46 ± 0,21^{bcd}	7,77 ± 0,22	2,42 ± 0,34^{cd}
15	48,41 ± 0,34	27,68 ± 0,62^{ef}	7,93 ± 0,16	4,35 ± 0,24^{ab}

[1]RSM yöntemi uygulanmıştır.

Farklı küçük harfler önemli farklılıkları temsil eder ($p < 0,05$).

Tablo 3.68 MD uygulaması sonrası hardaliye numunelerinin C*, h°, renk yoğunluğu ve renk tonu sonuçları

Deneme Deseni	Yanıtlar			
	C*	h°[1]	Renk yoğunluğu	Renk Tonu[1]
Kontrol	32,10 ± 0,24^{a}	0,21 ± 0,00	3,50 ± 0,01^{a}	0,989 ± 0,002
1	30,53 ± 0,61^{bcd}	0,21 ± 0,01	3,01 ± 0,00^{c}	0,972 ± 0,008
2	29,24 ± 1,03^{def}	0,20 ± 0,01	2,80 ± 0,02^{g}	0,941 ± 0,004
3	29,57 ± 0,55^{cdef}	0,20 ± 0,01	2,76 ± 0,01^{h}	0,944 ± 0,003
4	30,30 ± 0,35^{bcde}	0,21 ± 0,01	2,79 ± 0,01^{gh}	0,958 ± 0,003
5	30,31 ± 0,34^{bcde}	0,22 ± 0,00	2,93 ± 0,01^{de}	0,957 ± 0,001
6	27,50 ± 0,59^{g}	0,27 ± 0,00	3,04 ± 0,00^{c}	0,970 ± 0,001
7	30,70 ± 0,37^{abc}	0,23 ± 0,00	2,60 ± 0,02^{j}	0,937 ± 0,006
8	31,03 ± 0,55^{ab}	0,22 ± 0,00	3,19 ± 0,01^{b}	0,939 ± 0,008
9	29,87 ± 0,07^{bcde}	0,26 ± 0,00	2,54 ± 0,01^{k}	0,958 ± 0,003
10	29,06 ± 0,26^{ef}	0,27 ± 0,01	2,77 ± 0,00^{gh}	0,958 ± 0,001
11	29,52 ± 0,19^{cdef}	0,21 ± 0,00	2,97 ± 0,00^{d}	0,939 ± 0,003
12	30,75 ± 0,16^{abc}	0,23 ± 0,00	2,69 ± 0,02^{ı}	0,938 ± 0,002
13	30,81 ± 0,29^{abc}	0,23 ± 0,00	2,91 ± 0,01^{ef}	0,954 ± 0,007
14	30,47 ± 0,23^{bcde}	0,26 ± 0,01	2,89 ± 0,01^{f}	0,973 ± 0,011
15	28,80 ± 0,64^{fg}	0,28 ± 0,00	2,96 ± 0,01^{d}	0,954 ± 0,010

[1]RSM yöntemi uygulanmıştır.

Farklı küçük harfler önemli farklılıkları temsil eder ($p < 0,05$).

Tablo 3.69 MD uygulaması sonrası hardaliye numunelerinin SRT, KRT ve MRT sonuçları

Deneme Deseni	Yanıtlar		
	SRT (%)[1]	**KRT (%)[1]**	**MRT (%)[1]**
Kontrol	43,23 ± 0,09	43,69 ± 0,09	13,08 ± 0,04
1	43,48 ± 0,22	44,73 ± 0,15	11,79 ± 0,08
2	43,01 ± 0,14	45,71 ± 0,08	11,28 ± 0,12
3	42,94 ± 0,05	45,50 ± 0,12	11,56 ± 0,13
4	42,96 ± 0,10	44,84 ± 0,08	12,19 ± 0,10
5	42,88 ± 0,06	44,82 ± 0,03	12,31 ± 0,08
6	43,64 ± 0,05	45,02 ± 0,10	11,34 ± 0,15
7	42,97 ± 0,24	45,88 ± 0,02	11,14 ± 0,22
8	42,41 ± 0,31	45,16 ± 0,05	12,43 ± 0,25
9	43,43 ± 0,21	45,35 ± 0,07	11,22 ± 0,28
10	43,32 ± 0,04	45,24 ± 0,02	11,44 ± 0,05
11	42,91 ± 0,14	45,68 ± 0,03	11,41 ± 0,16
12	42,97 ± 0,15	45,80 ± 0,07	11,23 ± 0,22
13	43,05 ± 0,14	45,12 ± 0,12	11,84 ± 0,20
14	43,16 ± 0,09	44,35 ± 0,13	12,50 ± 0,14
15	42,89 ± 0,12	44,98 ± 0,10	12,12 ± 0,25

[1]RSM yöntemi uygulanmıştır.

Farklı küçük harfler önemli farklılıkları temsil eder ($p < 0,05$).

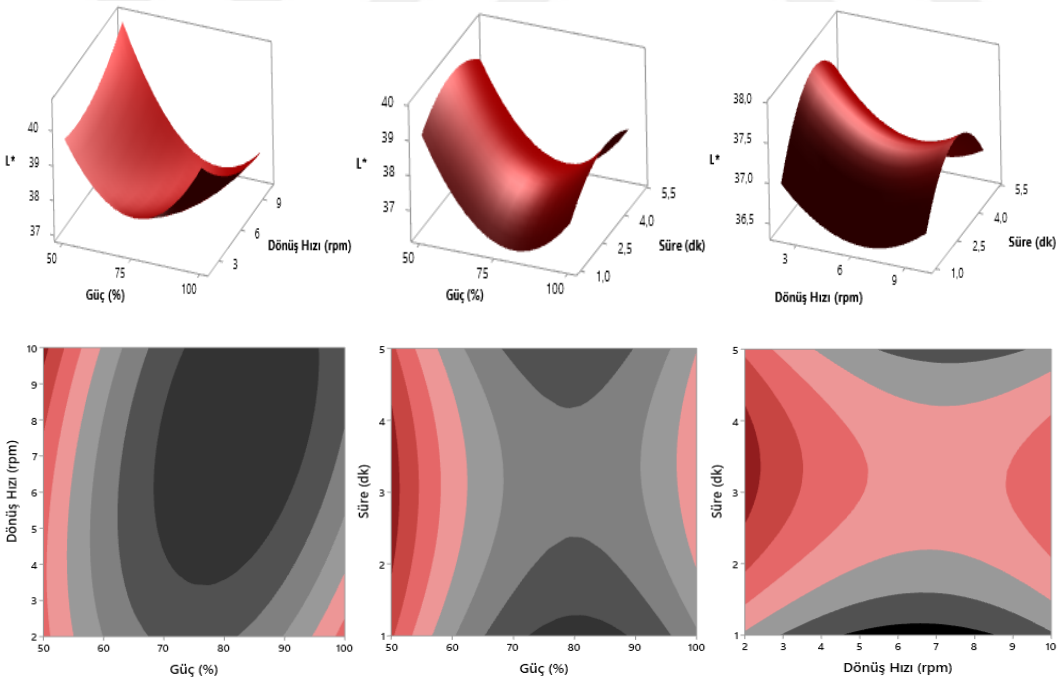
Mikrodalga uygulaması sonrasında elde edilen şalgam numunelerinin L* analiz sonuçları RSM ile modellenmiş ve ANOVA analiz çıktıları Tablo 3.70'te gösterilmiştir.

Tablo 3.70 MD uygulaması sonrası şalgam numunelerinin L* için RSM modellemesi ANOVA sonuçları

Kaynak	SD	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F değeri	P değeri
Model	9	22,2533	2,4726	2,93	0,124
G*G	1	12,8094	12,8094	15,19	0,011
Hata	5	4,2167	0,8433		
Uyum Eksikliği	3	3,9517	1,3172	9,94	***0,093***
Saf Hata	2	0,2650	0,1325		
Toplam	14	26,4700			

Standart Sapma	R^2	Düzeltilmiş R^2	Tahmini R^2
0,918334	84,07%	55,40%	0,00%

Şalgam numunelerinin L* analiz sonuçları RSM modellenmesi ile değerlendirildiğinde uyum eksikliği değerinin istatistiksel olarak anlamlı (p>0,05) olmaması sebebiyle başarılı şekilde modellenmiştir.



Şekil 3.30 RSM grafikleri: MD'nin şalgam örneklerinin L* değerleri üzerindeki etkisi

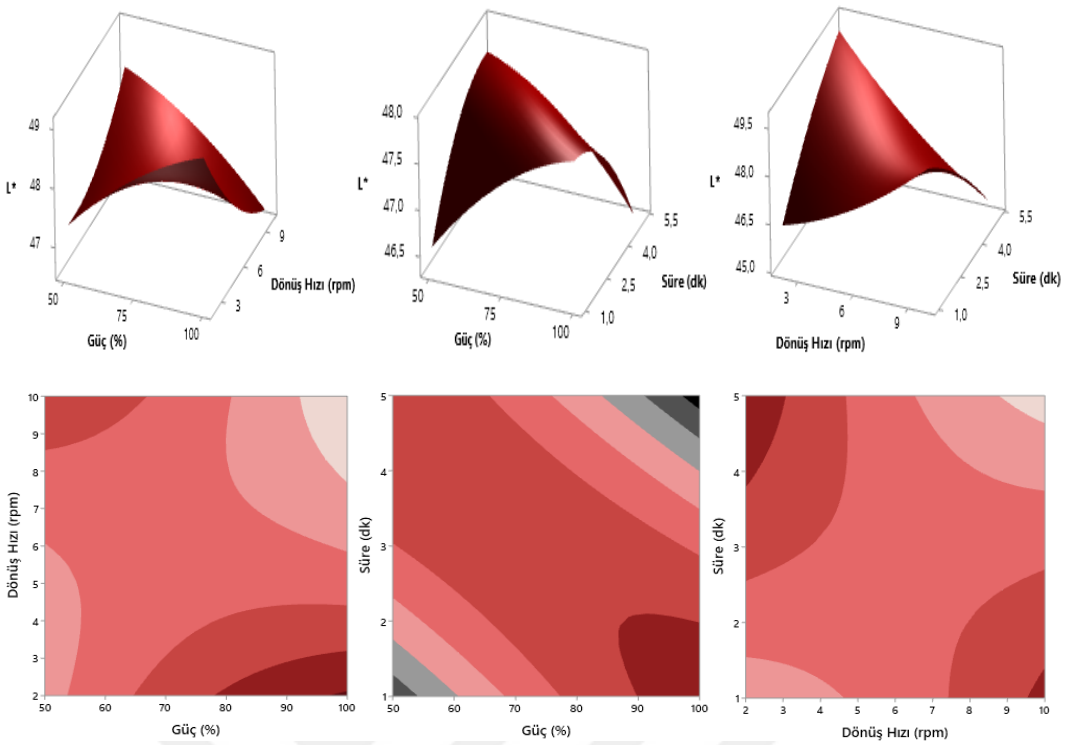
Mikrodalga uygulaması sonrasında elde edilen hardaliye numunelerinin L* analiz sonuçları RSM ile modellenmiş ve ANOVA analiz çıktıları Tablo 3.71'de gösterilmiştir.

Tablo 3.71 MD uygulaması sonrası hardaliye numunelerinin L* için RSM modellemesi ANOVA sonuçları

Kaynak	**SD**	**Kareler Toplamı**	**Kareler Ortalaması**	**F değeri**	**P değeri**
Model	9	19,5905	2,1767	2,52	0,161
DH*t	1	12,4491	12,4491	14,42	0,013
Hata	5	4,3166	0,8633		
Uyum Eksikliği	3	3,4960	1,1653	2,84	***0,271***
Saf Hata	2	0,8206	0,4103		
Toplam	14	23,9071			

Standart Sapma	**R^2**	**Düzeltilmiş R^2**	**Tahmini R^2**
0,929151	81,94%	49,44%	0,00%

Hardaliye numunelerinin L* analiz sonuçları RSM modellenmesi ile değerlendirildiğinde uyum eksikliği değerinin istatistiksel olarak anlamlı ($p>0,05$) olmaması sebebiyle başarılı şekilde modellenmiştir.



Şekil 3.31 RSM grafikleri: MD'nin hardaliye örneklerinin L* değerleri üzerindeki etkisi

Mikrodalga uygulaması sonrasında elde edilen şalgam ve hardaliye numunelerinin a* analiz sonuçları için RSM modellemesi uygulanmış ve ANOVA çıktıları elde edilmiştir. a* analiz sonuçları RSM modellenmesi ile değerlendirildiğinde uyum eksikliği değerinin p=0,122>0,05 (şalgam) ve p=0,841>0,05 (hardaliye)olması sebebiyle sonuçlar başarılı şekilde modellenmiştir; ancak elde edilen ANOVA çıktılarında tüm modelleme parametrelerinin istatistiksel olarak önemsiz olduğu belirlenmiştir. Bu nedenle RSM modeline ait 3D yüzey grafikleri gösterilmemiştir.

Mikrodalga uygulaması sonrasında elde edilen şalgam numunelerinin b* analiz sonuçları için RSM modellemesi uygulanmış ve ANOVA çıktıları elde edilmiştir. b* analiz sonuçları RSM modellenmesi ile değerlendirildiğinde uyum eksikliği değerinin p=0,199>0,05 olması sebebiyle sonuçlar başarılı şekilde modellenmiştir; ancak elde edilen ANOVA çıktılarında tüm modelleme parametrelerinin istatistiksel olarak önemsiz olduğu belirlenmiştir. Bu nedenle RSM modeline ait 3D yüzey grafikleri gösterilmemiştir.

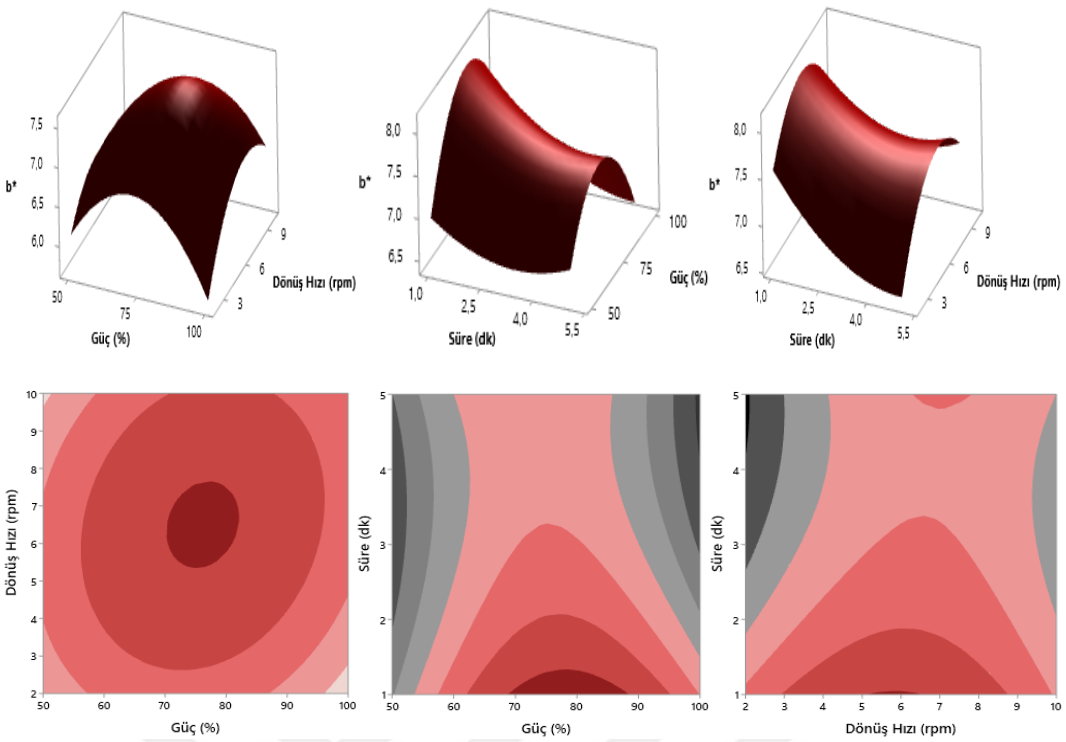
Mikrodalga uygulaması sonrasında elde edilen hardaliye numunelerinin b* analiz sonuçları RSM ile modellenmiş ve ANOVA analiz çıktıları Tablo 3.72'de gösterilmiştir.

Tablo 3.72 MD uygulaması sonrası hardaliye numunelerinin b* için RSM modellemesi ANOVA sonuçları

Kaynak	SD	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F değeri	P değeri
Model	9	6,02191	0,66910	3,19	0,107
G*G	1	2,90736	2,90736	13,88	0,014
Hata	5	1,04714	0,20943		
Uyum Eksikliği	3	0,44789	0,14930	0,50	***0,720***
Saf Hata	2	0,59925	0,29963		
Toplam	14	7,06905			
Standart Sapma		**R^2**	**Düzeltilmiş R^2**	**Tahmini R^2**	
0,457634		85,19%	58,52%	0,00%	

Hardaliye numunelerinin b* analiz sonuçları RSM modellenmesi ile değerlendirildiğinde uyum eksikliği değerinin istatistiksel olarak anlamlı ($p>0,05$) olmaması sebebiyle başarılı şekilde modellenmiştir.

Şalgam numunesine ait RSM sonuçları değerlendirildiğinde, mikrodalga işleminde kullanılan üç parametre açısından temel renk parametrelerinin a* (50,97 ± 0,28 − 52,42 ± 0,63) ve b* (22,47 ± 0,50 −23,43 ± 0,61) değerlerinde önemli bir değişiklik gözlemlenmemiştir ($p>0,05$); ancak L* (36,94 ± 0,20 − 40,91 ± 0,89) değerlerinde gücün kare kuvvetiyle önemli bir değişiklik gözlemlenmiştir ($p<0,05$) (Şekil 3.30). %50 güç - 10 rpm - 3 dk koşullarında L* değeri kontrol numunesinin de üzerine çıkarak maksimum seviyeye ulaşmıştır. Hardaliye ürününde ise mikrodalga uygulama parametrelerinin temel renk değerlerinden L* (48,55 ± 0,31− 50,11 ± 0,09) ve b* (5,68 ± 0,44 − 7,93 ± 0,16) için önemli bir değişiklikler gözlemlenirken ($p<0,05$); a* (26,49 ± 0,57 − 30,29 ± 0,53) değerinde önemli bir değişiklik gözlemlenmemiştir ($p>0,05$). L* değerleri dönüş hızı-süre etkileşimi ile, b* değerleri güç parametresinin kare kuvvetiyle değişim göstermektedir.



Şekil 3.32 RSM grafikleri: MD'nin hardaliye örneklerinin b* değerleri üzerindeki etkisi

Olgunlaşmış yaban mersini şarabına 100 Hz - 60 sn koşullarında yüksek güçlü darbeli mikrodalga uygulamasında bulgular L* değerinin 47,04'e yükseldiğini ve ürünün daha parlak bir görünüm olduğunu göstermiştir. Depolama sırasında, a* değeri (kırmızılık) azalırken, b* değeri (sarılık) artmıştır [173]. Mikrodalgada işlenmiş (900 W - 30, 60, 90 sn) mango-peynir altı suyu içeceklerini chia tohumlarıyla karşılaştırıldığı bir araştırmada [162], artan MD uygulama süresinin L* değerinde bir düşüşe yol açtığı ve daha koyu bir renge işaret ettiği gözlemlenmiştir. Bu değişiklik, işlem sırasında Maillard reaksiyonlarına ve polifenol polimerizasyonuna atfedilmiştir.

Mikrodalga uygulaması sonrasında elde edilen şalgam numunelerinin ΔE analiz sonuçları için RSM modellemesi uygulanmış ve ANOVA çıktıları elde edilmiştir. ΔE analiz sonuçlarının RSM modellenmesinde uyum eksikliği değerinin $p=0,003<0,05$ olması sebebiyle değerler başarılı şekilde modellenememiştir. ANOVA sonuç tablosu incelendiğinde, çeşitli koşullar arasında ΔE değerlerinde önemli bir fark bulunmamıştır ($p>0,05$).

Mikrodalga uygulaması sonrasında elde edilen hardaliye numunelerinin ΔE analiz sonuçları için RSM modellemesi uygulanmış ve ANOVA çıktıları elde edilmiştir. ΔE analiz sonuçları RSM modellenmesi ile değerlendirildiğinde uyum eksikliği değerinin p=0,799>0,05 olması sebebiyle sonuçlar başarılı şekilde modellenmiştir; ancak elde edilen ANOVA çıktılarında tüm modelleme parametrelerinin istatistiksel olarak önemsiz olduğu belirlenmiştir. Bu nedenle RSM modeline ait 3D yüzey grafikleri gösterilmemiştir.

Mikrodalga işlemine (900 W) tabii tutulan trabzonhurması suyunun ΔE değerleri 4,08 (30 sn), 4,90 (60 sn) ve 11,1 (120 sn) olarak bulunmuştur. Bu değerler, daha uzun MW maruziyetinin daha belirgin renk değişimlerine yol açtığını göstermektedir [162]. Kısa süreli MW işleminden (2450 MHz – 480W - 3 dk) 70 gün sonra *Cabernet Gernischt* kırmızı şarap için 6'dan büyük ΔE değerleriyle elde edilmiştir ve bu da belirgin renk farklarını ifade etmektedir [174].

Mikrodalga uygulaması sonrasında elde edilen şalgam ve hardaliye numunelerinin C* analiz sonuçları için RSM modellemesi uygulanmış ve ANOVA çıktıları elde edilmiştir. C* analiz sonuçları RSM modellenmesi ile değerlendirildiğinde uyum eksikliği değerinin p=0,088>0,05 (şalgam) ve p=0,782>0,05 (hardaliye) olması sebebiyle sonuçlar başarılı şekilde modellenmiştir; ancak elde edilen ANOVA çıktılarında tüm modelleme parametrelerinin istatistiksel olarak önemsiz olduğu belirlenmiştir. Bu nedenle RSM modeline ait 3D yüzey grafikleri gösterilmemiştir.

Mikrodalga işlemi, renk doygunluğu (kroma/C*) değerinin yaban mersini şarabı için zamanla daha iyi korunduğunu (değerlerindeki düşüş yavaşlamıştır) [173] ve citrus-maqui içeceği için depolama sırasında renk doygunluğu küçük bir kaybına işaret ettiği (hafif bir düşüş olduğu)[161] gözlemlenirken; *Cabernet Gernischt* kırmızı şarap için C* değerleri kısa MD uygulamasıyla artarak daha canlı renge sahip ürünler ortaya çıkmıştır [174].

Mikrodalga uygulaması sonrasında elde edilen şalgam numunelerinin h° analiz sonuçları için RSM modellemesi uygulanmış ve ANOVA çıktıları elde edilmiştir. h° analiz sonuçları RSM modellenmesi ile değerlendirildiğinde uyum eksikliği değerinin p=0,368>0,05 olması sebebiyle sonuçlar başarılı şekilde modellenmiştir; ancak elde edilen ANOVA çıktılarında tüm modelleme parametrelerinin istatistiksel olarak önemsiz olduğu belirlenmiştir. Bu nedenle RSM modeline ait 3D yüzey grafikleri gösterilmemiştir. Renk tonu açısı h° değerleri uygulama parametrelerinden istatistiksel olarak anlamlı şekilde etkilenmemiştir (p>0,05).

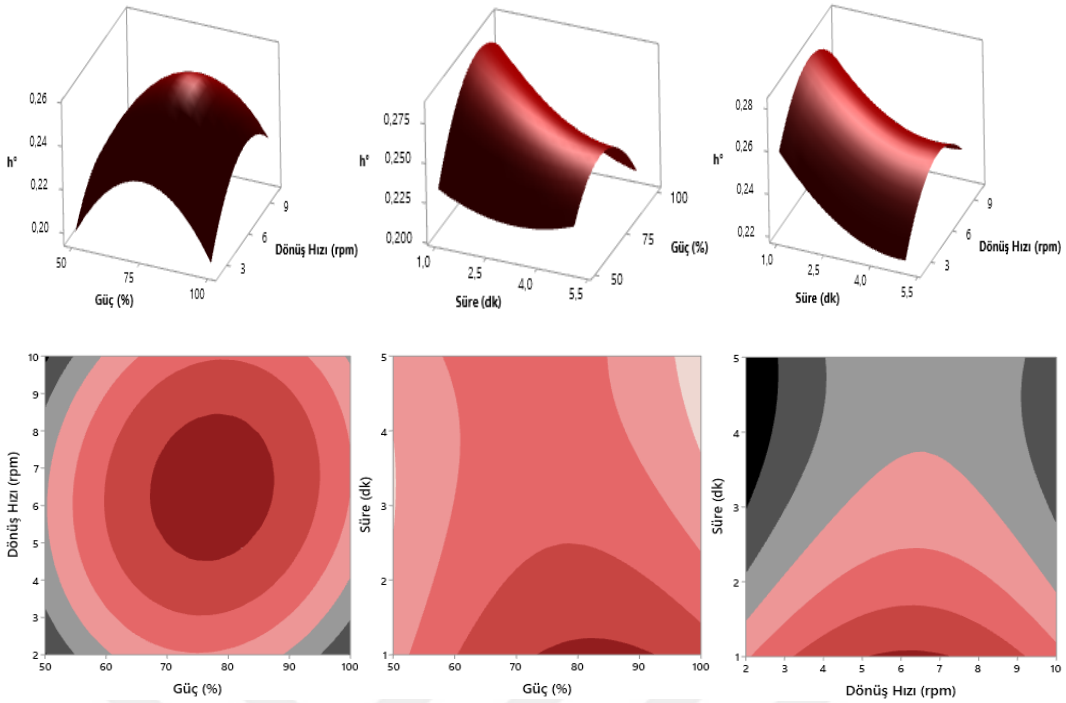
Mikrodalga uygulaması sonrasında elde edilen hardaliye numunelerinin h° analiz sonuçları RSM ile modellenmiş ve ANOVA analiz çıktıları Tablo 3.73'te gösterilmiştir.

Tablo 3.73 MD uygulaması sonrası hardaliye numunelerinin h° için RSM modellemesi ANOVA sonuçları

Kaynak	**SD**	**Kareler Toplamı**	**Kareler Ortalaması**	**F değeri**	**P değeri**
Model	9	0,008885	0,000987	2,66	0,147
G*G	1	0,003399	0,003399	9,17	0,029
Hata	5	0,001854	0,000371		
Uyum Eksikliği	3	0,000449	0,000150	0,21	***0,881***
Saf Hata	2	0,001405	0,000703		
Toplam	14	0,010739			

Standart Sapma	**R^2**	**Düzeltilmiş R^2**	**Tahmini R^2**
0,0192562	82,74%	51,66%	3,67%

Hardaliye numunelerinin h° analiz sonuçları RSM modellenmesi ile değerlendirildiğinde uyum eksikliği değerinin istatistiksel olarak anlamlı (p>0,05) olmaması sebebiyle başarılı şekilde modellenmiştir.



Şekil 3.33 RSM grafikleri: MD'nin hardaliye örneklerinin h° değerleri üzerindeki etkisi

Hardaliye numuneleri için 3D yüzey grafikleri ve varyans tablosu incelendiğinde, b* değerlerinin davranışına benzer olarak h° değerleri de güç parametresinin kare kuvvetiyle değişim göstermektedir (Şekil 3.33). Mikrodalga işleminden sonra tüm uygulama kombinasyonlarında elde edilen sonuçların kontrol numunesine (0,21 ± 0,00) kıyasla daha yüksek olduğu tespit edilmiş; mikrodalga işleminden sonra en yüksek elde edilen değerin %75 güç-6 rpm-3dk kombinasyonunda 0,28 ± 0,00 olarak elde edilmiştir.

Yaban mersini şarabı [173], trabzonhurması suyu [162] ve citrus-maqui içeceği ile yapılan çalışmalarda, h° değerlerinde MD işlemi sonrasında artışlar olduğu belirtilmiştir. Bu sonuç doğrultusunda renk tonunda bir değişim olduğu ve hatta trabzonhurması içeceğinde renk tonu açısının MD işlem süresinin artışıyla birlikte artarak daha sarımsı bir renk tonuna doğru bir değişim tespit edildiği belirtilmiştir. Benzer olarak citrus-maqui içeceğinde h° değerleri MD işlem süresinin artışıyla birlikte artarak daha kahverengileşme eğilimi göstermiştir. Bu değişiklik, işlem sırasında Maillard reaksiyonlarına işaret olabileceği düşünülmüştür. *Cabernet Gernischt* kırmızı şarap için ton açısı değerlerinin hafifçe azaldığı ve bunun kırmızı tonlara doğru bir kaymaya işaret ettiği belirtilmiştir.

Mikrodalga uygulaması sonrasında elde edilen şalgam numunelerinin renk yoğunluğu analiz sonuçları için RSM modellemesi uygulanmış ve ANOVA çıktıları elde edilmiştir. Renk yoğunluğu analiz sonuçları RSM modellenmesi ile değerlendirildiğinde uyum eksikliği değerinin p=0,920>0,05 olmasına rağmen R^2, düzeltilmiş R^2 ve tahmini R^2 değerleri çok düşük elde edilmiştir. Ayrıca elde edilen ANOVA çıktılarında tüm modelleme parametrelerinin istatistiksel olarak önemsiz olduğu belirlenmiştir. Bu sebeple sonuçlar RSM modeliyle başarılı şekilde modellenememiştir.

Mikrodalga uygulaması sonrasında elde edilen hardaliye numunelerinin renk yoğunluğu analiz sonuçları için RSM modellemesi uygulanmış ve ANOVA çıktıları elde edilmiştir. Renk yoğunluğu analiz sonuçları RSM modellenmesinde uyum eksikliği değerinin p=0,025<0,05 olması sebebiyle değerler başarılı şekilde modellenememiştir; ayrıca elde edilen ANOVA çıktılarında tüm modelleme parametrelerinin istatistiksel olarak önemsiz olduğu belirlenmiştir.

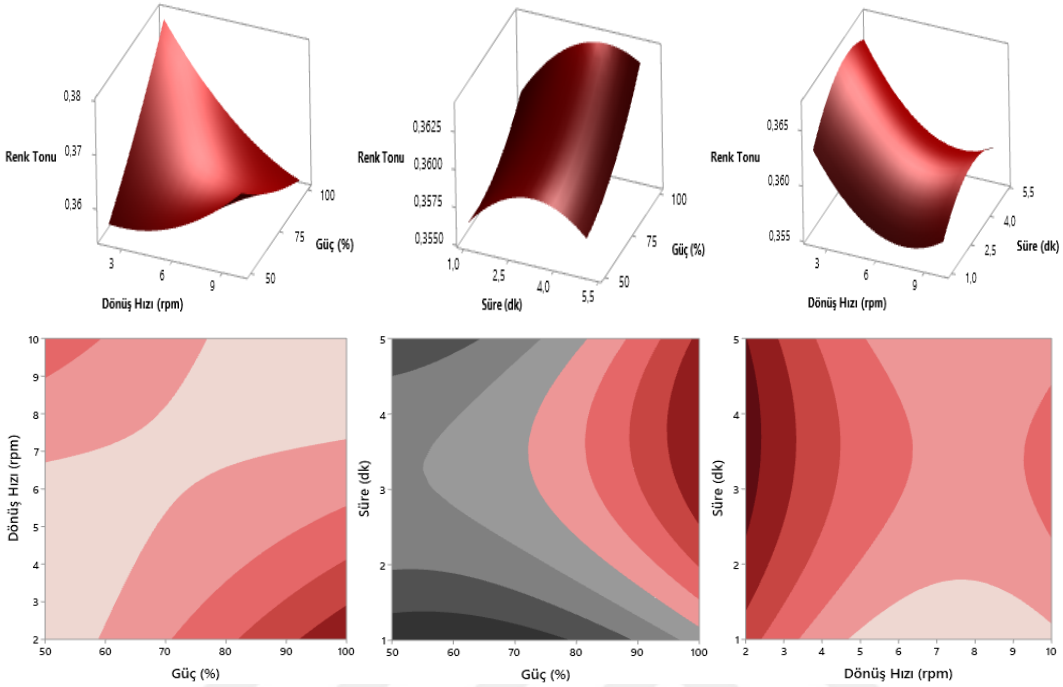
Mikrodalga uygulaması sonrasında elde edilen şalgam numunelerinin renk tonu analiz sonuçları RSM ile modellenmiş ve ANOVA analiz çıktıları Tablo 3.74'te gösterilmiştir.

Tablo 3.74 MD uygulaması sonrası şalgam numunelerinin renk tonu için RSM modellemesi ANOVA sonuçları

Kaynak	**SD**	**Kareler Toplamı**	**Kareler Ortalaması**	**F değeri**	**P değeri**
Model	9	0,000526	0,000058	3,63	0,085
G*DH	1	0,000316	0,000316	19,68	0,007
Hata	5	0,000080	0,000016		
Uyum Eksikliği	3	0,000075	0,000025	9,70	***0,095***
Saf Hata	2	0,000005	0,000003		
Toplam	14	0,000606			

Standart Sapma	**R^2**	**Düzeltilmiş R^2**	**Tahmini R^2**
0,0040085	86,74%	62,87%	0,00%

Şalgam numunelerinin renk tonu analiz sonuçları RSM modellenmesi ile değerlendirildiğinde uyum eksikliği değerinin istatistiksel olarak anlamlı (p>0,05) olmaması sebebiyle başarılı şekilde modellenmiştir.



Şekil 3.34 RSM grafikleri: MD'nin şalgam örneklerinin renk tonu değerleri üzerindeki etkisi

Mikrodalga uygulaması sonrasında elde edilen hardaliye numunelerinin renk tonu analiz sonuçları için RSM modellemesi uygulanmış ve elde edilen ANOVA analiz çıktıları Tablo 3.75'te gösterilmiştir.

Tablo 3.75 MD uygulaması sonrası hardaliye numunelerinin renk tonu için RSM modellemesi ANOVA sonuçları

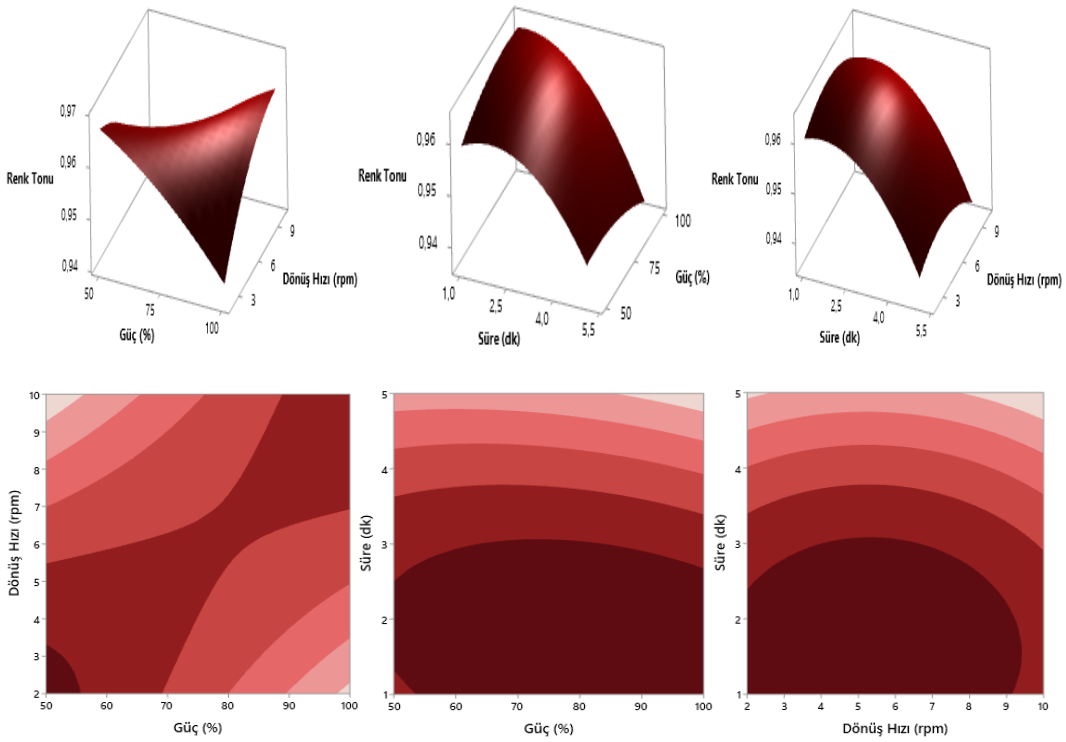
Kaynak	SD	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F değeri	P değeri
Model	9	0,001820	0,000202	2,45	0,168
t	1	0,000977	0,000977	11,84	0,018
Hata	5	0,000413	0,000083		
Uyum Eksikliği	3	0,000163	0,000054	0,44	***0,752***

Tablo 3.75 MD uygulaması sonrası hardaliye numunelerinin renk tonu için RSM modellemesi ANOVA sonuçları (devamı)

Saf Hata	2	0,000250	0,000125
Toplam	14	0,002233	

Standart Sapma	**R^2**	**Düzeltilmiş R^2**	**Tahmini R^2**
0,0090844	81,52%	48,25%	0,00%

Hardaliye numunelerinin renk tonu analiz sonuçları RSM modellenmesi ile değerlendirildiğinde uyum eksikliği değerinin istatistiksel olarak anlamlı ($p>0,05$) olmaması sebebiyle başarılı şekilde modellenmiştir.



Şekil 3.35 RSM grafikleri: MD'nin hardaliye örneklerinin renk tonu değerleri üzerindeki etkisi

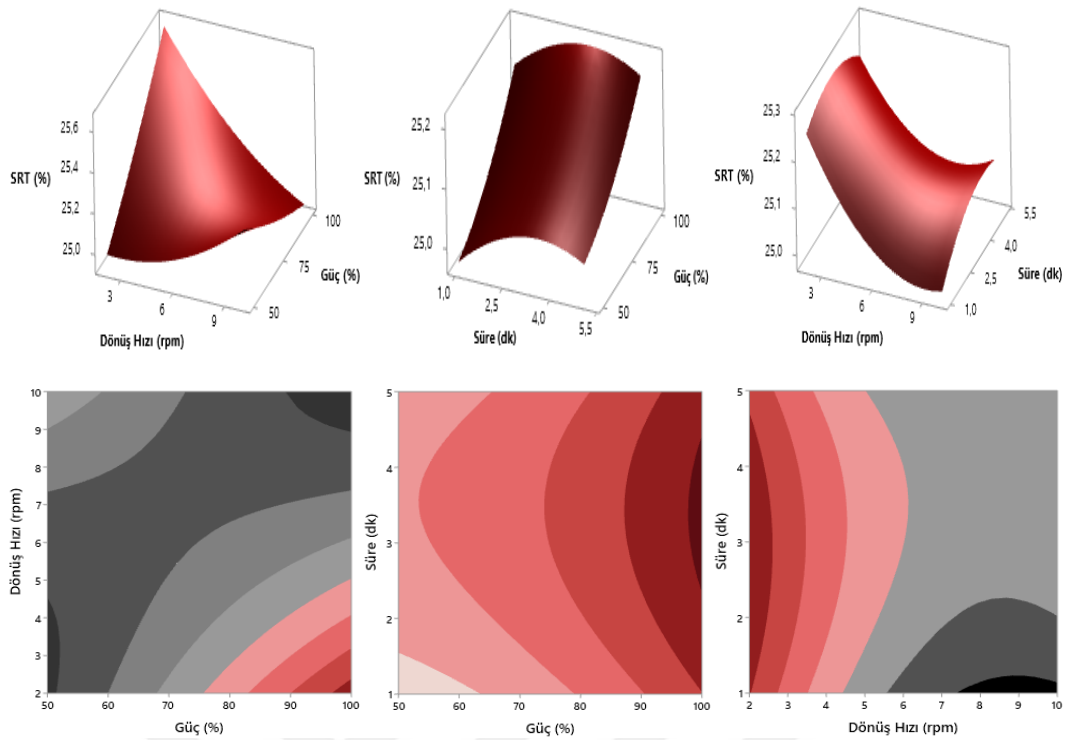
Mikrodalga uygulaması sonrasında elde edilen şalgam numunelerinin SRT analiz sonuçları RSM ile modellenmiş ve ANOVA analiz çıktıları Tablo 3.76'da gösterilmiştir.

Tablo 3.76 MD uygulaması sonrası şalgam numunelerinin SRT için RSM modellemesi ANOVA sonuçları

Kaynak	SD	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F değeri	P değeri
Model	9	0,436023	0,048447	4,18	0,065
DH	1	0,084266	0,084266	7,27	0,043
G*DH	1	0,247982	0,247982	21,38	0,006
Hata	5	0,057990	0,011598		
Uyum Eksikliği	3	0,055722	0,018574	16,38	***0,058***
Saf Hata	2	0,002267	0,001134		
Toplam	14	0,494013			

Standart Sapma	R^2	Düzeltilmiş R^2	Tahmini R^2
0,107694	88,26%	67,13%	0,00%

Şalgam numunelerinin SRT analiz sonuçları RSM modellenmesi ile değerlendirildiğinde uyum eksikliği değerinin istatistiksel olarak anlamlı ($p>0,05$) olmaması sebebiyle başarılı şekilde modellenmiştir.



Şekil 3.36 RSM grafikleri: MD'nin şalgam örneklerinin SRT değerleri üzerindeki etkisi

Mikrodalga uygulaması sonrasında elde edilen hardaliye numunelerinin SRT analiz sonuçları RSM ile modellenmiş ve ANOVA analiz çıktıları Tablo 3.77'de gösterilmiştir.

Tablo 3.77 MD uygulaması sonrası hardaliye numunelerinin SRT için RSM modellemesi ANOVA sonuçları

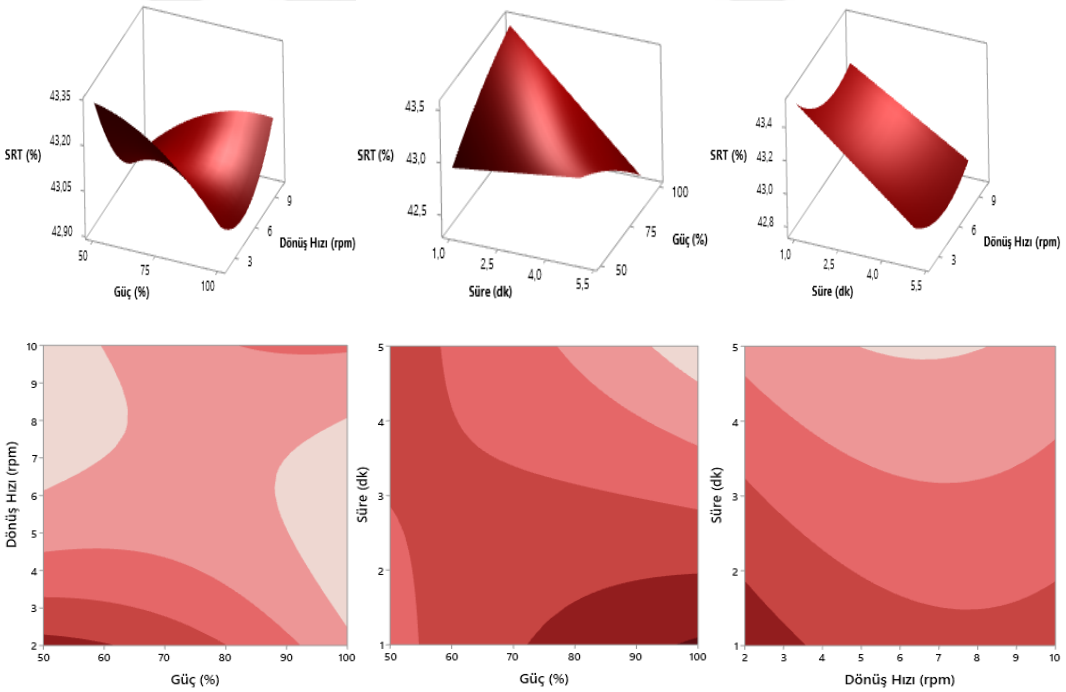
Kaynak	SD	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F değeri	P değeri
Model	9	1,15248	0,128053	4,81	0,049
t	1	0,50694	0,506938	19,03	0,007
G*t	1	0,44708	0,447081	16,78	0,009
Hata	5	0,13323	0,026646		
Uyum Eksikliği	3	0,09852	0,032841	1,89	***0,364***

Tablo 3.77 MD uygulaması sonrası hardaliye numunelerinin SRT için RSM modellemesi ANOVA sonuçları (devamı)

Saf Hata	2	0,03471	0,017353
Toplam	14	1,28570	

Standart Sapma	**R^2**	**Düzeltilmiş R^2**	**Tahmini R^2**
0,163235	89,64%	70,99%	0,00%

Hardaliye numunelerinin SRT analiz sonuçları RSM modellenmesi ile değerlendirildiğinde uyum eksikliği değerinin istatistiksel olarak anlamlı ($p>0,05$) olmaması sebebiyle başarılı şekilde modellenmiştir.



Şekil 3.37 RSM grafikleri: MD'nin hardaliye örneklerinin SRT değerleri üzerindeki etkisi

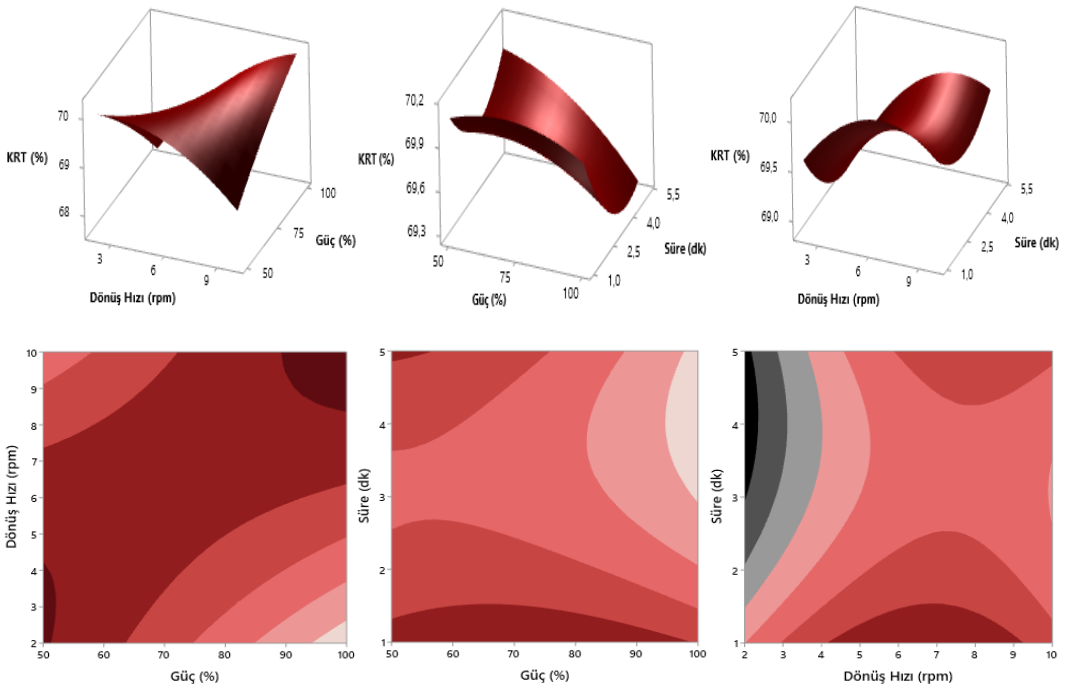
Mikrodalga uygulaması sonrasında elde edilen şalgam numunelerinin KRT analiz sonuçları RSM ile modellenmiş ve ANOVA analiz çıktıları Tablo 3.78'de gösterilmiştir.

