

**T.C.  
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**UNUN ENZİME DİRENÇLİ NIŞASTA İÇERİĞİNİN ZENGİNLEŞTİRİLMESİ VE  
BU UNUN BİR DİYET LİF KAYNAĞI OLARAK BİSKÜVİ ÜRETİMİNDE  
KULLANIM İMKANLARININ ARAŞTIRILMASI**

**Cihadiye CANDAL**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**2016**



**T.C.  
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**UNUN ENZİME DİRENÇLİ NİŞASTA İÇERİĞİNİN ZENGİNLEŞTİRİLMESİ  
VE BU UNUN BİR DİYET LİF KAYNAĞI OLARAK BİSKÜVİ ÜRETİMİNDE  
KULLANIM İMKANLARININ ARAŞTIRILMASI**

**Cihadiye CANDAL**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**Bu tez TÜRKİYE BİLİMSEL VE TEKNOLOJİK ARAŞTIRMA KURUMU  
(TÜBİTAK) tarafından 2210-C programı kapsamında desteklenmiştir.**

**2016**



T.C.  
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

UNUN ENZİME DİRENÇLİ NIŞASTA İÇERİĞİNİN ZENGİNLEŞTİRİLMESİ  
VE BU UNUN BİR DİYET LİF KAYNAĞI OLARAK BİSKÜVİ ÜRETİMİNDE  
KULLANIM İMKÂNLARININ ARAŞTIRILMASI

Cihadiye CANDAL

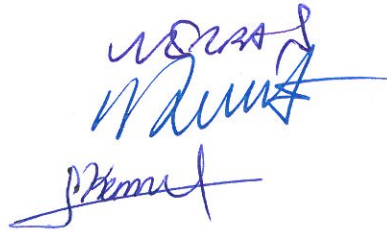
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu tez 14.7/2016 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği/Oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Mustafa ERBAŞ (Danışman)

Prof. Dr. Mehmet Murat KARAOĞLU

Doç. Dr. Mustafa Kemal USLU





## ÖZET

### UNUN ENZİME DİRENÇLİ NİŞASTA İÇERİĞİNİN ZENGİNLEŞTİRİLMESİ VE BU UNUN BİR DİYET LİF KAYNAĞI OLARAK BİSKÜVİ ÜRETİMİNDE KULLANIM İMKANLARININ ARAŞTIRILMASI

Cihadiye CANDAL

**Yüksek Lisans Tezi, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı**  
**Danışman: Doç. Dr. Mustafa ERBAŞ**  
**Temmuz 2016, 95 sayfa**

Bu araştırmada, farklı yöntemlerle unun enzime dirençli nişasta (EDN) içeriğinin zenginleştirilmesi ve EDN içeriği zenginleştirilmiş bu unun bir diyet lif kaynağı alternatifi olarak bisküvi üretiminde kullanım imkânlarının araştırılması amaçlanmıştır.

Tüketildikten sonra sindirilmeden dışarı atılan gıda bileşenleri olarak da tanımlanan diyet lifler bakımından zengin beslenmek, sağlıklı bir yaşam için oldukça önemlidir. Çalışmada geliştirilmesi amaçlanmış unun EDN içeriğinin diyet lif gibi davranması ve glisemik indeksinin düşük olması nedenleriyle sağlığı geliştirici etkilerinin olduğu değerlendirilmiştir.

Yapılan literatür taramasında, daha çok çeşitli kaynaklardan üretilen nişastalara enzime dirençli bir özellik kazandırılması araştırılmış, buğday unu üzerinde yapılan çalışmalarda bu konuda kısıtlı kalmıştır.

Çalışmanın ilk aşamasında; 4 farklı un/su oranında (1/5, 1/10, 1/15 ve 1/20) karışımlar hazırlandıktan ve bu karışımlar farklı 3 pH değerine (6.1, 5.5 ve 4.5) ayarlandıktan sonra, elde edilen karışımlar ultrasonikasyon uygulamalı ve uygulamaz olarak 3 farklı sıcaklıkta (80, 100 ve 121°C) jelatinize edilmiş ve jelatinize edilmiş örneklerde nişastasının retrograde olması sağlanarak unun EDN içeriğinin zenginleştirilmesi araştırılmıştır. Bu karışımların retrogradasyon ile birlikte kurutulmuş öğütülmesi ile elde edilen unların; renk değerleri, su tutma kapasiteleri, morfolojik özellikleri, kurumadde ve EDN içerikleri belirlenmiştir. İkinci aşamada ise en yüksek EDN içeriğine sahip un örneği belirlenmiş ve bu örneğin termal özellikleri ve prebiyotik etkisi değerlendirilmiştir. Bu un örneği fazla miktarda üretildikten sonra ise un ile EDN içeriği zenginleştirilmiş un (EDNİZU) 4 farklı oranda (%0 kontrol, %25, %50 ve %75) ikame edilerek bisküvi üretimleri gerçekleştirilmiş ve üretilen fazla miktardaki un örneği ile bisküvi örnekleri kilitli plastik torbalar içerisine alınarak oda sıcaklığındaki bir dolapta 60 gün süreyle depolanmıştır. Bu örnekler depolama boyunca her 30 günde bir analiz edilmiş ve örneklerin EDN ve kurumadde içerikleri ile renk ve glisemik indeks değerleri belirlenmiştir. Buna ilaveten bisküvi örneklerinin tekstürel sertlik ve kırılma değeri ve duyu özellikleri de bu süre içerisinde takip edilmiştir.

Yapılan değerlendirmeler sonucunda; uygulanan işlemlerin unun rengini koyulaştırdığı, su tutma kapasitesini arttırdığı, görünüm olarak camsı bir yapının meydana gelmesini sağladığı ve EDN içeriğini %0.11'den %3.29'a yükselttiği (yaklaşık

30 kat) tespit edilmiştir. En yüksek EDN içeriğine sahip un örneğinin ise 1/15 un/su oranında, pH:6.1 değerinde, 121°C sıcaklıkta ve ultrasonikasyon uygulanarak üretilen örnek olduğu belirlenmiştir. Bu un örneğinin erime sıcaklığının kontrol örneği bisküvilik beyaz una göre daha yüksek olduğu ve *L. acidophilus* gelişimi üzerinde prebiyotik etkiye sahip olabileceği tespit edilmiştir. En yüksek EDN içeriğine sahip unun kontrol örneğine göre daha koyu bir renkte ve nem içeriği ve glisemik indeksinin daha düşük olduğu belirlenmiştir. En yüksek EDN içeriğine sahip un örneği ve kontrol örneğinin depolanması ile ise bu özelliklerde değişim meydana gelmemiştir.

Farklı oranlarda EDNİZU un ilave edilerek üretilen bisküvilerin ağırlık kaybı, EDNİZU'nun bisküvi içerisine katılma oranının artmasıyla değişim göstermemiş; ancak, daha büyük çapta ve daha ince ürünler elde edilmiştir. EDNİZU'nun bisküvi içerisine katılma oranının artmasıyla bisküvilerin renk değerleri koyulaşmış, sertlik ve kırılabilirlik değerleri azalmış, nem ve EDN içeriği artmış, glisemik indeks değerleri ise azalmıştır. Depolamayla birlikte bisküvilerin renkleri açılırken, sertlikleri azalmış, kırılabilirlikleri ise artmıştır. Bisküvilerin nem içerikleri depolamayla birlikte artmış, ancak EDN içerikleri sabit kalırken glisemik indeks değerleri azalmış ve orta glisemik indeks değerine sahip ürünler üretilmiştir. Duyusal açıdan değerlendirme yapıldığında üretilen bisküvilerin tüketiciler tarafından kabul edilebilir olduğu değerlendirilmiştir.

**ANAHTAR KELİMELELER:** Enzime dirençli nişasta, Diyet lif, Glisemik indeks, Sağlığı geliştirici gıda, Bisküvi

**JÜRİ:** Doç. Dr. Mustafa ERBAŞ (Danışman)

Prof. Dr. Mehmet Murat KARAOĞLU

Doç. Dr. Mustafa Kemal USLU



## ABSTRACT

### **ENRICHMENT OF ENZYME RESISTANT STARCH CONTENT OF FLOUR AND RESEARCHING OF OPPORTUNITY TO USE THIS FLOUR IN BISCUIT PRODUCTION AS A DIETARY FIBER SOURCE**

**Cihadiye CANDAL**

**M.Sc. Thesis in Food Engineering  
Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Mustafa ERBAŞ  
July 2016, 95 pages**

In this research, the possibilities of enrichment of enzyme resistant starch (ERS) content of wheat flour by using different methods, and using ERS containing flour in biscuit production as an alternative source of dietary fiber was studied.

High intake of dietary fibers, also known as indigestible food components, in diet is essential for a healthy lifestyle. In the study, it was evaluated that the ERS content of obtained flour has health promoting effects due to its dietary fiber-like behavior and low glycemic index.

In literature review it was seen that, giving enzyme resisting properties to some starch types, obtained from different sources, are widely studied but studies, objecting wheat flour, are limited.

In the first step of the study, the slurries with four different flour/water ratios (1:5, 1:10, 1:15, and 1:20) were prepared and each slurry was also adjusted to three different pH degrees (6.1, 5.5 and 4.5) and then all samples treated with or without sonication prior to heating at three different temperatures (80, 100 and 121°C) for gelatinization, then the samples were left at 25°C for retrogradation to enrich the ERS content. Each produced sample was degraded to flour and then analyzed for color values, water holding capacity, morphological properties, dry-matter and ERS content. As the second step, the flour sample with highest ERS content among the produced samples was determined and subjected to further analyses to evaluate thermal properties and prebiotic effects. The chosen sample was produced in mass amount and used in different ratios (0%-control, 25%, 50% and 75%) at biscuit production as a flour replacer. ERS containing flour and produced biscuits were stored at room temperature in zipped plastic bags for 60 days. Each sample were analyzed every 30<sup>th</sup> day to determine color values, glycemic index, dry-matter and ERS content. In addition, the biscuits were also analyzed for textural hardness and fracturability, and sensorial properties.

It was determined that, the treatments applied to flour increased darkness, water holding capacity and, ERS content of samples increased to 3.29% from 0.11% (about 30 fold) while moisture content decreased. The treatments also induced formation of vitreous structure. The sample with highest ERS content was obtained from sonicated slurry prepared with 1:15 flour/water ratio at pH value of 6.1 at 121°C. The sample had higher melting point compared to control sample and have prebiotic effects on growth of *L.*

*acidophilus*. It also had lower glycemic index value. The properties such as color values, moisture content, ERS content and glycemic index of the flour sample did not change significantly during storage.

Increasing addition of ERS containing flour to biscuit formula did not affect the weight loss of biscuits significantly but resulted with obtaining wider and thinner biscuits due increasing interference to gluten network. It also increased the darkness, moisture and ERS content of biscuits while decrease the glycemic index, hardness and fracturability values.

The lightness and moisture content of biscuit samples increased while glycemic index, hardness and fracturability values decreased during storage. Also, biscuits with medium glycemic index value were produced. There was no significant change in ERS content of samples. It was evaluated by result of sensorial analysis that the produced biscuits were acceptable for consumers.

**KEYWORDS:** Enzyme resistant starch, dietary fiber, Glycemic Index, Health promoting food, Biscuit

**COMMITTEE:** Assoc. Prof. Dr. Mustafa ERBAŞ (Supervisor)

Prof. Dr. Mehmet Murat KARAOĞLU

Assoc. Prof. Dr. Mustafa Kemal USLU

## ÖNSÖZ

Son yıllarda, diyet lif içeriği yüksek olan gıdaların sağlığa olan faydaları üzerinde fazlaca durulması; tüketiciler tarafından tüketimi yüksek olan, ancak diyet lif bakımından fakir gıdaların diyet lif içeriklerinin artırılmasına yönelik çalışmalar yapılmasını teşvik etmiştir. Bu şekilde çağın problemi olan yüksek glisemik indekse sahip gıdaların glisemik indeks değerleri de düşürülebilmekte ve daha sağlıklı bir beslenme düzeni oluşturulması mümkün olmaktadır.

Gıdaların diyet lif içerikleri farklı diyet lif kaynaklarının kullanımıyla arttırılabiliyor olmasına rağmen, bu kaynaklar bazı olumsuzlukları da beraberinde getirebilmektedir. Bu sorunun önüne geçmek amacıyla gıdaların diyet lif bakımından zenginleştirilmesinde daha farklı uygulamalar geliştirilmesi büyük bir gereklilik halini almıştır. Bu çalışma da çoğu gıdanın içeriğinde fazla miktarda bulunan nişastanın bir diyet lif gibi davranan enzime dirençli nişastaya dönüştürülmesi ile ilgili olup, çalışma sonuçlarının enzime dirençli nişasta üretiminde kullanılan yöntemler konusunda araştırmacılara katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Bu çalışmanın gerçekleşmesinde bana destek olan ve yol gösteren danışman hocam Doç. Dr. Mustafa ERBAŞ'a; samimiyeti ve gerek laboratuvar çalışmalarında gerekse tez yazım aşamalarındaki sonsuz yardımları nedeniyle Arş. Gör. Sultan ARSLAN TONTUL, Atike Nur DURAK, İsmail TONTUL ve Elif AYKIN DİNÇER'e, çalışmalarım sırasında beni yalnız bırakmayan yüksek lisans öğrencileri Özlem KILIÇ, Ceren MUTLU ve Emrah EROĞLU'na, manevi anlamda benden desteklerini esirgemeyen dostum Buket YOLCU'ya ve annesi Hacer YOLCU'ya, en önemlisi de her koşulda attığım adımların arkasında durarak bu zamana gelmemde en büyük katkıya sahip olan aileme teşekkürlerimi sunarım.

Projeye 2210-C programı kapsamında verdikleri destekten dolayı TÜBİTAK Öncelikli Alanlar birimine de teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

ÖZET .....	i
ABSTRACT .....	iii
ÖNSÖZ .....	v
İÇİNDEKİLER .....	vi
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ .....	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xii
1. GİRİŞ .....	1
2. KURAMSAL BİLGİLER ve KAYNAK TARAMASI .....	3
2.1. Nişasta .....	3
2.1.1. Nişastanın jelatinizasyonu ve retrogradasyonu.....	4
2.2. Enzime Dirençli Nişasta .....	5
2.2.1. EDN üretim yöntemleri .....	6
2.2.1.1. Hidrotermal işlemler ile EDN üretimi .....	6
2.2.1.2. Mikrodalga-nem uygulaması ile EDN üretimi .....	7
2.2.1.3. Ekstrüzyon işlemi ile EDN üretimi .....	7
2.2.1.4. Ultrasonikasyon işlemi ile EDN üretimi .....	7
2.2.1.5. Enzim uygulamasıyla EDN üretimi.....	8
2.2.1.6. Kimyasal uygulamalar ile EDN üretimi .....	9
2.2.2. EDN3 oluşum mekanizması .....	10
2.2.3. EDN'nin kullanım alanları ve avantajları .....	11
2.2.4. EDN'nin diyet lif özellikleri ve sağlık bakımından önemi .....	12
2.2.4.1. EDN'nin prebiyotik etkisi .....	13
2.2.4.2. EDN'nin gıdaların glisemik indeksini düşürücü etkisi .....	14
3. MATERYAL ve METOT .....	16
3.1. Materyal.....	16
3.2. Metot .....	16
3.2.1. EDN içeriği zenginleştirilmiş un üretimi.....	16
3.2.1.1. EDN içeriği en yüksek unun belirlenmesi ve depolanması.....	18
3.2.2. Deneysel bisküvi üretimi .....	19
3.2.2.1. Farklı oranlarda EDNİZU katkılanarak üretilen bisküvilerin depolanması.....	19
3.2.3. Araştırma planı ve istatistiksel yöntemler .....	19
3.2.4. Fiziksel analiz yöntemleri .....	20
3.2.4.1. Renk analizi .....	20
3.2.4.2. Su tutma kapasitesi analizi .....	20
3.2.4.3. Morfolojik özelliklerin belirlenmesi.....	21
3.2.4.4. Termal özelliklerin belirlenmesi.....	21
3.2.4.5. Fiziksel özelliklerin takibi .....	21
3.2.4.6. Tekstür cihazında sertlik ve kırılgenlik analizi .....	21
3.2.5. Kimyasal analiz yöntemleri .....	21
3.2.5.1. Kurumadde analizi.....	21
3.2.5.2. Enzime dirençli nişasta analizi .....	21
3.2.5.3. Glisemik indeks analizi .....	22
3.2.6. Mikrobiyolojik analiz yöntemleri .....	24
3.2.6.1. Prebiyotik etki analizi.....	24

3.2.7. Duyusal analiz.....	25
4. BULGULAR ve TARTIŞMA.....	27
4.1. EDNİZU Üretiminde Kullanılan Una Ait Fiziksel ve Kimyasal Bazı Özellikler.....	27
4.2. EDN İçeriği Zenginleştirilmiş Un Üretimi ve En Yüksek EDN İçeriğine Sahip Un Örneğinin Belirlenmesi .....	27
4.2.1. Farklı un/su oranları ve pH değerleri ile farklı sıcaklık ve ultrasonikasyon uygulamalarının EDNİZU'ların renk değerleri üzerine etkisi.....	27
4.2.2. Farklı un/su oranları ve pH değerleri ile farklı sıcaklık ve ultrasonikasyon uygulamalarının EDNİZU'ların su tutma kapasiteleri üzerine etkisi ....	30
4.2.3. Farklı un/su oranları ve pH değerleri ile farklı sıcaklık ve ultrasonikasyon uygulamalarının EDNİZU'ların morfolojik özellikleri üzerine etkisi...	35
4.2.4. Farklı un/su oranları ve pH değerleri ile farklı sıcaklık ve ultrasonikasyon uygulamalarının EDNİZU'ların nem içerikleri üzerine etkisi.....	44
4.2.5. Farklı un/su oranları ve pH değerleri ile farklı sıcaklık ve ultrasonikasyon uygulamalarının EDNİZU'ların EDN içerikleri üzerine etkisi .....	47
4.3. En Yüksek EDN İçeriğine Sahip Unun Belirlenmesi ve Bu Unun Bazı Özellikleri .....	51
4.3.1. EDNİZU'nun termal özellikleri.....	51
4.3.2. EDNİZU'nun prebiyotik etkisi .....	52
4.4. Depolama Örneklerinin Değerlendirilmesi .....	53
4.4.1. EDNİZU örneğinin depolama sürecinde değerlendirilmesi .....	53
4.4.1.1. EDNİZU'nun renk değerleri üzerine depolamanın etkisi.....	53
4.4.1.2. EDNİZU'nun nem içeriği üzerine depolamanın etkisi.....	55
4.4.1.3. EDNİZU'nun EDN içeriği üzerine depolamanın etkisi .....	57
4.4.1.4. EDNİZU'nun tahmini glisemik indeks değeri üzerine depolamanın etkisi.....	58
4.4.2. Bisküvi örneklerinin değerlendirilmesi.....	62
4.4.2.1. Farklı oranlarda EDNİZU ilavesinin bisküvilerin bazı fiziksel özelliklerinde pişme sonrası meydana gelen değişimler üzerine etkisi .....	62
4.4.2.2. Farklı oranlarda EDNİZU ilavesinin ve depolamanın bisküvilerin renk değerleri üzerine etkisi .....	64
4.4.2.3. Farklı oranlarda EDNİZU ilavesinin ve depolamanın bisküvilerin sertlik ve kırılmalık değerleri üzerine etkisi.....	66
4.4.2.4. Farklı oranlarda EDNİZU ilavesinin ve depolamanın bisküvilerin nem içerikleri üzerine etkisi .....	69
4.4.2.5. Farklı oranlarda EDNİZU ilavesinin ve depolamanın bisküvilerin EDN içerikleri üzerine etkisi.....	71
4.4.2.6. Farklı oranlarda EDNİZU ilavesinin ve depolamanın bisküvilerin tahmini glisemik indeks değerleri üzerine etkisi.....	72
4.4.2.7. Farklı oranlarda EDNİZU ilavesinin ve depolamanın bisküvilerin duyusal özellikleri üzerine etkisi .....	76
5. SONUÇ .....	80
6. KAYNAKLAR .....	85
ÖZGEÇMİŞ .....	96

## SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

### **Simgeler**

kg	Kilogram
g	Gram
mg	Miligram
mL	Mililitre
mm	Milimetre
nm	Nanometre
$\mu$ g	Mikrogram
$\mu$ L	Mikrolitre
$\mu$ m	Mikrometre
M	Molar
mM	Milimolar
W	Watt
g	Yer çekimi ivmesi
rpm	Dakikadaki dönüş sayısı
U	Enzim ünitesi
$T_m$	Erime sıcaklığı
$\Delta H$	Erime ısısı
dk	Dakika
s	Saniye

### **Kısaltmalar**

EDN	Enzime dirençli nişasta
EDNİZU	EDN içeriği zenginleştirilmiş un
HI	Hidroliz indeksi
EAA	Eğri altında kalan alan
$C_\infty$	Denge anındaki toplam nişasta hidrolizi
tGI	Tahmini glisemik indeks
SMS	Simüle mide sıvısı çözeltisi
SİS	Simüle ince bağırsak sıvısı çözeltisi
KM	Kurumadde
DSC	Diferansiyel Taramalı Kalorimetre
SD	Serbestlik derecesi
KO	Kareler ortalaması
US	Ultrasonikasyon

## ŞEKİLLER DİZİNİ

- Şekil 2.1. Nişasta granülü ve moleküler organizasyonu (Anonim 2016). ..... 3
- Şekil 2.2. Nişastanın jelatinizasyon mekanizması (a) Doğal nişasta granülü, (b) Nişasta granülünün su alıp şişmesi, (c) Jelatinizasyon sıcaklığından itibaren amiloz zincirlerinin granül dışına çıkması, (d) Amiloz zincirlerinin dışarı çıkması sonucu granülün çökmesi ve jelatinizasyonun tamamlanması (Xie vd 2015). ..... 4
- Şekil 2.3. Nişastanın retrogradasyon mekanizması (a) Jelatinize olmuş nişasta granülü, (b) Retrogradasyonla birlikte granül dışındaki ve içindeki amiloz zincirlerinin yeniden düzenlenmesi ve amilopektin zincirlerinin birbiri üzerine kapanması (Anonim 2014). ..... 5
- Şekil 3.1. EDNİZU'ların üretiminde kullanılan yöntemle ait üretim şeması..... 18
- Şekil 3.2. Bisküvilerin değerlendirilmesinde kullanılan duyu analizi formu örneği..... 26
- Şekil 4.1. Ultrasonikasyon uygulanmayan ve 80°C sıcaklıkta, 6.1 (a), 5.5 (b) ve 4.5 (c) pH değerinde 1/5 un/su oranı kullanılarak üretilen örneklerin mikroskopik görüntüsü..... 36
- Şekil 4.2. Ultrasonikasyon uygulanan ve 80°C sıcaklıkta, 6.1 (a), 5.5 (b) ve 4.5 (c) pH değerinde 1/5 un/su oranı kullanılarak üretilen örneklerin mikroskopik görüntüsü..... 36
- Şekil 4.3. Ultrasonikasyon uygulanmayan ve 80°C sıcaklıkta, 6.1 (a), 5.5 (b) ve 4.5 (c) pH değerinde 1/10 un/su oranı kullanılarak üretilen örneklerin mikroskopik görüntüsü..... 36
- Şekil 4.4. Ultrasonikasyon uygulanan ve 80°C sıcaklıkta, 6.1 (a), 5.5 (b) ve 4.5 (c) pH değerinde 1/10 un/su oranı kullanılarak üretilen örneklerin mikroskopik görüntüsü..... 37
- Şekil 4.5. Ultrasonikasyon uygulanmayan ve 80°C sıcaklıkta, 6.1 (a), 5.5 (b) ve 4.5 (c) pH değerinde 1/15 un/su oranı kullanılarak üretilen örneklerin mikroskopik görüntüsü..... 37
- Şekil 4.6. Ultrasonikasyon uygulanan ve 80°C sıcaklıkta, 6.1 (a), 5.5 (b) ve 4.5 (c) pH değerinde 1/15 un/su oranı kullanılarak üretilen örneklerin mikroskopik görüntüsü..... 37
- Şekil 4.7. Ultrasonikasyon uygulanmayan ve 80°C sıcaklıkta, 6.1 (a), 5.5 (b) ve 4.5 (c) pH değerinde 1/20 un/su oranı kullanılarak üretilen örneklerin mikroskopik görüntüsü..... 38
- Şekil 4.8. Ultrasonikasyon uygulanan ve 80°C sıcaklıkta, 6.1 (a), 5.5 (b) ve 4.5 (c) pH değerinde 1/20 un/su oranı kullanılarak üretilen örneklerin mikroskopik görüntüsü..... 38

Şekil 4.9. Ultrasonikasyon uygulanmayan ve 100°C sıcaklıkta, 6.1 (a), 5.5 (b) ve 4.5 (c) pH değerinde 1/5 un/su oranı kullanılarak üretilen örneklerin mikroskopik görüntüsü .....	38
Şekil 4.10. Ultrasonikasyon uygulanan ve 100°C sıcaklıkta, 6.1 (a), 5.5 (b) ve 4.5 (c) pH değerinde 1/5 un/su oranı kullanılarak üretilen örneklerin mikroskopik görüntüsü.....	39
Şekil 4.11. Ultrasonikasyon uygulanmayan ve 100°C sıcaklıkta, 6.1 (a), 5.5 (b) ve 4.5 (c) pH değerinde 1/10 un/su oranı kullanılarak üretilen örneklerin mikroskopik görüntüsü .....	39
Şekil 4.12. Ultrasonikasyon uygulanan ve 100°C sıcaklıkta, 6.1 (a), 5.5 (b) ve 4.5 (c) pH değerinde 1/10 un/su oranı kullanılarak üretilen örneklerin mikroskopik görüntüsü .....	39
Şekil 4.13. Ultrasonikasyon uygulanmayan ve 100°C sıcaklıkta, 6.1 (a), 5.5 (b) ve 4.5 (c) pH değerinde 1/15 un/su oranı kullanılarak üretilen örneklerin mikroskopik görüntüsü .....	40
Şekil 4.14. Ultrasonikasyon uygulanan ve 100°C sıcaklıkta, 6.1 (a), 5.5 (b) ve 4.5 (c) pH değerinde 1/15 un/su oranı kullanılarak üretilen örneklerin mikroskopik görüntüsü .....	40
Şekil 4.15. Ultrasonikasyon uygulanmayan ve 100°C sıcaklıkta, 6.1 (a), 5.5 (b) ve 4.5 (c) pH değerinde 1/20 un/su oranı kullanılarak üretilen örneklerin mikroskopik görüntüsü .....	40
Şekil 4.16. Ultrasonikasyon uygulanan ve 100°C sıcaklıkta, 6.1 (a), 5.5 (b) ve 4.5 (c) pH değerinde 1/20 un/su oranı kullanılarak üretilen örneklerin mikroskopik görüntüsü .....	41
Şekil 4.17. Ultrasonikasyon uygulanmayan ve 121°C sıcaklıkta, 6.1 (a), 5.5 (b) ve 4.5 (c) pH değerinde 1/5 un/su oranı kullanılarak üretilen örneklerin mikroskopik görüntüsü .....	41
Şekil 4.18. Ultrasonikasyon uygulanan ve 121°C sıcaklıkta, 6.1 (a), 5.5 (b) ve 4.5 (c) pH değerinde 1/5 un/su oranı kullanılarak üretilen örneklerin mikroskopik görüntüsü.....	41
Şekil 4.19. Ultrasonikasyon uygulanmayan ve 121°C sıcaklıkta, 6.1 (a), 5.5 (b) ve 4.5 (c) pH değerinde 1/10 un/su oranı kullanılarak üretilen örneklerin mikroskopik görüntüsü .....	42
Şekil 4.20. Ultrasonikasyon uygulanan ve 121°C sıcaklıkta, 6.1 (a), 5.5 (b) ve 4.5 (c) pH değerinde 1/10 un/su oranı kullanılarak üretilen örneklerin mikroskopik görüntüsü .....	42
Şekil 4.21. Ultrasonikasyon uygulanmayan ve 121°C sıcaklıkta, 6.1 (a), 5.5 (b) ve 4.5 (c) pH değerinde 1/15 un/su oranı kullanılarak üretilen örneklerin mikroskopik görüntüsü .....	42



Şekil 4.22. Ultrasonikasyon uygulanan ve 121°C sıcaklıkta, 6.1 (a), 5.5 (b) ve 4.5 (c) pH değerinde 1/15 un/su oranı kullanılarak üretilen örneklerin mikroskopik görüntüsü.....	43
Şekil 4.23. Ultrasonikasyon uygulanmayan ve 121°C sıcaklıkta, 6.1 (a), 5.5 (b) ve 4.5 (c) pH değerinde 1/20 un/su oranı kullanılarak üretilen örneklerin mikroskopik görüntüsü.....	43
Şekil 4.24. Ultrasonikasyon uygulanan ve 121°C sıcaklıkta, 6.1 (a), 5.5 (b) ve 4.5 (c) pH değerinde 1/20 un/su oranı kullanılarak üretilen örneklerin mikroskopik görüntüsü.....	43
Şekil 4.25. EDNİZU'nun ve kontrol örneğinin DSC grafiği .....	51
Şekil 4.26. EDNİZU ve kontrol örneğinin depolama boyunca takip edilen toplam nişasta hidrolizine ait grafikler .....	60
Şekil 4.27. Farklı oranlarda EDNİZU ilavesiyle üretilen bisküvilerin depolama boyunca takip edilen toplam nişasta hidrolizine ait grafikler .....	74

## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Enzime dirençli nişastaların sınıflandırılması ve buldukları gıda kaynakları (Nugent 2005) .....	6
Çizelge 4.1. EDN içeriğinin zenginleştirilmesinde kullanılan bisküvilik beyaz unun bazı fiziksel ve kimyasal özelliklerine ait veriler.....	27
Çizelge 4.2. Farklı un/su oranları ve pH değerleri ile farklı sıcaklık ve ultrasonikasyon uygulamaları kullanılarak üretilen EDNİZU'ların renk değerlerindeki değişime ait I. ve II. tekerrür verileri .....	29
Çizelge 4.3. Farklı un/su oranları ve pH değerleri ile farklı sıcaklık ve ultrasonikasyon uygulamaları kullanılarak üretilen EDNİZU'ların renk değerlerindeki değişime ait varyans analizi sonuçları .....	30
Çizelge 4.4. Farklı un/su oranları ve pH değerleri ile farklı sıcaklık ve ultrasonikasyon uygulamaları kullanılarak üretilen EDNİZU'ların renk değerlerindeki değişime ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları (± Standart hata) .....	30
Çizelge 4.5. Farklı un/su oranları ve pH değerleri ile farklı sıcaklık ve ultrasonikasyon uygulamaları kullanılarak üretilen EDNİZU'ların su tutma kapasitelerindeki değişime ait I. ve II. tekerrür verileri .....	33
Çizelge 4.6. Farklı un/su oranları ve pH değerleri ile farklı sıcaklık ve ultrasonikasyon uygulamaları kullanılarak üretilen EDNİZU'ların su tutma kapasitelerindeki değişime ait varyans analizi sonuçları .....	34
Çizelge 4.7. Farklı un/su oranları ve pH değerleri ile farklı sıcaklık ve ultrasonikasyon uygulamaları kullanılarak üretilen EDNİZU'ların su tutma kapasitelerindeki değişime ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları (± Standart hata) .....	34
Çizelge 4.8. Farklı un/su oranları ve pH değerleri ile farklı sıcaklık ve ultrasonikasyon uygulamaları kullanılarak üretilen EDNİZU'ların nem içeriklerindeki % miktar değişimine ait I. ve II. tekerrür verileri.....	45
Çizelge 4.9. Farklı un/su oranları ve pH değerleri ile farklı sıcaklık ve ultrasonikasyon uygulamaları kullanılarak üretilen EDNİZU'ların nem içeriklerindeki % miktar değişimine ait varyans analizi sonuçları .....	46
Çizelge 4.10. Farklı un/su oranları ve pH değerleri ile farklı sıcaklık ve ultrasonikasyon uygulamaları kullanılarak üretilen EDNİZU'ların nem içeriklerindeki % miktar değişimine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları (± Standart hata) .....	46
Çizelge 4.11. Farklı un/su oranları ve pH değerleri ile farklı sıcaklık ve ultrasonikasyon uygulamaları kullanılarak üretilen EDNİZU'ların EDN içeriklerindeki % miktar değişimine ait I. ve II. tekerrür verileri .....	49

Çizelge 4.12. Farklı un/su oranları ve pH değerleri ile farklı sıcaklık ve ultrasonikasyon uygulamaları kullanılarak üretilen EDNİZU'ların EDN içerilerindeki % miktar değişimine ait varyans analizi sonuçları .....	50
Çizelge 4.13. Farklı un/su oranları ve pH değerleri ile farklı sıcaklık ve ultrasonikasyon uygulamaları kullanılarak üretilen EDNİZU'ların EDN içeriklerindeki % miktar değişimine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları ( $\pm$ Standart hata) .....	50
Çizelge 4.14. <i>L. acidophilus</i> ve <i>B. bifidum</i> gelişimindeki logaritmik ve % mikroorganizma değişimine ait I. ve II. tekerrür verileri.....	52
Çizelge 4.15. <i>L. acidophilus</i> ve <i>B. bifidum</i> gelişimindeki logaritmik ve % mikroorganizma değişimine ait varyans analizi sonuçları .....	53
Çizelge 4.16. <i>L. acidophilus</i> ve <i>B. bifidum</i> gelişimindeki logaritmik ve % mikroorganizma değişimine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları ( $\pm$ Standart hata) .....	53
Çizelge 4.17. EDNİZU ve kontrol örneğinin depolama boyunca ölçülen renk değerlerindeki değişime ait I. ve II. tekerrür verileri .....	54
Çizelge 4.18. EDNİZU ve kontrol örneğinin depolama boyunca ölçülen renk değerlerindeki değişime ait varyans analizi sonuçları .....	54
Çizelge 4.19. EDNİZU ve kontrol örneğinin depolama boyunca ölçülen renk değerlerindeki değişime ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları ( $\pm$ Standart hata) .....	55
Çizelge 4.20. EDNİZU ve kontrol örneğinin depolama boyunca takip edilen nem içeriklerindeki % miktar değişimine ait I. ve II. tekerrür verileri .....	56
Çizelge 4.21. EDNİZU ve kontrol örneğinin depolama boyunca takip edilen nem içeriklerindeki % miktar değişimine ait varyans analizi sonuçları .....	56
Çizelge 4.22. EDNİZU ve kontrol örneğinin depolama boyunca takip edilen nem içeriklerindeki % miktar değişimine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları ( $\pm$ Standart hata) .....	56
Çizelge 4.23. EDNİZU ve kontrol örneğinin depolama boyunca takip edilen EDN içeriklerindeki % miktar değişimine ait I. ve II. tekerrür verileri .....	57
Çizelge 4.24. EDNİZU ve kontrol örneğinin depolama boyunca takip edilen EDN içeriklerindeki % miktar değişimine ait varyans analizi sonuçları .....	58
Çizelge 4.25. EDNİZU ve kontrol örneğinin depolama boyunca takip edilen EDN içeriklerindeki % miktar değişimine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları ( $\pm$ Standart hata) .....	58
Çizelge 4.26. EDNİZU ve kontrol örneğinin depolama boyunca takip edilen tahmini glisemik indeks (tGI) değeri ve tGI'nin hesaplanmasında kullanılan $C_{\infty}$ , k	

ve hidroliz indeksi (HI) değerlerindeki değişime ait I. ve II. tekerrür verileri .....	61
Çizelge 4.27. EDNİZU ve kontrol örneğinin depolama boyunca takip edilen tahmini glisemik indeks (tGI) değeri ve tGI'in hesaplanmasında kullanılan $C_{\infty}$ , k ve hidroliz indeksi (HI) değerlerindeki değişime ait varyans analizi sonuçları .....	61
Çizelge 4.28. EDNİZU ve kontrol örneğinin depolama boyunca takip edilen tahmini glisemik indeks (tGI) değeri ve tGI'in hesaplanmasında kullanılan $C_{\infty}$ , k ve hidroliz indeksi (HI) değerlerindeki değişime ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları ( $\pm$ Standart hata).....	62
Çizelge 4.29. Farklı oranlarda EDNİZU ilavesiyle üretilen bisküvilerin pişme sonrası ağırlık, çap ve kalınlık değerlerinde meydana gelen değişimlere ait I. ve II. tekerrür verileri.....	63
Çizelge 4.30. Farklı oranlarda EDNİZU ilavesiyle üretilen bisküvilerin pişme sonrası ağırlık, çap ve kalınlık değerlerinde meydana gelen değişimlere ait varyans analizi sonuçları .....	63
Çizelge 4.31. Farklı oranlarda EDNİZU ilavesiyle üretilen bisküvilerin pişme sonrası ağırlık, çap ve kalınlık değerlerinde meydana gelen değişimlere ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları ( $\pm$ Standart hata) .....	63
Çizelge 4.32. Farklı oranlarda EDNİZU ilavesiyle üretilen bisküvilerin depolama boyunca takip edilen renk değerlerindeki değişime ait I. ve II. tekerrür verileri .....	65
Çizelge 4.33. Farklı oranlarda EDNİZU ilavesiyle üretilen bisküvilerin depolama boyunca takip edilen renk değerlerindeki değişime ait varyans analizi sonuçları .....	65
Çizelge 4.34. Farklı oranlarda EDNİZU ilavesiyle üretilen bisküvilerin depolama boyunca takip edilen renk değerlerindeki değişime ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları ( $\pm$ Standart hata).....	66
Çizelge 4.35. Farklı oranlarda EDNİZU ilavesiyle üretilen bisküvilerin depolama boyunca takip edilen sertlik ve kırılgenlik değerlerindeki değişime ait I. ve II. tekerrür verileri .....	68
Çizelge 4.36. Farklı oranlarda EDNİZU ilavesiyle üretilen bisküvilerin depolama boyunca takip edilen sertlik ve kırılgenlik değerlerindeki değişime ait varyans analizi sonuçları .....	68
Çizelge 4.37. Farklı oranlarda EDNİZU ilavesiyle üretilen bisküvilerin depolama boyunca takip edilen sertlik ve kırılgenlik değerlerindeki değişime ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları ( $\pm$ Standart hata) .....	69

- Çizelge 4.38. Farklı oranlarda EDNİZU ilavesiyle üretilen bisküvilerin depolama boyunca takip edilen nem içeriklerindeki % miktar değişimine ait I. ve II. tekerrür verileri..... 70
- Çizelge 4.39. Farklı oranlarda EDNİZU ilavesiyle üretilen bisküvilerin depolama boyunca takip edilen nem içeriklerindeki % miktar değişimine ait varyans analizi sonuçları ..... 70
- Çizelge 4.40. Farklı oranlarda EDNİZU ilavesiyle üretilen bisküvilerin depolama boyunca takip edilen nem içeriklerindeki % miktar değişimine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları ( $\pm$  Standart hata)..... 70
- Çizelge 4.41. Farklı oranlarda EDNİZU ilavesiyle üretilen bisküvilerin depolama boyunca takip edilen EDN içeriklerindeki % miktar değişimine ait I. ve II. tekerrür verileri ..... 71
- Çizelge 4.42. Farklı oranlarda EDNİZU ilavesiyle üretilen bisküvilerin depolama boyunca takip edilen EDN içeriklerindeki % miktar değişimine ait varyans analizi sonuçları ..... 71
- Çizelge 4.43. Farklı oranlarda EDNİZU ilavesiyle üretilen bisküvilerin depolama boyunca takip edilen EDN içeriklerindeki % miktar değişimine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları ( $\pm$  Standart hata) ..... 72
- Çizelge 4.44. Farklı oranlarda EDNİZU ilavesiyle üretilen bisküvilerin depolama boyunca takip edilen tahmini glisemik indeks (tGI) değeri ve tGI'in hesaplanmasında kullanılan  $C_{\infty}$ , k ve hidroliz indeksi (HI) değerlerindeki değişime ait I. ve II. tekerrür verileri ..... 75
- Çizelge 4.45. Farklı oranlarda EDNİZU ilavesiyle üretilen bisküvilerin depolama boyunca takip edilen tahmini glisemik indeks (tGI) değeri ve tGI'in hesaplanmasında kullanılan  $C_{\infty}$ , k ve hidroliz indeksi (HI) değerlerindeki değişime ait varyans analizi sonuçları..... 76
- Çizelge 4.46. Farklı oranlarda EDNİZU ilavesiyle üretilen bisküvilerin depolama boyunca takip edilen tahmini glisemik indeks (tGI) değeri ve tGI'in hesaplanmasında kullanılan  $C_{\infty}$ , k ve hidroliz indeksi (HI) değerlerindeki değişime ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları ( $\pm$  Standart hata) ..... 76
- Çizelge 4.47. Farklı oranlarda EDNİZU ilavesiyle üretilen bisküvilerin depolama boyunca takip edilen duyusal özelliklerindeki puansal değişime ait I. ve II. tekerrür verileri ..... 78
- Çizelge 4.48. Farklı oranlarda EDNİZU ilavesiyle üretilen bisküvilerin depolama boyunca takip edilen duyusal özelliklerindeki puansal değişime ait varyans analizi sonuçları ..... 79
- Çizelge 4.49. Farklı oranlarda EDNİZU ilavesiyle üretilen bisküvilerin depolama boyunca takip edilen duyusal özelliklerindeki puansal değişime ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları ( $\pm$  Standart hata) ..... 79



## 1. GİRİŞ

İnsanlar bilgi ve davranış gelişmelerine bağlı olarak, daha sağlıklı ve kaliteli yaşam düzeylerine ulaşmak istemektedirler. Yaşam sürelerini ve kalitelerini artırmak için ise sağlık sorunlarını tedavi ettirmek yerine önleyici tedbirler almayı tercih etmektedirler. Beslenme şekli ve tercihi sağlıklı bir yaşam için alınması gereken önleyici tedbirlerin en başında gelenidir.

