T.C.

AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ

EKŞİ HAMUR EKMEKLERİNİN PROSES KONTAMİNANT İÇERİKLERİNİ AZALTMAK İÇİN YENİ BİR PİŞİRME TEKNİĞİNİN ARAŞTIRILMASI VE FARKLI PİŞİRME TEKNİKLERİYLE ÜRETİLMİŞ OLAN EKŞİ HAMUR EKMEKLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Cihadiye CANDAL USLU

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GIDA MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

DOKTORA TEZİ

HAZİRAN 2022

ANTALYA

T.C.

AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ

EKŞİ HAMUR EKMEKLERİNİN PROSES KONTAMİNANT İÇERİKLERİNİ AZALTMAK İÇİN YENİ BİR PİŞİRME TEKNİĞİNİN ARAŞTIRILMASI VE FARKLI PİŞİRME TEKNİKLERİYLE ÜRETİLMİŞ OLAN EKŞİ HAMUR EKMEKLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Cihadiye CANDAL USLU

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GIDA MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

DOKTORA TEZİ

HAZİRAN 2022

ANTALYA

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

EKŞİ HAMUR EKMEKLERİNİN PROSES KONTAMİNANT İÇERİKLERİNİ AZALTMAK İÇİN YENİ BİR PİŞİRME TEKNİĞİNİN ARAŞTIRILMASI VE FARKLI PİŞİRME TEKNİKLERİYLE ÜRETİLMİŞ OLAN EKŞİ HAMUR EKMEKLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Cihadiye CANDAL USLU

GIDA MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

DOKTORA TEZİ

Bu tez Akdeniz Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından FBA-2020-5213 nolu proje ile desteklenmiştir.

HAZİRAN 2022

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

EKŞİ HAMUR EKMEKLERİNİN PROSES KONTAMİNANT İÇERİKLERİNİ AZALTMAK İÇİN YENİ BİR PİŞİRME TEKNİĞİNİN ARAŞTIRILMASI VE FARKLI PİŞİRME TEKNİKLERİYLE ÜRETİLMİŞ OLAN EKŞİ HAMUR EKMEKLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Cihadiye CANDAL USLU

GIDA MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

DOKTORA TEZİ

Bu tez 30 / 06 / 2022 tarihinde jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Mustafa ERBAŞ (Danışman)
Prof. Dr. Muharrem CERTEL
Prof. Dr. Sibel TUNÇ
Prof. Dr. Hamit KÖKSEL
Doç. Dr. Nesrin ECEM BAYRAM

ÖZET

EKŞİ HAMUR EKMEKLERİNİN PROSES KONTAMİNANT İÇERİKLERİNİ AZALTMAK İÇİN YENİ BİR PİŞİRME TEKNİĞİNİN ARAŞTIRILMASI VE FARKLI PİŞİRME TEKNİKLERİYLE ÜRETİLMİŞ OLAN EKŞİ HAMUR EKMEKLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Cihadiye CANDAL USLU

Doktora Tezi, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Mustafa ERBAŞ

Haziran 2022; 196 sayfa

Ekmek; un, su, tuz ve mayanın belli ölçülerde karıştırılarak yoğrulmasıyla oluşan hamurun, fermantasyon süresinin ardından pişirilmesi ile ortaya çıkan bir üründür. Ekmek üretiminde fermentasyon için genellikle *Saccharomyces cerevisiae* mayası kullanılmakla birlikte ortama ilave olan laktik asit bakterileri ve yabani mayalar da bu ortamda üreyebilmektedir. Fermentasyonun çok sayıda laktik asit bakterisi ve mayanın ortak etkisi sonucunda gerçekleşmesiyle hamur pH değeri düşmekte ve ekşi bir hamur oluşmaktadır. Bu ekşi hamur kullanılarak üretilen ekmekler ise ekşi hamur ekmekleri olarak tanımlanmaktadır.

Ekşi hamur ekmekleri, farklı lezzet ve dokuya sahip olmaları ve sağlığı geliştirici etkilerinin bulunması nedenleriyle tüketiciler tarafından büyük ilgi görmektedir. Ancak ekşi hamur ekmekleri çoğunlukla büyük hamur kitleleri kullanılarak ve fırında uzun süre pişirilerek üretildiği için çocuk ve yaşlıların tüketemeyeceği kadar kalın ve sert bir kabuğa sahip olmaktadır. Ayrıca bu ekmeklerde, kabuklarında meydana gelen Maillard reaksiyonu ve karamelizasyon gibi enzimatik olmayan esmerleşme reaksiyonları nedeniyle kendiliğinden oluşan ve proses kontaminantları olarak adlandırılan HMF ve akrilamid gibi toksik maddeler de yüksek miktarda bulunmaktadır.

Bu araştırma ile; atmosferik basınçta ve 100°C'den yüksek sıcaklıkta yeni bir buharla ekmek pişirme fırını tasarlanarak yüksek sıcaklıktaki buharla ekmek pişirme tekniğinin; ekşi hamur mikroorganizma metabolitlerini koruyucu ve ekşi hamur ekmeği kabuk kalınlığını ve proses kontaminantları içeriğini azaltıcı etkilerinin araştırılması ve dolayısıyla ekmeğin minimal işlem proseslerine uygun bir yaklaşımla üretilerek çocuk ve yaşlıların kolaylıkla tüketebileceği yumuşak, kabuksuz ve daha sağlıklı bir hale getirilmesi amaçlanmıştır.

Bu amaçla, temelde üç aşamalı olarak planlanmış olan projenin birinci aşamasında; araştırma kapsamında tasarlanan yüksek sıcaklıklı buharla ekmek pişirme fırını ile patent başvurusu yapılmış, bu fırının prototipi üretilmiş ve buharla ekmek pişirme fırınında üretilecek olan ekşi hamur ekmeklerinin hamur su içeriği (farinograf su içeriği; FSİ değerinin %80, %90 ve %100'ü), pişirme süresi (20, 35 ve 50 dk) ve pişirme sıcaklığı (100, 150 ve 200°C) için optimum üretim koşulları, yanıt değişkeni olarak kabuk HMF içeriği (en düşük), TPA-sertlik (en düşük), TPA-esneklik (en yüksek) ve kabuk rengi L^* (en yüksek) değerlerinin kullanıldığı 17 üretimlik bir merkezi kompozit tasarım

deneme desenine göre belirlenmiştir. Araştırmanın ikinci aşamasında; buharla ekmek pişirme fırınında (BF) optimum koşullarda ekşi hamur ekmeği üretilerek bu ekmeğin özellikleri elektrikli konveksiyonel fırın (EKF) ve geleneksel taş fırın (GTF) ile üretilen kontrol ekşi hamur ekmekleri ile kıyaslanmıştır. Bu üç ekşi hamur ekmeğinin bayatlama süreci; iki farklı sıcaklıkta (4°C ve 25°C) 3x2 faktöriyel deneme desenine göre depolanan ekmeklerin, depolamanın 0., 1., 2., 3., 6. ve 7. günlerinde analiz edilmesiyle takip edilmiştir. Araştırmanın üçüncü aşamasında ise optimum koşullarda buharda pişirilerek üretilen ekşi hamur ekmeklerinin toplum tarafından duyusal kabul edilebilirliği araştırılmıştır.

Araştırmanın birinci aşamasından elde edilen analiz sonuçlarına göre, tüm yanıt değişkenleri için istatistiksel parametrelerin en iyi ifade edildiği modelin kuadratik model olduğu belirlenmiş, en düşük kabuk HMF içeriği FSİ değerinin %90'ı kadar su kullanılarak 150°C pişirme sıcaklığında ve 35 dk pişirme süresinde; en düşük TPA-sertlik değeri FSİ değerinin %90'ı kadar su kullanılarak 150°C pişirme sıcaklığında ve 20 dk pişirme süresinde; en yüksek TPA-esneklik değeri FSİ değerinin %90'ı kadar su kullanılarak 150°C pişirme sıcaklığında ve 50 dk pişirme süresinde; en yüksek kabuk rengi *L** değeri ise FSİ değerinin %80'i kadar su kullanılarak 150°C pişirme sıcaklığında ve 35 dk pişirme süresinde elde edilen ekmeklerde tespit edilmiştir. Buharla ekmek pişirme fırınında ekmek pişirme optimum koşulları; hamur su içeriği için FSİ değerinin %86.01'i, pişirme sıcaklığı için 151.33°C ve pişirme süresi için ise 28.78 dk olarak tespit edilmiştir. Optimum koşullarda üretilen deneysel ekmeklerde ise kabuk HMF içeriği 1.00 mg/kg, TPA-sertlik değeri 3539.50 g, TPA-esneklik değeri 0.73 ve kabuk rengi *L** değeri ise 66.27 olarak belirlenmiştir.

Araştırmanın ikinci aşamasından elde edilen analiz sonuçlarına göre, BF ekmeklerinin ağırlık kaybı, kabuk/iç oranı ve kabuk kalınlığı değerlerinin EKF ve GTF ekmeklerine ait değerlerden daha düşük olduğu; BF ekmeklerinin kabuklarının kremsi beyaz renkte, EKF ekmeklerinin kabuklarının ise koyu kırmızı-kahverengi renkte olduğu; TPA sertlik ve esneklik değerleri ile kurumadde içeriğinin BF ekmeklerinde diğer ekmeklere göre daha düşük olduğu; tüm ekmekler için ortalama spesifik hacim değerinin 2.01 cm^3/g, su aktivitesi değerinin 0.92, pH değerinin 4.30, TTA değerinin 7.13 mL/10 g olduğu; EKF, GTF ve BF ekmekleri için kabuk HMF içeriklerinin sırasıyla 39.59, 46.36 ve 1.00 mg/kg, akrilamid içeriklerinin ise 33.65, 29.25 ve 6.83 µg/kg olduğu; BF ekmeklerinin organik asit içeriklerinin diğer ekmeklere göre genel anlamda daha düşük, tGI değerlerinin ise daha yüksek olduğu; BF ekmeklerindeki iç kısma göre kabuk kısmındaki aminoasit azalma oranlarının EKF ve GTF ekmeklerindeki aminoasit azalma oranlarına göre çok daha düşük olduğu ve EKF ve GTF ekmekleri için bazı aminoasitlerin daha fazla oranda azalma gösterdiği; genel duyusal analizde BF ekmeklerinin 6 puanlık skalaya göre ortalama 4.37 puan alarak genel anlamda beğenildiği; depolama sırasında BF ekmeklerinin daha geç bayatlamaya başladığı ve depolama süresince daha yumuşak kaldığı ve bayatlamanın takibi için yapılan kısa duyusal analizde ise diğer ekmeklere göre tazeliğini daha uzun süre koruyabildiği tespit edilmiştir.

Araştırmanın üçüncü aşamasından elde edilen analiz sonuçlarına göre, tüketici duyusal testine katılan panelistlerin ekmekleri 6 puanlık skalaya göre ortalama 4.04 puan ile değerlendirdikleri ve teste katılanların %61'inin bu ekmekleri satın almak istediğini belirttiği tespit edilmiştir.

Araştırma ile; toplum tarafından en sık tüketilen gıda maddelerinden biri olan ekmeğin besinsel içeriğinin korunmuş olduğu, proses kontaminant içeriğinin minimize edildiği, kabuksuz olması nedeniyle çocuk ve yaşlılar gibi dezavantajlı bireylere tüketim kolaylığının sağlandığı ve böylece ekmeğe daha sağlıklı ve kolay tüketilebilir bir özellik kazandırıldığı sonuçlarına ulaşılmıştır.

ANAHTAR KELİMELER: Akrilamid, Buharla ekmek pişirme fırını, Ekşi hamur ekmeği, HMF, Proses kontaminantı

JÜRİ: Prof. Dr. Mustafa ERBAŞ

Prof. Dr. Muharrem CERTEL

Prof. Dr. Sibel TUNÇ

Prof. Dr. Hamit KÖKSEL

Doç. Dr. Nesrin ECEM BAYRAM

ABSTRACT

RESEARCH OF A NEW BAKING TECHNIQUE FOR REDUCING THE AMOUNT OF PROCESS CONTAMINANTS OF SOURDOUGH BREADS AND COMPARING THE SOURDOUGH BREADS PRODUCED BY DIFFERENT BAKING TECHNIQUES

Cihadiye CANDAL USLU

PhD Thesis in Food Engineering Department

Supervisor: Prof. Dr. Mustafa ERBAŞ

Haziran 2022; 196 pages

Bread is a product that the baking of dough kneaded with flour, water, salt, and bakers' yeast after fermentation. In bread fermentation, *Saccharomyces cerevisiae* is generally used and lactic acid bacteria (LAB) and wild yeast can also grow in a fermentation medium. By the co-fermentation of LAB and yeast, the pH degree of dough decreases, and sourdough forms. The bread produced by this sourdough is named as sourdough bread.

Sourdough bread is paid attention by consumers due to its different flavor and texture, and health-beneficial effects. However, since sourdough bread is mostly produced by using a large amount of dough and baking for a long period, they have a very thick and hard crust that makes difficult the consumption of bread by children and the elderly individuals. Additionally, these breads contain high amounts of toxic substances such as HMF and acrylamide, which are called process contaminants and are formed spontaneously due to non-enzymatic Maillard reactions and caramelization.

In this research, a new steam baking oven was designed to operate at atmospheric pressure and high temperatures over 100°C. The protective effects on microorganism metabolites and the ability of reducing the process contaminants of new steam baking oven were investigated. Thus, it was aimed to produce minimally processed bread to consume by children and the elderly individuals with a soft and crust-free texture and healthier approach.

In the first stage of the research, basically planned as three-step; it was made patent application with a high temperature-steam baking oven, a prototype of this new oven was manufactured and the optimum bread-producing parameters in this oven were determined by a central composite design. In the design, water content of dough (80%, 90%, and 100% of farinograph unit, FSİ), baking period (20, 35, and 50 min), and baking temperature (100, 150, and 200°C) are selected as independent variables, while bread crust HMF content (the lowest), TPA-hardness value (the lowest), TPA-springiness (the highest) value and crust color L^* value (the highest) were also selected as responses. In the second stage of the research, the quality characteristics and chemical composition of bread baked in the new steam baking oven (BF) were compared with bread baked in an electrical conventional oven (EKF) and stone oven (GTF). The staling period of these 3 sourdough breads were pursued by analysing the bread samples, stored according to the

3x2 factorial experimental design in 2 different temperature values (4°C and 25°C), at 0^{th}, 1^{st}, 2^{nd}, 3^{rd}, 6^{th}, and 7^{th} day of the storage period. In the third stage of the research, the consumer acceptability of bread produced by optimum conditions was determined by sensory analysis.

According to the data obtained in the first stage of the research; the best fit model was the quadratic model for all responses, and the lowest bread crust HMF content was determined in the 90% FSİ, and 35 min baking time; the lowest TPA-hardness value was obtained in 90% FSİ, 150°C baking temperature, and 20 min baking time; the highest TPA-springness value was determined in 90% FSİ, 150°C baking temperature, and 50 min baking time; the highest crust color *L** value was measured in 80% FSİ, 150°C baking temperature, and 35 min baking time. The optimum baking parameters of BF was determined as 86.01% FSİ, 151.33°C baking temperature and 28.78 min baking time. The bread crust HMF content, TPA-hardness value, TPA-springness value and crust color *L** value of bread produced at optimum conditions were determined to be 1.00 mg/kg, 3539.50 g, 0.73, and 66.27, respectively.

According to the data obtained in the second stage of the research; the weight loss, crust/crumb ratio, crust thickness, TPA-hardness and springiness values, and dry matter content were lower in BF bread than in EKF and GTF breads; while the BF had milky white crust color, the EKF had dark red-brown crust color; the average specific volume, water activity, pH and TTA were determined as 2.01 cm^3/g, 0.92, 4.30 and 7.13 mL/10 g, respectively. The crust of EKF, GTF, and BF bread had 39.59, 46.36, and 1.00 mg/kg HMF content and 33.65, 29.25 ve 6.83 µg/kg acrylamide content, respectively. The organic acid content and the reducing rate of free amino acid content in bread crust by comparison the bread crumb were lower in BF breads than the other bread samples, while tGI value was higher in BF breads. BF breads were generally liked in general sensory analysis by getting an average of 4.37 points according to the 6-point scale. In the storage period, it was determined that the staling was slower in BF breads and these samples remained softer during the storage time. In the short sensory analysis performed to pursue staling, it was determined that BF breads could preserve their freshness longer than EKF and GTF breads.

According to the data obtained in the third stage of the research; in the consumer acceptability test, BF bread got 4.04 points considering the 6-point scale and 61% of panelists accepted to buy this bread.

By this research, it was concluded that the nutritional content of bread, one of the most frequently consumed food, was preserved, its process contaminants were minimized, its consumption was made easy for disadvantaged individuals such as children and the elderly people due to its crustless structure, and thus it was gained healthier and easier consumable feature to the bread.

KEYWORDS: Acrylamide, HMF, Process contaminant, Sourdough bread, Steam baking oven

COMMITTEE: Prof. Dr. Mustafa ERBAŞ

Prof. Dr. Muharrem CERTEL

Prof. Dr. Sibel TUNÇ

Prof. Dr. Hamit KÖKSEL

Assoc. Prof. Dr. Nesrin ECEM BAYRAM

ÖNSÖZ

Ekmek; un, su, tuz ve mayanın belli ölçülerde karıştırılarak yoğurulmasıyla oluşan hamurun, fermantasyon süresinin ardından pişirilmesi ile ortaya çıkan bir üründür ve nötr özellikteki tadı, besleyici özellikleri, doyurucu olması, diğer gıdalara göre daha ucuz ve kolay ulaşılabilir olması gibi nedenlerle toplumlar tarafından yüksek miktarlarda ve sürekli olarak tüketilmektedir.

Ekmek üretiminde fermantasyon için genellikle ekmek mayası olarak adlandırılan *Saccharomyces cerevisiae* mayası kullanılmaktadır. Fermantasyonun laktik asit bakterileri ve mayaların ortak etkisi sonucunda gerçekleşmesiyle ise hamurun pH değeri düşmekte ve ekşi bir hamur meydana gelmektedir. Meydana gelen ekşi hamurun ekmek üretiminde kullanılmasıyla ekşi hamur ekmeği elde edilmekte ve elde edilen ekşi hamur ekmekleri farklı lezzet ve dokuya sahip olmaları ve sağlığı geliştirici etkilerinin bulunması nedenleriyle tüketiciler tarafından büyük ilgi görmektedir.

Ekşi hamur ekmekleri çoğunlukla büyük hamur kitleleri kullanılarak ve fırında uzun süre pişirilerek üretildiği için oldukça kalın bir kabuğa ve dolayısıyla daha yüksek bir içerikte HMF ve akrilamid gibi proses kontaminantlarına sahip olmaktadır. Bu nedenle ekmek kabuk kalınlığını azaltacak ve bu kabukta bulunabilecek proses kontaminantları içeriğini azaltabilecek uygulamalara ihtiyaç duyulmaktadır.

Yapılan literatür ve patent taramasında küçük hamur parçaları ile hazırlanan normal ekmekler için 100°C'deki buhar kullanılarak buharda pişirme çalışmalarının mevcut olduğu, ancak ekşi hamur ekmeklerinin proses kontaminantı içeriklerini azaltmak için 100°C'nin üzerindeki buharda pişirme yönteminin araştırılmadığı tespit edilmiş olup bununla ilgili çalışmalar yapılması gerektiği değerlendirilmiştir.

Bu çalışmanın gerçekleşmesinde bana destek olan ve yol gösteren danışman hocam Prof. Dr. Mustafa ERBAŞ'a, çalışmalarıma verdikleri önemli katkılar nedeniyle Doç. Dr. Sultan ARSLAN TONTUL ve Doç. Dr. İsmail TONTUL'a, araştırma projesine sağladığı katkılar nedeniyle Dr. Öğr. Üyesi Zafer ALPKENT'e, Tez İzleme Komitesinde araştırmanın gelişimi için verdikleri katkılar nedeniyle Prof. Dr. Muharrem CERTEL'e ve Prof. Dr. Sibel TUNÇ'a, çalışmalarım sırasında beni yalnız bırakmayan arkadaşlarım Ceren MUTLU ve Hazal ÖZHANLI'ya, anlayış ve yardımları için tüm Artvin Çoruh Üniversitesi Beslenme ve Diyetetik Bölümü akademik kadrosuna ve Öğr. Gör. Sümeyra AKALIN'a ve her koşulda beni destekleyerek bu zamana gelmemde en büyük katkıya sahip olan aileme ve eşime sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Akdeniz Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından "Normal Araştırma Projesi" kapsamında "FBA-2020-5213" proje koduyla desteklenmiş olan bu çalışmaya sağladıkları maddi destek nedeniyle Akdeniz Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi'ne ve ayrıca tarafıma 2211-A programı kapsamında verdikleri destekten dolayı TÜBİTAK Bilim İnsanı Destekleme Daire Başkanlığı'na teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET i

ABSTRACT iv

ÖNSÖZ vii

AKADEMİK BEYAN xiii

SİMGELER VE KISALTMALAR xiv

ŞEKİLLER DİZİNİ xvii

ÇİZELGELER DİZİNİ xx

1. GİRİŞ 1

2. KAYNAK TARAMASI 5

2.1. Tahıllar ve Ekmek 5

2.2. Ekmek Üretiminde Fermantasyon ve Ekşi Hamur 6

2.2.1. Ekşi hamur çeşitleri 6

2.2.2. Ekşi hamurun mikrobiyolojisi 7

2.3. Ekşi Hamur ve Ekşi Hamur Ekmeği İlişkisi 9

2.3.1. Ekşi hamur mikroorganizmalarının metabolik faaliyetleriyle ekşi hamur ekmeklerinde oluşan olumlu özellikler 10

2.3.2. Ekşi hamur ekmeklerinin olumsuz özellikleri 12

2.4. Maillard Reaksiyonu ve Ekşi Hamur Ekmeklerindeki Önemli Proses Kontaminantları 12

2.4.1. Maillard reaksiyonu 12

2.4.2. Maillard reaksiyonunu etkileyen faktörler 13

2.4.3. Ekşi hamur ekmekleri için önemli olan proses kontaminantları 13

2.4.3.1. Hidroksimetilfurfural 14

2.4.3.2. Akrilamid 15

2.5. Ekmek Pişirmede Kullanılan Bazı Pişirme Teknikleri ve Bu Pişirme Tekniklerinin Ekmeklerin Proses Kontaminantları Üzerine Etkisi 17

2.5.1. Geleneksel taş fırınlarda ekmek pişirme işlemi 18

2.5.2. Elektrikli konveksiyonel fırınlarda ekmek pişirme işlemi 18

2.5.3. Buharla ekmek pişirme işlemi 19

3. MATERYAL VE METOT 21

3.1. Materyal 21

3.2. Metot 21

3.2.1. Araştırma planı ve istatistiksel yöntemler 21

3.2.2. Buharla ekmek pişirme fırınının tasarımı 25

3.2.3. Buharla ekmek pişirme fırınının kullanılması 29

3.2.4. Ekşi hamurların temin edilmesi ve aktifleştirilmesi 30

3.2.5. Olgun temsili ekşi hamurun oluşturulması 31

3.2.6. Buharla ekmek pişirme fırınında pişirme işleminin optimizasyonu için yapılan ekmek üretimleri 31

3.2.7. Buharla ekmek pişirme fırınının optimum koşullarında ekmek üretimi 32

3.2.8. Kontrol ekmeklerinin üretimi 32

3.2.9. Araştırma kapsamında gerçekleştirilen analizler 33

3.2.9.1. Unda yapılan tanımlayıcı analizler 33

3.2.9.2. Fiziksel analizler 33

3.2.9.3. Kimyasal analizler 34

3.2.9.4. Enzimatik analizler 38

3.2.9.5. Mikrobiyolojik analizler 40

3.2.9.6. Duyusal analizler 41

4. BULGULAR VE TARTIŞMA 47

4.1. Araştırmada Kullanılan Una Ait Bazı Özelliklerin Belirlenmesi 47

4.2. Buharla Ekmek Pişirme Fırınında Ekmek Üretiminin Optimizasyonu İçin Oluşturulan Deneme Deseninde Değişken Faktörlerin Sınır Değerlerinin Belirlenmesi 50

4.3. Temin Edilen Ekşi Hamurların Aktifleştirilmesi ve Elde Edilen Veriler 54

4.4. Olgun Temsili Ekşi Hamurun Oluşturulması ve Elde Edilen Veriler 60

4.5. Buharla Ekmek Pişirme Fırınında Ekmek Pişirme İşleminin Optimizasyonu İçin Uygun Ekmek Gramajının Belirlenmesi 61

4.6. Buharla Ekmek Pişirme Fırınında Ekmek Üretiminin Optimizasyonu 64

4.6.1. Üretilen ekmeklerin genel özelliklerinin belirlenmesi 68

4.6.2. Üretilen ekmeklerin yanıt değişkenlerine göre istatistiksel olarak değerlendirilmesi 78

4.6.3. Ekmeklerin kabuk HMF içeriği için uygun modelin seçimi 79

4.6.3.1. Su içeriği bağımsız değişkeninin ekmeklerin kabuk HMF içerikleri üzerine etkisi 82

4.6.3.2. Pişirme sıcaklığı bağımsız değişkeninin ekmeklerin kabuk HMF içerikleri üzerine etkisi 84

4.6.3.3. Pişirme süresi bağımsız değişkeninin ekmeklerin kabuk HMF içerikleri üzerine etkisi 85

4.6.3.4. Pişirme sıcaklığı-pişirme süresi interaksiyonunun ekmeklerin kabuk HMF içerikleri üzerine etkisi 86

4.6.4. Ekmeklerin TPA-sertlik değeri için uygun modelin seçimi 88

4.6.4.1. Su içeriği bağımsız değişkeninin ekmeklerin TPA-sertlik değerleri üzerine etkisi 91

4.6.4.2. Pişirme sıcaklığı bağımsız değişkeninin ekmeklerin TPA-sertlik değerleri üzerine etkisi 93

4.6.4.3. Pişirme süresi bağımsız değişkeninin ekmeklerin TPA-sertlik değerleri üzerine etkisi 94

4.6.4.4. Pişirme sıcaklığı-pişirme süresi interaksiyonunun ekmeklerin TPA-sertlik değerleri üzerine etkisi 95

4.6.5. TPA-esneklik değeri için uygun modelin seçimi 97

4.6.5.1. Su içeriği bağımsız değişkeninin ekmeklerin TPA-esneklik değerleri üzerine etkisi 100

4.6.5.2. Pişirme sıcaklığı bağımsız değişkeninin ekmeklerin TPA-esneklik değerleri üzerine etkisi 101

4.6.5.3. Pişirme süresi bağımsız değişkeninin ekmeklerin TPA-esneklik değerleri üzerine etkisi 103

4.6.5.4. Su içeriği-pişirme sıcaklığı interaksiyonunun ekmeklerin TPA-esneklik değerleri üzerine etkisi 104

4.6.5.5. Pişirme sıcaklığı-pişirme süresi interaksiyonunun ekmeklerin TPA-esneklik değerleri üzerine etkisi 106

4.6.6. Kabuk rengi *L** değeri için uygun modelin seçimi 108

4.6.6.1. Su içeriği bağımsız değişkeninin ekmeklerin kabuk rengi *L** değerleri üzerine etkisi 111

4.6.6.2. Pişirme sıcaklığı bağımsız değişkeninin ekmeklerin kabuk rengi *L** değerleri üzerine etkisi 112

4.6.6.3. Pişirme süresi bağımsız değişkeninin ekmeklerin kabuk rengi *L** değerleri üzerine etkisi 114

4.6.6.4. Pişirme sıcaklığı-pişirme süresi interaksiyonunun ekmeklerin kabuk rengi *L** değerleri üzerine etkisi 115

4.6.7. Optimum ekmek üretim koşullarının belirlenmesi 117

4.7. Buharla Ekmek Pişirme Fırınında Optimum Koşullar Kullanılarak Üretilen Ekşi Hamur Ekmeklerinin Kontrol Ekmekleri ile Kıyaslanması 118

4.7.1. Farklı pişirme tekniklerinin ekşi hamur ekmeklerinin bazı fiziksel, kimyasal ve enzimatik özellikleri üzerine etkilerinin incelenmesi 118

4.7.1.1. Farklı pişirme tekniklerinin ekşi hamur ekmeklerinin ağırlık kaybı, spesifik hacim, kabuk/iç oranı ve kabuk kalınlığı değerleri üzerine etkisi 118

4.7.1.2. Farklı pişirme tekniklerinin ekşi hamur ekmeklerinin iç ve kabuk rengi değerleri üzerine etkisi 120

4.7.1.3. Farklı pişirme tekniklerinin ekşi hamur ekmeklerinin gözenek görüntüleri üzerine etkisi 123

4.7.1.4. Farklı pişirme tekniklerinin ekşi hamur ekmeklerinin TPA parametreleri üzerine etkisi 124

4.7.1.5. Farklı pişirme tekniklerinin ekşi hamur ekmeklerinin kurumadde ve su aktivitesi değerleri üzerine etkisi 127

4.7.1.6. Farklı pişirme tekniklerinin ekşi hamur ekmeklerinin pH ve TTA değerleri üzerine etkisi 130

4.7.1.7. Farklı pişirme tekniklerinin ekşi hamur ekmeklerinin HMF ve akrilamid içerikleri üzerine etkisi 133

4.7.1.8. Farklı pişirme tekniklerinin ekşi hamur ekmeklerinin organik asit içerikleri üzerine etkisi 135

4.7.1.9. Farklı pişirme tekniklerinin ekşi hamur ekmeklerinin serbest aminoasit içerikleri üzerine etkisi 138

4.7.1.10. Farklı pişirme tekniklerinin ekşi hamur ekmeklerinin aroma bileşenleri üzerine etkisi 147

4.7.1.11. Farklı pişirme tekniklerinin ekşi hamur ekmeklerinin tahmini glisemik indeks parametreleri üzerine etkisi 153

4.7.1.12. Farklı pişirme teknikleri kullanılarak üretilen ekmeklerin genel duyusal analizi 154

4.7.2. Farklı pişirme tekniklerinin ekşi hamur ekmeklerinin depolama boyunca takip edilen bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri üzerine etkilerinin incelenmesi 156

4.7.2.1. Farklı pişirme tekniklerinin ve farklı sıcaklıkta ve sürede depolama işleminin ekşi hamur ekmeklerinin DSC analiz parametreleri üzerine etkisi. 156

4.7.2.2. Farklı pişirme tekniklerinin ve farklı sıcaklıkta ve sürede depolama işleminin ekşi hamur ekmeklerinin TPA parametreleri üzerine etkisi 157

4.7.2.3. Farklı pişirme tekniklerinin ve farklı sıcaklıkta ve sürede depolama işleminin ekşi hamur ekmeklerinin kurumadde ve su aktivitesi değerleri üzerine etkisi 163

4.7.2.4. Farklı pişirme tekniklerinin ve farklı sıcaklıkta ve sürede depolama işleminin ekşi hamur ekmeklerinin pH ve toplam titrasyon asitliği değerleri üzerine etkisi 166

4.7.2.5. Farklı pişirme tekniklerinin ve farklı sıcaklıkta ve sürede depolama işleminin ekşi hamur ekmeklerinin kısa duyusal analiz parametreleri üzerine etkisi 170

4.8. BF Ortamında Pişirilen Ekşi Hamur Ekmeklerinin Tüketici Tarafından Duyusal Kabulünün İncelenmesi 175

5. SONUÇLAR 177

6. KAYNAKLAR 185

ÖZGEÇMİŞ

AKADEMİK BEYAN

Doktora Tezi olarak sunduğum "Ekşi Hamur Ekmeklerinin Proses Kontaminant İçeriklerini Azaltmak İçin Yeni Bir Pişirme Tekniğinin Araştırılması ve Farklı Pişirme Teknikleriyle Üretilmiş Olan Ekşi Hamur Ekmeklerinin Karşılaştırılması" adlı bu çalışmanın, akademik kurallar ve etik değerlere uygun olarak yazıldığını belirtir, bu tez çalışmasında bana ait olmayan tüm bilgilerin kaynağını gösterdiğimi beyan ederim.

30/06/2022

Cihadiye CANDAL USLU

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

BU : Brabender unit

dk : Dakika

g : Gram

kg : Kilogram

M : Molar

mg : Miligram

mL : Mililitre

mm : Milimetre

mM : Milimolar

nm : Nanometre

rpm : Dakikadaki dönüş sayısı

s : Saniye

T_m : Erime sıcaklığı

U : Enzim ünitesi

g : Yer çekimi ivmesi

µg : Mikrogram

µL : Mikrolitre

µm : Mikrometre

. : Ondalık ayıracı

Kısaltmalar

BF : Buharlı fırın

C : Konsantrasyon

C_∞ : Denge anındaki hidroliz olan toplam nişasta konsantrasyonu

CV : Varyasyon katsayısı

D : Seyreltme faktörü

DG : Depolama günü

DS : Depolama sıcaklığı

DSC : Diferansiyel taramalı kalorimetre

E : Eşdeğer asit miktarı

EAA : Eğri altında kalan alan

EKF : Elektrikli konveksiyonel fırın

F : Çözelti faktörü

FSİ : Farinograf su içeriği

GC : Gaz kromatografisi

GTF : Geleneksel taş fırın

HI : Hidroliz indeksi

HKT : Hata kareler toplamı

HMF : 5-hidroksimetil-2-furfural

HPLC : Yüksek performanslı sıvı kromatografisi

k : Kinetik sabit

KM : Kurumadde

KO : Kareler ortalaması

kob : Koloni oluşturan birim

LC : Sıvı kromatografisi

m : Örnek miktarı

MRS : de Man, Rogosa and Sharpe

MS : Kütle spektrometrisi

NIST : Ulusal Standartlar ve Teknoloji Enstitüsü

p : Önem değeri

PCA : Plate Count Agar

PDA : Potato Dextrose Agar

Pred-R^2 : Tahmini belirleme regresyon katsayısı

PRESS : Tahmin edilen hata karelerinin toplamı

PT : Pişirme tekniği

R^2 : Regresyon katsayısı

R^2_{dzl} : Düzeltilmiş regresyon katsayısı

RT : Alıkonma süresi

SD : Serbestlik derecesi

t_0 : Başlangıç süresi

t_f : Bitiş süresi

TE : Tespit edilemedi

tGI : Tahmini glisemik indeks

TMAB : Toplam mezofil aerobik bakteri

TPA : Tekstür profil analizi

TTA : Toplam titrasyon asitliği

V/v : Hacim

W : Örnek miktarı

ΔE : Örnek absorbansı

ΔS : Standart absorbansı

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Ekşi hamur mikroflorasının gelişimini, metabolik aktivitesini ve ekşi hamur ekmeğinin kalite özelliklerini etkileyen faktörler ve bu faktörlerin birbirleri ile etkileşimleri (Hammes ve Gänzle 1998) 10

Şekil 2.2. HMF bileşiğinin kimyasal yapısı 14

Şekil 2.3. Maillard reaksiyonu ile HMF oluşum mekanizması (Choudhary vd. 2021) .. 14

Şekil 2.4. Karamelizasyon reaksiyonu ile HMF oluşum mekanizması (Choudhary vd. 2021) 15

Şekil 2.5. Akrilamidin kimyasal yapısı 16

Şekil 2.6. Asparajin/karbonil kaynağı mekanizmasıyla akrilamid oluşumu ve farklı akrilamid oluşum mekanizmaları (Guenther vd. 2007) 17

Şekil 3.1. Araştırma planının şematik görünümü 22

Şekil 3.2. Patentlenmek üzere 2018-04023 başvuru numarası ile Türk Patent ve Marka Kurumu'na başvurusu yapılan fırın tasarımına ait görsel 26

Şekil 3.3. Araştırma kapsamında üretilen buharla ekmek pişirme fırınının ön (a) ve arka (b) görünüşüne ait fotoğraflar 28

Şekil 3.4. Araştırma kapsamında üretilen buharla ekmek pişirme fırınının iç görünüşüne ait fotoğraflar 29

Şekil 3.5. Buharla ekmek pişirme fırınında ekmek pişirme koşullarının optimizasyonu için kullanılan kısa duyusal analiz formu 42

Şekil 3.6. Buharla ekmek pişirme fırınında optimum koşullarda üretilen ekşi hamur ekmeğinin kontrol ekşi hamur ekmekleri ile kıyaslanması aşamasında ekmek bayatlamasının takibi için kullanılan kısa duyusal analiz formu 43

Şekil 3.7. Buharla ekmek pişirme fırınında optimum koşullarda pişirilmiş ekşi hamur ekmeğinin kontrol ekşi hamur ekmekleri ile kıyaslanması aşamasında kullanılan genel duyusal analiz formu 44

Şekil 3.8. Uzun ömürlü ekmek ambalajı kullanılarak paketlendikten sonra 25°C'de ve 4°C'de depolanan ekşi hamur ekmeklerine ait fotoğraflar 45

Şekil 3.9. Buharla ekmek pişirme fırınında optimum koşullarda üretilen ekmeklerin toplum tarafından kabul edilebilirliğinin araştırılmasında kullanılan duyusal test formu 46

Şekil 4.1. Araştırmada kullanılan una ait farinogram 48

Şekil 4.2. Araştırmada kullanılan una ait ekstensogram 49

Şekil 4.3. Ekmek pişirme ön denemesi 3'e ait görseller 53

Şekil 4.4. Ekmek pişirme ön denemelerinde sırasıyla 4, 5, 6 ve 7 numaralı denemelerden (a), (b), (c) ve (d) elde edilen ekmeklere ait fotoğraflar 53

Şekil 4.5. Farklı ağırlıklarda kesilen hamurların 100°C buhar sıcaklığında pişirilmesiyle üretilen ekmeklere ait dış görünümü gösteren fotoğraflar 62

Şekil 4.6. Farklı ağırlıklarda kesilen hamurların 100°C buhar sıcaklığında pişirilmesiyle üretilen ekmeklere ait iç görünümü gösteren fotoğraflar 63

Şekil 4.7. Farklı ağırlıklarda kesilen hamurların 200°C buhar sıcaklığında pişirilmesiyle üretilen ekmeklere ait dış görünümü gösteren fotoğraflar 64

Şekil 4.8. Farklı ağırlıklarda kesilen hamurların 200°C buhar sıcaklığında pişirilmesiyle üretilen ekmeklere ait iç görünümü gösteren fotoğraflar 64

Şekil 4.9. Buharla ekmek pişirme fırınında ekmek üretiminin optimizasyonu için deneme desenine göre 17 farklı koşulda üretilen ekşi hamur ekmeklerinin dış görünümlerini gösteren fotoğraflar 66

Şekil 4.10. Buharla ekmek pişirme fırınında ekmek üretiminin optimizasyonu için deneme desenine göre 17 farklı koşulda üretilen ekşi hamur ekmeklerinin iç görünümlerini gösteren fotoğraflar 67

Şekil 4.11. Ekmeklerin kabuk HMF içerikleri için deneysel ve tahmini hesap edilen verilerin uyum grafiği 82

Şekil 4.12. Ekmeklerin kabuk HMF içerikleri üzerine su içeriğinin etkisi 83

Şekil 4.13. Ekmeklerin kabuk HMF içerikleri üzerine pişirme sıcaklığının ve pişirme sıcaklığı karesinin etkisi 84

Şekil 4.14. Ekmeklerin kabuk HMF içerikleri üzerine pişirme süresinin etkisi 85

Şekil 4.15. Ekmeklerin kabuk HMF içerikleri üzerine pişirme sıcaklığı-pişirme süresi interaksiyonunun etkisi 87

Şekil 4.16. Ekmeklerin TPA-sertlik değerleri için deneysel ve tahmini hesap edilen verilerin uyum grafiği 91

Şekil 4.17. Ekmeklerin TPA-sertlik değerleri üzerine hamur su içeriği karesinin etkisi 92

Şekil 4.18. Ekmeklerin TPA-sertlik değerleri üzerine pişirme sıcaklığının etkisi 93

Şekil 4.19. Ekmeklerin TPA-sertlik değerleri üzerine pişirme süresinin etkisi 94

Şekil 4.20. Ekmeklerin TPA-sertlik değerleri üzerine pişirme sıcaklığı-pişirme süresi interaksiyonunun etkisi 96

Şekil 4.21. Ekmeklerin TPA-esneklik değerleri için deneysel ve tahmini hesap edilen verilerin uyum grafiği 100

Şekil 4.22. Ekmeklerin TPA-esneklik değerleri üzerine su içeriğinin etkisi 101

Şekil 4.23. Ekmeklerin TPA-esneklik değerleri üzerine pişirme sıcaklığının ve karesinin etkisi 102

Şekil 4.24. Ekmeklerin TPA-esneklik değerleri üzerine pişirme süresinin ve karesinin etkisi 103

Şekil 4.25. Ekmeklerin TPA-esneklik değerleri üzerine su içeriği-pişirme sıcaklığı interaksiyonunun etkisi 105

Şekil 4.26. Ekmeklerin TPA-esneklik değerleri üzerine pişirme sıcaklığı-pişirme süresi interaksiyonunun etkisi 107

Şekil 4.27. Ekmeklerin kabuk rengi *L** değerleri için deneysel ve tahmini hesap edilen verilerin uyum grafiği 111

Şekil 4.28. Ekmeklerin kabuk rengi *L** değerleri üzerine su içeriğinin etkisi 112

Şekil 4.29. Ekmeklerin kabuk rengi *L** değerleri üzerine pişirme sıcaklığı karesinin etkisi 113

Şekil 4.30. Ekmeklerin kabuk rengi *L** değerleri üzerine pişirme süresinin etkisi 114

Şekil 4.31. Ekmeklerin kabuk rengi *L** değerleri üzerine pişirme sıcaklığı-pişirme süresi interaksiyonunun etkisi 116

Şekil 4.32. Farklı pişirme teknikleri kullanılarak üretilen ekşi hamur ekmeklerinin iç kesitine ait fotoğraflar 123

Şekil 4.33. Farklı pişirme teknikleri kullanılarak üretilen ekşi hamur ekmeklerinin içine kıyasla kabuktaki aminoasit azalma oranları 146

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Ekşi hamurda en çok izole edilen *Lactobacillus* türleri (Sakandar vd. 2019) 8

Çizelge 3.1. Buharla ekmek pişirme fırınında üretilecek ekmeğin üretim koşullarının optimizasyonunda kullanılan deneme deseni 24

Çizelge 3.2. Akrilamid analizinde kullanılan gradient akış programı 36

Çizelge 3.3. Serbest aminoasit analizinde kullanılan gradient akış programı 37

Çizelge 4.1. Araştırmada kullanılan unun bazı tanımlayıcı özelliklerine ait veriler (± standart hata) 47

Çizelge 4.2. Araştırmada kullanılan unun farinograf analizine ait veriler (± standart hata) 47

Çizelge 4.3. Araştırmada kullanılan unda yapılan ekstensograf analizine ait veriler (± standart hata) 48

Çizelge 4.4. Araştırmada kullanılan unun bazı fiziksel ve kimyasal analizlerine ait veriler (± standart hata) 49

Çizelge 4.5. Düşük su içeriğine sahip hamur oluşturma ön denemelerine ait veriler 51

Çizelge 4.6. Buharla ekmek pişirme fırınında yapılan ekmek pişirme ön denemelerine ait veriler 52

Çizelge 4.7. Buhar kızdırma ünitesinin sıcaklığına göre fırın içerisine giren buhar sıcaklığının değişimi 54

Çizelge 4.8. Temin edilen ekşi hamurların aktifleştirilmesi aşamasındaki kurumadde takibine ait veriler (± standart hata) 55

Çizelge 4.9. Temin edilen ekşi hamurların aktifleştirilmesi aşamasındaki pH ve TTA takibine ait veriler (± standart hata) 56

Çizelge 4.10. Temin edilen ekşi hamurların 0. saat ve 216. saat mikroorganizma sayılarına göre TMAB, toplam laktobasil, toplam laktokok ve toplam maya sayılarındaki logaritmik değişime ait veriler (± standart hata) 58

Çizelge 4.11. Temsili ekşi hamurun kurumadde, pH ve TTA takibine ait veriler (± standart hata) 60

Çizelge 4.12. Temsili ekşi hamurun TMAB, toplam laktobasil, toplam laktokok ve toplam maya sayısı takibine ait veriler (± standart hata) 60

Çizelge 4.13. Farklı ağırlıklarda kesilen hamurların 100°C buhar sıcaklığında pişirilmesiyle elde edilen ekmeklere ait bazı fiziksel ve kimyasal analiz verileri 62

Çizelge 4.14. Farklı ağırlıklarda kesilen hamurların 100°C buhar sıcaklığında pişirilmesiyle elde edilen ekmeklere ait TPA verileri 62

Çizelge 4.15. Farklı ağırlıklarda kesilen hamurların 200°C buhar sıcaklığında pişirilmesiyle elde edilen ekmeklere ait bazı fiziksel ve kimyasal analiz verileri 63

Çizelge 4.16. Farklı ağırlıklarda kesilen hamurların 200°C buhar sıcaklığında pişirilmesiyle elde edilen ekmeklere ait TPA verileri 63

Çizelge 4.17. Oluşturulmuş olan 17 üretimlik deneme desenine bağlı olarak üretilen ekmeklerin ağırlık kaybı, spesifik hacim, kabuk/iç oranı ve kabuk kalınlığı değerlerine ait veriler (± standart hata) 69

Çizelge 4.18. Oluşturulmuş olan 17 üretimlik deneme desenine bağlı olarak üretilen ekmeklerin iç ve kabuk renk değerlerine ait veriler (± standart hata) 71

Çizelge 4.19. Oluşturulmuş olan 17 üretimlik deneme desenine bağlı olarak üretilen ekmeklerin TPA parametrelerine ait veriler (± standart hata) 73

Çizelge 4.20. Oluşturulmuş olan 17 üretimlik deneme desenine bağlı olarak üretilen ekmeklerin su aktivitesi, kabuk HMF içeriği ve iç, kabuk ve bütününün kurumadde değerlerine ait veriler (± standart hata) 75

Çizelge 4.21. Oluşturulmuş olan 17 üretimlik deneme desenine bağlı olarak üretilen ekmeklerin kısa duyusal analiz değerlerine ait veriler (± standart hata) 77

Çizelge 4.22. Oluşturulmuş olan 17 üretimlik deneme desenine bağlı olarak üretilen ekmeklerin kabuk HMF içeriği, TPA-sertlik, TPA-esneklik ve kabuk rengi *L** değerlerine ait veriler 78

Çizelge 4.23. Önemli bulunan bağımsız değişkenlerin ekmeklerin kabuk HMF içerikleri üzerine etkisini gösteren varyans analizi verileri 79

Çizelge 4.24. Kuadratik modelin çoklu regresyon istatistik değerleri 80

Çizelge 4.25. Ekmeklerin kabuk HMF içeriklerine ait deneysel ve tahmini hesap edilen veriler 81

Çizelge 4.26. Önemli bulunan bağımsız değişkenlerin ekmeklerin TPA-sertlik değerleri üzerine etkisini gösteren varyans analizi verileri 88

Çizelge 4.27. Kuadratik modelin çoklu regresyon istatistik değerleri 88

Çizelge 4.28. Ekmeklerin TPA-sertlik değerlerine ait deneysel ve tahmini hesap edilen veriler 90

Çizelge 4.29. Önemli bulunan bağımsız değişkenlerin ekmeklerin TPA-esneklik değerleri üzerine etkisini gösteren varyans analizi verileri 97

Çizelge 4.30. Kuadratik modelin çoklu regresyon istatistik değerleri 98

Çizelge 4.31. Ekmeklerin TPA-esneklik değerlerine ait deneysel ve tahmini hesap edilen veriler.....99

Çizelge 4.32. Önemli bulunan bağımsız değişkenlerin ekmeklerin kabuk rengi *L** değerleri üzerine etkisini gösteren varyans analizi verileri.....108

Çizelge 4.33. Kuadratik modelin çoklu regresyon istatistik değerleri.....108

Çizelge 4.34. Ekmeklerin kabuk rengi *L** değerlerine ait deneysel ve tahmini hesap edilen veriler.....110

Çizelge 4.35. Optimum ekmek üretim koşulları ve bu koşullarda ulaşılması beklenen kabuk HMF içeriği, TPA-sertlik, TPA-esneklik ve kabuk rengi *L** değerleri.....117

Çizelge 4.36. Optimum şartlarda buharla ekmek pişirme fırınında üretilen ekşi hamur ekmekleri için hesap edilen ve deneysel olarak elde edilen yanıt değerlerine ait veriler 118

Çizelge 4.37. Farklı pişirme teknikleri kullanılarak üretilen ekşi hamur ekmeklerinin ağırlık kaybı, spesifik hacim, kabuk/iç oranı ve kabuk kalınlığı değerlerindeki değişime ait I. ve II. tekerrür verileri 118

Çizelge 4.38. Farklı pişirme teknikleri kullanılarak üretilen ekşi hamur ekmeklerinin ağırlık kaybı, spesifik hacim, kabuk/iç oranı ve kabuk kalınlığı değerlerindeki değişime ait varyans analizi sonuçları 119

Çizelge 4.39. Farklı pişirme teknikleri kullanılarak üretilen ekşi hamur ekmeklerinin ağırlık kaybı, spesifik hacim, kabuk/iç oranı ve kabuk kalınlığı değerlerindeki değişime ait Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları (± standart hata).....119

Çizelge 4.40. Farklı pişirme teknikleri kullanılarak üretilen ekşi hamur ekmeklerinin iç ve kabuk rengi değerlerindeki değişime ait I. ve II. tekerrür verileri.....120

Çizelge 4.41. Farklı pişirme teknikleri kullanılarak üretilen ekşi hamur ekmeklerinin iç ve kabuk rengi değerlerindeki değişime ait varyans analizi sonuçları.....122

Çizelge 4.42. Farklı pişirme teknikleri kullanılarak üretilen ekşi hamur ekmeklerinin iç ve kabuk rengi değerlerindeki değişime ait Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları (± standart hata).....122

Çizelge 4.43. Farklı pişirme teknikleri kullanılarak üretilen ekşi hamur ekmeklerinin TPA parametrelerinin değerlerindeki değişime ait I. ve II. tekerrür verileri 124

Çizelge 4.44. Farklı pişirme teknikleri kullanılarak üretilen ekşi hamur ekmeklerinin TPA parametrelerinin değerlerindeki değişime ait varyans analizi sonuçları 126

Çizelge 4.45. Farklı pişirme teknikleri kullanılarak üretilen ekşi hamur ekmeklerinin TPA parametrelerinin değerlerindeki değişime ait Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları (± standart hata).....126

Çizelge 4.46. Farklı pişirme teknikleri kullanılarak üretilen ekşi hamur ekmeklerinin iç kabuk ve bütününün kurumadde ve su aktivitesi değerlerindeki değişime ait I. ve II. tekerrür verileri.....127

Çizelge 4.47. Farklı pişirme teknikleri kullanılarak üretilen ekşi hamur ekmeklerinin iç, kabuk ve bütününün kurumadde ve su aktivitesi değerlerindeki değişime ait varyans analizi sonuçları 129

Çizelge 4.48. Farklı pişirme teknikleri kullanılarak üretilen ekşi hamur ekmeklerinin iç, kabuk ve bütününün kurumadde ve su aktivitesi değerlerindeki değişime ait Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları (± standart hata).....129

Çizelge 4.49. Farklı pişirme teknikleri kullanılarak üretilen ekşi hamur ekmeklerinin iç, kabuk ve bütününün pH ve TTA değerlerindeki değişime ait I. ve II. tekerrür verileri 131

Çizelge 4.50. Farklı pişirme teknikleri kullanılarak üretilen ekşi hamur ekmeklerinin iç, kabuk ve bütününün pH ve TTA değerlerindeki değişime ait varyans analizi sonuçları.....131

Çizelge 4.51. Farklı pişirme teknikleri kullanılarak üretilen ekşi hamur ekmeklerinin iç, kabuk ve bütününün pH ve TTA değerlerindeki değişime ait Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları (± standart hata).....132

Çizelge 4.52. Farklı pişirme teknikleri kullanılarak üretilen ekşi hamur ekmeklerinin iç ve kabuğunun HMF ve akrilamid içeriklerindeki değişime ait I. ve II. tekerrür verileri 134

Çizelge 4.53. Farklı pişirme teknikleri kullanılarak üretilen ekşi hamur ekmeklerinin iç ve kabuğunun HMF ve akrilamid içeriklerindeki değişime ait varyans analizi sonuçları.....135

Çizelge 4.54. Farklı pişirme teknikleri kullanılarak üretilen ekşi hamur ekmeklerinin iç ve kabuğunun HMF ve akrilamid içeriklerindeki değişime ait Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları (± standart hata).....135

Çizelge 4.55. Farklı pişirme teknikleri kullanılarak üretilen ekşi hamur ekmeklerinin iç ve kabuğunun organik asit içeriklerindeki değişime ait I. ve II. tekerrür verileri.....136

Çizelge 4.56. Farklı pişirme teknikleri kullanılarak üretilen ekşi hamur ekmeklerinin iç ve kabuğunun organik asit içeriklerindeki değişime ait varyans analizi sonuçları ...137

Çizelge 4.57. Farklı pişirme teknikleri kullanılarak üretilen ekşi hamur ekmeklerinin iç ve kabuğunun organik asit içeriklerindeki değişime ait Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları (± standart hata) 137

Çizelge 4.58. Farklı pişirme teknikleri kullanılarak üretilen ekşi hamur ekmeklerinin iç ve kabuğunun serbest aminoasit içeriklerindeki değişime ait I. ve II. tekerrür verileri 140

Çizelge 4.59. Farklı pişirme teknikleri kullanılarak üretilen ekşi hamur ekmeklerinin iç ve kabuğunun toplam serbest aminoasit içeriklerindeki değişime ait varyans analizi sonuçları 142

Çizelge 4.60. Farklı pişirme teknikleri kullanılarak üretilen ekşi hamur ekmeklerinin iç ve kabuğunun toplam serbest aminoasit içeriklerindeki değişime ait Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları (± standart hata)..... 144

Çizelge 4.61. Farklı pişirme teknikleri kullanılarak üretilen ekşi hamur ekmeklerinde tespit edilen aroma bileşenleri..... 148

Çizelge 4.62. Farklı pişirme teknikleri kullanılarak üretilen ekşi hamur ekmeklerinin C_∞, k, HI ve tGI değerlerindeki değişime ait I. ve II. tekerrür verileri 153

Çizelge 4.63. Farklı pişirme teknikleri kullanılarak üretilen ekşi hamur ekmeklerinin C_∞, k, HI ve tGI değerlerindeki değişime ait varyans analizi sonuçları..... 153

Çizelge 4.64. Farklı pişirme teknikleri kullanılarak üretilen ekşi hamur ekmeklerinin C_∞, k, HI ve tGI değerlerindeki değişime ait Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları (± standart hata)..... 153

Çizelge 4.65. EKF ve GTF pişirme teknikleri kullanılarak üretilen kontrol ekmeklerine kıyasla BF pişirme tekniği ile üretilen ekmeklerin genel duyusal analiz parametrelerine ait I. ve II. tekerrür verileri ve genel değerlendirme sonuçları..... 155

Çizelge 4.66. Farklı pişirme teknikleri kullanılarak üretilen ve farklı sıcaklıkta ve sürede depolanan ekşi hamur ekmeklerinin DSC analiz parametrelerinin ortalamalarına ait veriler 156

Çizelge 4.67. Farklı pişirme teknikleri kullanılarak üretilen ve farklı sıcaklıkta ve sürede depolanan ekşi hamur ekmeklerinin TPA parametrelerinin değerlerindeki değişime ait I. ve II. tekerrür verileri 159

Çizelge 4.68. Farklı pişirme teknikleri kullanılarak üretilen ve farklı sıcaklıkta ve sürede depolanan ekşi hamur ekmeklerinin TPA parametrelerinin değerlerindeki değişime ait varyans analizi sonuçları 161

Çizelge 4.69. Farklı pişirme teknikleri kullanılarak üretilen ve farklı sıcaklıkta ve sürede depolanan ekşi hamur ekmeklerinin TPA parametrelerinin değerlerindeki değişime ait Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları (± standart hata)..... 162

Çizelge 4.70. Farklı pişirme teknikleri kullanılarak üretilen ve farklı sıcaklıkta ve sürede depolanan ekşi hamur ekmeklerinin kurumadde ve su aktivitesi değerlerindeki değişime ait I. ve II. tekerrür verileri 163

Çizelge 4.71. Farklı pişirme teknikleri kullanılarak üretilen ve farklı sıcaklıkta ve sürede depolanan ekşi hamur ekmeklerinin kurumadde ve su aktivitesi değerlerindeki değişime ait varyans analizi sonuçları 165

Çizelge 4.72. Farklı pişirme teknikleri kullanılarak üretilen ve farklı sıcaklıkta ve sürede depolanan ekşi hamur ekmeklerinin kurumadde ve su aktivitesi değerlerindeki değişime ait Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları (± standart hata) 165

Çizelge 4.73. Farklı pişirme teknikleri kullanılarak üretilen ve farklı sıcaklıkta ve sürede depolanan ekşi hamur ekmeklerinin pH ve TTA değerlerindeki değişime ait I. ve II. tekerrür verileri 167

Çizelge 4.74. Farklı pişirme teknikleri kullanılarak üretilen ve farklı sıcaklıkta ve sürede depolanan ekşi hamur ekmeklerinin pH ve TTA değerlerindeki değişime ait varyans analizi sonuçları 169

Çizelge 4.75. Farklı pişirme teknikleri kullanılarak üretilen ve farklı sıcaklıkta ve sürede depolanan ekşi hamur ekmeklerinin pH ve TTA değerlerindeki değişime ait Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları (± standart hata) 169

Çizelge 4.76. Farklı pişirme teknikleri kullanılarak üretilen ve farklı sıcaklıkta ve sürede depolanan ekşi hamur ekmeklerinin kısa duyusal analiz parametrelerinin değerlerindeki değişime ait I. ve II. tekerrür verileri 170

Çizelge 4.77. Farklı pişirme teknikleri kullanılarak üretilen ve farklı sıcaklıkta ve sürede depolanan ekşi hamur ekmeklerinin kısa duyusal analiz parametrelerinin değerlerindeki değişime ait varyans analizi sonuçları 172

Çizelge 4.78. Farklı pişirme teknikleri kullanılarak üretilen ve farklı sıcaklıkta ve sürede depolanan ekşi hamur ekmeklerinin kısa duyusal analiz parametrelerinin değerlerindeki değişime ait Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları (± standart hata) 173

Çizelge 4.79. BF ortamında optimum koşullarda üretilen ekşi hamur ekmeğinin toplum tarafından kabul edilebilirliğinin belirlenmesi amacıyla yapılan survey çalışmasından elde edilen veriler 175

1. GİRİŞ

Ekmek; un, su, tuz ve mayanın belli ölçülerde karıştırılarak yoğrulmasıyla oluşturulan hamurun, mayalanma süresinin ardından pişirilmesi ile ortaya çıkan bir üründür. Nötr özellikteki tadı, besleyici özellikleri, doyurucu olması, diğer gıdalara göre daha ucuz ve kolay ulaşılabilir olması gibi nedenlerle insan beslenmesinin temel gıda maddesi olan ekmek; toplumlar tarafından yüksek miktarlarda ve sürekli olarak tüketilmektedir (Bircan vd. 2017; Borczak vd. 2018; Dağlıoğlu 1998; Elgün ve Ertugay 2011; Rinaldi vd. 2015).

Temel gıda maddesi olması ve yaygın ve yüksek miktarlarda tüketimi nedeniyle ülkemizde yıllık kişi başına tüketilen metabolik enerjinin %50'den fazlasının kaynağını oluşturan ekmekte; pişirme sırasında çocuk ve yaşlıların tüketemeyeceği kadar kalın ve sert bir kabuk oluşmakta ve bu kabukta meydana gelen Maillard reaksiyonu ve karamelizasyon gibi enzimatik olmayan esmerleşme reaksiyonları nedeniyle toksik özellikteki proses kontaminantı içeriği yüksek ekmekler üretilmektedir. Ekmeğin kalın kabuklu olması ve bu kabukta oluşan toksik maddelerden kaynaklanan problemlerin çözümüne veya azaltılmasına yönelik alternatif pişirme yöntemlerinin Ar-Ge çalışmalarının yapılması, toplum beslenmesi ve sağlığı bakımından önem arz etmektedir.

Maillard reaksiyonu, protein türevi bileşiklerin amino grubu ile indirgen şekerlerin karbonil grubu arasında gerçekleşen bir dizi reaksiyondan oluşmaktadır. Bu reaksiyon; ekmek üretim sürecinin pişirme aşamasında, özellikle fermantasyon sırasında nişasta ve proteinlerden hidroliz edilen glikoz ve serbest aminoasitler arasında gerçekleşmektedir. Karamelizasyon ise pişirme sırasında su kaybederek kuruyan kabukta oluşmaktadır. Bu reaksiyonlar sırasında ve sonucunda meydana gelen toksik bileşiklerin gösterge bileşiği 5-hidroksimetil-2-furfural (HMF) olarak kabul edilmekte ve bu bileşiğin bir gıdada yüksek oranlarda bulunması akrilamid gibi diğer kanserojen bileşiklerin de bu gıdada yüksek oranda olduğunun bir kanıtı sayılmaktadır (Capuano ve Fogliano 2011; Saldamlı 2007; Van Boekel 2006).

Maillard reaksiyonu sonucunda akrilamid ve HMF gibi proses kontaminantlarının oluşmasının ana nedeni; pişirme sırasında hamurun maruz kaldığı yüksek kuru sıcaklık ve pişirme süresine bağlı olarak hamur yüzeyinin kuruması (Jaeger vd. 2010) ve ortamdaki oksijen varlığıdır (Gülcan vd. 2020). Dolayısıyla ekmek pişirilmesinde; yüksek kuru sıcaklık, pişirme süresi, hamur yüzeyinin kuruması ve oksijen varlığı faktörlerinin ortadan kaldırılması ile çok daha az proses kontaminantı içeren, daha sağlıklı ekmeklerin üretilebileceği düşünülmektedir.

Ekmeğin inert gaz ortamlarında pişirilmesi (Gülcan vd. 2020) ya da buhar ortamında pişirilmesi (Wang vd. 2017; Xi vd. 2020; Xu vd. 2022) gibi farklı pişirme yöntemlerinin uygulanmasıyla bahsi geçen proses kontaminantlarını azaltmak mümkün olabilmektedir. Bu kontaminantları azaltmak ve daha sağlıklı ürünler üretmek amacıyla buharda pişirme işlemi kullanılarak üretilen ekmekler; Japonya, Kore ve diğer Güneydoğu Asya Ülkelerinde geleneksel bir gıda maddesi olarak tüketilmektedir (Li vd. 2022; Lin vd. 1990; Pomeranz vd. 1991; Xu vd. 2020). Çin'in bazı bölgelerinde soğuk mevsimlerde kısa süreli depolanabilen bu ekmekler, servis edilmeden önce tekrar kısa süreli bir buharlama işleminden geçirilerek tazelenmektedir (Huang ve Miskelly 1991). Yakın bir geçmişe kadar yalnızca evlerde üretilip tüketilen buharda pişirilmiş ekmek,

günümüzde bu Asya ülkelerinde küçük ölçekli ticari fırınlarda üretilerek pazarlanmaktadır.

Buharda pişirilmiş ekmek; dünya genelinde üretilen ekmeklere kıyasla önemli farklılıklar içermektedir. Geleneksel yöntemle buharda pişirilen ekmekler, temel olarak derin bir kazanda kaynamakta olan su üzerindeki pişirme kabininde ızgara üzerine yerleştirilen hamurların yaklaşık 100°C sıcaklıktaki buhar ile muamele edilerek pişirilmesi ile elde edilmektedir. Bu ekmekler, beyaz renkte, parlak ve yapışkan olmayan çok ince bir kabuğa sahip pürüzsüz bir yapıda olmakta ve ekmeklerin hacmi yapıldığı bölgeye bağlı olarak hamur hacminin 2-3 katına çıkabilmektedir (Lin vd. 1990; Rubenthaler vd. 1990). Buharla pişirilen bu ekmekler, klasik yöntemle üretilen ekmeklerden daha düşük sıcaklıklara maruz kalmakta ve bu durum klasik ekmekte kabuğun kahverengimsi renginin oluşmasına sebep olan enzimatik olmayan esmerleşme reaksiyonlarının gerçekleşmesine engel olmaktadır (Ahrne vd. 2007; Claus vd. 2008). Bu reaksiyonların gerçekleşmesinin önlenmesi ile özellikle buğdayda eksikliği bilinen esansiyel amino asitlerden biri olan lisinin ve diğer aminoasitlerin kaybı azalmakta ve ekmeğin besleyici değeri olabildiğince korunmuş olmaktadır. Besin kaybı yanında bu reaksiyonlar sonucu oluşan toksik bileşenler de toplum için önemli bir sağlık riski oluşturmaktadır (Capuano ve Fogliano 2011).

Yalnızca Uzakdoğu ülkelerinde bulunan buharda pişmiş ekmek üretiminin büyük çapta ticarileşmemiş olma nedenlerinin; ekmeğin düşük sıcaklıkta pişirilmesi nedeniyle iç yapıda nişasta jelatinizasyonunun tam anlamıyla gerçekleşmemesi, buna bağlı olarak bayatlama süreci ile meydana gelen kalite düşüklüğü (Zhu 2016) ve sahip olduğu yüksek su ve besin içeriğinin raf ömrünü kısıtlaması (Zhao vd. 2022) olduğu değerlendirilmektedir.

Gıda endüstrisinde temel olarak iki tip buharla ekmek pişirme fırını kullanılmaktadır. Bunlardan birincisi atmosferik basınçta (1 atm) çalışmakta olup 100°C'deki buhar sıcaklığını kullanmaktadır. Bu pişiricilerle ekmek pişirildiğinde ise pişirme sırasında hamur içi sıcaklığı nişasta jelatinizasyonu için yetersiz kalmakta ve bu ekmekler hemen tüketilmedikleri takdirde çok hızlı bir şekilde sertleşerek tüketilemez bir hal almaktadırlar. İkinci tip buharla ekmek pişirme fırını ise yüksek basınç altında (>1 atm) çalıştığı için 100°C'den daha yüksek sıcaklıkta buhar kullanabilmekle birlikte ekmek hacmi gelişimini engellemektedir. Çünkü bu tip pişiricilerdeki yüksek basınç ürünün hacimce gelişmesini önleyici bir etki göstermektedir.

Ancak, yukarıdaki nedenlerle buharda ekmek pişirmenin atmosferik basınçta ve yüksek sıcaklıkta gerçekleşmesi önemlidir ve bu araştırmadaki yönteme benzer olarak; buharda pişirme yöntemi ile atmosferik basınçta 100°C'den çok daha yüksek bir sıcaklıkta pişirme yaparak hem daha yüksek oranda nişasta jelatinizasyonunu hem de ekmek hacminin gelişmesini hedefleyen bir fırın, fırıncılık sektöründe mevcut değildir.

Buharla ekmek pişirme fırını içerisinde gerçekleşen pişirme sırasında; fırın içerisindeki yüksek rutubet nedeniyle ekmek yüzeyindeki kuruma en aza indirildiği ve pişirme için gerekli ısı hamura doğrudan yüksek sıcaklıktaki su buharı tarafından transfer edildiğinden ekmek kabuksuz olarak pişirilebilmektedir.

Pişirme sırasında buharla ekmek pişirme fırını içerisindeki oksijen, buhar tarafından süpürülerek dışarı atıldığından ve pişirme ortamı buhar tarafından doldurulduğundan, çoğunlukla karamelizasyon ve Maillard reaksiyonu gibi enzimatik olmayan esmerleşme reaksiyonlarıyla oluşan HMF gibi toksik ve akrilamid gibi kanserojen proses kontaminantlarının oluşumunu teşvik eden şartlar da ortadan kaldırılmaktadır. Eğer bu şartlara uygun olarak bir ekmek üretilebilirse toplumun daha sağlıklı ve yeni bir ekmek seçeneğine sahip olabileceği düşünülmektedir.

Literatürde genel olarak ekmeklerde yoğun bir şekilde kabukta bulunan HMF ve akrilamid gibi proses kontaminantı içeriklerini azaltmaya yönelik birçok çalışma bulunmakla birlikte (Abedi vd. 2022; Erbas vd. 2012; Gülcan vd. 2020; Liu vd. 2018a; Mohan Kumar vd. 2014; Pedreschi vd. 2018), ekşi hamur ekmeklerinde bu kontaminant içeriklerini azaltmaya yönelik sınırlı sayıda araştırma bulunmaktadır (Bartkiene vd. 2017a; Bartkiene vd. 2017b; Nachi vd. 2018). Bu sınırlı sayıdaki araştırmalar ise ekşi hamur kültürü olarak kullanılan laktik asit bakterileri ve mayalar gibi mikroorganizmalar üzerine yapılan ve ekmek kabuğuna belirgin bir etkisi olmayan çalışmalardan oluşmaktadır. Halbuki ekşi hamur ekmekleri çoğunlukla büyük hamur kitleleri kullanılarak ve fırında uzun süre pişirilerek üretildiği için oldukça kalın bir kabuğa ve dolayısıyla daha yüksek bir içerikte proses kontaminantına sahiptir. Bu nedenle ekmek kabuk kalınlığını azaltacak ve bu kabukta bulunabilecek proses kontaminantları içeriğini azaltabilecek uygulamalara ihtiyaç bulunmaktadır. Yapılan literatür taramasında küçük hamur parçaları ile hazırlanan normal ekmekler ve ekşi hamur ekmekleri için 100°C'deki buhar kullanılarak buharda pişirme çalışmalarının mevcut olduğu (Kim vd. 2009; Liu vd. 2018b; Wu vd. 2012; Yan vd. 2019), ancak ekşi hamur ekmeklerinin proses kontaminantı içeriklerini azaltmak için 100°C'nin üzerindeki buharda pişirme yönteminin araştırılmadığı tespit edilmiştir.

Ekşi hamur ekmeğinin buharda pişirme yöntemi kullanılarak üretilmesi ile; birçok yararlı bileşeni bünyesinde barındıran bu ekmeğin daha az besin kaybıyla, daha az proses kontaminantı içerir şekilde ve daha sağlıklı olarak üretilmesi söz konusudur. Ayrıca ekşi hamur fermentasyonu sonucunda oluşan organik asitler, ekzopolisakkaritler ve enzimler gibi ekmeğin doku ve raf ömrünü geliştirici özelliği bulunan metabolitlerin de ekmeğin raf ömrünü uzatarak bayatlamasını geciktirmelerinden dolayı (Bakırcı ve Köse 2017; Su vd. 2019) daha kaliteli ürünler üretilebileceği değerlendirilmiştir.

Bu yönleriyle ve yukarıda açıklanan nedenlerle hem üretilen fırının hem de bu fırında üretilen ekşi hamur ekmeği konusunda yapılan araştırmaların özgün olduğu değerlendirilmektedir.

Bu araştırma ile; yeni bir buharla ekmek pişirme fırını tasarlanarak yüksek sıcaklıktaki buharla ekmek pişirme tekniğinin; ekşi hamur mikroorganizma metabolitlerini koruyucu ve ekşi hamur ekmeği kabuk kalınlığını ve proses kontaminantları içeriğini azaltıcı etkilerinin araştırılması ve dolayısıyla ekmeğin minimal işlem proseslerine uygun bir yaklaşımla üretilerek çocuk ve yaşlıların kolaylıkla tüketebileceği yumuşak, kabuksuz ve daha sağlıklı bir hale getirilmesi amaçlanmıştır.

Bunun için araştırma kapsamında imal edilen buharla ekmek pişirme fırını ile; bir buhar makinesinden elde edilen buharın, bir serpantin aracılığıyla elektrikle çalışan bir buhar kızdırma ünitesinden geçirilerek sıcaklığı yükseltildikten (>100°C) sonra elde

edilen yüksek sıcaklıklı buhar, pişirme kabini ortamına farklı kanallar ile homojen bir şekilde verilerek ekşi hamur ekmeklerinin pişirilmesinde kullanılmıştır.

Araştırma ile; toplum tarafından en sık tüketilen gıda maddelerinden biri olan ekmeğin besinsel içeriğinin korunmuş olduğu, proses kontaminant içeriğinin minimize edildiği, kabuksuz olması nedeniyle çocuk ve yaşlılar gibi dezavantajlı bireylere tüketim kolaylığının sağlandığı ve böylece ekmeğe daha sağlıklı ve kolay tüketilebilir bir özellik kazandırılabileceği değerlendirilmiştir.

2. KAYNAK TARAMASI

2.1. Tahıllar ve Ekmek

Tahıllar, *Poaceae* familyasına ait olan ve yenilebilir tohumlar veya taneler üretebilen tek yıllık bitkilerdir. Mısır, çeltik, buğday, arpa, yulaf, çavdar, darı ve sorgum dünyada üretimi yapılan önemli tahıllardır (De Vuyst vd. 2021; De Vuyst vd. 2017; Guo vd. 2021; Los vd. 2018). Bu tahıllardan mısır, çeltik ve buğday dünya üretiminde ilk 3 sırayı almakta ve dünyadaki enerji ihtiyacının yaklaşık %60'ı bu tahıllardan karşılanmaktadır (Thielecke vd. 2021). Yaklaşık %11-14 nem, kurumadde bazında %56-74 nişasta, %2-13 lif, %8-14 protein, %2-7 lipit, %1-3 mineral ve 1-50 mg/kg düzeyinde B vitaminleri içeren tahıl taneleri, işlendikten sonra doğrudan pişirilerek tüketilebilirken, ekmek, makarna ya da alkollü içeceklerin üretiminde de kullanılabilmekte ve bu halleriyle de farklı tüketim olanakları bulabilmektedir (De Vuyst vd. 2017).

Buğday; dünyadaki pek çok tüketici için temel gıda maddesi sayılan ve günlük kalorinin büyük bir kısmını karşılayan ekmek, pizza, bisküvi ve kek gibi fırın ürünlerinin üretilmesinde hammadde olarak kullanılması sebebiyle üretimi yapılan tahıllar arasında çok özel bir yere sahiptir (Sakandar vd. 2019). Günümüzde besleyici özellikler ve lezzet bakımından zenginleştirilmiş sağlığa faydalı fırın ürünlerinin üretilmesi oldukça ilgi çeken bir konu haline geldiği için oldukça yaygın bir tüketime sahip olan ve çoğunlukla buğday unu kullanılarak üretilen ekmek bu yönüyle geliştirilmeye çalışılmaktadır.

Ekmek; un, su, tuz ve mayanın belli ölçülerde karıştırılarak yoğurulmasıyla oluşan hamurun, fermantasyon süresinin ardından pişirilmesi ile ortaya çıkan bir üründür. Dünya genelinde, yörelere ve buralarda yaşayan insan topluluklarının geleneklerine göre çok farklı çeşitlerde ve yapıda ekmek üretimi yapılmaktadır (Sakandar vd. 2019). Nötr özellikteki tadı, besleyici özellikleri, doyurucu olması, diğer gıdalara göre daha ucuz ve kolay ulaşılabilir olması gibi nedenlerle ekmek; toplumlar tarafından yüksek miktarlarda ve sürekli olarak tüketilmektedir (Bircan vd. 2017; Borczak vd. 2018; Dağlıoğlu 1998; Elgün ve Ertugay 2011; Rinaldi vd. 2015).

Ekmek üretiminde kullanılan buğday unu ortalama %14 nem, %70-75 nişasta, %10-12 protein, %2-3 ham lif, %1-2 fruktan, %2-3 arabinoksilan ve β-glukan gibi nişasta olmayan ve diyet lif etkisi gösteren polisakkarit ve %1-2 lipit içermektedir (De Vuyst vd. 2021; De Vuyst vd. 2017). Buğday ununun bileşimi ve bu undan yapılan ürünlerin pişirme kalitesi; buğdayın hasat koşullarına, türe, zirai uygulamalara, iklim koşullarına, depolamanın etkinliğine, un haline getirilirken yapılan öğütme, eleme-saflaştırma ve unun depolanmasına bağlı olarak değişmektedir. Bu faktörler unun mikrobiyal yükünü, mikrobiyolojik kalitesini ve bu nedenle de mikrofloranın metabolik aktivitesini etkilemektedir (De Vuyst vd. 2017). Ayrıca hamurun kabartılması amacıyla yapılan fermantasyon işlemi de bu mikrobiyal yükten etkilenmekte ve mikrobiyal ve doğal enzimler nedeniyle fermantasyon boyunca unun karbonhidrat ve protein bileşenlerinde biyokimyasal değişimler meydana gelmektedir. Bu değişikliklerin kapsamı ve meydana gelme oranı da son ürünün kalitesini büyük ölçüde etkilemektedir (Arendt vd. 2007). Dolayısıyla yapılan fermantasyon işlemi ekmek üretiminde kaliteyi etkileyen en önemli unsurlardan biri haline gelmektedir.

2.2. Ekmek Üretiminde Fermantasyon ve Ekşi Hamur

Fermantasyon, bitkisel ve hayvansal ürünlerde doğal olarak bulunan ya da bu ürünlere sonradan eklenen bakteri ve maya gibi mikroorganizmaların faaliyeti sonucunda meydana gelen mikrobiyolojik ve biyokimyasal bir olaydır ve bu şekilde üretilen ürünler de fermente ürünler olarak isimlendirilmektedir. Bir gıda üretim yöntemi olmasının yanı sıra fermantasyon; gıdaların korunması, esansiyel amino asit ve vitamin sentezine bağlı olarak gıdalardaki besinsel değerin ve besin öğelerinin biyoyararlılığının arttırılması amacıyla da tercih edilmektedir (Karaçil ve Acar Tek 2013).

Ekmek üretiminde fermantasyon için genellikle ekmek mayası olarak adlandırılan *Saccharomyces cerevisiae* mayası kullanılmaktadır ve maya fermantasyonuyla oluşan CO_2 gazının hamur tarafından tutulması sonucunda, üretim sürecinde gerçekleşen fizikokimyasal ve kimyasal olayların da etkisi ile hamurun yoğun kütlesi iyi kabarmış gözenekli bir yapıya dönüşmektedir. Ekmek mayası fermantasyon ortamına doğrudan eklenmekte iken, hammaddelerden gelen veya kontaminasyon sonucu ortama ilave olan laktik asit bakterileri ve yabani mayalar da bu ortamda üreme gösterebilmektedir. Fermantasyonun laktik asit bakterileri ve mayaların ortak etkisi sonucunda gerçekleşmesiyle hamurun pH değeri düşmekte ve bu hamur ekşi bir tada sahip olmaktadır. Oluşan bu hamur ekşi hamur olarak adlandırılmaktadır (Bircan vd. 2017; De Vuyst vd. 2017).

Ekşi hamur; genel olarak un-su karışımının laktik asit bakterileri ve mayalar tarafından ortak fermantasyonu sonucunda elde edilmektedir (Sakandar vd. 2019). Oluşan ekşi hamurun bir kısmının yeni hazırlanan un-su karışımı içerisine inoküle edildikten sonra fermentasyona bırakılması ve bu işlemin belli aralıklarla devam ettirilmesi ile bu ekşi hamurun sürekliliği sağlanmaktadır. Ekşi hamur fermantasyonunu etkileyen en önemli faktörler; fermantasyon süresi, sıcaklık, hamur verimi, ekşi hamur geri aşılama sayısı gibi fermantasyon koşulları, mikrobiyal çeşitlilik ve kullanılan unun bileşimidir (Celano vd. 2016; Sadeghi vd. 2019).

2.2.1. Ekşi hamur çeşitleri

Ekşi hamur fermantasyonu inokülasyon yöntemine göre; doğal ekşi hamur fermantasyonu, starter kültür ile başlatılan ekşi hamur fermantasyonu ve starter kültür ile başlatılmış döngüsel ekşi hamur fermantasyonu (karışık ekşi hamur fermantasyonu) olmak üzere 3 şekilde gerçekleşebilmektedir. Doğal ekşi hamur fermantasyonu; mikroorganizmaları metabolik olarak aktif halde tutabilmek için maksimum 200 hamur veriminde hazırlanan un-su karışımının oda sıcaklığında (20-30°C) ve ortalama bir fermantasyon süresinde (6-24 saat) bekletilmesi sonrası oluşan olgun ekşi hamurun (ana hamur) bir kısmının (%5-20), yeni hazırlanan un-su karışımı içerisine inoküle edilmesiyle döngüsel bir şekilde ilerlemektedir. Doğal fermantasyon ile üretilen ekşi hamurlar, kendilerine özgü maya ve mezofilik laktik asit bakteri türlerini içeren ekolojik bir karışım yapısındadır. Bu nedenle de belirtilen yöntemle elde edilen ekşi hamur, fermantasyon için büyük bir kültür çeşitliliği sağlamaktadır. Starter kültür ile başlatılan ekşi hamur fermantasyonu; kendine has mikroflorası bulunan un-su karışımına starter kültür eklenmesiyle meydana getirilmektedir. Bu amaçla aside dayanıklı *Lactobacillus brevis, Lb. fermentum, Lb. plantarum, Lb. reuteri ve Lb. sanfranciscensis* gibi bakteri suşları starter kültür olarak kullanılmaktadır. Bu işlem döngüsel fermantasyona ihtiyaç

duymamakla birlikte, döngüsel fermantasyonla üretilen çeşitlerine göre genel olarak daha fazla sıvı ekşi hamur kültürü ve 30°C'den daha yüksek bir sıcaklık kullanılarak gerçekleştirilmekte ve fermantasyon 1-3 gün devam etmektedir. Starter kültür ile başlatılmış döngüsel ekşi hamur fermantasyonu ya da karışık ekşi hamur fermantasyonu ise; un-su karışımı içerisine laktik asit bakterilerinin starter kültür olarak ilave edilmesi sonrasında geleneksel olarak yapılan döngüsel fermantasyon işleminin uygulanmasıyla gerçekleştirilmektedir. Bu fermantasyon tipinde, hamur mikroflorasında doğal olarak bulunan mikroorganizmalar ile ekşi hamura eklenen starter kültür arasında bir yarış meydana gelebilmektedir. Bu nedenle de starter kültür diğer mikroorganizmalar arasında ya baskın konuma gelmekte ya da elemine olabilmektedir (De Vuyst vd. 2017).

Ekşi hamurlar üretim teknolojisi bakımından ise; Tip 0, Tip 1, Tip 2 ve Tip 3 olmak üzere 4 sınıfa ayrılmaktadır. Tip 0 ekşi hamur, sponge hamur olarak nitelendirilen ön hamurdur ve un-su-ekmek mayası karışımının oda sıcaklığında 3-20 saat inkübe edilmesiyle elde edilmektedir. Tip 1 ekşi hamur, bir önceki fermantasyon sonucu elde edilen ekşi hamurun bir kısmının yeni hazırlanan un-su karışımı içerisine aktarılmasıyla geleneksel olarak üretilmektedir. Tip 2 ekşi hamur, un-su karışımı içerisine starter kültür ilave edildikten sonra fermantasyonun fermentörlerde gerçekleştirilmesiyle elde edilen sıvı formdaki ekşi hamur iken; Tip 3 ekşi hamur, Tip 2 ekşi hamur teknolojisi kullanılarak üretilen sıvı formdaki ekşi hamurun çeşitli yöntemlerle kurutulması ile elde edilen ekşi hamur çeşididir. Tip 2 ve Tip 3 ekşi hamurlar endüstriyel boyutta üretilmektedir ve hamur oluşturmak amacıyla kullanılabilmeleri için kabartıcı olarak *S. cerevisiae* mayasının kullanılması da gerekmektedir (Chavan ve Chavan 2011; De Vuyst vd. 2017; Rollán vd. 2010).

2.2.2. Ekşi hamurun mikrobiyolojisi

Mikrobiyolojik açıdan ekşi hamur, spesifik bir ekosistem olarak değerlendirilebilmektedir. Bu ekosistemin içeriğine bakıldığında değişken karbonhidrat konsantrasyonu, asidik ortam, sınırlı oksijen miktarı ve mayalara kıyasla daha fazla sayıdaki laktik asit bakterisi, özellikle de laktobasiller (Sakandar vd. 2019) ile karakterize olduğu görülmektedir (De Vuyst vd. 2017). Endüstriyel olarak elde edilen ekşi hamurlara kıyasla geleneksel ekşi hamurlar, kendiliğinden gerçekleşen çok basamaklı bir fermantasyon süreci gerektirdiği için daha geniş mikrobiyal çeşitliliğe sahiptir (Celano vd. 2016).

Ekşi hamurda, hamur pH değerinin 4.5'in altında seyretmesi, laktik asit bakterisi ve maya miktarının ise sırasıyla 10^8-10^9 kob/g ve 10^6-10^7 kob/g olması istenmektedir. Bu nedenle ekşi hamurdaki laktik asit bakterisi:maya oranı 10:1 ile 100:1 arasında değişmekle birlikte genel olarak 100:1 civarındadır (Bircan vd. 2017; Dertli vd. 2016; Gobbetti 1998). Bu oran ekşi hamur ekmeğinin kalitesi üzerinde en belirleyici etkenlerden biridir.

Ekşi hamurun hazırlanması sürecinde gram pozitif bakterilerden olan laktik asit bakterileri, gram negatif bakterilerin gelişimini baskılamaktadır. Fermantasyonun başlangıcında kok şeklindeki laktik asit bakteri hücreleri baskınken ilerleyen süreçte laktobasiller ön plana çıkmaktadır. Bunun sebebi laktobasillerin ekşi hamurdaki pH düşüşlerine, bu ekosistemin fermantasyon sıcaklığı ve süresi gibi diğer karakteristik koşullarına ve O_2 konsantrasyonuna daha iyi adapte olmasıdır (Celano vd. 2016).