Tablo 3.78 MD uygulaması sonrası şalgam numunelerinin KRT için RSM modellemesi ANOVA sonuçları

Kaynak	SD	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F değeri	P değeri
Model	9	6,43487	0,71499	3,31	0,100
G*DH	1	3,92220	3,92220	18,15	0,008
Hata	5	1,08033	0,21607		
Uyum Eksikliği	3	0,98379	0,32793	***6,79***	***0,131***
Saf Hata	2	0,09654	0,04827		
Toplam	14	7,51520			

Standart Sapma	R^2	Düzeltilmiş R^2	Tahmini R^2
0,464829	85,62%	59,75%	0,00%

Şalgam numunelerinin KRT analiz sonuçları RSM modellenmesi ile değerlendirildiğinde uyum eksikliği değerinin istatistiksel olarak anlamlı ($p>0,05$) olmaması sebebiyle başarılı şekilde modellenmiştir.



Şekil 3.38 RSM grafikleri: MD'nin şalgam örneklerinin KRT değerleri üzerindeki etkisi

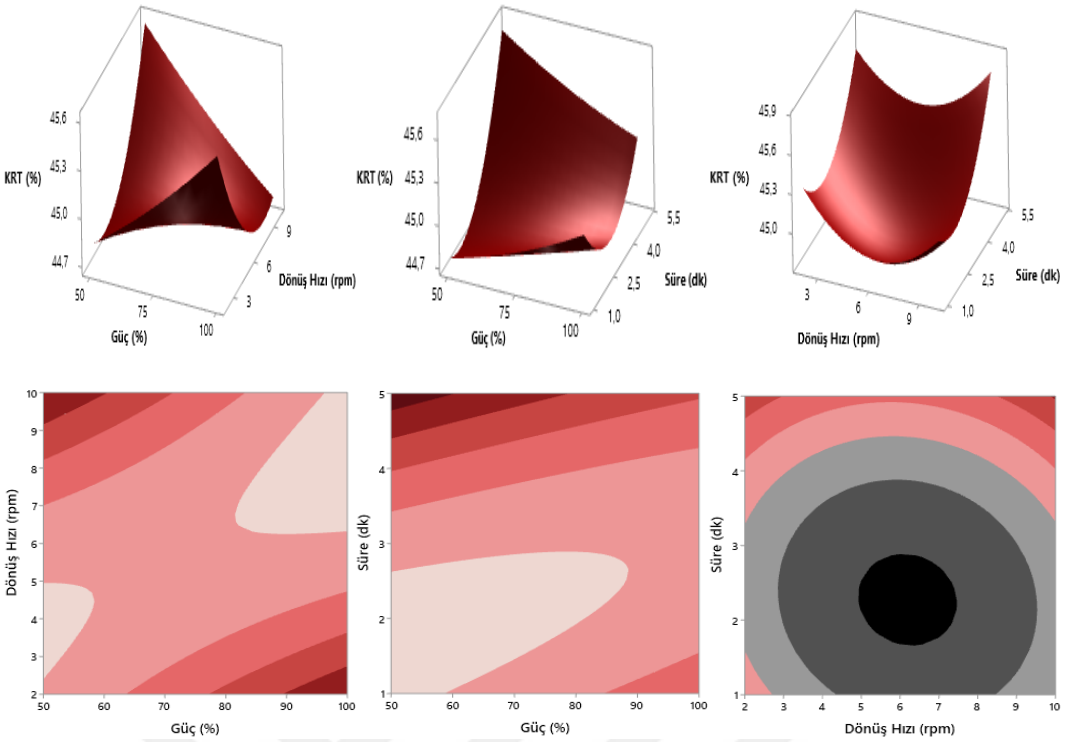
Mikrodalga uygulaması sonrasında elde edilen hardaliye numunelerinin KRT analiz sonuçları RSM ile modellenmiş ve ANOVA analiz çıktıları Tablo 3.79'da gösterilmiştir.

Tablo 3.79 MD uygulaması sonrası hardaliye numunelerinin KRT için RSM modellemesi ANOVA sonuçları

Kaynak	**SD**	**Kareler Toplamı**	**Kareler Ortalaması**	**F değeri**	**P değeri**
Model	9	2,29979	0,255532	2,89	0,127
G*DH	1	0,66692	0,666924	7,55	0,040
Hata	5	0,44169	0,088337		
Uyum Eksikliği	3	0,10369	0,034563	0,20	***0,886***
Saf Hata	2	0,33800	0,168999		
Toplam	14	2,74148			

Standart Sapma	**R^2**	**Düzeltilmiş R^2**	**Tahmini R^2**
0,297216	83,89%	54,89%	11,74%

Hardaliye numunelerinin KRT analiz sonuçları RSM modellenmesi ile değerlendirildiğinde uyum eksikliği değerinin istatistiksel olarak anlamlı ($p>0,05$) olmaması sebebiyle başarılı şekilde modellenmiştir.



Şekil 3.39 RSM grafikleri: MD'nin hardaliye örneklerinin KRT değerleri üzerindeki etkisi

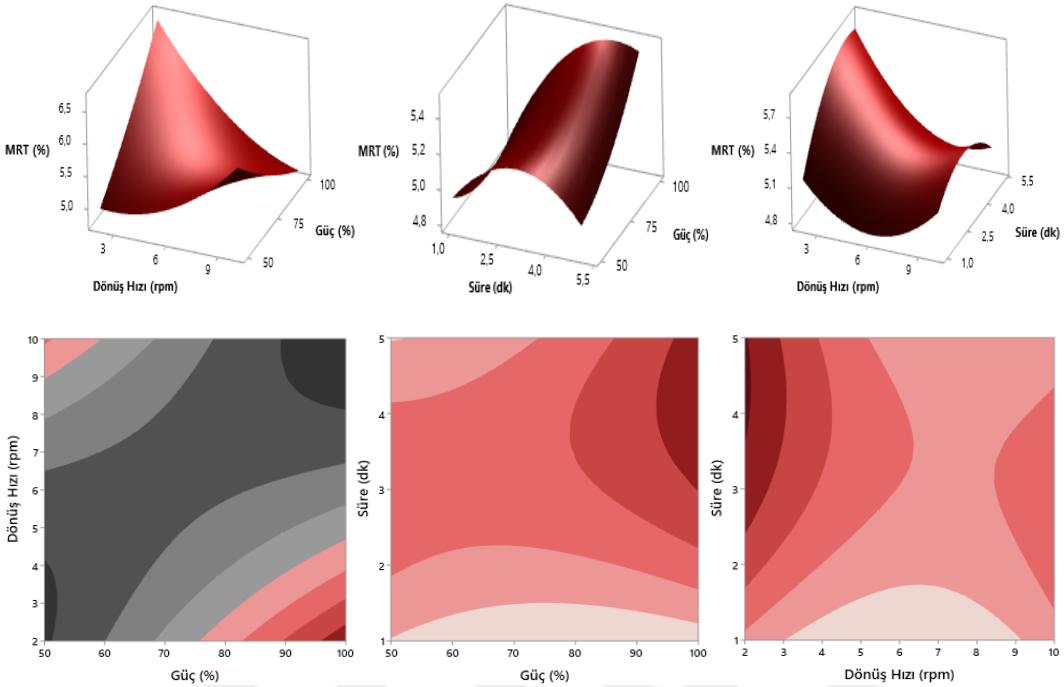
Mikrodalga uygulaması sonrasında elde edilen şalgam numunelerinin MRT analiz sonuçları RSM ile modellenmiş ve ANOVA analiz çıktıları Tablo 3.80'de gösterilmiştir.

Tablo 3.80 MD uygulaması sonrası şalgam numunelerinin MRT için RSM modellemesi ANOVA sonuçları

Kaynak	SD	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F değeri	P değeri
Model	9	3,71250	0,41250	3,01	0,119
G*DH	1	2,19774	2,19774	16,05	0,010
Hata	5	0,68463	0,13693		
Uyum Eksikliği	3	0,61457	0,20486	5,85	***0,150***
Saf Hata	2	0,07006	0,03503		
Toplam	14	4,39713			

Standart Sapma	R^2	Düzeltilmiş R^2	Tahmini R^2
0,370035	84,43%	56,40%	0,00%

Şalgam numunelerinin MRT analiz sonuçları RSM modellenmesi ile değerlendirildiğinde uyum eksikliği değerinin istatistiksel olarak anlamlı ($p>0,05$) olmaması sebebiyle başarılı şekilde modellenmiştir.



Şekil 3.40 RSM grafikleri: MD'nin şalgam örneklerinin MRT değerleri üzerindeki etkisi

Mikrodalga uygulaması sonrasında elde edilen hardaliye numunelerinin MRT analiz sonuçları RSM ile modellenmiş ve ANOVA analiz çıktıları Tablo 3.81'de gösterilmiştir.

Tablo 3.81 MD uygulaması sonrası hardaliye numunelerinin MRT için RSM modellemesi ANOVA sonuçları

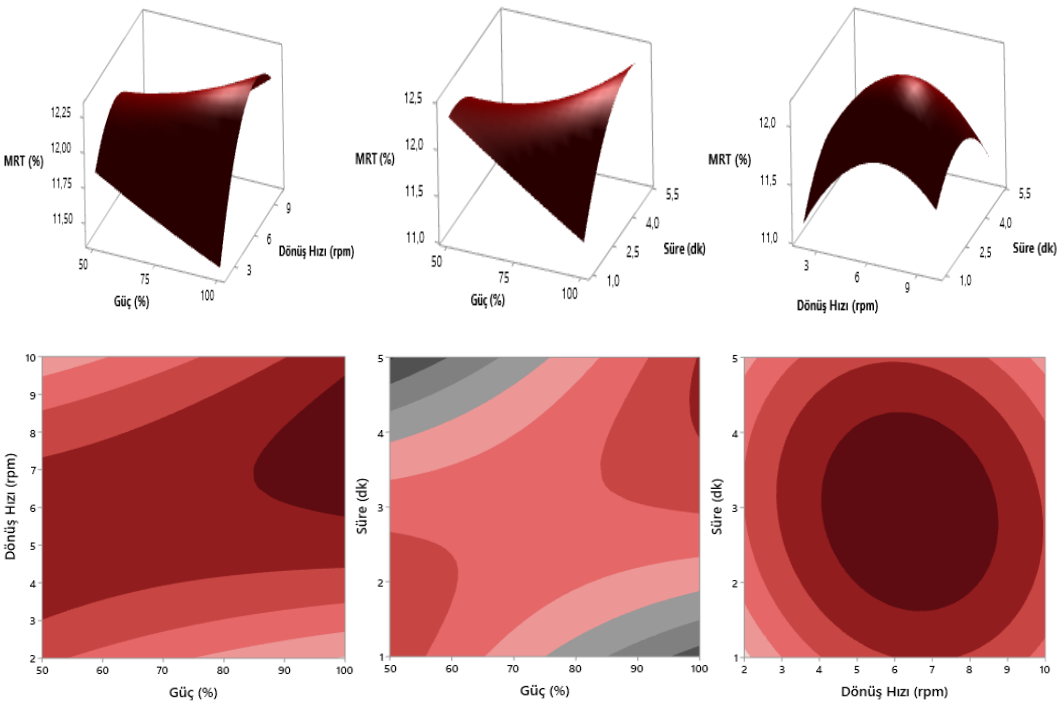
Kaynak	SD	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F değeri	P değeri
Model	9	2,94294	0,32699	5,97	0,032
DH*DH	1	0,79347	0,79347	14,50	0,013
t*t	1	0,49120	0,49120	8,98	0,030
G*t	1	1,27058	1,27058	23,22	0,005

Tablo 3.81 MD uygulaması sonrası hardaliye numunelerinin MRT için RSM modellemesi ANOVA sonuçları (devamı)

Hata	5	0,27365	0,05473		
Uyum Eksikliği	3	0,05612	0,01871	0,17	***0,907***
Saf Hata	2	0,21753	0,10877		
Toplam	14	3,21659			

Standart Sapma	**R^2**	**Düzeltilmiş R^2**	**Tahmini R^2**
0,233943	91,49%	76,18%	56,87%

Hardaliye numunelerinin MRT analiz sonuçları RSM modellenmesi ile değerlendirildiğinde uyum eksikliği değerinin istatistiksel olarak anlamlı ($p>0,05$) olmaması sebebiyle başarılı şekilde modellenmiştir.



Şekil 3.41 RSM grafikleri: MD'nin hardaliye örneklerinin MRT değerleri üzerindeki etkisi

Şalgam ve hardaliye ürünlerinin her ikisi için de renk yoğunluğu, renk tonu, SRT, KRT ve MRT değerleri istatistiksel olarak değerlendirildiğinde, renk yoğunluğu değeri (uyum eksikliği $p<0,05$) hariç diğer analiz sonuçlarında anlamlı bir değişim

gözlemlenmiştir (uyum eksikliği $p>0,05$). Şalgam numunelerine ait anlamlı değişim gösteren tüm analiz sonuçları güç-dönüş hızı etkileşimi ile değişiklik göstermiştir. Güç seviyesinin artışı ve dönüş hızının azalışı ile güç seviyesinin azalışı ve dönüş hızının artışı renk tonu ve SRT değerlerinde yükselişe sebep olmuştur. KRT ve MRT değerleri için ise bu etkileşim etkisi tam tersi koşullarda yükseliş ile sonuçlanmıştır. Hardaliye için değerler incelendiğinde renk tonu sürenin doğrusal etkisinden, SRT sürenin doğrusal etkisi ve güç-süre etkileşiminden, KRT güç-dönüş hızı etkileşiminden, MRT ise sürenin kare etkisi ve güç-süre etkileşiminden anlamlı olarak farklılaşmıştır. Renk tonu ve SRT için uygulama süresinin etkisi artışıyla ters orantılı olarak değerlerde azalmayla sonuçlanmıştır. Güç seviyesinin azalması ve dönüş hızının artışı ile güç-dönüş hızı etkileşiminin ters koşullarında KRT değerinde artış görülmüş; MRT değerlerinde güç seviyesinin azalması ve sürenin artışı ile güç-süre etkileşiminin ters koşullarında artış görülmüştür.

Cabernet Gernischt kırmızı şarap için yapılan çalışmada, 100 W, 40°C'de 3-6 dk MD uygulamasının ardından 420 nm absorbansta UV spektrofotometrik ölçümle sarı renk tonu/esmerleşme indeksinin (browning index), 520 nm'de ölçülen kırmızı renk tonu/şarap renginin ve 620 nm'de ölçülen mavi/mor renk tonlarının arttığı tespit edilmiştir. Renk yoğunluğu (color intensity) değerleri 420, 520 ve 620 nm'deki absorbansların toplamı olarak ifade edilmektedir ve MD ile işlenen şaraplarda daha yüksek olduğu yani daha yoğun renk yansıtan ürünler elde edildiği belirtilmiştir [174]. Yaban mersini ile yapılan bir başka çalışmada, renk yoğunluğu değerinin zamanla azalmıştır; ancak 50, 100, 150, 200 ve 250 Hz frekanslarında yüksek güçlü darbeli mikrodalga ile işlem görmüş örneklerde daha yavaş bir düşüş göstermiştir; bu da daha iyi renk kararlılığının sağlandığını göstermiştir [173].

3.3.2.3 MD'nin Biyoaktif Bileşenler Üzerindeki Etkisi

MD işleminden sonra şalgam ve hardaliye numunelerinin toplam fenolik madde miktarı (TFM), toplam flavonoid madde miktarı (TFlav.M), toplam antioksidan aktivitesi/kapasitesi (TAK) ve toplam monomerik antosiyanin miktarı (TMA) değerleri Tablo 3.82 ve 3.83'te verilmiştir.

Tablo 3.82 MD uygulaması sonrası şalgam numunelerinin TFM, TFlav.M, TAK ve TMA sonuçları

Deneme Deseni	Yanıtlar			
	TFM (mg GAE/100 mL)	TFlav.M (mg KE/100 mL)	TAK[1] (µmol TE/100 mL)	TMA (mg/100 mL)
Kontrol	43,22 ± 0,40^{b}	186,85 ± 23,49^{de}	787,67 ± 8,12	13,27 ± 0,57^{gh}
1	37,02 ± 0,27^{ef}	146,29 ± 1,46^{gh}	836,53 ± 7,83	24,26 ± 0,57^{a}
2	28,11 ± 0,34^{j}	158,61 ± 2,81^{g}	629,29 ± 12,18	11,89 ± 0,22^{gh}
3	37,86 ± 0,25^{de}	278,07 ± 1,77^{a}	627,05 ± 2,05	21,32 ± 0,63^{abc}
4	37,20 ± 0,78^{e}	134,33 ± 2,84^{ij}	716,08 ± 8,38	14,97 ± 0,15^{efg}
5	38,49 ± 0,25^{d}	235,86 ± 1,07^{c}	708,48 ± 10,85	17,47 ± 0,18^{def}
6	36,02 ± 0,37^{f}	185,68 ± 8,12^{e}	648,08 ± 10,07	17,97 ± 0,24^{cde}
7	44,36 ± 0,16^{a}	186,85 ± 1,86^{de}	770,22 ± 15,90	20,44 ± 0,14^{bcd}
8	34,60 ± 0,12^{g}	169,97 ± 2,54^{f}	656,13 ± 15,73	10,35 ± 0,19^{h}
9	42,62 ± 0,28^{b}	264,47 ± 2,15^{b}	736,67 ± 2,05	23,34 ± 0,29^{ab}
10	40,28 ± 0,12^{c}	126,83 ± 2,26^{ij}	683,87 ± 10,65	20,30 ± 0,20^{bcd}
11	39,70 ± 0,21^{c}	133,16 ± 2,66^{ij}	691,03 ± 5,42	21,12 ± 0,09^{abc}
12	30,95 ± 0,42^{ı}	198,11 ± 7,44^{d}	572,47 ± 1,34	11,27 ± 0,03^{h}
13	32,37 ± 0,21^{h}	130,34 ± 3,54^{ij}	526,83 ± 6,15	13,47 ± 0,21^{gh}
14	33,02 ± 0,12^{h}	137,85 ± 5,64^{hı}	521,02 ± 3,38	13,81 ± 0,85^{gh}
15	33,13 ± 0,39^{h}	124,71 ± 3,87^{j}	546,97 ± 3,55	13,99 ± 0,39^{fgh}

[1]RSM yöntemi uygulanmıştır.

Farklı küçük harfler önemli farklılıkları temsil eder ($p < 0,05$).

Tablo 3.83 MD uygulaması sonrası hardaliye numunelerinin TFM, TFlav.M, TAK ve TMA sonuçları

Deneme Deseni	Yanıtlar			
	TFM (mg GAE/100 mL)	**TFlav.M[1] (mg KE/100 mL)**	**TAK (µmol TE/100 mL)**	**TMA[1] (mg/100 mL)**
Kontrol	66,64 ± 0,35^{g}	307,27 ± 0,95	765,61 ± 3,30^{b}	1,22 ± 0,12
1	74,99 ± 0,39^{a}	335,60 ± 1,57	791,42 ± 2,60^{a}	1,94 ± 0,03
2	73,01 ± 0,72^{cde}	336,65 ± 1,44	726,91 ± 9,91^{g}	1,92 ± 0,04
3	70,35 ± 0,20^{f}	305,40 ± 3,08	750,21 ± 5,90^{bcd}	1,86 ± 0,05
4	64,72 ± 0,14^{h}	324,15 ± 4,73	744,80 ± 0,72^{cdef}	1,78 ± 0,07
5	74,80 ± 0,52^{ab}	331,44 ± 3,31	766,44 ± 2,60^{b}	1,89 ± 0,10
6	72,72 ± 0,37^{cde}	320,40 ± 2,01	750,63 ± 5,44^{bcd}	1,56 ± 0,06
7	72,53 ± 0,33^{de}	323,52 ± 4,25	704,43 ± 9,75^{h}	1,36 ± 0,11
8	75,39 ± 0,38^{a}	341,44 ± 6,61	758,95 ± 4,01^{bc}	1,86 ± 0,06
9	66,69 ± 0,39^{g}	312,06 ± 7,60	701,94 ± 6,61^{h}	1,44 ± 0,04
10	74,16 ± 0,60^{abc}	338,31 ± 1,65	751,46 ± 6,88^{bcd}	1,66 ± 0,05
11	73,52 ± 0,35^{bcd}	351,23 ± 7,46	760,62 ± 3,30^{bc}	1,94 ± 0,04
12	69,41 ± 0,23^{f}	321,85 ± 3,44	748,55 ± 1,91^{cde}	1,50 ± 0,05
13	66,35 ± 0,67^{g}	335,19 ± 3,31	738,14 ± 8,74^{defg}	1,49 ± 0,16
14	71,89 ± 0,51^{e}	343,10 ± 3,44	731,07 ± 3,14^{fg}	1,56 ± 0,09
15	67,01 ± 0,88^{g}	318,94 ± 2,72	733,15 ± 3,75^{efg}	1,40 ± 0,03

[1]RSM yöntemi uygulanmıştır.

Farklı küçük harfler önemli farklılıkları temsil eder ($p<0,05$).

Mikrodalga uygulaması sonrasında elde edilen şalgam numunelerinin TFM analiz sonuçları için RSM modellemesi uygulanmış ve ANOVA çıktıları elde edilmiştir. TFM analiz sonuçları RSM modellenmesinde uyum eksikliği değerinin $p=0,006<0,05$ olması sebebiyle değerler başarılı şekilde modellenememiştir. Ayrıca elde edilen ANOVA çıktılarında tüm modelleme parametrelerinin istatistiksel olarak önemsiz olduğu belirlenmiştir.

Mikrodalga uygulaması sonrasında elde edilen hardaliye numunelerinin TFM analiz sonuçları için RSM modellemesi uygulanmış ve ANOVA çıktıları elde edilmiştir. TFM analiz sonuçları RSM modellenmesi ile değerlendirildiğinde uyum eksikliği değerinin $p=0,417>0,05$ olması sebebiyle sonuçlar başarılı şekilde modellenmiştir; ancak elde edilen ANOVA çıktılarında tüm modelleme parametrelerinin istatistiksel olarak önemsiz olduğu belirlenmiştir. Bu nedenle RSM modeline ait 3D yüzey grafikleri gösterilmemiştir.

600 W - 50°C - 20 dk'da mikrodalga destekli ekstraksiyon ile tatlı çay numunelerinde TFM değerleri maksimuma ulaşmıştır. Mikrodalga gücünü 600 W'ın üzerine çıkarmak veya ekstraksiyon süresini 20 dakikanın ötesine uzatmak, daha yüksek sıcaklıklarda ve uzun süreli işlemlere maruziyette fenolik bileşiklerin bozunması nedeniyle TFM'de bir azalmaya yol açmıştır [175]. Çözücü olarak %70 etanol kullanılarak 400 W'da 40 dakika boyunca mikrodalga destekli ekstraksiyon işlemine tabii tutulan *Docynia indica* meyve özünün TFM içeriği 32,5 mg GAE/g'da zirve yapmıştır. Bir önceki çalışmayla benzer olarak, mikrodalga gücünü 400 W'ın üzerine çıkarmak TFM'de azalmaya yol açmıştır [176]. Meyve sularında bu etki MW işlemin PPO ve PME gibi enzimleri hızla devre dışı bırakarak fenolik kayıplarını minimize etmesi ile açıklanmaktadır; bu sebeple termal işlemlere göre antioksidan aktivite daha iyi korunmaktadır [177]

Mikrodalga uygulaması sonrasında elde edilen şalgam numunelerinin TFlav.M analiz sonuçları RSM ile modellenmiş ve ANOVA analiz çıktıları Tablo 3.84'te gösterilmiştir.

Tablo 3.84 MD uygulaması sonrası şalgam numunelerinin TFlav.M için RSM modellemesi ANOVA sonuçları

Kaynak	SD	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F değeri	P değeri
Model	9	31189,6	3465,5	3,71	0,081
DH*t	1	10261,4	10261,4	11,00	0,021
Hata	5	4666,2	933,2		
Uyum Eksikliği	3	4579,4	1526,5	35,17	***0,028***
Saf Hata	2	86,8	43,4		
Toplam	14	35855,8			

Standart Sapma	R^2	Düzeltilmiş R^2	Tahmini R^2
30,5490	86,99%	63,56%	0,00%

Şalgam numunelerinin TFlav.M analiz sonuçları RSM modellenmesinde uyum eksikliği değerinin $p=0,006<0,05$ olması sebebiyle değerler başarılı şekilde modellenememiştir. ANOVA analiz tablosu dikkate alındığında, TFlav.M değerleri mikrodalga uygulamasının dönüş hızı-süre etkileşimiyle önemli ölçüde etkilendiği görülmektedir ($p<0,05$).

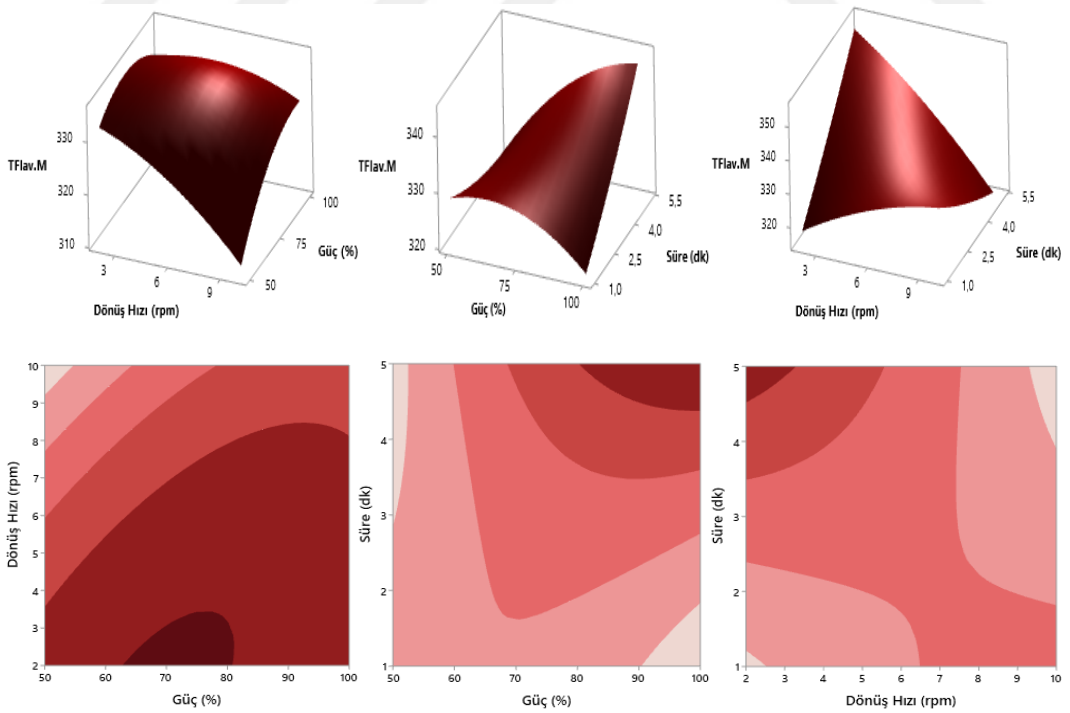
Mikrodalga uygulaması sonrasında elde edilen hardaliye numunelerinin TFlav.M analiz sonuçları RSM ile modellenmiş ve ANOVA analiz çıktıları Tablo 3.85'te gösterilmiştir.

Tablo 3.85 MD uygulaması sonrası hardaliye numunelerinin TFlav.M için RSM modellemesi ANOVA sonuçları

Kaynak	SD	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F değeri	P değeri
Model	9	1671,75	185,750	1,75	0,280
DH*t	1	773,54	773,535	7,27	0,043
Hata	5	531,78	106,356		
Uyum Eksikliği	3	228,19	76,063	0,50	***0,719***
Saf Hata	2	303,59	151,794		
Toplam	14	2203,53			

Standart Sapma	R^2	Düzeltilmiş R^2	Tahmini R^2
10,3129	75,87%	32,43%	0,00%

Hardaliye numunelerinin TFlav.M analiz sonuçları RSM modellenmesi ile değerlendirildiğinde uyum eksikliği değerinin istatistiksel olarak anlamlı ($p>0,05$) olmaması sebebiyle başarılı şekilde modellenmiştir.



Şekil 3.42 RSM grafikleri: MD'nin hardaliye örneklerinin TFlav.M değerleri üzerindeki etkisi

Şalgamla benzer olarak hardaliye numunelerine ait ANOVA analiz tablosu dikkate alındığında, TFlav.M değerleri mikrodalga uygulamasının dönüş hızı-süre etkileşimiyle önemli ölçüde etkilendiği görülmektedir ($p<0,05$). Dönüş hızının en düşük (2 rpm) ve uygulama süresinin en yüksek (5 dk) olduğu koşullarda bu değer maksimum seviyeye ulaşmıştır (351,23 ± 7,46 mg KE/100 mL).

Barleria lupulina yaprak özü ile yapılan araştırmada [178], elde edilen en yüksek TFlav.M 65,27 mg kuersetin eşdeğeri/g MD uygulamasının 400 W, %80 etanol, 120 sn kombinasyonu ile elde edilmiştir. Mikrodalga gücünü 200'den 400 W'a çıkarmak TFlav.M verimini artırmıştır; ancak daha fazla artış sıcaklıktan etkilenen flavonoidlerin bozulmasına yol açmıştır. Mikrodalga ve ultrasonikasyon işlemlerinin kombinasyonu ile gerçekleştirilen bir diğer çalışmada, işlem görmemiş şeker kamışı-nane suyu karışımı örneklerine kıyasla TFlav.M değerlerini önemli ölçüde artırmıştır. İşlem görmüş örnekler, 21 günlük depolama boyunca daha yüksek flavonoid içeriğini korunmuş ve bu da iyileştirilmiş stabiliteyi göstermiştir [172]. 600 W ve 800 W mikrodalga işlemleri 85°C'de 15 saniye boyunca uygulanan geleneksel pastörizasyonla karşılaştırıldığında, sitrus-maqui içeceğinin flavonon içeriğini (örn. hesperidin, narirutin) 60 günlük bir depolama süresi boyunca etkili bir şekilde korumuştur ve pastörize edilmiş örneklerle karşılaştırıldığında önemli bir fark görülmemiştir [161]. Bu, MD işleminin flavonoid stabilitesini korumak için geleneksel pastörizasyona uygulanabilir bir alternatif olduğunu göstermektedir.

Mikrodalga uygulaması sonrasında elde edilen şalgam numunelerinin TAK analiz sonuçları RSM ile modellenmiş ve ANOVA analiz çıktıları Tablo 3.86'da gösterilmiştir.

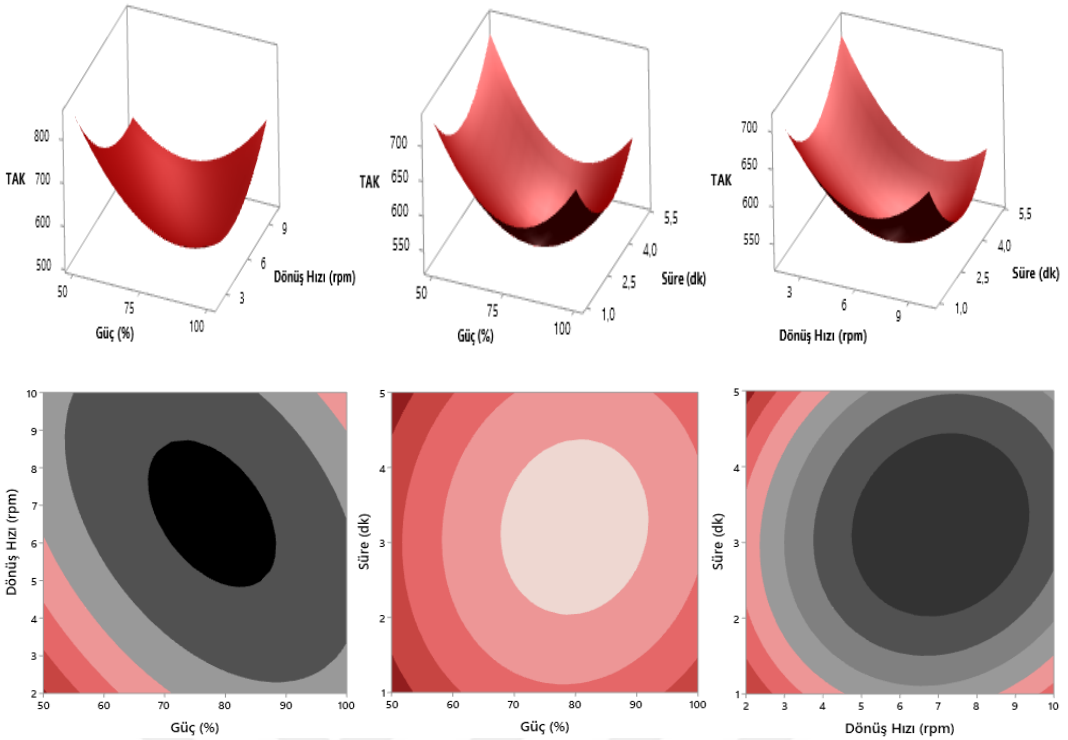
Tablo 3.86 MD uygulaması sonrası şalgam numunelerinin TAK için RSM modellemesi ANOVA sonuçları

Kaynak	SD	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F değeri	P değeri
Model	9	108339	12037,7	8,03	0,017
G	1	10709	10708,7	7,14	0,044
DH	1	10807	10807,1	7,21	0,044
G*G	1	35227	35227,0	23,50	0,005
DH*DH	1	19653	19653,2	13,11	0,015
t*t	1	16302	16302,4	10,88	0,022
G*DH	1	21944	21944,3	14,64	0,012
Hata	5	7495	1499,0		
Uyum Eksikliği	3	7124	2374,6	12,81	***0,073***
Saf Hata	2	371	185,4		
Toplam	14	115834			

Standart Sapma	R^2	Düzeltilmiş R^2	Tahmini R^2
38,7164	93,53%	81,88%	0,88%

Şalgam numunelerinin TAK analiz sonuçları RSM modellenmesi ile değerlendirildiğinde uyum eksikliği değerinin istatistiksel olarak anlamlı ($p>0,05$) olmaması sebebiyle başarılı şekilde modellenmiştir.

ANOVA analiz tablosu dikkate alındığında, şalgam numunelerine ait TAK değerleri mikrodalga uygulamasının parametreleri ile önemli ölçüde etkilendiği görülmektedir ($p<0,05$). Güç ve dönüş hızı parametrelerinin doğrusal, karesel ve birbirleri ile etkileşimi bu değişimde etkin rol oynamaktadır. Güç seviyesinin artışı ters etkiye sahipken, dönüş hızının artışı TAK seviyesini artırmaktadır (Şekil 3.43). Süre parametresinin kare kuvveti (t*t) de TAK üzerinde etkili değişime sebep olmaktadır.



Şekil 3.43 RSM grafikleri: MD'nin şalgam örneklerinin TAK değerleri üzerindeki etkisi

Mikrodalga uygulaması sonrasında elde edilen hardaliye numunelerinin TAK analiz sonuçları için RSM modellemesi uygulanmış ve ANOVA çıktıları elde edilmiştir. Hardaliye numunelerinin TAK analiz sonuçları RSM modellenmesinde uyum eksikliği değerinin p=0,011<0,05 olması sebebiyle değerler başarılı şekilde modellenememiştir. Ayrıca elde edilen ANOVA çıktılarında tüm modelleme parametrelerinin istatistiksel olarak önemsiz olduğu belirlenmiştir.

Etanol (%58,43) kullanılarak 600 W - 50 °C - 25,26 dk koşullar altında mikrodalga destekli gerçekleştirilen ekstraksiyon sonucunda tatlı çay ekstraktlarının 613,11 ± 9,32 µM Troloks/g kuru ağırlık antioksidan kapasitesine sahip olduğu tespit edilmiştir; geleneksel ekstraksiyon yöntemlerine kıyasla antioksidan kapasitesinde önemli bir artış olduğu belirlenmiştir [175]. 469 W-4 dk koşullarında optimize edilmiş böğürtlenden antosiyanin ekstraksiyonunda, 32,18±1,54 µM TEAC/g ABTS antioksidan kapasitesi ve 27,18±1,33 µM TEAC/g DPPH antioksidan kapasitesi tespit edilmiştir. Bu değerler, geleneksel etanol ekstraksiyonu kullanılarak elde edilenlerden yaklaşık %120 daha yüksek ve MD işlemi antioksidan ekstraksiyon verimliliğinde önemli bir iyileşme sebep olmuştur [179].

Yeşil hindistan cevizi suyunda, 4 dakika boyunca 90°C'de mikrodalga işlemi, ABTS radikal temizleme kapasitesi 422 µmol TE/L'den (taze) 503,29 µmol TE/L'ye çıkmıştır. Olgun hindistan cevizi suyu için bu değer, aynı koşullar altında 549,10 µmol TE/L'den (taze) 610,63 µmol TE/L'ye artış çıkmıştır. MD işleminin hindistan cevizi suyunun antioksidan aktivitesini artırabileceğini ve olgun hindistan cevizi suyunda daha belirgin etkiler gözlemlendiğini göstermektedir [180]. Maillard reaksiyonu ve fenolik yapılarının yeniden birleşimi sayesinde bazı yeni antioksidan bileşikler ortaya çıkmakta, bu da antioksidan seviyesinde artışa yol açmaktadır [177].

Mikrodalga uygulaması sonrasında elde edilen şalgam numunelerinin TMA analiz sonuçları RSM ile modellenmiş ve ANOVA analiz çıktıları Tablo 3.87'de gösterilmiştir.

Tablo 3.87 MD uygulaması sonrası şalgam numunelerinin TMA için RSM modellemesi ANOVA sonuçları

Kaynak	**SD**	**Kareler Toplamı**	**Kareler Ortalaması**	**F değeri**	**P değeri**
Model	9	254,027	28,225	3,79	0,078
G	1	100,121	100,121	13,46	0,014
Hata	5	37,195	7,439		
Uyum Eksikliği	3	37,055	12,352	176,86	***0,006***
Saf Hata	2	0,140	0,070		
Toplam	14	291,222			

Standart Sapma	**R^2**	**Düzeltilmiş R^2**	**Tahmini R^2**
2,72744	87,23%	64,24%	0,00%

Şalgam numunelerinin TMA analiz sonuçları RSM modellenmesinde uyum eksikliği değerinin p=0,006<0,05 olması sebebiyle değerler başarılı şekilde modellenememiştir. ANOVA tablosu incelendiğinde güç seviyesinin doğrusal artış etkisi ile MD uygulaması sonrasında elde edilen TMA değerlerinde kontrol numunesindeki seviyenin altına düşecek kayıplar meydana gelmiştir (Tablo 3.82).

Mikrodalga uygulaması sonrasında elde edilen hardaliye numunelerinin TMA analiz sonuçları RSM ile modellenmiş ve ANOVA analiz çıktıları Tablo 3.88'de gösterilmiştir.

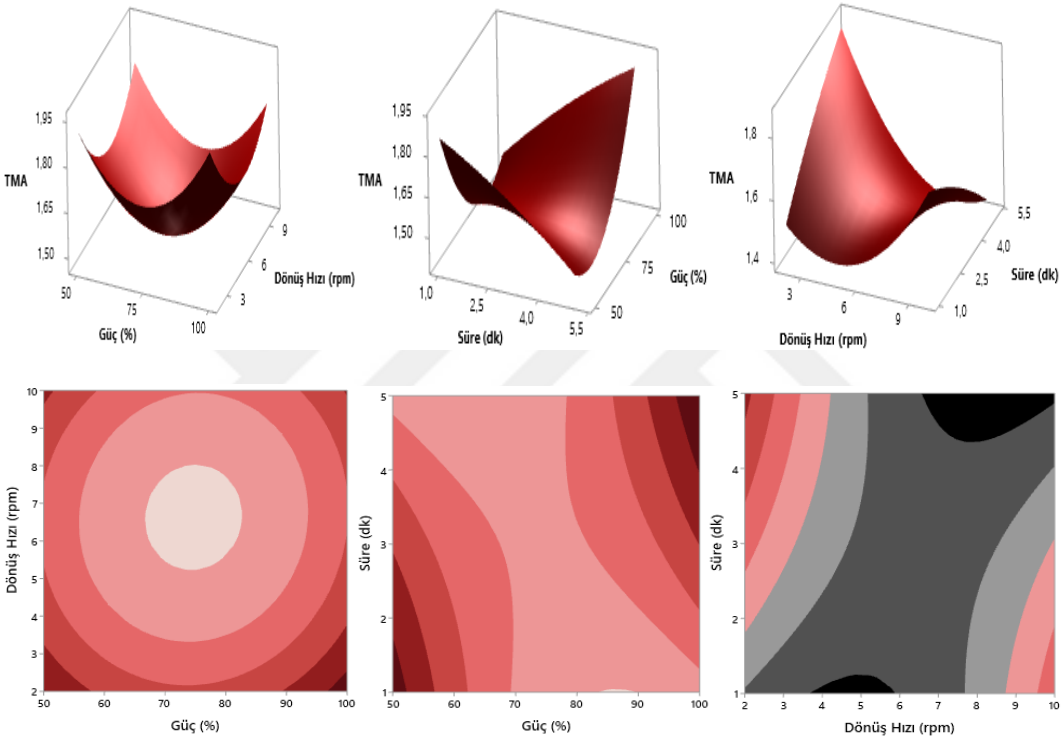
Tablo 3.88 MD uygulaması sonrası hardaliye numunelerinin TMA için RSM modellemesi ANOVA sonuçları

Kaynak	**SD**	**Kareler Toplamı**	**Kareler Ortalaması**	**F değeri**	**P değeri**
Model	9	0,584411	0,064935	5,22	0,042
G*G	1	0,170306	0,170306	13,70	0,014
DH*DH	1	0,117758	0,117758	9,47	0,028
G*t	1	0,169666	0,169666	13,65	0,014
DH*t	1	0,107854	0,107854	8,68	0,032
Hata	5	0,062143	0,012429		
Uyum Eksikliği	3	0,049977	0,016659	2,74	***0,279***
Saf Hata	2	0,012166	0,006083		
Toplam	14	0,646554			

Standart Sapma	**R^2**	**Düzeltilmiş R^2**	**Tahmini R^2**
0,111483	90,39%	73,09%	0,00%

Hardaliye numunelerinin TMA analiz sonuçları RSM modellenmesi ile değerlendirildiğinde uyum eksikliği değerinin istatistiksel olarak anlamlı (p>0,05) olmaması sebebiyle başarılı şekilde modellenmiştir.

ANOVA analiz tablosu dikkate alındığında, hardaliyenin TMA değerleri mikrodalga uygulamasının güç-süre ve dönüş hızı-süre etkileşimiyle ve ayrıca dönüş hızının kare kuvvetiyle önemli ölçüde etkilendiği görülmektedir ($p<0,05$). 3D yüzey grafikleri incelendiğinde dönüş hızı ve uygulama süresinin birbirleriyle ters ilişkileri olduğu; yani yüksek seviyelerindeki TMA değerleri artan dönüş hızı ve azalan süre veya azalan dönüş hızı ve artan süre ile ilişkili olduğu gözlemlenmiştir. Bu çıkarımın aksine, değerlerdeki artış artan güç ve artan süre veya azalan güç ve azalan süre ile ilişkili olduğu görülmektedir.



Şekil 3.44 RSM grafikleri: MD'nin hardaliye örneklerinin TMA değerleri üzerindeki etkisi

469 W - 4 dk koşullarında optimize edilmiş böğürtlenden antosiyanin ekstraksiyonunda, 2,18 ± 0,06 mg/g antosiyanin içeriği tespit edilmiştir. Bu değerler, geleneksel etanol ekstraksiyonu kullanılarak elde edilenlerden daha yüksektir [179]. Mikrodalga destekli ekstraksiyon işlemi uygulanan bir çalışmada Merlot üzümü posasından yüksek miktarda (3,7 g/kg toplam antosiyanin ve 2,8 g/kg monomerik antosiyanin) elde edilmiştir [181].

3.3.3 Model Uyumu

Şalgam numunesi için yanıtların modellenmesi (TMAC azalması, M&K azalması, pH, TÇKM, TA, İŞM, L*, a*, b*, C*, h°, renk tonu, SRT, KRT, MRT, TAK) başarıyla gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, uygulanan ikinci dereceden polinom model denklemlerinin katsayıları, önemsiz uyum eksikliğine ($p>0.05$) sahip on altı yanıt için göstermektedir (Tablo 3.89, 3.90 ve 3.91). RSM modellerindeki bazı sonuçlar için (ΔE, renk yoğunluğu, TFM, TFlav.M, TMA) uyum eksikliği değerleri modellemeye uygun elde edilememiştir ($p<0,05$).

