T.C.
MANİSA CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
GIDA TEKNOLOJİSİ BİLİM DALI

MİKRODALGA VAKUM KURUTMA YÖNTEMİ İLE EKŞİ HAMUR TOZU ÜRETİMİ VE EKMEK ÜRETİM SÜREÇLERİNDE KULLANIMININ OPTİMİZASYONU

Seven YAYCI

Danışman
Dr. Öğr. Üyesi İsmail EREN

II. Danışman
Prof. Dr. Ergun KÖSE

MANİSA–2021

Seven YAYCI	**MİKRODALGA VAKUM KURUTMA YÖNTEMİ İLE EKŞİ HAMUR TOZU ÜRETİMİ VE EKMEK ÜRETİM SÜREÇLERİNDE KULLANIMININ OPTİMİZASYONU**	**2021**

TEZ ONAYI

Seven YAYCI tarafından hazırlanan **"mikrodalga vakum kurutma yöntemi ile ekşi hamur tozu üretimi ve ekmek üretim süreçlerinde kullanımının optimizasyonu"**adlı tez çalışması 27/08/2021 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri önünde Manisa Celal BayarÜniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak başarı ile savunulmuştur.

		İMZA
Danışman	**Dr. Öğr. Üyesi İsmail EREN** Manisa Celal Bayar Üniversitesi	**……**
2. Danışman	**Prof. Dr. Ergun KÖSE** Manisa Celal Bayar Üniversitesi	……
Jüri Üyesi	**Dr. Öğr. Üyesi Nazlı SAVLAK** Manisa Celal Bayar Üniversitesi	**……**
Jüri Üyesi	**Prof.Dr. Şebnem TAVMAN** Ege Üniversitesi	**……**
Jüri Üyesi	**Doç.Dr.Seher KUMCUOĞLU** Ege Üniversitesi	**……**

TAAHHÜTNAME

Bu tezin Manisa Celal Bayar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü'nde, akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.

Seven YAYCI

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER……	I
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	III
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	IV
TABLO DİZİNİ	V
TEŞEKKÜR.....	VI
ÖZET	VII
ABSTRACT.....	IX
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	4
2.1. Ekşi Hamur Teknolojisi.....	4
2.2. Ekşi Hamur Kullanımının Ekmek Kalitesine Etkisi……	5
2.2.1. Tat ve Aroma Oluşumuna Etkisi	6
2.2.2. Besinsel Kalitenin İyileştirilmesi……	9
2.2.3. Hamur Yapısı ve Ekmek Özelliklerine Etkisi…….	9
2.2.4. Titre Edilebilir Asitlik ve pH Üzerine Etkisi.....……....	10
2.2.5. Raf Ömrü ve Mikrobiyolojik Kalite Üzerine Etkisi……	10
2.3. Ekşi Hamurun Alternatif Kullanım Şekilleri……...	11
2.4. Ekşi Hamur Tozu Üretimi……...	12
2.5. Mikrodalga Vakum Kurutma Teknolojisi……	15
2.6. Mikrodalga Vakum Kurutma Yöntemi ile Starter Kültürlerin Kurutulması……	16
2.7. Taguchi Metodolojisi…….…….....	17
2.8. Gri İlişkisel Analiz……..	18
3. MATERYAL VE YÖNTEMLER	19
3.1. Materyal.....	19
3.2. Yöntemler.....	19
3.2.1. Mikrodalga Vakum Kurutma Sistemi.....	19
3.2.2. Ekşi Hamurun Mikrodalga Vakum Kurutucuda Kurutulması…….	19
3.2.3. Ekmek Üretimi……	20
3.2.4. Deneysel Dizayn ve İstatistiksel Analiz……...	21
3.2.4.1. Taguchi Metodolojisi……	21
3.2.4.2. Gri İlişkisel Analiz……	23
3.2.5. Analizler……...	25
3.2.5.1. Ekşi Hamur Örneklerinde pH ve Titrasyon Asitliği Tayini…...	25
3.2.5.2. Ekşi Hamur Örneklerinde ve Tozlarında Mayaların ve LAB'ların İzolasyonu…….	26
3.2.5.3. Ekşi Hamur Tozlarında pH ve Titrasyon Asitliği Tayini……...	26
3.2.5.4. Ekşi Hamur Örneklerinde Nem Tayini……..	27
3.2.5.5. Toz Analizleri……	27
3.2.5.5.1. Nem Tayini……...	27
3.2.5.5.2. Nem Tutma (Higroskopiklik)……...	27
3.2.5.5.3. Suda Çözünebilirlik……..	28
3.2.5.5.4. Yığın Yoğunluğu…….	28
3.2.5.5.5. Sıkıştırılmış Yoğunluk…….....	28
3.2.5.5.6. Akabilirlik ve Yapışma……	28
3.2.5.5.7. Duruş Açısı……..	29
3.2.5.6. Ekmek Analizleri……...	29

3.2.5.6.1. Ekmek Hamurlarında pH ve Titrasyon Asitliği Tayini…..... 29
3.2.5.6.2. Ekmek Hamurlarında Organik Asit Tayini…….. 30
3.2.5.6.3. Ekmeklerde Doku (Sertlik) Tayini……... 30
3.2.5.6.4. Ekmek Örneklerinde Duyusal Analiz……... 31
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA 32
4.1. Mikrodalga Vakum Kurutma (MVK) 32
4.2. Taguchi Metodu ile MVK ve Rehidrasyon İşleminin Eş Zamanlı Optimizasyonu 37
4.2.1. MVK ve Rehidrayon İşlem Parametrelerinin Ön Hamurun Mikrobiyolojik Özellikleri Üzerine Etkisi 38
4.2.2. Taguchi Metodolojisi ve Gri İlişkisel Analiz ile Optimum İşlem Koşullarının Belirlenmesi……..... 44
4.3. Ekşi Hamur Tozunun Ekmek Fermantasyonu Etkinliğinin Belirlenmesi.. 46
4.4. Ekmek Özelliklerinin Belirlenmesi…… 50
4.5. MVK ve Liyofilize Ekşi Hamur Tozlarının Yapısal Özellikleri…… 52
5. SONUÇ VE ÖNERİLER……..... 54
KAYNAKLAR…… 57
EKLER…….. 61
EK A. (Ekmek Örneklerinde Duyusal Analiz Formu)…….. 61
ÖZGEÇMİŞ…… 62

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

AA	Asetik Asit
FS	Fermantasyon Süresi
FSI	Fermantasyon Sıcaklığı
KS	Kurutma Sıcaklığı
LA	Laktik Asit
LAB	Laktik Asit Bakterisi
LYF	Liyofilize
MG	Mikrodalga Gücü
MVK	Mikrodalga Vakum Kurutma
SA	Saat
S/G	Sinyal/Gürültü Oranı
TTA	Toplam Titreedilebilir Asitlik

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 3.1. Laboratuvar Tipi Mikrodalga Vakum Kurutma Sistemi Düzeneği	20
Şekil 3.2. Tez Çalışması Planı ve Akış Çizelgesi	21
Şekil 4.1. Ortalamalar İçin Ana Etki Grafikleri……..	42
Şekil 4.2. S/G Oranı İçin Ana Etki Grafikleri…….	43
Şekil 4.3. Farklı Ön Hamurlar İle Ekmek Fermantasyonu Sırasında pH Değişimleri…….	46
Şekil 4.4. Farklı Ön Hamurlar İle Ekmek Fermantasyonu Sırasında TTA Değişimleri…….	47
Şekil 4.5. Farklı Ön Hamurlar İle Ekmek Fermantasyonu Sırasında Laktik Asit Değişimleri…….	48
Şekil 4.6. Farklı Ön Hamurlar İle Ekmek Fermantasyonu Sırasında Asetik Asit Değişimleri…….	49
Şekil 4.7. Optimum Koşullarda Üretilen Ekmekler……	50
Şekil 4.8. Ekşi Hamur Tozlarının Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Görüntüleri…….	53

TABLO DİZİNİ

	Sayfa
Tablo 2.1. Ekşi Hamur Kullanılarak Üretilen Ekmeklerin Aroma Bileşenleri ...	8
Tablo 3.1. Deney Faktörleri ve Seviyeleri……..	22
Tablo 3.2. Taguchi Yöntemi ile Elde Edilen Deneysel Dizayn……..	22
Tablo 3.3. Toz Özelliklere Akabilirlik ve Yapışma Kriterleri ……... .	29
Tablo 4.1. Kurutma Öncesi Ekşi Mayanın Mikrobiyolojik ve Kimyasal Özellikleri.....	32
Tablo 4.2. MVK Kurutma Denemeleri ve Ekşi Hamur Tozunun Mikrobiyolojik Özellikleri …….	33
Tablo 4.3. MVK İşlem Parametrelerinin Ekşi Hamur Tozunun LAB İçeriği Üzerindeki Etkisi…….....	35
Tablo 4.4. MVK İşlem Parametrelerinin Ekşi Hamur Tozunun Maya İçeriği Üzerindeki Etkisi…….....	36
Tablo 4.5. MVK İşlem Parametrelerinin Ekşi Hamur Tozunun LAB/Maya Oranı Üzerindeki Etkisi…….	36
Tablo 4.6. MVK İşlem Parametrelerinin Ekşi Hamur Tozunun Kuruma Süresi Üzerindeki Etkisi…….....	37
Tablo 4.7. Taguchi Deneme Planı (L18) ve Ön Hamurun Mikrobiyolojik Özellikleri…….....	39
Tablo 4.8. MVK ve Rehidrasyon İşlem Değişkenlerinin Ön Hamurun LAB ve maya içerikleri İle LAB/Maya Oranı Ortalamaları Üzerindeki Etkileri…….....	40
Tablo 4.9. Sinyal/Gürültü Oranları İçin Normalleştirilmiş Değerler, Gri İlişkisel Katsayılar ve Gri İlişkisel Yanıt Puanları ….....	45
Tablo 4.10. Ön Hamur Çeşidi ve Ekmek Fermantasyonu Süresinin pH Üzerindeki Etkisi ….....	47
Tablo 4.11. Ön Hamur Çeşidi ve Ekmek Fermantasyonu Süresinin Titrasyon Asitliği Üzerindeki Etkisi ……....	48
Tablo 4.12. Ön Hamur Çeşidi ve Ekmek Fermantasyonu Süresinin Laktik Asit Üzerindeki Etkisi …….	49
Tablo 4.13. Ön Hamur Çeşidi ve Ekmek Fermantasyonu Süresinin Asetik Asit Üzerindeki Etkisi …….....	49
Tablo 4.14. Farklı Ön Hamurlar İle Üretilen Ekmeklerin Kalite Karakteristikleri…….	51
Tablo 4.15. Farklı Ön Hamurlar İle Üretilen Ekmeklerin Dokusal (Sertlik) Özellikleri…….....	51
Tablo 4.16. Farklı Ön Hamurlar İle Üretilen Ekmeklerin Duyusal Özellikleri…….....	52
Tablo 4.17. Ekşi Hamur Tozlarının Yapısal Özellikleri…….	53

TEŞEKKÜR

Bilgi ve tecrübesi ile lisansüstü öğrenim hayatımın tüm zorlu aşamalarında maddi ve manevi her yönden yardımcı olan, beni aydınlatan ve desteğini hiç eksik etmeyen, kendisini tanımaktan büyük onur duyduğum sevgili danışman hocam Sayın Dr.Öğr. Üyesi İsmail EREN' e, ekmek üretim sürecinde desteğini esirgemeyen bilgi ve deneyimlerinden faydalandığım değerli hocam Sayın Prof. Dr. Ergun KÖSE' ye, HPLC çalışmalarımda desteğini her zaman hissettiğim değerli hocam Doç. Dr. Özlem ÇAĞINDI' ya ve bu analiz sürecini paylaştığımız canım arkadaşlarım Ceren İNCE' ye ve İncinur ALP'e, laboratuvarlarda rahat çalışmama olanak sağlayan ve desteklerini esirgemeyen laboratuvar sorumlumuz Sayın Gülşen GÖDE'ye, tezimi destekleyen Manisa Celal Bayar Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimine (BAP 2019-099 nolu proje), öğrenim hayatım boyunca beni maddi ve manevi olarak destekleyen ve hep yanımda olan kıymetli aileme yürekten teşekkür ederim.

Seven YAYCI
Manisa, 2021

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

MİKRODALGA VAKUM KURUTMA YÖNTEMİ İLE EKŞİ HAMUR TOZU ÜRETİMİ VE EKMEK ÜRETİM SÜREÇLERİNDE KULLANIMININ OPTİMİZASYONU

Seven YAYCI

Manisa Celal Bayar Üniversitesi
Fen BilimleriEnstitüsü
Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi İsmail EREN

II. Danışman: Prof. Dr. Ergun KÖSE

Bu çalışmada Manisa Kula ekmeğine özgü ekşi hamurların mikrodalga vakum kurutma (MVK) yöntemi ile kurutulması sırasında mikrobiyolojik özelliklerindeki değişimlerin incelenmesi, kurutma işlemi sırasında ortaya çıkan biyolojik aktivite kayıplarının geri kazanımı için rehidrasyon işlem koşullarının optimize edilmesi ve elde edilen ekşi hamur tozunun ekmek üretim süreçlerinde kullanımının ekmek karakteristikleri üzerindeki etkisinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

Mikrodalga vakum kurutma işleminde mikrodalga gücünün (200,600,1000 W) ve kurutma sıcaklığının (30,40,50ºC) ekşi hamurun laktik asit bakteri (LAB) içeriği, maya içeriği, LAB içeriğinin maya içeriğine oranı (L/ M) ile kurutma süresi üzerindeki etkileri 3^2 genel faktöriyel deneme deseni kullanılarak belirlenmiştir. Deneme deseninde belirtilen koşullarda gerçekleştirilen mikrodalga vakum kurutma işlemi sonunda örneklerin nem içerikleri ortalama %8.2 ± 1,3 (w/w)'e kadar düşürülmüştür. Mikrodalga gücü kurutma işleminde ekşi hamur tozlarının kuruma süresi, laktik asit ve maya içeriğindeki azalmada en etkili parametre olarak belirlenmiştir. Ekşi hamur örneklerinin başlangıçta sırasıyla 9,491 ± 0,066 logkob/g ve 7,204 ± 0,041 logkob/g olarak tespit edilen LAB ve maya içeriklerinde, MVK işlem koşullarından bağımsız olarak sırasıyla 6,27 logkob/g ve 3.92 logkob/g değerlerine kadar bir düşüş gözlemlenmiştir.

MVK işlemi sırasında LAB ve maya içeriklerindeki kayıpların geri kazanılması amacıyla ekşi hamur tozu farklı fermantasyon süresi ve sıcaklığı uygulanarak rehidre edilmiş ve ekmek üretiminde kullanılmak üzere bir ön hamur elde edilmiştir. Ekşi hamurların MVK işlemi ile kurutulması ve rehidrasyon koşullarının eş zamanlı olarak optimizasyonu Taguchi Metodolojisi ve Gri ilişkisel Analizi ile gerçekleştirilmiştir. Kurutma sıcaklığı (30,40 ºC), mikrodalga gücü (200,400,600 W), rehidrasyon süresi (24, 48, 72 sa) ve rehidrasyon sıcaklığı (30,35,40 ºC) bağımsız değişken ve ekşi hamurun LAB, maya içerikleri ve L/M oranları ise işlem performansını belirleyen bağımlı değişkenler olarak seçilmiştir. Ekmek üretiminde kullanılmak üzere ön hamur hazırlamak için optimum işlem koşulları 200 W mikrodalga gücü, 30 ºC kurutma sıcaklığı, 72 sa fermentasyon süresi (24 sa'lik 3 yenileme) ve 40 ºC fermanstasyon sıcaklığı olarak belirlenmiştir. Bu noktada ön hamurun LAB içeriği 8.861 ± 0.08 logkob/g, maya içeriği 6,779 ± 0.09 logkob/g ve L/M oranı 120,84 ± 0.86 olarak belirlenmiştir.

Optimum noktada elde edilen ön hamurun biyolojik aktivitesini ve ekmek özellikleri üzerine etkisine belirlemek amacıyla ekmek hamuru hazırlanmış ve 6 sa'lik ekmek fermantasyonu süresinde hamurdaki pH, titre edilebilir asitlik (TTA), laktik asit ve asetik asit içeriğindeki değişimler belirlenmiştir. Ayrıca, karşılaştırma amacıyla liyofilize ekşi hamur tozu ve ekşi hamur kullanılarak ön hamurlar hazırlanmış ve ekmek üretimleri gerçekleştirilmiştir. Farklı ön hamurlar kullanılarak gerçekleştirilen ekmek fermantasyonunun, pH değerlerinde düşüş, TTA değerlerinde, laktik asit ve asetik asit içeriğinde artışlar gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Mikrodalga Vakum Kurutma, Ekşi Hamur Tozu, Ekşi Maya Ekmeği, Taguchi Metodolojisi, Optimizasyon

2021, 76 sayfa

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

OPTIMIZATION OF MICROWAVE VACUUM DRYING OF SOURDOUGH AND BREADMAKING PROCESS

Seven YAYCI

Manisa Celal BayarUniversity
Graduate School of Appliedand Natural Sciences
Department of FoodEngineering

Supervisor: Dr. İsmail EREN

Co-Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Ergun KÖSE

In this study, it was aimed to investigate the changes in microbiological characteristics of sourdoughs specific to Manisa Kula bread during microwave vacuum drying (MVK), to optimize the rehydration process conditions for the recovery of the biological activity losses during MVK process and to determine the effect of using sourdough powder, which was dried by MVK method, in breadmaking process in terms of bread quality characteristics.

A 3^2 general factorial experimental designs was used to determine the effects of microwave power (200,600,1000 W) and drying temperature (30,40,50ºC) on lactic acid bacteria (LAB) content, yeast content, ratio of LAB content to yeast content (L/M) and drying time of sourdough in MVK process. Active sourdough samplea were dired to an average final moisture content of 8.2 ± 1.3% (w/w). Microwave power was determined as the most effective parameter in reducing the drying time as well as the reduction on lactic acid bacteria and yeast content of sourdough powders. Average LAB and yeast contents of the sourdough samples, which were initially determined as 9.491±0.066 logcfu/g and 7.204 ± 0.041 logcfu/g, decreased to 6.27 logcfu/g and 3.92 logcfu/g, respectively, regardless of the MVK treatment conditions.

In order to recover the losses in LAB and yeast contents during the MVK process, sourdough powder was rehydrated by applying different fermentation times and temperatures, and a pre-ferment was obtained to be used in bread production.

Simultaneous optimization of the microwave vacuum drying of sourdoughs and pre-ferment production conditions were performed by Taguchi Methodology and Gray Relational Analysis. Drying temperature (30,40 ºC), microwave power (200,400,600 W), rehydration time (24, 48, 72 h) and rehydration temperature (30,35,40 ºC) are independent variables and LAB, yeast contents and L/M of sourdough ratios were chosen as the dependent variables determining the process performance. The optimum processing conditions for drying sourdough with MVK and preparing the pre-ferment to be used in bread production were determined as 200 W microwave power, 30 ºC drying temperature, 72 h fermentation time (3 renewals of 24 h) and 40 ºC fermentation temperature. At the optimum point, the LAB content of the pre-dough was determined as 8.861 ± 0.08 logkfu/g, the yeast content was 6.779 ± 0.09 logkfu/g and the L/M ratio was 120.84±0.86.

In order to determine the bread making characteristics of the pre-ferment prepared under optimum MVK and rehydration conditions, Changes in pH, titratable acidity (TTA), lactic acid and acetic acid content were recorded during the 6 h bread fermentation process. In addition, bread production was carried out with pre-ferments prepared using lyophilized sourdough powder and sourdough for comparison purposes. A decrease in pH values, increases in TTA values, lactic acid and acetic acid contents were observed during bread fermentation carried out using different pre-ferments.

Keywords: Microwave Vacuum Drying, Sourdough Powder, Sourdough Bread, Taguchi Method, Optimization

2021, 76 pages

1. GİRİŞ

Buğday ununa su, maya (Saccharomycescerevisiae), tuz gerek duyulduğunda enzim, şeker ve izin verilen katkı maddeleri karıştırılarak uygun teknikle yoğurulup, şekil verilip, fermantasyona bırakılıp pişirilmesi sonucunda ekmek elde edilir [1; TGK, 2012]. Ucuz ve kolay sağlanabilir olması, besleyici ve doyurucu olması nedeniyle ülkemizde oldukça fazla tercih edilmektedir [2].

Ekmeğin karakteristik özellikleri üretim aşamasında kullanılan teknikler ve işlem faktörlerine bağlı olarak farklılık göstermektedir. Mayalama işlemi hamurun kabarmasını sağlayan önemli işlemlerden biridir. Mayalar hamurda bulunan basit şekerleri fermantasyona uğratırlar. Fermantasyon sonucu açığa çıkan CO_2 gazı, fermantasyon ürünü diğer bileşenlerle birlikte hamurun kabarmasını, hamurda tat ve aroma oluşmasını sağlar [3]. Ekşi hamur laktik asit bakterileri ise proteolitik aktiviteleri ile aroma öncü maddelerinin oluşumu, ekmek yapısını ve bayatlamasını etkileyen eksopolisakkaritlerin üretimi vb. aktiviteler ile ekmek karakteristiklerine etki ederler.

Ekşi hamur teknolojisi geleneksel bir süreç olmasına rağmen, modern üretim teknikleriyle birleştirildiğinde tüketiciler için daha sağlıklı ürünler üretebilir. Ekşi hamur, arzu edilen doku ve ekmek hacmini kolaylaştırmaya yardımcı olur. Ekşi hamurunun ayrıca yavaş nişasta sindirilebilirliği ve dolayısıyla düşük glisemik yanıtlarla ekmek üretiminde de yararlı olduğu gösterilmiştir. Pişirilmiş ürün dokusunda spesifik değişiklikler, yeni mayalanmış kültürlerin geliştirilmesiyle ve asit bileşenlerini ve tahıl bileşenleriyle etkileşimleri optimize ederek elde edilebilir. Ekşi hamurunun kullanımı ekmek ürünlerinin daha fazla lezzet bileşikleriyle yapılması için yararlıdır, sonuçta üretimde tekdüzeliği ve müşteri memnuniyetini arttırır [4].

Ekşi hamur antibakteriyel ve antiküf aktivitesi gösterdiği için, ekşi hamur teknolojisi aynı zamanda fırınlanmış ürünlerde sıklıkla kullanılan koruyucuların seviyesini azaltmak veya ortadan kaldırmak için de yararlı olabilir. Ekşi hamurunun kullanımı ayrıca bisküviler, pizza, aperatif yiyecekler ve ayrıca çok tahıllı un veya zenginleştirilmiş diyet lifi içeren ürünler gibi diğer ürünlere de genişletilebilir. Dolayısıyla, ekşi maya, insanlığa sağlıklı, lezzetli ve elverişli yiyecekler sunarken faydalı olabilir.

Günümüzde ekmek üretiminde, ekşi hamur yönteminin uygulanması büyük ölçüde terk edilmiştir. Uzun üretim süreleri, düşük kapasite, işçiliğin fazla olması ve her işletmede mayalık hamur için kontrollü özel bir yer gerektirmesi ekşi maya kullanımının önündeki temel zorlukları oluşturmaktadır. Bu nedenle ekşi maya üretimi için gereken uzun fermantasyon sürelerinin kısaltılması, üretimin standardize edilmesi ve işçilik maliyetlerinin azaltılması için yeni yaklaşımlara ihtiyaç duyulmaktadır. Hamur hazırlamada tektip ticari maya kullanımı arttığı için alışılagelmiş olan ekmek lezzetinin değişmesine, aroma kayıplarına ve ekmeğin kek benzeri bir yapı almasına neden olmuştur.