Ekşi hamurda bulunan laktik asit bakterileri, şekerlerin fermantasyonu sonucunda yalnızca laktik asit oluşturan homofermentatif laktik asit bakterileri ve laktik asit ile birlikte CO_2, etil alkol, asetik asit ve önemli uçucu bileşenlerin de oluşumunu sağlayan heterofermentatif laktik asit bakterileri olarak iki gruba ayrılabilmektedir. Ancak diğer fermente gıdaların aksine ekşi hamurda heterofermantatif türler genellikle daha baskındır (Bakırcı ve Köse 2017; Dertli vd. 2016). Ekşi hamur sistemindeki laktik asit bakterileri içerisinde en yaygın olan türler *Lactobacillus* cinsine ait olup (Sakandar vd. 2019), bunlar içerisinde en sık izole edilenler ise *Lactobacillus sanfranciscensis*, *Lactobacillus plantarum* ve *Lactobacillus brevis*'tir. Ekşi hamurda en çok izole edilen diğer *Lactobacillus* türleri Çizelge 2.1'de verilmiştir. Ayrıca *Leuconostoc, Weissella, Lactococcus, Streptococcus, Pediococcus* ve *Enterococcus* türleri de ekşi hamur oluşumunda rol oynayabilmektedir. Ekşi hamur fermantasyonunda en çok görev alan maya ise *S. cerevisiae*'dır. *S. exiguus*, *Candida krusei*, *Pichia norvegensis*, *Hansenula anomala* ve *Torulopsis holmii* gibi mayalar da ekşi hamurlarda laktik asit bakterileri ile birlikte bulunabilmektedir (Gobbetti 1998; Gül vd. 2005). Geleneksel olarak üretilen ekşi hamurlarda ise genellikle laktik asit bakteri türü olarak *Lb. sanfranciscensis* ve maya türü olarak ise *Candida humilis* bulunmaktadır (De Vuyst vd. 2021).

Çizelge 2.1. Ekşi hamurda en çok izole edilen *Lactobacillus* türleri (Sakandar vd. 2019)

Obligat Homofermantatif Laktobasiller	**Obligat Heterofermantatif Laktobasiller**	**Fakültatif Heterofermantatif Laktobasiller**
Lb. amylovorus	*Lb. acidifarinae*	*Lb. plantarum*
Lb. acidophilus	*Lb. brevis*	*Lb. pentosus*
Lb. delbrueckii	*Lb. buchneri*	*Lb. alimentarius*
Lb. farciminis	*Lb. fermentum*	*Lb. paralimentarius*
Lb. mindensis	*Lb. fructivorans*	*Lb. casei*
Lb. amylolyticus	*Lb. frumenti*	
Lb. johnsonii	*Lb. hilgardii*	
Lb. crispatus	*Lb. panis*	
	Lb. pontis	
	Lb. reuteri	
	Lb. rossiae	
	Lb. sanfranciscensis	
	Lb. siliginis	
	Lb. spicheri	
	Lb. zymae	

Diğer fermente gıdalara benzer şekilde laktik asit bakterileri ve mayalar gibi farklı mikroorganizmaların oluşturduğu karışık kültürler tarafından üretilen gıdaların da duyusal, sağlık ve beslenme özellikleri, bu mikroorganizmaların birbirleri ile kurdukları ilişkiye ve birlikte oluşturdukları aktivitelere bağlıdır (Gobbetti 1998). Bu kapsamda ekşi hamurdaki laktik asit bakterileri laktik asit ve/veya asetik asit üretimi gerçekleştirerek un-

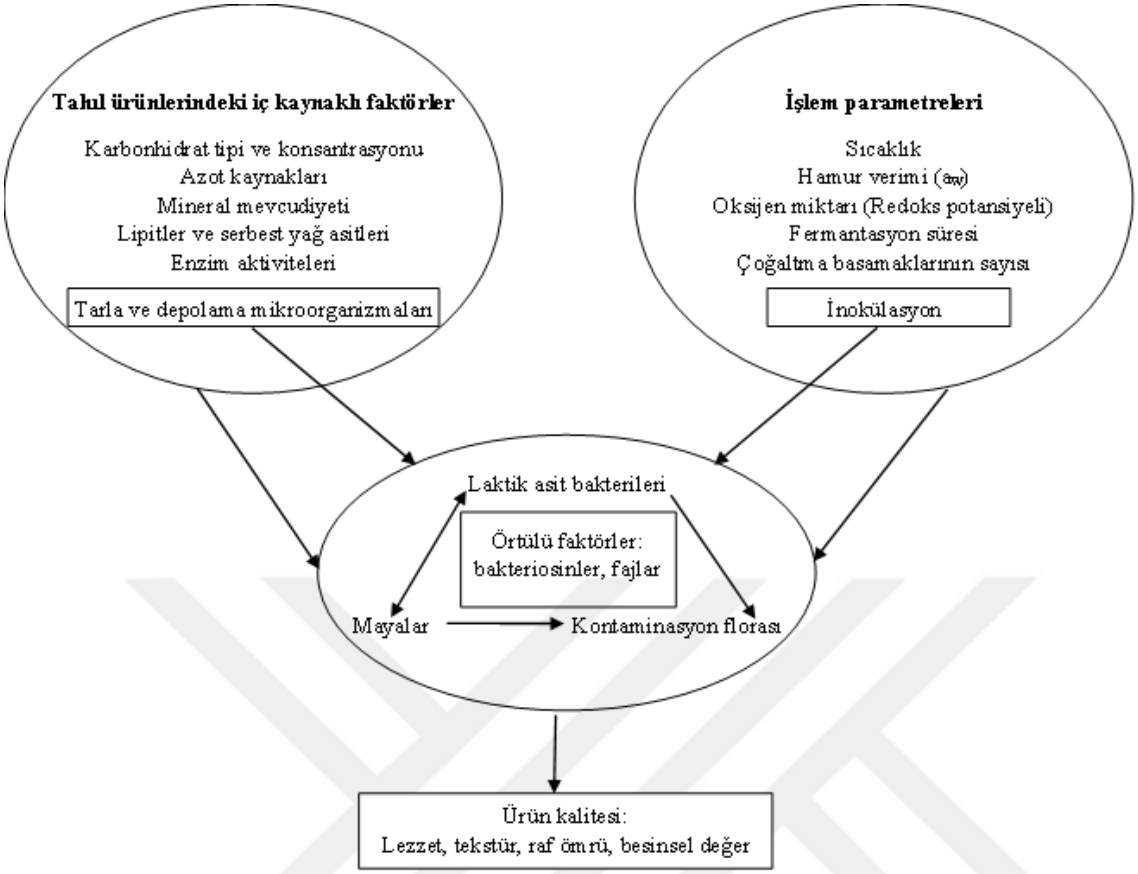
su karışımının asidik hale gelmesini ve üründe asidik aroma oluşumunu sağlamaktadır (De Vuyst vd. 2021). Ekşi hamurda asitlik artışından yalnızca laktik asit bakterileri sorumluyken, lezzet oluşumundan maya ve laktik asit bakterilerinin her ikisi de sorumludur. Elde edilen ekşi hamurdan üretilen ekmeğin elastikiyeti, asitliği ve lezzeti homofermentatif laktik asit bakterilerinden etkilenmekte, hamurun kabarmasını sağlayan fermantasyon işlemi ise maya ve heterofermantatif laktik asit bakteri türlerinin ortak etkisi sonucunda gerçekleşmektedir (Bakırcı ve Köse 2017; De Vuyst vd. 2017; Sakandar vd. 2019). Ancak genel olarak bir değerlendirme yapıldığında mayalar 3-metil-1-bütanol gibi yüksek alkollerin ve etil asetat gibi esterlerin üretimini gerçekleştirerek uzun süreli aroma oluşumunu ve karbondioksit üretimini gerçekleştirerek de üründeki kabarmış yapının oluşmasını sağlamaktadır (De Vuyst vd. 2021).

2.3. Ekşi Hamur ve Ekşi Hamur Ekmeği İlişkisi

Dünyada uygulanan en eski biyoteknolojik işlemlerden biri ekşi hamurun oluşturulması ve buna bağlı olarak da bu hamurun ekşi hamur ekmeği üretiminde kullanılmasıdır (Sakandar vd. 2019). Ekmek üretiminde genellikle güvenli (Generally Recognized as Safe-GRAS) biyolojik katkı maddesi olarak kontrollü bir şekilde kullanılabilen ekşi hamur; hamurun işlenmesi, son ürünün tekstürel, besinsel ve duyusal özelliklerinin gelişmesi ve ekonomik (raf ömrü uzaması) değerinin artması bakımından büyük öneme sahiptir (Celano vd. 2016; Sadeghi vd. 2019).

Ekşi hamurun ekmek üretiminde kullanılmasıyla gerçekleşen fermantasyon sonucunda oluşan CO_2 haricindeki diğer maddeler, hamurun olgunlaşmasını sağlamakta ve elde edilen ekşi hamur ekmekleri farklı lezzet ve dokuya sahip olmaları ve sağlığı geliştirici etkilerinin bulunması nedenleriyle tüketiciler tarafından büyük ilgi görmektedir (Bircan vd. 2017; De Vuyst vd. 2017). Ayrıca yalnızca *S. cerevisiae* kullanılarak üretilen ekmekler bayatlama ve mikrobiyolojik bozulmalar gibi bazı fizikokimyasal değişikliklere uğraması nedeniyle kolay bozulabilen bir yapıdayken, ekşi hamur ekmekleri fermantasyon aşamasında organik asitler, ekzopolisakkaritler ve enzimler gibi metabolitlerin oluşumunu sağlayarak ekmeğin doku ve raf ömrünün gelişmesine katkıda bulunmaktadır (Su vd. 2019). Bu durum ekmeğin raf ömrünü uzatarak bayatlamasını geciktirmekte ve tüketicilerin ekşi hamur ekmeklerine olan ilgisini daha da arttırmaktadır (Bakırcı ve Köse 2017).

Ekşi hamurun hamur ve ekmek özellikleri üzerinde meydana getirdiği değişimler; doğrudan pH değerinin değişmesiyle, tahıl enzimleri üzerine asitlerin etkili olmasıyla veya yalnızca mikroorganizma faaliyetleri ile gerçekleşebilmektedir (Arendt vd. 2007). Ekşi hamur mikroflorasının gelişimini, metabolik aktivitesini ve ekşi hamur ekmeğinin kalite özelliklerini etkileyen faktörler ve bu faktörlerin birbirleri ile etkileşimleri Şekil 2.1'de özetlenmiştir.



Şekil 2.1. Ekşi hamur mikroflorasının gelişimini, metabolik aktivitesini ve ekşi hamur ekmeğinin kalite özelliklerini etkileyen faktörler ve bu faktörlerin birbirleri ile etkileşimleri (Hammes ve Gänzle 1998)

2.3.1. Ekşi hamur mikroorganizmalarının metabolik faaliyetleriyle ekşi hamur ekmeklerinde oluşan olumlu özellikler

Ekşi hamurun ekmek üzerindeki olumlu etkileri genellikle buradaki laktik asit bakterilerinin metabolizmasına bağlıdır. Bu laktik asit bakterilerinin ana metabolik faaliyetleri incelendiğinde; proteolitik aktiviteleri, antiküf, antibakteriyel ve uçucu bileşen oluşturma özellikleri ön plana çıkmaktadır (Dertli vd. 2016).

Ekşi hamur sistemindeki laktik asit bakterileri, karbonhidratları kullanarak organik asitlerin oluşumunu sağlamaktadır. Mayalar ise karbonhidratları kullanarak etanol ve gliserol gibi bileşikleri üretmektedir. Ekşi hamurdaki maltoz ve glikoz gibi fermente olabilen karbonhidratların çoğu nişastanın parçalanması sonucunda meydana gelmektedir. Bu karbonhidratların miktarı, çimlenme ve mikrobiyal faaliyet sonucunda artış göstermektedir. Çözünür karbonhidratların laktik asit bakterileri tarafından kullanımı sonucunda üretilen enerji, laktik asit ve asetik asit; ortamda laktik asit bakterileri ile birlikte bulunan mayalardan etkilenmekte ve bu durum kullanılan şekerin türüne göre de değişiklik göstermektedir (De Vuyst vd. 2017; Gobbetti 1998).

Ana karbon kaynağı için rekabetin olmaması ya da az olması, gıda fermantasyonlarında laktik asit bakterisi/maya etkileşiminin stabilitesi için gerekli olan ön koşullardan biridir. Bu koşulun sağlanmadığı durumlarda laktik asit ve asetik asit, saf

kültür halindeki laktik asit bakterileri tarafından maya ile birlikte olduğu ortama göre daha hızlı bir şekilde üretilmektedir. Ekşi hamurdaki mayaların çoğu heksozlar ve maltozu metabolik olarak kullanabilme özelliğine sahip olduğu için böyle bir ortamda maltoz ve özellikle glikozun *S. cerevisiae* tarafından daha hızlı tüketilmesi nedeniyle *Lb. sanfranciscensis* bakterisinin gelişimi, laktik asit ve asetik asitin üretimi baskılanmaktadır (Gobbetti 1998).

Fermantasyon boyunca gerçekleşen protein hidrolizi, ekşi hamur ekmeklerinin kalitesini önemli ölçüde etkilemektedir. Sadece ekmek mayası kullanılarak yapılan fermantasyonda un proteinlerinin parçalanması ile açığa çıkan aminoasit konsantrasyonu, ekşi hamur fermantasyonu ile açığa çıkan aminoasit konsantrasyonundan daha düşük olmaktadır. Ekşi hamurdaki proteinlerde meydana gelen bu parçalanma laktik asit bakterilerinin proteoltik aktivitelerine ve düşük pH değerinde tahıl unlarında aktif olan proteazlara bağlı olarak artış göstermektedir. Mikroorganizmaların faaliyetleri sonucunda meydana gelen organik asitler, hamur pH değerini 3.5-4.0'a düşürmekte ve bu pH değeri tahıl proteinazları için optimum pH değerini oluşturmaktadır. Proteinazların faaliyetleri sonucunda açığa çıkan peptitler, laktik asit bakterilerinin hücre içi enzim olarak ürettikleri peptidazlar ile aminoasitlere parçalanmaktadır. Bu şekilde aminoasitlerden biyoaktif bileşenlerin ve öncü lezzet maddelerinin mikrobiyal yolla oluşumunu sağlayan küçük peptitler ve serbest aminoasitler meydana gelmektedir (Rollán vd. 2010). Laktik asit bakterileri kendi aminoasit biyosentez yolaklarında meydana gelen kayıplar nedeniyle tahıl aminoasitlerine bağlı olarak gelişimlerini sürdürmektedirler. Mayalar ise çok yüksek miktarda aminoaside ihtiyaç duymaktadır ve ekşi hamur fermantasyonu boyunca mümkün olan tüm serbest yapıdaki aminoasitleri kullanmaktadırlar. Kısaca, aminoasit konsantrasyonundaki farklılıklar da mikrobiyal ekosistemin içeriğinde değişikliklere yol açabilmektedir (De Vuyst vd. 2017).

Ekşi hamurda mikroorganizma faaliyeti sonucunda oluşan organik asitler, oluşturdukları optimum asidik ortam sayesinde amilaz aktivitesini iyileştirmesi, nişasta retrogradasyonunu geciktirmesi ve saprofit mikroorganizmalara karşı ekşi hamurun antimikrobiyal aktivitesini arttırması gibi nedenlerle raf ömrünü uzatmaktadır. Bazı organik asitler ise uçucu olmayan aroma maddeleri olarak görev yapmaktadır. Bunların yanısıra organik asitler, ekmeğin daha yüksek esneklik, yumuşaklık ve spesifik hacim değerine sahip olmasını sağlamaktadır (Su vd. 2019).

Tahıl unları; lipitler, fitatlar ve fenolik bileşikler gibi minör bileşenleri de içermektedir. Lipitlerin oksidasyonu ekşi hamur fermantasyonundan ciddi şekilde etkilenmekte ve aroma oluşumuna katkı sağlamaktadır. Fitatlar minerallerin biyoyararlılığını azaltmalarından dolayı beslenmeyi engelleyen bileşenler olarak değerlendirilmektedir. Bu bileşen ekşi hamur fermantasyonu sırasında tahıl enzimleri tarafından parçalanmaktadır. Laktik asit bakterileri, ortamın asitlik seviyesini arttırdıkları için fitaz enzim aktivitesini katalizleyerek dolaylı yoldan fitatlar üzerine etki ederken, mayalar fitatların hidrolizinde doğrudan görev almakta ve bu şekilde mineral biyoyararlılığını arttırmaktadırlar (De Vuyst vd. 2017).

2.3.2. Ekşi hamur ekmeklerinin olumsuz özellikleri

Ekşi hamur ekmekleri bahsedilen birçok olumlu özelliğinin yanısıra bazı olumsuz özelliklere de sahiptir. Ekşi hamur ekmeklerinde bu olumsuz özelliklerin gelişme nedeni genel olarak ekmek üretim sürecindeki pişirme işlemidir.

Ekmek üretiminde pişirme işlemi, son üründe hacmin genişlemesi, nemin uzaklaşması, gözenekli bir yapının oluşması, proteinlerin denatürasyonu, nişastanın jelatinizasyonu, kabuk oluşumu ve esmerleşme reaksiyonlarının gerçekleşmesi gibi ısı-kütle transferine dayalı olan fiziksel, kimyasal ve biyokimyasal değişiklikleri içeren karmaşık bir işlemdir (Dessev vd. 2020). Ekmekte fiziksel, kimyasal ve yapısal dönüşüme neden olan ısı-kütle transferi olayları pişirme işlemi sırasında aynı anda gerçekleşmektedir (Mondal ve Datta 2008).

Ekşi hamur ekmekleri çoğunlukla büyük hamur kitleleri kullanılarak ve fırında uzun süre ısıl işlem uygulanarak üretildiği için oldukça kalın bir kabuğa ve dolayısıyla burada meydana gelen ve Maillard reaksiyonu olarak adlandırılan enzimatik olmayan esmerleşme reaksiyonlarıyla bağlantılı olarak da daha yüksek bir içerikte proses kontaminantına sahip olmaktadır.

2.4. Maillard Reaksiyonu ve Ekşi Hamur Ekmeklerindeki Önemli Proses Kontaminantları

2.4.1. Maillard reaksiyonu

Maillard reaksiyonu, karbonhidrat ve protein bakımından zengin gıdalarda bulunan indirgen şekerlerin karbonil ucu ile serbest veya proteinlerin yapısında bulunan amino asitler arasında gerçekleşen üç aşamalı bir seri reaksiyondur (Davies ve Labuza 1997; Fennema 1996; Telatar 1985).

Birinci aşama iki yönlü olarak gerçekleşmekte olup, bu aşamada indirgen şeker ile amino grubu reaksiyona girerek N-glikozilaminleri oluşturmaktadır. Reaksiyon, şeker kaynağı olarak ortamda aldozlar bulunuyorsa Amadori yeniden düzenlenmesi, ketozlar bulunuyorsa Heyns yeniden düzenlenmesi üzerinden Amadori ve Heyns ürünlerinin oluşumuyla ilerlemektedir (Van Boekel 2006).

İkinci aşama sırasında amino grubu Amadori/Heyns ürünlerinden ayrılmakta, parçalanma ürünlerinin su içermeyen halkalı yapılara dönüşmesiyle furfural bileşikler oluşmakta ve reaksiyon, şeker parçalanmaları ile devam etmektedir. Heksozların parçalanması ile oluşan en önemli Maillard reaksiyonu ürünü HMF bileşiğidir (Ameur vd. 2007).

Üçüncü aşamada ise amino grubu tekrar reaksiyona katılmakta ve su kaybı, parçalanma, halkalaşma ve polimerleşme gibi birçok yolla son ürünlerin oluşumu tamamlanmaktadır. Aminoasitlerin, dikarbonil bileşikler tarafından deaminasyon ve dekarboksilasyona uğratılması yoluyla farklı aldehitlerin oluştuğu Strecker reaksiyonu da bu aşama sırasında gerçekleşmektedir. Oluşan bileşikler aromatik bileşenler üzerine etkili olmakta ve aminoasitlerden farklı aldehitler oluşmaktadır (Davies ve Labuza 1997; Jing ve Kitts 2004; Van Boekel 2006). Tüm reaksiyon sürecinde oluşan bileşikler ürünün

duyusal özelliklerini de büyük ölçüde etkilemektedir (Saldamlı 2007). Ancak Maillard reaksiyonu; amino asitlerin yok olmasına, gıdaların sindirilebilirliğinin ve besin kalitesinin düşmesine neden olduğu için, bu reaksiyonun asıl etkisi genellikle olumsuz olmaktadır (Friedman 2015).

2.4.2. Maillard reaksiyonunu etkileyen faktörler

Maillard reaksiyonunun hızı ve bu reaksiyona bağlı olarak oluşan ürünler, reaktantların özelliklerine, ürünün su içeriğine ve pH değerine, ortam sıcaklığına, gıda matriksine, inhibitörlere ve reaksiyon süresine bağlı olarak farklılaşmaktadır (Fennema 1996; Janzowski vd. 2000; Yilmaz ve Toledo 2005).

Şekerlerin reaksiyon hızına ve son ürünlere etkisi, karbonil gruplarına (aldoz/ketoz) ve karbon zincir uzunluğuna göre farklılık göstermektedir. Şekerlerin karbon zincir uzunluğu arttıkça reaktivitesi azaldığı için, pentozlar hegsozlardan daha reaktiftir (Saldamlı 2007). Aldozlar, ketozlardan daha hızlı esmerleşme reaksiyonuna katılmakta (Jing ve Kitts 2004) ve şeker alkolleri karbonil grubu içermediği için Maillard reaksiyonuna girmemektedir (Fennema 1996). Ayrıca fermente fırın ürünlerinde, nişastanın hidrolizi ile oluşan glikoz ve maltoz önemli reaktantlardır.

Nötr ile alkali pH değerleri arasında Maillard reaksiyonunun hızlı ilerlediği bildirilmektedir (Buve vd. 2021). Amino kaynağı serbest aminoasit, özellikle lisin gibi bazik olması durumunda daha reaktif olmaktadır (Saldamlı 2007). Ekmek gibi fermente ürünler, fermentasyon sırasında indirgen şeker ve serbest aminoasit içerikleri arttığı için Maillard reaksiyonuna daha uygun bir hale gelmektedir.

Su, reaktifleri çözmesi ve onların temasını sağlaması yönüyle önemlidir. Araştırmalar su içeriğinin orta seviyelerde (%50) olduğu durumlarda reaksiyonun çok hızlı geliştiğini göstermiştir. Yüksek su içeriğinde reaktiflerin birbiri ile karşılaşma ihtimalinin azlığı ve düşük su içeriğinde ise reaktiflerin hareketliliğinin azalması sebebiyle Maillard reaksiyonunun hızı düşmektedir (Erbaş vd. 2016). Maillard reaksiyonu 0.50-0.75 gibi düşük ile orta su aktivitesi arasındaki değerlerde maksimum hızına ulaşmaktadır (Buve vd. 2021; Kchaou vd. 2019).

Maillard reaksiyonu gıdaların depolanma sıcaklıklarından üretim sürecinde uygulanan yüksek sıcaklıklara kadar geniş bir sıcaklık aralığında meydana gelebilmekle beraber sıcaklık artışına bağlı olarak reaksiyon hızında da artış gerçekleşmektedir. Fırın ürünlerinde yüzeyde sıcaklığın hızla yükselmesi; yüzeydeki suyun buharlaşmasına, buradaki su aktivitesinin düşmesine ve kabuk oluşumuna neden olmaktadır. Bu durumda hem uygun su aktivitesi değerine hem de yüksek sıcaklığa bağlı olarak kabukta Maillard reaksiyonu içe göre oldukça hızlı bir şekilde gerçekleşmektedir (Choudhary vd. 2021).

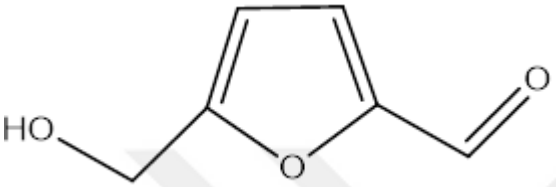
2.4.3. Ekşi hamur ekmekleri için önemli olan proses kontaminantları

Proses kontaminantı, insanlar üzerinde olumsuz toksik etkilere ve potansiyel sağlık risklerine sebep olan ısı kaynaklı oluşan toksik bileşiklerdir. Bu bileşikler, pişirme sürecinde uygulanan ısıl işlemlerle gıdada oluşan kimyasal değişimler sonucunda meydana gelmektedir (Mogol ve Gökmen 2016). Ekmek için en bilinen proses

kontaminantları furan türevi bileşiklerden olan HMF ve akrilamiddir (Mesias vd. 2020; Mogol ve Gökmen 2016).

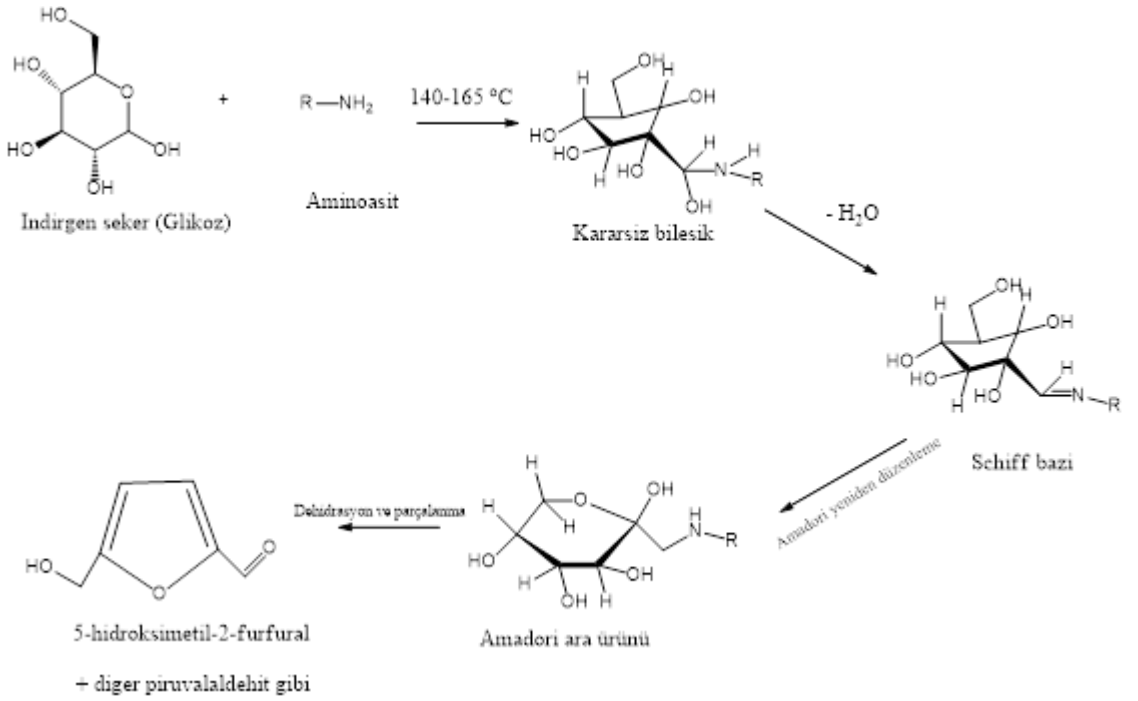
2.4.3.1. Hidroksimetilfurfural

HMF, karbonhidrat bakımından zengin gıdaların ısıl işlemi sırasında gerçekleşen enzimatik olmayan esmerleşme reaksiyonu olarak da adlandırılan Maillard ve karamelizasyon reaksiyonlarıyla oluşan, hem aldehit hem de alkol grubu içeren, furan halkasına sahip bir bileşiktir (Abraham vd. 2011; Lee vd. 2019). Kimyasal yapısı Şekil 2.2'de gösterilen HMF bileşiği, $C_6H_60_3$ kapalı formülüne sahiptir ve moleküler ağırlığı 126.11 g/mol'dür (Choudhary vd. 2021).

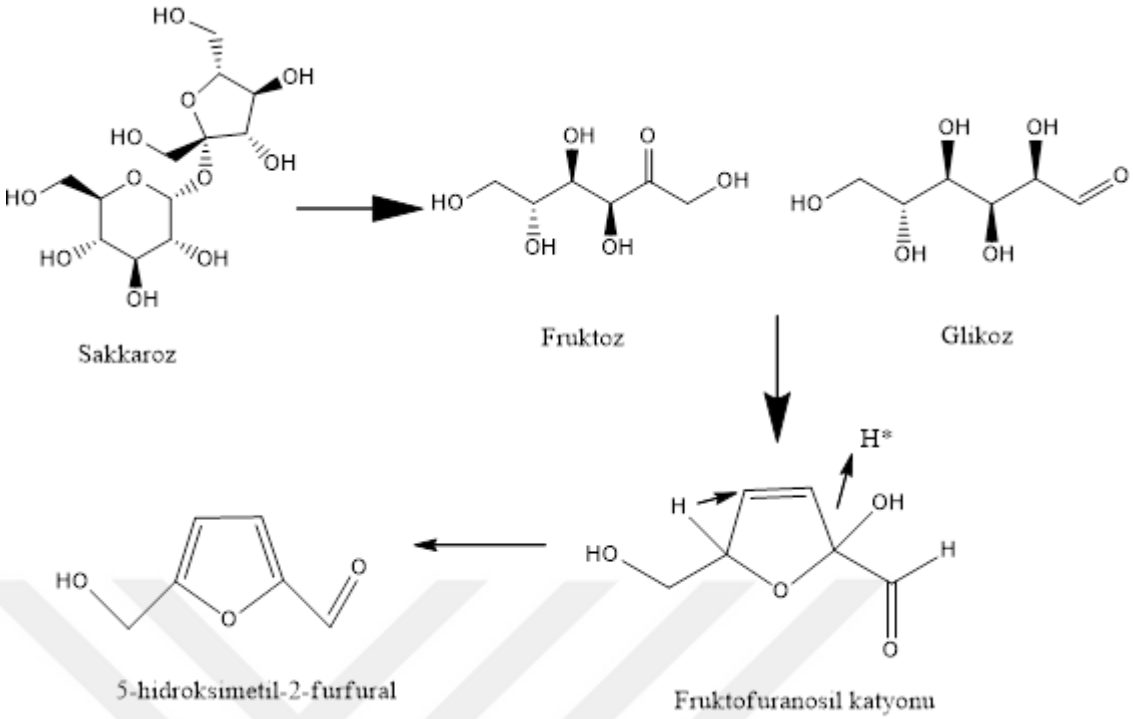


Şekil 2.2. HMF bileşiğinin kimyasal yapısı

HMF, genel olarak taze gıdalarda bulunmazken; ekmekte mg/kg düzeyinde, kuru meyveler, kahve ve karamel gibi ısıl işlem görmüş ürünlerde ise g/kg düzeyinde yüksek seviyelerde bulunabilmektedir (Abraham vd. 2011). HMF, 3-deoksiglikozonun (3-DG) Maillard reaksiyonuyla dehidrasyonu ve asidik koşullar altında şekerlerin karamelize olurken gerçekleşen dehidrasyonu olmak üzere temelde 2 farklı mekanizmayı izleyerek oluşabilmektedir (Lee vd. 2019). Maillard reaksiyonuyla HMF oluşum mekanizması Şekil 2.3'te, karamelizasyon reaksiyonu ile HMF oluşum mekanizması ise Şekil 2.4'te verilmiştir.



Şekil 2.3. Maillard reaksiyonu ile HMF oluşum mekanizması (Choudhary vd. 2021)



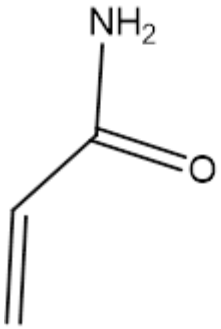
Şekil 2.4. Karamelizasyon reaksiyonu ile HMF oluşum mekanizması (Choudhary vd. 2021)

HMF oluşumunu etkileyen faktörler; şeker ve aminoasit çeşidi, sıcaklık, pH, su aktivitesi ve katyonlar olarak sıralanabilmektedir (Capuano ve Fogliano 2011; Lee vd. 2019; Zhang vd. 2016). HMF, düşük sıcaklıklarda bile oluşabilmekte ancak konsantrasyonu bu sıcaklıklarda düşük olmaktadır. Ürüne ısıl işlem uygulandığında ya da ürünün depolama sıcaklığı arttırıldığında ise HMF konsantrasyonu da önemli oranda artış göstermektedir (Capuano ve Fogliano 2011).

Pişirme işlemi sırasında en çok HMF oluşumunun gerçekleştiği ürün grubu tahıl ve tahıl ürünleri, özellikle de ekmektir. Ekmek kabuklarında ortalama HMF konsatrasyonu 14-53 mg/kg arasında değişmektedir (Abraham vd. 2011).

2.4.3.2. Akrilamid

Akrilik asit amid, vinil amid ya da 2-propen amid olarak da bilinen akrilamid oda sıcaklığında kokusuz, beyaz renkli, kristal katı bir kimyasaldır. Kimyasal yapısı Şekil 2.5'te gösterilen akrilamid, C_3H_5NO kapalı formülüne sahiptir ve moleküler ağırlığı 71.08 g/mol'dür (Youssef vd. 2004). Polar bir molekül olan akrilamid (Guenther vd. 2007), suda (30°C'de 2155 g/L) ve diğer polar çözücülerde kolayca çözünmektedir (Youssef vd. 2004).

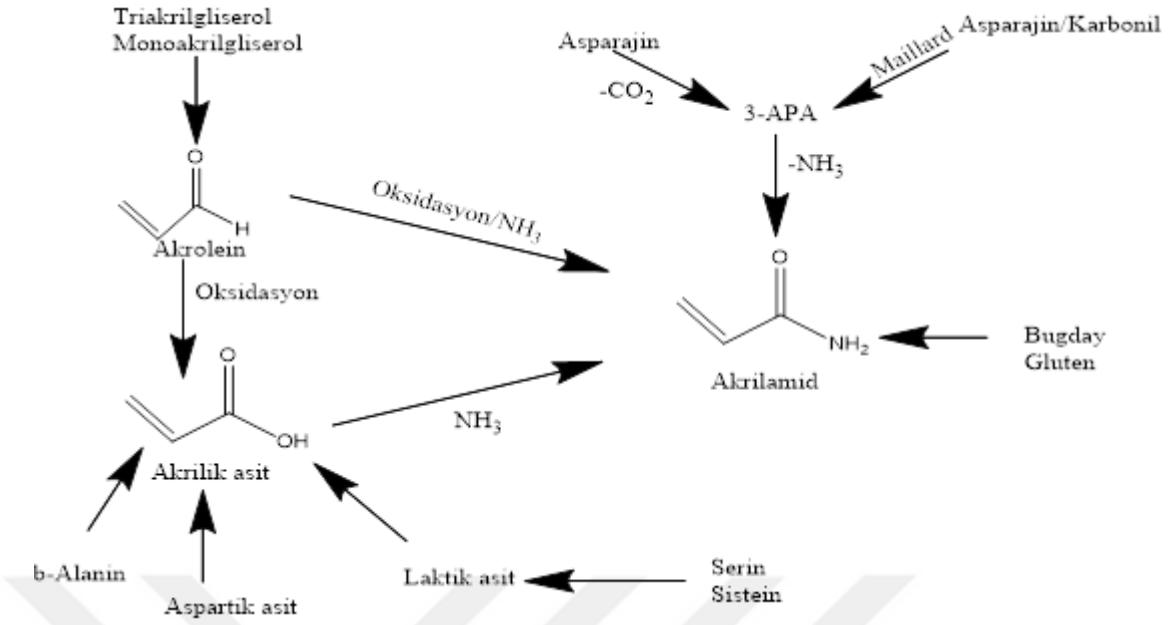


Şekil 2.5. Akrilamidin kimyasal yapısı

Akrilamid bileşiğinin, pişirme sırasında gıdalara uygulanan yüksek sıcaklığın etkisiyle bu gıdaların nem seviyelerinin düşmesi sonucunda oluştuğu kabul edilmekte (Borda ve Alexe 2011), bu oluşum genellikle 120°C'nin üzerinde gerçekleşmektedir (Codina vd. 2021; Stojanovska ve Tomovska 2015). Gıdalardaki akrilamid oluşumu; bir Schiff bazı içeren ara ürünler yoluyla ilerleyen, öncelikle asparajin olmak üzere aminoasitler ve bir reaktif karbonil grubu bulunduran glikoz gibi bileşikler arasında meydana gelen Maillard reaksiyonuyla gerçekleşmektedir (Claeys vd. 2005). Schiff bazı ara ürünü, akrilamid oluşumu için güçlü bir öncü bileşik olan 3-aminopropionamid (3-APA) oluşturmak üzere hidrolize olabilmekte ya da doğrudan akrilamid oluşturmak için 1,2-eliminasyona uğrayabilmektedir (Borda ve Alexe 2011).

Maillard reaksiyonu, gıdalarda çok sayıda tat ve aroma bileşeninin de üretildiği karmaşık bir reaksiyondur (Taeymans vd. 2004). Maillard reaksiyonu üzerinde etkili olan pH, nem içeriği ve su aktivitesi gibi faktörler, aynı zamanda akrilamid oluşumunu da etkilemektedir. Akrilamid oluşumu için optimum pH değeri, 7.00-8.00 civarındadır. Nem içeriği yüksek ürünlerde akrilamid oluşumunun oldukça düşük olduğu ve kuru bir gıdada, nem içeriği %10 olan bir gıdaya göre 10 kat daha fazla akrilamid oluşumu gerçekleştiği belirtilmektedir (Claeys vd. 2005). Akrilamid oluşumunu etkileyen diğer faktörler; karbonhidrat ve protein açısından açısından zengin gıda bileşimi, indirgen şeker ve aminoasit çeşididir (Claeys vd. 2005; Stojanovska ve Tomovska 2015).

Maillard reaksiyonu yoluyla akrilamid oluşumu için yaygın olarak kabul edilen asparajin/karbonil kaynağı mekanizması ve farklı akrilamid oluşum mekanizmaları Şekil 2.6'da verilmiştir.



Şekil 2.6. Asparajin/karbonil kaynağı mekanizmasıyla akrilamid oluşumu ve farklı akrilamid oluşum mekanizmaları (Guenther vd. 2007)

Maillard reaksiyonunda aspartik asit, akrilik asidin omurgasını oluşturmakta; ayrıca uygun bir dekarboksilasyon/deaminasyon yolu izleyerek, şekerler ya da herhangi bir karbonil kaynağı olmaksızın akrilik asidi serbest bırakabilmektedir. Asparajin aminoasidi ile birlikte, L-alanin ve L-arginin gibi diğer aminoasitler de 180°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda akrilik asidi serbest bırakma yeteneğine sahip olup, bunların akrilik asit verimi genellikle aspartik asitin verimi ile benzerlik göstermektedir (Guenther vd. 2007; Yaylayan ve Stadler 2005).

Yaylayan ve Stadler (2005) ve Guenther vd. (2007) ayrıca serin ve sistein gibi aminoasitlerin uygulanan ısıl işlem sonucunda piruvik asit yoluyla laktik asite dönüşebileceğini ve bu dönüşüm sonrasında ortamda amonyak bulunması durumunda laktamid, laktamidin dehidrasyonuyla da akrilamid oluşumunun gerçekleşebileceğini bildirmişlerdir.

Akrilamid oluşumuna etki eden faktörlere ve ayrıca uygulanan işleme tekniklerine bağlı olarak, farklı gıdalarda farklı miktarlarda akrilamid oluşumu gerçekleştiği bilinmektedir. Bu gıdalar içerisinde ekmek, nispeten düşük seviyede akrilamid içeriğine sahiptir. Ancak dünyanın birçok bölgesinde ekmeğin temel bir gıda maddesi olarak beslenmede sıklıkla kullanılması nedeniyle, diyetle alınan toplam akrilamid miktarının yaklaşık %25'ini ekmek tüketimine bağlı olarak alınan akrilamid oluşturmaktadır. Bu nedenle de ekmekteki akrilamid seviyesinin azaltılması, yıllardır önemini hiç kaybetmeyen bir konu halini almıştır (Codina vd. 2021).

2.5. Ekmek Pişirmede Kullanılan Bazı Pişirme Teknikleri ve Bu Pişirme Tekniklerinin Ekmeklerin Proses Kontaminantları Üzerine Etkisi

HMF ve akrilamid gibi proses kontaminantlarının, tüm dünyada farklı içerik ve şekillerde sıklıkla tüketilen ekmek gibi bir gıdada fazlaca bulunması toplum sağlığı açısından büyük risk oluşturmaktadır.

İnsanlar için besin kaynağı olarak ve yemek kültürü açısından önemli bir konuma sahip olan, toplumun gelişmişlik düzeyi ve ihtiyacı doğrultusunda tüketilen miktar farklılık gösterse de birey için alınması gereken enerji miktarının önemli bir kısmını sağlayan ekmeğin (Koca ve Yazıcı 2014) bu kadar önemli olmasında beslenmedeki rolü kadar, içeriğinin ve pişirme yönteminin de büyük etkisi bulunmaktadır (Dündar Arıkan ve Özkeşkek 2019). Günümüzde genel olarak ihtiyaç ve istekler doğrultusunda arttığı düşünülen ekmek çeşidinin artışından sorumlu olan bir diğer önemli etken de pişirme yöntemlerindeki farklılaşmalardır (Koca ve Yazıcı 2014).

Ekmek pişirme işleminde genel olarak geleneksel yöntemler kullanılmaktadır. Geleneksel yöntemlerde ısı, ekmek ile temas eden yüzeylerden kondüksiyonla, ısıtma ortamından konveksiyonla ve fırın duvarlarından da radyasyonla ürün yüzeyine ve buradan da merkeze iletilmektedir (Demirekler vd. 2004; Kosemani vd. 2021).

Eski dönemlerde ekmek; günlük ihtiyacı karşılayan fırınlarda, kırsal bölgelerdeki ev fırınlarında, su buğusunda, küle gömülerek, sac üzerinde ya da tandır ocaklarında pişirilen bir gıda iken, günümüzde bu teknikler nadir de olsa kırsal bölgelerde sürdürülmekte ve ekmek için yörelere özgü geleneksel pişirme yöntemlerinin yerini daha büyük ölçekli fırınlar ve teknolojik pişirme yöntemleri almaktadır (Dündar Arıkan ve Özkeşkek 2019).

2.5.1. Geleneksel taş fırınlarda ekmek pişirme işlemi

Günümüzde geleneksel olarak ekmek, simit ve pide gibi fırın ürünlerinin pişirilmesinde halen kullanılmakta olan taş fırınlar, pişirilmiş tuğlalarla inşa edilmektedir. Ayrıca, farklı malzemelerin katkılanmasıyla elde edilen topraklar kullanılarak da yüksek ısıya dayanan benzer fırınlar yapılabilmektedir (Köpüklü 2021).

Ekşi hamur ekmeği üretiminde önemli bir konum haline gelen Isparta'da ekmekler, geleneksel taş fırınlarda üretilmektedir ve bu fırınlarda üretilen ekmeklerin yöre halkı tarafından tüketimi de oldukça yüksek olmaktadır (Gül vd. 2021).

Taş fırınlarda yakıt türü olarak odun ya da gaz kullanılabilmekte, kullanılan yakıt türüne göre burada pişirilen ekmeğin özellikleri de değişiklik göstermektedir. Yakıt türü olarak odun kullanıldığında ekmeklerde meydana gelen ani yüzey kuruması nedeniyle Maillard reaksiyonunun daha fazla gerçekleşmesine bağlı olarak daha koyu renkli, gaz kullanıldığında ise daha açık renkli ekmekler üretildiği bildirilmektedir. Ayrıca yakıt türü olarak odun kullanılan fırınlarda üretilen ekmeklerin lezzet üzerinde olumlu yönde etki gösteren aromatik bileşen sayısının da daha fazla olduğu belirlenmiştir (Bianchi vd. 2008).

2.5.2. Elektrikli konveksiyonel fırınlarda ekmek pişirme işlemi

Elektrikli fırınlar; yüksek dayanıklılığa sahip olmaları, kısa vadede verimliliklerinin yüksek olması, kolay temin edilebilmeleri, nispeten ucuz olmaları, taşınabilir özellikte olmaları, kurulum, bakım ve kullanımlarının kolay olması gibi nedenlerle uzun yıllardan beri büyük ilgi görmektedir (Olugbade ve Ojo 2018).

Elektrikli fırınlar temel olarak, elektrik enerjisini ısı enerjisine dönüştürmesi yoluyla gıdaların pişirilmesi için kullanılan bir ısıtma aracıdır. Bu fırınlar, fırın sıcaklığını üst, alt veya arka ızgara elemanları ile elektronik olarak kontrol eden bir termostat içermektedir. Fırın sıcaklığı, ürünü hazır hale getirmek için kullanılan bileşenlere; pişirme süresi ise maddenin boyutuna, şekline ve fırının sıcaklığına bağlı olarak değişkenlik göstermektedir (Ologunye vd. 2020).

Pişirme işlemi boyunca ısı transferi radyasyon, kondüksiyon ve konveksiyon ile gerçekleşmektedir. Elektrikli fırınlarda radyasyonla gerçekleşen ısı transferi daha baskındır. Radyasyonla ısıtma, yüzeyin emisyonuna bağlıdır ve emisyon ne kadar yüksekse, ısıtma hızı o kadar yüksek olmaktadır. Bu fırınlarda; fırın içerisindeki hava, ısı kaynağı ve fırın duvarlarının sıcak metal kısımları ile temas ederek konveksiyonla ısınmakta, ısınan havadan ürün yüzeyine ısı transferi yine konveksiyon ile gerçekleşmekte ve ürün içerisine ise kondüksiyon ile transfer edilmektedir (Chhanwal vd. 2010).

Bu fırınların içindeki ısıtma profillerinin eşit olmaması nedeniyle aynı fırın içerisinde aynı anda pişirilen ürünlerin renk ve nem içeriğinde farklılıklar meydana gelebilmektedir. Oluşan bu farklılıkların en aza indirilebilmesi için, fırının ürüne uygun olarak tasarlanması ve hava sıcaklığı, ısıtma gücü, pişirme süresi ve ekmeğin boyutu gibi parametrelerin standart ve ürüne uygun hale getirilmesi gerekmektedir (Chhanwal vd. 2010).

Bu sorunlar, pişirme süresince belirlenen zaman aralıklarıyla fırın içerisine belirli miktarda su buharı enjekte edecek şekilde tasarlanan buhar destekli hibrit fırınlar kullanılarak aşılabilmekte ve bu fırınlarla tekstürel anlamda daha homejen bir pişirme işlemi sağlanabilmektedir (Isleroglu ve Kaymak-Ertekin 2016; Kemerli vd. 2011). Pişirme sırasında fırın içerisine enjekte edilen buhar miktarının ekmeğin ve özellikle de ekmek kabuğunun yapısı üzerinde etkili olduğu (Dessev vd. 2020), ayrıca buhar destekli hibrit fırınlarda pişirilen ürünlerin akrilamid içeriklerinin de elektrikli konveksiyonel fırınlarda pişirilen ürünlere göre daha düşük olduğu belirtilmektedir (Isleroglu vd. 2012; Sakin-Yilmazer vd. 2013).

2.5.3. Buharla ekmek pişirme işlemi

Dünyada buharda ekmek pişirme işleminin en yaygın kullanıldığı ülke Çin'dir. Buradaki insanlar için temel gıda maddesi olarak önemli yere sahip olan buharda pişirilmiş ekmek, HMF ve akrilamid gibi toksik Maillard reaksiyon ürünlerini içermemesi nedeniyle sağlıklı bir gıda olarak kabul edilmektedir (Zhu 2014). Bu ekmeklerin formülasyonunda genellikle rafine buğday unu kullanılmakta (Zhu 2019) ve üretim sırasında buharda pişirme sıcaklığının (100°C) diğer pişirme tekniklerinde kullanılan sıcaklıklara göre nispeten düşük olmasıyla, bu undan elde edilen hamurda var olan ve pişirme öncesi bu hamura ilave edilen çeşitli besin bileşenlerinin, elektrikli konveksiyonel fırınlarda ya da taş fırınlarda normal şekilde pişirilmiş ekmeklere kıyasla daha iyi korunabileceği değerlendirilmektedir (Zhu 2014).

Ancak bu pişirme tekniği kullanılarak üretilen buharda pişirilmiş ekmeklerin de dezavantajı, normal şekilde pişirilmiş ekmeğe kıyasla daha yüksek nem içeriğinde

olmaları nedeniyle nispeten daha kısa bir raf ömrüne ve daha hızlı bayatlama eğilimine sahip olmalarıdır (Zhu 2014).

Sonuç olarak; geleneksel pişirme teknikleri olan ve ekmek pişirmek için en sık kullanılan taş fırında pişirme ve elektrikli konveksiyonel fırınlarda pişirme işlemleri ile uygulanan yüksek sıcaklığa bağlı olarak çok kalın, aynı zamanda HMF ve akrilamid gibi proses kontaminant içeriği yüksek kabuk oluşumunun meydana gelmesi ve ekmekteki besin bileşenlerinin kaybolması; buharla pişirme tekniği ile ise yaklaşık 100°C civarındaki su buharıyla yapılan pişirmede ekmek içinde nişasta jelatinizasyonunun tam anlamıyla gerçekleşmemesine bağlı olarak raf ömrünün kısalması nedenleriyle ekşi hamur mikroorganizma metabolitlerini ve besin bileşenlerini mümkün olduğunca koruyabilecek, ekşi hamur ekmeği kabuk kalınlığını ve proses kontaminantları içeriğini azaltabilecek, buharda pişirme yöntemi ile atmosferik basınçta 100°C'den çok daha yüksek bir sıcaklıkta pişirme yaparak daha yüksek oranda nişasta jelatinizasyonunu hedefleyen ve bu nedenle de raf ömrünü olumlu yönde etkileyebilecek pişirme teknikleri üzerine araştırmalar yapılması gerektiği değerlendirilmektedir.

3. MATERYAL VE METOT

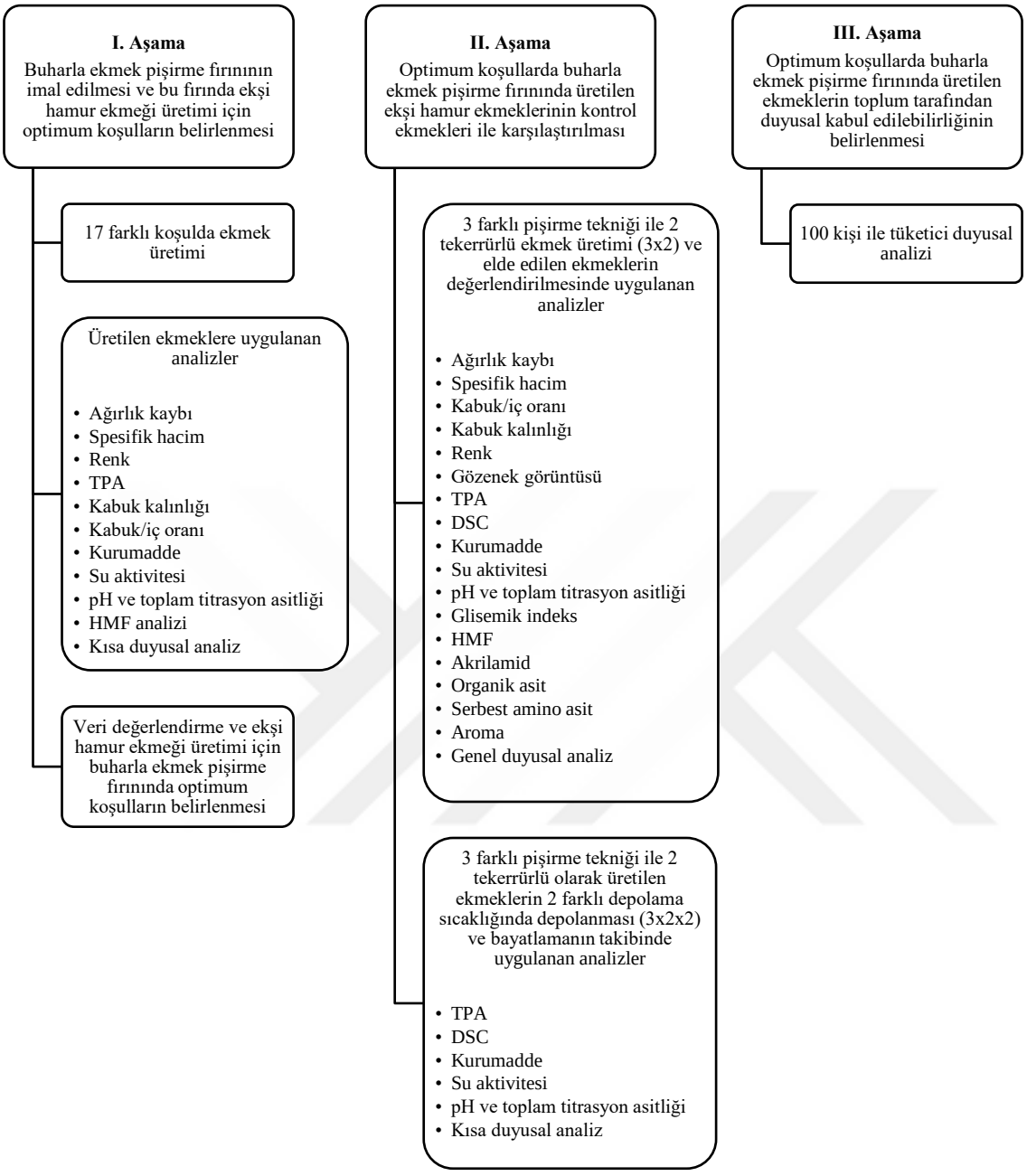
3.1. Materyal

Araştırmada ekşi hamur ekmeği üretimi için; Isparta ekşi hamur ekmeği imalatında kullanılmak üzere özel olarak üretilmiş olan özel amaçlı un (Tandırlık un, Hediye Un Fabrikası İmalat Sanayi ve Ticaret A.Ş., Isparta, Türkiye) ekmek mayası (Pakmaya, Pak Gıda Üretim ve Pazarlama A.Ş., İzmit, Türkiye), tuz (Billur tuz, Rafine Billurtuz Sanayi A.Ş., İzmir, Türkiye) ve iyi kalitede içme suyu kullanılmıştır. Araştırmada kullanılan ekşi hamur; geleneksel olarak Isparta ekşi hamur ekmeği üreten 7 farklı yerel fırından temin edilen 7 farklı örneğin eşit oranda birleştirilmesi ile oluşturulan temsili ekşi hamur mayasının, her 24 saatte bir aşılanıp 30°C'de inkübasyona bırakılması sonucu 72 saat sonunda elde edilmiştir. Kimyasal (Merck, Darmstadt, Almanya; Sigma, Taufkirchen, Almanya) mikrobiyolojik (Merck, Darmstadt, Almanya; Biokar Diagnostics, Solabia Groupe, Allonne, Fransa) ve enzimatik (Megazyme Ltd., Co Wicklow, İrlanda) analizler için gerekli olan malzemeler, analizin niteliğine göre analitik, kromatografik ve mikrobiyolojik saflıklarda temin edilmiştir.

3.2. Metot

3.2.1. Araştırma planı ve istatistiksel yöntemler

Bu araştırma 3 temel aşamalı olarak gerçekleştirilmiş olup araştırma planının şematik görünümü Şekil 3.1'de verilmiştir.



Şekil 3.1. Araştırma planının şematik görünümü

Araştırmanın birinci aşamasında; araştırma kapsamında tasarlanan yüksek sıcaklıklı buharla ekmek pişirme fırını ile patent başvurusu yapılmış, bu fırının prototipi üretilmiş ve bu buharla ekmek pişirme fırınında üretilen ekşi hamur ekmekleri için optimum üretim koşullarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, Design Expert® 11.0.0 (Stat-Ease Inc., Minneapolis, ABD) programında yanıt yüzey metodunun merkezi kompozit tasarım (central composite design, CCD) istatistik yöntemi kullanılmıştır. Optimizasyon için hamur formülasyonuna eklenen su miktarı, pişirme sıcaklığı (°C) ve pişirme süresi (dk) değişken faktörler olarak değerlendirilmiştir.

Hamur formülasyonuna eklenecek su miktarının değişken faktör olarak belirlenmesinin nedeni, buharda pişirme sırasında ortamda bulunan su buharının, ekmeğin pişirme sırasında meydana gelen nem kaybına önemli oranda engel olmasıdır. Yapılan ön denemelerde, pişirme ve pişirmeyi takip eden dinlendirme sırasında geleneksel fırınlarda pişirilmiş ekmeklerde toplam ağırlığın yaklaşık %15'i kadar gerçekleşen nem kaybının, buharda pişirilmiş ekmeklerde toplam ağırlığın ancak %1-4'ü kadar olduğu tespit edilmiştir. Bu nedenle buharda pişirilmiş ekmeğin son su içeriğinin kolay bozulmanın önüne geçilebilecek şekilde kalabilmesi için hamura başlangıçta ilave edilen su miktarının optimize edilmesi gerekmektedir.

Değişken faktörlerin sınır değerleri; hamur formülasyonuna eklenen su için unun farinografla belirlenen su içeriği (FSİ) değerinin %80'i ila %100'ü, pişirme sıcaklığı için 100°C ila 200°C ve pişirme süresi için ise 20 dk ila 50 dk olarak belirlenmiştir. Değişken faktörlerin sınır değerleri, düşük su içeriğinde hamur yoğurma ön denemeleri ve araştırma kapsamında imalatı yapılan buharla ekmek pişirme fırınında gerçekleştirilen pişirme ön denemeleriyle oluşturulmuştur. Ayrıca buharla ekmek pişirme fırınında ekmek pişirme işleminin optimizasyonu için en uygun ekmek gramajının belirlenmesi amacıyla da ön denemeler gerçekleştirilmiştir.

Ön denemelerle belirlenen değişken faktörlerin sınır değerleri kullanılarak ve orta noktanın 3 kez tekrarlanması ile toplam 17 üretimlik bir deneme deseni oluşturulmuştur. Oluşturulmuş olan deneme deseni için; ekmeklerin kabuk HMF içeriği, kabuk rengi L^*, TPA-sertlik ve TPA-esneklik değerleri yanıt olarak tanımlanmıştır.

HMF, serbest amino grubu içeren bileşikler ile indirgen şekerler bakımından zengin olan gıdaların işlenmesi sırasında uygulanan yüksek sıcaklığın etkisiyle meydana gelen Maillard reaksiyonu ürünlerinden biri olup (Gülcan vd. 2020), bu bileşiğin miktarı üretimde oluşan proses kontaminantlarının kantitatif olarak değerlendirilebilmesini sağladığı için; renk analizi çıktılarından biri olan ve ekmeğin rengindeki beyazlığı ifade eden L^* değeri ise (Mapari vd. 2006), yine gıdaların işlenmesi sırasında uygulanan ısıl işlemle birlikte ürünlerde meydana gelen esmer ve koyu renkle karakterize olan proses kontaminantlarının (HMF ve akrilamid) düzeyi hakkında fiziksel olarak ayrım yapılmasına imkan sağladığı için yanıt olarak değerlendirilmiştir.

Sertlik, ekmeklere uygulanan tekstür profil analizi çıktılarından biri olup ilk sıkıştırmada ölçülen maksimum kuvveti ifade ederken; tekstür profil analizi çıktılarından bir diğeri olan esneklik ise ekmeğin sıkıştırılması işlemi sonrasında üzerinden yük kaldırıldığında orijinal boyutuna geri dönebilme durumunu ifade etmektedir. Buharla ekmek pişirme fırınında üretilen ekmeklerin sertlik ve esneklik değerleri ekmeğin pişme durumu hakkında bilgi verdiği için deneme deseni yanıtı olarak kullanılmıştır.

Buharla ekmek pişirme fırınında üretilen ekmeğin üretim koşullarının optimizasyonunda kullanılan deneme deseni Çizelge 3.1'de verilmiştir. Deneme deseninde kullanılan istatistiksel modelin validasyonu 2 tekerrür ile yapılmıştır.

Çizelge 3.1. Buharla ekmek pişirme fırınında üretilecek ekmeğin üretim koşullarının optimizasyonunda kullanılan deneme deseni

Deneme	Su içeriği (%)	Pişirme sıcaklığı (°C)	Pişirme süresi (dk)
1	100	200	20
2	90	150	50
3	80	150	35
4	100	200	50
5	80	200	50
6	100	100	50
7	90	100	35
8	100	150	35
9	80	100	20
10	100	100	20
11	90	200	35
12	90	150	35
13	80	100	50
14	90	150	20
15	80	200	20
16	90	150	35
17	90	150	35

Araştırmanın ikinci aşamasında; optimum üretim koşulları belirlenen buharda pişirilmiş ekşi hamur ekmeği tekrar üretilerek, biri elektrikli konveksiyonel fırında diğeri ise geleneksel taş fırında olmak üzere 2 farklı geleneksel pişirme yöntemi ile üretilen kontrol ekşi hamur ekmekleri ile kıyaslanmıştır. Üretilen ekmeklerin özelliklerinin kıyaslanmasında; elde edilen tüm ekşi hamur ekmeklerine 0. gün için ağırlık kaybı, spesifik hacim, renk, kabuk kalınlığı, kabuk/iç oranı, tekstür profil analizi (TPA), diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC-differrential scanning calorimetry), nem içeriği, su aktivitesi, pH ve toplam titrasyon asitliği (TTA), glisemik indeks, HMF, akrilamid, organik asit, serbest amino asit, aroma analizleri ve genel duyusal analiz uygulanmıştır. Bu üç ekşi hamur ekmeği, kraft kağıt ve polietilen materyalden oluşturulmuş olan uzun ömürlü ekmek ambalajı içerisinde oda şartlarını temsilen 25°C'de ve buzdolabı şartlarını temsilen 4°C'de olmak üzere iki farklı sıcaklıkta depolanmış ve bayatlama, kısa duyusal analiz sonuçlarına göre ekşi hamur ekmeklerinin duyusal olarak tüketilemez olduğu duyusal analiz zamanı olarak kabul edilmiştir. Depolanan bu örneklerde bayatlamaya bağlı olarak tespit edilen 7 günlük raf ömrü boyunca 0. güne ek olarak ayrıca depolamanın 1., 3. ve 7. günlerinde DSC analizi; 1., 2., 3., 6. ve 7. günlerinde ise TPA, pH ve TTA analizleri ile birlikte kısa duyusal analiz gerçekleştirilmiştir.

Araştırmanın bu aşaması 3x2 deneme desenine göre iki tekerrürlü (3 pişirme tekniği x 2 tekerrür), analizler ise üretildikten sonra 2 saat dinlendirilmiş ekşi hamur ekmekleri üzerinde paralelli olarak gerçekleştirilmiştir. Üretilen ekmeklerin depolama

işlemi 3x2x2 deneme desenine göre (3 pişirme tekniği x 2 depolama sıcaklığı x 2 tekerrür) gerçekleştirilmiş olup, ikinci aşamadan elde edilen tüm verilere varyans analizi ve önemli bulunan varyasyon kaynaklarına Duncan çoklu karşılaştırma testi uygulanmıştır.

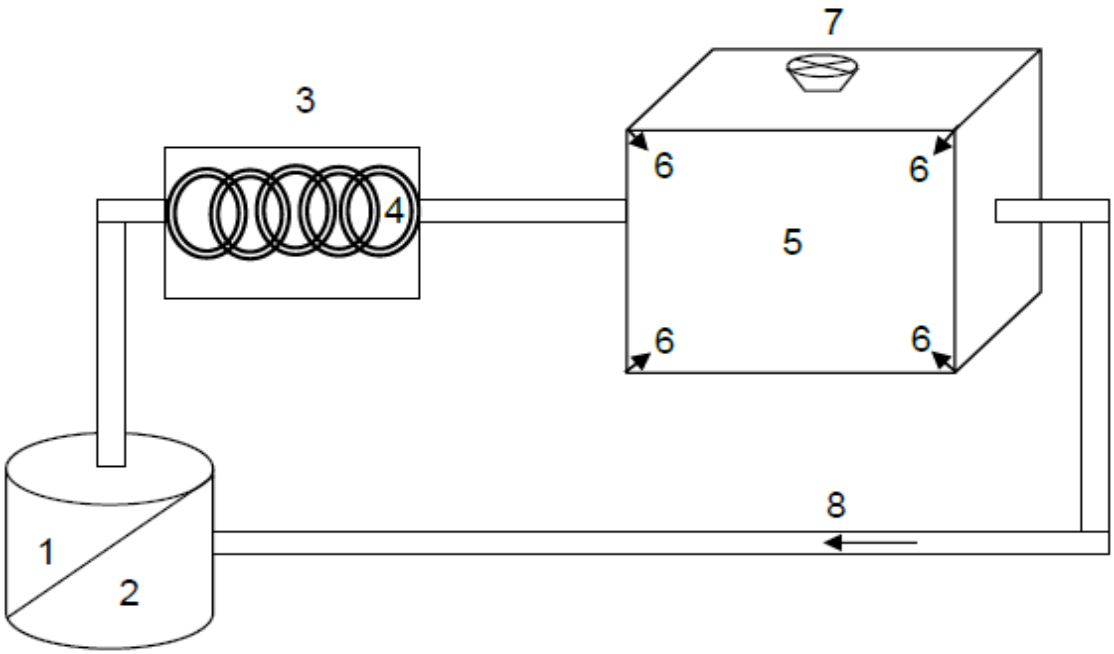
Araştırmanın üçüncü aşamasında ise belirlenen optimum koşullarda buharda pişirilerek üretilen ekşi hamur ekmeklerinin toplum tarafından duyusal kabul edilebilirliği bir survey çalışmasıyla araştırılmıştır.

Tüm araştırmada sonuçlar, ortalama ± standart hata halinde düzenlenerek çizelge ve grafikler üzerinden tartışılmıştır.

3.2.2. Buharla ekmek pişirme fırınının tasarımı

Araştırma kapsamında üretilecek fırın temelde; su kazanında bir buhar jeneratörü vasıtasıyla üretilen ve buradan yaklaşık 100°C'de çıkan su buharının, içerisinde serpantin bulunan kızgın yağ banyosundan geçirilerek sıcaklığının yükseltilmesini ve bu yüksek sıcaklıklı buharın ekmek pişirme işleminde kullanıldıktan sonra su kazanına taşınarak kapalı döngüde tekrar tekrar kullanılabilmesini sağlayacak şekilde tasarlanmış ve tasarlanmış olan bu fırının patentlenmesi amacıyla "Atmosferik Basınç ve Yüksek Sıcaklıklı Buharda Ekmek Pişirmek için Yeni Bir Fırın Tasarımı" buluş başlığı ve 2018-04023 başvuru numarası ile Türk Patent ve Marka Kurumu'na müracaat edilmiştir. Fırın tasarımına ait görsel Şekil 3.2'de verilmiştir. Ancak gerek maddi gerekse üretici firma konusundaki imkansızlıklar nedeniyle üretim sırasında fırın tasarımında birtakım değişiklikler yapılmış ve bu değişiklikler doğrultusunda fırının imalatı tamamlanmıştır.

Şekil 3.2'de 1 buhar jeneratörü, 2 su kazanı, 3 kızgın yağ banyosu, 4 serpantin, 5 pişirme kabini, 6 buhar püskürtme kanalları, 7 atmosferik valf ve 8 izolasyonlu buhar borusu cihaz kısımlarını göstermektedir.



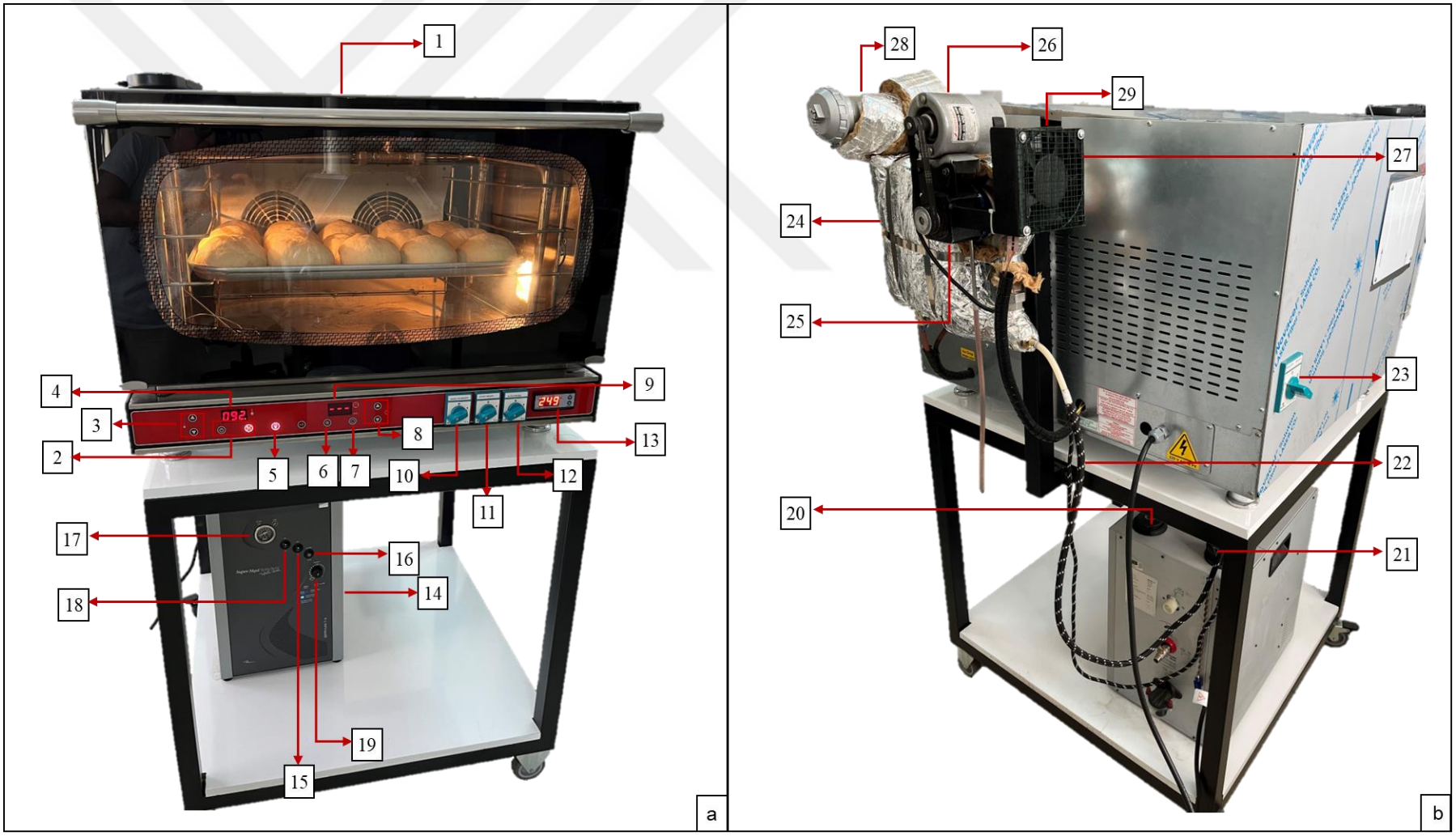
Şekil 3.2. Patentlenmek üzere 2018-04023 başvuru numarası ile Türk Patent ve Marka Kurumu'na başvurusu yapılan fırın tasarımına ait görsel

Araştırmada kullanılan sistem; buhar makinesi, buhar kızdırma ünitesi içerisinde elektrikli bir rezistans ile kombine edilen ısıtıcı yüzey ve atmosferik basınca duyarlı bir valfe sahip pişirme kabini arasında atmosferik koşullarda kapalı devre çalışacak şekilde, ısıl izolasyona ve sistem kontrol elemanlarına sahip olarak tasarlanmış ve özel olarak imal ettirilmiştir. Buharla ekmek pişirme fırınının ön (a) ve arka (b) görünüşüne ait fotoğraflar ve cihaz kısımlarına ait açıklamalar Şekil 3.3'te, iç görünüşüne ait fotoğraflar ve cihaz kısımlarına ait açıklamalar Şekil 3.4'te verilmiştir.

Araştırma kapsamında tasarlanarak imalatı yapılan buharla ekmek pişirme fırını temel olarak; yaklaşık 120°C'de 2.5-4 bar basınçta buhar üretebilen, su haznesine sahip buhar makinesi ve buhar iletim sistemi, 5 adet 20 cm'lik çelik borunun bükülerek birbirine kaynatılması ile oluşturulmuş ve elektrikli rezistansla kombine edilmiş ve içinden geçen buharın sıcaklığını 210°C'ye kadar yükseltebilen izolasyonlu buhar kızdırma ünitesi, izolasyonlu kızgın buhar taşıma ve aktarma boruları, buhar sirkülasyon fanı ve atmosferik basınca duyarlı bir valfe sahip iç boyutu 60x80x60 cm olan pişirme kabininden oluşmaktadır.

Tasarlanan buharla ekmek pişirme sistemi ile; buhar makinesinde üretilen buhar, buhar iletim sistemi aracılığıyla elektrikli bir rezistans ile çalışan buhar kızdırma ünitesinden geçirilmekte ve buharın sıcaklığı yükseltilmektedir. Elde edilen yüksek sıcaklıklı buhar, pişirme kabininin iç kenarlarına yerleştirilen delikli borularla homojen olarak pişirme kabini içerisine dağıtılarak ekmeklerin pişirilmesinde kullanılmaktadır. Sistemin sıcaklık kontrolü, buhar kızdırma ünitesinden çıkarak pişirme kabinine giren buhar sıcaklığının sistem içerisine yerleştirilen termometreler yardımıyla ölçülerek sistem göstergelerinden okunmasıyla ve pişirme kabininin iç kenarlarındaki borularda bulunan deliklerden buhar sıcaklığının harici bir dijital fırın termometresi kullanılarak ölçülmesiyle gerçekleştirilmiştir.

Şekil 3.3'te; 1 pişirme kabini, 2 fırın açma/kapama, 3 pişirme kabini sıcaklık ayarı, 4 pişirme kabini sıcaklık göstergesi, 5 pişirme kabini aydınlatma lambası, 6 pişirme kabini soğutma, 7 zamanlayıcı açma/kapama, 8 zaman ayarlayıcı, 9 zaman göstergesi, 10 buhar fan kontrol pako şalteri, 11 buhar yükleme pako şalteri, 12 iç fan kontrol pako şalteri, 13 buhar kızdırma ünitesi sıcaklık ayarı ve göstergesi, 14 buhar makinesi, 15 buhar makinesi açma/kapama, 16 buhar basınç ayarı, 17 buhar basınç göstergesi, 18 buhar açma, 19 buhar debisi ayarı, 20 buhar makinesi su haznesi, 21 buhar makinesi buhar çıkışı, 22 buhar makinesi buhar iletim borusu, 23 fırın/buhar ısıtma modu pako şalteri, 24 buhar kızdırma ünitesi, 25 buhar sirkülasyon fanı, 26 buhar sirkülasyon fan motoru, 27 buhar sirkülasyon fan motoru soğutma fanı, 28 pişirme kabini içerisine yüksek sıcaklıklı buhar girişi (dış görünüm), 29 atmosferik basınca duyarlı valf; Şekil 3.4'te ise 30 pişirme kabini içerisine yüksek sıcaklıklı buhar girişi (iç görünüm), 31 yüksek sıcaklıklı buhar dağıtım hattı, 32 yüksek sıcaklıklı buhar püskürtme delikleri, 33 fırın iç fanı cihaz kısımlarını göstermektedir.



Şekil 3.3. Araştırma kapsamında üretilen buharla ekmek pişirme fırınının ön (a) ve arka (b) görünüşüne ait fotoğraflar



Şekil 3.4. Araştırma kapsamında üretilen buharla ekmek pişirme fırınının iç görünüşüne ait fotoğraflar

3.2.3. Buharla ekmek pişirme fırınının kullanılması

Cihaz çalıştırılırken ilk olarak buhar makinesinin su haznesi (9 L) saf su ile doldurulmuş ve buhar makinesi açılarak sisteme enerji verilmiştir. Buhar makinesi gerekli miktardaki suyu pompa ile otomatik olarak buhar kazanına alıp ısıtmaya başlarken, buhar makinesinde buhar basıncı 4 bar olacak şekilde ayarlandıktan sonra ısınma ve gerekli basınçtaki buharın hazır olması için göstergeler takip edilerek bir süre beklenmiştir. Bu bekleme sırasında pişirme kabinine gönderilecek yüksek sıcaklıklı

buhardan dolayı oluşabilecek yoğuşmayı en aza indirmek için, cihazda bulunan pako şalter "Fırın Isıtma" moduna getirilerek pişirme kabininin içi 100°C'ye ısıtılmıştır. Pişirme kabinin içi ısıtıldıktan sonra cihazdaki pako şalter "Buhar Isıtma" moduna getirilerek, 20 cm uzunluğundaki 5 adet çelik borunun ısıtma yüzeyi sağlamak için bükülerek kıvrımlı şekilde birbirine kaynatılması ile oluşturulmuş elektrikli rezistansa sahip buhar kızdırma ünitesine enerji verilmiştir. Buhar kızdırma ünitesinin sıcaklığı 100-360°C arasında istenen değere ayarlanarak ısıtıldıktan sonra, istenen basınçtaki buhar da hazır olduğunda, buhar makinesinin buhar valfi açılarak buhar kızdırma ünitesine gönderilen buhar debisi ayarlanmıştır. Buhar makinesinde üretilmiş olan, yaklaşık 120°C'deki ve 4 bar basınca sahip buhar, sıcaklığını bir miktar kaybederek buhar iletim sistemi vasıtasıyla buhar kızdırma ünitesine gelmiş ve burada elektrikli bir rezistans yardımıyla 100-360°C'ye ayarlanabilen ısıtma yüzeyinden geçirilerek sıcaklığı pişirme işlemi için istenen değere ayarlanmıştır. İstenen koşullar elde edildikten sonra yüksek sıcaklıklı buharın pişirme işleminde kullanılmak üzere pişirme kabini içerisine aktarılmasını sağlamak için "Buhar Yükleme" pako şalteri açılmıştır. Buhar iletiminin düzenli bir şekilde sağlanabilmesi için "Buhar Fan Kontrol" pako şalteri aralıklarla açılarak buhar sirkülasyon fanı devreye alınmıştır. Buhar sirkülasyon fanı ile pişirme kabini içerisine düzenli bir şekilde yönlendirilen yüksek sıcaklıklı buhar, pişirme kabininin iç kenarlarına yerleştirilen delikli borular vasıtasıyla kabin içerisine gönderilerek ekmek pişirme işleminde kullanılmıştır.

Fırın içerisindeki oksijenin tahliye edilebilmesi için hazırlanan hamurlar fırına yerleştirilmeden 10 dk önce fırına buhar yükleme işlemine başlanmıştır. Daha sonra pişirilecek hamurlar delikli ekmek tepsileri ile fırına yerleştirilerek buhar yüklemeye aralıksız devam edilmiş ve bu şekilde ekmek pişirme işlemi gerçekleştirilmiştir.

3.2.4. Ekşi hamurların temin edilmesi ve aktifleştirilmesi

Araştırma kapsamında kullanılan ekşi hamurlar Isparta ilinde bulunan ve geleneksel olarak ekşi hamur ekmeği üreten 7 farklı fırından temin edilmiş ve temin edilen bu ekşi hamurlar soğuk zincir kullanılarak laboratuvara getirildikten sonra herbiri parçalara ayrılarak -40°C'de depolanmıştır. Ekşi hamurlara ortamdan ya da kullanılan malzemelerden mikrobiyal bulaş olmaması için ekşi hamur ile temas eden tüm malzemeler (su dahil) steril edildikten sonra kullanılmıştır.

Depolanan ekşi hamurların her biri, olgun bir ekşi hamur üretmek üzere -40°C'den çıkarılarak 216 saat boyunca 24 saatte bir hamur verimi 250 olacak şekilde aşılanmıştır. Bunun için; temin edilen ekşi hamurların oluşturulmasında 100 birim una yaklaşık 60 birim su ilave edildiği tespit edilmiş ve 250 hamur veriminin sağlanması için ilave edilecek su miktarı Eşitlik 3.1 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$Hamur\ verimi = \frac{Un + Su}{Un} x100 \qquad (3.1)$$

Hamur verimini hesaplamak için ilk olarak; 160 g hamurda 60 g su bulunduğu tespitinden hareketle, 10 g hamurda 3.75 g su ve 6.25 g un bulunduğu hesaplanmıştır. Bu hesap doğrultusunda 0. saat aşılaması için yukarıdaki formül kullanılarak 250 hamur verimine ulaşmak amacıyla 40 g un ve 10 g ekşi hamur ile oluşturulan karışıma eklenmesi gereken su miktarı Eşitlik 3.1 kullanılarak aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$Hamur\ verimi = 250 = \frac{40\ g\ un + 10\ g\ hamur + x\ mL\ su}{40\ g\ un + 6.25\ g\ un} x100$$
$$x = 65.625\ mL$$

Elde edilen karışımlar 24 saat boyunca ağzı kapalı bir şekilde 30°C'de inkübe edilmiş ve 24 saat sonunda bu hamurlardan da yaklaşık 10'ar g alınarak ve hamurlarda bulunan un ve su miktarları Eşitlik 3.1'e göre hesaplanarak hamur verimi 250 olacak şekilde 24. saat aşılamaları gerçekleştirilmiştir. Bu aşılama işlemi 216 saat boyunca her 24 saatte bir tekrarlanmış ve 24 saatlik periyotlarla ekşi hamurlardan örnek alınarak, bu örneklerin bazı özellikleri takip edilmiştir.

Temin edilen ekşi hamurların aktifleştirilmesi için gerekli olan süre, ön denemelerde 168 saat olarak belirlenmiş olup, bu süre asıl üretimde de teyit edilmiştir. Belirlenen süre üzerine 48 saat kadar güvenlik süresi koyulmasının daha uygun olacağı değerlendirildiği için asıl üretimde 216 saatlik bir aşılama işlemi gerçekleştirilmiştir.

3.2.5. Olgun temsili ekşi hamurun oluşturulması

Her gün kendisinden geri aşılamalı olarak 216 saatlik fermantasyon sonunda elde edilen 250 hamur verimli 7 farklı ekşi hamur, eşit miktarda alınıp birbirleriyle karıştırılmış ve temsili bir ekşi hamur oluşturulmuştur. Bu temsili ekşi hamur da 120 saat boyunca yine 24 saatte bir hamur verimi 250 olacak şekilde aşılanıp 30°C'de inkübe edilerek olgunlaştırılmıştır.

Temsili ekşi hamurun hazırlanması için yapılan ön denemelerde ekşi hamur ekmekleri için önemli olan ve olgun ekşi hamurlarda 10:1 ila 100:1 olması istenen laktik asit bakterisi:maya sayısı oranının 96. saatte yaklaşık 100:1 oranına ulaştığı tespit edilmiş ve bu süre üzerine 24 saat kadar güvenlik süresi koyulmasının daha uygun olacağı değerlendirildiği için olgunlaştırma işlemine 120 saat devam edilmiştir.

Hazırlanan olgun ekşi hamurlar, küçük parçalar halinde steril kaplar içerisine aktarılarak ekşi hamur ekmeği üretimi sırasında kullanılmak üzere -40°C'de depolanmıştır. Depolama esnasında aktivitesini bir miktar yitiren olgun ekşi hamurlar, ekşi hamur ekmeği üretiminde kullanılmadan önce -40°C'deki dondurucudan çıkarıldıktan sonra 24 saatlik periyotlarla 72 saat boyunca geri aşılama işlemine tabi tutulmuş ve bu şekilde olgun ekşi hamur içerisindeki mikrofloranın aktivitesini tekrar kazanması sağlanmıştır. Uygulanan 72 saatlik aktivasyon işlemi sonrasında temsili ekşi hamurlar ekşi hamur ekmeği üretimlerinde kullanılmıştır.

3.2.6. Buharla ekmek pişirme fırınında pişirme işleminin optimizasyonu için yapılan ekmek üretimleri

Ekşi hamur ekmeği için özel olarak üretilen, kurumaddede en çok %1.25 kül, en az %7.5 protein içeren özel amaçlı un (3000 g), olgun ekşi hamur (%10, 300 g), tuz (%1.5, 45 g), ekmek mayası (*Saccharomyces cerevisiae*, %0.4, 12 g) ve yaklaşık 32°C sıcaklığında CCD deneme deseninde (Çizelge 3.1) belirtilen orandaki su, ekşi hamurdan gelen su içeriği de göz önünde bulundurularak hesaplandıktan sonra tekniğine uygun

olarak hamur yoğurma makinesinde (Ayhandemir, Konya, Türkiye) 50 rpm hızda hamur oluşumu gerçekleşene kadar 15 dk süreyle yoğurulmuştur (Elgün ve Ertugay 2011).

Yoğurulduktan sonra 4 saat 30°C'de kitle fermantasyonuna bırakılan hamur, ön denemelerle belirlendiği üzere 200 g ağırlığındaki parçalar halinde kesilerek, elle küresel şekil verildikten sonra 30°C'de 30 dk dinlendirilmiş ve avuç içiyle 5 kez baskı uygulanarak gazı giderildikten sonra hamurlara son şekli verilerek tepsilere alınmıştır. Tepsilere alınmış olan hamurlar yaklaşık %75-80 nispi neme ve 30°C sıcaklığa sahip fermantasyon kabininde 2 saat son fermantasyon işlemine tabi tutulmuştur. Fermente edilmiş hamurlar, pişirmede kullanılacak buhar sıcaklığı (100-200°C) önceden CCD deneme desenine uygun olarak ayarlanmış buharla ekmek pişirme fırınında, yine CCD deneme deseninde belirtilen sürelerde (20-50 dk) pişirilerek buharda pişirilmiş ekmeklerin üretimi gerçekleştirilmiştir. Buharla ekmek pişirme fırınında pişirme işlemi sırasında buhar sirkülasyonunun kontrollü bir şekilde ilerleyebilmesini sağlayan "Buhar Fan Kontrol" pako şalteri 10 dk çalıştırılıp 2 dk dinlendirilecek şekilde bir çalışma döngüsü takip edilmiştir.

Buharla ekmek pişirme fırınında ekmek pişirme işleminin optimizasyonunda üretilen ekmeklerde tespit edilen kabuk HMF içeriği, kabuk rengi *L** değeri ve TPA sertlik ve esneklik değerleri; bu fırında ekşi hamur ekmeği pişirmek amacıyla birim una ilave edilmesi gereken su miktarı, pişirme sıcaklığı ve pişirme süresi için optimum değerlerin belirlenmesinde kullanılmıştır. Daha sonra buharla ekmek pişirme fırını için belirlenen optimum değerler kullanılarak araştırmanın ikinci aşamasına geçilmiş ve bu aşamada buharla ekmek pişirme fırınında optimum koşullarda üretilen ekmekler, biri elektrikli konveksiyonel fırında diğeri ise geleneksel taş fırında olmak üzere 2 farklı geleneksel pişirme yöntemi ile üretilen kontrol ekşi hamur ekmekleri ile kıyaslanmıştır.