Tablo 3.89 MD uygulaması sonrası şalgam numuneleri için RSM ikinci dereceden polinom modelinin tahmini regresyon katsayıları (kodlanmış)-1

Katsayılar	Yanıtlar					
	TMAC Azalma	**M&K Azalma**	**pH**	**TÇKM**	**TA**	**İŞM**
β_0 (sabit)	2,763	1,386	3,97144	1,5853	2,561	4,405
β_1	0,416	0,1876	0,00144	-0,0814	-0,060	-0,451
β_2	0,187	0,0598	-0,00437	-0,0332	-0,092	-0,031
β_3	1,488	1,0813	0,00158	0,0302	0,164	-0,017
β_{11}	0,325	0,0621	-0,01948	-0,0268	-0,431	-0,063
β_{22}	0,079	0,1747	-0,01633	0,0577	-0,001	0,122
β_{33}	0,463	0,6716	-0,02479	0,2808	0,093	0,741
β_{12}	0,010	0,0233	-0,00171	0,0482	0,322	0,164
β_{13}	0,029	0,1354	0,00027	-0,0422	-0,025	-0,343
β_{23}	-0,192	0,0780	-0,00972	0,0663	0,152	-0,252

$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_{11} {X_1}^2 + \beta_{22} {X_2}^2 + \beta_{33} {X_3}^2 + \beta_{12} X_1 X_2 + \beta_{13} X_1 X_3 + \beta_{23} X_2 X_3 + \varepsilon$

X_1:Güç (%), X_2:Dönüş hızı (rpm), X_3:Süre (dk)

Tablo 3.90 MD uygulaması sonrası şalgam numuneleri için RSM ikinci dereceden polinom modelinin tahmini regresyon katsayıları (kodlanmış)-2

Katsayılar	Yanıtlar					
	L*	**a***	**b***	**C***	**h°**	**Renk Tonu**
β_0 (sabit)	37,181	51,220	23,132	56,202	0,42410	0,36012
β_1	-0,702	0,082	0,025	0,086	-0,00023	0,00235
β_2	-0,217	-0,215	-0,267	-0,307	-0,00273	-0,00313
β_3	0,150	-0,034	0,137	0,026	0,00242	0,00118
β_{11}	1,863	0,341	0,642	0,576	0,00789	0,00112
β_{22}	0,443	-0,027	-0,127	-0,076	-0,00188	0,00353
β_{33}	-0,635	0,186	-0,293	0,050	-0,00606	-0,00222
β_{12}	-0,728	-0,397	-0,283	-0,477	-0,00159	-0,00889
β_{13}	0,129	-0,239	0,016	-0,210	0,00201	0,00071
β_{23}	-0,095	0,194	0,019	0,184	-0,00106	-0,00038

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_{11} {X_1}^2 + \beta_{22} {X_2}^2 + \beta_{33} {X_3}^2 + \beta_{12} X_1 X_2 + \beta_{13} X_1 X_3 + \beta_{23} X_2 X_3 + \varepsilon$$

X_1:Güç (%), X_2:Dönüş hızı (rpm), X_3:Süre (dk)

Tablo 3.91 MD uygulaması sonrası şalgam numuneleri için RSM ikinci dereceden polinom modelinin tahmini regresyon katsayıları (kodlanmış)-3

Katsayılar	Yanıtlar					
	SRT	**KRT**	**MRT**	**TAK**	**h°**	**Renk Tonu**
β_0 (sabit)	25,1008	69,702	5,197	531,6	0,42410	0,36012
β_1	0,0844	-0,198	0,113	-36,6	-0,00023	0,00235
β_2	-0,1026	0,301	-0,199	-36,8	-0,00273	-0,00313
β_3	0,0210	-0,172	0,151	-10,9	0,00242	0,00118
β_{11}	0,0254	-0,120	0,095	97,7	0,00789	0,00112
β_{22}	0,0872	-0,417	0,330	73,0	-0,00188	0,00353
β_{33}	-0,0448	0,283	-0,238	66,4	-0,00606	-0,00222
β_{12}	-0,2490	0,990	-0,741	74,1	-0,00159	-0,00889
β_{13}	-0,0039	-0,148	0,152	-13,4	0,00201	0,00071
β_{23}	0,0291	0,154	-0,183	-16,4	-0,00106	-0,00038

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_{11} {X_1}^2 + \beta_{22} {X_2}^2 + \beta_{33} {X_3}^2 + \beta_{12} X_1 X_2 + \beta_{13} X_1 X_3 + \beta_{23} X_2 X_3 + \varepsilon$$

X_1:Güç (%), X_2:Dönüş hızı (rpm), X_3:Süre (dk)

Hardaliye numunesi için yanıtların modellenmesi (TMAC azalması, LAB azalması, M&K azalması, pH, TÇKM, İŞM, L*, a*, b*, ΔE, C*, h°, renk tonu, SRT, KRT, MRT, TFM, TFlav.M ve TMA) başarıyla gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, uygulanan ikinci dereceden polinom model denklemlerinin katsayıları, önemsiz uyum eksikliğine ($p>0.05$) sahip on dokuz yanıt için göstermektedir (Tablo 3.92, 3.93 ve 3.94). RSM modellerindeki bazı sonuçlar için (TA veTAK) belirleme katsayısı (R^2) değerleri yüksek elde edilmiş olsa da, uyum eksikliği değerleri modellemeye uygun elde edilememiştir ($p<0.05$).

Tablo 3.92 MD uygulaması sonrası hardaliye numuneleri için RSM ikinci dereceden polinom modelinin tahmini regresyon katsayıları (kodlanmış)-1

Katsayılar	Yanıtlar					
	TMAC Azalma	**LAB Azalma**	**M&K Azalma**	**pH**	**TÇKM**	**İŞM**
β_0 (sabit)	2,729	2,664	1,0371	3,7379	19,522	36,17
β_1	0,376	0,380	0,0327	0,01179	-0,017	-1,676
β_2	-0,031	0,025	-0,0317	0,01487	-0,317	-0,089
β_3	0,829	0,816	0,6682	-0,00525	0,133	0,865
β_{11}	0,012	-0,022	-0,1637	-0,0479	0,064	1,09
β_{22}	0,283	0,221	-0,2798	-0,0369	-0,003	-1,02
β_{33}	-0,413	-0,469	0,1740	0,0271	-0,053	2,33
β_{12}	-0,109	-0,049	-0,0041	-0,0048	0,033	-0,86
β_{13}	0,204	0,226	0,0176	-0,0026	0,500	-1,41
β_{23}	-0,015	0,001	-0,0545	0,0084	-0,483	-5,34

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_{11} {X_1}^2 + \beta_{22} {X_2}^2 + \beta_{33} {X_3}^2 + \beta_{12} X_1 X_2 + \beta_{13} X_1 X_3 + \beta_{23} X_2 X_3 + \varepsilon$$

X_1:Güç (%), X_2:Dönüş hızı (rpm), X_3:Süre (dk)

Tablo 3.93 MD uygulaması sonrası hardaliye numuneleri için RSM ikinci dereceden polinom modelinin tahmini regresyon katsayıları (kodlanmış)-2

Katsayılar	Yanıtlar						
	L*	**a***	**b***	**ΔE**	**C***	**h°**	**Renk Tonu**
β_0 (sabit)	47,687	29,053	7,539	2,800	30,023	0,2544	0,96033
β_1	-0,019	-0,407	0,055	0,508	-0,380	0,00521	-0,00021
β_2	-0,335	0,036	0,137	-0,310	0,066	0,00442	-0,00146
β_3	-0,084	0,758	-0,320	-0,688	0,658	-0,01674	-0,01105
β_{11}	-0,216	0,198	-0,887	-0,378	-0,013	-0,0303	-0,00217
β_{22}	0,377	0,038	-0,602	0,326	-0,100	-0,0206	-0,00440
β_{33}	-0,330	-0,182	0,260	0,152	-0,123	0,0103	-0,00775
β_{12}	-0,896	0,465	0,252	-0,795	0,507	0,00512	0,01135
β_{13}	-0,669	0,860	-0,205	-0,891	0785	-0,01398	-0,00264
β_{23}	-1,764	0,483	0,185	-1,059	0,510	0,00211	-0,00030

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_{11} {X_1}^2 + \beta_{22} {X_2}^2 + \beta_{33} {X_3}^2 + \beta_{12} X_1 X_2 + \beta_{13} X_1 X_3 + \beta_{23} X_2 X_3 + \varepsilon$$

X_1:Güç (%), X_2:Dönüş hızı (rpm), X_3:Süre (dk)

Tablo 3.94 MD uygulaması sonrası hardaliye numuneleri için RSM ikinci dereceden polinom modelinin tahmini regresyon katsayıları (kodlanmış)-3

	Yanıtlar					
Katsayılar	**SRT**	**KRT**	**MRT**	**TFM**	**TFlav.M**	**TMA**
β_0 (sabit)	43,0324	44,814	12,153	68,42	332,41	1,4825
β_1	-0,0312	-0,024	0,0557	-0,85	3,33	0,0070
β_2	-0,0779	-0,013	0,0914	-1,20	-5,73	-0,0557
β_3	-0,2517	0,263	-0,0112	0,31	4,48	0,0125
β_{11}	-0,0577	0,042	0,016	2,63	-4,31	0,2148
β_{22}	0,1249	0,339	-0,464	-0,28	-2,65	0,1786
β_{33}	-0,0001	0,365	-0,365	2,81	1,10	-0,0274
β_{12}	0,1234	-0,408	0,285	-0,91	4,43	-0,0167
β_{13}	-0,3343	-0,229	0,564	1,23	7,24	0,2060
β_{23}	0,0406	0,057	-0,098	-2,89	-13,91	-0,1642

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_{11} {X_1}^2 + \beta_{22} {X_2}^2 + \beta_{33} {X_3}^2 + \beta_{12} X_1 X_2 + \beta_{13} X_1 X_3 + \beta_{23} X_2 X_3 + \varepsilon$$

X_1:Güç (%), X_2:Dönüş hızı (rpm), X_3:Süre (dk)

3.4 Termosonikasyonun Şalgam ve Hardaliye Üzerindeki Etkileri

3.4.1 Mikrobiyal İnaktivasyon

Farklı güç seviyesi, sıcaklık ve işlem süresi kombinasyonlarında TS işleminden sonra şalgam ve hardaliye numunelerinin toplam mezofilik aerobik canlı (TMAC), laktik asit bakterisi (LAB) ve küf ve maya (K&M) yüklerindeki azalmalar Tablo 3.95 ve 3.96'da gösterilmiştir.

Tablo 3.95 TS uygulaması sonrası şalgam numunelerinin TMAC, LAB ve K&M azalma değerleri

Kontrol				TMAC (log kob/mL)	LAB (log kob/mL)	K&M (log kob/mL)
				8,06 ± 0,06	6,68 ± 0,02	4,63 ± 0,05
Deneme deseni	**Bağımsız Değişkenler**			**Yanıtlar**		
	Güç (W)	**Sıcaklık (°C)**	**Süre (dk)**	**TMAC (log kob/mL azalma)**	**LAB (log kob/mL azalma)**	**K&M (log kob/mL azalma)**
1	500	20	10	$0,57 \pm 0,04^{h}$	$0,12 \pm 0,02^{f}$	$0,49 \pm 0,20^{h}$
2	1000	20	10	$2,13 \pm 0,10^{cd}$	$1,17 \pm 0,02^{e}$	$1,40 \pm 0,04^{cd}$
3	500	40	10	$2,78 \pm 0,11^{b}$	$2,59 \pm 0,04^{c}$	$1,27 \pm 0,03^{de}$
4	1000	40	10	$3,87 \pm 0,05^{a}$	$3,57 \pm 0,12^{a}$	$2,42 \pm 0,14^{ab}$
5	500	30	5	$0,90 \pm 0,09^{gh}$	$0,08 \pm 0,04^{f}$	$0,43 \pm 0,13^{h}$
6	1000	30	5	$1,40 \pm 0,19^{ef}$	$0,97 \pm 0,24^{e}$	$1,62 \pm 0,15^{c}$
7	500	30	15	$1,09 \pm 0,26^{fg}$	$0,88 \pm 0,14^{e}$	$1,41 \pm 0,09^{cd}$
8	1000	30	15	$2,61 \pm 0,16^{bc}$	$1,59 \pm 0,10^{d}$	$2,62 \pm 0,16^{a}$
9	750	20	5	$1,84 \pm 0,28^{de}$	$0,05 \pm 0,00^{f}$	$0,83 \pm 0,04^{fg}$
10	750	40	5	$3,92 \pm 0,33^{a}$	$2,33 \pm 0,05^{c}$	$1,05 \pm 0,08^{ef}$
11	750	20	15	$1,47 \pm 0,06^{ef}$	$0,17 \pm 0,08^{f}$	$0,73 \pm 0,06^{fgh}$
12	750	40	15	$3,62 \pm 0,14^{a}$	$3,25 \pm 0,16^{b}$	$2,13 \pm 0,14^{b}$
13	750	30	10	$1,22 \pm 0,04^{fg}$	$0,34 \pm 0,10^{f}$	$0,59 \pm 0,05^{gh}$
14	750	30	10	$1,20 \pm 0,04^{fg}$	$0,31 \pm 0,05^{f}$	$0,58 \pm 0,03^{gh}$
15	750	30	10	$1,16 \pm 0,05^{fg}$	$0,30 \pm 0,07^{f}$	$0,58 \pm 0,03^{gh}$

[1]RSM yöntemi uyhulanmıştır..

Farklı küçük harfler önemli farklılıkları temsil eder ($p<0,05$).

Tablo 3.96 TS uygulaması sonrası hardaliye numunelerinin TMAC, LAB ve K&M azalma değerleri

Kontrol				TMAC (log kob/mL)	LAB (log kob/mL)	K&M (log kob/mL)
				5,77 ± 0,02	5,71 ± 0,01	2,83 ± 0,03
Deneme deseni	**Bağımsız Değişkenler**			**Yanıtlar**		
	Güç (W)	**Sıcaklık (°C)**	**Süre (dk)**	**TMAC[1] (log kob/mL azalma)**	**LAB[1] (log kob/mL azalma)**	**K&M (log kob/mL azalma)**
1	500	20	10	1,01 ± 0,04	0,99 ± 0,04	0,54 ± 0,07^{g}
2	1000	20	10	1,90 ± 0,07	0,90 ± 0,09	1,54 ± 0,07^{cd}
3	500	40	10	2,03 ± 0,04	2,04 ± 0,02	1,26 ± 0,05^{de}
4	1000	40	10	3,01 ± 0,03	3,05 ± 0,07	2,45 ± 0,05^{b}
5	500	30	5	1,07 ± 0,06	1,12 ± 0,05	0,23 ± 0,06^{h}
6	1000	30	5	1,11 ± 0,13	1,20 ± 0,13	1,43 ± 0,14^{cd}
7	500	30	15	1,20 ± 0,10	1,10 ± 0,06	1,71 ± 0,10^{c}
8	1000	30	15	3,04 ± 0,11	2,24 ± 0,08	2,94 ± 0,00^{a}
9	750	20	5	1,17 ± 0,05	1,65 ± 0,01	0,97 ± 0,10^{ef}
10	750	40	5	3,37 ± 0,13	2,20 ± 0,14	1,26 ± 0,02^{de}
11	750	20	15	1,11 ± 0,02	1,13 ± 0,06	0,71 ± 0,10^{fg}
12	750	40	15	3,08 ± 0,05	3,02 ± 0,08	2,37 ± 0,09^{b}
13	750	30	10	1,07 ± 0,07	0,97 ± 0,01	0,55 ± 0,04^{g}
14	750	30	10	1,37 ± 0,08	1,24 ± 0,02	0,60 ± 0,07^{g}
15	750	30	10	1,40 ± 0,02	1,39 ± 0,07	0,71 ± 0,05^{fg}

[1]RSM yöntemi uygulanmıştır.

Farklı küçük harfler önemli farklılıkları temsil eder ($p<0,05$).

3.4.1.1 Toplam Mezofilik Aerobik Canlı (TMAC) İnaktivasyonu

Termosonikasyon sonrasında elde edilen şalgam numunelerinin TMAC azalma değerleri RSM ile modellenmiş ve ANOVA analiz çıktıları Tablo 3.97'de gösterilmiştir.

Tablo 3.97 TS uygulaması sonrası şalgam numunelerinin TMAC azalma değeri için RSM modellemesi ANOVA sonuçları

Kaynak	SD	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F değeri	P değeri
Model	9	16,8807	1,87563	15,67	0,004
G	1	2,7268	2,72676	22,78	0,005
T	1	8,3319	8,33191	69,61	0,000
T*T	1	5,1297	5,12966	42,85	0,001
Hata	5	0,5985	0,11970		
Uyum Eksikliği	3	0,5960	0,19868	160,62	***0,006***
Saf Hata	2	0,0025	0,00124		
Toplam	14	17,4792			

Standart Sapma	R^2	Düzeltilmiş R^2	Tahmini R^2
0,345979	96,58%	90,41%	45,41%

Şalgam numunelerinin TMAC azalma değerlerine ait RSM modellenmesinde uyum eksikliği değerinin p=0,006<0,05 olması sebebiyle değerler başarılı şekilde modellenememiştir.

Termosonikasyon sonrasında elde edilen hardaliye numunelerinin TMAC azalma değerleri RSM ile modellenmiş ve ANOVA analiz çıktıları Tablo 3.98'de gösterilmiştir.

Tablo 3.98 TS uygulaması sonrası hardaliye numunelerinin TMAC azalma değeri için RSM modellemesi ANOVA sonuçları

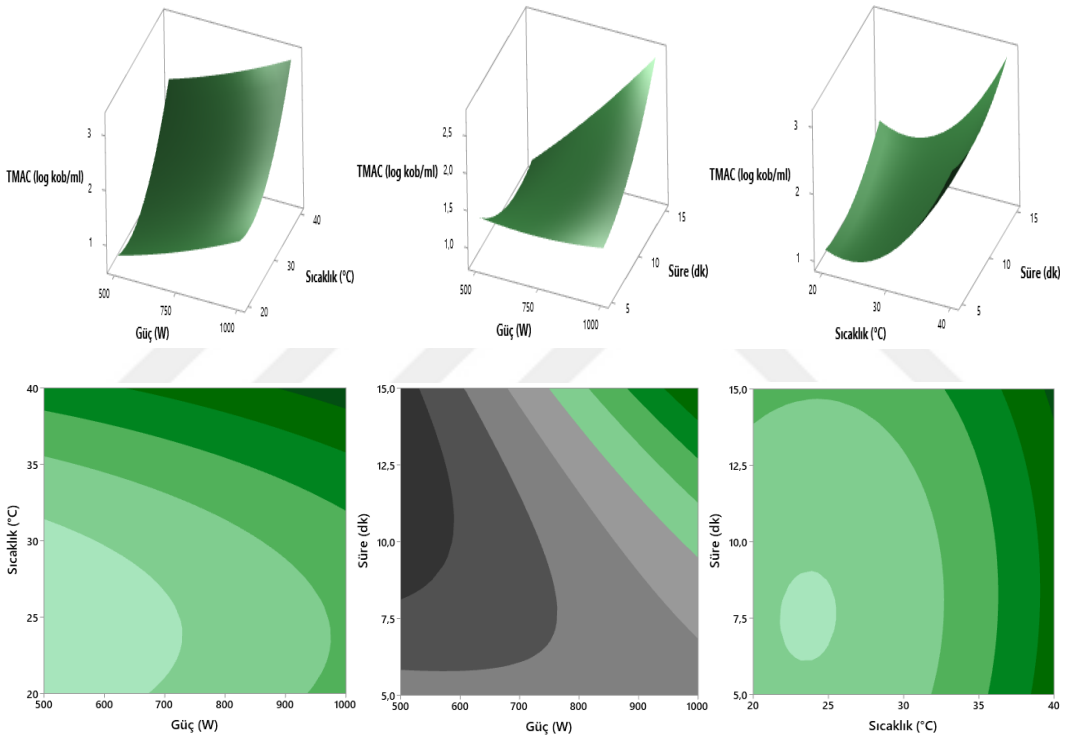
Kaynak	SD	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F değeri	P değeri
Model	9	9,6143	1,06826	4,07	0,068
G	1	1,7609	1,76092	6,71	0,049
T	1	4,9782	4,97824	18,97	0,007
Hata	5	1,3118	0,26237		
Uyum Eksikliği	3	1,2475	0,41583	12,92	***0,073***
Saf Hata	2	0,0644	0,03218		
Toplam	14	10,9261			

Standart Sapma	R^2	Düzeltilmiş R^2	Tahmini R^2
0,512219	87,99%	66,38%	0,00%

Hardaliye numunelerinin TMAC azalma değerlerine ait RSM modellenmesi ile değerlendirildiğinde uyum eksikliği değerinin istatistiksel olarak anlamlı ($p>0,05$) olmaması sebebiyle başarılı şekilde modellenmiştir.

Şalgam numunelerinde TMAC inaktivasyon başarısı ANOVA sonuçlarına göre TS parametrelerinden güç ve sıcaklık ile doğrusal ilişkili olarak ve ayrıca sıcaklığın kare kuvvetiyle değişmiştir ($p<0,05$). Güç seviyesi ve işlem sıcaklığı parametrelerinin doğrusal ve kare kuvvetlerinin artışı TMAC yükünün azalmasını arttırmıştır. Hardaliye numunelerinde de TMAC inaktivasyon başarısının güç ve sıcaklık ile doğrusal ilişkili ile açıklanabileceği 3D yüzey grafiklerinde gösterilmektedir (Şekil 3.45).

Benzer olarak, Starek vd. [182] taze domates suyu üzerine yapmış oldukları çalışmada,10 dakika boyunca 40 W/cm^2'de yapılan TS işlemi, TMAC'yi etkili bir şekilde inaktive ederek, 10 güne kadar depolama süresince mikrobiyolojik stabilitesini korumuştur. Daha kısa işlemler veya daha düşük yoğunluklar inaktivasyon üzerinde daha az etkili olmuştur. Bu işlem tek başına, işlem görmemiş örneklere kıyasla TMAC'yi önemli ölçüde azaltmamıştır. Ancak, yüksek hidrostatik basınç (HHP) ile birleştirildiğinde, sinerjik bir etki gözlemlenmiş ve TMAC'de 0. günde 1,5-2,0 log kob/mL ve 28. günde 6 log kob/mL'ye kadar bir azalmaya yol açtı. Bu, termosonikasyonun etkinliğinin, özellikle nötr pH'a yakın içeceklerde, diğer koruma yöntemleriyle birleştirildiğinde artırılabileceğini göstermektedir.



Şekil 3.45 RSM grafikleri: TS'nin hardaliye örneklerinin TMAC azalma değerleri üzerindeki etkisi

Kara dut-ananas-mango fonksiyonel içecekle yapılan çalışmada [183], 20 kHz frekans, 500 W güç, %80 genlik, 45°C'de 20 dakika uygulama ile termosonikasyon TMAC'yi 6,96'dan 4,37 log kob/mL'ye düşürmiştür. 20 kHz frekans, 263 W güç, 89,25 µm genlik, 8 dakikalık işlem süresi ile termosonikasyon çarkıfelek meyvesi suyunda bulunan TMAC ve maya yüklerini önemli ölçüde azaltmıştır. 4°C ve 10°C'de 10 güne kadar depolama sırasında mikrobiyal kalite stabil kalmıştır [184].

3.4.1.2 Laktik Asit Bakterileri (LAB) İnaktivasyonu

Termosonikasyon sonrasında elde edilen şalgam numunelerinin LAB azalma değerlerin RSM ile modellenmiş ve ANOVA analiz çıktıları Tablo 3.99'da gösterilmiştir.

Tablo 3.99 TS uygulaması sonrası şalgam numunelerinin LAB azalma değeri için RSM modellemesi ANOVA sonuçları

Kaynak	SD	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F değeri	P değeri
Model	9	20,4298	2,2700	149,81	0,000
G	1	1,6500	1,6500	108,89	0,000
T	1	13,0991	13,0991	864,51	0,000
t	1	0,7501	0,7501	49,50	0,001
G*G	1	0,8786	0,8786	57,99	0,001
T*T	1	4,1417	4,1417	273,34	0,000
T*t	1	0,1626	0,1626	10,73	0,022
Hata	5	0,0758	0,0152		
Uyum Eksikliği	3	0,0751	0,0250	72,34	***0,014***
Saf Hata	2	0,0007	0,0003		
Toplam	14	20,5056			

Standart Sapma	R^2	Düzeltilmiş R^2	Tahmini R^2
0,123094	99,63%	98,97%	94,14%

Şalgam numunelerinin LAB azalma değerlerinin RSM modellenmesinde uyum eksikliği değerinin $p=0,014<0,05$ olması sebebiyle değerler başarılı şekilde modellenememiştir.

Termosonikasyon sonrasında elde edilen hardaliye numunelerinin LAB azalma değerleri RSM ile modellenmiş ve ANOVA analiz çıktıları Tablo 3.100'de gösterilmiştir.

Tablo 3.100 TS uygulaması sonrası hardaliye numunelerinin LAB azalma değeri için RSM modellemesi ANOVA sonuçları

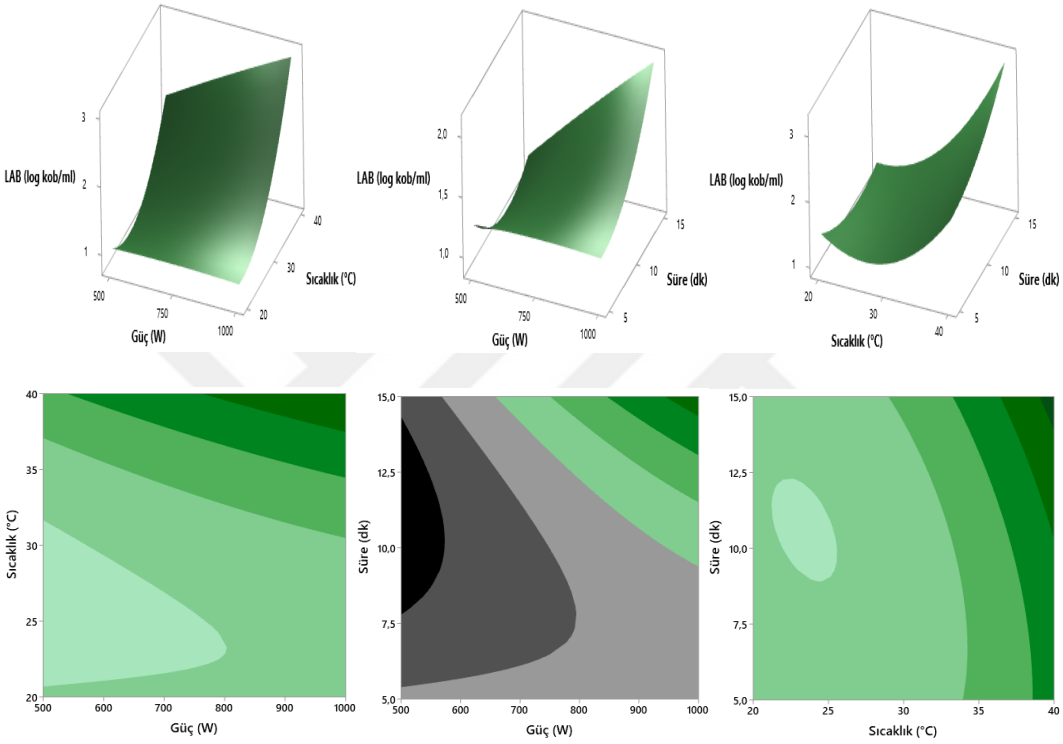
Kaynak	**SD**	**Kareler Toplamı**	**Kareler Ortalaması**	**F değeri**	**P değeri**
Model	9	7,12511	0,79168	16,50	0,003
G	1	0,57721	0,57721	12,03	0,018
T	1	3,96565	3,96565	82,66	0,000
T*T	1	1,17728	1,17728	24,54	0,004
T*t	1	0,45242	0,45242	9,43	0,028
Hata	5	0,23987	0,04797		
Uyum Eksikliği	3	0,14682	0,04894	1,05	***0,521***
Saf Hata	2	0,09304	0,04652		
Toplam	14	7,36497			

Standart Sapma	**R^2**	**Düzeltilmiş R^2**	**Tahmini R^2**
0,219027	96,74%	90,88%	65,26%

Hardaliye numunelerinin LAB azalma değerlerinin RSM modellenmesi ile değerlendirildiğinde uyum eksikliği değerinin istatistiksel olarak anlamlı ($p>0,05$) olmaması sebebiyle başarılı şekilde modellenmiştir.

ANOVA sonuçları dikkate alındığında, şalgam numunelerinde LAB inaktivasyonu tüm TS parametrelerinin doğrusal etkisiyle, güç ve sıcaklığın kare kuvvetiyle ve ayrıca sıcaklık-süre etkileşimiyle ilişkilidir. Sonuçlar, TS'in etkisinin tüm parametrelerdeki artışlarla önemli ölçüde arttığını göstermiştir ($p<0,05$).

Hardaliye numunelerinde LAB inaktivasyon başarısı ANOVA sonuçlarına göre TS parametrelerinden güç ve sıcaklık ile doğrusal olarak, sıcaklığın kare kuvvetiyle ve ayrıca sıcaklık-süre etkileşimi ile değişmiştir ($p<0,05$). Güç seviyesi ve işlem sıcaklığı parametrelerinin doğrusal ve kare kuvvetlerinin artışı LAB yükünün azalmasını arttırmıştır. Tüm değerler dahil olmak üzere, 10dk boyunca 1000W güç ve 40 °C sıcaklıkta toplam inaktivasyon (3,57 ± 0,12 log kob/mL) elde edilmiştir; bu en etkili parametre kombinasyonunu ifade etmektedir.



Şekil 3.46 RSM grafikleri: TS'nin hardaliye örneklerinin LAB azalma değerleri üzerindeki etkisi

Domates suyu ile yapılan bir çalışmada [182], 10 dakika boyunca 40 W/cm^2'de uygulanan işlem, laktik asit bakterilerini etkili bir şekilde ortadan kaldırarak 10 güne kadar depolama süresince mikrobiyolojik saflığı koruduğu tespit edilmiştir. Daha kısa işlemler veya daha düşük yoğunluklar daha az etkili olmuş, bu da hem güç yoğunluğun hem de uygulama sürenin mikrobiyal inaktivasyon için kritik olduğunu göstermektedir. *Lacticaseibacillus paracasei* içeren nohut bazlı içecek ile yapılan bir çalışmada [185], 28 kHz'de güç yoğunluğunun 100 W/L'in üzerinde yıkması laktik asit bakterilerinde olası hücre hasarı gerçekleştiği için laktik asit konsantrasyonunda azalmaya sebep olmuştur.

Benzer olarak bakraei (*Citrus reticulata* cv. Bakraei) *Limosilactobacillus reuteri'*li meyve suyunu konu alan araştırmada [186], işlemin 50 W güç, 30 kHz frekans ve 6 dakika işlem uygulaması mikrobiyal popülasyonu, laktik asit seviyelerini ve antioksidan aktiviteyi azaltmıştır ve bu da aşırı termosonikasyonun LAB canlılığına zarar verebileceğini göstermektedir.

3.4.1.3 Toplam Maya ve Küf (M&K) İnaktivasyonu

Termosonikasyon sonrasında elde edilen şalgam numunelerinin M&K azalma değerleri RSM ile modellenmiş ve ANOVA analiz çıktıları Tablo 3.101'de gösterilmiştir.

Tablo 3.101 TS uygulaması sonrası şalgam numunelerinin M&K azalma değeri için RSM modellemesi ANOVA sonuçları

Kaynak	SD	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F değeri	P değeri
Model	9	7,12124	0,79125	28,67	0,001
G	1	2,49165	2,49165	90,28	0,000
T	1	1,46282	1,46282	53,00	0,001
t	1	1,09648	1,09648	39,73	0,001
G*G	1	1,21131	1,21131	43,89	0,001
T*T	1	0,21180	0,21180	7,67	0,039
t*t	1	0,49172	0,49172	17,82	0,008
T*t	1	0,35019	0,35019	12,69	0,016
Hata	5	0,13800	0,02760		
Uyum Eksikliği	3	0,13795	0,04598	1657,62	***0,001***
Saf Hata	2	0,00006	0,00003		
Toplam	14	7,25924			

Standart Sapma	R^2	Düzeltilmiş R^2	Tahmini R^2
0,166134	98,10%	94,68%	69,59%

Şalgam numunelerinin M&K azalma değerlerinin RSM modellenmesinde uyum eksikliği değerinin p=0,001<0,05 olması sebebiyle değerler başarılı şekilde modellenememiştir.

Termosonikasyon sonrasında elde edilen hardaliye numunelerinin M&K azalma değerleri RSM ile modellenmiş ve ANOVA analiz çıktıları Tablo 3.102'de gösterilmiştir.

Tablo 3.102 TS uygulaması sonrası hardaliye numunelerinin M&K azalma değeri için RSM modellemesi ANOVA sonuçları

Kaynak	**SD**	**Kareler Toplamı**	**Kareler Ortalaması**	**F değeri**	**P değeri**
Model	9	8,37273	0,93030	7,64	0,019
G	1	2,66572	2,66572	21,90	0,005
T	1	1,60948	1,60948	13,22	0,015
t	1	1,83750	1,83750	15,09	0,012
G*G	1	1,06865	1,06865	8,78	0,031
Hata	5	0,60872	0,12174		
Uyum Eksikliği	3	0,59482	0,19827	28,53	***0,034***
Saf Hata	2	0,01390	0,00695		
Toplam	14	8,98145			

Standart Sapma	**R^2**	**Düzeltilmiş R^2**	**Tahmini R^2**
0,348918	93,22%	81,02%	0,00%

Hardaliye numunelerinin M&K azalma değerlerinin RSM modellenmesinde uyum eksikliği değerinin p=0,034<0,05 olması sebebiyle değerler başarılı şekilde modellenememiştir.

Şalgam için odaklanılması gereken en önemli mikrobiyota elemanı olan maya tespitinin sonuçları M&K sayımlarına ait ANOVA analizi varyans tablosuna göre değerlendirildiğinde, hem doğrusal ve ikinci dereceden kuvvetlerinin tamamı hem de sıcaklık-süre etkileşiminin mikroorganizma sayısındaki azalma üzerinde istatistiksel olarak etkili olduğu görülmüştür ($p<0,05$). Bunun yanı sıra hardaliye numunesinde tüm sonikasyon parametrelerinin doğrusal etkisi ve gücün kare kuvveti M&K yükü üzerinde etkili olmuştur ($p<0,05$). Tüm parametrelerdeki artış, inaktivasyon etkinliğinde önemli bir artış sağlamaktadır.

60 °C'de 10 dakika termosonikasyonla muamele edilen elma suyunda maya, küf ve bakteri hücrelerinin bulunmadığı rapor edilmiştir ve bu, belirtilen koşullar altında bu mikroorganizmaların tamamen inaktivasyonunu düşündürmektedir [187]. Domates bazlı içecekte 15 dakika ultrasonikasyon uygulamasının içecekteki maya ve küf sayısını azaltmada termal işleme eşdeğer olduğu bulunmuştur ve ultrasonikasyon uygulamasının mikrobiyal inaktivasyon için etkili bir alternatif olabileceğini ifade edilmiştir [188]. 400 W'da yüksek yoğunluklu ultrasonikasyon işlemi uygulanan yer fıstığı sütünde, maya ve küf sayısında 0,9 log'luk bir azalmaya neden olmuştur ve bu da bitki bazlı süt alternatiflerinin mikrobiyal kalitesini iyileştirme potansiyelini göstermektedir [189].

3.4.2 Fizikokimyasal Özellikler

3.4.2.1 TS'nin pH, Toplam Çözünür Katı Madde Miktarı, Titrasyon Asitliği ve İndirgen Şeker Miktarı Üzerindeki Etkisi

Farklı güç seviyesi, sıcaklık ve işlem süresi kombinasyonlarında TS işleminden sonra şalgam ve hardaliye numunelerinin pH, toplam çözünür katı madde miktarı (TÇKM), titrasyon asitliği (TA) ve indirgen şeker miktarı (İŞM) analizleri sonuçları Tablo 3.103 ve 3.104'te verilmiştir.

Tablo 3.103 TS uygulaması sonrası şalgam numunelerinin pH, TÇKM, TA ve İŞM sonuçları

Deneme Deseni	Yanıtlar			
	pH[1]	TÇKM (°Briks)	TA[1] ($g_{lactic\ acid}$/L)	İŞM (mg/100 mL)
Kontrol	3,96 ± 0,01	1,83 ± 0,15^{abcd}	2,40 ± 0,21	5,90 ± 0,09^{a}
1	4,01 ± 0,00	1,48 ± 0,00^{g}	2,53 ± 0,21	5,63 ± 0,09^{b}
2	4,02 ± 0,00	1,85 ± 0,06^{abc}	2,48 ± 0,21	5,54 ± 0,13^{b}
3	3,99 ± 0,00	1,36 ± 0,00^{h}	2,78 ± 0,21	5,66 ± 0,24^{b}
4	3,99 ± 0,00	1,83 ± 0,00^{abcd}	2,63 ± 0,21	5,57 ± 0,12^{b}
5	3,99 ± 0,00	1,70 ± 0,06^{f}	2,58 ± 0,36	5,23 ± 0,08^{cd}
6	3,98 ± 0,00	1,89 ± 0,00^{a}	2,68 ± 0,21	5,69 ± 0,06^{b}
7	3,99 ± 0,00	1,75 ± 0,06^{ef}	2,63 ± 0,21	5,02 ± 0,03^{ef}
8	4,03 ± 0,01	1,87 ± 0,06^{ab}	2,22 ± 0,21	4,13 ± 0,13^{g}
9	3,99 ± 0,00	1,75 ± 0,06^{ef}	2,53 ± 0,21	5,23 ± 0,09^{cd}
10	3,99 ± 0,00	1,79 ± 0,06^{cde}	2,32 ± 0,21	5,19 ± 0,06^{cde}
11	4,01 ± 0,00	1,48 ± 0,00^{g}	2,32 ± 0,21	5,59 ± 0,19^{b}
12	3,99 ± 0,00	1,70 ± 0,06^{f}	2,63 ± 0,21	4,95 ± 0,18^{f}
13	3,99 ± 0,00	1,77 ± 0,00^{de}	2,78 ± 0,21	5,09 ± 0,12^{def}
14	3,99 ± 0,00	1,79 ± 0,06^{cde}	2,68 ± 0,21	5,57 ± 0,12^{b}
15	3,99 ± 0,00	1,81 ± 0,06^{bcde}	2,83 ± 0,21	5,31 ± 0,03^{c}

[1]RSM yöntemi uygulanmıştır.

Farklı küçük harfler önemli farklılıkları temsil eder ($p<0,05$).

Tablo 3.104 TS uygulaması sonrası hardaliye numunelerinin pH, TÇKM, TA ve İŞM sonuçları

Deneme Deseni	Yanıtlar			
	pH	TÇKM (°Briks)	TA ($g_{lactic\ acid}$/L)	İŞM[1] (mg/mL)
Kontrol	3,60 ± 0,00^{k}	20,17 ± 0,06^{a}	8,4 ± 0,21^{f}	42,02 ± 0,12
1	3,90 ± 0,01^{j}	16,53 ± 0,06^{ı}	10,92 ± 0,21^{ab}	60,57 ± 0,07
2	3,92 ± 0,00^{ıj}	18,53 ± 0,06^{ef}	8,40 ± 0,21^{f}	47,80 ± 0,00
3	3,93 ± 0,00^{hı}	14,93 ± 0,06^{l}	10,68 ± 0,21^{abc}	50,41 ± 0,12
4	3,95 ± 0,00^{fgh}	16,07 ± 0,06^{j}	8,28 ± 0,36^{f}	34,75 ± 0,03
5	3,94 ± 0,02^{ghı}	18,37 ± 0,06^{fg}	7,80 ± 0,36^{f}	48,58 ± 0,01
6	3,96 ± 0,00^{ef}	19,03 ± 0,06^{c}	6,96 ± 0,21^{g}	34,60 ± 0,02
7	3,96 ± 0,00^{efg}	14,53 ± 0,12^{m}	8,40 ± 0,21^{f}	51,32 ± 0,04
8	3,97 ± 0,01^{de}	15,33 ± 0,12^{k}	7,92 ± 0,36^{f}	35,18 ± 0,01
9	3,99 ± 0,01^{cd}	17,27 ± 0,06^{h}	9,24 ± 0,21^{e}	46,94 ± 0,01
10	4,04 ± 0,01^{ab}	19,67 ± 0,06^{b}	9,84 ± 0,21^{de}	41,11 ± 0,03
11	3,99 ± 0,01^{c}	16,63 ± 0,06^{ı}	11,28 ± 0,21^{a}	47,49 ± 0,03
12	4,02 ± 0,00^{b}	18,13 ± 0,06^{g}	10,44 ± 0,36^{bcd}	37,56 ± 0,03
13	4,06 ± 0,00^{a}	18,87 ± 0,06^{cd}	9,84 ± 0,21^{de}	49,52 ± 0,05
14	4,06 ± 0,00^{a}	18,67 ± 0,06^{de}	9,84 ± 0,21^{de}	50,13 ± 0,04
15	4,06 ± 0,00^{a}	18,70 ± 0,20^{de}	9,96 ± 0,21^{cde}	50,79 ± 0,07

[1]RSM yöntemi uygulanmıştır.

Farklı küçük harfler önemli farklılıkları temsil eder ($p<0,05$).

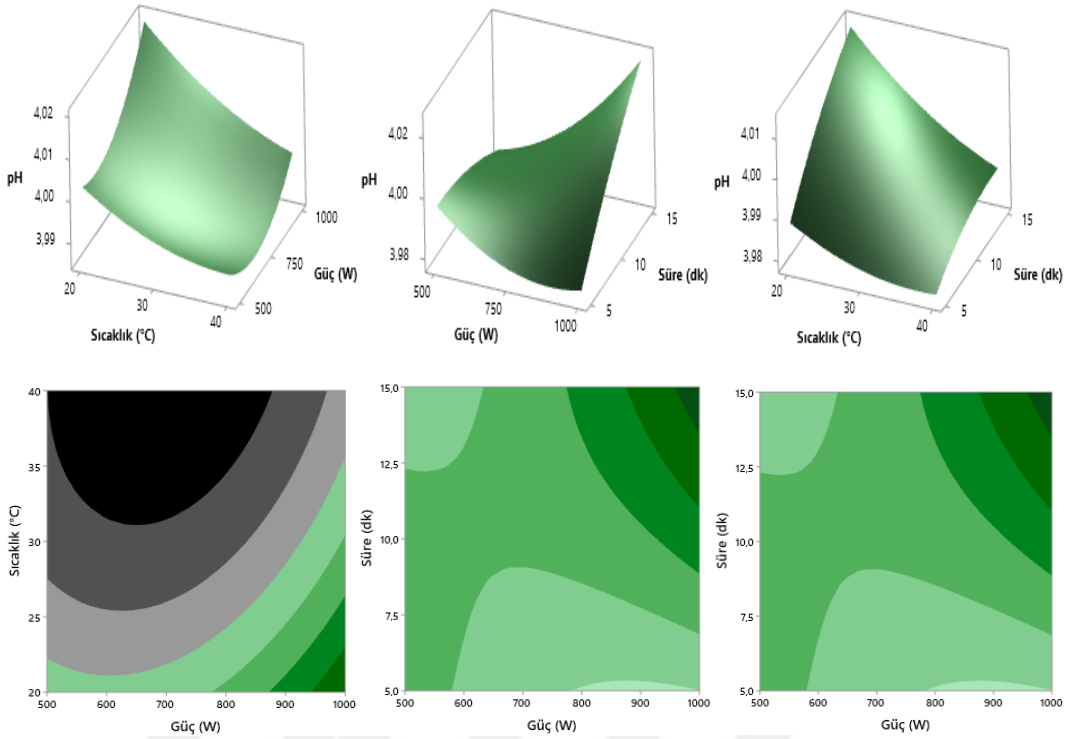
Termosonikasyon uygulaması sonrasında elde edilen şalgam numunelerinin pH analiz sonuçları RSM ile modellenmiş ve ANOVA analiz çıktıları Tablo 3.105'te gösterilmiştir.

Tablo 3.105 TS uygulaması sonrası şalgam numunelerinin pH için RSM modellemesi ANOVA sonuçları

Kaynak	**SD**	**Kareler Toplamı**	**Kareler Ortalaması**	**F değeri**	**P değeri**
Model	9	0,002692	0,000299	7,29	0,021
G	1	0,000294	0,000294	7,17	0,044
T	1	0,000630	0,000630	15,36	0,011
t	1	0,000580	0,000580	14,13	0,013
G*t	1	0,000827	0,000827	20,15	0,006
Hata	5	0,000205	0,000041		
Uyum Eksikliği	3	0,000194	0,000065	11,99	***0,078***
Saf Hata	2	0,000011	0,000005		
Toplam	14	0,002897			

Standart Sapma	**R^2**	**Düzeltilmiş R^2**	**Tahmini R^2**
0,0064070	92,91%	80,16%	0,00%

Şalgam numunelerinin pH analiz sonuçları RSM modellenmesi ile değerlendirildiğinde uyum eksikliği değerinin istatistiksel olarak anlamlı ($p>0,05$) olmaması sebebiyle başarılı şekilde modellenmiştir.



Şekil 3.47 RSM grafikleri: TS'nin şalgam örneklerinin pH değerleri üzerindeki etkisi

Termosonikasyon uygulaması sonrasında elde edilen hardaliye numunelerinin pH analiz sonuçları RSM ile modellenmiş ve ANOVA analiz çıktıları Tablo 3.106'da gösterilmiştir.

Tablo 3.106 TS uygulaması sonrası hardaliye numunelerinin pH için RSM modellemesi ANOVA sonuçları

Kaynak	SD	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F değeri	P değeri
Model	9	0,042204	0,004689	67,07	0,000
T	1	0,002713	0,002713	38,81	0,002
G*G	1	0,034681	0,034681	496,04	0,000
T*T	1	0,006156	0,006156	88,05	0,000
Hata	5	0,000350	0,000070		
Uyum Eksikliği	3	0,000347	0,000116	80,01	***0,012***

Tablo 3.106 TS uygulaması sonrası hardaliye numunelerinin pH için RSM modellemesi ANOVA sonuçları (devamı)

Saf Hata	2	0,000003	0,000001	
Toplam	14	0,042554		
Standart Sapma		**R^2**	**Düzeltilmiş R^2**	**Tahmini R^2**
0,0083616		99,18%	97,70%	86,95%

Hardaliye numunelerinin pH analiz sonuçları RSM modellenmesinde uyum eksikliği değerinin $p=0,012<0,05$ olması sebebiyle değerler başarılı şekilde modellenememiştir.