Artan sağlık bilinci nedeniyle tüketicilerin, fonksiyonel gıdalar olarak tanımlanan ve besleyici özelliğinin yanı sıra sağlığı da geliştirici özelliğe sahip, normal diyet düzeni içerisinde tüketilen gıdalara olan talebi (De Boer ve Bast 2015, Lalor ve Wall 2011, Moors 2012, Roberfroid 2000), uluslararası gıda endüstrisini sağlığa faydalı yenilikçi gıda ürünleri geliştirme yönünde daha çok araştırma yapmaya yöneltmiştir (De Boer ve Bast 2015, Zhang ve Jin 2011). Diyabet, kardiyovasküler rahatsızlık ya da obezite gibi kronik rahatsızlıklarla olan ilişkisi sebebiyle de gıdaların glisemik indeks değerleri, bu kapsamda yoğun olarak ele alınan güncel araştırma konularından birisi olmuştur (Bordenave vd 2015).

Glisemik indeks karbonhidrat bakımından zengin gıdaların kan glikoz seviyesine etkisini gösteren bir derecelendirme sistemidir (Pinhero vd 2016). Karbonhidratların, insan diyetindeki 3 temel enerji kaynağından (karbonhidrat, yağ, protein) birisi olması ve vücutta enerji verici olarak ilk sırada kullanılması sebebiyle (Ek vd 2012) düşük glisemik etkiye sahip karbonhidratlı gıdalar üzerinde oldukça fazla çalışma yapılmaktadır (Zhang ve Jin 2011). Bu gıdaların üretilmesi ve günlük hayatta fazlaca tüketilmesi toplum sağlığı açısından da büyük önem arz etmektedir.

Diyabetin kontrolü, kardiyovasküler hastalık ve obezite riskinin azaltılması gibi amaçlarla düşük glisemik indeksli fonksiyonel gıdalar geliştirilebilmektedir (Zhang ve Jin 2011). Düşük glisemik indeksli gıdalar çoğunlukla diyet lifçe zengin olmakta ve prebiyotik olarak da bağırsak florasını desteklemeleri nedenleriyle fonksiyonel gıda ürünleri olarak değerlendirilebilmektedir. Teknolojik yöntemlerle içerisine sağlıklı bileşenler eklenmiş veya içerisindeki bileşenler modifiye edilmiş gıdalar gösterdikleri sağlık yararları nedeniyle fonksiyonel gıda olarak kabul edilmektedir (Olmedilla-Alonso vd 2013).

Fonksiyonel gıdaların; probiyotik mikroorganizmalar, prebiyotik maddeler ve biyoaktif bileşenler içeren gıdalar olarak da tanımlanması mümkündür. Tüketildikten sonra insanlardaki sindirim enzimlerine direnç göstererek sindirime uğramayan ve ancak kalın bağırsaklardaki bakteriler tarafından fermente edilebilen diyet lifler (Liu vd 2015), fonksiyonel gıda tanımlaması içerisinde prebiyotik maddeler ve biyoaktif bileşenler olarak tanımlanabilen sağlığa faydalı gıda bileşenleridir. Diyet liflerin, beslenmede gıdalarla birlikte tüketimi sağlıklı bir yaşam için oldukça önemlidir. Diyet lifçe zengin gıdalar; tahıllar, baklagiller ve meyve ve sebzelerdir. Ayrıca bazı işlenmiş gıdalar da dışarıdan diyet liflerce katkılanarak bu yönüyle zenginleştirilebilmektedir.

Düşük glisemik etkiye sahip olan diyet lifçe zengin, işlenmiş gıdaları elde etme konusunda gıdalarda yaygın ve yüksek miktarlarda bulunan nişasta büyük önem

taşımakta ve endüstriyel anlamda birçok amaç için yaygın olarak kullanılabilir. Nişastanın; kalınlaştırıcı, koloidal stabilizatör, jelleştirme ajanı, hacim arttırıcı, su tutucu ve yapıştırıcı olarak kullanılabilmesi yaygın kullanımına önemli örnekler teşkil etmektedir (Gerits vd 2015). Tüm bu kullanımlarının yanı sıra nişasta; çeşitli işlemlerden geçirildikten sonra diyet lif özelliği gösteren, sindirim enzimlerine dirençli bir nişasta formuna da dönüştürülebilmekte ve bu nişasta fiziksel ve besinsel açıdan fonksiyonel özelliğe sahip bir gıda kaynağı ve katkı maddesi olarak da kullanılabilir (Lertwanawatana vd 2015).

Sağlıklı bireylerin ince bağırsağında sindirilmeden kalın bağırsağına geçen ve burada ancak mikroorganizmalarca parçalanabilen nişastaya enzime dirençli nişasta (EDN) adı verilmektedir (Hu vd 2015, Nugent 2005). EDN'ler gıdalarda doğal olarak bulunabildikleri gibi nişastanın jelatinizasyon ve retrogradasyon gibi çeşitli işlemlerden geçirilmesiyle de elde edilebilmektedirler.

Bu çalışma kapsamında ilk aşamada; ultrasonikasyon ve farklı sıcaklık ve pH değerleri kullanılarak farklı un/su oranlarında karışımlar hazırlanmıştır. Bu karışımların kurutulup öğütülmesiyle üretilen EDN içeriği zenginleştirilmiş unların (EDNİZU); renk değerleri, su tutma kapasiteleri, morfolojik özellikleri, kurumadde ve EDN içerikleri yapılan analizlerle tespit edilmiştir. Unlar üzerinde yapılan EDN analizinin sonuçları istatistiksel olarak değerlendirilerek en yüksek EDN içeriğine sahip olan un belirlenmiş ve yapılan analizlere ilave olarak bu unun termal özellikleri ve prebiyotik etkisi de belirlenmiştir.

İkinci aşamada ise; EDN içeriği en yüksek olarak belirlenen un fazla miktarda üretildikten sonra farklı oranlarda bisküvi unuyla karıştırılmış ve bu karışımla bisküvi üretimi gerçekleştirilerek EDN içeriği zenginleştirilmiş bu unun bisküvi üretiminde kullanım imkânları araştırılmıştır. Üretim esnasında bisküvilerin pişme öncesi ve sonrasına ait ağırlık, çap ve kalınlık verileri dikkate alınarak bazı fiziksel özelliklerinin takibi gerçekleştirilmiştir. Üretim sonunda ise; bisküviler ve en yüksek EDN içeriğine sahip un kilitli plastik torbalar içerisine alınmış ve oda sıcaklığında bir dolapta 60 gün süreyle depolanmıştır. Depolamanın 0., 30. ve 60. günlerinde yapılan analizlerle; un örneğinin renk değerleri, glisemik indeksi, kurumadde ve EDN içerikleri; bisküvilerin ise ilave olarak tekstürel sertlik ve kırılabilirlik değerleri ve duyu özellikleri takip edilmiştir.

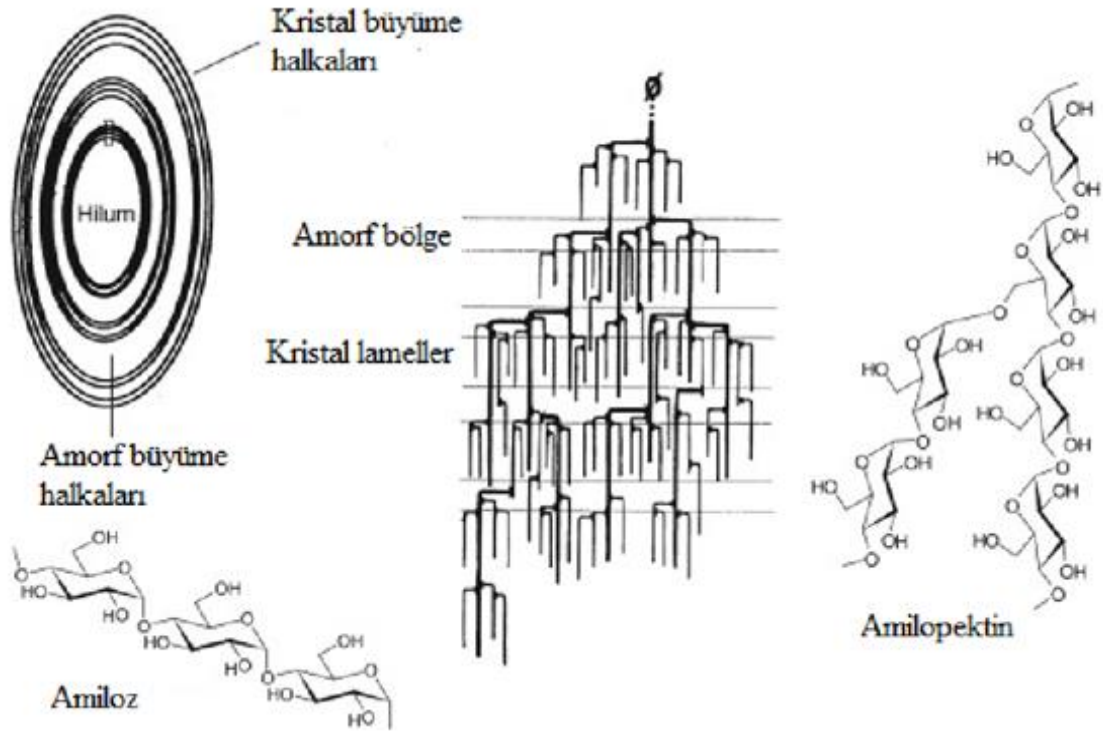


## 2. KURAMSAL BİLGİLER ve KAYNAK TARAMASI

### 2.1. Nişasta

Nişasta, bitkilerin kök, gövde, yumru ve tohum gibi çeşitli kısımlarındaki granüllerde depolanan ve hızlı bir şekilde enerjiye dönüştürülebilen amiloz ve amilopektin polimerlerinin genel adıdır. Granülde yaklaşık %25 kadar amiloz ve %75 kadar ise amilopektin bulunmaktadır (Saldamlı 2007). Amiloz,  $\alpha$ -D-glikoz birimlerinin  $\alpha$ -1,4 bağı ile bağlanması sonucu oluşan dallanmamış düz bir polimerdir. Amilopektin ise,  $\alpha$ -D-glikoz birimlerinin  $\alpha$ -1,4 bağı ile bağlanması ve  $\alpha$ -1,6 bağı ile dallanması sonucu oluşan dallanmış bir polimerdir (Eerlingen ve Delcour 1995).

Kristal ve amorf fazlar içermesi nedeniyle nişastanın yapısı fiziksel açıdan heterojendir (Güzel 2009). Granülde, amorf bölge ve yarı kristal büyüme halkaları birbirini takip etmektedir. Amorf bölge, amiloz ve kristal yapıda olmayan amilopektinden; yarı kristal büyüme halkaları ise birbirini dönüşümlü olarak takip eden amorf ve kristal lamellerden meydana gelmektedir (Ölçer ve Akın 2008). Nişasta granülü ve moleküler organizasyonu Şekil 2.1’de verilmiştir.



Şekil 2.1. Nişasta granülü ve moleküler organizasyonu (Anonim 2016).

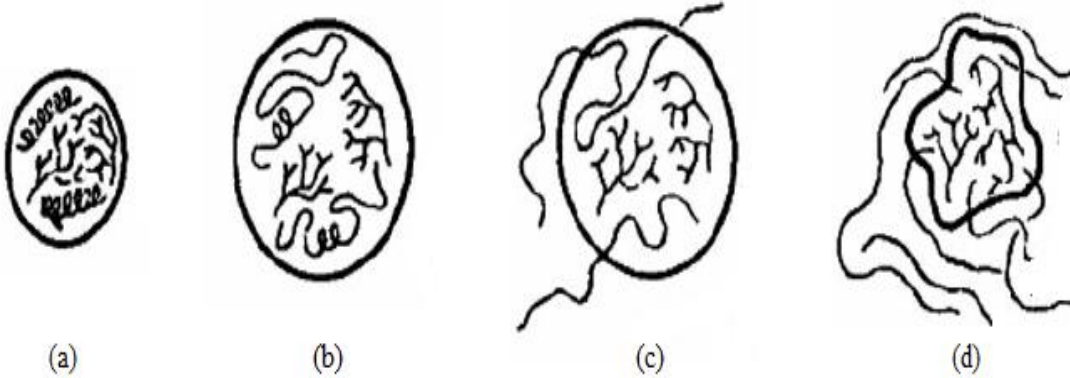
Nişasta, bitkilerde granül formundadır ve kaynağına bağlı olarak değişik şekil ve büyüklüklerde bulunabilmektedir (Eerlingen ve Delcour 1995). Buğday nişastası, basit granüller halinde plastid adı verilen organeller içerisinde bulunmaktadır. Yumru nişastaları geniş, elips veya küre şeklinde; baklagil nişastaları ise oval ya da bakla şekillerindeki granüler haldedir (Saldamlı 2007).

Nişasta endüstriyel anlamda da birçok amaç için yaygın olarak kullanılabilmektedir. Besleyici değerinin yanında, birçok gıdanın bileşiminde yer alması nedeniyle de gıdalara önemli fonksiyonel özellikler kazandırmaktadır (Kotancılar vd 2009). Nişastanın; kalınlaştırıcı, koloidal stabilizör, jelleştirme ajanı, hacim arttırıcı, su tutucu ve yapıştırıcı olarak kullanılabilmesi yaygın kullanımına önemli örnekler teşkil etmektedir (Karaoğlu 1998).

### 2.1.1. Nişastanın jelatinizasyonu ve retrogradasyonu

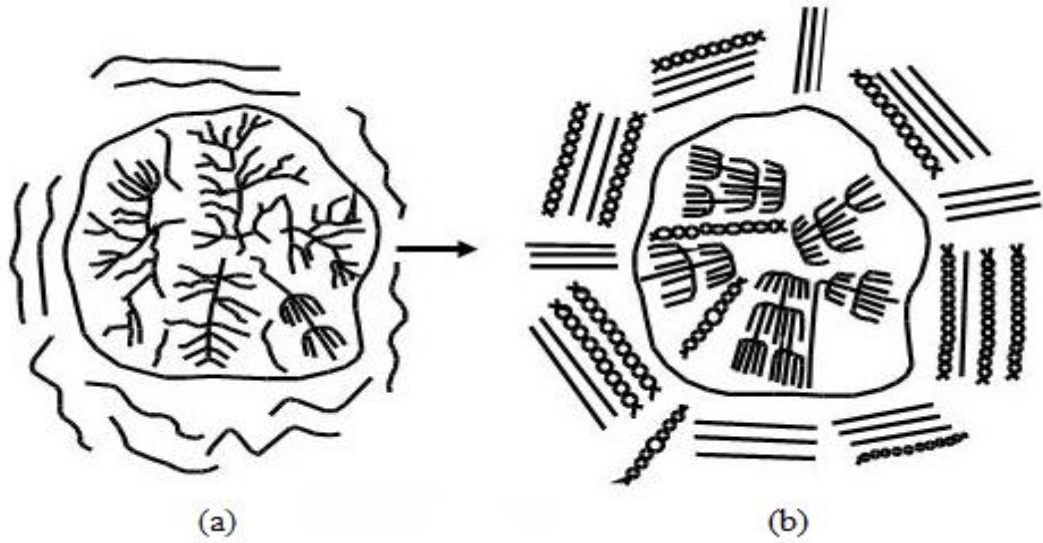
Doğal nişasta granülleri soğuk suda çözünmemekte (Carlstedt vd 2015), fakat su absorbe ederek şişmektedir. Uygun sıcaklığa ulaşıldığında ise granülün deforme olmasıyla çözünme gerçekleşmektedir (Bulut ve Schick 2012, Waterschoot vd 2015). Granüldeki deformasyonla birlikte amiloz suya geçmekte ve birbirleriyle interaksiyona girerek suyu aralarına hapsedmektedir (Gerits vd 2015). Viskozitenin yükseldiği bu olaya jelatinizasyon adı verilmektedir. Nişastanın jelatinizasyonuna ait mekanizma Şekil 2.2’de verilmiştir.

Nişasta, kuru ağırlığının %30’u kadar suyu bünyesinde tutabilmekte ve şişen granülün hacminde %5 oranında artış meydana gelebilmektedir. Bu olaylar geri dönüşümlüdür fakat jelatinizasyon sıcaklığı üzerinde yapılan ısıtma, ortamdaki suyun varlığıyla sınırlı olmakla birlikte geri dönüşümsüz değişiklikler meydana getirebilmektedir (Saldamlı 2007).



Şekil 2.2. Nişastanın jelatinizasyon mekanizması (a) Doğal nişasta granülü, (b) Nişasta granülünün su alıp şişmesi, (c) Jelatinizasyon sıcaklığından itibaren amiloz zincirlerinin granül dışına çıkması, (d) Amiloz zincirlerinin dışarı çıkması sonucu granülün çökmesi ve jelatinizasyonun tamamlanması (Xie vd 2015).

Jelatinizasyon sonucu oluşan yüksek viskoziteli yapı stabil değildir ve depolama sırasında soğumayla birlikte jel halini almaktadır (Eerlingen ve Delcour 1995). Oluşan jelin bekletilme periyodu uzun sürerse, nişasta zincirleri arasındaki etkileşim daha da artmakta ve bu zincirler, hidrojen bağları sayesinde kuvvetlenerek, ikili sarmal yapı şeklinde yeniden organize olmaya başlamaktadır (Haralampu 2000). Bunun sonucunda enzimlere karşı daha dirençli olan kristal bir yapı meydana gelmekte ve bu olay retrogradasyon olarak isimlendirilmektedir (Escarpa vd 1996). Başka bir ifade ile retrogradasyon; jelatinize olmuş nişastanın yeniden kristalizasyonudur (Kotancılar vd 2009). Nişastanın retrogradasyon mekanizması Şekil 2.3’te verilmiştir.



Şekil 2.3. Nişastanın retrogradasyon mekanizması (a) Jelatinize olmuş nişasta granülü, (b) Retrogradasyonla birlikte granül dışındaki ve içindeki amiloz zincirlerinin yeniden düzenlenmesi ve amilopektin zincirlerinin birbiri üzerine kapanması (Anonim 2014).

Buğday nişastası 52-66°C arasında jelleşmekte olup (Papathanasiou vd 2015), bu jel yapının retrogradasyonu üzerinde, nişastanın her iki polimerinin de etkisi bulunmaktadır (Fu vd 2013, Zhang vd 2014a). Ancak amiloz ve amilopektinin retrogradasyon yeteneği birbirinden oldukça farklıdır. Amilopektin, retrograde olmaya çok yatkın değildir ve retrograde olma süresi oldukça uzundur. Bu süre birkaç günü bulabilmektedir. Amiloz ise retrograde olmaya oldukça yatkındır ve amilopektine göre daha kısa sürede retrograde olabilmektedir (Kotancılar vd 2009). Bu durum, amiloz/amilopektin oranının retrogradasyon üzerinde etkili olduğunu göstermektedir (Ozturk vd 2011, Yuryev vd 1998). Bu oran ne kadar yüksekse retrogradasyon o kadar hızlı gerçekleşmekte ve amiloz bakımından zengin olan nişastalardan daha fazla EDN meydana gelmektedir (Hung vd 2016).

## 2.2. Enzime Dirençli Nişasta

EDN, sağlıklı insanların ince bağırsaklarında sindirime direnç gösteren nişastadır (Nugent 2005). EDN, insan sindirim sistemindeki enzimlerle hidroliz edilemediği için kalın bağırsağa ulaşabilmekte ve bu sebeple de kalın bağırsak mikroflorası için anaerobik fermentasyon substratı olarak kullanılabilir (Henningsson vd 2002, Hu vd 2015). EDN konusunda yürütülen çalışmalarda EDN'nin fizyolojik fonksiyonlarının diyet lif ile benzer özelliklere sahip olduğu belirlenmiştir (Kahraman ve Köksel 2006). Bu nedenle birçok gıdada diyet lif olarak rahatlıkla kullanılabilir ve bu şekilde de daha sağlıklı ürünler üretilebilmektedir.

EDN, fiziksel ve kimyasal özelliklerine göre EDN1, EDN2, EDN3 ve EDN4 olarak ya da Tip 1, Tip 2, Tip 3 ve Tip 4 EDN olarak 4 alt gruba ayrılmaktadır (Ashwar vd 2016, Sajilata vd 2006). Enzime dirençli nişastaların sınıflandırılması ve buldukları gıda kaynakları Çizelge 2.1'de özetlenmiştir.

Çizelge 2.1. Enzime dirençli nişastaların sınıflandırılması ve buldukları gıda kaynakları (Nugent 2005)

EDN	Tanımlama	Buldukları Gıda Kaynağı
Tip 1	Fiziksel olarak ulaşılamayan nişasta	Kısmen öğütülmüş tahıl ve taneli gıdalar
Tip 2	Jelatinize olmamış, doğal granüler nişasta	Yeşil muz ve çiğ patates
Tip 3	Retrograde nişasta	Piştirilip soğutulmuş patates ve ekmek
Tip 4	Kimyasal olarak modifiye edilmiş nişasta	Modifiye nişasta ile üretilen ürünler

Tip 1 EDN; fiziksel olarak erişilemeyen, öğütülmemiş veya kısmen öğütülmüş tahıl, tohum ve baklagillerde rastlanılan bir EDN tipidir. Tip 2 EDN; jelatinize olmamış ve yapısal özelliklerinden dolayı  $\alpha$ -amilaz enzimiyle yavaş bir şekilde hidrolize olan nişastadır. Çiğ patates, yeşil muz, baklagiller ve yüksek amilozlu nişastalar bu EDN tipini içermektedir. Tip 3 EDN; retrograde olmuş nişastadır ve granüler olmayan EDN türü olarak tanımlanmaktadır. Daha çok gıda işleme tekniklerinin etkisiyle ortaya çıkmaktadır. Tip 3 EDN'ye pişirilmiş ve soğutulmuş ekmek ve patates gibi gıdalar örnek olarak verilebilmektedir. Tip 4 EDN; kimyasal olarak modifikasyona uğratılmış EDN türüdür (Nugent 2005). Modifiye etme işlemi esterleştirme ve çapraz bağlama gibi yöntemlerle yapılmaktadır ve bu şekilde nişastaya direnç kazandırılmaktadır (Öztürk 2008).

### 2.2.1. EDN üretim yöntemleri

EDN gastrointestinal sağlık için faydalı olmasına rağmen birçok tahıl bazlı gıdada az miktarlarda bulunmaktadır (Arcila ve Rose 2015). Bu nedenle gıdalardaki EDN içeriğini arttırmak amacıyla; ısıtma işlemi, basınç, kısmi asit hidrolizi, enzim modifikasyonu ve bunların kombine uygulamalarının kullanıldığı pek çok farklı yöntem geliştirilmiştir.

#### 2.2.1.1. Hidrotermal işlemler ile EDN üretimi

EDN üretimi için en yaygın kullanılan yöntemlerden biri, su varlığında termal proseslere maruz kalan saf nişastanın kontrollü olarak soğutulmasıyla retrogradasyonun sağlanmasıdır (Arcila ve Rose 2015, Sajilata vd 2006). Bu periyodik ısıtma ve soğutma işlemleri genellikle tavlama olarak da adlandırılmakta (Zhang ve Jin 2011) ve ısıtma işlemi; ısı ve basıncın bir kombinasyonu olan otoklavlama yoluyla da uygulanabilmektedir.

Piştirme sonrasındaki soğutma işlemi boyunca nişastanın küçük bir kısmı retrogradasyona uğramakta ve yeniden düzenlenen nişasta polimerleri sindirim boyunca enzimatik aktiviteye direnç göstermektedir (Arcila ve Rose 2015). Nişastaya uygulanan piştirme ve soğutma işlemlerinin birkaç kez tekrarlanmasıyla daha fazla EDN üretilebilmektedir (Arcila ve Rose 2015, Silverio vd 2000). Bunun sebebi sindirilebilir nişasta fraksiyonlarının tekrar piştirme esnasında yeniden disperse olması ve sonraki soğutma sırasında da kristalleşmenin daha fazla gerçekleşmesidir (Arcila ve Rose 2015). Retrograde nişastanın suda çözünme sıcaklığı 110-120°C olduğu için yeniden oluşan kristaller sonraki piştirme aşamasında degrade olmamaktadır (Arcila ve Rose 2015, Eerlingen ve Delcour 1995).

Konuyla ilgili olarak yapılan bir çalışmada tam buğday ununa 7 kez pişirme dondurma döngüsü uygulanmış ve her tekrarlanan döngüyle EDN içeriğinin önemli derecede arttığı tespit edilmiştir (Arcila ve Rose 2015).

### 2.2.1.2. Mikrodalga-nem uygulaması ile EDN üretimi

Mikrodalga uygulaması, hızlı ve düzenli ısıtma sağlaması sebebiyle termal enerjinin etkili bir kaynağıdır ve nişastanın modifikasyonunu da içeren çeşitli alanlarda standart bir teknik halinde kullanılmaktadır (Liu vd 2012). Mikrodalga, dielektrik ısıtma ile ısıyı maddenin içerisine dağıtmakta ve moleküllerin enerjisini hızlı bir şekilde arttırmaktadır (Huang vd 2014, Liu vd 2012). Maddenin tüm hacminde homojen etki, daha fazla penetrasyon derinliği ve seçici absorpsiyon sağlaması nedeniyle; mikrodalga enerjisi geleneksel ısıtma işleminden daha etkilidir (Anderson ve Guraya 2006).

*Canna edulis* bitkisinin nişastasında yapılmış olan bir çalışmada, bu bitkinin nişastasına mikrodalga ısıtma-nemlendirme işlemleri uygulanmış ve uygulama sonucunda EDN oluşumunun doğal nişastaya göre 2 kat daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuçlar, mikrodalga ile işlem gören nişastaların doğal nişastaya göre daha yüksek oranda sindirime direnç gösterdiğini açıklamaktadır (Liu vd 2012, Zhang vd 2010).

### 2.2.1.3. Ekstrüzyon işlemi ile EDN üretimi

Ekstrüzyon, termal ve mekanik enerji oluşumunun gerçekleştiği (Li vd 2014), makarna ve kahvaltılık tahıllar gibi nişasta bazlı gıdalar için yaygın kullanılan bir işleme tekniğidir. Ekstrüzyon işleminde kısa bir süre boyunca uygulanan yüksek miktarda mekanik enerji ile yüksek sıcaklığın kombinasyonu; jelatinizasyon, erime ve parçalanma gibi nişastanın yapısal değişikliklerini desteklemektedir (Zhang vd 2015).

Nişastanın fizikokimyasal karakteristikleri; ekstrüzyon sırasındaki sıcaklık, nem ve enerji girişiyle değişmektedir (Li vd 2014, Yahaghi vd 2014). Ekstrüzyon işleminde nişastanın parçalanması, kullanılan nişasta tipine bağlı olduğu kadar; vida hızı, sıcaklık ve nem içeriği gibi ekstrüderin işlem koşullarına da bağlıdır (Zhang vd 2015).

Ekstrüzyon işlemi ile meydana gelen mekanik kesme gücü amilopektinin dallarındaki glikozidik bağları rastgele kırmakta, fakat granüler nişastadaki sert kristalleri daha belirgin bir biçimde birleştirmektedir (Zhang vd 2015). Bu durum EDN içeriğini artırıcı etki göstermektedir.

Konuyla ilgili olarak yapılan bir çalışmada; yüksek amilopektinli, normal ve yüksek amilozlu mısır nişastası sulandırıldıktan sonra ekstrüzyon işlemine tabi tutulmuş ve yalnızca yüksek amilozlu mısır nişastasında daha yüksek EDN oluştuğu tespit edilmiştir (Zhang vd 2015).

### 2.2.1.4. Ultrasonikasyon işlemi ile EDN üretimi

Gıda işleme ve muhafazasında, daha yüksek ürün verimi, daha kısa işlem süresi, gelişmiş kalite özellikleri, düşük işletme ve bakım maliyetini de içeren faydalı etkiler gösteren ultrasonik işlem (Zhu 2015), polimerlerin kimyasal modifikasyonunu

desteklemede modern, çevre dostu ve etkili bir metot olarak bilinmektedir (Baxter vd 2005).

Ultrasonikasyon işlemi nişastaya uygulandığında; kullanılan sistem sıcaklığı ve frekansı, enerji miktarı, işlem süresi gibi ultrasonikasyon parametrelerinin de en az nişasta tipi, kompozisyonu ve sıvı harcın nişasta konsantrasyonu kadar nişastanın granül morfolojisi üzerinde etkili olduğu bildirilmiştir (Zhu 2015).

Ultrasonikasyon; tahrip edici etkiye sebep olan basınç değişimlerini ve yerel hızları teşvik etmektedir. Bu da granülde çatlak ve gözenek oluşumuna sebep olmakta (Zhu 2015) ve granüle hasar vererek uzun zincirlerin uygun boyutlara parçalanmasını sağlamaktadır. Parçalanmış zincirlerin yeniden düzenlenmesi ile oluşan çift sarmal yapı ultrasonikasyon tarafından desteklenmektedir. Bu durum EDN içeriğini arttırıcı etki göstermektedir (Zeng vd 2015).

Nilüfer (lotus) tohumu nişastası üzerinde yapılan bir çalışmada EDN elde etmek için mikrodalga-nem, otoklavlama ve ultrasonikasyon-otoklavlama metotları kullanılmıştır. Bu çalışmada, uygulanan işlemlere göre sırasıyla %39.5, %41.9 ve %56.1 oranında EDN oluşumunun meydana geldiği tespit edilmiştir (Zeng vd 2015). Bu nedenle ultrasonikasyon uygulamasının EDN üretimini pozitif yönde etkilediği değerlendirilmiştir.

#### **2.2.1.5. Enzim uygulamasıyla EDN üretimi**

EDN üretimi termal işlemlerin yanı sıra enzimatik işlemlerle de gerçekleştirilebilmektedir. Enzimatik uygulamanın ana hedefi, dallanmış amilopektin zincirlerinin pullulanaz ve izoamilaz enzimleri ile düz zincirlere dönüşmesini sağlamak (Simsek ve El 2012) ve dalları kısmen ayrılmış amilopektin üretmektir. Bu yöntemle üretilen EDN3, daha yüksek kristallik derecesine sahip modifiye bir nişasta olmasının yanı sıra, sıcaklığa ve sindirime daha dirençli bir hal almaktadır (Morales-Medina vd 2014).

Konuyla ilgili olarak yapılan bir çalışmada; doğal ve jelatinize kırmızı barbunya nişastası pullulanaz enzimi ile 10 saat enzimatik olarak hidrolize edildikten sonra 121°C'de 30 dakika otoklavlanmış ve son olarak da 4°C'de 24 saat depolanan nişastalar liyofilize edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre jelatinize olmayan kırmızı barbunya nişastasında %21.3 oranında EDN tespit edilirken, enzimatik hidroliz uygulandıktan sonra retrograde edilen aynı nişastada bu oranın %31.5'e yükseldiği belirlenmiştir. Enzimatik hidroliz uygulanan ve retrograde edilen jelatinize kırmızı barbunya nişastasında ise bu oranın %42.3 seviyesine çıktığı görülmüştür (Reddy vd 2013).

Beş farklı baklagil unu (mercimek, nohut, bakla, kırmızı ve beyaz barbunya) ile yapılan bir çalışmada EDN üretimi için pullulanaz enzimi kullanılmıştır. Bu enzim uygulaması (60°C'de 24 saat) sonucunda beyaz barbunya ununda yaklaşık %31.8, kırmızı barbunya ununda ise %30.8 EDN oluşurken, nohut ununda yaklaşık %0.9 EDN oluşmuştur. Bu değer bakla unu için %3.3, mercimek unu için ise %3.0 olarak bulunmuştur. Çalışmada, beyaz ve kırmızı barbunya unu nişastalarının EDN'ye dönüşmeye daha elverişli olduğu sonucuna varılmıştır (Morales-Medina vd 2014).

Konuyla ilgili olarak yapılan bir diğer çalışmada,  $\alpha$ -amilaz ve pullulanaz ile birleştirilen bir metot kullanılarak mısır nişastasından EDN üretilmiştir. Çalışmada sıcaklık, pH, reaksiyon süresi ve  $\alpha$ -amilaz miktarı optimize edilmiş ve sıcaklığın 90°C, pH değerinin 5.5, reaksiyon süresinin 15 dakika ve  $\alpha$ -amilaz miktarının ise 4 $\mu$ g/g olduğu koşullarda en yüksek EDN değerine (%58.9) ulaşılmıştır. Doğal mısır nişastasına kıyasla  $\alpha$ -amilaz ile işlem görmüş mısır nişastasının, daha kısa amiloz zincirleri içerdiği ve molekülleri arasındaki yapısal engellenmenin azaldığı tespit edilmiştir. Amilopektinin pullulanaz tarafından parçalanabilmesi için fayda sağlayan bu durumun, amilopektinden ayrılan kısa amiloz zincirlerini çift sarmal yapıya dönüştürebileceği belirtilmiştir. Doğal mısır nişastası ile mısır dirençli nişastası kıyaslandığında ise mısır dirençli nişastasında kristallenmenin arttığı görülmüş ve kristallerin artan yoğunluğu, nişasta parçalayan enzimlere direnci de büyük ölçüde arttırmıştır (Zhang ve Jin 2011).

*In vitro* olarak simüle edilen mide ve ince bağırsak sisteminde gerçekleştirilen bir başka çalışmada ise;  $\alpha$ -amilaz ve pullulanaz enzimlerinin kombinasyonu ile işlem görmüş mısır nişastası örneklerinde sindirime gösterilen direncin, yüksek basınç uygulamasıyla işlem görmüş olan örneklerden daha yüksek olduğu tespit edilmiştir (Zeng vd 2015, Zhang vd 2013).

#### 2.2.1.6. Kimyasal uygulamalar ile EDN üretimi

Kimyasal modifikasyon işlemiyle EDN üretimi de mümkün olabilmektedir. Kimyasal işlem, modifiye nişasta hazırlamak için endüstride en yaygın kullanılan uygulamalardan biridir ve kimyasal ajanlarla modifiye edilen nişastalar bazı sınırlamalarla birlikte gıda katkıları olarak endüstride kullanılabilir (Kapelko-Żeberska vd 2015).

Çapraz bağlama, nişasta jelinin fonksiyonel özelliklerini geliştirmek, donma-çözülme ve soğuk depolama stabilitesi sağlamak için kullanılan kimyasal modifikasyon tekniklerinden biridir. Çapraz bağlama işlemi; granüler nişastaya çok fonksiyonlu reaktiflerle (sodyum trimetafosfat, sodyum tripolifosfat vb.) muamele edildiğinde, nişasta molekülü üzerindeki hidroksil grupları arasında eter ya da ester bağlarının oluşmasıyla gerçekleştirilebilmektedir (Liu vd 2014). Bu şekilde sindirime direnç kazanan nişasta, Tip 4 enzime dirençli nişasta (EDN4) olarak sınıflandırılmaktadır (Kahraman vd 2015, Liu vd 2014).

Çapraz bağlama, nişasta granülünün rastgele bölgelerinde iç ve ara bağlar eklemek için uygulanan bir işlemdir. Bu uygulama granülü stabilize etmekte ve güçlendirmektedir. Çapraz bağlı nişastanın kimyasal ve fonksiyonel özellikleri; nişastanın kaynağına, reaksiyon koşullarına (süre, sıcaklık, pH, katalizör varlığı), reaktant tipi ve konsantrasyonuna bağlıdır (Kahraman vd 2015).

Konuyla ilgili olarak yapılan bir çalışmada, mısır ve buğday nişastasında uygun reaksiyon koşullarının optimize edilmesiyle çapraz bağlama işlemi gerçekleştirilmiş ve işlem sonucunda sıcaklık ve özellikle de pH artışıyla EDN içeriğinin arttığı tespit edilmiştir (Kahraman vd 2015).

Diğer bir kimyasal modifikasyon türü olan asit hidrolizi ile yapılan bir çalışmada ise; pirinç nişastasına organik asit ve sıcaklık-nem işlemlerini uygulamış ve kullanılan organik asitler içerisinde, nişastanın karakteristik özellikleri ve EDN oluşumu üzerinde en etkili olan organik asidin sitrik asit olduğu tespit edilmiştir (Hung vd 2016).

Sitrik asit çözeltisi ile yüksek sıcaklıkta muamele görmüş nişastalarda EDN içeriği artış göstermektedir (Hung vd 2016, Liu vd 2014). Bunun sebebi; fazla miktarda sitrik asit çözeltisi içerisinde ısıtılan nişastalarda, ısıtma işlemi boyunca granül dışına çıkan nişasta zincirlerinin kolaylıkla sitrik asitle tepkimeye girmesi ve sitrik anhidritin nişasta zinciri üzerindeki hidroksil ile yer değiştirmesi olarak açıklanmaktadır (Liu vd 2014).

### 3.2.1. EDN üretiminde kombine uygulamalar

EDN üretimi için, bahsedilen işlemler örneklere ayrı ayrı uygulanabileceği gibi, bu işlemlerin kombinasyonları şeklinde de uygulamalar yapılabilmektedir.

Bu konuda yapılan bir çalışmada gölevez nişastasının %2.2 olan EDN içeriğinin; nemlendirme - ısıtma - otoklavlama - enzim uygulaması (pullulanaz) - retrogradasyon - kurutma işlemleri kombinasyonunun iki kez tekrarıyla %35.1'e yükseldiği tespit edilmiştir (Simsek ve El 2012).

Konuyla ilgili olarak yapılan bir diğer çalışmada ise; pirinç nişastasına farklı kombinasyonlar uygulanmış ve bu uygulamalar sonucunda; normal pirinç nişastasında %2.5 olan EDN içeriğinin jelatinizasyon - enzim uygulaması ( $\alpha$ -amilaz ve pullulanaz) - depolama (+4°C) - ısıtma işlemi - kurutma kombinasyonu ile %47 seviyesine yükseldiği tespit edilmiştir. Aynı çalışmada EDN içeriği;  $\alpha$ -amilaz uygulaması yapılmayan örneklerde %35.2 olarak bulunurken,  $\alpha$ -amilaz ve pullulanaz enzimleri kullanılmayan ve depolanmayan örneklerde ise %15.3 olarak bulunmuştur (Zhou vd 2014).

EDN üretimi için birden fazla işlemin birlikte uygulanması, gıdalardaki EDN oluşumunu kolaylaştırmakta ve sonuç olarak miktar bakımından daha fazla EDN oluşumuna neden olmaktadır.

Gıdaların EDN verimi nişastanın kaynağına, işlem tipine, amiloz/amilopektin oranına, fiziksel formuna, jelatinizasyon derecesine ve ısıtma, soğutma ve depolama koşullarına bağlıdır. Birçok gıda işleme tekniği EDN1 ve EDN2'yi azaltmakta ya da tamamen yok etmektedir. Ancak bu EDN tiplerinin EDN3'e dönüşme potansiyelleri de bulunmaktadır. EDN4 için ise bazı gıda güvenliği kısıtlamaları bulunmakta, bu da kullanımını sınırlandırmaktadır (Zhang ve Jin 2011). EDN üzerine yapılmış olan çalışmaların büyük bir kısmı, termal stabilitesi ve sindirim enzimlerine karşı direncinin yüksek olması sebebiyle EDN3 üzerinde yoğunlaşmakta (Shi ve Gao 2011, Zeng vd 2015) ve bu çalışmalarda uygulanan işlemlerle EDN3 veriminin artırılması amaçlanmaktadır.

### 2.2.2. EDN3 oluşum mekanizması

Nişasta içeriği yüksek tahıl gibi gıdalarda ve bunlardan elde edilen ürünlerde farklı miktarlarda EDN bulunmaktadır. Bu farklılık gıdanın işleme derecesine göre değişebilmektedir. Gıdalardaki EDN oluşumu ve içeriği üzerinde; nişastanın özellikleri



(kristallik derecesi, granüler yapısı, amiloz/amilopektin oranı, amilozun retrogradasyonu ve zincir uzunluğu ve amilopektinin lineerlik derecesi), materyalin nem içeriği, uygulanan ısı işlemler ve nişastanın diğer bileşenlerle etkileşimi (proteinler, lipitler, iyonlar, enzim inhibitörleri, şekerler) gibi etmenler etkili olmaktadır (Eerlingen ve Delcour 1995, Sajilata vd 2006).

EDN3 oluşumu nişastanın retrogradasyonu sırasındaki kristalizasyon işlemi sayesinde meydana gelmektedir (Chung vd 2003, Jeong ve Lim 2003). Tip 3 EDN oluşumu için nişasta öncelikle jelatinize edilmekte ve daha sonra bir süre bekletilerek retrogradasyona uğratılmaktadır (Escarpa vd 1997). Jelatinizasyon aşaması, yeterli sıcaklık ve su varlığında gerçekleşmekte olup bu aşamada nişastanın granüler yapısı dağılmaktadır (Briffaz vd 2014, Waterschoot vd 2015). Nişasta jeli soğuduğunda meydana gelen retrogradasyon aşamasında ise, nişastanın fraksiyonlarından biri olan amiloz birkaç saat içerisinde yeniden organize olarak kristal forma geçmektedir (Al-Hajji vd 2016, Fu vd 2015). Bunun nedeni, amiloz moleküllerinin hidrojen bağından kaynaklanan çekim kuvvetlerinin etkisiyle retrogradasyon aşamasında ikili sarmal yapı şeklinde yeniden düzenlenmesidir. Bu oluşan yapının önceki yapıya göre daha sağlam ve dayanıklı olması, nişastayı hidrolize eden enzimlere karşı direncinin de artmasını sağlamaktadır (Kiatpongla vd 2015). Bütün bu işlemler uygulanarak üretilen nişasta yüksek sıcaklıkta dahi çözünmeye karşı oldukça dirençli bir hal almakta ve EDN3 olarak isimlendirilmektedir (Güzel 2009).