3.2.7. Buharla ekmek pişirme fırınının optimum koşullarında ekmek üretimi

Ekşi hamur ekmeği için üretilen özel amaçlı un (4250 g), olgun ekşi hamur (%10, 425 g), tuz (%1.5, 63.75 g), ekmek mayası (*Saccharomyces cerevisiae*, %0.4, 17 g) ve yaklaşık 32°C sıcaklıkta su (%86, 2055 mL) tekniğine uygun olarak hamur yoğurma makinesinde 50 rpm hızda hamur oluşumu gerçekleşene kadar 15 dk süreyle yoğurulmuştur (Elgün ve Ertugay 2011).

Yoğurulan hamurlar Bölüm 3.2.6'da belirtildiği şekilde hazırlandıktan ve fermente edildikten sonra 151°C pişirme sıcaklığı ve 29 dk pişirme süresi olarak tespit edilmiş olan optimum şartlarda pişirilmiştir.

3.2.8. Kontrol ekmeklerinin üretimi

Ekşi hamur ekmeği için üretilen özel amaçlı un (4000 g), olgun ekşi hamur (%10, 400 g), tuz (%1.5, 60 g), ekmek mayası (*Saccharomyces cerevisiae*, %0.4, 16 g) ve yaklaşık 32°C sıcaklıkta unun FSİ değeri kadar su (%60.7, 2290 mL) tekniğine uygun olarak hamur yoğurma makinesinde 50 rpm hızda hamur oluşumu gerçekleşene kadar 15 dk süreyle yoğurulmuştur (Elgün ve Ertugay 2011).

Yoğurulan hamurlar Bölüm 3.2.6'da belirtildiği şekilde hazırlandıktan ve fermente edildikten sonra önceden 225ºC sıcaklığa ısıtılmış elektrikli konveksiyonel bir

fırında (Fimak, Konya, Türkiye) 35 dk ve yaklaşık sıcaklığı 200°C olarak ölçülmüş olan geleneksel taş fırında ise 42 dk pişirilerek 2 farklı kontrol ekmeğinin üretimleri gerçekleştirilmiştir. Bu ekmekler optimum koşullarda buharda pişirilmiş ekmekler için kontrol 1 ve kontrol 2 ekmekleri olarak kullanılmıştır.

3.2.9. Araştırma kapsamında gerçekleştirilen analizler

3.2.9.1. Unda yapılan tanımlayıcı analizler

Araştırmada kullanılan ve ekşi hamur ekmeği üretimi için özel olarak tercih edilen unda; düşme sayısı, Zeleny sedimantasyon, uzatılmış Zeleny sedimentasyon, yaş öz, gluten indeks, farinograf ve ekstensograf tanımlayıcı analizleri tekniğine uygun olarak gerçekleştirilmiştir (AACC 2000a; Elgün vd. 2011; Özkaya ve Özkaya 2005).

3.2.9.2. Fiziksel analizler

Ağırlık kaybı analizi

Ekmeklerin ağırlık kaybı, hamurun ve pişirildikten sonra iki saat dinlendirilmiş ekmeğin ağırlıkları farkından yüzde (%) olarak hesaplanmıştır (Elgün vd. 2011).

Spesifik hacim analizi

Ekmeklerin spesifik hacmi, ekmeğin kolza tohumu ile yer değiştirme prensibine göre belirlenen hacminin ağırlığına oranından cm^3/g olarak hesaplanmıştır (Elgün vd. 2011).

Renk analizi

Ekmek kabuk ve iç rengi bir renk ölçer (Minolta CR 400, Konica Minolta, Japonya) kullanılarak kabukta ve içte toplamda 8 adet ölçüm yapılmasıyla elde edilen L^*, a^* ve b^* değerleri ortalamalarından hesap edilmiştir.

Kabuk/iç oranı analizi

Ekmeklerin kabuk/iç oranı, bütün bir ekmeğin içi bir bıçak yardımıyla kabuktan tamamen kazındıktan sonra hassas bir terazi (ATX-224R, Shimadzu, Kyoto, Japonya) yardımıyla ölçülen kabuk ağırlığının iç ağırlığına bölünmesiyle yaş ağırlık üzerinden belirlenmiştir (Besbes vd. 2014).

Kabuk kalınlığı analizi

Ekmek örneklerinin içleri bir bıçak yardımıyla kabuktan tamamen kazındıktan sonra elektronik bir kumpas ile 8 farklı noktadan ölçüm alınmış ve bu ölçümlerin ortalamaları ekmeklere ait kabuk kalınlığı değerleri olarak hesap edilmiştir.

Gözenek görüntüsü analizi

Ekmeklerin gözenek görüntüleri, 3 cm kalınlığında kesilen ekmeklerin kesit yüzeylerine ait fotoğrafların çekilmesiyle elde edilmiş ve bu fotoğraflar üzerinden değerlendirme yapılmıştır.

Tekstür profil analizi

Ekmeklerde tekstür profil analizi (TPA), bir tekstür analiz cihazı (TA, Stable Microsystems, Godalming, Surrey, İngiltere) kullanılarak Yildirim ve Arici (2019)'ya ait yöntemin modifiye edilmesiyle gerçekleştirilmiştir. TPA ile 3 cm kalınlığında kesilen ekmeklerin sertlik, esneklik, kohezyon, sakızımsılık, çiğnenebilirlik ve elastikiyet özellikleri belirlenmiştir. Analiz 100 mm çapında silindir prob ile 50 kg ağırlığındaki yük hücresi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. TPA test öncesi prob hızı 5 mm/s, test hızı 3 mm/s, test sonrası hızı 3 mm/s, bekleme süresi 5 s, tetik kuvveti 5 g, uzaklığı ise %50 deformasyon sağlayan mesafe olarak ayarlanmıştır.

DSC ile bayatlama analizi

Depolamanın 1., 3. ve 7. günlerinde ekmek örneklerinin termal özelliklerinin belirlenmesi için; ekmeklerin iç merkezinden örnek alınarak 5 kg'lık bir ağırlık altında 10 s baskılanmış ve kademeli taramalı kalorimetre (DSC) cihazının (DSC 6000, Perkin-Elmer Inc., Wellesley, ABD) alüminyum kaplarına yaklaşık 15 mg bu baskılanmış örnekten tartılarak kaplar hermetik bir şekilde kapatılmıştır. Ayrıca bir adet alüminyum kap boş olarak kapatılarak kör numune olarak kullanılmıştır. Örnekler, DSC cihazına yerleştirilerek 5°C'de 5 dk şartlanmaları için bekletildikten sonra 25 mL/dk akış hızındaki azot atmosferinde ve 10°C/dk ısıtma hızıyla 5°C'den 180°C'ye ısıtılmıştır. Cihaz yazılımı kullanılarak örneklerin erime sıcaklıkları ve camsı geçiş sıcaklıkları hesaplanmıştır (Arp vd. 2020).

3.2.9.3. Kimyasal analizler

Araştırmanın tüm aşamalarında gerçekleştirilen kimyasal analizler için ekşi hamur ekmekleri öğütülerek kullanılmıştır. Ancak araştırmanın ikinci aşamasında, farklı pişirme teknikleriyle üretilen ekşi hamur ekmeklerinin karşılaştırılması için ekmekler kabuk ve iç olarak ayrıldıktan sonra öğütülerek kimyasal analizlerde kullanılmıştır.

Kurumadde ve su aktivitesi analizi

Kurumadde içeriği, örneklerin 105ºC'deki etüvde sabit ağırlığa gelene kadar kurutulması ile belirlenmiştir (Elgün vd. 2011; ICC 1976). Örneklerin su aktivitesi değerleri ise; örneklerden yaklaşık 1 g alınarak su aktivitesi ölçere (LabSwift-aw, Novasina, Lachen, İsviçre) yerleştirildikten sonra, örnek ortamının dengeye gelmesiyle okunan değer olarak kaydedilmiştir (Patel vd. 2005).

pH ve toplam titrasyon asitliği analizi

Örneklerin pH ve TTA değerlerinin belirlenmesi için 50 mL hacmindeki plastik tüplerin içerisine 2 g örnek tartılmış ve üzerlerine 18 mL ultra saf su eklenen örnekler 1 dk girdap karıştırıcı ile karıştırılmıştır. Karıştırılan örnekler 7100*xg*'de 5 dk santrifüj

edildikten sonra bu örneklerin süpernatantından 10 mL alınarak bir pH metre (HI2210, Hanna Instruments Inc., Woonsocket, Rhode Island, ABD) ile pH değerleri ölçülmüş ve daha sonra bu 10 mL örnek TTA değerlerinin belirlenmesi için kullanılmıştır. pH belirleme işlemi yapılan örnekler yavaş bir şekilde sürekli karıştırılarak fenolftalein indikatörlüğünde 0.1 N NaOH ile titre edilmiş ve örnek renk değişimine göre titrasyon sonlandırılmıştır. TTA değeri, harcanan 0.1 N NaOH miktarından (mL) Eşitlik 3.2'ye göre hesaplanmış, sonuçlar kuru ağırlık üzerinden laktik asit yüzdesi olarak ifade edilmiştir (Lefebvre vd. 2002). Ancak literatürdeki veriler ile karşılaştırmanın daha kolay yapılabilmesi için TTA değerleri, 10 g örnek için harcanan 0.1 N NaOH miktarı (mL) şeklinde de ifade edilerek veri tablolarına eklenmiştir.

$$TTA\ (\%\ Laktik\ asit) = \left(\frac{V\ x\ F\ x\ E}{m\ x\ KM}\ x\ 100\right)\ x\ 100 \qquad (3.2)$$

V : Titrasyonda harcanan 0.1 N NaOH çözeltisi miktarı (mL)

F : Titrasyonda kullanılan 0.1 N NaOH çözeltisinin faktörü

E : 1 mL 0.1 N NaOH çözeltisine eşdeğer asit miktarı (g, $E_{laktik\ asit}$: 0.009008 g)

m : Titre edilen örnek miktarı (g)

KM : Titre edilen örneğin kurumadde içeriği (%)

HMF analizi

HMF analizi için Shi vd. (2019) tarafından uygulanan yöntem modifiye edilerek kullanılmıştır. Bu amaçla; santrifüj tüpü içerisine 0.5 g örnek tartılmış ve üzerine 2 mL metanol ilave edildikten sonra örnek girdap karıştırıcı ile 1 dk karıştırılmıştır. Karıştırma işlemi sonrası 4°C'ye yerleştirilen örnekler burada 30 dk bekletilerek şartlandırılmıştır. Şartlandırılan örnekler ultrasonik banyoya yerleştirilmiş ve 25°C'de sabit tutularak 10 dk boyunca ultrasonikasyona tabi tutulmuştur. Ultrasonikasyon sonrası tekrar 4°C'ye kaldırılan örnekler burada 10 dk daha bekletilmiştir. Süre sonunda örnekler 7100*xg*'de 5 dk santrifüj edilmiş ve süpernatantın tamamı farklı bir tüpe aktarılmıştır. Ayrılan süpernatantların üzerine karbonhidratların ve çözünür proteinlerin ayrılması için 0.125 mL Carrez I çözeltisi (%15 $K_4Fe(CN)_6.3H_2O$, potasyum hekzasiyanoferrat-II-trihidrat) eklenip karıştırıldıktan sonra 0.125 mL Carrez II çözeltisi (%30 $ZnSO_4.7H_2O$, çinko sülfat heptahidrat) eklenip tekrar karıştırılmıştır. Örnekler 4°C'de 10 dk daha bekletildikten sonra 7100*xg*'de 5 dk santrifüj edilmiş ve süpernatantların tamamı cam tüplere aktarılmıştır. Cam tüpler 32°C'ye ayarlanmış vakumlu etüve yerleştirilmiş ve örnekler burada tüm sıvı kısım buharlaşana kadar bekletilmiştir. Kurutma işlemi sonrası tüpteki kalıntı 2 mL su ile çözülmüş ve 0.45 µm gözenek açıklığındaki filtreden geçirilerek viallere alındıktan sonra 20 µL olarak HPLC sistemine (Agilent, 1260 Infinity II LC System, Santa Clara, ABD) enjekte edilmiştir. Mobil faz olarak ultra saf su kullanılmış ve akış hızı 0.9 mL/dk olarak ayarlanmıştır. HPLC sisteminde C_{18} kolon (Agilent, Poroshell 120 EC-C18, 3 mm x 150 mm x 2.7 µm, Santa Clara, ABD) ve 284 nm dalga boyunda DAD dedektör (Agilent, 1260 Infinity WR, Santa Clara, ABD) kullanılmış ve kolon fırını sıcaklığı 40°C'ye ayarlanmıştır. HMF standardının ultra saf su içerisinde 0.05, 0.10, 0.25, 0.50, 1.00, 2.50, 5.00 ve 10.00 mg/kg konsantrasyonlarda hazırlanmasıyla kalibrasyon grafikleri elde edilmiş ve bu grafikler örneklerdeki HMF miktarlarının hesaplanmasında kullanılmıştır.

Akrilamid analizi

Akrilamid analizinde ekmeklerdeki akrilamidin ekstraksiyonu için; 2.5 g öğütülmüş örnek, 5 mL saf su ve 10 mL %1 asetik asit içeren asetonitril ile birlikte 1 dk boyunca homojenize edilmiş ve homojenize edilen örnek üzerine 1 paket QuEChERS ekstraksiyon tuzu (4 g $MgSO_4$, 1 g NaCl, 1 g sodyum sitrat, 0.5 g disodyum sitrat seskihidrat) karışımı (Agilent QuEChERS ekstraksiyon kiti, Part no: 5982-7650, SPE metot EN 15662, Santa Clara, ABD) eklendikten sonra tüp içeriği 1 dk daha karıştırılmıştır. Tüplerin 3000 rpm'de 3 dk santrifüj edilmesiyle bu tüplerde faz ayrımının gerçekleşmesi sağlanmıştır. Ayrılan üst sıvı fazdan 2 mL süpernatant alınarak, azot altında kurutulduktan sonra tüp tabanında kalan örnek tabakası 1 mL mobil faz ile çözülmüştür. Örnek çözeltisi 0.45 µm filtreden geçirildikten sonra Thermo Hypersil Gold kolona (1.9 µm, 50 x 2.1 cm) sahip LC-MS-MS sistemine (ThermoScientific, TSQ Quantum Access MAX, ABD) 20 µL olarak enjekte edilmiştir. Analiz, Çizelge 3.2'de verilen gradient akış programına göre gerçekleştirilmiş olup mobil faz olarak 0.40 mL/dk akış hızında %0.1 formik asit içeren ultra saf su (Mobil faz A) ve %0.1 formik asit içeren metanol (Mobil faz B) kullanılmıştır.

Çizelge 3.2. Akrilamid analizinde kullanılan gradient akış programı

Süre (dk)	Mobil faz A (%)	Mobil faz B (%)
0.00	100	0
2.50	100	0
6.00	0	100
6.50	100	0
7.00	100	0

Analiz pozitif elektrosprey iyonizasyon modunda (ESI+) gerçekleştirilmiş olup akrilamid için ana iyon 72.1 m/z ve niteleyici iyon 54.9 m/z olarak tanımlanmıştır. Bu koşullar, akrilamid çözeltilerinin doğrudan MS kaynağına enjekte edilmesiyle optimize edilmiştir (De Paola vd. 2017; Gülcan vd. 2020). Miktar belirleme işlemi, akrilamidin 0-100 µg/kg arasındaki uygun konsantrasyonlarda hazırlanan dış standartlarından elde edilen kalibrasyon grafiği ile gerçekleştirilmiştir.

Organik asit analizi

Örneklerdeki organik asit profilinin belirlenmesi için; ekstraksiyon işleminde Arslan vd. (2015), kromatografik ayırma işleminde ise Pu vd. (2021) tarafından geliştirilen metot modifiye edilerek kullanılmıştır. Ekstraksiyon işleminde 2 g örnek üzerine 8 mL 0.01 M KH_2PO_4 çözeltisi ilave edilmiş ve örnekler 10000 rpm hızda 30 saniye homojenize edilmiştir. Homojenizasyon sonrasında örnekler 7100*xg* dönüş hızında 5 dk santrifüj edilmiş ve santrifüj sonucu ayrılan süpernatanttan 2.5 mL alınarak üzerlerine 0.125 mL Carrez I çözeltisi eklenip karıştırıldıktan sonra 0.125 mL Carrez II çözeltisi eklenip yine karıştırılmıştır. Örneklerde bulanıklık meydana getiren kısım, 7100*xg*'de 5 dk uygulanan santrifüj işlemi ile ayrılmış ve örneklerdeki organik asit miktarına uygun oranlarda 0.01 M KH_2PO_4 çözeltisi ile seyreltme yapılmıştır. Son olarak, örnekler 0.45 µm filtreden geçirilerek viallere alınmış ve 20 µL olarak HPLC (Agilent,

1260 Infinity II LC System, Santa Clara, ABD) sistemine enjekte edilmiştir. Mobil faz olarak, 0.01 M KH_2PO_4 (pH: 3.25):metanol (95:5 v/v) karışımı kullanılmış ve akış hızı 0.6 mL/dk olarak ayarlanmıştır. HPLC sisteminde C_{18} kolon (Agilent, Poroshell 120 EC-C18, 3 mm x 150 mm x 2.7 µm, Santa Clara, ABD) ve 205 nm dalga boyunda DAD dedektör (Agilent, 1260 Infinity WR, Santa Clara, ABD) kullanılmış ve kolon fırını sıcaklığı 30°C'ye ayarlanmıştır. Organik asit standartlarının (asetik asit, laktik asit ve propiyonik asit) mobil faz içerisinde 1.00, 2.50, 5.00, 10.00, 25.00, 75.00, 150.00 ve 312.50 mg/kg konsantrasyonlarda hazırlanmasıyla kalibrasyon grafikleri elde edilmiş ve bu grafikler örneklerdeki organik asit miktarlarının hesaplanmasında kullanılmıştır.

Serbest amino asit analizi

Örneklerdeki serbest amino asit miktarlarının belirlenmesi için, 0.5 g örnek tartılarak üzerlerine 2 mL %75'lik etanol ilave edilmiş ve örnekler girdap karıştırıcı ile 1 dk karıştırıldıktan sonra oda sıcaklığındaki ultrasonik banyoda 10 dk ultrasonikasyona tabi tutulmuştur. Bu şekilde ekstrakte edilen örnekler 7100*xg* hızda 5 dk santrifüj edilmiş ve örneklerin ayrılan süpernatant kısmından 360 µL ekstrakt alınıp üzerlerine 200 µL %1'lik 2,4-dinitrofluorobenzen, 200 µL 0.5 M $NaHCO_3$ çözeltisi (pH 9.0) ve 40 µL ultra saf su eklendikten sonra karışım 60°C su banyosunda karanlık koşullarda 60 dk türevlendirme için bekletilmiştir. Türevlendirilmiş örnekler oda sıcaklığına getirildikten sonra 800 µL 0.01 M KH_2PO_4 çözeltisi (pH 7.0) ile karıştırılmış ve karanlıkta 15 dk daha bekletilip 0.45 µm filtreden geçirilmiştir. Kromatografik analiz için; HPLC (Agilent, 1260 Infinity II LC System, Santa Clara, ABD) sistemine 20 µL örnek enjekte edilmiştir. HPLC sisteminde C_{18} kolon (Agilent, Poroshell 120 EC-C18, 3 mm x 150 mm x 2.7 µm, Santa Clara, ABD) ve DAD dedektör (Agilent, 1260 Infinity WR, Santa Clara, ABD) kullanılmıştır. Kolon fırını sıcaklığı 35°C'ye, dedektör dalga boyu ise 360 nm'ye ayarlanmıştır. Analiz, Çizelge 3.3'te verilen gradient akış programına göre gerçekleştirilmiş olup mobil faz olarak 1 mL/dk akış hızında 5 mM, pH 5.7 sodyum asetat:tetrahidrofuran (mobil faz A, 95:5 v/v) ve metanol:su (mobil faz B, 80:20 v/v) kullanılmıştır.

Çizelge 3.3. Serbest aminoasit analizinde kullanılan gradient akış programı

Süre (dk)	Mobil faz A (%)	Mobil faz B (%)
0	90	10
20	80	20
25	50	50
34	45	55
50	0	100
55	90	10

Serbest aminoasit standartlarının (aspartik asit, glutamik asit, 4-OH prolin, asparajin, serin, glutamin, histidin, prolin, alanin, valin, metiyonin, triptofan, izolösin, fenilalanin, lösin, sistein, lisin, tirozin) (L-amino asit kiti, LAA-21, Sigma, Taufkirchen, Almanya) %75 etanol içerisinde 2.84-113.64 mg/kg aralığında uygun konsantrasyonlarda

hazırlanmasıyla kalibrasyon grafikleri elde edilmiş ve bu grafikler örneklerdeki serbest aminoasit miktarlarının hesaplanmasında kullanılmıştır (Li vd. 2016).

Aroma analizi

Örneklerdeki aroma bileşenlerinin ekstraksiyonu için 2 g örnek tartılmış ve üzerine 10 mL metanol:asetonitril (38:62) karışımı ilave edilmiştir. Örnekler girdap karıştırıcı ile 2 dk karıştırılarak homojenize edildikten sonra oda sıcaklığında 22 dk ultrasonik banyoda tutulmuş ve 4000*xg* hızda 5 dk süreyle santrifüj edilmiştir. Santrifüj sonucunda ayrılan süpernatanttan 7.5 mL ayrı bir tüpe alınarak üzerine 0.65 mL kloroform (iç standart olarak 200 µg/mL 1-oktanol içerir) ilave edilmiş ve karışım 2 dk daha ultrasonikasyona tabi tutulmuştur. Ultrasonikasyon sonrasında bu karışımdan ayrı bir tüpe 2.5 mL alınarak üzerine 10 mL %10'luk NaCl çözeltisi ilave edilmiş ve karışım tekrar 4000*xg* hızda 5 dk süreyle santrifüj edilmiştir. Santrifüj işlemi sonrasında ayrılan ve dibe çöken kloroform fazı mikro vial içerisine alınarak GC-MS sistemine (Agilent 7890A GC, Agilent 5975C MSD, Wilmington, ABD) enjekte edilmiştir. Kromatografik ayırma için HP-5ms kapiller kolon (30 m x 0.25 mm x 0.25 µm, Wilmington, ABD) kullanılmış ve enjeksiyon hacmi 1 µL olarak ayarlanmıştır. Enjeksiyon 1:15 bölme modunda gerçekleştirilmiştir. Fırın sıcaklığı başlangıçta 40°C'de 1 dk tutulmuş, daha sonra 5°C/dk artış hızıyla 250°C'ye yükseltilerek bu sıcaklıkta 20 dk bekletilmiştir. Giriş ve kütle detektörünün sıcaklıkları sırasıyla 220 ve 250°C'ye ayarlanmış ve taşıyıcı gaz olarak 1 mL/dk akış hızında helyum kullanılmıştır. Elde edilen analit pikleri MS kütüphanesinden ve NIST (National Institute of Standards and Technology) veritabanından tanımlanmış ve tespit edilen aroma bileşenleri tablolar halinde düzenlenmiştir (Arslan-Tontul vd. 2018).

3.2.9.4. Enzimatik analizler

Glisemik indeks analizi

Glisemik indeks analizi farklı pişirme teknikleri kullanılarak üretilen ekşi hamur ekmeklerinin bütün halde öğütülmesi ile elde edilen örneklerde gerçekleştirilmiştir. Örneklerin glisemik indeks değerleri, D-glikoz analiz kiti (D-Glucose Assay Kit, GOPOD Format, K-GLUC 08/18, Megazyme Ltd., Co Wicklow, İrlanda) kullanılarak Goni vd. (1997) tarafından geliştirilen yönteme göre nişasta hidroliz hızının ölçülmesi ile *in vitro* olarak belirlenmiştir (Candal ve Erbas 2019). Referans örnek olarak taze pişmiş beyaz ekmek içi kullanılmış, ancak sonuçlar glikoz referansına dönüştürülerek verilmiştir (Schakel vd. 2008).

Bu amaçla ilk olarak 50 mg örnek tartılmış, üzerine 10 mL HCl-KCl tampon çözeltisi (pH: 1.5) eklenmiş ve karıştırılarak homojenize edilmiştir. Homojenizasyon işlemi sonrasında örneklerdeki karbonhidrat-protein matriksinin parçalanması için örnekler üzerine 0.2 mL pepsin (200 U/mL) içeren HCl-KCl tampon çözeltisi (pH: 1.5) ilave edilmiş ve örnekler 40°C'deki etüvde 50 rpm/dk'da çalışan bir yatay çalkalama cihazı (Rocker 2D Basic, IKA, Staufen, Almanya) kullanılarak 1 saat inkübasyona bırakılmıştır. Bu süre sonunda örneklerin hacmi tris-maleate tampon çözeltisi (pH: 6.9) ile 25 mL'ye tamamlanmış ve pH değerleri 1 M NaOH ile 6.9'a ayarlanmıştır. pH değeri ayarlanan örnekler üzerine 5 mL α-amilaz (2.6 U/mL) içeren tris-maleate tampon çözeltisi (pH: 6.9) ilave edilmiş ve örnekler enzimatik hidroliz için 37°C'de 50 rpm/dk

yatay çalkalama hızında 180 dk daha inkübasyona bırakılmıştır. Enzimatik hidrolizin 0., 20., 30., 40., 60., 90., 120., 150. ve 180. dakikalarında 1'er mL örnek alınıp enzim inaktivasyonu için 100°C'de 5 dk bekletilmiş ve hemen ardından 1 dk girdap karıştırıcı ile karıştırıldıktan sonra inkübasyon süresi bitimine kadar 4°C'de saklanmıştır. 180 dk sonunda elde edilen enzimatik hidroliz örnekleri içerisine 3 mL 0.4 M sodyum asetat tampon çözeltisi (pH: 4.5) ve 60 µL amiloglikozidaz enzimi (3300 U/mL) ilave edilmiş ve örnekler 60°C'de 45 dk boyunca 5 dakikalık periyotlarla karıştırılarak inkübe edilmiştir. Bu şekilde glikoza kadar hidroliz edilmiş olan örneklerden 0.1 mL alınmış ve üzerlerine 3 mL standart GOPOD (glikoz oksidaz peroksidaz) reaktifi ilave edilmiştir. 45°C'de 20 dk daha inkübasyona bırakılan örneklerin glikoz içerikleri spektrofotometre ile 510 nm dalga boyunda okuma yapılarak 3.3'te verilen eşitliğe göre belirlenmiştir (Simsek 2011).

$$Glikoz\ (\%) = \frac{\Delta E\ x\ V\ x\ C\ x\ D}{\Delta S\ x\ W} x100 \qquad (3.3)$$

ΔE : Örneğin absorbansı

V : Test çözeltisinin toplam hacmi (mL)

C : Kullanılan standardın konsantrasyonu (mg/mL)

D : Seyreltme faktörü

ΔS : Kullanılan standardın absorbansı

W : Örnek miktarı (mg)

Örneklerdeki hidroliz olan nişasta içeriği; spektrofotometrede yapılan okumalar sonucunda belirlenen glikoz içeriklerinin, monosakkaritlerden polisakkaritlere dönüşüm için kullanılan 0.9 katsayısı ile çarpılmasıyla tespit edilmiştir. Hidroliz olan nişasta içeriği, örneklerin kurumadde içeriklerine göre kurumadde bazında belirlendikten sonra süreye karşı grafik edilmiş ve örneklere ait nişasta hidroliz eğrileri oluşturulmuştur. Oluşturulmuş olan hidroliz eğrileri, Goni vd. (1997) tarafından non-lineer olarak modellenmiş olup, 3.4 numaralı eşitliğe göre SigmaPlot Systat 12 (Erkrath, Almanya) programı kullanılarak değerlendirilmiş ve bu eğrilerin altında kalan alanın referans örneğe ait hidroliz eğrisi altında kalan alana oranı hidroliz indeksi (HI) olarak tanımlanmıştır. Eğri altında kalan alan (EAA) 3.5'te verilen eşitliğe göre hesaplanmıştır.

$$C = C_{\infty}\ x\ (1 - e^{-kt}) \qquad (3.4)$$

C : t anındaki konsantrasyon

C_{∞} : Denge anındaki konsantrasyon

k : Kinetik sabit

t : Seçilen süre

$$EAA = C_\infty \, x \left(t_f - t_0\right) - \frac{C_\infty}{k} \, x \, (1 - e^{-k \, x \, (t_f - t_0)}) \quad (3.5)$$

C_∞ : Denge anındaki konsantrasyon (t180)

t_f : Analizin bitiş süresi (180)

t_0 : Analizin başlangıç zamanı (0)

k : Kinetik sabit

Son olarak, örneklerin nişasta hidroliz indeksi değerleri kullanılarak 3.6 numaralı eşitliğe göre örneklerin tahmini glisemik indeks (tGI) değerleri hesaplanmıştır.

$$tGI = 39.71 + \ 0.549 \, x \, HI \quad (3.6)$$

Araştırmada tGI değerinin hesaplanmasında beyaz ekmek referans olarak alınmış ancak sonuçlar 3.7 numaralı eşitlikte belirtilen katsayıya göre glikoz referansına dönüştürülerek verilmiştir (Schakel vd. 2008).

$$tGI \ (ekmek) = 1.43 \, x \, tGI \ (glikoz) \quad (3.7)$$

3.2.9.5. Mikrobiyolojik analizler

Isparta ilinde geleneksel olarak ekşi hamur ekmeği üretimi yapan 7 farklı fırından toplanan ekşi hamurlarda ve bu ekşi hamurlardan Bölüm 3.2.6'da açıklanan şekilde oluşturulan olgun temsili ekşi hamurda bulunan toplam mezofil aerobik bakteri sayısı, toplam laktik asit bakteri sayısı ve toplam maya sayısının belirlenmesi amacıyla ilk olarak, örneklerin ringer çözeltisi içerisinde seri şekilde 10'ar kat seyreltilmesiyle farklı dilüsyonlar hazırlanmıştır.

Toplam mezofil aerobik bakteri sayısının belirlenmesi

Toplam mezofil aerobik bakteri (TMAB) sayısının belirlenmesi için uygun dilüsyonlardan 1'er mL alınarak 50 µg/L konsantrasyonda antimikotik madde (sikloheksimid) ilave edilen Plate Count Agar (PCA) besiyerine dökme yöntemi ile paralelli olarak ekim yapılmıştır. Ekim yapılan petriler mezofil aerobik bakterilerin gelişmesi için 30±1°C'de 3 gün inkübasyona bırakılmıştır. İnkübasyon süresi sonunda 30-300 arasında koloni bulunduran petrilerin sayımı yapılmış ve sonuçlar log kob/g olarak verilmiştir (ISO 2001).

Toplam laktik asit bakteri sayısının belirlenmesi

Toplam laktik asit bakteri sayısının laktobasil ve laktokok olarak belirlenmesi için uygun dilüsyonlardan 1'er mL alınarak sırasıyla 50 µg/L konsantrasyonda antimikotik madde (sikloheksimid) ilave edilen de Man, Rogosa and Sharpe (MRS) ve M17 Agar besiyerlerine dökme yöntemi ile paralelli olarak ekim yapılmıştır. Ekim yapılan petriler laktik asit bakterilerinin gelişmesi için Anaerocult™ A (Merck, Darmstadt, Almanya) kullanılarak oluşturulan anaerobik şartlarda 30±1°C'de 5 gün inkübasyona bırakılmıştır. İnkübasyon süresi sonunda 30-300 arasında koloni bulunduran petrilerin sayımı yapılmış ve sonuçlar log kob/g olarak verilmiştir (Gökalp vd. 1993; Ibanoglu 1996).

Toplam maya sayısının belirlenmesi

Toplam maya sayısının belirlenmesi için pH değeri 3.5'e ayarlanmış ve 50 µg/L konsantrasyonda antibakteriyel madde (oksitetrasiklin) eklenmiş Potato Dextrose Agar (PDA) besiyerine uygun dilüsyonlardan 0.1'er mL aktarılarak yayma yöntemi ile paralelli olarak ekim yapılmıştır. Ekim yapılan petriler maya gelişimi için 25±1°C'de 5 gün inkübasyona bırakılmıştır. İnkübasyon süresi sonunda 30-300 arasında koloni bulunduran petrilerin sayımı yapılmış ve sonuçlar log kob/g olarak verilmiştir (APHA 1976).

3.2.9.6. Duyusal analizler

Kısa duyusal analiz

Araştırmayı yapan sınırlı sayıdaki araştırmacı tarafından ürünün temel niteliklerini hızlı bir şekilde değerlendirmek için kullanılan kısa duyusal analiz (Brief Sensory Evaluation) yöntemi, buharla ekmek pişirme fırınında ekşi hamur ekmeği pişirme koşullarının optimizasyonu ve bu fırında optimum koşullarda üretilen ekşi hamur ekmeğinin kontrol ekmekleri ile kıyaslanması aşamasında ekmek bayatlamasının takibi için kullanılmıştır (Gelinas vd. 1999). Kısa duyusal analiz araştırmayı yapan ve duyusal panel konusunda eğitimli 4 araştırmacı ile gerçekleştirilmiştir. Analiz buharla ekmek pişirme fırınında ekşi hamur ekmeği pişirme koşullarının optimizasyonu için; çok iyi (6), iyi (5), kısmen iyi (4), kısmen kötü (3), kötü (2), çok kötü (1) ölçeği kullanılarak ve buharla ekmek pişirme fırınında optimum koşullarda üretilen ekşi hamur ekmeğinin kontrol ekşi hamur ekmekleri ile kıyaslanması aşamasında yapılan ekmek bayatlamasının takibi için ise; çok taze (6), taze (5), kısmen taze (4), kısmen bayat (3), bayat (2), çok bayat (1) ölçeği kullanılarak gerçekleştirilmiştir (AACC 2000b). Buharla ekmek pişirme fırınında ekmek pişirme koşullarının optimizasyonu için kullanılan kısa duyusal analiz formu Şekil 3.5'te, buharla ekmek pişirme fırınında optimum koşullarda üretilen ekşi hamur ekmeğinin kontrol ekşi hamur ekmekleri ile kıyaslanması aşamasında ekmek bayatlamasının takibi için kullanılan kısa duyusal analiz formu ise Şekil 3.6'da verilmiştir.

Ad-Soyad: Tarih:

Lütfen size sunulan ekşi hamur ekmeği örneklerini birbirinden bağımsız olarak ele alıp, aşağıdaki açıklamaları da kullanarak belirtilen kriterler üzerinden puansal bir değerlendirme yapınız.

Özellikler	**Açıklama**	**Kod1**	**Kod2**	**Kod3**
Renk	Ekmeklerin kremsi beyaz renkte olmaları beklendiği için; hamur renginden biraz daha koyu kremsi beyaz renge sahip olan ekmekler en yüksek puan ile değerlendirilmelidir.			
Kabuk kalınlığı	Ekmeklerin ince bir kabuğa sahip olmaları beklendiği için; olabildiğince ince bir kabuğa sahip olan ekmekler en yüksek puan ile değerlendirilmelidir.			
Tekstür	Beklentinize en uygun yumuşaklık ve gözenek yapısına sahip olan ekmekler en yüksek puan ile değerlendirilmelidir.			
Koku	Ekşi hamur ekmeklerine özgü, hoşa giden, hafif ekşimsi kokuya sahip ekmekler en yüksek puan ile değerlendirilmelidir.			
Tat ve aroma	Ekşi hamur ekmeklerinde olması beklenen hafif ekşimsi tat ve hoşa giden aromatik özelliklere sahip olan ekmekler en yüksek puan ile değerlendirilmelidir.			
Genel beğeni	Ekmekleri tüm özellikleri açısından değerlendirdiğinizde açıklamalarda istenen özelliklere en yakın olan ekmekler en yüksek puan ile değerlendirilmelidir.			

NOT: Çok iyi (6), İyi (5), Kısmen iyi (4), Kısmen kötü (3), Kötü (2), Çok kötü (1) tercihiniz için yanlarındaki puanları dikkate alarak değerlendirmenizi yapınız.

Şekil 3.5. Buharla ekmek pişirme fırınında ekmek pişirme koşullarının optimizasyonu için kullanılan kısa duyusal analiz formu

Ad-Soyad: Tarih:

Lütfen size sunulan ekşi hamur ekmeği örneklerini birbirinden bağımsız olarak ele alıp, aşağıdaki açıklamaları da kullanarak belirtilen kriterler üzerinden puansal bir değerlendirme yapınız.

Depolama Günü:

Özellikler	**Açıklama**	**EKF**		**GTF**		**BF**	
Sıcaklık (°C)		**4**	**25**	**4**	**25**	**4**	**25**
Renk	İç ve kabuk renginde değişme olup olmadığı değerlendirilmelidir.						
Tekstür	Depolama süresine bağlı olarak meydana gelen sertliğin ekmeğin tüketilebilirliğini ne derece etkilediği değerlendirilmelidir.						
Koku	Yabancı koku (küf vb.) içerip içermediği değerlendirilmelidir.						
Ufalanma	Ekmeğin bölünürken dağılma durumu değerlendirilmelidir.						
Çiğneme kolaylığı	Az çiğneme ile yutulabilir hale gelme durumu değerlendirilmelidir.						
Yutulma kolaylığı	Çiğneme sonrası yutulabilme kolaylığı değerlendirilmelidir.						
Tat ve aroma	Tat ve aromada bozulma olup olmadığı değerlendirilmelidir.						
Tüketilebilirlik durumu	En bayat için 1, en taze için 6 olacak şekilde derecelendirilmelidir.						

NOT: Çok taze (6), Taze (5), Kısmen taze (4), Kısmen bayat (3), Bayat (2), Çok bayat (1) tercihiniz için yanlarındaki puanları dikkate alarak değerlendirmenizi yapınız.

Şekil 3.6. Buharla ekmek pişirme fırınında optimum koşullarda üretilen ekşi hamur ekmeğinin kontrol ekşi hamur ekmekleri ile kıyaslanması aşamasında ekmek bayatlamasının takibi için kullanılan kısa duyusal analiz formu

Genel duyusal analiz

Üretilen ekşi hamur ekmeklerinin genel duyusal analizi Angioloni ve Collar (2011) tarafından geliştirilen yöntemin modifiye edilmesiyle gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla; ekşi hamur ekmekleri, duyusal panel konusunda eğitimli ve araştırma ekibinde olmayan 12 adet Gıda Mühendisliği lisansüstü öğrencisi tarafından; görünüş özellikleri (ağırlık-hacim uyumu, kabuk-iç oranı, kabuk rengi, iç rengi, gözenek yapısı), tekstürel özellikler (nemlilik, yumuşaklık, sertlik, yaylılık-esneklik, yapışkanlık, iç ufalanması, çiğneme kolaylığı, yutulma kolaylığı), aromatik özellikler (koku, tat ve aroma, ekşilik, ağızda kalan his) ve genel beğeni kriterlerine göre değerlendirilmiştir. Ekmek örnekleri oda sıcaklığında, beyaz bir tabak içerisinde ve beyaz ışık altında panelistlere sunulmuştur. Örneklerin değerlendirilmesinde 1 ile 6 arasında değişen bir skala (1-hiç beğenmedim / 6-çok beğendim) kullanılmıştır. Buharla ekmek pişirme fırınında optimum koşullarda pişirilmiş ekşi hamur ekmeğinin kontrol ekşi hamur ekmekleri ile kıyaslanması aşamasında kullanılan genel duyusal analiz formu Şekil 3.7'de verilmiştir.

Adı Soyadı: **Tarih:**

Size sunulan ekşi hamur ekmekleri, aynı şartlarda oluşturulmuş hamurlar kullanılarak farklı fırınlarda pişirilmiştir. Lütfen elektrikli konveksiyonel fırında (EKF) ve geleneksel taş fırında (GTF) pişirilen ekmekleri en yüksek standart kabul ederek buharlı fırında (BF) pişirilmiş deneysel ekmekleri 1-hiç beğenmedim / 6-çok beğendim olacak şekilde 1-6 arasında puanlayarak değerlendiriniz.

BF ekmeğinin duyusal değerlendirmesini EKF ve GTF ekmeklerini test ettikten ve her test arasında bir yudum su içtikten sonra yapınız.

Görünüş Özellikleri	**Açıklama**	**Puan (1-6)**
Ağırlık-hacim uyumu	Gözle görülen hacmin, ekmeğin elle tartılması sonucu ağırlık beklentisine uyumu	
Kabuk-iç oranı	Bu değeri; BF örneğini, EKF ve GTF ekmekleri ile kıyaslayarak kabul edebilirlik durumunuza göre puanlayınız.	
Kabuk rengi	Bu değeri; BF örneğini, EKF ve GTF ekmekleri ile kıyaslayarak kabul edebilirlik durumunuza göre puanlayınız.	
İç rengi	Bu değeri; BF örneğini, EKF ve GTF ekmekleri ile kıyaslayarak kabul edebilirlik durumunuza göre puanlayınız.	
Gözenek yapısı	Bu değeri; BF örneğini, EKF ve GTF ekmekleri ile kıyaslayarak kabul edebilirlik durumunuza göre puanlayınız.	
Tekstürel Özellikler		
Nemlilik	Bu değeri; BF örneğini, EKF ve GTF ekmekleri ile kıyaslayarak kabul edebilirlik durumunuza göre puanlayınız.	
Yumuşaklık	Bu değeri; BF örneğini, EKF ve GTF ekmekleri ile kıyaslayarak kabul edebilirlik durumunuza göre puanlayınız.	
Sertlik	Bu değeri; BF örneğini, EKF ve GTF ekmekleri ile kıyaslayarak kabul edebilirlik durumunuza göre puanlayınız.	
Yaylılık	Sıkıştırma sonrası ilk haline geri dönebilme durumu	
Yapışkanlık	Elde ve ağızda hissettirdiği yapışkanlığın kabul edilebilirlik durumu	
İç ufalanması	Bu değeri; BF örneğini, EKF ve GTF ekmekleri ile kıyaslayarak kabul edebilirlik durumunuza göre puanlayınız.	
Çiğneme kolaylığı	Az çiğneme ile yutulabilir hale gelme durumu	
Yutulma kolaylığı	Çiğneme sonrası yutulabilme kolaylığı	
Aromatik Özellikler		
Koku	Bu değeri; BF örneğini, EKF ve GTF ekmekleri ile kıyaslayarak kabul edebilirlik durumunuza göre puanlayınız.	
Tat ve aroma	Bu değeri; BF örneğini, EKF ve GTF ekmekleri ile kıyaslayarak kabul edebilirlik durumunuza göre puanlayınız.	
Ekşilik	Bu değeri; BF örneğini, EKF ve GTF ekmekleri ile kıyaslayarak kabul edebilirlik durumunuza göre puanlayınız.	
Ağızda kalan his	Bu değeri; BF örneğini, EKF ve GTF ekmekleri ile kıyaslayarak kabul edebilirlik durumunuza göre puanlayınız.	
Genel Beğeni	Bu değeri; BF örneğini, EKF ve GTF ekmekleri ile kıyaslayarak kabul edebilirlik durumunuza göre puanlayınız.	
Satın Alma Durumu		Evet ( ) Hayır ( )

Şekil 3.7. Buharla ekmek pişirme fırınında optimum koşullarda pişirilmiş ekşi hamur ekmeğinin kontrol ekşi hamur ekmekleri ile kıyaslanması aşamasında kullanılan genel duyusal analiz formu

Ekmeklerin depolanması ve bayatlamanın belirlenmesi

Depolama işlemi için; buharla ekmek pişirme fırınında optimum koşullarda üretilen ekşi hamur ekmeği (BF), elektrikli konveksiyonel fırında pişirilmiş ekşi hamur ekmeği (EKF) ve geleneksel taş fırında pişirilmiş ekşi hamur ekmeği (GTF), kraft kağıt ve polietilen materyalden oluşturulmuş olan uzun ömürlü ekmek ambalajı içerisine yerleştirilmiş ve paketlerin ağzı katlanarak bantlanmıştır. Paketlenen ekşi hamur ekmekleri oda şartlarını temsilen 25°C'de ve buzdolabı şartlarını temsilen 4°C'de olmak üzere iki farklı sıcaklıkta depolanmıştır. Uzun ömürlü ekmek ambalajı kullanılarak paketlendikten sonra 25°C'de ve 4°C'de depolanan ekşi hamur ekmeklerine ait fotoğraflar Şekil 3.8'de verilmiştir.



Şekil 3.8. Uzun ömürlü ekmek ambalajı kullanılarak paketlendikten sonra 25°C'de ve 4°C'de depolanan ekşi hamur ekmeklerine ait fotoğraflar

Depolamada bayatlama, kısa duyusal analiz sonuçlarına göre ekşi hamur ekmeklerinin duyusal olarak tüketilemez olduğu duyusal analiz zamanı olarak kabul edilmiş ve ekmeklerin depolamanın 7. gününden sonra duyusal olarak tüketilemeyeceğine karar verilmiştir. Bu örnekler üzerinde bayatlamaya bağlı olarak tespit edilen 7 günlük raf ömrü boyunca 0. güne ek olarak depolamanın 1., 3. ve 7. günlerinde DSC; 1., 2., 3., 6. ve 7. günlerinde ise kısa duyusal analizin yanı sıra TPA ve pH ve TTA analizleri gerçekleştirilmiştir.

Tüketici kabul edilebilirlik analizi

Buharla ekmek pişirme fırınında optimum koşullarda üretilen buharda pişirilmiş ekşi hamur ekmeğinin toplum tarafından kabul edilebilirliğinin belirlenmesi için; buharda pişirilmiş ekmek ile 100 istekli tüketiciye tadım yaptırılmış ve bu tüketicilere ürünü satın alıp almayacakları sorulmuştur. Buharla ekmek pişirme fırınında optimum koşullarda üretilen ekmeklerin toplum tarafından duyusal kabul edilebilirliğinin araştırılmasında kullanılan duyusal test formu Şekil 3.9'da verilmiştir.

Sıra	**Panelist**	**Buharda pişirilmiş ekşi hamur ekmeği**							
		Hakkında bilgi	**Satın alma durumu**	**Beğeni durumu**					
1	Yaş : Cinsiyet :	Var ◯ Yok ◯	Satın alırım ◯ Satın almam ◯	1	2	3	4	5	6
2	Yaş : Cinsiyet :	Var ◯ Yok ◯	Satın alırım ◯ Satın almam ◯	1	2	3	4	5	6
3	Yaş : Cinsiyet :	Var ◯ Yok ◯	Satın alırım ◯ Satın almam ◯	1	2	3	4	5	6
4	Yaş : Cinsiyet :	Var ◯ Yok ◯	Satın alırım ◯ Satın almam ◯	1	2	3	4	5	6
5	Yaş : Cinsiyet :	Var ◯ Yok ◯	Satın alırım ◯ Satın almam ◯	1	2	3	4	5	6
. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .

Şekil 3.9. Buharla ekmek pişirme fırınında optimum koşullarda üretilen ekmeklerin toplum tarafından kabul edilebilirliğinin araştırılmasında kullanılan duyusal test formu

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Araştırmada Kullanılan Una Ait Bazı Özelliklerin Belirlenmesi

Ekşi hamur ekmeği yapımında kullanılmak üzere Isparta'da özel olarak üretilen unun genel özelliklerinin belirlenmesi amacıyla bu una; düşme sayısı, Zeleny sedimantasyon, yaş öz, gluten indeks, farinograf ve ekstensograf tanımlayıcı analizleri ile bazı fiziksel (renk) ve kimyasal (nem, su aktivitesi, kül, pH, TTA, protein ve suda çözünmeyen lif) analizler yapılmıştır. Düşme sayısı, Zeleny sedimantasyon, yaş öz ve gluten indeks analizlerine ait veriler Çizelge 4.1'de, farinograf analizine ait veriler ve verilere ait farinogram sırasıyla Çizelge 4.2'de ve Şekil 4.1'de, ekstensograf analizine ait veriler ve verilere ait ekstensogram sırasıyla Çizelge 4.3'te ve Şekil 4.2'de verilmiştir. Araştırmada kullanılan unun bazı fiziksel ve kimyasal analizlerine ait veriler ise Çizelge 4.4'te verilmiştir.

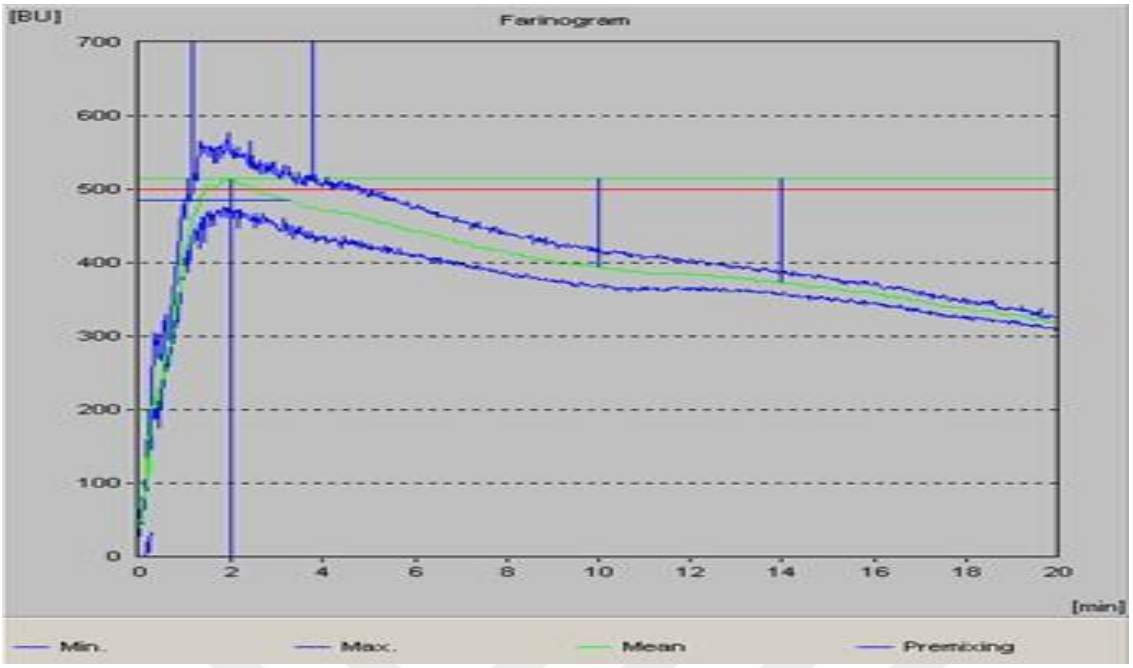
Çizelge 4.1. Araştırmada kullanılan unun bazı tanımlayıcı özelliklerine ait veriler (± standart hata)

Tanımlayıcı analizler	Değer
Düşme sayısı (s)	195.55 ± 2.74
Zeleny sedimantasyon (mL)	17.36 ± 0.32
Uzatılmış Zeleny sedimantasyon (mL)	33.92 ± 0.22
Yaş öz (%)	32.34 ± 0.81
Gluten indeks (%)	95.21 ± 0.38

Türk Gıda Kodeksi (2013) Buğday Unu Tebliği'nde (Tebliğ No:2013/9); ekşi hamur ekmeklerinin üretiminde kullanılan un "Özel Amaçlı Buğday Unu" olarak tanımlanmış olup, bu unlarda sedimantasyon, uzatılmış sedimantasyon ve düşme sayısı değerleri aranmamaktadır. Araştırma kapsamında ekşi hamur ekmeği üretmek üzere temin edilen unun yaş öz miktarı %32.34, gluten indeks değeri ise %95.21 olarak tespit edilmiştir. Gluten kalitesinin belirlenmesinde kullanılan gluten indeks değerinin ekmeklik unlarda %60 ile %90 arasında olması beklenmektedir (Elgün vd. 2011). Temin edilen özel amaçlı unun gluten indeks değerinin belirtilen değer aralığının üzerinde olması nedeniyle bu unun çok kuvvetli bir glutene sahip olduğu değerlendirilmiştir.

Çizelge 4.2. Araştırmada kullanılan unun farinograf analizine ait veriler (± standart hata)

Farinograf analizi çıktıları	Değer
Su absorpsiyonu (%)	60.70 ± 0.17
Hamur gelişme süresi (dk)	2.40 ± 0.40
Hamurun stabil kalma süresi (dk)	3.00 ± 0.56
Hamur yumuşama derecesi (BU)	109.33 ± 13.68

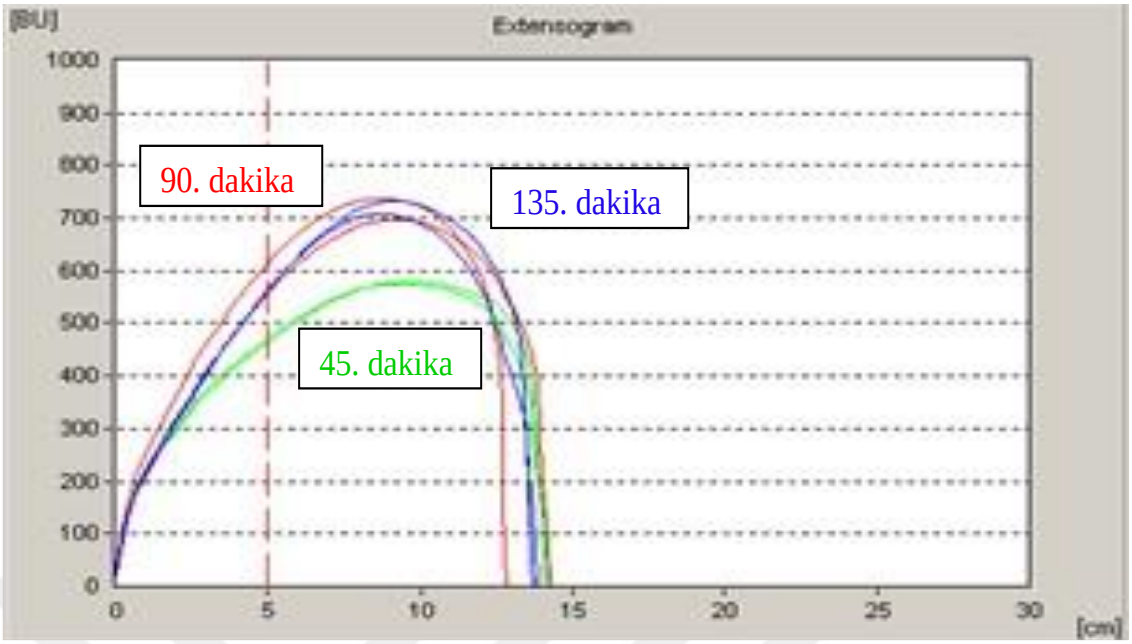


Şekil 4.1. Araştırmada kullanılan una ait farinogram

Araştırma kapsamında ekşi hamur ekmeği üretmek amacıyla temin edilen un ile hamur oluşturabilmek için gerekli su miktarı %60.70, hamur gelişme süresi 2.40 dk olarak tespit edilmiştir. Bu şekilde elde edilen hamurun stabil kalma süresi ise 3.00 dk olarak belirlenmiştir.

Çizelge 4.3. Araştırmada kullanılan unda yapılan ekstensograf analizine ait veriler (± standart hata)

Ekstensograf analizi çıktıları	Süre (dk)			Ort.
	45	90	135	
Enerji (cm^2)	108.67 ± 3.84	124.67 ± 3.53	111.00 ± 9.02	114.78
Uzamaya karşı direnç (BU)	455.67 ± 11.46	556.00 ± 19.08	524.00 ± 35.38	511.89
Uzama kabiliyeti (mm)	140.67 ± 0.88	138.33 ± 1.20	132.33 ± 5.67	137.11
Maksimum direnç (BU)	561.00 ± 23.35	688.33 ± 29.17	655.67 ± 48.46	635.00
Maks. oran sayısı (BU/mm)	4.00 ± 0.15	4.97 ± 0.24	5.00 ± 0.47	4.66



Şekil 4.2. Araştırmada kullanılan una ait ekstensogram

Temin edilen unun ekstensograf analizi sonuçlarına göre bu undan elde edilen hamurun enerjisi 114.78 cm^2, uzamaya karşı direnci 511.89 BU, uzama kabiliyeti 137.11 mm, maksimum direnci 635 BU ve maksimum oran sayısı 4.66 BU/mm olarak tespit edilmiştir.

Farinograf analizine ait bulgular ve ekstensograf analizinden elde edilen kurve ve değerler göz önüne alındığında araştırma kapsamında kullanılmasına karar verilen undan oluşturulan hamurun ekmeğe dönüşme kabiliyetinin uygun olduğu değerlendirilmiştir.

Çizelge 4.4. Araştırmada kullanılan unun bazı fiziksel ve kimyasal analizlerine ait veriler (± standart hata)

Analizler	**Değer**
Renk *L** değeri	84.35 ± 0.13
Renk *a** değeri	3.82 ± 0.03
Renk *b** değeri	10.17 ± 0.05
Nem içeriği (%)	9.57 ± 0.09
Su aktivitesi	0.48 ± 0.00
Protein içeriği (%)	13.03 ± 0.07
Kül içeriği (%)	1.21 ± 0.01
pH	6.44 ± 0.01
TTA (% Laktik asit)	0.48 ± 0.01
TTA (mL/10 g örnek)	4.83 ± 0.11
Toplam suda çözünmeyen ham lif içeriği (%)	0.96 ± 0.03

Türk Gıda Kodeksi (2013) Buğday Unu Tebliği'ne (Tebliğ No:2013/9-Değişik 2018/39) göre; özel amaçlı buğday unlarında nem içeriğinin en fazla %14.5 ve protein içeriğinin ise en az %7 olması gerektiği bildirilmiştir. Bu unların kül içeriği ise sınırlandırmaya tabi tutulmamıştır. Elde edilen veriler sonucunda araştırma kapsamında ekşi hamur ekmeği üretiminde kullanılan unun nem (%9.57) ve protein (%13.03) içeriği yönüyle ilgili tebliğe uygun olduğu değerlendirilmiştir.

4.2. Buharla Ekmek Pişirme Fırınında Ekmek Üretiminin Optimizasyonu İçin Oluşturulan Deneme Deseninde Değişken Faktörlerin Sınır Değerlerinin Belirlenmesi

Buharla ekmek pişirme fırınında ekmek üretiminin optimizasyonu için oluşturulan deneme deseninde değişken faktörlerin sınır değerlerinin belirlenmesi için, düşük su içeriğinde hamur oluşumunu sağlamak ve imal edilen buharla ekmek pişirme fırınında ekmek pişirme işlemini gerçekleştirmek amacıyla ön denemeler yapılmıştır. Yapılan ön denemelerde; una FSİ değerinin %80'inden daha az miktarda eklenecek su içeriği değerlerinde (hamurdaki unun yaklaşık %49'u kadar su) hamur oluşturmanın ve işlemenin çok zor olduğu ya da mümkün olmadığı tespit edilmiş, bu nedenle hamur formülasyonuna eklenmesi gereken su için sınır değerler unun FSİ değerinin %80'i ila %100'ü olarak belirlenmiştir. Ayrıca bu ön denemelerde; buharla ekmek pişirme fırınında buharla ekmek pişirme işleminin tam olarak gerçekleşebilmesi için minimum 20 dakikalık bir pişirme süresi gerektiği tespit edilmiş ve geleneksel ekşi hamur ekmeklerinin yaklaşık pişme süresi olan 50 dakikalık sürenin de maksimum pişirme süresi olarak uygulanmasının uygun olacağı değerlendirilmiştir. Bu nedenle pişirme süresi için sınır değerler 20 dk ila 50 dk olarak belirlenmiştir. Yapılan ön denemelere ait veriler Çizelge 4.5'te ve Çizelge 4.6'da görseller ise Şekil 4.3 ve Şekil 4.4'te verilmiştir.

Buhar kızdırma ünitesinin sıcaklığı bu kısmın ayarlanabileceği en yüksek değer olan 360°C'ye getirildiğinde fırın içerisine giren buhar sıcaklığının yaklaşık 210°C olduğu tespit edilmiştir. Bu nedenle pişirme sıcaklığı için sınır değerler 100°C ila 200°C olarak belirlenmiş ve buhar kızdırma ünitesinin sıcaklığına göre fırın içerisine giren buhar sıcaklığının değişimi Çizelge 4.7'de verilmiştir.

Çizelge 4.5. Düşük su içeriğine sahip hamur oluşturma ön denemelerine ait veriler

Hamur deneme no	Hamur su içeriği (%)	Yoğurma suyu sıcaklığı (°C)	Yoğurma şekli	Yoğurma süresi (dk)	Fermantasyon süresi (dk)	Elde edilen hamura ait değerlendirme
1	55	~19.5	Tek yoğurma (1. devir)	10	190	Orta sert hamur, işlenme özelliği orta
2	43	~19.5	Kademeli ve dinlendirerek yoğurma (1. devir + 2. devir)	14 + 6	Hamur oluşumu gerçekleşmediği için pişirme uygulanamadı	Çok sert hamur, işlenme özelliği çok düşük
3	50	~19.5	Tek yoğurma (1. devir)	10	190	Sert hamur, işlenme özelliği düşük
4	45	~19.5	Kademeli ve dinlendirerek yoğurma (2. devir + 1. devir + 2. devir)	15 + 10 + 5	420	Çok sert hamur, işlenme özelliği çok düşük
5	45	~25	Kademeli ve dinlendirerek yoğurma (1. devir + 2. devir + 1. devir + 2. devir)	10 + 5 + 5+ 5	300	Çok sert hamur, işlenme özelliği çok düşük
6	43	~30	Kademeli ve dinlendirerek yoğurma (2. devir + 2. devir)	5 + 5	Hamur oluşumu gerçekleşmediği için pişirme uygulanamadı	Çok sert hamur, işlenme özelliği çok düşük
7	43	~35	Kademeli ve dinlendirerek yoğurma (2. devir + 1. devir)	10 + 5	300	Çok sert hamur, işlenme özelliği çok düşük

Çizelge 4.6. Buharla ekmek pişirme fırınında yapılan ekmek pişirme ön denemelerine ait veriler

Ekmek pişirme deneme no	Hamur su içeriği (%)	Ayarlanan fırın sıcaklığı (°C)	Ayarlanan buhar kızdırma ünitesi sıcaklığı (°C)	Pişirme süresi (dk)	Pişme öncesi ağırlık (g)	Pişme sonrası ağırlık (g)	Elde edilen ekmeğe ait değerlendirme
1	60.7	Isıtma yok	100	30	584	595	Beyaz renkli, iç nemi yüksek, yumuşak
2	60.7	Isıtma yok	250	45	584	582	Beyaz renkli, iç nemi makul, yumuşak
3	55	105	250	45	584	574	Açık sarı renkli, iç nemi düşük, orta sert
4	61.3	90	350	30	250	240	Beyaz renkli, iç nemi yüksek, yumuşak
5	50	90	340	30	250	242	Beyaz renkli, iç nemi düşük, sert
6	45	95	340	30	259	257	Beyaz renkli, iç nemi düşük, çok sert
7	45	95	340	30	259	256	Beyaz renkli, iç nemi düşük, çok sert



Şekil 4.3. Ekmek pişirme ön denemesi 3'e ait görseller



Şekil 4.4. Ekmek pişirme ön denemelerinde sırasıyla 4, 5, 6 ve 7 numaralı denemelerden (a), (b), (c) ve (d) elde edilen ekmeklere ait fotoğraflar

Çizelge 4.7. Buhar kızdırma ünitesinin sıcaklığına göre fırın içerisine giren buhar sıcaklığının değişimi

Buhar debisi seviyesi	Buhar kızdırma ünitesinin sıcaklığı (°C)	Buhar sıcaklığı (°C)
En düşük	250	100.6
Normal/2	250	118
Normal	250	116
En yüksek	250	141.1
En yüksek	320	154.1
En yüksek	350	195
En yüksek	360	210

4.3. Temin Edilen Ekşi Hamurların Aktifleştirilmesi ve Elde Edilen Veriler

Araştırma kapsamında Isparta ilinde bulunan ve geleneksel olarak ekşi hamur ekmeği üreten 7 farklı fırından temin edilen ekşi hamurlar, 216 saat boyunca 24 saatte bir hamur verimi 250 olacak şekilde aşılanarak 30°C'de inkübe edilmiş ve bu 24 saatlik periyotlarda ekşi hamurlardan örnek alınarak bu örneklerin kurumadde (%), pH ve TTA (% laktik asit ve mL/10 g cinsinden) değerleri takip edilmiştir. Temin edilen ekşi hamurların aktifleştirilmesi aşamasındaki kurumadde takibine ait veriler Çizelge 4.8'de, pH ve TTA takibine ait veriler ise Çizelge 4.9'da verilmiştir. Ayrıca 0. saat (başlangıç) ve 216. saat örneklerinde mikrobiyolojik analiz yapılarak 0. saat örneğinde bulunan TMAB, toplam laktobasil, toplam laktokok ve toplam maya sayılarının 216 saatlik süre sonunda gösterdikleri artış miktarları da tespit edilmiş olup bu mikroorganizmalarda meydana gelen logaritmik artış miktarları Çizelge 4.10'da verilmiştir.

Çizelge 4.8. Temin edilen ekşi hamurların aktifleştirilmesi aşamasındaki kurumadde takibine ait veriler (± standart hata)

Süre (sa)	Örnek adı						
	E1	**E2**	**E3**	**E4**	**E5**	**E6**	**E7**
0	34.20 ± 0.02	34.72 ± 0.02	35.00 ± 0.02	35.53 ± 0.10	34.94 ± 0.01	34.09 ± 0.05	34.92 ± 0.04
24	35.90 ± 0.01	36.06 ± 0.15	35.54 ± 0.10	34.86 ± 0.20	35.15 ± 0.00	35.89 ± 0.02	34.97 ± 0.08
48	35.41 ± 0.01	35.59 ± 0.04	35.41 ± 0.00	35.39 ± 0.05	35.80 ± 0.29	35.31 ± 0.02	35.52 ± 0.11
72	35.50 ± 0.01	35.86 ± 0.13	35.67 ± 0.03	33.39 ± 0.08	35.69 ± 0.04	35.10 ± 0.10	35.12 ± 0.09
96	35.36 ± 0.09	35.14 ± 0.15	35.19 ± 0.10	33.04 ± 0.05	35.35 ± 0.02	34.40 ± 0.09	35.22 ± 0.09
120	35.32 ± 0.04	33.14 ± 0.31	32.21 ± 1.31	33.51 ± 0.04	34.46 ± 0.08	32.99 ± 0.13	35.14 ± 0.06
144	33.85 ± 0.09	33.75 ± 0.03	33.62 ± 0.05	33.59 ± 0.04	33.63 ± 0.00	33.08 ± 0.01	35.26 ± 0.11
168	33.96 ± 0.05	33.64 ± 0.06	33.48 ± 0.02	33.77 ± 0.01	33.42 ± 0.06	33.28 ± 0.14	34.40 ± 0.04
192	34.15 ± 0.05	33.54 ± 0.00	33.88 ± 0.01	33.91 ± 0.03	33.71 ± 0.03	33.33 ± 0.04	33.93 ± 0.04
216	33.82 ± 0.15	33.57 ± 0.15	33.98 ± 0.07	33.88 ± 0.13	33.77 ± 0.02	33.40 ± 0.05	33.92 ± 0.08

Çizelge 4.9. Temin edilen ekşi hamurların aktifleştirilmesi aşamasındaki pH ve TTA takibine ait veriler (± standart hata)

Analiz	Süre (sa)	Örnek adı						
		E1	**E2**	**E3**	**E4**	**E5**	**E6**	**E7**
pH	0	6.11 ± 0.01	6.10 ± 0.00	5.86 ± 0.01	5.97 ± 0.00	5.98 ± 0.00	6.18 ± 0.00	5.77 ± 0.00
	24	4.29 ± 0.00	4.20 ± 0.00	4.09 ± 0.00	4.11 ± 0.00	4.13 ± 0.00	4.06 ± 0.00	4.12 ± 0.00
	48	3.97 ± 0.00	3.97 ± 0.00	3.92 ± 0.00	3.95 ± 0.01	3.92 ± 0.00	3.86 ± 0.00	3.91 ± 0.00
	72	3.85 ± 0.01	3.84 ± 0.00	3.83 ± 0.01	3.80 ± 0.00	3.84 ± 0.00	3.81 ± 0.01	3.83 ± 0.00
	96	3.80 ± 0.00	3.82 ± 0.00	3.81 ± 0.00	3.82 ± 0.01	3.76 ± 0.01	3.78 ± 0.00	3.80 ± 0.01
	120	3.79 ± 0.00	3.75 ± 0.00	3.81 ± 0.01	3.83 ± 0.00	3.78 ± 0.00	3.78 ± 0.00	3.71 ± 0.00
	144	3.81 ± 0.01	3.86 ± 0.00	3.87 ± 0.00	3.85 ± 0.01	3.79 ± 0.01	3.84 ± 0.01	3.77 ± 0.01
	168	3.71 ± 0.01	3.73 ± 0.00	3.78 ± 0.01	3.78 ± 0.00	3.76 ± 0.00	3.77 ± 0.01	3.68 ± 0.01
	192	3.74 ± 0.01	3.71 ± 0.00	3.76 ± 0.00	3.76 ± 0.00	3.73 ± 0.00	3.78 ± 0.00	3.71 ± 0.00
	216	3.76 ± 0.00	3.73 ± 0.00	3.76 ± 0.00	3.77 ± 0.00	3.73 ± 0.00	3.77 ± 0.01	3.74 ± 0.01
TTA (% Laktik asit)	0	0.71 ± 0.01	0.64 ± 0.06	0.80 ± 0.01	0.73 ± 0.00	0.74 ± 0.00	0.61 ± 0.02	0.85 ± 0.01
	24	2.38 ± 0.03	2.37 ± 0.02	2.72 ± 0.00	2.74 ± 0.02	2.37 ± 0.02	2.67 ± 0.02	2.89 ± 0.01
	48	3.40 ± 0.02	3.35 ± 0.03	3.51 ± 0.04	3.38 ± 0.02	3.36 ± 0.03	3.94 ± 0.03	3.55 ± 0.01
	72	3.63 ± 0.02	3.65 ± 0.05	3.62 ± 0.02	4.00 ± 0.00	3.58 ± 0.01	4.04 ± 0.03	3.75 ± 0.01
	96	3.90 ± 0.00	3.94 ± 0.05	3.64 ± 0.08	3.90 ± 0.02	3.99 ± 0.01	4.76 ± 0.03	3.91 ± 0.03
	120	4.33 ± 0.01	4.78 ± 0.06	4.57 ± 0.24	4.17 ± 0.06	4.32 ± 0.06	4.84 ± 0.00	4.29 ± 0.04
	144	4.87 ± 0.00	4.33 ± 0.00	4.02 ± 0.02	4.34 ± 0.03	4.36 ± 0.00	3.97 ± 0.01	4.47 ± 0.01
	168	4.92 ± 0.01	4.54 ± 0.03	4.16 ± 0.05	4.52 ± 0.02	4.32 ± 0.01	4.09 ± 0.00	5.24 ± 0.01
	192	4.56 ± 0.02	4.63 ± 0.05	4.23 ± 0.04	4.40 ± 0.04	4.51 ± 0.03	4.11 ± 0.01	4.75 ± 0.01
	216	4.62 ± 0.05	4.66 ± 0.03	4.34 ± 0.02	4.45 ± 0.03	4.69 ± 0.01	4.24 ± 0.00	4.57 ± 0.01

(Devamı Arkada)

Çizelge 4.9'un devamı

TTA (mL/10 g örnek)	0	3.00 ± 0.00	2.75 ± 0.25	3.50 ± 0.00	3.25 ± 0.00	3.25 ± 0.00	2.63 ± 0.13	3.75 ± 0.00
	24	10.63 ± 0.13	10.75 ± 0.00	12.00 ± 0.00	12.00 ± 0.00	10.38 ± 0.13	12.00 ± 0.00	12.50 ± 0.00
	48	15.13 ± 0.13	15.00 ± 0.00	15.63 ± 0.13	14.88 ± 0.13	15.25 ± 0.00	17.38 ± 0.13	15.75 ± 0.00
	72	15.88 ± 0.13	16.25 ± 0.00	16.00 ± 0.00	16.50 ± 0.00	15.75 ± 0.00	17.50 ± 0.00	16.25 ± 0.00
	96	17.25 ± 0.00	17.13 ± 0.13	16.13 ± 0.38	16.00 ± 0.00	17.38 ± 0.13	20.50 ± 0.00	17.13 ± 0.13
	120	19.13 ± 0.13	20.00 ± 0.25	18.50 ± 0.25	17.50 ± 0.25	18.63 ± 0.13	20.25 ± 0.25	19.13 ± 0.13
	144	20.88 ± 0.13	18.50 ± 0.00	17.13 ± 0.13	18.25 ± 0.00	18.63 ± 0.13	16.63 ± 0.13	20.00 ± 0.00
	168	20.88 ± 0.13	19.13 ± 0.13	17.50 ± 0.25	19.13 ± 0.13	18.25 ± 0.00	17.13 ± 0.13	22.75 ± 0.00
	192	19.63 ± 0.13	19.63 ± 0.13	18.13 ± 0.13	18.63 ± 0.13	19.13 ± 0.13	17.25 ± 0.00	20.25 ± 0.00
	216	19.63 ± 0.13	19.63 ± 0.13	18.25 ± 0.00	18.75 ± 0.00	19.63 ± 0.13	17.63 ± 0.13	19.38 ± 0.13

Çizelge 4.10. Temin edilen ekşi hamurların 0. saat ve 216. saat mikroorganizma sayılarına göre TMAB, toplam laktobasil, toplam laktokok ve toplam maya sayılarındaki logaritmik değişime ait veriler (± standart hata)

Örnek adı		Mikroorganizma sayısı (log kob/g)			
		TMAB sayısı	**Toplam laktobasil sayısı**	**Toplam laktokok sayısı**	**Toplam maya sayısı**
E1	0. saat	3.04 ± 0.04	2.36 ± 0.08	2.27 ± 0.01	2.45 ± 0.01
	216. saat	8.43 ± 0.00	9.85 ± 0.02	9.81 ± 0.02	9.06 ± 0.00
	Logaritmik artış	**5.39 ± 0.03**	**7.48 ± 0.11**	**7.54 ± 0.03**	**6.61 ± 0.01**
E2	0. saat	3.08 ± 0.00	1.72 ± 0.12	2.22 ± 0.01	2.55 ± 0.01
	216. saat	8.32 ± 0.01	9.25 ± 0.02	9.26 ± 0.02	8.75 ± 0.06
	Logaritmik artış	**5.24 ± 0.01**	**7.53 ± 0.10**	**7.04 ± 0.03**	**6.20 ± 0.05**
E3	0. saat	2.81 ± 0.03	2.06 ± 0.02	2.85 ± 0.00	2.47 ± 0.01
	216. saat	8.05 ± 0.00	9.03 ± 0.00	9.01 ± 0.06	8.79 ± 0.00
	Logaritmik artış	**5.24 ± 0.03**	**6.97 ± 0.02**	**6.17 ± 0.06**	**6.32 ± 0.01**
E4	0. saat	3.15 ± 0.15	1.60 ± 0.00	2.78 ± 0.00	5.55 ± 0.00
	216. saat	8.44 ± 0.00	9.78 ± 0.05	9.89 ± 0.03	8.89 ± 0.07
	Logaritmik artış	**5.29 ± 0.15**	**8.17 ± 0.05**	**7.11 ± 0.03**	**3.35 ± 0.07**
E5	0. saat	3.71 ± 0.06	3.36 ± 0.02	3.54 ± 0.04	3.91 ± 0.01
	216. saat	8.98 ± 0.05	9.36 ± 0.03	9.30 ± 0.03	8.92 ± 0.01
	Logaritmik artış	**5.27 ± 0.01**	**5.99 ± 0.01**	**5.77 ± 0.01**	**5.01 ± 0.01**
E6	0. saat	3.39 ± 0.03	3.13 ± 0.02	3.19 ± 0.01	3.92 ± 0.01
	216. saat	9.00 ± 0.02	9.14 ± 0.03	9.17 ± 0.02	8.72 ± 0.06
	Logaritmik artış	**5.61 ± 0.01**	**6.01 ± 0.01**	**5.98 ± 0.01**	**4.80 ± 0.07**
E7	0. saat	2.45 ± 0.15	1.80 ± 0.10	2.50 ± 0.04	2.42 ± 0.01
	216. saat	8.74 ± 0.03	10.05 ± 0.03	10.04 ± 0.05	8.24 ± 0.03
	Logaritmik artış	**6.28 ± 0.12**	**8.25 ± 0.13**	**7.54 ± 0.09**	**5.82 ± 0.04**

Temin edilen ekşi hamurların aktifleştirilmesi aşamasındaki Çizelge 4.8'de verilen kurumadde takibine ait veriler incelendiğinde; 0. saatte ortalama %34.77 olan kurumadde içeriği genel olarak 144. saatten sonra sabitlenmiş ve 216. saat sonunda ekşi hamur örneklerinin ortalama kurumadde içeriği %33.76 olarak tespit edilmiştir. Ekşi hamur örneklerinin kurumadde içeriklerindeki bu düşüşün, hamur veriminin 24 saatte bir 250'ye ayarlanması ile ilişkili olabileceği ve yaklaşık %36 kurumadde içeriği ile temin edilen ekşi hamurların (undaki nem ve una eklenen su miktarı toplamı yaklaşık %64 olduğu için) başlangıç kurumadde içeriğine ait etkinin hamur verimi ayarlama işleminin 144. saatinden sonra kaybolduğu değerlendirilmiştir. Ayrıca ortamda var olan besin bileşenlerinin mikrobiyal faaliyetler sonucunda CO_2 gibi gazların ve organik asitler gibi uçucu bileşenlerin oluşumunda kullanılmasının da kurumadde düşüşünde etkili olmuş olabileceği değerlendirilmiştir.

Temin edilen ekşi hamurların Çizelge 4.9'da verilen ve başlangıçta sırasıyla ortalama 6.00, %0.73 ve 3.16 mL/10 g olan pH, laktik asit cinsinden ve mL/10 g örnek cinsinden TTA değerleri, 120. saat itibari ile dengelenmiş olup, 216. saat sonunda sırasıyla ortalama 3.75, %4.51 ve 18.94 mL/10 g olarak belirlenmiştir. Ekşi hamurların pH ve TTA değerleri; unun çeşidi, uygulanan ekşi hamur prosesi ve kullanılan starter kültüre göre değişiklik göstermekle birlikte (Sanz-Penella vd. 2012) genel olarak 4.5'in altında seyretmektedir (Bircan vd. 2017; Gobbetti 1998). Dertli vd. (2016) çalışmalarında Trabzon Vakfıkebir bölgesinden temin ettikleri buğday unundan üretilen ekşi hamurların pH değerlerinin 3.37-3.95 arasında değiştiğini, Fraberger vd. (2020) Avusturya'nın farklı bölgelerinden temin ettikleri buğday unundan üretilen ekşi hamurların pH değerlerinin 3.69-4.36 arasında değiştiğini, Sanz-Penella vd. (2012) ise *Bifidobacterium pseudocatenulatum* ATCC27919 starter kültürünü kullanarak elde ettikleri tam buğday unu ekşi hamurunun pH değerinin 4.2 olduğunu bildirmişlerdir. Toplam titrasyon asitliği değeri farklı *Lactobacillus casei* suşları kullanılarak tam buğday unundan üretilen ekşi hamurlarda 3.32-13.71 mL/10 g (Garcia-Mantrana vd. 2016); *Bifidobacterium pseudocatenulatum* ATCC27919 starter kültürü kullanılarak elde edilen tam buğday unu ekşi hamurunda 17.24 mL/10 g (Sanz-Penella vd. 2012) ve buğday unundan elde edilen farklı fırınlara ait ekşi hamurlarda 7.18-17.04 mL/10 g (Fraberger vd. 2020) olarak tespit edilmiştir.

Temin edilen ekşi hamurların Çizelge 4.10'da verilen 0. saat ve 216. saat mikrobiyal yüklerine göre TMAB, toplam laktobasil, toplam laktokok ve toplam maya sayılarındaki logaritmik artış sırasıyla ortalama 5.47, 7.20, 6.74 ve 5.44 log kob/g olarak tespit edilmiştir. Ortamdaki laktik asit bakterilerinin ekşi hamur ortamındaki asitliği arttırması ve bu asitlik düzeyinde diğer mikroorganizmaların çoğalmasını baskılaması nedenleriyle toplam laktobasil ve laktokok sayılarının TMAB ve toplam maya sayısına göre daha fazla logaritmik artış gösterdiği değerlendirilmiştir. Ekşi hamurların 216. saat sonunda toplam laktobasil sayısı ortalama 9.49 log kob/g, toplam laktokok sayısı ortalama 9.50 log kob/g ve toplam maya sayısı ortalama 8.77 log kob/g olarak belirlenmiştir. Literatürdeki bir çalışmada buğday unundan üretilen farklı ekşi hamurların MRS ve M17 agarlarda takip edilen laktik asit bakteri sayılarının MRS agar için 5.80-9.43 log kob/g, M17 agar için ise <5.00-9.35 log kob/g arasında değiştiği bildirilmiştir (Fraberger vd. 2020). Aynı çalışmada farklı besiyerleri kullanılarak ekşi hamurların maya sayıları da tespit edilmiş ve bu değerin ortalama 5.52-7.78 log kob/g arasında değiştiği belirtilmiştir. Xu vd. (2019) ise farklı starter kültürleri kombine ederek ürettiği buğday

unu ekşi hamurlarında laktik asit bakterisi ve maya sayılarının sırasıyla 8.12-9.37 ve 6.70-7.98 log kob/g aralığında değiştiğini tespit etmişlerdir.

4.4. Olgun Temsili Ekşi Hamurun Oluşturulması ve Elde Edilen Veriler

Aktifleştirme işleminin 216. saatinde elde edilen ekşi hamurların her birinden eşit miktarda alınıp birbirleriyle karıştırılmasıyla temsili bir ekşi hamur oluşturulmuştur. Oluşturulan temsili ekşi hamur 120 saat boyunca yine 24 saatte bir hamur verimi 250 olacak şekilde aşılanıp 30°C'de inkübe edilerek olgunlaştırılmıştır. Periyodik olarak 24 saatte bir alınan örneklerin kurumadde, pH ve TTA değerleri ile birlikte TMAB, toplam laktobasil, toplam laktokok ve toplam maya sayıları takip edilmiştir. Temsili ekşi hamurun kurumadde, pH ve TTA takibine ait veriler Çizelge 4.11'de, TMAB, toplam laktobasil, toplam laktokok ve toplam maya sayısı takibine ait veriler ise Çizelge 4.12'de verilmiştir.

Çizelge 4.11. Temsili ekşi hamurun kurumadde, pH ve TTA takibine ait veriler (± standart hata)

Süre (sa)	Kurumadde (%)	pH	TTA (% Laktik asit)	TTA (mL/10 g örnek)
0	35.59 ± 0.09	5.15 ± 0.01	1.20 ± 0.02	5.38 ± 0.13
24	33.48 ± 0.12	3.74 ± 0.00	4.63 ± 0.01	19.63 ± 0.13
48	33.70 ± 0.02	3.70 ± 0.01	4.69 ± 0.00	19.63 ± 0.13
72	33.93 ± 0.03	3.73 ± 0.00	4.56 ± 0.01	19.38 ± 0.13
96	34.28 ± 0.06	3.65 ± 0.00	4.52 ± 0.00	19.13 ± 0.13
120	34.07 ± 0.10	3.69 ± 0.00	4.73 ± 0.04	20.25 ± 0.25

Çizelge 4.12. Temsili ekşi hamurun TMAB, toplam laktobasil, toplam laktokok ve toplam maya sayısı takibine ait veriler (± standart hata)

Süre (sa)	Mikroorganizma sayısı (log kob/g)			
	TMAB sayısı	Toplam laktobasil sayısı	Toplam laktokok sayısı	Toplam maya sayısı
0	7.45 ± 0.12	8.62 ± 0.01	8.50 ± 0.01	7.53 ± 0.23
24	8.97 ± 0.03	9.97 ± 0.00	9.81 ± 0.02	8.74 ± 0.01
48	8.47 ± 0.01	9.76 ± 0.01	9.76 ± 0.00	8.55 ± 0.01
72	8.34 ± 0.01	10.00 ± 0.00	9.98 ± 0.03	8.30 ± 0.01
96	8.14 ± 0.01	10.05 ± 0.00	9.98 ± 0.05	8.33 ± 0.06
120	8.12 ± 0.01	9.90 ± 0.07	9.85 ± 0.02	8.23 ± 0.03
Logaritmik artış	**0.68 ± 0.14**	**1.28 ± 0.07**	**1.35 ± 0.01**	**0.70 ± 0.26**

Temsili ekşi hamurun kurumadde, pH, laktik asit cinsinden ve mL/10 g örnek cinsinden TTA değerleri ile TMAB, toplam laktobasil, toplam laktokok ve toplam maya sayısı verileri değerlendirildiğinde; bu değerlerin 0. saatte aşılamanın yeni yapılmış

olmasına bağlı olarak daha düşük olduğu, daha sonraki saatlerde ise büyük bir değişiklik göstermeyerek salınım yaptığı belirlenmiştir. Belirlenen değerlerin, temin edilen ekşi hamurların aktifleştirilmesi aşamasında her bir ekşi hamura yapılan analiz sonuçlarının ortalamaları ile benzerlik gösterdiği tespit edilmiştir.

Sonuç olarak; olgun ekşi hamurlarda 10:1 ile 100:1 arasında olması istenen toplam laktik asit bakterisi:maya sayısı oranının ön denemelerle de teyit edilen 96. saatte yaklaşık 100:1'e ulaştığı ve oluşturulmuş olan temsili ekşi hamurun bu saatten sonra olgun bir ekşi hamur olarak değerlendirilebileceği sonucuna varılmıştır. Bu nedenle elde edilen bu olgun temsili ekşi hamur buharla ekmek pişirme fırınında ekmek üretiminin optimizasyonu için kullanılmak üzere -40°C'de depolanmıştır.

Depolama esnasında aktivitesini bir miktar yitiren olgun ekşi hamurlar, ekşi hamur ekmeği üretiminde kullanılmadan önce içerisindeki mikrofloranın aktivitesini tekrar kazanması için -40°C'deki dondurucudan çıkarıldıktan sonra 24 saatlik periyotlarla 72 saat boyunca geri aşılama işlemine tabi tutulmuştur. Uygulanan 72 saatlik aktivasyon işlemi sonrasında olgun temsili ekşi hamurda ortalama TMAB, toplam laktobasil, toplam laktokok ve toplam maya sayısı sırasıyla 8.82, 9.65, 9.64 ve 7.43 log kob/g olarak tespit edilmiş ve bu olgun ve aktif ekşi hamurlar ekşi hamur ekmeği üretimlerinde kullanılmıştır.