Yenilikçi işleme yöntemlerinden biri olan TS, birçok çalışmada istenmeyen kalite değişimlerini önlemek için alternatif bir uygulama olduğu belirtilmektedir. Ancak pH değerleri için yapmış olduğumuz analizler sonucunda şalgam ürününe ait ANOVA varyans tablosu ve RSM 3D grafikleri (Şekil 3.47) incelendiğinde tüm parametrelerle doğrusal olarak ve güç-süre parametrelerinin etkileşimiyle anlamlı değişim göstermiştir ($p<0,05$). Hardaliye ürünü için de benzer sonuç elde edilmiş; sıcaklığın doğrusal ve kare kuvvetinin yanı sıra gücün kare kuvvetinin de pH değişimi üzerinde etkisi olduğu tespit edilmiştir.

Yapılan çalışmalarda, pH değerlerinin TS'den hemen sonra çeşitli örnekler için belirgin bir değişim göstermediği tespit edilmiştir. 60-90 dk TS uygulaması yapılan greyfurt suyu [190]; 20 kHz'de 45 °C, 50 °C ve 55 °C termosonikasyon uygulaması yapılan kivi suyu [191]; %20, %40, %60 ve %80 dalga genlikleri ile TS uygulaması yapılan maoberry suyu [192]; 20 °C ve 25 kHz frekansında 0- 90 dk uygulama yapılan elma suyu [193]; 20 kHz'de 10 dk ve 0,95, 2,38 ve 3,80 W/mL güç seviyeleri uygulanan havuç suyu [194] örnek olarak verilebilir.

Termosonikasyon uygulaması sonrasında elde edilen şalgam numunelerinin TÇKM analiz sonuçları RSM ile modellenmiş ve ANOVA analiz çıktıları Tablo 3.107'de gösterilmiştir.

Tablo 3.107 TS uygulaması sonrası şalgam numunelerinin TÇKM için RSM modellemesi ANOVA sonuçları

Kaynak	SD	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F değeri	P değeri
Model	9	0,278771	0,030975	2,01	0,229
G	1	0,169095	0,169095	10,97	0,021
Hata	5	0,077042	0,015408		
Uyum Eksikliği	3	0,076265	0,025422	65,42	***0,015***
Saf Hata	2	0,000777	0,000389		
Toplam	14	0,355814			

Standart Sapma	R^2	Düzeltilmiş R^2	Tahmini R^2
0,124131	78,35%	39,37%	0,00%

Şalgam numunelerinin TÇKM analiz sonuçları RSM modellenmesinde uyum eksikliği değerinin p=0,015<0,05 olması sebebiyle değerler başarılı şekilde modellenememiştir.

Termosonikasyon uygulaması sonrasında elde edilen hardaliye numunelerinin TÇKM analiz sonuçları için RSM modellemesi uygulanmış ve ANOVA çıktıları elde edilmiştir. TÇKM analiz sonuçları RSM modellenmesinde uyum eksikliği değerinin p=0,003<0,05 olması sebebiyle değerler başarılı şekilde modellenememiştir. Ayrıca elde edilen ANOVA çıktılarında tüm modelleme parametrelerinin istatistiksel olarak önemsiz olduğu belirlenmiştir.

Dut suyu ile yapılan çalışmada, 60°C'de 60 dk sonikasyon ardından TÇKM değeri 11,44'ten 11,95°Brix'e yükselmiştir ve bu artış, hücre duvarlarının ultrasonik kavitasyonla parçalanmasına ve çözünür katıların meyve suyuna salınmasını kolaylaştırması ile açıklanmıştır [195]. Ancak, 60 dakikadan uzun süren sonikasyon, TÇKM'de bir azalmaya yol açmıştır.

30 dakika boyunca ön işlem olarak kullanılan ultrasonikasyon muz suyunun TÇKM değerlerinde artışa yol açmıştır. Enzimatik işlemlerle birleştirildiğinde bu değer daha da artmıştır ve bu durum sinerjik etki, karmaşık karbonhidratların daha basit şekerlere parçalanması ile açıklanabilir [196]. 10 dk'ya kadar sonikasyondan sonra aşırı olgunlaşmış elma sularında TÇKM'de hafif bir azalma tespit edilmiştir [197]. Bu çalışmalara ek olarak, TÇKM değerlerinin TS'den hemen sonra çeşitli örnekler için belirgin bir değişim göstermediği de tespit edilmiştir. %20, %40, %60 ve %80 dalga genlikleri ile TS uygulaması yapılan maoberry suyu [192]; 20 kHz'de 10 dk ve 0,95, 2,38 ve 3,80 W/mL güç seviyeleri uygulanan havuç suyu [194] örnek olarak verilebilir.

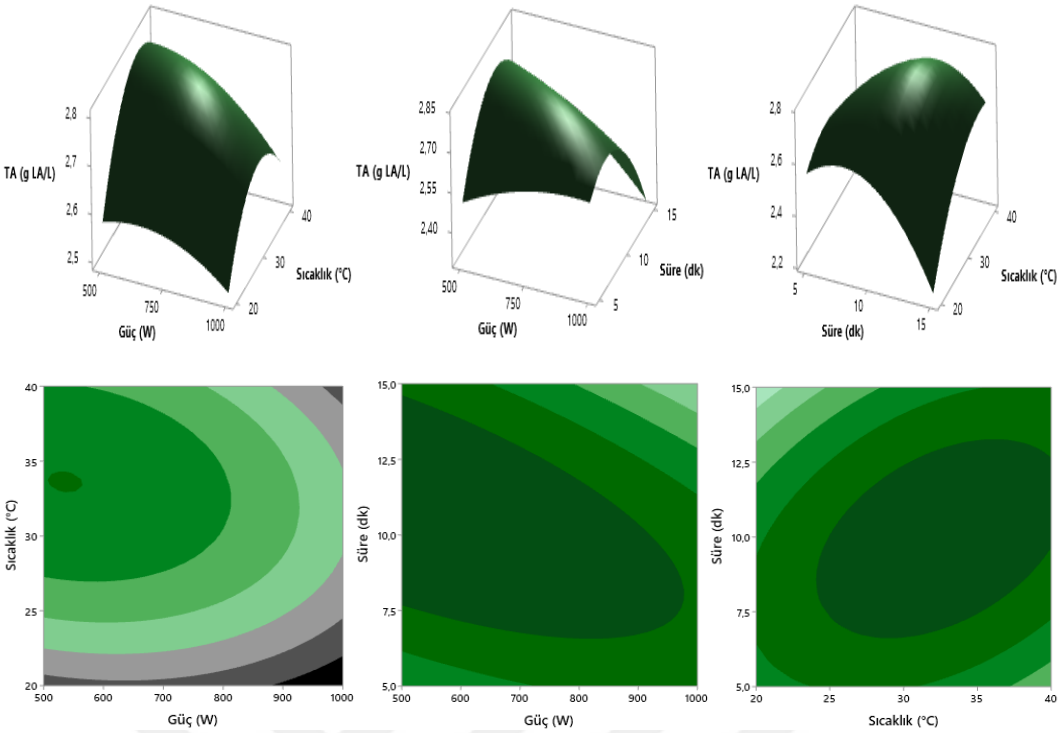
Termosonikasyon uygulaması sonrasında elde edilen şalgam numunelerinin TA analiz sonuçları RSM ile modellenmiş ve ANOVA analiz çıktıları Tablo 3.108'de gösterilmiştir.

Tablo 3.108 TS uygulaması sonrası şalgam numunelerinin TA için RSM modellemesi ANOVA sonuçları

Kaynak	**SD**	**Kareler Toplamı**	**Kareler Ortalaması**	**F değeri**	**P değeri**
Model	9	0,384894	0,042766	3,78	0,079
t*t	1	0,138512	0,138512	12,24	0,017
Hata	5	0,056589	0,011318		
Uyum Eksikliği	3	0,044676	0,014892	2,50	***0,299***
Saf Hata	2	0,011914	0,005957		
Toplam	14	0,441483			

Standart Sapma	**R^2**	**Düzeltilmiş R^2**	**Tahmini R^2**
0,106386	87,18%	64,11%	0,00%

Şalgam numunelerinin TA analiz sonuçları RSM modellenmesi ile değerlendirildiğinde uyum eksikliği değerinin istatistiksel olarak anlamlı ($p>0,05$) olmaması sebebiyle başarılı şekilde modellenmiştir.



Şekil 3.48 RSM grafikleri: TS'nin şalgam örneklerinin TA değerleri üzerindeki etkisi

Termosonikasyon uygulaması sonrasında elde edilen hardaliye numunelerinin TA analiz sonuçları RSM ile modellenmiş ve ANOVA analiz çıktıları Tablo 3.109'da gösterilmiştir.

Tablo 3.109 TS uygulaması sonrası hardaliye numunelerinin TA için RSM modellemesi ANOVA sonuçları

Kaynak	SD	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F değeri	P değeri
Model	9	21,5700	2,39667	6,74	0,025
G	1	4,8672	4,86720	13,69	0,014
G*G	1	6,9301	6,93009	19,50	0,007
T*T	1	4,1487	4,14868	11,67	0,019
Hata	5	1,7772	0,35544		
Uyum Eksikliği	3	1,7676	0,58920	122,75	***0,008***

Tablo 3.109 TS uygulaması sonrası hardaliye numunelerinin TA için RSM modellemesi ANOVA sonuçları (devamı)

Saf Hata	2	0,0096	0,00480	
Toplam	14	23,3472		
Standart Sapma		**R^2**	**Düzeltilmiş R^2**	**Tahmini R^2**
0,596188		92,39%	78,69%	0,00%

Hardaliye numunelerinin TA analiz sonuçları RSM modellenmesinde uyum eksikliği değerinin $p=0,008<0,05$ olması sebebiyle değerler başarılı şekilde modellenememiştir.

Termosonikasyon işleminden sonra şalgam numunesinin TA değerlerinde önemli değişiklikler gözlemlenmiştir ve bu değişiklikler sürenin kare kuvvetiyle anlamlı olarak ilişkilidir ($p<0,05$). Süre için orta değerlerde (~10 dk) TA için maksimum seviyeler gözlemlenmiştir (Şekil 3.48). Hardaliye için elde edilen sonuçlar güç ve sıcaklığın kare kuvvetinden ve ayrıca gücün doğrusal kuvvetinden istatistiksel olarak anlamlı şekilde etkilendiğini göstermiştir. Genel olarak kontrol numunesi ile karşılaştırıldığında sonikasyonun TA seviyelerinde artışa yol açtığı ancak güç seviyesinin artışıyla değerlerin daha düşük seviyelerde elde edildiği tespit edilmiştir.

Benzer olarak, siyah frenk üzümü suyu sıkmadan önce 5, 10 ve 15 dakika ultrasonik püre işlemi uygulanmış ve TA değerleri işlenmemiş örneklere kıyasla 10 ve 15 dakikalık ultrasonik işlemden sonra artmıştır. Bu artış, ultrasonik kavitasyonun neden olduğu hücre duvarı bozulması nedeniyle organik asitlerin daha iyi çıkarılmasına atfedilmektedir [198]. Dut suyuna ait TA değerleri, 45°C'de uygulanan TS ile zirveye ulaşmıştır; bu da orta dereceli sonikasyon sıcaklıklarının asidik bileşiklerin ekstraksiyonunu artırdığını göstermektedir. Daha yüksek sıcaklıklarda (60°C ila 75°C), muhtemelen organik asitlerin termal bozulmasından kaynaklanan asitlikte bir azalma gözlemlenmiştir [195]. Elma suyu ile yapılan bir diğer çalışmada [197], sonikasyonun ilk 8 dakikasında TA değerlerinde hafif bir artış görülmüş ve sonrasında 10 dk'ya kadar uygulamada sabit kalmıştır. Bu değişim, parçalanmış hücrelerden organik asitlerin salınması ile açıklanmıştır.

Termosonikasyon uygulaması sonrasında elde edilen şalgam numunelerinin İŞM analiz sonuçları için RSM modellemesi uygulanmış ve ANOVA çıktıları elde edilmiştir. İŞM analiz sonuçları RSM modellenmesi ile değerlendirildiğinde uyum eksikliği değerinin p=0,256>0,05 olması sebebiyle sonuçlar başarılı şekilde modellenmiştir; ancak elde edilen ANOVA çıktılarında tüm modelleme parametrelerinin istatistiksel olarak önemsiz olduğu belirlenmiştir. Bu nedenle RSM modeline ait 3D yüzey grafikleri gösterilmemiştir.

Termosonikasyon uygulaması sonrasında elde edilen hardaliye numunelerinin İŞM analiz sonuçları RSM ile modellenmiş ve ANOVA analiz çıktıları Tablo 3.110'da gösterilmiştir.

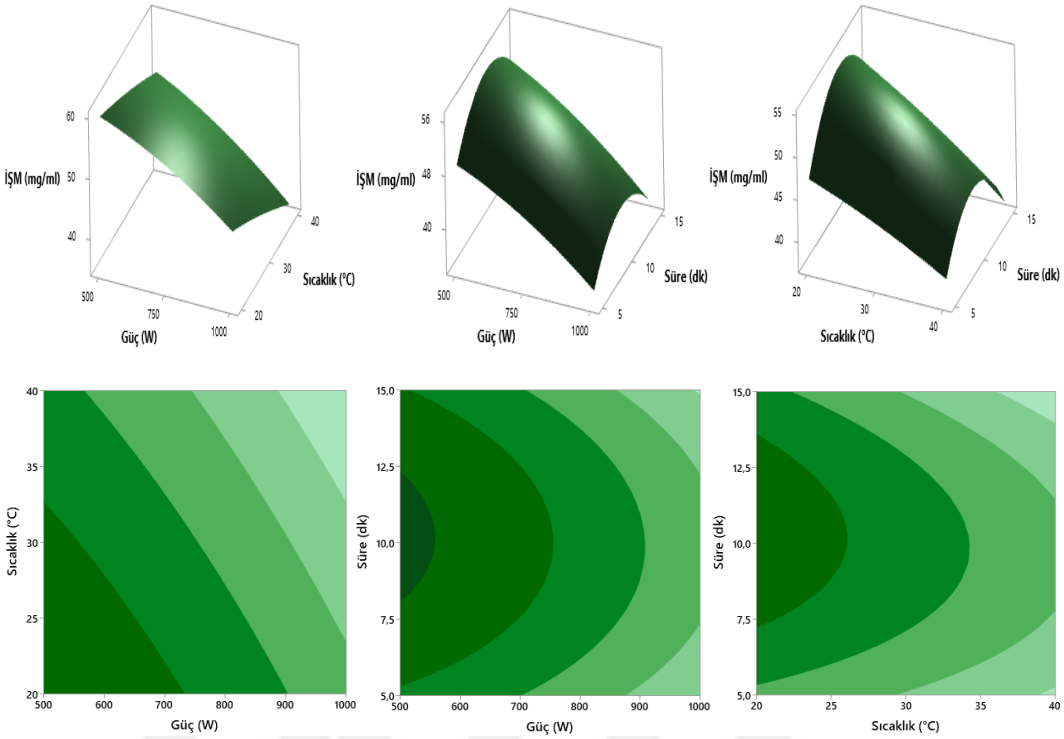
Tablo 3.110 TS uygulaması sonrası hardaliye numunelerinin İŞM için RSM modellemesi ANOVA sonuçları

Kaynak	**SD**	**Kareler Toplamı**	**Kareler Ortalaması**	**F değeri**	**P değeri**
Model	9	780,457	86,717	33,16	0,001
G	1	428,633	428,633	163,89	0,000
T	1	189,845	189,845	72,59	0,000
t*t	1	151,995	151,995	58,12	0,001
Hata	5	13,076	2,615		
Uyum Eksikliği	3	12,273	4,091	10,19	***0,091***
Saf Hata	2	0,803	0,402		
Toplam	14	793,534			

Standart Sapma	**R^2**	**Düzeltilmiş R^2**	**Tahmini R^2**
1,61719	98,35%	95,39%	75,03%

Hardaliye numunelerinin İŞM analiz sonuçları RSM modellenmesi ile değerlendirildiğinde uyum eksikliği değerinin istatistiksel olarak anlamlı ($p>0,05$) olmaması sebebiyle başarılı şekilde modellenmiştir.

Hardaliyeye ait 3D grafikleri incelendiğinde güç ve sıcaklık artışının doğrusal ters etkisi ve sürenin kare kuvvetinin etkisinin anlamlı olduğu görülmektedir (Şekil 3.49). Uygulama süresinin uzamasının indirgen şeker seviyelerinde azalmaya sebep olduğu; bu parametre için orta değerin (~10 dk) olumlu etsi olduğu tespit edilmiştir. TS uygulamasından sonra nohut içeceğinin indirgen şeker konsantrasyonları, ultrasonik işlemin süresiyle negatif korelasyon göstermiştir. Uzun süreli sonikasyon, fermentasyon sırasında artan mikrobiyal aktivite nedeniyle şekerleri daha hızlı tüketen azaltıcı şekerlerde bir azalmaya yol açmasına bağlanmıştır [185]. 20 kHz frekans ve 2400 W güçte 20 dakika boyunca yüksek yoğunluklu ultrasonikasyon uygulaması [199], hindistan cevizi suyundaki sakaroz, fruktoz ve glikoz içeriğinde artışa yol açmıştır. Bu artış, aktivitesi önemli ölçüde azalan şeker metabolizması enzimlerinin, özellikle asit invertazın (AI) inhibisyonuna bağlanmıştır. AI'nın ultrasonik işlemle yapısal bozulması, sakarozun glikoz ve fruktoza parçalanmasını önlemiş ve böylece daha yüksek şeker seviyeleri korunmuştur. Önceki çalışma çıktılarından farklı olarak, 20 dk ve farklı güçlerde (0–400 W) ultrasonikasyon işlemi sonrasında balkabağı suyunun şeker içeriğinde önemli bir değişiklik gözlemlenmemiş ve ultrasonikasyonun balkabağı suyunun doğal şeker seviyelerini sabit tutarak doğal tatlılığını koruduğunu göstermektedir [200].



Şekil 3.49 RSM grafikleri: TS'nin hardaliye örneklerinin İŞM değerleri üzerindeki etkisi

3.4.2.2 TS'nin Renk Parametreleri Üzerindeki Etkisi

TS işleminden sonra şalgam numunelerinin L* (parlaklık ve koyuluk), a* (kırmızılık ve yeşil), b* (sarılık ve mavilik), toplam renk farkı (ΔE), renk yoğunluğu/netliği (C*, kroma), renk tonu (h°) değerleri ve spektrofotometrik renk analiz sonuçları (renk yoğunluğu, renk tonu ve sarı-SRT, kırmızı-KRT, mavi-MRT renk bileşenleri yüzdeleri) Tablo 3.111, 3.112 ve 3.113'te verilmiştir.

Tablo 3.111 TS uygulaması sonrası şalgam numunelerinin L*, a*, b* ve ΔE sonuçları

Deneme Deseni	Yanıtlar			
	L*[1]	**a*[1]**	**b*[1]**	**ΔE[1]**
Kontrol	39,48 ± 2,29	53,39 ± 1,28	24,30 ± 0,30	-
1	41,00 ± 1,03	53,28 ± 0,55	23,29 ± 0,18	1,92 ± 0,92
2	36,62 ± 0,40	51,14 ± 0,51	21,79 ± 0,49	4,43 ± 0,66
3	40,74 ± 1,13	52,06 ± 0,71	22,34 ± 0,22	2,86 ± 0,59
4	37,53 ± 0,43	51,95 ± 0,24	21,32 ± 0,63	3,89 ± 0,22
5	38,93 ± 0,40	52,63 ± 0,12	23,14 ± 0,10	1,51 ± 0,28
6	36,72 ± 0,26	50,02 ± 1,04	22,00 ± 0,51	4,98 ± 0,78
7	39,20 ± 1,71	52,77 ± 0,55	23,56 ± 0,22	1,75 ± 0,43
8	38,72 ± 1,71	51,96 ± 0,79	22,88 ± 0,45	2,40 ± 1,45
9	36,64 ± 0,43	51,90 ± 0,21	23,05 ± 0,21	3,44 ± 0,52
10	39,22 ± 1,18	52,39 ± 1,47	24,24 ± 0,16	1,64 ± 1,08
11	36,54 ± 1,26	52,16 ± 0,59	23,43 ± 0,37	3,38 ± 1,14
12	36,15 ± 1,30	50,74 ± 1,27	21,52 ± 0,85	5,27 ± 1,05
13	37,38 ± 1,14	51,93 ± 0,46	23,48 ± 0,18	2,71 ± 1,14
14	37,83 ± 1,15	52,54 ± 0,77	23,86 ± 0,56	1,94 ± 1,42
15	38,50 ± 1,88	52,03 ± 0,60	23,68 ± 0,47	2,35 ± 0,78

[1]RSM yöntemi uygulanmıştır.

Farklı küçük harfler önemli farklılıkları temsil eder ($p < 0,05$).

Tablo 3.112 TS uygulaması sonrası şalgam numunelerinin C*, h°, renk yoğunluğu ve renk tonu sonuçları

Deneme Deseni	Yanıtlar			
	C*[1]	h°	Renk yoğunluğu	Renk Tonu
Kontrol	58,66 ± 1,20	0,43 ± 0,01^{ab}	10,63 ± 0,03^{b}	0,357 ± 0,002^{b}
1	58,15 ± 0,48	0,41 ± 0,01^{bcd}	10,85 ± 0,01^{b}	0,363 ± 0,002^{ab}
2	55,59 ± 0,66	0,40 ± 0,00^{de}	10,00 ± 0,03^{de}	0,372 ± 0,000^{a}
3	56,65 ± 0,66	0,41 ± 0,01^{cde}	10,71 ± 0,05^{b}	0,360 ± 0,001^{b}
4	56,15 ± 0,07	0,39 ± 0,01^{e}	10,16 ± 0,04^{cd}	0,358 ± 0,001^{b}
5	57,50 ± 0,14	0,41 ± 0,00^{abcd}	9,84 ± 0,01^{e}	0,357 ± 0,001^{b}
6	54,65 ± 1,01	0,41 ± 0,01^{abcd}	10,36 ± 0,02^{c}	0,357 ± 0,002^{b}
7	57,79 ± 0,44	0,42 ± 0,01^{abcd}	9,82 ± 0,03^{e}	0,360 ± 0,002^{ab}
8	56,77 ± 0,90	0,41 ± 0,00^{abcd}	11,16 ± 0,03^{a}	0,340 ± 0,002^{c}
9	56,79 ± 0,27	0,42 ± 0,00^{abcd}	9,84 ± 0,02^{e}	0,355 ± 0,002^{b}
10	57,72 ± 1,39	0,43 ± 0,01^{a}	10,11 ± 0,04^{d}	0,356 ± 0,003^{b}
11	57,18 ± 0,52	0,42 ± 0,01^{abcd}	10,11 ± 0,02^{d}	0,358 ± 0,002^{b}
12	55,11 ± 1,49	0,40 ± 0,01^{de}	9,56 ± 0,03^{f}	0,361 ± 0,000^{ab}
13	56,99 ± 0,46	0,42 ± 0,00^{abc}	9,97 ± 0,05^{de}	0,360 ± 0,003^{ab}
14	57,71 ± 0,92	0,43 ± 0,00^{abc}	9,83 ± 0,01^{e}	0,359 ± 0,002^{b}
15	57,17 ± 0,49	0,43 ± 0,01^{ab}	9,94 ± 0,03^{de}	0,359 ± 0,002^{b}

[1]RSM yöntemi uygulanmıştır.

Farklı küçük harfler önemli farklılıkları temsil eder ($p < 0,05$).

Tablo 3.113 TS uygulaması sonrası şalgam numunelerinin SRT, KRT ve MRT sonuçları

Deneme Deseni	Yanıtlar		
	SRT (%)	KRT (%)	MRT (%)
Kontrol	25,07 ± 0,08^{ab}	70,06 ± 0,15^{b}	4,87 ± 0,10^{e}
1	25,20 ± 0,13^{ab}	69,44 ± 0,13^{bc}	5,36 ± 0,19^{abc}
2	25,57 ± 0,04^{a}	68,79 ± 0,08^{c}	5,64 ± 0,12^{a}
3	25,08 ± 0,09^{ab}	69,75 ± 0,06^{b}	5,17 ± 0,12^{bcde}
4	25,00 ± 0,08^{ab}	69,92 ± 0,08^{b}	5,07 ± 0,10^{bcde}
5	25,03 ± 0,04^{ab}	70,05 ± 0,04^{b}	4,92 ± 0,03^{e}
6	24,99 ± 0,06^{ab}	70,06 ± 0,16^{b}	4,95 ± 0,13^{e}
7	25,07 ± 0,09^{ab}	69,54 ± 0,09^{b}	5,39 ± 0,08^{ab}
8	24,08 ± 0,08^{c}	70,73 ± 0,15^{a}	5,19 ± 0,10^{bcde}
9	24,88 ± 0,09^{b}	70,09 ± 0,08^{ab}	5,03 ± 0,05^{de}
10	24,96 ± 0,07^{ab}	70,04 ± 0,05^{b}	5,00 ± 0,12^{de}
11	25,05 ± 0,13^{ab}	69,95 ± 0,14^{b}	4,99 ± 0,14^{de}
12	25,10 ± 0,02^{ab}	69,59 ± 0,05^{b}	5,31 ± 0,08^{bcd}
13	25,11 ± 0,14^{ab}	69,71 ± 0,48^{b}	5,18 ± 0,04^{bcde}
14	25,04 ± 0,13^{ab}	69,81 ± 0,06^{b}	5,15 ± 0,10^{bcde}
15	25,08 ± 0,17^{ab}	69,85 ± 0,66^{b}	5,07 ± 0,09^{cde}

[1]RSM yöntemi uygulanmıştır.

Farklı küçük harfler önemli farklılıkları temsil eder ($p < 0,05$).

TS işleminden sonra hardaliye numunelerinin L* (parlaklık ve koyuluk), a* (kırmızılık ve yeşil), b* (sarılık ve mavilik), toplam renk farkı (ΔE), renk yoğunluğu/netliği (C*, kroma), renk tonu (h°) değerleri ve spektrofotometrik renk analiz sonuçları (renk yoğunluğu, renk tonu ve sarı-SRT, kırmızı-KRT, mavi-MRT renk bileşenleri yüzdeleri) Tablo 3.114, 3.115 ve 3.116'da verilmiştir.

Tablo 3.114 TS uygulaması sonrası hardaliye numunelerinin L*, a*, b* ve ΔE sonuçları

Deneme Deseni	Yanıtlar			
	L*	a*[1]	b*[1]	ΔE[1]
Kontrol	46,53 ± 0,39^{h}	31,39 ± 0,23	6,72 ± 0,10	-
1	51,56 ± 0,41^{bc}	26,59 ± 0,03	9,67 ± 0,07	7,56 ± 0,22
2	48,07 ± 0,58^{fg}	23,69 ± 0,44	9,02 ± 0,08	8,20 ± 0,46
3	53,19 ± 0,14^{a}	25,81 ± 0,16	9,55 ± 0,014	9,14 ± 0,12
4	52,79 ± 0,42^{ab}	25,78 ± 0,29	9,29 ± 0,39	8,80 ± 0,36
5	49,82 ± 1,12^{de}	26,73 ± 0,93	10,48 ± 0,22	6,92 ± 0,49
6	50,57 ± 0,41^{cd}	25,78 ± 0,23	10,12 ± 0,08	7,71 ± 0,30
7	49,24 ± 0,31^{def}	25,09 ± 0,10	10,40 ± 0,23	7,79 ± 0,17
8	46,33 ± 0,34^{h}	26,11 ± 0,49	11,26 ± 0,28	6,99 ± 0,20
9	47,54 ± 0,20^{gh}	27,50 ± 0,04	11,26 ± 0,03	6,07 ± 0,02
10	51,53 ± 0,21^{bc}	28,93 ± 0,58	11,00 ± 0,26	7,05 ± 0,17
11	49,89 ± 0,06^{de}	24,63 ± 0,25	10,18 ± 0,04	8,31 ± 0,22
12	48,99 ± 0,41^{efg}	29,16 ± 0,10	11,15 ± 0,24	5,55 ± 0,29
13	49,31 ± 0,65^{def}	25,06 ± 0,83	7,62 ± 0,30	6,99 ± 0,96
14	49,09 ± 0,62^{ef}	25,64 ± 0,61	7,14 ± 0,05	6,33 ± 0,74
15	49,21 ± 0,53^{def}	25,05 ± 0,08	7,44 ± 0,13	6,94 ± 0,20

[1]RSM yöntemi uygulanmıştır.

Farklı küçük harfler önemli farklılıkları temsil eder ($p < 0,05$).

Tablo 3.115 TS uygulaması sonrası hardaliye numunelerinin C*, h°, renk yoğunluğu ve renk tonu sonuçları

Deneme Deseni	Yanıtlar			
	C*	h°[1]	Renk yoğunluğu	Renk Tonu
Kontrol	32,10 ± 0,24^{a}	0,21 ± 0,00	3,50 ± 0,01^{a}	0,989 ± 0,002^{a}
1	28,29 ± 0,01^{de}	0,35 ± 0,00	2,15 ± 0,02^{e}	0,852 ± 0,005^{h}
2	25,35 ± 0,44^{ı}	0,36 ± 0,00	1,56 ± 0,01^{j}	0,881 ± 0,007^{cde}
3	27,52 ± 0,19^{defg}	0,35 ± 0,00	1,22 ± 0,01^{k}	0,859 ± 0,003^{fgh}
4	27,41 ± 0,41^{defg}	0,35 ± 0,01	1,71 ± 0,02^{h}	0,851 ± 0,004^{h}
5	28,72 ± 0,85^{cd}	0,37 ± 0,02	2,23 ± 0,03^{d}	0,870 ± 0,002^{efg}
6	27,69 ± 0,23^{def}	0,37 ± 0,00	2,26 ± 0,02^{d}	0,886 ± 0,000^{bcd}
7	27,16 ± 0,15^{efgh}	0,39 ± 0,01	1,65 ± 0,00^{ı}	0,862 ± 0,003^{fgh}
8	28,44 ± 0,56^{cde}	0,41 ± 0,00	1,72 ± 0,01^{h}	0,897 ± 0,005^{b}
9	29,72 ± 0,04^{bc}	0,39 ± 0,00	2,09 ± 0,01^{f}	0,895 ± 0,001^{bc}
10	30,95 ± 0,64^{ab}	0,36 ± 0,00	2,55 ± 0,04^{c}	0,873 ± 0,008^{def}
11	26,65 ± 0,24^{fghı}	0,39 ± 0,00	1,70 ± 0,02^{h}	0,864 ± 0,001^{fgh}
12	31,22 ± 0,10^{a}	0,37 ± 0,01	1,92 ± 0,02^{g}	0,818 ± 0,006^{ı}
13	26,19 ± 0,08^{ghı}	0,30 ± 0,00	3,45 ± 0,02^{b}	0,856 ± 0,011^{gh}
14	26,61 ± 0,08^{fghı}	0,27 ± 0,01	3,46 ± 0,01^{ab}	0,857 ± 0,004^{gh}
15	26,13 ± 0,04^{hı}	0,29 ± 0,01	3,43 ± 0,00^{b}	0,855 ± 0,001^{h}

[1]RSM yöntemi uygulanmıştır.

Farklı küçük harfler önemli farklılıkları temsil eder ($p < 0,05$).

Tablo 3.116 TS uygulaması sonrası hardaliye numunelerinin SRT, KRT ve MRT sonuçları

Deneme Deseni	Yanıtlar		
	SRT (%)	KRT (%)	MRT (%)
Kontrol	43,23 ± 0,09[a]	43,69 ± 0,09[g]	13,08 ± 0,04[b]
1	41,11 ± 0,09[g]	48,23 ± 0,19[bc]	10,66 ± 0,10[d]
2	41,85 ± 0,09[def]	47,51 ± 0,31[de]	10,64 ± 0,26[d]
3	43,17 ± 0,16[a]	50,23 ± 0,09[a]	6,60 ± 0,20[f]
4	41,56 ± 0,12[f]	48,84 ± 0,13[b]	9,59 ± 0,13[e]
5	41,62 ± 0,15[ef]	47,83 ± 0,06[cd]	10,55 ± 0,20[d]
6	41,96 ± 0,07[de]	47,37 ± 0,06[de]	10,67 ± 0,13[d]
7	42,03 ± 0,11[cd]	48,73 ± 0,11[b]	9,24 ± 0,13[e]
8	42,44 ± 0,15[b]	47,33 ± 0,13[de]	10,23 ± 0,04[d]
9	42,36 ± 0,05[bc]	47,30 ± 0,04[de]	10,34 ± 0,07[d]
10	41,05 ± 0,20[g]	47,04 ± 0,47[e]	11,92 ± 0,32[c]
11	42,02 ± 0,08[cd]	48,64 ± 0,13[b]	9,34 ± 0,21[e]
12	40,80 ± 0,12[g]	49,91 ± 0,31[a]	9,29 ± 0,31[e]
13	39,12 ± 0,12[h]	45,72 ± 0,35[f]	15,16 ± 0,20[a]
14	39,24 ± 0,08[h]	45,79 ± 0,14[f]	14,96 ± 0,06[a]
15	38,99 ± 0,06[h]	45,62 ± 0,03[f]	15,39 ± 0,08[a]

[1]RSM yöntemi uygulanmıştır.

Farklı küçük harfler önemli farklılıkları temsil eder ($p < 0,05$).

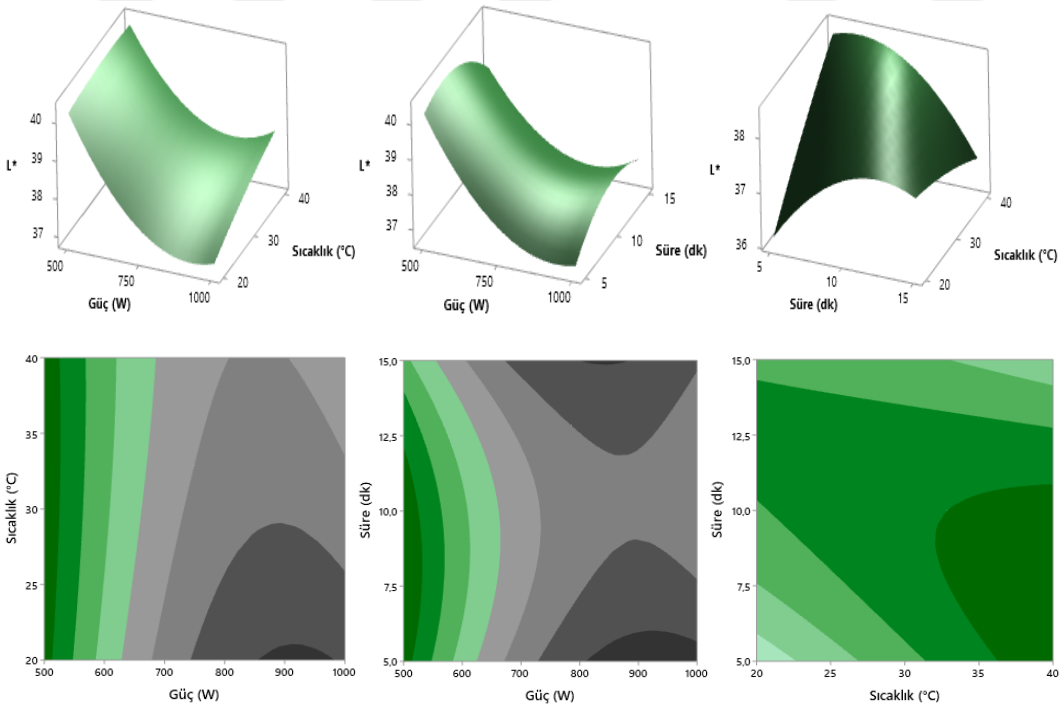
Termosonikasyon uygulaması sonrasında elde edilen şalgam numunelerinin L* analiz sonuçları RSM ile modellenmiş ve ANOVA analiz çıktıları Tablo 3.117'de gösterilmiştir.

Tablo 3.117 TS uygulaması sonrası şalgam numunelerinin L* için RSM modellemesi ANOVA sonuçları

Kaynak	SD	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F değeri	P değeri
Model	9	24,7560	2,7507	1,81	0,266
G	1	13,1821	13,1821	8,67	0,032
Hata	5	7,6011	1,5202		
Uyum Eksikliği	3	6,9722	2,3241	7,39	***0,122***
Saf Hata	2	0,6289	0,3144		
Toplam	14	32,3571			

Standart Sapma	R^2	Düzeltilmiş R^2	Tahmini R^2
1,23297	76,51%	34,22%	0,00%

Şalgam numunelerinin L* analiz sonuçları RSM modellenmesi ile değerlendirildiğinde uyum eksikliği değerinin istatistiksel olarak anlamlı ($p>0,05$) olmaması sebebiyle başarılı şekilde modellenmiştir.



Şekil 3.50 RSM grafikleri: TS'nin şalgam örneklerinin L* değerleri üzerindeki etkisi

Termosonikasyon uygulaması sonrasında elde edilen hardaliye numunelerinin L* analiz sonuçları RSM ile modellenmiş ve ANOVA analiz çıktıları Tablo 3.118'de gösterilmiştir.

Tablo 3.118 TS uygulaması sonrası hardaliye numunelerinin L* için RSM modellemesi ANOVA sonuçları

Kaynak	**SD**	**Kareler Toplamı**	**Kareler Ortalaması**	**F değeri**	**P değeri**
Model	9	44,9426	4,9936	5,66	0,035
T	1	11,1392	11,1392	12,64	0,016
T*T	1	6,6974	6,6974	7,60	0,040
T*t	1	5,9699	5,9699	6,77	0,048
Hata	5	4,4076	0,8815		
Uyum Eksikliği	3	4,3825	1,4608	116,73	***0,009***
Saf Hata	2	0,0250	0,0125		
Toplam	14	49,3502			

Standart Sapma	**R^2**	**Düzeltilmiş R^2**	**Tahmini R^2**
0,938889	91,07%	74,99%	0,00%

Hardaliye numunelerinin L* analiz sonuçları RSM modellenmesinde uyum eksikliği değerinin p=0,009<0,05 olması sebebiyle değerler başarılı şekilde modellenememiştir.

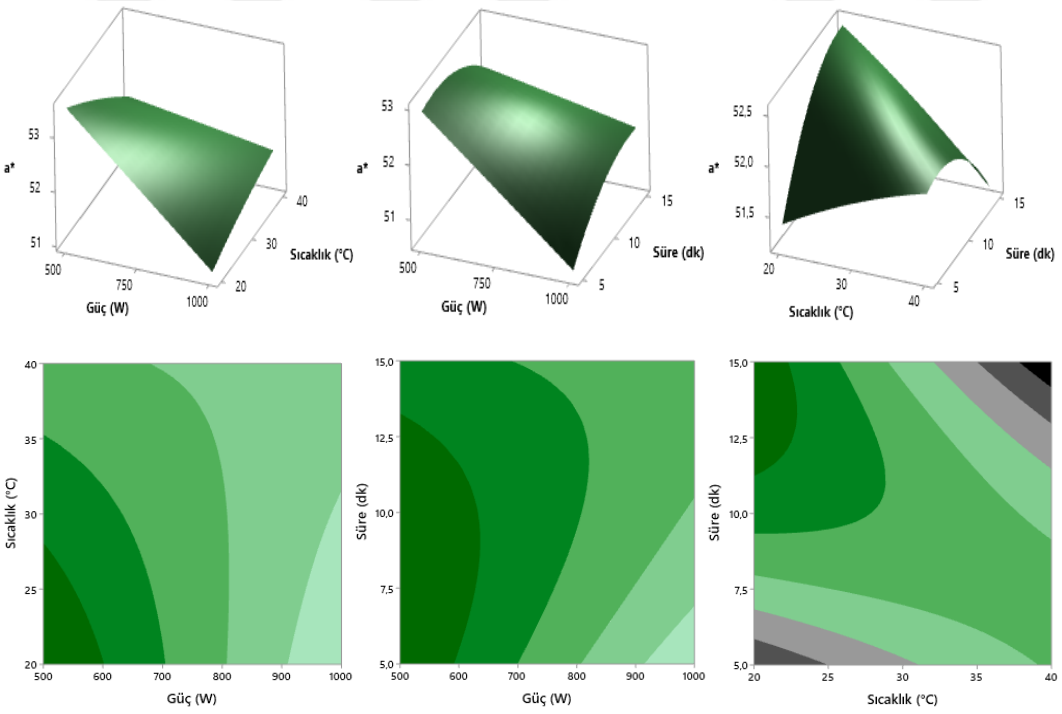
Termosonikasyon uygulaması sonrasında elde edilen şalgam numunelerinin a* analiz sonuçları RSM ile modellenmiş ve ANOVA analiz çıktıları Tablo 3.119'da gösterilmiştir.

Tablo 3.119 TS uygulaması sonrası şalgam numunelerinin a* için RSM modellemesi ANOVA sonuçları

Kaynak	SD	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F değeri	P değeri
Model	9	7,43257	0,82584	2,14	0,208
G	1	4,02481	4,02481	10,43	0,023
Hata	5	1,93004	0,38601		
Uyum Eksikliği	3	1,71587	0,57196	5,34	***0,162***
Saf Hata	2	0,21417	0,10708		
Toplam	14	9,36262			

Standart Sapma	R^2	Düzeltilmiş R^2	Tahmini R^2
0,621296	79,39%	42,28%	0,00%

Şalgam numunelerinin a* analiz sonuçları RSM modellenmesi ile değerlendirildiğinde uyum eksikliği değerinin istatistiksel olarak anlamlı (p>0,05) olmaması sebebiyle başarılı şekilde modellenmiştir.



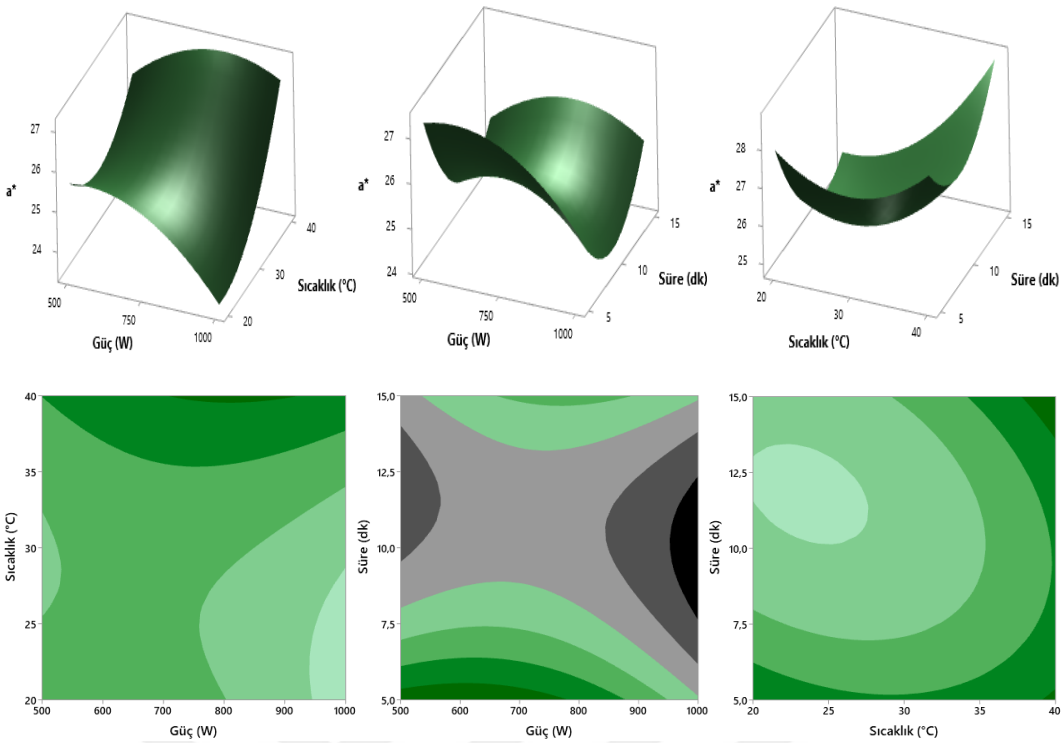
Şekil 3.51 RSM grafikleri: TS'nin şalgam örneklerinin a* değerleri üzerindeki etkisi

Termosonikasyon uygulaması sonrasında elde edilen hardaliye numunelerinin a* analiz sonuçları RSM ile modellenmiş ve ANOVA analiz çıktıları Tablo 3.120'de gösterilmiştir.

Tablo 3.120 TS uygulaması sonrası hardaliye numunelerinin a* için RSM modellemesi ANOVA sonuçları

Kaynak	**SD**	**Kareler Toplamı**	**Kareler Ortalaması**	**F değeri**	**P değeri**
Model	9	27,3799	3,0422	3,57	0,088
T	1	6,6187	6,6187	7,76	0,039
t*t	1	7,0642	7,0642	8,28	0,035
Hata	5	4,2659	0,8532		
Uyum Eksikliği	3	4,0389	1,3463	11,86	***0,079***
Saf Hata	2	0,2269	0,1135		
Toplam	14	31,6458			
Standart Sapma		**R^2**	**Düzeltilmiş R^2**	**Tahmini R^2**	
0,923676		86,52%	62,26%	0,00%	

Hardaliye numunelerinin a* analiz sonuçları RSM modellenmesi ile değerlendirildiğinde uyum eksikliği değerinin istatistiksel olarak anlamlı ($p>0,05$) olmaması sebebiyle başarılı şekilde modellenmiştir.



Şekil 3.52 RSM grafikleri: TS'nin hardaliye örneklerinin a* değerleri üzerindeki etkisi

Termosonikasyon uygulaması sonrasında elde edilen şalgam numunelerinin b* analiz sonuçları RSM ile modellenmiş ve ANOVA analiz çıktıları Tablo 3.121'de gösterilmiştir.