EDN3 üretimi ile ilgili yapılan bazı çalışmalarda, EDN3'ün yapısal karakteristiklerinin ve fizikokimyasal özelliklerinin farklı üretim metotlarından etkilendiği belirtilmektedir (Fan vd 2013, Zeng vd 2015). Sıcaklık-nem uygulaması, ısı işleme tavlama ve otoklavlama, ekstrüzyon işlemi, mikrodalga-nem uygulaması, amilopektindeki dallanmış yapının azaltılması (enzimatik işlem), ultra yüksek basınç ve ultrasonikasyon uygulamaları gibi işlemler kullanılarak EDN3 üretimi gerçekleştirilebilmektedir (Zeng vd 2015).

### 2.2.3. EDN'nin kullanım alanları ve avantajları

Diyet lif özelliği nedeniyle EDN birçok gıdada diyet lif kaynağı olarak kolaylıkla kullanılabilir. EDN'nin beyaz renkli, normal partikül büyüklüğünde ve ürün dokusunu olumlu yönde etkileyen bir yapıda olması nedenleriyle, hamurun işlenmesini ya da reolojisini önemli derecede etkilemeden kullanılabilmesi mümkün olmaktadır (Kotancılar vd 2009). EDN'nin proses koşullarına daha fazla uyumlu olması, üretim koşulları ve ürün formülasyonunda daha az modifikasyon yapılmasını sağlamakta, bu da maliyetin düşmesine büyük ölçüde katkıda bulunmaktadır.

Günümüzde de devam etmekte olan birçok çalışmada EDN'nin doğal bir gıda katkı maddesi olarak kullanılması konusuna büyük önem verilmektedir. Amilozun retrogradasyona eğiliminin yüksek olması nedeniyle yüksek amiloz ihtiva eden nişastalar ekmek, cips, kahvaltılık tahıl ürünleri gibi gıda maddelerine ilave edilmekte ve bu durumun gıda işleme tekniklerinin de etkisiyle gıdadaki EDN içeriğini arttırabileceği belirtilmektedir (Dimantov vd 2004, Haralampu 2000). Daha önce yapılan çalışmalarda EDN'nin bazı gıdalar için gevrekliği ve kabarmayı arttırdığı ve lif içeren bazı gıdalara nazaran renk, tat, koku ve yapı gibi özellikleri iyileştirilmiş daha kaliteli ürünler

üretilmesini sağladığı tespit edilmiştir. Örneğin, bir ürünün üretiminde kepek gibi ticari lifler kullanıldığında koyu renkli ve sert bir son ürün elde edilmekle birlikte, hamurun reolojik özelliklerinde önemli değişiklikler meydana gelmekte ve işlenebilirliği zorlaşmaktadır (Fuentes-Zaragoza vd 2010). Ancak kepek yerine EDN kullanıldığında ise bu olumsuzluklarda önemli oranlarda azalmalar meydana gelmektedir.

EDN'nin ekstrüde ürünlerde kullanımında da olumlu sonuçlar elde edilmiştir. Ekstrüde ürünlerde gaz hücrelerinin genişlemesi oldukça fazla önem arz etmektedir ancak bu ürünlerde kullanılan ticari besinsel lifler, gıdanın fiziksel yapısını kuvvetlendirerek genişlemeyi sınırlandırmaktadır. Bu yüzden bu gıdaların formülasyonlarında EDN kullanılarak karşılaşılan olumsuzluklar önemli ölçüde giderilebilmektedir (Haralampu 2000).

Bütün bunların yanı sıra EDN; fonksiyonel özellikler kazandırmak amacıyla da gıda formülasyonlarına ilave edilmekte ve bu şekilde sağlık açısından da faydalı olan ürünler elde edilebilmektedir (Özbaş ve Köksel 2006).

#### **2.2.4. EDN'nin diyet lif özellikleri ve sağlık bakımından önemi**

Diyet lif; mide ve ince bağırsaktan sindirilmeden geçen ve kalın bağırsakta kısmen veya tamamen sindirilerek prebiyotik etki de gösteren polimerik gıda bileşenidir. Tüketildikten sonra sindirilmeden dışarı atılan gıda bileşenleri olarak da tanımlanan diyet liflerin, beslenmede gıdalarla tüketimi sağlıklı bir yaşam için oldukça önemlidir. Diyet lifin beslenmede yeterli düzeyde olması; vücut ağırlığı kontrolü (obezitenin önlenmesi), serumdaki lipid ve kolesterol seviyelerinin azaltılması, yemek sonrası glikoz seviyesinin (diyabet) kontrolü, kalp-damar rahatsızlıkları ve kolon kanserinin oluşum riskinin azaltılması gibi önemli sağlık faydaları sağlamaktadır (Arcila ve Rose 2015, Fuentes-Zaragoza vd 2010, Ma ve Mu 2016, Peerajit vd 2012). Ayrıca diyet lifler çinko, demir ve magnezyum gibi mineral maddelerin biyoyararlılığını da arttırmada oldukça etkili sonuçlar vermektedir (Saldamlı 2007, Zhou vd 2014). Diyet liflerin mümkün olduğunca doğal besinlerden alınması ile ise daha etkili sonuçlar elde edilebilmektedir (Samur ve Mercanlıgil 2008).

Diyet lifler sudaki çözünürlüklerine göre çözünür ve çözünmez diyet lifler olarak iki guruba ayrılmaktadır. Temel olarak suda çözünmeyen diyet lifi bağırsağın korunması ile ilgili iken suda çözünen diyet lifi ise kandaki kolestrolün düşürülmesi ve vücut için yararlı birçok maddenin oluşmasıyla ilgilidir (Burdurlu ve Karadeniz 2003). Suda çözünür diyet liflere gum ve pektin gibi polisakkaritler; suda çözünmeyen diyet liflere ise EDN, selüloz, hemiselüloz ve lignin örnek olarak verilebilmektedir (Burdurlu ve Karadeniz 2003, Huang vd 2013).

Suda çözünmeyen ve posa maddesi olarak dışkı artışına neden olan diyet lifler, insan vücudunda tokluk hissi oluşturması ve fekal atık artışı sağlamak suretiyle dışkı atımını hızlandırması ve kolaylaştırması nedenleriyle kabızlık ve hemoroit gibi hastalıkların oluşmasını önemli ölçüde engellemektedir (Fernandes vd 2015). Ayrıca yüksek diyet lif içeren besinlerde, safra asitleri lifler tarafından tutulmakta ve dışkı ile dışarı atılmaktadır. Bunun sonucunda kandaki kolesterolün karaciğerde safra asitlerine dönüştürülmesi suretiyle yeniden safra asidi üretimi gerçekleştirilmektedir. Böylece

kandaki kolesterol seviyesinde %20'den daha fazla düşme sağlanabilmektedir (Dülger ve Şahan 2011). Bu durum kalp ve damar rahatsızlığının azalması bakımından da büyük önem taşımaktadır (Dülger ve Şahan 2011, Saldamlı 2007).

EDN, suda çözünmeyen bir diyet lif olmakla birlikte (Isken vd 2010, Robertson vd 2005); gastrointestinal ve kardiyovasküler hastalıkların önlenmesi, ülseratif kolit oluşumu ve kolon kanseri riskinin azaltılması, bakteriyel gelişim ve mineral absorpsiyonunun desteklenmesi gibi çözünür diyet liflere benzer fizyolojik ve fonksiyonel faydalara da sahiptir (Zeng vd 2015, Zhang ve Jin 2011, Zhang vd 2014b).

Bir diyet lif olan EDN aynı zamanda, kolon bakteri florasını değiştirerek toksik metabolitlerin oluşumunu azaltması ve dışkı atımını hızlandırarak bu metabolitlerin bağırsak hücreleriyle temas süresini kısaltması nedeniyle kolon-rektum kanserinin önlenmesine de katkıda bulunmaktadır (Saldamlı 2007).

#### **2.2.4.1. EDN'nin prebiyotik etkisi**

Prebiyotikler; üst gastrointestinal sistemde insan sindirim enzimleri tarafından hidroliz edilmeyen ve konakçısının sağlığını olumlu yönde etkileyen bir veya sınırlı sayıda bakterinin kolondaki gelişimini seçici bir şekilde destekleyen gıda katkı maddeleridir (Charalampopoulos vd 2002). Tüm prebiyotikler diyet lif grubundan olmasına rağmen, her diyet lif prebiyotik madde olarak değerlendirilmemektedir (Slavin 2013).

Mide ve ince bağırsaktan sindirilmeden geçen ve bir diyet lif olan EDN de, kalın bağırsaktaki yararlı bakteriler tarafından fermentasyon substratı olarak kullanılmaktadır. Kolonik fermentasyon sonucunda ise bazı bifidobakter ve laktobasil türlerinin gelişiminde artış meydana gelmektedir (Kotancılar vd 2009, Witczak vd 2015). EDN; bağırsak mikroflorasında diyet lif fermentasyonunun son ürünleri olan asetat, propiyonat ve bütirat gibi kısa zincirli yağ asitlerinin oluşumunu sağlamakta, bu da insan vücudu için büyük önem teşkil etmektedir (Arcila ve Rose 2015, Gargari vd 2015, Kotancılar vd 2009).

Fermentasyon sonucunda meydana gelen kısa zincirli yağ asidi üretimi; bağırsaktaki patojenlerin inhibisyonuyla ve mineral biyoyararlılığıyla sonuçlanabilen pH düşüşü ile ilişkilidir. İnce bağırsakta sindirilemeyen EDN'nin kalın bağırsakta fermentasyona uğramasıyla (Hu vd 2015, Zhang ve Jin 2011), pek çok bileşiğin yanında meydana gelen bu kısa zincirli yağ asitleri, kalın bağırsak iç yüzeyindeki hücreler için enerji kaynağı olarak kullanılmaktadır (Kotancılar vd 2009).

Oluşan kısa zincirli yağ asitlerinden asetat ve propiyonat, insan vücudunda absorbe edilmekte ve glikoz ve lipid metabolik yollarında substrat haline gelmektedir (Arcila ve Rose 2015). Ayrıca propiyonat, karaciğerdeki kolesterol sentezini önlemesiyle de fayda sağlamaktadır (Arcila ve Rose 2015, Kaczmarczyk vd 2012). Bütirat ise, EDN'nin fermentasyonu sonucunda ortaya çıkan en temel yağ asididir ve vücut için anti-inflamatuar etkisi bulunmaktadır (Gargari vd 2015). Ayrıca kolonik hücreler için esas enerji kaynağı ve bağışıklık düzenleyici olması, hücre farklılaşması ve çoğalmasıyla ilgili

olması ve bağırsak bariyer fonksiyonunda rol oynaması gibi sebeplerle de insan metabolizmasında önemli bir yere sahiptir (Arcila ve Rose 2015, Zhang ve Jin 2011).

Prebiyotikler; kan glikoz seviyesi dengesizliği, oksidatif stres ve iltihap oluşumu gibi metabolik hastalıkları da azaltmaktadır. Tip 2 diyabet sorunu yaşayan hastalarla yapılan bir çalışmada, hastaların beslenmesinde günlük 10 g EDN2 kullanılmış ve 8 hafta sonunda diyabetik sorunlarda azalma meydana geldiği tespit edilmiştir (Gargari vd 2015).

Bahsedilen özelliklerinden dolayı EDN prebiyotik etkiye sahip maddeler grubunda değerlendirilmekte ve bu da EDN ile üretilen gıdaları sağlık açısından daha faydalı bir konuma getirmektedir.

#### **2.2.4.2. EDN'nin gıdaların glisemik indeksini düşürücü etkisi**

Glisemik indeks karbonhidrat bakımından zengin gıdaları glisemik tepkilerine göre karşılaştırmaya yarayan bir ölçektir (Simsek ve El 2015) ve bir gıdanın glisemik indeksi, içeriğindeki nişastanın sindirim ve emilim oranı ile yakından ilişkilidir (Simsek ve El 2012).

Nişasta; gastrointestinal sistemden emilim ve glikoz salınım oranı dikkate alındığında besinsel açıdan çabuk sindirilir nişasta, yavaş sindirilir nişasta ve EDN olmak üzere 3 farklı grupta sınıflandırılabilir. Çabuk sindirilir nişasta beslenme sonrasında hemen sindirilerek kan glikoz seviyesinde ani bir artışa sebep olan, yavaş sindirilir nişasta ise ancak ince bağırsakta tamamen sindirime uğrayabilen nişasta fraksiyonu olarak tanımlanmaktadır (Simsek ve El 2015). Sindirime karşı en dirençli fraksiyon ise EDN'dir.

Nişasta bakımından zengin gıdalar glisemik indekslerine göre karşılaştırıldığında 3 farklı grubun olduğu görülmektedir. Bu gruplandırmaya göre; glisemik indeks 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).

Gıdalardaki glisemik indeksin tanımlanmasında pek çok faktör etkilidir. Sindirim enzimleriyle kolaylıkla parçalanan ve glikoz moleküllerinin kolaylıkla salındığı nişastalı gıdaların glisemik indeksi genel olarak yüksektir. Örneğin; tahılların rafine edilmesi ya da öğütülerek partikül boyutlarının küçültülmesi, preslenmesi gibi işlemler bu gıdaların içeriğindeki nişastanın sindirim enzimlerine maruz kalma ihtimalini arttırmakta ve glisemik indeksin artmasına neden olmaktadır. Nem ve sıcaklıkla birlikte gıdaların pişirilmesi de bu gıdaların kolaylıkla hidrolize olup sindirilmesini sağlamaktadır (Schakel vd 2008).

Nişastanın tipi de glisemik indeksin belirlenmesinde önemli bir faktördür. Amiloz bakımından zengin nişastalı gıdalar tüketildiğinde gastrointestinal sistemin boşalması daha geç olmakta ve kan glikoz seviyesi daha düşük seyredilmektedir (Srikaeo ve Sangkhiaw 2014). Amilopektin ise dallanmış yapısından dolayı sindirilmeye daha elverişlidir. Yoğun lif, tam tahıl taneleri, fermentasyon ile üretilen organik asitler, yağlar,

süt proteinleri ve EDN ise gıdaların glisemik indeksini düşürücü etki yapmaktadır (Schakel vd 2008).

Daha önce de belirtildiği üzere kalın bağırsağa kadar sindirilmeden ulaşabilen EDN, ince bağırsakta sindirilememesi nedeniyle gıdaların glisemik indeksini azaltıcı etki yapmaktadır (Brites vd 2011, Simsek ve El 2012). Bu özelliği ile kan şekerinin ani yükselişini engelleyen EDN (Kotancılar vd 2009), glisemik indeksi azaltması yoluyla, vücutta depo edilen yağların kullanımını teşvik etmekte ve özellikle Tip 2 diyabet hastaları için faydalı sonuçlar elde edilebilmektedir.

Sonuç olarak; bir diyet lif gibi davranan EDN'nin gıdalarda daha fazla oranlarda bulunması, insan sağlığının ve yaşam kalitesinin iyileştirilmesine yardımcı olmaktadır. Bu tür ürünlerin tüketimi sayesinde, toplumda büyük sorun haline gelen pek çok hastalığın görülme oranının önemli ölçüde azalabileceği değerlendirilmektedir.



### 3. MATERYAL ve METOT

#### 3.1. Materyal

Bu çalışmanın ilk aşaması olan EDNİZU üretiminde ilgili yasal hükümlere uygun olarak üretilen, protein ve kül içeriği sırasıyla %10.5 ve %0.55 olan bisküvilik un, iyi kalitede içme suyu ve analitik saflıkta sitrik asit kullanılmıştır. İkinci aşama olan bisküvi üretiminde ise un ve içme suyuna ilave olarak hidrojenize bitkisel yağ, yağsız süt tozu, tuz ve kabartma tozu (sodyum bikarbonat ve sodyum asit pirofosfat içeren) kullanılmıştır. Kimyasal ve mikrobiyolojik analizler için gerekli olan malzemeler, analizin niteliğine göre analitik ve mikrobiyolojik saflıklarda temin edilmiştir.

#### 3.2. Metot

##### 3.2.1. EDN içeriği zenginleştirilmiş un üretimi

Çalışmada temel olarak EDNİZU üretimi için; farklı un/su oranlarında (1/5, 1/10, 1/15 ve 1/20) karışımlar hazırlanmıştır. Bu karışımların pH değerleri belirlenen 3 farklı değere (6.1 (unun doğal pH değeri); 5.5 (un proteinlerinin yaklaşık izoelektrik noktası) ve 4.5) ayarlandıktan sonra üç farklı sıcaklıkta (80, 100 ve 121°C) ultrasonikasyon uygulanarak ve uygulanmayarak 72 farklı örnek üretilmiştir.

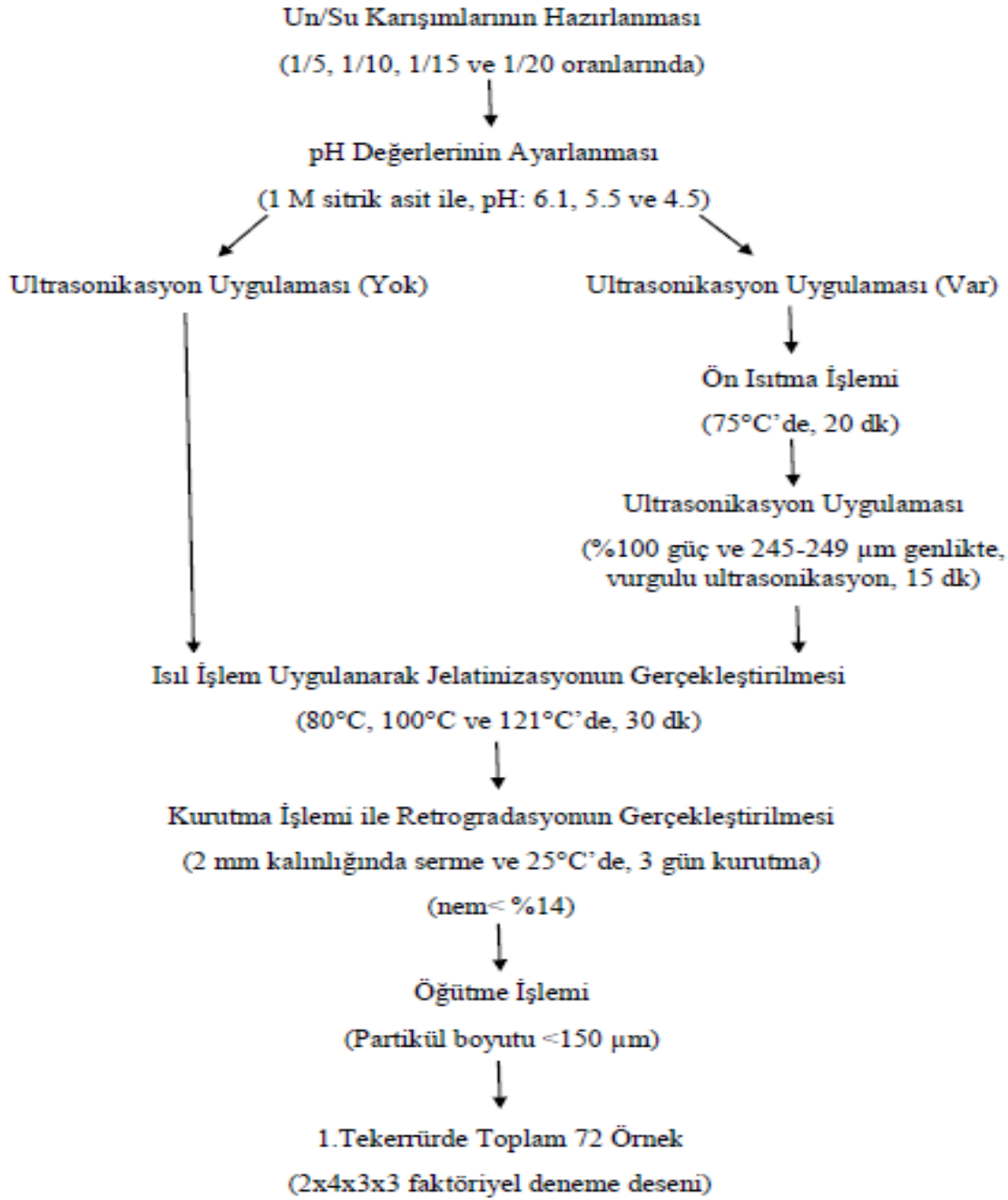
Bu amaçla ultrasonikasyon işlemi uygulanmadan ve uygulanarak yapılan üretimlerde kullanılmak üzere iki farklı grup oluşturulmuştur. Ultrasonikasyon işlemi uygulanmadan yapılan üretimlerde; 1/5, 1/10, 1/15 ve 1/20 un/su oranlarında karışımlar hazırlamak için sırasıyla 60, 30, 20 ve 15 g un, 300 mL su ile karıştırılmıştır. Farklı oranlarda hazırlanan karışımların sitrik asit ilave edilmeden önceki pH değeri yaklaşık 6.1 olarak tespit edilmiş ve elde edilen bu alt grup mevcut haliyle üretimde kullanılmıştır. Bu şekilde aynı un/su oranları kullanılarak iki alt grup daha hazırlanmış ve bu alt gruplardan birinin pH değeri 1 M sitrik asit ilavesiyle 5.5'e, diğerinin pH değeri ise 4.5'e ayarlanmıştır. Bu üç alt gruptan oluşan kısım yalnızca bir sıcaklık değeri için oluşturulmuş olup diğer iki sıcaklık değeri için de aynı işlemler tekrar edilerek toplamda 9 alt grupta ultrasonikasyon işlemi uygulanmayan karışımların üretimi gerçekleştirilmiştir. Ultrasonikasyon işlemi uygulanmayan bu karışımlar, pH ayarlama işlemi sonrasında direk olarak 80, 100 ve 121°C'lerde 30 dk boyunca ayrı ayrı ısıtılma tabii tutulmuş ve karışımların jelatinize olması sağlanmıştır. Jelatinizasyon işlemi sonrasında düz bir zemin üzerine yaklaşık 2 mm kalınlığında serilen karışımların, sıcaklığı 25°C'de sabit tutulan bir ortamda 3 gün boyunca yavaş bir şekilde retrogradasyona uğrayarak kuruması ve bu şekilde EDN içeriğinin zenginleşmesi sağlanmıştır. Retrogradasyon ve kurutma işlemleri sırasında örnekler üzerinde küf oluşumu meydana gelmemesi için hava sirkülasyonunun sürekli olmasına özen gösterilmiş ve kurutma sürecinde örneklerde küf gelişmediği gözlenmiştir.

Ultrasonikasyon işlemi uygulanarak yapılan üretimlerde ise; pH ayarlama işlemi sonrasında karışımlar iç sıcaklıkları 75°C'ye gelene kadar karıştırılarak su banyosunda yaklaşık 20 dk ısıtılmış ve bu şekilde karışımların içerisindeki nişastanın kısmen jelatinize olması sağlanmıştır. Kısmen jelatinize olan bu karışımlara; gücü 96 Watt olan sonikatör cihazı (Sonopuls HD 3200, Bandelin, Berlin, Almanya) kullanılarak, %100 güç ve 245-249 µm genlikte çalışan 6 mm çapında prob ile 15 dakika boyunca vurgulu (10s

çalışma-5s bekleme) olarak ultrasonik ses dalgaları uygulanmıştır. Bu uygulama sonrasında ultrasonikasyon işlemi uygulanmadan üretilen örneklerde olduğu gibi bu karışımlarda da aynı süre ve koşullarda jelatinizasyon, retrogradasyon ve kurutma işlemleri gerçekleştirilmiştir.

Üç gün sonunda su içeriği %14'ün altında olacak şekilde kurutulmuş olan örnekler bir öğütücüde (HGB2WTS3, 400 W, Waring, Amerika) kısmi bir boyut küçültme işlemine tabi tutulduktan sonra daha küçük hacimlerde çalışabilen bir başka öğütücüde de (MKM6000, 180W, Bosch, Almanya) öğütülerek (partikül boyutu <150µm) un haline getirilmiştir. EDNİZU'ların üretiminde kullanılan yöntemle ait üretim şeması Şekil 3.1'de verilmiştir.





Şekil 3.1. EDNİZU'ların üretiminde kullanılan yöntemle ait üretim şeması

### 3.2.1.1. EDN içeriği en yüksek unun belirlenmesi ve depolanması

Farklı yöntemler kullanılarak üretilen örnekler üzerine uygulanan EDN analizi sonucunda elde edilen verilerle istatistiksel bir değerlendirme yapılmış ve bu değerlendirme sonucunda en yüksek EDN içeriğine sahip un örneği belirlenmiştir. Bu un örneğinin fazla miktarda üretilmesi sonrası termal özellikleri ve prebiyotik etkisi belirlenmiş ve örnek kilitli plastik torba içerisine alınarak oda sıcaklığındaki bir dolapta 60 gün süreyle depolanmıştır. Depolamanın 0., 30. ve 60. günlerinde örneğin rengi, kurumadde ve EDN içerikleri ve glisemik indeks değeri analiz edilmiştir.



### 3.2.2. Deneysel bisküvi üretimi

Un (234.4 g), tuz (2.4 g), yağsız süt tozu (4.8 g) ve sodyum bikarbonat ve sodyum asit pirofosfat içeren kabartma tozu (8 g) geniş bir kap içerisinde karıştırılıp başka bir kap içerisine tartılmış olan hidrojenize bitkisel yağ (40 g) üzerine ilave edilmiş ve bu karışım el ile 1 dk karıştırılmıştır. Son olarak üzerine su (114 mL) ilave edilen karışım el ile yaklaşık 5 dk yoğurularak hamur haline getirilmiştir. Elde edilen hamur küçük parçalara ayrıldıktan sonra bir merdane yardımıyla hamur kalınlığı 1.5 mm olacak şekilde açılmıştır. İnce bir şekilde açılan hamurlar yağlı kağıt üzerine alınmış ve tel kesme kalıpları yardımıyla dairesel bir şekilde (R=52 mm) kesilerek artan parçalar ayrılmıştır. Kesilen hamurlar yağlı kağıt ile birlikte pişme başlangıç sıcaklığına kadar (100°C) ısıtılmış olan fırın tepsisine alınmış ve tepsi 100°C'deki elektrikli fırına (HC744540 Siemens, Münih, Almanya) yerleştirilmiştir. Hamurlar bu sıcaklıkta 5 dk pişirildikten sonra fırın sıcaklığı kademeli olarak artırılmış ve pişirme işlemine sırasıyla 130°C'de 5 dk, 150°C'de 5 dk ve 180°C'de 5 dk olacak şekilde devam edilmiştir. Toplamda 20 dk pişirilen bisküviler süre sonunda fırından çıkartılmış ve soğumaya bırakılmıştır. Deneysel bisküvi üretiminde Gündoğdu Sertakan (2006) tarafından kullanılan yöntem modifiye edilmiş ve kullanılmış olan malzemelerin miktarı ve bisküvilerin pişme süresi ön denemelerle belirlenmiştir.

Bisküvi üretimi; formülasyondaki unun %0, %25, %50 ve %75'i EDNİZU olacak şekilde katılan unla gerçekleştirilmiş olup %0 üretimi (%100 bisküvilik un) kontrol örneği olarak değerlendirilmiştir.

#### 3.2.2.1. Farklı oranlarda EDNİZU katılarak üretilen bisküvilerin depolanması

Farklı oranlarda EDNİZU katılarak üretilen bisküviler 3 saat dinlendirildikten sonra kilitli plastik torbalar içerisine alınmış ve oda sıcaklığındaki bir dolapta 60 gün süreyle depolanmıştır. Depolamanın 0., 30. ve 60. günlerinde bisküvilerin rengi, tekstürel sertlik ve kırılma değeri, EDN ve kurumadde içerikleri, glisemik indeksi ve duyu özellikleri takip edilmiştir.

#### 3.2.3. Araştırma planı ve istatistiksel yöntemler

Araştırmada EDN oluşumu üzerine; ultrasonikasyonun (var/yok, 2), su içeriğinin (4), karışım pH değerinin (3) ve jelatinizasyon sıcaklığının (3) etkileri 2x4x3x3 faktöriyel deneme desenine göre belirlenerek 72 farklı örnek üretilmiş ve araştırma 2 tekerrürlü olarak gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla araştırmada sırasıyla 60, 30, 20 ve 15 g un 300 mL su ile karıştırılarak farklı un/su oranlarında karışımlar elde edilmiştir. Karışımların pH değerleri sitrik asit ile 3 farklı değere (6.1, 5.5 ve 4.5) ayarlandıktan ve ultrasonikasyon uygulanacak karışımlara 75°C'de 15 dk ultrasonikasyon uygulandıktan sonra ultrasonikasyonlu ve ultrasonikasyonsuz karışımlar üç farklı sıcaklıkta (80, 100, 121°C) jelatinize edilmiştir. Elde edilen jeatinize karışımlar düz bir zemin üzerine serilerek 25°C'de kurutulmuş ve bu şekilde retrogradasyon işleminin gerçekleşmesi sağlanmıştır.

Uygulamaların EDN içeriği üzerine etkisini belirlemek için elde edilen EDNİZU'lara; bazı fiziksel (morfolojik özellik, su tutma kapasitesi ve L\*, a\*, b\* renk değerleri) ve kimyasal (kurumadde ve EDN içerikleri) analizler 2 paralelli olarak yapılmıştır. Çalışmada, ultrasonikasyon ve ısı işlem uygulanmamış olan un, kontrol

örneği olarak kullanılmıştır. Ayrıca istatistiki olarak yapılan değerlendirme sonucunda EDN içeriği en yüksek olarak tespit edilen örnek fazla miktarda üretildikten sonra, unlu mamullerde kullanım kapasitesinin belirlenmesi için bisküvilik un içerisine farklı oranlarda (%0 (kontrol), %25, %50 ve %75) katılanmış ve bu undan bisküvi üretimi gerçekleştirilmiştir. Üretim esnasında bisküvilerin pişme öncesi ve sonrasına ait ağırlık, çap ve kalınlık verileri dikkate alınarak bazı fiziksel özelliklerinin takibi gerçekleştirilmiştir. Üretilen bisküviler ve EDN içeriği en yüksek un örneği, kilitli plastik torbalar içerisinde ve oda sıcaklığındaki bir dolapta 60 gün süreyle depolanarak depolamanın 0., 30. ve 60. günlerinde örneklerin EDN ve kurumadde içerikleri ile renk ve glisemik indeks değerleri analiz edilmiştir. Buna ilaveten bisküvi örneklerinin tekstürel sertlik ve kırılabilirlik değerleri ve duyu özellikleri de bu süre içerisinde takip edilmiştir. Ayrıca EDN içeriği en yüksek olarak tespit edilen örneğin DSC ile termal özellikleri belirlenmiş ve prebiyotik özelliğinin tespit edilmesi için bu örneğe prebiyotik etki analizi de yapılmıştır.

Yapılan analizler sonucunda elde edilen verilere varyans analizi ve önemli bulunan faktörlere Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi uygulanmıştır. Tüm istatistiki hesaplamalar SAS istatistik programı ile gerçekleştirilmiş olup değerler ortalama  $\pm$  standart hata şeklinde düzenlenmiştir.

### 3.2.4. Fiziksel analiz yöntemleri

#### 3.2.4.1. Renk analizi

EDNİZU'ların ve en yüksek EDN içeriğine sahip undan üretilen bisküvilerin rengi, renk ölçüm cihazı (Minolta CR 400, Konica Minolta, Japonya) kullanılarak tespit edilmiştir. EDNİZU'ların rengi, ölçüm kabına alınan örneklerin 2 farklı noktasından ölçüm yapılmasıyla, bisküvilerin rengi ise örneklerin alt ve üst bölgelerinde ayrı ayrı olmak üzere her bölgenin 2 farklı noktasından ölçüm yapılmasıyla  $L^*$ ,  $a^*$  ve  $b^*$  değerleri olarak belirlenmiştir.  $L^*$  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 parametreler olarak değerlendirilmiştir (Mapari vd 2006).

#### 3.2.4.2. Su tutma kapasitesi analizi

EDNİZU örneklerinin su tutma kapasitesinin belirlenmesi için darası alınmış tüpler içerisine 0.1 g örnek tartıldıktan sonra üzerlerine 1 mL saf su ilave edilmiş ve bu tüpler 5 saniye girdap karıştırıcı ile karıştırılmıştır. Örnekler 25°C'de 20 dk boyunca bekletilmiş ve bu esnada 5 dk aralıklarla karıştırma işlemi tekrar edilmiştir. 20 dk sonunda örnekler santrifüje (Centrifuge 5430, Eppendorf AG, Hamburg, Almanya) alınarak 2000xg'de 10 dk santrifüj edilmiş ve santrifüj işlemi ile ayrılan sıvı kısım boşaltılmıştır. Kalan çökeltinin ağırlığı ölçülerek örneklerin su tutma kapasitesi, formül 3.1'e göre belirlenmiştir (Karaoğlu ve Aktaş 2006, Toyokawa vd 1989).

$$STK (g su/g KM) = \frac{(Son Tartım - Dara) - \text{Örnek Miktarı}}{\text{Örnek Miktarı}} \quad (3.1)$$

### 3.2.4.3. Morfolojik özelliklerin belirlenmesi

EDNİZU'larda partiküllerin morfolojik özellikleri dijital kamera sistemine sahip (DS-Fi2, Nikon, Tokyo, Japonya) stereo mikroskop (SMZ745T, Nikon, Tokyo, Japonya) ile alınan fotoğraflar üzerinden belirlenmiştir.

### 3.2.4.4. Termal özelliklerin belirlenmesi

EDN içeriği en yüksek olarak tespit edilen unun termal özellikleri diferansiyel taramalı kalorimetri (DSC) cihazı (DSC 6000, Perkin-Elmer Inc., Wellesley, Amerika) kullanılarak belirlenmiştir. Bu amaçla alüminyum kapsül içerisine 5 mg un ve EDN örneği tartılmış ve üzerlerine 5 µL su ilave edildikten sonra kapsüller sıkıca kapatılarak oda sıcaklığında 20 saat şartlandırılmıştır (Wasserman vd 2007). Şartlandırılan örnekler 10°C/dk ısıtma hızıyla 0-200°C arasında ısıtılmış ve termal özellikleri belirlenmiştir. Boş olarak kapatılan bir adet kapsül analizde referans numune olarak kullanılmıştır (Kapelko-Żeberska vd 2015).

### 3.2.4.5. Fiziksel özelliklerin takibi

Üretilen bisküvilerin fiziksel özelliklerinden olan ağırlık, çap ve kalınlıkları pişme öncesi ve sonrasında yapılan ölçümlerle belirlenmiştir. Ağırlık; rastgele seçilmiş olan 5 bisküvinin pişme öncesi ve sonrası ağırlıklarının hassas terazide ölçülmesiyle, çap ve kalınlık ise; seçilen bisküvilerin çap ve kalınlıklarının pişme öncesi ve sonrasında kumpas cihazı kullanılarak ölçülmesiyle takip edilmiştir.

### 3.2.4.6. Tekstür cihazında sertlik ve kırılma analizi

Bisküvilerde sertlik ve kırılma testi, tekstür analiz cihazı (TA-XT plus, Stable Microsystems, Surrey, İngiltere) ve üç nokta bükme aparatı (HDP/M3PB) kullanılarak yapılmıştır. Analiz 5kg'lık yük hücresi ile 3 mm/s prob test hızında ve 5 g tetik kuvvetinde gerçekleştirilmiştir (Yeo ve Seib 2009).

## 3.2.5. Kimyasal analiz yöntemleri

### 3.2.5.1. Kurumadde analizi

EDNİZU'ların ve en yüksek EDN içeriğine sahip undan üretilen bisküvilerin kurumadde içerikleri, örneklerin 105°C'deki etüvde sabit tartıma gelene kadar kurutulması ile tespit edilmiştir (Elgün vd., 2002). Bu işlem için EDNİZU'lar olduğu gibi, bisküviler ise öğütülerek kullanılmıştır. Bazı analizlerde kullanılmak üzere yağı uzaklaştırılmış olan bir kısım bisküvi örneğinin yağsız kurumadde içeriği de aynı yöntemle belirlenmiştir.

### 3.2.5.2. Enzime dirençli nişasta analizi

EDNİZU'ların ve en yüksek EDN içeriğine sahip undan üretilen bisküvilerin EDN analizi, standart metoda (AACC 32-40, 2010) göre dirençli nişasta enzim kiti (K-RSTAR, Megazyme Int. Wicklow, İrlanda) kullanılarak yapılmıştır. Bu işlem için EDNİZU

örnekleri olduğu gibi, bisküvi örnekleri ise n-hekzan muamelesiyle yağı uzaklaştırıldıktan sonra öğütülerek kullanılmıştır.

Analiz için ilk olarak; 100'er mg örnek tartılmış ve üzerlerine pankreatik  $\alpha$ -amilaz (3 Ceralpha Unit/mg) ve seyreltilmiş amiloglikozidaz (300 U/mL) enzimlerini içeren çözeltiden 4 mL ilave edilmiştir. Bu örnekler 37°C'de 16 saat süreyle 100 rpm/dk yatay çalkalama hızındaki su banyosunda (WSB-30, WiseBath, Kore) inkübe edilmiş ve enzime dirençli olmayan nişastanın hidrolize olup kendisini oluşturan glikoza dönüşmesi sağlanmıştır. 16 saat sonunda enzimatik reaksiyon 4 mL etil alkol (%99 v/v) ilave edilerek durdurulduktan sonra örnekler 4500xg'de 5 dk santrifüj edilmiş ve örneklerin glikoz içeren sıvı kısmı ayrılarak çökelti kısmı elde edilmiştir. Çökeltideki glikozun tamamen uzaklaştırılabilmesi için örnekler 8 mL etil alkol-su çözeltisi (%50 v/v) ile 2 kez yıkanmış ve 4500xg'de 5 dk santrifüjlenerek sıvı kısımlar tekrar ayrılmıştır. Elde edilen çökeltiler 40°C'ye ayarlanan vakumlu etüvde (VO200, Memmert, Almanya) 30 dk bekletilerek kurutulduktan sonra üzerlerine EDN'nin çözünmesi için; 2 mL, 2M KOH ilave edilmiş ve örnekler buz banyosu içerisinde manyetik karıştırıcı ile karıştırılarak 20 dk inkübe edilmiştir. Bu süre sonunda örnekler üzerine 8 mL, 1.2 M sodyum asetat tampon çözeltisi (pH:3.8) ve 0.1 mL amiloglikozidaz enzimi (3300 U/mL) ilave edilmiş ve örneklerin 50°C su banyosunda 30 dk süreyle 5 dk'da bir karıştırılarak inkübe edilmesiyle çözünmüş olan EDN glikoza hidroliz edilmiştir. İnkübasyon sonunda 4500xg'de 5 dk santrifüj edilen örneklerin ayrılmış olan berrak sıvı kısmından 0.1 mL alınıp üzerine 3 mL glikoz oksidaz/peroksidaz ayıracı (GOPOD) ilave edilmiş ve örnekler 50°C'de 20 dk daha inkübe edilmiştir. Hidroliz sonunda oluşan glikoz miktarı, spektrofotometre kullanılarak (UV-1800, Shimadzu, Japonya) 510 nm'de kör örneğe (0.1 mL, 100 mM sodyum asetat tampon çözeltisi (pH:4.5) + 3 mL GOPOD) karşı ölçüm yapılmasıyla belirlenmiş ve EDN içeriği formül 3.2'ye göre hesap edilmiştir.

$$EDN \text{ İçeriği (g/100 g örnek)} = \Delta E * (F/W) * 9.27 \quad (3.2)$$

$\Delta E$  : Örneğin absorbansı

F : Absorbanstan mikrogram dönüşümü (100/D-glikoz standart absorbansı)

W : Örnek ağırlığı (kurumadde bazında)

### 3.2.5.3. Glisemik indeks analizi

En yüksek EDN içeriğine sahip unun ve bu undan üretilen bisküvilerin glisemik indeks değeri, Goñi vd (1997) tarafından belirlenen yöntemle göre nişasta hidroliz hızının ölçülmesi ile *in vitro* olarak belirlenmiştir. Referans örnek olarak taze pişmiş beyaz ekmeğin içi kullanılmıştır. 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 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,  $\alpha$ -amilaz (2.6 U/mL) içeren tris-maleate tampon çözeltisi (pH:6.9) ilave edilmiş ve örnek enzimatik hidroliz için 37°C'de 50 rpm/dk yatay çalkalama hızında 180 dk inkübasyona bırakılmıştır.