4.5. Buharla Ekmek Pişirme Fırınında Ekmek Pişirme İşleminin Optimizasyonu İçin Uygun Ekmek Gramajının Belirlenmesi

Buharla ekmek pişirme fırınında ekmek pişirme işleminin optimizasyonu için uygun ekmek gramajının belirlenmesi amacıyla bir ön deneme gerçekleştirilmiştir. Yapılan ön denemede; FSİ değerinin %80'i kadar su kullanılarak elde edilen hamurun 100, 200, 300, 400 ve 500 g olarak farklı ağırlıklarda kesildikten sonra 100°C ve 200°C buhar sıcaklıklarında 20 dk pişirilmesi sonucu elde edilen ekmeklere ağırlık değişimi, spesifik hacim, kurumadde ve su aktivitesi (a_w) analizleri ile tekstür profil analizi uygulanmıştır. FSİ değerinin %80'i kadar su kullanılarak elde edilen hamurun farklı gramajlarda kesildikten sonra 100°C buhar sıcaklığında 20 dk pişirilmesi sonucu elde edilen ekmeklere ait bazı fiziksel ve kimyasal analiz verileri Çizelge 4.13'te, TPA verileri Çizelge 4.14'te, üretime ait fotoğraflar ise Şekil 4.5'te ve Şekil 4.6'da verilmiştir. Aynı şekilde oluşturulan hamurların 200°C buhar sıcaklığında 20 dk pişirilmesi sonucu elde edilen ekmeklere ait bazı fiziksel ve kimyasal analiz verileri Çizelge 4.15'te, TPA verileri Çizelge 4.16'da, üretime ait fotoğraflar ise Şekil 4.7 ve Şekil 4.8'de verilmiştir.

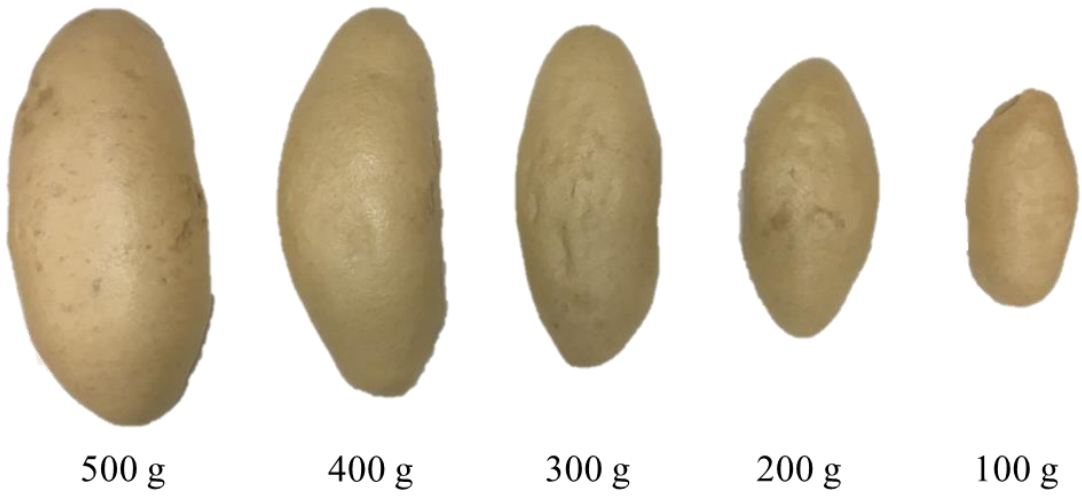
Elde edilen veriler incelendiğinde; hamur gramajı azaldıkça genel olarak nem içeriğindeki azalmayla birlikte ağırlıktaki azalmanın daha fazla olduğu ve ekmek sertliğinin de azaldığı tespit edilmiştir. Düşük gramajlı ekmeklerde ekmek içerisine ulaşabilen nispeten yüksek sıcaklıklı buharın daha fazla olması nedeniyle pişme işleminin daha iyi gerçekleştiği, bu nedenle de bu ekmeklerin daha yumuşak olduğu değerlendirilmiştir. Ayrıca yüksek gramajlı ekmeklerde fermantasyon sırasında hacim artışı meydana gelirken ekmeğin katlama noktalarından ayrılarak yayıldığı, ekmek yüzeyinde ise bazı deformasyonlar gerçekleştiği tespit edilmiştir. Bu nedenlerle buharla ekmek pişirme fırınında pişirme koşullarının optimizasyonu için üretilecek ekmeklerin en fazla 200 g ağırlığında hamur parçaları kesilerek oluşturulmasının daha uygun olacağı değerlendirilmiştir.

Çizelge 4.13. Farklı ağırlıklarda kesilen hamurların 100°C buhar sıcaklığında pişirilmesiyle elde edilen ekmeklere ait bazı fiziksel ve kimyasal analiz verileri

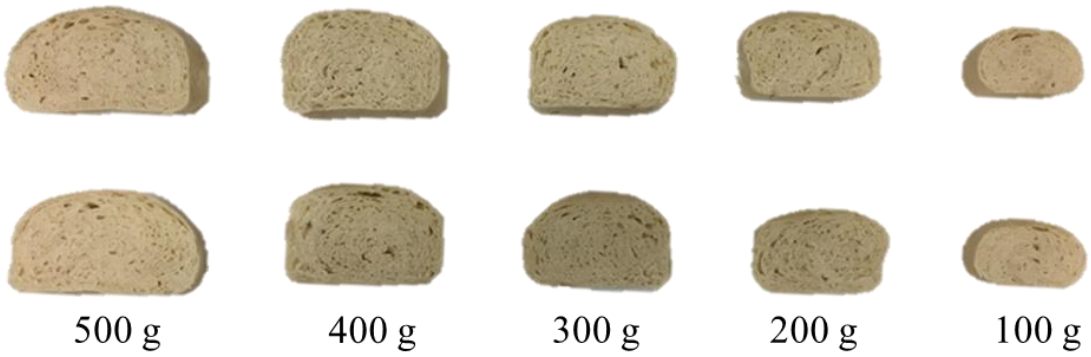
Ekmek ağırlığı (g)	Renk değerleri						Ağırlık kaybı (%)	Spesifik hacim (cm^3/g)	Kurumadde içeriği (%)	a_w
	Kabuk rengi			İç rengi						
	*L**	*a**	*b**	*L**	*a**	*b**				
500	73.19	2.85	22.63	71.92	1.26	17.54	0.80	2.91	60.38	0.920
400	72.53	3.02	23.08	71.52	1.18	17.38	0.00	2.77	59.88	0.921
300	71.54	3.00	22.96	70.98	1.46	18.20	0.67	2.46	60.00	0.919
200	72.97	2.72	23.24	71.61	1.09	17.56	1.50	2.54	60.10	0.920
100	72.13	2.96	23.79	72.06	1.43	18.25	3.50	2.33	61.53	0.917

Çizelge 4.14. Farklı ağırlıklarda kesilen hamurların 100°C buhar sıcaklığında pişirilmesiyle elde edilen ekmeklere ait TPA verileri

Ekmek ağırlığı (g)	TPA parametreleri					
	Sertlik (g)	Esneklik	Kohezyon	Sakızımsılık	Çiğnenebilirlik (g)	Elastikiyet
500	1698.68	0.67	0.61	1036.43	695.37	0.20
400	1555.09	0.67	0.60	923.62	620.78	0.19
300	1414.47	0.72	0.62	879.22	635.49	0.21
200	1299.48	0.76	0.65	849.13	642.58	0.23
100	1233.10	0.82	0.68	839.30	688.68	0.27



Şekil 4.5. Farklı ağırlıklarda kesilen hamurların 100°C buhar sıcaklığında pişirilmesiyle üretilen ekmeklere ait dış görünümü gösteren fotoğraflar



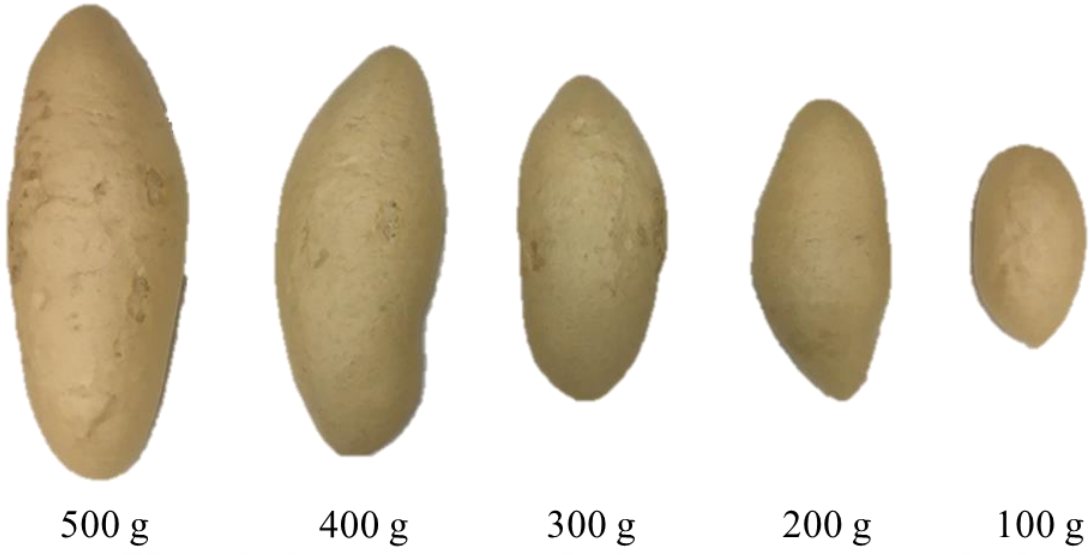
Şekil 4.6. Farklı ağırlıklarda kesilen hamurların 100°C buhar sıcaklığında pişirilmesiyle üretilen ekmeklere ait iç görünümü gösteren fotoğraflar

Çizelge 4.15. Farklı ağırlıklarda kesilen hamurların 200°C buhar sıcaklığında pişirilmesiyle elde edilen ekmeklere ait bazı fiziksel ve kimyasal analiz verileri

Ekmek ağırlığı (g)	Renk değerleri						Ağırlık kaybı (%)	Spesifik hacim (cm^3/g)	Kurumadde içeriği (%)	a_w
	Kabuk rengi			İç rengi						
	*L**	*a**	*b**	*L**	*a**	*b**				
500	71.44	3.32	24.44	70.55	1.83	18.24	2.80	2.77	61.83	0.917
400	73.66	2.77	24.34	71.87	1.38	17.81	3.00	2.85	61.84	0.915
300	70.53	3.17	23.49	68.42	1.96	17.98	3.00	2.58	61.75	0.914
200	74.45	2.93	23.84	71.25	1.60	18.36	4.00	2.89	62.89	0.912
100	74.71	2.46	24.14	70.96	1.55	18.49	5.50	3.86	62.78	0.911

Çizelge 4.16. Farklı ağırlıklarda kesilen hamurların 200°C buhar sıcaklığında pişirilmesiyle elde edilen ekmeklere ait TPA verileri

Ekmek ağırlığı (g)	TPA parametreleri					
	Sertlik (g)	Esneklik	Kohezyon	Sakızımsılık	Çiğnenebilirlik (g)	Elastikiyet
500	2005.98	0.79	0.65	1295.46	1023.86	0.24
400	1964.08	0.81	0.64	1260.42	1024.65	0.25
300	1941.63	0.84	0.66	1285.93	1080.24	0.27
200	1882.67	0.87	0.70	1319.29	1143.26	0.30
100	1744.84	0.91	0.76	1331.72	1208.79	0.34



Şekil 4.7. Farklı ağırlıklarda kesilen hamurların 200°C buhar sıcaklığında pişirilmesiyle üretilen ekmeklere ait dış görünümü gösteren fotoğraflar



Şekil 4.8. Farklı ağırlıklarda kesilen hamurların 200°C buhar sıcaklığında pişirilmesiyle üretilen ekmeklere ait iç görünümü gösteren fotoğraflar

4.6. Buharla Ekmek Pişirme Fırınında Ekmek Üretiminin Optimizasyonu

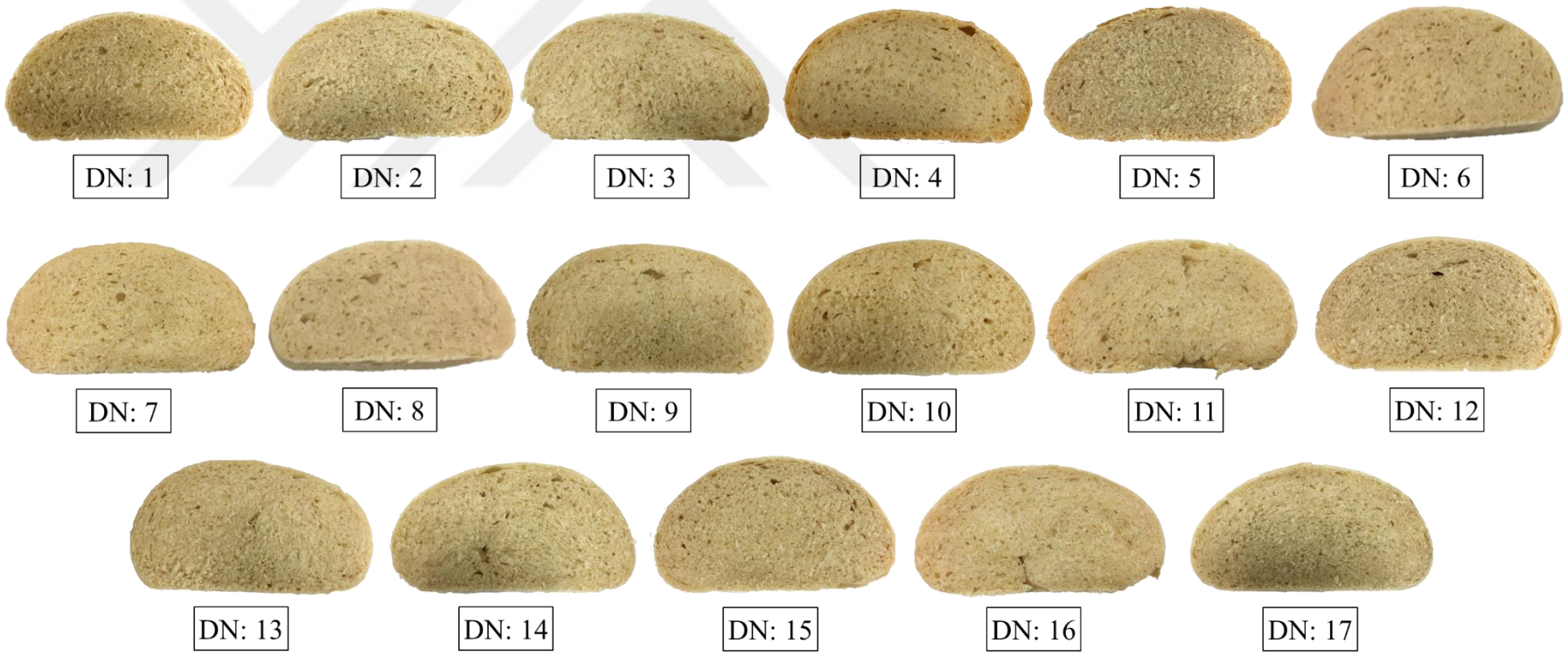
Araştırmanın bu aşamasında; buharla ekmek pişirme fırınında üretilecek ekşi hamur ekmeklerinin özellikleri üzerinde etkili olan su miktarı (FSİ %80-100), pişirme sıcaklığı (100-200°C) ve pişirme süresi (20-50 dk) koşullarının optimize edilmesi amaçlanmıştır. Buharla ekmek pişirme fırınında ekmek üretim işleminde bağımsız değişkenler olan su içeriği, pişirme sıcaklığı ve pişirme süresinin; yanıt değişkenleri olan kabuk HMF içeriği, TPA-sertlik, TPA-esneklik ve kabuk rengi *L** değerleri üzerine etkilerini belirlemek için araştırmada yanıt yüzey metodunun merkezi kompozit tasarım deneme deseni uygulanmıştır.

Buharla ekmek pişirme fırını ile ekşi hamur ekmeği üretimi için; en düşük kabuk HMF içeriği ve TPA-sertlik, en yüksek TPA-esneklik ve kabuk rengi *L** değerlerinin sağlanması ve bu üretimi sağlayacak koşulların optimize edilmesi amacıyla, deneme

deseninin bağımsız değişkenlerinin en yüksek ve en düşük sınır değerleri ön denemeler yapılarak belirlenmiş ve bu buharla ekmek pişirme fırını ile toplamda 17 farklı koşulda ekşi hamur ekmeği üretimi gerçekleştirilmiştir. Buharla ekmek pişirme fırınında ekmek üretiminin optimizasyonu için deneme desenine göre 17 farklı koşulda üretilen ekşi hamur ekmeklerinin dış görünümlerini gösteren fotoğraflar Şekil 4.9'da, iç görünümlerini gösteren fotoğraflar ise Şekil 4.10'da verilmiştir.



Şekil 4.9. Buharla ekmek pişirme fırınında ekmek üretiminin optimizasyonu için deneme desenine göre 17 farklı koşulda üretilen ekşi hamur ekmeklerinin dış görünümlerini gösteren fotoğraflar



Şekil 4.10. Buharla ekmek pişirme fırınında ekmek üretiminin optimizasyonu için deneme desenine göre 17 farklı koşulda üretilen ekşi hamur ekmeklerinin iç görünümlerini gösteren fotoğraflar

4.6.1. Üretilen ekmeklerin genel özelliklerinin belirlenmesi

Buharla ekmek pişirme fırını için oluşturulmuş olan deneme desenine göre 17 farklı koşulda üretilen ekmeklere yanıt değişkeni olarak tanımlanan parametrelerin özelliklerinin belirlenmesi için uygulanan analizlere ek olarak; ağırlık kaybı (%), spesifik hacim (cm^3/g), kabuk/iç oranı, kabuk kalınlığı (mm), renk (iç ve kabuk), tekstür profil, kurumadde (%) ve su aktivitesi analizleri ile kısa duyusal analiz uygulanmıştır.

Oluşturulmuş olan 17 üretimlik deneme desenine uygun olarak üretilen ekmeklerin ağırlık kaybı, spesifik hacim, kabuk/iç oranı ve kabuk kalınlığı değerlerine ait veriler Çizelge 4.17'de; iç ve kabuk renk değerlerine ait veriler Çizelge 4.18'de; TPA değerlerine ait veriler Çizelge 4.19'da; su aktivitesi, ekmek iç, kabuk ve bütününün kurumadde değerleri ve kabuk HMF içeriklerine ait veriler Çizelge 4.20'de ve kısa duyusal analiz parametrelerinin değerlerine ait veriler ise Çizelge 4.21'de verilmiştir.

Deneme desenine göre üretilen ekmeklerin Çizelge 4.17'de verilen ağırlık kaybı değerleri %0.67 ile %11.00 aralığında değişmiştir. Deneme deseni içerisinde en fazla ağırlık kaybı %11.00 oranındaki kayıp ile 4 numaralı denemeden elde edilen ekmekte tespit edilmiştir. Bu ekmeği %7.17 oranındaki kayıp ile 5 numaralı, %6.33 oranındaki kayıp ile 11 numaralı ve %6.17 oranındaki kayıp ile 2 numaralı denemeden elde edilen ekmeklerin takip ettiği belirlenmiştir. En düşük ağırlık kaybı değeri ise %0.67 oranındaki kayıp ile 9 numaralı denemeden elde edilen ekmekte belirlenmiş, bu ekmeği %1.17 oranındaki kayıp ile 13 numaralı ve %1.67 oranındaki kayıp ile 7 numaralı denemeden elde edilen ekmeklerin takip ettiği belirlenmiştir. Sonuçlardan da anlaşıldığı gibi; beklendiği üzere en yüksek ağırlık kaybı değerlerinin hem pişirme sıcaklığı hem de pişirme süresi en yüksek olan, en düşük ağırlık kaybı değerlerinin ise hem su içeriği hem de pişirme sıcaklığı en düşük olan ekmeklerde tespit edilmiştir. Su içeriği düşük olan ekmeklerde ağırlık kaybının daha az olması; bu ekmeklerde düşük su içeriğine bağlı olarak çözünen madde konsantrasyonunun yüksek, dolayısıyla bu çözünen maddelerin yapılarında bulunan suya ilgilerinin fazla olmasıyla ilişkilendirilmiş ve bu durumun pişirme esnasında su buharlaşmasını engellemiş olabileceği değerlendirilmiştir. Xu vd. (2020) buharda pişirilmiş ekmekler için ağırlık kaybının %0.05 ile %3.34 arasında değiştiğini tespit etmiştir. Cappa vd. (2016) ortalama 215°C'de elektrikli bir fırında pişirilen glutensiz ekşi hamur ekmekleri ile pres maya ile üretilen ekmeklerin ağırlıklarında %10.00 ile %17.00 arasında kayıp meydana geldiğini bildirmiştir.

Çizelge 4.17. Oluşturulmuş olan 17 üretimlik deneme desenine bağlı olarak üretilen ekmeklerin ağırlık kaybı, spesifik hacim, kabuk/iç oranı ve kabuk kalınlığı değerlerine ait veriler (± standart hata)

Deneme no	Deneme koşulları (%FSİ, °C, dk)	Ağırlık kaybı (%)	Spesifik hacim (cm^3/g)	Kabuk/İç oranı	Kabuk kalınlığı (mm)
1	%100, 200°C, 20 dk	5.17 ± 0.11	2.13 ± 0.03	0.14 ± 0.00	0.70 ± 0.02
2	%90, 150°C, 50 dk	6.17 ± 0.11	1.88 ± 0.01	0.15 ± 0.00	0.87 ± 0.02
3	%80, 150°C, 35 dk	3.50 ± 0.18	2.01 ± 0.02	0.14 ± 0.00	0.74 ± 0.01
4	%100, 200°C, 50 dk	11.00 ± 0.00	1.99 ± 0.04	0.31 ± 0.00	1.37 ± 0.03
5	%80, 200°C, 50 dk	7.17 ± 0.11	2.11 ± 0.02	0.16 ± 0.01	0.88 ± 0.03
6	%100, 100°C, 50 dk	2.58 ± 0.15	2.14 ± 0.01	0.15 ± 0.00	0.60 ± 0.01
7	%90, 100°C, 35 dk	1.67 ± 0.11	1.87 ± 0.02	0.14 ± 0.00	0.58 ± 0.01
8	%100, 150°C, 35 dk	3.50 ± 0.18	2.14 ± 0.03	0.13 ± 0.01	0.61 ± 0.01
9	%80, 100°C, 20 dk	0.67 ± 0.11	1.86 ± 0.02	0.15 ± 0.00	0.71 ± 0.01
10	%100, 100°C, 20 dk	2.17 ± 0.11	2.08 ± 0.05	0.17 ± 0.00	0.75 ± 0.02
11	%90, 200°C, 35 dk	6.33 ± 0.11	1.88 ± 0.02	0.13 ± 0.00	0.72 ± 0.02
12	%90, 150°C, 35 dk	3.50 ± 0.18	2.22 ± 0.02	0.13 ± 0.00	0.49 ± 0.01
13	%80, 100°C, 50 dk	1.17 ± 0.11	1.88 ± 0.03	0.15 ± 0.01	0.76 ± 0.02
14	%90, 150°C, 20 dk	2.17 ± 0.11	1.94 ± 0.03	0.16 ± 0.00	0.72 ± 0.03
15	%80, 200°C, 20 dk	2.83 ± 0.11	2.03 ± 0.05	0.12 ± 0.00	0.59 ± 0.01
16	%90, 150°C, 35 dk	4.33 ± 0.11	1.89 ± 0.02	0.12 ± 0.00	0.63 ± 0.01
17	%90, 150°C, 35 dk	3.58 ± 0.08	2.35 ± 0.02	0.13 ± 0.00	0.64 ± 0.01

Üretilen ekmeklerin Çizelge 4.17'de verilen spesifik hacim değerlerinin 1.86 ile 2.35 cm^3/g aralığında değiştiği tespit edilmiştir. En düşük spesifik hacim değerlerine sahip olan ekmeklerin 1.86 cm^3/g ile 9 numaralı ve 1.87 cm^3/g ile 7 numaralı denemelerden; en yüksek spesifik hacim değerine sahip olan ekmeklerin ise 2.35 cm^3/g ile 17 numaralı ve 2.22 cm^3/g ile 12 numaralı orta noktaları içeren denemelerden elde edildiği belirlenmiştir. Ekmekte hacim oluşumu mayalanma işlemi ile ilgili olduğu kadar pişirme sırasında gerçekleşen fırın sıçraması olayı ile de yakından ilgilidir. Su içeriği düşük olup, düşük sıcaklıkta kısa süre pişirilen ekmeklerde fırın sıçramasının tam anlamıyla gerçekleşememiş olmasının bu ekmeklerde daha düşük spesifik hacim değerlerinin elde edilmesine neden olduğu değerlendirilmiştir. Ayrıca spesifik hacim, ekmek hacminin ekmek ağırlığına bölünmesiyle hesaplanan bir değer olduğu için, bu ekmeklerde belirlenen ağırlık kaybının düşük dolayısıyla ağırlığın yüksek olmasına bağlı olarak spesifik hacim değerinin de düşük olarak hesaplandığı düşünülmüştür. Li vd. (2022) yalnızca maya, maya-laktik asit bakterisi, maya-asetik asit bakterisi ve maya-laktik asit bakterisi-asetik asit bakterisi ile hazırladıkları ekşi hamurları kullanarak buharda pişirilmiş ekşi hamur ekmeği üretmiş ve bu ekmeklerin spesifik hacim değerlerini sırasıyla 1.65, 1.70, 1.75 ve 1.82 olarak tespit etmişlerdir. Yapılan bir diğer çalışmada, 50 g ağırlığında kesilen hamurlardan elde edilen buharda pişmiş ekşi hamur ekmeklerinin spesifik hacim değerlerinin 3.80 ile 4.44 cm^3/g arasında belirlendiği bildirilmiştir (Xu vd. 2020). Ekşi hamur ekmeklerinde spesifik hacim, ortamdaki asitliğin seviyesi ile de ilişkilidir. Hamurun gaz tutma kapasitesi yüksek olduğunda ekşi hamur ekmeklerinin hacmi daha yüksek olmaktadır (Clarke vd. 2002; Kim vd. 2009). Ancak ekşi hamur fermantasyonu sırasında hamurun çok fazla asitlenmesi yapıda bulunan gluten proteininin hidrolizi ve depolimerizasyonu ile sonuçlanmakta, dolayısıyla bu durum ekmek hamurlarında gluten ağının zayıflamasına ve bu hamurdan elde edilen ekmeklerde ise spesifik hacmin düşmesine neden olmaktadır (Kim vd. 2009).

Ekmeklerin Çizelge 4.17'de verilen kabuk/iç oranı ve kabuk kalınlığı değerleri en düşük ve en yüksek olarak sırasıyla 0.12-0.31 ve 0.49-1.37 mm olarak tespit edilmiştir. En düşük kabuk/iç oranı 16 numaralı orta nokta denemesinden, buna bağlı olarak en düşük kabuk kalınlığı değeri ise yine bir orta nokta denemesi olan 12 numaralı denemeden elde edilmiştir. En yüksek kabuk/iç oranı ve kabuk kalınlığı değeri ise 4 numaralı denemede belirlenmiştir. Yüksek kabuk/iç oranı ve kabuk kalınlığı değerleri genel olarak yüksek sıcaklıkta uzun süre pişirilen ekmeklerde ya da düşük sıcaklıkta pişirilen ekmeklerde tespit edilmiştir. Yüksek sıcaklıkta uzun süre pişirilen ekmeklerde sadece ekmek yüzeyinin değil yüzeyin daha alt katmanlarının da kabuğa dahil olmasının, düşük sıcaklıkta pişirilen ekmeklerde ise pişme işleminin yeterince gerçekleşememesine bağlı olarak kabuk iç ayrımının yapılamamasının bu durum üzerinde etkili olduğu değerlendirilmiştir. Spontane fermantasyon ve starter kültür fermantasyonu olmak üzere iki farklı fermantasyon yöntemiyle hazırlanan ekşi hamurlar ile buğday ekmeği formülasyonunun optimize edildiği bir çalışmada, ekmekler 185°C fırında pişirilmiş ve ekmeklerin kabuk kalınlığının 3.46 ile 4.27 mm arasında değiştiği tespit edilmiştir (Hayta ve Ertop 2019). Ekmek pişirme işleminin kuru sıcaklık ile gerçekleştirildiği elektrikli fırınlarda, ekmek ağırlığı arttıkça pişme süresi de uzadığından oluşan kabuk miktarında artış gözlenebilmektedir. Ancak buharla pişirilen ekmeklerde belirgin bir kabuk oluşumu gerçekleşmediği için bu değer oldukça düşük olmaktadır.

Çizelge 4.18. Oluşturulmuş olan 17 üretimlik deneme desenine bağlı olarak üretilen ekmeklerin iç ve kabuk renk değerlerine ait veriler (± standart hata)

Deneme no	Deneme koşulları (%FSİ, °C, dk)	Renk değerleri					
		İç rengi			Kabuk rengi		
		*L**	*a**	*b**	*L**	*a**	*b**
1	%100, 200°C, 20 dk	64.87 ± 0.47	1.33 ± 0.11	18.09 ± 0.17	70.50 ± 0.38	2.66 ± 0.20	26.12 ± 0.52
2	%90, 150°C, 50 dk	65.42 ± 0.49	2.08 ± 0.06	18.62 ± 0.15	70.58 ± 0.73	4.06 ± 0.35	30.44 ± 0.73
3	%80, 150°C, 35 dk	71.01 ± 0.35	1.29 ± 0.10	19.11 ± 0.15	73.41 ± 0.61	2.91 ± 0.21	25.99 ± 0.58
4	%100, 200°C, 50 dk	63.56 ± 0.34	1.44 ± 0.08	17.86 ± 0.23	62.77 ± 1.61	10.47 ± 1.21	38.17 ± 0.43
5	%80, 200°C, 50 dk	70.84 ± 0.26	1.81 ± 0.03	19.39 ± 0.16	67.39 ± 1.63	7.79 ± 1.23	35.63 ± 1.62
6	%100, 100°C, 50 dk	62.34 ± 0.45	1.43 ± 0.13	16.74 ± 0.23	65.17 ± 0.46	2.54 ± 0.11	21.48 ± 0.21
7	%90, 100°C, 35 dk	71.83 ± 0.37	1.71 ± 0.06	17.29 ± 0.21	69.79 ± 0.42	3.08 ± 0.12	23.50 ± 0.35
8	%100, 150°C, 35 dk	62.74 ± 0.69	1.96 ± 0.13	16.58 ± 0.22	67.35 ± 0.46	2.97 ± 0.14	22.30 ± 0.17
9	%80, 100°C, 20 dk	72.10 ± 0.34	0.92 ± 0.08	18.89 ± 0.16	71.29 ± 0.33	2.51 ± 0.08	23.44 ± 0.34
10	%100, 100°C, 20 dk	66.98 ± 0.34	1.18 ± 0.14	17.65 ± 0.20	68.52 ± 0.58	2.47 ± 0.08	22.02 ± 0.21
11	%90, 200°C, 35 dk	68.02 ± 0.35	2.16 ± 0.14	17.91 ± 0.16	69.65 ± 0.79	4.71 ± 0.45	30.02 ± 0.89
12	%90, 150°C, 35 dk	69.36 ± 0.34	1.58 ± 0.11	18.43 ± 0.11	70.86 ± 0.30	2.92 ± 0.13	25.12 ± 0.49
13	%80, 100°C, 50 dk	71.37 ± 0.26	1.33 ± 0.06	19.27 ± 0.20	71.50 ± 0.15	2.72 ± 0.07	24.78 ± 0.12
14	%90, 150°C, 20 dk	66.80 ± 0.28	1.67 ± 0.05	18.02 ± 0.27	70.34 ± 0.50	2.84 ± 0.10	23.35 ± 0.37
15	%80, 200°C, 20 dk	72.12 ± 0.37	1.33 ± 0.08	19.07 ± 0.14	72.46 ± 0.71	2.56 ± 0.12	24.59 ± 0.50
16	%90, 150°C, 35 dk	71.49 ± 0.60	2.01 ± 0.12	18.01 ± 0.34	71.66 ± 0.49	2.93 ± 0.13	23.57 ± 0.44
17	%90, 150°C, 35 dk	68.76 ± 0.31	1.36 ± 0.09	17.71 ± 0.14	70.47 ± 0.40	2.82 ± 0.17	24.23 ± 0.27

Deneme deseninden elde edilen ekmeklerin iç ve kabuk rengi *L**, *a** ve *b** renk değerleri olarak ölçülmüştür. *L** değeri siyahlık ve beyazlık (*L*=0 ise siyah, *L*=100 ise beyaz), *a** değeri yeşillik ve kırmızılık (*a*= negatif ise yeşil, *a*= pozitif ise kırmızı), *b** değeri ise mavilik ve sarılık (*b*= negatif ise mavi, *b*= pozitif ise sarı) boyutunu gösteren parametrelerdir (Mapari vd. 2006). Çizelge 4.18'de verilen *L**, *a** ve *b** renk değerlerinin; ekmek içinde sırasıyla 62.34-72.12, 0.92-2.16 ve 16.58-19.39 arasında, ekmek kabuğunda ise sırasıyla 62.77-73.41, 2.47-10.47 ve 21.48-38.17 arasında değiştiği tespit edilmiştir. Kızgın buharda ekmek pişirme işleminin optimize edildiği bir çalışmada da 180, 200 ve 220°C'de kızgın buhar kullanılarak 20,25 ve 30 dk pişirme sürelerinde üretilen ekmeklerin kabuk rengi *L**, *a** ve *b** değerlerinin benzer şekilde sırasıyla 63.76-76.25, 0.73-10.27 ve 23.91-33.01 arasında değiştiği belirlenmiştir (Osman vd. 2017).

Ekmek içleri için *L**, *a** ve *b** renk değerleri birlikte incelendiğinde; genel olarak hamur su içeriği %80 FSİ olan 3, 5, 9, 13 ve 15 numaralı denemelerde rengin daha açık olduğu belirlenmiştir. Bu durumun, ekmeklerin hamurundaki nişasta jelatinizasyonu için sıcaklık yeterli olmasına rağmen hamurda var olan mevcut suyun nişasta jelatinizasyonu için yetersiz kalmasından kaynaklanmış olabileceği değerlendirilmiştir. Nitekim bu durumu işaret eden beyaz noktalar da bu ekmeklerde tespit edilmiştir.

Üretilen ekmeklerin kabuk *L**, *a** ve *b** renk değerleri yine birlikte ele alındığında; en koyu renge sahip olan ekmek kabuğunun 62.77 *L**, 10.47 *a** ve 38.17 *b** değeri ile 4 numaralı ve 67.39 *L**, 7.79 *a** ve 35.63 *b** değeri ile 5 numaralı denemelerden elde edilen ekmekler olduğu, bu ekmeklerin de en yüksek sıcaklık değerinde en uzun sürede pişirilen ekmekler olduğu belirlenmiştir. Purlis ve Salvadori (2007) pişirme sıcaklığı arttıkça ekmek kabuklarında parlaklığın azalıp rengin koyulaştığını, Ahrne vd. (2007) ise pişirme sıcaklığı ve pişirme süresi arttıkça ekmek kabuklarında rengin koyulaştığını bildirmiştir.

Geleneksel pişirme yöntemleri ile fırın ürünlerinin pişirilmesi sırasında, genel olarak su aktivitesi 0.40-0.80'e düştüğünde ve sıcaklık 105-120°C'yi aştığında kabukta renk oluşumu başlamakta (Vanin vd. 2009), ilerleyen süreçte de ürüne özgü altın sarısı veya kahverengi rengin oluşması olarak tanımlanabilen esmerleşme olayı gerçekleşmektedir. Fırın ürünlerinde esmerleşme, temel olarak sistemin sıcaklık ve su aktivitesinden etkilenen bir süreçtir ve pişirme sırasında HMF, akrilamid ve melanoidinler gibi koyu renkleri ile karakterize olan bileşiklerin oluşumu ve birikmesinden kaynaklanmaktadır (Purlis 2010). Ancak 4 ve 5 numaralı denemelerden üretilen ekmekler hariç, deneme desenine göre farklı sıcaklıklarda nemli buhar kullanılarak üretilen ekmeklerin kabuk renklerinde koyulaşma meydana gelmemiştir. Bu ekmeklerin kabuklarında rengin oldukça açık olması, yüksek sıcaklıklı nemli buharla pişirme işlemi sırasında ortamda kurulan nem dengesi nedeniyle ekmek yüzeylerinde su aktivitesi değerinin düşmemesi ile ilişkilendirilmiştir. Nispeten daha koyu renge sahip olan ve 4 ve 5 numaralı denemelerden elde edilen ekmeklerde ise; yüksek sıcaklıklı buhar pişirme süresi için en yüksek sınır değer olan 50 dakika boyunca kesintisiz olarak pişirme kabinine iletilmiş ve bu uzun süre zarfında fırın duvarları tarafından absorblanan ısı enerjisinin, radyasyon etkisiyle pişirme işlemine dahil olarak ekmeklerin yüzeyinde su aktivitesinin düşmesine neden olduğu ve bu durumun ekmek yüzeyinde sınırlı da olsa Maillard reaksiyonu meydana getirmesi sonucunda ekmeklerin HMF içeriklerindeki artışa bağlı olarak kabuk renklerinin bir miktar koyulaştığı değerlendirilmiştir.

Çizelge 4.19. Oluşturulmuş olan 17 üretimlik deneme desenine bağlı olarak üretilen ekmeklerin TPA parametrelerine ait veriler (± standart hata)

Deneme no	Deneme koşulları (%FSİ, °C, dk)	TPA parametreleri					
		Sertlik (g)	Esneklik	Kohezyon	Sakızımsılık	Çiğnenebilirlik (g)	Elastikiyet
1	%100, 200°C, 20 dk	3110.26 ± 64.34	0.88 ± 0.01	0.68 ± 0.01	2106.57 ± 28.78	1843.11 ± 18.16	0.33 ± 0.01
2	%90, 150°C, 50 dk	3367.77 ± 194.06	0.94 ± 0.00	0.76 ± 0.02	2578.01 ± 209.51	2429.68 ± 197.34	0.43 ± 0.01
3	%80, 150°C, 35 dk	3708.65 ± 160.50	0.89 ± 0.00	0.68 ± 0.00	2537.49 ± 107.89	2260.92 ± 94.71	0.32 ± 0.00
4	%100, 200°C, 50 dk	6249.80 ± 100.58	0.93 ± 0.00	0.72 ± 0.00	4522.67 ± 65.05	4218.86 ± 49.76	0.41 ± 0.00
5	%80, 200°C, 50 dk	4889.64 ± 252.86	0.91 ± 0.00	0.67 ± 0.00	3297.96 ± 157.25	2986.63 ± 134.66	0.33 ± 0.00
6	%100, 100°C, 50 dk	3220.21 ± 120.64	0.88 ± 0.00	0.69 ± 0.00	2222.55 ± 77.85	1946.07 ± 58.28	0.34 ± 0.00
7	%90, 100°C, 35 dk	3134.27 ± 86.66	0.84 ± 0.01	0.67 ± 0.00	2101.21 ± 49.37	1774.24 ± 35.70	0.30 ± 0.00
8	%100, 150°C, 35 dk	3851.29 ± 179.38	0.93 ± 0.00	0.74 ± 0.00	2857.40 ± 125.05	2650.48 ± 119.96	0.42 ± 0.00
9	%80, 100°C, 20 dk	3052.14 ± 193.36	0.69 ± 0.00	0.58 ± 0.01	1769.86 ± 105.31	1201.08 ± 55.24	0.19 ± 0.00
10	%100, 100°C, 20 dk	2661.58 ± 111.91	0.67 ± 0.00	0.59 ± 0.01	1575.36 ± 61.22	1057.63 ± 45.56	0.22 ± 0.00
11	%90, 200°C, 35 dk	3698.76 ± 138.23	0.92 ± 0.00	0.72 ± 0.00	2657.52 ± 93.84	2454.53 ± 85.75	0.38 ± 0.00
12	%90, 150°C, 35 dk	3665.23 ± 121.85	0.92 ± 0.00	0.70 ± 0.00	2566.23 ± 81.29	2360.01 ± 75.87	0.36 ± 0.00
13	%80, 100°C, 50 dk	3972.89 ± 277.92	0.87 ± 0.00	0.68 ± 0.00	2678.89 ± 173.16	2336.29 ± 147.04	0.30 ± 0.00
14	%90, 150°C, 20 dk	2215.03 ± 126.92	0.82 ± 0.01	0.66 ± 0.01	1468.10 ± 76.38	1196.77 ± 53.27	0.28 ± 0.01
15	%80, 200°C, 20 dk	3434.38 ± 150.23	0.74 ± 0.01	0.59 ± 0.00	2039.93 ± 80.56	1493.88 ± 43.49	0.22 ± 0.00
16	%90, 150°C, 35 dk	3521.54 ± 169.70	0.91 ± 0.00	0.72 ± 0.00	2520.84 ± 114.53	2304.73 ± 105.94	0.37 ± 0.00
17	%90, 150°C, 35 dk	3242.76 ± 187.42	0.93 ± 0.00	0.72 ± 0.00	2345.44 ± 128.15	2166.96 ± 114.09	0.38 ± 0.00

TPA ile sertlik, esneklik, kohezyon, sakızımsılık, çiğnenebilirlik ve elastikiyet değerleri belirlenen ekmeklerin Çizelge 4.19'da verilen sertlik değerlerinin 2215.03-6249.80 g, esneklik değerlerinin 0.67-0.94, kohezyon değerlerinin 0.58-0.76, çiğnenebilirlik değerlerinin 1057.63-4218.86 g ve elastikiyet değerlerinin 0.19-0.43 arasında değiştiği tespit edilmiştir.

Elde edilen ekmekler içerisinde en sert ekmeklerin yine en yüksek sıcaklıkta en uzun süre pişirilen 4 ve 5 numaralı denemelerden; en yumuşak ekmeklerin ise su içeriği %90 ve %100 FSİ olup en kısa sürede pişirilen 10 ve 14 numaralı denemelerden elde edilen ekmekler olduğu; buna bağlı olarak bu ekmeklerin çiğnenebilmesi için harcanması gereken enerjinin (çiğnenebilirlik değeri) de sert ekmekler için yüksek, yumuşak ekmekler için ise düşük olduğu belirlenmiştir.

Ekmeklere ait esneklik ve kohezyon değerlerinin; su içeriği en az %90 FSİ olan, en az 150°C pişirme sıcaklığında ve yine en az 35 dk süreyle pişirilen 2, 4, 8 ve 17 numaralı denemelerden elde edilen ekmeklerde yüksek olduğu tespit edilmiştir. Genel olarak 100°C'de 20 dk pişirme işlemi uygulanan 9 ve 10 numaralı denemelerden elde edilen ekmeklerde esneklik değerlerinin minimuma düştüğü ve elastikiyet değerlerinin de esneklik değerleriyle benzer şekilde değiştiği belirlenmiştir.

Sha vd. (2022) tarafından yapılan bir çalışmada, farklı laktik asit bakteri türleriyle elde edilen ekşi hamurlar buharda pişirilmiş ekşi hamur ekmeği üretiminde kullanılmış ve bakterilerin ekzopolisakkarit üretip üretmeme yeteneklerine göre ekmeklerin 1527.53-5493.21 g (14.98-53.87 N) arasında değişen farklı sertlik değerlerine ve buna bağlı olarak da farklı çiğnenebilirlik değerlerine sahip oldukları, elastikiyet değerlerinin ise 0.37 ile 0.49 arasında değiştiği belirtilmiştir.

TPA için genel olarak bir değerlendirme yapıldığında; analiz parametrelerinin daha çok ekmeklerin pişirilmesi için gerekli olan sıcaklık-süre kombinasyonlarından etkilendiği, bu durumun da pişirme sırasında kullanılan sıcaklık-süre koşullarına göre ekmek yapısında meydana gelen su kaybı ve yine ekmeğin yapısında fazla miktarda bulunan nişastanın jelatinize olma derecesi ile ilişkili olduğu değerlendirilmiştir. Osman vd. (2017) tarafından yapılan ve kızgın buharın ekmek pişirme işleminde kullanıldığı bir çalışmada da ekmeklerin sertlik değerlerinin 1336.85-1482.67 g (13.11-14.54 N) arasında değiştiği tespit edilmiş, bu değerlerin pişirme sıcaklığı ve süresi arttıkça genel olarak arttığı bildirilmiştir. Ayrıca aynı çalışmada; farklı ısıl işlem uygulamalarının, üretilen ekmeklerdeki nişasta özelliklerini ve buna bağlı olarak ekmek içi sertliğini etkilediği de belirtilmiştir.

Çizelge 4.20. Oluşturulmuş olan 17 üretimlik deneme desenine bağlı olarak üretilen ekmeklerin su aktivitesi, kabuk HMF içeriği ve iç, kabuk ve bütününün kurumadde değerlerine ait veriler (± standart hata)

Deneme no	Deneme koşulları (%FSİ, °C, dk)	Kurumadde (%)			HMF (mg/kg)	a_w
		İç	Kabuk	Bütün	Kabuk	Bütün
1	%100, 200°C, 20 dk	57.74 ± 0.27	73.31 ± 0.23	59.57 ± 0.47	2.29 ± 0.07	0.92 ± 0.00
2	%90, 150°C, 50 dk	59.18 ± 0.03	76.78 ± 0.23	62.61 ± 0.21	2.80 ± 0.27	0.91 ± 0.00
3	%80, 150°C, 35 dk	60.85 ± 0.13	75.00 ± 0.16	62.62 ± 0.14	2.50 ± 0.12	0.91 ± 0.00
4	%100, 200°C, 50 dk	60.03 ± 0.26	77.01 ± 0.43	63.39 ± 0.87	8.20 ± 0.56	0.92 ± 0.00
5	%80, 200°C, 50 dk	62.99 ± 0.45	80.02 ± 0.17	64.94 ± 0.36	5.56 ± 0.07	0.91 ± 0.00
6	%100, 100°C, 50 dk	56.16 ± 0.17	67.11 ± 0.10	57.28 ± 0.19	2.40 ± 0.05	0.92 ± 0.00
7	%90, 100°C, 35 dk	58.69 ± 0.03	68.74 ± 0.01	59.51 ± 0.51	2.09 ± 0.07	0.93 ± 0.00
8	%100, 150°C, 35 dk	56.43 ± 0.35	69.93 ± 0.07	57.52 ± 0.49	1.95 ± 0.15	0.93 ± 0.00
9	%80, 100°C, 20 dk	60.39 ± 0.27	70.68 ± 0.24	61.06 ± 0.04	2.05 ± 0.03	0.93 ± 0.00
10	%100, 100°C, 20 dk	56.39 ± 0.09	69.17 ± 0.36	57.80 ± 0.17	2.39 ± 0.04	0.92 ± 0.00
11	%90, 200°C, 35 dk	61.36 ± 0.75	75.98 ± 0.30	62.51 ± 0.59	2.42 ± 0.06	0.92 ± 0.00
12	%90, 150°C, 35 dk	59.29 ± 0.04	70.89 ± 0.07	60.16 ± 0.06	2.09 ± 0.08	0.93 ± 0.00
13	%80, 100°C, 50 dk	60.16 ± 0.06	71.50 ± 0.02	61.09 ± 0.01	2.15 ± 0.06	0.93 ± 0.00
14	%90, 150°C, 20 dk	58.39 ± 0.33	71.04 ± 0.24	58.67 ± 0.01	1.57 ± 0.01	0.91 ± 0.00
15	%80, 200°C, 20 dk	61.53 ± 0.42	73.15 ± 0.00	62.17 ± 0.27	2.29 ± 0.06	0.92 ± 0.00
16	%90, 150°C, 35 dk	59.57 ± 0.18	74.58 ± 0.04	60.64 ± 0.14	1.51 ± 0.04	0.93 ± 0.00
17	%90, 150°C, 35 dk	59.02 ± 0.01	71.75 ± 0.05	59.85 ± 0.37	1.81 ± 0.03	0.93 ± 0.00

Elde edilen ekmeklerin Çizelge 4.20'de verilen iç, kabuk ve bütününe ait kurumadde değerleri sırasıyla 56.16-62.99, 67.11-80.02 ve 57.28-64.94 aralığında, kabuk HMF içerikleri 1.51-8.20 mg/kg aralığında ve su aktivitesi değerleri ise 0.91-0.93 aralığında değişmiştir. Geleneksel pişirme yöntemleri ile ekmeğin pişirilmesi sırasında, bir buharlaşma cephesi oluşmakta ve bu cephe kademeli olarak merkeze doğru ilerleyerek kabuğun oluşmasını sağlamaktadır. Bununla birlikte, dış bölgede su içeriği hızla yaş ağırlığa göre %5-10 seviyesine düşerken, buradaki sıcaklık da hızla 100°C'nin üzerine çıkmaktadır. Ekmek kabuğu için nem ve sıcaklıkta meydana gelen bu değişimler, ekmeğin iç bölgesinden fırın ortamına su buharı difüzyonunu sınırlayarak iç bölgenin dehidrasyonunun önlenmesini sağlamaktadır (Purlis 2010). Ancak araştırma kapsamında yüksek sıcaklıklı buharla yapılan pişirme işlemi ile 4 ve 5 numaralı denemeler hariç belirgin bir kabuk oluşumu gerçekleşmemiş ve üretilen ekmeğin hamuruna eklenen su miktarına, pişirme sıcaklığına ve pişirme süresine bağlı olarak ekmeklerin iç, kabuk ve bütününde kurumadde içeriklerinin değişkenlik gösterdiği belirlenmiştir.

Beklendiği üzere; iç kısımda, FSİ değerinin %80'i kadar su eklenerek 200°C'de pişirilen 5 ve 15 numaralı denemelerden elde edilen ekmeklerin kurumadde içeriklerinin; kabuk kısmında ise yine en yüksek sıcaklıkta en uzun süre pişirilen 4 ve 5 numaralı denemelerden elde edilen ekmeklerin kurumadde ve aynı zamanda da HMF içeriklerinin daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Ayrıca bu ekmeklerin, Çizelge 4.18'de verilen renk değerlerine göre de en koyu renge sahip olan ekmekler olduğu ve kabuk kurumaddesi ve HMF içeriği ile ekmeklerin koyu rengi arasında doğru orantılı bir ilişki olduğu tespit edilmiştir. Fırın ürünlerinin pişirilmesi sırasında HMF, akrilamid ve melanoidinler gibi koyu renkleri ile karakterize olan bileşiklerin oluşumu, indirgen şeker ile aminoasit türü ve konsantrasyonu, su içeriği, ısıl işlem süresi ve pH gibi faktörlere göre değişiklik göstermekle birlikte temel olarak sistemin sıcaklık ve su aktivitesinden etkilenmektedir (Purlis 2010). Yapılan çalışmalarda formülasyon, pişirme yöntemi ve koşullarına göre değişmekle birlikte buğday unundan üretilen ekmeklerin 14.85-156.95 mg/kg arasında farklı HMF içeriklerine sahip oldukları bildirilmiştir (Ertop ve Sarikaya 2017; Gülcan vd. 2020; Mikulec vd. 2019). Ancak buharda pişirme işlemiyle proses kontaminantı oluşumu minimize edilmektedir. Hatta pişirme sırasında ortama verilen belirli bir miktardaki buhar ile de ekmeklerdeki proses kontaminantı içeriklerinin azaltılabildiği bildirilmektedir. Ahrne vd. (2007), 200°C'de katlı bir fırında yapılan pişirme işleminin farklı aşamalarında sisteme belirli bir miktar buhar yüklemiş ve üretilen ekmeklerin, buhar yüklemeksizin üretilen ekmeklerle yaklaşık olarak aynı renk değerinde olmasına rağmen, proses kontaminantlarından biri olan akrilamid içeriğinin oldukça düşük seviyede olduğunu belirtmişlerdir. Benzer şekilde Keramat vd. (2011) de pişirme işleminde buhar kullanımı ile ürünün rengi değişmeksizin akrilamid içeriklerinin düşürülebileceğini bildirmişlerdir.

Bütün haldeki ekmekler incelendiğinde ise; kabuk/iç oranına da bağlı olarak, en yüksek sıcaklık ve süre koşullarında pişirilen 4 ve 5 numaralı denemelerden elde edilen ekmeklerin daha yüksek kurumadde içeriğine sahip olduğu tespit edilmiştir. İç, kabuk ve bütün haldeki ekmekler için en düşük kurumadde içeriği değerleri 6, 8 ve 10 numaralı denemelerden elde edilen ekmeklerde belirlenmiştir. Hamur oluşturmak için una ilave edilen su içeriğinin %66 olduğu bir çalışmada, elde edilen hamurların farklı sıcaklıklarda kızgın buhar kullanılarak farklı sürelerde pişirilmesiyle üretilen ekmeklere ait kurumadde içeriklerinin %61.23 ile %67.33 (nem içeriği %32.67-38.77) arasında değiştiği tespit edilmiştir (Osman vd. 2017).

Çizelge 4.21. Oluşturulmuş olan 17 üretimlik deneme desenine bağlı olarak üretilen ekmeklerin kısa duyusal analiz değerlerine ait veriler (± standart hata)

Deneme no	Deneme koşulları (%FSİ, °C, dk)	Kısa duyusal analiz parametreleri					
		Renk	Kabuk kalınlığı	Tekstür	Koku	Tat ve aroma	Genel beğeni
1	%100, 200°C, 20 dk	5.50 ± 0.29	5.25 ± 0.25	5.00 ± 0.41	5.25 ± 0.25	4.50 ± 0.65	5.00 ± 0.41
2	%90, 150°C, 50 dk	4.75 ± 0.25	4.50 ± 0.50	5.00 ± 0.00	5.25 ± 0.25	5.00 ± 0.41	5.00 ± 0.00
3	%80, 150°C, 35 dk	5.50 ± 0.50	4.50 ± 0.50	4.50 ± 0.65	4.75 ± 0.25	5.25 ± 0.25	5.00 ± 0.41
4	%100, 200°C, 50 dk	2.25 ± 0.25	3.50 ± 0.29	2.50 ± 0.29	4.50 ± 0.50	4.25 ± 0.48	3.25 ± 0.48
5	%80, 200°C, 50 dk	2.75 ± 0.25	3.75 ± 0.25	3.75 ± 0.63	4.75 ± 0.48	4.75 ± 0.25	3.75 ± 0.25
6	%100, 100°C, 50 dk	5.00 ± 0.00	5.25 ± 0.48	3.75 ± 0.25	4.75 ± 0.25	4.50 ± 0.65	4.50 ± 0.65
7	%90, 100°C, 35 dk	5.50 ± 0.29	5.00 ± 0.41	3.25 ± 0.48	4.50 ± 0.29	3.75 ± 0.48	4.00 ± 0.41
8	%100, 150°C, 35 dk	5.00 ± 0.41	5.00 ± 0.41	4.00 ± 0.41	4.75 ± 0.48	5.00 ± 0.00	4.50 ± 0.29
9	%80, 100°C, 20 dk	5.75 ± 0.25	5.00 ± 0.00	3.50 ± 0.87	4.25 ± 0.48	4.25 ± 0.48	4.25 ± 0.48
10	%100, 100°C, 20 dk	6.00 ± 0.00	5.75 ± 0.25	4.75 ± 0.25	5.00 ± 0.41	5.00 ± 0.41	5.25 ± 0.48
11	%90, 200°C, 35 dk	5.00 ± 0.41	5.00 ± 0.00	4.75 ± 0.48	5.00 ± 0.41	4.75 ± 0.25	5.00 ± 0.00
12	%90, 150°C, 35 dk	5.75 ± 0.25	5.75 ± 0.25	5.25 ± 0.25	4.75 ± 0.25	5.00 ± 0.41	5.50 ± 0.29
13	%80, 100°C, 50 dk	5.75 ± 0.25	5.50 ± 0.50	4.25 ± 0.63	4.25 ± 0.48	4.25 ± 0.25	4.75 ± 0.63
14	%90, 150°C, 20 dk	5.00 ± 0.41	5.00 ± 0.41	4.00 ± 0.00	4.75 ± 0.48	3.75 ± 0.25	4.25 ± 0.25
15	%80, 200°C, 20 dk	5.25 ± 0.25	4.50 ± 0.29	3.75 ± 0.25	4.25 ± 0.48	3.75 ± 0.48	4.25 ± 0.25
16	%90, 150°C, 35 dk	5.75 ± 0.25	4.50 ± 0.65	5.25 ± 0.25	5.00 ± 0.41	4.50 ± 0.65	4.75 ± 0.48
17	%90, 150°C, 35 dk	6.00 ± 0.00	5.25 ± 0.25	5.50 ± 0.29	4.75 ± 0.25	5.50 ± 0.29	5.50 ± 0.29

Çizelge 4.21'de verilen kısa duyusal analiz sonuçlarına göre; deneme desenine uygun olarak 17 farklı koşulda üretilen ekmeklerin; 4 ve 5 numaralı denemeler hariç, genel anlamda proses kontaminantının minimuma indirilmesi amacına uygun şekilde açık renkli olarak elde edilebildiği ve bu nedenle de duyusal olarak 6 puanlık bir skala kullanılarak değerlendirilen ekmeklerin 4 ve üzerinde genel beğeni puanı alarak araştırmanın amacına uygun ilerlediğinin anlaşılmasına yardımcı olduğu tespit edilmiştir.

4.6.2. Üretilen ekmeklerin yanıt değişkenlerine göre istatistiksel olarak değerlendirilmesi

Buharla ekmek pişirme fırını ile ekşi hamur ekmeği üretimi için; yanıt değişkenleri olarak belirlenen en düşük kabuk HMF içeriği ve TPA-sertlik, en yüksek TPA-esneklik ve kabuk rengi *L** değerlerinin sağlanması ve bu üretimi sağlayacak koşulların optimize edilmesi amacıyla araştırmada yanıt yüzey metodunun merkezi kompozit tasarım deneme deseni uygulanmıştır.

Oluşturulmuş olan 17 üretimlik deneme desenine bağlı olarak elde edilen ekmeklerin yanıt değişkenleri olan kabuk HMF içeriği, TPA-sertlik, TPA-esneklik ve kabuk rengi *L** değerlerine ait veriler Çizelge 4.22'de verilmiştir.

Çizelge 4.22. Oluşturulmuş olan 17 üretimlik deneme desenine bağlı olarak üretilen ekmeklerin kabuk HMF içeriği, TPA-sertlik, TPA-esneklik ve kabuk rengi *L** değerlerine ait veriler

Deneme no	Su içeriği (%FSİ)	Pişirme sıcaklığı (°C)	Pişirme süresi (dk)	Kabuk HMF içeriği (mg/kg)	TPA-sertlik (g)	TPA-esneklik	Kabuk rengi *L** değeri
1	100	200	20	2.29	3110.26	0.88	70.50
2	90	150	50	2.80	3367.77	0.94	70.58
3	80	150	35	2.50	3708.65	0.89	73.41
4	100	200	50	8.20	6249.80	0.93	62.77
5	80	200	50	5.56	4889.64	0.91	67.39
6	100	100	50	2.40	3220.21	0.88	65.17
7	90	100	35	2.09	3134.27	0.84	69.79
8	100	150	35	1.95	3851.29	0.93	67.35
9	80	100	20	2.05	3052.14	0.69	71.29
10	100	100	20	2.39	2661.58	0.67	68.52
11	90	200	35	2.42	3698.76	0.92	69.65
12	90	150	35	2.09	3665.23	0.92	70.86
13	80	100	50	2.15	3972.89	0.87	71.50
14	90	150	20	1.57	2215.03	0.82	70.34
15	80	200	20	2.29	3434.38	0.74	72.46
16	90	150	35	1.51	3521.54	0.91	71.66
17	90	150	35	1.81	3242.76	0.93	70.47

Buharla ekmek pişirme fırını ile ekşi hamur ekmeği üretimi için 17 denemeden elde edilen analiz sonuçlarına göre; ekmeklerin kabuk HMF içeriği değerlerinin 1.51-8.20 mg/kg aralığında, TPA-sertlik değerlerinin 2215.03-6249.80 g aralığında, TPA-esneklik değerlerinin 0.67-0.94 aralığında ve kabuk rengi *L** değerlerinin ise 62.77-73.41 aralığında değiştiği tespit edilmiştir. En düşük kabuk HMF içeriği FSİ değerinin %90'ı kadar su kullanılarak 150°C pişirme sıcaklığında ve 35 dk pişirme süresinde, en düşük TPA-sertlik değeri FSİ değerinin %90'ı kadar su kullanılarak 150°C pişirme sıcaklığında ve 20 dk pişirme süresinde, en yüksek TPA-esneklik değeri FSİ değerinin %90'ı kadar su kullanılarak 150°C pişirme sıcaklığında ve 50 dk pişirme süresinde, en yüksek kabuk rengi *L** değeri ise FSİ değerinin %80'i kadar su kullanılarak 150°C pişirme sıcaklığında ve 35 dk pişirme süresinde elde edilen ekmeklerde tespit edilmiştir.

Çizelge 4.22'de verilen ve deneme deseninin yanıt değişkenleri olan kabuk HMF içeriği, TPA-sertlik, TPA-esneklik ve kabuk rengi *L** değerlerine ait veriler, Design Expert® 11.0.0 programı kullanılarak; doğrusal, interaksiyon, kuadratik ve kübik modellerin uygunluğu bakımından test edilmiştir. Uygun modelin değerlendirilmesinde istatistiksel açıdan; önem değeri (*p*), en yüksek regresyon katsayısı (R^2), düzeltilmiş regresyon katsayısı (R^2_{dzl}), tahmini belirleme regresyon katsayısı (Pred-R^2), en düşük tahmin edilen hata karelerinin toplamı (PRESS), varyasyon katsayısı (CV), uyum eksikliği (lack of fit), saf hata ve yeterli hassasiyet parametreleri kullanılmıştır.

4.6.3. Ekmeklerin kabuk HMF içeriği için uygun modelin seçimi

Çizelge 4.22'de verilen ekmeklerin kabuk HMF içeriği için istatistiksel parametrelerin en iyi ifade edildiği model olan kuadratik modelin deneme şartlarında istatistiksel olarak önemli (p<0.01) ve %81 (R^2=0.81) güven seviyesi ile en uygun model olduğu tespit edilmiştir. Uygun olarak seçilen modele göre önemli bulunan bağımsız değişkenlerin ekmeklerin kabuk HMF içerikleri üzerine etkisini gösteren varyans analizi verileri Çizelge 4.23'te, kuadratik modelin çoklu regresyon istatistik değerleri ise Çizelge 4.24'te verilmiştir.

Çizelge 4.23. Önemli bulunan bağımsız değişkenlerin ekmeklerin kabuk HMF içerikleri üzerine etkisini gösteren varyans analizi verileri

Varyasyon kaynağı	HKT	SD	KO	F	*p*
Model (Kuadratik)	36.22	4	9.05	12.90	0.0003**
B (Pişirme sıcaklığı)	9.39	1	9.39	13.38	0.0033**
C (Pişirme süresi)	11.09	1	11.09	15.80	0.0018**
BC	10.29	1	10.29	14.66	0.0024**
B^2	5.46	1	5.46	7.78	0.0164*
Artık hata	8.42	12	0.70		
Uyum eksikliği	8.25	10	0.83	9.73	0.0968
Saf hata	0.17	2	0.08		
Toplam	44.64	16			

HKT: Hata kareler toplamı, SD: Serbestlik derecesi, KO: Kareler ortalaması, *: 0.01<p<0.05, **: p<0.01

Varyans analizi sonuçlarına göre; ekmeklerin kabuk HMF içerikleri üzerine pişirme sıcaklığının, pişirme süresinin, bunların interaksiyonunun (p<0.01) ve pişirme sıcaklığının karesinin (p<0.05) istatistiksel açıdan önemli bir etkiye sahip olduğu ve su içeriğinin ise etkisinin istatistiksel olarak önemsiz (p>0.05) olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 4.24. Kuadratik modelin çoklu regresyon istatistik değerleri

Parametre	**Değer**
R^2	0.8113
R^2_{dzl}	0.7484
Pred-R^2	0.5610
%CV	30.92
PRESS	19.60
Yeterli hassasiyet	11.7974

R^2: Regresyon katsayısı, R^2_{dzl}: Düzeltilmiş regresyon katsayısı, Pred-R^2: Tahmini belirleme regresyon katsayısı, CV: Varyasyon katsayısı, PRESS: Tahmin edilen hataların karelerinin toplamı

Önemli bulunan değişkenlerin Çizelge 4.23'te ve 4.24'te verilen varyans analizi verileri ve çoklu regresyon istatistik değerleri birlikte değerlendirildiğinde; kullanılan deneme deseninde bağımsız değişkenlerin ekmeklerin kabuk HMF içerikleri üzerine etkisini gösteren en uygun modelin kuadratik model (R^2= 0.81) olduğu belirlenmiştir. Düzeltilmiş (R^2_{dzl}) ve tahmini belirleme (Pred-R^2) regresyon katsayıları arasındaki farkın küçük olması, bu değerlerin birbirleri ile oldukça uyumlu olduğunu ve kuadratik modelin deneysel verileri oldukça iyi bir şekilde temsil ettiğini göstermektedir. Ayrıca yeterli hassasiyet değerinin 11.80 ile sınır değer olan 4 değerinden büyük olması da modelin sinyal gücünün iyi olduğunu ve gürültüden etkilenmediğini ifade etmektedir.

Gerçekleştirilen optimizasyon çalışmasıyla elde edilen ekmeklerin kabuk HMF içeriklerine ait veriler kullanılarak belirlenen ve önemsiz bulunan değişkenler ihmal edildikten sonra önemli bulunan bağımsız değişkenlere göre oluşturulan kuadratik modelin genel regresyon eşitliği Eşitlik 4.1'de verilmiştir.

$$HMF\ içeriği\ (mg/kg) = 14.97 - 0.17B - 0.16C + 1.51x10^{-3}BC + 4.60x10^{-4}B^2 \quad (4.1)$$

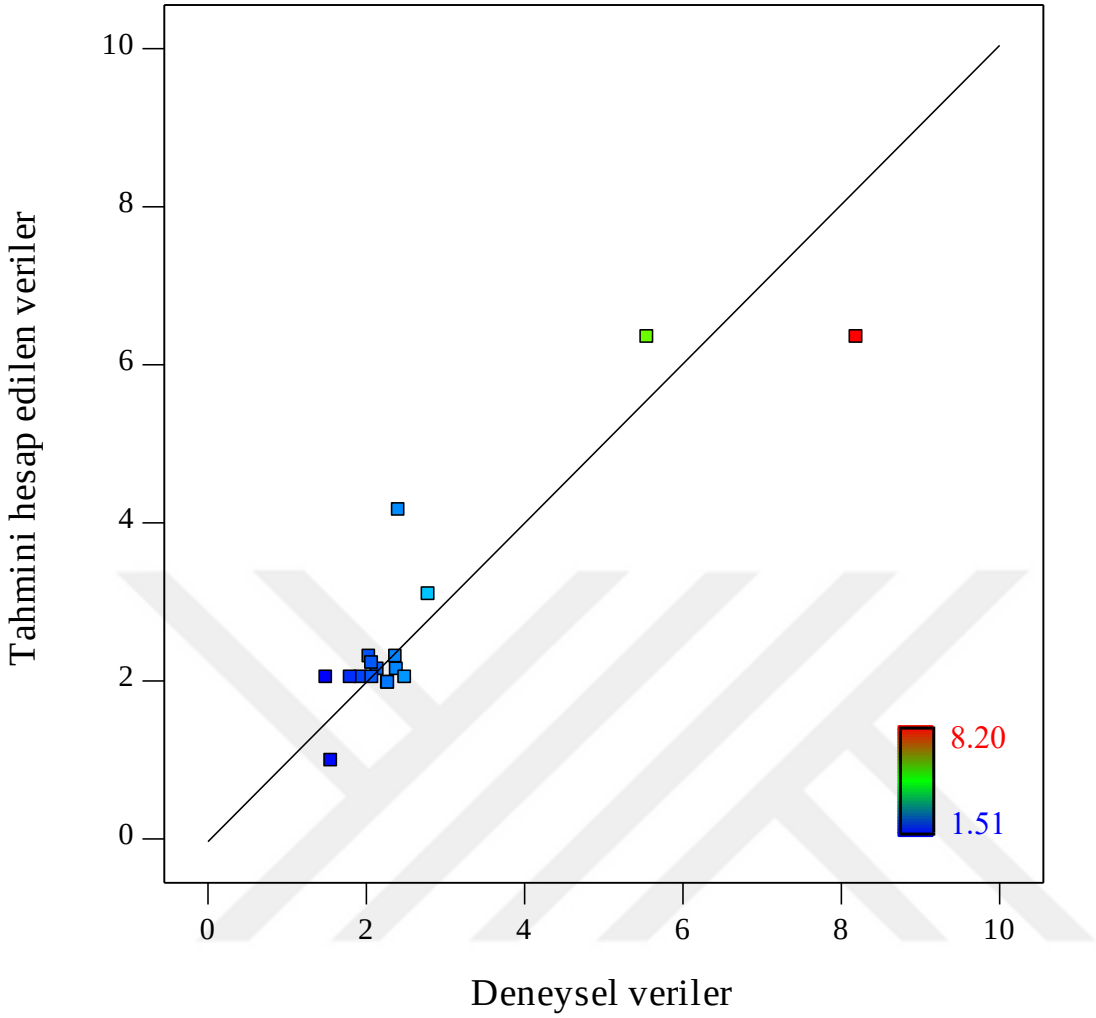
B : Pişirme sıcaklığı (°C)

C : Pişirme süresi (dk)

Ekmeklerin kabuklarında deneysel olarak elde edilen HMF içeriklerine ait veriler ile kuadratik modelin kullanılmasıyla tahmini hesap edilen (Eşitlik 4.1) HMF içeriklerine ait veriler Çizelge 4.25'te ve deneysel veriler ile tahmini hesap edilen veriler arasındaki uyum grafiği ise Şekil 4.11'de verilmiştir. Çizelge 4.25 ve Şekil 4.11 birlikte incelendiğinde; deneysel ve tahmini hesap edilen verilerin yüksek HMF içeriklerinde kısmen sapmalar gösterdiği, düşük ve orta HMF içeriklerinde ise birbirine daha yakın olduğu belirlenmiş, bu nedenle de model ve model denkleminin deneme koşullarında ekmek kabuklarında oluşan HMF içeriğinin tahmini için sistem dışı hatalardan etkilenmediği ve genel olarak başarılı olduğu değerlendirilmiştir.

Çizelge 4.25. Ekmeklerin kabuk HMF içeriklerine ait deneysel ve tahmini hesap edilen veriler

Deneme no	Kabuk HMF içeriği (mg/kg)		Fark
	Deneysel	Tahmini	
1	2.29	1.97	0.33
2	2.80	3.09	-0.29
3	2.50	2.03	0.47
4	8.20	6.34	1.86
5	5.56	6.34	-0.78
6	2.40	2.13	0.26
7	2.09	2.21	-0.13
8	1.95	2.03	-0.08
9	2.05	2.30	-0.25
10	2.39	2.30	0.09
11	2.42	4.15	-1.73
12	2.09	2.03	0.06
13	2.15	2.13	0.02
14	1.57	0.98	0.59
15	2.29	1.97	0.32
16	1.51	2.03	-0.53
17	1.81	2.03	-0.22

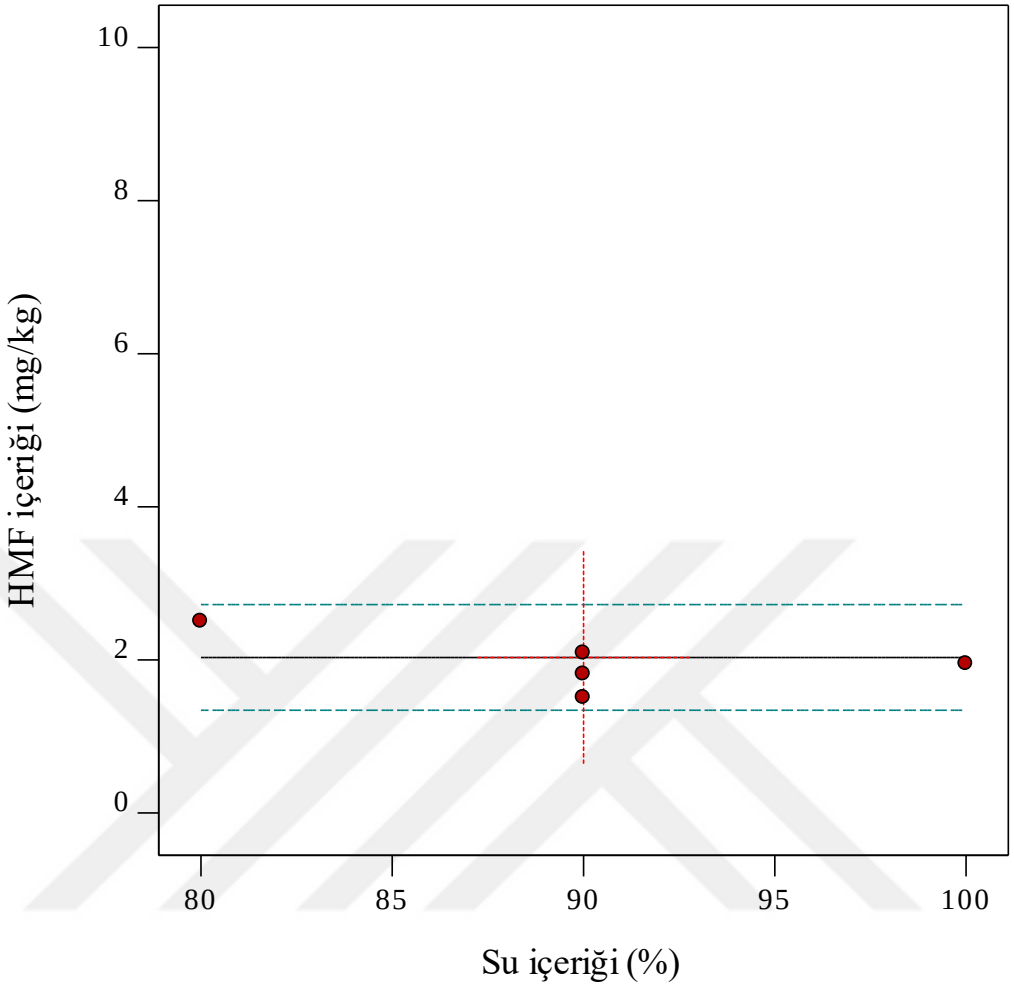


Şekil 4.11. Ekmeklerin kabuk HMF içerikleri için deneysel ve tahmini hesap edilen verilerin uyum grafiği

4.6.3.1. Su içeriği bağımsız değişkeninin ekmeklerin kabuk HMF içerikleri üzerine etkisi

Buharla ekmek pişirme fırınında üretilen ekmeklerin kabuk HMF içerikleri üzerine su içeriğinin istatistiksel açıdan önemli (p>0.05) bir etkisinin bulunmadığı tespit edilmiştir. Ekmek üretiminde sıcaklığın 150°C'de ve pişirme süresinin ise 35 dk'da sabit tutulması ile elde edilen ve hamur su içeriğinin ekmeklerin kabuk HMF içerikleri üzerine etkisinin önemsiz olduğunu gösteren grafik Şekil 4.12'de verilmiştir.

Ekmek üretiminin hamur yapımı aşamasında un içerisine eklenen su miktarının FSİ değerinin %80'inden %100'üne yükseltilmesi, ekmeklerin kabuk HMF içerikleri üzerinde önemli bir değişime neden olmamıştır. Kabuk HMF içerikleri; FSİ değerinin %80'i, %90'ı ve %100'ü kadar su kullanılarak üretilen ekmeklerde sırasıyla ortalama; 2.91, 2.04 ve 3.45 mg/kg olarak tespit edilmiştir.

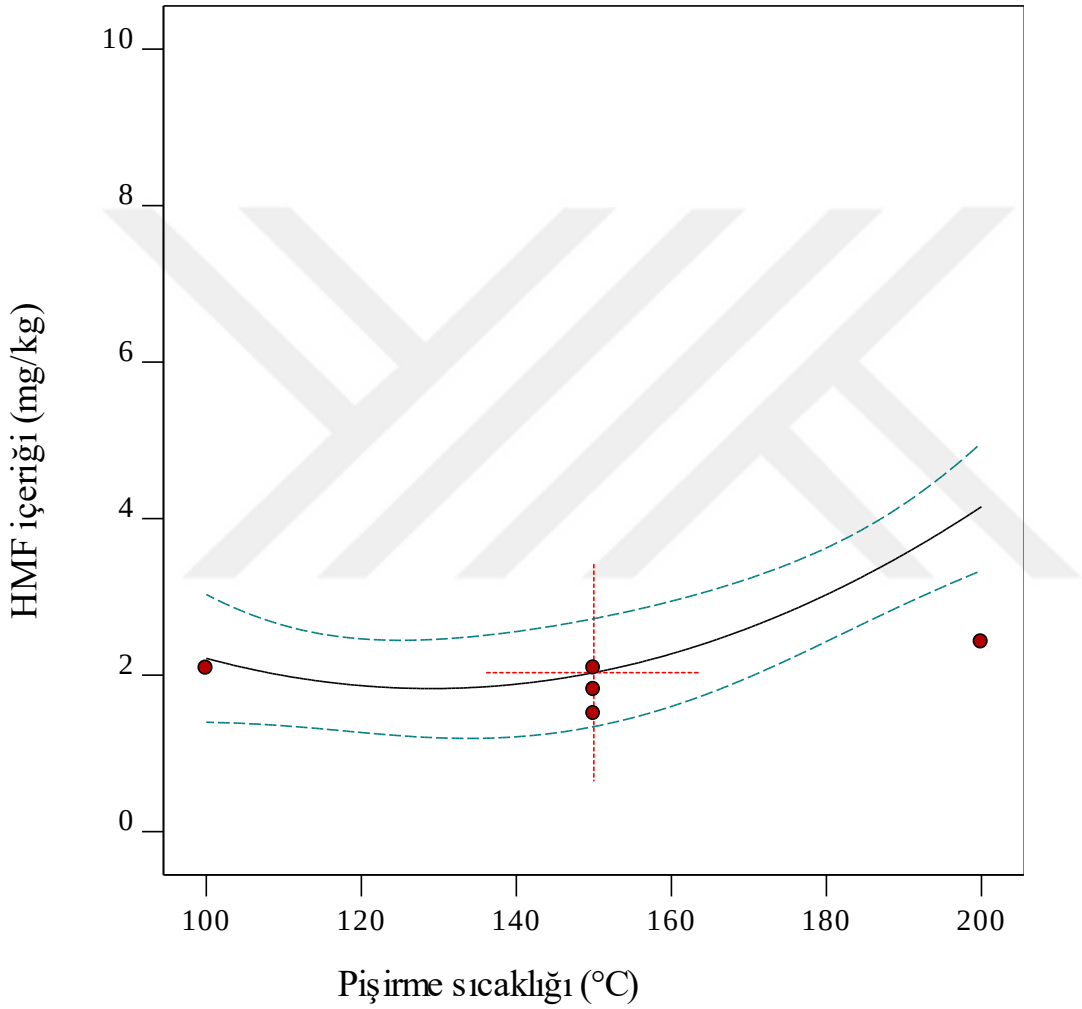


Şekil 4.12. Ekmeklerin kabuk HMF içerikleri üzerine su içeriğinin etkisi

HMF bileşiği daha çok ekmeklerin kabuğunda oluşmaktadır. Bu durumun; ekmek yüzeyindeki suyun yüksek sıcaklıkla kısa sürede buharlaşmasına bağlı olarak yüzeyde kurumanın gerçekleşmesi, dolayısıyla da suyun sıcaklık üzerindeki yükselmeyi engelleyici etkisinin kısa sürede kaybolması sonucunda kuru yüksek bir sıcaklıkta Maillard ve karamelizasyon reaksiyonlarının daha yüksek hızda gerçekleşmesinden kaynaklandığı değerlendirilmektedir. Ekmek içinde ise ortamdaki su önemli oranda korunduğu için bu bölgenin sıcaklığı 100°C'ye aşamamakta ve bu durumla bağlantılı olarak da ekmek içinde HMF bileşiği ya hiç oluşmamakta ya da çok az oluşmaktadır (Purlis 2010). Araştırma kapsamında pişirme işleminin buharla gerçekleştirilmesi ekmek kabuk yüzeyinin kısa sürede kurumasını engellemiş, pişirme ortamı da nemli olduğu için farklı su içeriklerinde yoğurulsalar dahi belli bir buhar sıcaklığında sabit neme sahip bir ortamda pişirilen hamurların yüzey nem içerikleri pişirme sırasındaki fırın iç nemi ile dengelenmiştir. Bu durum, pişirme sırasında nem dengesinin kurulmasıyla ekmek yüzeyleri için hamur su içeriğindeki farklılığın ortadan kalkmış olabileceği şeklinde yorumlanmıştır.

4.6.3.2. Pişirme sıcaklığı bağımsız değişkeninin ekmeklerin kabuk HMF içerikleri üzerine etkisi

Buharla ekmek pişirme fırınında üretilen ekmeklerin kabuk HMF içerikleri üzerine pişirme sıcaklığının ($p<0.01$) ve pişirme sıcaklığının karesinin ($p<0.05$) istatistiksel olarak önemli bir etkisinin bulunduğu belirlenmiştir. Ekmek üretiminde su içeriğinin FSİ değerinin %90'ında, pişirme süresinin ise 35 dk'da sabit tutulması ile elde edilen ve pişirme sıcaklığının ekmeklerin kabuk HMF içerikleri üzerine etkisinin önemini gösteren grafik Şekil 4.13'te verilmiştir.



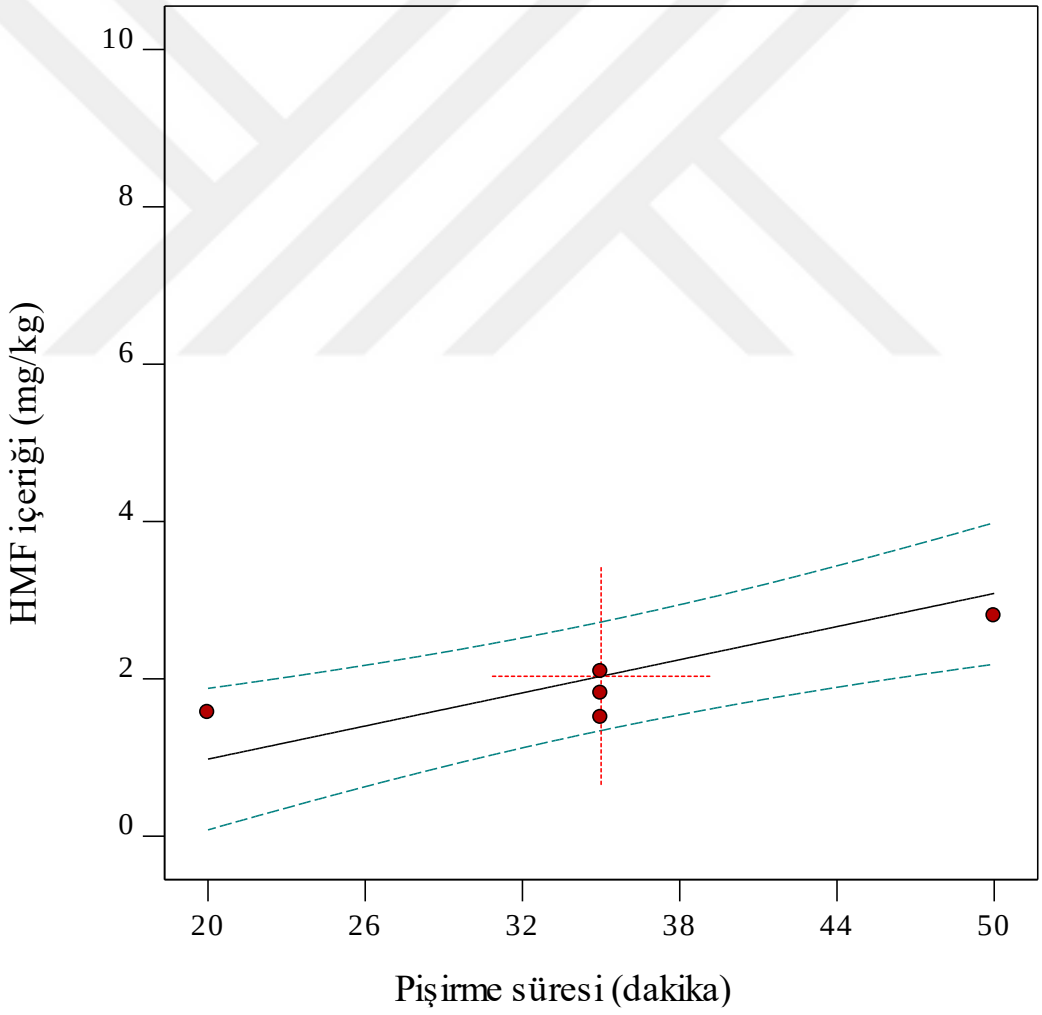
Şekil 4.13. Ekmeklerin kabuk HMF içerikleri üzerine pişirme sıcaklığının ve pişirme sıcaklığı karesinin etkisi

Şekil 4.13 üzerinde yapılan değerlendirmede; pişirme sıcaklığının 100°C'den 200°C'ye yükseltilmesi ile orta nokta olan 150°C civarında 100°C'ye göre belirgin bir farklılık bulunmamakla birlikte en düşük HMF içeriği değerine ulaşıldığı, 150°C'den daha yüksek sıcaklıklarda ise ekmeklerin kabuk HMF içeriklerinin arttığı tespit edilmiştir. Ekmeklerin ortalama kabuk HMF içerikleri; 100°C'de 2.22, 150°C'de 2.03 ve 200°C'de ise 4.15 mg/kg olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlara göre; üretimdeki diğer bağımsız değişkenlerin etkilerine göre ve yanıt değişkenlerinden alınan cevaba göre

değişmekle birlikte, sıcaklığın 150°C'den fazlaca yüksek olan değerlerde olmasının ekmeklerin HMF içeriklerini hızlı bir şekilde arttıracağı değerlendirilmiştir. Erbas vd. (2012) elektrikli bir katlı fırında 200, 230 ve 250°C'de gerçekleştirdikleri pişirme işlemi ile elde ettikleri ekmeklere ait HMF içeriklerinin pişirme sıcaklığının artmasıyla artış gösterdiğini bildirmiş ve bu ekmeklerin sırasıyla 93.75, 118.03 ve 126.43 mg/kg HMF içeriğine sahip olduklarını belirtmiştir.