Ekşi hamur tekniğinden esinlenerek, bazı ülkelerde laktik starter uygulaması ağırlık kazanmaya başlamış ve fermantasyonu kontrol etmek ve güvence altına alabilmek için saf laktik asit bakterilerinden oluşan starter kültürün toz veya sıvı halde kullanımı üzerinde durulmuştur [5]. Ancak lezzet ve aroma gelişimine çok sayıda bakteri ve maya çeşidinin etkili olması nedeniyle tek tip bakteriden oluşan starter kültürlerle hedeflenen kalite karakteristiklerine sınırlı düzeyde ulaşılmaktadır.

Doğal flora korunarak üretilen geleneksel ekşi hamurlar yüksek su aktivitesi, raf ömrünün kısa olması, soğukta depolama gereksinimi, taşıma ve ambalajlama maliyetlerinin yüksek olması gibi dezavantajlara sahiptir. Bu nedenlerle ekşi hamurların kurutularak toz haline kullanımı endüstriyel olarak tercih edilen bir yöntemdir.

Bu amaçla püskürtmeli kurutma, tanburlu kurutma, liyofilizasyon ve konveksiyonel kurutma ekşi hamur tozu üretiminde kullanılan kurutma yöntemleri arasındadır. Ancak bu yöntemlerin yüksek enerji gereksinimi, uzun kurutma süreleri ve yüksek sıcaklık nedeniyle aktivite kayıpları gibi dezavantajları bulunmaktadır [6,7,8,9,10]. Son yıllarda mikrodalga vakum kurutma, konvansiyonel kurutma yöntemlerine göre enerji verimliliği ve ürün kalitesi açısından önemli bir alternatif oluşturmaktadır.

Bu çalışmada, mikrodalga vakumlu kurutma (MVK) sırasında Manisa Kula ekmeğine özgü ekşi hamurların mikrobiyolojik özelliklerinde meydana gelen değişikliklerin araştırılması, MVK işlemi sırasında biyolojik aktivite kayıplarının geri kazanılması için rehidrasyon işlem koşullarının optimize edilmesi ve MVK

yöntemiyle kurutulan ekşi maya tozundan ön hamur oluşturularak ekmek yapımında kullanılmasının ekmek kalite özellikleri açısından etkisinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla ilk aşama olarak MVK işleminde mikrodalga gücünün (200,600,1000 W) ve kurutma sıcaklığının (30,40,50ºC) laktik asit bakterisi (LAB) içeriği, maya içeriği, LAB içeriğinin maya içeriğine oranı üzerindeki etkileri 3^2 genel faktöriyel deney tasarımı kullanılarak belirlenmiştir. İkinci aşamada, ekşi hamurların mikrodalga vakumlu kurutmasının ve ön maya üretim koşullarının eşzamanlı optimizasyonu Taguchi Metodolojisi ve Gri İlişkisel Analiz ile gerçekleştirilmiştir. Kurutma sıcaklığı (30,40 ºC), mikrodalga gücü (200,400,600 W), rehidrasyon süresi (24, 48, 72 saat) ve rehidrasyon sıcaklığı (30,35,40 ºC) bağımsız değişkenlerdir ve LAB, maya içeriği ve L/M Proses performansını belirleyen bağımlı değişken olarak ekşi maya oranları seçilmiştir. Son aşamada, optimum MVK ve rehidrasyon koşulları altında hazırlanan ön mayanın ekmek yapım özelliklerini belirlemek için 6 saatlik ekmek fermantasyon sürecinde pH, titre edilebilir asitlik (TTA), laktik asit ve asetik asit içeriğindeki değişimler kaydedilmiştir. Ayrıca karşılaştırma amacıyla liyofilize ekşi hamur tozu ve kontrol grubu olarak ekşi hamur kullanılarak hazırlanan ön mayalarla ekmek üretimi gerçekleştirilmiştir. Üç farklı ön hamur kullanılarak üretilen ekmeklerin ağırlık, hacim ve renk, tekstür ve duyusal özellikleri istatistiksel yöntemler ile karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Ekşi Hamur Teknolojisi

Ekşi hamur ile ekmek üretimi, geçmiş dönemlerden bu yana kullanılan geleneksel bir yöntemdir. Doğal floraya dayanan ekşi hamur üretiminde kendi haline bırakılan hamur un, su ve havadan gelen mikroorganizmaların etkisiyle fermente olur. Fermente olan hamur, mayaların yanında laktik ve asetik asit bakterilerini de içerdiği ve tadı ekşi olduğu için bu hamura "ekşi maya" ya da "ekşi hamur" denir [11].

İlk ekşi hamur üretiminde, una beyaz peynir, yoğurt gibi içinde laktik asit bakterileri bulunan maddeler katılarak da hamurun ekşitilmesi ve doğal floranın zenginleştirilmesi sağlanabilir. Farklı bir yöntem olarak bir miktar un ile küçük bir parça hamur yapılıp kanaviçe bir torba içerisinde ekşimeye bırakılmıştır ve torbanın gözeneklerinden kabaran hamuru hazır kabul ederek ekmek üretimi için starter olarak kullanılmıştır. Hazırlanan ekmek hamurundan bir parça ayrılarak bir sonraki üretim için ekşitilmeye bırakılmıştır [4].

Ekşi hamurda bulunan mikroorganizmalar; ekşi hamurun kabarmasında ve alkol fermantasyonunda etkili olan mayalar ve hamurun ekşimesinde rol alan laktik asit bakterileri olmak üzere ikiye ayrılır. Fermantasyonun başlangıcında ekşi hamur florasında, çeşitli mikroorganizmalar yaygın şekilde gelişme gösterseler de laktik asit bakterileri asit üretiminden dolayı florada baskın hale gelmektedir. Ancak aside toleranslı mayalarda florada bulunmaktadır [12;13]. Ekşi hamurda mayalar ve LAB'lar beraber bulunmaktadır ve maya/LAB oranı genellikle 1:100'dür. Bu ortak yaşam şu şekilde açıklanır: Candida milleri dışında çoğu maya türleri maltozu metabolize edebilmektedir. Hamur içindeki amilaz enziminin aktivitesi ile parçalanan nişastadan açığa çıkan maltoz, bu şekere ihtiyacı olan laktobasiller için hazır olmaktadır. Maya, hamurda bulunan diğer tüm şekerleri kullanabilmektedir. Böylece maya ve laktobasiller maltoz fosforilaz enzimiyle maltozu sindirerek mayalanmaya küçük bir yardım amacıyla ortama glikoz salmaktadır. Aynı zamanda laktobasiller bir antibiyotik olan cycloheximide salgılayarak hamurda bulunan birçok zararlı mikroorganizmayı inaktive etmektedir. Ayrıca Laktobasiller cansız maya hücrelerinden ortaya çıkan bir takım aminoasit ve yağ asidine ihtiyaç duymaktadırlar [12,14].

Ekşi hamur farklı yöntemlerle hazırlanabilmektedir.

- **Doğal fermantasyon yöntemi:** Klasik olarak un ve su karışımından elde edilen hamur oda koşullarında 1-2 gün bekletildiğinde, unun doğal mikroflorasında bulunan mikroorganizmalardan dolayı fermantasyon gerçekleşir ve hamurun asitliği yükselir. Fermantasyon süresince LAB'lar *(Lactobacillusspp, Pediococcusspp*) baskın duruma geçer. Ekşi hamurda LAB'ların sayısı 3×10^9kob/ml, mayaların sayısı ise 10^6 -10^7kob/ml düzeyine çıkmaktadır. Diğer yandan, doğal fermantasyon her zaman başarılı sonuçlanmamakta, istenmeyen tat ve aroma oluşumu da görülebilmektedir [15].
- **Olgun ekşi hamur ilavesi yöntemi:** Bu yöntemde geleneksel olarak, daha önce ekşi hamur ekmeği yapımında kullanılan metabolik aktiviteye sahip ekmek hamurundan bir miktar alınarak bir sonraki ekmek yapımında ekmek hamuruna ilave edilmektedir [16].
- **Starter kültür kullanımı:** Fermantasyonu gerçekleştirmek amacıyla saf (LAB veya LAB/maya karışımı) kültür kullanılmaktadır. Ekşi hamur kültürü seçiminde, hamuru kısa sürede asitlendirme yeteneğine ve ekmek yapımında kullanıldığında kabul edilebilir aroma oluşturma özelliğine sahip olan kültürler seçilmelidir [15].
- **Ekşi hamur tozu kullanımı:** Ekşitilmiş hamurun farklı yöntemler kullanılarak kurutulması ile hazırlanmaktadır. Bu tip ekşi hamurlar ekmek yapımında aromanın ve asitliğin artırılması amacıyla kullanılmaktadır. Fakat kurutma işleminde suyun buharlaştırılması sırasında mikrobiyal aktivite ve son ürüne lezzet veren uçucu bileşenlerde kayıp oluşabilmektedir.

2.2. Ekşi Hamur Kullanımının Ekmek Kalitesine Etkisi

Ekşi hamurdan üretilen ekmeklerin ticari maya ile üretilen ekmeğe göre daha yoğun aroma, daha iyi ekmek içi yapısı ve uzun raf ömrü gibi pek çok üstünlüğü bulunmaktadır [4;6;17;18;19;20]. Diğer taraftan ekşi hamurdaki söz konusu mikroorganizmaların önemli bir kısmı probiyotik nitelikte olduğundan insan sağlığı üzerine olumlu etkileri bulunmaktadır [21]. Ekşi hamurlardan hazırlanan ekmeklerde glisemik indeksinin oldukça düşük olması, hamurdaki beta glukanın yıkımlanmadan

korunmuş olması, oluşan asitler nedeniyle fitat içeriğinin azaltılarak biyolojik yararlılığın arttırılması diğer avantajları olarak görülmektedir [18;21].

Ekşi hamur kullanılarak yapılan ekmeklerde hamur asitliğinin artması hamurun kolloidal yapısını daha uygun hale getirmektedir. Asitlik gelişimi pH'yı hamur proteinlerinin izoelektrik noktasına yaklaştırmakta, böylece proteinlerde ilave aktif gruplar meydana gelmektedir. Bu gruplar pişirme sırasında şekerlerle reaksiyona girerek ekmek tat ve aromasını oluşturmalarının yanı sıra protein ve ekmek içi nem miktarını arttırarak bayatlamayı geciktirdiği belirlenmiştir [4]. Etkili asit oluşumuyla özellikle çavdar ekmeklerinde fitikasitin beslenme açısından önemli olan mineralleri bağlaması engellenmiş olur [22].

Ekşi hamur laktik asit bakterilerinin ekmek kalitesini etkileyen metabolik aktiviteleri; proteolitik aktiviteleri, uçucu aroma bileşenlerinin ve aroma öncü maddelerinin oluşumu, kızarmış aromasını arttıran arjinin metabolizması, antibakteriyel bileşiklerin, antifungal maddelerin üretimi ve ekmek yapısını, bayatlamasını ve raf ömrünü etkileyen eksopolisakkaritlerin üretimi gibi aktivitelerdir [23].

2.2.1. Tat ve Aroma Oluşumuna Etkisi

Ekmeğin aroması duyusal açıdan yoğun olmayan bir özelliğe sahip olmasına rağmen, unsurları oldukça kompleks kimyasal reaksiyonlar sonucunda meydana gelmektedir. Ekmekteki arzulanan bu duyusal özelliklere kısmen formüle ilave edilen katkılar, fakat esas olarak da fermantasyon ve pişirme sırasında oluşan kimyasal bileşikler etkili olmaktadır [24]. Ekmeğin karakteristik tat ve aroması kendisini oluşturan bileşenlerin tat ve aromasına değil, bunların bileşimlerindeki bazı maddelerin birbiri ile reaksiyona girip yeni ürünler oluşturmalarına bağlıdır. Bu yeni ürünlerin ise, bir kısmı fermantasyon, bir kısmı da pişme sonucunda ekmeğin kabuk bölgesinde oluşmaktadır. Nitekim yapılan araştırmalar fermantasyon yapılmamış hamurların ekmeklerinde aroma gelişiminin çok az olduğunu; fermantasyonu normal yapılıp, özel bir pişirme tekniği uygulayarak kabuk bağlatılmadan pişirilen ekmeklerde ise cazip olmayan ve yavan bir tadın oluştuğunu göstermiştir. Bundan dolayı fermantasyonun optimum koşullarda yapılması yani katılacak maya miktarının,

sürenin ve sıcaklığın iyi ayarlanması gerekmektedir. Aksi halde aroma gelişimi istenen düzeyde olmamaktadır [25].

Ekşi maya ekmeğinin aroması, buğday ekmeğinden daha zengin ve daha aromatiktir; bu, ekşi maya hamurunun uzun fermantasyon zamanına atfedilmektedir. [12;26]. Ekşi maya kullanımı ile elde edilen laktik asit ve asetik asit arasındaki oran, son ekmeğin aromasını etkileyen başlıca faktördür [27] ve fermantasyon sıcaklığından, maya ve laktik asit bakterilerinin türünden ve kullanılan unun tipinden etkilenir [28]. Gassenmeier ve Schieberle (1995) ekmek kabuğunda en etkili koku maddelerinden biri olan 2-fenil etanolün konsantrasyonu, ekşi hamur kullanımı ile arttığını bildirmişlerdir. Son yıllarda, fermantasyonun, glutensiz ürünler içinde de tat ve aroma bileşiklerin üretimini indüklediği gösterilmiştir [29].

Ekşi hamur fermantasyonu boyunca üretilen aroma bileşenleri iki kategoride incelenmektedir. Birinci kategoride homofermentatif ve heterofermentatif laktik asit bakterilerinin ürettiği organik asitleri içeren uçucu olmayan aroma bileşenleri bulunmaktadır. Bu organik asitler ekmek hamurunun aromasını geliştirmekte ve pH'yı düşürmekte etkilidir. İkinci kategori ise, alkolleri, aldehidleri, ketonları ve esterleri içeren uçucu bileşenlerdir. Aroma oluşumuna katkı sağlayan tüm bu bileşenler fermantasyon boyunca biyolojik ve biyokimyasal olaylar tarafından üretilmektedir. Ekşi hamur fermantasyonu ile üretilen ekmeklerdeki aroma maddeleri tabloda (Tablo 2.1.) verilmiştir. Ayrıca hamurda bulunan serbest amino asitlerden lösin, prolin, fenilalanin, isolösin ve serin, indirgen şekerlerle reaksiyona girerek aroma maddelerini oluşturmaktadır. Hamur fermantasyonu sırasında proteoliz, şeker ve peptid metabolizması, ketosit türevlerinin hidrojenasyonu ve enzimatik sentez yolu ile özellikle kükürt içeren, aromatik, heteroaromatik ve hidroksi aminoasitlerin ve türevlerinin miktarı artmaktadır [5,30]. Hem laktik asit bakterileri hem de mayalar kullanılarak üretilen ekşi hamurlarda aroma bileşenleri, bunlardan sadece biriyle üretilenlerdekinden daha fazla bulunmuştur [31].

Tablo 2.1. Ekşi hamur kullanılarak üretilen ekmeklerin aroma bileşenleri [5;30]

Asitler	**Alkoller**	**Esterler**	**Karbonil Bileşikleri**
Laktik asit	Etanol	Etil asetat	Diasetil
Asetik asit	n-Propanol	Etil n-propanat	3-Metil-1-bütanol
Bütirik asit	2-Metil-1-propanol	n-Bütil asetat	2-Metil-1-bütanol
Propiyonik asit	n-Bütanol	2-Metil bütil asetat	n-Hekzanal
Prüvik asit	2-Bütanol	Bütil-n-propanat	2-Heptanon
Valerik asit	n-Pentanol	n-Pentil asetat	n-Nonanal
İsobütirik asit	n-Hekzanol	Etil n-hekzanat	Benzaldehit
α-Metil-n-valerik asit	2-Hekzanol	n-Hekzil asetat	2-Propanon
İsovalerik asit	n-Heptanol	Etil laktat	2,3-Bütandion
n-Bütirik aist	Benzil alkol	Etil n-oktanat	3-Hidroksi-2-bütanon
Formik asit	2-Fenil alkol	Etil 2-hidroksi propanat	Asetoin
Kaproik asit	İsoamil alkol		Aseton
Palmitik asit	2,3-Bütandiol		Asetaldehit
	3-Metil bütanol		İsovalerik aldehit
	2-Metil bütanol		Metiletil keton

Yapılan bir araştırmada, ekşi hamur tekniği ile üretilen ekmeklerdeki aroma karakteristikleri üzerine, heterofermantatif laktik asit bakterilerinin oluşturduğu organik asitlerin daha etkili olduğu saptanmıştır. Bu organik asitlerin başında laktik ve asetik asit gelmekte, diğer minör asitler (propiyonik asit, isovalerik, isobütirik asit, n-bütirik) ise çok az miktarda oluşmaktadır. Asetik asit hem güçlü bir aroma oluşumu sağlamakta, hem de diğer aroma bileşenlerinin etkisini arttırmaktadır. Laktik asit bakterilerinin aroma oluşumuna etkileri, sadece karbonhidrat metabolizması ile sınırlı olmayıp, serbest amino asit oluşumunda da etkili olmaktadır. Laktik asit bakterilerinin içerdiği proteaz ve peptidaz enzimleri, fermantasyon sırasında hamur proteinlerini hidrolize ederek amino asitleri serbest hale geçirmekte ve böylece pişirme aşamasındaki aroma bileşeni oluşumuna da dolaylı olarak katkıda bulunmaktadırlar [5].

2.2.2. Besinsel Kalitenin İyileştirilmesi

LAB'lar, gıdalarda uzun bir kullanım öyküsüne sahiptir ve genellikle güvenli organizmalar olarak kabul edilmektedir [32]. Hububat taneleri, çoğu ekmeğin elde edildiği buğday gibi, lizin, treonin, metionin, triptofan ve izolösin gibi bazı temel amino asitlerce düşüktür. Bu nedenle, tahıl taneleri yüksek kaliteli proteinlerce düşük olarak kabul edilebilir. pH' nın 4 ün altında olması proteolitik enzimlerin aktivitesinin arttırılmasına neden olarak sindirimi kolaylaştırmaktadır. Bu nedenle, dünyanın birçok bölgesinde yaygın olan tahıl temelli diyetler, bazı temel amino asitlerde yetersiz kalabilir. Liyofilize edilmiş mikroorganizma kültürleri, buğday gibi tahıl tanelerine, temel besleyici protein kalitelerini arttırmak için toplu olarak eklenebilir [33].

2.2.3. Hamur Yapısı ve Ekmek Özelliklerine Etkisi

Maya fermantasyonu, hamur reolojisini 2 düzeyde etkiler: ekşi hamurun kendisinde ve katıldığı ekmek hamurunda. Ekşi hamurda, fermantasyon elastisiteyi ve viskoziteyi azaltırken, son ekmeğin hamuruna eklenmesi ise daha az elastik ve daha yumuşak olmasıyla sonuçlanır [34]. DiCagno ve diğerleri (2002), ampirik teknikler kullanarak fermente hamurun reolojisini ölçtüler ve uzamaya karşı dirençte azalma ve hem uzayabilirlik hem de yumuşama derecesinde bir artış buldular. Maya fermantasyonu boyunca farklı organik asitler üretilir. Bu organik asitler, ekmeğin lezzetini arttırır, glüten şişmesine yardımcı olur ve gaz tutmayı arttırır, bu da iyi bir dokuya ve büyük hacimli ürünlere neden olur ve doğal hamur koşullandırıcıları olarak işlev görür [35].

Fermantasyon sırasında üretilen asitler hamurun yoğurma davranışını kuvvetli bir şekilde etkiler ve düşük pH değerine sahip hamur, biraz daha kısa yoğurma süresi gerektirir [36]. Olgun bir mayanın pH'sı, kullanılan işlemin ve başlangıç kültürünün doğasına göre değişir, ancak buğday ekşi mayaları için 3.5 ila 4.3 arasında değişir. Unun doğasının, özellikle kül içeriğinin asitleştirmede önemli bir etkisi vardır [37;38]. Asit, buğday unu ile ekstrakte edilen gluteninfraksiyonunun çözünürlüğünü arttırır ve aynı zamanda glutenin şişme gücünü de etkiler [39]. Ticari mayayla hazırlanan ekmeğe kıyasla, ekşi hamur ekmekleri nemli, yoğun tahıllar ve oldukça çiğnenebilir dokusuyla karakterize edilir [40]. Ekşi hamurunun buğday ekmeklerine uygulanması ekmeğin birincil kalite özelliği olan ekmek hacminde, olumlu bir etkiye sahiptir

[34;37]. Ekmeklerde nispeten küçük boyutlu (1 veya 2 mm) gözenekler gereklidir, büyük boşluklar veya düzensiz gözenek dağılımları istenmemektedir [41].

2.2.4. Titre Edilebilir Asitlik ve pH

Hamurun titre edilebilir asitliği ve pH değeri, mayalanma fermantasyonu sırasında önemlidir. Başlangıç aşamasında, hem asit hem de pH sabit kalır, oysa ara faz sırasında, mayanın varlığı nedeniyle titre edilebilir asitlik artar. Uzun süreli fermantasyon fazı sırasında maya varlığı negatif olur ve titre edilebilir asitlik ve hamurun pH'ı esas olarak sisteme dahil edilen LAB içeriklerine bağlıdır. Hamur mayasında bulunan mayalar, laktik asitten sadece biraz etkilenirken asetik asitten çok daha fazla etkilenir [42].

2.2.5. Raf Ömrü ve Mikrobiyolojik Kalite Üzerine Etkisi

Unlu mamullerde raf ömrü; bayatlama ve bozulmaya neden olan mikroorganizmaların faaliyetleri ile sınırlıdır [43]. Ekmeğin kontaminasyonu pişirme işleminden sonra meydana gelir ve toz ve küf sporlarının havadaki dağılımı ekmek bozulmasının ana nedenidir [44]. Ekonomik kayıplara ek olarak, ekmek bozulmaları, özellikle de ekmek mikotoksijenik kalıplarla kirlendiğinde, tüketiciler için bir sağlık tehlikesi oluşturmaktadır. LAB'ların ekşi hamur formunda uygulanması ekmek bayatlaması üzerinde olumlu bir etkiye sahiptir. Bu etkilerden biri, özgül hacmindeki bir gelişme olup, bayatlama oranındaki azalma ile ilişkilidir [39]. Hamur mayası içeren ekmekler, diferansiyel taramalı kalorimetri ile ölçülerek bayatlama oranın azaltılabildiği görülmüştür [27]. Genel olarak, LAB fermantasyonun nihai ürünlerinin mikrobiyal stabilitesini teşvik ederek fermente gıdaların korunmasında ve mikrobiyal güvenilirliğinde önemli bir rol oynar. Unlu mamüllerde bozulmanın en sık nedeni, mikotoksin üretimi söz konusu ise halk sağlığı kaygılarına neden olabilen mantar gelişimidir [44]. Ekmek bayatlaması ile sıklıkla ilişkili olan bozucu mantarlar *Aspergillus, Cladosporium, Endomyces, Fusarium, Monilia, Mucor, Penicillium* ve *Rhizopus* cinslerine aittir [45]. Lavermicocca ve arkadaşları (2000), Lb tarafından üretilen 2 antifungal bileşiği saflaştırdı ve karakterize etti. *Plantarum* ITM21B, pişirme sonrası fungisidal aktivitelerini hala muhafaza eden fenillaktik ve 4-hidroksi-

fenillaktik asitler olarak tanımlanmıştır. Yukarıdaki 2 antifungal bileşiği üretebilen laktobasiller, bunların arasında en güçlü olanı olan fenillaktik asit, *Aspergillus niger* ve *Penicillium roqueforti*'nin 7 güne kadar büyümesini geciktirdi ve ekmeğin raf ömrünü önemli ölçüde uzattı [46].