Tablo 3.121 TS uygulaması sonrası şalgam numunelerinin b* için RSM modellemesi ANOVA sonuçları

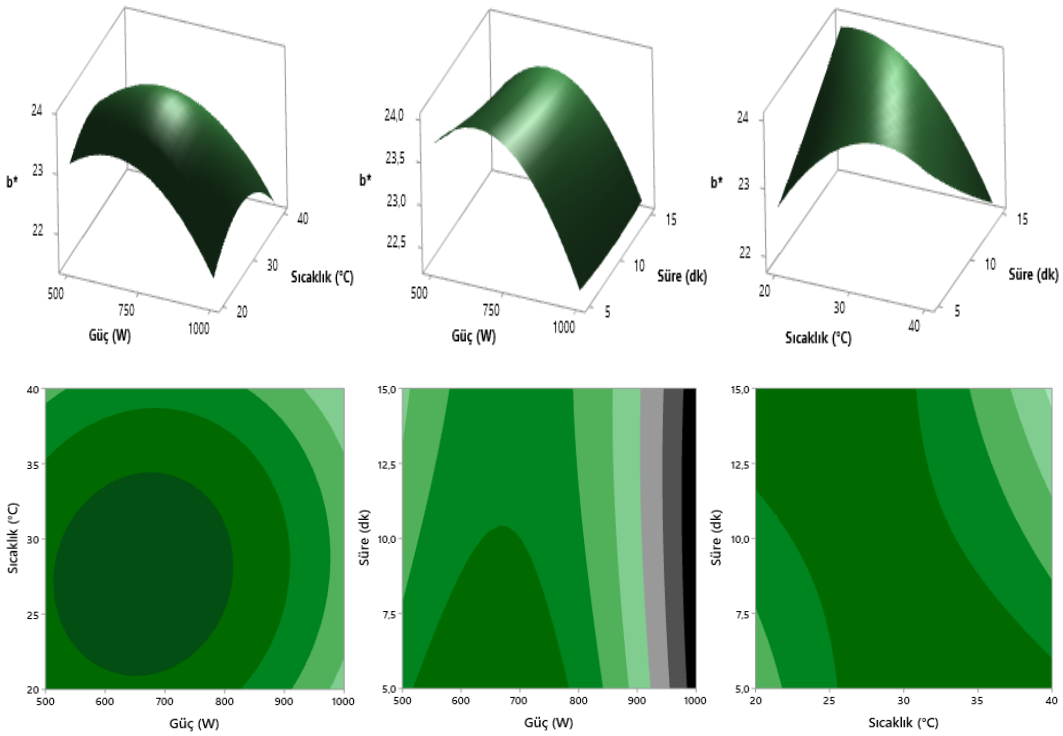
Kaynak	SD	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F değeri	P değeri
Model	9	9,5572	1,06191	2,87	0,129
G	1	2,3650	2,36504	6,38	0,050
G*G	1	2,5414	2,54138	6,86	0,047
Hata	5	1,8524	0,37049		
Uyum Eksikliği	3	1,7783	0,59276	15,98	***0,059***

Tablo 3.121 TS uygulaması sonrası şalgam numunelerinin b* için RSM modellemesi ANOVA sonuçları (devamı)

Saf Hata	2	0,0742	0,03708
Toplam	14	11,4096	

Standart Sapma	**R^2**	**Düzeltilmiş R^2**	**Tahmini R^2**
0,608677	83,76%	54,54%	0,00%

Şalgam numunelerinin b* analiz sonuçları RSM modellenmesi ile değerlendirildiğinde uyum eksikliği değerinin istatistiksel olarak anlamlı ($p>0,05$) olmaması sebebiyle başarılı şekilde modellenmiştir.



Şekil 3.53 RSM grafikleri: TS'nin şalgam örneklerinin b* değerleri üzerindeki etkisi

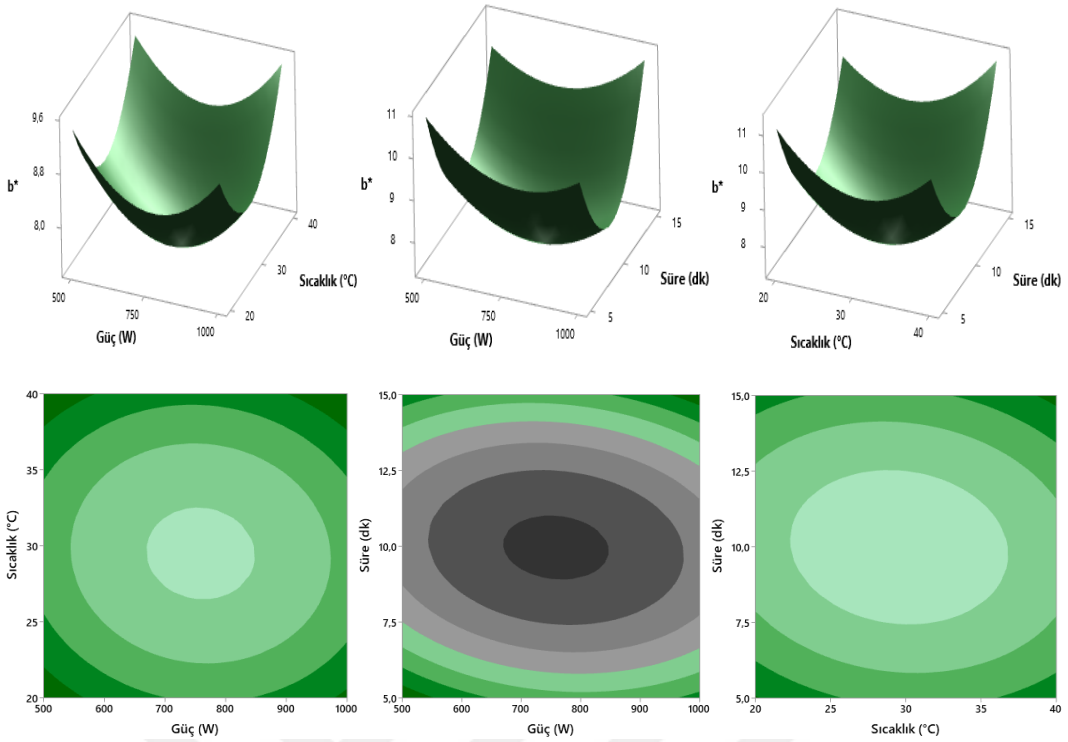
Termosonikasyon uygulaması sonrasında elde edilen hardaliye numunelerinin b* analiz sonuçları RSM ile modellenmiş ve ANOVA analiz çıktıları Tablo 3.122'de gösterilmiştir.

Tablo 3.122 TS uygulaması sonrası hardaliye numunelerinin b* için RSM modellemesi ANOVA sonuçları

Kaynak	SD	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F değeri	P değeri
Model	9	25,9670	2,8852	16,01	0,004
G*G	1	2,5097	2,5097	13,93	0,014
T*T	1	4,9636	4,9636	27,54	0,003
t*t	1	20,2656	20,2656	112,46	0,000
Hata	5	0,9010	0,1802		
Uyum Eksikliği	3	0,7851	0,2617	4,52	***0,187***
Saf Hata	2	0,1159	0,0579		
Toplam	14	26,8680			
Standart Sapma		**R^2**	**Düzeltilmiş R^2**	**Tahmini R^2**	
0,424503		96,65%	90,61%	52,27%	

Hardaliye numunelerinin b* analiz sonuçları RSM modellenmesi ile değerlendirildiğinde uyum eksikliği değerinin istatistiksel olarak anlamlı ($p>0,05$) olmaması sebebiyle başarılı şekilde modellenmiştir.

RSM sonuçları değerlendirildiğinde, şalgam termosonikasyon işleminde kullanılan üç parametreden güç seviyesinin doğrusal etkisi L*, a* ve b* değerlerinin değişiminde istatistiksel olarak anlamlı şekilde etkilidir ($p<0,05$). Bu üç renk ölçümü için güç seviyelerinin artışı değerler üzerinde ters etki göstermiş ve azalmalarına sebep olmuştur (Şekil 3.50, 3.51 ve 3.53). Hardaliye için yapılan uygulamada elde edilen sonuçlar şalgam sonuçlarından farklı elde edilmiştir. Sıcaklık ve sürenin doğrusal ve kare kuvvet etkileri bu üç renk değerlerinde tespit edilmiştir. L* değerlerinde sıcaklık-süre etkileşimi; b* değerlerinde gücün kare kuvveti etkisi ayrıca görünmektedir. Sonikasyon sonrasında L* ve b* değerlerinin kontrol değerlerinden daha yüksek elde edilmiş; ancak a* değerinde parametrelerin etkileri düşüşle neticelenmiş ve kontrol numunesi en yakın değer 750W-40°C-5dk kombinasyonunda elde edilebilmiştir.



Şekil 3.54 RSM grafikleri: TS'nin hardaliye örneklerinin b* değerleri üzerindeki etkisi

Maoberry suyu ile yapılan çalışmada [192], daha yüksek ultrasonik genlikler ve sıcaklıklar L* değerlerinin (daha koyu meyve suyu) azalmasına ve a* (kırmızılık) ve b* (sarılık) değerlerinin artmasına neden olduğu tespit edilmiştir. Renk değişimleri, antosiyaninlerin ve diğer pigmentlerin gelişmiş ekstraksiyonunun yanı sıra, kalan PPO ve peroksidaz aktiviteleri nedeniyle enzimatik esmerleşmeyle bağlantılıdır. 10 dakikaya kadar değişen yoğunluklarda (0,95, 2,38 ve 3,80W/mL) yüksek güçlü ultrasonikasyon ile işlenmiş havuç suyu [194], kontrole kıyasla L* ve a* değerlerinde artış göstermiş ve bu da daha parlak ve daha kırmızı bir görünüme kavuşmuştur. b* değerlerinde önemli bir değişiklik görülmemiştir. Bu değişiklikler, enzimatik esmerleşmeyi azaltan polifenol oksidazın (PPO) inaktivasyonu ile ilişkilendirilmiştir. Mor kaktüs armut suyu için yapılan çalışmada [201], farklı genliklerde (%40 ve %80) ve sürelerde (15 ve 25 dakika) ultrasonik işlemleri askıdaki parçacıkların çökelmesi nedeniyle L* değerini artırarak meyve suyunun rengini daha açık hale getirmiştir; a* değerleri nispeten değişmeden kalırken, b* değerleri bazı işlem koşullarında önemli ölçüde artmıştır ve daha sarı bir renge doğru bir kayma olduğunu göstermiştir. Değişen genliklerde (24,4–61,0 µm) ve 20 kHz sabit frekansta işlem sürelerinde (0–10 dakika) sonikasyon üzüm suyu [202] için renk parametreleri L*, a* ve b* üzerinde önemli etkiler gözlemlenmiştir ve

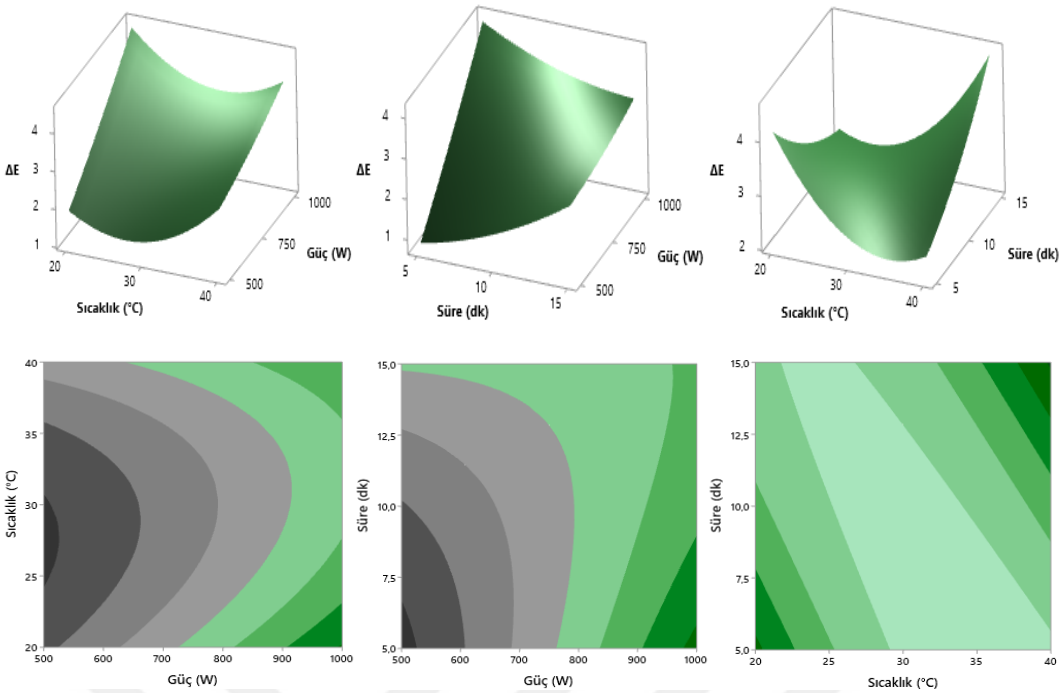
değişikliklerin antosiyanin içeriğiyle yakından ilişkili olduğu tespit edilmiştir. Sonikasyon, üzüm suyundaki kırmızı ve mavi tonlardan sorumlu olan antosiyaninlerin önemli ölçüde tutulmasına yol açmış; ultrasonikasyonun antosiyanin seviyelerini koruyarak üzüm suyunun renk kalitesini koruyabileceğini veya artırabileceğini göstermektedir.

Termosonikasyon uygulaması sonrasında elde edilen şalgam numunelerinin ΔE analiz sonuçları RSM ile modellenmiş ve ANOVA analiz çıktıları Tablo 3.123'te gösterilmiştir.

Tablo 3.123 TS uygulaması sonrası şalgam numunelerinin ΔE için RSM modellemesi ANOVA sonuçları

Kaynak	**SD**	**Kareler Toplamı**	**Kareler Ortalaması**	**F değeri**	**P değeri**
Model	9	16,3223	1,81358	1,93	0,244
G	1	7,3322	7,33223	7,78	0,038
Hata	5	4,7101	0,94201		
Uyum Eksikliği	3	4,4133	1,47109	9,91	***0,093***
Saf Hata	2	0,2968	0,14840		
Toplam	14	21,0323			
Standart Sapma		**R^2**	**Düzeltilmiş R^2**	**Tahmini R^2**	
0,970573		77,61%	37,30%	0,00%	

Şalgam numunelerinin ΔE analiz sonuçları RSM modellenmesi ile değerlendirildiğinde uyum eksikliği değerinin istatistiksel olarak anlamlı ($p>0,05$) olmaması sebebiyle başarılı şekilde modellenmiştir.



Şekil 3.55 RSM grafikleri: TS'nin şalgam örneklerinin ΔE değerleri üzerindeki etkisi

Termosonikasyon uygulaması sonrasında elde edilen hardaliye numunelerinin ΔE analiz sonuçları RSM ile modellenmiş ve ANOVA analiz çıktıları Tablo 3.124'te gösterilmiştir.

Tablo 3.124 TS uygulaması sonrası hardaliye numunelerinin ΔE için RSM modellemesi ANOVA sonuçları

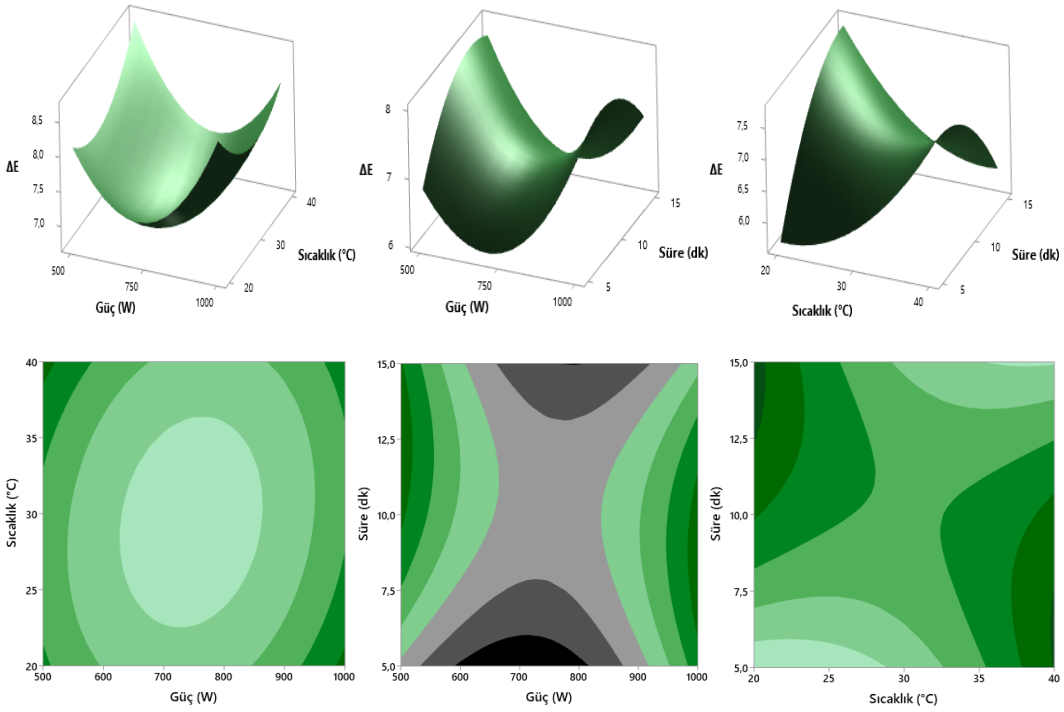
Kaynak	SD	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F değeri	P değeri
Model	9	11,6514	1,29459	2,83	0,132
G*G	1	4,8094	4,80937	10,50	0,023
T*t	1	3,4949	3,49488	7,63	0,040
Hata	5	2,2895	0,45790		
Uyum Eksikliği	3	2,0155	0,67185	4,90	***0,174***
Saf Hata	2	0,2740	0,13698		
Toplam	14	13,9409			

Tablo 3.124 TS uygulaması sonrası hardaliye numunelerinin ΔE için RSM modellemesi ANOVA sonuçları (devamı)

Standart Sapma	R^2	Düzeltilmiş R^2	Tahmini R^2
0,676684	83,58%	54,02%	0,00%

Hardaliye numunelerinin ΔE analiz sonuçları RSM modellenmesi ile değerlendirildiğinde uyum eksikliği değerinin istatistiksel olarak anlamlı ($p>0,05$) olmaması sebebiyle başarılı şekilde modellenmiştir.

Şalgama ait diğer renk parametrelerinin sonuçlarıyla benzer olarak, güç seviyesinin ΔE değerlerinde doğrusal olarak etkili olduğu bulunmuştur ($p<0,05$). Güç seviyesinin artışıyla değerlerde artış olmuştur. Hardaliyeye ait sonuçlar gücün kare kuvvet etkisi ve sıcaklık-süre etkileşiminin istatistiksel olarak anlamlı olduğunu göstermiştir ($p<0,05$). Sıcaklık-süre etkileşimi birbirleri içerisinde ters orantılı olarak değerlerde artışa sebep olmuştur yani düşük sıcaklık ve uzun süre ile yüksek sıcaklık ve kısa süre kombinasyonları yüksek seviyelerde sonuçlar vermiştir.



Şekil 3.56 RSM grafikleri: TS'nin hardaliye örneklerinin ΔE değerleri üzerindeki etkisi

Benzer olarak domates bazlı içecek için yapılan çalışmada [203], 15 dakika ultrasonikasyon ardından ΔE değerinde önemli bir artış gözlemlenmiştir ve kontrol numunesine kıyasla fark edilir renk değişimleri olduğu tespit edilmiştir. 20, 30 ve 40 dakikalık ultrasonikasyon uygulamasında hurma bazlı enerji içeceğinin toplam renk farkı (ΔE), daha uzun sonikasyon süreleriyle birlikte artmıştır, ancak değişiklikler depolama boyunca önemli ölçüde etkilenmemiştir [204].

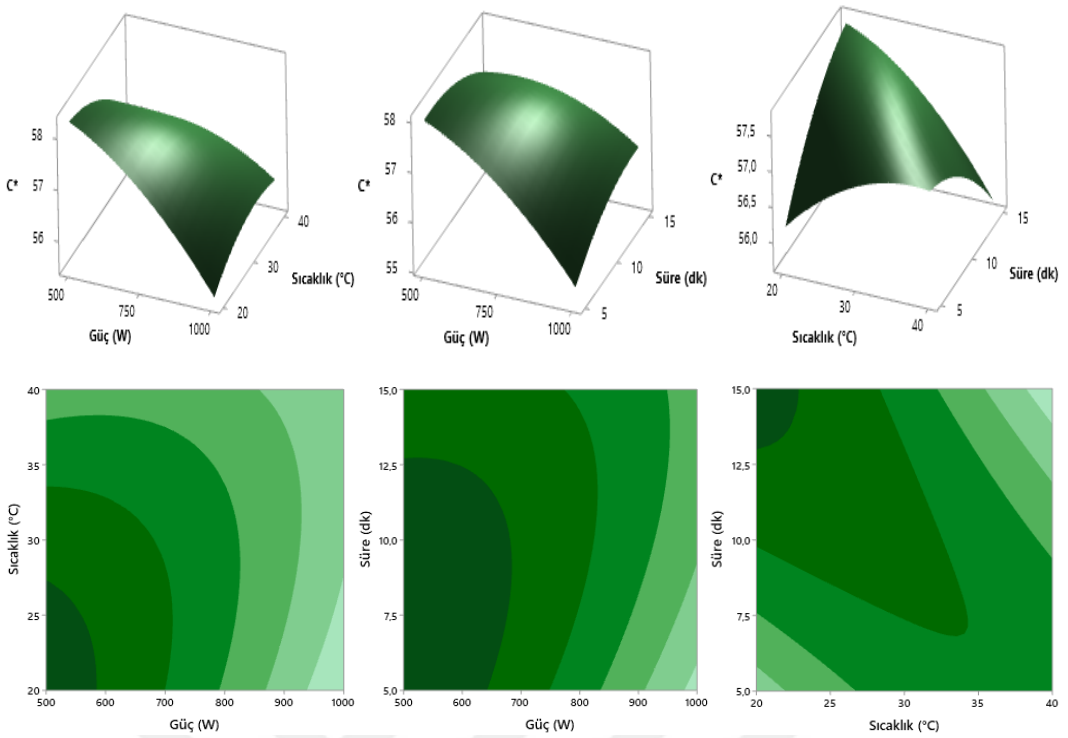
Termosonikasyon uygulaması sonrasında elde edilen şalgam numunelerinin C* analiz sonuçları RSM ile modellenmiş ve ANOVA analiz çıktıları Tablo 3.125'te gösterilmiştir.

Tablo 3.125 TS uygulaması sonrası şalgam numunelerinin C* için RSM modellemesi ANOVA sonuçları

Kaynak	**SD**	**Kareler Toplamı**	**Kareler Ortalaması**	**F değeri**	**P değeri**
Model	9	11,6173	1,29081	2,10	0,213
G	1	5,9938	5,99382	9,77	0,026
Hata	5	3,0663	0,61326		
Uyum Eksikliği	3	2,7891	0,92971	6,71	***0,132***
Saf Hata	2	0,2772	0,13859		
Toplam	14	14,6836			

Standart Sapma	**R^2**	**Düzeltilmiş R^2**	**Tahmini R^2**
0,783111	79,12%	41,53%	0,00%

Şalgam numunelerinin C* analiz sonuçları RSM modellenmesi ile değerlendirildiğinde uyum eksikliği değerinin istatistiksel olarak anlamlı ($p>0,05$) olmaması sebebiyle başarılı şekilde modellenmiştir.



Şekil 3.57 RSM grafikleri: TS'nin şalgam örneklerinin C* değerleri üzerindeki etkisi

Termosonikasyon uygulaması sonrasında elde edilen hardaliye numunelerinin C* analiz sonuçları RSM ile modellenmiş ve ANOVA analiz çıktıları Tablo 3.126'da gösterilmiştir.

Tablo 3.126 TS uygulaması sonrası hardaliye numunelerinin C* için RSM modellemesi ANOVA sonuçları

Kaynak	SD	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F değeri	P değeri
Model	9	36,9274	4,1030	4,50	0,056
T	1	6,2844	6,2844	6,90	0,047
t*t	1	16,1521	16,1521	17,73	0,008
Hata	5	4,5539	0,9108		
Uyum Eksikliği	3	4,4151	1,4717	21,20	***0,045***

Tablo 3.126 TS uygulaması sonrası hardaliye numunelerinin C* için RSM modellemesi ANOVA sonuçları (devamı)

Saf Hata	2	0,1388	0,0694		
Toplam	14	41,4813			
Standart Sapma		**R^2**	**Düzeltilmiş R^2**	**Tahmini R^2**	
0,954348		89,02%	69,26%	0,00%	

Hardaliye numunelerinin C* analiz sonuçları RSM modellenmesinde uyum eksikliği değerinin p=0,045<0,05 olması sebebiyle değerler başarılı şekilde modellenememiştir.

Termosonikasyon uygulaması sonrasında elde edilen şalgam numunelerinin h° analiz sonuçları RSM ile modellenmiş ve ANOVA analiz çıktıları Tablo 3.127'de gösterilmiştir.

Tablo 3.127 TS uygulaması sonrası şalgam numunelerinin h° için RSM modellemesi ANOVA sonuçları

Kaynak	**SD**	**Kareler Toplamı**	**Kareler Ortalaması**	**F değeri**	**P değeri**
Model	9	0,001673	0,000186	4,08	0,068
G*G	1	0,000650	0,000650	14,24	0,013
T*T	1	0,000397	0,000397	8,70	0,032
T*t	1	0,000337	0,000337	7,39	0,042
Hata	5	0,000228	0,000046		
Uyum Eksikliği	3	0,000225	0,000075	44,89	***0,022***
Saf Hata	2	0,000003	0,000002		
Toplam	14	0,001901			
Standart Sapma		**R^2**	**Düzeltilmiş R^2**	**Tahmini R^2**	
0,0067534		88,01%	66,42%	0,00%	

Şalgam numunelerinin h° analiz sonuçları RSM modellenmesinde uyum eksikliği değerinin p=0,022<0,05 olması sebebiyle değerler başarılı şekilde modellenememiştir.

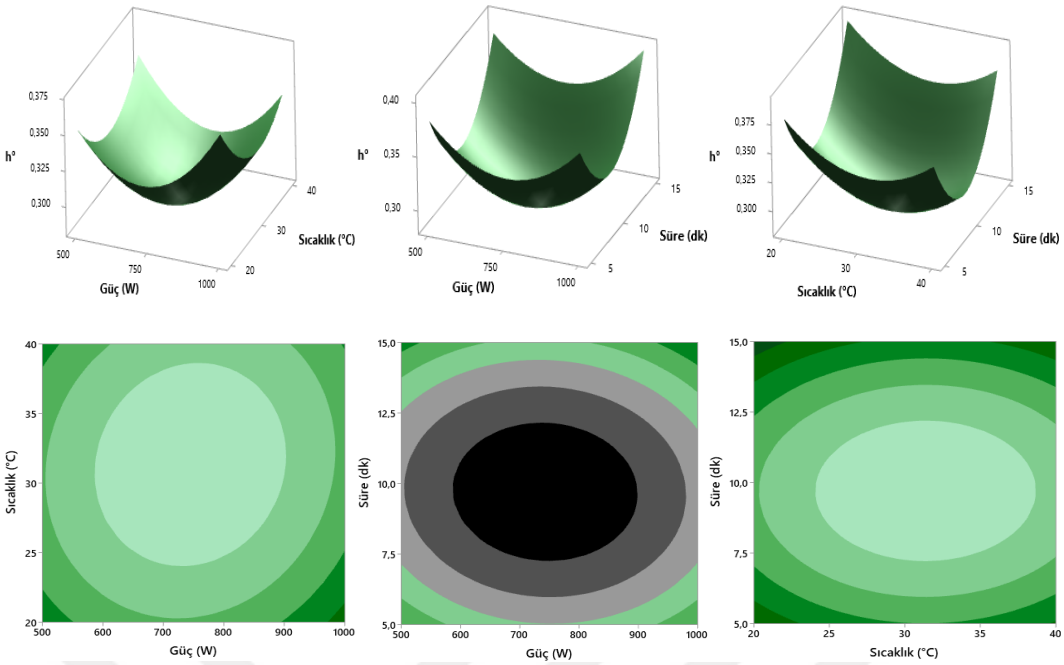
Termosonikasyon uygulaması sonrasında elde edilen hardaliye numunelerinin h° analiz sonuçları RSM ile modellenmiş ve ANOVA analiz çıktıları Tablo 3.128'de gösterilmiştir.

Tablo 3.128 TS uygulaması sonrası hardaliye numunelerinin h° için RSM modellemesi ANOVA sonuçları

Kaynak	**SD**	**Kareler Toplamı**	**Kareler Ortalaması**	**F değeri**	**P değeri**
Model	9	0,021940	0,002438	15,84	0,004
G*G	1	0,005568	0,005568	36,18	0,002
T*T	1	0,003149	0,003149	20,46	0,006
t*t	1	0,014673	0,014673	95,34	0,000
Hata	5	0,000770	0,000154		
Uyum Eksikliği	3	0,000479	0,000160	1,10	***0,508***
Saf Hata	2	0,000290	0,000145		
Toplam	14	0,022710			

Standart Sapma	**R^2**	**Düzeltilmiş R^2**	**Tahmini R^2**
0,0124058	96,61%	90,51%	63,34%

Hardaliye numunelerinin h° analiz sonuçları RSM modellenmesi ile değerlendirildiğinde uyum eksikliği değerinin istatistiksel olarak anlamlı (p>0,05) olmaması sebebiyle başarılı şekilde modellenmiştir.



Şekil 3.58 RSM grafikleri: TS'nin hardaliye örneklerinin h° değerleri üzerindeki etkisi

Yukarıda diğer renk değerleri için belirtildiği gibi, işlemden geçirilmiş şalgam sularının C* değeri güç seviyesi ile doğrusal olarak ilgilidir ve gücün artmasıyla etkisi ters oranlı olarak azaldığı 3D yüzey grafiklerinde gösterilmektedir (Şekil 3.57). Hardaliyenin C* değerleri ANOVA varyans tablosundan incelendiğinde sıcaklığın doğrusal etkisi ve sürenin kare kuvveti ile anlamlı etkileşim içindendir. Şalgam için h° değerleri ise güç ve sıcaklığın kare kuvvetleriyle ve ayrıca sıcaklık-süre etkileşimiyle ilgili olarak değişim gösterirken, hardaliye için tüm parametrelerin kare kuvvetleri değerler üzerinde etkili olmuştur (Şekil 3.58).

Havuç suyu ile yapılan çalışmada [194], 3 dakika boyunca 20 kHz frekansta, %80 genlikte ultrasonikasyon işlemi renk doygunluğunun arttığını gösteren kroma (C*) değerlerinde bir artışa sebep olmuştur. Ton açısı (h°) nispeten sabit kalmış ve algılanan renk tonunun korunduğu belirtilmiştir Bu değişiklikler, karotenoidlerin daha iyi ortaya çıkması ve renk bozulmasından sorumlu enzimlerin inaktivasyonu ile ilişkilendirilmiştir. Yaban mersini suyuna uygulanan değişen akış hızlarında ve genliklerde sürekli ultrasonikasyon işlemi [205], daha canlı renklenmeyi yansıtan yüksek kroma (C*) değerleriyle sonuçlanmıştır. Ton açısı (h°), renk tonunda küçük kaymalar olduğunu ifade eden hafif değişiklikler tespit edilmiştir. Hücre duvarı bozulması nedeniyle antosiyaninlerin ve diğer pigmentlerin artan salınımıyla bağlantılı olabilmektedir.

Termosonikasyon uygulaması sonrasında elde edilen şalgam numunelerinin renk yoğunluğu analiz sonuçları için RSM modellemesi uygulanmış ve ANOVA çıktıları elde edilmiştir. Renk yoğunluğu analiz sonuçları RSM modellenmesinde uyum eksikliği değerinin p=0,011<0,05 olması sebebiyle değerler başarılı şekilde modellenememiştir. Ayrıca elde edilen ANOVA çıktılarında tüm modelleme parametrelerinin istatistiksel olarak önemsiz olduğu belirlenmiştir.

Termosonikasyon uygulaması sonrasında elde edilen hardaliye numunelerinin renk yoğunluğu analiz sonuçları RSM ile modellenmiş ve ANOVA analiz çıktıları Tablo 3.129'da gösterilmiştir.

Tablo 3.129 TS uygulaması sonrası hardaliye numunelerinin renk yoğunluğu için RSM modellemesi ANOVA sonuçları

Kaynak	**SD**	**Kareler Toplamı**	**Kareler Ortalaması**	**F değeri**	**P değeri**
Model	9	6,97201	0,77467	14,12	0,005
t	1	0,57138	0,57138	10,41	0,023
G*G	1	3,26995	3,26995	59,59	0,001
T*T	1	2,60986	2,60986	47,56	0,001
t*t	1	1,06866	1,06866	19,48	0,007
Hata	5	0,27436	0,05487		
Uyum Eksikliği	3	0,27399	0,09133	493,59	***0,002***
Saf Hata	2	0,00037	0,00019		
Toplam	14	7,24637			

Standart Sapma	**R^2**	**Düzeltilmiş R^2**	**Tahmini R^2**
0,234250	96,21%	89,40%	39,49%

Hardaliye numunelerinin renk yoğunluğu analiz sonuçları RSM modellenmesinde uyum eksikliği değerinin p=0,002<0,05 olması sebebiyle değerler başarılı şekilde modellenememiştir.

Termosonikasyon uygulaması sonrasında elde edilen şalgam numunelerinin renk tonu analiz sonuçları için RSM modellemesi uygulanmış ve ANOVA çıktıları elde edilmiştir. Renk tonu analiz sonuçları RSM modellenmesinde uyum eksikliği değerinin p=0,010<0,05 olması sebebiyle değerler başarılı şekilde modellenememiştir. Ayrıca elde edilen ANOVA çıktılarında tüm modelleme parametrelerinin istatistiksel olarak önemsiz olduğu belirlenmiştir.

Termosonikasyon uygulaması sonrasında elde edilen hardaliye numunelerinin renk tonu analiz sonuçları için RSM modellemesi uygulanmış ve ANOVA çıktıları elde edilmiştir. Renk tonu analiz sonuçları RSM modellenmesinde uyum eksikliği değerinin p=0,002<0,05 olması sebebiyle değerler başarılı şekilde modellenememiştir. Ayrıca elde edilen ANOVA çıktılarında tüm modelleme parametrelerinin istatistiksel olarak önemsiz olduğu belirlenmiştir.

Termosonikasyon uygulaması sonrasında elde edilen şalgam numunelerinin SRT analiz sonuçları için RSM modellemesi uygulanmış ve ANOVA çıktıları elde edilmiştir. SRT analiz sonuçları RSM modellenmesinde uyum eksikliği değerinin p=0,008<0,05 olması sebebiyle değerler başarılı şekilde modellenememiştir. Ayrıca elde edilen ANOVA çıktılarında tüm modelleme parametrelerinin istatistiksel olarak önemsiz olduğu belirlenmiştir.

Termosonikasyon uygulaması sonrasında elde edilen hardaliye numunelerinin SRT analiz sonuçları RSM ile modellenmiş ve ANOVA analiz çıktıları Tablo 3.130'da gösterilmiştir.

Tablo 3.130 TS uygulaması sonrası hardaliye numunelerinin SRT için RSM modellemesi ANOVA sonuçları

Kaynak	SD	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F değeri	P değeri
Model	9	19,5670	2,17411	3,70	0,082
G*G	1	9,8004	9,80044	16,66	0,010
T*T	1	5,0863	5,08628	8,64	0,032

Tablo 3.130 TS uygulaması sonrası hardaliye numunelerinin SRT için RSM modellemesi ANOVA sonuçları (devamı)

t*t	1	5,8925	5,89255	10,02	0,025
Hata	5	2,9418	0,58835		
Uyum Eksikliği	3	2,9108	0,97027	62,67	***0,016***
Saf Hata	2	0,0310	0,01548		
Toplam	14	22,5088			

Standart Sapma	**R^2**	**Düzeltilmiş R^2**	**Tahmini R^2**
0,767042	86,93%	63,41%	0,00%

Hardaliye numunelerinin SRT analiz sonuçları RSM modellenmesinde uyum eksikliği değerinin p=0,016<0,05 olması sebebiyle değerler başarılı şekilde modellenememiştir.

Termosonikasyon uygulaması sonrasında elde edilen şalgam numunelerinin KRT analiz sonuçları için RSM modellemesi uygulanmış ve ANOVA çıktıları elde edilmiştir. KRT analiz sonuçları RSM modellenmesinde uyum eksikliği değerinin p=0,019<0,05 olması sebebiyle değerler başarılı şekilde modellenememiştir. Ayrıca elde edilen ANOVA çıktılarında tüm modelleme parametrelerinin istatistiksel olarak önemsiz olduğu belirlenmiştir.

Termosonikasyon uygulaması sonrasında elde edilen hardaliye numunelerinin KRT analiz sonuçları RSM ile modellenmiş ve ANOVA analiz çıktıları Tablo 3.131'de gösterilmiştir.

Tablo 3.131 TS uygulaması sonrası hardaliye numunelerinin KRT için RSM modellemesi ANOVA sonuçları

Kaynak	**SD**	**Kareler Toplamı**	**Kareler Ortalaması**	**F değeri**	**P değeri**
Model	9	25,5072	2,8341	6,78	0,024
t	1	3,2109	3,2109	7,68	0,039
G*G	1	6,2052	6,2052	14,84	0,012

Tablo 3.131 TS uygulaması sonrası hardaliye numunelerinin KRT için RSM modellemesi ANOVA sonuçları (devamı)

T*T	1	10,6778	10,6778	25,54	0,004
Hata	5	2,0902	0,4180		
Uyum Eksikliği	3	2,0742	0,6914	86,16	***0,011***
Saf Hata	2	0,0160	0,0080		
Toplam	14	27,5974			

Standart Sapma	**R^2**	**Düzeltilmiş R^2**	**Tahmini R^2**
0,646562	92,43%	78,79%	0,00%

Hardaliye numunelerinin KRT analiz sonuçları RSM modellenmesinde uyum eksikliği değerinin p=0,011<0,05 olması sebebiyle değerler başarılı şekilde modellenememiştir.

Termosonikasyon uygulaması sonrasında elde edilen şalgam numunelerinin MRT analiz sonuçları için RSM modellemesi uygulanmış ve ANOVA çıktıları elde edilmiştir. MRT analiz sonuçları RSM modellenmesi ile değerlendirildiğinde uyum eksikliği değerinin p=0,059>0,05 olması sebebiyle sonuçlar başarılı şekilde modellenmiştir; ancak elde edilen ANOVA çıktılarında tüm modelleme parametrelerinin istatistiksel olarak önemsiz olduğu belirlenmiştir. Bu nedenle RSM modeline ait 3D yüzey grafikleri gösterilmemiştir.

Termosonikasyon uygulaması sonrasında elde edilen hardaliye numunelerinin MRT analiz sonuçları RSM ile modellenmiş ve ANOVA analiz çıktıları Tablo 3.132'de gösterilmiştir.

Tablo 3.132 TS uygulaması sonrası hardaliye numunelerinin MRT için RSM modellemesi ANOVA sonuçları

Kaynak	**SD**	**Kareler Toplamı**	**Kareler Ortalaması**	**F değeri**	**P değeri**
Model	9	78,3775	8,7086	6,74	0,025
G*G	1	31,6022	31,6022	24,48	0,004

Tablo 3.132 TS uygulaması sonrası hardaliye numunelerinin MRT için RSM modellemesi ANOVA sonuçları (devamı)

T*T	1	30,5032	30,5032	23,62	0,005
t*t	1	15,8902	15,8902	12,31	0,017
Hata	5	6,4560	1,2912		
Uyum Eksikliği	3	6,3645	2,1215	46,38	***0,021***
Saf Hata	2	0,0915	0,0457		
Toplam	14	84,8335			

Standart Sapma	**R^2**	**Düzeltilmiş R^2**	**Tahmini R^2**
1,13631	92,39%	78,69%	0,00%

Hardaliye numunelerinin MRT analiz sonuçları RSM modellenmesinde uyum eksikliği değerinin p=0,021<0,05 olması sebebiyle değerler başarılı şekilde modellenememiştir.

Şalgam numunelerine ait renk yoğunluğu, renk tonu, SRT, KRT ve MRT spektrofotometrik analiz sonuçları istatistiksel olarak değerlendirildiğinde, TS parametrelerinin doğrusal, karesel veya etkileşim kuvvetlerinin hiçbirinin sonuçlar üzerinde etkili olmadığı belirlenmiştir (p>0,05). Hardaliye numunelerinin renk yoğunluğu, renk tonu, SRT, KRT ve MRT spektrofotometrik analiz sonuçları incelendiğinde, sadece renk tonu değerleri hariç TS parametrelerinin sonuçlar üzerinde etkili olduğu belirlenmiştir (p<0,05). Bu analiz sonuçları uygulama parametrelerinin kare kuvvetlerinden istatistiksel olarak anlamlı şekilde etkilenirken, renk yoğunluğu ve KRT sonuçları ayrıca uygulama süresinin doğrusal etkisi ile de farklılıklar göstermiştir (Tablo 3.131).

3.4.2.3 TS'nin Biyoaktif Bileşenler Üzerindeki Etkisi

TS işleminden sonra şalgam ve hardaliye numunelerinin toplam fenolik madde miktarı (TFM), toplam flavonoid madde miktarı (TFlav.M), toplam antioksidan aktivitesi/kapasitesi (TAK) ve toplam monomerik antosiyanin miktarı (TMA) değerleri Tablo 3.133 ve 3.134'te verilmiştir.

Tablo 3.133 TS uygulaması sonrası şalgam numunelerinin TFM, TFlav.M, TAK ve TMA sonuçları

Deneme Deseni	Yanıtlar			
	TFM[1] (mg GAE/100 mL)	TFlav.M[1] (mg KE/100 mL)	TAK[1] (µmol TE/100 mL)	TMA[1] (mg/100 mL)
Kontrol	43,22 ± 0,40	186,85 ± 23,49	787,67 ± 8,12	13,27 ± 0,57
1	55,64 ± 0,52	167,14 ± 0,94	771,40 ± 1,06	23,60 ± 0,05
2	58,10 ± 0,70	184,68 ± 2,99	756,89 ± 4,29	21,13 ± 0,04
3	53,87 ± 0,34	164,25 ± 0,83	771,75 ± 4,42	21,91 ± 0,91
4	54,45 ± 0,49	176,73 ± 1,74	764,67 ± 4,02	15,62 ± 0,23
5	47,10 ± 0,17	149,78 ± 3,30	739,91 ± 2,21	17,95 ± 3,68
6	51,41 ± 0,74	177,27 ± 3,61	747,69 ± 1,62	15,54 ± 0,13
7	47,57 ± 0,31	164,07 ± 1,25	746,98 ± 7,43	15,16 ± 0,15
8	50,61 ± 2,18	184,86 ± 1,74	750,88 ± 5,85	13,83 ± 0,04
9	47,90 ± 0,31	170,58 ± 2,05	746,28 ± 5,02	14,85 ± 0,08
10	47,51 ± 0,36	157,19 ± 2,68	760,43 ± 1,62	15,63 ± 0,15
11	49,45 ± 0,10	166,96 ± 4,11	807,84 ± 3,24	14,77 ± 0,55
12	48,15 ± 0,31	154,30 ± 1,37	733,19 ± 1,06	16,48 ± 0,06
13	46,52 ± 0,22	172,39 ± 0,63	709,48 ± 1,62	16,13 ± 0,21
14	44,86 ± 0,33	165,87 ± 2,05	713,73 ± 5,24	17,33 ± 4,06
15	45,44 ± 0,74	168,41 ± 3,53	726,82 ± 17,47	15,34 ± 0,46

[1]RSM yöntemi uygulanmıştır.

Farklı küçük harfler önemli farklılıkları temsil eder ($p<0,05$).

Tablo 3.134 TS uygulaması sonrası hardaliye numunelerinin TFM, TFlav.M, TAK ve TMA sonuçları

Deneme Deseni	Yanıtlar			
	TFM (mg GAE/100 mL)	**TFlav.M[1] (mg KE/100 mL)**	**TAK[1] (µmol TE/100 mL)**	**TMA (mg/100 mL)**
Kontrol	66,64 ± 0,35^{d}	307,27 ± 0,95	765,61 ± 3,30	1,22 ± 0,12^{j}
1	76,93 ± 0,11^{a}	247,48 ± 1,91	712,94 ± 15,19	1,70 ± 0,07^{cd}
2	58,88 ± 0,25^{g}	224,35 ± 3,55	630,35 ± 13,92	1,50 ± 0,00^{fghı}
3	56,67 ± 0,12^{h}	216,65 ± 2,60	707,95 ± 8,19	1,53 ± 0,07^{efgh}
4	59,79 ± 0,23^{fg}	201,44 ± 0,63	613,70 ± 16,10	1,39 ± 0,03^{ı}
5	60,69 ± 0,26^{ef}	228,73 ± 4,73	663,23 ± 9,91	1,66 ± 0,01^{cde}
6	62,00 ± 0,08^{e}	256,85 ± 3,08	662,81 ± 3,81	1,50 ± 0,01^{ghı}
7	68,88 ± 0,21^{c}	251,44 ± 4,38	743,14 ± 4,50	2,00 ± 0,04^{a}
8	70,61 ± 0,72^{b}	282,90 ± 2,01	758,12 ± 10,67	1,68 ± 0,00^{b}
9	68,59 ± 0,79^{c}	291,44 ± 4,88	702,35 ± 11,60	2,17 ± 0,01^{a}
10	59,36 ± 0,62^{fg}	234,98 ± 0,95	651,16 ± 1,44	1,48 ± 0,03^{hı}
11	77,92 ± 0,42^{a}	322,27 ± 2,01	738,98 ± 12,57	1,60 ± 0,03^{cdef}
12	71,25 ± 0,67^{b}	293,73 ± 2,37	713,17 ± 4,50	1,56 ± 0,03^{defg}
13	60,00 ± 0,62^{fg}	264,15 ± 2,37	663,23 ± 3,30	1,64 ± 0,05^{cdef}
14	59,81 ± 0,17^{fg}	272,69 ± 5,96	650,75 ± 3,75	1,74 ± 0,04^{c}
15	60,80 ± 0,35^{ef}	261,85 ± 1,30	675,30 ± 1,91	1,63 ± 0,07^{cdef}

[1]RSM yöntemi uygulanmıştır.