4.6.3.3. Pişirme süresi bağımsız değişkeninin ekmeklerin kabuk HMF içerikleri üzerine etkisi

Buharla ekmek pişirme fırınında üretilen ekmeklerin kabuk HMF içerikleri üzerine pişirme süresinin istatistiksel açıdan önemli (p<0.01) bir etkisinin olduğu belirlenmiştir. Ekmek üretiminde su içeriğinin FSİ değerinin %90'ında, pişirme sıcaklığının ise 150°C'de sabit tutulması ile elde edilen ve pişirme süresinin ekmeklerin kabuk HMF içerikleri üzerine etkisinin önemini gösteren grafik Şekil 4.14'te verilmiştir.



Şekil 4.14. Ekmeklerin kabuk HMF içerikleri üzerine pişirme süresinin etkisi

Şekil 4.14 incelendiğinde; pişirme süresinin 20 dk'dan 50 dk'ya yükseltilmesinin ekmeklerin kabuk HMF içeriğini arttırıcı yönde bir etki yaptığı görülmektedir. Pişirme

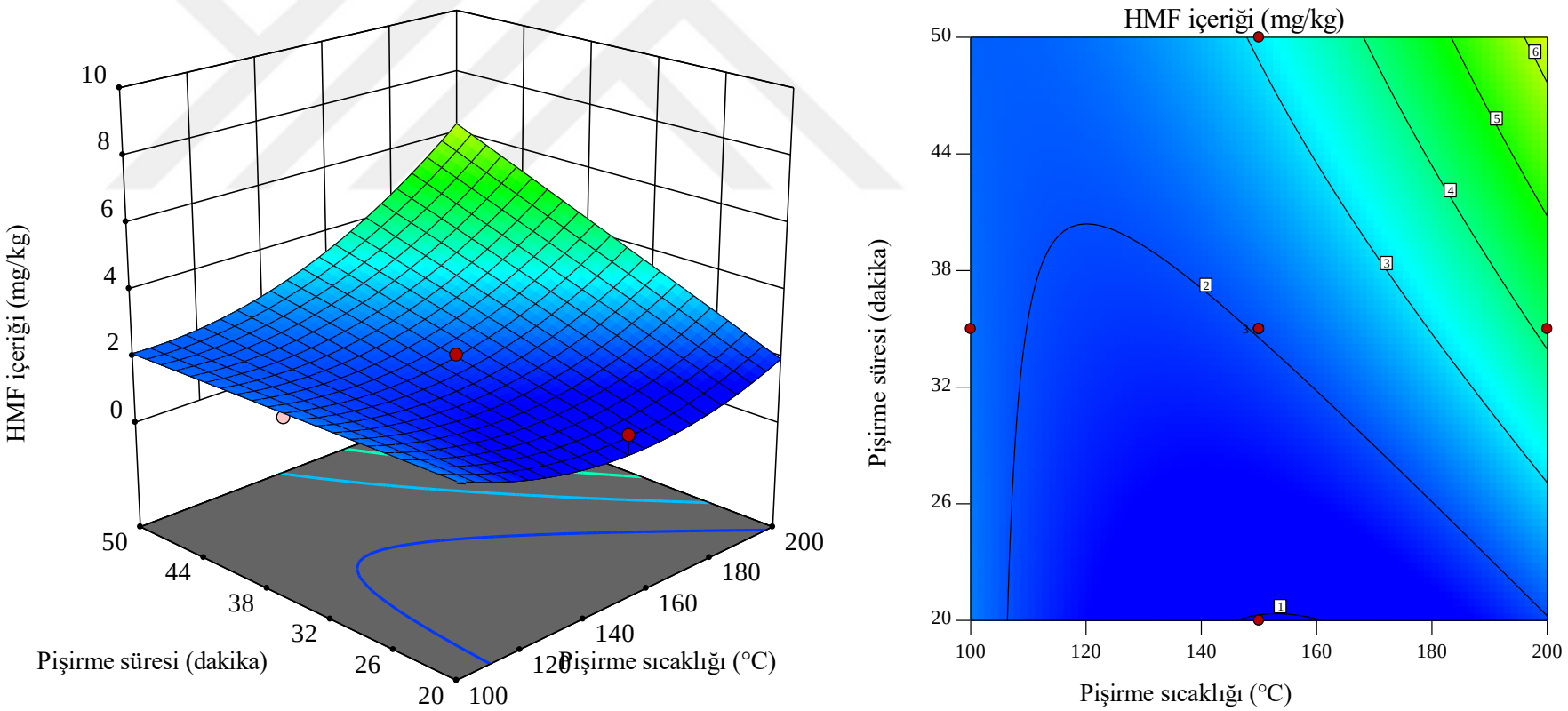
süresi 20, 35 ve 50 dk olan örneklerin ortalama HMF içeriği değerleri sırasıyla 2.12, 2.05 ve 4.22 mg/kg olarak tespit edilmiştir. Ortalama HMF içeriği sonuçlarına göre; pişirme süresinin 20-35 dk aralığında tutulmasının buharla ekmek pişirme fırını kullanılarak üretilen ekmeklerin kabuk HMF içeriğinin düşük seviyede tutulması için önemli olduğu değerlendirilmiştir. Farklı sürelerde ısıl işlem uygulanarak kızarmış ekmek üretiminin gerçekleştirildiği bir çalışmada, ısıl işlem süresinin yükseltilmesi ile HMF içeriğinin doğru orantılı olarak artış gösterdiği ve başlangıçta 11.80 mg/kg düzeyinde olan HMF içeriğinin 60 dakikalık ısıl işlem süresi sonunda 2024.80 mg/kg düzeyine yükseldiği belirlenmiştir (Ramirez-Jimenez vd. 2001).

4.6.3.4. Pişirme sıcaklığı-pişirme süresi interaksiyonunun ekmeklerin kabuk HMF içerikleri üzerine etkisi

Buharla ekmek pişirme fırınında üretilen ekmeklerin kabuk HMF içerikleri üzerine pişirme sıcaklığı-pişirme süresi interaksiyonunun istatistiksel olarak önemli (p<0.01) bir etkisinin bulunduğu tespit edilmiştir. Ekmek üretiminde su içeriğinin FSİ değerinin %90'ında sabit tutulması ile elde edilen ve pişirme sıcaklığı-pişirme süresi interaksiyonunun ekmeklerin kabuk HMF içerikleri üzerine etkisinin önemini gösteren grafik Şekil 4.15'te verilmiştir.

Şekil 4.15'e göre; pişirme süresi 20-25 dk arasında iken pişirme sıcaklığının 100-200°C bandında değişmesi ekmeklerin kabuk HMF içerikleri üzerinde büyük bir etkiye sebep olmamakta; ancak pişirme süresi yaklaşık 30 dk'nın, pişirme sıcaklığı ise yaklaşık 180°C'nin üzerine çıktığında HMF içeriği değerlerinde artış gözlenmeye başlamaktadır. Buharla ekmek pişirme fırınında, pişirme sıcaklığı için en yüksek değer olan 200°C'de en yüksek pişirme süresi olan 50 dk boyunca pişirme işlemine tabi tutulan ekmeklerin kabuk HMF içeriği maksimuma ulaşmaktadır.

Edris vd. (2007) gıdalarda HMF içeriklerinin kontrol altında tutulması için uygulanan ısıl işlemlerin sıcaklık ve sürelerinin de kontrol altında tutulması gerektiğini belirtmiştir. Farklı formülasyonlar kullanılarak hazırlanan kurabiyeler üzerinde yapılan bir çalışmada, pişirme sıcaklığı ve süresinin artmasıyla birlikte kurabiyelerin HMF içeriklerinin de arttığı ve bazı formülasyonlarda HMF düzeyinin yaklaşık 3.50 g/kg düzeyine ulaştığı tespit edilmiştir (Gökmen vd. 2008). Benzer bir eğilim de (Capuano vd. 2008) tarafından belirlenmiş olup, kızarmış ekmek üretiminde 140, 160 ve 180°C olarak belirlenen işlem sıcaklığı değerleri ile birlikte pişirme süresinin de artmasına bağlı olarak ekmeklerin HMF içeriklerinin de arttığı belirlenmiştir.



Şekil 4.15. Ekmeklerin kabuk HMF içerikleri üzerine pişirme sıcaklığı-pişirme süresi interaksiyonunun etkisi

4.6.4. Ekmeklerin TPA-sertlik değeri için uygun modelin seçimi

Çizelge 4.22'de verilen TPA-sertlik değeri için istatistiksel parametrelerin en iyi ifade edildiği model olan kuadratik modelin deneme şartlarında istatistiksel olarak önemli (p<0.01) ve %82 (R^2=0.82) güven seviyesi ile en uygun model olduğu tespit edilmiştir. Uygun olarak seçilen modele göre önemli bulunan bağımsız değişkenlerin ekmeklerin TPA-sertlik değerleri üzerine etkisini gösteren varyans analizi verileri Çizelge 4.26'da, kuadratik modelin çoklu regresyon istatistik değerleri ise Çizelge 4.27'de verilmiştir.

Çizelge 4.26. Önemli bulunan bağımsız değişkenlerin ekmeklerin TPA-sertlik değerleri üzerine etkisini gösteren varyans analizi verileri

Varyasyon kaynağı	HKT	SD	KO	F	*p*
Model (Kuadratik)	10541834.46	5	2108366.89	10.16	0.0008**
A (Su içeriği)	125.59	1	125.59	0.00	0.9808
B (Pişirme sıcaklığı)	2853422.54	1	2853422.54	13.75	0.0035**
C (Pişirme süresi)	5222834.62	1	5222834.62	25.16	0.0004**
BC	1213236.19	1	1213236.19	5.84	0.0342*
A^2	1252215.52	1	1252215.52	6.03	0.0319*
Artık hata	2283377.97	11	207579.82		
Uyum eksikliği	2191092.72	9	243454.75	5.28	0.1694
Saf hata	92285.25	2	46142.62		
Toplam	12825212.43	16			

HKT: Hata kareler toplamı, SD: Serbestlik derecesi, KO: Kareler ortalaması, *: 0.01<p<0.05, **: p<0.01

Varyans analizi sonuçlarına göre; pişirme sıcaklığı ve pişirme süresi (p<0.01) ile birlikte bunların interaksiyonunun ve su içeriğinin karesinin (p<0.05) ekmeklerin TPA-sertlik değerleri üzerinde istatistiksel açıdan önemli bir etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 4.27. Kuadratik modelin çoklu regresyon istatistik değerleri

Parametre	Değer
R^2	0.8220
R^2_{dzl}	0.7410
Pred-R^2	0.4070
%CV	12.70
PRESS	7605219.19
Yeterli hassasiyet	10.8027

R^2: Regresyon katsayısı, R^2_{dzl}: Düzeltilmiş regresyon katsayısı, Pred-R^2: Tahmini belirleme regresyon katsayısı, CV: Varyasyon katsayısı, PRESS: Tahmin edilen hataların karelerinin toplamı

Önemli bulunan değişkenlerin Çizelge 4.26'da ve 4.27'de verilen varyans analizi verileri ve çoklu regresyon istatistik değerleri birlikte değerlendirildiğinde; kullanılan deneme deseninde bağımsız değişkenlerin ekmeklerin TPA-sertlik değerleri üzerine etkisini gösteren en uygun modelin kuadratik model (R^2= 0.82) olduğu belirlenmiştir. Düzeltilmiş (R^2_{dzl}) ve tahmini belirleme (Pred-R^2) regresyon katsayıları arasındaki farkın nispeten yüksek olması bu değerlerin birbiri ile uyumsuz olduğunu belirtmesine rağmen 10.80 olarak tespit edilen yeterli hassasiyet değerinin sınır değer olan 4 değerinden büyük olması, modelin sinyal gücünün iyi olduğunu ve modelin gürültüden etkilenmediğini ifade etmektedir.

Gerçekleştirilen optimizasyon çalışmasıyla elde edilen TPA-sertlik değerlerine ait veriler kullanılarak belirlenen ve önemsiz bulunan değişkenler ihmal edildikten sonra önemli bulunan bağımsız değişkenlere göre oluşturulan kuadratik modelin genel regresyon eşitliği, Eşitlik 4.2'de verilmiştir.

$$TPA - sertlik\ (g) = 47337.28 - 992.28A - 7.49B - 29.71C + 0.52BC + 5.51A^2 \quad (4.2)$$

A : Su içeriği (%)

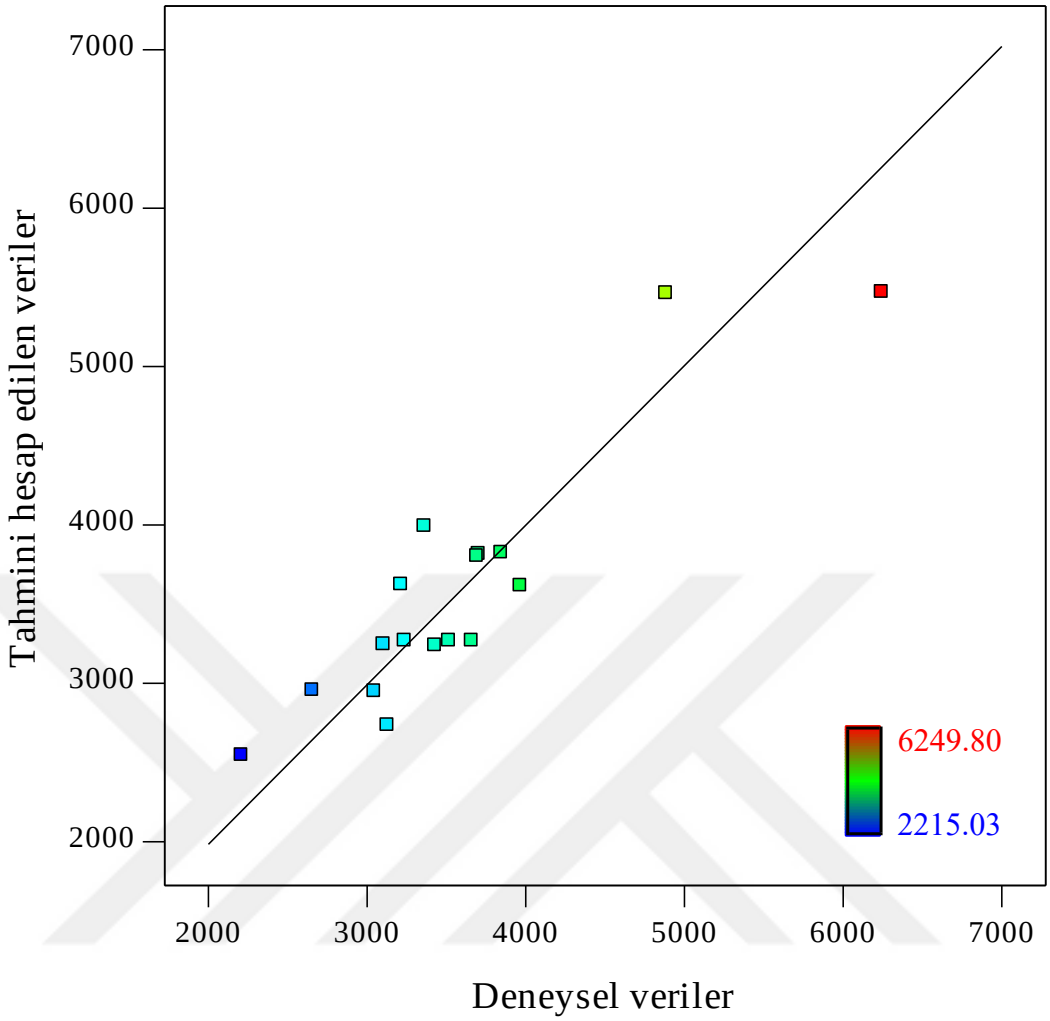
B : Pişirme sıcaklığı (°C)

C : Pişirme süresi (dk)

Ekmeklerin deneysel olarak elde edilen TPA-sertlik değerlerine ait veriler ile kuadratik modelin kullanılmasıyla tahmini hesap edilen (Eşitlik 4.2) TPA-sertlik değerlerine ait veriler Çizelge 4.28'de ve deneysel veriler ile tahmini hesap edilen veriler arasındaki uyum grafiği ise Şekil 4.16'da verilmiştir. Çizelge 4.28 ve Şekil 4.16 birlikte incelendiğinde; deneysel ve tahmini hesap edilen verilerin yalnızca en yüksek TPA-sertlik değerinde bir miktar sapma gösterdiği, diğer tüm TPA-sertlik değerlerinde ise birbirine yakın olduğu belirlenmiş, bu nedenle de model ve model denkleminin deneme koşullarında ekmeklerin TPA-sertlik değerlerinin tahmini için sistem dışı hatalardan etkilenmediği ve genel olarak başarılı olduğu değerlendirilmiştir.

Çizelge 4.28. Ekmeklerin TPA-sertlik değerlerine ait deneysel ve tahmini hesap edilen veriler

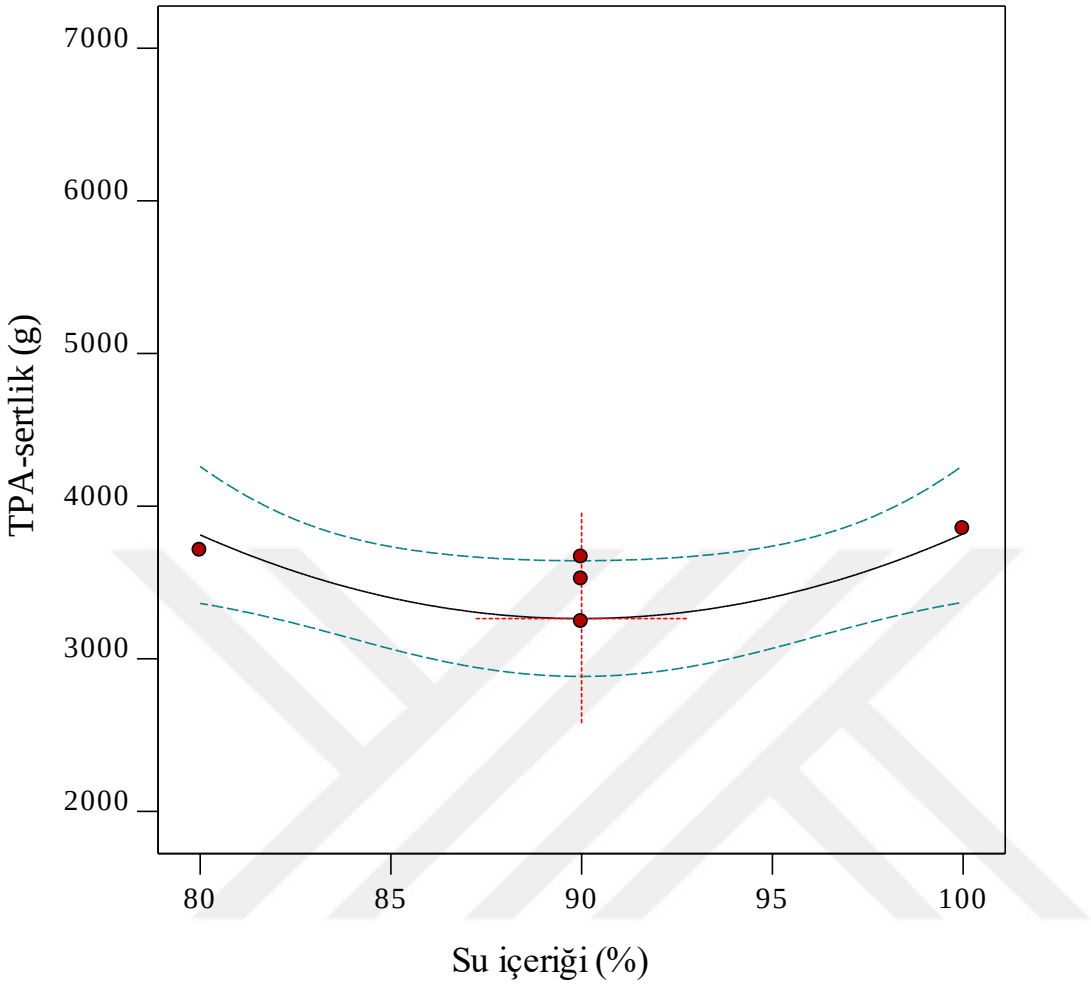
Deneme no	TPA-sertlik (g)		Fark
	Deneysel	Tahmini	
1	3110.26	3240.68	-130.42
2	3367.77	3986.31	-618.55
3	3708.65	3811.54	-102.89
4	6249.80	5464.92	784.87
5	4889.64	5457.83	-568.19
6	3220.21	3617.72	-397.50
7	3134.27	2729.45	404.82
8	3851.29	3818.63	32.66
9	3052.14	2944.10	108.04
10	2661.58	2951.19	-289.61
11	3698.76	3797.80	-99.03
12	3665.23	3263.62	401.61
13	3972.89	3610.63	362.26
14	2215.03	2540.93	-325.90
15	3434.38	3233.59	200.78
16	3521.54	3263.62	257.91
17	3242.76	3263.62	-20.87



Şekil 4.16. Ekmeklerin TPA-sertlik değerleri için deneysel ve tahmini hesap edilen verilerin uyum grafiği

4.6.4.1. Su içeriği bağımsız değişkeninin ekmeklerin TPA-sertlik değerleri üzerine etkisi

Buharla ekmek pişirme fırınında üretilen ekmeklerin TPA-sertlik değerleri üzerine su içeriğinin istatistiksel açıdan önemli ($p>0.05$) bir etkisinin bulunmadığı, ancak su içeriği karesinin istatistiksel olarak önemli ($p<0.05$) bir etkiye sahip olduğu belirlenmiştir. Ekmek üretiminde sıcaklığın 150°C'de ve pişirme süresinin ise 35 dk'da sabit tutulması ile elde edilen ve hamur su içeriğinin ekmeklerin TPA-sertlik değerleri üzerine etkisinin önemini gösteren grafik Şekil 4.17'de verilmiştir.

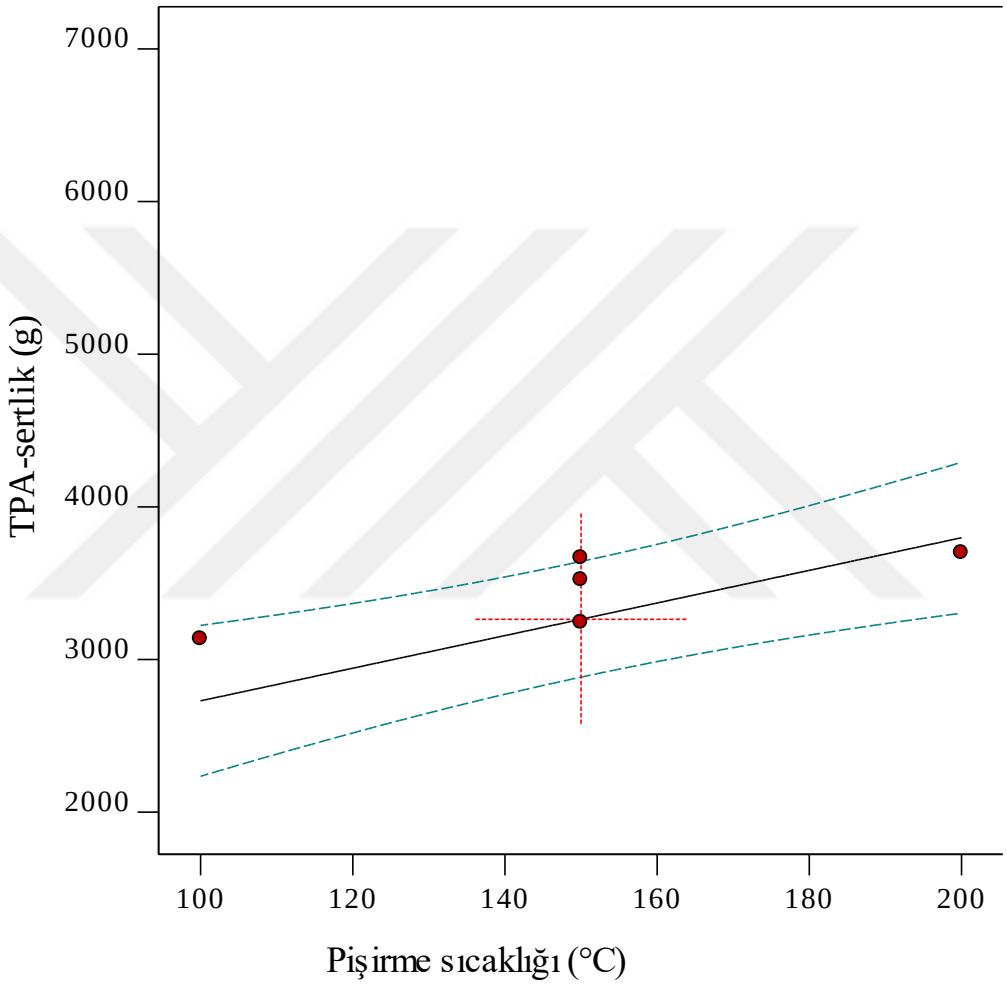


Şekil 4.17. Ekmeklerin TPA-sertlik değerleri üzerine hamur su içeriği karesinin etkisi

Şekil 4.17'ye göre; un içerisine eklenen su miktarının, FSİ değerinin %80'inden %90'ına yükseltilmesi ekmeklerdeki TPA-sertlik değerlerini bir miktar azaltırken, %90'ından %100'üne yükseltilmesi ekmeklerdeki TPA-sertlik değerlerini benzer oranda arttırmıştır. Ortalama TPA-sertlik değerleri; FSİ değerinin %80'i kadar su kullanılarak üretilen ekmeklerde 3176.28 g, %90'ı kadar su kullanılarak üretilen ekmeklerde 3263.62 g ve %100'ü kadar su kullanılarak üretilen ekmeklerde 3818.63 g olarak belirlenmiştir. Bu durum; fermantasyon ile oluşan CO_2 gazının düşük su içeriği değerlerinde hamur yapısının sıkı olmasına bağlı olarak ekmek içindeki gözeneklerin yeterince büyümesine katkı sağlayamaması ile; yüksek su içeriği değerlerinde ise zaten yumuşak formda olan hamurun ekşi hamur fermantasyonu ile asitliğinin artmasına bağlı olarak gluten yapısının da zayıflaması ile ilişkilendirilmiş ve her iki durumda da ekmeğin bilinen süngerimsi yapısının oluşmaması ile birlikte ölçülen sertlik değerlerinin yüksek olduğu değerlendirilmiştir.

4.6.4.2. Pişirme sıcaklığı bağımsız değişkeninin ekmeklerin TPA-sertlik değerleri üzerine etkisi

Buharla ekmek pişirme fırınında üretilen ekmeklerin TPA-sertlik değerleri üzerine pişirme sıcaklığının (p<0.01) istatistiksel olarak önemli bir etkisinin bulunduğu tespit edilmiştir. Ekmek üretiminde su içeriğinin FSİ değerinin %90'ında, pişirme süresinin ise 35 dk'da sabit tutulması ile elde edilen ve pişirme sıcaklığının ekmeklerin TPA-sertlik değerleri üzerine etkisinin önemini gösteren grafik Şekil 4.18'de verilmiştir.



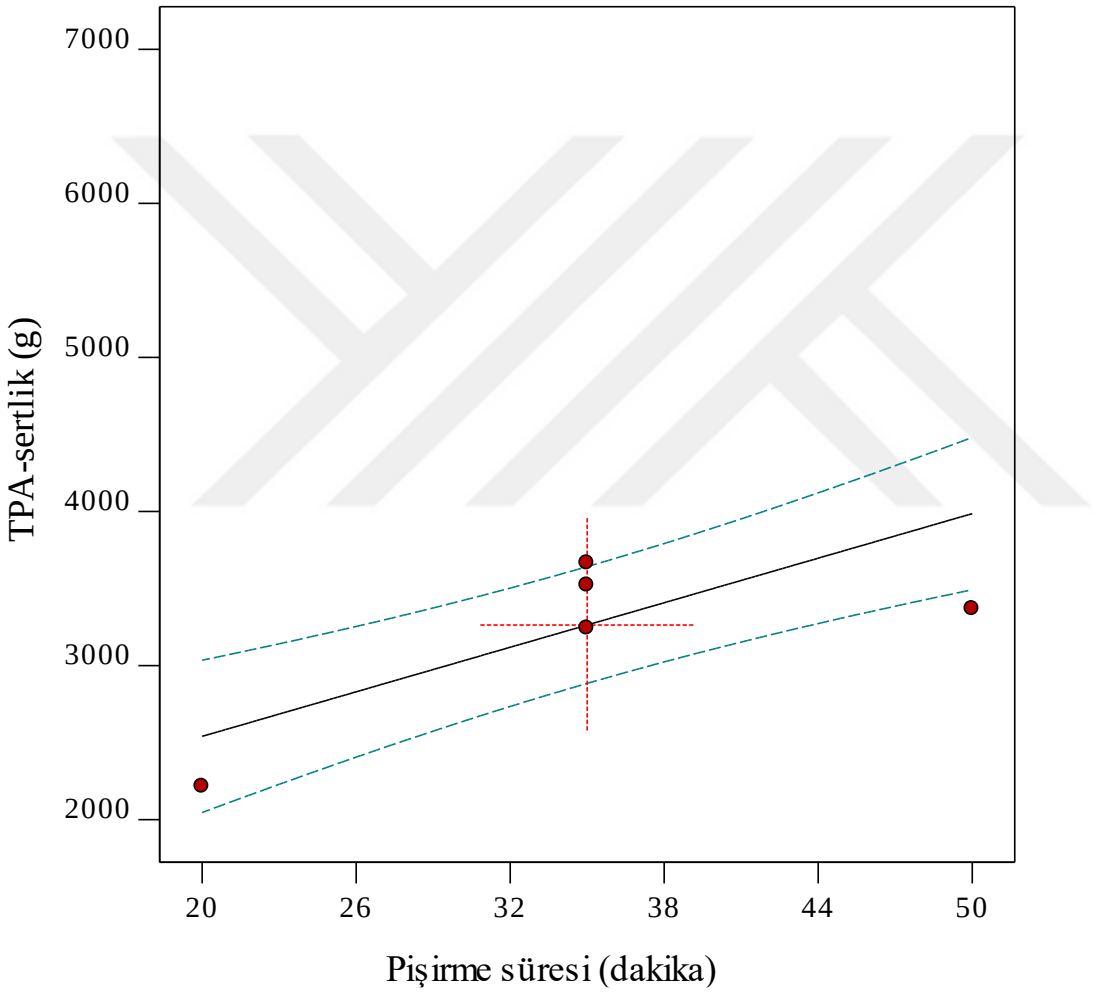
Şekil 4.18. Ekmeklerin TPA-sertlik değerleri üzerine pişirme sıcaklığının etkisi

Şekil 4.18 incelendiğinde; pişirme sıcaklığının 100°C'den 200°C'ye yükseltilmesinin ekmeklerin TPA-sertlik değerlerini arttırdığı görülmektedir. TPA-sertlik değerleri 100°C'de ortalama 3208.22 g, 150°C'de ortalama 3367.42 g ve 200°C'de ise ortalama 4276.57 g olarak tespit edilmiştir. Bu sonuçlara göre; sıcaklığın 150°C'den fazlaca yüksek olan değerlerde olmasının ekmeklerin TPA-sertlik değerlerini belirgin bir şekilde arttıracağı değerlendirilmiştir. Ekmek üretimi için farklı sıcaklıklarda pişirme işleminin uygulandığı bir çalışmada pişirme sıcaklığındaki artış ile birlikte ekmek içi sertliğinin de arttığı tespit edilmiştir (Shittu vd. 2007). Ayrıca Içöz vd. (2004) de belirli

bir pişirme süresinde, pişirme sıcaklığı arttıkça ekmek içi sertliklerinde de artış meydana geldiğini bildirmiştir.

4.6.4.3. Pişirme süresi bağımsız değişkeninin ekmeklerin TPA-sertlik değerleri üzerine etkisi

Buharla ekmek pişirme fırınında üretilen ekmeklerin TPA-sertlik değerleri üzerinde pişirme süresinin istatistiksel olarak önemli (p<0.01) bir etkiye sahip olduğu belirlenmiştir. Ekmek üretiminde su içeriğinin FSİ değerinin %90'ında, pişirme sıcaklığının ise 150°C'de sabit tutulması ile elde edilen ve pişirme süresinin ekmeklerin TPA-sertlik değerleri üzerine etkisinin önemini gösteren grafik Şekil 4.19'da verilmiştir.



Şekil 4.19. Ekmeklerin TPA-sertlik değerleri üzerine pişirme süresinin etkisi

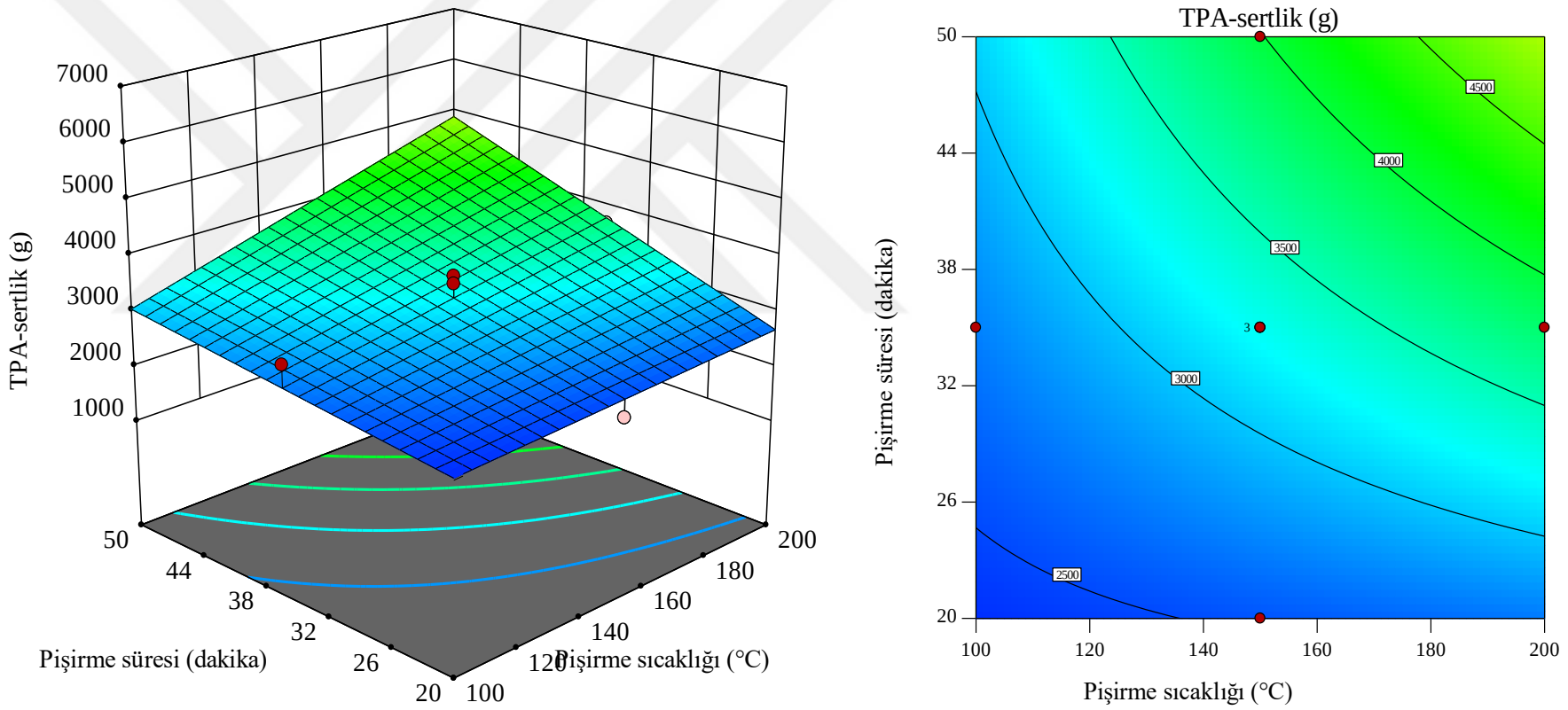
Şekil 4.19 üzerinde değerlendirme yapıldığında; pişirme süresinin minimum değer olan 20 dk'dan maksimum değer olan 50 dk'ya yükseltilmesinin ekmeklerin TPA-sertlik değerlerini arttırdığı tespit edilmiştir. Ortalama TPA-sertlik değerleri pişirme süresi 20 dk iken 2894.68 g, 35 dk iken 3546.07 g ve 50 dk iken 4340.06 g olarak belirlenmiştir. Pişirme sürelerine göre TPA-sertlik değerlerinin ortalamaları dikkate alındığında; pişirme süresindeki artış ile birlikte ekmeklerin TPA-sertlik değerlerinin de

doğrusal olarak artması nedeniyle araştırma kapsamında imal edilen buharla ekmek pişirme fırını kullanılarak daha yumuşak yapıda ekmek üretmek için pişirme süresinin kısa olması gerektiği değerlendirilmiştir. Shittu vd. (2007) bir un karışımıyla hazırladığı hamurdan farklı sürelerde pişirme işlemi gerçekleştirerek elde ettiği ekmekler için pişirme süresinin artmasıyla ekmek içi sertliğinin de arttığını belirlemiştir. Chakraborty ve Shrivastava (2019) tarafından da benzer bir eğilim tespit edilmiştir.

4.6.4.4. Pişirme sıcaklığı-pişirme süresi interaksiyonunun ekmeklerin TPA-sertlik değerleri üzerine etkisi

Buharla ekmek pişirme fırınında üretilen ekmeklerin TPA-sertlik değerleri üzerine pişirme sıcaklığı-pişirme süresi interaksiyonunun istatistiksel açıdan önemli ($p<0.05$) bir etkisinin bulunduğu tespit edilmiştir. Ekmek üretiminde su içeriğinin FSİ değerinin %90'ında sabit tutulması ile elde edilen ve pişirme sıcaklığı-pişirme süresi interaksiyonunun ekmeklerin TPA-sertlik değerleri üzerine etkisinin önemini gösteren grafik Şekil 4.20'de verilmiştir.

Şekil 4.20'ye göre; pişirme süresi 20-25 dk, pişirme sıcaklığı ise 100-180°C aralığında iken ekmeklerin TPA-sertlik değerlerinin minimum düzeyde olduğu; orta noktanın (pişirme süresi: 35 dk; pişirme sıcaklığı: 150°C) üzerindeki süre ve sıcaklıklarda ise TPA-sertlik değerlerinin yükseldiği tespit edilmiştir. Buharla ekmek pişirme fırınında, en yüksek pişirme sıcaklığı değerinde (200°C) ve süresinde (50 dk) pişirilen ekmeklerde TPA-sertlik değerinin en yükseğe ulaştığı belirlenmiştir. Araştırma sonuçları ile uyumlu olarak, buğday unu - kokoyam unu karışımıyla hazırlanan hamurlardan farklı pişirme sıcaklıkları ve süreleri uygulanarak üretilen ekmeklerde de pişirme sıcaklığı ve süresinin artmasıyla TPA-sertlik değerlerinde artış meydana geldiği bildirilmiştir (Peluola-Adeyemi vd. 2016).



Şekil 4.20. Ekmeklerin TPA-sertlik değerleri üzerine pişirme sıcaklığı-pişirme süresi interaksiyonunun etkisi

4.6.5. TPA-esneklik değeri için uygun modelin seçimi

Çizelge 4.22'de verilen TPA-esneklik değeri için istatistiksel parametrelerin en iyi ifade edildiği model olan kuadratik modelin deneme şartlarında istatistiksel olarak önemli (p<0.01) ve %96 (R^2=0.96) güven seviyesi ile en uygun model olduğu tespit edilmiştir. Uygun olarak seçilen modele göre önemli bulunan bağımsız değişkenlerin ekmeklerin TPA-esneklik değerleri üzerine etkisini gösteren varyans analizi verileri Çizelge 4.29'da, kuadratik modelin çoklu regresyon istatistik değerleri ise Çizelge 4.30'da verilmiştir.

Çizelge 4.29. Önemli bulunan bağımsız değişkenlerin ekmeklerin TPA-esneklik değerleri üzerine etkisini gösteren varyans analizi verileri

Varyasyon kaynağı	HKT	SD	KO	F	*p*
Model (Kuadratik)	0.11	7	0.02	35.04	<0.0001**
A (Su içeriği)	0.00	1	0.00	7.14	0.0255*
B (Pişirme sıcaklığı)	0.02	1	0.02	39.53	0.0001**
C (Pişirme süresi)	0.05	1	0.05	118.95	<0.0001**
AB	0.00	1	0.00	8.60	0.0167*
BC	0.00	1	0.00	7.51	0.0229*
B^2	0.01	1	0.01	13.99	0.0046**
C^2	0.01	1	0.01	16.94	0.0026**
Artık hata	0.00	9	0.00		
Uyum eksikliği	0.00	7	0.00	17.37	0.0555
Saf hata	0.00	2	0.00		
Toplam	0.12	16			

HKT: Hata kareler toplamı, SD: Serbestlik derecesi, KO: Kareler ortalaması, *: 0.01<p<0.05, **: p<0.01

Varyans analizi sonuçlarına göre; pişirme sıcaklığı, pişirme süresi ve bunların karelerinin (p<0.01), su içeriğinin, su içeriği-pişirme sıcaklığı ve pişirme sıcaklığı-pişirme süresi interaksiyonlarının (p<0.05) ekmeklerin TPA-esneklik değerleri üzerinde istatistiksel açıdan önemli bir etkiye sahip olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 4.30. Kuadratik modelin çoklu regresyon istatistik değerleri

Parametre	**Değer**
R^2	0.9646
R^2_{dzl}	0.9371
Pred-R^2	0.7402
%CV	2.47
PRESS	0.03
Yeterli hassasiyet	18.8742

R^2: Regresyon katsayısı, R^2_{dzl}: Düzeltilmiş regresyon katsayısı, Pred-R^2: Tahmini belirleme regresyon katsayısı, CV: Varyasyon katsayısı, PRESS: Tahmin edilen hataların karelerinin toplamı

Önemli bulunan değişkenlerin Çizelge 4.29'da ve 4.30'da verilen varyans analizi verileri ve çoklu regresyon istatistik değerleri birlikte değerlendirildiğinde; kullanılan deneme deseninde bağımsız değişkenlerin ekmeklerin TPA-esneklik değerleri üzerine etkisini gösteren en uygun modelin kuadratik model (R^2= 0.96) olduğu belirlenmiştir. Regresyon katsayısı (R^2) ile birlikte düzeltilmiş (R^2_{dzl}) ve tahmini belirleme (Pred-R^2) regresyon katsayılarının 1'e yakın olmaları ve R^2_{dzl} ile Pred-R^2 arasındaki farkın küçük olması bu değerlerin birbirleri ile oldukça uyumlu olduğunu, kuadratik modelin deneysel verileri oldukça iyi bir şekilde temsil ettiğini göstermektedir. Ayrıca 18.87 olarak belirlenen yeterli hassasiyet değerinin sınır değer olan 4 değerinden büyük olması da modelin güçlü bir sinyale sahip olduğunu ve gürültüden etkilenmediğini ifade etmektedir.

Gerçekleştirilen optimizasyon çalışmasıyla elde edilen TPA-esneklik değerlerine ait veriler kullanılarak belirlenen ve önemsiz bulunan değişkenler ihmal edildikten sonra önemli bulunan bağımsız değişkenlere göre oluşturulan kuadratik modelin genel regresyon eşitliği, Eşitlik 4.3'te verilmiştir.

$$TPA - esneklik = 0.22 - 4.83\text{x}10^{-3}\text{A} + 3.33\text{x}10^{-3}\text{B} + 2.47\text{x}10^{-2}\text{C} + 0.44\text{x}10^{-4}\text{AB} - 0.28\text{x}10^{-4}\text{BC} - 0.18\text{x}10^{-4}\text{B}^2 - 2.24\text{x}10^{-4}\text{C}^2 \quad (4.3)$$

A : Su içeriği (%)

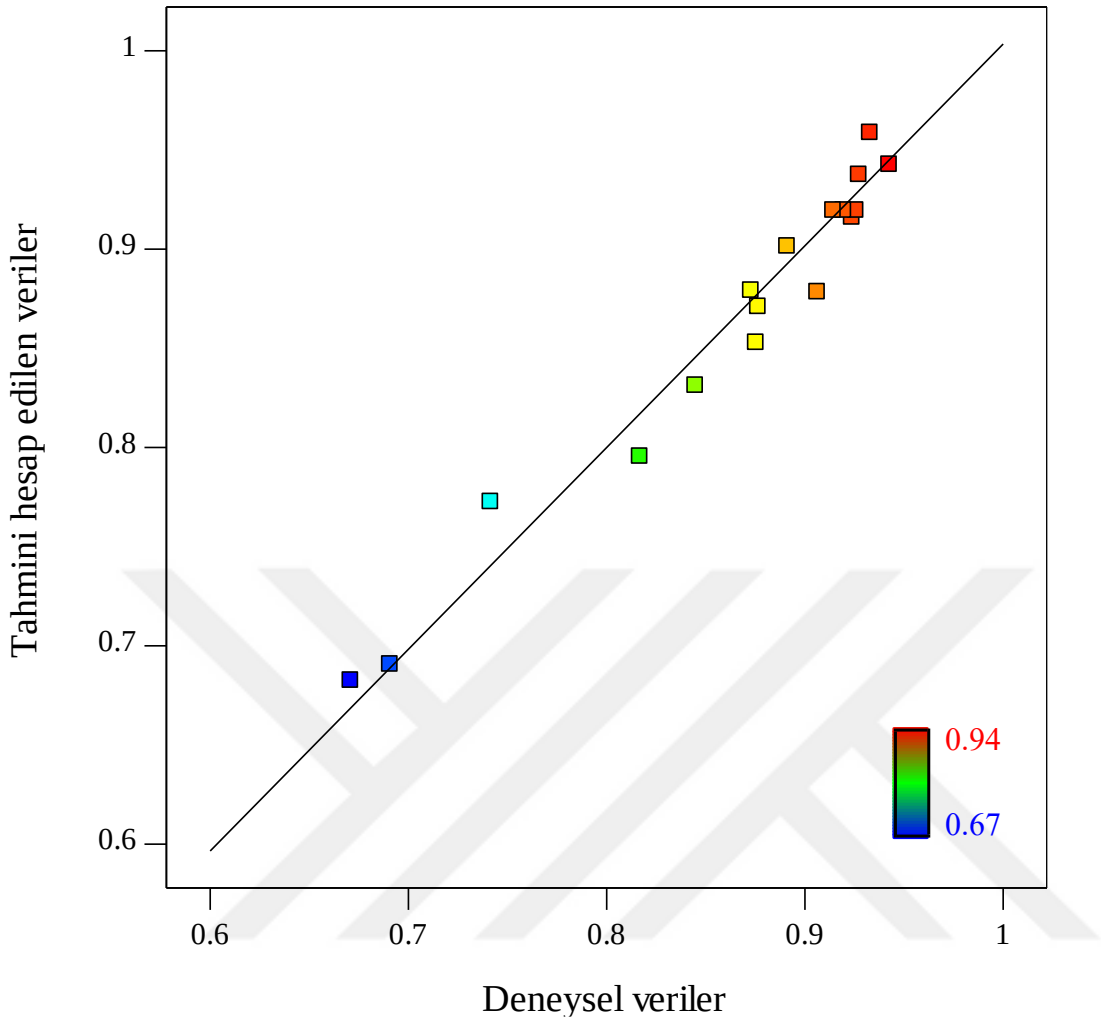
B : Pişirme sıcaklığı (°C)

C : Pişirme süresi (dk)

Deneysel olarak elde edilen TPA-esneklik değerlerine ait veriler ile kuadratik modelin kullanılmasıyla tahmini hesap edilen (Eşitlik 4.3) TPA-esneklik değerlerine ait veriler Çizelge 4.31'de ve deneysel veriler ile tahmini hesap edilen veriler arasındaki uyum grafiği ise Şekil 4.21'de verilmiştir. Çizelge 4.31 ve Şekil 4.21 birlikte incelendiğinde; tüm TPA-esneklik değerleri için deneysel ve tahmini hesap edilen verilerin birbirine oldukça yakın olduğu belirlenmiş, bu nedenle de model ve model denkleminin deneme koşullarında ekmeklerin TPA-esneklik değerlerinin tahmini için sistem dışı hatalardan etkilenmediği ve oldukça başarılı olduğu değerlendirilmiştir.

Çizelge 4.31. Ekmeklerin TPA-esneklik değerlerine ait deneysel ve tahmini hesap edilen veriler

Deneme no	TPA-esneklik		Fark
	Deneysel	Tahmini	
1	0.88	0.85	0.02
2	0.94	0.94	0.00
3	0.89	0.90	-0.01
4	0.93	0.96	-0.03
5	0.91	0.88	0.03
6	0.88	0.87	0.01
7	0.84	0.83	0.01
8	0.93	0.94	-0.01
9	0.69	0.69	0.00
10	0.67	0.68	-0.01
11	0.92	0.92	0.01
12	0.92	0.92	0.00
13	0.87	0.88	-0.01
14	0.82	0.80	0.02
15	0.74	0.77	-0.03
16	0.91	0.92	-0.01
17	0.93	0.92	0.01

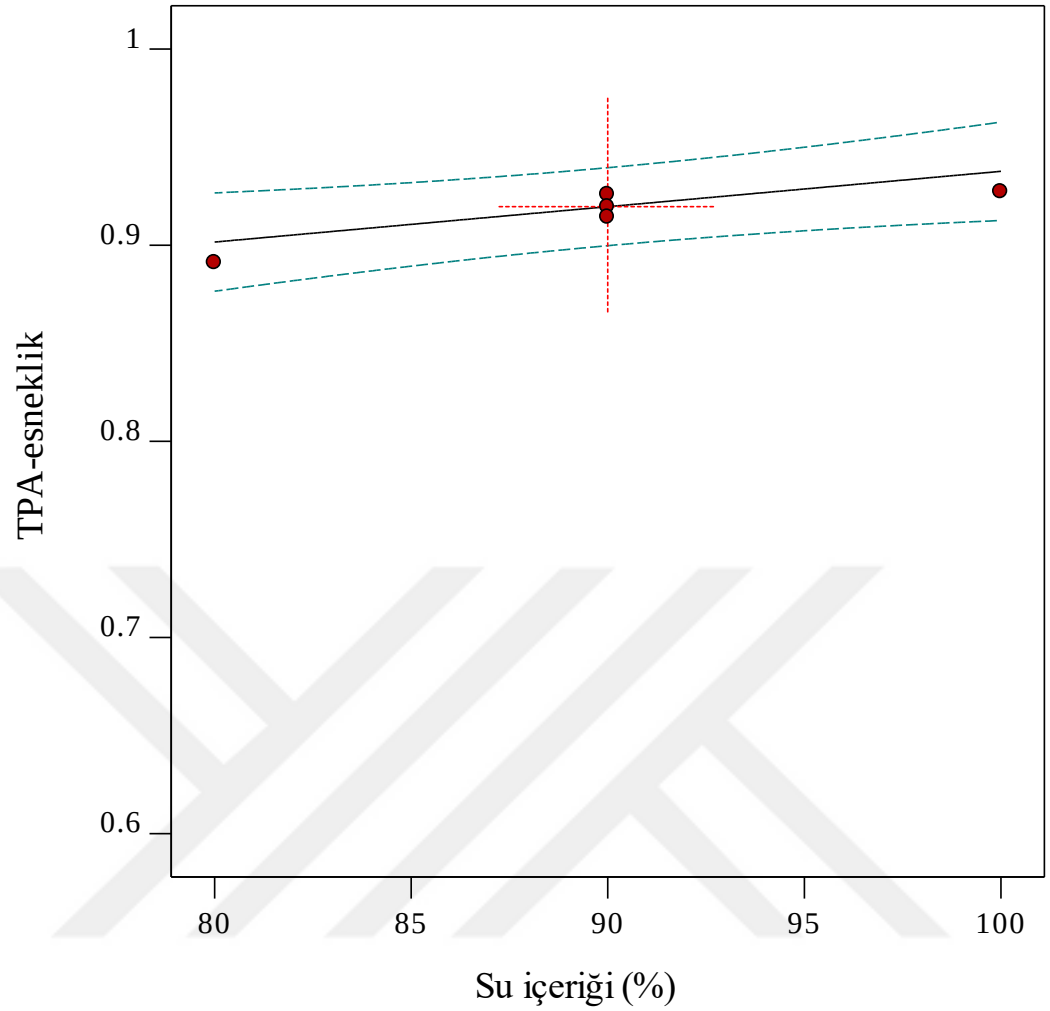


Şekil 4.21. Ekmeklerin TPA-esneklik değerleri için deneysel ve tahmini hesap edilen verilerin uyum grafiği

4.6.5.1. Su içeriği bağımsız değişkeninin ekmeklerin TPA-esneklik değerleri üzerine etkisi

Buharla ekmek pişirme fırınında üretilen ekmeklerin TPA-esneklik değerleri üzerine su içeriğinin istatistiksel açıdan önemli (p<0.05) bir etkisinin olduğu belirlenmiştir. Ekmek üretiminde sıcaklığın 150°C'de ve pişirme süresinin ise 35 dk'da sabit tutulması ile elde edilen ve hamur su içeriğinin ekmeklerin TPA-esneklik değerleri üzerine etkisinin önemini gösteren grafik Şekil 4.22'de verilmiştir.

Ekmek üretiminin hamur yapımı aşamasında un içerisine eklenen su miktarının FSİ değerinin %80'inden %100'üne yükseltilmesi, ekmeklerin TPA-esneklik değerlerinde artış meydana getirmiştir. TPA-esneklik değerleri; FSİ değerinin %80'i, %90'ı ve %100'ü kadar su kullanılarak üretilen ekmeklerde sırasıyla ortalama 0.82, 0.90 ve 0.86 olarak tespit edilmiştir.



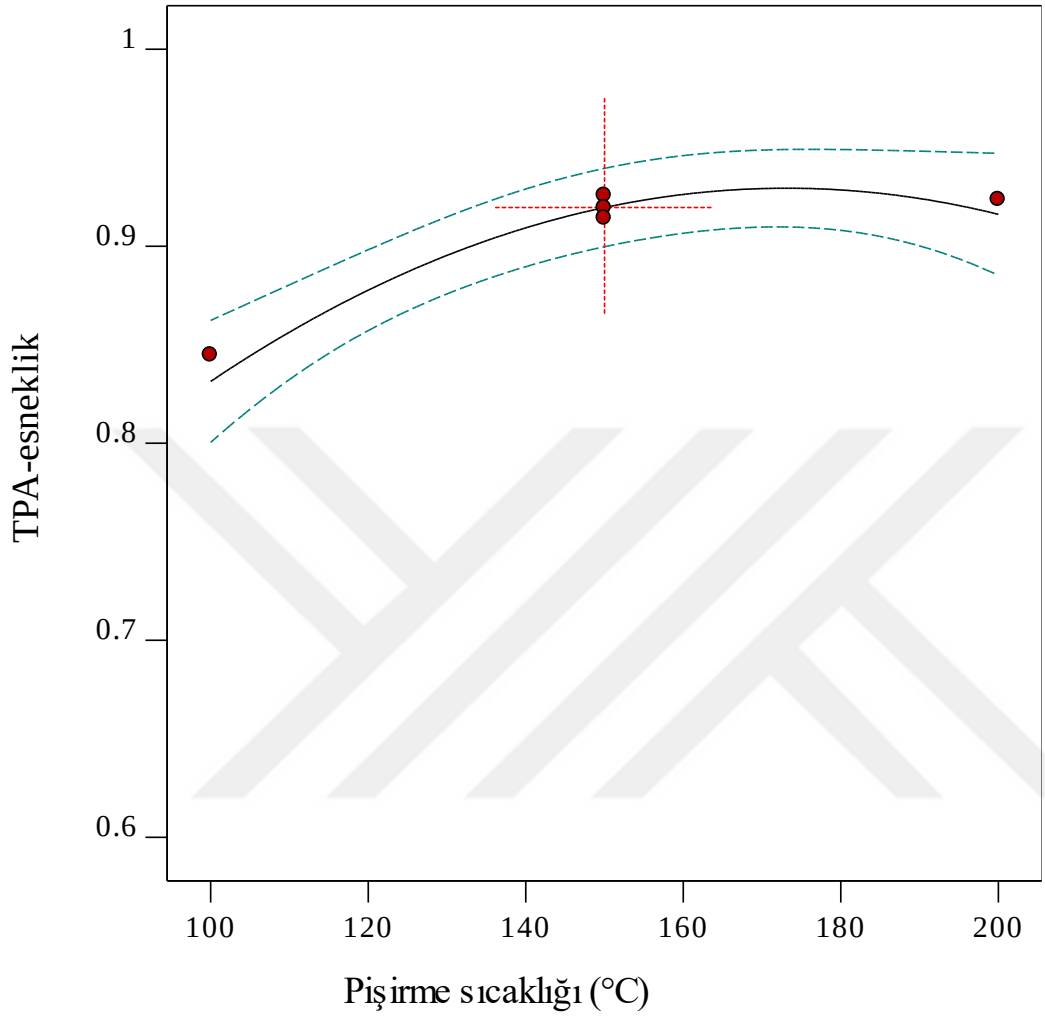
Şekil 4.22. Ekmeklerin TPA-esneklik değerleri üzerine su içeriğinin etkisi

Esneklik, deforme olmuş bir ürünün deforme olmayan orijinal durumuna geri dönme hızını ifade etmektedir ve sıkıştırma ve çiğneme işleminden sonra örneklerin orijinal boyutlarına dönme derecesi olarak da bilinmektedir. Bu nedenle esneklik, tesktür profil analizinde belirlenen sertlik ve çiğnenebilirlik değerleri ile doğrudan ilişkilidir ve sertlik değerine benzer şekilde ürünün nem içeriğinden, nemin yeniden düzenlenmesinden ve nişastanın retrogradasyonundan büyük ölçüde etkilenmektedir (Eriksson vd. 2014). Ekmeklerde bayatlamaya bağlı olarak ekmek içinde suyun yeniden organize olması ya da kaybı ürünün esneklik değerinin azalmasına sebep olmaktadır. Bu nedenle esneklik değerinin yüksek olması ekmek tazeliğinin bir ölçütü olarak kabul edilmekte ve üründe su içeriğinin artmasıyla esneklik değeri de artış göstermektedir (Özkaya vd. 2018).

4.6.5.2. Pişirme sıcaklığı bağımsız değişkeninin ekmeklerin TPA-esneklik değerleri üzerine etkisi

Buharla ekmek pişirme fırınında üretilen ekmeklerin TPA-esneklik değerleri üzerine pişirme sıcaklığının ve karesinin istatistiksel olarak önemli (p<0.01) bir etkisinin bulunduğu tespit edilmiştir. Ekmek üretiminde su içeriğinin FSİ değerinin %90'ında,

pişirme süresinin ise 35 dk'da sabit tutulması ile elde edilen ve pişirme sıcaklığının ekmeklerin TPA-esneklik değerleri üzerine etkisinin önemini gösteren grafik Şekil 4.23'te verilmiştir.

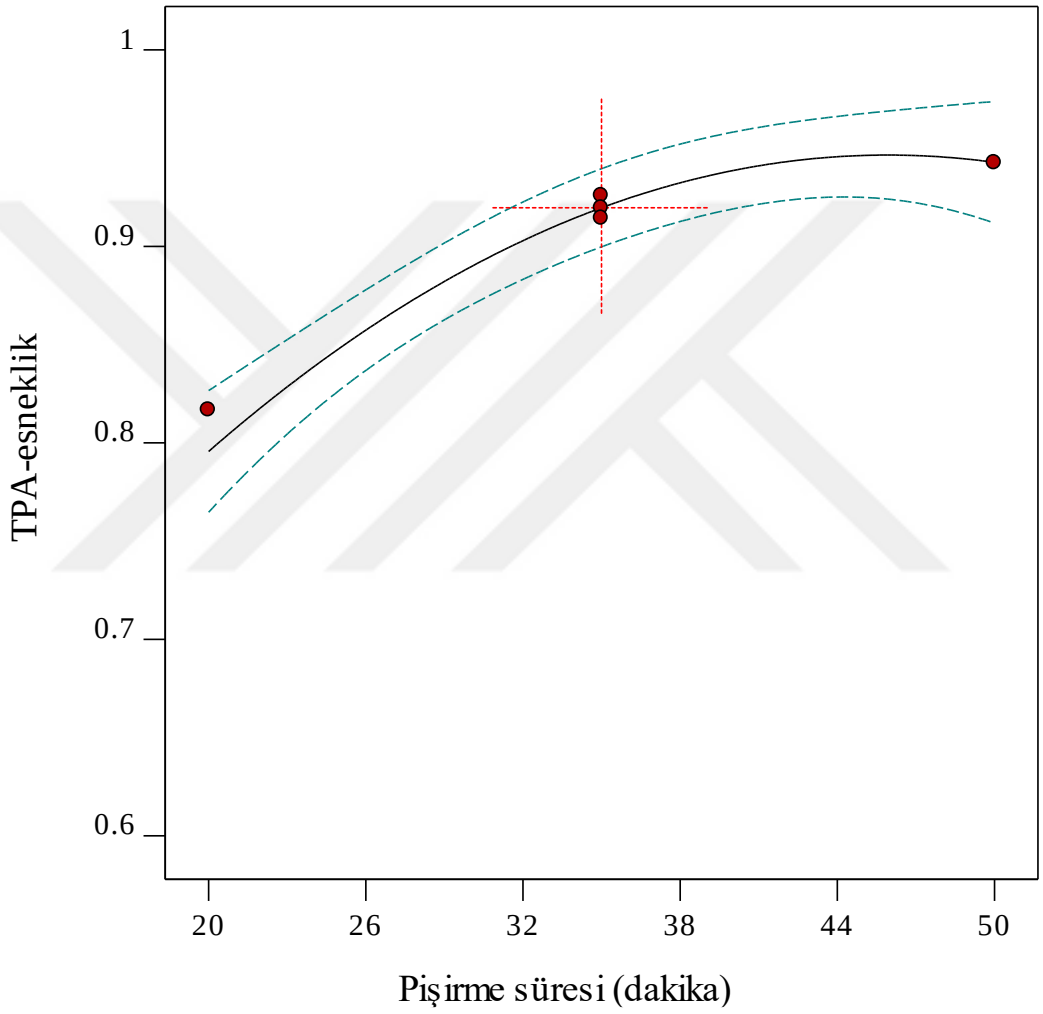


Şekil 4.23. Ekmeklerin TPA-esneklik değerleri üzerine pişirme sıcaklığının ve karesinin etkisi

Şekil 4.23'e göre; ekmeklerin TPA-esneklik değerlerinin pişirme sıcaklığı 100°C'den yaklaşık 160°C civarına yükseltildiğinde artış gösterdiği, 160°C-180°C arasında maksimum değere ulaşıp bir süre sabit ilerledikten sonra ise 200°C çizgisine doğru azalma eğilimine geçtiği tespit edilmiştir. Ortalama TPA-esneklik değerleri 100°C'de 0.79, 150°C'de 0.91 ve 200°C'de ise 0.88 olarak belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar; üretimdeki diğer bağımsız değişkenlerin etkilerine ve yanıt değişkenlerinden alınan cevaba göre değişmekle birlikte, pişirme sıcaklığının 150-180°C aralığında olmasının ekmeklerin TPA-esneklik değerlerini olumlu yönde etkileyeceği şeklinde yorumlanmıştır.

4.6.5.3. Pişirme süresi bağımsız değişkeninin ekmeklerin TPA-esneklik değerleri üzerine etkisi

Buharla ekmek pişirme fırınında üretilen ekmeklerin TPA-esneklik değerleri üzerine pişirme süresinin ve karesinin istatistiksel açıdan önemli (p<0.01) bir etkisinin olduğu belirlenmiştir. Ekmek üretiminde su içeriğinin FSİ değerinin %90'ında, pişirme sıcaklığının ise 150°C'de sabit tutulması ile elde edilen ve pişirme süresinin ekmeklerin TPA-esneklik değerleri üzerine etkisinin önemini gösteren grafik Şekil 4.24'te verilmiştir.



Şekil 4.24. Ekmeklerin TPA-esneklik değerleri üzerine pişirme süresinin ve karesinin etkisi

Şekil 4.24 incelendiğinde; pişirme süresindeki artışın 20 dk'dan 40 dk'ya kadar ekmeklerin TPA-esneklik değerlerini arttırıcı yönde bir etki yaptığı, 40 dk'dan sonra ise bu artış eğiliminin yavaşlayarak durduğu ve TPA-esneklik değerinin sabitlendiği görülmektedir. Pişirme süresi 20, 35 ve 50 dk olan ekmeklerin ortalama TPA-esneklik değerleri sırasıyla 0.76, 0.91 ve 0.91 olarak tespit edilmiştir. Ortalama TPA-esneklik sonuçları ile Şekil 4.24'ün birlikte yorumlanmasıyla; pişirme süresinin 30-35 dk civarında tutulmasının buharla ekmek pişirme fırını kullanılarak üretilen ekmeklerde

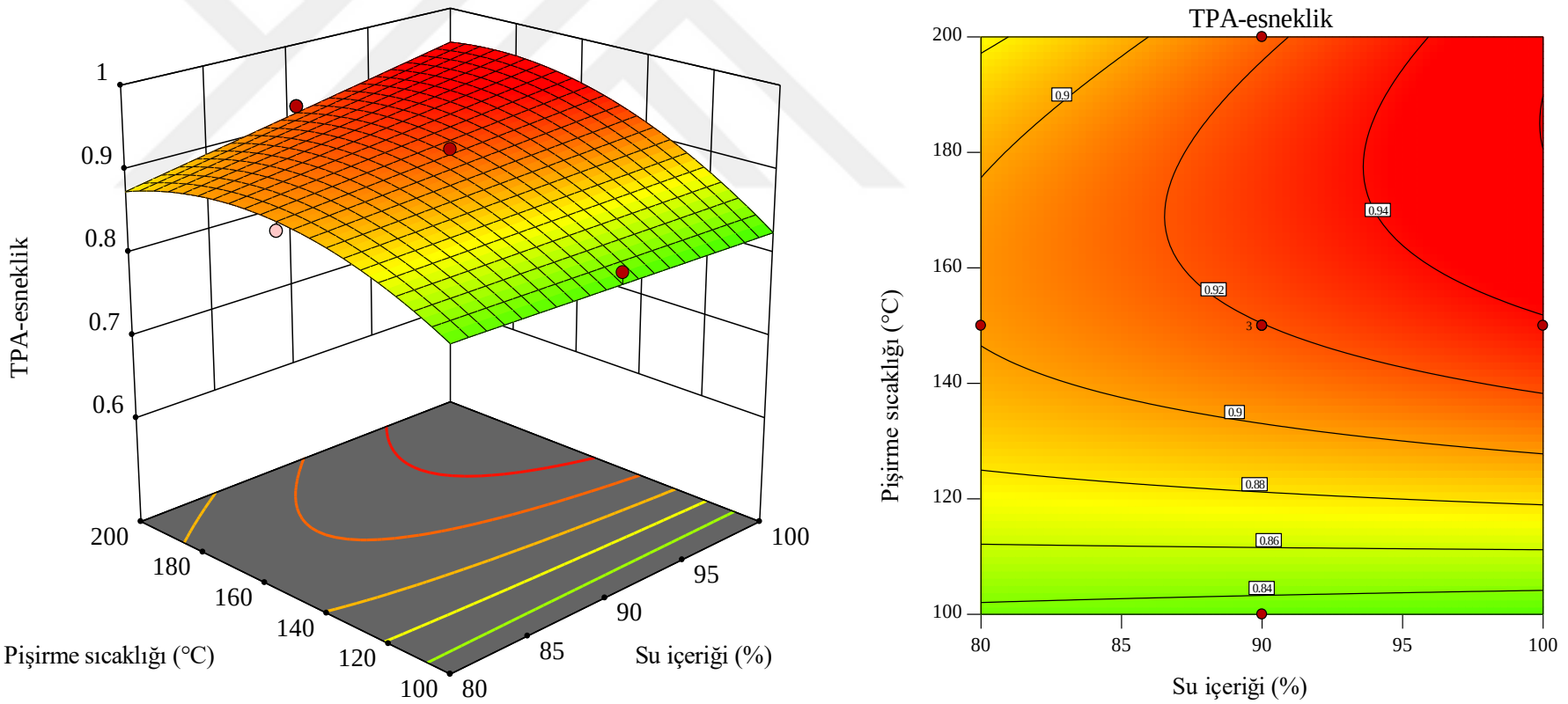
TPA-esneklik değerlerinin makul seviyede tutulması için önemli olduğu değerlendirilmiştir.

4.6.5.4. Su içeriği-pişirme sıcaklığı interaksiyonunun ekmeklerin TPA-esneklik değerleri üzerine etkisi

Buharla ekmek pişirme fırınında üretilen ekmeklerin TPA-esneklik değerleri üzerine su içeriği-pişirme sıcaklığı interaksiyonunun istatistiksel olarak önemli (p<0.05) bir etkisinin bulunduğu tespit edilmiştir. Ekmek üretiminde pişirme süresi değerinin süre için orta nokta olan 35 dk'da sabit tutulması ile elde edilen ve su içeriği-pişirme sıcaklığı interaksiyonunun ekmeklerin TPA-esneklik değerleri üzerine etkisinin önemini gösteren grafik Şekil 4.25'te verilmiştir.

Şekil 4.25 üzerinde bir değerlendirme yapıldığında; pişirme sıcaklığı 100°C civarında iken hamur su içeriğinin FSİ değerinin %80'i ile %100'ü arasında değişmesinin ekmeklerin TPA-esneklik değerlerini genel olarak etkilemediği; ancak pişirme sıcaklığı yaklaşık 120°C'nin üzerine çıktığında tüm su içeriklerinde TPA-esneklik değerlerinin artış eğilimine geçtiği ve bu değerin 150°C'nin üzerindeki sıcaklık değerleri ile FSİ değerinin yaklaşık %85-90'ının üzerindeki su içeriği değerlerinde maksimuma ulaştığı görülmektedir.

Esneklik ürünün nem içeriğinden, üründe nemin yeniden düzenlenmesinden ve nişastanın retrogradasyonundan fazlaca etkilenen bir parametre olduğu için (Eriksson vd. 2014) üründe jelatinize olan nişastanın da esnekliği önemli ölçüde etkilediği, bu nedenle de su içeriği ve pişirme sıcaklığında meydana gelen artışın jelatinize olan nişasta miktarını ve dolayısıyla ekmeklerin esneklik değerini arttırmış olabileceği değerlendirilmiştir.



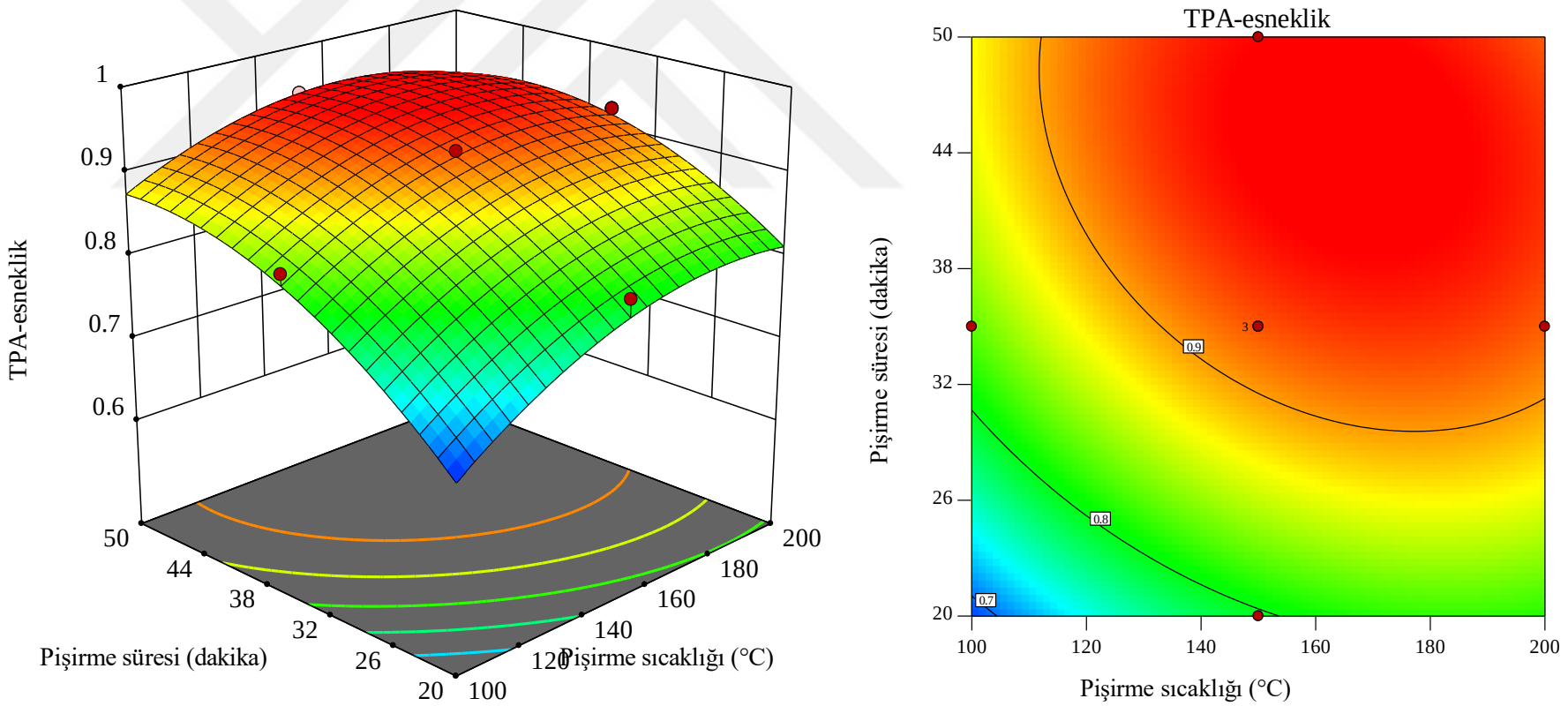
Şekil 4.25. Ekmeklerin TPA-esneklik değerleri üzerine su içeriği-pişirme sıcaklığı interaksiyonunun etkisi

4.6.5.5. Pişirme sıcaklığı-pişirme süresi interaksiyonunun ekmeklerin TPA-esneklik değerleri üzerine etkisi

Buharla ekmek pişirme fırınında üretilen ekmeklerin TPA-esneklik değerleri üzerine pişirme sıcaklığı-pişirme süresi interaksiyonunun istatistiksel olarak önemli ($p<0.05$) bir etkisinin bulunduğu belirlenmiştir. Ekmek üretiminde su içeriğinin FSİ değerinin %90'ında sabit tutulması ile elde edilen ve pişirme sıcaklığı-pişirme süresi interaksiyonunun ekmeklerin TPA-esneklik değerleri üzerine etkisinin önemini gösteren grafik Şekil 4.26'da verilmiştir.

Şekil 4.26'ya göre; pişirme sıcaklığı 100°C, pişirme süresi ise 20 dk civarında iken ekmeklerin TPA-esneklik değerlerinin minimum düzeyde olduğu; pişirme sıcaklığı ve süresi bu değerlerin üzerine çıktığında ise TPA-esneklik değerlerinin artışa geçerek düşük sıcaklıklarda uzun sürede, yüksek sıcaklıklarda ise daha kısa sürede maksimuma ulaştığı tespit edilmiştir. Buharla ekmek pişirme fırınında makul düzeyde TPA-esneklik değerine sahip ekmekler üretebilmek için, üretimdeki diğer bağımsız değişkenlerin etkilerine ve yanıt değişkenlerinden alınan cevaba göre değişmekle birlikte; pişirme işleminin, pişirme sıcaklığı ve süresi için orta noktalar olan 150°C ve 35 dk civarında gerçekleştirilmesinin uygun olacağı değerlendirilmiştir.

Araştırmada elde edilen bulgulara benzer şekilde, kızgın buhar ile ekmek üretiminin optimize edildiği bir çalışmada da pişirme sıcaklığının 180°C'den 220°C'ye ve pişirme süresinin ise 20 dakikadan 30 dakikaya yükseltilmesiyle ekmeklerin esneklik değerlerinde artış meydana geldiği tespit edilmiştir (Osman vd. 2017).



Şekil 4.26. Ekmeklerin TPA-esneklik değerleri üzerine pişirme sıcaklığı-pişirme süresi interaksiyonunun etkisi

4.6.6. Kabuk rengi *L** değeri için uygun modelin seçimi

Çizelge 4.22'de verilen kabuk rengi *L** değeri için istatistiksel parametrelerin en iyi ifade edildiği model olan kuadratik modelin deneme şartlarında istatistiksel olarak önemli (p<0.01) ve %85 (R^2=0.85) güven seviyesi ile en uygun model olduğu tespit edilmiştir. Uygun olarak seçilen modele göre önemli bulunan bağımsız değişkenlerin ekmeklerin kabuk rengi *L** değeri üzerine etkisini gösteren varyans analizi verileri Çizelge 4.32'de, kuadratik modelin çoklu regresyon istatistik değerleri ise Çizelge 4.33'te verilmiştir.

Çizelge 4.32. Önemli bulunan bağımsız değişkenlerin ekmeklerin kabuk rengi *L** değerleri üzerine etkisini gösteren varyans analizi verileri

Varyasyon kaynağı	HKT	SD	KO	F	*p*
Model (Kuadratik)	97.60	5	19.52	12.06	0.0004**
A (Su içeriği)	47.28	1	47.28	29.21	0.0002**
B (Pişirme sıcaklığı)	1.22	1	1.22	0.7514	0.4046
C (Pişirme süresi)	24.68	1	24.68	15.24	0.0025**
BC	11.62	1	11.62	7.18	0.0215*
B^2	12.81	1	12.81	7.91	0.0169*
Artık hata	17.81	11	1.62		
Uyum eksikliği	17.07	9	1.90	5.18	0.1722
Saf hata	0.73	2	0.37		
Toplam	115.41	16			

HKT: Hata kareler toplamı, SD: Serbestlik derecesi, KO: Kareler ortalaması, *: 0.01<p<0.05, **: p<0.01

Varyans analizi sonuçlarına göre; su içeriği ve pişirme süresinin (p<0.01), pişirme sıcaklığı karesinin ve pişirme sıcaklığı-pişirme süresi interaksiyonunun (p<0.05) ekmeklerin kabuk rengi *L** değerleri üzerinde istatistiksel açıdan önemli bir etkiye sahip olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 4.33. Kuadratik modelin çoklu regresyon istatistik değerleri

Parametre	Değer
R^2	0.8457
R^2_{dzl}	0.7756
Pred-R^2	0.5534
%CV	1.83
PRESS	51.54
Yeterli hassasiyet	13.0988

R^2: Regresyon katsayısı, R^2_{dzl}: Düzeltilmiş regresyon katsayısı, Pred-R^2: Tahmini belirleme regresyon katsayısı, CV: Varyasyon katsayısı, PRESS: Tahmin edilen hataların karelerinin toplamı

Önemli bulunan değişkenlerin Çizelge 4.32'de ve 4.33'te verilen varyans analizi verileri ve çoklu regresyon istatistik değerleri birlikte değerlendirildiğinde; kullanılan deneme deseninde bağımsız değişkenlerin ekmeklerin kabuk rengi *L** değerleri üzerine etkisini gösteren en uygun modelin kuadratik model (R^2= 0.85) olduğu belirlenmiştir. Düzeltilmiş (R^2_{dzl}) ve tahmini belirleme (Pred-R^2) regresyon katsayıları arasındaki farkın nispeten yüksek olması bu değerlerin birbiri ile uyumunun zayıf olduğunu belirtmesine rağmen yeterli hassasiyet değerinin 13.10 olarak tespit edilmesi ve bu değerin sınır değer olan 4 değerinden büyük olması, modelin sinyal gücünün iyi olduğunu ve gürültüden etkilenmediğini ifade etmektedir.

Gerçekleştirilen optimizasyon çalışmasıyla elde edilen kabuk rengi *L** değerlerine ait veriler kullanılarak belirlenen ve önemsiz bulunan değişkenler ihmal edildikten sonra önemli bulunan bağımsız değişkenlere göre oluşturulan kuadratik modelin genel regresyon eşitliği, Eşitlik 4.4'te verilmiştir.

$$\text{Kabuk rengi } L^* \text{ değeri} = 70.64 - 0.22A + 0.26B + 0.14C - 1.61x10^{-3}BC - 7.05x10^{-4}B^2 \qquad (4.4)$$

A : Su içeriği (%)

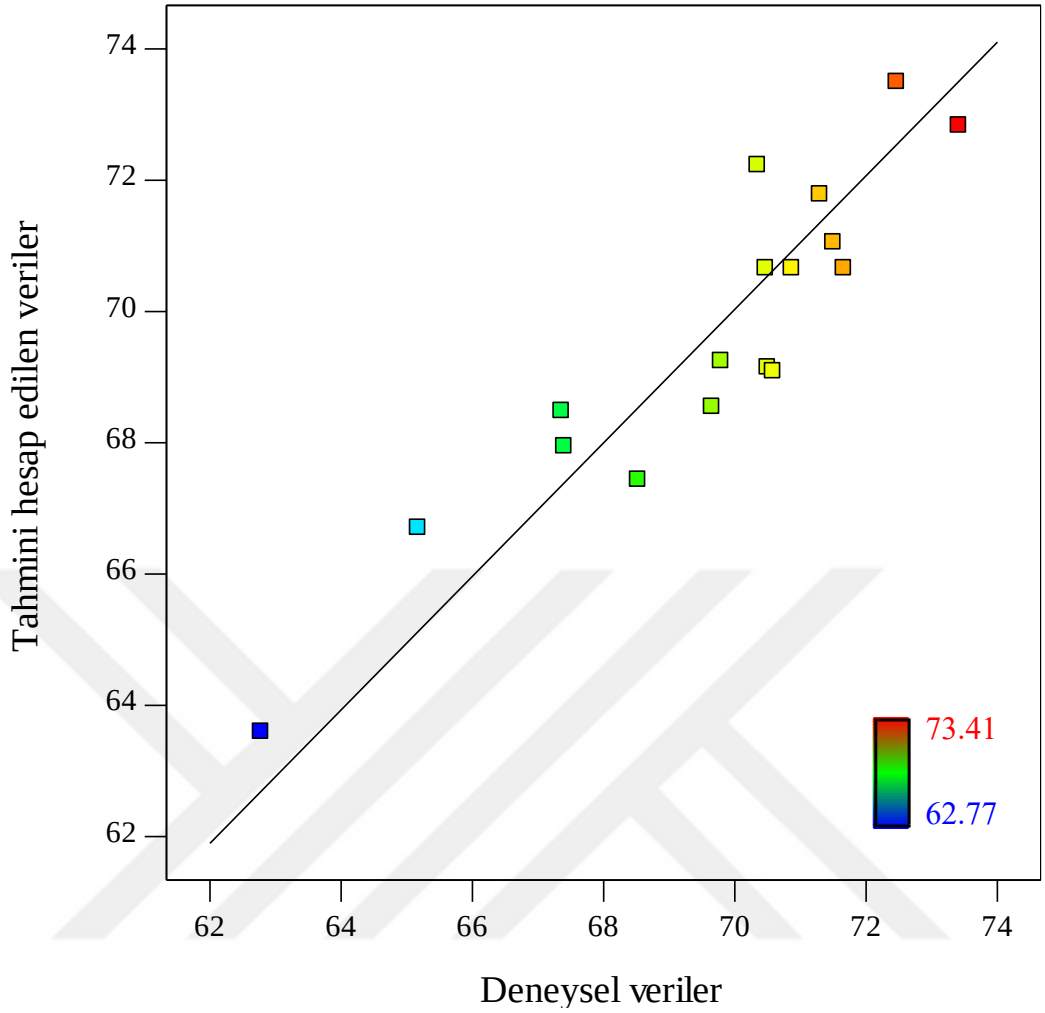
B : Pişirme sıcaklığı (°C)

C : Pişirme süresi (dk)

Deneysel olarak elde edilen kabuk rengi *L** değerlerine ait veriler ile kuadratik modelin kullanılmasıyla tahmini hesap edilen (Eşitlik 4.3) kabuk rengi *L** değerlerine ait veriler Çizelge 4.34'te ve deneysel veriler ile tahmini hesap edilen veriler arasındaki uyum grafiği ise Şekil 4.27'de verilmiştir. Çizelge 4.34 ve Şekil 4.27 birlikte incelendiğinde; tüm kabuk rengi *L** değerleri için deneysel ve tahmini hesap edilen verilerin birbirine oldukça yakın olduğu belirlenmiş, bu nedenle de model ve model denkleminin deneme koşullarında ekmeklerin kabuk rengi *L** değerlerinin tahmini için sistem dışı hatalardan etkilenmediği ve oldukça başarılı olduğu değerlendirilmiştir.