Ekmek ve diğer mayalanmış pişmiş ürünler, bozucu bakteriler veya kalıplar ile kirlenmiş olabilir. LAB'ların hem antibakteriyel hem de antifungal özelliklere sahip olduğu gösterilmiştir ve ek madde içermeyen ürünler için tüketici talebine uygun olduğu için ekmeğe eklenmesi, ekmeğin bozulmadan korunması için etkili bir prosedürdür [23]. Çeşitli bileşiklerin (organik asitler, hidrojen peroksit, diasetil) ilave edilmesinin yanı sıra, mayalanmış LAB, *Lbreuteri* LTH2584 tarafından üretilen reuterisiklin gibi bakteriyosin veya başka maddeler üreterek diğer, ilgili mikroorganizmaların büyümesini engelleyebilir [47]. Antibakteriyel bileşikler ayrıca kompleks gıda sistemlerinde mikrobiyal etkileşimleri düzenleyebilir. LAB bakteriyosinleri, *Listeria monocytogenes, Bacillus subtilis* ve *Staphylococcus aureus* gibi gıda kaynaklı patojenleri ve / veya gıdaların bozulmalarına sebep olan bakterileri inhibe etme kabiliyetini göstermiştir. Bu nedenle, gıda katkı maddeleri olarak kullanılması veya üretici suşların başlangıç veya koruyucu kültür olarak uygulanması, daha güvenli ürünlerin üretilmesine katkıda bulunabilir. Ayrıca, bakteriyosinler gıda endüstrisinde kullanılan kimyasal katkı maddelerinin azaltılmasına yol açabilir [23].

2.3. Ekşi Hamurun Alternatif Kullanım Şekilleri

Ekşi hamurun sıvı ve toz formunda kullanımına ilişkin çalışmalar yapılmıştır. Ekşi hamur ekmeklerinin laktik asit ve asetik asit içeriği, ekmek hacmi, uçucu bileşenlerin kompozisyonu, raf ömrü, duyusal niteliği üzerine etkisi değerlendirilmiştir. Una eklenen starter kültürün miktarı, hamur fermantasyon sıcaklığı ve ekşi hamur kullanımının miktarı ekmek yapım prosesini optimize etmek için incelenmiştir. Kültür karışımının kullanımı, geleneksel yolla yapılmış ekmekle kıyaslandığında toplam titre edilebilir asitlik ve laktik asit düzeyinin daha yüksek olmasına yol açmıştır. En yüksek asitlik derecesi (3.41 g laktik asit/ ekmeğin 1 kg'ı) ve şekillendirmeye karşı gösterdiği en yüksek direnç, %1 *K. marxianus* ve %4 *L. Delbrueckii ssp. bulgaricus* içeren %50 ekşi hamur kullanılan ekmekte gözlenmiştir. Aynı zamanda kültür kullanımı, GC-MS analizlerinin ve duyusal değerlendirmelerin sonucunda ekşi hamur ekmeğinin aromasını geliştirmiştir [7;8;9].

Plessas ve ark. (2011), yaptıkları çalışmada; ekmeğin duyusal karakterini ve raf ömrünü arttırabilmek amacıyla ekşi hamur ekmeği yapımında bazı starter kültürlerin kullanımı denemiştir. Bu çalışmada *Lactobacillus acidophilus* ve *Lactobacillus sakei* tek veya karışım halinde ekşi hamur ekmeği yapımında kullanılmıştır. Kontrol olarak hiç mikroorganizma eklenmeden kendiliğinden fermantasyona bırakılmış ekşi hamur kullanılmıştır. Çalışma sonuçlarına göre; her suştan %10 düzeyinde kullanılarak üretilen ekşi hamur ekmeklerinin diğer üretilen tüm ekmeklere göre daha uzun raf ömrüne (12 gün) sahip olduğu gözlenmiştir. Bu durumun temel nedeni yüksek laktik asit içeriğine bağlanmıştır. İlaveten aynı ekşi hamur ekmeğinin diğer ekşi hamur ekmeklerine kıyasla daha sert bir tekstüre, daha iyi aromaya ve genel kalite olarak daha iyi sonuçlara sahip olduğu bulunmuştur [48].

Gaggiano ve ark. (2007), yaptıkları çalışmada, birçok teknolojik faktörlere uyum sağlayan ve hızlı asitlendirme yeteneğine sahip olan laktik asit bakteri kültürleri ile ekşi hamur üretmişlerdir. Üretilen ekşi hamurlardan 56 tane laktik asit bakterisi izole edilmiştir. Bunlardan elde edilen hamurlarda fermantasyon boyunca asitlik gelişimi izlenmiştir. Ayrıca bu hamurlarda sıcaklığın (25-37° C), NaCl'nin (buğday ununun %2'si) etkisi, başlangıç hücre konsantrasyonu (107 -109 kob/g) ve hamur verimi (150-180) belirlenmiştir. Sıralanan bu özellikler bakımından en uygun olarak *Lactobacillus casei* DPPMA27, *Weissella confusa* DPPMA20 ve *Lactobacillus fructivorans* DPPMA8 suşları olumlu sonuçlar vermiştir. Seçilen suşlar ile yarı sıvı ekşi hamur üretimi yapılmıştır. Fermantasyon pH kontrollü biyoreaktörde (12 saat, 37° C), hücrelerin gelişmesi için %60 su, %40 un ve diğer besleyici öğeler ile kesikli fermantasyon koşullarında gerçekleştirilmiştir. Hazırlanan yarı-sıvı ekşi hamur kültürleri farklı koşullar altında 1, 7, 14, 21 ve 30 gün depolanmıştır ve hamur verimi 160 olacak şekilde ekmek hamuru hazırlanıp fermantasyon işlemine tabi tutulmuştur. Mikrobiyal kompozisyon, asitlendirme derecesi ve fermantasyonun son ürünleri depolamanın 21 günü boyunca sabit tutulabilmiştir. Bu çalışmada elde edilen sonuçlara göre, fırıncılık endüstrisinde yarı sıvı ekşi hamur kültürlerinin kullanımını artırmanın yararlı olabileceği belirlenmiştir [16].

2.4. Ekşi Hamur Tozu Üretimi

Ekşi hamurun kurutulup toz haline getirilmesi ile ilgili farklı kurutma yöntemleri (püskürterek kurutma, etüvde kurutma, liyofilizatörde kurutma) denenmiş

ve bu yöntemlerin hem ekşi hamur reolojisi hem de ekşi hamurdan üretilen ekmeklerdeki kalite karakteristikleri üzerine etkileri çeşitli araştırmacılar tarafından incelenmiştir [7;8;9;10].

Mayaların ekşi hamurda LAB ile beraber bulunduğu ve maya/LAB oranının genellikle 1/100 olduğu bildirilmektedir [15]. Ekşi hamur tozu üretiminde en yaygın olarak kullanılan püskürtmeli kurutma ekşi hamurun mikroflorası üzerinde önemli bir etki oluşturmazken, liyofilizasyon ve sıcak hava ile kurutmada canlı sayılarının önemli ölçüde azaldığı gözlenmiştir [47].

Reale ve ark., dondurma, dondurarak kurutma ve kurutma tekniklerine alternatif olarak sprey kurutma yöntemini ile ekşi maya kurutmuşlardır. Bu çalışmada dondurma (-18 ° C'de 24 saat), kurutma (40 ° C'de 48 saat, -87 kPa vakum koşullarında termostatlı bir fırında) ve dondurarak kurutma (-40 ° C'de dondurulmuş ve ardından 15 Pa vakum altında dondurularak kurutma) yöntemleri ile sprey kurutma yöntemi karşılaştırılmıştır. Dondurmanın mikrobiyal sağkalımı güçlü bir şekilde etkilediği ve lab-maya sayısında yaklaşık 3.5 ± 0.09 logcfu/g azalma olduğu gözlemlenmiştir. Kurutma ve dondurarak kurutma da ise lab-maya sayılarında yaklaşık 3 logcfu/g azalma olduğu belirtilmiştir. Bunlara kıyasla sprey kurutmada lab-maya sayılarında sadece 1-2 logcfu/g azalma olduğu görülmüştür. Stabilize edilmiş ekşi hamurlar, hamurları mayalama ve fermente etme yeteneğini değerlendirmek ve ekmeklerin duyusal özellikleri üzerindeki etkisini değerlendirmek için ekmek yapımında kullanılmıştır. Geleneksel tekniklere kıyasla hem mayaların hem de laktik asit bakterilerinin canlılığını daha iyi koruyan püskürtülerek kurutulmuş ekşi hamurlarla daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Ayrıca, sonuçlar, uygun şekilde tazelenen püskürtülerek kurutulmuş ekşi hamurun, ekmek yapımında, ekmek mayası aktivatörü kullanılmadan kullanılabileceğini ve taze hamur mayaları kullanılarak üretilenlere oldukça benzer duyusal özelliklere sahip ekmeklerin üretilebileceğini ortaya koymuştur [7].

Çağlar ve ark. (2021), püskürtmeyle kurutulmuş ve dondurularak kurutulmuş ekşi hamur tozları üretmiş ve karakterize etmişlerdir. Ekşi hamurun toza dönüştürülmesi, hem laktik asit bakterilerinin hem de mayaların canlılığını belirli sayılarda korumuştur (hem LAB hem de maya için son sayımlar, dondurularak kurutulmuş toz ve püskürtülerek kurutulmuş toz için sırasıyla yaklaşık 5 cfu / g ve 8

cfu / g olarak bulunmuştur). Toz starterler kullanıldığında, kontrol numunelerine göre bazı hamur özelliklerinde önemli değişiklikler ve ekmek ürünlerinin hacminde azalma olmasına rağmen, hem püskürtmeyle kurutulmuş hem de dondurularak kurutulmuş ekşi maya tozlarında tatmin edici sonuçlar elde edilmiştir ($p < 0.05$). Bu nedenle, bu çalışmada elde edilen sonuçlar, dondurularak kurutulmuş ve püskürtülerek kurutulmuş ekşi maya tozlarının hamur formülasyonlarında taze ekşi hamurlara alternatif olarak kullanılabileceğini göstermektedir. Kurutma işleminin, kurutulmuş ekşi mayalarda canlı LAB ve maya hücrelerinin sayısını azalttığı görülmüştür. FD-SP mikroflorasının sayıları SD-SP'ninkinden daha büyük ve taze mayadan elde edilen sayılara yakın olduğu bulunmuş. Bu, sprey kurutma işleminin LAB ve maya canlı hücrelerinin sayısında önemli bir azalmaya neden olduğu anlamına gelir [8].

Talfti ve ark. (2012), %250 hidrasyon seviyesine sahip ekşi hamurları hava giriş ve çıkış sıcaklıklarının sırasıyla 180 ve 90 dereceye ayarlandığı bir püskürtmeli kurutma sisteminde toz haline getirmişlerdir. Toplam LAB sayısının 10^9 KOB/g başlangıç seviyesinden 2×10^5 KOB/g'a düştüğünü belirtmişlerdir [9]. Bu değerlerin, Ertop (2013) tarafından bildirilen püskürtmeli kurutma yöntemindeki inaktivasyon değerlerinden daha yüksek olduğu görülmektedir [49]. Uygulanan kurutma yönteminin aynı zamanda ekşi hamur tozlarının depolama sonrasındaki LAB sayılarını da etkilediği, püskürtmeli kurutma yöntemine kıyasla liyofilize edilen ekşimaya tozlarında mikrofloranın dayanım gösteremeyerek 10^2 logkob/g düzeyine düştüğü tespit edilmiştir. Sıcak hava yöntemi ile kurutulanlar ise uzun süren kurutma işlemleri ve sıcaklık etkisi ile aktivitelerini kaybetmektedir [9]. Ertop (2013), tarafından yapılan çalışmada rutubet, pH ve TTA değerlerinin kriterlere uyum sağlayarak kurutma yöntemlerinden etkilenmediği gözlenirken kurutma yöntemleri açısından önemli olduğu anlaşılmıştır [49]. Talfti ve arkadaşları (2012), püskürtmeli kurutma yöntemi ile elde ettikleri ekşi hamur tozunun farklı seviyeleri ile yapılan ekmeğin, kontrol ekmeğine göre daha düşük pH ve daha yüksek toplam titre edilebilir asitliğe sahip olduğunu ve aradaki farkın istatistiksel olarak önemli ($p < 0.05$) olduğunu belirtmişlerdir [9].

Toz ekşi hamur örneklerinin suda çözünürlüğü üzerinde kurutma metodunun etkili olduğu gözlenmiştir. Liyofilizatörde elde edilen ekşi hamur tozları vakumla kurutulduğundan süngerimsi gözenek yapısına sahip kütleler halinde kurumuş, granüler olarak birbirine yapışmamış, dağılgan ve serbest formda olduğundan

kolaylıkla granül toz forma dönüştürülebilmiştir. Toz formdaki dağılgan ve serbest formlarını su içerisinde de sürdürmüşler, su içerisinde önce serbest olarak dağılmışlar, daha sonra su alarak çözünmüşlerdir. Kap cidarına yapışma veya topaklanma gözlenmemiştir. Etüvde kurutulan form liyofilizatördeki gibi yayma yöntemi ile yapılmış olmasına rağmen açık hava basıncında kurutulduğundan daha sert plakalar halinde kurumuş, toz formdaki granülleri daha sert yapıda oluşmuştur. Granüller suya ilave edildiğinde topaklanma veya cidara yapışma gözlenmemekle birlikte, daha sert yapıya sahip olduklarından su alarak çözünmeleri daha uzun zaman almış, diğerleriyle aynı sürede karıştırmaya son verildiğinde ağır ve çözünmemiş granüller kap dibine çökme eğilimi göstermişlerdir. Kullanıma elverişlilik göz önünde bulundurulduğunda teknolojik açıdan liyofilizatörde kurutma en ideal yöntem olarak belirlenmiştir [8;10].

Yapılan bu çalışmalara göre toz halde üretimin mümkün olduğu ve çeşitli kurutma yöntemlerinin uygulanabildiği görülmüştür. Ancak bilimsel açıdan kullanım miktarına (yaş/toz maya ile toz ekşi hamur) dair bir optimizasyon çalışması söz konusu değildir. Ekşi hamur tozu miktarı ve bunun yaş mayaya oranının iyi optimize edilmesi gerekiyor. Bunun yanı sıra kurutma proseslerine ait enerji verimliliğinin dikkate alınmadığı ve yüksek sıcaklık, uzun kuruma süreleri gibi kurutma proses koşullarının toplam canlı sayısında önemli ölçüde azalmaya sebep olduğu görülmüştür. Bu çalışmada, enerji verimliliği de dikkate alınarak mikrodalga-vakum kurutma yöntemi ile ekşi hamur mikroflorasının zarar görmeyeceği en iyi proses koşullarında ekşi hamur tozu üretilmesi ve ekmek üretim süreçlerinde kullanımının optimizasyonu amaçlanmıştır.

2.5. Mikrodalga Vakum Kurutma Teknolojisi

Son yıllarda araştırmacıların ve kurutulmuş gıda endüstrisinin ilgi odağı olan mikrodalga enerjisinin vakum teknolojisi ile kombine olarak kullanımı, bir kurutma yöntemi olarak karşımıza çıkmaktadır. Mikrodalga vakumla kurutmada mikrodalga ısıtma hızını korurken vakum etkisi ile yüksek sıcaklıklara çıkılması engellenir. Bu nedenle, gıdalar düşük sıcaklıklarda ve çok daha kısa bir kuruma süresinde kurutulabilir. Ayrıca, kuruma sırasında ortamda havanın olmaması gıdaların yapısında meydana gelebilecek oksidasyon reaksiyonlarını azaltır ve oksidasyona duyarlı bileşiklerin (antioksidanlar, fenolik bileşikler, flavonoidler vb.) korunmasını sağlar. Böylece, vakumlu kurutma ile kombine edilen mikrodalga, ürünlerin homojen bir

şekilde kurutulmasını sağlar ve kurutulmuş ürünlerin kalite özelliklerini daha da iyileştirir [10].

Mikrodalga enerjisi madde içerisinde doğrudan ısıya dönüştüğünden nemli maddelerin ısıtılmasında konvansiyonel sistemlere göre hem az enerji kullanılmakta hem de hacimsel bir ısıtma sağladığından kurutma işlemi daha kısa sürede olmaktadır. Nemin vakumla düşük sıcaklıkta buharlaştırılması nemin daha hızlı giderilmesini sağlar. Ürünün kurutulması sırasında ısıya dönüşen mikrodalga enerjisi iç basıncı artırır ve su buharının yüzeye çıkmasına sebep olur. Bu su buharının yüzeyden giderilmesi için kurutma ortamında atmosfer basıncının çok altında bir vakum uygulanarak düşük sıcaklıkta nemin buharlaşması sağlanır. Böylece vakum destekli mikrodalga kurutma sistemlerinde hem vakumla daha hızlı nem giderme hem de mikrodalga ile hacimsel ısıtma sağlanır ve enerji verimliliği arttırılmış olur [50].

2.6. Mikrodalga Vakum Kurutma Yöntemi ile Starter Kültürlerin Kurutulması

Ambros ve ark. (2016), laktik asit bakterilerinin korunması için uygun bir mikrodalga-vakum sistemi kurmak ve yüksek sağ kalım ve aktivite ile kurutulmuş kültürler elde etmek için optimum işlem parametrelerini araştırmışlardır. Mikrobiyal süspansiyonların kurutulması için uygun işlem parametrelerini ön deneylerle belirlemişlerdir. Bir gram ürüne karşılık 3-4 W arası mikrodalga gücü, 7 mbar'lık basınç seviyesi ve 30-35 °C'lik düşük ürün sıcaklıkları, en yüksek hayatta kalma ve bakteri hücrelerinin aktivitesi ile sonuçlanmış. Uygulanan mikrodalga gücü, kurutma kinetikleri ve kültür süspansiyonunun sıcaklık davranışı üzerinde önemli bir etki göstermiştir. Bu sonuçlarla, starter ve probiyotik kültürlerin korunması için mikrodalga-vakum kurutmanın umut verici bir alternatif kurutma tekniği olabileceğini öngörmüşlerdir [51].

Kim ve ark. (1994), yoğurdun mikrodalga vakumla kurutulması sırasında laktik asit bakterilerinin sağ kalımı üzerine çalışmışlardır. Su aktivitesinin ve sıcaklığın laktik asit bakterilerinin hayatta kalması üzerindeki birleşik etkisi belirlenmiş ve hayatta kalma için model regresyon denklemleri geliştirilmiştir. Mikrodalga vakumla kurutma sırasında yoğurttaki laktik asit bakterilerinin hayatta kalması, gelişmiş denklemler kullanılarak tahmin edilmiş ve deneysel değerler ile karşılaştırılmıştır.

Mikrodalga vakumla kurutma sırasında yoğurttaki laktik asit bakterilerinin beklenen canlılığı, deneysel sağ kalım sonuçları ile uyum sağlamıştır [52].

2.7. Taguchi Metodolojisi

Taguchi metodolojisi optimum proses parametrelerinin belirlenmesi amacıyla ortogonal dizi (OD) deney tasarımlarını kullanan güçlü bir araçtır. Kalite, performans ve hesaplama maliyeti için en iyi tasarım yelpazesini bulmak adına basit ve etkili bir entegre yaklaşım sunar. Geleneksel deneysel tasarım prosedürleri, ortalama proses performansı özelliklerine odaklanır, ancak Taguchi metodu, varyasyonun ortalamaları yerine proses kalitesi özellikleri üzerindeki etkisine odaklanır. Diğer bir ifade ile, Taguchi yaklaşımı, işlem performansını kontrolsüz veya gürültü faktörlerindeki değişime karşı duyarsız (sağlam) kılar. Taguchi, bunun, çevrimdışı kalite kontrolün "parametre tasarımı" aşamasında parametrelerin uygun tasarımı ile yapılmasını önerir. Taguchi, belirli bir ürün veya proses karakteristiğinin değişkenliğini etkileme kabiliyeti için iki veya daha fazla parametrenin eşzamanlı ve bağımsız olarak değerlemesinin minimum sayıda testte yapılabileceği belirli standart OD'lar tasarlamıştır. Ayrıca tüm parametre ana etkilerini etkileşimlerin birçoğunu belirlemek için tüm tasarım uzayını az sayıda deney ile araştırır. Bu veriler daha sonra, nesnel işlevi en aza indirecek ve tüm kısıtlamaları karşılayacak tasarım parametrelerinin optimum kombinasyonunu tahmin etmek için kullanılır. Ayrıca, Taguchi metodu parametre eğilimleri ve gürültü hassasiyetleri hakkında bilgi sunarak güvenilir bir tasarım yapma imkanı sağlar. Taguchi yönteminin parametre tasarım aşaması genellikle şu adımları içerir: (1) deneyin amacı tanımlanır; (2) kalite karakteristikleri (performans ölçümü) ve ölçüm sistemleri tanımlanır; (3) kalite karakteristiğini, seviyelerini ve olası etkileşimlerini etkileyebilecek faktörleri tanımlanır; (4) uygun OD seçilir ve faktör seviyeleri OD'ye atanır; (5) OD'deki deney planına göre denemeler gerçekleştirilir; (6) hangi faktörlerin istatistiksel olarak anlamlı olduğunu ve optimum faktör seviyelerini bulmak için sinyal/gürültü (S/G) oranı, faktör etkileri ve varyans analizi (ANOVA) kullanılarak deneysel verilerin analizi gerçekleştirilir; (7) optimal deney parametreleri onay denemeleri ile doğrulanır [53;54;55].

2.8. Gri İlişkisel Analiz

1982 yılında Deng tarafından önerilen Gri sistem teorisi, esas olarak sistem modellerindeki belirsizlikleri incelemek, sistemler arasındaki ilişkileri analiz etmek, modeller oluşturarak tahminler ve kararlar vermek için kullanılır. Özellikle çok yanıtlı optimizasyon problemlerinde, farklı parametreler arasındaki etki ve ilişki çok yönlüdür ve açık değildir. Bu, zayıf ve belirsiz bilgi gri ilişki olarak ifade edilir. Gri ilişkisel analiz, belirli bir sistemdeki çoklu yanıtlar arasındaki bu karmaşık belirsizliği analiz eder ve gri ilişkisel derece yardımıyla optimize eder. Bu nedenle, çok yanıtlı bir optimizasyon problemi, tek ilişkisel derece olarak adlandırılan tek bir optimizasyon problemine indirgenir [56].

GİA'da deneysel veriler ilk olarak gri ilişkisel üretimi adı verilen bir süreç ile 0-1 aralığında normalleştirilir. Bu normalleştirilmiş verilere dayanarak, istenen ve gerçek deneysel veriler arasındaki korelasyonu temsil etmek için gri ilişkisel katsayı hesaplanır. Daha sonra, ilgili yanıtlar için gri ilişki katsayısının ortalaması alınarak genel gri ilişkisel derece hesaplanır. Böylece çoklu yanıt problemi, amaç fonksiyonu olarak genel gri ilişkisel dereceli (GİD) tek bir yanıt süreci optimizasyon problemine dönüştürülebilir. Daha sonra, varyans analizini (ANOVA) ve optimal GİD'nin tahminlenmesi gerçekleştirilir [56;57].

3. MATERYAL VE YÖNTEMLER

3.1. Materyal

Ekmek üretiminde kullanılan Manisa yöresine özgü Kula ekmeği ekşi hamuru yerel bir ekmek fırınından doğal mikroflorası korunarak sterilize edilmiş kaplar içerisinde temin edilmiştir. Ekşi hamurlar deneylerde kullanılıncaya kadar +4 °C' de depolanmıştır.