Enzimatik hidrolizin 30, 60, 90, 120 ve 180. dakikalarında 1'er mL örnek alınmış ve örnekler enzim inaktivasyonu için 100°C'de 5 dk bekletilip 1 dk girdap karıştırıcı ile karıştırıldıktan sonra inkübasyon süresi bitimine kadar +4°C'de saklanmıştır. 180 dk sonunda elde edilen örneklere 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 dk'da bir karıştırılarak inkübe edilmiştir. Bu şekilde glikoza hidroliz edilmiş olan örneklerden 0.1 mL alınmış ve üzerlerine 3 mL GOPOD ilave edilmiştir. 45 °C'de 20 dk daha inkübasyona bırakılan örneklerin glikoz içerikleri spektrofotometre ile 510 nm'de okuma yapılarak 3.3'te verilen formüle (Şimşek 2011) göre belirlenmiştir.

$$Glikoz (\%) = \frac{\Delta E * V * C * D}{\Delta S * W} * 100 \quad (3.3)$$

- $\Delta E$  : Örneğin absorbansı  
 $V$  : Test çözeltisinin toplam hacmi (mL)  
 $C$  : Kullanılan standardın konsantrasyonu (mg/mL)  
 $D$  : Seyreltme faktörü  
 $\Delta S$  : Kullanılan standardın absorbansı  
 $W$  : Örnek miktarı (mg)

Belirlenen glikoz içeriklerinin, monosakkaritlerden polisakkaritlere dönüşüm için kullanılan 0.9 katsayısı ile çarpılmasıyla örneklerde hidroliz olan nişasta içeriği tespit edilmiştir. Hidroliz olan nişasta içeriğinin süreye karşı grafik edilmesiyle ise örneklere ait nişasta hidroliz eğrisi oluşturulmuştur. Goñi vd (1997) tarafından non-lineer olarak modellenen hidroliz eğrileri, 3.4 numaralı denkleme göre SigmaPlot Systat 12 (Erkrath, Almanya) programı kullanılarak değerlendirilmiş ve bu eğri 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 denkleme göre hesaplanmıştır.

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

- $C$  : t anındaki konsantrasyon,  
 $C_{\infty}$  : Denge anındaki konsantrasyon,  
 $k$  : Kinetik sabit,  
 $t$  : Seçilen süre

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

- $C_{\infty}$  : 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 3.6 numaralı formüle yerleştirilmiş ve örneklere ait tahmini glisemik indeks (tGI) değeri hesaplanmıştır.

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

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

$$tGI (\text{ekmek}) = 1.43 * tGI (\text{glikoz}) \quad (3.7)$$

### 3.2.6. Mikrobiyolojik analiz yöntemleri

#### 3.2.6.1. Prebiyotik etki analizi

En yüksek EDN içeriğine sahip olan un örneğinin prebiyotik etkisi; *in vitro* sindirim, probiyotik kültürler ve bu kültürler için özel besiyerlerinin hazırlanması ve prebiyotik etkinin tespiti olmak üzere üç aşama sonunda belirlenmiştir. İlk aşamada örnek simüle mide ve ince bağırsak koşullarına tabi tutulmuştur.

Simüle mide ortamının sağlanması için 0.03 M NaCl çözeltisi hazırlanmış ve bu çözelti içerisine %0.3 pepsin ilave edilerek simüle mide sıvısı çözeltisi (SMS) oluşturulmuştur. 2 g örnek üzerine hazırlanmış olan SMS çözeltisinden 20 mL ilave edilmiş ve pH değeri 1 M HCl ile 2'ye ayarlandıktan sonra örnek 37°C'de ve 50 rpm yatay çalkalama hızında 2 saat inkübe edilmiştir.

Simüle ince bağırsak ortamının sağlanması için ise 0.1 M sodyum bikarbonat çözeltisi hazırlanmış ve bu çözelti içerisine %0.14 pankreatin ve %0.86 safra tuzu ilave edilerek simüle ince bağırsak sıvısı çözeltisi (SİS) oluşturulmuştur. 2 saat sonunda simüle mide ortamından alınan örnek üzerine hazırlanmış olan SİS çözeltisinden de 20 mL eklenmiş ve pH değeri 1 M NaOH ile 7'ye ayarlandıktan sonra örnek 37°C'de ve 50 rpm yatay çalkalama hızında 2 saat daha inkübe edilmiştir (Apea-Bah vd 2016).

Sindirim işlemleri sonunda örnek 75°C su banyosunda 30 dk bekletilmiş ve bu şekilde sindirim enzimlerinin inaktive olması sağlanmıştır. Su banyosundan alınan örnek 4500xg'de 5 dk santrifüjlendikten sonra örneğin sindirilmiş bölümünü içeren sıvı kısım uzaklaştırılmıştır. Elde edilen çökelti 5 mL ringer çözeltisi ile iki kez yıkanmış ve santrifüjlenerek sıvı kısım tekrar uzaklaştırılmıştır. Çökelti üzerine 5 mL daha ringer çözeltisi ilave edilmiş ve örnek homojenize edildikten sonra analizin ikinci aşaması olan prebiyotik etkinin tespitinde kullanılmıştır.

İkinci aşamada probiyotik bakteri olarak kullanılan *Lactobacillus acidophilus* LA5 ve *Bifidobacterium bifidum* BB12 suşlarının ön kültürleri ve bu bakteriler için özel sıvı ve katı besiyerleri hazırlanmıştır.

Sıvı besiyeri olarak *L. acidophilus* için pH değeri 0.1 N NaOH ile 6.2 değerine ayarlanmış, *B. bifidum* için ise pH değeri 0.1 N NaOH ile 6.5 değerine ayarlanmış ve %0.05 L-sistein ile zenginleştirilmiş Man Rogosa Sharp Broth besiyeri hazırlanmıştır. Katı besiyeri olarak da aynı pH değerlerinde Man Rogosa Sharp agar besiyeri hazırlanmıştır. Bu besiyerleri 121°C'de 15 dk sterilize edilerek analiz için kullanılmıştır.

*L. acidophilus* kültürünün hazırlanmasında 25 mg liyofilize kültür tartılarak üzerine hazırlanmış olan besiyerinden (pH:6.2) 50 mL ilave edilmiş ve 18 saat 37 °C'de

inkübasyona bırakılmıştır. İnkübasyon sonunda tüp içeriği 7500xg dönüş hızında 10 dk santrifüj edilmiş ve besiyeri iki kez steril ringer çözeltilisi ile yıkanmıştır. Tüpte kalan hücre peleti üzerine 1 mL %20'lik steril gliserol çözeltilisi ilave edilmiş ve analizde kullanılmak üzere -18 °C'de depolanmıştır.

*B. bifidum* kültürünün hazırlanmasında ise 25 mg liyofilize kültür tartılarak üzerine hazırlanmış olan besiyerinden (pH:6.5, %0.05 L-sistein içeren) 50 mL ilave edilmiş ve 12 saat 37 °C'de inkübasyona bırakılmıştır. Süre sonunda tüplerden 5 mL besiyeri alınarak üzerine tekrar 50 mL besiyeri ilave edilmiş ve tekrar aynı şartlarda inkübasyona bırakılmıştır. İnkübasyon sonunda tüp içeriği 7500xg dönüş hızında 10 dk santrifüj edilmiş ve besiyeri iki kez steril ringer çözeltilisi ile yıkanmıştır. Tüpte kalan hücre peleti üzerine 1 mL %20'lik steril gliserol çözeltilisi ilave edilmiş ve analizde kullanılmak üzere -18 °C'de depolanmıştır.

Son aşamada ise; simüle bir sindirim sürecinden geçirilmiş olan örneğin prebiyotik etkisi tespit edilmiştir.

Bu amaçla; *in vitro* sindirim aşaması sonunda sindirilmeden kalan ve homojenize edilen kısımdan 1'er mL alınarak *L. acidophilus* ve *B. bifidum* için hazırlanan 50 mL sıvı besiyeri üzerine ayrı ayrı ilave edilmiştir. Bu işlem sonrasında elde edilen besiyerlerine *L. acidophilus* için hazırlanmış olan ön kültürden 1 mL, *B. bifidum* için hazırlanmış olan ön kültürden ise 50 µL eklenmiş ve *L. acidophilus* eklenen örnek 20 saat, *B. Bifidum* eklenen örnek ise 25 saat 37°C'de inkübasyona bırakılmıştır. Örneğin prebiyotik etkisini belirlemek için; başlangıçta (0. saat) ve inkübasyon sonunda hedef alınan sayıya göre uygun dilüsyonlardan dökme yöntemi (*L. acidophilus* için pH:6.2 ve *B. bifidum* için pH:6.5 Man Rogosa Sharp agar-MRS agar) ile petrilere ekim yapılmıştır. Petrilere 37°C'de 3 gün anaerobik olarak inkübe edilmiş ve petrilere gelişmiş olan toplam bakteri içeriği bu süre sonunda tespit edilmiştir (Arslan vd 2015). Sindirim koşullarına tabi tutulan beyaz un homojenizatının eklenmesiyle hazırlanan besiyeri analizde kontrol olarak kullanılmıştır.

### 3.2.7. Duyusal analiz

Bisküvilerin duyu özellikleri; renk, pişme düzgünlüğü, tekstür, kırılabilirlik, koku, aroma ve tat, genel beğeni ve satın alma tercihleri açısından 5 puanlık hedonik bir skalaya göre 8 kişiden oluşan eğitimli panelistlerce değerlendirilmiştir (Meilgaard vd., 1991; Erbaş vd., 2012). Bisküvilerin değerlendirilmesinde kullanılan duyu analiz formu örneği Şekil 3.2'de verilmiştir.

**İsim:****Kod:****Tarih:**

Lütfen size sunulan bisküvi örneklerinde belirtilen kriterler için aşağıdaki açıklamayı kullanarak puansal bir değerlendirme yapınız.

<b>ÖZELLİKLER</b>	<b>216</b>	<b>135</b>	<b>786</b>	<b>472</b>
Renk				
Pişme Düzensizliği				
<u>Tekstür</u>				
Kırılganlık				
Koku				
Aroma ve tat				
<b>Genel Beğeni</b>				
<b>Satın Alırım</b>				
<b>Satın Almam</b>				

**NOT:** Çok beğendim (5 puan), Beğendim (4 puan), Orta derecede beğendim (3 puan), Az beğendim (2 puan), Hiç beğenmedim (1 puan) tercihiniz için yanlarındaki puanları dikkate alarak değerlendirmenizi yapınız. Satın alırım/almam kısmı için "x" işareti koymanız yeterlidir.

Şekil 3.2. Bisküvilerin değerlendirilmesinde kullanılan duyu analiz formu örneği



#### 4. BULGULAR ve TARTIŞMA

##### 4.1. EDNİZU Üretiminde Kullanılan Una Ait Fiziksel ve Kimyasal Bazı Özellikler

EDN içeriğinin zenginleştirilmesinde kullanılan bisküvilik beyaz unun bazı fiziksel ve kimyasal özelliklerine ait veriler Çizelge 4.1’de verilmiştir. Bu verilere göre bisküvilik beyaz unun EDN içeriğinin %0.11, tGI değerinin ise glikoz referans alındığında 71.19 olduğu tespit edilmiştir. Literatürde de buğday ununun EDN içeriğinin yaklaşık 0.09 (Tharanathan ve Tharanathan 2001), buğday unu ile hazırlanan gıdaların glisemik indeks değerlerinin ise glikoz referans alındığında 70 düzeyinde olduğu belirtilmiştir (Foster-Powell vd 2002). EDN içeriği %0.11 olan bu unun farklı un/su oranları ve pH değerleri ile farklı sıcaklık ve ultrasonikasyon uygulamaları kullanılarak EDN içeriğini zenginleştirmeye yönelik çalışmalar yapılmıştır.

Çizelge 4.1. EDN içeriğinin zenginleştirilmesinde kullanılan bisküvilik beyaz unun bazı fiziksel ve kimyasal özelliklerine ait veriler

Renk değerleri			Su tutma kapasitesi (g su/g KM)	Nem içeriği (%)	EDN içeriği (%)	tGI
L*	a*	b*				
91.55	-5.25	15.90	1.07	13.51	0.11	71.19

##### 4.2. EDN İçeriği Zenginleştirilmiş Un Üretimi ve En Yüksek EDN İçeriğine Sahip Un Örneğinin Belirlenmesi

###### 4.2.1. Farklı un/su oranları ve pH değerleri ile farklı sıcaklık ve ultrasonikasyon uygulamalarının EDNİZU’ların renk değerleri üzerine etkisi

Farklı un/su oranları ve pH değerleri ile farklı sıcaklık ve ultrasonikasyon uygulamaları kullanılarak üretilen EDNİZU’ların renk değerlerindeki değişime ait I. ve II. tekerrür verileri Çizelge 4.2’de, bu verilere ait varyans analizi sonuçları Çizelge 4.3’te ve varyasyon kaynaklarının ortalamalarına ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları Çizelge 4.4’te verilmiştir.

Varyans analizi sonuçlarına göre; üretilen unların L\* değerleri (siyahlık-beyazlık) üzerine pH ve sıcaklık değerinin istatistiksel olarak önemli ( $p < 0.01$ ) bir etkisinin olduğu, ancak ultrasonikasyon uygulaması ve un/su oranının önemli ( $p > 0.05$ ) bir etkisinin olmadığı tespit edilmiştir. Unların a\* değerleri (yeşillik-kırmızılık) üzerine uygulanan işlemlerin istatistiksel olarak önemli ( $p > 0.05$ ) bir etkisi bulunmazken, b\* değeri (mavilik-sarılık) üzerine ise ultrasonikasyon uygulamasının ve pH değerinin önemli ( $p < 0.05$ ;  $p < 0.01$ ) bir etkisinin olduğu; ancak sıcaklık değerinin ve un/su oranının önemli ( $p > 0.05$ ) bir etkisinin olmadığı belirlenmiştir.

Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçlarına göre; 80 ve 100°C’lerde üretilen unların L\* değerinin 121°C’de üretilen unlara göre daha yüksek olduğu ve pH değeri düşüğe L\* değerinin arttığı tespit edilmiştir. Buna göre 121°C’de üretilen unların daha

koyu bir renge sahip olmasında, sıcaklığın artmasıyla Maillard reaksiyonunda meydana gelen artışın etkili olduğu, pH değeri düştükçe unların daha açık bir renge sahip olmasında ise asitlik artışıyla Maillard reaksiyonlarında meydana gelen azalmanın etkili olduğu düşünülmektedir. Amino gruplarının asidik koşullarda protonlanması ve glikozil amin oluşumunun engellenmesi nedeniyle Maillard reaksiyonu asidik çözeltilerde daha yavaş gerçekleştiği bilinmektedir (Burdurlu ve Karadeniz 2002). Ultrasonikasyon uygulaması ve un/su oranına göre değerlendirme yapıldığında ise unların L\* değerlerinde önemli bir değişim saptanmamıştır.

Uygulanan işlemler sonucunda unların a\* değerinde istatistiksel olarak bir fark oluşmamış ve ortalama a\* değeri -2.24 olarak tespit edilmiştir. Bisküvilik beyaz una göre daha yüksek bir a\* değeri tespit edilmesinin ve bu değer negatif olarak bulunmasının sebebinin jelatinizasyon aşamasında uygulanan sıcaklıkla birlikte unda meydana gelen Maillard reaksiyonları ve protein denatürasyonu olabileceği, unların a\* değerleri arasında önemli bir farklılık bulunmama sebebinin ise protein denatürasyonunun her örnek için benzer oranda gerçekleşmesi olduğu düşünülmektedir.

Unların b\* değerleri incelendiğinde; ultrasonikasyon uygulanmayan örneklerin ultrasonikasyon uygulanan örneklerle göre daha yüksek b\* değerine sahip olduğu, pH değeri düştükçe de b\* değerinin azaldığı belirlenmiştir. Sıcaklık ve un/su oranlarındaki değişime göre ise unların b\* değerlerinde istatistiksel olarak bir fark oluşmamıştır. b\* değerine bağlı oluşan sarı renkteki farklılık üzerinde, unda bulunan karotenoidlerin ultrasonikasyon uygulamasıyla ve yüksek asitlikte daha fazla okside olarak rengini kaybetmesinin etkili olduğu düşünülmektedir.

Tüm sonuçlar değerlendirildiğinde, buğday ununda ortalama L\* değeri 91.55, a\* değeri -5.25 ve b\* değeri 15.90 olarak tespit edilirken, uygulanan işlemler sonucunda üretilen unlara ait L\* değerinin azaldığı, a\* ve b\* değerinin ise uygulanan işleme göre farklılık içermekle birlikte genel olarak arttığı belirlenmiştir. Benzer şekilde; pirinç nişastasından otoklavlama işlemiyle EDN üretimi gerçekleştirilen bir çalışmada, işlem sonrasında daha düşük L\* değeri ve daha yüksek b\* değeri tespit edilirken, a\* değerinin uygulanan işlemlerden önemli bir şekilde etkilenmediği belirlenmiştir (Ashwar vd 2016).

Çizelge 4.2. Farklı un/su oranları ve pH değerleri ile farklı sıcaklık ve ultrasonikasyon uygulamaları kullanılarak üretilen EDNİZU'ların renk değerlerindeki değişime ait I. ve II. tekerrür verileri

US	Sıcaklık	pH	Un/Su Oranı											
			1/5			1/10			1/15			1/20		
			L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*
Yok	80°C	6.1	79.18	-3.35	19.04	81.42	-3.92	19.15	81.45	-4.57	20.17	80.60	-4.38	20.17
			75.96	0.35	13.25	77.47	0.03	13.26	76.96	-0.20	13.45	78.18	-0.56	13.39
		5.5	81.21	-3.20	17.71	81.26	-3.41	17.65	81.31	-4.13	19.48	79.85	-4.14	19.94
			77.77	0.56	12.75	76.91	-0.11	12.34	77.42	-0.10	13.34	79.59	-0.18	12.48
		4.5	81.74	-3.44	16.89	80.16	-4.33	15.55	82.62	-4.54	17.30	82.13	-4.45	17.02
			75.46	0.55	12.11	79.59	0.35	10.82	79.22	-0.04	10.74	80.84	-0.10	10.73
	100°C	6.1	78.42	-4.89	20.99	80.03	-5.31	19.96	79.21	-5.07	18.98	78.59	-4.79	19.75
			77.28	-0.51	13.47	77.22	-0.85	13.10	77.37	-1.16	12.86	77.20	-1.18	14.03
		5.5	80.23	-4.64	20.56	79.34	-4.80	20.94	79.19	-5.04	17.39	79.29	-4.95	17.77
			76.11	-0.43	14.06	77.14	-0.53	14.01	78.78	-0.83	13.21	79.49	-0.88	13.22
		4.5	80.62	-4.18	18.27	80.49	-4.34	18.65	80.98	-4.72	14.46	80.05	-4.26	16.51
			79.87	0.07	11.98	80.07	0.06	10.93	78.96	-0.42	12.66	82.06	-0.39	11.04
121°C	6.1	79.90	-4.76	20.85	78.86	-4.89	20.23	78.15	-4.70	18.93	77.37	-4.72	18.43	
		71.30	-0.42	14.73	73.86	-0.61	13.54	74.77	-0.69	12.81	74.54	-0.79	13.44	
	5.5	80.47	-4.40	21.35	79.73	-4.85	19.95	79.73	-4.81	20.42	80.59	-4.61	19.55	
		74.03	-0.36	15.65	76.50	-0.45	14.83	75.65	-0.59	14.77	77.00	-0.60	14.09	
	4.5	80.71	-3.91	19.34	80.75	-4.46	19.39	80.86	-4.22	19.00	81.81	-4.33	18.41	
		75.79	0.33	13.05	78.25	-0.11	12.25	77.17	-0.03	13.90	78.28	-0.30	13.06	
Var	80°C	6.1	82.46	-3.76	16.03	77.76	-3.83	17.80	79.99	-4.04	20.16	79.92	-4.45	18.50
			75.77	0.63	12.68	77.38	-0.14	11.93	75.19	-0.20	12.67	78.24	-0.44	11.34
		5.5	78.96	-2.86	18.05	80.11	-3.68	17.18	81.24	-3.92	17.23	80.26	-4.13	15.94
			77.65	0.52	12.72	76.34	0.57	11.55	77.37	0.52	11.06	79.18	0.02	9.68
		4.5	81.59	-3.62	16.61	81.57	-3.62	15.71	82.86	-4.09	15.46	81.50	-4.47	14.17
			77.63	-0.32	13.57	78.17	0.81	10.86	78.75	0.58	9.86	79.06	0.40	9.52
	100°C	6.1	81.57	-4.67	19.17	79.54	-5.00	19.32	79.80	-5.27	20.18	76.44	-4.50	18.99
			76.85	-0.33	13.39	78.09	-0.70	12.93	77.79	-0.78	13.10	78.52	-0.75	12.37
		5.5	81.00	-4.37	18.55	81.36	-4.43	17.87	80.38	-4.82	18.13	78.51	-4.78	18.33
			75.08	0.13	14.51	78.40	-0.31	12.38	78.30	-0.46	11.67	78.72	-0.52	11.63
		4.5	81.59	-3.91	17.79	81.34	-3.80	16.47	81.12	-4.27	15.72	80.76	-3.97	15.39
			77.37	-0.09	13.84	79.93	0.52	9.98	81.02	0.29	9.23	79.66	0.16	9.13
121°C	6.1	79.45	-4.37	19.86	76.83	-4.37	18.69	77.84	-4.44	16.87	75.77	-4.23	17.89	
		73.95	-0.47	14.24	72.99	-0.41	12.94	75.06	-0.40	10.23	76.76	-0.40	11.87	
	5.5	81.04	-4.23	20.14	79.60	-4.42	17.79	79.30	-4.23	17.32	78.20	-4.02	17.75	
		75.48	0.08	14.54	76.54	0.01	12.08	77.43	0.03	11.11	76.18	0.05	11.80	
	4.5	80.71	-4.14	18.88	80.80	-4.08	16.33	80.56	-4.02	15.74	80.90	-3.92	15.80	
		76.26	0.07	13.33	78.11	0.34	11.06	79.00	0.11	9.61	77.89	0.23	10.79	

Çizelge 4.3. Farklı un/su oranları ve pH değerleri ile farklı sıcaklık ve ultrasonikasyon uygulamaları kullanılarak üretilen EDNİZU'ların renk değerlerindeki değişime ait varyans analizi sonuçları

Varyasyon Kaynağı	SD	L*		a*		b*	
		KO	F	KO	F	KO	F
US	1	0.09	0.02	2.57	0.55	59.41	5.98*
Sıcaklık	2	35.68	9.93**	4.79	1.03	13.00	1.31
pH	2	60.46	16.82**	2.82	0.60	51.16	5.15**
Un/su oranı	3	3.27	0.91	1.06	0.23	14.05	1.41
Hata	135	3.59		4.66		9.94	

\*\* p<0.01, \* 0.01<p<0.05, - p>0.05

Çizelge 4.4. Farklı un/su oranları ve pH değerleri ile farklı sıcaklık ve ultrasonikasyon uygulamaları kullanılarak üretilen EDNİZU'ların renk değerlerindeki değişime ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları ( $\pm$  Standart hata)

US	N	L*		a*		b*	
Yok	72	78.78 <sup>a</sup>	$\pm$ 0.27	-2.37 <sup>a</sup>	$\pm$ 0.25	15.97 <sup>a</sup>	$\pm$ 0.38
Var	72	78.73 <sup>a</sup>	$\pm$ 0.25	-2.10 <sup>a</sup>	$\pm$ 0.25	14.68 <sup>b</sup>	$\pm$ 0.39
<i>Önem seviyesi</i>		-		-		*	
<b>Sıcaklık</b>							
80°C	48	79.32 <sup>a</sup>	$\pm$ 0.30	-1.89 <sup>a</sup>	$\pm$ 0.30	14.77 <sup>a</sup>	$\pm$ 0.47
100°C	48	79.19 <sup>a</sup>	$\pm$ 0.23	-2.51 <sup>a</sup>	$\pm$ 0.31	15.39 <sup>a</sup>	$\pm$ 0.49
121°C	48	77.76 <sup>b</sup>	$\pm$ 0.36	-2.30 <sup>a</sup>	$\pm$ 0.31	15.80 <sup>a</sup>	$\pm$ 0.48
<i>Önem seviyesi</i>		**		-		-	
<b>pH</b>							
6.1	48	77.69 <sup>c</sup>	$\pm$ 0.34	-2.48 <sup>a</sup>	$\pm$ 0.30	16.07 <sup>a</sup>	$\pm$ 0.48
5.5	48	78.65 <sup>b</sup>	$\pm$ 0.27	-2.22 <sup>a</sup>	$\pm$ 0.31	15.76 <sup>a</sup>	$\pm$ 0.47
4.5	48	79.93 <sup>a</sup>	$\pm$ 0.25	-2.00 <sup>a</sup>	$\pm$ 0.31	14.14 <sup>b</sup>	$\pm$ 0.45
<i>Önem seviyesi</i>		**		-		**	
<b>Un/su oranı</b>							
1/5	36	78.34 <sup>a</sup>	$\pm$ 0.46	-2.01 <sup>a</sup>	$\pm$ 0.35	16.22 <sup>a</sup>	$\pm$ 0.50
1/10	36	78.72 <sup>a</sup>	$\pm$ 0.34	-2.20 <sup>a</sup>	$\pm$ 0.37	15.26 <sup>a</sup>	$\pm$ 0.56
1/15	36	78.96 <sup>a</sup>	$\pm$ 0.34	-2.37 <sup>a</sup>	$\pm$ 0.37	14.98 <sup>a</sup>	$\pm$ 0.58
1/20	36	79.00 <sup>a</sup>	$\pm$ 0.31	-2.37 <sup>a</sup>	$\pm$ 0.35	14.83 <sup>a</sup>	$\pm$ 0.57
<i>Önem seviyesi</i>		-		-		-	

*Önem seviyesi:* \*\* p<0.01, \* 0.01<p<0.05, - p>0.05 (önemsiz)

#### 4.2.2. Farklı un/su oranları ve pH değerleri ile farklı sıcaklık ve ultrasonikasyon uygulamalarının EDNİZU'ların su tutma kapasiteleri üzerine etkisi

Farklı un/su oranları ve pH değerleri ile farklı sıcaklık ve ultrasonikasyon uygulamaları kullanılarak üretilen EDNİZU'ların su tutma kapasitelerindeki (g su/g KM) değişime ait I. ve II. tekerrür verileri Çizelge 4.5'te, bu verilere ait varyans analizi

sonuçları Çizelge 4.6’da ve varyasyon kaynaklarının ortalamalarına ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları Çizelge 4.7’de verilmiştir.

Varyans analizi sonuçlarına göre; üretilen unların su tutma kapasitesi üzerine; sıcaklığın, pH değerinin, un/su oranının ve ultrasonikasyon uygulamasının istatistiksel olarak önemli ( $p<0.05$ ;  $p<0.01$ ) bir etkisinin olduğu tespit edilmiştir.

Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçlarına göre; ultrasonikasyon uygulanan örneklerin ultrasonikasyon uygulanmayan örneklere göre bünyesinde daha az su tutabildiği belirlenmiştir. Bu durumun nedeninin ise; ultrasonikasyon uygulaması ile nişasta zincirleri arasındaki etkileşimin artarak un içerisindeki bağ yapma yeteneği olan aktif uçların birbiri üzerine hidrojen bağı aracılığı ile kapanması olduğu ve bu durumun da su tutma kapasitesini azaltıcı etki yaptığı düşünülmektedir.

Sıcaklığa göre değerlendirildiğinde; 80°C ve 100°C’de üretilen unların su tutma kapasitesinin 121°C’de üretilen unların su tutma kapasitesinden daha fazla olduğu tespit edilmiştir. 121°C’de basınç uygulanarak yapılan ısıtmayla 80°C ve 100°C’de yapılan ısıtmaya göre daha fazla miktarda amiloz ve amilopektin zincirinin granül yapı dışına çıkarak jel yapı içerisine katılması ve jel yapının retrogradasyonu ile de daha fazla kristalize nişasta oluşması nedeniyle 121°C’de üretilen EDNİZU’nun su tutma kapasitesinin daha düşük olduğu değerlendirilmiştir.

Farklı pH değerlerindeki örnekler incelendiğinde; pH değeri 6.1 ve 5.5 olan örneklerin su tutma kapasitesinin 4.5 olan örneklere göre daha fazla olduğu belirlenmiştir. Bunun sebebinin; sitrik asit ilavesiyle oluşan sitrik anhidritin nişastadaki su bağlama kapasitesi olan aktif uçlara bağlanması yoluyla su tutma kapasitesini düşürmesi olduğu düşünülmektedir (Liu vd 2014).

Un/su oranı dikkate alındığında ise; 1/5 un/su oranında üretilen örneklerin 1/10, 1/15 ve 1/20 oranlarında üretilen örneklere göre daha az su tutma kapasitesine sahip olduğu tespit edilmiştir. Bu durumun ise, karışımdaki su miktarı arttıkça daha fazla aktif ucun serbest kalmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Uygulanan tüm işlemler sonucunda elde edilen veriler değerlendirildiğinde; EDNİZU’nun kontrol örneğinin su tutma kapasitesine (1.07 g su/g KM) göre yaklaşık 5 kat daha fazla suyu bünyesinde tuttuğu belirlenmiştir. Kontrol örneğinde nişasta granüllerinin sağlam olması nedeniyle su tutma kapasitesinin düşük olduğu, EDNİZU’larda ise bu granül yapılarının bozulması nedeniyle su tutma kapasitesinin yükseldiği değerlendirilmiştir.

Literatürde diyet liflerin polisakkarit bileşenlerinin çok fazla hidrofilik olduğu bilgisi yer almakta ve uygulanan işleme göre de su tutma kapasitesinin değiştiği bildirilmektedir (Mudgil ve Barak 2013). Yapılan bir çalışmada; ısı-nem uygulamasıyla EDN oranı sırasıyla %44.9’a ve %43.5’e yükseltelen maş fasulyesi nişastasası ve yüksek amilozlu mısır nişastasasında su tutma kapasitesi sırasıyla 0.96 ve 1.20 g su/g KM olarak belirlenmiştir. Aynı çalışmada enzimatik işleme de EDN üretimi de gerçekleştirilmiş ve bu örneğin su tutma kapasitesi ise 1.98 g su/g KM olarak tespit edilmiştir. Bu nedenle

farklı işlemlerin uygulanmasıyla üretilen EDN'lerin su tutma kapasitelerinin de birbirinden farklı olduğu değerlendirilmiştir (Wang vd 2014).

Farklı modifiye nişastalar üzerinde yapılan bir çalışmada; doğal buğday nişastasında 1.5 ila 2 g su/ g KM arasında bulunan su tutma kapasitesi, jelatinize edilip kurutulan buğday nişastasında 2 ila 2.5 g su/ g KM arasında bulunmuştur (Karaoğlu ve Aktaş 2006). Bir başka çalışmada ise doğal pirinç nişastasının su tutma kapasitesi 0.75 ila 0.99 g su/ g KM arasında değişim gösterirken, bu nişastanın otoklavlanarak EDN içeriğinin artırılmasıyla su tutma kapasitesinin 1.93 g su/ g KM değerine kadar çıktığı tespit edilmiştir (Ashwar vd 2016). Bu nedenle jelatinizasyon işlemine tabi tutulan nişastalarda su tutma kapasitesinin arttığı sonucuna varılmıştır. Literatüre göre farklı su tutma kapasitelerinin elde edilmesinde ise; saf nişasta yerine buğday unu kullanılmasının etkili olduğu düşünülmektedir.



Çizelge 4.5. Farklı un/su oranları ve pH değerleri ile farklı sıcaklık ve ultrasonikasyon uygulamaları kullanılarak üretilen EDNİZU'ların su tutma kapasitelerindeki değişime ait I. ve II. tekerrür verileri

US	Sıcaklık	pH	Un/Su Oranı			
			1/5	1/10	1/15	1/20
Yok	80°C	6.1	5.51	6.10	5.51	5.32
			5.27	6.56	5.38	5.35
		5.5	5.65	6.42	5.59	5.72
			5.44	6.40	5.15	5.90
		4.5	5.71	6.39	6.48	6.07
			5.47	6.14	5.83	6.21
	100°C	6.1	5.09	6.30	6.65	6.06
			5.35	7.64	7.38	7.86
		5.5	5.38	6.26	6.84	6.55
			5.86	6.91	7.24	7.54
		4.5	4.33	5.84	6.72	6.54
			5.51	7.24	6.97	7.36
121°C	6.1	5.36	5.47	6.88	7.31	
		5.76	6.83	6.85	7.56	
	5.5	5.50	5.63	6.22	6.71	
		5.93	6.41	6.58	6.65	
	4.5	4.74	4.64	5.30	5.18	
		4.70	5.05	4.93	5.26	
Var	80°C	6.1	5.38	5.87	6.52	5.98
			5.27	5.82	6.26	6.34
		5.5	5.52	6.15	6.30	5.87
			5.53	6.09	6.50	6.77
		4.5	5.58	5.68	6.55	6.18
			5.55	6.19	6.48	6.44
	100°C	6.1	4.72	5.26	5.57	5.77
			4.57	5.29	5.46	5.83
		5.5	4.87	5.89	5.26	5.86
			5.11	5.82	5.98	6.06
		4.5	4.76	4.75	5.44	5.89
			4.50	5.48	5.79	5.82
121°C	6.1	4.52	5.50	5.83	5.63	
		5.22	5.53	5.81	6.17	
	5.5	5.38	5.81	5.29	5.72	
		5.43	5.98	6.26	5.94	
	4.5	4.73	4.62	4.82	5.26	
		4.38	5.06	5.39	5.45	

Çizelge 4.6. Farklı un/su oranları ve pH değerleri ile farklı sıcaklık ve ultrasonikasyon uygulamaları kullanılarak üretilen EDNİZU'ların su tutma kapasitelerindeki değişime ait varyans analizi sonuçları

Varyasyon Kaynağı	Su Tutma Kapasitesi (g su/g KM)		
	SD	KO	F
US	1	7.17	22.80**
Sıcaklık	2	1.29	4.09*
pH	2	1.94	6.16**
Un/su oranı	3	6.69	21.28**
Hata	135	0.31	

\*\* p<0.01, \* 0.01<p<0.05, - p>0.05

Çizelge 4.7. Farklı un/su oranları ve pH değerleri ile farklı sıcaklık ve ultrasonikasyon uygulamaları kullanılarak üretilen EDNİZU'ların su tutma kapasitelerindeki değişime ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları ( $\pm$  Standart hata)

US	N	Su Tutma Kapasitesi (g su/g KM)	
Yok	72	6.06 <sup>a</sup>	$\pm$ 0.10
Var	72	5.62 <sup>b</sup>	$\pm$ 0.07
<i>Önem seviyesi</i>		**	
<b>Sıcaklık</b>			
80°C	48	5.92 <sup>a</sup>	$\pm$ 0.06
100°C	48	5.94 <sup>a</sup>	$\pm$ 0.13
121°C	48	5.65 <sup>b</sup>	$\pm$ 0.11
<i>Önem seviyesi</i>		*	
<b>pH</b>			
6.1	48	5.91 <sup>a</sup>	$\pm$ 0.11
5.5	48	6.00 <sup>a</sup>	$\pm$ 0.08
4.5	48	5.61 <sup>b</sup>	$\pm$ 0.11
<i>Önem seviyesi</i>		**	
<b>Un/su oranı</b>			
1/5	36	5.21 <sup>b</sup>	$\pm$ 0.07
1/10	36	5.92 <sup>a</sup>	$\pm$ 0.11
1/15	36	6.06 <sup>a</sup>	$\pm$ 0.11
1/20	36	6.17 <sup>a</sup>	$\pm$ 0.12
<i>Önem seviyesi</i>		**	

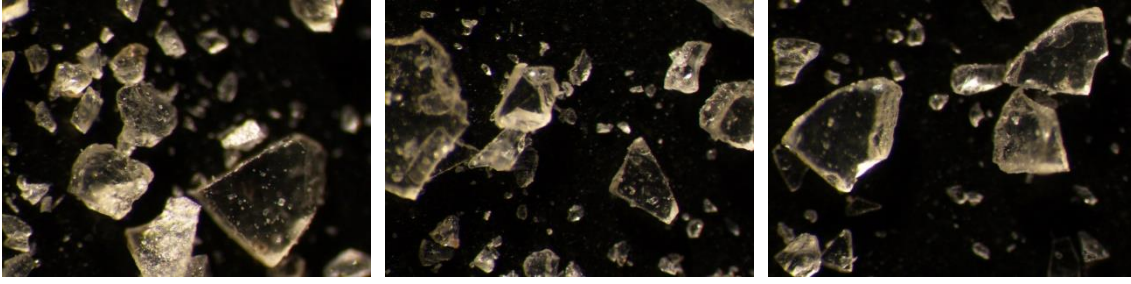
*Önem seviyesi:* \*\* p<0.01, \* 0.01<p<0.05, - p>0.05 (önemsiz)



#### 4.2.3. Farklı un/su oranları ve pH değerleri ile farklı sıcaklık ve ultrasonikasyon uygulamalarının EDNİZU'ların morfolojik özellikleri üzerine etkisi

Farklı un/su oranları ve pH değerleri ile farklı sıcaklık ve ultrasonikasyon uygulamaları kullanılarak üretilen EDNİZU'ların stereo mikroskobik görüntülerine ait fotoğraflar Şekil 4.1 ila 4.24'te verilmiştir.