Çizelge 4.34. Ekmeklerin kabuk rengi *L** değerlerine ait deneysel ve tahmini hesap edilen veriler

Deneme no	Kabuk rengi *L** değeri		Fark
	Deneysel	Tahmini	
1	70.50	69.16	1.34
2	70.58	69.10	1.48
3	73.41	72.84	0.57
4	62.77	63.60	-0.83
5	67.39	67.95	-0.56
6	65.17	66.71	-1.55
7	69.79	69.25	0.53
8	67.35	68.49	-1.14
9	71.29	71.79	-0.50
10	68.52	67.44	1.08
11	69.65	68.55	1.09
12	70.86	70.67	0.20
13	71.50	71.06	0.43
14	70.34	72.24	-1.89
15	72.46	73.50	-1.04
16	71.66	70.67	0.99
17	70.47	70.67	-0.20

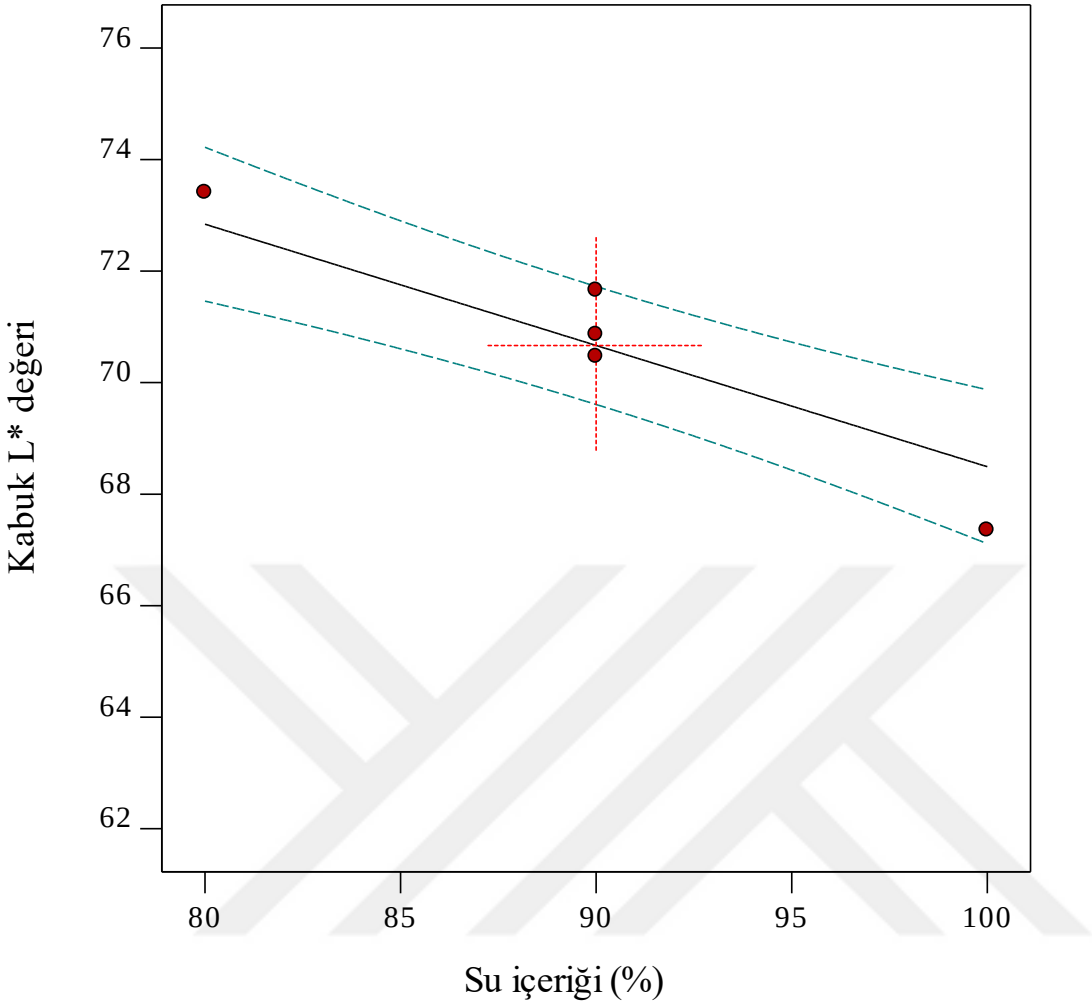


Şekil 4.27. Ekmeklerin kabuk rengi *L** değerleri için deneysel ve tahmini hesap edilen verilerin uyum grafiği

4.6.6.1. Su içeriği bağımsız değişkeninin ekmeklerin kabuk rengi *L** değerleri üzerine etkisi

Buharla ekmek pişirme fırınında üretilen ekmeklerin kabuk rengi *L** değerleri üzerine su içeriğinin istatistiksel açıdan önemli (p<0.01) bir etkisinin olduğu belirlenmiştir. Ekmek üretiminde sıcaklığın 150°C'de ve pişirme süresinin ise 35 dk'da sabit tutulması ile elde edilen ve hamur su içeriğinin ekmeklerin kabuk rengi *L** değerleri üzerine etkisinin önemini gösteren grafik Şekil 4.28'de verilmiştir.

Şekil 4.28 incelendiğinde; ekmek üretiminin hamur yapımı aşamasında un içerisine eklenen su miktarının FSİ değerinin %80'inden %100'üne yükseltilmesi ile ekmeklerin kabuk rengi *L** değerlerinin düştüğü, dolayısıyla ekmek renginin koyulaştığı belirlenmiştir. Ortalama kabuk rengi *L** değeri; FSİ değerinin %80'i kadar su kullanılarak üretilen ekmeklerde 71.21, %90'ı kadar su kullanılarak üretilen ekmeklerde 70.48 ve %100'ü kadar su kullanılarak üretilen ekmeklerde ise 66.86 olarak tespit edilmiştir.



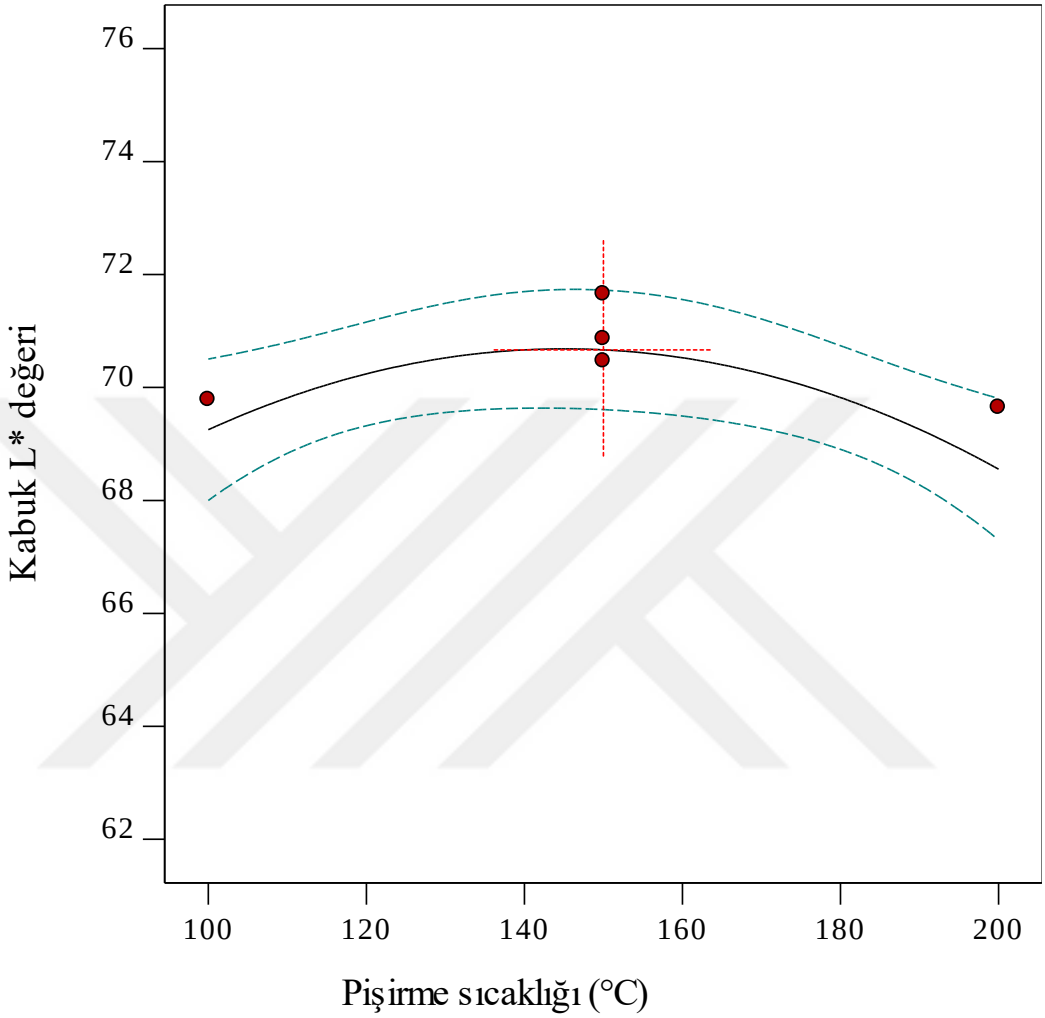
Şekil 4.28. Ekmeklerin kabuk rengi *L** değerleri üzerine su içeriğinin etkisi

Ekmek kabuğunda renk analizi için en yaygın kullanılan renk parametresi CIELab koordinatlarına göre kabuğun parlaklığı hakkında bilgi veren *L** değeridir (Castro vd. 2017). Yüksek su içeriği değerlerinde seyrelme nedeniyle reaktiflerin birbiri ile karşılaşma ihtimali, düşük su içeriği değerlerinde ise reaktiflerin hareketliliği azaldığı için Maillard reaksiyonunun hızı da azalmakta (Erbaş vd. 2016), buna bağlı olarak gıdaların rengi daha açık olmaktadır. Araştırma kapsamında; ekşi hamur ekmeklerinin üretimi için hamura ilave edilen su miktarının, farinografla belirlenen su içeriği değerinden daha düşük tutulmasıyla Maillard reaksiyonunda görev alan reaktiflerin hareketlerinin kısıtlandığı, bu nedenle Maillard reaksiyonun düşük su içeriği değerlerinde hazırlanan hamurlardan üretilen ekmeklerde daha yavaş ve az gerçekleştiği ve buna bağlı olarak da hamura ilave edilen su içeriği azaldıkça ekmeklerin daha açık bir kabuk rengine sahip olduğu değerlendirilmiştir.

4.6.6.2. Pişirme sıcaklığı bağımsız değişkeninin ekmeklerin kabuk rengi *L** değerleri üzerine etkisi

Buharla ekmek pişirme fırınında üretilen ekmeklerin kabuk rengi *L** değerleri üzerine pişirme sıcaklığı karesinin istatistiksel olarak önemli (p<0.05) bir etkisinin

bulunduğu tespit edilmiştir. Ekmek üretiminde su içeriğinin FSİ değerinin %90'ında, pişirme süresinin ise 35 dk'da sabit tutulması ile elde edilen ve pişirme sıcaklığının ekmeklerin kabuk rengi *L** değerleri üzerine etkisinin önemini gösteren grafik Şekil 4.29'da verilmiştir.



Şekil 4.29. Ekmeklerin kabuk rengi *L** değerleri üzerine pişirme sıcaklığı karesinin etkisi

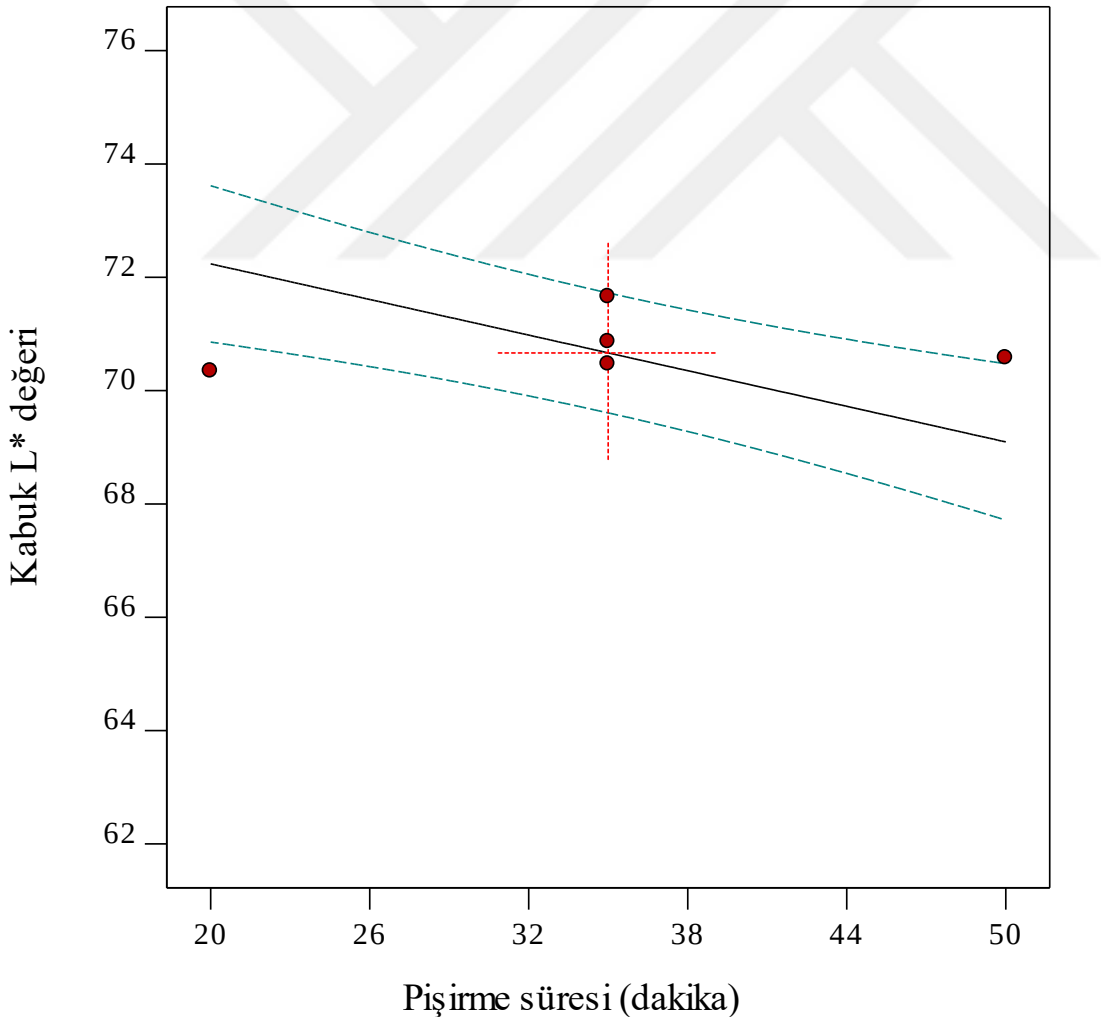
Şekil 4.29'dan da görülebildiği üzere; ekmeklerin kabuk rengi *L** değerleri pişirme sıcaklığı için orta nokta olan 150°C civarına kadar yükselmiş, yaklaşık bu noktada maksimum değerine ulaştıktan sonra düşmeye başlamıştır. Kabuk rengi *L** değerleri 100, 150 ve 200°C'de sırasıyla ortalama 69.25, 70.67 ve 68.55 olarak belirlenmiştir. Bu durum; düşük pişirme sıcaklıklarında ekmek hacminin tam olarak gelişememesine bağlı olarak ekmeklerin yüzeyinde oluşan ve ışığın yansımasına engel olan engebeli bölgelerin, düşük sıcaklık nedeniyle pürüzsüz bir hale gelememesi ile ilişkilendirilmiştir. Purlis (2010)'e göre pürüzsüz ve düzgün bir yüzey, pürüzlü ve düzensiz bir yüzeyden daha fazla miktarda ışık yansıttığı için ekmek hamurunda yüzeyin bir miktar düzensiz ve pürüzlü olması rengin daha koyu algılanmasına sabep olabilmekte, pişirme sırasında ise hacim artışı ile birlikte bu pürüzlü yüzeyin yerini daha düzgün ve pürüzsüz bir yüzey aldığı için ekmek kabuğu daha parlak görünebilmektedir. Pişirme

sıcaklığı arttığında ise meydana gelen Maillard reaksiyonu ve karamelizasyon tepkimeleri nedeniyle ekmek kabuğunun *L** değeri düşmekte ve kabuk rengi koyulaşmaktadır.

Farklı sıcaklıklardaki sonuçların ortalamaları ve Şekil 4.29 birlikte incelendiğinde; üretimdeki diğer bağımsız değişkenlerin etkilerine ve yanıt değişkenlerinden alınan cevaplara göre değişmekle birlikte, pişirme sıcaklığının yaklaşık 150°C civarında olmasının ekmeklerin kabuk rengi *L** değerlerinin maksimize edilmesi için önemli olduğu değerlendirilmiştir.

4.6.6.3. Pişirme süresi bağımsız değişkeninin ekmeklerin kabuk rengi *L** değerleri üzerine etkisi

Buharla ekmek pişirme fırınında üretilen ekmeklerin kabuk rengi *L** değerleri üzerine pişirme süresinin istatistiksel açıdan önemli ($p<0.01$) bir etkisinin olduğu belirlenmiştir. Ekmek üretiminde su içeriğinin FSİ değerinin %90'ında, pişirme sıcaklığının ise 150°C'de sabit tutulması ile elde edilen ve pişirme süresinin ekmeklerin kabuk rengi *L** değerleri üzerine etkisinin önemini gösteren grafik Şekil 4.30'da verilmiştir.



Şekil 4.30. Ekmeklerin kabuk rengi *L** değerleri üzerine pişirme süresinin etkisi

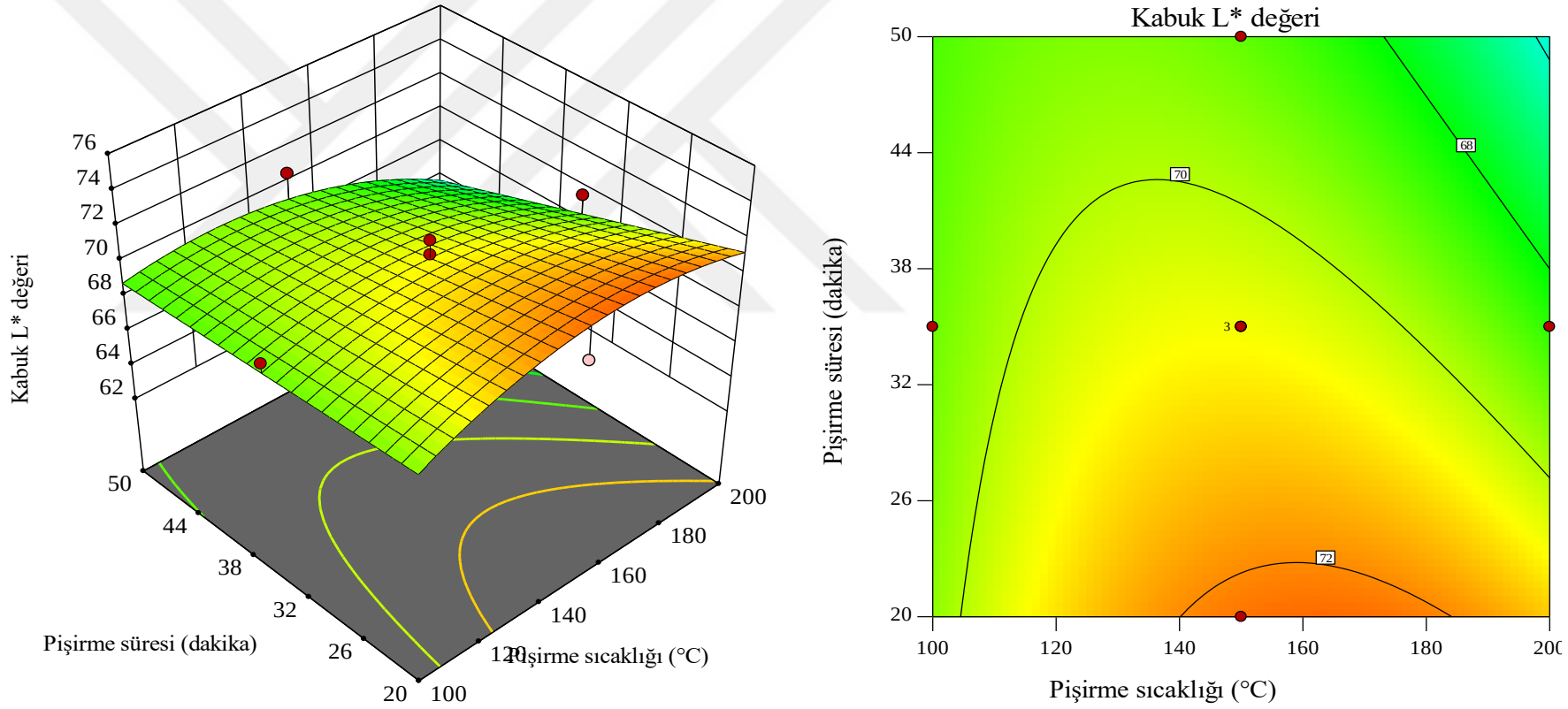
Şekil 4.30'a göre; pişirme süresi arttıkça ekmeklerin kabuk rengi *L** değerleri düşmekte, renkleri koyulaşmaktadır. Ortalama kabuk rengi *L** değerleri; pişirme süresi 20 dk olan ekmeklerde 70.62, pişirme süresi 35 dk olan ekmeklerde 70.45 ve pişirme süresi 50 dk olan ekmeklerde ise 67.48 olarak tespit edilmiştir. Genel olarak pişirme süresinin kısa olması ekmek renginin daha beyaz olmasını sağladığı için pişirme süresi olarak ekmek içindeki nişastanın tamamen jelatinize olmasını sağlayan minimum sürenin tercih edilmesinin daha uygun olacağı değerlendirilmiştir. Benzer şekilde, kızarmış ekmek hazırlamak için dilimlenmiş ekmeklern farklı sürelerde ısıl işleme tabi tutulduğu bir çalışmada uygulanan ısıl işlem süresinin artmasıyla ekmeklerin *L** renk değerlerinin düştüğü bildirilmiştir (Ramirez-Jimenez vd. 2001).

4.6.6.4. Pişirme sıcaklığı-pişirme süresi interaksiyonunun ekmeklerin kabuk rengi *L** değerleri üzerine etkisi

Buharla ekmek pişirme fırınında üretilen ekmeklerin kabuk rengi *L** değerleri üzerine pişirme sıcaklığı-pişirme süresi interaksiyonunun istatistiksel olarak önemli ($p<0.05$) bir etkisinin bulunduğu belirlenmiştir. Ekmek üretiminde su içeriğinin FSİ değerinin %90'ında sabit tutulması ile elde edilen ve pişirme sıcaklığı-pişirme süresi interaksiyonunun ekmeklerin kabuk rengi *L** değerleri üzerine etkisinin önemini gösteren grafik Şekil 4.31'de verilmiştir.

Şekil 4.31 incelendiğinde; pişirme sıcaklığının yaklaşık 140-180°C arasında, pişirme süresinin ise 30 dk'nın altında tutulmasıyla ekmeklerin kabuk rengi *L** değerlerinin oldukça yükseldiği belirlenmiş, bu koşullarda daha beyaz renkli ekmeklerin elde edilebileceği değerlendirilmiştir.

Ekmek hamurunun yeterli bir sıcaklık düzeyinde pişirilmesi sırasında meydana gelen hacim artışı ile birlikte hamur yüzeyi pürüzsüz bir hal almakta ve bu nedenle ekmek kabuğu daha parlak görünmektedir. Ancak pişirme sıcaklığı yüksek, pişirme süresi uzun olduğunda ekmek kabuğunda su aktivitesinin hızlı bir şekilde düşmesiyle bu bölgede sıcaklık yükselmekte ve meydana gelen Maillard reaksiyonu ve karamelizasyon tepkimelerine bağlı olarak koyu renkli bileşiklerin oluşumu gerçekleşmektedir. Bu nedenle ekmek kabuğunda *L** değeri düşmekte, kabuk rengi koyulaşmaktadır (Purlis 2010). Içöz vd. (2004), Shittu vd. (2007), Jusoh vd. (2009) ve Osman vd. (2017) tarafından yapılan çalışmalarda da ekmek pişirme sıcaklığı ve süresinin artmasıyla *L** değerlerinin düştüğü ve kabuk renklerinin koyulaştığı tespit edilmiştir. Pişirme sıcaklığının 160, 165 ve 170°C, pişirme süresinin ise 16, 18 ve 20 dk olarak uygulandığı bir çalışmada, *L** değerlerinin 60.50-67.40 arasında değiştiği ve *L** değerinin pişirme süresi 16 dk iken yaklaşık 164-168°C arasında, pişirme süresi 18 dk iken yaklaşık 160-167°C arasında ve pişirme süresi 20 dk iken ise yaklaşık 160-166°C arasında maksimuma ulaştığı bildirilmiş, en yüksek *L** değerine yaklaşık 160-164°C arasında 20 dk pişirme süresinde ulaşılmıştır (Castro vd. 2017).



Şekil 4.31. Ekmeklerin kabuk rengi *L** değerleri üzerine pişirme sıcaklığı-pişirme süresi interaksiyonunun etkisi

4.6.7. Optimum ekmek üretim koşullarının belirlenmesi

Buharla ekmek pişirme fırınında ekmek üretimi için bağımsız değişkenler olarak kullanılan hamur su içeriği, pişirme sıcaklığı ve pişirme süresinin üretilen ekmeklerin kabuk HMF içerikleri, TPA-sertlik, TPA-esneklik ve kabuk rengi *L** değerleri üzerine etkileri ile birlikte en yüksek istenebilirlik değeri istatistiksel olarak değerlendirildiğinde elde edilen optimum ekmek üretim koşulları Çizelge 4.35'te verilmiştir.

Çizelge 4.35. Optimum ekmek üretim koşulları ve bu koşullarda ulaşılması beklenen kabuk HMF içeriği, TPA-sertlik, TPA-esneklik ve kabuk rengi *L** değerleri

Değişken türü		**Koşullar**		
		Minimum	**Maksimum**	**Optimum**
Bağımsız değişkenler	Su içeriği (%)	80.00	100.00	86.01
	Pişirme sıcaklığı (°C)	100.00	200.00	151.33
	Pişirme süresi (dk)	20.00	50.00	28.78
Yanıt değişkenleri	Kabuk HMF içeriği (mg/kg)	1.51	8.20	1.61
	Kabuk rengi *L** değeri	62.77	73.41	72.19
	TPA-sertlik değeri (g)	2215.03	6249.80	3060.23
	TPA-esneklik değeri	0.67	0.94	0.87
İstenebilirlik (%)		-	-	**0.85**

Buharla ekmek pişirme fırınında optimum koşullar olan; unun FSİ değerinin %86.01'i oranında su içeriği, 151.33°C pişirme sıcaklığı ve 28.78 dk pişirme süresi kullanılarak 2 kez ekmek üretimi gerçekleştirilmiş, bu ekmekler elektrikli konveksiyonel fırında ve geleneksel taş fırında pişirilen kontrol ekmekleriyle kıyaslanmıştır. Optimum koşullarda gerçekleştirilen ekmek üretimlerinden optimum şartlarda hesap edilen ve deneysel olarak elde edilen yanıt değerlerine ait veriler Çizelge 4.36'da verilmiştir.

Optimum koşullarda gerçekleştirilen ekmek üretimlerinden elde edilen ekmeklerde ortalama kabuk HMF içeriği 1.00 mg/kg, TPA-sertlik değeri 3539.50 g, TPA-esneklik değeri 0.73 ve kabuk rengi *L** değeri 66.27 olarak tespit edilmiştir. Üretilen ekmeklerin 1.00 mg/kg olarak tespit edilen kabuk HMF içeriğinin, optimum şartlarda hesap edilen 1.61 mg/kg değerinden %37.89 oranında, TPA esneklik değerinin optimum şartlarda hesap edilen 0.87 değerinden %16.09 oranında ve kabuk rengi *L** değerinin optimum şartlarda hesap edilen 72.19 değerinden %8.21 oranında daha düşük; TPA-sertlik değerinin ise optimum şartlarda hesap edilen 3060.23 g değerinden %15.66 oranında daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 4.36. Optimum şartlarda buharla ekmek pişirme fırınında üretilen ekşi hamur ekmekleri için hesap edilen ve deneysel olarak elde edilen yanıt değerlerine ait veriler

Değişken türü		Optimum koşullar	Deneysel veriler
Bağımsız değişkenler	Su içeriği (%)	86.01	86.01
	Pişirme sıcaklığı (°C)	151.33	151.00
	Pişirme süresi (dk)	28.78	28.80
Yanıt değişkenleri	Kabuk HMF içeriği (mg/kg)	1.61	1.00
	TPA-sertlik değeri (g)	3060.23	3539.50
	TPA-esneklik değeri	0.87	0.73
	Kabuk rengi *L** değeri	72.19	66.27

4.7. Buharla Ekmek Pişirme Fırınında Optimum Koşullar Kullanılarak Üretilen Ekşi Hamur Ekmeklerinin Kontrol Ekmekleri ile Kıyaslanması

4.7.1. Farklı pişirme tekniklerinin ekşi hamur ekmeklerinin bazı fiziksel, kimyasal ve enzimatik özellikleri üzerine etkilerinin incelenmesi

4.7.1.1. Farklı pişirme tekniklerinin ekşi hamur ekmeklerinin ağırlık kaybı, spesifik hacim, kabuk/iç oranı ve kabuk kalınlığı değerleri üzerine etkisi

Farklı pişirme teknikleri kullanılarak üretilen ekşi hamur ekmeklerinin ağırlık kaybı, spesifik hacim, kabuk/iç oranı ve kabuk kalınlığı değerlerindeki değişime ait I. ve II. tekerrür verileri Çizelge 4.37'de, bu verilere ait varyans analizi sonuçları Çizelge 4.38'de ve varyasyon kaynaklarının ortalamalarına ait Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları Çizelge 4.39'da verilmiştir.

Çizelge 4.37. Farklı pişirme teknikleri kullanılarak üretilen ekşi hamur ekmeklerinin ağırlık kaybı, spesifik hacim, kabuk/iç oranı ve kabuk kalınlığı değerlerindeki değişime ait I. ve II. tekerrür verileri

Pişirme tekniği	Ağırlık kaybı (%)	Spesifik hacim (cm^3/g)	Kabuk/İç oranı	Kabuk kalınlığı (mm)
EKF	11.50	1.95	0.19	1.37
	11.08	2.07	0.19	1.37
GTF	12.42	1.91	0.20	1.26
	10.50	2.12	0.20	1.26
BF	3.50	1.97	0.13	0.57
	3.33	2.02	0.12	0.58

Çizelge 4.38. Farklı pişirme teknikleri kullanılarak üretilen ekşi hamur ekmeklerinin ağırlık kaybı, spesifik hacim, kabuk/iç oranı ve kabuk kalınlığı değerlerindeki değişime ait varyans analizi sonuçları

VK	SD	Ağırlık kaybı		Spesifik hacim		Kabuk/İç oranı		Kabuk kalınlığı	
		KO	F	KO	F	KO	F	KO	F
PT	2	42.26	65.15**	0.00	0.02	0.00	199.00**	0.37	22267.00**
Hata	3	0.65		0.01		0.00		0.00	

VK: Varyasyon kaynağı, SD: Serbestlik derecesi, KO: Kareler ortalaması, PT: Pişirme tekniği, ** $p<0.01$, * $0.01<p<0.05$, - $p>0.05$

Çizelge 4.39. Farklı pişirme teknikleri kullanılarak üretilen ekşi hamur ekmeklerinin ağırlık kaybı, spesifik hacim, kabuk/iç oranı ve kabuk kalınlığı değerlerindeki değişime ait Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları (± standart hata)

Pişirme tekniği	N	Ağırlık kaybı (%)	Spesifik hacim (cm^3/g)	Kabuk/İç oranı	Kabuk kalınlığı (mm)
EKF	2	$11.29^{a} \pm 0.21$	$2.01^{a} \pm 0.06$	$0.19^{a} \pm 0.00$	$1.37^{a} \pm 0.00$
GTF	2	$11.46^{a} \pm 0.96$	$2.02^{a} \pm 0.11$	$0.20^{a} \pm 0.00$	$1.26^{b} \pm 0.00$
BF	2	$3.42^{b} \pm 0.09$	$2.00^{a} \pm 0.03$	$0.13^{b} \pm 0.01$	$0.58^{c} \pm 0.01$
Önem seviyesi		**	-	**	**

Varyans analizi sonuçlarına göre; kullanılan pişirme tekniğinin, üretilen ekşi hamur ekmeklerinin ağırlık kaybı, kabuk/iç oranı ve kabuk kalınlığı değerleri üzerine istatistiksel olarak önemli ($p<0.01$) bir etkisinin olduğu, spesifik hacim değerleri üzerine ise etkisinin istatistiksel olarak önemsiz ($p>0.05$) olduğu tespit edilmiştir.

Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre; BF kullanılarak pişirilen ekmeklerde beklendiği üzere sırasıyla ortalama %3.42 ve 0.13 olarak düşük düzeyde belirlenen ağırlık kaybı ve kabuk/iç oranı değerleri EKF ve GTF kullanılarak pişirilen ekmeklerde sırasıyla ortalama %11.38 ve 0.20 olarak daha yüksek düzeyde belirlenmiştir. Üretilen ekmeklerde en düşük kabuk kalınlığı değeri ortalama 0.58 mm ile yine BF ekmeklerinde, en yüksek kabuk kalınlığı değeri ise ortalama 1.37 mm ile EKF ekmeklerinde tespit edilmiştir. BF ekmeklerinin pişirilmesi sırasında nemli sıcaklık uygulandığı için ekmeklerin yüzeyinde kuruma gerçekleşmediği, buna bağlı olarak da bu ekmeklerde kabuk oluşumunun yalnızca yüzeyde jelatinize olan tabaka ile sınırlı kalarak ekmek içinden kolayca ayrılan ince bir zar şeklinde olduğu belirlenmiştir. EKF ve GTF ekmeklerinde ise uygulanan kuru sıcaklık sonucunda daha çok ekmeğin dış kısmında meydana gelen nem kaybı nedeniyle ağırlık kaybının yüksek olduğu, ayrıca bu kısmi kuruma nedeniyle kabuk/iç oranı ve kabuk kalınlığı değerlerinin de daha yüksek tespit edildiği değerlendirilmiştir. Ortalama 200°C sıcaklıkta 15 dakika pişirilen ekmekler ile 100°C buharda pişirilen ekmeklerin karşılaştırıldığı bir çalışmada; araştırmadan elde edilen sonuçlara benzer şekilde 200°C'de pişirilen ekmekler için pişme kaybının yaklaşık

%11.1 ile %14.1 arasında, buharda pişirilmiş ekmekler için ise bu kaybın %0.05 ile %3.34 arasında değiştiği tespit edilmiştir (Xu vd. 2020).

Ekmeklerin spesifik hacim değerleri pişirme tekniğine göre değişiklik göstermemiş ve ortalama 2.01 cm^3/g olarak belirlenmiştir. Yapılan bir çalışmada yerel fırınlardan temin edilen yabani ekşi hamurların %20 ve %30 oranında kullanılmasıyla hazırlanan hamurların 230°C'de pişirilmesiyle elde edilen ekşi hamur ekmeklerinin spesifik hacim değerleri 2.5 cm^3/g olarak tespit edilmiştir (Mantzourani vd. 2019). Buharda pişirilmiş ekşi hamur ekmeği üretiminde genel amaçlı un ve tam buğday ununun kıyaslandığı bir çalışmada ekmeklerin spesifik hacim değerleri genel amaçlı un kullanılarak üretilen ekmeklerde ortalama 2.71, tam buğday unu kullanılarak üretilen ekmeklerde ise ortalama 2.11 olarak belirlenmiştir (Kim vd. 2009). Li vd. (2022) ise yalnızca maya, maya-laktik asit bakterisi, maya-asetik asit bakterisi ve maya-laktik asit bakterisi-asetik asit bakterisi ile hazırladıkları ekşi hamurları kullanarak buharda pişirilmiş ekşi hamur ekmeği üretmiş ve bu ekmeklerin spesifik hacim değerlerini sırasıyla 1.65, 1.70, 1.75 ve 1.82 olarak tespit etmişlerdir.

4.7.1.2. Farklı pişirme tekniklerinin ekşi hamur ekmeklerinin iç ve kabuk rengi değerleri üzerine etkisi

Farklı pişirme teknikleri kullanılarak üretilen ekşi hamur ekmeklerinin iç ve kabuk rengi değerlerindeki değişime ait I. ve II. tekerrür verileri Çizelge 4.40'ta, bu verilere ait varyans analizi sonuçları Çizelge 4.41'de ve varyasyon kaynaklarının ortalamalarına ait Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları Çizelge 4.42'de verilmiştir.

Çizelge 4.40. Farklı pişirme teknikleri kullanılarak üretilen ekşi hamur ekmeklerinin iç ve kabuk rengi değerlerindeki değişime ait I. ve II. tekerrür verileri

Pişirme tekniği	Renk değerleri					
	İç rengi			Kabuk rengi		
	L*	***a****	***b****	***L****	***a****	***b****
EKF	64.10	1.98	16.81	47.05	16.87	28.53
	64.91	1.83	16.86	47.37	17.47	29.26
GTF	63.24	2.04	16.77	51.20	17.43	30.96
	64.30	1.95	16.86	50.20	17.36	32.43
BF	69.28	1.74	18.58	66.20	3.81	23.47
	69.79	1.66	18.45	66.33	3.51	23.52

Varyans analizi sonuçlarına göre; kullanılan pişirme tekniğinin, üretilen ekşi hamur ekmeklerinin iç ve kabuk rengi *L**, *a** ve *b** değerleri üzerine istatistiksel olarak önemli ($p<0.05$; $p<0.01$) bir etkisinin olduğu tespit edilmiştir.

Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre; BF kullanılarak üretilen ekmeklerin beyazlığı hakkında bilgi veren *L** değerleri içte ve kabukta sırasıyla ortalama 69.54 ve 66.27 ile EKF ve GTF kullanılarak üretilen ekmeklerin *L** değerlerine göre daha yüksek olarak belirlenmiştir. Üretilen ekmeklerin kırmızılığı hakkında bilgi veren *a**

değerlerinin BF kullanılarak üretilen ekmeklerin içinde ve kabuğunda EKF ve GTF ekmeklerine kıyasla daha düşük ve sırasıyla ortalama 1.70 ve 3.66 olduğu, *b** değerlerinin ise EKF ve GTF ekmeklerine kıyasla BF ekmeklerinin içinde ortalama 18.52 ile daha yüksek, kabuğunda ise ortalama 23.50 ile daha düşük olduğu tespit edilmiştir.

Tüm renk değerleri açısından ekmeklerin iç ve kabuk renkleri için bir değerlendirme yapıldığında BF ile pişirilmiş ekmeklerin oldukça açık renkli, EKF ve GTF ile pişirilmiş ekmeklerin ise çok daha koyu renkli oldukları belirlenmiştir. Üretilen ekmeklerin kabuk renkleri ayrıca incelendiğinde; BF ekmeklerinin kremsi beyaz renkte, EKF ve GTF ekmeklerinin ise koyu kırmızı-kahverengi renkte bir kabuğa sahip olduğu tespit edilmiştir. Bu durum üzerinde; BF ile pişirilmiş ekmeklerde pişirme işlemi sırasında yüzeyde kurumanın gerçekleşmemesi ve buna bağlı olarak yüzeyde korunmuş suyun bu bölgedeki sıcaklığın 100°C'nin üzerinde algılanmasını engellemesi nedenleriyle, genellikle ürünleri koyu renkleriyle karakterize olan ve daha çok kuru yüksek sıcaklıkta meydana gelen Maillard ve karamelizasyon reaksiyonlarının ekmek kabuğunda oldukça sınırlı düzeyde gerçekleşmesinin etkili olduğu değerlendirilmiştir. EKF ve GTF ile pişirilen ekmeklerdeki koyu renkli kabuk oluşumu ise, pişirme işleminde kuru yüksek sıcaklığın kullanılması nedeniyle bu ekmeklerin yüzeyinde Maillard reaksiyonu ve karamelizasyon tepkimelerinin daha fazla gerçekleşmiş olabileceği şeklinde yorumlanmıştır. İtalya'da geleneksel fırınlardan toplanan ekşi hamurlarla yumuşak ve sert buğday unları kullanılarak üretilen ekmeklerin üretim günü yapılan kabuk rengi ölçümlerinde *L** değerleri sırasıyla 50.50 ve 37.80, *a** değerleri 15.80 ve 13.50 ve *b** değerleri ise 29.30 ve 17.10 olarak; ekmeklerin iç rengi ölçümlerinde ise *L** değerleri sırasıyla 72.70 ve 65.70, *b** değerleri ise 12.30 ve 13.50 olarak tespit edilmiştir (Rinaldi vd. 2015). Yakıt türü olarak odun kullanılan farklı taş fırınlarda pişirilen ekşi hamur ekmekleriyle yapılan bir çalışmada kabuk rengi *L**, *a** ve *b** renk değerleri fırınlara göre değişiklik göstermekle birlikte ortalama 50.47, 9.53 ve 13.33 olarak tespit edilmiştir (Bianchi vd. 2008). Maya, laktik asit bakterisi ve asetik asit bakterisinin farklı şekillerde kombine edilmesiyle oluşturulan ekşi hamurlarla %0.38 kül içeriğine sahip buğday unu kullanılarak üretilen buharda pişirilmiş ekşi hamur ekmeklerinin *L**, *a** ve *b** değerlerinin sırasıyla 86.78-88.40, 2.71-2.95 ve 14.02-14.70 arasında değiştiği tespit edilmiştir (Li vd. 2022). Literatürle oluşan farklılığın büyük ölçüde kullanılan undaki farklılıktan kaynaklandığı değerlendirilmiştir.

Çizelge 4.41. Farklı pişirme teknikleri kullanılarak üretilen ekşi hamur ekmeklerinin iç ve kabuk rengi değerlerindeki değişime ait varyans analizi sonuçları

VK	SD	Renk değerleri											
		İç rengi						Kabuk rengi					
		*L**		*a**		*b**		*L**		*a**		*b**	
		KO	F	KO	F	KO	F	KO	F	KO	F	KO	F
PT	2	19.69	57.92**	0.05	7.41*	1.90	415.48**	205.85	1103.44**	123.74	1632.10**	34.75	77.32**
Hata	3	0.34		0.01		0.00		0.19		0.08		0.45	

VK: Varyasyon kaynağı, SD: Serbestlik derecesi, KO: Kareler ortalaması, PT: Pişirme tekniği, ** $p<0.01$, * $0.01<p<0.05$, - $p>0.05$

Çizelge 4.42. Farklı pişirme teknikleri kullanılarak üretilen ekşi hamur ekmeklerinin iç ve kabuk rengi değerlerindeki değişime ait Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları (± standart hata)

Pişirme tekniği	N	Renk değerleri					
		İç rengi			Kabuk rengi		
		*L**	*a**	*b**	*L**	*a**	*b**
EKF	2	$64.51^{b} \pm 0.41$	$1.91^{ba} \pm 0.08$	$16.84^{b} \pm 0.03$	$47.21^{c} \pm 0.16$	$17.17^{a} \pm 0.30$	$28.90^{b} \pm 0.37$
GTF	2	$63.77^{b} \pm 0.53$	$2.00^{a} \pm 0.05$	$16.82^{b} \pm 0.05$	$50.70^{b} \pm 0.50$	$17.40^{a} \pm 0.04$	$31.70^{a} \pm 0.74$
BF	2	$69.54^{a} \pm 0.26$	$1.70^{b} \pm 0.04$	$18.52^{a} \pm 0.07$	$66.27^{a} \pm 0.07$	$3.66^{b} \pm 0.15$	$23.50^{c} \pm 0.03$
Önem seviyesi		**	*	**	**	**	**

4.7.1.3. Farklı pişirme tekniklerinin ekşi hamur ekmeklerinin gözenek görüntüleri üzerine etkisi

Farklı pişirme teknikleri kullanılarak üretilen ekşi hamur ekmeklerinin iç kesitine ait fotoğraflar Şekil 4.32'de verilmiştir. Bu fotoğraflar incelendiğinde; fırın sıçramasına bağlı olarak en çok gözeneğe sahip olan ve gözenek boyutu en büyük olan iç kesit görüntüsünün GTF ortamında üretilen ekmeklere ait olduğu, EKF ortamında üretilen ekmeklerin gözenek boyutlarının GTF ekmeklerinden biraz daha küçük olduğu ve gözenek sayısı en az ve gözenek boyutu da en küçük olan iç kesit fotoğrafının ise BF ortamında üretilen ekmeklere ait olduğu değerlendirilmiştir. BF ekmeklerinde gözenek sayısı ve miktarının daha az olması, ekmek üretimi için düşük su içeriğinde yoğurulan hamurun yapısının kontrol ekmeklerinin üretimi için üretilen hamura göre daha sıkı olmasıyla ilişkilendirilmiş ve bu sıkı yapılı hamurda oluşan gaz basıncının gözeneklerin belirgin hale gelmesi için yeterli olmadığı düşünülmüştür.



Şekil 4.32. Farklı pişirme teknikleri kullanılarak üretilen ekşi hamur ekmeklerinin iç kesitine ait fotoğraflar

4.7.1.4. Farklı pişirme tekniklerinin ekşi hamur ekmeklerinin TPA parametreleri üzerine etkisi

Farklı pişirme teknikleri kullanılarak üretilen ekşi hamur ekmeklerinin TPA parametrelerinin değerlerindeki değişime ait I. ve II. tekerrür verileri Çizelge 4.43'te, bu verilere ait varyans analizi sonuçları Çizelge 4.44'te ve varyasyon kaynaklarının ortalamalarına ait Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları Çizelge 4.45'te verilmiştir.

Çizelge 4.43. Farklı pişirme teknikleri kullanılarak üretilen ekşi hamur ekmeklerinin TPA parametrelerinin değerlerindeki değişime ait I. ve II. tekerrür verileri

Pişirme tekniği	TPA parametreleri					
	Sertlik (g)	Esneklik	Kohezyon	Sakızımsılık	Çiğnenebilirlik (g)	Elastikiyet
EKF	4739.02	0.82	0.66	3146.91	2615.51	0.39
	4961.91	0.84	0.67	3310.90	2807.32	0.38
GTF	4802.45	0.87	0.67	3072.33	2657.72	0.37
	4514.64	0.84	0.67	3000.35	2526.86	0.38
BF	3364.01	0.77	0.58	1952.00	1492.26	0.33
	3714.99	0.69	0.61	2247.59	1543.76	0.29

Varyans analizi sonuçlarına göre; kullanılan pişirme tekniğinin, üretilen ekşi hamur ekmeklerinin tüm TPA parametreleri üzerine istatistiksel olarak önemli (p<0.05; p<0.01) bir etkisinin olduğu tespit edilmiştir.

Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre; sertlik, esneklik, kohezyon, sakızımsılık, çiğnenebilirlik ve elastikiyet TPA parametrelerine ait değerlerin BF ile pişirilen ekmeklerde EKF ve GTF ile pişirilen ekmeklere göre daha düşük olduğu belirlenmiştir. EKF ve GTF kullanılarak üretilen ortalama 4754.51 g sertlik değerine sahip kontrol ekmeklerine kıyasla, BF kullanılarak üretilen ekmeklerin ortalama 3539.50 g sertlik değeri ile oldukça yumuşak olması, pişirme işlemi esnasında nem kaybının çok düşük olmasına bağlı olarak kabuk oluşumunun gerçekleşmemesi ile ilişkilendirilmiştir. Esneklik ve kohezyon parametrelerinin BF ekmeklerinde sırasıyla ortalama 0.73 ve 0.60 ile düşük değerlerde olmasının ise, bu ekmeklere ait hamurun diğer ekmeklere göre düşük su içeriğinde (FSİ değerinin %86'sı kadar su) yoğurulması nedeniyle daha sıkı bir yapıda, dolayısıyla bu sıkı yapılı hamurun fermantasyonu sırasında oluşan CO_2 gazının oluşturduğu gözenek açıklıklarının da daha küçük boyutlarda olmasıyla ilgili olabileceği ve bu nedenle de ekmek içinde oldukça küçük olan gözeneklerin ekmeğe uygulanan baskıya bağlı olarak hızla kapanarak birbirine tutunduğu yani kohezif etkileşimin oluştuğu değerlendirilmiştir. BF ile pişirilmiş ekmeklerin sertlik, kohezyon ve esneklik değerlerinin düşük olmasına bağlı olarak, çiğnenmeleri için harcanan enerjinin yani hesaplanan çiğnenebilirlik değerinin de düşük olduğu tespit edilmiştir. Nachi vd. (2018) spontane ekşi hamur kullanarak oluşturdukları ekmek hamurlarına 220°C'de 20 dk pişirme işlemi uygulamış ve elde edilen ekşi hamur ekmeklerine ait sertlik değerini ortalama 4060 g olarak belirlemişlerdir. Li vd. (2022) %0.38 kül içeriğine sahip buğday unu kullanarak ürettikleri buharda pişirilmiş ekşi hamur ekmeklerinin tekstürel

özelliklerinin ekmeğe ilave edilen ekşi hamurdaki mikroorganizma türüne göre değişiklik gösterdiğini ve bu kapsamda sertlik değerlerinin 1819.77-2546.79 g, kohezyon değerlerinin 0.65-0.80, esneklik değerlerinin 0.91-0.94, çiğnenebilirlik değerlerinin 1356.69-1808.39, elastikiyet değerlerinin ise 0.42-0.46 aralığında değiştiğini bildirmişlerdir. Literatürde var olan diğer çalışmalarda ise ekşi hamur ekmekleri için genellikle ekmek içinin tekstürel özelliklerine ait veriler paylaşılmış ve farklı starter kültürler, kültür oranları ve fermantasyon sürelerinin kullanıldığı bir çalışmada ekmek içi sertlik değerlerinin 937.30-1137.10 g arasında değiştiği (Limbad vd. 2020), ekmek mayası ve ekşi hamur kullanılarak üretilen ekmeklerin karşılaştırıldığı bir çalışmada ise ortalama ekmek içi sertliğinin yalnızca ekmek mayası kullanılarak üretilen ekmeklerde yaklaşık 414.00 g (4.06 N) ve ekşi hamur kullanılarak üretilen ekmeklerde yaklaşık 729.10 g (7.15 N) olduğu (Katsi vd. 2021) belirlenmiştir.

Çizelge 4.44. Farklı pişirme teknikleri kullanılarak üretilen ekşi hamur ekmeklerinin TPA parametrelerinin değerlerindeki değişime ait varyans analizi sonuçları

VK	SD	TPA parametreleri											
		Sertlik		Esneklik		Kohezyon		Sakızımsılık		Çiğnenebilirlik		Elastikiyet	
		KO	F	KO	F	KO	F	KO	F	KO	F	KO	F
PT	2	1002574.26	23.53*	0.01	6.82*	0.00	21.10*	729695.74	36.65**	864161.26	91.66**	0.00	11.06*
Hata	3	42616.63		0.00		0.00		19907.88		9427.94		000	

VK: Varyasyon kaynağı, SD: Serbestlik derecesi, KO: Kareler ortalaması, PT: Pişirme tekniği, ** $p<0.01$, * $0.01<p<0.05$, - $p>0.05$

Çizelge 4.45. Farklı pişirme teknikleri kullanılarak üretilen ekşi hamur ekmeklerinin TPA parametrelerinin değerlerindeki değişime ait Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları (± standart hata)

Pişirme tekniği	N	TPA parametreleri					
		Sertlik (g)	Esneklik	Kohezyon	Sakızımslık	Çiğnenebilirlik (g)	Elastikiyet
EKF	2	$4850.47^{a} \pm 111.45$	$0.83^{ba} \pm 0.01$	$0.67^{a} \pm 0.01$	$3228.91^{a} \pm 82.00$	$2711.42^{a} \pm 95.91$	$0.39^{a} \pm 0.01$
GTF	2	$4658.55^{a} \pm 143.90$	$0.86^{a} \pm 0.02$	$0.67^{a} \pm 0.00$	$3036.34^{a} \pm 35.99$	$2592.29^{a} \pm 65.43$	$0.38^{a} \pm 0.01$
BF	2	$3539.50^{b} \pm 175.49$	$0.73^{b} \pm 0.04$	$0.60^{b} \pm 0.02$	$2099.80^{b} \pm 147.80$	$1518.01^{b} \pm 25.75$	$0.31^{b} \pm 0.02$
Önem seviyesi		*	*	*	**	**	*

4.7.1.5. Farklı pişirme tekniklerinin ekşi hamur ekmeklerinin kurumadde ve su aktivitesi değerleri üzerine etkisi

Farklı pişirme teknikleri kullanılarak üretilen ekşi hamur ekmeklerinin iç, kabuk ve bütününün kurumadde ve su aktivitesi değerlerindeki değişime ait I. ve II. tekerrür verileri Çizelge 4.46'da, bu verilere ait varyans analizi sonuçları Çizelge 4.47'de ve varyasyon kaynaklarının ortalamalarına ait Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları Çizelge 4.48'de verilmiştir.

Çizelge 4.46. Farklı pişirme teknikleri kullanılarak üretilen ekşi hamur ekmeklerinin iç kabuk ve bütününün kurumadde ve su aktivitesi değerlerindeki değişime ait I. ve II. tekerrür verileri

Pişirme tekniği	Kurumadde (%)			Su aktivitesi		
	İç	Kabuk	Bütün	İç	Kabuk	Bütün
EKF	60.73	81.20	65.16	0.92	0.84	0.90
	60.03	81.89	66.25	0.93	0.84	0.92
GTF	58.13	80.72	66.45	0.93	0.85	0.92
	58.14	78.29	64.38	0.93	0.85	0.92
BF	60.31	75.56	60.78	0.92	0.90	0.92
	60.51	71.95	61.36	0.92	0.90	0.92

Varyans analizi sonuçlarına göre; kullanılan pişirme tekniğinin, üretilen ekşi hamur ekmeklerinin iç (p<0.01), kabuk ve bütününün (p<0.05) kurumadde değerleri ile kabuk su aktivitesi (p<0.01) değerleri üzerine istatistiksel olarak önemli bir etkisinin olduğu, iç ve bütün ekmeğin su aktivitesi değerleri üzerine ise etkisinin istatistiksel olarak önemsiz (p>0.05) olduğu tespit edilmiştir.

Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre; BF ekmeklerine ait ortalama %60.41 iç kurumadde değerinin EKF ekmeklerinin iç kurumadde değeri ile benzerlik gösterdiği, GTF ekmeklerinin ise ortalama %58.14 oranındaki kurumadde değeri ile en düşük iç kurumadde içeriğine sahip ekmek olduğu belirlenmiştir. GTF ekmekleri diğer pişirme teknikleriyle üretilen ekmeklere kıyasla geniş ve sıcaklık salınımı minimum olan bir pişirme alanında ani ve yoğun bir sıcaklığa maruz kaldığı için bu ekmeklerin kabuk kısmının aniden sertleştiği, bu nedenle de iç kısmının nemini bu sert kabuk altında pişme süresince muhafaza etmiş olabileceği değerlendirilmiştir. Ekmeklerin kabuk kurumadde değerleri incelendiğinde, BF ekmeklerinin en düşük değer olan %73.76 kurumadde içeriğine, EKF ve GTF ekmeklerinin ise ortalama %80.53 kurumadde içeriğine sahip olduğu tespit edilmiştir. Ekmeklerin bütünü göz önünde bulundurulduğunda; kurumadde içeriklerinin yine BF ortamında pişirilen ekmekte ortalama %61.07 ile düşük, EKF ve GTF ortamında pişirilen ekmeklerde ise ortalama %65.67 ile daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Isparta'da ekşi hamur ekmeği üretimi yapan 10 adet geleneksel taş fırından toplanan ekşi hamur ekmekleri ile yapılan bir çalışmada ekmeklere ait kurumadde içeriği değerlerinin %54.70 ile %65.50 arasında değiştiği tespit edilmiştir (Gül vd. 2021). Yapılan bir diğer çalışmada, *L. plantarum* ile fermente edildikten sonra 175°C'de 25 dk pişirilen ekşi hamur ekmeklerinin kurumadde içeriklerinin %65.70 ile

%67.40 arasında değiştiği belirlenmiştir (Limbad vd. 2020). Xu vd. (2020) ekzopolisakkarit üreten farklı laktik asit bakteri türlerini kullanarak hazırladıkları hamuru 50 g ağırlığındaki parçalara ayırmış ve bu hamurları ortalama 200°C sıcaklıktaki fırında 15 dk pişirerek elde ettikleri ekşi hamur ekmeklerinin kurumadde içeriklerinin %57.80-58.70 arasında, 100°C'deki buharda 15 dk pişirerek ürettikleri ekşi hamur ekmeklerinin kurumadde içeriklerinin ise %56.20-56.80 arasında değiştiğini; Cappa vd. (2016) ise ürettikleri ekmeklerin dilimlerinde yaptıkları kurumadde analizinde, bu ekmeklerin kurumadde içeriğinin %53.15 ile %58.14 arasında değiştiğini bildirmişlerdir. Araştırma kapsamında hamura ilave edilen su oranının azaltılmasıyla optimum koşullarda üretilen ekşi hamur ekmeklerine ait kurumadde içeriklerinin literatürdeki kurumadde içeriği verilerine ve her ne kadar sınırlandırmaya tabi olmasa da Türk Gıda Kodeksi (2012) Ekmek ve Ekmek Çeşitleri Tebliğinde belirtilen minimum sınır değerine oldukça yakın olduğu ve bu sayede yüksek nem içeriği nedeniyle gerçekleşebilecek hızlı bayatlama ve erken mikrobiyal bozulmanın önüne geçilebildiği değerlendirilmiştir.

Farklı pişirme teknikleri kullanılarak üretilen ekşi hamur ekmeklerinin iç ve bütününe ait su aktivitesi değerleri pişirme tekniğine göre değişiklik göstermeyerek sırasıyla ortalama 0.93 ve 0.92 olarak belirlenmiştir. Bu ekmeklerin kabuk su aktivitesi değeri BF kullanılarak pişirilen ekmeklerde ortalama 0.90 olarak tespit edilirken, EKF ve GTF ile pişirilen kontrol ekmeklerinde ortalama 0.85 olarak tespit edilmiştir. Ekmek içerdiği çözünür bileşenlerin sayı ve miktarının azlığı itibarıyla su ile çok fazla etkileşim kurabilecek bir yapıda olmadığı için yüksek su aktivitesine sahip bir gıdadır. Bir gıdanın yapısında bulunan suyun buhar basıncının aynı sıcaklıktaki saf suyun buhar basıncına oranı olarak tanımlanan su aktivitesi (Erbaş vd. 2016), kuru sıcaklıkta pişirme işlemi uygulanmış olan kontrol ekmeklerinde kabuğun buhar basıncına neden olabilecek nem içeriğininin büyük bir kısmını kaybetmesi nedeniyle daha düşük, BF ekmeklerinde ise bu durumun tam tersi olarak buharlı ortamda ekmek pişirme işlemi gerçekleştirildiği için buhar basıncı oluşturabilecek nem içeriği kabukta da ekmek içinde olduğu gibi korunduğundan daha yüksek olarak belirlenmiştir. Ortalama 215°C'de elektrikli bir fırında pişirilen glutensiz ekşi hamur ekmekleri ile pres maya kullanılarak üretilen ekmeklerin kıyaslandığı bir çalışmada ekmek içlerine ait su aktivitesi değerleri 0.980-0.997 arasında değişmiştir (Cappa vd. 2016). Ekmek mayası kullanılarak ve ekşi hamur kullanılarak hazırlanan hamurların 175°C'deki ev tipi bir fırında 90 dk pişirilmesiyle elde edilen ekmeklerin su aktivitesi değerleri 0.983 ve 0.981 olarak tespit edilmiştir (Katsi vd. 2021).

Çizelge 4.47. Farklı pişirme teknikleri kullanılarak üretilen ekşi hamur ekmeklerinin iç, kabuk ve bütününün kurumadde ve su aktivitesi değerlerindeki değişime ait varyans analizi sonuçları

VK	SD	Kurumadde						Su aktivitesi					
		İç		Kabuk		Bütün		İç		Kabuk		Bütün	
		KO	F	KO	F	KO	F	KO	F	KO	F	KO	F
PT	2	3.41	38.55**	32.64	10.09*	13.48	13.92*	0.00	3.00	0.00	1185.82**	0.00	1.65
Hata	3	0.09		3.24		0.97		0.00		0.00		0.00	

VK: Varyasyon kaynağı, SD: Serbestlik derecesi, KO: Kareler ortalaması, PT: Pişirme tekniği, ** $p<0.01$, * $0.01<p<0.05$, - $p>0.05$

Çizelge 4.48. Farklı pişirme teknikleri kullanılarak üretilen ekşi hamur ekmeklerinin iç, kabuk ve bütününün kurumadde ve su aktivitesi değerlerindeki değişime ait Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları (± standart hata)

Pişirme tekniği	N	Kurumadde (%)			Su aktivitesi		
		İç	Kabuk	Bütün	İç	Kabuk	Bütün
EKF	2	$60.38^{a} \pm 0.35$	$81.55^{a} \pm 0.35$	$65.71^{a} \pm 0.55$	$0.93^{a} \pm 0.01$	$0.84^{b} \pm 0.00$	$0.91^{a} \pm 0.01$
GTF	2	$58.14^{b} \pm 0.01$	$79.51^{a} \pm 1.22$	$65.42^{a} \pm 1.04$	$0.93^{a} \pm 0.00$	$0.85^{b} \pm 0.00$	$0.92^{a} \pm 0.00$
BF	2	$60.41^{a} \pm 0.10$	$73.76^{b} \pm 1.81$	$61.07^{b} \pm 0.29$	$0.92^{a} \pm 0.00$	$0.90^{a} \pm 0.00$	$0.92^{a} \pm 0.00$
Önem seviyesi		**	*	*	-	**	-

4.7.1.6. Farklı pişirme tekniklerinin ekşi hamur ekmeklerinin pH ve TTA değerleri üzerine etkisi

Farklı pişirme teknikleri kullanılarak üretilen ekşi hamur ekmeklerinin iç, kabuk ve bütününün pH ve TTA değerlerindeki değişime ait I. ve II. tekerrür verileri Çizelge 4.49'da, bu verilere ait varyans analizi sonuçları Çizelge 4.50'de ve varyasyon kaynaklarının ortalamalarına ait Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları Çizelge 4.51'de verilmiştir.

Varyans analizi sonuçlarına göre; kullanılan pişirme tekniğinin, üretilen ekşi hamur ekmeklerinin iç, kabuk ve bütününün pH ve TTA değerleri üzerine etkisinin istatistiksel olarak önemsiz (p>0.05) olduğu tespit edilmiştir.

Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre; EKF, GTF ve BF ortamında pişirilen ekmeklerin iç, kabuk ve bütününe ait pH değerleri ortalama olarak sırasıyla 4.29, 4.37 ve 4.31; % laktik asit cinsinden TTA değerleri sırasıyla %0.48, %0.38 ve %0.46; mL/10 g örnek cinsinden TTA değerleri ise 7.04, 7.34 ve 7.13 olarak tespit edilmiş olup örnekler arasında pH ve TTA değerleri açısından uygulanan pişirme tekniğine göre bir farklılık bulunmadığı belirlenmiştir. Benzer şekilde, Xu vd. (2020) farklı laktik asit bakteri türleri ile ürettikleri ekşi hamurları, normal fırında pişirilen ekmek ve buharda pişmiş ekmekleri karşılaştırmak için kullanmış ve ekşi hamur ekmeklerine ait pH değerlerinin normal fırında pişirilmiş ekmeklerde 4.52-4.60 arasında, buharda pişirilmiş ekmeklerde ise 4.54-4.59 arasında değiştiğini tespit etmişlerdir. Yapılan çalışmada iki farklı teknikle pişirilen ekmeklerde pH değerlerinin değişiklik göstermediği bildirilmiştir. *L. brevis, L. plantarum* ve bunların karışımını içeren ekşi hamurlar kullanılarak üretilen ekşi hamur ekmeklerinde pH değerleri sırasıyla 5.23, 5.27 ve 5.43 olarak, TTA değerleri ise 4.58, 4.65 ve 4.45 mL/10 g olarak tespit edilmiştir (Clarke vd. 2002). Mantzourani vd. (2019) %20 ve %30 oranında *L. paracasei* K5 ekşi hamuru ile üretilen ekmeklerde pH değerlerini sırasıyla 4.70 ve 4.50 olarak TTA değerlerini ise 6.80 ve 8.60 mL/10 g olarak belirlemiş olup; yabani ekşi hamur kullanılarak üretilen ekmeklerde pH değerlerinin sırasıyla 5.20 ve 4.80, TTA değerlerinin ise 5.90 ve 6.50 mL/10 g olduğunu bildirmişlerdir.

Çizelge 4.49. Farklı pişirme teknikleri kullanılarak üretilen ekşi hamur ekmeklerinin iç, kabuk ve bütününün pH ve TTA değerlerindeki değişime ait I. ve II. tekerrür verileri

Pişirme tekniği	pH			TTA (%Laktik asit)			TTA (mL/10 g örnek)		
	İç	Kabuk	Tam	İç	Kabuk	Tam	İç	Kabuk	Tam
EKF	4.34	4.39	4.31	0.45	0.35	0.44	6.75	7.00	7.00
	4.29	4.34	4.31	0.49	0.37	0.46	7.25	7.50	7.50
GTF	4.41	4.46	4.43	0.37	0.37	0.34	5.25	7.25	5.50
	4.16	4.22	4.24	0.62	0.44	0.51	8.75	8.50	8.00
BF	4.44	4.55	4.30	0.39	0.32	0.47	5.75	6.00	7.00
	4.13	4.27	4.21	0.57	0.44	0.52	8.50	7.75	7.75

Çizelge 4.50. Farklı pişirme teknikleri kullanılarak üretilen ekşi hamur ekmeklerinin iç, kabuk ve bütününün pH ve TTA değerlerindeki değişime ait varyans analizi sonuçları

VK	SD	pH						TTA (% Laktik asit)						TTA (mL/10 g örnek)					
		İç		Kabuk		Bütün		İç		Kabuk		Bütün		İç		Kabuk		Bütün	
		KO	F	KO	F	KO	F	KO	F	KO	F	KO	F	KO	F	KO	F	KO	F
PT	2	0.00	0.02	0.00	0.12	0.00	0.45	0.00	0.01	0.00	0.27	0.00	0.47	0.01	0.00	0.51	0.63	0.22	0.19
Hata	3	0.03		0.02		0.01		0.02		0.00		0.01		3.34		0.81		1.18	

VK: Varyasyon kaynağı, SD: Serbestlik derecesi, KO: Kareler ortalaması, PT: Pişirme tekniği, ** $p<0.01$, * $0.01<p<0.05$, - $p>0.05$

Çizelge 4.51. Farklı pişirme teknikleri kullanılarak üretilen ekşi hamur ekmeklerinin iç, kabuk ve bütününün pH ve TTA değerlerindeki değişime ait Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları (± standart hata)

Pişirme tekniği	N	pH			TTA (% Laktik asit)			TTA (mL/10 g örnek)		
		İç	Kabuk	Bütün	İç	Kabuk	Bütün	İç	Kabuk	Bütün
EKF	2	4.31[a] ± 0.03	4.36[a] ± 0.02	4.31[a] ± 0.00	0.48[a] ± 0.02	0.36[a] ± 0.01	0.45[a] ± 0.01	7.00[a] ± 0.25	7.25[a] ± 0.25	7.25[a] ± 0.25
GTF	2	4.28[a] ± 0.13	4.34[a] ± 0.12	4.34[a] ± 0.10	0.49[a] ± 0.12	0.41[a] ± 0.04	0.43[a] ± 0.09	7.00[a] ± 1.75	7.88[a] ± 0.63	6.75[a] ± 1.25
BF	2	4.28[a] ± 0.15	4.41[a] ± 0.14	4.26[a] ± 0.05	0.48[a] ± 0.09	0.38[a] ± 0.06	0.50[a] ± 0.03	7.13[a] ± 1.38	6.88[a] ± 0.88	7.38[a] ± 0.38
Önem seviyesi		-	-	-	-	-	-	-	-	-

4.7.1.7. Farklı pişirme tekniklerinin ekşi hamur ekmeklerinin HMF ve akrilamid içerikleri üzerine etkisi

Farklı pişirme teknikleri kullanılarak üretilen ekşi hamur ekmeklerinin iç ve kabuğunun HMF ve akrilamid içeriklerindeki değişime ait I. ve II. tekerrür verileri Çizelge 4.52'de, bu verilere ait varyans analizi sonuçları Çizelge 4.53'te ve varyasyon kaynaklarının ortalamalarına ait Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları Çizelge 4.54'te verilmiştir.

Varyans analizi sonuçlarına göre; kullanılan pişirme tekniğinin, üretilen ekşi hamur ekmeklerinin iç ve kabuk HMF içerikleri ile kabuk akrilamid içerikleri üzerine istatistiksel olarak önemli (p<0.01) bir etkisinin olduğu tespit edilmiştir.

Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre; araştırmanın amacına uygun olarak en düşük HMF içeriği 1.34 ve 1.00 mg/kg olarak sırasıyla BF ekmeklerinin iç ve kabuğunda, en yüksek HMF içeriği ise 2.24 ve 46.36 mg/kg değerleriyle sırasıyla GTF ekmeklerinin iç ve kabuğunda belirlenmiştir. BF ekmeklerinin kabuğuna ait HMF içeriğinin EKF ekmeklerinin kabuğuna ait HMF içeriğinden yaklaşık 40 kat, GTF ekmeklerinin kabuğuna ait HMF içeriğinden ise yaklaşık 47 kat daha düşük olduğu saptanmıştır. Akrilamid içeriği açısından bir değerlendirme yapıldığında; en düşük akrilamid içeriğine sahip olan ekmek kabuğunun ortalama 6.83 µg/kg değeri ile BF ortamında pişirilen ekmeklere, en yüksek akrilamid içeriğine sahip olan ekmek kabuğunun ise 33.65 µg/kg değeri ile EKF ortamında pişirilen ekmeklere ait olduğı tespit edilmiştir. BF ekmeklerinin kabuğuna ait akrilamid içeriğinin EKF ve GTF ekmeklerinin kabuklarına ait akrilamid içeriğinden yaklaşık 5 kat daha düşük olduğu saptanmıştır.

HMF ve akrilamid, Maillard reaksiyonu sonucunda oluşan proses kontaminantlarından olup; düşük nem koşulları ve yüksek fırın sıcaklıkları, bir aminoasitte ya da proteinde bulunan serbest amino grubu içeren bileşenler ile indirgen şekerlerin reaksiyona girerek enzimatik olmayan esmerleşme reaksiyonları olarak tanımlanan Maillard reaksiyonunun gerçekleşmesine ve gıda yüzeyinin koyu bir renk almasına neden olmaktadır (Olaerts ve Courtin 2018). GTF ekmeklerinde HMF miktarının daha yüksek olma sebebi; taş fırında yüksek kuru sıcaklıkta pişirme işlemi ile ekmek kabuklarında karamelizasyon tepkimelerinin, farklı mekanizmalar doğrultusunda ilerleyen Maillard reaksiyonlarına göre daha fazla gerçekleşmesiyle ve bunun yanısıra pişirme işlemi için kullanılan yakıt türünün de Maillard reaksiyonunu HMF oluşumu yönünde tetiklemesiyle ilişkilendirilmiştir. Ekmek kabuklarındaki akrilamid miktarının ise kullanılan yakıt türü ile ortam atmosferindeki gaz bileşiminin değişmesine bağlı olarak GTF ekmeklerinde EKF ekmeklerine göre daha düşük miktarda oluşmuş olabileceği değerlendirilmiştir. BF ekmeklerinin HMF içeriklerinin kontrol ekmeklerinin HMF içeriklerine göre 40 kattan fazla azaltılmasına rağmen, akrilamid içeriklerinin kontrol ekmeklerine göre daha düşük olarak yaklaşık 5 kat azaltılması, akrilamid oluşumunda Maillard reaksiyonuna öncelikli olarak giren asparajin aminoasidinin uygulanan ekşi hamur fermantasyonu nedeniyle ekmekte serbest olarak oldukça düşük miktarda bulunmasıyla ve bu düşük miktardaki serbest asparajin aminoasidinin de Maillard reaksiyonuna yalnızca 3-aminopropionamid mekanizması üzerinden girerek akrilamide dönüşmüş olabileceğiyle ilişkilendirilmiştir.

Farklı gaz ortamlarında ekmek pişirme işlemiyle ekmeklerdeki HMF ve akrilamid içeriğini azaltmaya yönelik yapılan bir çalışmada; azot, karbondioksit ve kükürt dioksit gaz ortamlarında pişirilen ekmekler ile oksijenli ortamda pişirilen kontrol ekmeklerinin HMF içerikleri sırasıyla 17.11, 15.88, 14.85 ve 16.97 mg/kg; akrilamid içerikleri ise 19.44, 17.61, 0.25 ve 39.03 µg/kg olarak tespit edilmiştir (Gülcan vd. 2020). Ertop ve Sarikaya (2017) taş fırınlarda pişirilen ekşi hamur ekmeklerinin HMF içeriklerinin 105.74-156.95 mg/kg arasında değiştiğini ve yalnızca ekmek mayası kullanılarak üretilen ekmeklerde ise HMF içeriğinin 23.74 mg/kg olduğunu tespit etmişlerdir. Aynı çalışmada fırın ürünlerinde esmer renk oluşumu ile birlikte HMF oluşumunun da şeker içeriğine bağlı olarak arttığı, ekşi hamur fermantasyonu sırasında laktik asit bakterilerinin üretmiş olduğu ve hamurun enzimatik aktivitesini etkileyen bazı organik asitlerin hamurda nişasta parçalanmasını teşvik ederek ortamdaki basit şeker içeriğini arttırdığı ve yüksek sıcaklıkta ya da uzun süre pişirme işlemleriyle HMF oluşumunun artmış olabileceği bildirilmiştir. Benzer şekilde Bartkiene vd. (2017a) de ekşi hamur ekmeklerindeki akrilamid oluşumunun ekşi hamuru oluşturan laktik asit bakterisi türlerinden etkilendiğini, akrilamid oluşumunun ortamdaki indirgen şeker oranı ile bağlantılı olduğunu ve laktik asit bakterilerinin farklı karbonhidrat metabolizmalarına sahip olmasının bu durum üzerinde etkili olduğunu belirtmiştir. Nitekim, farklı laktik asit bakteri türleri ile yalnızca ekmek mayası kullanımının ekmeklerin akrilamid içerikleri üzerine etkisinin incelendiği bir çalışmada da, ekmeklerin akrilamid içeriklerinin ortamdaki laktik asit bakterisi türüne bağlı olarak 5.64 ile 35.60 µg/kg aralığında değiştiği tespit edilmiştir (Nachi vd. 2018). Codina vd. (2021) farklı oranlarda kurutulmuş ekşi hamur tozu kullanarak elde ettikleri ekşi hamur ekmeklerini yalnızca ekmek mayası kullanarak ürettikleri ekmekler ile karşılaştırmış ve yalnızca ekmek mayası kullanılarak üretilen ekmeklerin akrilamid içeriklerinin en yüksek olduğunu ve ekşi hamur tozu oranının artmasıyla ekmeklerdeki akrilamid içeriklerinin de arttığını bildirmişlerdir.

Çizelge 4.52. Farklı pişirme teknikleri kullanılarak üretilen ekşi hamur ekmeklerinin iç ve kabuğunun HMF ve akrilamid içeriklerindeki değişime ait I. ve II. tekerrür verileri

Pişirme tekniği	**HMF içeriği (mg/kg)**		**Akrilamid içeriği (µg/kg)**
	İç	**Kabuk**	**Kabuk**
EKF	1.64	41.79	33.43
	1.64	37.38	33.87
GTF	2.30	43.20	29.09
	2.17	49.52	29.40
BF	1.32	0.95	6.76
	1.35	1.05	6.89

Çizelge 4.53. Farklı pişirme teknikleri kullanılarak üretilen ekşi hamur ekmeklerinin iç ve kabuğunun HMF ve akrilamid içeriklerindeki değişime ait varyans analizi sonuçları

VK	SD	HMF içeriği				Akrilamid içeriği	
		İç		Kabuk		Kabuk	
		KO	F	KO	F	KO	F
PT	2	0.42	144.16**	1197.43	121.02**	413.74	8286.90**
Hata	3	0.00		9.89		0.05	

VK: Varyasyon kaynağı, SD: Serbestlik derecesi, KO: Kareler ortalaması, PT: Pişirme tekniği, ** $p<0.01$, * $0.01<p<0.05$, - $p>0.05$

Çizelge 4.54. Farklı pişirme teknikleri kullanılarak üretilen ekşi hamur ekmeklerinin iç ve kabuğunun HMF ve akrilamid içeriklerindeki değişime ait Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları (± standart hata)

Pişirme tekniği	N	HMF içeriği (mg/kg)		Akrilamid içeriği (µg/kg)
		İç	Kabuk	Kabuk
EKF	2	$1.64^{b} \pm 0.00$	$39.59^{a} \pm 2.21$	$33.65^{a} \pm 0.22$
GTF	2	$2.24^{a} \pm 0.06$	$46.36^{a} \pm 3.16$	$29.25^{b} \pm 0.15$
BF	2	$1.34^{c} \pm 0.02$	$1.00^{b} \pm 0.05$	$6.83^{c} \pm 0.07$
Önem seviyesi		**	**	**

4.7.1.8. Farklı pişirme tekniklerinin ekşi hamur ekmeklerinin organik asit içerikleri üzerine etkisi

Farklı pişirme teknikleri kullanılarak üretilen ekşi hamur ekmeklerinin iç ve kabuğunun organik asit içeriklerindeki değişime ait I. ve II. tekerrür verileri Çizelge 4.55'te, bu verilere ait varyans analizi sonuçları Çizelge 4.56'da ve varyasyon kaynaklarının ortalamalarına ait Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları Çizelge 4.57'de verilmiştir.

Varyans analizi sonuçlarına göre; kullanılan pişirme tekniğinin, üretilen ekşi hamur ekmeklerinin kabuklarındaki organik asit içerikleri üzerine istatistiksel olarak önemli ($p<0.01$) bir etkisinin olduğu; ekmek içlerinde ise yalnızca propiyonik asit üzerinde önemli ($p<0.05$) bir etkiye sahip olup, diğer organik asitler üzerine etkisinin istatistiksel olarak önemsiz ($p>0.05$) olduğu tespit edilmiştir.

Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre; EKF ve GTF ekmeklerinin kabuklarında laktik, asetik ve propiyonik asit içeriklerinin BF ile pişirilen ekmeklerin kabuklarına göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Bu durumun sebebinin düşük molekül ağırlığına sahip olan laktik, asetik ve propiyonik asitlerin hızlıca sertleşen kabukta kristalleşerek sabitlenmesi ve ekmek içinde bulunan asitlerin de pişirme işlemi sonrasında yapılan 2 saatlik dinlendirme aşamasında nemle birlikte kabuğa taşınması olabileceği değerlendirilmiştir. BF ekmeklerinin kabuklarında laktik, asetik ve propiyonik asit içeriğinin düşük olması ise, bu ekmeklerin oldukça ince bir kabuğa sahip

olmasına bağlı olarak ilgili asitlerin kabukta kristalize olma ve ekmek içinde bulunan asitlerin kabuk tarafından tutulma durumunun gerçekleşmediği şeklinde yorumlanmıştır.

L. paracasei K5 ekşi hamuru kullanılarak üretilen ekşi hamur ekmekleri ile yerel fırınlardan temin edilen yabani ekşi hamurlar kullanılarak üretilen ekşi hamur ekmeklerinin karşılaştırıldığı bir çalışmada laktik asit - asetik asit miktarları; %20 ve %30 oranında *L. paracasei K5* ekşi hamuru ilave edilen ekmeklerde sırasıyla 2.65-0.83 g/kg ve 3.15-0.25 g/kg olarak, aynı oranda yabani ekşi hamur ilave edilen ekmeklerde ise 1.73-0.58 g/kg ve 2.44-1.01 g/kg olarak tespit edilmiştir (Mantzourani vd. 2019). Hayta ve Ertop (2019) farklı fermantasyon yöntemlerini kullanarak hazırladıkları ekşi hamurları kullanarak ürettikleri ekmeklerin laktik asit içeriklerinin 0.294-0.835 g/kg arasında, asetik asit içeriklerinin ise 0.098-0.237 g/kg arasında değiştiğini bildirmişlerdir. Araştırma kapsamında üretilen ekşi hamur ekmeklerinin organik asit içeriklerinin fermantasyon süresinin uzun olmasına bağlı olarak literatürdeki değerlerden farklılık göstermiş olabileceği değerlendirilmiştir.

Çizelge 4.55. Farklı pişirme teknikleri kullanılarak üretilen ekşi hamur ekmeklerinin iç ve kabuğunun organik asit içeriklerindeki değişime ait I. ve II. tekerrür verileri

Pişirme tekniği	**Organik asit içeriği (g/kg)**					
	Laktik asit		**Asetik asit**		**Propiyonik asit**	
	İç	**Kabuk**	**İç**	**Kabuk**	**İç**	**Kabuk**
EKF	14.00	16.97	4.96	5.39	0.08	2.57
	13.96	17.75	5.01	5.68	0.07	2.79
GTF	14.17	16.36	4.90	5.24	0.10	1.91
	15.07	16.76	5.20	5.44	0.09	1.94
BF	14.24	13.43	4.84	4.14	0.08	0.06
	14.11	13.77	4.92	4.09	0.08	0.06

Çizelge 4.56. Farklı pişirme teknikleri kullanılarak üretilen ekşi hamur ekmeklerinin iç ve kabuğunun organik asit içeriklerindeki değişime ait varyans analizi sonuçları

VK	SD	Organik asit içeriği											
		Laktik asit				Asetik asit				Propiyonik asit			
		İç		Kabuk		İç		Kabuk		İç		Kabuk	
		KO	F	KO	F	KO	F	KO	F	KO	F	KO	F
PT	2	0.22	1.56	7.85	53.26**	0.01	0.89	1.19	56.16**	0.00	6.50*	3.64	442.70**
Hata	3	0.14		0.15		0.02		0.02		0.00		0.01	

VK: Varyasyon kaynağı, SD: Serbestlik derecesi, KO: Kareler ortalaması, PT: Pişirme tekniği, ** $p<0.01$, * $0.01<p<0.05$, - $p>0.05$

Çizelge 4.57. Farklı pişirme teknikleri kullanılarak üretilen ekşi hamur ekmeklerinin iç ve kabuğunun organik asit içeriklerindeki değişime ait Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları (± standart hata)

Pişirme tekniği	N	Organik asit içeriği (g/kg)					
		Laktik asit		Asetik asit		Propiyonik asit	
		İç	Kabuk	İç	Kabuk	İç	Kabuk
EKF	2	$13.98^{a} \pm 0.02$	$17.36^{a} \pm 0.39$	$4.99^{a} \pm 0.03$	$5.54^{a} \pm 0.15$	$0.08^{b} \pm 0.01$	$2.68^{a} \pm 0.11$
GTF	2	$14.62^{a} \pm 0.45$	$16.56^{a} \pm 0.20$	$5.05^{a} \pm 0.15$	$5.34^{a} \pm 0.10$	$0.10^{a} \pm 0.01$	$1.93^{b} \pm 0.02$
BF	2	$14.18^{a} \pm 0.07$	$13.60^{b} \pm 0.17$	$4.88^{a} \pm 0.04$	$4.12^{b} \pm 0.03$	$0.08^{ba} \pm 0.00$	$0.06^{c} \pm 0.00$
Önem seviyesi		-	**	-	**	*	**

4.7.1.9. Farklı pişirme tekniklerinin ekşi hamur ekmeklerinin serbest aminoasit içerikleri üzerine etkisi

Farklı pişirme teknikleri kullanılarak üretilen ekşi hamur ekmeklerinin iç ve kabuğunun serbest aminoasit içeriklerindeki değişime ait I. ve II. tekerrür verileri Çizelge 4.58'de, bu verilere ait varyans analizi sonuçları Çizelge 4.59'da ve varyasyon kaynaklarının ortalamalarına ait Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları Çizelge 4.60'ta verilmiştir. Farklı pişirme teknikleri kullanılarak üretilen ekşi hamur ekmeklerinin içine kıyasla kabuktaki aminoasit azalma oranları ise Şekil 4.33'te verilmiştir.

Varyans analizi sonuçlarına göre; kullanılan pişirme tekniğinin, üretilen ekşi hamur ekmeklerinin içlerinde serin, metiyonin, izolösin, fenilalanin, lösin, lisin (p<0.01), prolin, alanin ve sistein (p<0.05) aminoasit içerikleri üzerine istatistiksel olarak önemli bir etkisinin olduğu; aspartik asit, glutamik asit, 4-OH prolin, asparajin, glutamin, histidin, valin, triptofan ve tirozin aminoasit içerikleri üzerine ise etkisinin istatistiksel olarak önemsiz (p>0.05) olduğu tespit edilmiştir. Ekmek kabuklarında ise kullanılan pişirme tekniğinin tüm aminoasit içerikleri üzerine istatistiksel olarak önemli (p<0.05; p<0.01) bir etkisinin bulunduğu belirlenmiştir.

Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre; BF ortamında üretilen ekmeklerin iç kısmında serin, alanin, fenilalanin, lösin ve lisin aminoasit miktarlarının EKF ve GTF ortamında üretilen ekmeklerin ilgili aminoasit miktarlarından yüksek, buna karşılık prolin, metiyonin ve sistein aminoasit miktarlarının ise daha düşük olduğu tespit edilmiştir. BF ekmeklerinin üretiminde kullanılan hamurlar FSİ değerinin %86'sı kadar su kullanılarak düşük su içeriğinde hazırlandıkları için, bu hamurlarda protein hidrolizinin gerçekleşmesi için gerekli olan su miktarının sağlanma derecesine bağlı olarak bazı aminoasitlerin daha yüksek bazılarının ise daha düşük oranda oluşmuş olabileceği değerlendirilmiştir.

Ekmeklerin kabuk kısımları incelendiğinde; BF ekmeklerinin aminoasit içeriklerinin tüm aminoasitler açısından EKF ve GTF ile üretilen ekmeklerin aminoasit içeriklerine göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Maillard reaksiyonu serbest aminoasitler ile indirgen şekerler arasında yüksek sıcaklığın etkisiyle oluştuğu için, bu durum BF ortamında üretilen ekmeklere uygulanan pişirme tekniğinde ekmek üzerinde korunan nem nedeniyle buradaki sıcaklığın 100°C üzerinde bulunma süresinin oldukça kısa olması ve bunun da Maillard reaksiyonunu engellemesi ile ilişkilendirilmiş, su buharı ile atmosferik oksijenin fırın içerisinden süpürülmüş olmasının da bu durumu desteklediği ve bu nedenle Maillard reaksiyonuna katılmayan serbest aminoasitlerin üretilen ekmeklerin besinsel içeriğinin korunmasını sağladığı değerlendirilmiştir. Ayrıca Şekil 4.33'ten de yine BF ekmeklerindeki aminoasit azalma oranlarının EKF ve GTF ekmeklerindeki aminoasit azalma oranlarına göre çok daha düşük olduğu ve EKF ve GTF ekmekleri için bazı aminoasitlerin daha fazla oranda azalma gösterdiği görülebilmektedir. Bu durum, bazı aminoasitlerin Maillard reaksiyonuna girme yatkınlığının daha fazla olmasıyla ilişkilendirilmiştir. Bu aminoasitlerden en bilineni asparajin aminoasitidir. Şeker içeriği yüksek olan bir gıda içerisine asparajin aminoasiti ilave edildiğinde ve bu gıda yüksek sıcaklıkta ısıl işleme tabi tutulduğunda, Maillard reaksiyonu sonucunda oluşan toksik bir bileşik olan akrilamid miktarının da katlanarak arttığı bildirilmektedir (Levine ve Smith 2005).