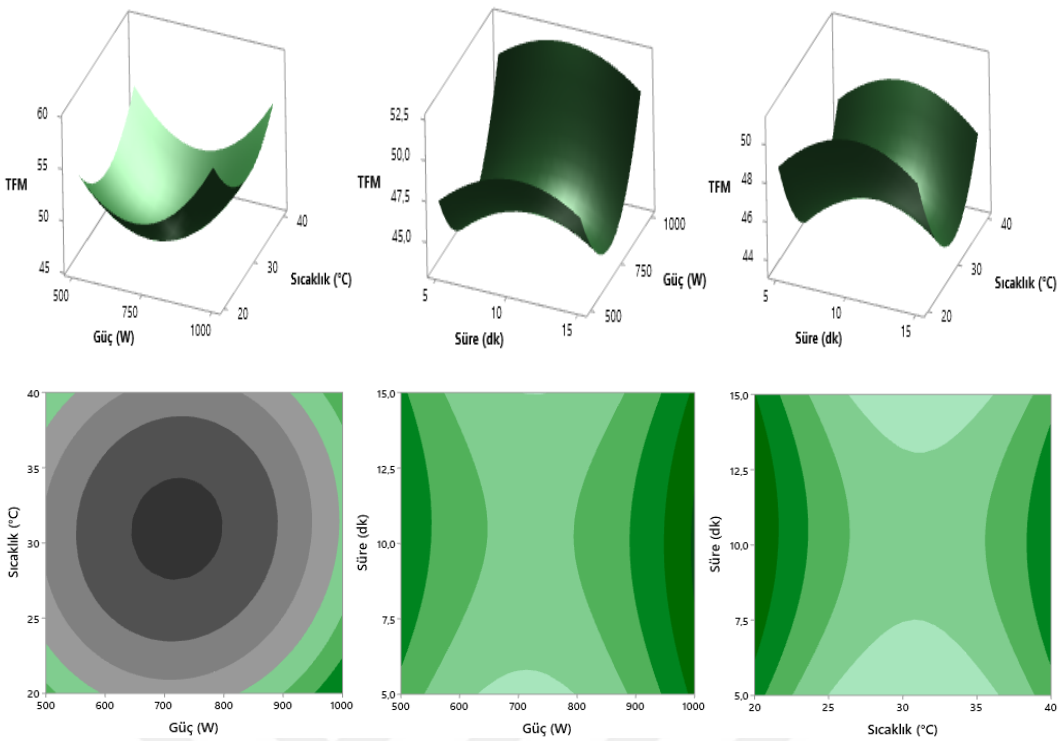
Farklı küçük harfler önemli farklılıkları temsil eder ($p<0,05$).

Termosonikasyon uygulaması sonrasında elde edilen şalgam numunelerinin TFM analiz sonuçları RSM ile modellenmiş ve ANOVA analiz çıktıları Tablo 3.135'te gösterilmiştir.

Tablo 3.135 TS uygulaması sonrası şalgam numunelerinin TFM için RSM modellemesi ANOVA sonuçları

Kaynak	**SD**	**Kareler Toplamı**	**Kareler Ortalaması**	**F değeri**	**P değeri**
Model	9	216,243	24,027	19,15	0,002
G	1	13,508	13,508	10,76	0,022
G*G	1	108,280	108,280	86,28	0,000
T*T	1	74,639	74,639	59,48	0,001
t*t	1	12,622	12,622	10,06	0,025
Hata	5	6,275	1,255		
Uyum Eksikliği	3	4,858	1,619	2,29	***0,319***
Saf Hata	2	1,417	0,709		
Toplam	14	222,518			
Standart Sapma		**R^2**	**Düzeltilmiş R^2**	**Tahmini R^2**	
1,12024		97,18%	92,10%	63,64%	

Şalgam numunelerinin TFM analiz sonuçları RSM modellenmesi ile değerlendirildiğinde uyum eksikliği değerinin istatistiksel olarak anlamlı ($p>0,05$) olmaması sebebiyle başarılı şekilde modellenmiştir.



Şekil 3.59 RSM grafikleri: TS'nin şalgam örneklerinin TFM değerleri üzerindeki etkisi

Termosonikasyon uygulaması sonrasında elde edilen hardaliye numunelerinin TFM analiz sonuçları RSM ile modellenmiş ve ANOVA analiz çıktıları Tablo 3.136'da gösterilmiştir.

Tablo 3.136 TS uygulaması sonrası hardaliye numunelerinin TFM için RSM modellemesi ANOVA sonuçları

Kaynak	SD	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F değeri	P değeri
Model	9	625,430	69,492	7,74	0,018
T	1	155,350	155,350	17,31	0,009
t	1	180,753	180,753	20,14	0,006
t*t	1	123,259	123,259	13,73	0,014
G*T	1	112,078	112,078	12,49	0,017
Hata	5	44,881	8,976		
Uyum Eksikliği	3	44,332	14,777	53,79	***0,018***

Tablo 3.136 TS uygulaması sonrası hardaliye numunelerinin TFM için RSM modellemesi ANOVA sonuçları (devamı)

Saf Hata	2	0,549	0,275	
Toplam	14	670,312		
Standart Sapma		**R^2**	**Düzeltilmiş R^2**	**Tahmini R^2**
2,99604		93,30%	81,25%	0,00%

Hardaliye numunelerinin TFM analiz sonuçları RSM modellenmesinde uyum eksikliği değerinin p=0,018<0,05 olması sebebiyle değerler başarılı şekilde modellenememiştir.

Şalgama ait TFM değerleri üzerinde termosonikasyon işlemi parametrelerinden gücün doğrusal olarak etkisinden ve tüm parametrelerin kare kuvvetlerinin etkisinden bahsedilebilir; bu etki 3D yüzey grafiklerinde açıkça görülmektedir (Şekil 3.59). Yüzey grafiklerinde güç ∼750 W, sıcaklık ∼30°C ve süre ∼10 dakika olan deneysel koşullar altında minimum TFM seviyesi gözlenmiştir. En yüksek değer ise 1000W-30°C-10dk kombinasyonunda 58,10 ± 0,70 mg GAE/100 mL olarak tespit edilmiştir. Hardaliye numunelerinde ise sıcaklık ve sürenin doğrusal etkisinin yanı sıra sürenin kare kuvveti ve güç-sıcaklık etkileşiminin sonuçlar üzerinde anlamlı değişimlere sebep olduğundan bahsedilebilir. En yüksek TFM değeri olan 77,92 ± 0,42 mg GAE/100 mL, 750W-20°C-15dk kombinasyonunda elde edilmiştir ve bu değer kontrol numunesinin içerdiği miktardan daha yüksektir. Bu artışın başlıca sebebi ultrasound dalgalarının oluşturduğu kavitasyon, hücre duvarlarının parçalanmasını ve bağlı fenolik bileşenlerde serbestleşmeyi sağlamaktadır.

Kwaw vd. [206] çalışmasında, kontrol örneğine kıyasla 28 kHz, 60 W'ta 15 dakika ultrasonikasyon işlemi görmüş laktik asit fermente dut suyunun toplam fenolik konsantrasyonda önemli bir artış göstermiştir. Yenilikçi işlemler kıyaslandığında ultrasonikasyon, darbeli ışık işleminden daha fazla fenolik ve antioksidan özelliklerinde artışa sebep olmuştur (p<0,05).

16 dakika 400W, 25kHz frekans koşulları altında yüksek yoğunluklu ultrasonik işlem ile yapılan başka bir çalışmada [207], işlenen kivi suyu numunelerinin toplam fenolik içeriğinin kontrol grubuna kıyasla sırasıyla %108,65 oranında arttığı ortaya konulmuştur. Siyah dut-ananas-mango fonksiyonel içecekle yapılan bir araştırmada [183], %100 ultrasonik genlik ve 8 dakikalık işlem süresi ile sonikasyonun besin değerinde olumlu bir etkiye sahip olduğunu, sonikasyon süresindeki artış ve yüksek genlik uygulanması ile birlikte toplam fenolik madde miktarını önemli ölçüde artırdığı belirtilmiştir ($p<0,05$).

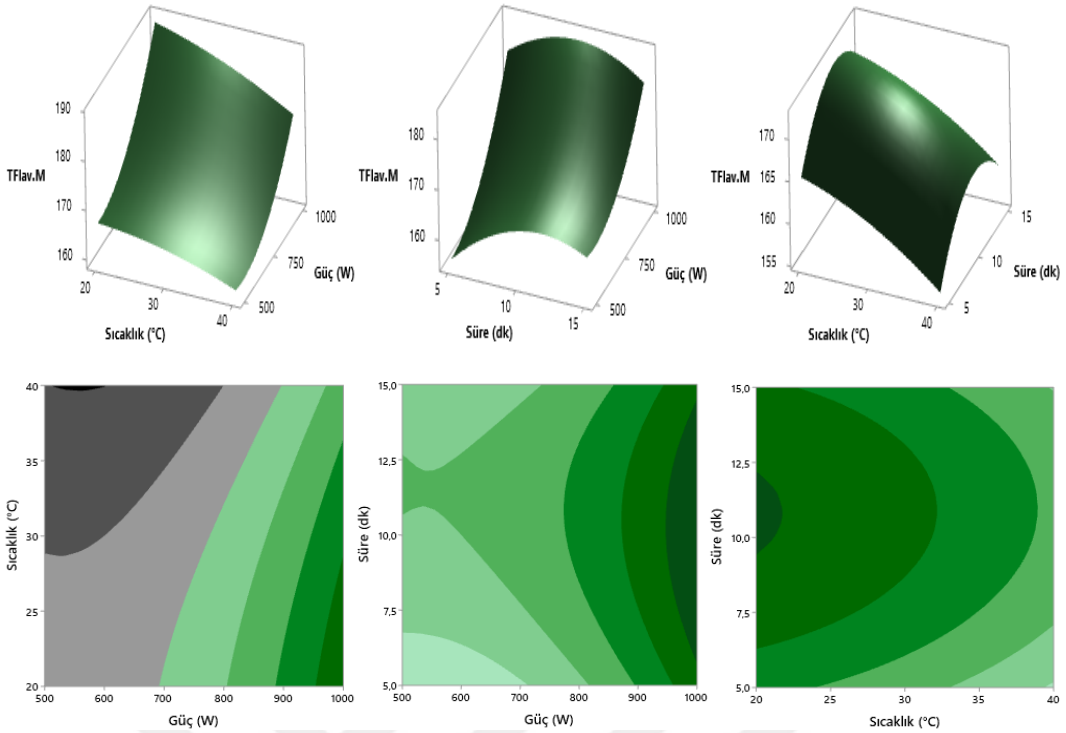
Termosonikasyon uygulaması sonrasında elde edilen şalgam numunelerinin TFlav.M analiz sonuçları RSM ile modellenmiş ve ANOVA analiz çıktıları Tablo 3.137'de gösterilmiştir.

Tablo 3.137 TS uygulaması sonrası şalgam numunelerinin TFlav.M için RSM modellemesi ANOVA sonuçları

Kaynak	**SD**	**Kareler Toplamı**	**Kareler Ortalaması**	**F değeri**	**P değeri**
Model	9	1229,04	136,560	3,54	0,089
G	1	766,58	766,578	19,87	0,007
Hata	5	192,88	38,577		
Uyum Eksikliği	3	171,34	57,113	5,30	***0,163***
Saf Hata	2	21,54	10,772		
Toplam	14	1421,92			

Standart Sapma	**R^2**	**Düzeltilmiş R^2**	**Tahmini R^2**
6,21102	86,44%	62,02%	0,00%

Şalgam numunelerinin TFlav.M analiz sonuçları RSM modellenmesi ile değerlendirildiğinde uyum eksikliği değerinin istatistiksel olarak anlamlı ($p>0,05$) olmaması sebebiyle başarılı şekilde modellenmiştir.



Şekil 3.60 RSM grafikleri: TS'nin şalgam örneklerinin TFlav.M değerleri üzerindeki etkisi

Termosonikasyon uygulaması sonrasında elde edilen hardaliye numunelerinin TFlav.M analiz sonuçları RSM ile modellenmiş ve ANOVA analiz çıktıları Tablo 3.138'de gösterilmiştir.

Tablo 3.138 TS uygulaması sonrası hardaliye numunelerinin TFlav.M için RSM modellemesi ANOVA sonuçları

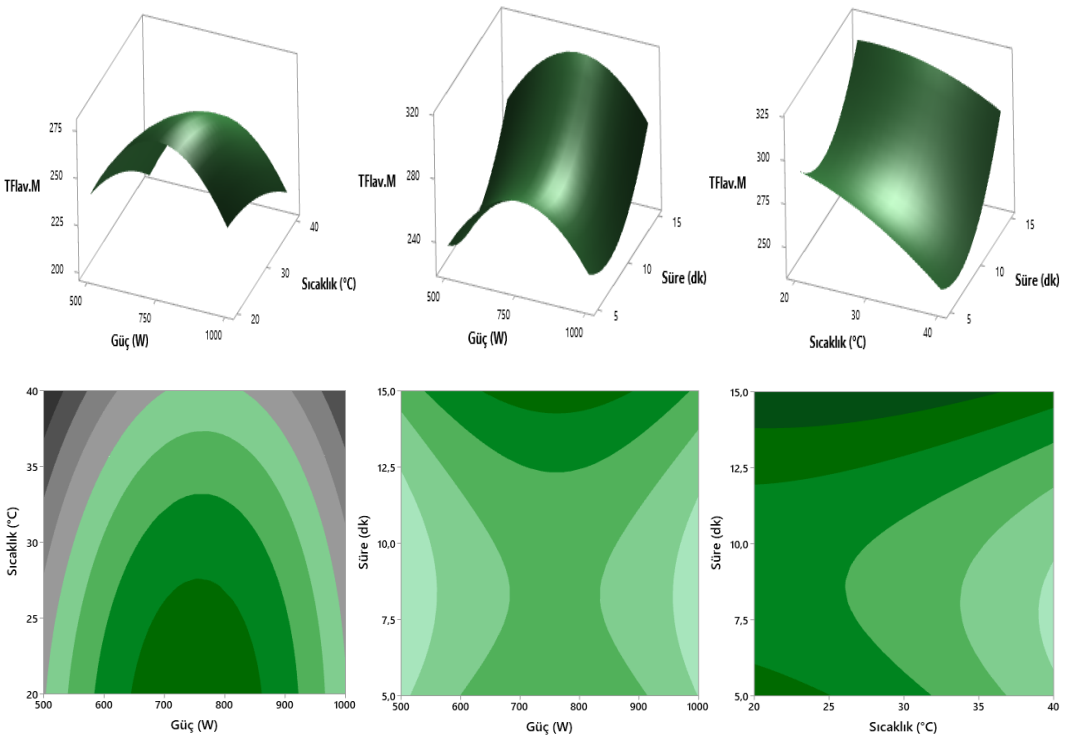
Kaynak	SD	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F değeri	P değeri
Model	9	13378,5	1486,50	4,66	0,052
T	1	2406,4	2406,45	7,55	0,040
t	1	2392,0	2392,01	7,50	0,041
G*G	1	5106,1	5106,13	16,02	0,010
t*t	1	2484,0	2484,01	7,79	0,038
Hata	5	1594,1	318,83		

Tablo 3.138 TS uygulaması sonrası hardaliye numunelerinin TFlav.M için RSM modellemesi ANOVA sonuçları (devamı)

Uyum Eksikliği	3	1528,9	509,65	15,64	***0,061***
Saf Hata	2	65,2	32,60		
Toplam	14	14972,6			

Standart Sapma	**R^2**	**Düzeltilmiş R^2**	**Tahmini R^2**
17,8558	89,35%	70,19%	0,00%

Hardaliye numunelerinin TFlav.M analiz sonuçları RSM modellenmesi ile değerlendirildiğinde uyum eksikliği değerinin istatistiksel olarak anlamlı ($p>0,05$) olmaması sebebiyle başarılı şekilde modellenmiştir.



Şekil 3.61 RSM grafikleri: TS'nin hardaliye örneklerinin TFlav.M değerleri üzerindeki etkisi

Şalgam için TFlav.M değerleri üzerindeki tek anlamlı etkinin termosonikasyon işlemi parametrelerinden gücün doğrusal etkisi olduğu tespit edilmiştir. Bu etki 3D yüzey grafiklerinde açıkça görülmektedir (Şekil 3.60). Güç seviyesinin artışı ile değerlerdeki kayıpların azalmasına sebep olmuş; kontrol numunesine ait değere en yakın değer 1000 W – 20 °C - 10 dk kombinasyonu ile 184,68 ± 2,99 mg KE/100 mL olarak elde edilmiştir. Hardaliye ürünü açısından bakılacak olursa, uygulama parametrelerinin TFM sonuçları üzerindeki etkiye benzer olarak TFlav.M değerleri üzerinde sıcaklık ve sürenin doğrusal ve sürenin ikinci dereceden kuvvetinin etkilerinden bahsedilebilir (Şekil 3.61). Sıcaklığın artışı ile ters orantılı, sürenin artışı ile doğru orantılı olarak değerlerde artışlar tespit edilmiştir. Ayrıca güç parametresinin kare kuvveti de TFlav.M değerleri üzerinde istatistiksel olarak anlamlı şekilde etkilidir ($p<0,05$).

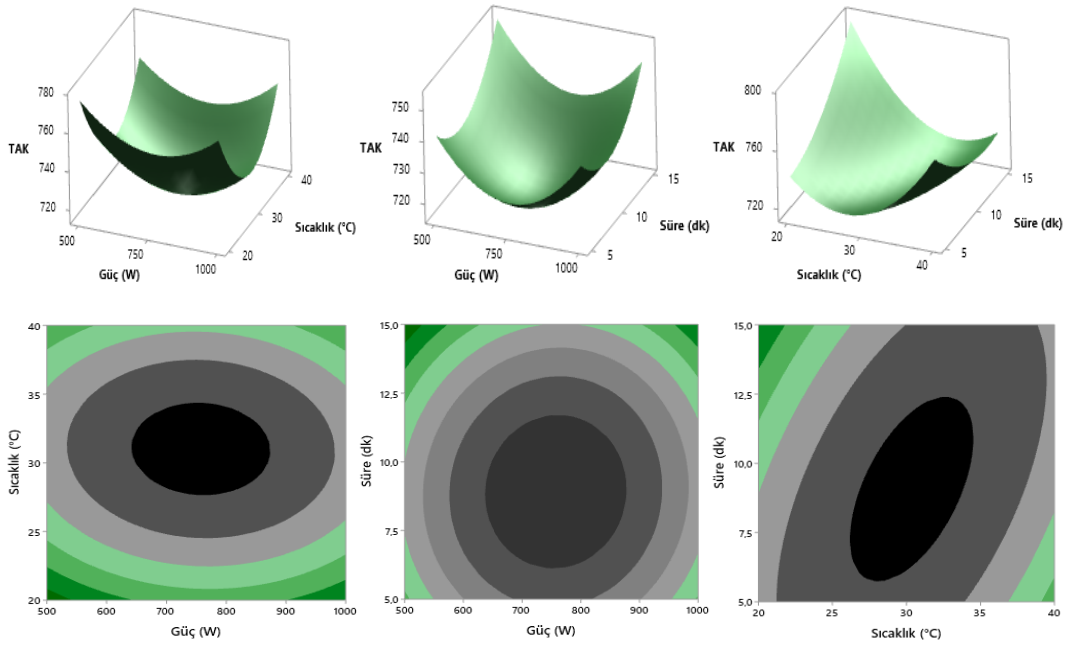
Siyah dut-ananas-mango fonksiyonel içecekle yapılan bir araştırmada [183], %100 ultrasonik genlik ve 8 dakikalık işlem süresi ile sonikasyonun besin değerinde olumlu bir etkiye sahip olduğunu, sonikasyon süresindeki artış ve yüksek genlik uygulanması ile birlikte toplam flavonoid madde miktarını önemli ölçüde artırdığı belirtilmiştir ($p<0,05$). 16 dakika 400W, 25kHz frekans koşulları altında yüksek yoğunluklu ultrasonik işlem ile yapılan başka bir çalışmada [207], işlenen kivi suyu numunelerinin toplam flavonoid içeriğinin kontrol grubuna kıyasla sırasıyla %105,56 oranında önemli ölçüde arttığını ortaya koymaktadır. %75 etanol konsantrasyonu, 87,5 W ultrasonik güç, 30 dakikalık ekstraksiyon süresi ve 20 mL çözücü hacmi ile RSM kullanılarak optimize edilen ultrasonikasyon destekli ekstraksiyon çalışmasında [208], optimum koşullar altında *Centella asiatica* özünün toplam flavonoid içeriği 43,71 ± 1,92 mg/g'a yükselmiştir. Çalışma, etanol konsantrasyonunun ve çözücü hacminin TFC verimlerini önemli ölçüde etkilediğini, ultrasonik gücün ise önemsiz bir etkiye sahip olduğu ancak flavonoidlerin bozunmaya karşı hassas olası nedeniyle uygulama süresi TFlav.M değerlerini etkilemiştir.

Termosonikasyon uygulaması sonrasında elde edilen şalgam numunelerinin TAK analiz sonuçları RSM ile modellenmiş ve ANOVA analiz çıktıları Tablo 3.139'da gösterilmiştir.

Tablo 3.139 TS uygulaması sonrası şalgam numunelerinin TAK için RSM modellemesi ANOVA sonuçları

Kaynak	SD	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F değeri	P değeri
Model	9	7592,38	843,60	4,38	0,059
T*T	1	3908,00	3908,00	20,30	0,006
T*t	1	1971,34	1971,34	10,24	0,024
Hata	5	962,71	192,54		
Uyum Eksikliği	3	799,41	266,47	3,26	***0,243***
Saf Hata	2	163,30	81,65		
Toplam	14	8555,09			
Standart Sapma		**R^2**	**Düzeltilmiş R^2**	**Tahmini R^2**	
13,8759		88,75%	68,49%	0,00%	

Şalgam numunelerinin TAK analiz sonuçları RSM modellenmesi ile değerlendirildiğinde uyum eksikliği değerinin istatistiksel olarak anlamlı ($p>0,05$) olmaması sebebiyle başarılı şekilde modellenmiştir.



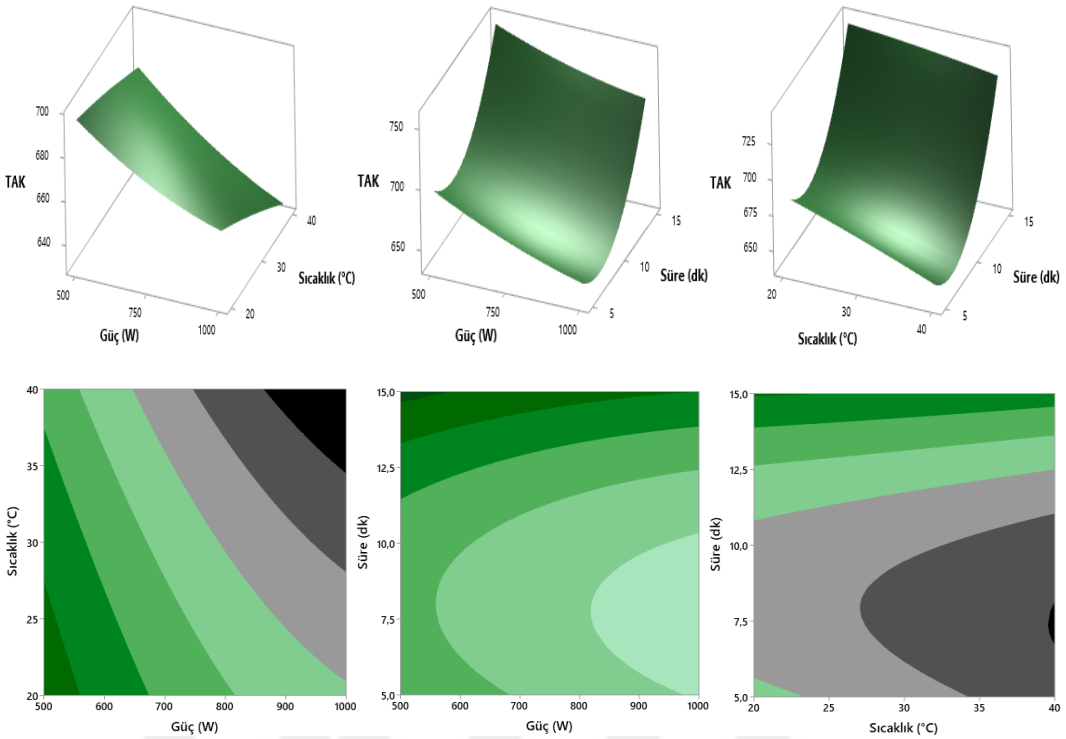
Şekil 3.62 RSM grafikleri: TS'nin şalgam örneklerinin TAK değerleri üzerindeki etkisi

Termosonikasyon uygulaması sonrasında elde edilen hardaliye numunelerinin TAK analiz sonuçları RSM ile modellenmiş ve ANOVA analiz çıktıları Tablo 3.140'ta gösterilmiştir.

Tablo 3.140 TS uygulaması sonrası hardaliye numunelerinin TAK için RSM modellemesi ANOVA sonuçları

Kaynak	**SD**	**Kareler Toplamı**	**Kareler Ortalaması**	**F değeri**	**P değeri**
Model	9	19957,5	2217,50	1,85	0,258
t	1	9374,2	9374,16	7,82	0,038
Hata	5	5996,6	1199,32		
Uyum Eksikliği	3	5695,1	1898,37	12,59	***0,074***
Saf Hata	2	301,5	150,75		
Toplam	14	25954,2			
Standart Sapma		**R^2**	**Düzeltilmiş R^2**	**Tahmini R^2**	
34,6313		76,90%	35,31%	0,00%	

Hardaliye numunelerinin TAK analiz sonuçları RSM modellenmesi ile değerlendirildiğinde uyum eksikliği değerinin istatistiksel olarak anlamlı ($p>0,05$) olmaması sebebiyle başarılı şekilde modellenmiştir.



Şekil 3.63 RSM grafikleri: TS'nin hardaliye örneklerinin TAK değerleri üzerindeki etkisi

Şalgam numunelerinin TAK değerleri üzerindeki anlamlı etkinin termosonikasyon işlemi parametrelerinden sıcaklığın kare kuvveti ve sıcaklık süre ilişkisi etkisi olduğu tespit edilmiştir. Bu etki 3D yüzey grafiklerinde açıkça görülmektedir (Şekil 3.62). Parametrelerdeki orta değerler ~ 750W , ~ 30 °C, ~7,5-10 dk koşulları altında kayıpların en fazla olduğu yani en düşük seviyedeki TAK sonuçları gözlemlenmiştir. Buna karşın hardaliye numunelerine ait sonuçlarda tek anlamlı etkiye sebep olan parametrenin uygulama süresinin doğrusal etkisi olduğu tespit edilmiştir. Şalgamdaki sonuçlara benzer olarak TS uygulaması kontrol numunesi ile karşılaştırıldığında TAK değerleri üzerinde azalmaya sebep olmuştur; ancak uygulama süresinin artışıyla TAK değerlerindeki bu kaybın en az seviyelere indirildiği değerlere ulaşıldığı yüzey grafiklerinde görünmektedir (Şekil 3.63).

Literatürde bulunan çalışmalarda, termosonikasyonun TAK değerleri üzerinde pozitif etkileri olduğunu raporlamışlardır. 10 ve 30 dakikalık süreler boyunca 27 ve 52 W/cm² yoğunluklarda yüksek yoğunluklu ultrasonik işlem kavun suyunun antioksidan kapasitesini artırarak sırasıyla DPPH ve ABTS analizlerinde %45 ve %20 inhibisyon değerlerine ulaşmıştır. Ek olarak, FRAP analizi 120 mg TE/100 g

üzerinde bir antioksidan kapasitesi göstermiştir. Bu sonuçlar ultrasonikasyonun kavun suyunun antioksidan özelliklerini iyileştirmek için etkili bir yöntem olabileceğini göstermektedir [209]. 16 dakika 400W, 25kHz frekans koşulları altında yüksek yoğunluklu ultrasonik işlem ile yapılan başka bir çalışmada [207], işlenen kivi suyu numunelerinin antioksidan kapasitesinin kontrol grubuna kıyasla sırasıyla %65,67 oranında önemli ölçüde arttığını ortaya koymaktadır. 35 °C'de 10 dakika boyunca 376 W'ta ultrasonik işlem elma-havuç suyu karışımlarının antioksidan kapasitesinde pozitif artış korelasyonları olduğunu belirtmiştir [210]. Sonikasyon uygulamasında düşük-orta sıcaklık (30–60 °C) kullanımı sayesinde termolabil bileşikler korunabilmekte ve fenolik serbestleşmesi sağlarken degradasyonu da engellenmektedir [211].

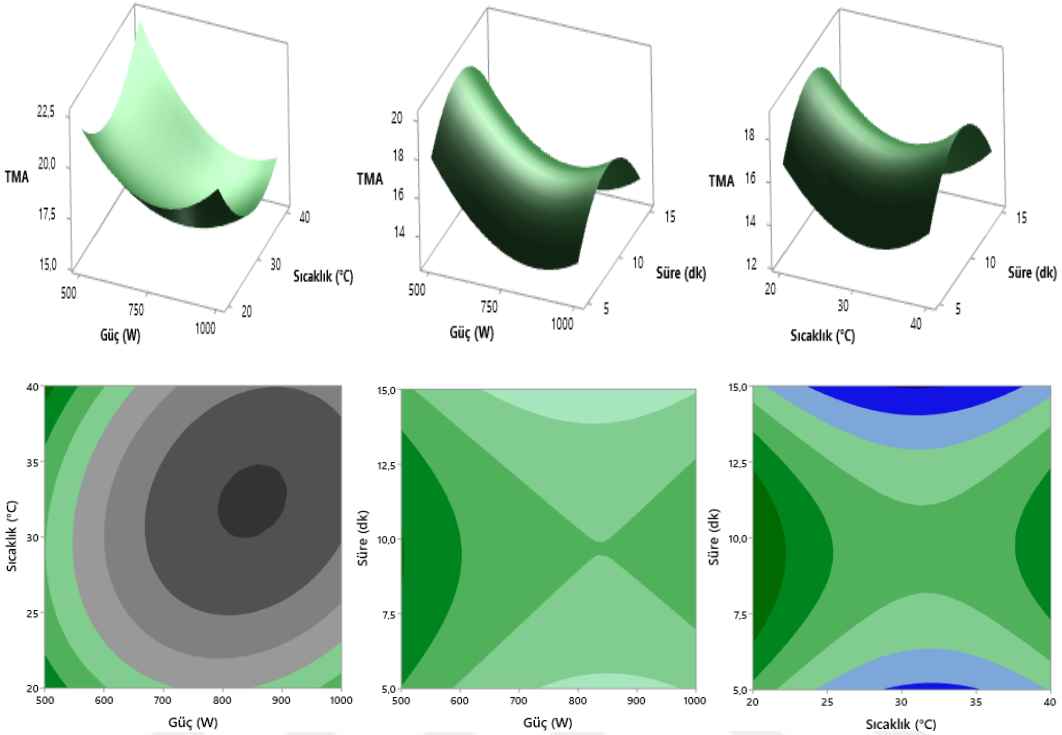
Termosonikasyon uygulaması sonrasında elde edilen şalgam numunelerinin TMA analiz sonuçları RSM ile modellenmiş ve ANOVA analiz çıktıları Tablo 3.141'de gösterilmiştir.

Tablo 3.141 TS uygulaması sonrası şalgam numunelerinin TMA için RSM modellemesi ANOVA sonuçları

Kaynak	**SD**	**Kareler Toplamı**	**Kareler Ortalaması**	**F değeri**	**P değeri**
Model	9	98,133	10,9036	2,67	0,146
t*t	1	30,815	30,8145	7,55	0,040
Hata	5	20,408	4,0816		
Uyum Eksikliği	3	18,396	6,1321	6,10	***0,144***
Saf Hata	2	2,011	1,0057		
Toplam	14	118,541			

Standart Sapma	**R^2**	**Düzeltilmiş R^2**	**Tahmini R^2**
2,02029	82,78%	51,80%	0,00%

Şalgam numunelerinin TMA analiz sonuçları RSM modellenmesi ile değerlendirildiğinde uyum eksikliği değerinin istatistiksel olarak anlamlı ($p>0,05$) olmaması sebebiyle başarılı şekilde modellenmiştir.



Şekil 3.64 RSM grafikleri: TS'nin şalgam örneklerinin TMA değerleri üzerindeki etkisi

Termosonikasyon uygulaması sonrasında elde edilen hardaliye numunelerinin TMA analiz sonuçları için RSM modellemesi uygulanmış ve ANOVA çıktıları elde edilmiştir. TMA analiz sonuçları RSM modellenmesi ile değerlendirildiğinde uyum eksikliği değerinin $p=0,075>0,05$ olması sebebiyle sonuçlar başarılı şekilde modellenmiştir; ancak elde edilen ANOVA çıktılarında tüm modelleme parametrelerinin istatistiksel olarak önemsiz olduğu belirlenmiştir. Bu nedenle RSM modeline ait 3D yüzey grafikleri gösterilmemiştir.

Varyans analizi tabloları incelendiğinde, şalgam numunelerinin TAK değerleri üzerindeki anlamlı etkinin termosonikasyon işlemi parametrelerinden sadece sürenin kare kuvveti etkisi olduğu tespit edilmiştir. Bu etki 3D yüzey grafiklerinde açıkça görülmektedir (Şekil 3.64). Uygulama süresinin orta seviyedeki değerinde (~10 dk) maksimum TMA değerleri gözlemlenmiş, 500 W – 20 °C – 10dk koşulu altında en yüksek artış elde edilmiştir (23,60 ± 0,05 mg/100mL). Hardaliye

numunelerinin sonuçları üzerinde ise TS parametrelerinin hiç birisinin anlamlı etkiye sahip olmadığı tespit edilmiş; fakat şalgam numunesinde TMA içeriği için istatistiksel olarak anlamlı bir değişime neden olan tek faktörün zaman karesi olduğu gözlenmiştir (p= 0,040). Bu etki 3D yüzey grafiklerinde açıkça görülmektedir (Şekil 3.64). Yapmış olduğumuz çalışma ile benzer şekilde, 17,5 $W \cdot cm^{-2}$ ve 25 $W \cdot cm^{-2}$ yoğunluklarında ultrasonik işlem elma suyunda antosiyanin içeriğinde önemli bir azalmaya neden olmuştur. Bu azalma ultrasonikasyonun güç seviyesiyle açıklanmıştır; 17,5 $W \cdot cm^{-2}$ yoğunluk için %92 ve 25 $W \cdot cm^{-2}$ yoğunluk için %82 azalma tespit edilmiştir [212]. 10 dk-20 kHz-%100 genlik seviyesi ile sonikasyonun maksimum işlem koşulunda antosiyanin içeriğini %3,2 oranında azalttığı tespit edilerek antosiyaninler üzerinde genlik seviyesi ve uygulama süresinin artışındaki olumsuz etkiler açıklanmıştır [213]. Siyah ve kırmızı frenk üzümü suları ile yapılan çalışmada [214], 15 dakikaya kadar sürelerde ultrasonik işlemin antosiyanin içeriği üzerinde ihmal edilebilir bir etkisi olduğu belirlenmiştir. Siyah frenk üzümü suyunda, toplam antosiyaninler 135 ila 147 mg/100 mL arasında ve kırmızı frenk üzümü suyunda 17,0 ila 17,9 mg/100 mL arasında tespit edilmiştir. Daha yüksek güç seviyelerinde uzun süreli işlem, muhtemelen kimyasal ayrışma nedeniyle antosiyaninlerde bir azalmaya neden olabileceği belirtilmiştir.

3.4.3 Model Uyumu

Şalgam numunesi için yanıtların modellenmesi (pH, TA, İŞM, L*, a*, b*, ΔE, C*, MRT, TFM, TFlav.M, TAK, TMA) başarıyla gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, uygulanan ikinci dereceden polinom model denklemlerinin katsayıları, önemsiz uyum eksikliğine ($p>0.05$) sahip on üç yanıt için göstermektedir (Tablo 3.142 ve 3.143). RSM modellerindeki bazı sonuçlar için (TMAC azalması, LAB azalması, M&K azalması, TÇKM, ΔE, h°, renk yoğunluğu, renk tonu, SRT, KRT) uyum eksikliği değerleri modellemeye uygun elde edilememiştir ($p<0.05$).

Tablo 3.142 TS uygulaması sonrası şalgam numuneleri için RSM ikinci dereceden polinom modelinin tahmini regresyon katsayıları (kodlanmış)-1

Katsayılar	Yanıtlar					
	pH	**TA**	**İŞM**	**L***	**a***	**b***
β_0 (sabit)	3,99207	2,7621	5,324	37,905	52,166	23,675
β_1	0,00607	-0,0632	-0,076	-1,284	-0,709	-0,544
β_2	-0,00888	0,0632	-0,076	0,355	-0,170	-0,269
β_3	0,00852	-0,0379	-0,205	-0,113	0,085	-0,131
β_{11}	0,00726	-0,0421	0,026	1,160	-0,005	-0,830
β_{22}	0,00308	-0,1179	0,248	-0,092	-0,055	-0,662
β_{33}	-0,00262	-0,1937	-0,331	-0,672	-0,316	0,048
β_{12}	-0,00257	-0,0253	0,000	0,292	0,506	0,121
β_{13}	0,01438	-0,1263	-0,338	0,429	0,450	0,115
β_{23}	-0,00426	0,1263	-0,150	-0,742	-0,477	-0,775

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_{11} {X_1}^2 + \beta_{22} {X_2}^2 + \beta_{33} {X_3}^2 + \beta_{12} X_1 X_2 + \beta_{13} X_1 X_3 + \beta_{23} X_2 X_3 + \varepsilon$$

X_1:Güç seviyesi (W), X2:Sıcaklık (°C), X3: Süre (dk)

Tablo 3.143 TS uygulaması sonrası şalgam numuneleri için RSM ikinci dereceden polinom modelinin tahmini regresyon katsayıları (kodlanmış)-2

Katsayılar	Yanıtlar						
	ΔE	**C***	**MRT**	**TFM**	**TFlav.M**	**TAK**	**TMA**
β_0 (sabit)	2,336	57,288	5,134	45,604	168,89	716,68	16,26
β_1	0,957	-0,866	0,0009	1,299	9,79	-1,24	-1,562
β_2	0,063	-0,260	-0,0581	-0,888	-4,61	-6,54	-0,588
β_3	0,155	0,024	0,1223	0,232	1,92	5,57	-0,466
β_{11}	0,086	-0,340	0,1041	5,415	5,52	16,97	2,24
β_{22}	0,857	-0,314	0,0740	4,496	-1,21	32,53	2,06

Tablo 3.143 TS uygulaması sonrası şalgam numuneleri için RSM ikinci dereceden polinom modelinin tahmini regresyon katsayıları (kodlanmış)-2 (devamı)

β_{33}	0,239	-0,272	-0,1244	-1,849	-5,42	12,72	-2,89
β_{12}	-0,371	0,516	-0,0966	-0,470	-1,27	1,86	-0,96
β_{13}	-0,705	0,458	-0,0587	-0,318	-1,67	-0,97	0,27
β_{23}	0,923	-0,751	0,0871	-0,228	0,18	-22,20	0,23

$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_{11} {X_1}^2 + \beta_{22} {X_2}^2 + \beta_{33} {X_3}^2 + \beta_{12} X_1 X_2 + \beta_{13} X_1 X_3 + \beta_{23} X_2 X_3 + \varepsilon$

X_1:Güç seviyesi (W), X2:Sıcaklık (°C), X3: Süre (dk)

Hardaliye numunesi için yanıtların modellenmesi (TMAC azalması, LAB azalması, İŞM, a*, b*, ΔE, h°, TFlav.M, TAK ve TMA) başarıyla gerçekleştirildi. Ayrıca, uygulanan ikinci dereceden polinom model denklemlerinin katsayıları, önemsiz uyum eksikliğine ($p>0.05$) sahip on üç yanıt için göstermektedir (Tablo 3.144 ve 3.145). RSM modellerindeki bazı sonuçlar için (M&K azalması, pH, TÇKM, TA, L*, C*, renk yoğunluğu, renk tonu, SRT, KRT, MRT ve TFM) uyum eksikliği değerleri modellemeye uygun elde edilememiştir ($p<0.05$).

Tablo 3.144 TS uygulaması sonrası hardaliye numuneleri için RSM ikinci dereceden polinom modelinin tahmini regresyon katsayıları (kodlanmış)-1

Katsayılar	**Yanıtlar**				
	TMAC azalma	**LAB azalma**	**İŞM**	**a***	**b***
β_0 (sabit)	1,280	1,201	50,145	25,248	7,398
β_1	0,469	0,2686	-7,320	-0,357	-0,050
β_2	0,789	0,7041	-4,871	0,910	0,107
β_3	0,215	0,1646	0,041	-0,495	0,017
β_{11}	0,066	-0,020	-1,310	-0,703	0,824
β_{22}	0,643	0,565	-0,455	0,923	1,159
β_{33}	0,260	0,233	-6,416	1,383	2,343

Tablo 3.144 TS uygulaması sonrası hardaliye numuneleri için RSM ikinci dereceden polinom modelinin tahmini regresyon katsayıları (kodlanmış)-1 (devamı)

β_{12}	0,023	0,274	-0,722	0,717	0,097
β_{13}	0,448	0,264	-0,538	0,493	0,307
β_{23}	-0,058	0,336	-1,026	0,776	0,308

$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_{11} {X_1}^2 + \beta_{22} {X_2}^2 + \beta_{33} {X_3}^2 + \beta_{12} X_1 X_2 + \beta_{13} X_1 X_3 + \beta_{23} X_2 X_3 + \varepsilon$

X_1:Güç seviyesi (W), X2:Sıcaklık (°C), X3: Süre (dk)

Tablo 3.145 TS uygulaması sonrası hardaliye numuneleri için RSM ikinci dereceden polinom modelinin tahmini regresyon katsayıları (kodlanmış)-2

Katsayılar	**Yanıtlar**				
	ΔE	**h°**	**TFlav.M**	**TAK**	**TMA**
β_0 (sabit)	6,752	0,28512	266,2	663,1	1,670
β_1	0,035	0,00263	2,66	-20,3	-0,1029
β_2	0,050	-0,00808	-17,34	-12,3	-0,1263
β_3	0,110	0,00719	17,29	34,2	0,0051
β_{11}	1,141	0,03883	-37,19	4,3	-0,0658
β_{22}	0,532	0,02921	-6,56	-1,1	-0,0713
β_{33}	-0,539	0,06304	25,94	39,5	0,1033
β_{12}	-0,244	-0,00593	1,98	-2,9	0,0146
β_{13}	-0,398	0,00355	0,83	3,8	-0,0404
β_{23}	-0,935	-0,00035	6,98	6,3	0,1628

$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_{11} {X_1}^2 + \beta_{22} {X_2}^2 + \beta_{33} {X_3}^2 + \beta_{12} X_1 X_2 + \beta_{13} X_1 X_3 + \beta_{23} X_2 X_3 + \varepsilon$

X_1:Güç seviyesi (W), X2:Sıcaklık (°C), X3: Süre (dk)

3.5 YHB, MD ve TS Uygulamaları için Model Optimizasyonu ve Doğrulaması

Yüksek hidrostatik basınç uygulamasının şalgam numunesinde gerçekleştirilmesi ile bağımsız değişkenlerin ideal seviyesinin tahmin edilmesi için Y&M azalması, TFlav.M ve TMA sonuçlarında mümkün olan en yüksek değerler, TA ve İŞM sonuçlarında ise en düşük değerler hedeflenerek optimizasyon yöntemi uygulanmıştır. Daha yüksek kompozit istenirlik (composite desirability) faktörü elde edebilmek için renk değerleri (b*, C*, h° ve MRT) model optimizasyonuna dahil edilmemiştir; ancak optimum koşullar sonucu elde edilen sonuçların hedeflenen değerlere uygunluğu kontrol edilmiştir. Bu şekilde yapılan modellemede optimizasyonunun istenirlik faktörü (0,93), renk parametrelerinin dahil edildiği duruma (0,74) göre çok daha yüksek olduğu tespit edilmiş ve renk değerlerinin hedef değerlere daha yakın elde edildiği görülmüştür. YHP uygulamasının optimum koşul parametreleri, istenen şalgam kalitesini elde etmek için 367 MPa basınç seviyesi, 31,9 °C işlem sıcaklığı ve 10,5 dk işlem süresi olmuştur. Bu optimum koşulda modelleme ile, M&K azalması (4,30 log kob/mL), TA (2,41 g latik asit/L) ve İŞM (6,78 mg/100 mL), TFlav.M (192,89 mg KE/100 mL) ve TMA (11,88 mg/100 mL) değerlerini üretmiştir. Öngörülen değerlerin yanı sıra YHB optimum koşullarda işlenen şalgam numunesinin deneysel sonuçları Tablo 3.146'da gösterilmektedir.