Örneklere ait fotoğraflar incelendiğinde; nişastanın jelatinizasyonu ve retrogradasyonu sonucunda tüm örneklerin birbirlerine benzer camsı görünümlü yapılar meydana getirdiği ve bu yapılar proteinlerin denatürasyonunun da destek verdiği değerlendirilmiştir. Camsı yapının; jelatinizasyon sırasında nişastanın granül yapısını kaybetmesiyle serbest hale geçen amiloz zincirlerinin, retrogradasyon aşamasında hidrojen bağlarının da etkisiyle ikili sarmal yapılar şeklinde yeniden düzenlenerek kristal yapılar oluşturması sonucunda meydana geldiği düşünülmektedir. Ayrıca pH değeri 4.5 olan örneklerde bu camsı yapıların daha parlak ve belirgin olarak oluştuğu gözlemlenmiştir. Bu durumun ise asitlik nedeniyle yapıda daha kısa zincirli ve daha fazla amiloz parçası oluşmasından ve bu amiloz parçalarının ikili sarmal yapılar şeklinde yeniden dizilerek kristal yapıları meydana getirmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

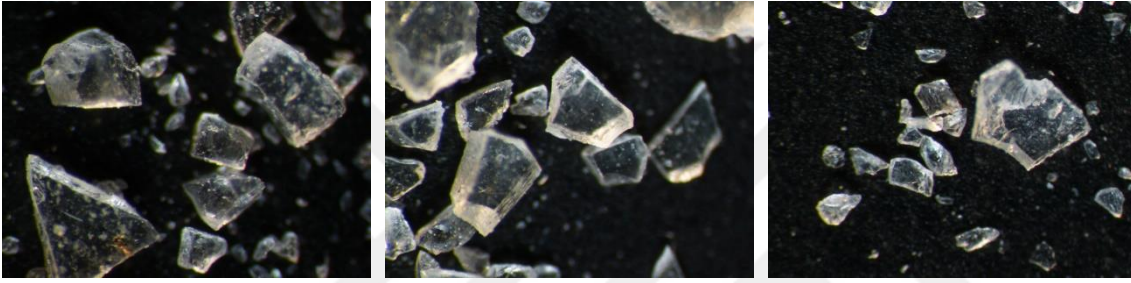


(a)

(b)

(c)

Şekil 4.1. Ultrasonikasyon uygulanmayan ve 80°C sıcaklıkta, 6.1 (a), 5.5 (b) ve 4.5 (c) pH değerinde 1/5 un/su oranı kullanılarak üretilen örneklerin mikroskopik görüntüsü

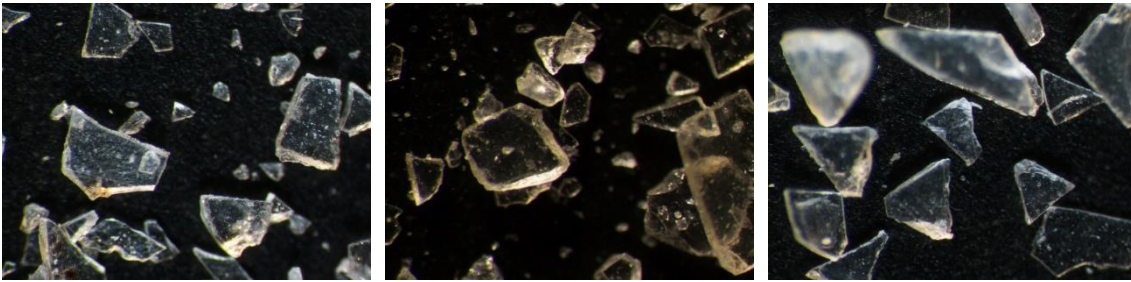


(a)

(b)

(c)

Şekil 4.2. Ultrasonikasyon uygulanan ve 80°C sıcaklıkta, 6.1 (a), 5.5 (b) ve 4.5 (c) pH değerinde 1/5 un/su oranı kullanılarak üretilen örneklerin mikroskopik görüntüsü

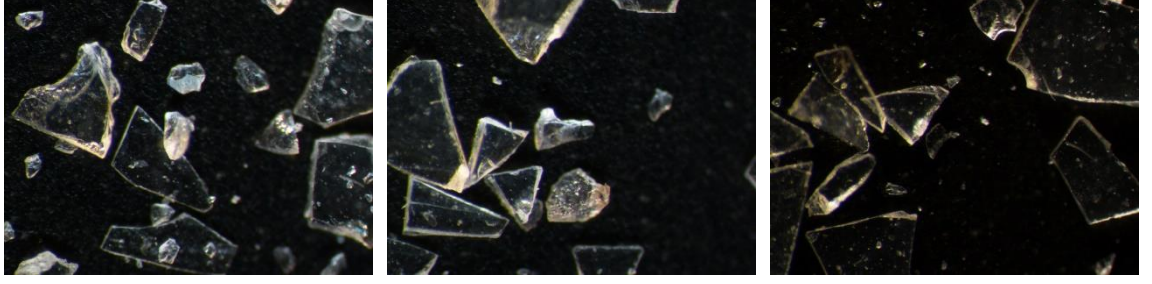


(a)

(b)

(c)

Şekil 4.3. Ultrasonikasyon uygulanmayan ve 80°C sıcaklıkta, 6.1 (a), 5.5 (b) ve 4.5 (c) pH değerinde 1/10 un/su oranı kullanılarak üretilen örneklerin mikroskopik görüntüsü

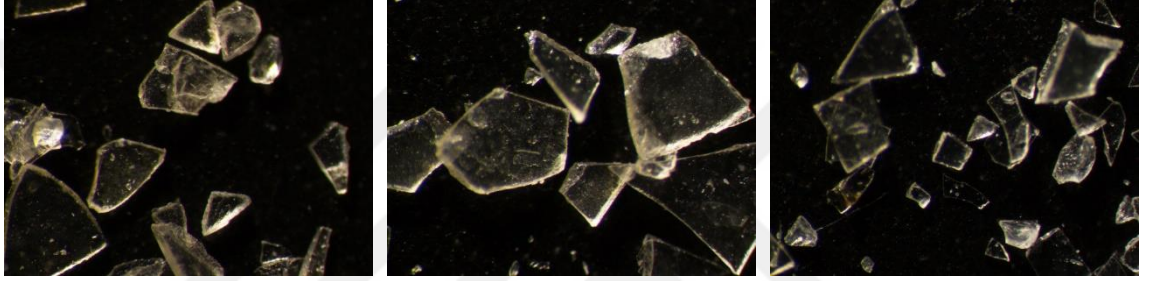


(a)

(b)

(c)

Şekil 4.4. Ultrasonikasyon uygulanan ve 80°C sıcaklıkta, 6.1 (a), 5.5 (b) ve 4.5 (c) pH değerinde 1/10 un/su oranı kullanılarak üretilen örneklerin mikroskobik görüntüsü

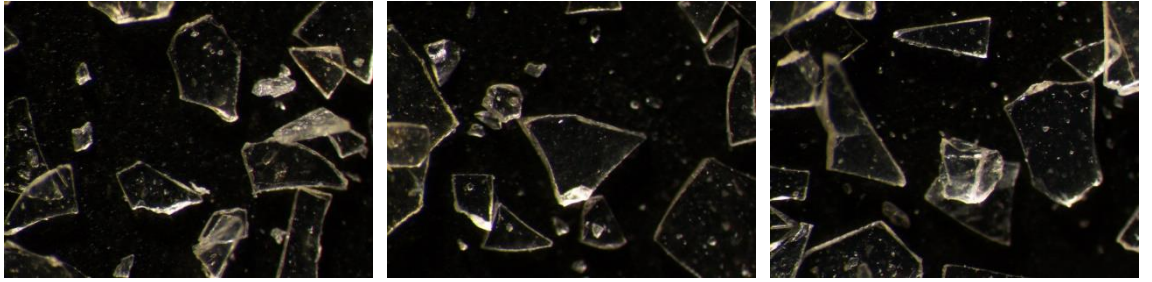


(a)

(b)

(c)

Şekil 4.5. Ultrasonikasyon uygulanmayan ve 80°C sıcaklıkta, 6.1 (a), 5.5 (b) ve 4.5 (c) pH değerinde 1/15 un/su oranı kullanılarak üretilen örneklerin mikroskobik görüntüsü

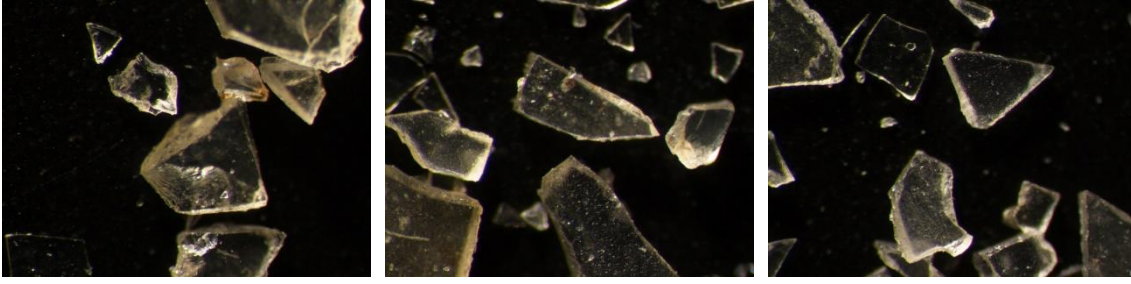


(a)

(b)

(c)

Şekil 4.6. Ultrasonikasyon uygulanan ve 80°C sıcaklıkta, 6.1 (a), 5.5 (b) ve 4.5 (c) pH değerinde 1/15 un/su oranı kullanılarak üretilen örneklerin mikroskobik görüntüsü

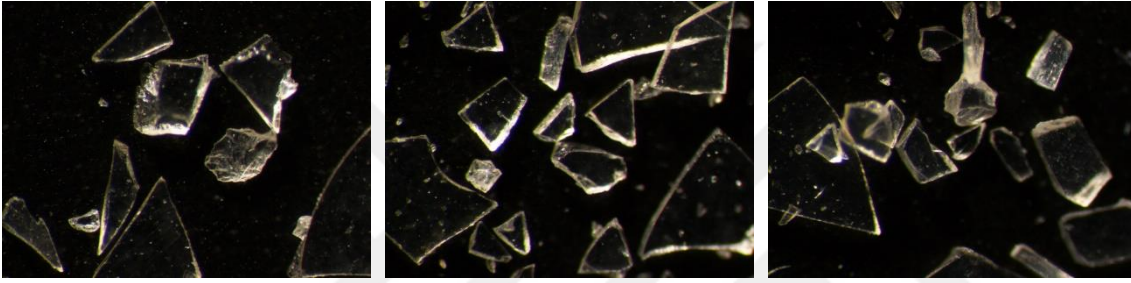


(a)

(b)

(c)

Şekil 4.7. Ultrasonikasyon uygulanmayan ve 80°C sıcaklıkta, 6.1 (a), 5.5 (b) ve 4.5 (c) pH değerinde 1/20 un/su oranı kullanılarak üretilen örneklerin mikroskopik görüntüsü

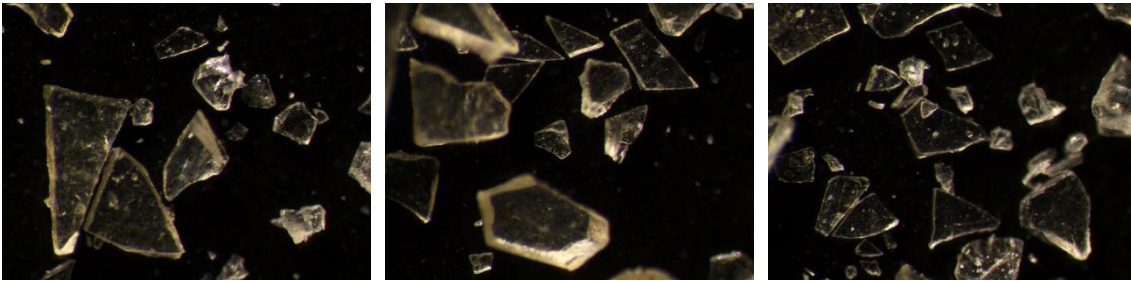


(a)

(b)

(c)

Şekil 4.8. Ultrasonikasyon uygulanan ve 80°C sıcaklıkta, 6.1 (a), 5.5 (b) ve 4.5 (c) pH değerinde 1/20 un/su oranı kullanılarak üretilen örneklerin mikroskopik görüntüsü

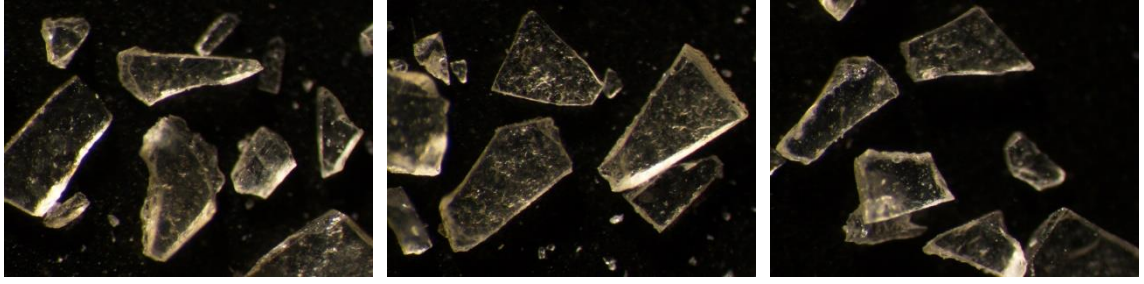


(a)

(b)

(c)

Şekil 4.9. Ultrasonikasyon uygulanmayan ve 100°C sıcaklıkta, 6.1 (a), 5.5 (b) ve 4.5 (c) pH değerinde 1/5 un/su oranı kullanılarak üretilen örneklerin mikroskopik görüntüsü

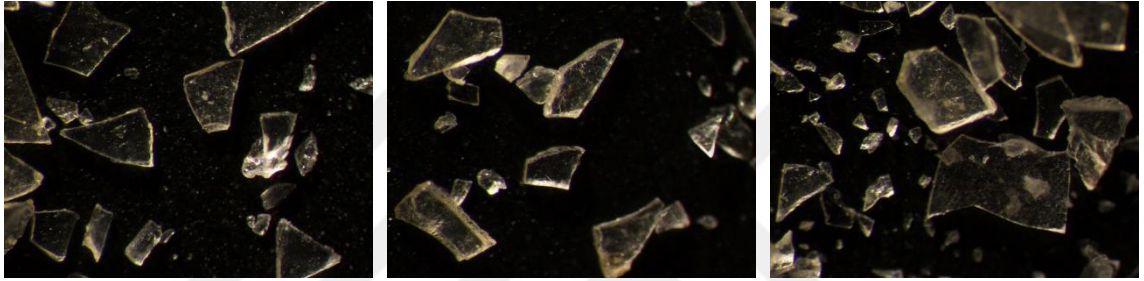


(a)

(b)

(c)

Şekil 4.10. Ultrasonikasyon uygulanan ve 100°C sıcaklıkta, 6.1 (a), 5.5 (b) ve 4.5 (c) pH değerinde 1/5 un/su oranı kullanılarak üretilen örneklerin mikroskopik görüntüsü

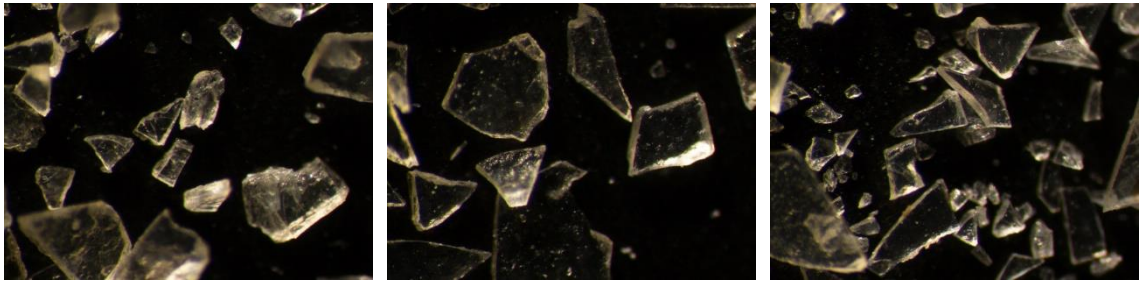


(a)

(b)

(c)

Şekil 4.11. Ultrasonikasyon uygulanmayan ve 100°C sıcaklıkta, 6.1 (a), 5.5 (b) ve 4.5 (c) pH değerinde 1/10 un/su oranı kullanılarak üretilen örneklerin mikroskopik görüntüsü

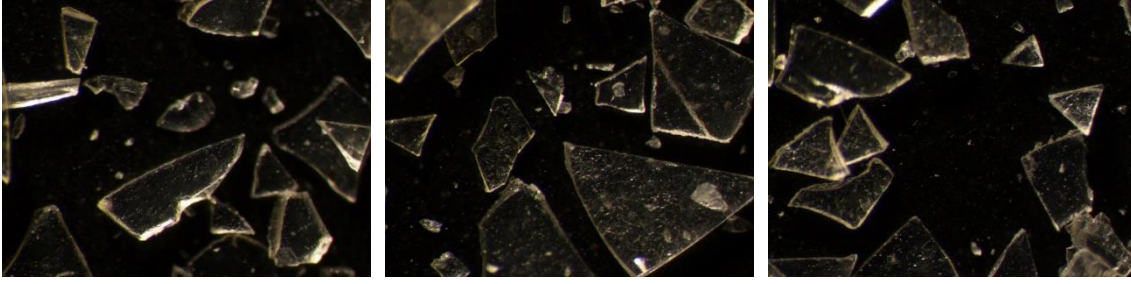


(a)

(b)

(c)

Şekil 4.12. Ultrasonikasyon uygulanan ve 100°C sıcaklıkta, 6.1 (a), 5.5 (b) ve 4.5 (c) pH değerinde 1/10 un/su oranı kullanılarak üretilen örneklerin mikroskopik görüntüsü

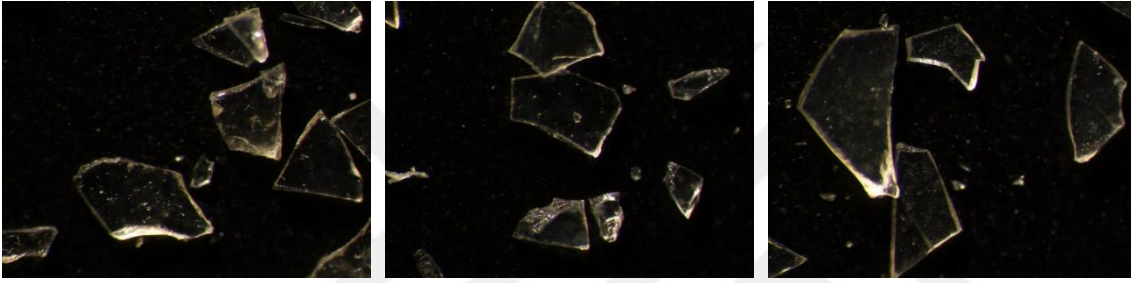


(a)

(b)

(c)

Şekil 4.13. Ultrasonikasyon uygulanmayan ve 100°C sıcaklıkta, 6.1 (a), 5.5 (b) ve 4.5 (c) pH değerinde 1/15 un/su oranı kullanılarak üretilen örneklerin mikroskopik görüntüsü

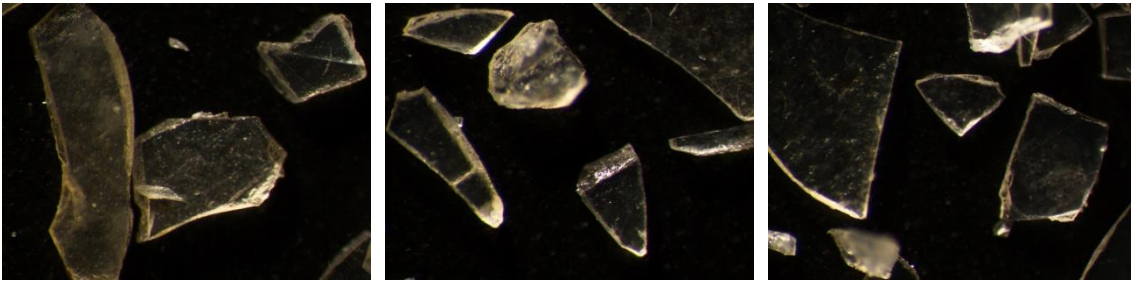


(a)

(b)

(c)

Şekil 4.14. Ultrasonikasyon uygulanan ve 100°C sıcaklıkta, 6.1 (a), 5.5 (b) ve 4.5 (c) pH değerinde 1/15 un/su oranı kullanılarak üretilen örneklerin mikroskopik görüntüsü

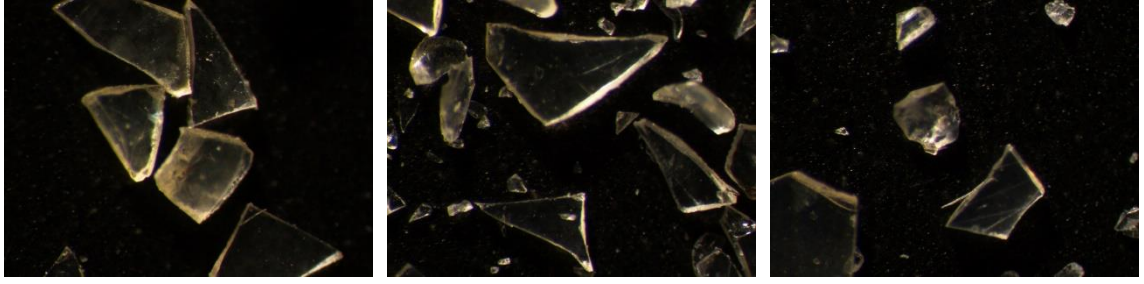


(a)

(b)

(c)

Şekil 4.15. Ultrasonikasyon uygulanmayan ve 100°C sıcaklıkta, 6.1 (a), 5.5 (b) ve 4.5 (c) pH değerinde 1/20 un/su oranı kullanılarak üretilen örneklerin mikroskopik görüntüsü

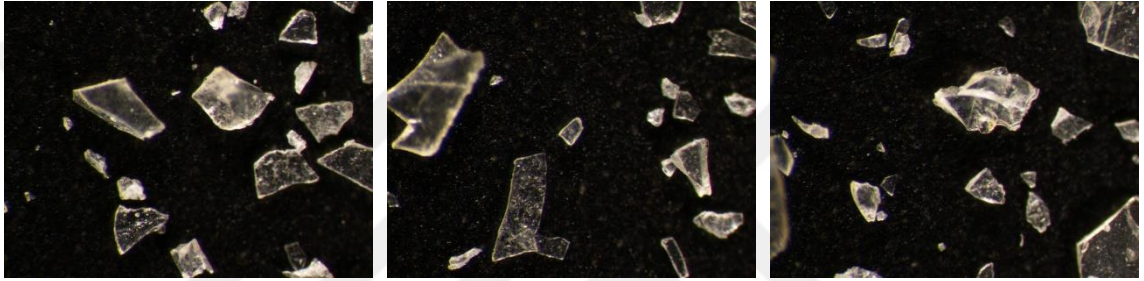


(a)

(b)

(c)

Şekil 4.16. Ultrasonikasyon uygulanan ve 100°C sıcaklıkta, 6.1 (a), 5.5 (b) ve 4.5 (c) pH değerinde 1/20 un/su oranı kullanılarak üretilen örneklerin mikroskopik görüntüsü

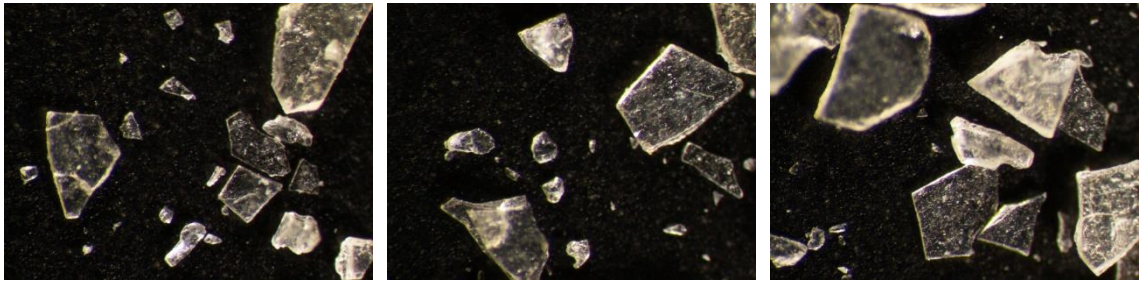


(a)

(b)

(c)

Şekil 4.17. Ultrasonikasyon uygulanmayan ve 121°C sıcaklıkta, 6.1 (a), 5.5 (b) ve 4.5 (c) pH değerinde 1/5 un/su oranı kullanılarak üretilen örneklerin mikroskopik görüntüsü

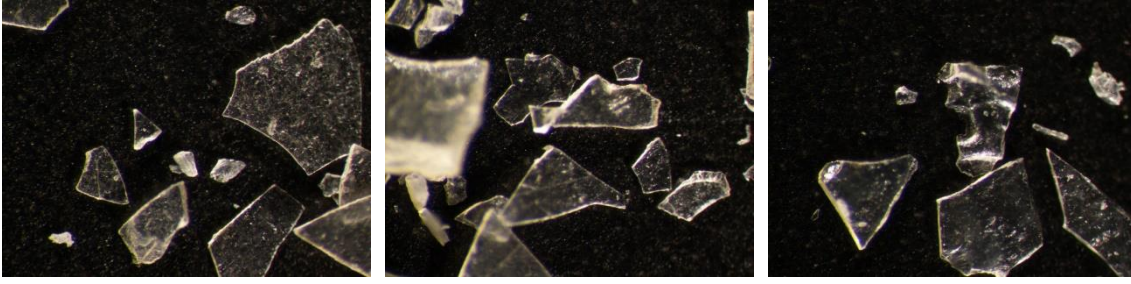


(a)

(b)

(c)

Şekil 4.18. Ultrasonikasyon uygulanan ve 121°C sıcaklıkta, 6.1 (a), 5.5 (b) ve 4.5 (c) pH değerinde 1/5 un/su oranı kullanılarak üretilen örneklerin mikroskopik görüntüsü

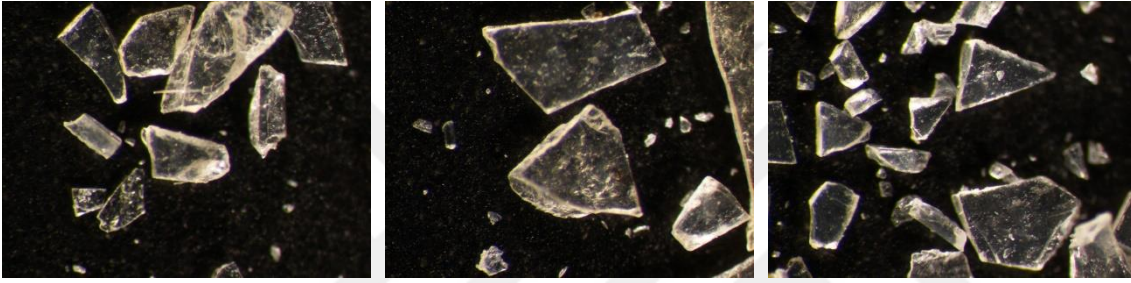


(a)

(b)

(c)

Şekil 4.19. Ultrasonikasyon uygulanmayan ve 121°C sıcaklıkta, 6.1 (a), 5.5 (b) ve 4.5 (c) pH değerinde 1/10 un/su oranı kullanılarak üretilen örneklerin mikroskopik görüntüsü

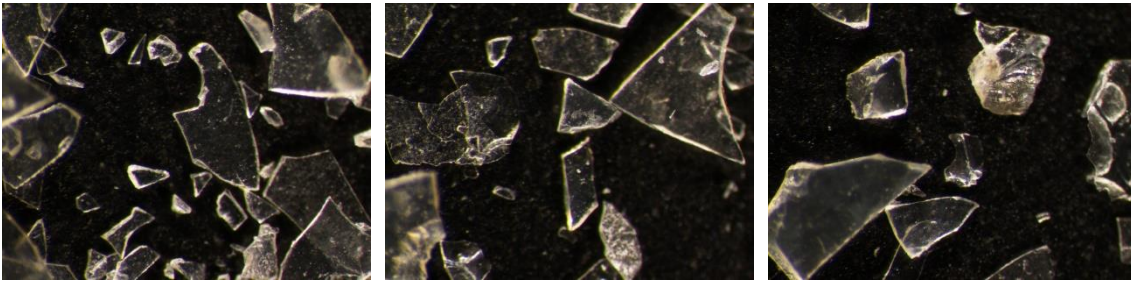


(a)

(b)

(c)

Şekil 4.20. Ultrasonikasyon uygulanan ve 121°C sıcaklıkta, 6.1 (a), 5.5 (b) ve 4.5 (c) pH değerinde 1/10 un/su oranı kullanılarak üretilen örneklerin mikroskopik görüntüsü



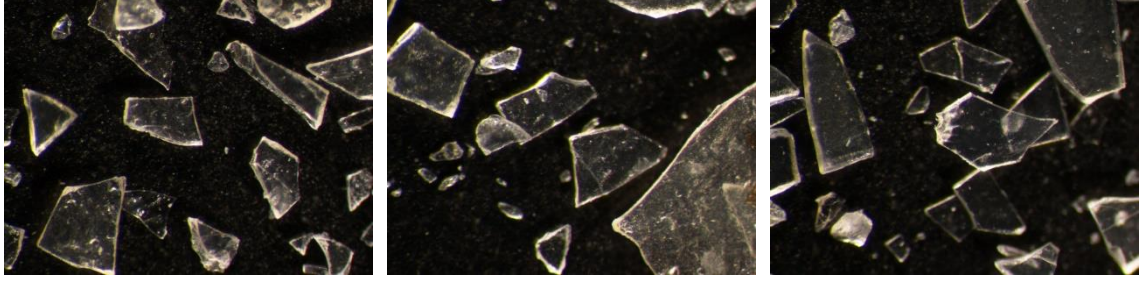
(a)

(b)

(c)

Şekil 4.21. Ultrasonikasyon uygulanmayan ve 121°C sıcaklıkta, 6.1 (a), 5.5 (b) ve 4.5 (c) pH değerinde 1/15 un/su oranı kullanılarak üretilen örneklerin mikroskopik görüntüsü



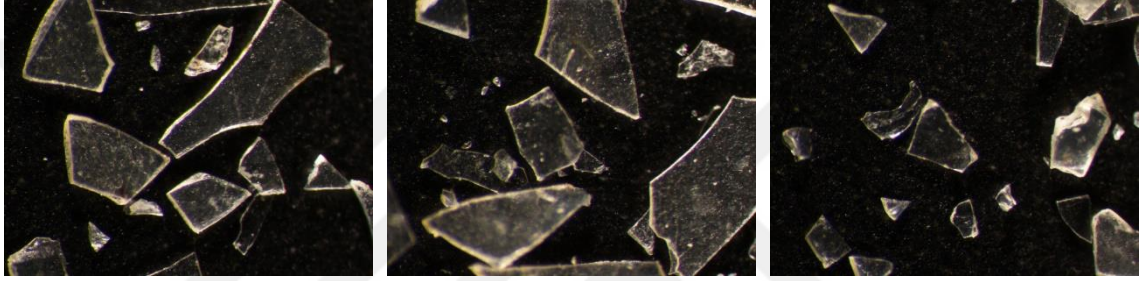


(a)

(b)

(c)

Şekil 4.22. Ultrasonikasyon uygulanan ve 121°C sıcaklıkta, 6.1 (a), 5.5 (b) ve 4.5 (c) pH değerinde 1/15 un/su oranı kullanılarak üretilen örneklerin mikroskopik görüntüsü

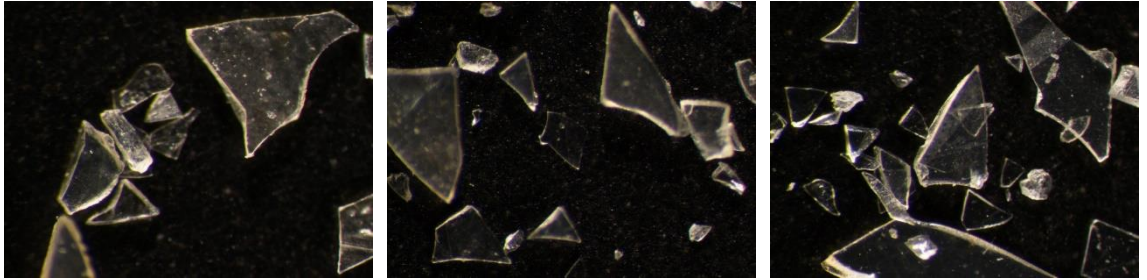


(a)

(b)

(c)

Şekil 4.23. Ultrasonikasyon uygulanmayan ve 121°C sıcaklıkta, 6.1 (a), 5.5 (b) ve 4.5 (c) pH değerinde 1/20 un/su oranı kullanılarak üretilen örneklerin mikroskopik görüntüsü



(a)

(b)

(c)

Şekil 4.24. Ultrasonikasyon uygulanan ve 121°C sıcaklıkta, 6.1 (a), 5.5 (b) ve 4.5 (c) pH değerinde 1/20 un/su oranı kullanılarak üretilen örneklerin mikroskopik görüntüsü

#### 4.2.4. Farklı un/su oranları ve pH değerleri ile farklı sıcaklık ve ultrasonikasyon uygulamalarının EDNİZU'ların nem içerikleri üzerine etkisi

Farklı un/su oranları ve pH değerleri ile farklı sıcaklık ve ultrasonikasyon uygulamaları kullanılarak üretilen EDNİZU'ların nem içeriklerindeki % miktar değişimine ait I. ve II. tekerrür verileri Çizelge 4.8'de, bu verilere ait varyans analizi sonuçları Çizelge 4.9'da ve varyasyon kaynaklarının ortalamalarına ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları Çizelge 4.10'da verilmiştir.

Varyans analizi sonuçlarına göre; üretilen unların nem içerikleri üzerine; sıcaklığın istatistiksel olarak önemli ( $p < 0.01$ ) bir etkisinin olduğu; ancak pH değerinin, un/su oranının ve ultrasonikasyon uygulamasının önemli ( $p > 0.05$ ) bir etkisinin olmadığı tespit edilmiştir.

Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçlarına göre; 121°C'de üretilen unların nem içeriklerinin, 80°C ve 100°C'de üretilen unların nem içeriklerinden daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Bu durumun, kurutma ortamının nispi neminin standardize edilememesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Tüm örneklerin ortalama nem değerleri yaklaşık %7.88 olarak bulunmuştur. Bu değer unların güvenli bir şekilde depolanması için uygun olduğu değerlendirilmiştir. Literatürde EDN üretimi için uygulanan işlemler sonucunda örneklerin kurutulması için dondurarak kurutma ya da 40-50°C gibi kontrollü sıcaklıkların kullanıldığı ve örneklerin nem içeriğinin çoğunlukla %14'ün altında olduğu bildirilmiştir (Dundar ve Gocmen 2013, Hung vd 2016, Ozturk vd 2011).

Çizelge 4.8. Farklı un/su oranları ve pH değerleri ile farklı sıcaklık ve ultrasonikasyon uygulamaları kullanılarak üretilen EDNİZU'ların nem içeriklerindeki % miktar değişimine ait I. ve II. tekerrür verileri

US	Sıcaklık	pH	Un/Su Oranı			
			1/5	1/10	1/15	1/20
Yok	80°C	6.1	5.76	5.01	5.26	7.44
			7.57	7.68	7.99	8.14
		5.5	5.91	4.71	5.43	6.66
			7.43	7.83	8.93	7.89
		4.5	5.85	7.50	5.66	7.04
			7.94	7.45	8.01	8.18
	100°C	6.1	7.41	9.16	8.72	7.15
			7.58	7.88	7.63	7.27
		5.5	7.44	8.95	8.37	7.96
			7.93	7.66	7.73	7.40
		4.5	7.70	8.55	8.04	8.70
			7.69	8.09	7.40	7.20
121°C	6.1	8.62	9.47	9.31	7.06	
		9.19	9.82	8.80	8.90	
	5.5	9.95	8.99	8.46	8.77	
		9.35	9.46	9.75	9.10	
	4.5	9.43	8.74	9.56	8.75	
		9.94	9.42	9.29	8.61	
Var	80°C	6.1	6.46	6.19	5.84	7.06
			8.61	9.01	8.83	9.13
		5.5	5.84	5.80	5.62	7.10
			8.36	8.65	8.72	8.97
		4.5	6.44	5.77	5.95	7.84
			8.72	8.75	8.97	8.66
	100°C	6.1	7.56	8.65	8.69	7.27
			6.43	5.70	5.99	5.81
		5.5	7.31	8.51	7.84	6.83
			6.49	5.69	5.70	6.13
		4.5	7.49	8.66	8.79	10.93
			6.77	6.55	5.93	6.45
121°C	6.1	9.13	9.12	8.80	9.35	
		8.30	8.62	8.13	8.42	
	5.5	8.72	8.42	8.18	8.66	
		8.47	8.55	8.37	8.38	
	4.5	9.22	8.49	8.50	7.83	
		8.70	8.59	8.17	8.03	

Çizelge 4.9. Farklı un/su oranları ve pH değerleri ile farklı sıcaklık ve ultrasonikasyon uygulamaları kullanılarak üretilen EDNİZU'ların nem içeriklerindeki % miktar değişimine ait varyans analizi sonuçları

Varyasyon Kaynağı	Nem İçeriği (%)		
	SD	KO	F
US	1	2.01	1.87
Sıcaklık	2	33.70	31.33**
pH	2	0.77	0.72
Un/su oranı	3	0.16	0.15
Hata	135	1.08	

\*\*  $p < 0.01$ , \*  $0.01 < p < 0.05$ , -  $p > 0.05$

Çizelge 4.10. Farklı un/su oranları ve pH değerleri ile farklı sıcaklık ve ultrasonikasyon uygulamaları kullanılarak üretilen EDNİZU'ların nem içeriklerindeki % miktar değişimine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları ( $\pm$  Standart hata)

US	N	Nem İçeriği (%)
Yok	72	7.99 <sup>a</sup> $\pm$ 0.14
Var	72	7.76 <sup>a</sup> $\pm$ 0.15
<i>Önem seviyesi</i>		-
<b>Sıcaklık</b>		
80°C	48	7.26 <sup>b</sup> $\pm$ 0.19
100°C	48	7.54 <sup>b</sup> $\pm$ 0.16
121°C	48	8.83 <sup>a</sup> $\pm$ 0.08
<i>Önem seviyesi</i>		**
<b>pH</b>		
6.1	48	7.83 <sup>a</sup> $\pm$ 0.18
5.5	48	7.78 <sup>a</sup> $\pm$ 0.18
4.5	48	8.02 <sup>a</sup> $\pm$ 0.17
<i>Önem seviyesi</i>		-
<b>Un/su oranı</b>		
1/5	36	7.83 <sup>a</sup> $\pm$ 0.20
1/10	36	7.95 <sup>a</sup> $\pm$ 0.23
1/15	36	7.82 <sup>a</sup> $\pm$ 0.22
1/20	36	7.92 <sup>a</sup> $\pm$ 0.17
<i>Önem seviyesi</i>		-

*Önem seviyesi*: \*\*  $p < 0.01$ , \*  $0.01 < p < 0.05$ , -  $p > 0.05$  (önemsiz)

#### 4.2.5. Farklı un/su oranları ve pH değerleri ile farklı sıcaklık ve ultrasonikasyon uygulamalarının EDNİZU'ların EDN içerikleri üzerine etkisi

Farklı un/su oranları ve pH değerleri ile farklı sıcaklık ve ultrasonikasyon uygulamaları kullanılarak üretilen EDNİZU'ların EDN içeriklerindeki % miktar değişimine ait I. ve II. tekerrür verileri Çizelge 4.11'de, bu verilere ait varyans analizi sonuçları Çizelge 4.12'de ve varyasyon kaynaklarının ortalamalarına ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları Çizelge 4.13'te verilmiştir.

Varyans analizi sonuçlarına göre; üretilen unların EDN içerikleri üzerine; sıcaklık ve pH değerinin, un/su oranının ve ultrasonikasyon uygulamasının istatistiksel olarak önemli ( $p<0.05$ ;  $p<0.01$ ) bir etkisinin olduğu tespit edilmiştir.

Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçlarına göre; ultrasonikasyon uygulanan örneklerin ultrasonikasyon uygulanmayan örneklere göre daha fazla EDN içerdiği tespit edilmiştir. Bu durumun oluşmasında; ultrasonikasyon uygulanan örneklerde nişasta granülü dışına daha fazla miktarda amiloz zinciri ve amilopektin yapının çıkmasının ve jelatinizasyon sonrasında retrogradasyonla birlikte bu amiloz zincirlerinin yeniden hizalanması ve amilopektindeki dallanmış yapının birbiri üzerine kapanması sonucu kristalize olmalarının etkili olduğu düşünülmektedir. Nilüfer tohumu nişastasında yapılan bir çalışmada; nişastaya yalnızca otoklavlama işlemi uygulandığında %41.89 oranında EDN oluşurken, ultrasonikasyon ve otoklavlama işleminin kombinasyonu uygulandığında %56.12 oranında EDN oluşmuştur. Ultrasonikasyon ve otoklavlamamanın birlikte kullanılmasının EDN oluşumunu arttırdığı tespit edilmiştir (Zeng vd 2015).

Sıcaklık uygulaması dikkate alındığında; en yüksek EDN içeriği 121°C'de otoklavlama işlemiyle üretilen örneklerde tespit edilmiş ve sıcaklık düştükçe örneklerde tespit edilen EDN içeriği azalmıştır. Bunun sebebinin yüksek sıcaklıkta jelatinizasyon işleminin daha iyi gerçekleşmesi olduğu ve bu durumun da retrogradasyonu arttırdığı düşünülmektedir. Yüksek amilozlu mısır nişastasının kullanıldığı bir çalışmada 4 katı kadar suyla karıştırılan nişasta, 140°C ve 145°C olmak üzere iki farklı otoklav sıcaklığında jelatinize edilmiş ve 24, 48 ve 72 saat olmak üzere 3 farklı depolama süresinde +4°C'de retrogradasyona bırakılmıştır. 3 kez tekrar edilen bu işlem sonrasında kurutulup öğütülerek analiz edilen retrograde nişastada uygulanan sıcaklık ve retrogradasyon süresinin artışıyla EDN içeriğinin de arttığı tespit edilmiştir (Dundar ve Gocmen 2013).

Patates nişastasıyla yapılan bir çalışmada; farklı sıcaklık uygulamaları kullanılmış ve 1 saatlik uygulama sonucunda 90°C'lik su banyosunda yapılan işlemle %14.05, 121°C'lik otoklavlama işlemiyle ise %26.00 EDN3 oluşumunun gerçekleştiği belirlenmiştir (Chou vd 2010). Bir diğer çalışmada ise; tam buğday unu 15 katı kadar su ile karıştırıldıktan sonra 100°C'de ısıtılma tabii tutulmuş ve bir sonraki aşamada dondurulmuştur. Isıl işleminden sonra dondurma işlemine geçilmeden direk alınan örnek kontrol örneği olarak değerlendirilmiş ve bu örnekte toplam nişastanın %1.03'ü kadar EDN oluştuğu tespit edilmiştir. Isıtma ve dondurma işlemlerinin 7 kez tekrar edilmesiyle oluşan EDN oranı ise %8.07'ye ulaşmıştır (Arcila ve Rose 2015).

pH değerlerinin EDN oluşumu üzerine etkisi incelendiğinde; en yüksek EDN içeriği 6.1 pH değerinde üretilen örneklerde tespit edilmiştir. Literatürde asit modifikasyonu ile üretilen nişastaların çözünürlüğünün arttığı bilgisi yer almaktadır (Rafiq vd 2016). Bu nedenle pH değerinin düşmesinin EDN oluşumunu baskıladığı düşünülmektedir. Ayrıca; un içerisinde bulunan protein matriksinin de asitlikle birlikte EDN oluşumunu engelleyici bir etki yapmış olabileceği değerlendirilmiştir.

Un/su oranının EDN oluşumu üzerine etkisi değerlendirildiğinde ise; en düşük EDN içeriği 1/5 un/su oranında tespit edilirken, en yüksek EDN içeriği 1/15 un/su oranında tespit edilmiştir. Ancak 1/15 ile 1/20 oranı arasında istatistiksel açıdan fark oluşmamıştır. Su miktarının artmasıyla EDN içeriğinde meydana gelen bu artışın, su fazlalığında granül dışına çıkabilen amiloz miktarının artması ve dışarı çıkan bu amilozun büyük oranda çözünerek retrogradasyon aşamasında daha sağlam amiloz kristalleri oluşturmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Buğday nişastası ile yapılan bir çalışmada nişasta 2 katı kadar suyla karıştırıldıktan sonra 134°C'de 1 saat otoklavlanmış ve +4°C'de bir gece bekletildikten sonra dondurarak kurutma işlemiyle kurutulmuştur. İşlem sonrasında buğday nişastasında %7.8 oranında EDN oluştuğu tespit edilmiştir (Sievert ve Pomeranz 1989). Buğday ununun kullanıldığı bir çalışmada ise %20, %40 ve %60 oranlarında nemlendirilen buğday unları 120°C'de ekstrüzyon işlemine tabi tutulmuş ve nem içeriği arttıkça EDN içeriğinin de arttığı tespit edilmiştir (Kim vd 2006). Farklı oranlarda nemlendirilen maş fasulyesi nişastası üzerinde yapılan bir çalışmada da, nişasta 120°C fırında 12 saat jelatinize edildikten sonra 45°C'de 12 saat boyunca kurutulmuş ve elde edilen EDN içeriklerinde %20 nem içeriğine kadar artış tespit edilmiştir. Bu noktadan sonra ise nem içeriğinin daha da artmasıyla EDN içeriğinin azaldığı belirlenmiştir (Li vd 2011).

Kontrol örneği olan bisküvilik beyaz unda %0.11 olarak tespit edilen EDN içeriği, uygulanan işlemler sonucunda elde edilen tüm EDNİZU'larda ortalama 3.30 olarak tespit edilmiştir. Farklı işlemler uygulanarak jelatinizasyon ve retrogradasyon aşamalarından geçirilen bisküvilik beyaz unun EDN içeriğinin, yeniden kristalize olan yapılar nedeniyle arttığı değerlendirilmiştir.