3.2. Yöntem

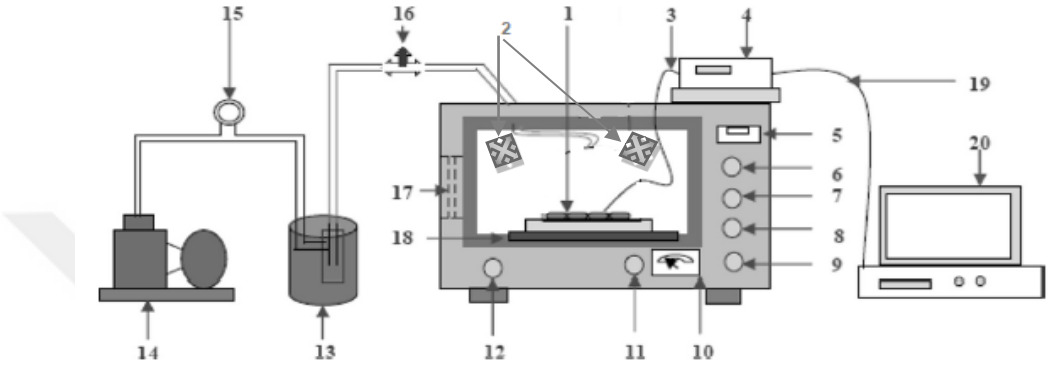
3.2.1. Mikrodalga Vakum Kurutma Sistemi

Laboratuvar ölçekli olarak tasarlanan mikrodalga vakum kurutucunun tam bir şeması Şekil 3.1'de gösterilmiştir. Kurutma bölümünün üst kısmına maksimum 1000 W'lık bir mikrodalga gücü ile 2.45 GHz frekansında çalışan bir magnetron yerleştirilmiştir. Mikrodalga enerjisi, bir dalga kılavuzu (WR340) aracılığıyla monomode boşluğuna iletilir. Monomode boşlukları, kurutma odasının ortasında maksimum alan yoğunluğuna sahip bir TE10 modupaterni dağılımına sahip olmasıyla karakterize edilir. Kurulum, vakum pompası ve pompanın hasar görmesine veya tamamen tahrip olmasına neden olabilecek su birikimini önlemek için bir yoğuşma ünitesi (su soğutma sistemi) ile tamamlanmıştır. Basınç kontrolü, ±10 mm-Hg histerisis değeri ile aç-kapa kontrol yapan bir basınç sensörü (Autonics, Kore, model PSA-V01-Rc1/8) ve ona bağlı çalışan selenoid valf (Parker, ABD) tarafından gerçekleştirilmiştir.

3.2.2. Ekşi Hamurun Mikrodalga Vakum Kurutucuda Kurutulması

Ekmeğe karakteristik özellikleri sağlama açısından en iyi ekşi hamur seçimi için bölgedeki farklı fırınlardan ekşi hamur örnekleri toplanmıştır. Ekşi hamur örnekleri ve ekmekleri mikrobiyolojik, kimyasal ve duyusal analizler ile karakterize edilerek kurutmalarda kullanılacak ekşi hamur belirlenmiştir. Seçilen ekşi hamuru geliştirmek ve ekmek üretiminde kullanılmak üzere ön hamur hazırlama sürecinde fermantasyon süresinin (18 saat) ekşi hamurun mikrobiyolojik ve kimyasal bileşimi üzerindeki etkileri belirlenmiştir.

Ekmek fırınından temin edilen ekşi hamurlar deneysel düzeyde (%60-100) seyreltilmiştir. Ekşi hamurların mikrodalga vakumla kurutulması 200-600 W mikrodalga gücü ve 30-40 °C sıcaklıkta 4.25 kPa ve 19.95 kPa mutlak vakum odası basınç seviyelerinde gerçekleştirilmiştir. Mikrodalga gücünün seviyeleri, ön denemeler ile kurutma işlemi sırasında mikrodalga sistemin kalorimetrik etkisine odaklanarak belirlenmiştir.



1.Ürün, 2.Enerji dağıtıcı (stringer), 3.Fiber optik sıcaklık sensörü, 4. Sinyal düzenleyici, 5.Süre ayarı, 6.Aç-kapat düğmesi, 7.Döner tabla kontrolü, 8.Elektrik güç anahtarı, 9.Manuel güç ayarlama, 10.Güç seviyesi göstergesi, 13.Nem yoğunlaştırıcı, 14.Vakum pompası, 15.Basınç ölçer, 16.Basınç kontrol valfi, 17.Isı emici fan, 19.USB kablosu, 20. Bilgisayar.

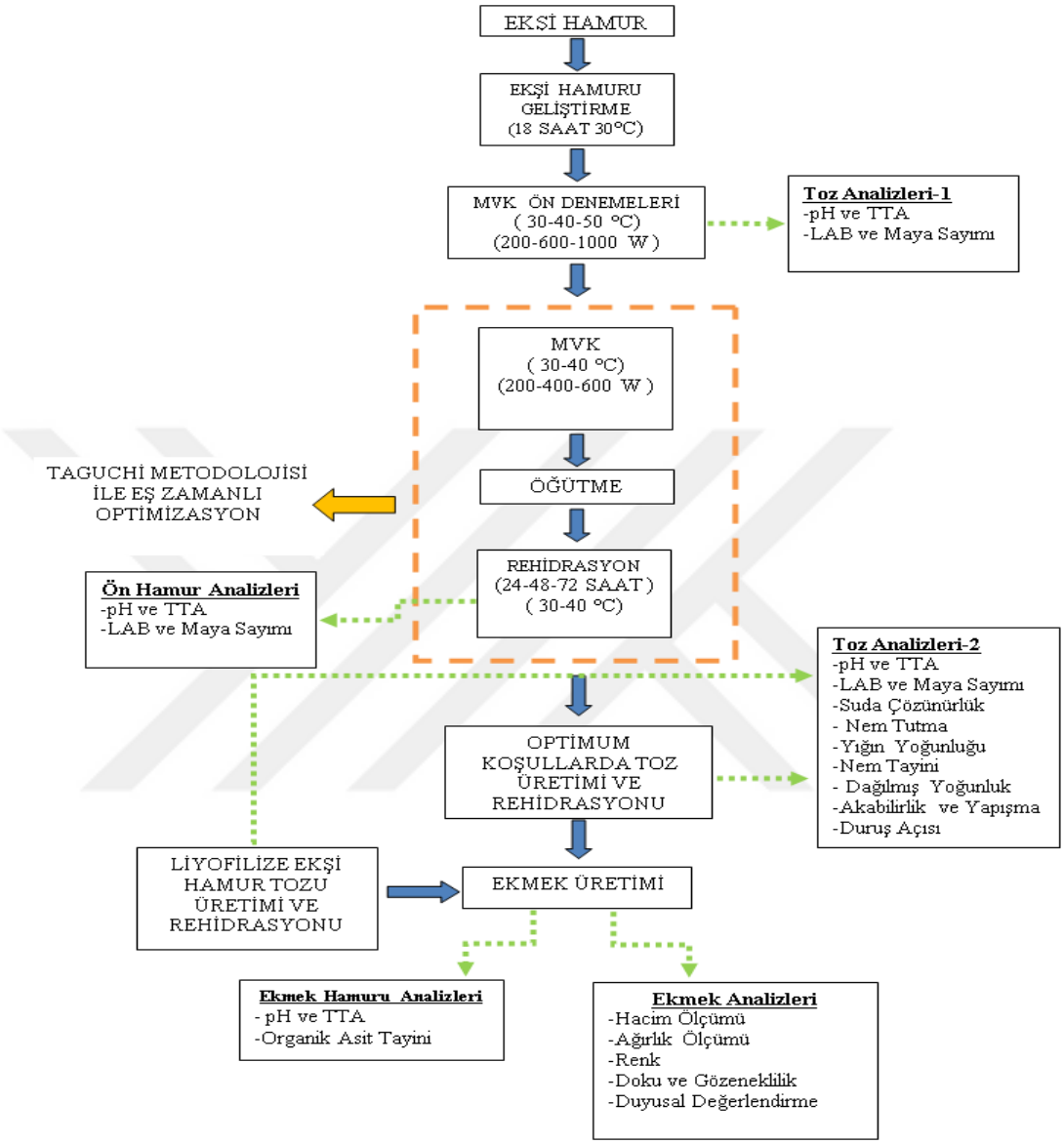
Şekil 3.1. Laboratuvar tipi mikrodalga-vakum kurutma sistemi düzeneği

Mikrodalga radyasyonu ile ürün içinde eşit olmayan ısınmayı önlemek için numune plakası 5 rpm hızda 360° döndürülmüştür. Kurutma sırasında örneklerin yüzey sıcaklık dağılımları belirli aralıklarla, termal kamera (Testo 880-3, Almanya) kullanlarak ölçülmüş ve cihaza ait görüntü işleme paket programı kullanılarak minimum, maksimum ve ortalama sıcaklık değerleri belirlenmiştir.

3.2.3. Ekmek Üretimi

Ekşi hamur tozları, biyolojik aktivite kayıplarının geri kazanılması için rehidre edilmiş ve 24 saat aralıklarla olmak üzere toplam 3 kez (72 saat) 40 °C'de fermantasyona bırakılmış ve hazırlanan ön hamur buğday unu, su ve tuz ile karıştırılarak ekmek hamuru elde edilmiştir. Elde edilen ekmek hamuru 5 saat fermantasyona tabi tutulmuş daha sonra kesme-tartma işlemi yapılarak hamurlar 8-10 dk ara dinlendirmeye bırakılmıştır. Ara dinlendirmeden sonra hamurlara şekil verilerek 35-37°C'de 1 saat ikinci fermantasyona bırakılmıştır. Fermantasyon sonrası

ekmekler pişirilerek soğutulmuş ve analizler yapılmıştır. Genel akış şeması Şekil 3.2.'de verilmiştir.



Şekil 3.2 Tez Çalışması Planı ve Akış Çizelgesi

3.2.4. Deneysel Dizayn ve İstatistiksel Analiz

3.2.4.1. Taguchi Metodolojisi

Optimizasyon çalışmalarında kurutma sıcaklığı (30,40°C) ve mikrodalga gücüne (200,400,600 W) ilave olarak toz ekşi kullanılarak ön hamur geliştirilmesi sürecine ait

fermatasyon sıcaklığı (30,35,40°C) ve süresi (24,48,72 sa) gibi bağımsız değişken seçilmesine karar verilmiştir (Tablo 3.1). Deneysel dizayn olarak Tablo 3.2.' de görüldüğü üzere 18 adet denemeden oluşan L18 Taguchi deneme deseni kullanılmıştır.

Tablo 3.1. Deney faktörleri ve seviyeleri

FAKTÖRLER	SEVİYE 1	SEVİYE 2	SEVİYE 3
Mikrodalga Gücü (W)	200	400	600
Kurutma Sıcaklığı (°C)	30	40	-
Fermantasyon Süresi(sa)	24	48	72
Fermantasyon Sıcaklığı(°C)	30	35	40

Tablo 3.2. Taguchi yöntemi ile elde edilen deneysel dizayn

DENEY NO	MG (W)	KS (ºC)	FS (SAAT)	FSI (ºC)
1	200	30	24	30
2	200	30	48	35
3	200	30	72	40
4	400	30	24	30
5	400	30	48	35
6	400	30	72	40
7	600	30	24	35
8	600	30	48	40
9	600	30	72	30
10	200	40	24	40
11	200	40	48	30
12	200	40	72	35
13	400	40	24	35
14	400	40	48	40
15	400	40	72	30
16	600	40	24	40
17	600	40	48	30
18	600	40	72	35

Elde edilen deney sonuçlarının Taguchi ile değerlendirilmesinde ön hamurda LAB ve maya içerikleri açısından yüksek değerler hedeflendiği için S/G oranları "en büyük en iyi" yaklaşımı (Eşitlik 3.1) kullanılmıştır. Bunula birlikte, L/M oranı ekmek üretim performansı açısından en uygun bulunan 100-200 aralığında olması hedeflendiği için S/G oranları "Nominal En İyi" fonksiyonu (Eşitlik 3.2) kullanılarak elde edilmiştir.

$$En\ büyük\ en\ iyi\text{: } (S/N) = -10\log\left(\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\frac{1}{yi^2}\right) \quad (3.1)$$

$$\text{Nominal } en\ iyi\text{: } (S/\text{N}) = 10\log\left(\frac{\tilde{y}^2}{S^2}\right) \quad (3.2)$$

Burada yi = Performans karakteristiğinin i. gözlem değeri n = 1 denemedeki test sayısı, $\tilde{y}$ = Gözlem değerlerinin ortalaması, S^2= Gözlem değerlerinin varyansıdır.

İşlem faktörlerinin kaliteyi ölçebilmek için seçilen çıktı değerlerini ne oranda etkiledikleri ve farklı seviyelerin nasıl bir değişkenliğe neden oldukları varyans analizi (ANOVA) ile %95 güven seviyesinde belirlenmiştir [20].

3.2.4.2. Gri İlişkisel Analiz

Taguchi L18 ortogonal dizisine göre ön hamura ait LAB, maya içerikleri ve L/M oranı belirlenmiş ve S/G oranları hesaplanmıştır. Her bir yanıt için S/G oranları gri ilişkisel analiz kullanılarak çok yanıtlı optimizasyon problemi dönüştürülmüştür. Tüm performans kriterleri kullanılarak hesaplanan gri ilişkisel derecenin 1'e yakın büyük bir değere sahip olması, ilgili parametre kombinasyonunun optimum değere daha yakın olduğunu gösterir. Gri ilişkisel analiz için gerekli tüm adımların detayları aşağıda verilmiştir.

1. Adım: Gri ilişki Oluşturma

Gri ilişkisel analizde yer alan ilk adım, yanıtları karşılaştırılabilir kılmak amacıyla farklı birimlerden kaçınmak ve öngörülemezliği azaltmak için deneysel verileri performans yanıtının türüne göre normalleştirmektir. Ekşi hamur tozu kullanılarak elde edilen ön hamurun LAB ve maya içerikleri için beklenti "en büyük en iyi" olduğundan, S/G oranlarının normalleştirilmiş değeri Eşitlik 3.3'e göre hesaplanmıştır.

$$x_i^*(k) = \frac{x_i^0(k) - min\left(x_i^0(k)\right)}{max\left(x_i^0(k)\right) - min\left(x_i^0(k)\right)} \quad (3.3)$$

Eşitlik 3.3 de i = 1,. ...,m; k=1,. ....,n ve 'm' deneysel veri sayısıdır ve 'n' yanıtların sayısıdır, $x_i^0(k)$ gerçek diziyi, $x_i^*(k)$ gri ilişki oluşturulduktan sonraki diziyi, $max\left(x_i^0(k)\right)$ ise $x_i^0(k)$'nın en büyük değerini, $min\left(x_i^0(k)\right)$, $x_i^0(k)$'nın en küçük değerini ifade etmektedir [57].

Ekşi hamur tozu kullanılarak elde edilen ön hamurun L/M oranı için Kula Ekmeği ekşi hamuruna ait ortalama bir hedef değer olan 170 (OA) olarak tanımlanmıştır ve gerçek dizinin normalizasyonu Eşitlik 3.4 ile gerçekleştirilmiştir:

$$x_i^*(k) = 1 - \frac{\left|x_i^0(k) - OA\right|}{max\left[max\left(x_i^0(k)\right) - OA, OA - min\left(x_i^0(k)\right)\right]} \quad (3.4)$$

Burada $x_i^*(k)$ gri ilişkisel üretimden sonraki değeri (normalleştirilmiş değer), $max\left(x_i^0(k)\right)$ ve $min\left(x_i^0(k)\right)$ k. yanıt için sırasıyla $x_i^0(k)$'nın en büyük ve en küçük değerlerini, 0A ise hedeflenen değeri idafe etmektedir. k, sistem yanıtı olarak seçilen LAB içeriği için 1, maya içeriği için 2 ve L/M oranı için 3 olarak alınmıştır.

2. Adım: Gri ilişkisel katsayı

İdeal ve gerçek deneysel normalleştirilmiş veriler arasındaki ilişkiyi ifade etmek için gri ilişkisel katsayısı ($\xi_i(k)$) aşağıdaki gibi tanımlanır

$$\xi_i(k) = \frac{\Delta_{min} + \zeta\Delta_{min}}{\Delta_{0i} + \zeta\Delta_{max}} \quad (3.5)$$

Burada, $\Delta_{0i} = \left\|x_i^0(k) - x_i^*(k)\right\|$, $x_i^0(k)$ ve $x_i^*(k)$ arasındaki farkın mutlak değerini, $\Delta_{min} = min\left\|x_i^0(k) - x_i^*(k)\right\|$ ve $\Delta_{max} = max\left\|x_i^0(k) - x_i^*(k)\right\|$ ise sırasıyla tüm karşılaştırma dizilerinin mutlak farklarının minimum ve maksimum değerleridir. ζ, ayırt edici veya tanımlama katsayısıdır ve değeri 0 ile 1 arasındadır $\zeta \in [0,1]$. Amacı çok büyüdüğünde Dmax'ın etkisini zayıflatmak ve ayrıca ilişkisel katsayının fark önemini arttırmaktır. Genel olarak, pratik gereksinimlere

uyması için ayırt edici katsayı 0,5 olarak kabul edilir. Bu nedenle bu çalışmada ζ=0,5 olarak alınmıştır.

3. Adım: Gri İlişkisel Derece

Gri ilişkisel derece, her performans özelliğine karşılık gelen gri ilişkisel katsayıların ağırlıklı ortalamasının bulunmasıyla hesaplanır. Gri ilişkisel derece Eşitlik 3.6 kullanılarak belirlenmiştir.

$$\alpha_i = \frac{1}{n}\sum_{k=1}^{n} \xi_i(k) \tag{3.6}$$

Burada, αi, i'nci deney için gerekli gri ilişkisel derecedir ve 'n', performans kriterlerinin sayısıdır. GİD, tek yanıta dönüştürülmüş genel kalite endeksini gösterir. GİD değerleri, deneysel çalışmaların sıralamasını belirler ve optimale yakın değişkenler kümesinin elde edilmesinde kullanılır [57].

3.2.5. Analizler

3.2.5.1. Ekşi Hamur Örneklerinde pH ve Titrasyon Asitliği Tayini

Ekşi hamurların asitlik gelişimi pH ölçümleri ve titrasyon asitliği tayini yapılarak belirlenmiştir. Ekşi hamur örneklerinin pH değerleri pHmetre (HI 8314, Hanna Ins., İtalya) elektrodunun hamura batırılması yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Bu amaçla, 10 g ekşi hamur erlene eklenmiş ve üzerine 90mL saf su ilave edilerek homojen bir karışım elde edilinceye kadar karıştırılmıştır. Hazırlanan bu bulamaç üzerine 3-4 damla fenolfitalein indikatörü damlatılarak 0.1 N NaOH ile açık kırmızı (pembe) renk 1 dakika sabit kalıncaya kadar titre edilmiştir. % asit miktarı aşağıda verilen Eşitlik (3.7)' den faydalanılarak laktik asit cinsinden hesaplanmıştır [46].

$$\%Asitlik = (V \times F \times E) \times 100/m \tag{3.7}$$

Bu denklemde, V harcanan 0.1 N NaOH miktarını (ml), F titrasyonda kullanılan bazın normalitesini, E 1ml 0.1 N NaOH'in eşdeğeri asit miktarını (laktik asit için 0.009 g) ve m titre edilen örnek miktarını (ml veya g) ifade etmektedir.

3.2.5.2. Ekşi Hamur Örneklerinde ve Tozlarında Mayaların ve Laktik Asit Bakterilerinin İzolasyonu

Ekşi hamurlarda ve ekşi hamurun kurutulmasıyla elde edilen ekşi hamur tozlarında maya sayımı yapılmıştır. Bunun için 10 gr örnek 90 mL SFS kullanılarak vorteks cihazı ile homojenize edilmiştir. Bu şekilde hazırlanan 10^{-1}'lik seyreltiden 1'er mL 9 mL'lik SFS'lere aktarılmak suretiyle diğer seyreltmeler yapılmıştır. Uygun seyreltilerden 0,1 mL örnek, önceden otoklavlanarak (Hirayama, HV-50L) hazırlanmış, 45-50ºC'ye kadar soğutulmuş steril petri kapları içine 10-15 mL dökülmüş DRBC (Dichloran-Bengalrot-Chloramphenicol-Agar, Merck) besiyeri üzerine, aseptik şartlar altında pipetlenmiş, 25-27 ºC'de 3 gün süreyle inkübe (Nüve EN500) edilmiştir.

Ekşi hamurların ve ekşi hamurların kurutulmasıyla elde edilen ekşi hamur tozlarında laktik bakteri (LAB) sayımı yapılmıştır. Uygun dilüsyonlardan, çift tabaka dökme yöntemi ile 1'er ml MRS Agar'a (Merck) ekim yapılmış, petri kapları 30-35 ºC'de 3 gün süreyle inkübe edilmiştir. MRS Agar'da küf gelişimini önlemek için %0.01 siklohekzimid sterilizasyondan önce besiyerinin bileşimine katılmıştır.

3.2.5.3. Ekşi Hamur Tozlarında pH ve Titrasyon Asitliği Tayini

Ekşi hamur tozlarında pH tayini, un örneğinde pH tayini (AOAC 943.02) metoduna göre yapılmıştır. 10 gram ekşi hamur tozu tartılmış, üzerine 90 mL saf su ilave edilmiş vepartiküller çözünene kadar çalkalanmştır. Yaklaşık 10 dakika ara sıra çalkalama işlemine devam edilmiş ve sonra pH probu daldırılmak suretiyle hidrojen iyonu konsantrasyonu ölçülmüştür.

Titrasyon asitliği tayini un-su bulamacında titrasyon asitliği metoduna göre yapılmıştır. 10 g ekşi hamur tozu örneği erlen içine tartılmış, üzerine 90 ml saf su ilave edilerek homojen bir karışım elde edilinceye kadar karıştırılmıştır. Hazırlanan bu bulamaç üzerine 3-4 damla etil alkolde %3'lükfenolfitaleinindikatörü damlatılarak 0.1 N NaOH ile açık kırmızı (pempe) renk 1 dakika sabit kalıncaya kadar titre edilmiştir. Sarfedilen 0.1 N NaOH miktarı 100 g undaki N/Lasit miktarını gösterir [58]. Titrasyon için hazırlanan 0.1 N NaOH çözeltisinin ayarlanması potasyum hidrojenfitalat ile yapılmıştır [59]. % asit miktarı Eşitlik 3.7' den faydalanılarak laktik asit cinsinden hesaplanmıştır [60].

3.2.5.4. Ekşi Hamur Örneklerinde Nem Tayini

Nem tayini vakumlu etüv kullanılarak, örneklerin sabit tartıma gelinceye kadar bekletilmesi prensibine göre gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla yaş ve kurutulmuş ekşi hamur örneklerinden, camdan yapılmış vezin kaplarına yaklaşık 3-5 g numune tartılmış ve vezin kapları vakumlu etüvde (Nüve EV 018) 70°C ve 600 mm-Hg vakumda sabit tartıma gelinceye kadar bekletilmiş ve nem miktarı aşağıdaki Eşitlik 3.8 'den hesaplanmıştır.

$$\%\boldsymbol{Nem} = \frac{\boldsymbol{M_1 - M_2}}{\boldsymbol{M_1 - M_0}} * \mathbf{10} \tag{3.8}$$

M_0: Vezin kabının ve kapağının toplam kütlesi,
M_1: Kurutmadan önce vezin kabı, kapağı ve örnek miktarının toplam kütlesi,
M_2: Kurutmadan sonra vezin kabı, kapağı ve örnek miktarının toplam kütlesi

3.2.5.5. Toz Analizleri

3.2.5.5.1. Nem Tayini

Ekşi hamur tozlarının nem tayini vakum etüv yöntemi ile 70°C'de ve 31.2 kPa gösterge basıncında gerçekleştirilmiştir (AOAC, 2005). Etüvde kurutma sonunda örnekler desikatöre alınarak soğutulmuş ve tartım yapılmıştır. Bu işlemlere iki tartım arasında 0.005'ten az fark oluncaya kadar devam edilmiştir. Son tartım değeri ile kuru madde Eşitlik 3.3 ile hesaplanmıştır.

$$Kurumadde\ \% = \frac{Sontartım - dara}{örnekmiktarı} \times\ 100 \tag{3.9}$$

3.2.5.5.2. Nem Tutma (Higroskopiklik)

1 gram toz örnek tartılarak, 25°C'de doymuş NaCl çözeltinin bulunduğu kap içerisinde 1 hafta bekletilmiş, süre sonunda örnek tartılmış ve higroskopiklik Eşitlik 3.4 ile hesaplanmıştır. Higroskopiklik % nem çekme olarak ifade edilir.

$$Higroskopiklik\ \% = \frac{(sontartım - dara) - örnekmiktarı}{örnekmiktarı} \times 100 \quad (3.10)$$

3.2.5.5.3. Suda Çözünebilirlik

1 gram toz 50 mL saf su içerisine konularak 1000 rpm hızda manyetik karıştırıcı ile çözünene kadar karıştırılmış ve tamamen çözündüğü süre belirlenmiştir.