Tablo 3.146 Optimum koşullarda işlenen şalgam numunesinin deneysel sonuçları

Analizler	Şalgam				
	Kontrol Numunesi	**Pastörize Numune**	**YHB**	**MD**	**TS**
TMAC azalma (log kob/mL)	-	$8,06 \pm 0,06^{a}$	$5,31 \pm 0,10^{b}$	$5,28 \pm 0,07^{b}$	$3,90 \pm 0,04^{c}$
LAB azalma (log kob/mL)	-	$6,68 \pm 0,02^{a}$	$5,78 \pm 0,05^{b}$	$4,05 \pm 0,04^{c}$	$3,65 \pm 0,06^{d}$
M&K azalma (log kob/mL)	-	$4,63 \pm 0,05^{a}$	$4,45 \pm 0,02^{b}$	$3,38 \pm 0,03^{c}$	$2,49 \pm 0,04^{d}$
pH	$3,96 \pm 0,01^{c}$	$3,88 \pm 0,01^{d}$	$4,10 \pm 0,01^{a}$	$3,95 \pm 0,01^{c}$	$3,99 \pm 0,00^{b}$
TÇKM (°Brix)	$1,83 \pm 0,15^{bc}$	$1,79 \pm 0,03^{c}$	$2,15 \pm 0,00^{a}$	$1,76 \pm 0,06^{c}$	$1,86 \pm 0,06^{b}$

Tablo 3.146 Optimum koşullarda işlenen şalgam numunesinin deneysel sonuçları (devamı)

TA (g LA/L)	2,40 ± 0,21[a]	2,68 ± 0,09[a]	2,51 ± 0,21[a]	2,50 ± 0,21[a]	2,43 ± 0,21[a]
İŞM (mg/ 100mL)	5,90 ± 0,09[c]	14,11 ± 0,04[a]	7,68 ± 0,07[b]	4,70 ± 0,02[e]	5,58 ± 0,08[d]
L*	39,48 ± 2,29[a]	29,17 ± 0,81[b]	40,32 ± 1,71[a]	38,81 ± 0,72[a]	38,17 ± 0,08[a]
a*	53,39 ± 1,28[ab]	46,07 ± 0,71[c]	54,21 ± 0,81[a]	51,73 ± 0,30[b]	51,95 ± 0,08[b]
b*	24,30 ± 0,30[a]	18,06 ± 0,91[c]	24,86 ± 1,53[a]	23,99 ± 0,43[a]	22,49 ± 0,08[b]
ΔE	-	14,10 ± 1,73[a]	1,30 ± 0,41[d]	1,82 ± 0,14[c]	2,66 ± 0,43[b]
C*	58,66 ± 1,20[ab]	49,49 ± 0,99[d]	59,64 ± 0,33[a]	57,02 ± 0,47[bc]	56,61 ± 0,07[c]
h°	0,43 ± 0,01[ab]	0,37 ± 0,01[c]	0,43 ± 0,03[ab]	0,43 ± 0,00[a]	0,41 ± 0,01[b]
Renk Yoğunluğu	10,63 ± 0,03[c]	4,89 ± 0,09[e]	12,56± 0,22[a]	10,92 ± 0,06[b]	10,16 ± 0,03[d]
Renk Tonu	0,357 ± 0,002[b]	0,370 ± 0,009[a]	0,342± 0,003[c]	0,363 ± 0,001[ab]	0,359 ± 0,02[ab]
SRT (%)	25,07 ± 0,08[a]	25,27 ± 0,44[a]	24,26± 0,73[b]	25,15 ± 0,04[a]	25,01 ± 0,04[a]
KRT (%)	70,06 ± 0,15[b]	68,15 ± 0,55[d]	70,99± 0,38[a]	69,32 ± 0,13[c]	69,93 ± 0,09[bc]
MRT (%)	4,87 ± 0,10[d]	6,64 ± 0,13[a]	4,75 ± 0,18[d]	5,53 ± 0,08[b]	5,05 ± 0,08[c]
TFM (mg GAE/ 100mL)	43,22 ± 0,40[c]	31,56 ± 0,25[e]	45,79± 0,86[b]	37,08± 0,15[d]	53,92 ± 0,74[a]
TFlav.M (mg KE/ 100 mL)	186,85 ± 23,49[b]	167,14 ± 0,94[d]	194,71 ± 1,08[a]	175,83± 2,54[c]	165,32 ± 3,65[e]
TAK (µmol TE/ 100 mL)	787,67 ± 8,12[a]	590,61 ± 5,34[e]	743,51± 6,14[c]	657,48± 6,96[d]	762,99 ± 4,42[b]
TMA (mg/100 mL)	13,27 ± 0,57[b]	7,35 ± 0,18[d]	12,05 ± 0,14[c]	11,97± 0,25[c]	15,59 ± 0,15[a]

Yüksek hidrostatik basınç uygulamasının hardaliye numunesinde gerçekleştirilmesi ile bağımsız değişkenlerin ideal seviyesinin tahmin edilmesi için M&K azalması, TFM ve TFlav.M sonuçlarında mümkün olan en yüksek değerler hedeflenerek optimizasyon yöntemi uygulanmıştır. Daha yüksek kompozit istenirlik (composite desirability) faktörü elde edebilmek için ANOVA tablolarında tüm modelleme parametrelerinin istatistiksel olarak önemsiz olduğu bazı analiz sonuçları (pH, TÇKM, renk tonu, SRT, MRT ve TMA) model optimizasyonuna dahil

edilmemiştir, ancak optimum koşullar sonucu elde edilen sonuçların hedeflenen değerlere uygunluğu kontrol edilmiştir. Bu şekilde yapılan modellemede optimizasyonunun istenirlik faktörü (0,57), belirtilen analiz sonuçlarının dahil edildiği duruma (0,48) göre çok daha yüksek olduğu tespit edilmiş ve renk değerlerinin hedef değerlere daha yakın elde edildiği görülmüştür. YHP uygulamasının optimum koşul parametreleri, istenen hardaliye kalitesini elde etmek için 431 MPa basınç seviyesi, 20 °C işlem sıcaklığı ve 7,8 dk işlem süresi olmuştur. Bu optimum koşulda modelleme ile, M&K azalması (2,33 log cfu/mL), TA (10,34 glatik asit/L), İŞM (42,02 mg/mL), a* (30,45), b* (6,29), C* (29,64), h° (0,28), renk yoğunluğu (2,99), TFM (68,91 mg GAE/100mL) ve TFlav.M (333,82 mg KE/100 mL) değerlerini üretmiştir. Öngörülen değerlerin yanı sıra YHB optimum koşullarda işlenen hardaliye numunesinin deneysel sonuçları Tablo 3.147'de gösterilmektedir.

Tablo 3.147 Optimum koşullarda işlenen hardaliye numunesinin deneysel sonuçları

Analizler	Hardaliye				
	Kontrol Numunesi	**Pastörize Numune**	**YHB**	**MD**	**TS**
TMAC azalma (log kob/mL)	-	$5,77 \pm 0,06^{a}$	$5,11 \pm 0,11^{b}$	$3,59 \pm 0,08^{c}$	$3,08 \pm 0,02^{d}$
LAB azalma (log kob/mL)	-	$5,71 \pm 0,02^{a}$	$5,02 \pm 0,04^{b}$	$3,45 \pm 0,02^{c}$	$3,07 \pm 0,07^{d}$
M&K azalma (log kob/mL)	-	$2,83 \pm 0,05^{a}$	$2,45 \pm 0,09^{b}$	$1,81 \pm 0,02^{d}$	$2,38 \pm 0,03^{c}$
pH	$3,60 \pm 0,00^{b}$	$3,75 \pm 0,34^{ab}$	$3,58 \pm 0,01^{b}$	$3,72 \pm 0,00^{ab}$	$4,01 \pm 0,01^{a}$
TÇKM (°Brix)	$20,17 \pm 0,06^{b}$	$19,06 \pm 0,06^{c}$	$18,50 \pm 0,06^{d}$	$20,37 \pm 0,06^{a}$	$18,10 \pm 0,06^{e}$
TA (g LA/L)	$8,4 \pm 0,21^{c}$	$11,88 \pm 0,36^{a}$	$10,56 \pm 0,21^{b}$	$10,50 \pm 0,21^{b}$	$10,45 \pm 0,21^{b}$
İŞM (mg/ mL)	$42,02 \pm 0,12^{b}$	$33,38 \pm 0,20^{e}$	$46,08 \pm 0,24^{a}$	$35,96 \pm 0,32^{d}$	$37,75 \pm 0,03^{c}$
L*	$46,53 \pm 0,39^{c}$	$58,53 \pm 0,64^{a}$	$46,72 \pm 0,83^{c}$	$45,11 \pm 0,72^{d}$	$49,43 \pm 0,31^{b}$
a*	$31,39 \pm 0,23^{a}$	$17,74 \pm 0,41^{d}$	$30,01 \pm 0,30^{b}$	$28,13 \pm 0,16^{c}$	$28,45 \pm 0,23^{c}$

Tablo 3.147 Optimum koşullarda işlenen hardaliye numunesinin deneysel sonuçları (devamı)

b*	6,72 ± 0,10^{c}	11,96 ± 0,30^{a}	6,67 ± 0,43^{c}	8,32 ± 0,10^{b}	8,29± 0,28b
ΔE	-	18,92 ± 0,98^{a}	1,40 ± 0,14^{d}	3,90 ± 0,07^{c}	4,42 ± 0,20^{b}
C*	32,10 ± 0,24^{a}	21,40 ± 0,50^{d}	30,74 ± 0,47^{b}	29,33 ± 0,18^{c}	29,63 ± 0,41^{c}
h°	0,21 ± 0,00^{e}	0,59 ± 0,01^{a}	0,22 ± 0,00^{d}	0,29 ± 0,00^{b}	0,28 ± 0,01^{c}
Renk Yoğunluğu	3,50 ± 0,01^{a}	2,19 ± 0,01^{d}	2,59 ± 0,12^{c}	2,84 ± 0,06^{b}	2,10 ± 0,02^{e}
Renk Tonu	0,989 ± 0,002^{b}	1,046 ± 0,016^{a}	0,853 ± 0,003^{d}	0,868 ± 0,001^{d}	0,890 ± 0,006^{c}
SRT (%)	43,23 ± 0,09^{b}	45,51 ± 0,40^{a}	42,15 ± 0,73^{c}	40,68 ± 0,04^{d}	40,56 ± 0,11^{d}
KRT (%)	43,69 ± 0,09^{c}	43,54 ± 0,33^{c}	44,85± 0,38^{b}	44,99 ± 0,13^{b}	49,84 ± 0,13^{a}
MRT (%)	13,08 ± 0,04^{b}	10,95 ± 0,21^{c}	12,99 ± 0,18^{b}	14,33 ± 0,08^{a}	9,59 ± 0,07^{d}
TFM (mg GAE/ 100mL)	66,64 ± 0,35^{c}	59,07 ± 0,39^{e}	67,56 ± 0,30^{b}	75,19 ± 0,51^{a}	63,82 ± 0,23^{d}
TFlav.M (mg KE/ 100 mL)	307,27 ± 0,95^{b}	294,77 ± 2,01^{c}	341,85 ± 2,54^{a}	342,88 ± 2,20^{a}	258,96 ± 4,05^{d}
TAK (µmol TE/ 100 mL)	765,61 ± 3,30^{c}	737,73 ± 11,60^{d}	835,62 ± 5,15^{a}	785,55± 5,13^{b}	732,02 ± 8,41^{d}
TMA (mg/100 mL)	1,22 ± 0,12^{c}	0,78 ± 0,07^{d}	1,27± 0,02^{c}	1,87 ± 0,09^{a}	1,69 ± 0,07^{b}

Mikrodalga uygulamasının şalgam numunesinde gerçekleştirilmesi ile bağımsız değişkenlerin ideal seviyesinin tahmin edilmesi için TMAC azalması, M&K azalması ve TAK sonuçlarında mümkün olan en yüksek değerler hedeflenerek optimizasyon yöntemi uygulanmıştır. Daha yüksek kompozit istenirlik (composite desirability) faktörü elde edebilmek için renk değerleri (renk tonu, SRT, KRT ve MRT) model optimizasyonuna dahil edilmemiştir; ancak optimum koşullar sonucu elde edilen sonuçların hedeflenen değerlere uygunluğu kontrol edilmiştir. Bu şekilde yapılan modellemede optimizasyonunun istenirlik faktörü (0,66), renk parametrelerinin dahil edildiği duruma (0,62) göre çok daha yüksek olduğu tespit edilmiş ve renk değerlerinin hedef değerlere daha yakın elde edildiği görülmüştür.

MD uygulamasının optimum koşul parametreleri, istenen şalgam kalitesini elde etmek için %95 güç seviyesi, 2 rpm dönüş hızı ve 5 dk işlem süresi olmuştur. Bu optimum koşulda modelleme ile, TMAC azalması (5,35 log kob/mL), M&K azalması (3,46 log kob/mL), pH (3,94), TÇKM (1,77 °Brix), TA (2,18 g LA/L), İŞM (4,73 mg/100 mL), L* (38,76), a* (51,78), b* (23,76), C* (56,97), h° (0,43) ve TAK (676,50 μmol TE/100mL) değerlerini üretmiştir. Öngörülen değerlerin yanı sıra MD optimum koşullarda işlenen şalgam numunesinin deneysel sonuçları Tablo 3.146'da gösterilmektedir.

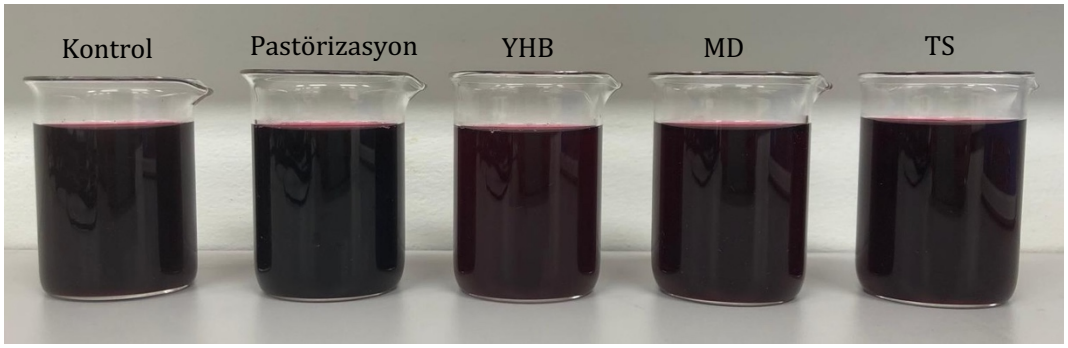
Mikrodalga uygulamasının hardaliye numunesinde gerçekleştirilmesi ile bağımsız değişkenlerin ideal seviyesinin tahmin edilmesi için TMAC azalması, LAB azalması, M&K azalması, TFlav.M ve TMA sonuçlarında mümkün olan en yüksek değerler hedeflenerek optimizasyon yöntemi uygulanmıştır. Daha yüksek kompozit istenirlik (composite desirability) faktörü elde edebilmek için ANOVA tablolarında tüm modelleme parametrelerinin istatistiksel olarak önemsiz olduğu bazı analiz sonuçları (renk tonu, SRT, KRT, MRT ve TFM) model optimizasyonuna dahil edilmemiştir, ancak optimum koşullar sonucu elde edilen sonuçların hedeflenen değerlere uygunluğu kontrol edilmiştir. Bu şekilde yapılan modellemede optimizasyonunun istenirlik faktörü (0,77), belirtilen analiz sonuçlarının dahil edildiği duruma (0,59) göre çok daha yüksek olduğu tespit edilmiş ve renk değerlerinin hedef değerlere daha yakın elde edildiği görülmüştür. MD uygulamasının optimum koşul parametreleri, istenen hardaliye kalitesini elde etmek için %99,49 güç seviyesi, 5,80 rpm dönüş hızı ve 5 dk işlem süresi olmuştur. Bu optimum koşulda modelleme ile, TMAC azalması (3,73 log cfu/mL), LAB azalması (3,58 log cfu/mL), M&K azalması (1,78 log cfu/mL), pH (3,72), TÇKM (20,18 °Brix), İŞM (37,72 mg/mL), L* (46,54), a* (28,22), b* (8,45), C* (30,89), h° (0,21), TFM (74,69 mg GAE/100mL, TFlav.M (344,98 mgKE/100mL) ve TMA (1,89 mg/100mL) değerlerini üretmiştir. Öngörülen değerlerin yanı sıra MD optimum koşullarda işlenen hardaliye numunesinin deneysel sonuçları Tablo 3.147'de gösterilmektedir.

Termosonikasyon uygulamasının şalgam numunesinde gerçekleştirilmesi ile bağımsız değişkenlerin ideal seviyesinin tahmin edilmesi için TFM, TFlav.M, TAK, TMA sonuçlarında mümkün olan en yüksek değerler hedeflenerek optimizasyon yöntemi uygulanmıştır. Ayrıca RSM modelinde uyum eksikliği

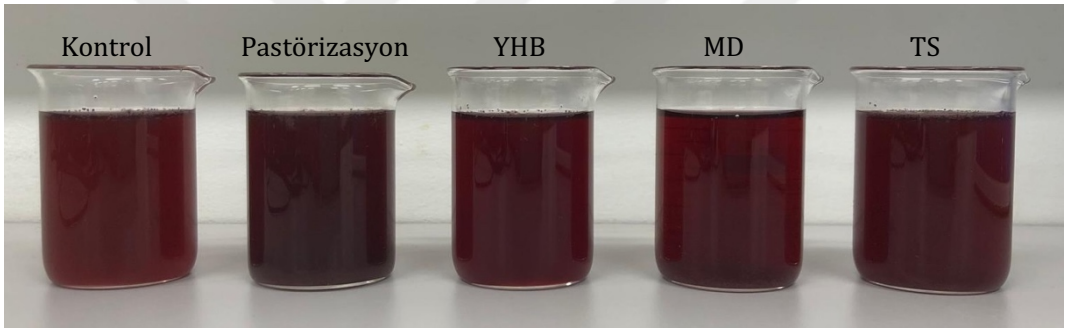
değerinin istatistiksel olarak anlamlı ($p<0,05$) olmasına rağmen TMAC, LAB ve Y&M azalma değerleri için mümkün olan en yüksek değerleri de optimizasyon çalışmasına dahil edilmiştir. Daha yüksek kompozit istenirlik (composite desirability) faktörü elde edebilmek için renk değerleri (ΔE, C* ve MRT) model optimizasyonuna dahil edilmemiştir, ancak optimum koşullar sonucu elde edilen sonuçların hedeflenen değerlere uygunluğu kontrol edilmiştir. Bu şekilde yapılan modellemede optimizasyonunun istenirlik faktörü (0,70), renk parametrelerinin dahil edildiği duruma (0,61) göre çok daha yüksek olduğu tespit edilmiş ve renk değerlerinin hedef değerlere daha yakın elde edildiği görülmüştür. TS uygulamasının optimum koşul parametreleri, istenen şalgam kalitesini elde etmek için 1000W güç seviyesi, 40 °C işlem sıcaklığı ve 6,6 dk işlem süresi olmuştur. Bu optimum koşulda modelleme ile, pH (3,98), TA (2,51 g LA/L), İŞM (5,76 mg/100 mL), L* (38,32), a* (51,55), b* (22,05), TFM (54,82 mg GAE/100mL), TFlav.M (174,34 mg KE/100mL), TAK (778,00 μmol TE/100mL) ve TMA (16,11 mg/100mL) değerlerini üretmiştir. Öngörülen değerlerin yanı sıra TS optimum koşullarda işlenen şalgam numunesinin deneysel sonuçları Tablo 3.146'da gösterilmektedir.

Termosonikasyon uygulamasının hardaliye numunesinde gerçekleştirilmesi ile bağımsız değişkenlerin ideal seviyesinin tahmin edilmesi için TMAC azalması, LAB azalması, TFlav.M, TAK ve TMA sonuçlarında mümkün olan en yüksek değerler hedeflenerek optimizasyon yöntemi uygulanmıştır Daha yüksek kompozit istenirlik (composite desirability) faktörü elde edebilmek için ANOVA tablolarında tüm modelleme parametrelerinin istatistiksel olarak önemsiz olduğu bazı analiz sonuçları (h°) model optimizasyonuna dahil edilmemiştir; ancak optimum koşullar sonucu elde edilen sonuçların hedeflenen değerlere uygunluğu kontrol edilmiştir. Bu şekilde yapılan modellemede optimizasyonunun istenirlik faktörünün (0,53), belirtilen analiz sonuçlarının dahil edildiği duruma (0,60) göre çok daha yüksek olduğu tespit edilmiş ve renk değerlerinin hedef değerlere daha yakın elde edildiği görülmüştür. TS uygulamasının optimum koşul parametreleri, istenen hardaliye kalitesini elde etmek için 833 W basınç seviyesi, 39,2 °C işlem sıcaklığı ve 13,9 dk işlem süresi olmuştur. Bu optimum koşulda modelleme ile, TMAC azalması (3,12 log kob/mL), LAB azalması (3,10 log kob/mL), İŞM (35,20 mg/mL), a* (26,24), b* (9,12), TFlav.M (276,45 mg KE/100 mL), TAK (699,65μmol TE/100mL) ve

TMA (1,67 mg/100 mL) değerlerini üretmiştir. Öngörülen değerlerin yanı sıra TS optimum koşullarda işlenen hardaliye numunesinin deneysel sonuçları Tablo 3.147'de gösterilmektedir.



Şekil 3.65 Geleneksel pastörizasyon ve alternatif uygulamaların optimum koşullarında işlenen şalgam numuneleri



Şekil 3.66 Geleneksel pastörizasyon ve alternatif uygulamaların optimum koşullarında işlenen hardaliye numuneleri

Optimum işleme koşullarının karşılaştırmalı değerlendirmesi yapıldığında, yüksek hidrostatik basınç hem şalgam hem de hardaliye örneklerinde mikrobiyal inaktivasyon ve biyoaktif bileşenlerin korunması açısından en etkili yöntem olarak öne çıkmıştır. YHB ile işlenen örneklerde TMAC, LAB ve M&K analizlerinde en yüksek azalma sağlanırken, toplam fenolikler, flavonoidler ve antosiyaninler gibi biyoaktif bileşenlerin yüksek düzeylerde korunduğu görülmüştür. Şalgamda YHB uygulamasıyla 5,31 log TMAC azalması elde edilirken, TFlav.M seviyesi 194,71 mg KE/100 mL olarak korunmuştur. Ayrıca, YHB ile işlenen örneklerin renk değerlerinin kontrol numuneleri değerlerine çok yakın olduğu belirlenmiş, bu da termal zararların minimum düzeyde olduğunu göstermiştir. Bu sonuçlar, optimum YHB uygulama koşullarının ürün güvenliği ile kalite koruması arasında üstün bir denge sağladığını ortaya koymaktadır.

Mikrodalga (MD) ve Termosonikasyon (TS) uygulamalarına ait optimum koşulların da umut verici sonuçlar gösterdiği tespit edilmiştir, ancak etkinlik düzeylerinde farklılıklar gözlenmiştir. MD uygulaması özellikle şalgamda YHB'ye yakın mikrobiyal azalma sağlarken, yüksek antioksidan aktiviteyi de koruyarak iyi bir alternatif olarak öne çıkmıştır. Öte yandan, TS uygulaması özellikle şalgamda toplam fenolik madde ve antioksidan kapasitenin korunması veya artırılması yönüyle dikkat çekmiştir (TAK: 778 μmol TE/100mL, TFM: 54,82 mg GAE/100mL), ancak mikrobiyal inaktivasyon açısından istenilen seviyeler eide edilememiştir. Hardaliyede ise MD uygulaması fenolik bileşenlerin korunmasında TS'den daha etkili olurken, TS antosiyaninlerin korunmasında daha başarılı olmuştur. Genel olarak tüm yeni teknolojiler, geleneksel pastörizasyona kıyasla besinsel ve duyusal kaliteyi daha iyi korumuş, ancak YHB ait optimum uygulama koşulları her iki içecek türünde de en tutarlı ve etkili yöntem olmuştur.

4
SONUÇ

Bu çalışmada, termal pastörizasyon, yüksek hidrostatik basınç (YHB), mikrodalga (MD) ve termosonikasyon (TS) işlemlerinin iki geleneksel fermente içecek olan şalgam ve hardaliyenin mikrobiyolojik, fizikokimyasal, renk ve biyoaktif özellikleri üzerindeki karşılaştırmalı etkileri değerlendirilmiştir. RSM yöntemi sonucunda gerçekleştirilen optimizasyon çalışmalarından elde edilen sonuçlara göre bu farklı uygulamalar için belirlenen optimum uygulama koşulları hem mikrobiyolojik güvenlik hem de ürün özellikleri açısından daha etkili bir yaklaşım sunmuştur. Bu optimize edilmiş parametreler aşağıda özetlenmiştir (Tablo 4.1). Elde edilen sonuçlar, yenilikçi yöntemlerin pastörizasyondan önemli ölçüde daha iyi performans gösterdiğini, mikrobiyal güvenliği sağlarken üstün kalite korunumu sağladığını vurgulamaktadır. Termal pastörizasyonun belirli bir düzeyde mikrobiyal güvenlik sağlamasına rağmen, genel içecek kalitesini korumada yenilikçi teknolojilerden önemli ölçüde daha kötü performans gösterdiğini açıkça göstermektedir.

Mikrobiyolojik güvenlik açısından, tüm işlemler toplam mezofilik aerobik bakteri (TMAC), laktik asit bakteri (LAB) ve mayalarda önemli azalmalara yol açmıştır. Yenilikçi işleme teknolojilerinin (Yüksek Hidrostatik Basınç (YHB), Mikrodalga (MD) ve Termosonikasyon (TS)) geleneksel fermente içeceklerin mikrobiyolojik güvenliği üzerindeki etkileri araştırılmış ve bunları geleneksel pastörizasyonla karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, pastörizasyon işleminin total inaktivasyon etkinliğine ulaşması ile mikrobiyolojik güvenliği etkili bir şekilde iyileştirdiğini açıkça göstermektedir. Diğer yöntemler arasında ise YHB işlemi her iki ürün için de en etkili yöntem olarak tespit edilmiştir; HACCP kriterlerine göre, uygulanan işlemin hedef mikroorganizmada 5 log azalma sağlaması beklentisini karşılamıştır. Bu da güvenilir bir alternatif koruma yöntemi olarak güçlü potansiyelini göstermiştir.

Benzer etkinlikte inaktivasyon, MD işleminin şalgam numunesine uygulanmasında da elde edilmiştir; ancak hardaliye numunesinde hedef mikroorganizma yüklerinde 5 log azalmaya ulaşılamamıştır. MD işlemi özellikle mayalara karşı etkili olması sebebiyle, hardaliye içeceği matrisine ve LAB yoğunluğuna bağlı olarak inaktivasyon etkinliği değişkenlik göstermiştir. Termosonikasyon (TS) işlemleri mikrobiyal yüklerde önemli azalmalar sağlamış olsa da YHB kadar inaktivasyonda etkili başarı elde edilememiştir.

Fizikokimyasal özellikler açısından pastörizasyon, pH'ta daha keskin düşüşlere ve daha yüksek titrasyon asitliğine yol açmış ve bu da daha agresif kimyasal değişimleri yansıtmıştır. Buna karşılık, YHB, MD ve TS işlemleri bu değerleri kontrol seviyelerine yakın tutarak doğal asit-baz dengesini korumuştur. Ayrıca indirgen şeker miktarı MD ve TS işlemlerinde önemli ölçüde korunurken, pastörizasyon işlemi ile belirgin bir bozulma gözlemlenmiştir. Bu durum fermente edilebilir şekerlerin MD ve TS işlemleri sonrasında lezzet açısından doğal tatlılığın ve fermentasyon dengesinin daha iyi korunduğunu göstermektedir.

Renk analizi, pastörizasyonun L*, a* ve b* değerlerinde daha fazla değişikliklere ve belirgin şekilde daha yüksek toplam renk farkına (ΔE) yol açtığını ortaya koymuştur; ürünlerin görünümde gözle görülür değişimler olduğunu göstermiştir. Buna karşılık, termosonikasyon ve yüksek hidrostatik basınç renk bütünlüğünü korumakta daha başarılı olmuş ve daha düşük ΔE değeri elde edilmiştir. Ek olarak, kromada (C*) ve renk tonunda minimal değişimlere yol açmıştır. MD işlemi, pastörizasyondan daha az kayıplara sebep olmuştur ancak TS ve YHB'dan daha düşük performans göstererek orta düzeyde renk koruması sağlamıştır.

Biyoaktif bileşik perspektifinden bakıldığında, toplam fenolik içerik (TFM), flavonoidler, monomerik antosiyaninler ve antioksidan kapasitesi dahil olmak üzere biyoaktif içerik açısından, termal pastörizasyon belirgin kayıplara neden olmuştur. YHB ve TS işlemleri, özellikle YHB'nin antosiyanin içeriğini neredeyse kontrol seviyelerinde koruyabildiği görülmüş, antosiyanin açısından zengin hardaliye içeceğinde en yüksek biyoaktif stabilite göstermiştir; pastörizasyon uygulaması ise önemli bir düşüşe yol açmıştır. Benzer şekilde, antioksidan kapasitesi YHB ile muamele edilen numunelerde en yüksek seviyelerde tespit edilmiştir; bu sonuçları TS ve MD takip ederken, pastörizasyon uygulaması ile en büyük kayıp ortaya çıkmıştır.

Tablo 4.1 YHB, MD ve TS için belirlenen optimum uygulama koşulları

Parametreler	Optimum Koşullar	
	Şalgam	**Hardaliye**
	YHB	
Basınç (MPa)	367	431
Sıcaklık (°C)	31,9	20
Süre (dk)	10,5	7,8
	MD	
Güç (%)	95	99
Dönüş Hızı (rpm)	2	5,8
Süre (dk)	5	5
	TS	
Güç (W)	1000	833
Sıcaklık (°C)	40	39,2
Süre (dk)	6,6	13,9

Sonuç olarak, pastörizasyon geleneksel ve erişilebilir bir teknik olmaya devam ederken, duyusal, besinsel ve işlevsel kalite üzerindeki olumsuz etkileri onu şalgam ve hardaliye gibi yüksek değerli fermente içecekleri korumak için daha az uygun hale getirdiği görülmektedir. Yenilikçi yöntemler (YHB, MD ve TS teknolojileri) mikrobiyolojik güvenliği sağlamanın yanı sıra, aynı zamanda temel kalite parametrelerini çok daha etkili bir şekilde korumuştur. Bu yenilikçi yöntemler arasında özellikle YHB, hedeflenen kalite özelliklerine bağlı olarak en umut verici yöntem olarak ortaya çıkmıştır; bu yöntemi termosonikasyon ve mikrodalga uygulamaları takip etmektedir. Bu nedenle, işlevsellik, tazelik ve doğal bileşime yönelik tüketici talebinin arttığı geleneksel fermente içeceklerde kaliteyi korumak için pastörizasyon işleminin yeterli olmadığı görülmektedir. Bu çalışma, özellikle *biyoaktivite*, *duyusal bütünlük* ve *temiz etiket* beklentilerinin çok önemli olduğu ürünlerde, geleneksel termal işlemeden yeni nesil koruma teknolojilerine geçişi güçlü bir şekilde desteklemektedir. Bu tür gelişmiş yöntemlerin endüstriyel uygulamaya entegre edilmesi, geleneksel fermente içeceklerin pazar rekabet gücünü ve tüketici sağlık değerini önemli ölçüde artıracaktır.

Mikrobiyolojik güvenlik ve kalite parametrelerinin korumasının yanı sıra, bu çalışmada araştırılan yenilikçi teknolojilerin endüstriyel uygulanabilirlikleri açısından değerlendirilmesi esastır. Bu yöntemler nispeten yüksek ekipman yatırımı gerektirse de, daha düşük enerji tüketimi, daha kısa işleme süreleri ve yüksek sıcaklık kaynaklı bozulma olmadan ürün kalitesini koruma yeteneği yoluyla üreticilere uzun vadeli ekonomik faydalar sunmaktadır. Özellikle geleneksel olarak kimyasal koruyucularla raf ömrü uzatılan fermente içeceklerde, bu katkı maddeleri temiz etiket (clean label) kavramı doğrultusunda tüketiciler tarafından giderek daha fazla sorgulanmakta ve tercih edilmemektedir. Bu nedenle, doğal, katkı maddesi içermeyen ve besin değeri korunan ürünlere yönelik artan tüketici talebi, bu yeni teknolojiler için önemli bir pazar avantajı sağlamaktadır. Geleneksel pastörizasyon termal yapısı nedeniyle kalite kayıplarına yol açabilmektedir; bu alternatif yöntemler yalnızca ürün bütünlüğünü korumakla kalmaz, aynı zamanda değişen tüketici beklentileriyle daha iyi uyum sağlamaktadır. Gıda üreticilerinin bakış açısından, bu yenilikçi teknolojilerin uygulanabilirliği üretim verimliliğini artırarak ve katma değerli ürünlerin geliştirilmesini sağlayarak olumlu bir bakış açısı sunmaktadır.

Teknolojik avantajlarının yanı sıra bu yenilikçi yöntemler sürdürülebilirlik açısından da önemli faydalar sunmaktadır. Geleneksel termal pastörizasyona kıyasla, bu yenilikçi ve hafif termal teknikler genellikle daha düşük enerji kullanımı gerektirir ve ürüne daha az termal hasar vererek istenmeyen kalite kayıplarından kaynaklanan gıda israfını azaltmaktadır. Dahası, TS ve MD gibi işlemler, *minimum su kullanımı* ve *daha düşük karbon emisyonuyla sürekli veya toplu işleme için optimizasyon potansiyeline* sahiptir. Bu tür enerji tasarruflu teknolojilerin benimsenmesi, gıda endüstrisinin daha sürdürülebilir uygulamalara geçişini desteklemekte ve çevresel etkiyi azaltmaya yönelik küresel çabalarla uyumludur. Uzun süreli ısıl işlemlere olan bağımlılığı en aza indirilmesi ve hem ürün kalitesini koruyan hem de raf ömrünü uzatan bu teknolojiler, kaynakların ve çevrenin korunmasına olumlu katkıda bulunmaktadır.

KAYNAKÇA

[1] L. Cuamatzin-garcía *et al.*, "Traditional Fermented Foods and Beverages from around the World and Their Health Benefits," *Microorganisms*, vol. 10, no. 6, pp. 1–18, 2022, doi: 10.3390/microorganisms10061151.

[2] A. S. Naidu, W. R. Bidlack, and R. A. Clemens, "Critical Reviews in Food Science and Nutrition Probiotic Spectra of Lactic Acid Bacteria (LAB) Probiotic Spectra of Lactic Acid Bacteria (LAB)," *Crit Rev Food Sci Nutr*, vol. 38, no. 1, pp. 13–126, 1999.

[3] P. E. McGovern *et al.*, "Fermented beverages of pre- and proto-historic China," *Proc Natl Acad Sci U S A*, vol. 101, no. 51, pp. 17593–17598, 2004, doi: 10.1073/pnas.0407921102.

[4] D. A. Anagnostopoulos and D. Tsaltas, *Fermented Foods and Beverages*. 2019. doi: 10.1016/B978-0-12-814887-7.00010-1.

[5] M. Mannaa, G. Han, Y. S. Seo, and I. Park, "Evolution of food fermentation processes and the use of multi-omics in deciphering the roles of the microbiota," *Foods*, vol. 10, no. 11, 2021, doi: 10.3390/foods10112861.

[6] E. Dimidi, S. R. Cox, M. Rossi, and K. Whelan, "Fermented foods: Definitions and characteristics, impact on the gut microbiota and effects on gastrointestinal health and disease," *Nutrients*, vol. 11, no. 8, 2019, doi: 10.3390/nu11081806.

[7] M. J. R. Nout, "Food Technologies: Fermentation," *Encyclopedia of Food Safety*, vol. 3, pp. 168–177, 2014, doi: 10.1016/B978-0-12-378612-8.00270-5.

[8] J. L. Navarrete-Bolaños, "Improving traditional fermented beverages: How to evolve from spontaneous to directed fermentation," *Eng Life Sci*, vol. 12, no. 4, pp. 410–418, 2012, doi: 10.1002/elsc.201100128.

[9] M. L. Marco *et al.*, “Health benefits of fermented foods: microbiota and beyond,” *Curr Opin Biotechnol*, vol. 44, pp. 94–102, 2017, doi: 10.1016/j.copbio.2016.11.010.

[10] J. De Roos and L. De Vuyst, “Acetic acid bacteria in fermented foods and beverages,” *Curr Opin Biotechnol*, vol. 49, pp. 115–119, 2018, doi: 10.1016/j.copbio.2017.08.007.

[11] D. Ansorena and I. Astiasaran, “Fermented foods: Composition and health effects encyclopedia of food and health,” Oxford: Academic Press, 2016, pp. 645–655.

[12] N. Şanlier, B. B. Gökcen, and A. C. Sezgin, “Health benefits of fermented foods,” *Crit Rev Food Sci Nutr*, vol. 59, no. 3, pp. 506–527, 2019, doi: 10.1080/10408398.2017.1383355.

[13] I. Vīna, R. Linde, A. Patetko, and P. Semjonovs, “Glucuronic acid from fermented beverages: biochemical functions in humans and its role in health protection,” *Ijrras*, vol. 14, no. 2, pp. 217–230, 2013.

[14] E. C. Borresen, A. J. Henderson, A. Kumar, T. L. Weir, and P. Elizabeth, “Fermented Foods: Patented Approaches and Formulations for Nutritional Supplementation and Health Promotion,” *Recent Pat Food Nutr Agric.*, vol. 4, no. 2, pp. 134–140, 2016.

[15] L. Nuraida, “A review: Health promoting lactic acid bacteria in traditional Indonesian fermented foods,” *Food Science and Human Wellness*, vol. 4, no. 2, pp. 47–55, 2015, doi: 10.1016/j.fshw.2015.06.001.

[16] F. Altay, F. Karbancioglu-Güler, C. Daskaya-Dikmen, and D. Heperkan, “A review on traditional Turkish fermented non-alcoholic beverages: Microbiota, fermentation process and quality characteristics,” *Int J Food Microbiol*, vol. 167, no. 1, pp. 44–56, 2013, doi: 10.1016/j.ijfoodmicro.2013.06.016.

[17] M. Konstantinidi and A. E. Koutelidakis, “Functional Foods and Bioactive Compounds: A Review of Its Possible Role on Weight Management and Obesity’s Metabolic Consequences,” *Medicines*, vol. 6, no. 3, p. 94, 2019, doi: 10.3390/medicines6030094.

[18] S. Nsogning Dongmo, S. Procopio, B. Sacher, and T. Becker, “Flavor of lactic acid fermented malt based beverages: Current status and perspectives,” *Trends Food Sci Technol*, vol. 54, pp. 37–51, 2016, doi: 10.1016/j.tifs.2016.05.017.

[19] S. J. P. M. Eussen *et al.*, “Consumption of dairy foods in relation to impaired glucose metabolism and type 2 diabetes mellitus: The Maastricht Study,” *British Journal of Nutrition*, vol. 115, no. 8, pp. 1453–1461, 2016, doi: 10.1017/S0007114516000313.

[20] M. Chen *et al.*, “Dairy consumption and risk of type 2 diabetes: 3 cohorts of US adults and an updated meta-analysis,” *BMC Med*, vol. 12, no. 1, pp. 1–14, 2014, doi: 10.1186/s12916-014-0215-1.

[21] C. Zhang *et al.*, “Ecological robustness of the gut microbiota in response to ingestion of transient food-borne microbes,” *ISME Journal*, vol. 10, no. 9, pp. 2235–2245, 2016, doi: 10.1038/ismej.2016.13.

[22] E. Pessione and S. Cirrincione, “Bioactive molecules released in food by lactic acid bacteria: Encrypted peptides and biogenic amines,” *Front Microbiol*, vol. 7, no. JUN, pp. 1–19, 2016, doi: 10.3389/fmicb.2016.00876.

[23] C. Martinez-Villaluenga, E. Peñas, and J. Frias, *Bioactive Peptides in Fermented Foods: Production and Evidence for Health Effects*. Elsevier Inc., 2017. doi: 10.1016/B978-0-12-802309-9.00002-9.

[24] E. M. Hebert, L. Saavedra, and P. Ferranti., “Bioactive Peptides Derived from Casein and Whey Proteins,” in *Biotechnology of lactic acid bacteria*, Ames, Iowa, USA: Wiley-Blackwel, 2010, pp. 233–249.

[25] J. P. Tamang, D. H. Shin, S. J. Jung, and S. W. Chae, “Functional properties of microorganisms in fermented foods,” *Front Microbiol*, vol. 7, no. APR, pp. 1–13, 2016, doi: 10.3389/fmicb.2016.00578.

[26] S. Rezac, C. R. Kok, M. Heermann, and R. Hutkins, “Fermented foods as a dietary source of live organisms,” *Front Microbiol*, vol. 9, no. AUG, 2018, doi: 10.3389/fmicb.2018.01785.

[27] S. N. Chilton, J. P. Burton, and G. Reid, “Inclusion of fermented foods in food guides around the world,” *Nutrients*, vol. 7, no. 1, pp. 390–404, 2015, doi: 10.3390/nu7010390.

[28] H. Xiang, D. Sun-Waterhouse, G. I. N. Waterhouse, C. Cui, and Z. Ruan, “Fermentation-enabled wellness foods: A fresh perspective,” *Food Science and Human Wellness*, vol. 8, no. 3, pp. 203–243, 2019, doi: 10.1016/j.fshw.2019.08.003.

[29] M. Coton, A. Pawtowski, B. Taminiau, G. Burgaud, and F. Deniel, “Unravelling microbial ecology of industrial-scale Kombucha fermentations by metabarcoding and culture based methods,” pp. 1–41.

[30] N. Aktan, H. Kalkan, and U. Yücel, *Tursu Teknolojisi*, 2nd edn. E.U. Ege Meslek Yuksek Okulu Yayinlari No: 23, Izmir, Turkey, 1999.

[31] A. Canbas and A. Deryaoglu, “A research on the processing techniques and characteristic of salgam beverage,” *Doga-Turk. J. Agr. Forest.*, vol. 17, pp. 119–129, 1993.

[32] F. Coskun and M. Arici, “The effects of using different mustard seeds and starter cultures on some properties of hardaliye,” *Ann Microbiol*, vol. 56, no. 4, pp. 335–337, 2006, doi: 10.1007/BF03175027.

[33] D. Kammerer, R. Carle, and A. Schieber, “Detection of peonidin and pelargonidin glycosides in black carrots (Daucus carota ssp. sativus var. atrorubens Alef.) by high-performance liquid chromatography/electrospray ionization mass spectrometry,” *Rapid Communications in Mass Spectrometry*, vol. 17, no. 21, pp. 2407–2412, 2003, doi: 10.1002/rcm.1212.

[34] E. C. Montilla, M. R. Arzaba, S. Hillebrand, and P. Winterhalter, “Anthocyanin composition of black carrot (Daucus carota ssp. sativus var. atrorubens Alef.) Cultivars antonina, beta sweet, deep purple, and purple haze,” *J Agric Food Chem*, vol. 59, no. 7, pp. 3385–3390, 2011, doi: 10.1021/jf104724k.

[35] H. Tanguler and H. Erten, “Occurrence and growth of lactic acid bacteria species during the fermentation of shalgam (salgam), a traditional Turkish

fermented beverage," *Lwt*, vol. 46, no. 1, pp. 36–41, 2012, doi: 10.1016/j.lwt.2011.10.026.

[36] A. Canbaş and A. Deryaoğlu, "Şalgam suyunun üretim tekniği ve bileşimi üzerine bir araştırma," *Doğa*, vol. 17, pp. 119–129, 1993.

[37] A. Canbaş and H. Fenercioğlu, "Şalgam suyu üzerine bir araştırma," *Gıda*, vol. 9, no. 5, pp. 279–286, 1984.

[38] B. Agirman and H. Erten, "The influence of various chloride salts to reduce sodium content on the quality parameters of Salgam (Shalgam): A traditional Turkish beverage based on black carrot," *J Food Qual*, vol. 2018, 2018, doi: 10.1155/2018/3292185.

[39] L. Yilmaz-Ersan and M. A. Turan, "Major and minor element concentrations in fermented shalgam beverage," *Int J Food Prop*, vol. 15, no. 4, pp. 903–911, 2012, doi: 10.1080/10942912.2010.506621.

[40] F. Coskun, "A Traditional Turkish Fermented Non-Alcoholic Grape-Based Beverage, 'Hardaliye,'" *Beverages*, vol. 3, no. 4, p. 2, 2017, doi: 10.3390/beverages3010002.

[41] H. Erten, H. Tanguler, and A. Canbaş, "A Traditional Turkish lactic acid fermented beverage: Shalgam (Salgam)," *Food Reviews International*, vol. 24, no. 3, pp. 352–359, 2008, doi: 10.1080/87559120802089324.

[42] H. Erten and H. Tanguler, "Shalgam (Şalgam): A Traditional Turkish Lactic Acid Fermented Beverage Based on Black Carrot," in *Handbook of Vegetable Preservation and Processing*, 2nd Editio., CRC Press, 2015, p. 12.

[43] H. Tanguler, S. Selli, K. Sen, T. Cabaroglu, and H. Erten, "Aroma composition of shalgam: a traditional Turkish lactic acid fermented beverage," *J Food Sci Technol*, vol. 54, no. 7, pp. 2011–2019, 2017, doi: 10.1007/s13197-017-2637-1.

[44] F. Coskun, "A traditional turkish fermented non-alcoholic beverage, 'shalgam,'" *Beverages*, vol. 3, no. 4, 2017, doi: 10.3390/beverages3040049.

[45] H. Tangüler and H. Erten, "Şalgam Suyu Üretiminde Gerçekleştirilen Hamur Fermantasyonu Sırasında İzole Edilen Laktik Asit Bakterilerinin Tanımlanması," *Journal*, vol. 10, no. 2, pp. 48–54, 2012.

[46] M. Arıcı, “Mikrobiologische und chemische Eigenschaften von Salgam,” *Ernahrungs-Umschau*, vol. 51, no. 1, p. 10, 2004.

[47] S. Paramithiotis, S. Gioulatos, E. Tsakalidou, and G. Kalantzopoulos, “Interactions between Saccharomyces cerevisiae and lactic acid bacteria in sourdough,” *Process Biochemistry*, vol. 41, no. 12, pp. 2429–2433, 2006, doi: 10.1016/j.procbio.2006.07.001.

[48] A. Corsetti, L. Settanni, S. Valmorri, M. Mastrangelo, and G. Suzzi, “Identification of subdominant sourdough lactic acid bacteria and their evolution during laboratory-scale fermentations,” *Food Microbiol*, vol. 24, no. 6, pp. 592–600, 2007, doi: 10.1016/j.fm.2007.01.002.

[49] N. Turker, S. Aksay, O. Istanbullu, and E. Artuvan, “A study on the relation between anthocyanin content and product quality: Shalgam as a model beverage,” *J Food Qual*, vol. 30, no. 6, pp. 953–969, 2007, doi: 10.1111/j.1745-4557.2007.00171.x.

[50] F. C. Stintzing and R. Carle, “Functional properties of anthocyanins and betalains in plants, food, and in human nutrition,” *Trends Food Sci Technol*, vol. 15, no. 1, pp. 19–38, 2004, doi: 10.1016/j.tifs.2003.07.004.

[51] A. Kirca, M. Özkan, and B. Cemeroğlu, “Stability of black carrot anthocyanins in various fruit juices and nectars,” *Food Chem*, vol. 97, no. 4, pp. 598–605, 2006, doi: 10.1016/j.foodchem.2005.05.036.

[52] H. Michida, S. Tamalampudi, S. S. Pandiella, C. Webb, H. Fukuda, and A. Kondo, “Effect of cereal extracts and cereal fiber on viability of Lactobacillus plantarum under gastrointestinal tract conditions,” *Biochem Eng J*, vol. 28, no. 1, pp. 73–78, 2006, doi: 10.1016/j.bej.2005.09.004.

[53] B. Incedayı, V. Uylaşer, and U. A. Çopur, “A traditional Turkish beverage shalgam: Manufacturing technique and nutritional value,” *J Food Agric Environ*, vol. 6, pp. 31–34, 2008.

[54] S. Velioğlu, “Doğal antioksidanların insan sağlığına etkileri,” 2000.

[55] D. A. McCarron and M. E. Reusser, “Are low intakes of calcium and potassium important causes of cardiovascular disease?,” *Am J Hypertens*, vol. 14, no. 6 II, pp. 206–212, 2001, doi: 10.1016/s0895-7061(01)02090-8.