Çizelge 4.11. Farklı un/su oranları ve pH değerleri ile farklı sıcaklık ve ultrasonikasyon uygulamaları kullanılarak üretilen EDNİZU'ların EDN içeriklerindeki % miktar değişimine ait I. ve II. tekerrür verileri

US	Sıcaklık	pH	Un/Su Oranı			
			1/5	1/10	1/15	1/20
Yok	80°C	6.1	2.80	2.71	3.62	2.43
			2.80	2.75	2.76	2.39
		5.5	2.72	2.80	2.75	3.08
			2.56	3.82	2.48	2.35
		4.5	2.47	2.65	3.13	3.24
			2.00	2.33	2.24	2.36
	100°C	6.1	3.27	2.89	2.92	3.46
			2.76	2.84	2.98	2.96
		5.5	2.98	2.67	2.85	3.08
			2.64	2.73	3.09	3.20
		4.5	3.07	2.99	2.97	3.12
			2.84	2.77	3.00	3.00
121°C	6.1	3.26	4.21	3.65	3.68	
		3.39	3.62	3.51	3.63	
	5.5	3.04	3.75	3.79	3.38	
		2.95	3.56	3.50	3.78	
	4.5	4.37	4.40	4.24	4.06	
		3.68	4.04	4.26	4.50	
Var	80°C	6.1	3.25	3.55	3.91	3.96
			2.98	3.03	2.99	2.98
		5.5	2.92	3.11	3.74	3.41
			2.56	2.75	2.71	2.81
		4.5	2.55	2.59	3.21	3.76
			2.03	1.99	2.25	2.37
	100°C	6.1	3.57	3.53	4.30	3.90
			3.50	3.47	3.97	3.41
		5.5	3.42	3.56	3.70	3.56
			3.04	3.16	3.49	3.37
		4.5	3.25	3.34	3.73	3.39
			2.79	3.00	2.96	2.86
121°C	6.1	4.71	3.97	4.22	3.92	
		3.95	3.76	3.72	4.17	
	5.5	3.38	4.33	4.38	3.95	
		3.79	3.42	3.38	3.74	
	4.5	3.66	4.14	5.53	4.24	
		4.14	3.41	3.46	3.65	

Çizelge 4.12. Farklı un/su oranları ve pH değerleri ile farklı sıcaklık ve ultrasonikasyon uygulamaları kullanılarak üretilen EDNİZU'ların EDN içerilerindeki % miktar değişimine ait varyans analizi sonuçları

Varyasyon Kaynağı	EDN İçeriği (%)		
	SD	KO	F
US	1	3.40	20.49**
Sıcaklık	2	12.71	76.59**
pH	2	0.49	2.96*
Un/su oranı	3	0.56	3.38*
Hata	135	0.17	

\*\* p<0.01, \* 0.01<p<0.05, - p>0.05

Çizelge 4.13. Farklı un/su oranları ve pH değerleri ile farklı sıcaklık ve ultrasonikasyon uygulamaları kullanılarak üretilen EDNİZU'ların EDN içeriklerindeki % miktar değişimine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları (± Standart hata)

US	N	EDN İçeriği (%)
Yok	72	3.15 <sup>b</sup> ± 0.07
Var	72	3.45 <sup>a</sup> ± 0.07
<i>Önem seviyesi</i>		**
<b>Sıcaklık</b>		
80°C	48	2.85 <sup>c</sup> ± 0.07
100°C	48	3.19 <sup>b</sup> ± 0.05
121°C	48	3.86 <sup>a</sup> ± 0.07
<i>Önem seviyesi</i>		**
<b>pH</b>		
6.1	48	3.42 <sup>a</sup> ± 0.08
5.5	48	3.23 <sup>b</sup> ± 0.07
4.5	48	3.25 <sup>b</sup> ± 0.11
<i>Önem seviyesi</i>		*
<b>Un/su oranı</b>		
1/5	36	3.14 <sup>b</sup> ± 0.10
1/10	36	3.27 <sup>ab</sup> ± 0.10
1/15	36	3.43 <sup>a</sup> ± 0.11
1/20	36	3.37 <sup>a</sup> ± 0.10
<i>Önem seviyesi</i>		*

*Önem seviyesi:* \*\* p<0.01, \* 0.01<p<0.05, - p>0.05 (önemsiz)



### 4.3. En Yüksek EDN İçeriğine Sahip Unun Belirlenmesi ve Bu Unun Bazı Özellikleri

Yapılan istatistiki değerlendirme ve tüm parametrelerin dikkate alınmasıyla en yüksek EDN içeriğine sahip olan örneğin; 1/15 un/su oranında, pH 6.1 değerinde, 121°C sıcaklıkta ve ultrasonikasyon uygulanarak üretilen örnek olduğu sonucuna varılmıştır. Bu örnek fazla miktarda tekrar üretildikten sonra EDN içeriği ve diğer bazı özellikleri tekrar analiz edilmiş ve bisküvi üretiminde kullanılmıştır.

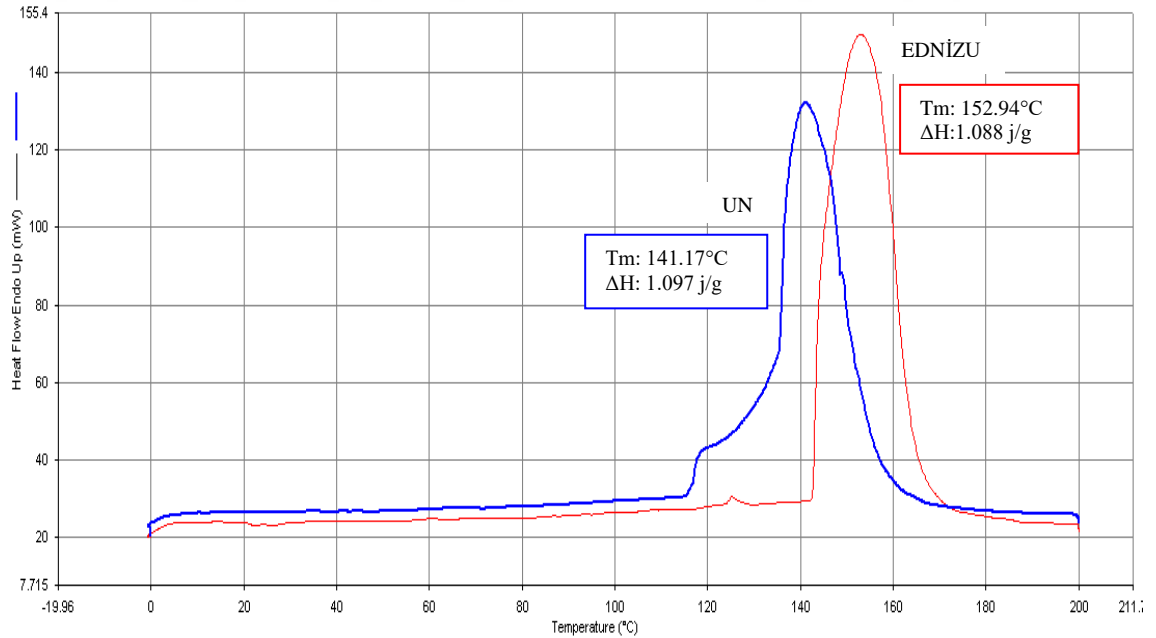
#### 4.3.1. EDNİZU'nun termal özellikleri

EDNİZU'nun ve kontrol örneği bisküvilik beyaz unun termal özelliklerine ait grafikler Şekil 4.25'te verilmiştir.

Bu grafikler değerlendirildiğinde EDNİZU örneğinin erime sıcaklığı ( $T_m$ ) 152.94°C, erime entalpisi ( $\Delta H$ ) ise 1.09 j/g olarak tespit edilmiştir. Kontrol örneğinde ise bu değerler sırasıyla 141.17°C ve 1.10 j/g olarak belirlenmiştir.

Farklı buğday çeşidi nişastalarından EDN3 üretiminin gerçekleştirildiği bir çalışmada; üretilen EDN'lerin erime sıcaklığı 120.0°C ila 138.0°C arasında, erime entalpisi ise 1.1 ila 2.0 j/g arasında değişmiştir (Wasserman vd 2007).

Yapılan diğer bir çalışmada ise; su ile işlem gördükten sonra 60°C'de 72 saat retrograde edilen pirinç ununda %5.41 EDN oluşmuş ve bu EDN'nin termal özellikleri incelendiğinde erime sıcaklığı ve erime entalpisi sırasıyla 162.08°C ve 10.22 j/g olarak tespit edilmiştir (Moongnarm vd 2015).



Şekil 4.25. EDNİZU'nun ve kontrol örneğinin DSC grafiği

#### 4.3.2. EDNİZU'nun prebiyotik etkisi

EDNİZU'nun prebiyotik etkisinin belirlenmesinde, *L. acidophilus* ve *B. bifidum* gelişimindeki logaritmik ve % mikroorganizma değişimine ait I. ve II. tekerrür verileri Çizelge 4.14'te, bu verilere ait varyans analizi sonuçları Çizelge 4.15'te ve varyasyon kaynaklarının ortalamalarına ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları Çizelge 4.16'da verilmiştir.

Varyans analizi sonuçlarına göre; *L. acidophilus* ve *B. bifidum* bakterilerinin hem logaritmik hem de % gelişiminde örnekler arasında istatistiksel olarak önemli ( $p>0.05$ ) bir fark oluşmamıştır.

Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçlarına göre; örnekler arasında istatistiksel açıdan fark oluşmamasına rağmen; deskriptif olarak değerlendirme yapıldığında *L. acidophilus* için en iyi gelişimin EDNİZU içeren örneklerde meydana geldiği sonucuna varılmıştır. Bu durum EDNİZU'nun *L. acidophilus* gelişimini desteklediğini ve bu suş için prebiyotik etkiye sahip olabileceğini düşündürmektedir. *B. bifidum*'un gelişimi ise örnekler arasında farklılık göstermemiş ve EDNİZU'nun bu suş için prebiyotik etkisinin bulunmadığı tespit edilmiştir.

*Bifidobacterium* türlerinin kullanıldığı bir çalışmada nilüfer tohumu nişastasından üretilen EDN'nin, 48 saatlik inkübasyon sonucunda *Bifidobacterium* türlerinin gelişmesini desteklediği tespit edilmiştir (Zhang vd 2014b). Tez çalışması kapsamında üretilen EDNİZU'nun ise; literatürdeki çalışmada kullanılan örneğe göre daha düşük EDN içermesi nedeniyle örnekler arasında *B. bifidum* üremesine bağlı bir farklılığın oluşmadığı düşünülmektedir.

Fareler üzerinde yapılan bir çalışmada ise; EDN ile beslenen farelerde kolondaki *Lactobacillus* türlerinde değişim gerçekleşmezken, *Bifidobacterium* türlerinde ise artış meydana gelmiştir (Rodríguez-Cabezas vd 2010).

Çizelge 4.14. *L. acidophilus* ve *B. bifidum* gelişimindeki logaritmik ve % mikroorganizma değişimine ait I. ve II. tekerrür verileri

Örnek	<i>L. acidophilus</i> Gelişimi		<i>B. bifidum</i> Gelişimi	
	(log kob/g)	(%)	(log kob/g)	(%)
Un (Kontrol)	4.65	129.15	1.37	18.54
	4.57	126.98	1.05	13.52
EDNİZU	4.73	133.83	1.35	18.21
	4.85	137.30	1.04	13.39

Çizelge 4.15. *L. acidophilus* ve *B. bifidum* gelişimindeki logaritmik ve % mikroorganizma değişimine ait varyans analizi sonuçları

Varyasyon Kaynağı	SD	<i>L. acidophilus</i> Gelişimi				<i>B. bifidum</i> Gelişimi			
		(log kob/g)		(%)		(log kob/g)		(%)	
		KO	F	KO	F	KO	F	KO	F
Örnek	1	0.03	6.23	56.25	13.43	0.0002	0.00	0.05	0.00
Hata	2	0.01		4.19		0.05		12.11	

\*\* p<0.01, \* 0.01<p<0.05, - p>0.05

Çizelge 4.16. *L. acidophilus* ve *B. bifidum* gelişimindeki logaritmik ve % mikroorganizma değişimine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları ( $\pm$  Standart hata)

Örnek	N	<i>L. acidophilus</i> Gelişimi		<i>B. bifidum</i> Gelişimi	
		(log kob/g)	(%)	(log kob/g)	(%)
Un (Kontrol)	2	4.61 <sup>a</sup> $\pm$ 0.04	128.07 <sup>a</sup> $\pm$ 1.09	1.21 <sup>a</sup> $\pm$ 0.16	16.03 <sup>a</sup> $\pm$ 2.51
EDNİZU	2	4.79 <sup>a</sup> $\pm$ 0.06	135.57 <sup>a</sup> $\pm$ 1.74	1.20 <sup>a</sup> $\pm$ 0.16	15.80 <sup>a</sup> $\pm$ 2.41
Önem seviyesi		-	-	-	-

Önem seviyesi: \*\* p<0.01, \* 0.01<p<0.05, - p>0.05 (önemsiz)

#### 4.4. Depolama Örneklerinin Değerlendirilmesi

##### 4.4.1. EDNİZU örneğinin depolama sürecinde değerlendirilmesi

##### 4.4.1.1. EDNİZU'nun renk değerleri üzerine depolamanın etkisi

EDNİZU ve kontrol örneği bisküvilik beyaz unun depolama boyunca ölçülen renk değerlerindeki değişime ait I. ve II. tekerrür verileri Çizelge 4.17'de, bu verilere ait varyans analizi sonuçları Çizelge 4.18'de ve varyasyon kaynaklarının ortalamalarına ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları Çizelge 4.19'da verilmiştir.

Varyans analizi sonuçlarına göre; EDNİZU ile kontrol örneğinin L\* (siyahlık-beyazlık), a\* (yeşillik-kırmızılık) ve b\* (mavilik-sarılık) değerleri incelendiğinde örnekler arasında istatistiksel olarak önemli (p<0.01) bir fark olduğu tespit edilmiştir. Depolamanın ise bu unların a\* değerleri üzerinde önemli (p<0.05) bir etkiye sahip olduğu, ancak L\* ve b\* değerleri üzerinde önemli (p>0.05) bir etkisinin olmadığı tespit edilmiştir.

Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçlarına göre; kontrol örneği olarak kullanılan bisküvilik unun ortalama L\* değeri 91.61, a\* değeri -5.32 ve b\* değeri 16.09 olarak tespit edilirken, uygulanan işlemler sonucunda üretilen EDNİZU'ya ait L\* değerinin azaldığı, a\* ve b\* değerinin ise arttığı belirlenmiştir. Benzer şekilde; pirinç nişastasından otoklavlama işlemiyle EDN üretimi gerçekleştirilen bir çalışmada, işlem

sonrasında daha düşük L\* değeri ve daha yüksek b\* değeri tespit edilirken, a\* değerinin uygulanan işlemlerden önemli bir şekilde etkilenmediği belirlenmiştir (Ashwar vd 2016).

EDNİZU'nun üretimi esnasında uygulanan yüksek sıcaklığın undaki proteinlerin denatürasyonu sonucu üç boyutlu yapısının bozulması ve Maillard reaksiyonları nedenleriyle EDNİZU'nun kontrol örneğine göre daha koyu bir renge sahip olduğu düşünülmektedir.

Çizelge 4.17. EDNİZU ve kontrol örneğinin depolama boyunca ölçülen renk değerlerindeki değişime ait I. ve II. tekerrür verileri

Depolama (gün)	Örnek	L*	a*	b*
0.	Un (Kontrol)	91.54	-5.32	16.19
		91.58	-5.32	16.19
	EDNİZU	80.42	-4.58	18.12
		79.43	-4.45	18.06
30.	Un (Kontrol)	91.59	-5.36	16.23
		91.67	-5.39	16.16
	EDNİZU	78.71	-4.48	18.96
		79.38	-4.56	19.18
60.	Un (Kontrol)	91.67	-5.28	15.89
		91.61	-5.27	15.86
	EDNİZU	76.98	-4.38	19.20
		78.19	-4.43	19.86

Çizelge 4.18. EDNİZU ve kontrol örneğinin depolama boyunca ölçülen renk değerlerindeki değişime ait varyans analizi sonuçları

Varyasyon Kaynağı	SD	L*		a*		b*	
		KO	F	KO	F	KO	F
Örnek	1	488.33	882.72**	2.13	1086.05**	23.69	105.69**
Depolama	2	1.31	2.37	0.01	6.27*	0.38	1.68
Hata	8	0.55		0.002		0.22	

\*\* p<0.01, \* 0.01<p<0.05, - p>0.05

Çizelge 4.19. EDNİZU ve kontrol örneğinin depolama boyunca ölçülen renk değerlerindeki değişime ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları ( $\pm$  Standart hata)

Örnek	N	L*	a*	b*
Un (Kontrol)	6	91.61 <sup>a</sup> $\pm$ 0.02	-5.32 <sup>b</sup> $\pm$ 0.02	16.09 <sup>b</sup> $\pm$ 0.07
EDNİZU	6	78.85 <sup>b</sup> $\pm$ 0.48	-4.48 <sup>a</sup> $\pm$ 0.03	18.90 <sup>a</sup> $\pm$ 0.28
<i>Önem seviyesi</i>		**	**	**
<b>Depolama (gün)</b>				
0.	4	85.74 <sup>a</sup> $\pm$ 3.36	-4.92 <sup>b</sup> $\pm$ 0.23	17.14 <sup>a</sup> $\pm$ 0.55
30.	4	85.34 <sup>a</sup> $\pm$ 3.64	-4.95 <sup>b</sup> $\pm$ 0.25	17.63 <sup>a</sup> $\pm$ 0.83
60.	4	84.61 <sup>a</sup> $\pm$ 4.06	-4.84 <sup>a</sup> $\pm$ 0.25	17.70 <sup>a</sup> $\pm$ 1.06
<i>Önem seviyesi</i>		-	*	-

*Önem seviyesi:* \*\*  $p < 0.01$ , \*  $0.01 < p < 0.05$ , -  $p > 0.05$  (önemsiz)

#### 4.4.1.2. EDNİZU'nun nem içeriği üzerine depolamanın etkisi

EDNİZU ve kontrol örneği bisküvilik beyaz unun depolama boyunca takip edilen nem içeriklerindeki % miktar değişimine ait I. ve II. tekerrür verileri Çizelge 4.20'de, bu verilere ait varyans analizi sonuçları Çizelge 4.21'de ve varyasyon kaynaklarının ortalamalarına ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları Çizelge 4.22'de verilmiştir.

Varyans analizi sonuçlarına göre; EDNİZU ile kontrol örneğinin nem içerikleri arasında istatistiksel olarak önemli ( $p < 0.01$ ) bir fark olduğu tespit edilmiştir. Depolamanın ise bu unların nem içerikleri üzerinde önemli ( $p > 0.05$ ) bir etkiye sahip olmadığı belirlenmiştir.

Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçlarına göre; EDNİZU'nun kontrol örneği bisküvilik una göre daha az nem içerdiği tespit edilmiştir. EDNİZU'nun üretimi sürecinde granüler haldeki nişastanın önce jelatinize sonra da retrograde olması ve uzun süre kurutulması sebepleriyle EDNİZU'nun nem içeriğinin kontrol örneğine göre daha düşük olarak oluşmasına neden olduğu değerlendirilmiştir. Türk Gıda Kodeksi Buğday Unu Tebliği'ne (2013/9) göre unların güvenli bir şekilde depolanabilmesi için nem içeriğinin %14.5'ten düşük olması istenmektedir. Bu nedenle EDNİZU'nun düşük su içeriği nedeniyle uzun süre depolanabileceği değerlendirilmiştir.

Çizelge 4.20. EDNİZU ve kontrol örneğinin depolama boyunca takip edilen nem içeriklerindeki % miktar değişimine ait I. ve II. tekerrür verileri

Depolama (gün)	Örnek	
	Un (Kontrol)	EDNİZU
0.	11.07	7.93
	11.07	8.21
30.	12.14	8.11
	12.24	8.09
60.	11.42	8.55
	10.93	8.94

Çizelge 4.21. EDNİZU ve kontrol örneğinin depolama boyunca takip edilen nem içeriklerindeki % miktar değişimine ait varyans analizi sonuçları

Varyasyon Kaynağı	Nem İçeriği (%)		
	SD	KO	F
Örnek	1	30.21	145.30**
Depolama	2	0.34	1.66
Hata	8	0.21	

\*\* p<0.01, \* 0.01<p<0.05, - p>0.05

Çizelge 4.22. EDNİZU ve kontrol örneğinin depolama boyunca takip edilen nem içeriklerindeki % miktar değişimine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları ( $\pm$  Standart hata)

Örnek	N	Nem İçeriği (%)
Un (Kontrol)	6	11.48 <sup>a</sup> $\pm$ 0.23
EDNİZU	6	8.31 <sup>b</sup> $\pm$ 0.15
<i>Önem seviyesi</i>		**
<i>Depolama (gün)</i>		
0.	4	9.57 <sup>a</sup> $\pm$ 0.87
30.	4	10.15 <sup>a</sup> $\pm$ 1.18
60.	4	9.96 <sup>a</sup> $\pm$ 0.71
<i>Önem seviyesi</i>		-

*Önem seviyesi:* \*\* p<0.01, \* 0.01<p<0.05, - p>0.05 (önemsiz)

#### 4.4.1.3. EDNİZU'nun EDN içeriği üzerine depolamanın etkisi

EDNİZU ve kontrol örneği bisküvilik beyaz unun depolama boyunca takip edilen EDN içeriklerindeki % miktar değişimine ait I. ve II. tekerrür verileri Çizelge 4.23'te, bu verilere ait varyans analizi sonuçları Çizelge 4.24'te ve varyasyon kaynaklarının ortalamalarına ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları Çizelge 4.25'te verilmiştir.

Varyans analizi sonuçlarına göre; EDNİZU ile kontrol örneğinin EDN içerikleri incelendiğinde örnekler arasında istatistiksel olarak önemli ( $p < 0.01$ ) bir fark olduğu tespit edilmiştir. Depolamanın ise bu onların EDN içerikleri üzerinde önemli ( $p > 0.05$ ) bir etkiye sahip olmadığı belirlenmiştir.

Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçlarına göre; uygulanan işlemler sonucunda kontrol örneğinde %0.11 olan EDN içeriğinin EDNİZU'da ortalama %3.29'a yükseldiği ve EDN içeriğinin yaklaşık 30 kat arttığı tespit edilmiştir. Kontrol örneğinde ise EDN içeriğinin oldukça düşük olması nedeniyle bu örnekteki nişastanın tamamına yakınının çözünebilir nitelikte olduğu değerlendirilmiştir.

Depolamayla birlikte her iki örneğin de EDN içeriklerinde değişim olmamıştır. EDNİZU'nun nem içeriğinin oldukça düşük olması nedeniyle retrogradasyonu tetikleyecek bir durum oluşmadığından depolama esnasında EDN oluşumunun sabit kaldığı düşünülmektedir. Kontrol örneğinde ise EDN'nin; buğdayın kendi doğasından ve çok düşük miktarda da buğdayın öğütülmesi sırasında uygulanan fiziksel kuvvetler sonucunda ortaya çıkan ısı oluşumundan ileri geldiği değerlendirilmiştir.

Jelatinize edildikten sonra jel halinde  $+4^{\circ}\text{C}$ 'de 2 gün depolanan normal mısır nişastasında %9.9 oranında EDN tespit edilirken, 8 gün depolanan mısır nişastasında %21.4 oranında EDN tespit edilmiştir (Zhou vd 2013). Bu nedenle retrogradasyona bağlı EDN oluşumunda ortamda bulunan nem içeriğinin büyük bir etkiye sahip olduğu düşünülmektedir.

Çizelge 4.23. EDNİZU ve kontrol örneğinin depolama boyunca takip edilen EDN içeriklerindeki % miktar değişimine ait I. ve II. tekerrür verileri

Depolama (gün)	Örnek	
	Un (Kontrol)	EDNİZU
0.	0.22	3.27
	0.22	3.25
30.	0.11	3.32
	0.11	3.33
60.	0.25	3.25
	0.25	3.31

Çizelge 4.24. EDNİZU ve kontrol örneğinin depolama boyunca takip edilen EDN içeriklerindeki % miktar değişimine ait varyans analizi sonuçları

Varyasyon Kaynağı	EDN İçeriği (%)		
	SD	KO	F
Örnek	1	28.8	10075.50**
Depolama	2	0.002	0.81
Hata	8	0.003	

\*\* p<0.01, \* 0.01<p<0.05, - p>0.05

Çizelge 4.25. EDNİZU ve kontrol örneğinin depolama boyunca takip edilen EDN içeriklerindeki % miktar değişimine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları ( $\pm$  Standart hata)

Örnek	N	EDN İçeriği (%)
Un (Kontrol)	6	0.19 <sup>b</sup> $\pm$ 0.03
EDNİZU	6	3.29 <sup>a</sup> $\pm$ 0.01
<i>Önem seviyesi</i>		**
Depolama (gün)		
0.	4	1.74 <sup>a</sup> $\pm$ 0.88
30.	4	1.72 <sup>a</sup> $\pm$ 0.93
60.	4	1.77 <sup>a</sup> $\pm$ 0.87
<i>Önem seviyesi</i>		-

*Önem seviyesi*: \*\* p<0.01, \* 0.01<p<0.05, - p>0.05 (önemsiz)

#### 4.4.1.4. EDNİZU'nun tahmini glisemik indeks değeri üzerine depolamanın etkisi

EDNİZU ve kontrol örneği bisküvilik beyaz unun depolama boyunca takip edilen toplam nişasta hidrolizine ait grafikler (hidroliz eğrileri) Şekil 4.26'da, tahmini glisemik indeks (tGI) değeri ve tGI'in hesaplanmasında kullanılan  $C_{\infty}$ , k ve hidroliz indeksi (HI) değerlerindeki değişime ait I. ve II. tekerrür verileri Çizelge 4.26'da, bu verilere ait varyans analizi sonuçları Çizelge 4.27'de ve varyasyon kaynaklarının ortalamalarına ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları Çizelge 4.28'de verilmiştir.

Varyans analizi sonuçlarına göre; EDNİZU ile kontrol örneği arasında HI ve tGI değeri açısından istatistiksel olarak önemli (p<0.01) bir fark olduğu tespit edilirken depolamanın bu değerler üzerinde önemli (p>0.05) bir fark meydana getirmediği belirlenmiştir. Benzer şekilde katkılama oranı ve depolama süresi değişimiyle hidrolize olan nişastanın denge anındaki konsantrasyonunu veren  $C_{\infty}$  değerinde de önemli (p>0.05) bir fark oluşmamıştır.

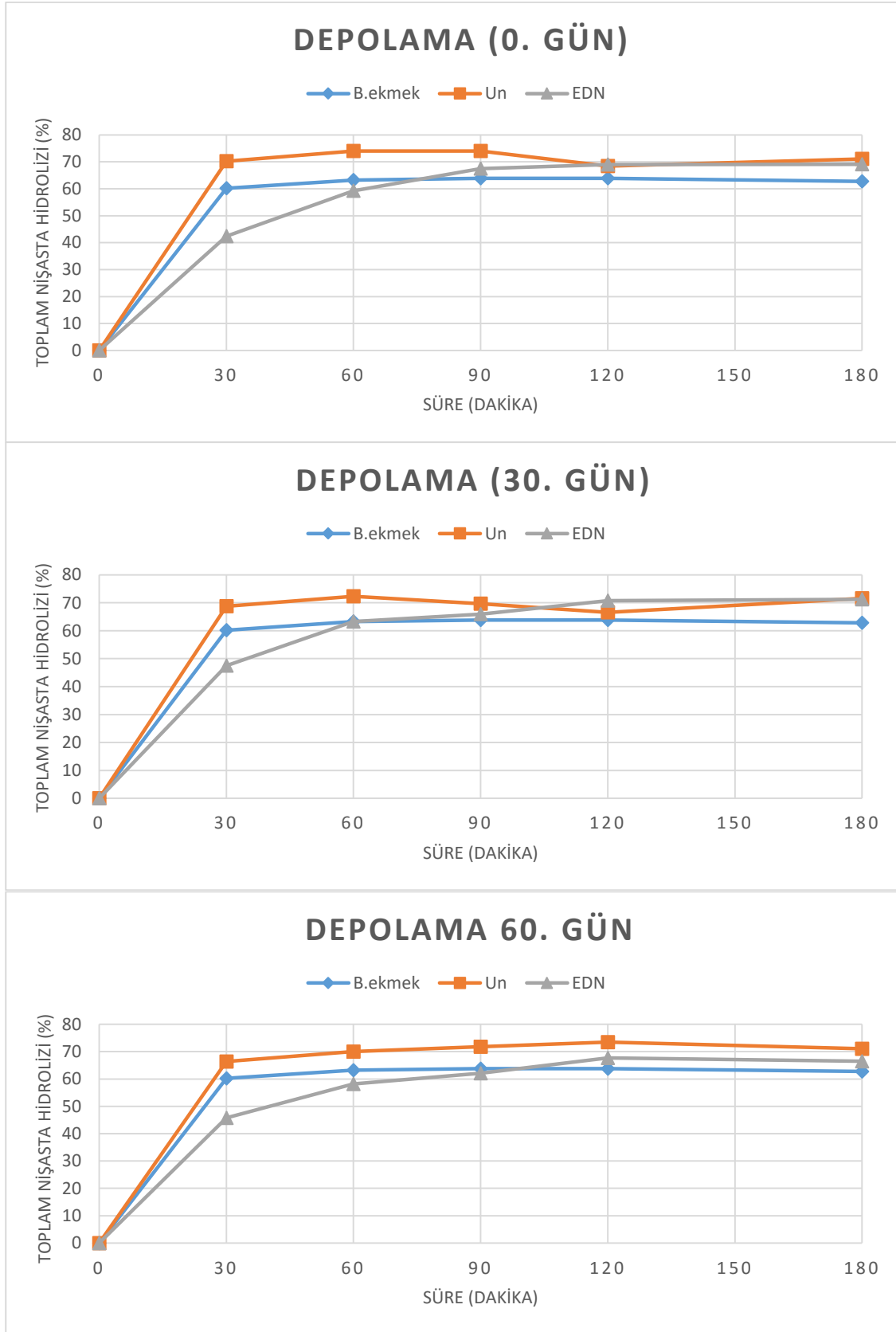
Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçlarına göre; EDNİZU'nun hidroliz indeksi (HI) ve tGI değerinin kontrol örneğine göre daha düşük olduğu tespit edilmiştir.



Tüm gıdalar için glikoz ve beyaz ekmeğin referans örnek olarak alındığı iki tGI değeri hesaplanabilmektedir. Araştırmada da tGI değerinin hesaplanmasında beyaz ekmeğin referans olarak alınmış ancak sonuçlar glikoz referansına dönüştürülerek verilmiştir. tGI bir referans gıda örneğinden diğerine  $GI(\text{ekmek}) = 1.43 \times GI(\text{glikoz})$  formülü kullanılarak dönüştürülebilmektedir (Schakel vd 2008). Buna göre glisemik indeks 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 bu sınıflandırmaya göre kontrol örneği yüksek glisemik indekse sahip gıda grubuna girerken, EDNİZU örneği ise orta glisemik indekse sahip gıda grubunda yer almaktadır.

Gölevez nişastasından EDN üretiminin gerçekleştirildiği bir çalışmada jelatinizasyon ve sonrasında gerçekleştirilen retrogradasyon sonucu EDN içeriğindeki artmaya bağlı olarak tGI değerinin de düştüğü tespit edilmiştir (Şimşek 2011).





Şekil 4.26. EDNİZU ve kontrol örneğinin depolama boyunca takip edilen toplam nişasta hidrolizine ait grafikler

Çizelge 4.26. EDNİZU ve kontrol örneğinin depolama boyunca takip edilen tahmini glisemik indeks (tGI) değeri ve tGI'in hesaplanmasında kullanılan  $C_{\infty}$ , k ve hidroliz indeksi (HI) değerlerindeki değişime ait I. ve II. tekerrür verileri

Depolama (gün)	Örnek	$C_{\infty}$	k	HI	tGI
0.	Un (Kontrol)	71.87	0.13	114.73	71.81
		71.86	0.14	115.09	71.95
	EDNİZU	70.43	0.03	96.64	64.87
		70.44	0.04	99.96	66.14
30.	Un (Kontrol)	70.02	0.14	112.11	70.81
		70.04	0.15	112.47	70.95
	EDNİZU	70.71	0.04	100.19	66.23
		70.74	0.04	101.74	66.83
60.	Un (Kontrol)	71.76	0.09	112.01	70.77
		71.78	0.09	112.17	70.83
	EDNİZU	66.44	0.04	94.41	64.02
		66.46	0.05	98.34	65.52

Çizelge 4.27. EDNİZU ve kontrol örneğinin depolama boyunca takip edilen tahmini glisemik indeks (tGI) değeri ve tGI'in hesaplanmasında kullanılan  $C_{\infty}$ , k ve hidroliz indeksi (HI) değerlerindeki değişime ait varyans analizi sonuçları

Varyasyon Kaynağı	SD	$C_{\infty}$		k		HI		tGI	
		KO	F	KO	F	KO	F	KO	F
Örnek	1	12.22	5.25	0.02	68.97**	635.11	166.16**	93.58	167.09**
Depolama	2	4.24	1.82	0.001	2.18	7.58	1.98	1.11	1.99
Hata	8	2.33		0.0003		3.82		0.56	

\*\*  $p < 0.01$ , \*  $0.01 < p < 0.05$ , -  $p > 0.05$

Çizelge 4.28. EDNİZU ve kontrol örneğinin depolama boyunca takip edilen tahmini glisemik indeks (tGI) değeri ve tGI'in hesaplanmasında kullanılan  $C_{\infty}$ , k ve hidroliz indeksi (HI) değerlerindeki değişime ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları ( $\pm$  Standart hata)

Örnek çeşidi	N	$C_{\infty}$	k	HI	tGI
Un (Kontrol)	6	71.22 <sup>a</sup> $\pm$ 0.38	0.12 <sup>a</sup> $\pm$ 0.01	113.10 <sup>a</sup> $\pm$ 0.58	71.19 <sup>a</sup> $\pm$ 0.22
EDNİZU	6	69.20 <sup>a</sup> $\pm$ 0.87	0.04 <sup>b</sup> $\pm$ 0.00	98.55 <sup>b</sup> $\pm$ 1.09	65.60 <sup>b</sup> $\pm$ 0.42
Önem seviyesi		-	**	**	**
Depolama (gün)					
0.	4	71.15 <sup>a</sup> $\pm$ 0.41	0.09 <sup>a</sup> $\pm$ 0.03	106.61 <sup>a</sup> $\pm$ 4.84	68.69 <sup>a</sup> $\pm$ 1.86
30.	4	70.38 <sup>a</sup> $\pm$ 0.20	0.09 <sup>a</sup> $\pm$ 0.03	106.63 <sup>a</sup> $\pm$ 3.29	68.71 <sup>a</sup> $\pm$ 1.26
60.	4	69.11 <sup>a</sup> $\pm$ 1.54	0.08 <sup>a</sup> $\pm$ 0.01	104.23 <sup>a</sup> $\pm$ 4.61	67.79 <sup>a</sup> $\pm$ 1.77
Önem seviyesi		-	-	-	-

Önem seviyesi: \*\*  $p < 0.01$ , \*  $0.01 < p < 0.05$ , -  $p > 0.05$  (önemsiz)

#### 4.4.2. Bisküvi örneklerinin değerlendirilmesi

##### 4.4.2.1. Farklı oranlarda EDNİZU ilavesinin bisküvilerin bazı fiziksel özelliklerinde pişme sonrası meydana gelen değişimler üzerine etkisi

Farklı oranlarda EDNİZU ilavesiyle üretilen bisküvilerin pişme sonrası ağırlık, çap ve kalınlık değerlerinde meydana gelen değişimlere ait I. ve II. tekerrür verileri Çizelge 4.29'da, bu verilere ait varyans analizi sonuçları Çizelge 4.30'da ve varyasyon kaynaklarının ortalamalarına ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları Çizelge 4.31'de verilmiştir.

Varyans analizi sonuçlarına göre; farklı oranlarda EDNİZU ilavesinin üretilen bisküvilerin pişme sonrası çap ve kalınlık değerleri üzerinde istatistiksel olarak önemli ( $p < 0.05$ ;  $p < 0.01$ ) bir etkiye sahip olduğu, ancak ağırlık değerleri üzerinde ise önemli ( $p > 0.05$ ) bir etkisinin bulunmadığı tespit edilmiştir.

Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçlarına göre; EDNİZU'nun bisküvi içerisine katılanma oranının artmasıyla çapın artış gösterdiği, kalınlığın ise azaldığı belirlenmiştir. Üretilen bisküvilerin çap ve kalınlıklarında meydana gelen bu durumun; bisküvi içerisine katılan EDNİZU'daki glutenin zenginleştirme işlemi sırasında denatüre olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Gluten yapının denatüre olması hamur elastikiyetinin azalmasına neden olmuş ve bu nedenle de sağlam bir hamur yapısı oluşmamıştır.

Pişme sonrası en küçük çapa sahip olan ve en kalın örneğin kontrol olarak üretilen ve içerisinde EDNİZU bulunmayan örnek olduğu tespit edilmiştir. Kontrol örneğinde kullanılan unun gluten yapısının, üretilmiş olan EDNİZU'ya göre daha sağlam olması nedeniyle bisküvide yapı oluşumunun desteklendiği ve bu durumun hacim artışını sağladığı değerlendirilmiştir.

Mısır nişastasından üretilen ve %15.3 EDN içeren örneğin artan oranlarda bisküviye katkılanmasıyla yapılan bir çalışmada, katkılama oranının artmasıyla bisküvi çapı azalmış, kalınlığı ise artmıştır (Özbaş ve Köksel 2006). Elde edilen sonuçlarla literatür arasındaki bu farklılığın temel sebebi olarak EDN üretiminde kullanılan materyal ve üretim yönteminin farklılığı olduğu değerlendirilmiştir.

Çizelge 4.29. Farklı oranlarda EDNİZU ilavesiyle üretilen bisküvilerin pişme sonrası ağırlık, çap ve kalınlık değerlerinde meydana gelen değişimlere ait I. ve II. tekerrür verileri

Katkılama Oranı (%)	Ağırlık Kaybı (%)	Çap (mm)	Kalınlık (mm)
0	30.27	43.40	4.20
	32.16	43.00	3.60
25	31.80	47.00	3.40
	31.79	46.20	3.40
50	30.96	48.00	2.40
	30.69	47.80	2.60
75	31.31	47.60	2.20
	30.74	48.00	2.60

Çizelge 4.30. Farklı oranlarda EDNİZU ilavesiyle üretilen bisküvilerin pişme sonrası ağırlık, çap ve kalınlık değerlerinde meydana gelen değişimlere ait varyans analizi sonuçları

Varyasyon Kaynağı	SD	Ağırlık kaybı (%)		Çap (mm)		Kalınlık (mm)	
		KO	F	KO	F	KO	F
Katkılama Oranı	3	0.35	0.70	9.66	77.27**	1.05	14.95*
Hata	4	0.5		0.13		0.07	

\*\* p<0.01, \* 0.01<p<0.05, - p>0.05

Çizelge 4.31. Farklı oranlarda EDNİZU ilavesiyle üretilen bisküvilerin pişme sonrası ağırlık, çap ve kalınlık değerlerinde meydana gelen değişimlere ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları ( $\pm$  Standart hata)

Katkılama Oranı (%)	N	Ağırlık kaybı (%)	Çap (mm)	Kalınlık (mm)
0	2	31.22 <sup>a</sup> $\pm$ 0.95	43.20 <sup>c</sup> $\pm$ 0.20	3.90 <sup>a</sup> $\pm$ 0.30
25	2	31.80 <sup>a</sup> $\pm$ 0.01	46.60 <sup>b</sup> $\pm$ 0.40	3.40 <sup>a</sup> $\pm$ 0.00
50	2	30.83 <sup>a</sup> $\pm$ 0.14	47.90 <sup>a</sup> $\pm$ 0.10	2.50 <sup>b</sup> $\pm$ 0.10
75	2	31.03 <sup>a</sup> $\pm$ 0.29	47.80 <sup>a</sup> $\pm$ 0.20	2.40 <sup>b</sup> $\pm$ 0.20
Önem seviyesi		-	**	*

Önem seviyesi: \*\* p<0.01, \* 0.01<p<0.05, - p>0.05 (önemsiz)

#### 4.4.2.2. Farklı oranlarda EDNİZU ilavesinin ve depolamanın bisküvilerin renk değerleri üzerine etkisi

Farklı oranlarda EDNİZU ilavesiyle üretilen bisküvilerin depolama boyunca takip edilen renk değerlerindeki değişime ait I. ve II. tekerrür verileri Çizelge 4.32’de, bu verilere ait varyans analizi sonuçları Çizelge 4.33’te ve varyasyon kaynaklarının ortalamalarına ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları Çizelge 4.34’te verilmiştir.

Varyans analizi sonuçlarına göre; farklı oranlarda EDNİZU ilavesinin üretilen bisküvilerin L\* değerleri üzerinde, depolamanın ise L\* (siyahlık-beyazlık), a\* (yeşilik-kırmızılık) ve b\* (mavilik-sarılık) değerlerinin her biri üzerinde istatistiksel olarak önemli ( $p < 0.01$ ) bir etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir. Ancak; bisküvilerin a\* ve b\* değerleri üzerinde farklı oranlarda EDNİZU ilavesinin önemli ( $p > 0.05$ ) bir etkisinin bulunmadığı belirlenmiştir.

Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçlarına göre; EDNİZU’nun bisküvi içerisine katılanma oranının artmasıyla L\* değerinin azaldığı, dolayısıyla da rengin koyulaştığı tespit edilmiştir. EDNİZU’nun bisküvilik una kıyasla daha koyu renkte olması bisküvi renginin de koyulaşmasına neden olmuştur. Bisküvilerin a\* ve b\* değerleri üzerinde ise katkılama oranı önemli bir fark oluşturmamıştır.

Depolama süreleri incelendiğinde ise depolama süresinin artmasıyla bisküvilerin L\* ve b\* değerlerinin arttığı, a\* değerinin ise azaldığı tespit edilmiş ve bu sonuçlara göre depolamayla rengin açıldığı değerlendirilmiştir. Renkte meydana gelen bu açılmanın oksidasyon kaynaklı olabileceği düşünülmektedir.

Çizelge 4.32. Farklı oranlarda EDNİZU ilavesiyle üretilen bisküvilerin depolama boyunca takip edilen renk değerlerindeki değişime ait I. ve II. tekerrür verileri

Depolama (gün)	Katkılama Oranı (%)	L*	a*	b*
0.	0	66.04	0.08	33.15
		68.11	-0.10	22.53
	25	72.34	0.09	29.14
		69.04	-0.62	21.54
	50	70.46	0.71	29.63
		65.68	0.27	21.91
75	61.85	1.07	27.44	
	58.74	1.08	20.81	
30.	0	72.13	1.23	38.45
		73.91	-2.60	34.57
	25	75.49	-2.28	36.00
		75.89	-3.49	34.60
	50	72.22	-3.35	31.58
		72.30	-2.63	34.46
75	68.19	-2.78	31.48	
	65.58	-1.15	33.92	
60.	0	74.67	-4.28	30.91
		76.28	-4.76	30.12
	25	75.50	-3.28	32.84
		74.38	-3.99	32.21
	50	71.20	-3.64	29.69
		73.13	-3.99	30.17
75	66.41	-3.57	29.80	
	66.41	-2.76	31.14	

Çizelge 4.33. Farklı oranlarda EDNİZU ilavesiyle üretilen bisküvilerin depolama boyunca takip edilen renk değerlerindeki değişime ait varyans analizi sonuçları

Varyasyon Kaynağı	SD	L*		a*		b*	
		KO	F	KO	F	KO	F
Katkılama Oranı	3	96.10	36.53**	0.99	0.95	8.57	0.90
Depolama	2	82.99	31.54**	34.15	32.95**	150.03	15.81**
Hata	18	2.63		1.04		9.49	

\*\* p<0.01, \* 0.01<p<0.05, - p>0.05

Çizelge 4.34. Farklı oranlarda EDNİZU ilavesiyle üretilen bisküvilerin depolama boyunca takip edilen renk değerlerindeki değişime ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları ( $\pm$  Standart hata)

Katkılama Oranı (%)	N	L*	a*	b*
0	6	71.86 <sup>ab</sup> $\pm$ 1.63	-1.74 <sup>a</sup> $\pm$ 1.02	31.62 <sup>a</sup> $\pm$ 2.18
25	6	73.77 <sup>a</sup> $\pm$ 1.08	-2.26 <sup>a</sup> $\pm$ 0.68	31.06 <sup>a</sup> $\pm$ 2.13
50	6	70.83 <sup>b</sup> $\pm$ 1.10	-2.11 <sup>a</sup> $\pm$ 0.84	29.57 <sup>a</sup> $\pm$ 1.70
75	6	64.53 <sup>c</sup> $\pm$ 1.44	-1.35 <sup>a</sup> $\pm$ 0.83	29.10 <sup>a</sup> $\pm$ 1.87
<i>Önem seviyesi</i>		**	-	-
<b>Depolama (gün)</b>				
0.	8	66.53 <sup>b</sup> $\pm$ 1.59	0.32 <sup>a</sup> $\pm$ 0.21	25.77 <sup>c</sup> $\pm$ 1.64
30.	8	71.96 <sup>a</sup> $\pm$ 1.25	-2.13 <sup>b</sup> $\pm$ 0.54	34.38 <sup>a</sup> $\pm$ 0.80
60.	8	72.25 <sup>a</sup> $\pm$ 1.38	-3.78 <sup>c</sup> $\pm$ 0.22	30.86 <sup>b</sup> $\pm$ 0.41
<i>Önem seviyesi</i>		**	**	**

*Önem seviyesi:* \*\*  $p < 0.01$ , \*  $0.01 < p < 0.05$ , -  $p > 0.05$  (önemsiz)

#### 4.4.2.3. Farklı oranlarda EDNİZU ilavesinin ve depolamanın bisküvilerin sertlik ve kırılabilirlik değerleri üzerine etkisi

Farklı oranlarda EDNİZU ilavesiyle üretilen bisküvilerin depolama boyunca takip edilen sertlik ve kırılabilirlik değerlerindeki değişime ait I. ve II. tekerrür verileri Çizelge 4.35'te, bu verilere ait varyans analizi sonuçları Çizelge 4.36'da ve varyasyon kaynaklarının ortalamalarına ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları Çizelge 4.37'de verilmiştir.

Varyans analizi sonuçlarına göre; farklı oranlarda EDNİZU ilavesinin ve depolamanın üretilen bisküvilerin sertlik ve kırılabilirlik değerleri üzerinde istatistiksel olarak önemli ( $p < 0.05$ ;  $p < 0.01$ ) bir etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir.

Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçlarına göre; EDNİZU'nun bisküvi içerisine katılanma oranının artmasıyla bisküvilerdeki sertliğin azaldığı belirlenmiştir. Literatürdeki bir çalışmada ise saf nişastadan üretilen EDN örneğinin bisküvi içerisine yağ ikamesi olarak artan oranlarda ilave edilmesiyle bisküvilerdeki sertlik değeri artmıştır (Özbaş ve Köksel 2006). Literatürdeki bu farklılığın yağ yerine EDN kullanılmasından dolayı olduğu düşünülmektedir. Çünkü yağ; bisküvilerin yapı ve lezzetini önemli derecede etkileyen temel bileşenlerden biridir ve ürünü daha az sert ancak daha gevrek bir hale getirmektedir (O'Brien vd 2003).

Farklı nişasta kaynaklarından üretilen EDN örneklerinin bisküvi içerisine farklı oranlarda katılanmasıyla gerçekleştirilen bir çalışmada ise bisküvilerin sertlik değerleri EDN kaynağına göre değişiklik göstermiş ve EDN'nin katılanma oranı arttıkça genel olarak bisküvilerin sertlik değerleri azalmıştır (Wang vd 2014).



Bisküvi örneklerindeki yüksek kırılma oranı %0 ve %25 oranında EDNİZU ilavesiyle üretilen örneklerde tespit edilirken, düşük kırılma oranı %50 ve %75 oranlarıyla üretilen bisküvilerde tespit edilmiştir.

Buğday unuyla üretilen ürünlerde pişme sırasında yapının oluşmasını ve tekstürün iyileşmesini gluten proteini sağlamaktadır (Dizlek 2012). EDNİZU'nun gluten yapısının zarar görmüş olması ve ayrıca nişastanın granül yapısının da bozulması nedeniyle üretilen bisküvilerin tekstürlerinin de bu durumdan etkilendiği bu sebeple sertlik ve kırılma oranı değerlerinin EDNİZU'nun katkı oranı arttıkça azaldığı düşünülmektedir. Ayrıca bisküvilerin nem içeriklerinin artan katkı oranıyla birlikte yükselmesinin de sertlik ve kırılma oranı değerlerinin azalması üzerinde etkili olabileceği değerlendirilmiştir.

Depolama süresince en yüksek sertlik değeri 0. ve 30. günde, en yüksek kırılma oranı değeri ise 60. günde belirlenmiştir. Ürün içerisindeki nem içeriğinin depolamaya bağlı olarak artması sonucu sertlik ve kırılma oranında değişim meydana geldiği düşünülmektedir.

Çizelge 4.35. Farklı oranlarda EDNİZU ilavesiyle üretilen bisküvilerin depolama boyunca takip edilen sertlik ve kırılgenlık değęerindeki değışime ait I. ve II. tekerrür verileri

Depolama (gün)	Katkılama Oranı (%)	Sertlik (g)	Kırılgenlık (mm)
0.	0	3163.85	35.74
		1909.67	34.75
	25	1156.75	34.75
		1807.71	34.07
	50	915.78	33.57
		578.05	32.58
75	361.40	33.63	
	351.47	33.81	
30.	0	2176.60	35.27
		1636.44	34.90
	25	1205.08	34.18
		1469.67	34.07
	50	865.16	32.77
		519.63	32.87
75	330.93	31.36	
	348.18	33.41	
60.	0	1189.34	35.30
		1363.22	35.82
	25	1253.41	35.03
		1131.63	35.33
	50	814.54	34.10
		461.21	34.40
75	300.47	34.34	
	344.89	35.57	

Çizelge 4.36. Farklı oranlarda EDNİZU ilavesiyle üretilen bisküvilerin depolama boyunca takip edilen sertlik ve kırılgenlık değęerindeki değışime ait varyans analizi sonuçları

Varyasyon Kaynağı	SD	Sertlik (g)		Kırılgenlık (mm)	
		KO	F	KO	F
Katkılama Oranı	3	2894767.58	22.16**	4.54	11.79**
Depolama	2	358274.78	2.74*	3.91	10.16**
Hata	18	130629.67		0.38	

\*\* p<0.01, \* 0.01<p<0.05, - p>0.05

Çizelge 4.37. Farklı oranlarda EDNİZU ilavesiyle üretilen bisküvilerin depolama boyunca takip edilen sertlik ve kırılgenlık değeriindeki değışime ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları ( $\pm$  Standart hata)

Katkılama Oranı (%)	N	Sertlik (g)	Kırılgenlık (mm)
0	6	1906.50 <sup>a</sup> $\pm$ 290.76	35.30 <sup>a</sup> $\pm$ 0.18
25	6	1337.40 <sup>b</sup> $\pm$ 106.18	34.57 <sup>a</sup> $\pm$ 0.22
50	6	692.40 <sup>c</sup> $\pm$ 79.80	33.38 <sup>b</sup> $\pm$ 0.31
75	6	339.60 <sup>c</sup> $\pm$ 8.80	33.69 <sup>b</sup> $\pm$ 0.56
<i>Önem seviyesi</i>		**	**
<b>Depolama (gün)</b>			
0.	8	1280.60 <sup>a</sup> $\pm$ 342.53	34.11 <sup>b</sup> $\pm$ 0.34
30.	8	1069.00 <sup>ab</sup> $\pm$ 236.62	33.60 <sup>b</sup> $\pm$ 0.45
60.	8	857.30 <sup>b</sup> $\pm$ 154.09	34.99 <sup>a</sup> $\pm$ 0.22
<i>Önem seviyesi</i>		*	**

*Önem seviyesi:* \*\*  $p < 0.01$ , \*  $0.01 < p < 0.05$ , -  $p > 0.05$  (önemsiz)

#### 4.4.2.4. Farklı oranlarda EDNİZU ilavesinin ve depolamanın bisküvilerin nem içerikleri üzerine etkisi

Farklı oranlarda EDNİZU ilavesiyle üretilen bisküvilerin depolama boyunca takip edilen nem içeriklerindeki % miktar değışimine ait I. ve II. tekerrür verileri Çizelge 4.38'de, bu verilere ait varyans analizi sonuçları Çizelge 4.39'da ve varyasyon kaynaklarının ortalamalarına ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları Çizelge 4.40'ta verilmiştir.

Varyans analizi sonuçlarına göre; farklı oranlarda EDNİZU ilavesinin ve depolamanın üretilen bisküvilerin nem içerikleri üzerinde istatistiksel olarak önemli ( $p < 0.01$ ) bir etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir.

Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçlarına göre; EDNİZU'nun bisküvi içerisine katılanma oranının artmasıyla bisküvilerdeki nem içeriğinin de arttığı belirlenmiştir. Katılama oranının artmasıyla bisküvilerin nem içeriklerinde meydana gelen bu artış üzerinde EDNİZU'nun bünyesinde daha fazla su tutabilmesinin etkili olduğu düşünülmektedir. Piyasadan toplanan bisküvi örnekleri üzerinde yapılan bir çalışmada bisküvi çeşitlerindeki nem oranının %2.1 ila %7.7 arasında değıştiği tespit edilmiştir (Özkaya vd 1984).

Depolama süresinin artmasıyla bisküvilerdeki nem içeriğinin %4.39'dan %6.18'e çıktığı tespit edilmiştir. Bisküvilerin depolanmasında kullanılan ambalaj materyalinin belirli bir gaz ve su buharı geçirgenliğine sahip olması nedeniyle bu artışın gerçekleştiği düşünülmektedir. Yapılan bir çalışmada da; depolama süresinin artmasıyla birlikte bisküvi örneklerinin ortam nemini absorbe etmesi nedeniyle %nem içeriklerinin arttığı bildirilmiştir (Gündoğdu Sertakan 2006).

Çizelge 4.38. Farklı oranlarda EDNİZU ilavesiyle üretilen bisküvilerin depolama boyunca takip edilen nem içeriklerindeki % miktar değişimine ait I. ve II. tekerrür verileri

Depolama (gün)	Katkılama Oranı (%)			
	0	25	50	75
0.	3.50	2.88	4.22	4.50
	1.42	4.65	5.52	8.41
30.	5.47	4.74	6.03	5.75
	4.54	5.47	7.22	7.87
60.	5.42	5.66	6.24	7.23
	5.38	5.91	5.85	7.77

Çizelge 4.39. Farklı oranlarda EDNİZU ilavesiyle üretilen bisküvilerin depolama boyunca takip edilen nem içeriklerindeki % miktar değişimine ait varyans analizi sonuçları

Varyasyon Kaynağı	Nem İçeriği (%)		
	SD	KO	F
Katkılama Oranı	3	7.97	7.16**
Depolama	2	7.41	6.65**
Hata	18	1.11	

\*\* p<0.01, \* 0.01<p<0.05, - p>0.05

Çizelge 4.40. Farklı oranlarda EDNİZU ilavesiyle üretilen bisküvilerin depolama boyunca takip edilen nem içeriklerindeki % miktar değişimine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları (± Standart hata)

Katkılama Oranı (%)	N	Nem İçeriği (%)
0	6	4.29 <sup>c</sup> ± 0.65
25	6	4.89 <sup>bc</sup> ± 0.45
50	6	5.85 <sup>ab</sup> ± 0.40
75	6	6.92 <sup>a</sup> ± 0.61
<i>Önem seviyesi</i>		**
Depolama (gün)		
0.	8	4.39 <sup>b</sup> ± 0.73
30.	8	5.89 <sup>a</sup> ± 0.41
60.	8	6.18 <sup>a</sup> ± 0.31
<i>Önem seviyesi</i>		**

Önem seviyesi: \*\* p<0.01, \* 0.01<p<0.05, - p>0.05 (önemsiz)

#### 4.4.2.5. Farklı oranlarda EDNİZU ilavesinin ve depolamanın bisküvilerin EDN içerikleri üzerine etkisi

Farklı oranlarda EDNİZU ilavesiyle üretilen bisküvilerin depolama boyunca takip edilen EDN içeriklerindeki % miktar değişimine ait I. ve II. tekerrür verileri Çizelge 4.41'de, bu verilere ait varyans analizi sonuçları Çizelge 4.42'de ve varyasyon kaynaklarının ortalamalarına ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları Çizelge 4.43'te verilmiştir.

Varyans analizi sonuçlarına göre; farklı oranlarda EDNİZU ilavesinin üretilen bisküvilerin EDN içerikleri üzerinde istatistiksel olarak önemli ( $p < 0.01$ ) bir etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir. Depolamanın ise bisküvilerin EDN içeriklerini önemli ( $p > 0.05$ ) bir şekilde etkilemediği belirlenmiştir.

Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçlarına göre; EDNİZU'nun bisküvi içerisine katılanma oranının artmasıyla bisküvilerdeki EDN içeriği de artmış ve kontrol örneğinde %0.44 olarak tespit edilen EDN içeriği, %75 oranında EDNİZU ile katılanan örnekte %2.84 olarak tespit edilmiştir. Depolama süresinin artmasıyla ise bisküvilerin EDN içeriklerinde herhangi bir değişiklik belirlenmemiştir.

Çizelge 4.41. Farklı oranlarda EDNİZU ilavesiyle üretilen bisküvilerin depolama boyunca takip edilen EDN içeriklerindeki % miktar değişimine ait I. ve II. tekerrür verileri

Depolama (gün)	Katkılama Oranı (%)			
	0	25	50	75
0.	0.34	1.25	1.99	2.72
	0.39	1.55	1.93	2.75
30.	0.44	1.21	2.01	2.83
	0.45	1.44	1.95	3.23
60.	0.40	1.17	2.05	2.76
	0.59	1.23	1.87	2.72

Çizelge 4.42. Farklı oranlarda EDNİZU ilavesiyle üretilen bisküvilerin depolama boyunca takip edilen EDN içeriklerindeki % miktar değişimine ait varyans analizi sonuçları

Varyasyon Kaynağı	EDN İçeriği (%)		
	SD	KO	F
Katkılama Oranı	3	6.19	344.25**
Depolama	2	0.02	1.18
Hata	18	0.02	

\*\*  $p < 0.01$ , \*  $0.01 < p < 0.05$ , -  $p > 0.05$

Çizelge 4.43. Farklı oranlarda EDNİZU ilavesiyle üretilen bisküvilerin depolama boyunca takip edilen EDN içeriklerindeki % miktar değişimine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları ( $\pm$  Standart hata)

Katkılama Oranı (%)	N	EDN İçeriği (%)
0	6	0.44 <sup>d</sup> $\pm$ 0.03
25	6	1.31 <sup>c</sup> $\pm$ 0.06
50	6	1.97 <sup>b</sup> $\pm$ 0.03
75	6	2.84 <sup>a</sup> $\pm$ 0.08
<i>Önem seviyesi</i>		**
<b>Depolama (gün)</b>		
0.	8	1.62 <sup>a</sup> $\pm$ 0.33
30.	8	1.70 <sup>a</sup> $\pm$ 0.36
60.	8	1.60 <sup>a</sup> $\pm$ 0.32
<i>Önem seviyesi</i>		-

*Önem seviyesi:* \*\*  $p < 0.01$ , \*  $0.01 < p < 0.05$ , -  $p > 0.05$  (önemsiz)

#### 4.4.2.6. Farklı oranlarda EDNİZU ilavesinin ve depolamanın bisküvilerin tahmini glisemik indeks değerleri üzerine etkisi

Farklı oranlarda EDNİZU ilavesiyle üretilen bisküvilerin depolama boyunca takip edilen toplam nişasta hidrolizine ait grafikler (hidroliz eğrileri) Şekil 4.27’de, tahmini glisemik indeks (tGI) değeri ve tGI’in hesaplanmasında kullanılan  $C_{\infty}$ , k ve hidroliz indeksi (HI) değerlerindeki değişime ait I. ve II. tekerrür verileri Çizelge 4.44’te, bu verilere ait varyans analizi sonuçları Çizelge 4.45’te ve varyasyon kaynaklarının ortalamalarına ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları Çizelge 4.46’da verilmiştir.

Varyans analizi sonuçlarına göre; farklı oranlarda EDNİZU ilavesinin ve depolamanın; üretilen bisküvilerin denge anındaki hidrolize olan nişasta konsantrasyonları ( $C_{\infty}$ ), hidroliz indeksleri (HI) ve dolayısıyla da tGI değerleri üzerinde istatistiksel olarak önemli ( $p < 0.05$ ;  $p < 0.01$ ) bir etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir.

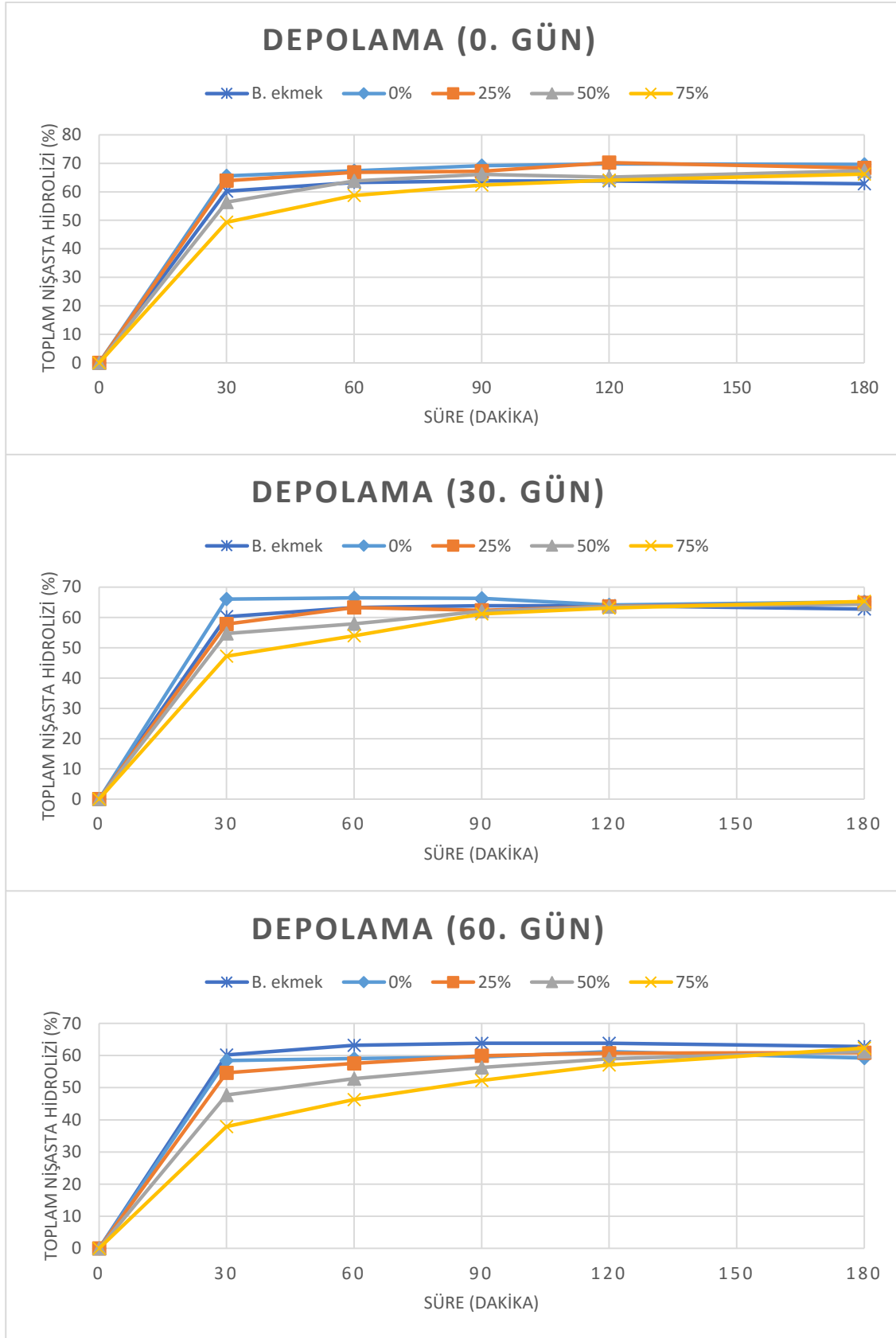
Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçlarına göre; EDNİZU’nun bisküvi içerisine katılma oranının artmasıyla ve depolama süresinin uzamasıyla bisküvilerin;  $C_{\infty}$ , HI ve dolayısıyla da tGI değerleri azalmıştır. Ancak örneklerin glisemik indeks skalasındaki yeri değişmemiş ve tüm örneklerin orta glisemik indekse sahip gıda grubu içerisinde yer aldığı tespit edilmiştir. Goñi vd (1997) tarafından yapılan bir çalışmada bisküvinin tGI değeri beyaz ekmek referans alındığında 87 olarak tespit edilmiştir. Glikoz dönüşümü yapıldığında bu değer 60.84 düzeyinde olduğu görülmekte ve bisküvinin orta glisemik indekse sahip bir ürün olduğu değerlendirilmektedir.

Bir başka çalışmada nemlendirildikten sonra 180°C’de ısıl işleme tabi tutulan pirinç çeşitlerinin ısıl işlem sonrası +4 °C’de retrograde edilmesiyle tGI değerlerinin düştüğü belirlenmiştir (Frei vd 2003). Araştırma kapsamında da retrogradasyon işlemiyle

EDNİZU üretilmiş ve bu unun bisküvi içerisine katılanmasıyla glisemik indeksi kontrole göre daha düşük olan ürünler elde edilmiştir.

Depolamayla birlikte bisküvilerin EDN içeriklerinde artış meydana gelmemesine rağmen tGI değerlerinde düşme gerçekleşmesinin ise bisküvi içerisinde bulunan protein ve az miktardaki yağ ile ilişkili olduğu düşünülmektedir. Bu durumun; depolama sürecinde yağ ve proteinin nişasta ile olan etkileşimlerinde meydana gelen artıştan ve *in vitro* sindirimde  $\alpha$ -amilazın nişastaya erişimini zorlaştırmasından kaynaklandığı değerlendirilmiştir. Yapılan çalışmalarda da yağ ve protein miktarının gıdaların tGI değerlerini etkilediği belirlenmiştir (Ren vd 2016).





Şekil 4.27. Farklı oranlarda EDNIZU ilavesiyle üretilen bisküvilerin depolama boyunca takip edilen toplam nişasta hidrolizine ait grafikler



Çizelge 4.44. Farklı oranlarda EDNİZU ilavesiyle üretilen bisküvilerin depolama boyunca takip edilen tahmini glisemik indeks (tGI) değeri ve tGI'in hesaplanmasında kullanılan  $C_{\infty}$ , k ve hidroliz indeksi (HI) değerlerindeki değişime ait I. ve II. tekerrür verileri

Depolama (gün)	Katkılama Oranı (%)	$C_{\infty}$	k	HI	tGI	
0.	0	69.95	0.09	109.19	69.69	
		68.27	0.12	108.62	69.47	
	25	68.84	0.09	107.87	69.18	
		67.70	0.09	106.03	68.47	
	50	66.65	0.05	98.30	65.51	
		65.96	0.09	103.35	67.45	
	75	63.93	0.04	91.60	62.94	
		65.07	0.06	97.65	65.26	
	30.	0	65.17	0.14	104.61	67.93
			66.08	0.17	106.62	68.70
25		64.38	0.07	99.11	65.82	
		62.89	0.09	98.66	65.64	
50		62.03	0.06	94.30	63.97	
		63.02	0.07	96.68	64.89	
75		62.62	0.04	90.09	62.36	
		63.73	0.04	92.42	63.25	
60.		0	58.48	0.10	92.39	63.24
			61.14	0.10	96.58	64.85
	25	58.37	0.08	90.52	62.52	
		61.69	0.08	95.61	64.48	
	50	56.31	0.06	84.54	60.23	
		60.76	0.05	89.95	62.30	
	75	56.54	0.03	74.84	56.50	
		62.60	0.03	85.60	60.63	

Çizelge 4.45. Farklı oranlarda EDNİZU ilavesiyle üretilen bisküvilerin depolama boyunca takip edilen tahmini glisemik indeks (tGI) değeri ve tGI'in hesaplanmasında kullanılan  $C_{\infty}$ , k ve hidroliz indeksi (HI) değerlerindeki değişime ait varyans analizi sonuçları

Varyasyon Kaynağı	SD	$C_{\infty}$		k		HI		tGI	
		KO	F	KO	F	KO	F	KO	F
Katkılama Oranı	3	8.59	2.76*	0.01	23.81**	233.69	26.60**	34.42	26.59**
Depolama	2	114.91	36.90**	0.001	2.52*	406.97	46.33**	59.98	46.32**
Hata	18	3.11		0.0003		8.78		1.29	

\*\*  $p < 0.01$ , \*  $0.01 < p < 0.05$ , -  $p > 0.05$

Çizelge 4.46. Farklı oranlarda EDNİZU ilavesiyle üretilen bisküvilerin depolama boyunca takip edilen tahmini glisemik indeks (tGI) değeri ve tGI'in hesaplanmasında kullanılan  $C_{\infty}$ , k ve hidroliz indeksi (HI) değerlerindeki değişime ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları ( $\pm$  Standart hata)

Katkılama Oranı (%)	N	$C_{\infty}$		k		HI		tGI	
0	6	64.85 <sup>a</sup>	$\pm$ 1.77	0.12 <sup>a</sup>	$\pm$ 0.01	103.00 <sup>a</sup>	$\pm$ 2.82	67.31 <sup>a</sup>	$\pm$ 1.08
25	6	63.98 <sup>ab</sup>	$\pm$ 1.59	0.08 <sup>b</sup>	$\pm$ 0.00	99.63 <sup>a</sup>	$\pm$ 2.64	66.02 <sup>a</sup>	$\pm$ 1.01
50	6	62.46 <sup>b</sup>	$\pm$ 1.54	0.06 <sup>b</sup>	$\pm$ 0.01	94.52 <sup>b</sup>	$\pm$ 2.69	64.06 <sup>b</sup>	$\pm$ 1.03
75	6	62.42 <sup>b</sup>	$\pm$ 1.23	0.04 <sup>c</sup>	$\pm$ 0.00	88.70 <sup>c</sup>	$\pm$ 3.19	61.82 <sup>c</sup>	$\pm$ 1.23
<i>Önem seviyesi</i>			*		**		**		**
<b>Depolama (gün)</b>									
0.	8	67.05 <sup>a</sup>	$\pm$ 0.71	0.08 <sup>ab</sup>	$\pm$ 0.01	102.83 <sup>a</sup>	$\pm$ 2.25	67.25 <sup>a</sup>	$\pm$ 0.86
30.	8	63.74 <sup>b</sup>	$\pm$ 0.49	0.09 <sup>a</sup>	$\pm$ 0.02	97.81 <sup>b</sup>	$\pm$ 2.02	65.32 <sup>b</sup>	$\pm$ 0.78
60.	8	59.49 <sup>c</sup>	$\pm$ 0.84	0.07 <sup>b</sup>	$\pm$ 0.01	88.75 <sup>c</sup>	$\pm$ 2.49	61.84 <sup>c</sup>	$\pm$ 0.96
<i>Önem seviyesi</i>			**		*		**		**

*Önem seviyesi:* \*\*  $p < 0.01$ , \*  $0.01 < p < 0.05$ , -  $p > 0.05$  (önemsiz)

#### 4.4.2.7. Farklı oranlarda EDNİZU ilavesinin ve depolamanın bisküvilerin duyuşal özellikleri üzerine etkisi

Farklı oranlarda EDNİZU ilavesiyle üretilen bisküvilerin depolama boyunca takip edilen duyuşal özelliklerindeki puansal değişime ait I. ve II. tekerrür verileri Çizelge 4.47'de, bu verilere ait varyans analizi sonuçları Çizelge 4.48'de ve varyasyon kaynaklarının ortalamalarına ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları Çizelge 4.49'de verilmiştir.

Varyans analizi sonuçlarına göre; farklı oranlarda EDNİZU ilavesinin, üretilen bisküvilerin duyuşal olarak değerlendirilen renk, pişme düzgünlüğü, tekstür, kırılgenlik, koku ve genel beğeni kriterleri üzerinde istatistiksel olarak önemli ( $p < 0.05$ ;  $p < 0.01$ ) bir etkiye sahip olduğu, aroma ve tat üzerinde ise önemli ( $p > 0.05$ ) bir etkisinin bulunmadığı tespit edilmiştir. Depolama süresi dikkate alındığında ise bisküvilerin duyuşal

özelliklerinin depolama süresinden önemli ( $p>0.05$ ) bir şekilde etkilenmediği belirlenmiştir.

Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçlarına göre; tüm duyuşal kriterler ve genel beğeni dikkate alınarak bir değerlendirme yapıldığında artan oranda EDNİZU kullanımının bisküvilerin duyuşal özelliklerini azalttığı tespit edilmiştir. Ancak yine de bisküvilerin tüm duyuşal kriterlerine ait değerlendirme puanı 5 puanlık hedonik skalaya göre 3'ün üzerinde olduğu için bisküvilerin duyuşal olarak kabul edilebilir olduğu düşünülmüştür. Bu nedenle EDNİZU'nun %75 oranına kadar bisküvi üretiminde kullanılabilceği değerlendirilmiştir.



Çizelge 4.47. Farklı oranlarda EDNİZU ilavesiyle üretilen bisküvilerin depolama boyunca takip edilen duyusal özelliklerindeki puansal değişime ait I. ve II. tekerrür verileri

Depolama (gün)	Katkılama Oranı (%)	Renk	Pişme Düzgünlüğü	Tekstür	Kırılgenlik	Koku	Aroma ve Tat	Genel Beğeni	
0.	0	4.13	4.38	4.88	4.25	4.50	4.38	4.25	
		4.00	3.88	4.13	4.00	4.50	4.38	4.63	
	25	4.00	3.88	3.50	2.88	3.75	2.88	3.38	
		3.63	4.25	4.00	4.25	4.25	3.75	4.00	
	50	3.88	3.50	3.63	3.63	4.00	4.25	3.75	
		3.88	3.88	3.13	3.00	4.13	3.75	3.50	
	75	2.38	3.00	3.13	4.13	3.88	4.38	3.75	
		3.00	3.38	2.88	2.75	3.75	3.75	3.50	
	30.	0	2.75	3.50	4.00	3.38	3.88	4.13	3.75
			4.25	4.50	5.00	4.50	4.63	4.50	4.75
25		4.25	4.25	3.88	3.75	4.00	4.13	4.00	
		3.25	3.13	3.88	3.38	4.00	4.13	3.75	
50		3.75	3.75	3.25	3.38	4.00	3.63	3.63	
		3.50	3.75	3.50	3.75	4.13	3.38	3.50	
75		2.50	2.88	3.50	3.00	3.88	4.00	3.50	
		2.75	2.75	2.50	2.50	3.88	2.88	2.63	
60.		0	3.75	3.88	3.75	4.50	4.13	3.88	4.00
			3.63	3.75	3.88	4.13	4.13	4.13	3.88
	25	4.00	4.25	4.13	3.75	4.25	4.50	4.00	
		3.88	4.38	3.75	3.88	3.63	4.25	4.25	
	50	3.38	3.75	3.38	3.88	3.88	3.63	3.38	
		4.00	3.75	3.75	4.00	4.38	4.25	3.88	
	75	3.00	3.63	3.38	3.50	4.13	4.00	3.50	
		3.75	3.75	3.25	4.00	4.00	3.88	3.63	

Çizelge 4.48. Farklı oranlarda EDNİZU ilavesiyle üretilen bisküvilerin depolama boyunca takip edilen duyuşsal özelliklerindeki puansal değışime ait varyans analizi sonuçları

Varyasyon Kaynağı	SD	Renk		Piş. Düzgünlüğü		Tekstür		Kırılğanlık		Koku		Aroma ve Tat		Genel Beğeni	
		KO	F	KO	F	KO	F	KO	F	KO	F	KO	F	KO	F
Katkılama Oranı	3	1.16	6.60**	0.79	6.14**	1.54	10.68**	0.68	3.19*	0.16	3.03*	0.23	1.16	0.72	6.06**
Depolama	2	0.2	1.13	0.22	1.71	0.002	0.02	0.52	2.45	0.004	0.08	0.1	0.47	0.06	0.46
Hata	18	0.18		0.13		0.14		0.21		0.05		0.2		0.12	

\*\* p<0.01, \* 0.01<p<0.05, - p>0.05

Çizelge 4.49. Farklı oranlarda EDNİZU ilavesiyle üretilen bisküvilerin depolama boyunca takip edilen duyuşsal özelliklerindeki puansal değışime ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları ( $\pm$  Standart hata)

Katkılama Oranı (%)	N	Renk	Pişme Düzgünlüğü	Tekstür	Kırılğanlık	Koku	Aroma ve Tat	Genel Beğeni
0	6	3.75 <sup>a</sup> $\pm$ 0.22	3.98 <sup>a</sup> $\pm$ 0.16	4.27 <sup>a</sup> $\pm$ 0.22	4.13 <sup>a</sup> $\pm$ 0.17	4.30 <sup>a</sup> $\pm$ 0.12	4.23 <sup>a</sup> $\pm$ 0.09	4.21 <sup>a</sup> $\pm$ 0.17
25	6	3.84 <sup>a</sup> $\pm$ 0.14	4.02 <sup>a</sup> $\pm$ 0.19	3.86 <sup>ab</sup> $\pm$ 0.09	3.65 <sup>ab</sup> $\pm$ 0.19	3.98 <sup>b</sup> $\pm$ 0.10	3.94 <sup>a</sup> $\pm$ 0.23	3.90 <sup>ab</sup> $\pm$ 0.12
50	6	3.73 <sup>a</sup> $\pm$ 0.10	3.73 <sup>a</sup> $\pm$ 0.05	3.44 <sup>bc</sup> $\pm$ 0.10	3.61 <sup>ab</sup> $\pm$ 0.15	4.09 <sup>ab</sup> $\pm$ 0.07	3.82 <sup>a</sup> $\pm$ 0.15	3.61 <sup>bc</sup> $\pm$ 0.08
75	6	2.90 <sup>b</sup> $\pm$ 0.20	3.23 <sup>b</sup> $\pm$ 0.17	3.11 <sup>c</sup> $\pm$ 0.15	3.31 <sup>b</sup> $\pm$ 0.27	3.92 <sup>b</sup> $\pm$ 0.05	3.82 <sup>a</sup> $\pm$ 0.21	3.42 <sup>c</sup> $\pm$ 0.16
<i>Önem seviyesi</i>		**	**	**	*	*	-	**
<i>Depolama (gün)</i>								
0.	8	3.61 <sup>a</sup> $\pm$ 0.22	3.77 <sup>a</sup> $\pm$ 0.16	3.66 <sup>a</sup> $\pm$ 0.23	3.61 <sup>a</sup> $\pm$ 0.23	4.10 <sup>a</sup> $\pm$ 0.11	3.94 <sup>a</sup> $\pm$ 0.18	3.85 <sup>a</sup> $\pm$ 0.15
30.	8	3.38 <sup>a</sup> $\pm$ 0.24	3.56 <sup>a</sup> $\pm$ 0.22	3.69 <sup>a</sup> $\pm$ 0.25	3.46 <sup>a</sup> $\pm$ 0.21	4.05 <sup>a</sup> $\pm$ 0.09	3.85 <sup>a</sup> $\pm$ 0.18	3.69 <sup>a</sup> $\pm$ 0.21
60.	8	3.67 <sup>a</sup> $\pm$ 0.12	3.89 <sup>a</sup> $\pm$ 0.10	3.66 <sup>a</sup> $\pm$ 0.11	3.96 <sup>a</sup> $\pm$ 0.10	4.07 <sup>a</sup> $\pm$ 0.08	4.07 <sup>a</sup> $\pm$ 0.10	3.82 <sup>a</sup> $\pm$ 0.1
<i>Önem seviyesi</i>		-	-	-	-	-	-	-

*Önem seviyesi:* \*\* p<0.01, \* 0.01<p<0.05, - p>0.05 (önemsiz)

## 5. SONUÇ

Araştırma iki aşamalı planlanmış olup, ilk aşamada farklı un/su oranları ve pH değerleri ile farklı sıcaklık ve ultrasonikasyon uygulamaları kullanılarak üretilen EDNİZU'ların renk değerleri, su tutma kapasiteleri, morfolojik özellikleri, nem ve EDN içerikleri üzerine etkisi araştırılmıştır. Ayrıca EDN içeriği en yüksek olarak tespit edilen örneğin prebiyotik etkisi ve termal özellikleri de belirlenmiş ve bu undan fazla miktarda üretildikten sonra ikinci aşamaya geçilmiştir. İkinci aşamada EDNİZU farklı oranlarda bisküvi ununa katılanmış ve bu undan bisküvi üretimi gerçekleştirilmiştir. Üretilen bisküviler ve EDNİZU örneği 60 gün süreyle depolanmış ve depolamanın 0, 30 ve 60. günlerinde EDNİZU'nun renk değerleri, nem içeriği, EDN içeriği ve glisemik indeksi; bisküvilerin ise ilave olarak tekstürel kırılgenlik ve sertlik değerleri ve duyuşsal özellikleri takip edilmiştir.

Yapılan analizler sonucunda elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

- Üretilen EDNİZU'ların renk değerleri incelendiğinde; L\* değerleri üzerinde sıcaklık ve pH değerinin önemli ( $p < 0.01$ ) bir etkisinin olduğu tespit edilmiş ve sıcaklık ve pH düşüşüyle L\* değerinin arttığı belirlenmiştir. Unların b\* değerleri üzerinde ise ultrasonikasyonun ve pH değerinin etkili olduğu ( $p < 0.05$ ;  $p < 0.01$ ) ve ultrasonikasyon uygulanan örneklerde b\* değeri azalırken, pH artışıyla b\* değerinin arttığı tespit edilmiştir. Ancak ultrasonikasyon uygulaması ve un/su oranının unların L\* değerleri üzerinde, sıcaklık değeri ve un/su oranının b\* değerleri üzerinde etkili olmadığı ( $p > 0.05$ ) belirlenmiştir. Unların a\* değerlerinde ise uygulanan işlemlerle herhangi bir fark ( $p > 0.05$ ) oluşmamıştır.
- Üretilen unların su tutma kapasiteleri üzerinde; ultrasonikasyon uygulamasının, sıcaklık ve pH değerinin ve un/su oranının etkili olduğu ( $p < 0.05$ ;  $p < 0.01$ ) tespit edilmiş ve en düşük su tutma kapasiteleri ultrasonikasyon uygulanan, 121°C'de, pH:4.5 değerinde ve 1/5 oranında üretilen örneklerde tespit edilmiştir. Örneklerin su tutma kapasiteleri uygulanan işleme göre ortalama 5.21 ila 6.17 arasında değişmiş ve bu unların bisküvilik beyaz una göre yaklaşık 5 kat daha fazla suyu bünyesinde tutabildiği belirlenmiştir.
- Üretilen unların morfolojik özellikleri incelendiğinde jelatinizasyon ve retrogradasyon sonucu oluşan geometrik camsı yapılar gözlemlenmiştir.
- Üretilen unların nem içerikleri üzerinde; sıcaklığın etkili olduğu ( $p < 0.01$ ) ve 121°C'de üretilen unların nem içeriklerinin, 80°C ve 100°C'de üretilen unların nem içeriklerinden daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Ancak pH değerinin, un/su oranının ve ultrasonikasyon uygulamasının nem içeriği üzerine önemli ( $p > 0.05$ ) bir etkisi bulunmamıştır. Unların ortalama nem içerikleri ise %7.88 olarak tespit edilmiştir.