3.2.5.5.4. Yığın Yoğunluğu

Tozların yoğunluğunun belirlenmesi için 2 gram örnek, 15 mL'lik mezür içerisine tartılmış ve hacmi ölçülmüştür. Örneğin hacmi kütleye bölünerek yığın yoğunluğu (g/mL) hesaplanmıştır [58].

3.2.5.5.5. Sıkıştırılmış Yoğunluk

Toz örneklerin dağılmış yoğunluğu belirlenirken yığın yoğunluk için mezür içerisine tartılan örnek alınmış ve sabit hızda 150 vuruş gerçekleştirilmiştir. Vuruş sonrasında örneğin hacmi okunmuş ve bu değerin kütleye bölünmesi ile dağılmış yoğunluk (g/mL) hesaplanmıştır [58].

3.2.5.5.6. Akabilirlik ve Yapışma

Tozların akabilirlik ve yapışma özellikleri Carr İndeks (CI) ve Hausner oranı (HR) ile yorumlanmıştır. Bu değerler Eşitlik 3.11 ve Eşitlik 3.12 de olduğu gibi yığın yoğunluğu ve sıkıştırılmış yoğunluk ile hesaplanmıştır [58].

$$\boldsymbol{CI = \frac{DY - YY}{DY}} \quad (3.11)$$

$$\boldsymbol{HR = \frac{DY}{YY}} \quad (3.12)$$

Burada DY: sıkıştırılmış yoğunluk, YY: yığın yoğunluğunu ifade eder.

Tablo 3.3. Toz özelliklere ait akabilirlik ve yapışma kriterleri [58]

Carr İndeks	Akabilirlik	Hausner Oranı	Yapışma
0.05 – 0.15	Çok iyi	1.00 - 1.11	Mükemmel
0.15 – 0.18	İyi	1.12 – 1.18	İyi
0.18 – 0.22	Zayıf	1.19 – 1.25	Orta
0.22 – 0.35	Kötü	1.26 – 1.34	Vasat
0.35 – 0.40	Çok kötü	1.35 – 1.45	Kötü
> 0.40	Oldukça kötü	1.46 – 1.59	Çok kötü
		> 1.60	Oldukça kötü

3.2.5.5.7. Duruş Açısı (°)

Toz ürünler, bir koni oluşturacak şekilde bir huniden çapı 5.8 cm olan bir cam plakanın üzerine dökülmüştür. Yığın cam plakanın tabanını kapladığında malzemenin akışı durdurulmuştur. Oluşan koninin yüksekliği bir kumpas yardımıyla ölçülerek koninin tabançapının yarısına bölünmüştür. Bu oranın ters tanjantı duruş açısı olarak belirlenmiştir [61].

3.2.5.6. Ekmek Analizleri

3.2.5.6.1. Ekmek Hamurlarında pH ve Titrasyon Asitliği Tayini

Ekmek hamurlarından yoğurma işleminden hemen sonra ve 6 saat süren fermantasyon süresi boyunca 1 saat aralıklarla olmak üzere toplamda 7 kez örnek alınmış ve pH tayini, un örneğinde pH tayini (AOAC 943.02) metoduna göre yapılmıştır. 10 gram ekmek hamuru tartılmış, üzerine 90 mL saf su ilave edilmiş ve partiküller çözünene kadar çalkalanmştır. Yaklaşık 10 dakika ara sıra çalkalama işlemine devam edilmiş ve sonra pH probu daldırılmak suretiyle hidrojen iyonu konsantrasyonu ölçülmüştür.

Titrasyon asitliği tayini un-su bulamacında titrasyon asitliği metoduna göre yapılmıştır. 10 g ekmek hamuru örneği erlen içine tartılmış, üzerine 90 ml saf su ilave edilerek homojen bir karışım elde edilinceye kadar karıştırılmıştır. Hazırlanan bu bulamaç üzerine 3-4 damla etil alkolde %3'lük fenolfitalein indikatörü damlatılarak 0.1 N NaOH ile açık kırmızı (pempe) renk 1 dakika sabit kalıncaya kadar titre

edilmiştir. Sarfedilen 0.1 N NaOH miktarı 100 g undaki N/Lasit miktarını gösterir [46]. Titrasyon için hazırlanan 0.1 N NaOH çözeltisinin ayarlanması potasyum hidrojenfitalat ile yapılmıştır [47]. % asit miktarı Eşitlik 3.7' den faydalanılarak laktik asit cinsinden hesaplanmıştır [46].

3.2.5.6.2. Ekmek Hamurlarında Organik Asit Tayini

Pişirilmeye hazır ekmek hamurlarından 50 g örnek 50 ml distile su ile homojenize edildikten sonra, katı-sıvı faz ayırımı santrifüjde (2000 rpm, 30 dk) gerçekleştirilmiştir. Ekstraksiyon işlemi iki defa tekrar edilmiştir. Birleştirilen süpernetant faz 0,22 μm PTFE filtrelerden geçirildikten sonra 1 ml' si 3 mL 0.01 M KH_2P0_4 (pH 8.0 NaOH) çözeltisi ile seyreltilmiştir. C18 katı fazlı özütleme kartuşu sırasıyla 3 mL metanol, 10 mL damıtılmış su ve 10 mL hava ile şartlandırılmıştır.

Seyreltilmiş örnek (1 mL), şartlandırılmış C18 kartuşta elüt edilmiştir. Bu elüat toplanmış ve A olarak kaydedilmiştir. Daha sonra kartuştan 1 mL 0.01 M KH_2P0_4 (pH 8.0 NaOH) çözeltisi elüt edilmiştir. Bu elüat toplanmış ve B olarak kaydedilmiştir. Eluat A ve B birleştirilmiş ve 10 μL birleşik elüatlar HPLC'ye enjekte edilmiştir. HPLC' de dereceli elüsyon metodu uygulanmış, mobil faz olarak 1 mL / dak akış hızında 0.01 M KH_2P0_4 (H_3P0_4 ile ayarlanan pH 2.4) ve HPLC saflığında %100 Asetonitril kullanılarak oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Kromatogram, elüsyon boyunca sürekli olarak alınan spektrumlarla, 2 nm bant genişliğiyle 210 nm'de aynı anda izlenmiştir. Konsantrasyonların hesaplanmasında standart yöntem esas alınmıştır [50].

3.2.5.6.3. Ekmeklerde Doku (sertlik) Tayini

Ön hamurlar ile elde edilen ekmekler, AACC (74-09) standart yöntemine göre TA.XT Plus (Stable Micro Systems, Surrey, UK) tekstür analizörü üzerinde analiz edilmiş ve ekmek içi sertlik olarak ifade edilmiştir. Bu yöntemde sertlik, ürünü önceden ayarlanmış bir mesafe ile sıkıştırmak için gereken kuvvet (Newton) olarak tanımlanır. Ekmek örnekleri pişirmeden 24 saat sonra bir kesici kullanılarak 25 mm kalınlıkta dilimlendi ve her ekmeğin merkezinden alınan dilimlerle 4 tekrar halinde analiz gerçekleştirildi ve sonuçlar, 4 ölçümün ortalaması alınarak değerlendirildi. Tüm

veriler varyans analizi (ANOVA) istatistiksel olarak analiz edildi. Her parametre için %5 olasılık düzeyinde ($p < 0.05$) en az anlamlı fark hesaplandı.

3.2.5.6.4. Ekmek Örneklerinde Duyusal Analiz

Ekmek örneklerinin duyusal değerlendirilmesi Ek A'da verilen form kullanılarak Altuğ ve Elmacı (2019)'da belirtilen yöntem ile, eğitilmiş panelistlerden oluşan grup tarafından gerçekleştirilmiştir. Puanlamalar doğrusal skala (en iyi özellik 5 puan alacak şekilde) kullanılarak yapılmıştır [62].

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

4.1. Mikrodalga Vakum Kurutma

Kurutma işlemi öncesinde işletmeden temin edilen ekşi hamur örneklerinin başlagıçtaki biyolojik aktivitelerinin, LAB ve maya sayılarının standardize edilmesi amacıyla geç exponansiyel faza ulaşılıncaya kadar ortam sıcaklığında 18 sa' lik fermantasyon işlemi uygulanmıştır. Kurutma öncesi nem içeriği %62,29 ± 3,22 olan ekşi hamur örneklerndeki LAB, maya içerikleri ve L/M oranı sırasıyla 9,491 ± 0,066 (logkob/g), 7,204 ± 0,041 (logkob/g) ve 170 ± 10 olarak bulunmuştur. Ekşi hamur örneklerinin pH ve TTA değerleri ise karakteristik bir ekşi hamura uygun olarak sırasıyla 3,23 ± 0,15 ve 0,21 ± 0,05 olarak tespit edilmiştir (Tablo 4.1).

Tablo 4.1. Kurutma öncesi ekşi mayanın mikrobiyolojik ve kimyasal özellikleri

	Ekşi Maya
LAB(logkob/g)	9,491 ± 0,066
MAYA(logkob/g)	7,204 ± 0,041
LAB/MAYA	170 ± 10
pH	3,23 ± 0,15
TTA (%)	0,21 ± 0,05
NEM (%)	62,29 ± 3,22

Mikrodalga vakum kurutma işlemininde mikrodalga gücünün (200,600,1000 W) ve kurutma sıcaklığının (30,40,50ºC) ekşi hamurun LAB, maya içerikleri ile kurutma süresi üzerindeki etkileri 3^2 genel faktöriyel deneme deseni kullanılarak belirlenmiştir. Deneme deseninde belirtilen koşullarda gerçekleştirilen mikrodalga vakum kurutma işlemi sonunda örneklerin nem içerikleri ortalama %8.2 ± 1,3 (w/w)'e kadar düşürülmüştür. Kurutulmuş ekşi hamur örneklerinin mikrobiyolojik özellikleri Tablo 4.2'de verilmiştir.

Ekşi hamur örneklerinin başlangıçta sırasıyla 9,491 ± 0,066 logkob/g ve 7,204 ± 0,041 logkob/g olarak tespit edilen LAB ve maya içeriklerinde, MVK işlem koşullarından bağımsız olarak sırasıyla 6,27 logkob/g ve 3.92 logkob/g değerlerine kadar bir düşüş gözlemlenmiştir. Kuru ekşi hamur örneklerinde 1000 W mikrodalga

gücü ve 50 °C kurutma sıcaklığında Lab sayılarındaki en büyük düşüş 3.40 logkob/g iken en küçük düşüş 200 W mikrodalga gücü ve 30 °C kurutma sıcaklığında 3,04 logkob/g olmuştur. Benzer şekil de maya sayılarındaki en büyük düşüş 1000 W mikrodalga gücü ve 50 °C kurutma sıcaklığında 3,71 logkob/g iken en küçük düşüş 200 W mikrodalga gücü ve 30 °C kurutma sıcaklığında 3,04 logkob/g olarak gerçekleşmiştir.

Tablo 4.2. MVK kurutma denemeleri ve ekşi hamur tozunun mikrobiyolojik özellikleri

MG (W)	KS (ºC)	Ks (dk)	LAB (logkob/g)	MAYA (logkob/g)	L/M
200	30	60,00	6,421 ± 0,023	4,191 ± 0,014	159,14 ± 0,73
200	40	50,00	6,393 ± 0,012	4,154 ± 0,012	166,18 ± 0,27
200	50	45,00	6,362 ± 0,013	4,097 ± 0,025	170,47 ± 3,69
600	30	40,00	6,300 ± 0,015	4,037 ± 0,026	167,98 ± 1,14
600	40	35,00	6,281 ± 0,013	3,963 ± 0,024	186,76 ± 0,34
600	50	35,00	6,233 ± 0,022	3,902 ± 0,049	195,89 ± 6,84
1000	30	35,00	6,190 ± 0,020	3,807 ± 0,022	190,59 ±13,31
1000	40	30,00	6,149 ± 0,026	3,655 ± 0,062	156,82 ±11,56
1000	50	25,00	6,060 ± 0,027	3,469 ± 0,047	272,05 ±15,28

MG: mikrodalga gücü, KS:kurutma sıcaklığı, Ks:kurutma süresi

Genel olarak LAB ve maya içeriklerinde kurutmaya bağlı olarak gözlemlenen bu azalma farklı kurutma yöntemlerinin uygulandığı çalışmalarda da gözlemlenmiştir. Bakteri ve maya kültürlerinin çeşitli yöntemler kullanılarak gerçekleştirilen kurutma çalışmaları, işlem koşullarına bağlı olarak canlı kalma oranlarının termal, oksidatif, kriyojenik ve dehidrasyon streslerinden etkilendiğini ortaya koymaktadır. Çağlar ve ark. (2021), farklı kurutma yöntemlerini karşılaştırdıkları ekşi hamur kurutma çalışmasında, LAB ve maya içeriklerindeki azalmaları sırasıyla püskürtmeli kurutma için 4.7 ve 4.8 logkob/g ve dondurarak-kurutma 1.7 ve 1.7 logkob/g olarak bildirmişlerdir. Özellikle püskürtmeli kurutma sırasında uygulanan yüksek sıcaklıkların daha fazla LAB ve maya inaktivasyonuna neden olduğunu ifade

etmişlerdir [8]. Bu çalışmada elde edilen LAB ve maya inaktivasyon seviyelerinin literatürle uyumlu olduğu görülmektedir.

Kurutma işlemi süresince uzaklaştırılan nem ile birlikte başta hücre hücre duvarı ve membranı olmakla birlikte DNA, RNA ve proteinler gibi bir dizi hücre bileşeni yapısal değişime uğramaktadır. Dehidrasyona bağlı stres olarak adlandırılan bu değişimlerin özelikle nem içeriği 0.25 kg H_2O / kg K.M altında indüklenmeye başlar. Normal durumda hidrate olmuş hücre membranı fosfolipidler, suyun uzaklaşmasına bağlı olarak van Der Walls kuvvetlerinin etkisi ile diğer hidrokarbonlar ile etkileşerek membran yapısını kristal formdan jel forma geçirirler. *L. Plantarum*starter kültürlerinin kurutulması sırasında oluşan bu faz geçişi camsı geçiş sıcaklıklarının 4°C'den kurutulmuş hücrelerde 20°C'ye artması ile açıklanmıştır [63]. Hücre düzleminde lateral şıkıştırma gerilimlerine bağlı gelişen bu mekanik etki hücre bütünlüğünün bozulması ve hücre kritik bileşenlerinin kaybı sonucunda inaktivasyona sebep olur.

Mikrodalga vakum kurutma işlemininde mikrodalga gücünün (200,600,1000 W) ve kurutma sıcaklığının (30,40,50ºC) ekşi hamurun LAB (Tablo 4.3), maya içerikleri (Tablo 4.4), L/M oranları (Tablo 4.5) ve kuruma süresi (Tablo 4.6) üzerindeki etkileri istatistiksel olarak varyans analizi ile belirlenmiştir.

Tablo 4.3.'de mikrodalga gücünün ve kurutma sıcaklığının lineer etkilerinin ekşi hamur tozunun LAB içeriği üzerinde önemli etkisinin olduğu ($p<0.05$) olduğu görülmektedir. Mikrodalga gücü kurutma işleminde LAB içeriklerindeki azalmaya en çok etki eden (84,32%) faktördür. Mikrodalga ısıtma hacimsel olarak gerçekleştiği için kurutulan ürünün iç kısımlarında homojen olmayan elektromanyetik alan dağılımları sonucunda yerel sıcaklık artışları görülebilmektedir. Hedeflenen kurutma sıcaklığından sapmalar özellikle mikrodalga gücüne bağlı olarak artmaktadır [61]. LAB içeriklerindeki mikrodalga gücüne bağlı azalmanın ürün içersinde sıcak noktaların oluşumundan kaynaklandığı düşünülmektedir.

Kurutma sıcaklığının LAB içeriği üzerindeki etkisi mikrodalga gücüne oranla istatistiksel olarak daha düşük bulunmuştur (10,65%). Bunun nedeninin uygulanan düşük kurutma sıcaklıkları ve vakum altında yapılan sıcaklık kontrollü kurutma işlemi

olduğu düşünülmektedir. Teixeira ve ark. (1997), 64 °C'nin altındaki sıcaklık uygulamalarında zarar gören yerlerin hücre zarında bulunan veya hücre zarını oluşturan yapılar olduğunu öne sürmüşlerdir. 65 °C ve üzerindeki sıcaklıklarda, termal ölümden ribozom ve/veya protein denatürasyonu ve hücre duvarında hasar meydana gelebileceğini ileri sürmüşlerdir [62]. Yüksek kurutma sıcaklığı ve dolaysıyla daha düşük vakum şiddeti mikrodalga gücü ile birleştiğinde LAB içeriklerindeki azalmayı desteklediği görülmektedir.

Tablo 4.3. MVK işlem parametrelerinin ekşi hamur tozunun LAB içeriği üzerindeki etkisi

Varyasyon Kaynağı	Serbestlik derecesi (DF)	Kareler Toplamı	Kareler Toplamı Ortalaması	*p*-değeri	Etki Düzeyi (%)
Model[a]	8	0,3975	0,0497	<0,001	98,32%
Lineer	4	0,3840	0,09607	<0,001	94,97%
MG	2	0,3409	0,1705	<0,001	84,32%
Sıcaklık	2	0,0431	0,0215	<0,001	10,65%
2-Yönlü Interaksiyon	4	0,0135	0,0034	0,029	3,34%
MG*Sıcaklık	4	0,0135	0,0034	0,029	3,34%
Hata	9	0,0068	0,0008		1,68%
Toplam	17				100,00%

[a]R^2=98,32 (Düzeltilmiş R^2=96,82)

Tablo 4.4.'de mikrodalga gücü ve kurutma sıcaklığının ekşi hamur tozunun maya içeriği üzerindeki etkileri istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. LAB içeriklerine benzer şekilde, mikrodalga gücü ve kurutma sıcaklığının lineer etkilerinin maya içeriği üzerindeki etkileri önemli ($p<0.05$) bulunmuştur. Mikrodalga gücü-sıcaklık interaksiyonun maya içeriğine (% 7,99) etkisinin LAB içeriğine (% 3,34) oranla daha belirgin olduğu görülmüştür. Bu sonuç ekşi hamur tozundaki maya içeriklerinin yüksek sıcaklık ve mikrodalga gücünden daha çok etkilendiklerini göstermektedir.

Tablo 4.4. MVK işlem parametrelerinin ekşi hamur tozunun maya içeriği üzerindeki etkisi

Varyasyon Kaynağı	Serbestlik derecesi (DF)	Kareler Toplamı	Kareler Toplamı Ortalaması	*p*-değeri	Etki Düzeyi (%)
Model[a]	8	0,7184	0,0898	<0,001	99,44%
Lineer	4	0,6606	0,1652	<0,001	91,45%
MG	2	0,5306	0,2653	<0,001	73,44%
Sıcaklık	2	0,1301	0,0650	<0,001	18,01%
2-YönlüInteraksiyon	4	0,0577	0,0144	<0,001	7,99%
MG*Sıcaklık	4	0,0577	0,0144	<0,001	7,99%
Hata	9	0,0041	0,0005		0,56%
Toplam	17				100,00%

[a]R^2=99,44 (Düzeltilmiş R^2=98,94)

Tablo 4.5.'de mikrodalga gücü ve kurutma sıcaklığının ekşi hamur tozlarının L/M oranı üzerindeki etkisinin belirlenmesi amacıyla uygulanan varyans analizi sonuçları yer almaktadır. Mikrodalga gücü ($p<0.05$) ve kurutma sıcaklığının ($p<0.05$) lineer etkilerinin ekşi hamur tozunda mikrobiyal karakteristikleri anlamlı olarak değiştirdiği görülmektedir. Ekşi hamurun MVK işlemi sırasında L/M oranında en etkili parametrenin güç-sıcaklık interaksiyonu (38,87%) olduğu bulgulanmıştır. Bununla birlikte, kurutma sıcaklığındaki artışa bağlı olarak özellikle LAB' ların mayalara oranla daha yüksek canlı kalma oranlarına sahip olduğunu göstermektedir.

Tablo 4.5. MVK işlem parametrelerinin ekşi hamur tozunun L/M oranı üzerindeki etkisi

Varyasyon Kaynağı	Serbestlik derecesi (DF)	Kareler Toplamı	Kareler Toplamı Ortalaması	*p*-değeri	Etki Düzeyi (%)
Model[a]	8	20096,8	2512,10	<0,001	97,07%
Lineer	4	12048,6	3012,16	<0,001	58,19%
MG	2	5120,1	2560,06	<0,001	24,73%
Sıcaklık	2	6928,5	3464,26	<0,001	33,46%
2-YönlüInteraksiyon	4	8048,2	2012,04	<0,001	38,87%
MG*Sıcaklık	4	8048,2	2012,04	<0,001	38,87%
Hata	9	607,2	67,46		2,93%
Toplam	17				100,00%

[a]R^2=97,07 (Düzeltilmiş R^2=94,46)

Tablo 4.6.'da mikrodalga gücünün ve kurutma sıcaklığının işlem süresi üzerindeki lineer etklerinin istatistiksel olarak önemli olduğu ($p<0.05$) bulgulanmıştır.

Mikrodalga gücü ve kuruma sıcaklığındaki artışların kuruma süresini bireysel olarak azalttığı bulgulanmıştır. Ürün içinde daha yüksek basınç oluşturan yüksek mikrodalga gücü, daha yüksek kuruma hızına neden olan ek bir basınç gradyanı oluşturmaktadır [64]. Kurutma sıcaklığındaki artışa bağlı sürenin kısalması ise artan nem difüzyon katsayıları ile açıklanabilir. Bununla birlikte, mikrodalga gücünün (77,60%) kurutma süresi üzerindeki etkisinin kurutma sıcaklığına (16,62%) oranla daha belirgin olduğu söylenebilir. Ancak mikrodalga güçü-sıcaklık interaksiyonun etkisinin önemsiz ($p>0.05$) olduğu görülmektedir (Tablo 4.6.).

Tablo 4.6. MVK işlem parametrelerinin ekşi hamur tozunun kuruma süresi üzerindeki etkisi

Varyasyon Kaynağı	Serbestlik derecesi (DF)	Kareler Toplamı	Kareler Toplamı Ortalaması	*p*-değeri	Etki Düzeyi (%)
Model[a]	8	2386,11	298,264	<0,001	96,46%
Lineer	4	2330,56	582,639	<0,001	94,22%
MG	2	1919,44	959,722	<0,001	77,60%
Sıcaklık	2	411,11	205,556	<0,001	16,62%
2-YönlüInteraksiyon	4	55,56	13,889	0,301	2,25%
MG*Sıcaklık	4	55,56	13,889	0,301	2,25%
Hata	9	87,50	9,722		3,54%
Toplam	17				100,00%

[a] R^2=97,07 (Düzeltilmiş R^2=94,46)

4.2. Taguchi Metodu ile MVK ve Rehidrasyon İşleminin Eşzamanlı Optimizasyonu

Ekşi hamurların kurutulması ile ilgili çalışmalar, LAB ve mayaların canlı kalma oranları ve mikrobiyal karakteristiklerin uygulanan yönteme ve işlem koşullarına bağlı olarak termal, oksidatif, kriyojenik ve dehidrasyon streslerinden etkilendiğini ortaya koymaktadır. Elde edilen tozların biyolojik aktivitelerinin düşük olması nedeniyle rehidre edilerek mikrobiyal karakteristiklerinin geliştirilebileceği ve ekmek üretiminde ön hamur (starter kültür) olarak kullanılma potansiyeline sahip olabileceği vurgulanmıştır. Bu çalışmada ekşi hamurların MVK işlemi ile kurutulması ve biyolojik aktivite kayıplarının geri kazanılması amacıyla rehidrasyon koşullarının

eş zamanlı olarak optimizasyonu Taguchi Metodolojisi ve Gri ilişkisel Analizi ile gerçekleştirilmiştir.