Maillard reaksiyonu ürünleri, ürün renginde esmerleşmeye neden olmalarıyla karakterize olmaktadırlar. Bu nedenle, bir ürüne uygulanan ısıl işlem sonrası ürün renginde bir koyulaşma tespit ediliyorsa genel olarak o üründe Maillard reaksiyonunun gerçekleşmiş olabileceği üzerinde durulmaktadır. Lisin, alanin, glisin, prolin, arjinin ve treonin aminoasitlerinin farklı konsantrasyonlarda ekmek hamuruna ilave edilmesi ve sonrasında bu hamurların pişirilmesi ile elde edilen ekmeklerin renginde genel olarak bir koyulaşma meydana geldiği belirlenmiş ve bu koyulaşmanın alanin ve glisin aminoasitleri ilave edilmiş ekmeklerde daha fazla olduğu belirtilmiştir (Shen vd. 2019). Claus vd. (2006) ekmek hamuruna %5 ve %15 oranında fazladan buğday gluteni ekleyerek, 230°C'de pişirme işlemiyle elde ettikleri ekmeklerde oluşan akrilamid miktarlarının, gluten ilavesi yapılmayan ve 53.40 µg/kg akrilamid içerdiği tespit edilen ekmeğe göre artış göstererek sırasıyla 58.80 ve 63.90 µg/kg olarak belirlendiğini, artış oranının %15 buğday gluteni ilave edilen ekmekte daha yüksek olduğunu ve akrilamid içeriğindeki bu artışın buğday guteninin pirolize uğramasıyla ilişkili olduğunu belirtmişlerdir. Şekil 4.33'e göre en düşük azalma oranına sahip olan aminoasit %6.79 azalma oranı ile BF ekmeklerinin kabuklarında tespit edilen histidin aminoasidi iken; en yüksek azalma oranına sahip aminoasit %83.75'lik azalma oranı ile EKF ekmeklerinin kabuklarında tespit edilen 4-OH prolin aminoasidi olmuştur. Bu azalmanın ilgili aminoasidin Maillard reaksiyonuna yüksek oranda katılmış olabileceğinden kaynaklanmış olabileceği değerlendirilmiştir.

Çizelge 4.58. Farklı pişirme teknikleri kullanılarak üretilen ekşi hamur ekmeklerinin iç ve kabuğunun serbest aminoasit içeriklerindeki değişime ait I. ve II. tekerrür verileri

Pişirme tekniği	Toplam serbest aminoasit içeriği (mg/kg)											
	Aspartik asit		Glutamik asit		4-OH prolin		Asparajin		Serin		Glutamin	
	İç	Kabuk	İç	Kabuk	İç	Kabuk	İç	Kabuk	İç	Kabuk	İç	Kabuk
EKF	185.49	51.84	24.56	11.67	19.99	3.01	1.32	0.54	21.14	5.71	6.48	2.74
	195.01	55.22	25.01	10.99	21.17	3.69	1.34	0.63	22.55	6.06	6.33	2.63
GTF	189.92	62.03	23.61	10.61	23.20	4.37	1.88	0.71	19.21	6.28	6.60	3.15
	233.91	68.10	27.94	10.87	18.94	4.61	1.46	0.56	18.75	6.04	8.15	3.39
BF	236.93	136.52	27.21	17.20	25.15	15.41	1.46	1.05	25.84	16.60	6.63	4.31
	235.02	144.67	27.34	16.96	25.45	19.04	1.50	1.04	26.29	16.93	6.51	4.69
Pişirme tekniği	**Histidin**		**Prolin**		**Alanin**		**Valin**		**Metiyonin**		**Triptofan**	
	İç	**Kabuk**	**İç**	**Kabuk**	**İç**	**Kabuk**	**İç**	**Kabuk**	**İç**	**Kabuk**	**İç**	**Kabuk**
EKF	0.83	0.31	118.71	81.41	64.78	22.23	21.31	6.63	2.69	0.60	50.82	15.97
	0.84	0.25	119.51	76.41	67.22	23.55	21.83	6.98	2.91	0.63	53.72	16.13
GTF	0.87	0.33	131.49	81.70	70.52	27.99	21.27	7.89	2.08	0.64	49.37	17.96
	1.22	0.30	120.59	78.64	69.80	28.54	17.35	8.14	2.07	0.63	52.48	18.12
BF	1.41	1.25	111.19	95.08	72.32	52.41	25.39	17.81	1.36	1.21	54.58	41.38
	1.24	1.22	111.61	88.60	73.13	53.92	23.70	18.61	1.54	1.11	53.80	42.80

(Devamı Arkada)

Çizelge 4.58'in devamı

Pişirme tekniği	İzolösin		Fenilalanin		Lösin		Sistein		Lisin		Tirozin	
	İç	Kabuk	İç	Kabuk	İç	Kabuk	İç	Kabuk	İç	Kabuk	İç	Kabuk
EKF	35.26	30.38	13.73	4.91	12.18	3.20	3.29	1.73	9.42	3.28	15.81	5.80
	35.72	28.16	14.02	4.59	12.71	3.32	3.11	1.79	9.70	3.45	16.82	6.22
GTF	41.61	30.90	13.08	5.24	13.46	4.00	2.92	1.65	10.03	3.55	15.32	6.72
	41.28	32.37	13.47	5.95	14.21	4.42	2.98	1.79	10.37	3.96	16.89	7.15
BF	39.86	34.88	16.14	10.64	16.52	9.91	2.82	2.10	11.18	6.25	17.20	12.00
	40.37	35.37	15.71	10.56	15.85	10.47	2.91	2.35	11.43	6.57	16.70	13.69

Çizelge 4.59. Farklı pişirme teknikleri kullanılarak üretilen ekşi hamur ekmeklerinin iç ve kabuğunun toplam serbest aminoasit içeriklerindeki değişime ait varyans analizi sonuçları

		Toplam serbest aminoasit içeriği															
VK	**SD**	**Aspartik asit**				**Glutamik asit**				**4-OH prolin**				**Asparajin**			
		İç		**Kabuk**		**İç**		**Kabuk**		**İç**		**Kabuk**		**İç**		**Kabuk**	
		KO	**F**	**KO**	**F**	**KO**	**F**	**KO**	**F**	**KO**	**F**	**KO**	**F**	**KO**	**F**	**KO**	**F**
PT	2	1046.38	3.09	4472.72	233.99**	3.14	0.99	24.54	250.53**	13.47	4.12	118.67	51.98**	0.06	1.95	0.13	24.90*
Hata	3	338.23		19.12		3.16		0.10		3.27		2.28		0.03		0.01	
VK	**SD**	**Serin**				**Glutamin**				**Histidin**				**Prolin**			
		İç		**Kabuk**		**İç**		**Kabuk**		**İç**		**Kabuk**		**İç**		**Kabuk**	
		KO	**F**	**KO**	**F**	**KO**	**F**	**KO**	**F**	**KO**	**F**	**KO**	**F**	**KO**	**F**	**KO**	**F**
PT	2	25.40	63.45**	76.97	1598.03**	0.54	1.33	1.72	48.10**	0.12	4.79	0.59	651.72**	107.27	5.38*	101.65	7.99*
Hata	3	0.40		0.05		0.41		0.04		0.03		0.00		19.94		12.73	
VK	**SD**	**Alanin**				**Valin**				**Metiyonin**				**Triptofan**			
		İç		**Kabuk**		**İç**		**Kabuk**		**İç**		**Kabuk**		**İç**		**Kabuk**	
		KO	**F**	**KO**	**F**	**KO**	**F**	**KO**	**F**	**KO**	**F**	**KO**	**F**	**KO**	**F**	**KO**	**F**
PT	2	23.04	19.39*	521.83	723.92**	13.79	4.47	78.49	570.85**	0.91	67.71**	0.19	104.19**	5.39	1.73	420.15	1219.23**
Hata	3	1.19		0.72		3.08		0.41		0.01		0.00		3.12		0.34	

(Devamı Arkada)

Çizelge 4.59'un devamı

VK	SD	İzolösin				Fenilalanin				Lösin				Sistein			
		İç		Kabuk		İç		Kabuk		İç		Kabuk		İç		Kabuk	
		KO	F	KO	F	KO	F	KO	F	KO	F	KO	F	KO	F	KO	F
PT	2	19.54	201.93**	17.35	14.20*	3.87	55.27**	19.97	193.77**	7.14	33.53**	28.21	339.37**	0.06	7.97*	0.16	10.78*
Hata	3	0.10		1.22		0.07		0.10		0.21		0.08		0.01		0.01	

VK	SD	Lisin				Tirozin			
		İç		Kabuk		İç		Kabuk	
		KO	F	KO	F	KO	F	KO	F
PT	2	1.56	37.00**	5.48	108.62**	0.39	0.62	27.53	51.00**
Hata	3	0.04		0.05		0.63		0.54	

VK: Varyasyon kaynağı, SD: Serbestlik derecesi, KO: Kareler ortalaması, FS: Fermantasyon süresi, ** $p<0.01$, * $0.01<p<0.05$, - $p>0.05$

Çizelge 4.60. Farklı pişirme teknikleri kullanılarak üretilen ekşi hamur ekmeklerinin iç ve kabuğunun toplam serbest aminoasit içeriklerindeki değişime ait Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları (± standart hata)

Pişirme tekniği	N	Toplam serbest aminoasit içeriği (mg/kg)			
		Aspartik asit	Glutamik asit	4-OH prolin	Asparajin
		İç / Kabuk	İç / Kabuk	İç / Kabuk	İç / Kabuk
EKF	2	$190.25^{a} \pm 4.76$ / $53.53^{b} \pm 1.69$	$24.79^{a} \pm 0.23$ / $11.33^{b} \pm 0.34$	$20.58^{a} \pm 0.59$ / $3.35^{b} \pm 0.34$	$1.33^{a} \pm 0.01$ / $0.59^{b} \pm 0.05$
GTF	2	$211.92^{a} \pm 22.00$ / $65.07^{b} \pm 3.04$	$25.78^{a} \pm 2.17$ / $10.74^{b} \pm 0.13$	$21.07^{a} \pm 2.13$ / $4.49^{b} \pm 0.12$	$1.67^{a} \pm 0.21$ / $0.64^{b} \pm 0.08$
BF	2	$235.98^{a} \pm 0.96$ / $140.60^{a} \pm 4.08$	$27.28^{a} \pm 0.07$ / $17.08^{a} \pm 0.12$	$25.30^{a} \pm 0.15$ / $17.23^{a} \pm 1.82$	$1.48^{a} \pm 0.02$ / $1.05^{a} \pm 0.01$
Önem seviyesi		- / **	- / **	- / **	- / *

Pişirme tekniği	N	Serin	Glutamin	Histidin	Prolin
		İç / Kabuk	İç / Kabuk	İç / Kabuk	İç / Kabuk
EKF	2	$21.85^{b} \pm 0.71$ / $5.89^{b} \pm 0.18$	$6.41^{a} \pm 0.08$ / $2.69^{b} \pm 0.06$	$0.84^{a} \pm 0.01$ / $0.28^{b} \pm 0.03$	$119.11^{ba} \pm 0.40$ / $78.91^{b} \pm 2.50$
GTF	2	$18.98^{c} \pm 0.23$ / $6.16^{b} \pm 0.12$	$7.38^{a} \pm 0.78$ / $3.27^{b} \pm 0.12$	$1.05^{a} \pm 0.18$ / $0.32^{b} \pm 0.02$	$126.04^{a} \pm 5.45$ / $80.17^{b} \pm 1.53$
BF	2	$26.07^{a} \pm 0.23$ / $16.77^{a} \pm 0.17$	$6.57^{a} \pm 0.06$ / $4.50^{a} \pm 0.19$	$1.33^{a} \pm 0.09$ / $1.24^{a} \pm 0.02$	$111.40^{b} \pm 0.21$ / $91.84^{a} \pm 3.24$
Önem seviyesi		** / **	- / **	- / **	* / *

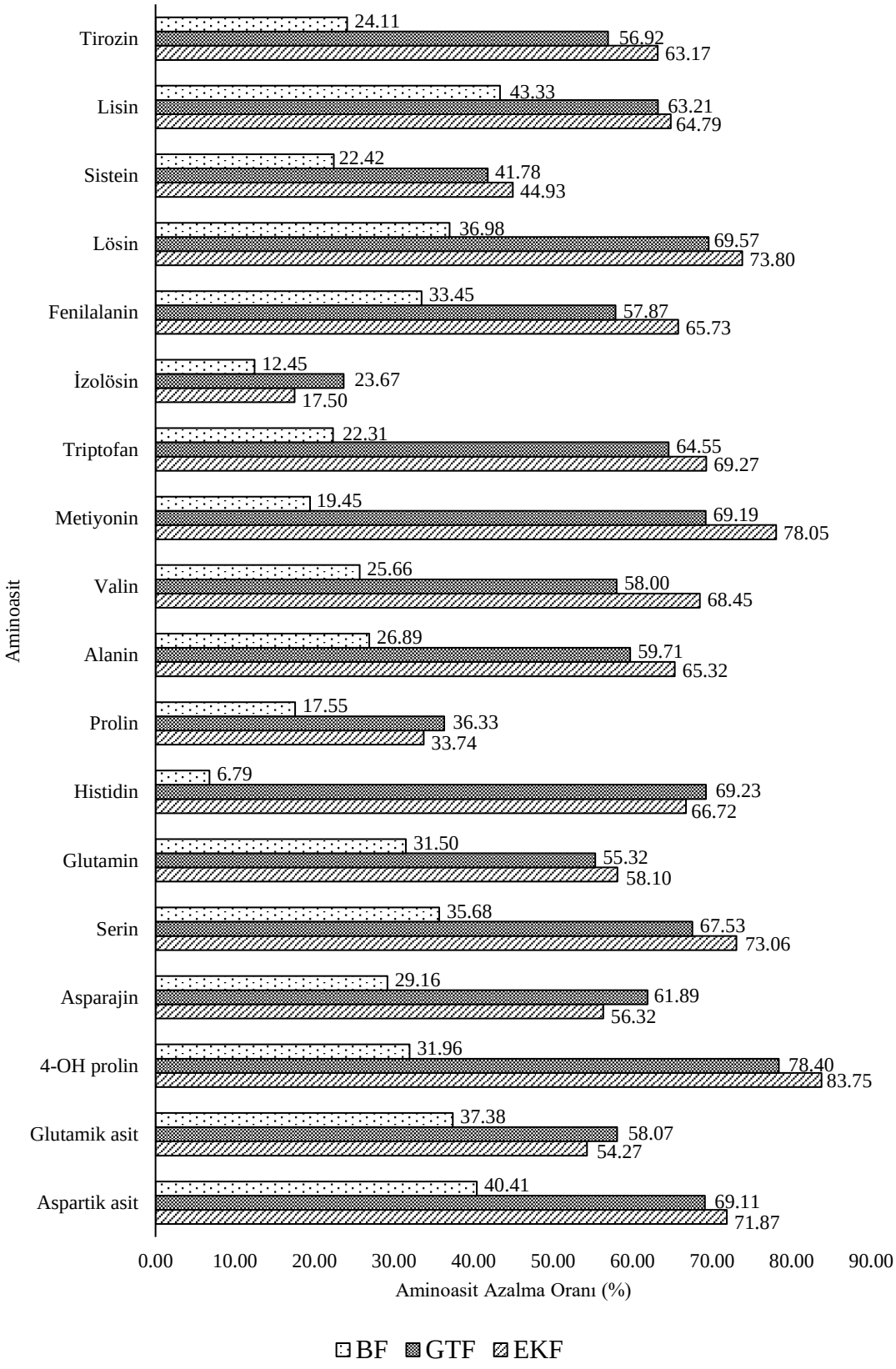
Pişirme tekniği	N	Alanin	Valin	Metiyonin	Triptofan
		İç / Kabuk	İç / Kabuk	İç / Kabuk	İç / Kabuk
EKF	2	$66.00^{b} \pm 1.22$ / $22.89^{c} \pm 0.66$	$21.57^{a} \pm 0.26$ / $6.81^{c} \pm 0.18$	$2.80^{a} \pm 0.11$ / $0.62^{b} \pm 0.02$	$52.27^{a} \pm 1.45$ / $16.05^{c} \pm 0.08$
GTF	2	$70.16^{a} \pm 0.36$ / $28.27^{b} \pm 0.28$	$19.31^{a} \pm 1.96$ / $8.02^{b} \pm 0.13$	$2.08^{b} \pm 0.01$ / $0.64^{b} \pm 0.01$	$50.93^{a} \pm 1.56$ / $18.04^{b} \pm 0.08$
BF	2	$72.73^{a} \pm 0.41$ / $53.17^{a} \pm 0.76$	$24.55^{a} \pm 0.85$ / $18.21^{a} \pm 0.40$	$1.45^{c} \pm 0.09$ / $1.16^{a} \pm 0.05$	$54.19^{a} \pm 0.39$ / $42.09^{a} \pm 0.71$
Önem seviyesi		* / **	- / **	** / **	- / **

(Devamı Arkada)

Çizelge 4.60'ın devamı

Pişirme tekniği	N	İzolösin		Fenilalanin		Lösin		Sistein	
		İç	Kabuk	İç	Kabuk	İç	Kabuk	İç	Kabuk
EKF	2	35.49^{c} ± 0.23	29.27^{b} ± 1.11	13.88^{b} ± 0.14	4.75^{b} ± 0.16	12.45^{b} ± 0.27	3.26^{c} ± 0.06	3.20^{a} ± 0.09	1.76^{b} ± 0.03
GTF	2	41.45^{a} ± 0.17	31.64^{ba} ± 0.74	13.27^{b} ± 0.20	5.60^{b} ± 0.36	13.84^{b} ± 0.37	4.21^{b} ± 0.21	2.95^{ba} ± 0.03	1.72^{b} ± 0.07
BF	2	40.12^{b} ± 0.26	35.13^{a} ± 0.25	15.93^{a} ± 0.22	10.60^{a} ± 0.04	16.19^{a} ± 0.33	10.19^{a} ± 0.28	2.87^{b} ± 0.04	2.22^{a} ± 0.13
Önem seviyesi		**	*	**	**	**	**	*	*

Pişirme tekniği	N	Lisin		Tirozin	
		İç	Kabuk	İç	Kabuk
EKF	2	9.56^{b} ± 0.14	3.37^{b} ± 0.08	16.32^{a} ± 0.51	6.01^{b} ± 0.21
GTF	2	10.20^{b} ± 0.17	3.75^{b} ± 0.21	16.10^{a} ± 0.79	6.93^{b} ± 0.22
BF	2	11.30^{a} ± 0.12	6.41^{a} ± 0.16	16.95^{a} ± 0.25	12.85^{a} ± 0.85
Önem seviyesi		**	**	-	**



Şekil 4.33. Farklı pişirme teknikleri kullanılarak üretilen ekşi hamur ekmeklerinin içine kıyasla kabuktaki aminoasit azalma oranları

4.7.1.10. Farklı pişirme tekniklerinin ekşi hamur ekmeklerinin aroma bileşenleri üzerine etkisi

Farklı pişirme teknikleri kullanılarak üretilen ekşi hamur ekmeklerinde tespit edilen aroma bileşenleri Çizelge 4.61'de verilmiştir.

EKF ortamında pişirilen ekmeklerde toplamda 79, GTF ortamında pişirilen ekmeklerde toplamda 85 ve BF ortamında pişirilen ekmeklerde ise toplamda 66 farklı aroma bileşeni tespit edilmiştir. Ekmek üretimi sırasında oluşan aromatik bileşenler, ekmeklerin tüketiciler tarafından kabulünü belirleyen en önemli özelliklerden biridir. Ekmek üretiminde, laktik asit bakterilerinin ve özellikle mayaların metabolik aktiviteleri (Liu vd. 2018b) ve pişirme sırasında meydana gelen Maillard reaksiyonu ve karamelizasyon tepkimeleri (Purlis 2010; Van Boekel 2006; Vanin vd. 2009) ekmeklerin aromatik bileşen profilini büyük ölçüde belirlemektedir. Bu nedenle, EKF ve GTF ekmeklerinde pişirme işlemi sırasında gerçekleşen Maillard reaksiyonu ile birlikte daha fazla sayıda aromatik bileşen oluştuğu değerlendirilmiş, bu aromatik bileşenlerin sayısının da kabuklarda genel olarak ekmek içlerine göre daha fazla olduğu belirlenmiştir. Maillard reaksiyonu sonucunda oluşan 3-furaldehit, 2-furanmetanol ve furan 2-pentil gibi furan bileşikleri ve ekmeklere kızarmış ekmek kokusunu kazandıran bileşiklerden biri olan 2-okzopridin bileşiği BF ekmeklerinde tespit edilemezken, EKF ve GTF ekmeklerinin kabuklarında yoğun olarak tespit edilmiştir.

Farklı mikroorganizma türleri (maya, laktik asit bakterisi ve asetik asit bakterisi) ile elde edilen ekşi hamurlar kullanılarak üretilen buharda pişirilmiş ekşi hamur ekmeklerinde yapılan bir çalışmada aroma bileşeni olarak feniletil alkol, 2-hekzil-1-oktanol ve 2-hekzil-1-dodekanol olmak üzere 3 alkol; hekzanal, heptanal, nonanal, decanal, benzaldehit, benzeneasetaldehit, dodekanal ve (E)-2-oktenal olmak üzere 8 aldehit; 5-metil-2-hekzanone, menton, geranil aseton, 6,10-dimetil-(Z)-5,9-undekadien-2-one, 1,7,7-trimetil-(1S)-bisiklo[2.2.1]heptan-2-one, (E,E)-3,5-oktadien-2-one ve 2-nonanone olmak üzere 7 keton; 3-amino bütanoik asit ve n-hekzadekanoik asit olmak üzere 2 asit; etil hekzanoat, oktanoik asit etil ester, etil okzamat, hekzanoik asit bütil ester, didodekil fitalat, bromoasetik asit 2-feniletil ester, fenetil format, sülfüroz asit dodekil 2-propil ester, sülfüroz asit 2-propil tridekil ester, sülfüroz asit 2-propil tetradekil ester, metoksiasetik asit 2-tetradekil ester, sülfüroz asit pentadekil 2-propil ester, sülfüroz asit oktadekil 2-propil ester, propanoik asit 1-(1,1-dimetiletil)-2-metil-1,3-propanedil ester ve 1,2-benzendikarboksilik asit bis (2-metilpropil) ester olmak üzere 16 ester; 2-pentil-furan olmak üzere 1 furan; naftalen, 2-propenil-benzen, anetol, azulen, indan ve 1,3,4,6,7,8-hekzahidro-4,6,6,7,8,8-hekzametil-siklopenta[g]-2-, benzopiran olmak üzere 6 diğer bileşik, toplamda ise 43 aroma bileşeni tespit edilmiştir (Li vd. 2022). Wu vd. (2012) ise spontane fermantasyon ile elde ettikleri ekşi hamurlar ve starter kültür olarak çeşitli *Lactobacillus* türlerini kullanarak hazırladıkları ekşi hamurlarla ürettikleri buharda pişirilmiş ekmeklerde toplamda 77 aroma bileşeni tespit etmiş ve ekmeklerde bu 77 aroma bileşeninden etanol ve 3-metil-1-bütanol gibi kısa zincirli alkollerin diğer bileşenlerden daha fazla bulunduklarını bildirmişlerdir. Araştırma kapsamında ise orta polariteye sahip bir kolon kullanıldığı için kısa zincirli bileşiklerin tespit edilememiş olması nedeniyle üretilen ekmeklerde bu alkollerin belirlenemediği değerlendirilmiştir.

Çizelge 4.61. Farklı pişirme teknikleri kullanılarak üretilen ekşi hamur ekmeklerinde tespit edilen aroma bileşenleri

Bileşen RT (dk)	Aroma bileşeninin adı	Pişirme tekniği						Hesaplanan Kovats indeksi	NIST Kovats indeksi
		EKF		GTF		BF			
		İç	Kabuk	İç	Kabuk	İç	Kabuk		
5.03	3-Furaldehit	+	+	+	+	TE	TE	935	801-862
5.55	2-Furanmetanol	+	+	+	+	TE	TE	996	819-891
6.38	Nonan	+	+	+	+	+	+	904	900
6.74	2-Okzopridin	TE	+	TE	+	TE	TE	1136	1094-1095
6.78	1,4-Hekzadien, 2,5-dimetil-	+	+	+	+	+	+	923	-
8.81	1-Deken	+	+	+	+	+	+	992	990
8.86	Furan, 2-pentil-	TE	+	TE	+	TE	TE	993	977-1010
9.03	Dekan	+	+	+	+	+	+	999	1000
9.97	1-Hekzanol, 2-etil-	+	+	+	+	+	+	1063	1026-1045
10.38	Benzenasetaldehit	TE	+	TE	+	TE	TE	1081	1002-1071
11.07	1-Oktanol	+	+	TE	+	+	+	1111	1039-1095
11.94	Dekan, 2,4,6-trimetil-	+	+	+	+	+	+	1108	1121
12.07	2-Dekanol	+	+	+	+	+	+	1102	1186
12.14	Metil nonil eter	+	+	TE	+	+	+	1104	1120-1126
12.45	Feniletil Alkol (Benzenetanol)	+	+	+	+	+	+	1172	1113-1141
13.59	3-Nonen-1-ol	+	+	+	+	+	+	1162	1152-1156
14.09	1-Nonanol	TE	+	TE	TE	+	+	1180	1169-1186
14.13	Bütanoik asit, 1-metilhekzil ester	TE	+	TE	TE	+	+	1173	1194-1230

(Devamı Arkada)

Çizelge 4.61'in devamı

14.16	Bütanoik asit, 1-metiloktil ester	TE	TE	+	TE	TE	TE	1181	-
14.16	2-Propenoik asit, 2-metil-, (tetrahidro-2-furanil)metil ester	+	TE	+	TE	TE	TE	1182	-
14.52	Oktanoik asit	+	+	+	+	+	+	1262	1170-1191
14.58	1-Dodeken	+	+	+	+	+	+	1187	1185-1192
14.81	Dodekan	+	+	+	+	+	+	1196	1200
15.47	Eter, hekzil pentil	+	+	+	+	+	+	1218	-
15.88	4-Vinilfenol	TE	+	TE	+	TE	TE	1322	1173-1247
16.00	2-Heptenal, 2-metil-	TE	TE	TE	+	TE	TE	1327	-
16.58	9-Deken-1-ol	+	+	+	+	+	+	1254	1243-1267
16.98	1-Trideken	TE	+	TE	+	TE	TE	1275	1283-1295
17.07	Nonanoik asit	+	+	+	+	+	+	1286	1270-1307
17.09	Undekan,3,9-dimetil-	+	+	+	+	+	+	1279	1238-1242
17.10	Tridekan, 6-metil-	+	TE	+	TE	TE	TE	1384	1316-1352
17.25	2-Hidroksi-izo-bütirofenon	TE	TE	TE	+	TE	TE	1277	1278
17.32	Undekan,2,4-dimetil-	+	+	+	+	TE	TE	1286	1160-1253
17.60	Tridekan	+	+	+	+	+	+	1296	1300
17.72	2,3,4-Trimetilbenzaldehit	+	+	+	+	+	+	1293	1277-1315
18.11	2,4-Dekadienal,-	+	+	+	+	+	+	1306	1293-1335
18.33	2,4-Dekadien-1-ol	+	+	+	+	+	+	1313	1295
19.03	Dodekan, 2-metil-	+	+	+	+	+	+	1343	1263-1268
19.34	4-Hidroksinonanoik asit, γ-lakton	+	+	+	+	+	+	1367	1360-1378

(Devamı Arkada)

Çizelge 4.61'in devamı

19.61	1-Undekanol	+	+	TE	+	+	+	1360	1347-1387
19.63	n-Dekanoik asit	+	+	+	+	+	+	1357	1362-1402
20.05	1-Tetradeken	+	+	+	+	+	+	1368	1389-1396
20.25	Tetradekan	+	+	+	+	+	+	1377	1400
20.35	p-Anisik asit (Benzoik asit, 4-metoksi-)	+	+	+	+	+	+	1519	1451-1453
20.41	Benzaldehit, 3-hidroksi-4-metoksi-	TE	TE	+	TE	TE	TE	1521	1401-1468
22.18	1-Dodekanol	+	+	+	+	+	+	1460	1469-1480
23.15	Bütil hidroksitoluen	+	+	+	+	+	+	1511	1509-1533
23.23	2,4-Di-tert-bütilfenol	+	+	+	+	+	+	1516	1513-1525
24.25	Pentadekan,2-metil-	+	+	+	+	+	+	1555	1561-1569
24.57	Dodekanoik asit	+	+	+	+	+	TE	1545	1549-1576
24.97	1-Hekzadeken	+	+	+	+	+	+	1588	1587-1593
25.14	Hekzadekan	+	+	+	+	+	+	1595	1600
25.55	Tetradekan, 2,6,10-trimetil-	TE	TE	+	TE	TE	TE	1609	1533-1557
25.64	Fenol, 3,4,5-trimetoksi-	+	+	+	+	+	+	1592	1599-1614
25.86	Benzofenon	+	+	+	+	TE	TE	1571	1621-1664
26.92	1-Heptadeken	+	+	+	+	+	+	1672	1692-1700
27.41	Heptadekan	+	+	+	+	+	+	1695	1700
28.50	Oktanal, 2-(fenilmetilen)-	+	+	+	+	+	+	1737	1726-1750
28.68	Metanon, (4-metilfenil)fenil-	+	+	+	+	TE	TE	1769	1694
28.78	Triptofol (İndoletanol)	TE	TE	+	+	TE	TE	1666	1750

(Devamı Arkada)

Çizelge 4.61'in devamı

28.86	Tetradekanoik asit	+	+	+	+	+	+	1778	1750-1798
29.20	Heptadekan, 2-metil-	TE	TE	+	TE	TE	TE	1777	1760-1766
29.37	n-Pentadekanol	TE	TE	+	TE	TE	TE	1774	1749-1789
29.41	1-Oktadeken	+	+	+	+	+	+	1788	1788-1795
29.51	Pentadekanoik asit, etil ester	+	+	+	+	+	+	1793	1874-1897
29.54	Oktadekan	+	+	+	+	+	+	1794	1800
30.12	İzopropil miristat	TE	+	+	+	+	+	1821	1812-1835
30.90	Pentadekanoik asit	+	+	+	+	+	+	1838	1860-1881
31.36	Etanon,2,2-dimetoksi-1,2-difenil-	TE	TE	TE	TE	TE	+	1870	1874
31.6	Nonadekan	+	+	+	+	+	+	1895	1900
32.14	Hekzadekanoik asit, metil ester	TE	+	TE	+	+	+	1916	1894-1939
32.65	Palmitoleik asit	TE	+	TE	+	TE	TE	1928	1929-1958
32.81	Oktadekan, 2-metil-	TE	TE	TE	+	TE	TE	1957	1860-1887
33.02	n-Hekzadekanoik asit	+	+	+	+	+	+	1944	1917-2003
33.47	Hekzadekanoik asit, etil ester	+	+	+	+	+	+	1986	1978-1997
33.55	Eikosan	+	+	+	+	+	+	1994	2000
34.39	9-Oktadekenoik asit	TE	+	TE	+	TE	TE	2032	2123-2143
35.14	1-Oktadekanol	TE	TE	TE	TE	+	+	2068	2081-2090
35.35	9,12-Oktadekadienoik asit, metil ester	+	+	+	+	+	+	2087	2081-2099
35.93	Heneikosan	+	+	+	+	+	+	2124	2100
36.12	9,12-Oktadekadienoik asit	+	+	+	+	+	+	2117	2095-2179

(Devamı Arkada)

Çizelge 4.61'in devamı

36.58	Linoleik asit etil ester	+	TE	+	TE	+	+	2157	2144-2177
36.69	9-Oktadekenoik asit etil ester	+	+	+	TE	+	+	2164	2174
36.78	9,17-Oktadekadienal	TE	+	+	+	TE	TE	2149	2297
38.48	Linoelaidik asit	+	TE	TE	TE	+	+	2232	-
38.93	Oktadekanoik asit	+	+	+	+	+	+	2254	2161-2188
42.38	Hekzadekanoik asit, 2-hidroksi-1-(hidroksimetil)etil ester	+	+	+	+	+	+	2448	2498-2519
45.46	9,12-Oktadekadienoik asit, 2-hidroksi-1-(hidroksimetil)etil ester (Linolein)	+	+	+	+	+	+	2657	2706
45.58	9-Oktadekenoik asit, 2,3-dihidroksipropil ester	+	+	+	+	+	+	2663	2714
46.03	Oktadekanoik asit, 2-hidroksi-1-(hidroksimetil)etil ester	+	+	+	+	+	+	2688	-

RT: Alıkonma süresi (Retention time, dk), TE: Tespit edilemedi, "-" NIST veritabanında bulunamayan Kovats indeksi değeri

4.7.1.11.Farklı pişirme tekniklerinin ekşi hamur ekmeklerinin tahmini glisemik indeks parametreleri üzerine etkisi

Farklı pişirme teknikleri kullanılarak üretilen ekşi hamur ekmeklerinin C_∞, k, HI ve tGI değerlerindeki değişime ait I. ve II. tekerrür verileri Çizelge 4.62'de, bu verilere ait varyans analizi sonuçları Çizelge 4.63'te ve varyasyon kaynaklarının ortalamalarına ait Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları Çizelge 4.64'te verilmiştir.

Çizelge 4.62. Farklı pişirme teknikleri kullanılarak üretilen ekşi hamur ekmeklerinin C_∞, k, HI ve tGI değerlerindeki değişime ait I. ve II. tekerrür verileri

Pişirme tekniği	tGI Parametreleri			
	C_∞	k	HI	tGI
EKF	64.76	0.03	84.96	60.39
	65.87	0.04	94.80	64.16
GTF	58.92	0.04	84.06	60.04
	70.26	0.02	88.48	61.74
BF	69.85	0.10	108.45	69.40
	70.63	0.10	111.30	70.50

Çizelge 4.63. Farklı pişirme teknikleri kullanılarak üretilen ekşi hamur ekmeklerinin C_∞, k, HI ve tGI değerlerindeki değişime ait varyans analizi sonuçları

VK	SD	tGI Parametreleri							
		C_∞		k		HI		tGI	
		KO	F	KO	F	KO	F	KO	F
PT	2	18.90	0.87	0.00	36.60**	323.34	15.58*	47.64	15.61*
Hata	3	21.74		0.00		20.75		3.05	

VK: Varyasyon kaynağı, SD: Serbestlik derecesi, KO: Kareler ortalaması, PT: Pişirme tekniği, ** $p<0.01$, * $0.01<p<0.05$, - $p>0.05$

Çizelge 4.64. Farklı pişirme teknikleri kullanılarak üretilen ekşi hamur ekmeklerinin C_∞, k, HI ve tGI değerlerindeki değişime ait Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları (± standart hata)

Pişirme tekniği	N	tGI Parametreleri			
		C_∞	k	HI	tGI
EKF	2	$65.32^a \pm 0.56$	$0.04^b \pm 0.01$	$89.88^b \pm 4.92$	$62.28^b \pm 1.89$
GTF	2	$64.59^a \pm 5.67$	$0.03^b \pm 0.01$	$86.27^b \pm 2.21$	$60.89^b \pm 0.85$
BF	2	$70.24^a \pm 0.39$	$0.10^a \pm 0.00$	$109.88^a \pm 1.43$	$69.95^a \pm 0.55$
Önem seviyesi		-	**	*	*

Varyans analizi sonuçlarına göre; kullanılan pişirme tekniğinin, üretilen ekşi hamur ekmeklerinin tahmini glisemik indeks parametrelerinden k (p<0.01), HI ve tGI (p<0.05) değerleri üzerine istatistiksel olarak önemli bir etkisinin olduğu; C_∞ değeri üzerine ise etkisinin istatistiksel olarak önemsiz (p>0.05) olduğu tespit edilmiştir.

Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre; BF ortamında üretilen ekşi hamur ekmeklerine ait k, HI ve tGI değerlerinin EKF ve GTF ortamında üretilen ekmeklerin değerlerinden daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Bu durumun EKF ve GTF ekmeklerinin hamurlarında pişme öncesi var olan glikozun pişme sırasında Maillard reaksiyonuna katılmasından kaynaklandığı, bu nedenle de bu ekmeklerin tGI değerlerinin daha düşük olarak tespit edildiği değerlendirilmiştir. BF ekmeklerinin pişirildiği ortamda ise Maillard reaksiyonunun gerçekleşmesine neden olabilecek koşullar (kuru sıcaklık, orta a_w, yüksek O_2) ortadan kaldırılmış olduğu için bu ekmeklerde glikoz içeriğinin daha fazla olduğu, bu durumun da BF ekmeklerinin tGI değerlerini yükseltme yönünde etki gösterdiği düşünülmüştür.

tGI değeri 70 ve üzerinde olan gıdalar yüksek, 56-69 arasında olan gıdalar orta, 55 ve altında olan gıdalar ise düşük glisemik indeksli gıdalar olarak değerlendirilmektedir (Schakel vd. 2008). Yapılan sınıflandırmaya göre; her ne kadar BF ekmeklerinin tGI değerleri EKF ve GTF ekmeklerine göre daha yüksek olarak belirlenmiş olsa da glisemik indeks sınıflandırması açısından farklı pişirme teknikleriyle üretilen ekmeklerin hepsinin orta glisemik indekse sahip gıdalar grubunda yer aldığı tespit edilmiştir. Zhu (2019) buharda pişirilmiş ekmeklerin diğer ekmeklere göre daha yüksek glisemik indekse sahip olma eğiliminde olduğunu ve bu durumun da uygulanan buhar ile birlikte nişastanın jelatinize olma derecesinin değişmesiyle ile ilgili olduğunu bildirmiştir.

4.7.1.12.Farklı pişirme teknikleri kullanılarak üretilen ekmeklerin genel duyusal analizi

EKF ve GTF pişirme teknikleri kullanılarak üretilen kontrol ekmeklerine kıyasla BF pişirme tekniği ile üretilen ekmeklerin genel duyusal analiz parametrelerine ait I. ve II. tekerrür verileri ve genel değerlendirme sonuçları Çizelge 4.65'te verilmiştir. Çizelgedeki her bir tekerrür verisi 12 panelistin duyusal değerlendirmede verdikleri puanların ortalamasını ifade etmektedir.

Yapılan genel duyusal analizde buharla pişirilmiş ekşi hamur ekmeklerinin görünüş, tekstürel ve aromatik özellikleri ile birlikte genel beğeni durumu, kontrol ekmekleri olan EKF ve GTF kullanılarak üretilen ekşi hamur ekmekleri ile kıyaslanmış ve buharla pişirilmiş ekşi hamur ekmekleri panelistler tarafından görünüş özellikleri için ortalama 4.23, tekstürel özellikleri için ortalama 4.38, aromatik özellikleri için ortalama 4.51 ve genel beğeni durumu için ise ortalama 4.42 puan ile değerlendirilmiştir. Tüm duyusal özellikler açısından genel bir değerlendirme yapıldığında ise buharla pişirilmiş ekşi hamur ekmeklerinin 6 puanlık skalaya göre ortalama 4.37 puan alarak genel anlamda beğenildiği (5-beğendim, 4-kısmen beğendim) sonucuna varılmıştır.

Çizelge 4.65. EKF ve GTF pişirme teknikleri kullanılarak üretilen kontrol ekmeklerine kıyasla BF pişirme tekniği ile üretilen ekmeklerin genel duyusal analiz parametrelerine ait I. ve II. tekerrür verileri ve genel değerlendirme sonuçları

BF pişirme tekniği ile üretilen ekmeklere ait genel duyusal özellikler							
Görünüş özellikleri		**Tekstürel özellikler**		**Aromatik özellikler**		**Genel**	
Ağırlık-hacim uyumu	4.92 5.00	Nemlilik	4.92 4.33	Koku	4.83 4.92	Genel beğeni	4.25 4.58
Kabuk/iç oranı	3.67 4.33	Yumuşaklık	5.33 4.58	Tat ve aroma	4.33 4.42		
Kabuk rengi	2.67 2.83	Sertlik	4.25 3.58	Ekşilik	4.17 4.42		
İç rengi	4.75 4.67	Yaylılık	4.08 4.00	Ağızda kalan his	4.42 4.58		
Gözenek yapısı	4.92 4.58	Yapışkanlık	4.33 4.08				
		İç ufalanması	4.50 4.00				
		Çiğneme kolaylığı	4.42 4.50				
		Yutulma kolaylığı	4.67 4.42				
Ortalama	**4.23**	**Ortalama**	**4.38**	**Ortalama**	**4.51**	**Ortalama**	**4.42**
Genel ortalama: 4.37							

4.7.2. Farklı pişirme tekniklerinin ekşi hamur ekmeklerinin depolama boyunca takip edilen bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri üzerine etkilerinin incelenmesi

4.7.2.1. Farklı pişirme tekniklerinin ve farklı sıcaklıkta ve sürede depolama işleminin ekşi hamur ekmeklerinin DSC analiz parametreleri üzerine etkisi

Farklı pişirme teknikleri kullanılarak üretilen ve farklı sıcaklıkta ve sürede depolanan ekşi hamur ekmeklerinin DSC analiz parametrelerinin ortalamalarına ait veriler Çizelge 4.66'da verilmiştir.

Çizelge 4.66. Farklı pişirme teknikleri kullanılarak üretilen ve farklı sıcaklıkta ve sürede depolanan ekşi hamur ekmeklerinin DSC analiz parametrelerinin ortalamalarına ait veriler

DG (gün)	DS (°C)	Pişirme tekniği	T_m	T_g
1.	4	EKF	156.68	133.43
		GTF	153.25	132.58
		BF	149.76	-
	25	EKF	134.97	-
		GTF	150.55	-
		BF	145.50	-
3.	4	EKF	146.00	136.98
		GTF	136.46	130.08
		BF	138.69	128.69
	25	EKF	139.92	130.03
		GTF	138.81	120.97
		BF	141.23	130.15
7.	4	EKF	152.31	135.14
		GTF	149.58	133.41
		BF	136.12	128.00
	25	EKF	144.19	133.29
		GTF	147.69	117.93
		BF	149.37	131.20

DG: Depolama günü, DS: Depolama sıcaklığı, T_m: Erime sıcaklığı, T_g: Camsı geçiş sıcaklığı

Elde edilen verilere göre, analiz günlerinde tespit edilen T_m değerlerinin 4°C'de depolanan örneklerde ortalama olarak daha yüksek olduğu belirlenmiş; 1. gün için yalnızca EKF ve GTF ortamında üretilerek 4°C'de depolanan ekmeklerde, 3. ve 7. gün için ise 4°C ve 25°C'de depolanan EKF, GTF ve BF ekmeklerinin üçü için de T_g tespit edilebilmiştir. Bu durum; 4°C'de yapılan depolamanın 1. gününde BF ekmeklerinin iç kısmındaki jelatinize nişastanın yeniden organize olarak kristalleşme olayının henüz yeterince gerçekleşmemiş olmasıyla ilişkilendirilmiş ve retrogradasyona bağlı olarak

gerçekleşen bayatlama olayının da bu sebeple iç kısımda yeterince gerçekleşmemiş olabileceği şeklinde yorumlanmıştır. T_m ve T_g değerlerinin 4°C'de depolanan BF ekmeklerinde genel olarak daha düşük seyretmesi nedeniyle, BF ekmeklerinin depolama süresi sonunda tazeliklerini EKF ve GTF ekmeklerine göre nispeten daha fazla koruyabildikleri değerlendirilmiştir. Ekmeklerde yapılan DSC analizi ile erime entalpisi (ΔH) değerleri, analizden kaynaklanan nedenlerle sağlıklı bir şekilde ölçülemediği için tüm ekmeklerin bayatlama ile ilgili ileri değerlendirmeleri TPA ve kısa duyusal analiz verileri üzerinden yapılmıştır.

4.7.2.2. Farklı pişirme tekniklerinin ve farklı sıcaklıkta ve sürede depolama işleminin ekşi hamur ekmeklerinin TPA parametreleri üzerine etkisi

Farklı pişirme teknikleri kullanılarak üretilen ve farklı sıcaklıkta ve sürede depolanan ekşi hamur ekmeklerinin TPA parametrelerinin değerlerindeki değişime ait I. ve II. tekerrür verileri Çizelge 4.67'de, bu verilere ait varyans analizi sonuçları Çizelge 4.68'de ve varyasyon kaynaklarının ortalamalarına ait Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları Çizelge 4.69'da verilmiştir.

Varyans analizi sonuçlarına göre; depolama gününün, üretilen ekşi hamur ekmeklerinin tüm TPA parametreleri üzerine ($p<0.05$; $p<0.01$); depolama sıcaklığının, üretilen ekşi hamur ekmeklerinin sakızımslık ve çiğnenebilirlik değerleri ($p>0.05$) hariç diğer TPA parametreleri üzerine ($p<0.01$) ve pişirme tekniğinin ise kohezyon ($p>0.05$) hariç diğer TPA paramereleri üzerine ($p<0.01$) istatistiksel olarak önemli bir etkisinin olduğu tespit edilmiştir.

Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre; depolama süresi ilerledikçe ekmeklerin genel olarak sertlik değerlerinin de arttığı, bu artışın EKF ve GTF ekmeklerinde üretim günü ölçülen ortalama sertlik değerine (4754.51 g) göre yaklaşık 2.10 kat, BF ekmeklerinde (3539.50 g) ise yaklaşık 1.70 kat olduğu ve depolama sonunda sertlik değeri en düşük olan ekmek örneğinin BF ortamında pişirilen ve 25°C'de depolanan ekmekler olduğu tespit edilmiştir. Bu durum, bayatlamaya neden olan retrogradasyon olayının BF ekmeklerinde daha yavaş ilerlemiş olabileceği şeklinde yorumlanmıştır. Sertliğin artmasıyla birlikte farklı pişirme teknikleriyle üretilen ekmeklerin çiğnenebilmesi için harcanması gereken enerji miktarı da arttığından ekmeklerin çiğnenebilirlik değerlerinde de artış belirlenmiştir. Ancak yine BF ortamında üretilen ekmeklerin depolama süresi sonunda daha yumuşak olmasına bağlı olarak çiğnenebilmeleri için gerekli olan enerjinin de EKF ve GTF ekmeklerine göre yaklaşık yarı yarıya daha az olduğu tespit edilmiştir.

BF ortamında pişirilen ekmeklerde üretim günü yapılan TPA analizinde 0.73 olarak belirlenen esneklik değeri depolama süresinde ortalama 0.79'a yükselerek yaklaşık %8 oranında bir artış gösterirken EKF ve GTF ekmeklerinde başlangıçta 0.85 olan bu değer depolama süresinde yaklaşık %2 artarak ortalama 0.87'ye yükselmiştir. Ayrıca 25°C'de depolanan ekmeklerin depolama süresinde daha esnek kaldıkları belirlenmiştir. Ekmeklerin kohezyon ve elastikiyet değerleri de depolama süresi ilerledikçe düşüş göstermiş, depolama sıcaklığı 25°C olan ekmeklerde bu değerler daha yüksek olarak belirlenmiştir. Pişirme tekniği açısından ekmeklerin kohezyon değerleri arasında bir farklılık oluşmazken, elastikiyet değerinin BF ekmeklerinde EKF ve GTF ekmeklerine göre daha düşük olduğu tespit edilmiştir.

Ekmek kurumaddesinin yaklaşık %85 kadarını oluşturan nişasta, ekmeğin ana bileşeni olarak kabul edilmektedir ve ekmeğin pişirilmesi sırasında meydana gelen nişasta jelatinizasyonuyla önemli bir değişikliğe uğramaktadır. Bu sırada nişasta granülleri şişerek kısmen çözünmeye başlamakta, ekmeğin temel yapısal bileşeni gibi davranmaktadır. Pişirme işlemiyle ekmekte jelatinize olan nişasta, ekmeğin soğutulmasıyla yeniden düzenlenmeye ve kristalize olmaya başlamaktadır. Bu olaya nişasta retrogradasyonu adı verilmekte ve ekmeğin bayatlamasından bu olayın sorumlu olduğu değerlendirilmektedir. Depolama sırasında bayatlama ile birlikte nişastanın kristal yapısındaki değişiklikleri de içeren karmaşık bir dizi olay meydana gelse de, ekmek bayatlaması genel olarak iç kısımdaki sertleşme ile ilgilidir (Arendt vd. 2007). Ekmek mayası ve ekşi hamur kullanılarak üretilen ekmeklerin karşılaştırıldığı bir çalışmada ekşi hamur ekmeklerinde başlangıçta ortalama 729.10 g olan ekmek içi sertlik değerinin depolamanın 6. günü sonunda 5031.27 g değerine, 16. günü sonunda ise 5975.54 g değerine yükseldiği tespit edimiştir (Katsi vd. 2021). Tip 1 ekşi hamur kullanılarak buharda pişirme işlemiyle üretilen ekşi hamur ekmeklerinin incelendiği bir çalışmada ise; 0. saatte yaklaşık 1600 g olan ekmek içi sertlik değerinin depolama süresince yükselerek 96. saat itibariyle yaklaşık 7000 g düzeyine ulaştığı, çiğnenebilirlik değerinin de sertlik değeri ile benzer şekilde değişim göstererek depolama süresi sonunda başlangıca göre çok daha yüksek, elastikiyet değerinin ise 96. saatte 0. saate göre daha düşük olduğu tespit edilmiştir (Wang vd. 2020).

Çizelge 4.67. Farklı pişirme teknikleri kullanılarak üretilen ve farklı sıcaklıkta ve sürede depolanan ekşi hamur ekmeklerinin TPA parametrelerinin değerlerindeki değişime ait I. ve II. tekerrür verileri

DG (gün)	DS (°C)	PT	TPA parametreleri					
			Sertlik (g)	Esneklik	Kohezyon	Sakızımsılık	Çiğnenebilirlik (g)	Elastikiyet
1.	4	EKF	10051.52	0.88	0.52	5244.59	4601.76	0.22
			8977.02	0.88	0.54	4850.98	4290.28	0.23
		GTF	12711.04	0.87	0.50	6412.88	5560.08	0.20
			9921.32	0.86	0.53	5303.44	4562.31	0.22
		BF	8122.10	0.77	0.52	4196.67	3217.02	0.18
			5881.61	0.78	0.54	3202.91	2515.36	0.19
	25	EKF	9668.18	0.89	0.59	5656.68	5045.87	0.27
			8294.93	0.87	0.59	4878.77	4265.85	0.26
		GTF	9772.35	0.88	0.58	5638.71	4956.30	0.25
			7893.03	0.90	0.61	4808.17	4318.95	0.28
		BF	5583.03	0.82	0.59	3290.36	2675.33	0.22
			4738.22	0.80	0.59	2779.76	2211.35	0.21
2.	4	EKF	15245.21	0.87	0.47	7180.29	6222.23	0.20
			12447.10	0.89	0.50	6209.51	5526.19	0.21
		GTF	14721.98	0.86	0.46	6769.73	5829.43	0.19
			12522.23	0.87	0.52	6527.90	5675.52	0.22
		BF	7958.88	0.80	0.49	3879.75	3081.45	0.17
			9305.58	0.79	0.49	4560.91	3616.11	0.17
	25	EKF	11355.14	0.89	0.53	6029.74	5370.11	0.23
			10382.44	0.88	0.54	5601.45	4923.96	0.23
		GTF	11152.50	0.86	0.52	5748.47	4943.56	0.22
			8714.49	0.89	0.56	4883.65	4344.58	0.25
		BF	6608.27	0.79	0.55	3639.01	2886.85	0.19
			6094.08	0.81	0.56	3403.72	2752.74	0.20

(Devamı Arkada)

Çizelge 4.67'nin devamı

3.	4	EKF	11529.53	0.78	0.50	5613.65	4473.75	0.22
			13411.65	0.87	0.46	6112.38	5301.50	0.19
		GTF	15144.72	0.86	0.45	6840.49	5859.70	0.18
			11978.73	0.87	0.49	5817.97	5080.23	0.20
		BF	7429.59	0.75	0.52	3861.32	2931.36	0.20
			9844.87	0.80	0.49	4795.05	3857.45	0.17
	25	EKF	14622.36	0.87	0.50	7386.42	6400.36	0.21
			13033.97	0.86	0.50	6517.80	5599.51	0.21
		GTF	15161.16	0.85	0.50	7631.11	6500.03	0.21
			10516.86	0.89	0.53	5595.21	4950.20	0.23
		BF	8102.44	0.79	0.52	4199.04	3321.34	0.18
			8432.96	0.80	0.53	4457.81	3572.30	0.19
6.	4	EKF	18819.01	0.86	0.45	8543.35	7311.99	0.19
			20165.32	0.87	0.46	9207.82	7996.76	0.19
		GTF	20153.50	0.87	0.48	9594.32	8321.56	0.19
			17316.18	0.86	0.47	8205.07	7026.65	0.20
		BF	11580.12	0.78	0.45	5175.38	4025.40	0.15
			13814.35	0.77	0.45	6154.36	4741.22	0.16
	25	EKF	17203.01	0.86	0.48	8183.11	7031.89	0.20
			16113.99	0.87	0.49	7834.87	6829.71	0.21
		GTF	21065.91	0.87	0.49	10220.13	8862.18	0.20
			15447.70	0.87	0.51	7809.86	6807.08	0.22
		BF	9906.48	0.79	0.48	4782.05	3775.64	0.17
			11167.37	0.81	0.50	5620.16	4548.04	0.18
7.	4	EKF	22527.63	0.86	0.45	10219.17	8789.41	0.19
			21895.80	0.84	0.44	9716.78	8159.14	0.18
		GTF	23401.71	0.86	0.44	10358.61	8901.42	0.18
			17302.39	0.86	0.48	8347.79	7145.99	0.20
		BF	16826.95	0.73	0.44	7325.65	5356.70	0.15
			15693.54	0.77	0.46	7293.89	5622.03	0.17
	25	EKF	16654.93	0.87	0.48	7988.47	6960.13	0.21
			20981.21	0.87	0.47	9880.11	8528.46	0.20
		GTF	24864.97	0.86	0.48	12077.19	10375.64	0.21
			18257.36	0.87	0.50	9159.41	7977.47	0.21
		BF	13252.61	0.81	0.51	6771.48	5460.20	0.19
			11469.34	0.82	0.51	5790.77	4724.18	0.18

DG: Depolama günü, DS: Depolama sıcaklığı, PT: Pişirme tekniği

Çizelge 4.68. Farklı pişirme teknikleri kullanılarak üretilen ve farklı sıcaklıkta ve sürede depolanan ekşi hamur ekmeklerinin TPA parametrelerinin değerlerindeki değişime ait varyans analizi sonuçları

VK	SD	TPA parametreleri											
		Sertlik		Esneklik		Kohezyon		Sakızımsılık		Çiğnenebilirlik		Elastikiyet	
		KO	F	KO	F	KO	F	KO	F	KO	F	KO	F
DG	4	207593083.40	60.22**	0.00	2.68*	0.01	48.97**	34165616.30	53.55**	23096017.73	48.19**	0.00	21.18**
DS	1	41983751.00	12.18**	0.00	15.51**	0.03	97.13**	1428855.10	2.24	365069.64	0.76	0.01	57.51**
PT	2	180146537.90	52.25**	0.04	137.10**	0.00	2.21	42171288.30	66.10**	43455875.36	90.67**	0.01	46.01**
Hata	52	3447521.00		0.00		0.00		637995.40		479267.20		0.00	

VK: Varyasyon kaynağı, SD: Serbestlik derecesi, KO: Kareler ortalaması, DG: Depolama günü, DS: Depolama sıcaklığı, PT: Pişirme tekniği, ** $p<0.01$, * $0.01<p<0.05$, - $p>0.05$

Çizelge 4.69. Farklı pişirme teknikleri kullanılarak üretilen ve farklı sıcaklıkta ve sürede depolanan ekşi hamur ekmeklerinin TPA parametrelerinin değerlerindeki değişime ait Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları (± standart hata)

Depolama günü (gün)	N	TPA parametreleri					
		Sertlik (g)	Esneklik	Kohezyon	Sakızımslık	Çiğnenebilirlik (g)	Elastikiyet
1.	12	8467.86^{d} ± 648.00	0.85^{a} ± 0.01	0.56^{a} ± 0.01	4688.66^{d} ± 321.28	4018.37^{d} ± 315.56	0.23^{a} ± 0.01
2.	12	10542.33^{c} ± 848.36	0.85^{a} ± 0.01	0.52^{b} ± 0.01	5369.51^{c} ± 368.13	4597.73^{c} ± 355.27	0.21^{b} ± 0.01
3.	12	11600.74^{c} ± 796.67	0.83^{b} ± 0.01	0.50^{c} ± 0.01	5735.69^{c} ± 355.96	4820.64^{c} ± 345.33	0.20^{b} ± 0.01
6.	12	16062.75^{b} ± 1088.72	0.84^{ba} ± 0.01	0.48^{d} ± 0.01	7610.87^{b} ± 514.56	6439.84^{b} ± 499.75	0.19^{c} ± 0.01
7.	12	18594.04^{a} ± 1202.53	0.84b^{a} ± 0.01	0.47^{d} ± 0.01	8744.11^{a} ± 520.47	7333.40^{a} ± 505.17	0.19^{c} ± 0.01
Önem seviyesi		**	*	**	**	**	**
Depolama sıcaklığı (°C)							
4	30	13890.04^{a} ± 869.60	0.83^{b} ± 0.01	0.48^{b} ± 0.01	6584.09^{a} ± 361.97	5520.00^{a} ± 326.56	0.19^{b} ± 0.00
25	30	12217.04^{b} ± 904.67	0.85^{a} ± 0.01	0.53^{a} ± 0.01	6275.45^{a} ± 401.42	5363.99^{a} ± 357.90	0.21^{a} ± 0.00
Önem seviyesi		**	**	**	-	-	**
Pişirme tekniği							
EKF	20	14699.00^{a} ± 1002.38	0.87^{a} ± 0.01	0.50^{a} ± 0.01	7142.80^{a} ± 385.98	6181.44^{a} ± 325.75	0.21^{a} ± 0.01
GTF	20	14901.01^{a} ± 1089.68	0.87^{a} ± 0.00	0.51^{a} ± 0.01	7387.51^{a} ± 458.08	6399.94^{a} ± 388.18	0.21^{a} ± 0.01
BF	20	9590.62^{b} ± 758.47	0.79^{b} ± 0.01	0.51^{a} ± 0.01	4759.00^{b} ± 303.13	3744.60^{b} ± 229.92	0.18^{b} ± 0.00
Önem seviyesi		**	**	-	**	**	**

4.7.2.3. Farklı pişirme tekniklerinin ve farklı sıcaklıkta ve sürede depolama işleminin ekşi hamur ekmeklerinin kurumadde ve su aktivitesi değerleri üzerine etkisi

Farklı pişirme teknikleri kullanılarak üretilen ve farklı sıcaklıkta ve sürede depolanan ekşi hamur ekmeklerinin kurumadde ve su aktivitesi değerlerindeki değişime ait I. ve II. tekerrür verileri Çizelge 4.70'te, bu verilere ait varyans analizi sonuçları Çizelge 4.71'de ve varyasyon kaynaklarının ortalamalarına ait Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları Çizelge 4.72'de verilmiştir.

Çizelge 4.70. Farklı pişirme teknikleri kullanılarak üretilen ve farklı sıcaklıkta ve sürede depolanan ekşi hamur ekmeklerinin kurumadde ve su aktivitesi değerlerindeki değişime ait I. ve II. tekerrür verileri

DG (gün)	DS (°C)	PT	Kurumadde içeriği (%)	Su aktivitesi
1.	4	EKF	64.39	0.91
			65.57	0.90
		GTF	62.54	0.92
			61.55	0.91
		BF	62.88	0.91
			62.20	0.92
	25	EKF	66.81	0.92
			63.35	0.89
		GTF	64.69	0.92
			65.66	0.91
		BF	63.92	0.92
			65.09	0.92
2.	4	EKF	66.11	0.89
			65.62	0.92
		GTF	64.62	0.92
			65.28	0.91
		BF	63.93	0.92
			60.89	0.91
	25	EKF	65.80	0.90
			65.46	0.93
		GTF	65.43	0.92
			61.68	0.91
		BF	63.13	0.92
			62.91	0.92

(Devamı Arkada)

Çizelge 4.70'in devamı

3.	4	EKF	64.35	0.90
			64.20	0.91
		GTF	65.29	0.92
			63.88	0.92
		BF	65.14	0.91
			62.25	0.91
	25	EKF	65.16	0.91
			64.47	0.91
		GTF	65.55	0.91
			64.59	0.92
		BF	61.87	0.92
			64.98	0.91
6.	4	EKF	65.02	0.92
			65.41	0.91
		GTF	66.19	0.92
			64.61	0.91
		BF	65.20	0.93
			65.76	0.92
	25	EKF	64.61	0.92
			65.99	0.91
		GTF	66.09	0.92
			62.87	0.91
		BF	63.20	0.93
			64.54	0.92
7.	4	EKF	66.01	0.91
			66.83	0.91
		GTF	65.83	0.91
			65.24	0.91
		BF	64.37	0.93
			64.09	0.91
	25	EKF	63.78	0.91
			65.21	0.92
		GTF	67.56	0.91
			67.27	0.92
		BF	64.37	0.92
			65.49	0.92

DG: Depolama günü, DS: Depolama sıcaklığı, PT: Pişirme tekniği

Çizelge 4.71. Farklı pişirme teknikleri kullanılarak üretilen ve farklı sıcaklıkta ve sürede depolanan ekşi hamur ekmeklerinin kurumadde ve su aktivitesi değerlerindeki değişime ait varyans analizi sonuçları

VK	SD	Kurumadde		Su aktivitesi	
		KO	F	KO	F
DG	4	4.37	2.71*	0.00	1.20
DS	1	0.66	0.41	0.00	1.42
PT	2	10.41	6.44**	0.00	6.33**
Hata	52	1.62		0.00	

VK: Varyasyon kaynağı, SD: Serbestlik derecesi, KO: Kareler ortalaması, DG: Depolama günü, DS: Depolama sıcaklığı, PT: Pişirme tekniği, ** $p<0.01$, * $0.01<p<0.05$, - $p>0.05$

Çizelge 4.72. Farklı pişirme teknikleri kullanılarak üretilen ve farklı sıcaklıkta ve sürede depolanan ekşi hamur ekmeklerinin kurumadde ve su aktivitesi değerlerindeki değişime ait Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları (± standart hata)

Depolama günü (gün)	N	Kurumadde (%)	Su aktivitesi
1.	12	64.05^{b} ± 0.46	0.91^{a} ± 0.00
2.	12	64.24^{b} ± 0.50	0.91^{a} ± 0.00
3.	12	64.31^{b} ± 0.34	0.91^{a} ± 0.00
6.	12	64.96^{ba} ± 0.31	0.92^{a} ± 0.00
7.	12	65.50^{a} ± 0.36	0.92^{a} ± 0.00
Önem seviyesi		*	-
Depolama sıcaklığı (°C)			
4	30	64.51^{a} ± 0.27	0.91^{a} ± 0.00
25	30	64.72^{a} ± 0.26	0.92^{a} ± 0.00
Önem seviyesi		-	-
Pişirme tekniği			
EKF	20	65.21^{a} ± 0.21	0.91^{b} ± 0.00
GTF	20	64.82^{a} ± 0.37	0.92^{a} ± 0.00
BF	20	63.81^{b} ± 0.30	0.92^{a} ± 0.00
Önem seviyesi		**	**

Varyans analizi sonuçlarına göre; depolama gününün, üretilen ekşi hamur ekmeklerinin kurumadde içerikleri üzerine ($p<0.05$), pişirme tekniğinin ise bu ekmeklerin hem kurumadde içerikleri hem de su aktivitesi değerleri üzerine ($p<0.01$) istatistiksel olarak önemli bir etkisinin olduğu tespit edilmiştir. Depolama gününün, su aktivitesi üzerine ve depolama sıcaklığının da kurumadde içeriği ile su aktivitesi değerleri üzerine etkisinin istatistiksel olarak önemsiz ($p>0.05$) olduğu belirlenmiştir.

Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre; depolama süresi ilerledikçe depolamada gerçekleşen nem kaybına bağlı olarak ekmeklerin kurumadde içeriklerinin arttığı, üretim gününde %61.07 olan kurumadde içeriğinin depolama boyunca BF ekmeklerinde ortalama %63.81'e yükseldiği, EKF ve GTF ekmeklerinde ise üretim gününde ortalama %65.67 olan kurumadde içeriğinin depolama süresinde %65.02'ye düştüğü, dolayısıyla da depolama sonunda BF ekmeklerinin nem içeriğinin daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

Ekmeklerin su aktivitesi değerleri; depolama süresince çok fazla değişiklik göstermeyerek ortalama 0.91 olarak tespit edilmiş olup bu değerin GTF ve BF ekmeklerinde 0.92, EKF ekmeklerinde ise 0.91 olduğu belirlenmiştir.

4.7.2.4. Farklı pişirme tekniklerinin ve farklı sıcaklıkta ve sürede depolama işleminin ekşi hamur ekmeklerinin pH ve toplam titrasyon asitliği değerleri üzerine etkisi

Farklı pişirme teknikleri kullanılarak üretilen ve farklı sıcaklıkta ve sürede depolanan ekşi hamur ekmeklerinin pH ve TTA değerlerindeki değişime ait I. ve II. tekerrür verileri Çizelge 4.73'te, bu verilere ait varyans analizi sonuçları Çizelge 4.74'te ve varyasyon kaynaklarının ortalamalarına ait Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları Çizelge 4.75'te verilmiştir.

Varyans analizi sonuçlarına göre; depolama sıcaklığının, üretilen ekşi hamur ekmeklerinin pH değerleri üzerine (p<0.01), pişirme tekniğinin ise % laktik asit cinsinden TTA değerleri üzerine (p<0.05) istatistiksel olarak önemli bir etkisinin olduğu; depolama gününün pH ve TTA değerleri üzerine, depolama sıcaklığının TTA değerleri üzerine ve pişirme tekniğinin pH ve mL/10 g örnek cinsinden TTA değerleri üzerine etkisinin istatistiksel olarak önemsiz (p>0.05) olduğu belirlenmiştir.

Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre; depolama süresince ekmeklerin ortalama pH değerlerinin 4.28, % laktik asit cinsinden TTA değerlerinin %0.49 ve mL/10 g örnek cinsinden TTA değerlerinin ise 7.71 olarak belirlendiği, 4°C'de depolanan ekmeklerin 25°C'de depolanan ekmeklere göre pH değerinin daha düşük ve BF ekmeklerinin %0.50 olarak belirlenen % laktik asit cinsinden TTA değerinin EKF ve GTF ekmeklerinin ortalama TTA değerinden daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Depolama sıcaklığı 25°C iken 4°C'deki depolamaya göre ekmeklerdeki uçucu asitlerin daha fazla uzaklaşmasına bağlı olarak 25°C'de depolanan ekmeklerde pH değerinin daha yüksek olarak tespit edilmiş olabileceği değerlendirilmiştir.

Katsi vd. (2021) üretmiş oldukları ekşi hamur ekmeklerinin başlangıç pH ve TTA değerlerinin sırasıyla 5.70 ve 7.90 mL/10 g olduğunu, 18 günlük depolama süresi sonunda ise pH değerinin 5.50'ye düştüğünü TTA değerinin ise 8.70 mL/10 g değerine yükseldiğini bildirmiştir.

Çizelge 4.73. Farklı pişirme teknikleri kullanılarak üretilen ve farklı sıcaklıkta ve sürede depolanan ekşi hamur ekmeklerinin pH ve TTA değerlerindeki değişime ait I. ve II. tekerrür verileri

DG (gün)	DS (°C)	PT	pH	TTA (% Laktik asit)	TTA (mL/10 g örnek)
1.	4	EKF	4.28	0.44	7.00
			4.29	0.45	7.25
		GTF	4.27	0.47	7.13
			4.20	0.56	8.50
		BF	4.24	0.50	7.75
			4.21	0.59	9.00
	25	EKF	4.33	0.47	7.75
			4.38	0.50	7.75
		GTF	4.28	0.49	7.75
			4.36	0.50	8.00
		BF	4.30	0.49	7.63
			4.40	0.49	7.88
2.	4	EKF	4.26	0.46	7.38
			4.31	0.47	7.50
		GTF	4.30	0.46	7.25
			4.20	0.56	8.88
		BF	4.33	0.45	7.00
			4.27	0.55	8.25
	25	EKF	4.31	0.43	7.00
			4.38	0.48	7.75
		GTF	4.28	0.49	7.88
			4.34	0.53	8.00
		BF	4.23	0.50	7.75
			4.38	0.49	7.50

(Devamı Arkada)

Çizelge 4.73'ün devamı

3.	4	EKF	4.24	0.50	7.88
			4.31	0.46	7.25
		GTF	4.26	0.46	7.38
			4.22	0.54	8.38
		BF	4.35	0.44	7.00
			4.21	0.54	8.25
	25	EKF	4.28	0.48	7.63
			4.36	0.48	7.63
		GTF	4.27	0.45	7.13
			4.31	0.52	8.25
		BF	4.26	0.50	7.50
			4.30	0.54	8.50
6.	4	EKF	4.24	0.50	8.00
			4.27	0.46	7.38
		GTF	4.23	0.49	8.00
			4.20	0.50	7.88
		BF	4.29	0.44	7.00
			4.20	0.52	8.38
	25	EKF	4.29	0.47	7.50
			4.29	0.51	8.25
		GTF	4.24	0.48	7.75
			4.37	0.46	7.13
		BF	4.22	0.52	8.00
			4.32	0.49	7.75
7.	4	EKF	4.26	0.43	7.00
			4.28	0.46	7.50
		GTF	4.23	0.46	7.50
			4.30	0.48	7.63
		BF	4.21	0.48	7.50
			4.24	0.54	8.50
	25	EKF	4.24	0.49	7.63
			4.33	0.49	7.75
		GTF	4.28	0.40	6.63
			4.38	0.46	7.50
		BF	4.25	0.51	8.00
			4.31	0.50	8.00

DG: Depolama günü, DS: Depolama sıcaklığı, PT: Pişirme tekniği

Çizelge 4.74. Farklı pişirme teknikleri kullanılarak üretilen ve farklı sıcaklıkta ve sürede depolanan ekşi hamur ekmeklerinin pH ve TTA değerlerindeki değişime ait varyans analizi sonuçları

VK	SD	pH		TTA (% Laktik asit)		TTA (mL/10 g örnek)	
		KO	F	KO	F	KO	F
DG	4	0.00	1.21	0.00	0.62	0.06	0.26
DS	1	0.04	19.50**	0.00	0.03	0.00	0.00
PT	2	0.00	1.33	0.00	4.33*	0.51	2.05
Hata	52	0.00		0.00		0.25	

VK: Varyasyon kaynağı, SD: Serbestlik derecesi, KO: Kareler ortalaması, DG: Depolama günü, DS: Depolama sıcaklığı, PT: Pişirme tekniği, ** $p<0.01$, * $0.01<p<0.05$, - $p>0.05$

Çizelge 4.75. Farklı pişirme teknikleri kullanılarak üretilen ve farklı sıcaklıkta ve sürede depolanan ekşi hamur ekmeklerinin pH ve TTA değerlerindeki değişime ait Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları (± standart hata)

Depolama günü (gün)	N	pH	TTA (% Laktik asit)	TTA (mL/10 g örnek)
1.	12	4.30^{a} ± 0.02	0.50^{a} ± 0.01	7.78^{a} ± 0.16
2.	12	4.30^{a} ± 0.02	0.49^{a} ± 0.01	7.68^{a} ± 0.16
3.	12	4.28^{a} ± 0.01	0.49^{a} ± 0.01	7.73^{a} ± 0.15
6.	12	4.26^{a} ± 0.01	0.49^{a} ± 0.01	7.75^{a} ± 0.12
7.	12	4.28^{a} ± 0.01	0.48^{a} ± 0.01	7.60^{a} ± 0.14
Önem seviyesi		-	-	-
Depolama sıcaklığı (°C)				
4	30	4.26^{b} ± 0.01	0.49^{a} ± 0.01	7.71^{a} ± 0.11
25	30	4.31^{a} ± 0.01	0.49^{a} ± 0.01	7.71^{a} ± 0.07
Önem seviyesi		**	-	-
Pişirme tekniği				
EKF	20	4.30^{a} ± 0.01	0.47^{b} ± 0.01	7.54^{a} ± 0.07
GTF	20	4.28^{a} ± 0.01	0.49^{ba} ± 0.01	7.73^{a} ± 0.12
BF	20	4.28^{a} ± 0.01	0.50^{a} ± 0.01	7.86^{a} ± 0.12
Önem seviyesi		-	*	-

4.7.2.5. Farklı pişirme tekniklerinin ve farklı sıcaklıkta ve sürede depolama işleminin ekşi hamur ekmeklerinin kısa duyusal analiz parametreleri üzerine etkisi

Farklı pişirme teknikleri kullanılarak üretilen ve farklı sıcaklıkta ve sürede depolanan ekşi hamur ekmeklerinin kısa duyusal analiz parametrelerinin değerlerindeki değişime ait I. ve II. tekerrür verileri Çizelge 4.76'da, bu verilere ait varyans analizi sonuçları Çizelge 4.77'de ve varyasyon kaynaklarının ortalamalarına ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları Çizelge 4.78'de verilmiştir.

Çizelge 4.76. Farklı pişirme teknikleri kullanılarak üretilen ve farklı sıcaklıkta ve sürede depolanan ekşi hamur ekmeklerinin kısa duyusal analiz parametrelerinin değerlerindeki değişime ait I. ve II. tekerrür verileri

DG (gün)	DS (°C)	PT	Kısa duyusal analiz parametreleri							
			Renk	Tekstür	Koku	Çiğneme kolaylığı	Yutma kolaylığı	Tat ve aroma	Ufalanma	Tüketilebilme durumu
1.	4	EKF	5.75	4.00	5.50	5.00	5.25	5.75	5.00	5.50
			5.25	4.50	5.25	4.25	4.25	5.00	5.00	4.50
		GTF	5.75	4.50	5.50	5.00	5.00	5.50	5.00	5.00
			5.25	4.50	5.00	4.50	4.25	5.00	5.00	4.50
		BF	5.25	5.00	5.75	5.75	5.75	5.50	5.50	5.50
			5.50	5.25	5.50	5.50	5.50	5.25	5.50	5.25
	25	EKF	5.75	5.00	5.75	5.50	5.50	5.75	5.25	5.50
			5.25	4.75	5.25	4.75	4.50	5.25	5.25	4.50
		GTF	5.75	5.00	5.50	4.50	5.00	5.50	5.25	5.00
			5.00	4.75	5.00	4.75	4.75	4.75	5.25	4.50
		BF	5.25	5.25	5.75	5.75	5.75	5.50	5.50	5.50
			5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.25	5.50	5.25
2.	4	EKF	5.75	4.50	5.25	5.00	5.00	5.50	4.25	4.50
			5.25	4.50	4.75	3.75	4.00	4.25	3.75	4.00
		GTF	6.00	4.00	5.50	4.00	4.75	5.50	4.00	4.50
			5.00	4.50	4.50	4.00	4.25	4.25	3.75	3.75
		BF	5.75	5.50	5.75	5.75	5.75	5.75	4.50	5.50
			5.25	5.50	5.25	5.00	5.00	5.00	4.75	5.25
	25	EKF	5.75	4.50	5.00	5.25	5.25	5.50	4.75	4.75
			5.25	4.25	4.25	3.75	3.75	4.25	4.25	4.00
		GTF	5.75	4.50	5.25	5.00	5.00	5.50	4.50	5.00
			5.00	4.50	4.25	4.00	4.00	3.75	3.75	3.50
		BF	5.75	5.25	5.75	5.50	5.50	5.75	4.75	5.50
			5.50	5.50	5.25	5.00	5.00	4.75	4.75	5.25

(Devamı Arkada)

Çizelge 4.76'nın devamı

3.	4	EKF	5.00	3.50	5.00	3.50	3.75	4.25	3.50	4.25
			5.25	3.75	4.50	3.50	3.50	4.00	3.25	3.50
		GTF	4.75	3.25	4.75	3.75	4.00	4.50	3.00	4.00
			5.00	3.50	4.50	3.75	3.75	4.00	3.50	3.75
		BF	5.25	5.00	4.75	5.25	5.00	5.00	4.75	5.00
			5.50	4.75	5.00	5.00	4.75	4.50	4.25	4.75
	25	EKF	4.75	3.25	4.75	3.75	3.75	4.25	3.50	4.25
			5.00	4.00	4.25	3.25	3.25	4.00	3.50	3.75
		GTF	4.75	3.25	4.50	3.00	3.50	4.00	3.50	3.75
			5.00	4.00	4.25	4.00	3.75	4.25	4.00	3.75
		BF	5.25	5.25	5.00	5.00	5.00	5.25	4.75	5.00
			5.50	5.25	5.00	4.75	4.75	4.50	4.75	4.75
6.	4	EKF	4.00	2.75	4.25	3.00	3.00	3.25	2.25	2.75
			4.75	3.25	3.50	3.00	3.00	3.50	2.25	3.00
		GTF	4.25	2.50	4.50	3.00	3.00	2.75	2.25	2.50
			4.75	3.50	3.25	3.25	3.00	3.50	2.50	2.75
		BF	4.50	4.25	4.25	4.50	4.50	4.00	3.50	4.00
			4.25	4.50	4.00	4.50	4.25	4.25	3.00	4.25
	25	EKF	4.25	3.00	4.25	3.50	3.50	3.00	2.50	2.75
			4.75	3.25	3.25	3.00	3.00	3.50	2.50	3.00
		GTF	4.00	2.75	4.25	3.25	3.00	3.00	2.25	2.50
			4.75	3.50	3.00	3.00	3.25	3.25	2.75	3.00
		BF	4.50	5.00	4.25	4.25	4.50	3.75	3.75	3.75
			4.50	4.50	3.50	4.00	4.00	4.00	3.25	4.00
7.	4	EKF	4.50	2.75	3.50	2.75	2.50	2.50	1.75	2.50
			4.50	2.75	3.25	2.00	2.50	3.00	2.00	2.25
		GTF	4.25	2.25	3.25	1.75	1.75	2.00	1.50	2.00
			4.50	2.75	3.25	3.25	3.25	2.75	2.50	2.75
		BF	4.50	4.25	4.00	4.00	3.75	3.50	3.25	3.75
			4.50	3.50	3.50	3.25	3.00	3.75	2.75	3.25
	25	EKF	4.25	2.75	3.25	2.50	2.25	2.25	2.00	2.25
			4.50	2.50	3.00	2.50	2.50	2.75	2.25	2.50
		GTF	4.25	2.50	3.00	1.75	1.75	2.00	1.50	2.00
			4.25	3.00	3.00	3.25	3.00	2.50	2.75	2.75
		BF	4.25	4.00	4.00	4.50	4.00	3.50	3.50	3.75
			4.50	3.75	3.50	3.75	3.75	3.50	3.25	3.75

DG: Depolama günü, DS: Depolama sıcaklığı, PT: Pişirme tekniği

Çizelge 4.77. Farklı pişirme teknikleri kullanılarak üretilen ve farklı sıcaklıkta ve sürede depolanan ekşi hamur ekmeklerinin kısa duyusal analiz parametrelerinin değerlerindeki değişime ait varyans analizi sonuçları

VK	SD	Kısa duyusal analiz parametreleri															
		Renk		Tekstür		Koku		Çiğneme kolaylığı		Yutma kolaylığı		Tat ve aroma		Ufalanma		Tüketilebilme durumu	
		KO	F	KO	F	KO	F	KO	F	KO	F	KO	F	KO	F	KO	F
DG	4	3.38	47.91**	6.95	72.79**	8.74	72.85**	8.77	47.59**	10.11	65.19**	12.93	72.39**	16.17	179.78**	10.91	94.84**
DS	1	0.03	0.37	0.46	4.81*	0.27	2.22	0.05	0.28	0.02	0.11	0.10	0.58	0.88	9.74**	0.01	0.08
PT	2	0.09	1.35	9.21	96.44**	1.21	10.07**	9.11	49.46**	7.35	47.39**	2.68	15.03**	4.75	52.78**	7.01	61.00**
Hata	52	0.07		0.10		0.12		0.18		0.16		0.18		0.09		0.11	

VK: Varyasyon kaynağı, SD: Serbestlik derecesi, KO: Kareler ortalaması, DG: Depolama günü, DS: Depolama sıcaklığı, PT: Pişirme tekniği, ** $p<0.01$, * $0.01<p<0.05$, - $p>0.05$

Çizelge 4.78. Farklı pişirme teknikleri kullanılarak üretilen ve farklı sıcaklıkta ve sürede depolanan ekşi hamur ekmeklerinin kısa duyusal analiz parametrelerinin değerlerindeki değişime ait Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları (± standart hata)

Depolama günü (gün)	N	Kısa duyusal analiz parametreleri																					
		Renk			Tekstür			Koku			Çiğneme kolaylığı			Yutma kolaylığı			Tat ve aroma			Ufalanma			Tüketilebilme durumu		
1.	12	5.44^{a}	±	0.08	4.83^{a}	±	0.12	5.44^{a}	±	0.08	5.06^{a}	±	0.15	5.08^{a}	±	0.16	5.33^{a}	±	0.09	5.25^{a}	±	0.06	5.04^{a}	±	0.13
2.	12	5.50^{a}	±	0.10	4.75^{a}	±	0.15	5.06^{b}	±	0.15	4.67^{b}	±	0.21	4.77^{a}	±	0.18	4.98^{b}	±	0.20	4.31^{b}	±	0.12	4.63^{b}	±	0.20
3.	12	5.08^{b}	±	0.08	4.06^{b}	±	0.23	4.69^{c}	±	0.08	4.04^{c}	±	0.22	4.06^{b}	±	0.18	4.38^{c}	±	0.12	3.85^{c}	±	0.18	4.21^{c}	±	0.16
6.	12	4.44^{c}	±	0.08	3.56^{c}	±	0.23	3.85^{d}	±	0.15	3.52^{d}	±	0.18	3.50^{c}	±	0.18	3.48^{d}	±	0.13	2.73^{d}	±	0.15	3.19^{d}	±	0.18
7.	12	4.40^{c}	±	0.04	3.06^{d}	±	0.19	3.38^{e}	±	0.10	2.94^{e}	±	0.26	2.83^{d}	±	0.22	2.83^{e}	±	0.18	2.42^{e}	±	0.20	2.79^{e}	±	0.19
Önem seviyesi			**			**			**			**			**			**			**			**	
Depolama sıcaklığı (°C)																									
4	30	4.99^{a}	±	0.10	3.97^{b}	±	0.17	4.55^{a}	±	0.15	4.02^{a}	±	0.19	4.03^{a}	±	0.19	4.24^{a}	±	0.19	3.59^{b}	±	0.21	3.96^{a}	±	0.19
25	30	4.95^{a}	±	0.10	4.14^{a}	±	0.18	4.42^{a}	±	0.17	4.08^{a}	±	0.19	4.07^{a}	±	0.19	4.16^{a}	±	0.20	3.83^{a}	±	0.21	3.98^{a}	±	0.19
Önem seviyesi			-			*			-			-			-			-			**			-	
Pişirme tekniği																									
EKF	20	4.98^{a}	±	0.12	3.68^{b}	±	0.18	4.39^{b}	±	0.19	3.68^{b}	±	0.22	3.70^{b}	±	0.22	4.08^{b}	±	0.25	3.44^{b}	±	0.27	3.70^{b}	±	0.23
GTF	20	4.90^{a}	±	0.13	3.65^{b}	±	0.19	4.30^{b}	±	0.20	3.64^{b}	±	0.20	3.70^{b}	±	0.22	3.91^{b}	±	0.26	3.43^{b}	±	0.26	3.56^{b}	±	0.22
BF	20	5.04^{a}	±	0.12	4.84^{a}	±	0.14	4.76^{a}	±	0.18	4.83^{a}	±	0.16	4.75^{a}	±	0.17	4.61^{a}	±	0.18	4.28^{a}	±	0.21	4.65^{a}	±	0.17
Önem seviyesi			-			**			**			**			**			**			**			**	

Varyans analizi sonuçlarına göre; depolama gününün, üretilen ekşi hamur ekmeklerinin test edilen tüm duyusal parametreleri üzerine (p<0.01); depolama sıcaklığının yalnızca tekstür (p<0.05) ve ufalanma (p<0.01) duyusal parametreleri üzerine ve pişirme tekniğinin ise bu ekmeklerin tekstür, koku, çiğneme kolaylığı, yutma kolaylığı, tat ve aroma, ufalanma ve tüketilebilme durumu üzerine (p<0.01) istatistiksel olarak önemli bir etkisinin olduğu, renk üzerine ise etkisinin istatistiksel olarak önemsiz (p>0.05) olduğu tespit edilmiştir.

Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre; depolama süresi ilerledikçe panelistler tarafından yapılan puanlamada ortalama puanların düşüş göstermesi nedeniyle ekmeklerin renk, tekstür, koku, çiğneme kolaylığı, yutma kolaylığı, tat ve aroma, ufalanma ve tüketilebilme durumu açısından tazeliğini kaybettiği; ayrıca depolama sıcaklığı 4°C olan ekmeklerin 25°C olan ekmeklere göre tekstür ve ufalanma açısından tazeliğini daha çok kaybettiği tespit edilmiştir. Pişirme esnasında jelatinize olan nişasta granülleri içerisindeki amiloz zincirlerinin ekmeğin depolanması sırasında yeniden düzenlenerek kristal yapıya geçişi söz konusudur. Retrogradasyon olarak adlandırılan bu olayın düşük sıcaklıklarda daha hızlı ilerlediği bilinmektedir (Arık vd. 2008; Ding vd. 2019; Kawai vd. 2012). Bu nedenle, aynı zamanda bayatlamadan da sorumlu olan retrogradasyonun, depolama sıcaklığı düşük olan ekmeklerde daha hızlı gerçekleşmiş olabileceği ve buna bağlı olarak da bu ekmeklerin daha sert bir tekstüre ve daha ufalanabilir bir yapıya sahip olmuş olabileceği değerlendirilmiştir.