- Üretilen unların EDN içerikleri; uygulanan sıcaklık ve pH değerleri, un/su oranları ve ultrasonikasyon uygulamasından önemli ( $p<0.05$ ;  $p<0.01$ ) şekilde etkilenmiştir. Ultrasonikasyon uygulanmayan örneklerde ortalama %3.15 EDN tespit edilirken bu oran ultrasonikasyon uygulanan örneklerde %3.45'e yükselmiştir. Sıcaklık artışı EDN oluşumu üzerinde olumlu bir etki yapmış ve 80, 100 ve 121°C'lerde işlem gören unlarda sırasıyla ortalama %2.85, 3.19 ve 3.86 EDN tespit edilmiştir. pH değerleri özel olarak incelendiğinde 6.1 pH değerinde ortalama %3.42 EDN oluşumu gerçekleşmiş ve en yüksek EDN içeriğine bu pH değerinde ulaşılmıştır. Un/su oranının azalışına göre ise unların EDN içerikleri artış göstermiş ve 1/15 un/su oranında ortalama %3.43 EDN oluşumuyla maksimum EDN içeriğine erişilmiştir.
- Üretilen unların EDN içeriklerindeki değişim istatistiksel olarak değerlendirildiğinde ve tüm parametreler dikkate alındığında en yüksek EDN içeriğine sahip olan örneğin; 1/15 un/su oranında, pH 6.1 değerinde, 121°C sıcaklıkta ve ultrasonikasyon uygulanarak üretilen örnek olduğuna karar verilmiş ve bu örnek bisküvi üretiminde kullanılmıştır. Kontrol örneğine göre kıyaslama yapıldığında EDNİZU'nun yaklaşık 30 kat daha fazla EDN içerdiği tespit edilmiştir.
- En yüksek EDN içeriğine sahip olan un ve kontrol örneğinin termal özellikleri kıyaslandığında EDNİZU'nun daha yüksek erime noktasına sahip olduğu (152.94°C) tespit edilmiştir.
- En yüksek EDN içeriğine sahip olan unun prebiyotik etkisi incelendiğinde; *L. acidophilus* ve *B. bifidum* bakterilerinin hem logaritmik hem de yüzde gelişiminde örnekler arasında istatistiksel olarak önemli ( $p>0.05$ ) bir fark oluşmadığı tespit edilmiştir. Örnekler arasında istatistiksel açıdan fark oluşmamasına rağmen; deskriptif olarak değerlendirme yapıldığında ise *L. acidophilus* için en iyi gelişimin EDNİZU içeren örneklerde meydana geldiği sonucuna varılmıştır. Bu durum EDNİZU'nun *L. acidophilus* gelişimini desteklediğini ve bu suş için prebiyotik etkiye sahip olabileceğini göstermiştir. *B. bifidum*'un gelişimi ise örnekler arasında farklılık göstermemiş ve üretilen unun bu suş için prebiyotik etkisinin bulunmadığı tespit edilmiştir.
- En yüksek EDN içeriğine sahip un, farklı oranlarda (%0, %25, %50 ve %75) bisküvilik un içerisine katılanmış ve bu karışımla araştırmanın 2. aşaması olan bisküvi üretimi gerçekleştirilmiştir. Ayrıca bu aşamada EDNİZU ve bisküvi örneklerinin 60 günlük depolaması da gerçekleştirilmiştir.
- EDNİZU'nun renk değerlerinde depolama süresince meydana gelen değişim değerlendirildiğinde; depolamanın EDNİZU'ya ait L\* ve b\* değerleri üzerinde önemli bir etkisinin olmadığı ( $p>0.05$ ), a\* değerlerinin ise depolama

süresinden etkilendiği ( $p<0.05$ ) tespit edilmiştir. EDNİZU'nun rengi kontrol örneğinin rengine göre önemli ( $p<0.01$ ) derecede farklılık göstermiş ve EDNİZU'nun daha koyu bir renge sahip olduğu belirlenmiştir.

- EDNİZU'nun nem içeriği üzerinde depolamanın önemli ( $p>0.05$ ) bir etkiye sahip olmadığı, ancak örneklerin nem içeriğindeki değişimi etkilediği ( $p<0.01$ ) tespit edilmiştir. Kontrol örneğinin nem içeriğine (%11.48) göre, EDNİZU'nun nem içeriğinin (%8.31) daha düşük olduğu belirlenmiştir.
- EDNİZU'nun EDN içeriği incelendiğinde depolamanın EDN içeriği üzerinde önemli bir fark oluşturmadığı ( $p>0.05$ ), örneklerin EDN içerikleri arasında meydana gelen farkın ise önemli ( $p<0.01$ ) düzeyde olduğu belirlenmiştir. EDNİZU'nun kontrol örneğine göre daha fazla EDN içerdiği tespit edilmiştir. Kontrol örneğindeki nişastanın ise tamamına yakınının çözünebilir nitelikte olduğu belirlenmiştir. EDNİZU'nun EDN içeriği depolama boyunca ortalama %3.29 olarak tespit edilmiştir.
- EDNİZU'nun hidroliz indeksi (HI) ve tahmini glisemik indeks (tGI) değerleri değerlendirildiğinde kontrol örneği ile arasında önemli düzeyde ( $p<0.01$ ) bir fark olduğu belirlenmiş ve EDNİZU'nun hidroliz indeksi (HI) ve tGI değerinin kontrol örneğine göre daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Depolamanın ise bu değerler üzerinde önemli ( $p>0.05$ ) bir fark meydana getirmediği belirlenmiştir. Benzer şekilde katkılama oranı ve depolama süresi değişimiyle hidrolize olan nişastanın denge anındaki konsantrasyonunu veren  $C_{\infty}$  değerinde de önemli ( $p>0.05$ ) bir fark oluşmamıştır. Glisemik indeks skalasında yapılan sınıflandırmaya göre kontrol örneğinin yüksek glisemik indekse sahip gıdalar grubunda olduğu değerlendirilirken, EDNİZU örneğinin orta glisemik indekse sahip gıdalar grubunda olduğu değerlendirilmiştir.
- Farklı oranlarda EDNİZU ilavesiyle üretilen bisküvilerin pişme sonrası çap ve kalınlık değerleri üzerinde katkılama oranının önemli ( $p<0.05$ ;  $p<0.01$ ) bir etkiye sahip olduğu, ancak ağırlık değerleri üzerinde ise önemli ( $p>0.05$ ) bir etkisinin bulunmadığı tespit edilmiştir. EDNİZU'nun bisküvi içerisine katılma oranının artmasıyla çapın artış gösterdiği, kalınlığın ise azaldığı belirlenmiştir. Pişme sonrası en küçük çapa sahip olan ve en kalın örneğin kontrol olarak üretilen ve içerisinde EDNİZU bulunmayan örnek olduğu tespit edilmiştir.
- Farklı oranlarda EDNİZU ilavesiyle üretilen bisküvilerin renk değerleri incelendiğinde; katkılama oranının  $L^*$  değerleri üzerinde, depolamanın ise  $L^*$ ,  $a^*$  ve  $b^*$  değerlerinin her biri üzerinde istatistiksel olarak önemli ( $p<0.01$ ) bir etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir. Ancak; bisküvilerin  $a^*$  ve  $b^*$  değerleri üzerinde katkılama oranının ( $p>0.05$ ) etkili olmadığı belirlenmiştir.



EDNİZU'nun bisküvi içerisine katılanma oranının artmasıyla L\* değerinin azaldığı, dolayısıyla da rengin koyulaştığı tespit edilmiştir. Depolama süresinin artmasıyla L\* değerinin arttığı, a\* değerinin ise azaldığı tespit edilmiş ve bu sonuçlara göre depolama süresince rengin açıldığı belirlenmiştir.

- Farklı oranlarda EDNİZU ilavesiyle üretilen bisküvilerin sertlik ve kırılganlıkları değerlendirildiğinde; katılama oranı ve depolamanın bu parametrelerin değişiminde etkili olduğu ( $p<0.05$ ;  $p<0.01$ ) tespit edilmiştir. EDNİZU'nun bisküvi içerisine katılanma oranının artmasıyla bisküvilerin sertliğinde ve kırılganlığında azalma meydana gelmiştir. Depolama süresince ise; 0. ve 30. günde yüksek sertlik değeri tespit edilirken, 60. günde en yüksek kırılganlık değeri belirlenmiştir.
- Farklı oranlarda EDNİZU ilavesiyle üretilen bisküvilerin nem içerikleri; katılama oranı ve depolamanın etkisiyle farklılık ( $p<0.01$ ) göstermiştir. EDNİZU'nun bisküvi içerisine katılanma oranının ve bisküvilerin depolanma süresinin artmasıyla bisküvilerdeki nem içeriğinin de arttığı tespit edilmiş, depolama süresinin artmasıyla bisküvilerdeki nem içeriği %4.39'dan %6.18'e yükselmiştir.
- Farklı oranlarda EDNİZU ilavesiyle üretilen bisküvilerin EDN içerikleri üzerinde katılama oranının önemli ( $p<0.05$ ;  $p<0.01$ ) bir etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir. Depolamanın ise bisküvilerin EDN içerikleri üzerinde etkisinin olmadığı ( $p>0.05$ ) belirlenmiştir. Katılama oranının artmasıyla bisküvilerin EDN içerikleri sırasıyla ortalama %0.44, 1.31, 1.97 ve 2.84 olarak tespit edilmiştir.
- Farklı oranlarda EDNİZU ilavesiyle üretilen bisküvilerin denge anındaki hidrolize olan nişasta konsantrasyonları ( $C_{\infty}$ ), hidroliz indeksleri (HI) ve tGI değerleri üzerinde katılama oranının ve depolamanın istatistiksel olarak önemli ( $p<0.05$ ;  $p<0.01$ ) bir etkisinin olduğu belirlenmiştir. EDNİZU'nun bisküvi içerisine katılanma oranının artmasıyla ve depolama süresinin uzamasıyla bisküvilerin;  $C_{\infty}$ , HI ve dolayısıyla da tGI değerleri azalmıştır. Ancak örneklerin glisemik indeks skalasındaki yeri değişmemiş ve tüm örneklerin orta glisemik indekse sahip gıda grubu içerisinde yer aldığı tespit edilmiştir.
- Farklı oranlarda EDNİZU ilavesiyle üretilen bisküvilerin duyuşal özellikleri incelendiğinde; katılama oranının, üretilen bisküvilerin duyuşal olarak değerlendirilen renk, pişme düzgünlüğü, tekstür, kırılganlık, koku ve genel beğeni kriterleri üzerinde etkili olduğu ( $p<0.05$ ;  $p<0.01$ ), aroma ve tat üzerinde ise önemli ( $p>0.05$ ) bir etkisinin bulunmadığı tespit edilmiştir. Tüm duyuşal kriterler ve genel beğeni dikkate alınarak bir değerlendirme

yapıldığında artan oranda EDNİZU kullanımının bisküvilerin duyuşal özelliklerini azalttığı tespit edilmiştir. Ancak yine de bisküvilerin tüm duyuşal kriterlerine ait değerlendirme puanı 5 puanlık hedonik skalaya göre 3'ün üzerinde olduğu için bisküvilerin duyuşal olarak kabul edilebilir olduğu değerlendirilmiştir. Depolama süresi dikkate alındığında ise; bisküvilerin duyuşal özelliklerinin depolama süresiyle değişim göstermediği ( $p>0.05$ ) belirlenmiştir.

Sonuç olarak unun EDN içeriğini zenginleştirmede, farklı un/su oranları ve pH değerleri ile farklı sıcaklık ve ultrasonikasyon uygulamalarının etkisi ayrıntılı bir şekilde incelenmiştir.

Uygulanan işlemlerin unun EDN içeriğini arttırdığı ve işlem sürelerinin ve koşullarının optimize edilmesiyle bu içeriğin daha da arttırılabileceği sonucuna varılmıştır. Ancak; EDNİZU'nun protein yapısı üretim aşamasında uygulanan işlemler sonucunda denatüre olduğu için bu unun başlı başına bir ürün üretiminde kullanılamayacağı değerlendirilmiştir. Elde edilen unun farklı oranlarda bisküvi ve kurabiye gibi düz fırın ürünlerinin formülasyonlarına katkılanmasıyla ise; tüketici bakımından kabul edilebilir nitelikte, glisemik indeksi düşük ve bu nedenle de sağlığa faydalı gıdaların üretiminin gerçekleştirilmesine katkı sağlayacağı değerlendirilmiştir.

## 6. KAYNAKLAR

- AACC. 2011. American Association of Cereal Chemists. Approved Methods of Analysis, 11th ed. rev. Methods 32-40. The Association: St. Paul, MN, U.S.A.
- AL-HAJJI, L., NASSEHI, V. and STAPLEY, A. 2016. Spatial variation of starch retrogradation in arabic flat bread during storage. *Journal of Food Engineering*, 187: 44-52.
- ANDERSON, A.K. and GURAYA, H.S. 2006. Effects of microwave heat-moisture treatment on properties of waxy and non-waxy rice starches. *Food Chemistry*, 97 (2): 318-323.
- ANONİM, 2014. <http://www.food-info.net/uk/carbs/starch.htm>. [Son erişim tarihi: 23.06.2016].
- ANONİM, 2016. <http://www.suggest-keywords.com/c3RhcmNoIHN0cnVjdHVyZQ/>. [Son erişim tarihi: 23.06.2016].
- APEA-BAH, F.B., MINNAAR, A., BESTER, M.J. and DUODU, K.G. 2016. Sorghum-cowpea composite porridge as a functional food, part ii: Antioxidant properties as affected by simulated in vitro gastrointestinal digestion. *Food Chemistry*, 197 (Part A): 307-315.
- ARCILA, J.A. and ROSE, D.J. 2015. Repeated cooking and freezing of whole wheat flour increases resistant starch with beneficial impacts on in vitro fecal fermentation properties. *Journal of Functional Foods*, 12 (0): 230-236.
- ARSLAN, S., DURAK, A.N., ERBAS, M., TANRIVERDI, E. and 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.
- ASHWAR, B.A., GANI, A., WANI, I.A., SHAH, A., MASOODI, F.A. and SAXENA, D.C. 2016. Production of resistant starch from rice by dual autoclaving-retrogradation treatment: Invitro digestibility, thermal and structural characterization. *Food Hydrocolloids*, 56 108-117.
- BAXTER, S., ZIVANOVIC, S. and WEISS, J. 2005. Molecular weight and degree of acetylation of high-intensity ultrasonicated chitosan. *Food Hydrocolloids*, 19 (5): 821-830.
- BORDENAVE, N., KOCK, L.B., ABERNATHY, M., PARCON, J.C., GULVADY, A.A., VAN KLINKEN, B.J.-W. and KASTURI, P. 2015. Toward a more standardised and accurate evaluation of glycemic response to foods: Recommendations for portion size calculation. *Food Chemistry*, 167: 229-235.

- BRIFFAZ, A., BOHUON, P., MÉOT, J.M., DORNIER, M. and MESTRES, C. 2014. Modelling of water transport and swelling associated with starch gelatinization during rice cooking. *Journal of Food Engineering*, 121: 143-151.
- BRITES, C.M., TRIGO, M.J., CARRAPIÇO, B., ALVIÑA, M. and BESSA, R.J. 2011. Maize and resistant starch enriched breads reduce postprandial glycemic responses in rats. *Nutrition Research*, 31 (4): 302-308.
- BULUT, S. and SCHICK, C. 2012. Devitrification of the amorphous fractions of starch during gelatinisation. *Carbohydrate Polymers*, 90 (1): 140-146.
- BURDURLU, H.S. ve KARADENİZ, F. 2002. Gıdalarda maillard reaksiyonu. *Gıda Dergisi*, 27 (2): 77-83.
- BURDURLU, H.S. ve KARADENİZ, F. 2003. Gıdalarda diyet lifinin önemi. *Gıda Mühendisliği Dergisi*, 7 (15): 18-25.
- CARLSTEDT, J., WOJTASZ, J., FYHR, P. and KOCHERBITOV, V. 2015. Understanding starch gelatinization: The phase diagram approach. *Carbohydrate Polymers*, 129: 62-69.
- CHARALAMPOPOULOS, D., WANG, R., PANDIELLA, S.S. and WEBB, C. 2002. Application of cereals and cereal components in functional foods: A review. *International Journal of Food Microbiology*, 79 (1-2): 131-141.
- CHOU, C., WU, M., NOURTAMA, B. and LIN, J. 2010. Effects of different heating treatments and storage time on formation of resistant starch from potato starch. *Kasetstart J.(Nat. Sci.)*, 44: 935-942.
- CHUNG, H.-J., JEONG, H.-Y. and LIM, S.-T. 2003. Effects of acid hydrolysis and defatting on crystallinity and pasting properties of freeze-thawed high amylose corn starch. *Carbohydrate Polymers*, 54 (4): 449-455.
- DE BOER, A. and BAST, A. 2015. International legislation on nutrition and health claims. *Food Policy*, 55: 61-70.
- DIMANTOV, A., KESSELMAN, E. and SHIMONI, E. 2004. Surface characterization and dissolution properties of high amylose corn starch-pectin coatings. *Food Hydrocolloids*, 18 (1): 29-37.
- DIZLEK, H. 2012. Buğdaydaki gluten proteinleri: Gliadin. *Akademik Gıda Dergisi*, 10 (2): 109-114.
- DUNDAR, A.N. and GOCMEN, D. 2013. Effects of autoclaving temperature and storing time on resistant starch formation and its functional and physicochemical properties. *Carbohydrate Polymers*, 97 (2): 764-771.

- DÜLGER, D. ve ŞAHAN, Y. 2011. Diyet lifin özellikleri ve sağlık üzerindeki etkileri. *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 25 (2): 147-157.
- EERLINGEN, R.C. and DELCOUR, J.A. 1995. Formation, analysis, structure and properties of type III enzyme resistant starch. *Journal of Cereal Science*, 22 (2): 129-138.
- EK, K.L., BRAND-MILLER, J. and COPELAND, L. 2012. Glycemic effect of potatoes. *Food Chemistry*, 133 (4): 1230-1240.
- ELGÜN, A., ERTUGAY, Z., CERTEL, M. ve KOTANCILAR, H.G. 2002. Tahıl ve Ürünlerinde Analitik Kalite Kontrolü Laboratuvar Uygulama Klavuzu, Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Ofset Tesisi: 335, Erzurum, 245 s.
- ESCARPA, A., GONZÁLEZ, M.C., MAÑAS, E., GARCÍA-DIZ, L. and SAURA-CALIXTO, F. 1996. Resistant starch formation: Standardization of a high-pressure autoclave process. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 44 (3): 924-928.
- ESCARPA, A., GONZÁLEZ, M.C., MORALES, M.D. and SAURA-CALIXTO, F. 1997. An approach to the influence of nutrients and other food constituents on resistant starch formation. *Food Chemistry*, 60 (4): 527-532.
- FAN, D., MA, W., WANG, L., HUANG, J., ZHANG, F., ZHAO, J., ZHANG, H. and CHEN, W. 2013. Determining the effects of microwave heating on the ordered structures of rice starch by NMR. *Carbohydrate Polymers*, 92 (2): 1395-1401.
- FERNANDES, Â., BARREIRA, J.C.M., ANTONIO, A.L., MORALES, P., FÉRNANDEZ-RUIZ, V., MARTINS, A., OLIVEIRA, M.B.P.P. and FERREIRA, I.C.F.R. 2015. Exquisite wild mushrooms as a source of dietary fiber: Analysis in electron-beam irradiated samples. *LWT - Food Science and Technology*, 60 (2, Part 1): 855-859.
- FOSTER-POWELL, K., HOLT, S.H. and BRAND-MILLER, J.C. 2002. International table of glycemic index and glycemic load values: 2002. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 76 (1): 5-56.
- FREI, M., SIDDHURAJU, P. and BECKER, K. 2003. Studies on the in vitro starch digestibility and the glycemic index of six different indigenous rice cultivars from the philippines. *Food Chemistry*, 83 (3): 395-402.
- FU, Z.Q., WANG, L.J., LI, D., ZHOU, Y.G. and ADHIKARI, B. 2013. The effect of partial gelatinization of corn starch on its retrogradation. *Carbohydrate Polymers*, 97 (2): 512-517.
- FU, Z., CHEN, J., LUO, S.J., LIU, C.M. and LIU, W. 2015. Effect of food additives on starch retrogradation: A review. *Starch-Stärke*, 67 (1-2): 69-78.

- FUENTES-ZARAGOZA, E., RIQUELME-NAVARRETE, M.J., SÁNCHEZ-ZAPATA, E. and PÉREZ-ÁLVAREZ, J.A. 2010. Resistant starch as functional ingredient: A review. *Food Research International*, 43 (4): 931-942.
- GARGARI, B.P., NAMAZI, N., KHALILI, M., SARMADI, B., JAFARABADI, M.A. and DEHGHAN, P. 2015. Is there any place for resistant starch, as alimentary prebiotic, for patients with Type 2 diabetes? *Complementary Therapies in Medicine*, 23 (6): 810-815.
- GERITS, L.R., PAREYT, B. and DELCOUR, J.A. 2015. Wheat starch swelling, gelatinization and pasting: Effects of enzymatic modification of wheat endogenous lipids. *LWT - Food Science and Technology*, 63 (1): 361-366.
- GOÑI, I., GARCIA-ALONSO, A. and SAURA-CALIXTO, F. 1997. A starch hydrolysis procedure to estimate glycemic index. *Nutrition Research*, 17 (3): 427-437.
- GÜNDOĞDU SERTAKAN, S. 2006. Bisküvi ve kraker üretiminde tritikale ununun kullanım olanakları. Doktora Tezi, Trakya Üniversitesi, 192 s.
- GÜZEL, D. 2009. Baklagil nişastalarının sindirimi yavaş nişastaya (SYN) ve enzime dirençli nişastaya (EDN) dönüştürülmesi. Yüksek Lisans Tezi, Mersin Üniversitesi, 50 s.
- HARALAMPU, S. 2000. Resistant starch-a review of the physical properties and biological impact of rs 3. *Carbohydrate Polymers*, 41 (3): 285-292.
- HENNINGSSON, Å.M., NYMAN, E.M.G.L. and BJÖRCK, I.M.E. 2002. Short-chain fatty acid content in the hindgut of rats fed various composite foods and commercial dietary fibre fractions from similar sources. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 82 (4): 385-393.
- HU, X.P., HUANG, T.T., MEI, J.Q., JIN, Z.Y., XU, X.M. and CHEN, H.Q. 2015. Effects of continuous and intermittent retrogradation treatments on in vitro digestibility and structural properties of waxy wheat starch. *Food Chemistry*, 174: 31-36.
- HUANG, C., ZHU, J., CHEN, L., LI, L. and LI, X. 2014. Structural changes and plasticizer migration of starch-based food packaging material contacting with milk during microwave heating. *Food Control*, 36 (1): 55-62.
- HUANG, Z., YE, R., CHEN, J. and XU, F. 2013. An improved method for rapid quantitative analysis of the insoluble dietary fiber in common cereals and some sorts of beans. *Journal of Cereal Science*, 57 (3): 270-274.
- HUNG, P.V., VIEN, N.L. and LAN PHI, N.T. 2016. Resistant starch improvement of rice starches under a combination of acid and heat-moisture treatments. *Food Chemistry*, 191: 67-73.

- ISKEN, F., KLAUS, S., OSTERHOFF, M., PFEIFFER, A.F.H. and WEICKERT, M.O. 2010. Effects of long-term soluble vs. insoluble dietary fiber intake on high-fat diet-induced obesity in c57bl/6j mice. *The Journal of Nutritional Biochemistry*, 21 (4): 278-284.
- JEONG, H.Y. and LIM, S.T. 2003. Crystallinity and pasting properties of freeze-thawed high amylose maize starch. *Starch-Stärke*, 55 (11): 511-517.
- KACZMARCZYK, M.M., MILLER, M.J. and FREUND, G.G. 2012. The health benefits of dietary fiber: Beyond the usual suspects of Type 2 diabetes mellitus, cardiovascular disease and colon cancer. *Metabolism*, 61 (8): 1058-1066.
- KAHRAMAN, K., KOKSEL, H. and NG, P.K.W. 2015. Optimisation of the reaction conditions for the production of cross-linked starch with high resistant starch content. *Food Chemistry*, 174: 173-179.
- KAHRAMAN, K. ve KÖKSEL, H. 2006. Yüksek amilozlu nişastadan enzime dirençli nişasta üretimi ve karakterizasyonu. Türkiye 9. Gıda Kongresi, s. 915-918, Bolu.
- KAPELKO-ŻEBERSKA, M., ZIĘBA, T., SPYCHAJ, R. and GRYSZKIN, A. 2015. Acetylated adipate of retrograded starch as RS 3/4 Type resistant starch. *Food Chemistry*, 188: 365-369.
- KARAOĞLU, M. 1998. Farklı yöntemler uygulanarak elde edilmiş modifiye nişastaların kek kalitesi üzerine etkileri. Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, 92 s.
- KARAOĞLU, M. and AKTAŞ, H.K.N. 2006. Effect of different modification techniques on the physicochemical and thermoanalytical properties of wheat and corn starch. *Journal of Tekirdag Agricultural Faculty*, 6: 83-91.
- KIATPONGLARP, W., TONGTA, S., ROLLAND-SABATÉ, A. and BULÉON, A. 2015. Crystallization and chain reorganization of debranched rice starches in relation to resistant starch formation. *Carbohydrate Polymers*, 122: 108-114.
- KIM, J.H., TANHEHCO, E.J. and NG, P.K.W. 2006. Effect of extrusion conditions on resistant starch formation from pastry wheat flour. *Food Chemistry*, 99 (4): 718-723.
- KOTANCILAR, H.G., GERÇEKASLAN, K.E., KARAOĞLU, M.M. ve BOZ, H. 2009. Besinsel lif kaynağı olarak enzime dirençli nişasta. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 40 (1): 103-107.
- LALOR, F. and WALL, P.G. 2011. Health claims regulations: Comparison between USA, japan and european union. *British Food Journal*, 113 (2): 298-313.
- LERTWANAWATANA, P., FRAZIER, R.A. and NIRANJAN, K. 2015. High pressure intensification of cassava resistant starch (rs3) yields. *Food Chemistry*, 181: 85-93.

- LI, M., HASJIM, J., XIE, F., HALLEY, P.J. and GILBERT, R.G. 2014. Shear degradation of molecular, crystalline, and granular structures of starch during extrusion. *Starch-Stärke*, 66 (7-8): 595-605.
- LI, S., WARD, R. and GAO, Q. 2011. Effect of heat-moisture treatment on the formation and physicochemical properties of resistant starch from mung bean (*Phaseolus radiatus*) starch. *Food Hydrocolloids*, 25 (7): 1702-1709.
- LIU, H., LIANG, R., ANTONIOU, J., LIU, F., SHOEMAKER, C.F., LI, Y. and ZHONG, F. 2014. The effect of high moisture heat-acid treatment on the structure and digestion property of normal maize starch. *Food Chemistry*, 159: 222-229.
- LIU, J., MING, J., LI, W. and ZHAO, G. 2012. Synthesis, characterisation and in vitro digestibility of carboxymethyl potato starch rapidly prepared with microwave-assistance. *Food Chemistry*, 133 (4): 1196-1205.
- LIU, Y., CHEN, W., CHEN, C. and ZHANG, J. 2015. Physicochemical property of starch-soluble dietary fiber conjugates and their resistance to enzymatic hydrolysis. *International Journal of Food Properties*, 18 (11): 2457-2471.
- MA, M.M. and MU, T.H. 2016. Effects of extraction methods and particle size distribution on the structural, physicochemical, and functional properties of dietary fiber from deoiled cumin. *Food Chemistry*, 194: 237-246.
- MAPARI, S.A.S., MEYER, A.S. and 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.
- MOONGNGARM, A., SRIJINDA, P., PASEEPHOL, T., SAMANA, S. and MARTPHUTORN, N. 2015. Effect of heat moisture treatment using different solvents and incubation times on resistant starch formation of rice flour. *American Journal of Applied Sciences*, 12 (8): 560.
- MOORS, E.H. 2012. Functional foods: Regulation and innovations in the eu. *Innovation: The European Journal of Social Science Research*, 25 (4): 424-440.
- MORALES-MEDINA, R., DEL MAR MUÑOZ, M., GUADIX, E.M. and GUADIX, A. 2014. Production of resistant starch by enzymatic debranching in legume flours. *Carbohydrate Polymers*, 101: 1176-1183.
- MUDGIL, D. and BARAK, S. 2013. Composition, properties and health benefits of indigestible carbohydrate polymers as dietary fiber: A review. *International Journal of Biological Macromolecules*, 61: 1-6.
- NUGENT, A.P. 2005. Health properties of resistant starch. *Nutrition Bulletin*, 30 (1): 27-54.



- O'BRIEN, C.M., CHAPMAN, D., NEVILLE, D.P., KEOGH, M.K. and ARENDT, E.K. 2003. Effect of varying the microencapsulation process on the functionality of hydrogenated vegetable fat in shortdough biscuits. *Food Research International*, 36 (3): 215-221.
- OLMEDILLA-ALONSO, B., JIMÉNEZ-COLMENERO, F. and SÁNCHEZ-MUNIZ, F.J. 2013. Development and assessment of healthy properties of meat and meat products designed as functional foods. *Meat Science*, 95 (4): 919-930.
- OZTURK, S., KOKSEL, H. and NG, P.K.W. 2011. Production of resistant starch from acid-modified amylotype starches with enhanced functional properties. *Journal of Food Engineering*, 103 (2): 156-164.
- ÖLÇER, H. ve AKIN, B. 2008. Nişasta: Biyosentezi, granül yapısı ve genetik modifikasyonlar. *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 16: 1-12.
- ÖZBAŞ, Ö.Ö. ve KÖKSEL, H. 2006. Enzime dirençli nişastanın bisküvi üretiminde kullanımı. *Türkiye 9. Gıda Kongresi*, s. 157-160, Bolu.
- ÖZKAYA, H., SEÇKİN, R. ve ERCAN, R. 1984. Bazı bisküvi çeşitlerinin kimyasal özellikleri ile mineral ve vitamin içerikleri üzerinde araştırmalar. *Gıda Dergisi*, 9 (5): 245-251.
- ÖZTÜRK, S. 2008. Farklı nişasta kaynaklarından enzime dirençli nişasta üretimi ve karakterizasyonu. Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi, 117 s.
- PAPATHANASIOU, M.M., REINEKE, K., GOGOU, E., TAOUKIS, P.S. and KNORR, D. 2015. Impact of high pressure treatment on the available glucose content of various starch types: A case study on wheat, tapioca, potato, corn, waxy corn and resistant starch (rs3). *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 30: 24-30.
- PEERAJIT, P., CHIEWCHAN, N. and DEVAHASTIN, S. 2012. Effects of pretreatment methods on health-related functional properties of high dietary fibre powder from lime residues. *Food Chemistry*, 132 (4): 1891-1898.
- PINHERO, R.G., WADUGE, R.N., LIU, Q., SULLIVAN, J.A., TSAO, R., BIZIMUNGU, B. and YADA, R.Y. 2016. Evaluation of nutritional profiles of starch and dry matter from early potato varieties and its estimated glycemic impact. *Food Chemistry*, 203: 356-366.
- RAFIQ, S.I., SINGH, S. and SAXENA, D.C. 2016. Effect of heat-moisture and acid treatment on physicochemical, pasting, thermal and morphological properties of horse chestnut (*Aesculus indica*) starch. *Food Hydrocolloids*, 57: 103-113.
- REDDY, C.K., SURIYA, M. and HARIPRIYA, S. 2013. Physico-chemical and functional properties of resistant starch prepared from red kidney beans

- (*Phaseolus vulgaris. L*) starch by enzymatic method. *Carbohydrate Polymers*, 95 (1): 220-226.
- REN, X., CHEN, J., MOLLA, M.M., WANG, C., DIAO, X. and SHEN, Q. 2016. In vitro starch digestibility and in vivo glycemic response of foxtail millet and its products. *Food & Function*, 7 (1): 372-379.
- ROBERFROID, M.B. 2000. A european consensus of scientific concepts of functional foods. *Nutrition*, 16 (7-8): 689-691.
- ROBERTSON, M.D., BICKERTON, A.S., DENNIS, A.L., VIDAL, H. and FRAYN, K.N. 2005. Insulin-sensitizing effects of dietary resistant starch and effects on skeletal muscle and adipose tissue metabolism. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 82 (3): 559-567.
- RODRÍGUEZ-CABEZAS, M.E., CAMUESCO, D., ARRIBAS, B., GARRIDO-MESA, N., COMALADA, M., BAILÓN, E., CUETO-SOLA, M., UTRILLA, P., GUERRA-HERNÁNDEZ, E., PÉREZ-ROCA, C., GÁLVEZ, J. and ZARZUELO, A. 2010. The combination of fructooligosaccharides and resistant starch shows prebiotic additive effects in rats. *Clinical Nutrition*, 29 (6): 832-839.
- SAJILATA, M.G., SINGHAL, R.S. and KULKARNI, P.R. 2006. Resistant starch - a review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 5 (1): 1-17.
- SALDAMLI, İ. 2007. Gıda Kimyası, *Hacettepe Üniversitesi Yayınları*, 3. basım, Ankara, 587 s.
- SAMUR, G. ve MERCANLIGİL, S. 2008. Diyet posası ve beslenme. *Klasmat Matbaacılık* (1. basım): 727, Ankara, 20 s.
- SCHAKEL, S., SCHAUER, R., HIMES, J., HARNACK, L. and VAN HEEL, N. 2008. Development of a glycemic index database for dietary assessment. *Journal of Food Composition and Analysis*, 21, Supplement S50-S55.
- SHI, M. and GAO, Q. 2011. Amylose content and digestibility of resistant starch. *Science and Technology of Food Industry*, 5: 011.
- SIEVERT, D. and POMERANZ, Y. 1989. Enzyme-resistant starch. I. Characterization and evaluation by enzymatic, thermoanalytical, and microscopic methods. *Cereal Chemistry*, 66 (4): 342-347.
- SILVERIO, J., FREDRIKSSON, H., ANDERSSON, R., ELIASSON, A.C. and ÅMAN, P. 2000. The effect of temperature cycling on the amylopectin retrogradation of starches with different amylopectin unit-chain length distribution. *Carbohydrate Polymers*, 42 (2): 175-184.

- SIMSEK, S. and EL, S.N. 2012. Production of resistant starch from taro (*Colocasia esculenta* L. Schott) corm and determination of its effects on health by in vitro methods. *Carbohydrate Polymers*, 90 (3): 1204-1209.
- SIMSEK, S. and EL, S.N. 2015. In vitro starch digestibility, estimated glycemic index and antioxidant potential of taro (*Colocasia Esculenta* L. Schott) corm. *Food Chemistry*, 168: 257-261.
- SLAVIN, J. 2013. Fiber and prebiotics: Mechanisms and health benefits. *Nutrients*, 5 (4): 1417-1435.
- SRIKAE0, K. and SANGKHIAW, J. 2014. Effects of amylose and resistant starch on glycaemic index of rice noodles. *LWT - Food Science and Technology*, 59 (2, Part 1): 1129-1135.
- ŞİMŞEK, S. 2011. Gölevez (*Colocasia Esculenta* L. Schott) Yumrusundan Dirençli Nişasta Elde Edilmesi ve Sağlık Üzerine Etkilerinin *in vitro* Yöntemlerle Saptanması. Doktora Tezi, Ege Üniversitesi, 89 s.
- THARANATHAN, M. and THARANATHAN, R.N. 2001. Resistant starch in wheat-based products: Isolation and characterisation. *Journal of Cereal Science*, 34 (1): 73-84.
- TOYOKAWA, H., RUBENTHALER, G., POWERS, J. and SCHANUS, E. 1989. Japanese noodle qualities. II. Starch components. *Cereal Chemistry*, 66 (4): 387-391.
- TÜRK GIDA KODEKSİ. 2013. Buğday Unu Tebliği. Tebliğ no: 2013/9.
- WANG, L., LI, S. and GAO, Q. 2014. Effect of resistant starch as dietary fiber substitute on cookies quality evaluation. *Food Science and Technology Research*, 20 (2): 263-272.
- WASSERMAN, L., SIGNORELLI, M., SCHIRALDI, A., YURYEV, V., BOGGINI, G., BERTINI, S. ve FESSAS, D. 2007. Preparation of wheat resistant starch. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 87 (1): 153-157.
- WATERSCHOOT, J., GOMAND, S.V., DELCOUR, J.A. and GODERIS, B. 2015. Direct evidence for the non-additive gelatinization in binary starch blends: A case study on potato starch mixed with rice or maize starches. *Food Hydrocolloids*, 50: 137-144.
- WITCZAK, M., ZIOBRO, R., JUSZCZAK, L. and KORUS, J. 2015. Starch and starch derivatives in gluten-free systems—a review. *Journal of Cereal Science*, doi:10.1016/j.jcs.2015.07.007.

- XIE, F., POLLET, E., HALLEY, P.J. and AVÉROUS, L. 2015. Advanced nanobiocomposites based on starch. *Polysaccharides: Bioactivity and Biotechnology*, 1467-1553.
- YAHAGHI, M., LIANG, J.B., BALCELLS, J., VALIZADEH, R., JAHROMI, M.F., ALIMON, R. and HO, Y.W. 2014. Extrusion of sorghum starch enhances ruminal and intestinal digestibility, rumen microbial yield and growth in lambs fed on high-concentrate diets. *Animal Feed Science and Technology*, 189: 30-40.
- YEO, L.L. and SEIB, P.A. 2009. White pan bread and sugar-snap cookies containing wheat starch phosphate, a cross-linked resistant starch 1. *Cereal Chemistry*, 86 (2): 210-220.
- YURYEV, V.P., KALISTRATOVA, E.N., VAN SOEST, J.G. and NIEMANN, C. 1998. Thermodynamic properties of barley starches with different amylose content. *Starch-Stärke*, 50 (11-12): 463-466.
- ZENG, S., WU, X., LIN, S., ZENG, H., LU, X., ZHANG, Y. and ZHENG, B. 2015. Structural characteristics and physicochemical properties of lotus seed resistant starch prepared by different methods. *Food Chemistry*, 186: 213-222.
- ZHANG, B., DHITAL, S., FLANAGAN, B.M., LUCKMAN, P., HALLEY, P.J. and GIDLEY, M.J. 2015. Extrusion induced low-order starch matrices: Enzymic hydrolysis and structure. *Carbohydrate Polymers*, 134: 485-496.
- ZHANG, H. and JIN, Z. 2011. Preparation of products rich in resistant starch from maize starch by an enzymatic method. *Carbohydrate Polymers*, 86 (4): 1610-1614.
- ZHANG, H., TIAN, Y., BAI, Y., XU, X. and JIN, Z. 2013. Structure and properties of maize starch processed with a combination of  $\alpha$ -amylase and pullulanase. *International Journal of Biological Macromolecules*, 52: 38-44.
- ZHANG, J., CHEN, F., LIU, F. and WANG, Z.-W. 2010. Study on structural changes of microwave heat-moisture treated resistant canna edulis ker starch during digestion in vitro. *Food Hydrocolloids*, 24 (1): 27-34.
- ZHANG, Y., LIU, W., LIU, C., LUO, S., LI, T., LIU, Y., WU, D. and ZUO, Y. 2014a. Retrogradation behaviour of high-amylose rice starch prepared by improved extrusion cooking technology. *Food Chemistry*, 158: 255-261.
- ZHANG, Y., ZENG, H., WANG, Y., ZENG, S. and ZHENG, B. 2014b. Structural characteristics and crystalline properties of lotus seed resistant starch and its prebiotic effects. *Food Chemistry*, 155: 311-318.
- ZHOU, X., CHUNG, H.J., KIM, J.Y. and LIM, S.T. 2013. In vitro analyses of resistant starch in retrograded waxy and normal corn starches. *International Journal of Biological Macromolecules*, 55: 113-117.

ZHOU, Y., MENG, S., CHEN, D., ZHU, X. and YUAN, H. 2014. Structure characterization and hypoglycemic effects of dual modified resistant starch from indica rice starch. *Carbohydrate Polymers*, 103: 81-86.

ZHU, F. 2015. Impact of ultrasound on structure, physicochemical properties, modifications, and applications of starch. *Trends in Food Science & Technology*, 43 (1): 1-17.



## ÖZGEÇMİŞ



Cihadiye CANDAL 1991 yılında Söke (AYDIN)'da doğdu. İlk ve orta öğrenimini Söke'de, lise öğrenimini ise Çivril (DENİZLİ)'de tamamladı. 2009 yılında girdiği Akdeniz Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü'nden 2014 yılında Gıda Mühendisi olarak mezun oldu. Aynı yıl Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Lisansüstü eğitime başlayan Cihadiye CANDAL halen aynı kurumda eğitimini sürdürmektedir.