4.2.1. MVK ve Rehidrasyon İşlem Parametrelerinin Ön Hamurun Mikrobiyolojik Özellikleri Üzerine Etkisi

Mikrodalga vakum kurutma ve rehidrasyon işlemlerinin eşmazanlı optimizasyonunda yapılan ön denemeler ve literatürdeki benzer çalışmalar dikkate alınarak bağımlı ve bağımsız değişkenler belirlenmiştir. Kurutma sıcaklığı (30,40 ºC), mikrodalga gücü (200,400,600 W), rehidrasyon süresi (24, 48, 72 h) ve rehidrasyon sıcaklığı (30,35,40 ºC) bağımsız değişken ve ekşi hamurun LAB, maya içerikleri ve L/M oranları ise işlem performansını belirleyen bağımlı değişkenler olarak seçilmiştir. Rehidrasyon işlemi ekşi hamur tozlarını ilk olarak ekşi hamur tozuna eşdeğer miktarda buğday unu, su (%100) ve şeker (%1) ile karıştırılması ve 24 saat aralıklarla 24. (1 yenileme), 48. (2 yenileme), 72. (3 yenileme) saatlerde buğday unu+su ile yenilemeye tabi tutulmuştur. Daha sonra yenileme sonrası LAB ve maya yükleri tespit edilmiştir.

Optimizasyon için gerekli deneysel plan Taguchi metoduna göre elde edilmiştir. Deneysel dizaynda 4 bağımsız değişkenden kurutma sıcaklığı 2 seviye diğerleri 3 seviye olarak inceleneceği için en uygun ortogonal dizi olarak L18 seçilmiştir. Bu dizi toplam 17 serbestlik derecesi ile 4 faktörün lineer etkilerinin ve iki adet interaksiyon teriminin belirlenmesinde kullanılabilmektedir. Taguchi metoduna göre elde edilen deneysel dizayn ve geliştirilen ön hamura ait mikrobiyolojik özellikler Tablo 4.7' de verimiştir. Deneme planında verilen 18 adet kurutma deneyi 2 tekerrür olarak gerçekleştirilmiş olup, sonuçlar ortlama olarak verilmiştir.

MVK ve rehidrasyon işlem değişkenlerinin ön hamurun LAB ve maya içerikleri ile L/M oranları üzerindeki etkilerini eş zamanlı olarak belirlenmesi için varyans analizi (ANOVA) kullanılmıştır. Farklı MVK ve rehidrasyon koşullarının ortaya çıkan varyasyonun hangi işlem parametrelerinden kaynaklandığı etki düzeylerinin yüzdeleri kullanılarak belirlenmiştir (Tablo 4.8). MVK ve rehidrasyon işlem değişkenlerinin ön hamurun LAB ve maya içerikleri ile L/M oranları üzerindeki

etkilerinin hata düzeylerine bakıldığında sırasıyla % 1,099, % 0,857 ve %1,533 olarak bulunduğu görülmektedir. Bununla birlikte, % 95 güven seviyesinde uygulanan varyans analizi ile tüm yanıtlar için geliştirilen modellere ait R2(%) değerlerinin % 90 nın üzerinde olduğu ve ADJ R2(%) değerleri ile farklarının %10 un altında olduğu tespit edilmiştir. Hata düzeyinin düşük olması, yüksek R2 VE uyumlu ADJ-R2(%) değerleri modellerin güvenilirliğini ortaya koymaktadır.

Tablo 4.7. Taguchi deneme planı (L18) ve ön hamurun mikrobiyolojik özellikleri

MG (W)	KS (ºC)	FS (SAAT)	FSI (ºC)	LAB (logkob/g)	MAYA (logkob/g)	L/M
200	30	24	30	7,040±0,043	4,928±0,054	128,006±1,159
200	30	48	35	7,913±0,033	5,796±0,065	126,554±3,212
200	30	72	40	8,861±0,083	6,779±0,086	120,836±0,862
400	30	24	30	6,950±0,042	4,809±0,044	138,427±0,550
400	30	48	35	7,703±0,118	5,567±0,123	136,843±1,691
400	30	72	40	8,596±0,080	6,475±0,078	132,188±0,512
600	30	24	35	7,125±0,050	4,876±0,049	167,687±13,007
600	30	48	40	7,903±0,074	5,659±0,083	173,313±0,660
600	30	72	30	7,913±0,067	5,890±0,071	106,646±0,715
200	40	24	40	7,597±0,110	5,217±0,080	248,805±4,715
200	40	48	30	7,528±0,082	5,358±0,053	149,688±7,275
200	40	72	35	8,506±0,077	6,321±0,069	151,326±0,042
400	40	24	35	7,278±0,102	4,877±0,061	240,594±6,897
400	40	48	40	8,126±0,076	5,765±0,078	229,711±0,883
400	40	72	30	7,937±0,066	5,766±0,094	144,677±4,574
600	40	24	40	7,287±0,124	4,826±0,097	278,699±30,631
600	40	48	30	7,343±0,081	5,095±0,106	179,111±7,539
600	40	72	35	8,076±0,107	5,838±0,082	183,220±4,227

*MG: mikrodalga gücü, KS:kurutma sıcaklığı, FSI:fermantasyon sıcaklığı,FS:fermantasyon süresi

Tablo 4.8. MVK ve rehidrasyon işlem değişkenlerinin ön hamurun LAB ve maya içerikleri ile L/M oranı ortalamaları üzerindeki etkileri

Varyasyon Kaynağı	Serbestlik derecesi (DF)	Kareler Toplamı	Kareler Toplamı Ortalaması	*p*-değeri	Etki Düzeyi (%)
LAB (logkob/g)					
KS (ºC)	1	0,00595	0,00595	0,327	0,117
MG (W)	2	0,27022	0,13511	0,000	5,306
FS (SAAT)	2	3,64270	1,82135	0,000	71,533
FSI (ºC)	2	1,11749	0,55875	0,000	21,945
Hata	10	0,05596	0,00560		1,099
Toplam	17	5,09233			
R^2(%)	98,90				
ADJ-R^2(%)	98,13				
MAYA (logkob/g)					
KS (ºC)	1	0,16327	0,16327	0,000	2,701
MG (W)	2	0,40823	0,20412	0,000	6,753
FS (SAAT)	2	4,73148	2,36574	0,000	78,271
FSI (ºC)	2	0,69016	0,34508	0,000	11,417
Hata	10	0,05183	0,00518		0,857
Toplam	17	6,04497			
R^2(%)	99,14				
ADJ-R^2(%)	98,54				
L/M Oranı					
KS (ºC)	1	18389,2	18389,2	0,000	43,964
MG (W)	2	2253,3	1126,7	0,001	5,387
FS (SAAT)	2	11071,7	5535,9	0,000	26,470
FSI (ºC)	2	9472,6	4736,3	0,000	22,646
Hata	10	641,2	64,1		1,533
Toplam	17	41828,1			
R^2(%)	98,47				
ADJ-R^2(%)	97,93				

Tablo 4.8'e göre işlem parametrelerinden kurutma sıcaklığı (KS) LAB içeriği üzerinde etkili değilken ($p>0,05$) maya ve L/M oranları üzerinde etkili olmuştur ($p<0,05$). Mikradalga gücünün (MG) çalışılan bölge içerisinde LAB, maya ve L/M oranları üzerinde etki yüzdeleri sırasıyla %5,306, %6,753 ve %5,387 olarak hesaplanmıştır. Diğer taraftan, fermantasyon süresinin (FS) LAB, maya ve L/M oranları üzerindeki etki yüzdeleri sırasıyla %71,533, %78,271 ve %26,470 olarak hesaplanmış ve en etkili parametrenin olduğu görülmüştür. Benzer şekilde

fermantasyon sıcaklığı (FSI) ikinci en etkili parametre olarak LAB, maya ve L/M oranları üzerindeki önemli bir etkiye sahip olduğu bulgulanmıştır. Elde edilen sonuçlar kurutma sonrası uygulanan rehidrasyon-yenileme işlemlerinin LAB ve maya içeriklerini geri kazanılmasında etkili olduğunun bir göstergesidir.

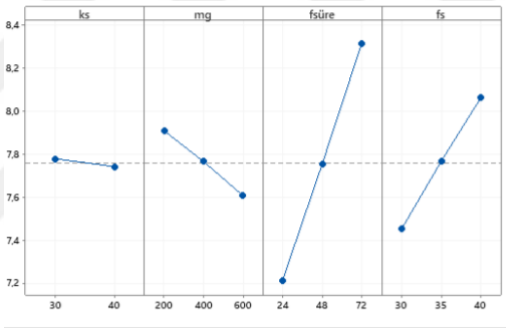
İşlem parametrelerinin ana etkilerinin LAB, maya ve L/M oranları olarak seçilen performans kriterlerinin ortalama değerleri üzerindeki etkileri Şekil 4.1 de verilmiştir. KS'nin artması LAB içeriğinde önemli bir etki göstermezken maya içeriklerinin azalmasına, sonucunda da L/M oranın artmasına neden olmuştur. MG nin 200 W dan 600 w a yükseltilmesi ile, LAB içeriği 7,908 log kob/g dan 7,607 log kob/g a, maya içeriği 5,733 log kob/g dan 5,364 log kob/g a düştüğü ve L/M oranın 154,2 den 181,4 e yükseldiği gözlemlenmiştir. L/M oranındaki bu yükseliş MG ye bağlı olarak maya içeriğinde gözlenlenen daha yüksek azalmaya atfedilmiştir. Bununla birlikte, en etkili parametre olan fermantasyon süresine (FS) bağlı olarak ön hamurun ortalama LAB içeriğinin 7,213 logkob/g dan 8,315 logkob/g a, ortalama maya içeriğinin 4.923 logkob/g dan 6,178 logkob/g a yükseldiği ve ortalama L/M oranını ise 200,370'den 139,815 değerine düştüğü bulgulanmıştır. Rehidrasyon boyunca L/M oranındaki bu düşüş fermentasyon süresine (FS) bağlı olarak mayaların LAB lara oranla daha hızlı geliştiklerini göstermektedir. Bir diğer dikkat çekiçi bulgu ise, ikinci en etkili parametre olan fermantasyon sıcaklığının 30 ºC den 40 ºC ye yükselmesi sonucunda, sürenin aksine ortalama L/M oranını 141,092'den 197,259'a artmasıdır. Bu sonucun, yüksek fermantasyon sıcaklıklarının LAB ların gelişim hızını mayalara oranla daha çok arttırdığı ile ilişkili olduğu düşünülmektedir. KS ve MG nin LAB, maya ve L/M oranları üzerindeki etki yüzdelerinin fermantasyon süresi ve sıcaklığınıa göre düşük olması, kurutma sırasında oluşan mikrobiyal inaktivasyonun uygulanacak rehidrasyon işlemi ile sıcaklık ve süreye bağlı olarak geri kazanabileceğini göstermektedir.

Reale ve ark., yaptıkları çalışmada püskürtmeli kurutma yöntemi ile elde ettikleri ekşi hamur tozlarını fizyolojik solüsyonda, fizyolojik solüsyonda yağsız sütte (%10), fizyolojik solüsyonda yağsız süt (%10) + şekerde (%1), fizyolojik solüsyonda yağsız süt (%10) + unda ve fizyolojik solüsyonda şeker (%1) + unda olmak üzere 5 farklı şekilde rehidre etmişler ve 28°C'de 1 saat dinlendirmişler. Daha sonra bir bulamaç oluşturacak şekilde karıştırdıktan sonra 45 dk daha dinlendirmeye bıraktıkları

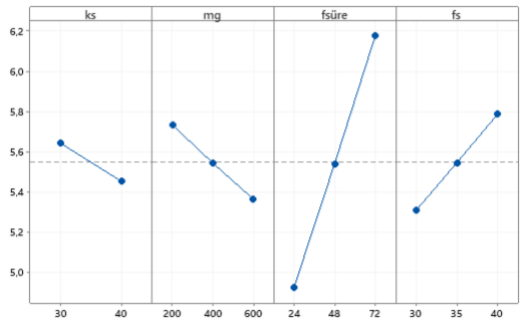
ekşi hamur örneklerinden LAB ve maya sayımları yapmışlar ve en iyi rehidrasyon prosedürünün fizyolojik solüsyonda eşdeğer miktarda buğday unu+şeker (%1) karışımının olduğunu gözlemlemişlerdir. Bu koşulda elde edilen maya ve LAB yüklerinin diğer koşullardan sırasıyla 0,9±0,21 logkob/g ve 1,1±0,13 logkob/g daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir [7].

Bu çalışmada ise MVK ile kurutulmuş ekşi hamur tozunun rehidrasyon öncesi LAB ve maya içerikleri sırası ile 4,24±0,5 logkob/g ve 2,57±0,12 iken yenileme sonrası yüklerin ortalama olarak sırasıyla 7,76±0,08 logkob/g ve 5,55±0,076 logkob/g yükseldiği görülmüştür. Daha yüksek fermantasyon sıcaklıkları ve fermantasyon süresi/yineleme sayısı nedeniyle LAB ve maya içeriklerindeki artışlar (LAB:3.52 logkob/g ve maya:2.98 logkob/g) bu çalışmada genel olarak daha fazla bulunmuştur.

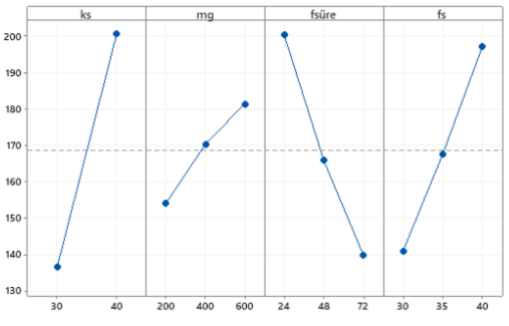
a)



b)



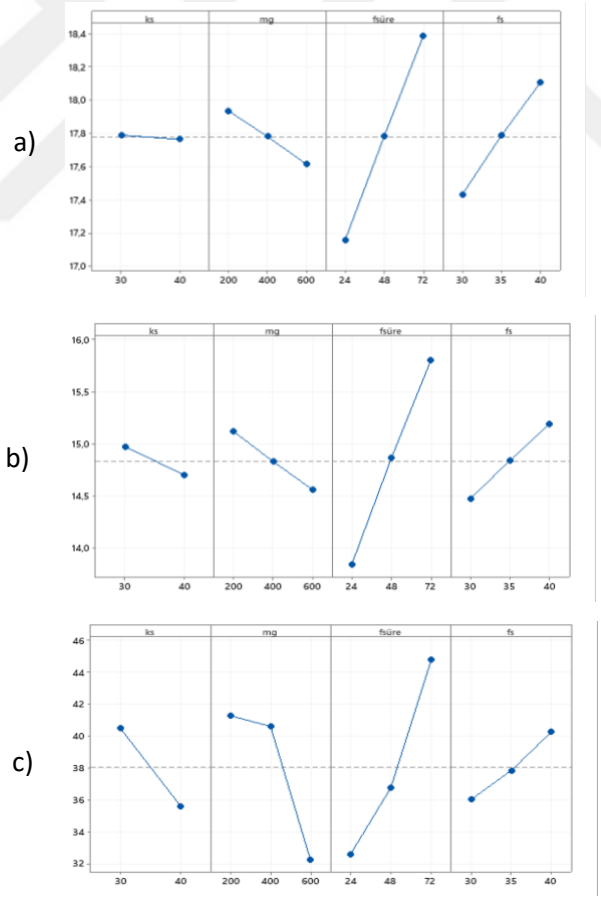
c)



Şekil 4.1. Ortalamalar için ana etki grafikleri

a) LAB Ortalaması b) Maya Ortalaması c) L/M Ortalaması

Taguchi metodolojisi kapsamında ön hamurun her bir deneysel noktada elde edilen LAB ve maya içeriği ile L/M oranları sinyal-gürültü oranına (S/G) dönüştürülmüştür. S/G oranı, ortalamanın (sinyal) standart sapmaya (gürültü) oranıdır. Bu oran, kontrol edilemeyen faktörlerin etkilerini en aza indirerek bir ürün veya süreçteki değişkenliği azaltan kontrol faktörlerini tanımlamakta kullanılan bir sağlamlık ölçüsüdür. Kurutulmuş ve rehidre edilmiş ön hamurların LAB ve maya içeriklerinin maksimum düzeyde olması hedeflendiği için S/G oranları hesaplanırken "En Yüksek En İyi" fonksiyonu kullanılmıştır. Bununla birlikte, L/M oranı ön denemeler ile ekmek üretim performansı açısından en uygun bulunan 150-200 aralığında olması hedeflendiği için S/G oranları "Nominal En İyi" fonksiyonu kullanılarak elde edilmiştir. LAB ve maya içeriği ile L/M oranları için hesaplanan S/G değerleri Şekil 4.2 da gösterilmiştir.



Şekil 4.2. S/G oranı için ana etki grafikleri

a) LAB S/G Oranı b) Maya S/G Oranı c) L/M S/G Oranı

4.2.2. Taguchi Metodolojisi ve Gri İlişkisel Analiz ile Optimum İşlem Koşullarının Belirlenmesi

İşlem parametrelerinin etkilerinin eş zamanlı olarak değerlendirilmesi ve optimum işlem koşullarının çok değişkenli olarak belirlenmesi amacıyla Taguchi Metodolojisi ile elde edilen S/G oranları üzerinden Gri İlişkisel Analiz kullanılarak çok değişkenli optimizasyon yaklaşımı uygulanmıştır.

GİA'da L18 ortogonal dizi tasarımına göre elde her bir yanıt için edilen S/G oranları ilk olarak gri ilişkisel üretimi adı verilen bir süreç ile 0-1 aralığında normalleştirilmiştir (Tablo 4.9). Optimizasyonda ön hamurun LAB ve maya içerikleri maksimum olarak hedeflendiği için Eşitlik 3.3, LM oranı ise belirlenen bir hedef değer (ekşi hamurun L/M oranı:170) olarak seçildiği için Eşitlik 3.4 kullanılarak normalleştirme gerçekleştirilmiştir.

Tablo 4.9. S/G oranları için normalleştirilmiş değerler, gri ilişkisel katsayılar ve gri ilişkisel yanıt puanları

Deney No	Normalize S/G oranları			Gri İlişkisel Katsayı (GİK)			GİD	SIRA
	LAB	Maya	L/M	LAB	Maya	L/M		
1	16,952	13,853	40,864	0,346	0,350	0,548	0,415	15
2	17,967	15,262	31,909	0,518	0,523	0,800	0,613	5
3	**18,950**	**16,623**	**42,936**	**1,000**	**1,000**	**0,479**	**0,826**	**1**
4	16,840	13,641	48,018	0,333	0,333	0,365	0,344	18
5	17,732	14,909	38,161	0,464	0,465	0,677	0,536	8
6	18,686	16,224	48,235	0,800	0,789	0,369	0,653	3
7	17,055	13,760	22,193	0,358	0,342	0,400	0,367	16
8	17,955	15,053	48,381	0,515	0,487	0,372	0,458	12
9	17,966	15,401	43,468	0,518	0,550	0,463	0,510	9
10	17,612	14,346	34,447	0,441	0,396	1,000	0,612	6
11	17,533	14,579	26,262	0,427	0,422	0,506	0,452	13
12	18,594	16,015	71,161	0,748	0,710	0,463	0,641	4
13	17,239	13,762	30,850	0,381	0,343	0,721	0,482	11
14	18,197	15,215	48,308	0,584	0,514	0,370	0,490	10
15	17,992	15,216	30,000	0,524	0,515	0,669	0,569	7
16	17,250	13,674	19,153	0,383	0,336	0,346	0,355	17
17	17,316	14,140	27,512	0,392	0,369	0,551	0,440	14
18	18,143	15,324	32,738	0,567	0,511	0,874	0,658	2

Bu normalleştirilmiş verilere dayanarak, istenen ve gerçek deneysel veriler arasındaki korelasyonu temsil etmek için gri ilişkisel katsayı (GRC) Eşitlik 3.5 kullanılarak hesaplanmıştır. Daha sonra, herbir yanıt için GRC değerlerinin ortalaması alınarak genel gri ilişkisel puan (GRG) hesaplanmıştır. Böylece çoklu yanıt problemi, amaç fonksiyonu olarak genel gri ilişkisel puanlı tek bir yanıt süreci optimizasyon problemine dönüştürülmüştür. En büyük GRG değerine 1 puan verilmiştir. Tablo 4.9'

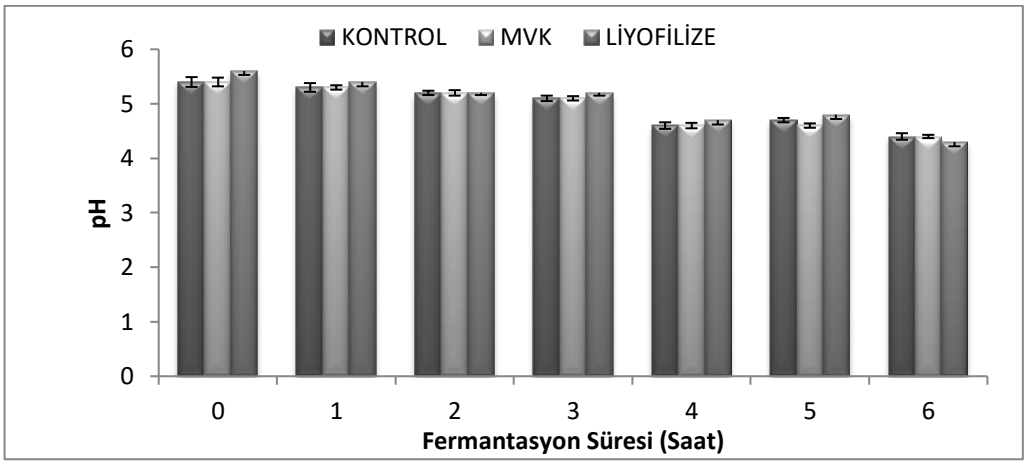
dan, 3. deneydeki kontrol parametresinin ayarının en büyük gri ilişkisel puana sahip olduğunu görülmektedir. Böylelikle 3. deneyde uygulanan işlem koşulları optimum olarak seçilmiştir.

Ekmek üretiminde kullanılmak üzere ön hamur hazırlamak için optimum işlem koşulları 200 W mikrodalga gücü, 30 ºC kurutma sıcaklığı, 72 sa fermentasyon süresi (24 sa'lik 3 yenileme) ve 40 ºC fermanstasyon sıcaklığı olarak belirlenmiştir. Bu noktada ön hamurun LAB içeriği 8.861±0.08 logkob/g, maya içeriği 6,779±0.09 logkob/g ve L/M oranı 120,84±0.86 olarak belirlenmiştir.

4.3. Ekşi Hamur Tozunun Ekmek Fermantasyon Etkinliğinin Belirlenmesi

Hamurlarda fermantasyona bağlı olarak meydana gelen asitlik değişimlerinin belirlenmesi amacıyla yoğurmadan hemen sonra ve 6 saat süren fermantasyon süresince bir saat aralıklarla 2 paralel olacak şekilde pH değerleri ölçülmüş ve laktik asit cinsinden toplam titre edilebilir asitlik (%) miktarı tespit edilmiştir. Belirlenen tüm bu sonuçlar sırasıyla Şekil 4.3 ve Şekil 4.4 de verilmiştir.