[56] P. Akhter, N. Ashraf, D. Mohammad, S. D. Orfi, and N. Ahmad, “Nutritional and radiological impact of dietary potassium on the Pakistani population,” *Food and Chemical Toxicology*, vol. 41, no. 4, pp. 531–534, 2003, doi: 10.1016/S0278-6915(02)00283-1.

[57] M. Kobæk-Larsen, L. P. Christensen, W. Vach, J. Ritskes-Hoitinga, and K. Brandt, “Inhibitory effects of feeding with carrots or (-)-falcarinol on development of azoxymethane-induced preneoplastic lesions in the rat colon,” *J Agric Food Chem*, vol. 53, no. 5, pp. 1823–1827, 2005, doi: 10.1021/jf048519s.

[58] H. A. Karaoglan, N. M. Keklik, and N. Develi Işikli, “Modeling Inactivation of Candida inconspicua Isolated from Turnip Juice using Pulsed UV Light,” *J Food Process Eng*, vol. 40, no. 2, 2017, doi: 10.1111/jfpe.12418.

[59] H. A. Karaoglan, N. M. Keklik, and N. Develi Isıklı, “Degradation kinetics of anthocyanin and physicochemical changes in fermented turnip juice exposed to pulsed UV light,” *J Food Sci Technol*, vol. 56, no. 1, pp. 30–39, 2019, doi: 10.1007/s13197-018-3434-1.

[60] N. Şanlier, B. B. Gökcen, and A. C. Sezgin, “Health benefits of fermented foods,” *Crit Rev Food Sci Nutr*, vol. 59, no. 3, pp. 506–527, 2019, doi: 10.1080/10408398.2017.1383355.

[61] M. Arici and F. Coskun, “Hardaliye: Fermented grape juice as a traditional Turkish beverage,” *Food Microbiol*, vol. 18, no. 4, pp. 417–421, 2001, doi: 10.1006/fmic.2001.0413.

[62] B. Aşkin and A. Atik, “Color, phenolic composition, and antioxidant properties of hardaliye (Fermented grape beverage) under different storage conditions,” *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, vol. 40, no. 6, pp. 803–812, 2016, doi: 10.3906/tar-1602-111.

[63] S. LEYLAK ÇAŞKURLU, “HARDALİYE ÜRETİM SÜRECİ VE SÜRECİ ETKİLEYEN FAKTÖRLERİN KALİTE ÜZERİNE ETKİLERİ,” *Kırklareli Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, vol. 9, no. 1, pp. 198–212, Jun. 2023, doi: 10.34186/klujes.1252693.

[64] F. Coskun, “A Traditional Turkish Fermented Non-Alcoholic Grape-Based Beverage, ‘Hardaliye,’” *Beverages*, vol. 3, no. 4, p. 2, 2017, doi: 10.3390/beverages3010002.

[65] Y. Gucer, H. Aydogdu, and T. Durgun, “a Traditional Thracian Beverage ; ‘ Hardaliye ,’” vol. 7, no. 3, pp. 208–210, 2009.

[66] K. Bauer and D. Garbe, *Common fragrance and flavor materials. Preparation, properties and uses.* . Weinheim: Weinheim: VCH Verlagsgeselschaft mbH., 1985.

[67] B. Atmaca, M. Demiray, G. Evrendilek, N. Bulut, and S. Uzuner, “High Pressure Processing of Traditional Hardaliye Drink: Effect on Quality and Shelf-Life Extension,” no. June, 2023, doi: 10.20944/preprints202306.1314.v1.

[68] E. Ozturk, H. Alpas, and M. Arici, “Effect of the High Hydrostatic Pressure Process on the Microbial and Physicochemical Quality of Shalgam,” *ACS Omega*, vol. 9, no. 9, pp. 10400–10414, 2024, doi: 10.1021/acsomega.3c08297.

[69] R. Murugan, B. Joseph, and S. Prakash, “Adverse effects of chemical preservatives: A review,” *Journal of Food and Nutrition*, vol. 1, no. 1, 2022.

[70] J. O. Warner, “Artificial food additives: hazardous to long-term health,” Nov. 01, 2024, *BMJ Publishing Group*. doi: 10.1136/archdischild-2023-326565.

[71] M. M. Silva and F. C. Lidon, “Food preservatives - An overview on applications and side effects,” 2016, *United Arab Emirates University*. doi: 10.9755/ejfa.2016-04-351.

[72] D. Samal, S. Gouda, and J. Patra, “Food Preservatives and Their Uses: A Short Report,” *Asian Journal of Biology*, vol. 4, no. 1, pp. 1–4, Jan. 2017, doi: 10.9734/ajob/2017/36091.

[73] N. Zengin, D. Yüzbaşioğlu, F. Ünal, S. Yilmaz, and H. Aksoy, “The evaluation of the genotoxicity of two food preservatives: Sodium benzoate and potassium benzoate,” *Food and Chemical Toxicology*, vol. 49, no. 4, pp. 763–769, Apr. 2011, doi: 10.1016/j.fct.2010.11.040.

[74] T. Deak, “Thermal Treatment,” in *Food Safety Management: A Practical Guide for the Food Industry*, Elsevier, 2013, pp. 423–442. doi: 10.1016/B978-0-12-381504-0.00017-2.

[75] A. Karim *et al.*, “Introduction to thermal food processes by steam and hot water,” in *Thermal Processing of Food Products by Steam and Hot Water*, Elsevier, 2023, pp. 3–26. doi: 10.1016/B978-0-12-818616-9.00001-8.

[76] R. Bhadekar and J. Bhola, “Nonconventional Preservation Techniques: Current Trends and Future Prospects,” in *Preservatives and Preservation Approaches in Beverages*, Elsevier, 2019, pp. 115–147. doi: 10.1016/B978-0-12-816685-7.00004-5.

[77] K. M. Keener, “Food Regulations,” in *Handbook of Farm, Dairy and Food Machinery Engineering*, Elsevier, 2019, pp. 15–44. doi: 10.1016/B978-0-12-814803-7.00002-6.

[78] M. Azizi-Lalabadi, N. R. Moghaddam, and S. M. Jafari, “Pasteurization in the food industry,” in *Thermal Processing of Food Products by Steam and Hot Water*, Elsevier, 2023, pp. 247–273. doi: 10.1016/B978-0-12-818616-9.00009-2.

[79] D. Trick, “Pasteurisation,” 2024.

[80] H. Alpas, N. Kalchayanand, F. Bozoglu, and B. Ray, “Interactions of high hydrostatic pressure, pressurization temperature and pH on death and injury of pressure-resistant and pressure-sensitive strains of foodborne pathogens,” *Int J Food Microbiol*, vol. 60, pp. 33–42, 2000.

[81] S. Buzrul, “Multi-Pulsed High Hydrostatic Pressure Treatment of Foods,” *Foods*, vol. 4, pp. 173–183, 2015.

[82] W. M. Elamin, J. B. Endan, Y. A. Yosuf, R. Shamsudin, and A. Ahmedov, “High pressure processing technology and equipment evolution: A review,” *Journal of Engineering Science and Technology Review*, vol. 8, no. 5, pp. 75–83, 2015, doi: 10.25103/jestr.085.11.

[83] D. Bermudez-Aguirre and G. V. Barbosa-Canovas, “An Update on High Hydrostatic Pressure, from the Laboratory to Industrial Applications,” *Food Eng. Rev.*, vol. 3, pp. 44–61, 2011.

[84] S. Chakraborty and P. S. Rao, “Impact of HPP on antioxidant capacity of fruit beverages,” 2015.

[85] S. Murao, Y. Nomura, M. Yoshikawa, T. Shin, H. Oyama, and M. Ajari, “Enhancement of Activities of Cellulases under High Hydrostatic Pressure,” *Bioscience, Biotaechnology and Biochemistry*, vol. 56, no. 8, pp. 1366–1367, 1992.

[86] E. Ohmae, C. Murakami, K. Gekko, and C. Kato, “Pressure Effects on Enzyme Functions,” *J. Biol. Macromol.*, vol. 7, pp. 23–29, 2007.

[87] M. Pilavtepe-Çelik, “High hydrostatic pressure (HHP) inactivation of foodborne pathogens in low-acid juices,” *Int J Food Sci Technol*, vol. 48, no. 4, pp. 673–677, 2013, doi: 10.1111/j.1365-2621.2012.03218.x.

[88] X. Xu *et al.*, “Comparative study of high hydrostatic pressure and high temperature short time processing on quality of clear and cloudy Se-enriched kiwifruit juices,” *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, vol. 49, pp. 1–12, 2018, doi: 10.1016/j.ifset.2018.07.010.

[89] T. Yu, X. Zhang, R. Feng, C. Wang, X. Wang, and Y. Wang, “Comparison of the Effects of High Hydrostatic Pressure and Pasteurization on Quality of Milk during Storage,” *Foods*, vol. 11, no. 18, pp. 1–19, 2022, doi: 10.3390/foods11182837.

[90] G. Han *et al.*, “Quality and flavor changes in beef jerky caused by high hydrostatic pressure combined with moisture regulator treatments during storage,” *Food Science of Animal Products*, 2023, doi: 10.26599/fsap.2023.9240001.

[91] N. B. Gültekin, “Effect of High Hydrostatic Pressure Treatment on Some Qualty Properties, Squeezing Pressure Effect and Shelf Life of Pomogranate (Punica granatum) Juice Against Thermal Treatment,” Orta Doğu Teknik Üniversitesi, 2012.

[92] M. J. Torres-Ossandón, L. Castillo, K. S. Ah-Hen, and A. Vega-Gálvez, “Effect of high hydrostatic pressure processing on phytochemicals, antioxidant activity, and behavior of Botrytis cinerea in white grape juice

concentrate," *J Food Process Preserv*, vol. 44, no. 11, pp. 1–14, 2020, doi: 10.1111/jfpp.14864.

[93] J. Pokorný and Š. Schmidt, "Natural antioxidant functionality during food processing," in *Antioxidants in Food*, Elsevier, 2001, pp. 331–354. doi: 10.1016/9781855736160.4.331.

[94] H. Brittany, *Microwave Synthesis: Chemistry at the Speed of Light*. Matthews: CEM Publishing, 2002.

[95] C. Contreras, M. Benlloch-Tinoco, D. Rodrigo, and N. Martínez-Navarrete, "Impact of microwave processing on nutritional, sensory, and other quality attributes," in *The Microwave Processing of Foods: Second Edition*, Elsevier Inc., 2017, pp. 65–99. doi: 10.1016/B978-0-08-100528-6.00004-8.

[96] R. Suleman, Z. Wang, R. M. Aadil, T. Hui, D. L. Hopkins, and D. Zhang, "Effect of cooking on the nutritive quality, sensory properties and safety of lamb meat: Current challenges and future prospects," Sep. 01, 2020, *Elsevier Ltd*. doi: 10.1016/j.meatsci.2020.108172.

[97] K. Skog and A. Solyakov, "Heterocyclic amines in poultry products: a literature review." [Online]. Available: www.elsevier.com/locate/foodchemtox

[98] Q. Guo, D. W. Sun, J. H. Cheng, and Z. Han, "Microwave processing techniques and their recent applications in the food industry," Sep. 01, 2017, *Elsevier Ltd*. doi: 10.1016/j.tifs.2017.07.007.

[99] R. A. Stanley and K. Petersen, "Microwave-assisted pasteurization and sterilization-commercial perspective," in *The Microwave Processing of Foods: Second Edition*, Elsevier Inc., 2017, pp. 200–219. doi: 10.1016/B978-0-08-100528-6.00010-3.

[100] P. Coronel, J. Simunovic, K. P. Sandeep, G. D. Cartwright, and P. Kumar, "Sterilization solutions for aseptic processing using a continuous flow microwave system," *J Food Eng*, vol. 85, no. 4, pp. 528–536, Apr. 2008, doi: 10.1016/j.jfoodeng.2007.08.016.

[101] C. Saltiel and A. K. Datta, "Heat and Mass Transfer in Microwave Processing," in *Advences in Heat Transfer*, 1999, p. 524.

[102] S. Vasistha, A. Khanra, M. Clifford, and M. P. Rai, “Current advances in microalgae harvesting and lipid extraction processes for improved biodiesel production: A review,” Mar. 01, 2021, *Elsevier Ltd*. doi: 10.1016/j.rser.2020.110498.

[103] J. Azmir *et al.*, “Techniques for extraction of bioactive compounds from plant materials: A review,” *J Food Eng*, vol. 117, no. 4, pp. 426–436, 2013, doi: 10.1016/j.jfoodeng.2013.01.014.

[104] B. K. Tiwari, “Ultrasound: A clean, green extraction technology,” Sep. 01, 2015, *Elsevier B.V.* doi: 10.1016/j.trac.2015.04.013.

[105] D. J. McClements, “Advances in the application of ultrasound in food analysis and processing,” *Trends Food Sci Technol*, vol. 6, no. 9, pp. 293–299, 1995, doi: 10.1016/S0924-2244(00)89139-6.

[106] I. Basmaci, “On liquefaction and quality parameters of selected honey,” 2010.

[107] C. Leadley and A. Williams, “Power ultrasound–current and potential applications for food processingLeadley, C., Williams,” *Campden and Chorleywood Food Research Association.*, vol. Review No, 2002.

[108] F. J. Sala, J. Burgos, S. Condón, P. Lopez, and J. Raso, “Effect of heat and ultrasound on microorganisms and enzymes,” *New Methods of Food Preservation*, pp. 176–204, 1995.

[109] G. Scherba, R. M. Weigel, and W. D. O’Brien, “Quantitative assessment of the germicidal efficacy of ultrasonic energy,” *Appl Environ Microbiol*, vol. 57, no. 7, pp. 2079–2084, 1991, doi: 10.1128/aem.57.7.2079-2084.1991.

[110] N. Kutlu, R. Pandiselvam, I. Saka, A. Kamiloglu, P. Sahni, and A. Kothakota, “Impact of different microwave treatments on food texture,” *J Texture Stud*, vol. 53, no. 6, pp. 709–736, 2022, doi: 10.1111/jtxs.12635.

[111] S. Nikitenko and F. Chemat, “Ultrasound in Process Engineering,” in *Green Process Engineering*, CRC Press, 2015, pp. 145–165. doi: 10.1201/b18533-9.

[112] D. Tanrıseven, S. Dıblan, and S. Selli, "Şalgam Suyunun Üretim Yöntemleri Ve Biyoaktif Bileşenleri," *Artıbilim: Adana Bilim ve Teknoloji Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, vol. 1, no. 1, pp. 38–45, 2018.

[113] "Şalgam Üretimi," in *OMÜ Açık Ders Notları*.

[114] F. Coşkun, M. Arıcı, G. Çelikyurt, and M. Gülcü, "Farklı Yöntemler Kullanılarak Üretilen Hardaliyelerin Bazı Özelliklerinde Depolama Sonunda Meydana Gelen Değişmeler Changes Occuring at The End of Storage in Some Properties of Hardaliye Produced by Using Different Methods Giriş Materyal ve Yöntem Hardali," vol. 9, no. 3, 2012.

[115] "Temel İşlemler," in *OMÜ Açık Ders Notları*.

[116] AOAC, *Official methods of analysis*, 15th ed. Association of Official Analytical Chemists, 1990.

[117] G. L. Miller, "Use of Dinitrosalicylic Acid Reagent for Determination of Reducing Sugar," *Anal Chem*, vol. 31, no. 3, pp. 426–428, 1959, doi: 10.1021/ac60147a030.

[118] V. L. Singleton and J. A. Rossi, "Colorimetry of Total Phenolics with Phosphomolybdic-Phosphotungstic Acid Reagents," *Am J Enol Vitic*, vol. 16, pp. 144–158, 1965, doi: 10.5344/ajev.1965.16.3.144.

[119] J. Zhishen, T. Mengcheng, and W. Jianming, "The determination of flavonoid contents in mulberry and their scavenging effects on superoxide radicals," 1999. doi: 10.1016/S0308-8146(98)00102-2.

[120] R. Apak, K. Güçlü, M. Özyürek, and S. E. Karademir, "Novel total antioxidant capacity index for dietary polyphenols and vitamins C and E, using their cupric ion reducing capability in the presence of neocuproine: CUPRAC method," *J Agric Food Chem*, vol. 52, no. 26, pp. 7970–7981, 2004, doi: 10.1021/jf048741x.

[121] M. M. Giusti and R. E. Wrolstad, "Characterization and Measurement of Anthocyanins by UV-Visible Spectroscopy.," *Current Protocols in Food Analytical Chemistry*, p. F1.2.1-F1.2.13, 2001, doi: 10.1002/0471142913.faf0102s00.

[122] T. Mishra, J. Machireddy, and S. Vuppu, “Comprehensive Study on Hygiene and Quality Assessment Practices in the Production of Drinkable Dairy-Based and Plant-Based Fermented Products,” *Fermentation*, vol. 10, no. 9, p. 489, Sep. 2024, doi: 10.3390/fermentation10090489.

[123] K. F. Erol, G. Kutlu, M. Baslar, and F. Tornuk, “Effects of heat treatment and ultraviolet radiation on physicochemical, microbiological, and bioactive properties of shalgam juice,” *Food Sci Nutr*, vol. 12, no. 10, pp. 8441–8453, Oct. 2024, doi: 10.1002/fsn3.4445.

[124] R. M. Ferreira, R. A. Amaral, A. M. S. Silva, S. M. Cardoso, and J. A. Saraiva, “Effect of High-Pressure and Thermal Pasteurization on Microbial and Physico-Chemical Properties of Opuntia ficus-indica Juices,” *Beverages*, vol. 8, no. 4, p. 84, Dec. 2022, doi: 10.3390/beverages8040084.

[125] D. D. Kieling, G. V. Barbosa-Cánovas, and S. H. Prudencio, “Effects of high pressure processing on the physicochemical and microbiological parameters, bioactive compounds, and antioxidant activity of a lemongrass-lime mixed beverage,” *J Food Sci Technol*, vol. 56, no. 1, pp. 409–419, Jan. 2019, doi: 10.1007/s13197-018-3502-6.

[126] Y.-H. Hu, C.-Y. Wang, and B.-Y. Chen, “Effects of high-pressure processing and thermal pasteurization on quality and microbiological safety of jabuticaba (Myrciaria cauliflora) juice during cold storage,” *J Food Sci Technol*, vol. 57, no. 9, pp. 3334–3344, Sep. 2020, doi: 10.1007/s13197-020-04366-w.

[127] D. D. Kieling, G. V. Barbosa-Cánovas, and S. H. Prudencio, “Effects of high pressure processing on the physicochemical and microbiological parameters, bioactive compounds, and antioxidant activity of a lemongrass-lime mixed beverage,” *J Food Sci Technol*, vol. 56, no. 1, pp. 409–419, Jan. 2019, doi: 10.1007/s13197-018-3502-6.

[128] N. J. T. Emelike and P. C. Obinna-Echem, “Effect of Pasteurization and Storage Temperatures on the Physicochemical Properties and Microbiological Quality of Cashew Apple Juice,” *American Journal of Food Science and Technology*, vol. 8, no. 2, pp. 63–69, 2020, doi: 10.12691/ajfst-8-2-4.

[129] M. Giavoni, M. J. Villanueva-Suárez, R. D. la Peña-Armada, A. Garcia-Alonso, and I. Mateos-Aparicio, “Pasteurization Modifies the Sensorial Attributes and Nutritional Profile of Orange Pulp By-Product,” *Foods*, vol. 11, no. 13, Jul. 2022, doi: 10.3390/foods11131973.

[130] M. Kunitake, C. Ditchfield, C. Silva, and R. Petrus, “Effect of pasteurization temperature on stability of an acidified sugarcane juice beverage,” *Ciência e Agrotecnologia*, vol. 38, no. 6, pp. 554–561, Dec. 2014, doi: 10.1590/S1413-70542014000600004.

[131] N. J. Wurlitzer *et al.*, “Tropical fruit juice: effect of thermal treatment and storage time on sensory and functional properties,” *J Food Sci Technol*, vol. 56, no. 12, pp. 5184–5193, Dec. 2019, doi: 10.1007/s13197-019-03987-0.

[132] S. C. B. Bavisetty and K. Venkatachalam, “Physicochemical qualities and antioxidant properties of juice extracted from ripe and overripe wax apple as affected by pasteurization and sonication,” *J Food Process Preserv*, vol. 45, no. 6, Jun. 2021, doi: 10.1111/jfpp.15524.

[133] B. G. Subasi and H. Alpas, “Effect of high hydrostatic pressure processing and squeezing pressure on some quality properties of pomegranate juice against thermal treatment,” *High Press Res*, vol. 37, no. 1, pp. 78–92, 2017, doi: 10.1080/08957959.2016.1263840.

[134] M. Mert, S. Buzrul, and H. Alpas, “Effects of high hydrostatic pressure on microflora and some quality attributes of grape juice,” *High Press Res*, vol. 33, no. 1, pp. 55–63, 2013, doi: 10.1080/08957959.2012.763035.

[135] C. Ates, G. Akdemir Evrendilek, and S. Uzuner, “High-pressure processing of shalgam with respect to quality characteristics , microbial inactivation , and shelflife extension,” *J Food Process Preserv*, no. January, pp. 1–20, 2021, doi: 10.1111/jfpp.15598.

[136] A. Morata *et al.*, “Grape Processing by High Hydrostatic Pressure: Effect on Microbial Populations, Phenol Extraction and Wine Quality,” *Food Bioproc Tech*, vol. 8, no. 2, pp. 277–286, 2014, doi: 10.1007/s11947-014-1405-8.

[137] S. Porretta, A. Birzi, C. Ghizzoni, and E. Vicini, “Effects of ultra-high hydrostatic pressure treatments on the quality of tomato juice,” *Food Chem*, vol. 52, no. 1, pp. 35–41, 1995, doi: 10.1016/0308-8146(94)P4178-I.

[138] N. R. Swami Hulle, N. Kaushik, and P. S. Rao, “Effect of high pressure processing on rheological properties, pectinmethylesterase activity and microbiological characteristics of aloe vera (Aloe barbadensis Miller) juice,” *Int J Food Prop*, vol. 18, no. 7, pp. 1597–1612, 2015, doi: 10.1080/10942912.2014.923907.

[139] YH. Chang, SJ. Wu, BY. Chen, HW. Huang, and CY. Wangd, “Effect of high pressure processing and thermal pasteurization on overall quality parameters of white grape juice,” *J Organ Behav*, vol. 97, no. 10, pp. 3166–3172, 2017.

[140] G. V. Buitimea-Cantúa, I. A. Rico-Alderete, M. de J. Rostro-Alanís, J. Welti-Chanes, Z. J. Escobedo-Avellaneda, and M. C. Soto-Caballero, “Effect of High Hydrostatic Pressure and Pulsed Electric Fields Processes on Microbial Safety and Quality of Black/Red Raspberry Juice,” *Foods*, vol. 11, no. 15, 2022, doi: 10.3390/foods11152342.

[141] G. Rios-Corripio, J. Welti-Chanes, V. Rodríguez-Martínez, and J. Á. Guerrero-Beltrán, “Influence of high hydrostatic pressure processing on physicochemical characteristics of a fermented pomegranate (Punica granatum L.) beverage,” *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, vol. 59, no. September 2019, p. 102249, 2020, doi: 10.1016/j.ifset.2019.102249.

[142] D. Chen *et al.*, “Comparing the effects of high hydrostatic pressure and high temperature short time on papaya beverage,” *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, vol. 32, pp. 16–28, 2015, doi: 10.1016/j.ifset.2015.09.018.

[143] Y. Liu, X. Y. Zhao, L. Zou, and X. S. Hu, “Effect of high hydrostatic pressure on overall quality parameters of watermelon juice,” *Food Science and Technology International*, vol. 19, no. 3, pp. 197–207, 2013, doi: 10.1177/1082013212442194.

[144] F. J. Salar, P. M. Periago, V. Agulló, C. García-viguera, and P. S. Fernández, "High hydrostatic pressure vs. Thermal pasteurization: The effect on the bioactive compound profile of a citrus maqui beverage," *Foods*, vol. 10, no. 10, 2021, doi: 10.3390/foods10102416.

[145] P. Chaikham, "Comparison of high hydrostatic pressure and thermal processing on physicochemical and antioxidant properties of Maoberry (Antidesma thwaitesianum Müell. Arg.) juice," *Int Food Res J*, vol. 22, no. 5, pp. 1993–2001, 2015.

[146] D. Tanrıseven, S. Dıblan, and S. Selli, "Şalgam Suyunun Üretim Yöntemleri Ve Biyoaktif Bileşenleri," *Artıbilim: Adana Bilim ve Teknoloji Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, vol. 1, no. 1, pp. 38–45, 2018, [Online]. Available: https://dergipark.org.tr/tr/pub/artibilim/issue/38060/439303

[147] Q. Liu, R. F. Wang, X. Y. Zhao, Y. Ma, D. Wang, and B. B. Zhang, "Effect of high hydrostatic pressure processing on qualities of strawberry juice," *Adv Mat Res*, vol. 894, pp. 305–310, 2014, doi: 10.4028/www.scientific.net/AMR.894.305.

[148] D. Chen *et al.*, "Comparative study of quality of cloudy pomegranate juice treated by high hydrostatic pressure and high temperature short time," *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, vol. 19, pp. 85–94, 2013, doi: 10.1016/j.ifset.2013.03.003.

[149] J. Ma *et al.*, "High Hydrostatic Pressure Treatments Improved Properties of Fermentation of Apple Juice Accompanied by Higher Reserved Lactobacillus plantarum," *Foods*, vol. 12, no. 3, 2023, doi: 10.3390/foods12030441.

[150] A. Tarafdar and B. P. Kaur, "Microfluidization-Driven Changes in Some Physicochemical Characteristics, Metal/Mineral Composition, and Sensory Attributes of Sugarcane Juice," *J Food Qual*, vol. 2021, 2021, doi: 10.1155/2021/3326302.

[151] Y. Yang, Y. Xia, G. Wang, L. Tao, J. Yu, and L. Ai, "Effects of boiling, ultra-high temperature and high hydrostatic pressure on free amino acids, flavor characteristics and sensory profiles in Chinese rice wine," *Food Chem*,

vol. 275, no. September 2018, pp. 407–416, 2019, doi: 10.1016/j.foodchem.2018.09.128.

[152] H. Tangüler, "Şalgam Suyu Üretiminde Etkili Olan Laktik Asit Bakterilerinin Belirlenmesi ve Şalgam Suyu Üretim Tekniğinin Geliştirilmesi," Çukurova University, 2010.

[153] E. Ozturk, M. H. Oztop, and H. Alpas, "Use of high hydrostatic pressure (HHP) for increasing the product yield of lignocellulosic biomass hydrolysis: A study for peanut hull and microcrystalline cellulose," *Lwt*, vol. 147, no. April, 2021, doi: 10.1016/j.lwt.2021.111556.

[154] H. Deng, P. T. Zhao, T. G. Yang, and Y. H. Meng, "A comparative study of the cloudy apple juice sterilized by high-temperature short-time or high hydrostatic pressure processing: Shelf-life, phytochemical and microbial view," *Food Science and Technology (Brazil)*, vol. 42, pp. 1–10, 2022, doi: 10.1590/fst.63620.

[155] L. Yuan, X. Liang, X. Pan, F. Lao, Y. Shi, and J. Wu, "Effects of High Hydrostatic Pressure Combined with Vacuum-Freeze Drying on the Aroma-Active Compounds in Blended Pumpkin, Mango, and Jujube Juice," *Foods*, vol. 10, no. 12, p. 3151, Dec. 2021, doi: 10.3390/foods10123151.

[156] S. Yoo *et al.*, "Inactivation of Escherichia coli O157:H7 on orange fruit surfaces and in juice using photocatalysis and high hydrostatic pressure," *J Food Prot*, vol. 78, no. 6, pp. 1098–1105, 2015, doi: 10.4315/0362-028X.JFP-14-522.

[157] D. D. Kieling, G. V. Barbosa-Cánovas, and S. H. Prudencio, "Effects of high pressure processing on the physicochemical and microbiological parameters, bioactive compounds, and antioxidant activity of a lemongrass-lime mixed beverage," *J Food Sci Technol*, vol. 56, no. 1, pp. 409–419, 2019, doi: 10.1007/s13197-018-3502-6.

[158] B. Quiroz-González *et al.*, "Refrigerated storage of high hydrostatic pressure (HHP) treated pitaya (stenocereus pruinosus) juice," *Revista Mexicana de Ingeniera Quimica*, vol. 19, no. 1, pp. 387–399, 2020, doi: 10.24275/rmiq/Alim588.

[159] Ö. Turfan, "Nar Suyu Konsantresi Üretim ve Depolama Sürecinde Antosiyaninlerdeki Değişimler," Ankara University, 2008.

[160] A. Yücetepe, Ö. Saroğlu, and B. Özçelik, "Response surface optimization of ultrasound-assisted protein extraction from Spirulina platensis: investigation of the effect of extraction conditions on techno-functional properties of protein concentrates," *J Food Sci Technol*, vol. 56, no. 7, pp. 3282–3292, 2019, doi: 10.1007/s13197-019-03796-5.

[161] F. J. Salar *et al.*, "Microwave Treatment vs. Conventional Pasteurization: The Effect on Phytochemical and Microbiological Quality for Citrus–Maqui Beverages," *Foods*, vol. 13, no. 1, Jan. 2024, doi: 10.3390/foods13010101.

[162] S. Lalou, S. A. Ordoudi, and F. T. Mantzouridou, "On the effect of microwave heating on quality characteristics and functional properties of persimmon juice and its residue," *Foods*, vol. 10, no. 11, Nov. 2021, doi: 10.3390/foods10112650.

[163] F. Siddique *et al.*, "Comparison of Chemically Treated, Pasteurized, and Microwave-Treated (at Different Time Durations) Chia Seeds Added to Mango-Whey Beverage, during Different Storage Periods, for Physicochemical and Sensory Parameters," *J Food Qual*, vol. 2024, 2024, doi: 10.1155/2024/6688945.

[164] R. Muñoz, A. Bevilacqua, M. S. Pérez, and M. Arévalo-Villena, "Influence of microwave treatments on viability and vitality of wine-origin microorganisms," *Int J Food Sci Technol*, vol. 58, no. 7, pp. 3800–3809, Jul. 2023, doi: 10.1111/ijfs.16481.

[165] F. Noori, A. Mula Abed, F. Yousif Gaddawi, and H. T. Al-Shalash, "Original scientific paper UDC 663."

[166] B. H. Samani, M. H. Khoshtaghaza, Z. Lorigooini, S. Minaei, and H. Zareiforoush, "Analysis of the combinative effect of ultrasound and microwave power on Saccharomyces cerevisiae in orange juice processing," *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, vol. 32, pp. 110–115, Dec. 2015, doi: 10.1016/j.ifset.2015.09.015.

[167] N. Hellen Campanha *et al.*, "Cell Membrane Integrity of Candida Albicans after Different Protocols of Microwave Irradiation," *American Journal of Infectious Diseases and Microbiology*, vol. 1, no. 3, pp. 38–45, May 2013, doi: 10.12691/ajidm-1-3-1.

[168] P. Fatima *et al.*, "Synergistic effect of microwave heating and thermosonication on the physicochemical and nutritional quality of muskmelon and sugarcane juice blend," *Food Chem*, vol. 425, Nov. 2023, doi: 10.1016/j.foodchem.2023.136489.

[169] K. Mukhtar *et al.*, "Potential impact of ultrasound, pulsed electric field, high-pressure processing and microfludization against thermal treatments preservation regarding sugarcane juice (Saccharum officinarum)," Nov. 01, 2022, *Elsevier B.V.* doi: 10.1016/j.ultsonch.2022.106194.

[170] S. Kumar, M. Khadka, R. Mishra, D. Kohli, and S. Upadhaya, "Effects of Conventional and Microwave Heating Pasteurization on Physiochemical Properties of Pomelo (Citrus maxima) Juice," *J Food Process Technol*, vol. 08, no. 07, 2017, doi: 10.4172/2157-7110.1000683.

[171] R. Muñoz García *et al.*, "Use of Microwave Maceration in Red Winemaking: Effect on Fermentation and Chemical Composition of Red Wines," *Molecules*, vol. 27, no. 9, May 2022, doi: 10.3390/molecules27093018.

[172] A. Hussain *et al.*, "Synergism of sonication and microwave on phytochemical and physicochemical capacity of sugarcane-mint blend juice," *Discover Food*, vol. 4, no. 1, Dec. 2024, doi: 10.1007/s44187-024-00086-8.

[173] S. Liu, S. Li, S. Li, Y. Wang, L. Fan, and J. Zhou, "Effects of high power pulsed microwave on the enhanced color and flavor of aged blueberry wine," *Food Sci Biotechnol*, vol. 33, no. 1, pp. 33–45, Jan. 2024, doi: 10.1007/s10068-023-01325-x.

[174] J. F. Yuan *et al.*, "Microwave Irradiation: Effects on the Change of Colour Characteristics and Main Phenolic Compounds of Cabernet Gernischt Dry Red Wine during Storage," *Foods*, vol. 11, no. 12, Jun. 2022, doi: 10.3390/foods11121778.

[175] A. Shang *et al.*, “Effects of microwave-assisted extraction conditions on antioxidant capacity of sweet tea (Lithocarpus polystachyus rehd.),” *Antioxidants*, vol. 9, no. 8, pp. 1–17, Aug. 2020, doi: 10.3390/antiox9080678.

[176] X. D. Le *et al.*, “Optimization of microwave-assisted extraction of total phenolic and total flavonoid contents from fruits of docynia indica (Wall.) decne. using response surface methodology,” *Processes*, vol. 7, no. 8, Aug. 2019, doi: 10.3390/PR7080485.

[177] M. S. Alkaltham, K. Hayat, A. M. Salamatullah, M. A. Ahmed, and A. B. Hassan, “Effect of Microwave and Conventional Heat Treatment on Total Phenolic Compounds, HPLC Phenolic Profile, and Antioxidant Activity of Leptadenia pyrotechnica (Forssk.) Decne Stem,” *Applied Sciences*, vol. 13, no. 24, p. 13222, Dec. 2023, doi: 10.3390/app132413222.

[178] N. W. Ismail-Suhaimy, S. S. A. Gani, U. H. Zaidan, M. I. E. Halmi, and P. Bawon, “Optimizing conditions for microwave-assisted extraction of polyphenolic content and antioxidant activity of barleria lupulina lindl.,” *Plants*, vol. 10, no. 4, Apr. 2021, doi: 10.3390/plants10040682.

[179] Y. Wen *et al.*, “Optimization of the microwave-assisted extraction and antioxidant activities of anthocyanins from blackberry using a response surface methodology,” *RSC Adv*, vol. 5, no. 25, pp. 19686–19695, 2015, doi: 10.1039/c4ra16396f.

[180] A. J. Arzeta-Ríos, D. Guerra-Ramírez, B. Reyes-Trejo, M. C. Ybarra-Moncada, and H. Zuleta-Prada, “Microwave heating effect on total phenolics and antioxidant activity of green and mature coconut water,” *International Journal of Food Engineering*, vol. 16, no. 12, Dec. 2020, doi: 10.1515/ijfe-2019-0378.

[181] Y. Yang and P. A. Kilmartin, “Advancing anthocyanin extraction: Optimising solvent, preservation, and microwave techniques for enhanced recovery from merlot grape Marc,” *Food Chem*, vol. 472, Apr. 2025, doi: 10.1016/j.foodchem.2024.142648.

[182] A. Starek *et al.*, “Influence of ultrasound on selected microorganisms, chemical and structural changes in fresh tomato juice,” *Sci Rep*, vol. 11, no. 1, Dec. 2021, doi: 10.1038/s41598-021-83073-8.

[183] H. Q. Tan, Y. M. Mohd Jusoh, D. N. Abang Zaidel, M. Jusoh, H. Ya’akob, and D. J. Dailin, “Effect of ultrasonication process on microbial content and antioxidant activities of black mulberry-pineapple-mango functional drink,” *Chem Eng Trans*, vol. 83, pp. 427–432, 2021, doi: 10.3303/CET2183072.

[184] V. M. Gómez-López, M. E. Buitrago, M. S. Tapia, and A. Martínez-Yépez, “Effect of ultrasonication on microbial quality, colour, and ascorbic acid content of passion-fruit juice during storage,” *Acta Aliment*, vol. 46, no. 4, pp. 470–480, Dec. 2017, doi: 10.1556/066.2017.46.4.10.

[185] A. Couto Teixeira *et al.*, “Phytochemical and Structural Changes of Chickpea Beverage Prepared Using Ultrasound-Assisted Fermentation with Optimized Ultrasound Parameters Modelled by Response Surface Methodology,” 2023, doi: 10.3390/beverages.

[186] S. M. B. Hashemi, D. Jafarpour, E. R. Soto, and F. J. Barba, “Ultrasound-Assisted Lactic Acid Fermentation of Bakraei (Citrus reticulata cv. Bakraei) Juice: Physicochemical and Bioactive Properties,” *Fermentation*, vol. 9, no. 1, Jan. 2023, doi: 10.3390/fermentation9010037.

[187] R. Dolas, C. Saravanan, and B. P. Kaur, “Emergence and era of ultrasonic’s in fruit juice preservation: A review,” Nov. 01, 2019, *Elsevier B.V.* doi: 10.1016/j.ultsonch.2019.05.026.

[188] D. Mehta, N. Sharma, V. Bansal, R. S. Sangwan, and S. K. Yadav, “Impact of ultrasonication, ultraviolet and atmospheric cold plasma processing on quality parameters of tomato-based beverage in comparison with thermal processing,” *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, vol. 52, pp. 343–349, Mar. 2019, doi: 10.1016/j.ifset.2019.01.015.

[189] A. R. Salve, K. Pegu, and S. S. Arya, “Comparative assessment of high-intensity ultrasound and hydrodynamic cavitation processing on physico-chemical properties and microbial inactivation of peanut milk,” *Ultrason Sonochem*, vol. 59, Dec. 2019, doi: 10.1016/j.ultsonch.2019.104728.

[190] Y. Gat, K. Kotak, B. Negi, and A. Kadam, “Potential of ultrasonication for the quality retention and microbial inactivation in beverages,” in *Emerging Green Processing Technologies for Beverages*, Elsevier, 2025, pp. 95–123. doi: 10.1016/B978-0-443-15732-5.00004-6.

[191] S. Bhutkar, T. R. S. Brandão, C. L. M. Silva, and F. A. Miller, “Application of Ultrasound Treatments in the Processing and Production of High-Quality and Safe-to-Drink Kiwi Juice,” *Foods*, vol. 13, no. 2, Jan. 2024, doi: 10.3390/foods13020328.

[192] P. Chaikham, P. Prangthip, and P. Seesuriyachan, “Ultra-sonication effects on quality attributes of maoberry (Antidesma bunius L.) juice,” *Food Sci Technol Res*, vol. 22, no. 5, pp. 647–654, 2016, doi: 10.3136/fstr.22.647.

[193] M. Abid *et al.*, “Effect of ultrasound on different quality parameters of apple juice,” *Ultrason Sonochem*, vol. 20, no. 5, pp. 1182–1187, 2013, doi: 10.1016/j.ultsonch.2013.02.010.

[194] L. Chen, X. Bi, D. Guo, Y. Xing, and Z. Che, “The effect of high-power ultrasound on the quality of carrot juice,” *Food Science and Technology International*, vol. 25, no. 5, pp. 394–403, Jul. 2019, doi: 10.1177/1082013219825736.

[195] C. L. Nguyen and H. V. H. Nguyen, “Ultrasonic effects on the quality of mulberry juice,” *Beverages*, vol. 4, no. 3, Sep. 2018, doi: 10.3390/beverages4030056.

[196] S. J. Bora, J. Handique, and N. Sit, “Effect of ultrasound and enzymatic pre-treatment on yield and properties of banana juice,” *Ultrason Sonochem*, vol. 37, pp. 445–451, Jul. 2017, doi: 10.1016/j.ultsonch.2017.01.039.

[197] S. C. B. Bavisetty and K. Venkatachalam, “Physicochemical qualities and antioxidant properties of juice extracted from ripe and overripe wax apple as affected by pasteurization and sonication,” *J Food Process Preserv*, vol. 45, no. 6, Jun. 2021, doi: 10.1111/jfpp.15524.

[198] M. Kidoń and G. Narasimhan, “Effect of Ultrasound and Enzymatic Mash Treatment on Bioactive Compounds and Antioxidant Capacity of Black, Red

and White Currant Juices," *Molecules*, vol. 27, no. 1, p. 318, Jan. 2022, doi: 10.3390/molecules27010318.

[199] J. Wu, H. Chen, W. Chen, Q. Zhong, M. Zhang, and W. Chen, "Effect of ultrasonic treatment on the activity of sugar metabolism relative enzymes and quality of coconut water," *Ultrason Sonochem*, vol. 79, p. 105780, Nov. 2021, doi: 10.1016/j.ultsonch.2021.105780.

[200] M. Zhang, C. Zhou, L. Ma, W. Su, J. Jiang, and X. Hu, "Influence of ultrasound on the microbiological, physicochemical properties, and sensory quality of different varieties of pumpkin juice," *Heliyon*, vol. 10, no. 6, p. e27927, Mar. 2024, doi: 10.1016/j.heliyon.2024.e27927.

[201] I. Reyes-Hernández *et al.*, "Fenton Discoloration of Ultrasonicated Purple Cactus Pear Juice," *Molecules*, vol. 22, no. 8, p. 1344, Aug. 2017, doi: 10.3390/molecules22081344.

[202] B. K. Tiwari, A. Patras, N. Brunton, P. J. Cullen, and C. P. O'Donnell, "Effect of ultrasound processing on anthocyanins and color of red grape juice," *Ultrason Sonochem*, vol. 17, no. 3, pp. 598–604, Mar. 2010, doi: 10.1016/j.ultsonch.2009.10.009.

[203] D. Mehta, N. Sharma, V. Bansal, R. S. Sangwan, and S. K. Yadav, "Impact of ultrasonication, ultraviolet and atmospheric cold plasma processing on quality parameters of tomato-based beverage in comparison with thermal processing," *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, vol. 52, pp. 343–349, Mar. 2019, doi: 10.1016/j.ifset.2019.01.015.

[204] M. Fikry *et al.*, "Assessment of Physical and Sensory Attributes of Date-Based Energy Drink Treated with Ultrasonication: Modelling Changes during Storage and Predicting Shelf Life," *Processes*, vol. 11, no. 5, p. 1399, May 2023, doi: 10.3390/pr11051399.

[205] F. W. Mohideen *et al.*, "Effect of continuous ultra-sonication on microbial counts and physico-chemical properties of blueberry (Vaccinium corymbosum) juice," *LWT - Food Science and Technology*, vol. 60, no. 1, pp. 563–570, Jan. 2015, doi: 10.1016/j.lwt.2014.07.047.

[206] E. Kwaw *et al.*, “Impact of ultrasonication and pulsed light treatments on phenolics concentration and antioxidant activities of lactic-acid-fermented mulberry juice,” *LWT*, vol. 92, pp. 61–66, Jun. 2018, doi: 10.1016/j.lwt.2018.02.016.

[207] J. Wang, S. K. Vanga, and V. Raghavan, “High-intensity ultrasound processing of kiwifruit juice: Effects on the ascorbic acid, total phenolics, flavonoids and antioxidant capacity,” *LWT*, vol. 107, pp. 299–307, Jun. 2019, doi: 10.1016/j.lwt.2019.03.024.

[208] V. Hiranpradith, N. Therdthai, A. Soontrunnarudrungsri, and O. Rungsuriyawiboon, “Optimisation of Ultrasound-Assisted Extraction of Total Phenolics and Flavonoids Content from Centella asiatica,” *Foods*, vol. 14, no. 2, p. 291, Jan. 2025, doi: 10.3390/foods14020291.

[209] D. Rodríguez-Rico *et al.*, “High-Intensity Ultrasound Processing Enhances the Bioactive Compounds, Antioxidant Capacity and Microbiological Quality of Melon (Cucumis melo) Juice,” *Foods*, vol. 11, no. 17, p. 2648, Aug. 2022, doi: 10.3390/foods11172648.

[210] B. M. Lepaus *et al.*, “Impact of ultrasound processing on the nutritional components of fruit and vegetable juices,” *Trends Food Sci Technol*, vol. 138, pp. 752–765, Aug. 2023, doi: 10.1016/j.tifs.2023.07.002.

[211] A. C. M. Urango, M. M. Strieder, E. K. Silva, and M. A. A. Meireles, “Thermosonication Process Design for Recovering Bioactive Compounds from Fennel: A Comparative Study with Conventional Extraction Techniques,” *Applied Sciences*, vol. 11, no. 24, p. 12104, Dec. 2021, doi: 10.3390/app112412104.

[212] R. Nadulski *et al.*, “Effect of Extraction Method and Thermosonication on Apple Juice Quality,” *Applied Sciences*, vol. 9, no. 19, p. 3977, Sep. 2019, doi: 10.3390/app9193977.

[213] B. K. Tiwari, C. P. O’Donnell, A. Patras, and P. J. Cullen, “Anthocyanin and Ascorbic Acid Degradation in Sonicated Strawberry Juice,” *J Agric Food Chem*, vol. 56, no. 21, pp. 10071–10077, Nov. 2008, doi: 10.1021/jf801824v.

[214] M. Kidoń and G. Narasimhan, “Effect of Ultrasound and Enzymatic Mash Treatment on Bioactive Compounds and Antioxidant Capacity of Black, Red and White Currant Juices,” *Molecules*, vol. 27, no. 1, Jan. 2022, doi: 10.3390/molecules27010318.

TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR

Konferans Bildirileri

1. E. Ozturk, H. Alpas, ve M. Arici, "Effect of Non-Thermal Methods on Microbiological, Physicochemical and Sensory Properties of Fermented Beverages," ICFTN22 2nd International Conference of Food Technology and Nutrition, Tetova, Republic of North Macedonia, 2022.

2. E. Ozturk, H. Alpas, and M. Arici, "Isıl Olmayan İşlemlerin Şalgamın Mikrobiyolojik Özelliklerine Etkileri," Türkiye 1. Gıda Mikrobiyolojisi Kongresi, Erzurum, Türkiye, 2023.

Makaleler

1. E. Ozturk, H. Alpas, and M. Arici, "Effect of the High Hydrostatic Pressure Process on the Microbial and Physicochemical Quality of Shalgam," ACS Omega, vol. 9, no. 9, pp. 10400–10414, 2024, doi: 10.1021/acsomega.3c08297.