Panelistler tarafından yapılan puanlamaya göre pişirme tekniği açısından ekmeklerin depolama boyunca renk değerlerinde farklılık belirlenmezken; BF ekmeklerinin test edilen tekstür, koku, çiğneme kolaylığı, yutma kolaylığı, tat ve aroma, ufalanma ve tüketilebilme durumu duyusal parametrelerinin 4 ve üzerinde puanlanması bu ekmeklerin tazeliğini EKF ve GTF ekmeklerine göre daha çok koruduğunu göstermiştir.

Depolama, ekmek içi sertliğinde artışın dolayısıyla da ekmeğin tazeliğinde azalmanın meydana geldiği ve bayatlama olarak bilinen bir olayın gerçekleşmesine neden olmaktadır. Bu durum tüketiciler için ilgili ürünün kabul görmeseni engellemektedir. Bu nedenle bayatlama, mikrobiyal bozulma haricinde fırın ürünlerinde meydana gelerek tüketici kabulünü azaltan her türlü değişim olarak tanımlanabilmektedir. Bayatlama sırasındaki değişiklikler ekmeğin hem iç kısmında hem de kabuğunda meydana gelmekte ancak iç kısımdaki bayatlama tüketici kabulü üzerinde daha çok etkili olmaktadır. Bayatlama ile birlikte ekmek içi daha sert ve ufalanabilir hale gelmekte ve daha opak görünümlü olmaktadır (Arendt vd. 2007).

"Ekmeklerin depolanması ve bayatlamanın belirlenmesi" bölümünde de belirtildiği üzere, bayatlamanın takibi için yapılan kısa duyusal analizde panelistler tarafından yapılan değerlendirmeye göre; üretilen ekşi hamur ekmeklerinin kaliteli yeme ömürlerinin depolamanın 7. günü itibari ile tükendiği belirlenmiştir. Ancak depolamanın başlangıcından itibaren örneklerdeki mikrobiyal gelişim takip edildiğinde, tüm ekmekler için 9. gün itibari ile küf gelişiminin gerçekleştiği tespit edilmiştir. BF ortamında pişirilen ekmekler için hamur oluşturmada optimum olarak belirlenen su içeriğinin diğer pişirme teknikleriyle üretilen ekmeklerin hamurlarında kullanılan su içeriğinden daha düşük olması, BF ekmeklerinin son su içeriği ve su aktivitesi değerlerinin EKF ve GTF ekmekleri için belirlenen değerlerle benzerlik göstermesini sağlamıştır. Bu nedenle,

optimum olarak belirlenen su içeriğinde yoğurulan hamurların BF ortamında ekmek üretiminde kullanılmasıyla, buharda pişirilmiş ekmekler için literatürde belirtilen erken bayatlama ve erken mikrobiyal bozulma gibi olumsuz özelliklerin giderilebildiği değerlendirilmiştir.

4.8. BF Ortamında Pişirilen Ekşi Hamur Ekmeklerinin Tüketici Tarafından Duyusal Kabulünün İncelenmesi

BF ortamında optimum koşullarda üretilen ekşi hamur ekmeğinin toplum tarafından kabul edilebilirliğinin belirlenmesi amacıyla yapılan survey çalışmasında; buharda pişirilmiş ekmek ile 100 istekli tüketiciye tadım yaptırılmış ve elde edilen veriler Çizelge 4.79'da verilmiştir.

Çizelge 4.79. BF ortamında optimum koşullarda üretilen ekşi hamur ekmeğinin toplum tarafından kabul edilebilirliğinin belirlenmesi amacıyla yapılan survey çalışmasından elde edilen veriler

Duyusal analiz parametresi	**Değer**
Tüketici duyusal testine katılan kişi sayısı	100.00
Kadın	70.00
Erkek	30.00
Yaş (En küçük)	17.00
Yaş (En büyük)	65.00
Yaş (Ortalama)	28.59
Buharda pişirilmiş ekmek hakkında bilgi durumu	
Var	34.00
Yok	66.00
Satın alma durumu	
Satın alırım	61.00
Satın almam	39.00
Beğeni durumu	
1 (Hiç beğenmedim)	4.00
2 (Beğenmedim)	12.00
3 (Kısmen beğenmedim)	15.00
4 (Kısmen beğendim)	29.00
5 (Beğendim)	25.00
6 (Çok beğendim)	15.00
Ortalama beğeni puanı	**4.04**

Survey çalışmasından elde edilen sonuçlara göre; tüketici duyusal testine katılan 100 kişiden 70'inin kadın, 30'unun erkek olduğu; bu kişilerin yaşlarının 17 ile 65 aralığında değiştiği ve yaş ortalamasının ise 28.59 olduğu belirlenmiştir. Bu 100 kişiden yalnızca 34'ünün buharda pişirilmiş ekmekler hakkında bilgi sahibi olduğu ve 61 kişinin bu ekmekleri satın alabileceğini ifade ettiği tespit edilmiştir. Tüketicilerin tadım yaptıkları ekmeği beğenme durumları için verdikleri puanlar duyusal analizde kullanılan

1-6 puanlık skalaya göre değerlendirildiğinde ise, ortalama 4.04 puan ile bu tüketicilerin genel anlamda BF ekşi hamur ekmeğini beğendikleri belirlenmiştir.

Tüketicilere göre fırın ürünlerinde yüzey rengi; aroma, tat ve görünüm özellikleri ile ilişkili önemli bir kalite özelliği olarak nitelendirilmektedir (Purlis 2010). İlk zamanlardan bu yana tüketilen ekmeğin tüketiciler üzerinde var olan yerleşmiş algısı, genel olarak koyu renge sahip ve sert kabuklu ekmeklerin daha iyi pişmiş ve daha kaliteli olduğu yönündedir. Buharla ekmek pişirme fırınında beyaz renkli ve neredeyse kabuksuz olarak üretilen ekmeğin bu algıyı etkileyerek tüketiciler tarafından genel anlamda beğenilmesi çalışmanın amacına ulaşması için önemli bir aşama olarak değerlendirilmiştir.

5. SONUÇLAR

Bu araştırma **hazırlık aşamaları** hariç temelde 3 aşamalı olarak gerçekleştirilmiş olup **araştırmanın birinci aşamasında**; 100°C'den yüksek sıcaklıklığa sahip buharla pişirme işleminin gerçekleştirilebildiği yeni bir buharla ekmek pişirme fırını tasarlanmış ve tasarlanan fırının patentlenmesi amacıyla "Atmosferik Basınç ve Yüksek Sıcaklıklı Buharda Ekmek Pişirmek için Yeni Bir Fırın Tasarımı" buluş başlığı ve 2018-04023 başvuru numarası ile Türk Patent ve Marka Kurumu'na müracaat edilmiştir. Yüksek sıcaklıklı buharla ekmek pişirme fırınının imalatı yapıldıktan sonra ise bu buharla ekmek pişirme fırınında üretilecek ekşi hamur ekmekleri için optimum üretim koşullarının belirlenmesi sağlanmıştır. **Araştırmanın ikinci aşamasında**; optimum üretim koşulları belirlenen yüksek sıcaklıklı buharda pişmiş ekşi hamur ekmeği tekrar üretilerek, biri elektrikli konveksiyonel fırında diğeri ise geleneksel taş fırında olmak üzere 2 farklı geleneksel pişirme yöntemi ile üretilen kontrol ekşi hamur ekmekleri ile kıyaslanmıştır. **Araştırmanın üçüncü aşamasında** ise belirlenen optimum koşullarda buharda pişirilerek üretilen ekşi hamur ekmeklerinin toplum tarafından duyusal kabul edilebilirliği bir survey çalışmasıyla araştırılmıştır.

Araştırmanın hazırlık aşamalarında ilk olarak ekşi hamur ekmeği yapımında kullanılmak üzere Isparta'da özel olarak üretilen unun genel özelliklerinin belirlenmesi amacıyla bu una; düşme sayısı, Zeleny sedimantasyon, yaş öz, gluten indeks, farinograf ve ekstensograf tanımlayıcı analizleri ile renk, nem, su aktivitesi, kül, pH, TTA, protein ve suda çözünmeyen lif analizleri yapılmıştır.

Yapılan analizler sonucunda elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

- Araştırma kapsamında ekşi hamur üretmek üzere temin edilen unun düşme sayısı 195.55 s, Zeleny sedimantasyon ve uzatılmış Zeleny sedimantasyon değerleri 17.36 ve 33.92 mL, yaş öz miktarı %32.34 ve gluten indeks değeri ise %95.21 olarak tespit edilmiştir.

- Araştırma kapsamında ekşi hamur ekmeği üretmek amacıyla temin edilen un ile hamur oluşturabilmek için gerekli su miktarı %60.70, hamur gelişme süresi 2.40 dk, hamurun stabil kalma süresi 3.00 dk ve hamurun yumuşama derecesi ise 109.33 BU olarak tespit edilmiştir.

- Temin edilen unun ekstensograf analizi sonuçlarına göre bu undan elde edilen hamurun enerjisi 114.78 cm^2, uzamaya karşı direnci 511.89 BU, uzama kabiliyeti 137.11 mm, maksimum direnci 635 BU ve maksimum oran sayısı ise 4.66 BU/mm olarak tespit edilmiştir.

- Ekşi hamur ekmeği üretiminde kullanılan unun renk L^*, a^* ve b^* değerleri sırasıyla 84.35, 3.82 ve 10.17, nem içeriği %9.57, su aktivitesi 0.48, protein içeriği %13.03, kül içeriği %1.21, pH değeri 6.44, TTA değeri 4.83 mL/10 g ve toplam suda çözünmeyen ham lif içeriği %0.96 olarak tespit edilmiştir. Bu unun nem ve protein içeriği yönüyle Türk Gıda Kodeksi Buğday Unu Tebliği'ne (Tebliğ No:2013/9-Değişik 2018/39) uygun olduğu değerlendirilmiştir.

Yüksek sıcaklıklı buharla ekmek pişirme fırınında ekmek üretiminin optimizasyonu için oluşturulan deneme deseninde değişken faktörlerin sınır değerlerinin belirlenmesi için, düşük su içeriğinde hamur oluşumunu sağlamak, imal edilen buharla ekmek pişirme fırınında ekmek pişirme işlemini gerçekleştirmek ve bu fırında ekmek pişirme işleminin optimizasyonu için uygun ekmek gramajının belirlenmesi amacıyla bazı ön denemeler yapılmıştır.

Ön denemelerden elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

- Hamur formülasyonuna eklenmesi gereken su için sınır değerler, unun FSİ değerinin %80'i ila %100'ü olarak, pişirme süresi için sınır değerler 20 ila 50 dk olarak ve pişirme sıcaklığı için sınır değerler 100 ila 200°C olarak belirlenmiştir.

- Buharla ekmek pişirme fırınında pişirme koşullarının optimizasyonu için üretilecek ekmeklerin en fazla 200 g ağırlığında hamur parçaları kesilerek oluşturulmasının uygun olacağı değerlendirilmiştir.

Araştırma kapsamında Isparta ilinde bulunan ve geleneksel olarak ekşi hamur ekmeği üreten 7 farklı fırından temin edilen ekşi hamurlar aktifleştirilmiş ve 24 saatlik periyotlarla ekşi hamurlardan örnek alınarak bu örneklerin kurumadde, pH ve TTA değerleri takip edilmiştir. Aktifleştirme işleminin 216. saatinde elde edilen ekşi hamurların her birinden eşit miktarda alınıp birbirleriyle karıştırılmasıyla temsili bir ekşi hamur oluşturularak olgunlaştırılmıştır. Periyodik olarak 24 saatte bir alınan örneklerin kurumadde, pH ve TTA değerleri ile birlikte TMAB, toplam laktobasil, toplam laktokok ve toplam maya sayıları takip edilmiştir. Ekşi hamurlar ekmek üretiminde kullanılmadan önce bu hamurların TMAB, toplam laktobasil, toplam laktokok ve toplam maya sayıları belirlenmiştir.

Ekşi hamurların aktifleştirilmesi ve olgunlaştırılarak ekmek üretiminde kullanılmaya hazır hale getirilmesi için yapılan analizlerden elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

- Temin edilen 7 farklı ekşi hamurun 0. saatte ortalama %34.77 olan kurumadde içeriği 216 saatlik aktifleştirme işlemi sonunda ortalama %33.76 olarak tespit edilmiştir.

- Temin edilen 7 farklı ekşi hamurun 0. saatte sırasıyla ortalama 6.00, %0.73 ve 3.16 mL/10 g olan pH, % laktik asit cinsinden ve mL/10 g örnek cinsinden TTA değerleri, 120. saat itibari ile dengelenmiş olup, 216. saat sonunda sırasıyla ortalama 3.75, %4.51 ve 18.94 mL/10 g olarak belirlenmiştir.

- Temin edilen 7 farklı ekşi hamurun 0. saatte sırasıyla ortalama 3.09, 2.29, 2.76 ve 3.33 log kob/g olan TMAB, toplam laktobasil, toplam laktokok ve toplam maya sayıları 216. saat sonunda sırasıyla 8.57, 9.49, 9.50 ve 8.77 olarak tespit edilmiştir.

- Aktifleştirilmiş 7 farklı ekşi hamur örneğinin eşit miktarlarda karıştırılması ile elde edilen olgun temsili ekşi hamurun analiz edilen özelliklerinin, yukarıda sonuçları verilen aktifleştirilmiş ilk örneklerle benzer olduğu tespit edilmiştir.

- Ekşi hamur ekmeği üretimlerinde kullanılan olgun temsili ekşi hamurlarda ortalama TMAB, toplam laktobasil, toplam laktokok ve toplam maya sayısı sırasıyla 8.82, 9.65, 9.64 ve 7.43 log kob/g olarak tespit edilmiştir.

Araştırmanın birinci aşamasında; yüksek sıcaklıklı buharla ekmek pişirme fırını tasarlanarak imal ettirilmiş ve yüksek sıcaklıklı buharla ekmek pişirme fırınında üretilecek ekşi hamur ekmeklerinin yanıt değişkenleri olan kabuk HMF içeriği, TPA-sertlik, TPA-esneklik ve kabuk rengi *L** değerleri ile diğer bazı özellikleri üzerinde etkili olan ve bağımsız değişkenler olarak adlandırılan su miktarı (FSİ %80-100), pişirme sıcaklığı (100-200°C) ve pişirme süresi (20-50 dk) koşulları optimize edilmiştir. Bunun için merkezi kompozit tasarım istatistik yöntemi kullanılmıştır. Buharla ekmek pişirme fırını ile ekşi hamur ekmeği üretimi için; en düşük kabuk HMF içeriği ve TPA-sertlik, en yüksek TPA-esneklik ve kabuk rengi *L** değerlerinin sağlanması ve bu üretimi sağlayacak koşulların optimize edilmesi amacıyla toplamda 17 farklı koşulda ekşi hamur ekmeği üretimi gerçekleştirilmiştir. Bu ekmeklere, yanıt değişkenlerinin özelliklerini belirlemek için yapılan analizlere ek olarak genel özelliklerini belirlemek amacıyla; ağırlık kaybı, spesifik hacim, kabuk/iç oranı, kabuk kalınlığı, renk, tekstür profil, kurumadde ve su aktivitesi analizleri ile kısa duyusal analiz yapılmıştır.

Deneme desenine göre üretilen ekmeklere, genel özelliklerinin belirlenmesi amacıyla yapılan analizlerden elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

- Denemelerde üretilen ekmeklerde ağırlık kaybı değerlerinin %0.67 ile %11.00 arasında, spesifik hacim değelerinin 1.86 ile 2.35 cm^3/g arasında, kabuk/iç oranı değerlerinin 0.12 ile 0.31 arasında ve kabuk kalınlığı değerlerinin 0.49 ile 1.37 mm arasında değiştiği belirlenmiştir.

- Üretilen ekmeklerde *L**, *a** ve *b** renk değerlerinin; ekmek içinde sırasıyla 62.34-72.12, 0.92-2.16 ve 16.58-19.39 arasında, ekmek kabuğunda ise sırasıyla 62.77-73.41, 2.47-10.47 ve 21.48-38.17 arasında değiştiği belirlenmiştir.

- Üretilen ekmeklerde TPA sertlik değerlerinin 2215.03-6249.80 g arasında, esneklik değerlerinin 0.67-0.94 arasında, kohezyon değerlerinin 0.58-0.76 arasında, çiğnenebilirlik değerlerinin 1057.63-4218.86 g ve elastikiyet değerlerinin ise 0.19-0.43 arasında değiştiği belirlenmiştir.

- Üretilen ekmeklerin iç, kabuk ve bütününe ait kurumadde değerlerinin sırasıyla %56.16-62.99, %67.11-80.02 ve %57.28-64.94 arasında değiştiği belirlenmiştir.

- Üretilen ekmeklerin bütününe ait su aktivitesi değerlerinin 0.91 ile 0.93 arasında değiştiği belirlenmiştir.

- Üretilen ekmeklerin kabuklarına ait HMF içeriklerinin 1.51 ile 8.20 mg/kg arasında değiştiği belirlenmiştir.

- Kısa duyusal analizde 6 puanlık bir skala kullanılarak değerlendirilen ekmekler 4 ve üzerinde genel beğeni puanı alarak araştırmanın amacına uygun ilerlediğinin anlaşılmasına yardımcı olmuştur.

Deneme desenine göre üretilen ekmeklere yanıt değişkenlerine ait özelliklerin belirlenmesi amacıyla yapılan analizlerden elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

- En düşük kabuk HMF içeriği FSİ değerinin %90'ı kadar su kullanılarak 150°C pişirme sıcaklığında ve 35 dk pişirme süresinde, en düşük TPA-sertlik değeri FSİ değerinin %90'ı kadar su kullanılarak 150°C pişirme sıcaklığında ve 20 dk pişirme süresinde, en yüksek TPA-esneklik değeri FSİ değerinin %90'ı kadar su kullanılarak 150°C pişirme sıcaklığında ve 50 dk pişirme süresinde, en yüksek kabuk rengi *L** değeri ise FSİ değerinin %80'i kadar su kullanılarak 150°C pişirme sıcaklığında ve 35 dk pişirme süresinde elde edilen ekmeklerde tespit edilmiştir.

- Ekmeklerin kabuk HMF içeriği, TPA-sertlik değeri, TPA-esneklik değeri ve kabuk rengi *L** değeri için istatistiksel parametrelerin en iyi ifade edildiği model olan kuadratik modelin deneme şartlarında istatistiksel olarak önemli ($p<0.01$) ve sırasıyla %81 ($R^2=0.81$), %82 ($R^2=0.82$), %96 ($R^2=0.96$) ve %85 ($R^2=0.85$) güven seviyeleri ile en uygun model olduğu tespit edilmiştir.

- Ekmeklerin ortalama kabuk HMF içerikleri; FSİ değerinin %80'i, %90'ı ve %100'ü kadar su kullanılarak üretilen ekmeklerde sırasıyla 2.91, 2.04 ve 3.45 mg/kg; 100, 150 ve 200°C'de sırasıyla 2.22, 2.03, 4.15 mg/kg ve 20, 35 ve 50 dakikalık pişirme sürelerinde sırasıyla 2.12, 2.05 ve 4.22 mg/kg olarak tespit edilmiştir.

- Ekmeklerin ortalama TPA-sertlik değerleri; FSİ değerinin %80'i, %90'ı ve %100'ü kadar su kullanılarak üretilen ekmeklerde sırasıyla 3176.28, 3263.62 ve 3818.63 g olarak; 100, 150 ve 200°C'de sırasıyla 3208.22, 3367.42 ve 4276.57 g ve 20, 35 ve 50 dakikalık pişirme sürelerinde sırasıyla 2894.68, 3546.07 ve 4340.06 g olarak belirlenmiştir.

- Ekmeklerin ortalama TPA-esneklik değerleri; FSİ değerinin %80'i, %90'ı ve %100'ü kadar su kullanılarak üretilen ekmeklerde sırasıyla 0.82, 0.90 ve 0.86; 100, 150 ve 200°C'de sırasıyla 0.79, 0.91 ve 0.88 ve 20, 35 ve 50 dakikalık pişirme sürelerinde sırasıyla 0.76, 0.91 ve 0.91 olarak belirlenmiştir.

- Ekmeklerin ortalama kabuk rengi *L** değeri; FSİ değerinin %80'i, %90'ı ve %100'ü kadar su kullanılarak üretilen ekmeklerde sırasıyla 71.21, 70.48 ve 66.86; 100, 150 ve 200°C'de sırasıyla 69.25, 70.67 ve 68.55 ve 20, 35 ve 50 dakikalık pişirme sürelerinde sırasıyla 70.62, 70.45 ve 67.48 olarak belirlenmiştir.

- Buharla ekmek pişirme fırınında optimum koşullar; hamur su içeriği için FSİ değerinin %86.01'i, pişirme sıcaklığı için 151.33°C ve pişirme süresi için ise 28.78 dk olarak tespit edilmiştir.

- Optimum koşullarda üretilen deneysel ekmeklerin ortalama kabuk HMF içeriğinin 1.00 mg/kg, TPA sertlik değerinin 3539.50 g, TPA esneklik değerinin 0.73 ve kabuk rengi *L** değerinin 66.27 olduğu belirlenmiştir.

Araştırmanın ikinci aşamasında; yüksek sıcaklıklı buharla ekmek pişirme fırınında belirlenmiş olan optimum koşullar kullanılarak 2 kez ekmek üretimi gerçekleştirilmiş, bu ekmekler EKF ve GTF ortamında pişirilen kontrol ekmekleriyle kıyaslanmıştır. Kıyaslama işlemi için ekmeklere; ağırlık kaybı, spesifik hacim, kabuk/iç oranı, kabuk kalınlığı, renk, TPA, DSC, kurumadde, su aktivitesi, pH ve TTA, glisemik indeks, HMF, akrilamid, organik asit, serbest amino asit ve aroma analizleri ile genel duyusal analiz uygulanmıştır. Üretilen ekmeklerin bayatlama takibinin yapılabilmesi için 4°C'de ve 25°C'de depolanan ekmeklerde ise TPA, DSC, kurumadde, su aktivitesi, pH ve TTA analizleri ile kısa duyusal analiz gerçekleştirilmiştir.

Buharla ekmek pişirme fırınında optimum koşullar kullanılarak üretilen ekşi hamur ekmeklerinin kontrol ekmekleri ile kıyaslanması aşamasından elde edilen analiz sonuçları aşağıda özetlenmiştir.

- Ekmeklerin ortalama ağırlık kaybı değerleri EKF, GTF ve BF kullanılarak pişirilen ekmeklerde sırasıyla %11.29, %11.46 ve %3.42 olarak tespit edilmiştir.

- Ekmeklerin ortalama spesifik hacim değerleri EKF, GTF ve BF kullanılarak pişirilen ekmeklerde sırasıyla 2.01, 2.02 ve 2.00 cm^3/g olarak tespit edilmiştir.

- Ekmeklerin ortalama kabuk/iç oranı değerleri EKF, GTF ve BF kullanılarak pişirilen ekmeklerde sırasıyla 0.19, 0.20 ve 0.13 olarak tespit edilmiştir.

- Ekmeklerin ortalama kabuk kalınlığı değerleri EKF, GTF ve BF kullanılarak pişirilen ekmeklerde sırasıyla 1.37, 1.26 ve 0.58 mm olarak tespit edilmiştir.

- Ekmeklerin ortalama iç rengi *L**, *a** ve *b** renk değerleri EKF, GTF ve BF kullanılarak pişirilen ekmeklerde sırasıyla 64.51, 1.91, 16.84; 63.77, 2.00, 16.82 ve 69.54, 1.70, 18.52 olarak tespit edilmiştir.

- Ekmeklerin ortalama kabuk rengi *L**, *a** ve *b** renk değerleri EKF, GTF ve BF kullanılarak pişirilen ekmeklerde sırasıyla 47.21, 17.17, 28.90; 50.70, 17.40, 31.70 ve 66.27, 3.66, 23.50 olarak tespit edilmiştir.

- Ekmeklerin ortalama TPA sertlik değerleri EKF, GTF ve BF kullanılarak pişirilen ekmeklerde sırasıyla 4850.47, 4658.55 ve 3539.50 g olarak tespit edilmiştir.

- EKF, GTF ve BF kullanılarak pişirilen ekmeklerin ortalama kurumadde değerleri iç kısmında sırasıyla %60.38, %58.14 ve %60.41; kabuk kısmında sırasıyla %81.55, %79.51 ve %73.76; bütününde ise sırasıyla %65.71, %65.42 ve %61.07 olarak tespit edilmiştir.

- EKF, GTF ve BF kullanılarak pişirilen ekmeklerin ortalama su aktivitesi değerleri iç kısmında sırasıyla 0.93, 0.93 ve 0.92; kabuk kısmında sırasıyla 0.84, 0.85 ve 0.90; bütününde ise sırasıyla 0.91, 0.92 ve 0.92 olarak tespit edilmiştir.

- EKF, GTF ve BF kullanılarak pişirilen ekmeklerin ortalama pH değerleri iç kısmında sırasıyla 4.31, 4.28 ve 4.28; kabuk kısmında sırasıyla 4.36, 4.34 ve 4.41; bütününde ise sırasıyla 4.31, 4.34 ve 4.26 olarak tespit edilmiştir.

- EKF, GTF ve BF kullanılarak pişirilen ekmeklerin ortalama mL/10 g örnek cinsinden TTA değerleri iç kısmında sırasıyla 7.00, 7.00 ve 7.13 mL/10 g; kabuk kısmında sırasıyla 7.25, 7.88 ve 6.88 mL/10 g; bütününde ise sırasıyla 7.25, 6.75 ve 7.38 mL/10 g olarak tespit edilmiştir.

- EKF, GTF ve BF kullanılarak pişirilen ekmeklerin ortalama HMF içerikleri iç kısmında sırasıyla 1.64, 2.24 ve 1.34 mg/kg; kabuk kısmında ise sırasıyla 39.59, 46.36 ve 1.00 mg/kg olarak tespit edilmiştir.

- EKF, GTF ve BF kullanılarak pişirilen ekmeklerin kabuklarına ait ortalama akrilamid içerikleri sırasıyla 33.65, 29.25 ve 6.83 µg/kg olarak tespit edilmiştir.

- EKF, GTF ve BF kullanılarak pişirilen ekmeklerin ortalama laktik asit içerikleri iç kısmında sırasıyla 13.98, 14.62 ve 14.18 g/kg, kabuk kısmında ise sırasıyla 17.36, 16.56 ve 13.60 g/kg olarak; asetik asit içerikleri iç kısmında sırasıyla 4.99, 5.05 ve 4.88 g/kg, kabuk kısmında ise sırasıyla 5.54, 5.34 ve 4.12 g/kg olarak ve propiyonik asit içerikleri iç kısmında sırasıyla 0.08, 0.10 ve 0.08 g/kg, kabuk kısmında ise sırasıyla 2.68, 1.93 ve 0.06 g/kg olarak tespit edilmiştir.

- EKF, GTF ve BF kullanılarak pişirilen ekmeklerin ortalama aspartik asit içerikleri iç kısmında sırasıyla 190.25, 211.92 ve 235.98 mg/kg, kabuk kısmında ise sırasıyla 53.53, 65.07 ve 140.60 mg/kg olarak; glutamik asit içerikleri iç kısmında sırasıyla 24.79, 25.78 ve 27.28 mg/kg, kabuk kısmında ise sırasıyla 11.33, 10.74 ve 17.08 mg/kg olarak; 4-OH prolin içerikleri iç kısmında sırasıyla 20.58, 21.07 ve 25.30 mg/kg, kabuk kısmında ise sırasıyla 3.35, 4.49 ve 17.23 mg/kg olarak; asparajin içerikleri iç kısmında sırasıyla 1.33, 1.67 ve 1.48 mg/kg, kabuk kısmında ise sırasıyla 0.59, 0.64 ve 1.05 mg/kg olarak; serin içerikleri iç kısmında sırasıyla 21.85, 18.98 ve 26.07 mg/kg, kabuk kısmında ise sırasıyla 5.89, 6.16 ve 16.77 mg/kg olarak; glutamin içerikleri iç kısmında sırasıyla 6.41, 7.38 ve 6.57 mg/kg, kabuk kısmında ise sırasıyla 2.69, 3.27 ve 4.50 mg/kg olarak; histidin içerikleri iç kısmında sırasıyla 0.84, 1.05 ve 1.33 mg/kg, kabuk kısmında ise sırasıyla 0.28, 0.32 ve 1.24 mg/kg olarak; prolin içerikleri iç kısmında sırasıyla 119.11, 126.04 ve 111.40 mg/kg, kabuk kısmında ise sırasıyla 78.91, 80.17 ve 91.84 mg/kg olarak; alanin içerikleri iç kısmında sırasıyla 66.00, 70.16 ve 72.73 mg/kg, kabuk kısmında ise sırasıyla 22.89, 28.27 ve 53.17 mg/kg olarak; valin içerikleri iç kısmında sırasıyla 21.57, 19.31 ve 24.55 mg/kg, kabuk kısmında ise sırasıyla 6.81, 8.02 ve 18.21 mg/kg olarak; metiyonin içerikleri iç kısmında sırasıyla 2.80, 2.08 ve 1.45 mg/kg, kabuk kısmında ise sırasıyla 0.62, 0.64 ve 1.16 mg/kg olarak; triptofan içerikleri iç kısmında sırasıyla 52.27, 50.93 ve 54.19 mg/kg, kabuk kısmında ise sırasıyla 16.05, 18.04 ve 42.09 mg/kg olarak; izolösin içerikleri iç kısmında sırasıyla 35.49, 41.45 ve 40.12 mg/kg, kabuk kısmında ise sırasıyla 29.27, 31.64 ve 35.13 mg/kg olarak; fenilalanin içerikleri iç kısmında sırasıyla 13.88, 13.27 ve 15.93 mg/kg, kabuk kısmında ise sırasıyla 4.75, 5.60 ve 10.60 mg/kg olarak; lösin içerikleri iç kısmında sırasıyla 12.45, 13.84 ve 16.19 mg/kg, kabuk kısmında ise sırasıyla 3.26, 4.21 ve 10.19 mg/kg olarak; sistein içerikleri iç kısmında sırasıyla 3.20, 2.95 ve 2.87 mg/kg, kabuk kısmında ise sırasıyla 1.76, 1.72 ve 2.22 mg/kg olarak; lisin içerikleri iç kısmında sırasıyla 9.56, 10.20 ve 11.30 mg/kg, kabuk kısmında ise sırasıyla 3.37, 3.75 ve 6.41 mg/kg olarak; tirozin

içerikleri iç kısmında sırasıyla 16.32, 16.10 ve 16.95 mg/kg, kabuk kısmında ise sırasıyla 6.01, 6.93 ve 12.85 mg/kg olarak tespit edilmiştir.

- BF ekmeklerindeki iç kısma göre kabuk kısmındaki aminoasit azalma oranlarının EKF ve GTF ekmeklerindeki aminoasit azalma oranlarına göre çok daha düşük olduğu ve bu nedenle BF ekmeklerinin EKF ve GTF ekmeklerine göre serbest aminoasit içeriğini daha iyi koruduğu ve bu yönüyle de daha besleyici olduğu tespit edilmiştir.

- EKF ekmeklerinde toplamda 79, GTF ekmeklerinde 85 ve BF ekmeklerinde ise toplamda 66 aroma bileşeninin bulunduğu tespit edilmiştir.

- Ekmeklerin ortalama tGI değerleri EKF, GTF ve BF kullanılarak pişirilen ekmeklerde sırasıyla 62.28, 60.89 ve 69.95 olarak tespit edilmiş ve her 3 ekmeğin de orta glisemik indeksli gıdalar grubunda yer aldığı belirlenmiştir.

- Genel duyusal analizde, BF ekmeklerinin tüm duyusal özellikleri açısından genel bir değerlendirme yapıldığında bu ekmeklerin 6 puanlık skalaya göre ortalama 4.37 puan alarak genel anlamda beğenildiği tespit edilmiştir.

Üretilen ekmeklerin bayatlama takibinin yapılabilmesi için uygulanan analizlerden elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

- Farklı sıcaklıklarda depolanan ekmeklerin ortalama T_m değerleri 1. gün için 148.45, 3. gün için 140.19 ve 7. gün için ise 146.54 olarak tespit edilmiştir. Depolamanın 1. gününde T_g değeri yalnızca EKF ve GTF ekmekleri için ortalama 133.01 olarak, 3. ve 7. gününde ise tüm ekmekler için sırasıyla ortalama 129.48 ve 129.83 olarak belirlenmiştir. T_m ve T_g değerlerinin 4°C'de depolanan BF ekmeklerinde kontrol ekmeklerine göre genel olarak daha düşük seyrettiği tespit edilmiştir.

- Depolama süresince ekmeklerin ortalama sertlik değerleri EKF, GTF ve BF kullanılarak pişirilen ekmeklerde sırasıyla 14699.00, 14901.01 ve 9590.62 g olarak belirlenmiştir.

- Depolama süresince ekmeklerin ortalama kurumadde içerikleri EKF, GTF ve BF kullanılarak pişirilen ekmeklerde sırasıyla %65.21, %64.82 ve %63.81 olarak belirlenmiştir.

- Depolama süresince ekmeklerin ortalama su aktivitesi değerleri EKF, GTF ve BF kullanılarak pişirilen ekmeklerde sırasıyla 0.91, 0.92 ve 0.92 olarak belirlenmiştir.

- Depolama süresince ekmeklerin ortalama pH değerleri EKF, GTF ve BF kullanılarak pişirilen ekmeklerde sırasıyla 4.30, 4.28 ve 4.28 olarak belirlenmiştir.

- Depolama süresince ekmeklerin ortalama TTA değerleri EKF, GTF ve BF kullanılarak pişirilen ekmeklerde sırasıyla 7.54, 7.73 ve 7.86 mL/10 g olarak belirlenmiştir.

- Depolama süresince ekmeklerin bayatlama takibi için yapılan kısa duyusal analiz parametrelerinin tümünün ortalaması EKF, GTF ve BF kullanılarak pişirilen ekmeklerde sırasıyla 3.96, 3.89 ve 4.72 olarak belirlenmiştir.

Araştırmanın üçüncü aşamasında; optimum koşullarda buharla ekmek pişirme fırınında üretilen ekmeklerin toplum tarafından duyusal kabul edilebilirliğinin belirlenmesi için toplamda 100 kişi ile tüketici duyusal analizi gerçekleştirilmiş ve bu analizden elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

- Tüketici duyusal testine katılan 100 kişiden 70'inin kadın, 30'unun erkek olduğu; bu kişilerin yaşlarının 17 ile 65 aralığında değiştiği ve yaş ortalamasının ise 28.59 olduğu belirlenmiştir.

- Duyusal teste katılanların %34'ünün buharda pişirilmiş ekmekler hakkında bilgi sahibi olduğu, ekmekleri 6 puanlık skalaya göre ortalama 4.04 puan ile değerlendirdikleri ve teste katılanların %61'inin bu ekmekleri satın alabileceğini ifade ettiği tespit edilmiştir.

Sonuç olarak; bu araştırma ile fırıncılık sektöründe kullanımı bulunmayan atmosferik basınçta 100°C'den yüksek sıcaklıklığa sahip buharla pişirme işleminin gerçekleştirilebildiği yeni bir yüksek sıcaklıklı buharla ekmek pişirme fırını tasarlanmış ve tasarlanan fırının patentlenmesi amacıyla "Atmosferik Basınç ve Yüksek Sıcaklıklı Buharda Ekmek Pişirmek için Yeni Bir Fırın Tasarımı" buluş başlığı ve 2018-04023 başvuru numarası ile Türk Patent ve Marka Kurumu'na müracaat edilmiştir. Daha sonra prototipi üretilen bu fırın ekşi hamur ekmeklerinin pişirilmesinde kullanılmış ve bu fırında gerçekleştirilen buharda pişirme işlemiyle toplum tarafından en sık tüketilen gıda maddelerinden biri olan ekmeğin; besinsel içeriğinin korunmuş olduğu, proses kontaminant içeriğinin HMF için 40 kattan fazla ve akrilamid için ise yaklaşık 5 kat azaltılarak minimize edildiği, serbest aminoasit içeriğinin korunduğu, ekmeğin kabuksuz olması nedeniyle çocuk ve yaşlılar gibi dezavantajlı bireylere ekmek tüketim kolaylığının sağlandığı ve böylece ekmeğe daha sağlıklı, besleyici ve kolay tüketilebilir bir özellik kazandırıldığı değerlendirilmiştir. Ayrıca, amaca uygun olarak elde edilen bu sonuçlar doğrultusunda fırıncılık sektörüne, atmosferik basınçta 100°C'den çok daha yüksek bir sıcaklıkta pişirme yaparak hem daha yüksek oranda nişasta jelatinizasyonunu hem de ekmek hacminin diğer geleneksel pişirme yöntemlerinde olduğu gibi gelişmesini hedefleyen yeni bir fırın kazandırıldığı değerlendirilmiştir.

6. KAYNAKLAR

AACC, 2000a. Approved methods of analysis, 11th Ed. Method 54-21.02. Rheological behavior of flour by farinograph: Constant flour weight procedure. Approved January 6, 2011. *AACC International*, St. Paul, MN, U.S.A.

AACC, 2000b. Approved methods of analysis, 11th ed. Method 74-30.01. Staleness of bread-sensory perception test. Approved November 3, 1999. *AACC International*, St. Paul, MN, U.S.A.

Abedi, E., Pourmohammadi, K. ve Sayadi, M. 2022. Synergic effect of phytase, amylase, galactosidase, and asparaginase activity on the mitigation of acrylamide and hydroxymethylfurfural in roll bread by co-culture fermentation. *Journal of Food Composition and Analysis*, 106 104355.

Abraham, K., Gürtler, R., Berg, K., Heinemeyer, G., Lampen, A. ve Appel, K.E. 2011. Toxicology and risk assessment of 5-Hydroxymethylfurfural in food. *Molecular Nutrition and Food Research*, 55 (5): 667-678.

Ahrne, L., Andersson, C.-G., Floberg, P., Rosen, J. ve Lingnert, H. 2007. Effect of crust temperature and water content on acrylamide formation during baking of white bread: steam and falling temperature baking. *LWT-Food Science and Technology*, 40 (10): 1708-1715.

Ameur, L.A., Mathieu, O., Lalanne, V., Trystram, G. ve Birlouez-Aragon, I. 2007. Comparison of the effects of sucrose and hexose on furfural formation and browning in cookies baked at different temperatures. *Food Chemistry*, 101 (4): 1407-1416.

Angioloni, A. ve Collar, C. 2011. Physicochemical and nutritional properties of reduced-caloric density high-fibre breads. *LWT-Food Science and Technology*, 44 (3): 747-758.

APHA 1976. Compendium of methods for the microbiological examinations of foods. The American Public Health Association, Washington, America.702 s.

Arendt, E.K., Ryan, L.A.M. ve Dal Bello, F. 2007. Impact of sourdough on the texture of bread. *Food Microbiology*, 24 (2): 165-174.

Arık, E.A., Gönenç, İ. ve Us, F. 2008. Farklı amiloz içerikli mısır nişastalarının retrogradasyonu. Türkiye 10. Gıda Kongresi, ss, 21-23 Mayıs, Erzurum, Türkiye.

Arp, C.G., Correa, M.J. ve Ferrero, C. 2020. Kinetic study of staling in breads with high-amylose resistant starch. *Food Hydrocolloids*, 106 105879.

Arslan-Tontul, S., Mutlu, C., Candal, C. ve Erbaş, M. 2018. Microbiological and chemical properties of wet tarhana produced by different dairy products. *Journal of Food Science and Technology*, 55 (12): 4770-4781.

Arslan, S., Durak, A.N., Erbas, M., Tanriverdi, E. ve Gulcan, U. 2015. Determination of microbiological and chemical properties of probiotic boza and its consumer acceptability. *Journal of the American College of Nutrition*, 34 (1): 56-64.

Bakırcı, F. ve Köse, E. 2017. Ekşi hamurlardan laktik asit bakterileri ve mayaların izolasyonu ve tanımlanması. *Akademik Gıda*, 15 (2): 149-154.

Bartkiene, E., Bartkevics, V., Krungleviciute, V., Pugajeva, I., Zadeike, D. ve Juodeikiene, G. 2017a. Lactic acid bacteria combinations for wheat sourdough preparation and their influence on wheat bread quality and acrylamide formation. *Journal of Food Science*, 82 (10): 2371-2378.

Bartkiene, E., Bartkevics, V., Pugajeva, I., Krungleviciute, V., Mayrhofer, S. ve Domig, K. 2017b. The contribution of *P. acidilactici*, *L. plantarum*, and *L. curvatus* starters and L-(+)-lactic acid to the acrylamide content and quality parameters of mixed rye-wheat bread. *LWT-Food Science and Technology*, 80 43-50.

Besbes, E., Jury, V., Monteau, J.-Y. ve Le Bail, A. 2014. Effect of baking conditions and storage with crust on the moisture profile, local textural properties and staling kinetics of pan bread. *LWT-Food Science and Technology*, 58 (2): 658-666.

Bianchi, F., Careri, M., Chiavaro, E., Musci, M. ve Vittadini, E. 2008. Gas chromatographic–mass spectrometric characterisation of the Italian protected designation of origin "Altamura" bread volatile profile. *Food Chemistry*, 110 (3): 787-793.

Bircan, D., Güray, C.T. ve Bostan, K. 2017. Farklı yöntemlerle ekşitilmiş hamurlardan ekmek yapımı üzerine çalışmalar. *Aydın Gastronomy*, 1 (1): 1-8.

Borczak, B., Sikora, M., Sikora, E., Dobosz, A. ve Kapusta-Duch, J. 2018. Glycaemic index of wheat bread. *Starch-Starke*, 70 1-11.

Borda, D. ve Alexe, P. 2011. Acrylamide levels in food. *Romanian Journal of Food Science*, 1 (1): 3-15.

Buve, C., Pham, H.T.T., Hendrickx, M., Grauwet, T. ve Van Loey, A. 2021. Reaction pathways and factors influencing nonenzymatic browning in shelf-stable fruit juices during storage. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 20 (6): 5698-5721.

Candal, C. ve Erbas, M. 2019. The effects of different processes on enzyme resistant starch content and glycemic index value of wheat flour and using this flour in biscuit production. *Journal of Food Science and Technology*, 56 (9): 4110-4120.

Cappa, C., Lucisano, M., Raineri, A., Fongaro, L., Foschino, R. ve Mariotti, M. 2016. Gluten-free bread: Influence of sourdough and compressed yeast on proofing and baking properties. *Foods*, 5 (4): 69.

Capuano, E., Ferrigno, A., Acampa, I., Ait-Ameur, L. ve Fogliano, V. 2008. Characterization of the Maillard reaction in bread crisps. *European Food Research and Technology*, 228 (2): 311-319.

Capuano, E. ve Fogliano, V. 2011. Acrylamide and 5-hydroxymethylfurfural (HMF): A review on metabolism, toxicity, occurrence in food and mitigation strategies. *LWT-Food Science and Technology*, 44 (4): 793-810.

Castro, W., Oblitas, J., Chuquizuta, T. ve Avila-George, H. 2017. Application of image analysis to optimization of the bread-making process based on the acceptability of the crust color. *Journal of Cereal Science*, 74 194-199.

Celano, G., De Angelis, M., Minervini, F. ve Gobbetti, M. 2016. Different flour microbial communities drive to sourdoughs characterized by diverse bacterial strains and free amino acid profiles. *Frontiers in Microbiology*, 7 1770.

Chakraborty, S. ve Shrivastava, C. 2019. Comparison between multiresponse-robust process design and numerical optimization: A case study on baking of fermented chickpea flour-based wheat bread. *Journal of Food Process Engineering*, 42 (3): e13008.

Chavan, R.S. ve Chavan, S.R. 2011. Sourdough technology—a traditional way for wholesome foods: a review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 10 (3): 169-182.

Chhanwal, N., Anishaparvin, A., Indrani, D., Raghavarao, K. ve Anandharamakrishnan, C. 2010. Computational fluid dynamics (CFD) modeling of an electrical heating oven for bread-baking process. *Journal of Food Engineering*, 100 (3): 452-460.

Choudhary, A., Kumar, V., Kumar, S., Majid, I., Aggarwal, P. ve Suri, S. 2021. 5-Hydroxymethylfurfural (HMF) formation, occurrence and potential health concerns: Recent developments. *Toxin Reviews*, 40 (4): 545-561.

Claeys, W.L., De Vleeschouwer, K. ve Hendrickx, M.E. 2005. Quantifying the formation of carcinogens during food processing: Acrylamide. *Trends in Food Science and Technology*, 16 (5): 181-193.

Clarke, C., Schober, T. ve Arendt, E. 2002. Effect of single strain and traditional mixed strain starter cultures on rheological properties of wheat dough and on bread quality. *Cereal Chemistry*, 79 (5): 640-647.

Claus, A., Mongili, M., Weisz, G., Schieber, A. ve Carle, R. 2008. Impact of formulation and technological factors on the acrylamide content of wheat bread and bread rolls. *Journal of Cereal Science*, 47 (3): 546-554.

Claus, A., Weisz, G.M., Schieber, A. ve Carle, R. 2006. Pyrolytic acrylamide formation from purified wheat gluten and gluten-supplemented wheat bread rolls. *Molecular Nutrition and Food Research*, 50 (1): 87-93.

Codina, G.G., Sarion, C. ve Dabija, A. 2021. Effects of dry sourdough on bread-making quality and acrylamide content. *Agronomy*, 11 (10): 1977.

Dağlıoğlu, O. 1998. Ekmeğin önemi ve beslenmemizdeki yeri. *Un Mamülleri Dünyası*, 27 (2): 38-44.

Davies, C. ve Labuza, T. 1997. The Maillard reaction: Application to confectionery products. *Confectionery Science*, 33 35-66.

De Paola, E.L., Montevecchi, G., Masino, F., Garbini, D., Barbanera, M. ve Antonelli, A. 2017. Determination of acrylamide in dried fruits and edible seeds using QuEChERS extraction and LC separation with MS detection. *Food Chemistry*, 217 191-195.

De Vuyst, L., Comasio, A. ve Kerrebroeck, S.V. 2021. Sourdough production: fermentation strategies, microbial ecology, and use of non-flour ingredients. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 10.1080/10408398.2021.1976100.

De Vuyst, L., Van Kerrebroeck, S. ve Leroy, F. 2017. Microbial ecology and process technology of sourdough fermentation. *Advances in Applied Microbiology*. Elsevier, 49-160 s.

Demirekler, P., Sumnu, G. ve Sahin, S. 2004. Optimization of bread baking in a halogen lamp–microwave combination oven by response surface methodology. *European Food Research and Technology*, 219 (4): 341-347.

Dertli, E., Mercan, E., Arıcı, M., Yılmaz, M.T. ve Sağdıç, O. 2016. Characterisation of lactic acid bacteria from Turkish sourdough and determination of their exopolysaccharide (EPS) production characteristics. *LWT-Food Science and Technology*, 71 116-124.

Dessev, T., Lalanne, V., Keramat, J., Jury, V., Prost, C. ve Le-Bail, A. 2020. Influence of baking conditions on bread characteristics and acrylamide concentration. *Journal of Food Science and Nutrition Research*, 3 (4): 291-310.

Ding, L., Zhang, B., Tan, C.P., Fu, X. ve Huang, Q. 2019. Effects of limited moisture content and storing temperature on retrogradation of rice starch. *International Journal of Biological Macromolecules*, 137 1068-1075.

Dündar Arıkan, A. ve Özkeşkek, M. 2019. Türk mutfağında geleneksel ekmek pişirme yöntem, araç ve gereçlerinin yaşatılması: Pileki örneği. *Karadeniz Uluslararası Bilimsel Dergi*, (41): 52-61.

Edris, A.E., Murkovic, M. ve Siegmund, B. 2007. Application of headspace-solid-phase microextraction and HPLC for the analysis of the aroma volatile components of treacle and determination of its content of 5-hydroxymethylfurfural (HMF). *Food Chemistry*, 104 (3): 1310-1314.

Elgün, A. ve Ertugay, Z. 2011. Tahıl İşleme Teknolojisi. Atatürk Üniversitesi Yayınları, Erzurum, Türkiye.411 s.

Elgün, A., Ertugay, Z., Certel, M. ve Kotancılar, H.G. 2011. Tahıl ve Ürünlerinde Analitik Kalite Kontrolü ve Laboratuar Uygulama Kılavuzu. Atatürk Üniversitesi Yayınları, Erzurum, Türkiye.270 s.

Erbaş, M., Candal, C., Kılıç, Ö. ve Mutlu, C. 2016. Gıdaların nem sorpsiyon izotermlerinin belirlenmesi ve eşitliklerinin çözümü. *Gıda*, 41 (3): 171-178.

Erbas, M., Sekerci, H., Arslan, S. ve Durak, A.N. 2012. Effect of sodium metabisulfite addition and baking temperature on Maillard reaction in bread. *Journal of Food Quality*, 35 (2): 144-151.

Eriksson, E., Koch, K., Akonor, P. ve Oduro-Yeboah, C. 2014. Evaluation of the physical and sensory characteristics of bread produced from three varieties of cassava and wheat composite flours. *Food and Public Health*, 4 (5): 214-222.

Ertop, M.H. ve Sarikaya, S.B.Ö. 2017. The relations between hydroxymethylfurfural content, antioxidant activity and colorimetric properties of various bakery products. *Gıda*, 42 834-843.

Fennema, O.R. 1996. Food Chemistry. Marcel Dekker, Inc., New York.1059 s.

Fraberger, V., Unger, C., Kummer, C. ve Domig, K.J. 2020. Insights into microbial diversity of traditional Austrian sourdough. *LWT-Food Science and Technology*, 127 109358.

Friedman, M. 2015. Acrylamide: Inhibition of formation in processed food and mitigation of toxicity in cells, animals, and humans. *Food and Function*, 6 (6): 1752-1772.

Garcia-Mantrana, I., Yebra, M.J., Haros, M. ve Monedero, V. 2016. Expression of bifidobacterial phytases in *Lactobacillus casei* and their application in a food model of whole-grain sourdough bread. *International Journal of Food Microbiology*, 216 18-24.

Gelinas, P., Roy, G. ve Guillet, M. 1999. Relative effects of ingredients on cake staling based on an accelerated shelf-life test. *Journal of Food Science*, 64 (5): 937-940.

Gobbetti, M. 1998. The sourdough microflora: Interactions of lactic acid bacteria and yeasts. *Trends in Food Science and Technology*, 9 (7): 267-274.

Gökalp, H.Y., Kaya, M., Tülek, Y. ve Zorba, Ö. 1993. Et ve Ürünlerinde Kalite Kontrol ve Laboratuar Uygulama Kılavuzu. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, Erzurum.226 s.

Gökmen, V., Açar, Ö.Ç., Serpen, A. ve Morales, F.J. 2008. Effect of leavening agents and sugars on the formation of hydroxymethylfurfural in cookies during baking. *European Food Research and Technology*, 226 (5): 1031-1037.

Goni, I., Garcia-Alonso, A. ve Saura-Calixto, F. 1997. A starch hydrolysis procedure to estimate glycemic index. *Nutrition Research*, 17 (3): 427-437.

Guenther, H., Anklam, E., Wenzl, T. ve Stadler, R.H. 2007. Acrylamide in coffee: Review of progress in analysis, formation and level reduction. *Food Additives and Contaminants*, 24 (sup1): 60-70.

Gül, H., Acun, S., Hayıt, F. ve Şirikçi, B.S. 2021. Geleneksel ekşi mayalı Isparta ekmeğinin bazı kalite karakteristikleri açısından değerlendirilmesi. *SDU Journal of the Faculty of Agriculture/SDÜ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 16 (1).

Gül, H., Özçelik, S., Sağdıç, O. ve Certel, M. 2005. Sourdough bread production with lactobacilli and *S. cerevisiae* isolated from sourdoughs. *Process Biochemistry*, 40 (2): 691-697.

Gülcan, Ü., Candal-Uslu, C., Mutlu, C., Arslan-Tontul, S. ve Erbaş, M. 2020. Impact of inert and inhibitor baking atmosphere on HMF and acrylamide formation in bread. *Food Chemistry*, 332 127434.

Guo, H., Wu, H., Sajid, A. ve Li, Z. 2021. Whole grain cereals: The potential roles of functional components in human health. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 1-16.

Hammes, W.P. ve Gänzle, M. 1998. Sourdough breads and related products. *Microbiology of Fermented Foods*. Springer, 199-216 s.

Hayta, M. ve Ertop, M.H. 2019. Physicochemical, textural and microbiological properties of optimised wheat bread formulations as affected by differently fermented sourdough. *Quality Assurance and Safety of Crops and Foods*, 11 (3): 283-293.

Huang, S. ve Miskelly, D. 1991. Steamed bread-A popular food in China. *Food Australia-Official Journal of CAFTA and AIFST*.

Ibanoglu, S. 1996. An investigation into the properties of tarhana produced by traditional and extrusion methods.Ph.D. Thesis, Manchaster University, England s.

ICC, 1976. Method No: 110/1. Determination of the moisture content of cereals and cereal products (Practical method). Approved 1960. *ICC Standards*, Vienna, Austria. .

Içöz, D., Sumnu, G. ve Sahin, S. 2004. Color and texture development during microwave and conventional baking of breads. *International Journal of Food Properties*, 7 (2): 201-213.

Isleroglu, H. ve Kaymak-Ertekin, F. 2016. Modelling of heat and mass transfer during cooking in steam-assisted hybrid oven. *Journal of Food Engineering*, 181 50-58.

Isleroglu, H., Kemerli, T., Sakin-Yilmazer, M., Guven, G., Ozdestan, O., Uren, A. ve Kaymak-Ertekin, F. 2012. Effect of steam baking on acrylamide formation and browning kinetics of cookies. *Journal of Food Science*, 77 (10): E257-E263.

ISO, 2001. Standard No: ISO 8261:2001 (IDF Standard 122: 2001). Milk and milk products, Preparation of sample and dilutions for microbiological examination. International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.

Jaeger, H., Janositz, A. ve Knorr, D. 2010. The Maillard reaction and its control during food processing. The potential of emerging technologies. *Pathologie Biologie*, 58 (3): 207-213.

Janzowski, C., Glaab, V., Samimi, E., Schlatter, J. ve Eisenbrand, G. 2000. 5-Hydroxymethylfurfural: Assessment of mutagenicity, DNA-damaging potential and reactivity towards cellular glutathione. *Food and Chemical Toxicology*, 38 (9): 801-809.

Jing, H. ve Kitts, D.D. 2004. Antioxidant activity of sugar–lysine Maillard reaction products in cell free and cell culture systems. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 429 (2): 154-163.

Jusoh, Y.M., Chin, N., Yusof, Y. ve Rahman, R.A. 2009. Bread crust thickness measurement using digital imaging and L a b colour system. *Journal of Food Engineering*, 94 (3-4): 366-371.

Karaçil, M.Ş. ve Acar Tek, N. 2013. Dünyada üretilen fermente ürünler: tarihsel süreç ve sağlık ile ilişkileri. *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 27 (2): 163-174.

Katsi, P., Kosma, I.S., Michailidou, S., Argiriou, A., Badeka, A.V. ve Kontominas, M.G. 2021. Characterization of artisanal spontaneous sourdough wheat bread from central Greece: Evaluation of physico-chemical, microbiological, and sensory properties in relation to conventional yeast leavened wheat bread. *Foods*, 10 (3): 635.

Kawai, K., Fukami, K. ve Yamamoto, K. 2012. Effect of temperature on gelatinization and retrogradation in high hydrostatic pressure treatment of potato starch–water mixtures. *Carbohydrate Polymers*, 87 (1): 314-321.

Kchaou, H., Benbettaieb, N., Jridi, M., Nasri, M. ve Debeaufort, F. 2019. Influence of Maillard reaction and temperature on functional, structure and bioactive properties of fish gelatin films. *Food Hydrocolloids*, 97 105196.

Kemerli, T., Isleroglu, H., SakinYilmazer, M., Guven, G., Ozdestan, O., Kaymak-Ertekin, F., Uren, A. ve Ozyurt, B. 2011. Steam assisted baking of cookies as compared to

convectional baking. Proceedings of the 11th International Congress on Engineering and Food, Athens, Greece, ss,

Keramat, J., LeBail, A., Prost, C. ve Jafari, M. 2011. Acrylamide in baking products: A review article. *Food and Bioprocess Technology*, 4 (4): 530-543.

Kim, Y., Huang, W., Zhu, H. ve Rayas-Duarte, P. 2009. Spontaneous sourdough processing of Chinese Northern-style steamed breads and their volatile compounds. *Food Chemistry*, 114 (2): 685-692.

Koca, N. ve Yazıcı, H. 2014. Coğrafi faktörlerin Türkiye ekmek kültürü üzerindeki etkileri. *Electronic Turkish Studies*, 9 (8).

Köpüklü, M. 2021. Sucuk tekniği ile "çömlek fırın" yapımı. *Sanat Dergisi*, (38): 363-384.

Kosemani, B.S., Ilori, A.T. ve Atere, A.O. 2021. Modification and optimization of a baking oven for small scale bread production. *Agricultural Sciences*, 12 (6): 630-644.

Lee, C.-H., Chen, K.-T., Lin, J.-A., Chen, Y.-T., Chen, Y.-A., Wu, J.-T. ve Hsieh, C.-W. 2019. Recent advances in processing technology to reduce 5-hydroxymethylfurfural in foods. *Trends in Food Science and Technology*, 93 271-280.

Lefebvre, D., Gabriel, V., Vayssier, Y. ve Fontagne-Faucher, C. 2002. Simultaneous HPLC determination of sugars, organic acids and ethanol in sourdough process. *LWT-Food Science and Technology*, 35 (5): 407-414.

Levine, R.A. ve Smith, R.E. 2005. Sources of variability of acrylamide levels in a cracker model. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53 (11): 4410-4416.

Li, H., Hu, S. ve Fu, J. 2022. Effects of acetic acid bacteria in starter culture on the properties of sourdough and steamed bread. *Grain and Oil Science and Technology*, 5 (1): 13-21.

Li, N., Liu, Y., Zhao, Y., Zheng, X., Lu, J. ve Liang, Y. 2016. Simultaneous HPLC determination of amino acids in tea infusion coupled to pre-column derivatization with 2, 4-dinitrofluorobenzene. *Food Analytical Methods*, 9 (5): 1307-1314.

Limbad, M., Gutierrez Maddox, N., Hamid, N. ve Kantono, K. 2020. Sensory and physicochemical characterization of sourdough bread prepared with a coconut water kefir starter. *Foods*, 9 (9): 1165.

Lin, Z.J., Miskelly, D.M. ve Moss, H.J. 1990. Suitability of various Australian wheats for Chinese-style steamed bread. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 53 (2): 203-213.

Liu, J., Liu, X., Man, Y. ve Liu, Y. 2018a. Reduction of acrylamide content in bread crust by starch coating. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 98 (1): 336-345.

Liu, T., Li, Y., Sadiq, F.A., Yang, H., Gu, J., Yuan, L., Lee, Y.K. ve He, G. 2018b. Predominant yeasts in Chinese traditional sourdough and their influence on aroma formation in Chinese steamed bread. *Food Chemistry*, 242 404-411.

Los, A., Ziuzina, D. ve Bourke, P. 2018. Current and future technologies for microbiological decontamination of cereal grains. *Journal of Food Science*, 83 (6): 1484-1493.

Mantzourani, I., Plessas, S., Odatzidou, M., Alexopoulos, A., Galanis, A., Bezirtzoglou, E. ve Bekatorou, A. 2019. Effect of a novel *Lactobacillus paracasei* starter on sourdough bread quality. *Food Chemistry*, 271 259-265.

Mapari, S.A.S., Meyer, A.S. ve Thrane, U. 2006. Colorimetric characterization for comparative analysis of fungal pigments and natural food colorants. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54 (19): 7027-7035.

Mesias, M., Delgado-Andrade, C. ve Morales, F.J. 2020. Process contaminants in battered and breaded foods prepared at public food service establishments. *Food Control*, 114 107217.

Mikulec, A., Kowalski, S., Sabat, R., Skoczylas, L., Tabaszewska, M. ve Wywrocka-Gurgul, A. 2019. Hemp flour as a valuable component for enriching physicochemical and antioxidant properties of wheat bread. *LWT-Food Science and Technology*, 102 164-172.

Mogol, B.A. ve Gökmen, V. 2016. Thermal process contaminants: Acrylamide, chloropropanols and furan. *Current Opinion in Food Science*, 7 86-92.

Mohan Kumar, N., Shimray, C.A., Indrani, D. ve Manonmani, H. 2014. Reduction of acrylamide formation in sweet bread with L-asparaginase treatment. *Food and Bioprocess Technology*, 7 (3): 741-748.

Mondal, A. ve Datta, A. 2008. Bread baking–A review. *Journal of Food Engineering*, 86 (4): 465-474.

Nachi, I., Fhoula, I., Smida, I., Taher, I.B., Chouaibi, M., Jaunbergs, J., Bartkevics, V. ve Hassouna, M. 2018. Assessment of lactic acid bacteria application for the reduction of acrylamide formation in bread. *LWT-Food Science and Technology*, 92 435-441.

Olaerts, H. ve Courtin, C.M. 2018. Impact of preharvest sprouting on endogenous hydrolases and technological quality of wheat and bread: A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 17 (3): 698-713.

Ologunye, O., Abdulmumuni, B., Fanifosi, J., Azeez, N. ve Akinola, O. 2020. Fabrication and performance evaluation of a low-cost electric baking oven. *School of Engineering Technology Annual International Conference (SAINCONF)*, 1 (1): 22-27.

Olugbade, T.O. ve Ojo, O.T. 2018. Development and performance evaluation of an improved electric baking oven. *Leonardo Electronic Journal of Practices and Technologies*, 33 189-206.

Osman, R.M., Yang, T.A., Ahmed, A.H.R., Ahmed, K.E., Ali, M.H. ve Khair, S.M. 2017. Optimization of bread baking conditions in superheated steam oven using response surface methodology. *International Journal of Agricultural and Environmental Research*, 3 (3): 290-301.

Özkaya, B., Baumgartner, B. ve Özkaya, H. 2018. Effects of concentrated and dephytinized wheat bran and rice bran addition on bread properties. *Journal of Texture Studies*, 49 (1): 84-93.

Özkaya, H. ve Özkaya, B. 2005. Tahıl Ürünleri ve Analiz Yöntemleri. Gıda Teknolojisi Derneği Yayınları Yayın No: 31, Ankara, Türkiye.152 s.

Patel, B., Waniska, R. ve Seetharaman, K. 2005. Impact of different baking processes on bread firmness and starch properties in breadcrumb. *Journal of Cereal Science*, 42 (2): 173-184.

Pedreschi, F., Saavedra, I., Bunger, A., Zuñiga, R.N., Pedreschi, R., Chirinos, R., Campos, D. ve Mariotti-Celis, M.S. 2018. Tara pod (*Caesalpinia spinosa*) extract mitigates neo-contaminant formation in Chilean bread preserving their sensory attributes. *LWT-Food Science and Technology*, 95 116-122.

Peluola-Adeyemi, O., Obi, T. ve Ugbogu, D. 2016. Effect of temperature and time on the physical properties of bread produced from wheat–cocoyam flour using response surface methodology. *Journal of Food Technology Research*, 3 (2): 63-71.

Pomeranz, Y., Huang, M. ve Rubenthaler, G. 1991. Steamed bread. III. Role of lipids. *Cereal Chemistry*, 68 (4): 353-356.

Pu, D., Zhang, Y., Sun, B., Ren, F., Zhang, H., Chen, H. ve Tang, Y. 2021. Characterization of the key taste compounds during bread oral processing by instrumental analysis and dynamic sensory evaluation. *LWT-Food Science and Technology*, 138 110641.

Purlis, E. 2010. Browning development in bakery products–A review. *Journal of Food Engineering*, 99 (3): 239-249.

Purlis, E. ve Salvadori, V.O. 2007. Bread browning kinetics during baking. *Journal of Food Engineering*, 80 (4): 1107-1115.

Ramirez-Jimenez, A., Garcia-Villanova, B. ve Guerra-Hernandez, E. 2001. Effect of toasting time on the browning of sliced bread. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 81 (5): 513-518.

Rinaldi, M., Paciulli, M., Caligiani, A., Sgarbi, E., Cirlini, M., Dall'Asta, C. ve Chiavaro, E. 2015. Durum and soft wheat flours in sourdough and straight-dough bread-making. *Journal of Food Science and Technology*, 52 (10): 6254-6265.

Rollán, G., Gerez, C., Dallagnol, A., Torino, M. ve Font, G. 2010. Update in bread fermentation by lactic acid bacteria. *Current Research, Technology and Education, Topics in Applied Microbiology and Microbial Biotechnology*, 2 1168-1174.

Rubenthaler, G., Huang, M. ve Pomeranz, Y. 1990. Steamed bread. I. Chinese steamed bread formulation and interactions. *Cereal Chemistry*, 67 (5): 471-475.

Sadeghi, A., Ebrahimi, M., Mortazavi, S.A. ve Abedfar, A. 2019. Application of the selected antifungal LAB isolate as a protective starter culture in pan whole-wheat sourdough bread. *Food Control*, 95 298-307.

Sakandar, H.A., Hussain, R., Kubow, S., Sadiq, F.A., Huang, W.N. ve Imran, M. 2019. Sourdough bread: A contemporary cereal fermented product. *Journal of Food Processing and Preservation*, 43 (3).

Sakin-Yilmazer, M., Kemerli, T., Isleroglu, H., Ozdestan, O., Guven, G., Uren, A. ve Kaymak-Ertekin, F. 2013. Baking kinetics of muffins in convection and steam assisted hybrid ovens (baking kinetics of muffin…). *Journal of Food Engineering*, 119 (3): 483-489.

Saldamlı, İ. 2007. Gıda Kimyası. Hacettepe Üniversitesi Yayınları, Ankara, Türkiye.671 s.

Sanz-Penella, J.M., Tamayo-Ramos, J.A. ve Haros, M. 2012. Application of Bifidobacteria as starter culture in whole wheat sourdough breadmaking. *Food and Bioprocess Technology*, 5 (6): 2370-2380.

Schakel, S., Schauer, R., Himes, J., Harnack, L. ve Van Heel, N. 2008. Development of a glycemic index database for dietary assessment. *Journal of Food Composition and Analysis*, 21, Supplement S50-S55.

Sha, H.Y., Wang, Q.Q. ve Li, Z.J. 2022. Comparison of the effect of exopolysaccharide-producing lactic acid bacteria from sourdough on dough characteristics and steamed bread quality. *International Journal of Food Science and Technology*, doi:10.1111/ijfs.15881 1-9.

Shen, Y., Tebben, L., Chen, G. ve Li, Y. 2019. Effect of amino acids on Maillard reaction product formation and total antioxidant capacity in white pan bread. *International Journal of Food Science and Technology*, 54 (4): 1372-1380.

Shi, J., Shao, Z., Li, H., Zhang, Y. ve Wang, S. 2019. Co-extraction and co-purification coupled with HPLC-DAD for simultaneous detection of acrylamide and 5-hydroxymethyl-2-furfural in thermally processed foods. *Molecules*, 24 (20): 3734.

Shittu, T., Raji, A. ve Sanni, L. 2007. Bread from composite cassava-wheat flour: I. Effect of baking time and temperature on some physical properties of bread loaf. *Food Research International*, 40 (2): 280-290.

Simsek, S. 2011. Production of Resistant Starch from Taro (*Colocasia esculenta* L. schott) Corm and Determination of Its Effects on Health by *in vitro* Methods.Ph.D. Thesis, Ege University, İzmir.89 s.

Stojanovska, S. ve Tomovska, J. 2015. Factors influence to formation of acrylamide in food. *Journal of Hygienic Engineering and Design*, 13 (4): 10-15.

Su, X.Q., Wu, F.F., Zhang, Y.Q., Yang, N., Chen, F., Jina, Z.Y. ve Xu, X.M. 2019. Effect of organic acids on bread quality improvement. *Food Chemistry*, 278 267-275.

Taeymans, D., Wood, J., Ashby, P., Blank, I., Studer, A., Stadler, R.H., Gonde, P., Eijck, P., Lalljie, S. ve Lingnert, H. 2004. A review of acrylamide: An industry perspective on research, analysis, formation, and control. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 44 (5): 323-347.

Telatar, K.Y. 1985. Elma suyu ve konsantrelerinde hidroksimetilfurfural (HMF), I. Farklı elma çeşitlerinin elma suyu ve konsantresine işlenmesi süresinde HMF oluşumu. *Gıda*, 10 (4).

Thielecke, F., Lecerf, J.-M. ve Nugent, A.P. 2021. Processing in the food chain: Do cereals have to be processed to add value to the human diet? *Nutrition Research Reviews*, 34 (2): 159-173.

Türk Gıda Kodeksi, T.G., 2012. Ekmek ve ekmek çeşitleri tebliği, 28163. Tarım ve Orman Bakanlığı, https://www.resmigazete.gov.tr/.

Türk Gıda Kodeksi, T.G., 2013. Buğday unu tebliği, 28606. Tarım ve Orman Bakanlığı, https://www.resmigazete.gov.tr/.

Van Boekel, M.A.J.S. 2006. Formation of flavour compounds in the Maillard reaction. *Biotechnology Advances*, 24 (2): 230-233.

Vanin, F.M., Lucas, T. ve Trystram, G. 2009. Crust formation and its role during bread baking. *Trends in Food Science and Technology*, 20 (8): 333-343.

Wang, P., Yang, R., Gu, Z., Xu, X. ve Jin, Z. 2017. Comparative study on the freeze stability of yeast and chemical leavened steamed bread dough. *Food Chemistry*, 221 482-488.

Wang, X., Zhao, R. ve Yuan, W. 2020. Type I sourdough steamed bread made by retarded sponge-dough method. *Food Chemistry*, 311 126029.

Wu, C., Liu, R., Huang, W., Rayas-Duarte, P., Wang, F. ve Yao, Y. 2012. Effect of sourdough fermentation on the quality of Chinese Northern-style steamed breads. *Journal of Cereal Science*, 56 (2): 127-133.

Xi, J., Xu, D., Wu, F., Jin, Z., Yin, Y. ve Xu, X. 2020. The aroma compounds of Chinese steamed bread fermented with sourdough and instant dry yeast. *Food Bioscience*, 38 100775.

Xu, D., Hu, Y., Wu, F., Jin, Y., Xu, X. ve Gänzle, M.G. 2020. Comparison of the functionality of exopolysaccharides produced by sourdough lactic acid bacteria in bread and steamed bread. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 68 (33): 8907-8914.

Xu, D., Zhang, Y., Tang, K., Hu, Y., Xu, X. ve Ganzle, M.G. 2019. Effect of mixed cultures of yeast and lactobacilli on the quality of wheat sourdough bread. *Frontiers in Microbiology*, 2113.

Xu, K., Chi, C., She, Z., Liu, X., Zhang, Y., Wang, H. ve Zhang, H. 2022. Understanding how starch constituent in frozen dough following freezing-thawing treatment affected quality of steamed bread. *Food Chemistry*, 366 130614.

Yan, B., Sadiq, F.A., Cai, Y., Fan, D., Zhang, H., Zhao, J. ve Chen, W. 2019. Identification of key aroma compounds in type I sourdough-based Chinese steamed bread: Application of untargeted metabolomics analysisp. *International Journal of Molecular Sciences*, 20 (4).

Yaylayan, V.A. ve Stadler, R.H. 2005. Acrylamide formation in food: A mechanistic perspective. *Journal of AOAC International*, 88 (1): 262-267.

Yildirim, R.M. ve Arici, M. 2019. Effect of the fermentation temperature on the degradation of phytic acid in whole-wheat sourdough bread. *LWT-Food Science and Technology*, 112 108224.

Yilmaz, Y. ve Toledo, R. 2005. Antioxidant activity of water-soluble Maillard reaction products. *Food Chemistry*, 93 (2): 273-278.

Youssef, M., Abou-Gharbia, H. ve Abou-Bakr, H. 2004. Acrylamide in food: An overview. *Alexandria Journal of Food Science and Technology*, 1 (1): 1-22.

Zhang, Z., Zou, Y., Wu, T., Huang, C., Pei, K., Zhang, G., Lin, X., Bai, W. ve Ou, S. 2016. Chlorogenic acid increased 5-hydroxymethylfurfural formation when heating fructose alone or with aspartic acid at two pH levels. *Food Chemistry*, 190 832-835.

Zhao, B., Fu, S., Li, H., Li, H., Liu, C. ve Chen, Z. 2022. Effect of storage conditions on the quality of frozen steamed bread. *International Journal of Food Science and Technology*, 57 (1): 695-704.

Zhu, F. 2014. Influence of ingredients and chemical components on the quality of Chinese steamed bread. *Food Chemistry*, 163 154-162.

Zhu, F. 2016. Staling of Chinese steamed bread: Quantification and control. *Trends in Food Science and Technology*, 55 118-127.

Zhu, F. 2019. Glycemic control in Chinese steamed bread: Strategies and opportunities. *Trends in Food Science and Technology*, 86 252-259.

ÖZGEÇMİŞ

CİHADİYE CANDAL USLU

ÖĞRENİM BİLGİLERİ

Doktora 2016-2022	Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Antalya
Yüksek Lisans 2014-2016	Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Antalya
Lisans 2009-2014	Akdeniz Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Antalya

MESLEKİ VE İDARİ GÖREVLER

Öğr. Gör. (Uygulamalı birim) 2017-Devam Ediyor	Artvin Çoruh Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, Artvin

ESERLER

Uluslararası hakemli dergilerde yayımlanan makaleler

1- Mutlu C., **Candal-Uslu C.**, Özhanlı H., Arslan-Tontul S., Erbas M. 2022. Modulating of food glycemic response by lactic acid bacteria. Food Bioscience, 47, 101685. https://doi.org/10.1016/j.fbio.2022.101685.

2- Arslan-Tontul S., **Candal Uslu C.**, Mutlu C., Erbaş M. 2021. Expected glycemic impact and probiotic stimulating effects of whole grain flours of buckwheat, quinoa, amaranth and chia. Journal of Food Science and Technology. 1-8. https://doi.org/10.1007/s13197-021-05156-8.

3- **Candal Uslu C.**, Mutlu C., Koç A., Bilgin D. G., Erbaş M. 2021. A new gluten-free product: Brown rice bulgur, and its some physical and chemical properties. Journal of Food Processing and Preservation. 45 (3), e15205. https://doi.org/10.1111/jfpp.15205.

4- Gülcan Ü., **Candal Uslu C.**, Mutlu C., Arslan Tontul S., Erbaş M. 2020. Impact of inert and inhibitor baking atmosphere on HMF and acrylamide formation in bread. Food Chemistry. 332, 127434, https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127434.

5- Mutlu C., **Candal Uslu C.**, Kılıç Büyükkurt Ö., Erbaş M. 2020. Sorption isotherms of coffee in different stages for producing Turkish coffee. Journal of Food Processing and Preservation. 44 (5), e14440, https://doi.org/10.1111/jfpp.14440.

6- **Candal C.**, Erbas M. 2019. The effects of different processes on enzyme resistant starch content and glycemic index value of wheat flour and using this flour in biscuit production. Journal of Food Science and Technology. 56 (9), 4110-4120 Pp, https://doi.org/10.1007/s13197-019-03880-w.

7- **Candal C.**, Mutlu C., Arslan Tontul S., Erbaş M. 2018. The stages of candied chestnut and the influence of the sorbitol used on their properties. Quality Assurance and Safety of Crops Foods. 10 (4), 351-360 Pp, https://doi.org/10.3920/QAS2018.1297.

8- Arslan Tontul S., Mutlu C., **Candal C.**, Erbaş M. 2018. Microbiological and Chemical Properties of Wet Tarhana Produced by Different Dairy Products. Journal of Food Science and Technology-Mysore. 55, 4770-4781 Pp, https://doi.org/10.1007/s13197-018-3410-9.

9- Aykin Dinçer, E., Kiliç Büyükkurt, Ö., **Candal, C.**, Bilgiç, F. B., and Erbaş, M. 2018. Investigation of the Usability of Retrograded Flour in Meatball Production as A Structure Enhancer. Korean Journal for Food Science of Animal Resources. 38 (1), 78-87 Pp, https://doi.org/10.5851/kosfa.2018.38.1.78.

10- Mutlu, C., Arslan Tontul, S., **Candal, C.**, Kilic, O., Erbas, M. 2018. Physicochemical, Thermal, and Sensory Properties of Blue Corn (*Zea Mays* L.). Journal of Food Science. 83 (1), 53-59 Pp, https://doi.org/10.1111/1750-3841.14014.

11- Kilic, O., Aykin, E., Cam, I. B., **Candal, C.**, Erbas, M. 2017. The Influence of Cooking Methods and Some Marinades on Polycyclic Aromatic Hydrocarbon Formation in Beef Meat. Polycyclic Aromatic Compounds. Online Volume, 1-11 Pp. https://doi.org/10.1080/10406638.2017.1392328.

12- Arslan, S., Erbas, M., **Candal, C**., Mutlu, C. 2016. Effects of Processing on the Chemical Composition of Rice. Quality Assurance and Safety of Crops & Foods. 8 (4), 597-608 Pp. https://doi.org/10.3920/QAS2015.0656.

Ulusal hakemli dergilerde yayımlanan makaleler

1- Cansız Z., **Candal Uslu C.**, Mutlu C., Arslan Tontul S., Ercan R., Erbaş M. 2020. Farklı oranlarda peynir altı suyu kullanımının beyaz ve tam buğday unlarından üretilen ekmeklerin bazı özellikleri üzerine etkisi. Gıda, 45(1), Ss 125-138.

2- Mutlu, C., Arslan Tontul, S., **Candal, C.**, Erbaş, M. 2019. Bazı Tahıl Benzeri Ürünlerin Glutensiz Kek Üretiminde Kullanımı. Gıda. 44(5), Ss 770-780.

3- **Candal, C.**, Kılıç, Ö., Erbas, M. 2016. Enzime Dirençli Nişasta Üretim Yöntemleri ve Gıda Endüstrisinde Kullanım Amaçları. Gıda. 41(6), Ss 419-426.

4- Erbaş, M., **Candal, C.**, Kılıç, Ö., Mutlu, C. 2016. Gıdaların Nem Sorpsiyon İzotermlerinin Belirlenmesi ve Eşitliklerinin Çözümü. Gıda. 41(3), Ss 171-178.

Hakemli uluslararası konferans/sempozyumların tam metin bildiri kitaplarında yayınlanan bildiriler

1- Sümbül, M., **Candal-Uslu, C.**, Erbaş, M. 2022. Investigation of the Development Possibilities of a Liquid Sourdough to be Used in the Production of Sourdough Bread. In: , et al. 10th Central European Congress on Food. CE-Food 2020. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-04797-8_34.

Uluslararası bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitaplarında basılan bildiriler

1- Öztürk M., **Candal-Uslu C.**, Mutlu C., Koç A., Erbaş M. 2021. Sorbitol Production with Catalytic Hydrogenation from Glucose. 10th Central European Congress on Food (CEFood), 10-11 June, Sarajevo, Bosnia and Herzegovina, 57-58 Pp.

2- **Candal-Uslu C.**, Mutlu C., Koç A., Bilgin D. G., Erbaş M. 2021. Brown Rice Bulgur Production. 10th Central European Congress on Food (CEFood), 10-11 June, Sarajevo, Bosnia and Herzegovina, 111 Pp.

3- Sümbül M., **Candal-Uslu C.**, Erbaş M. 2021. Investigation of the Development Possibilities of a Liquid Sour Dough Bread to be Used in the Production of Sour Dough Bread. 10th Central European Congress on Food (CEFood), 10-11 June, Sarajevo, Bosnia and Herzegovina, 131-132 Pp.

4- Gülcan Ü., Durak A. N., Mutlu C., Arslan Tontul S., **Candal C.**, Erbaş M. 2018. Effects of Baking Atmosphere on Non-Enzymatic Browning Reactions in Bread. 3rd

International Congress on Food Technology, 10-12 October, Nevşehir, Turkey, 70 Pp.

5- Mutlu C., Arslan Tontul S., **Candal C.**, Erbaş M. 2018. Fatty Acid Composition of Some Pseudocereals. 3rd International Congress on Food Technology, 10-12 October, Nevşehir, Turkey, 170 Pp.

6- Arslan Tontul S., Mutlu C., **Candal C.**, Erbaş M. 2018. Determination of Functional Properties of Some Pseudocereals. 3rd International Congress on Food Technology, 10-12 October, Nevşehir, Turkey, 35 Pp.

7- **Candal, C.**, Mutlu, C., Erbas, M. 2018. Production Strategies of Low Glycemic Index Foods. NUTRICON-Congress in Food Quality and Safety, Health and Nutrition, 13-15 June, Ohrid, Macedonia. 164 Pp.

8- Mutlu, C., **Candal, C.**, Erbas, M. 2018. Nutritional Properties and Health Effects of Some Beekeeping Products. NUTRICON-Congress in Food Quality and Safety, Health and Nutrition, 13-15 June, Ohrid, Macedonia. 185 Pp.

9- Arslan Tontul, S., Mutlu, C., **Candal, C.**, Erbas, M. 2017. The Volatile Compounds of Kefir Added Wet Tarhana. 31st EFFoST International Conference, 13-16 November, Sitges, Spain. 70 Pp.

10- **Candal, C.**, Arslan Tontul, S., Mutlu, C., Erbas, M. 2017. Candied Chestnut Produced with Sorbitol. 31st EFFoST International Conference, 13-16 November, Sitges, Spain. 57 Pp.

11- Mutlu, C., Arslan, S., **Candal, C.**, Kilic O., Erbas, M. 2017. Some Physical and Chemical Properties of Blue Corn (Zea Mays L.). 16th European Young Cereal Scientists and Technologists Workshop, 18-21 April, Thessalonica, Greece. 12 Pp.

12- Mutlu, C., Arslan, S., **Candal, C.**, Erbas, M. 2017. Determination of Some Physical and Chemical Properties of Gluten-Free Cake Enriched with Pseudocereals. 6th International Congress on Food Technology, 18-19 March, Athens, Greece. 42 Pp.

13- **Candal, C.**, Mutlu, C., Arslan, S., Erbas, M. 2017. Kefır Addition in Production of Wet Tarhana. 6th International Congress on Food Technology, 18-19 March, Athens, Greece. 166 Pp.

14- **Candal, C.**, Erbas, M. 2016. Some Physical and Chemical Properties of Biscuits Produced as Adding of Flour Containing Different Levels of Enzyme Resistant Starch. FSD 2016 - 2nd Congress on Food Structure Design, 26-28 October, Antalya, Turkey. 172 Pp.

15- Erbas, M., Mutlu, C., **Candal, C.**, Arslan, S., Olcay N., Isen N. 2016. Some Properties of Wheat Sprouts. 5th International Cereal and Bread Congress, 18-21 April, Istanbul, Turkey. 252 Pp.

16- Mutlu, C., Yasar, S., Arslan, S., **Candal, C.**, Erbas, M. 2015. Production of Traditional Chesnut Candy and Determination of Some Physical and Chemical

Properties. The 3th International Symposium On Traditional Foods From Adriatic To Caucasus, 01-04 October, Sarajevo, Bosnia and Herzegovina. 432 Pp.

17- Erbas, M., **Candal, C.**, Arslan, S., Mutlu, C. 2015. Lump Tarhana and Its Production. The 3th International Symposium On Traditional Foods From Adriatic To Caucasus, 01-04 October, Sarajevo, Bosnia and Herzegovina. 121 Pp.

Ulusal bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitaplarında basılan bildiriler

1- Mutlu C., Bilgin D. G., Koç A., Öztürk M., Sümbül M., **Candal-Uslu C.**, Özhanlı H., Arslan Tontul S., Akdeniz G., Erbaş M. 2020. Türkiye'nin Farklı Bölgelerinden Toplanan Bal Örneklerinin Bazı Fiziksel, Kimyasal ve Biyolojik Özellikleri. Türkiye 13. Gıda Kongresi, 21-23 Ekim, Çanakkale, Türkiye, Ss 76. (Özet Bildiri/Sözlü Sunum)

2- Koç A., **Candal-Uslu C.**, Erbaş M. 2020. Tahıllarda Lipit Oksidasyonu Üzerine Stabilizasyon Yöntemleri. Türkiye 13. Gıda Kongresi, 21-23 Ekim, Çanakkale, Türkiye, Ss 82. (Özet Bildiri/Sözlü Sunum)

3- **Candal-Uslu C.**, Koç A., Erbaş M. 2020. Ekşi Hamur Fermantasyonunun Ekmek Hamurundaki Besin Bileşenleri ve Ekmeğin Kalite Özellikleri Üzerine Etkisi. Türkiye 13. Gıda Kongresi, 21-23 Ekim, Çanakkale, Türkiye, Ss 93. (Özet Bildiri/Sözlü Sunum)

4- **Candal, C.**, Kılıç, Ö., Erbaş, M. 2016. Farklı Un ve Su Oranlarının Enzime Dirençli Nişasta Oluşumu Üzerine Etkileri. Türkiye 12. Gıda Kongresi, 05-07 Ekim, Edirne, Türkiye. Ss 66.

5- Kılıç, Ö., **Candal, C.**, Erbaş, M. 2016. Fenilketonüri Hastalığı ve Fenilketonüri Hastalarına Yönelik Gıda Üretimi. Türkiye 12. Gıda Kongresi, 05-07 Ekim, Edirne, Türkiye. Ss 67.

6- Erbaş, M., Arslan, S., Durak, A. N., Aykın, E., Mutlu, C., **Candal, C.**, Kılıç, Ö. 2016. Gıdaların Su İçerikleri ve Su Aktivitelerinin Fizikokimyasal Anlamı ve Sorpsiyon İzotermlerinin Önemi. Türkiye 12. Gıda Kongresi, 05-07 Ekim, Edirne, Türkiye. Ss 112.

7- **Candal, C.**, Durak, A.N., Erbaş, M. 2015. Enzime Dirençli Nişastaca Zenginleştirilmiş Un Katkısının Ekmeğin Diyet Lif ve Fonksiyonel Gıda Özellikleri Üzerine Etkisi. İç Anadolu Bölgesi 2. Tarım ve Gıda Kongresi, 28-30 Nisan, Nevşehir, Türkiye. Ss 236