Hamurların 6 saat boyunca devam eden fermantasyonları sırasında laktik asit ve asetik asit bakterilerinin faliyetleri sonucunda pH değerlerinde azalma gözlenirken (Tablo 4.10) buna paralel olarak toplam % asitlik değerleri artış göstermiştir (Tablo 4.11). Ön hamurlar arasında anlamlı fark olduğu ($p < 0.05$) görülmüştür.



Şekil 4.3. Farklı ön hamurlar ile ekmek fermantasyonu sırasında pH değişimler

Şekil 4.3 de görüldüğü gibi ölçülen pH değerleri 4.3 ile 5.6 arasında değişim göstermiştir ve fermantasyon boyunca ortamdaki laktik asit ve asetik bakterilerinin gelişim göstermesi ile asitlik artmıştır. Bu değişim istatistiksel olarak değerlendirilmiş ve Tablo 4.14'de değerlendirme sonuçları verilmiştir.

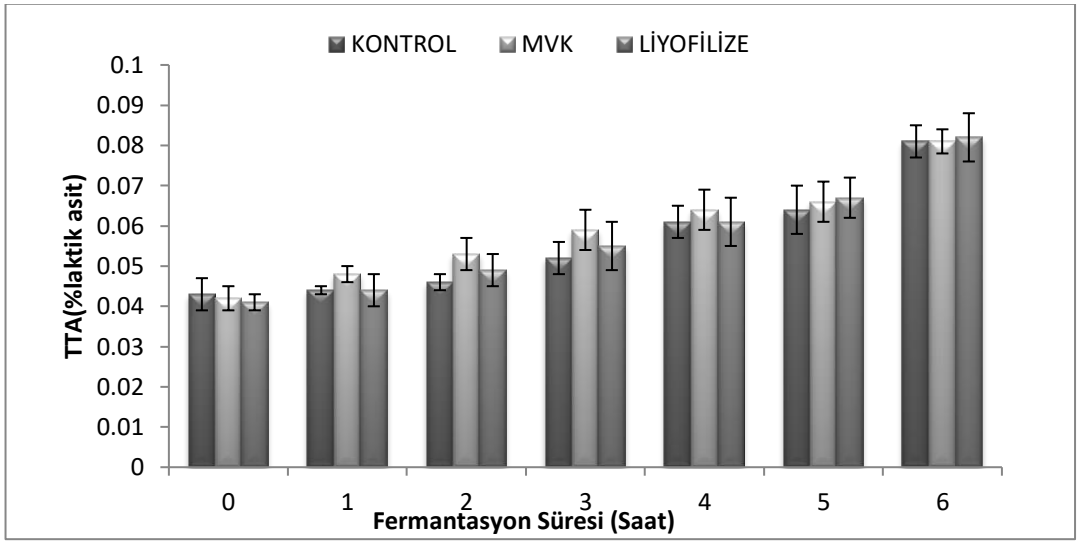
Tablo 4.10. Ön hamur çeşidi ve ekmek fermantasyonu süresinin pH üzerindeki etkisi

FS (Saat)	Ön Hamur Çeşidi		
	Kontrol	MVK	Liyofilize
0	5,4 ±0,09^{xa}	5,4 ±0,08^{xa}	5,6 ±0,07^{xa}
1	5,3 ±0,08^{xb}	5,3 ±0,04^{xb}	5,4 ±0,08^{xb}
2	5,2 ±0,04^{xb}	5,2 ±0,05^{xb}	5,2 ±0,04^{xb}
3	5,1 ±0,05^{xc}	5,1 ±0,04^{xc}	5,2 ±0,05^{xc}
4	4,6 ±0,06^{xc}	4,6 ±0,05^{xc}	4,7 ±0,08^{xc}
5	4,7 ±0,04^{xd}	4,6 ±0,04^{xd}	4,8 ±0,08^{xd}
6	4,4 ±0,06^{xd}	4,4 ±0,03^{xd}	4,3 ±0,08^{xd}

Aynı sütundaki (a, b, c, d) ve satırdaki (x) farklı harfler, ortalamalar arasındaki önemli farklılıkları gösterir ($p < 0.05$)

Tablo 4.10'a göre ön hamurlarda fermantasyon süresine bağlı olarak meydana gelen pH değişimlerinin anlamlı ($p<0,05$) olduğu görülmektedir.

Şekil 4.4'de görüldüğü gibi asitlik değerleri %0.041 ile %0.082 arasında değişim göstermiştir ve fermantasyon boyunca asitlik artmıştır. Bu değişim istatistiksel olarak değerlendirilmiş ve Tablo 4.11'de değerlendirme sonuçları verilmiştir.



Şekil 4.4. Farklı ön hamurlar ile ekmek fermantasyonu sırasında TTA değişimleri

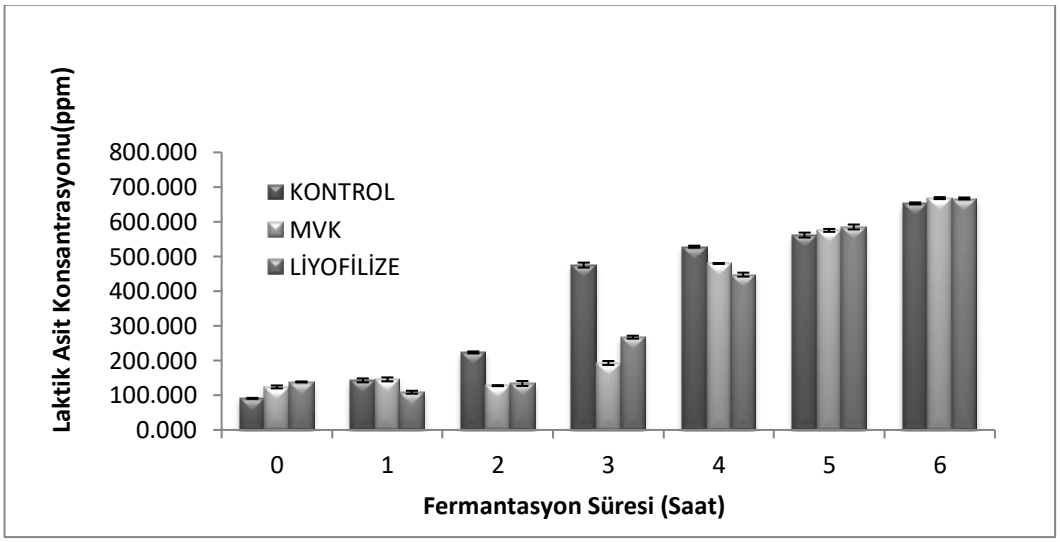
Tablo 4.11. Ön hamur çeşidi ve ekmek fermantasyonu süresinin laktik asit cinsinden TTA (%) üzerindeki etkisi

FS (Saat)	Ön Hamur Çeşidi		
	Kontrol	MVK	Liyofilize
0	0,043 ±0,004^{xa}	0,042 ±0,003^{xa}	0,041 ±0,002^{xa}
1	0,044 ±0,001^{xab}	0,048 ±0,002^{xab}	0,044 ±0,004^{xab}
2	0,046 ±0,002^{xbc}	0,053 ±0,004^{xbc}	0,049 ±0,004^{xbc}
3	0,052 ±0,004^{xc}	0,059 ±0,005^{xc}	0,055 ±0,006^{xc}
4	0,061 ±0,004^{xd}	0,064 ±0,005^{xd}	0,061 ±0,006^{xd}
5	0,064 ±0,006^{xd}	0,066 ±0,005^{xd}	0,067 ±0,005^{xd}
6	0,081 ±0,004^{xe}	0,081 ±0,003^{xe}	0,082 ±0,006^{xe}

Aynı sütundaki (a, ab, b, c, d, e) ve satırdaki (x) harfler, ortalamalar arasındaki önemli farklılıkları gösterir ($p < 0.05$)

Tablo 4.11'e göre ön hamurlarda fermantasyon boyunca meydana gelen asitlik değişimlerinin anlamlı ($p<0,05$) olduğu görülmektedir.

Optimum koşullar doğrultusunda oluşturulan her ön hamurda fermantasyon süresince laktik asit (Şekil 4.5) ve asetik asit (Şekil 4.6) konsantrayonları artış göstermiştir. Laktik asit ve asetik asit bakterilerinin fermantasyon süresince iyi aktivite gösterdikleri görülmektedir. Lakin ön hamurlar arasında anlamlı fark olduğu ($p < 0.05$) kontrol grubunun diğerlerinden farklı olduğu görülmüştür (Tablo 4.12, Tablo 4.13).

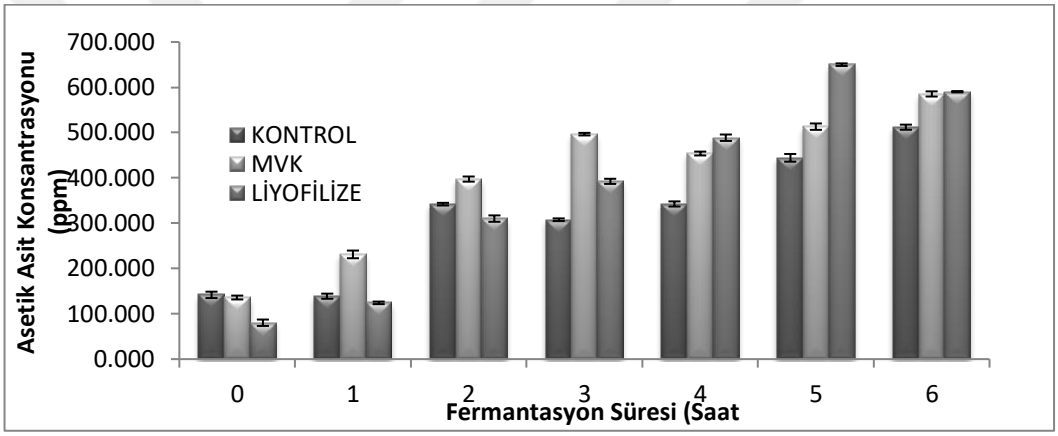


Şekil 4.5. Farklı ön hamurlar ile ekmek fermantasyonu sırasında LA değişimleri

Tablo 4.12. Ön hamur çeşidi ve ekmek fermantasyonu süresinin LA (ppm) üzerindeki etkisi

FS (Saat)	Ön Hamur Çeşidi		
	Kontrol	MVK	Liyofilize
0	90,964 ±5,719^{xa}	124,000 ±19,233^{ya}	138,308 ±5,583^{xya}
1	142,888 ±22,695^{xa}	145,732 ±22,814^{ya}	108,652 ±17,038^{xya}
2	223,44 ±11,087^{xa}	127,620 ±5,544^{ya}	133,952 ±28,375^{xya}
3	475,104 ±28,358^{xb}	193,000 ±23,335^{yb}	267,384 ±17,005^{xyb}
4	528,24 ±11,653^{xc}	479,764 ±5,606^{yc}	447,696 ±22,763^{xyc}
5	561,696 ±28,358^{xcd}	575,144 ±17,061^{ycd}	585,016 ±28,194^{xycd}
6	652,952 ±11,246^{xd}	668,168 ±11,201^{yd}	667,160 ±11,370^{xyd}

Aynı sütundaki (a, b, c, d) ve satırdaki (x,y,xy) farklı harfler, ortalamalar arasındaki önemli farklılıkları gösterir (p < 0.05)



Şekil 4.6. Farklı ön hamurlar ile ekmek fermantasyonu sırasında AA değişimleri

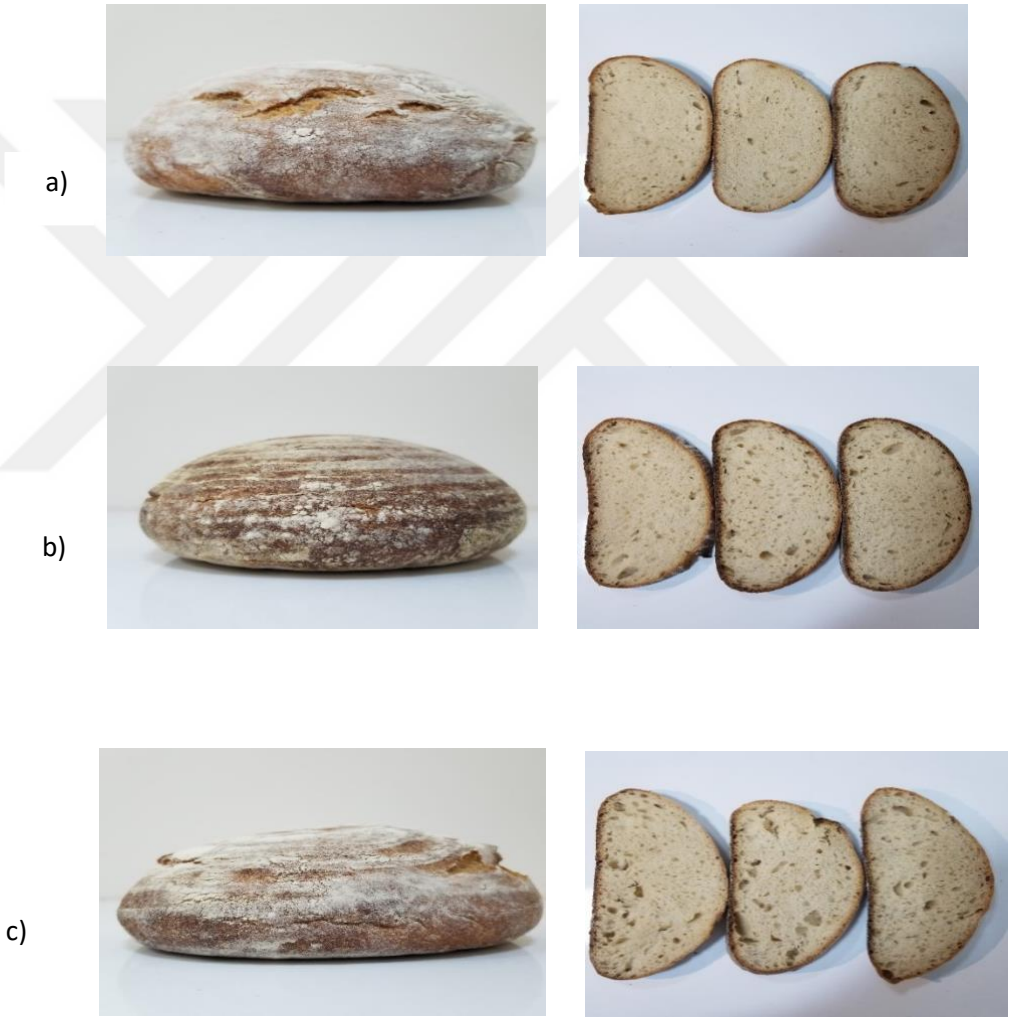
Tablo 4.13. Ön hamur çeşidi ve ekmek fermantasyonu süresinin AA (ppm) üzerindeki etkisi

FS (Saat)	Ön Hamur Çeşidi		
	Kontrol	MVK	Liyofilize
0	141,8 ±28,567^{xa}	135,984 ±17,005^{ya}	80,284 ±28,222^{ya}
1	138,892 ±22,757^{xa}	231,164 ±33,992^{ya}	124,2 ±11,455^{ya}
2	342,152 ±11,269^{xb}	397,416 ±22,684^{yb}	310,144 ±28,397^{yb}
3	307,812 ±11,200^{xb}	496,568 ±11,382^{yb}	392,4 ±22,345^{yb}
4	342,472 ±22,577^{xb}	453,824 ±16,914^{yb}	488,724 ±28,335^{yb}
5	444,32 ±34,026^{xc}	513,152 ±28,358^{yc}	649,944 ±11,382^{yc}
6	511,952 ±22,808^{xc}	585,348 ±22,554^{yc}	590,256 ±5,736^{yc}

Aynı sütundaki (a, b, c) ve satırdaki (x,y) farklı harfler, ortalamalar arasındaki önemli farklılıkları gösterir (p <0.05).

4.4. Ekmek Özelliklerinin Belirlenmesi

Optimizasyon çalışmaları sonucunda belirlenen optimum üretim koşullarında (200 W, 30˚C, 72 sa, 40˚C) her ön hamurdan ekmek üretimi gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.7). Elde edilen ekmeklerin kalite karakteristikleri (Tablo 4.14), dokusal özellikleri (Tablo 4.15) ve duyusal özellikleri (Tablo 4.16) yapılan analizler sonucunda belirlenmiştir. Farklı ön hamurlar ile üretilen ekmeklerin ağırlık, hacim, spesifik hacim ve renk değerlerinde farkın anlamsız ($p>0.05$) olduğu görülmüştür.



Şekil 4.7. Optimum koşullarda üretilen ekmekler

a) kontrol, b) MVK, c) Liyofilize

Tablo 4.14. Farklı ön hamurlar ile üretilen ekmeklerin kalite karakteristikleri

	KONTROL GRUBU	MVK	LİYOFİLİZE
AĞIRLIK(G)	546,48±8,13^{x}	537,79±6,98 ^{x}	537,44±1,72 ^{x}
HACİM (CM^3)	1442,83±73,27^{x}	1425±47,70^{x}	1550±69,46^{x}
SPESİFİK HACİM (CM^3/G)	2,64±0,20 ^{x}	2,65±0,15 ^{x}	2,88±0,35 ^{x}
PİŞİRME KAYBI (%)	8,91±1,25 ^{x}	10,37±0,75 ^{x}	10,43±0,52 ^{x}
NEM (%)	0,44±0,006 ^{x}	0,43±0,007 ^{x}	0,43±0,002 ^{x}
L	L: 69,30±0,71^{x}	L: 69,77±0,88^{x}	L: 69,64±0,09^{x}
a	a: 2,69±0,35^{x}	a: 2,88±0,12^{x}	a: 2,65±0,01^{x}
b	b: 20,07±0,9^{x}	b: 20,44±0,07^{x}	b:19,79±0,09^{x}

Aynı satırda aynı harfle işaretlenmiş ortalamalar istatistiksel olarak birbirinden farksızdır (p >0.05)

Ön hamurlardan üretilen ekmeklerde her ekmekten 4 kez olacak şekilde doku analizi yapılmış, analiz sonuçları ortalama olarak Tablo 4.15' de verilmiştir. Ekmekler arasındaki farkın anlamsız olduğu (p>0,05), mikrodalga vakum kurutma ve liyolize ön hamuru ile elde edilen ekmeklerin sertlik açısından kontrol grubuna benzer özellik gösterdiği görülmüştür.

Tablo 4.15. Farklı ön hamurlar ile üretilen ekmeklerin dokusal (sertlik) özellikleri

Ön Hamur Çeşidi		
Kontrol	**MVK**	**Liyofilize**
1512,790 ±232,343^{x}	1633,412 ±150,943^{x}	1518,440 ±173,395 ^{x}

Aynı satırda aynı harfle işaretlenmiş ortalamalar istatistiksel olarak birbirinden farksızdır (p >0.05)

Yapılan ekmekler eğitilmiş panelistlere sunularak ekmek iç rengi, gözenek yapısı, aroması ve kokusu, tadı ve genel kabul özellikleri bakımından değerlendirmeleri istenmiştir. Duyusal özelliklerin belirlenmesinde 1 (Çok kötü) − 5 (Çok iyi) kutucuklardan oluşan doğrusal skala kullanılmıştır. Değerlendirme sonuçları Tablo 4.16'da verilmiştir. Buna göre panelistlerin ekmek iç rengi, gözenek yapısı, aroması ve kokusu, tadı ve genel kabul özellikleri bakımından ekmekleri

değerlendirmeleri sonucunda yapılan istatistiki analizde ekmekler arasındaki fark önemsiz bulunmuştur($p>0.05$). Ancak panelistler tarafından 4 soruda da en yüksek puan ile en çok beğenilen ekmek liyofilize edilmiş ekşi hamur tozundan elde edilen ön hamur ile yapılan ekmek olmuştur.

Tablo 4.16. Farklı ön hamurlar ile üretilen ekmeklerin duyusal özellikleri

DUYUSAL ÖZELLİK	ÖN HAMUR ÇEŞİDİ		
	KONTROL	MVK	LİYOFİLİZE
Ekmek İçi Rengi	4,2±0,789[a]	4,3±0,823 [a]	4,3±0,675 [a]
Gözenek Yapısı	4,2±0,632 [a]	4,2±0,789 [a]	3,41±1,74 [a]
Aroma ve Koku	4,2±0,632 [a]	3,8±0,919 [a]	4,3±0,483 [a]
Tat	4,1±0,568 [a]	4,2±0,789 [a]	4,2±0,632 [a]
Genel Beğeni	4,2±0,632 [a]	3,7±0,949 [a]	4,3±0,483 [a]

Aynı satırda aynı harfle işaretlenmiş ortalamalar istatistiksel olarak birbirinden farksızdır ($p>0.05$)

4.5. MVK ve Liyofilize Ekşi Hamur Tozlarının Yapısal Özellikleri

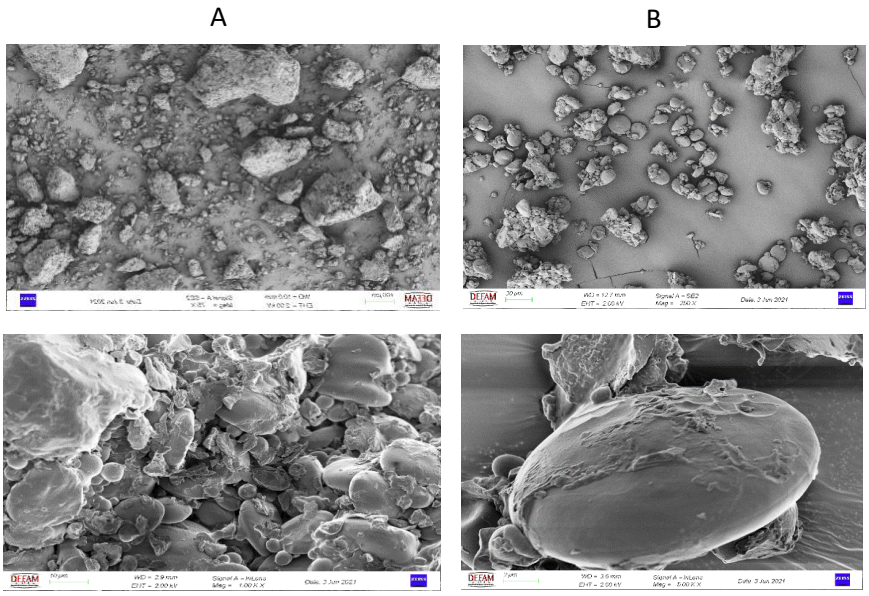
Elde edilen ekşi hamur tozlarına ait yapısal özellikler Tablo 4.17'de verilmiştir. MVK ile elde edilen tozların yığın yoğunluğu (846 kg/m^3±1,414) liyofilize ekşi hamur tozlarına oranla (526 kg/m^3±2,828) daha yüksek bulunmuştur. Tozların akabilirlik özellikleri Carr Indeks (CI), yapışma özellikleri ise Hausner oranı (HR) ile hesaplanmıştır. Tablo 3.3'e göre MVK sistemi ile elde edilen tozun liyofilize ekşi hamur tozuna oranla daha yüksek akabilirlik ve daha düşük yapışma değerlerine sahip olduğu bulgulanmıştır. Benzer şekilde MVK ile elde edilen ekşi hamur tozuna ait duruş açısı değerlerinin liyofilize toza göre daha düşük olduğu görülmüştür.

Çağlar ve ark., 2021 dondurarak kurutulmuş ve püskürtmeli kurutma uygulanmış ekşi hamur tozlarının yığın yoğunluğu ve akışkanlık davranışı arasındaki farklılıkların partikül boyutu ve geometrisinden etkilendiği bildirmişlerdir [8].

Tablo 4.17. Ekşi hamur tozlarının yapısal özellikler

YAPISAL ÖZELLİK	MVK	LYF
Yığın Yoğunluğu (kg/m^3)	846±1,414	526±2,828
Sıkıştırılmış Yoğunluk (kg/m^3)	995±4,242	938±4,252
Akabilirlik	0,15±0,04	0,44±0,028
Yapışma	1,18±0,057	1,78±0,071
Duruş açısı(°)	46,60±2,828	59,71±2,725
Nem Tutma(%)	2,79±0,014	4,71±0,028
Suda Çözünürlük(25°C,s)	876±50,912	74±19,799

Toz ekşi hamur örneklerinin partikül morfolojisi ve yüzey özelliklerini değerlendirmek için temsili SEM görüntüleri alındı (Şekil 4.8). Keskin kenarlı, küresel, düzensiz, uzun ve çıkıntılı şekiller hem MVK (Şekil 4.8A) hem de LYF Şekil 4.8B) tozları için gözlemlenmiştir. MVK tozunda partikül boyutlarının daha heterojen dağılım sergilediği ve partikül boyutlarının daha büyük olduğu görülmektedir. Yığın yoğunluğu değerlerinin yüksek olması, suda çözünürlük süresinin uzun olması ve nem tutma özelliğinin liyofilize toza oranla düşük olması bu bulguyu desteklemektedir. Yapılan 'bağımsız değişkenler T testi' sonuçlarına göre örnekler arasında tüm yapısal özellikler için istatistiksel anlamda da fark olduğu ($p<0,05$) görülmüştür.



Şekil 4.8. Ekşi hamur tozlarının taramalı elektron mikroskobu görüntüleri (SEM)

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada Manisa Kula ekmeğine özgü ekşi hamurların mikrodalga vakum kurutma (MVK) yöntemi ile kurutulması sırasında mikrobiyolojik özelliklerindeki değişimler incelenmiş, kurutma işlemi sırasında ortaya çıkan biyolojik aktivite kayıplarının geri kazanımı için rehidrasyon işlem koşulları optimize edilmiş ve elde edilen ekşi hamur tozunun ekmek üretim süreçlerinde kullanımının ekmek karakteristikleri üzerindeki etkileri belirlenmiştir.

Mikrodalga vakum kurutma işleminde mikrodalga gücünün (200,600,1000 W) ve kurutma sıcaklığının (30,40,50ºC) ekşi hamurun laktik asit bakteri (LAB) içeriği, maya içeriği, LAB içeriğinin maya içeriğine oranı (L/ M) ile kurutma süresi üzerindeki etkileri 3^2 genel faktöriyel deneme deseni kullanılarak belirlenmiştir. İşlem parametlerinin etki düzeylerine bakıldığında mikrodalga gücünün kurutma işleminde ekşi hamur tozlarının kuruma süresi, LAB ve maya içeriğindeki azalmada en etkili parametre olarak belirlenmiştir.

Kurutma işlemi sonrasında elde edilen ekşi hamur tozunda meydana gelen aktivite kayıplarından dolayı tozun direkt olarak ekmek üretiminde kullanılması sonucunda beklenilen ekmek karakteristiklerine ulaşılamayacağı anlaşılmıştır. Bu doğrultuda, MVK işlemi sırasında LAB ve maya içeriklerindeki kayıpların geri kazanılması amacıyla yapılan ön denemeler sonucunda ekşi hamur tozunun farklı fermantasyon süresi ve sıcaklığı uygulanarak rehidre edilmesine karar verilmiş ve ekmek üretiminde kullanılmak üzere bir ön hamur elde edilmiştir.

Ekşi hamurların MVK işlemi ile kurutulması ve rehidrasyon koşullarının eş zamanlı olarak optimizasyonu Taguchi Metodolojisi ve Gri ilişkisel Analizi ile gerçekleştirilmiştir. Kurutma sıcaklığı (30,40ºC), mikrodalga gücü (200,400,600 W), rehidrasyon süresi (24, 48, 72 sa) ve rehidrasyon sıcaklığı (30,35,40 ºC) bağımsız değişken olarak seçilirken ekşi hamurun LAB, maya içerikleri ve L/M oranları ise işlem performansını belirleyen bağımlı değişkenler olarak seçilmiştir. Kurutma sıcaklığının ve mikrodalga gücünün LAB, maya ve L/M oranları üzerindeki etki yüzdeleri fermantasyon süresi ve sıcaklığına göre düşük bulunmuştur. Ekmek üretiminde kullanılmak üzere ön hamur hazırlamak için optimum işlem koşulları 200 W mikrodalga gücü, 30 ºC kurutma sıcaklığı, 72 sa fermentasyon süresi (24 sa'lik 3 yenileme) ve 40 ºC fermantasyon sıcaklığı olarak belirlenmiştir. Bu noktada ön

hamurun LAB içeriği 8,861 ± 0,08 logkob/g, maya içeriği 6,779 ± 0,09 logkob/g ve L/M oranı 120,84 ± 0,86 olarak belirlenmiştir.

Farklı ön hamurlar kullanılarak gerçekleştirilen ekmek fermantasyonu süresince, pH değerlerinde düşüş, TTA değerlerinde, laktik asit ve asetik asit içeriğinde artışlar gözlemlenmiştir. Ölçülen pH değerleri 4.3 ile 5.6 arasında değişim gösterirken TTA değerleri %0.041 ile %0.082 arasında değişim göstermiş ve fermantasyon boyunca ortamdaki laktik asit ve asetik bakterilerinin gelişim göstermesi ile asitliğin yükseldiği görülmüştür. pH ve TTA açısından ekmek hamurları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olmadığı ($p > 0,05$) görülürken laktik asit ve asetik asit içerikleri açısından ön hamurlar arasında anlamlı fark olduğu ($p < 0.05$) kontrol grubunun diğerlerinden farklı olduğu görülmüştür. Ekmeklerde yapılan analizlerin sonuçları istatistiksel olarak değerlendirilmiş ve ağırlık, hacim ve renk değerlerindeki farkın anlamsız olduğu ($p>0,05$) mikrodalga vakum kurutma ve liyofilize ön hamuru ile elde edilen ekmeklerin kontrol grubuyla benzer özellik gösterdiği görülmüştür. Bununla birlikte ekmeklerde tekstür ve duyusal analiz yapılmış ve gruplar arası farkın istatiksel olarak anlamsız ($p >0,05$) olduğu bulunmuştur.

MVK sistemi ile elde edilen tozun liyofilize ekşi hamur tozuna oranla daha yüksek akabilirlik ve daha düşük yapışma ve duruş açısı değerlerine sahip olduğu bulgulanmıştır. Ekşi hamur tozlarının yığın yoğunluğu ve akışkanlık davranışı arasındaki farklılıkların partikül boyutu ve geometrisinden kaynaklandığı SEM görüntüleri analizi sonucunda ortaya konmuştur. MVK tozunda partikül boyutlarının daha heterojen dağılım sergilediği ve partikül boyutlarının daha büyük olduğu görülmüştür. Yığın yoğunluğu değerlerinin yüksek olması, suda çözünürlük süresinin uzun olması ve nem tutma özelliğinin liyofilize toza oranla düşük olması bu bulguyu desteklemektedir.

Sonuç olarak, hem MVK hem de liyofilize ekşi hamur tozunun kurutma prosesleri sırasında çeşitli streslere maruz kalarak aktivite kayıpları yaşandığı bundan dolayı ekmek üretiminde kullanılmadan önce rehidre edilerek belirli bir süre ve sıcaklıkta fermantasyona tabi tutulması gerektiği anlaşılmıştır. Optimum noktada ön hamurlarla ürettiğimiz ekmeklerin kontrol ekmeğine benzer karakteristik özellikler taşıdığı görülmüştür. Çalışma kapsamında LAB ve maya içerikleri sadece miktar olarak belirlenmiş olup, mikrobiyolojik ekimler sonrasında üreyen LAB ve mayaların

çok sayıda farklı morfolojide oldukları görülmüştür. Bunların izole edilerek tanımlanması, derinlemesine araştırılması ve en çok faydayı sağlayacak mikroorganizmalar seçilerek starter kültür karışımı oluşturulması yeni ürünlerin üretilmesinde önemli rol oynayacaktır. Bu kültürlerin stabilitesinin korunarak uzun süreli muhafazasında mikrodalga vakum kurutma kısa işlem süresi ve düşük sıcaklıklarda kurutma avantajı ile önemli bir alternatif oluşturacaktır.

KAYNAKLAR

1. Elgün, A., Ertugay, Z.Tahıl İşleme Teknolojisi. A.Ü. Yay. 1992, No:718, Erzurum.
2. Dağlıoğlu, O. Ekmeğin önemi ve beslenmemizdeki yeri. Un Mamülleri Dünyası. 1998, 7(2), 38-44.
3. Doğan, İ. Van ilinde serbest tipte ekmek üreten fabrikaların genel durumu ve sorunları. Un Mamülleri Dünyası. 1997, 6(5–6):22–31.
4. Gül, H., Özçelik, S., Sağdıç, O. and Certel, M. Sourdough bread production with lactobacilli and S. cerevisiae isolated from sourdoughs, Process Biochemistry. 2005, 40, 691-697.
5. Göçmen, D. Ekşi Hamur ve Laktik Starter Kullanımnın Ekmekte Aroma Oluşumu Üzerine Etkileri. 2001, 26, 13-16.
6. Akgün, F.B. Ekşi hamur tozu eldesi ve ekmek üretiminde kullanılabilme olanakları (Doktora tezi) Pamukkale Universitesi. 2007, Denizli.
7. Reale, A., Di Renzo, T., Preziuso, M., Panfili, G., Cipriano, L., Cristi, M. Stabilization of sourdough starter by spray drying technique: New breadmaking perspective. Food Science and Technology.2018, 10.1016/j.lwt.2018.10.016, 1-32.
8. Çaglar, N., Ermis, E., Durak, M. Spray-dried and freeze-dried sourdough powders: Properties and evaluation of their use in breadmaking. Journal of Food Engineering. 2021, 292, 1-7.
9. Talfti A.G., Peighambardoust S.H., Hesari J., Bahrami A., Bonab E.S. Physico-chemical and functional properties of spray-dried sourdough in breadmaking. Food Science and Technology Internatıonal. 2012, 19(3), 271-278.
10. Drouzas, A., & Schubert, H. Microwave application in vacuum drying of fruits. Journal of Food Engineering. 1996,28, 203–209.
11. Tamerler, T. Ekşi Maya ile Buğday Ekmeğinin Hazırlanması ve Ekşi Maya Mikroorganizmaları. Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi. 1986, Seri: B. 4, 145-154.
12. Rehman S, Paterson A, Piggott JR. Flavour in sourdough breads: a review. Trends Food Sci Technol. 2006,17,557–66.
13. Venturi, M., Guerrini, S. and Vincenzini, M. Stable and non-competitive association of Saccharomyces cerevisiae, Candida milleri and Lactobacillus sanfranciscensis during manufacture of two traditional sourdough baked goods. Food Microbiology. 2012, 31, 107-115.
14. Gobbetti, M., Corsetti, A., Rossi, J. The sourdough microflora Interactions between lactic acid bacteria and yeasts: metabolism of amino acids. J Microbiol Biotechnol. 1994,10, 275-279.
15. Erginkaya, Z. ve Kabak, B. Gıda Mikrobiyolojisi Kitabı. Ed: Osman Erkmen, Efil Yayınevi 1. Basım, 22.bölüm, Fermente Gıdalar, Ankara. 2010, 427- 437s.
16. Gaggiano, M., Cagno, D. R., Angelis, M. D., Arnault, P., Tossut, P. Fox, P. F. And Gobbetti, M. Defined multi-species semi-liquid ready-to-use sourdough starter. Food Microbiology. 2007, 24, 15-24.
17. Baykara P. Geleneksel Nohut Mayasının Endüstriyel Beyaz Buğday Unu Ekmeği Üretiminde Kullanılması. Tekirdağ Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü. Tekirdağ. 2006,88s. (Yüksek Lisans Tezi).

18. Boz, H., Karaoğlu, M.M., Kotancılar, H. G., Gerçekaslan, K. E. Fırın Ürünlerinde Kullanılan Bazı Doğal Katkılar. Türkiye 10. Gıda Kongresi. Erzurum. 21-23 Mayıs 2008, 367-378.
19. Kotancılar, H.G., Gerçekaslan, K.E., Karaoğlu, M.M. Effects of loaf weight and storage time on the qualitative properties of white and traditional Vakfıkebir breads.Turk J Agric For. 2008, 32, 459-467.
20. Plessas, P., Bekatorou, A., Gallanagh, J., Nigam, P., Koutinas, A.A., Psarianos, C. Evolution of aroma volatiles during storage of sourdough breads made by mixed cultures of Kluyveromyces marxianus and Lactobacillus delbrueckii ssp. Bulgaricus or Lactobacillus helveticus. Food Chemstry. 2008, 107, 883–889.
21. Şahin, E. Gerçek Ekmek. Hayykitap Yayıncılık. İkinci Baskı. İstanbul. 2012.
22. Dinçer, A., ve Çam, G. Ekmek Üretiminde Starter Kültür Kullanımı ve Ekşi Hamur Fermantasyonu. Gıda Mühendisliği Kongresi. 1992, İzmir, s.104-109.
23. De Vuyst, L., Neysens, P. The sourdough microflora: Biodiversity and metabolic interactions. Trends Food Sci Technol. 2005, 16: 43-56.
24. Özkaya, H. Ekmek Aroması ve Buna Etkili Faktörler. Gıda Dergisi. 1984, 9(1), 21-27.
25. Ravyts, F. and Vuyst, L. D. Prevalence and Impact of Single-strain Cultures of Lactic Acid Bacteria on Metabolite Formation in Sourdough. Food Microbiology. 2011, 28, 1129-1139.
26. Brummer JM, Lorenz K. Preferments and sourdoughs in German breads. In: Kulp K, Lorenz K, editors. Handbook of dough fermentations. New York: Marcel Dekker Inc. 2003, p 247–67.
27. Corsetti, A., Settanni, L. Lactobacilli in sourdough fermentation. Food Res Int. 2007, 40, 539–558.
28. Hansen A, Schieberle P. Generation of aroma compounds during sourdough fermentation: applied and fundamental aspects. Trends Food Sci Technol. 2005, 16, 85–94.
29. Gassenmeier K, Schieberle P. Potent aromatic compounds in the crumb of wheat bread (French-type). Influence of preferment and studies on the key odrants during dough processing. Lebnsm Unters Forsch. 1995, 201:241–48.
30. Kılıç, S. Süt Endüstrisinde Laktik Asit Bakterileri. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları No: 542. Ege Üniversitesi Basımevi. Bornova, İzmir. 2008, 451s.
31. Güre, S. Ekşi hamurlardan İzole Edilen Laktik Asit Bakterilerinin Gluten Üzerine Proteolitik Etkilerinin İncelenmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi.Fen Bilimleri Enstitüsü. Isparta. 2009, 73s. (Yüksek Lisans Tezi).
32. Magnusson J, Storm K, Ross S, Sgogren J, Schnurer J. Broad and complex antifungal activity among environmental isolates of lactic acid bacteria. FEMS Microbiol Lett. 2003, 219, 129–35.
33. El-Megeed E, Mohamed A. U.S. patent 4,889,810. Sands DC. Method and compositions for improving the nutritive value of foods via Lactobacillus ferementum, 1989.
34. Clarke, CI., Schober, TJ., Dockery, P., Sullican, K., Arendt, EK. Wheat sourdough fermentation: effects of time and acidification on fundamental rheological properties. Cereal Chemstry. 2004, 81, 409–17.
35. Di Cagno, R., Angelis, M., Lavermicocca, P., De Vincenzi, M., Giovannini, C., Faccia, M., Gobbetti, M. Proteolysis by sourdough lactic acid bacteria:

effect on wheat flour protein fractions and gliadin peptides involved in human cereal intolerance. Appl Environ Microbiol. 2002, 68, 623–33.
36. Park, YH., Jung, LH., Jeon, ER. Quality characteristics of bread using sourdough. J Food Sci Nutrition. 2006, 33, 323–27.
37. Hoseney C. Principles of cereal science and technology. 2nd ed. St. Paul, Minn. American Association of Cereal Chemists. 1999.
38. Collar C, Benedito de Barber C, Martinez-Anaya MA. Microbial sour dough influence acidification properties and bread making potential of wheat dough. Journal Food Science. 1994, 59, 629–33.
39. Clarke CI, Schober TJ, Arendt EK. Effect of single strain and traditional mixed strain starter cultures on rheological properties of wheat dough and bread quality. Cereal Chemstry. 2002, 79, 640–47.
40. Axford, DWE., McDermott, EE., Redman, DG. Note on the sodium dodecyl sulfate test of bread making quality: comparison with Pelshenke and Zeleny tests. Cereal Chemstry. 1997, 56, 582–83.
41. Qarooni J. Flat bread technology. New York: Chapman and Hall.1996, p 99-101.
42. Cauvain SP. Bread– the products. In: Cauvain SP, Young LS, editors. Technology of breadmaking. London: Blackie Academic and Professional. 1998, p 330–46.
43. Schulz A. Der Einfluss organiscer Sauren auf die Vergarung verschiedener Z. Getr Mehl Brot. 1972, 26,129–33.
44. Bechtel WG, Meisner DF, Bradley WB. The effects of crust on the staling of bread. Cereal Chemstry. 1953, 30, 160–68.
45. Legan GD. Mould spoilage of bread: the problems and some solutions. Intern Biodeter Biodegradation. 1993, 32, 33–53.
46. Lavermicocca, PF., Valerio, A., Evidente, S., Lazzaroni, A., Corsetti, A., Gobbetti M. Purification and characterization of novel antifungal compounds from sourdough the Lactobacillus plantarum 21B. Appl Environ Microbiol. 2000, 66, 4084–90.
47. Holtzel, A., Ganzle, MG., Nicholson, GJ., Hammes, WP., Jung, G. The first low molecular weight antibiotic from lactic acid bacteria: reutericyclin, a new tetramic acid. Angew Chemstry. 2000, Intl Edit 39, 2766-8.
48. Plessas, S., Alexopoulos, A., Bekatorou, A., Mnatzourani, L., Koutina, A., Bezirtzoglou, E. Examination of freshness degradation of sourdough bread made with kefir through monitoring the aroma volatile composition during storage. Food Chemistry. 2011, 627-633.
49. Ertop, U., Hendek Ertop M. The product properties and production methods of traditional Araköy bread. The 2nd International Symposium on Traditional Foods from Adriatic to Caucasus, Makedonya. 24-26 Ekim 2013 , s.241.
50. Rushton, E., Stanley, E.C., Scott, A.W. Compressed dehydrated vegetable blocks. Chemical Industries (London). 1945, 35, 274-276.
51. Ambros S., Bauer, S.A.W., Shylkina, L., Foerst, P., Kulozik, U. Microwave-Vacuum Drying of Lactic Acid Bacteria: Influence of Process Parameters on Survival and Acidification Activity. New York, 2016.
52. Kım, S. S. and Bhowmık, S. R. Moisture sorption isotherms of concentrated yoghurt and microwave vacuum dried yoghurt powder. Journal of Food Engineering. 1994, 21, 157–175.

53. Taguchi, G. Introduction to Quality Engineering, Asian Productivity Organization, Tokyo, Japan, 1990.
54. Roy, R. K. A Primer on Taguchi Method, Van Nostraid Reinhold, New York, NY, USA, 1990.
55. Ross, P. J. Taguchi Techniques for Quality Engineering, McGraw-Hill, New York, NY, USA, 2nd edition, 1996.
56. Kuo, Y., Yang, T., Huang, G. Çok özellikli karar verme problemlerinin çözümünde gri ilişkisel analizin kullanımı. Bilgisayar ve Endüstri Mühendisliği Cilt 55, Sayı 1. 2008, 80-93.
57. Rao, B.S., Babu, Ch. K., Nayaka, Shivananda. Multi-response optimization of machining parameters for end milling process on BSL168-T6511 aluminium alloy using Taguchi based grey relational analysis. ScienceDirekt, 2021.
58. Odabaş, M. Gıda Analiz Teknikleri, 2017.
59. AOAC. Official Methods of Analysis. 18th edn. Association of Official Analytical Chemists; Arlington, VA, USA, 2005.
60. Elgün A. ve Ertugay Z. Tahıl İşleme Teknolojisi. A. Ü. Yayınları No:78 Ziraat Fakültesi No:297, Ders Kitapları Serisi No: 52, Erzurum. 2002, 201-343 s.
61. İleleji, K., Zhou, B. Toplu mısır sobası parçacıklarının durma açısı. Toz teknolojisi cilt 187, sayı 2. 2008,110-118.
62. Altuğ, T., Elmacı, Y. Gıdalarda Duyusal Değerlendirme. Sidas, İzmir, Türkiye, 2019, Sayfa 31.
63. Linders, LJM., Meerdink, G., Van 't Riet, K. Effect of growth parameters on the residual activity of Lactobacillus plantarum after drying. Journal of Applied Microbiology.1997.
64. Muştu, Ç., Eren, İ. dryıng kınetıcs, heatıng unıformıty and qualıty changes durıng the mıcrowave vacuum dryıng of artıchokes (cynara scolymus l.). Italian Journal of Food Science. 2019, cilt 31, sayı 3.

EKLER

EK A. Ekmek Örneklerinde Duyusal Analiz Formu

Panelist Adı-Soyadı: Tarih:				
EKMEK İÇİ RENGİ				
Ekşi hamur ekmeğine özgü çok iyi kahverengi bir renk	**5**			
Ekşi hamur ekmeğine özgü iyi kahverengi bir renk	**4**			
Kabul edilebilir derecede kahverengi renk	**3**			
Belirgin derecede cok açık veya cok koyu kahverengi renk	**2**			
Kabul edilemeyecek derecede çok açık veya çok koyu kahverengi renk	**1**			
GÖZENEK YAPISI				
Çok iyi dağılmış homojen gözenek yapısı	**5**			
İyi dağılmış homojen gözenek yapısı	**4**			
Kabul edilebilir derecede düzensiz gözenek yapısı	**3**			
Belirgin derecede düzensiz gözenek yapısı	**2**			
Kabul edilemez derecede düzensiz gözenek yapısı	**1**			
AROMA VE KOKU				
Çok iyi ekşi hamur ekmeği aroması ve kokusu	**5**			
İyi ekşi hamur ekmeği aroması ve kokusu	**4**			
Kabul edilebilir derecede ekşi hamur ekmeği aroması ve kokusu	**3**			
Belirgin derecede yabancı koku	**2**			
Kabul edilemez derecede yabancı koku	**1**			
TAT				
Çok iyi ekşi hamur ekmeği tadında ve yoğun aromatik	**5**			
İyi ekşi hamur ekmeği tadında ve aromasında hafif azalma	**4**			
Kabul edilebilir ekşilik ve ekmek tadı	**3**			
Belirgin derecede ekşilik veya yavan ekmek tadı	**2**			
Kabul edilemez düzeyde ekşilik veya yavan ekmek tadı	**1**			
GENEL BEĞENİ				
Çok fazla beğendim	**5**			
Çok beğendim	**4**			
Beğendim	**3**			
Az beğendim	**2**			
Beğenmedim	**1**			

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Seven YAYCI

Medeni Hali : Bekar

Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Durum

Lise : Zehra Şelale Anadolu Lisesi , Perşembe/ORDU, 2008-2012

Lisans : Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Gıda Mühendisliğİ, 2013-2017

Yüksek Lisans : Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Gıda Teknolojisi, 2017-2021

Mesleki Deneyim

Ordu Motorlu Araçlar Sanayi ve Ticaret A.Ş.: 2018-2021