

**BAKLAGİL NİŞASTALARININ SİNDİRİMİ YAVAŞ
NİŞASTAYA (SYN) VE ENZİME DİRENÇLİ
NİŞASTAYA (EDN) DÖNÜŞTÜRÜLMESİ**

DEMET GÜZEL

**MERSİN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**GIDA MÜHENDİSLİĞİ
ANA BİLİM DALI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**MERSİN
EYLÜL – 2009**

**BAKLAGİL NİŞASTALARININ SİNDİRİMİ YAVAŞ NİŞASTAYA
(SYN) VE ENZİME DİRENÇLİ NİŞASTAYA (EDN)
DÖNÜŞTÜRÜLMESİ**

DEMET GÜZEL

**Mersin Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü**


**Gıda Mühendisliği
Ana Bilim Dalı**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

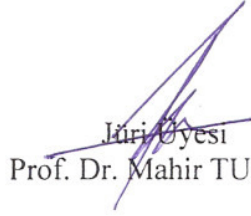
**Tez Danışmanı
Yrd. Doç.Dr. Sedat SAYAR**

**MERSİN
Eylül - 2009**


Bu tezin gerek bilimsel içerik, gerekse elde edilen sonuçlar açısından tüm gerekleri sağladığı kanaatine ulaşan ve aşağıda imzaları bulunan biz jüri üyeleri, sunulan tezi oy birliği ile Yüksek Lisans Tezi olarak kabul ediyoruz.




Tez Danışmanı
Yrd. Doç. Dr. Sedat SAYAR



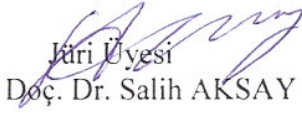
Jüri Üyesi
Prof. Dr. Mahir TURHAN



Jüri Üyesi
Doç. Dr. Ferruh ERDOĞDU



Jüri Üyesi
Yrd. Doç. Dr. Ferda GÖNEN



Jüri Üyesi
Yrd. Doç. Dr. Salih AKSAY

Bu tezin Fen Bilimleri Enstitüsü yazım kurallarına uygun olarak yazıldığı Enstitü Yönetim Kurulu'nun ..15../12../2009..tarih ve 2009.24/.....634..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.



Prof. Dr. Mahir TURHAN
Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün bilgiler, şekil, çizelge ve fotoğraflardan kaynak göstermeden alıntı yapmak 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu hükümlerine tabidir.

ÖZ

Bu çalışmada nohut, fasulye ve barbunyadan elde edilen doğal nişastalar pirodekstrinizasyon (PD), çapraz bağlama (ÇB), ısı-nem uygulaması (IN) ve jelatinizasyon-retrogradasyon (JR) işlemleriyle modifiye edilmişlerdir. Yapılan bu modifikasyon işlemlerinin nişastanın sindirilebilirliği üzerine etkisi hem pişmemiş nişastalarda hem de pişirilmiş nişastalarda araştırılmıştır. Ayrıca elde edilen modifiye nişastaların çözünürlük, şişme kapasiteleri ve jelatinizasyon özellikleri de incelenmiştir. Nohut, fasulye ve barbunyadan yapılan nişasta ekstraksiyonu işleminin verimliliği sırasıyla %23,95; % 18,65 ve %17,73 g nişasta/g un olarak bulunmuştur.

PD, ÇB ve IN işlemleri de her üç baklagil nişastasının şişme kapasitelerinde azalmaya neden olduğu tespit edilmiştir. Buna karşın JR işlemi fasulye ve nohut nişastalarının şişme kapasitelerinde istatistiki olarak önemli bir değişime neden olmazken ($P>0,05$), barbunya nişastasında çok az bir düşüşe sebep olmuştur. PD işlemi her üç baklagil nişastası için de *çözünürlük değerlerinde* önemli bir artış sağlamıştır. IN işlemi ile modifiye edilmiş nişastaların çözünürlük değerlerinin düşme eğiliminde olduğu gözlenmiş ancak bu düşüşün istatistiksel olarak önemli düzeyde olmadığı görülmüştür. JR işlemi ise istatistiksel olarak nişastanın çözünürlüğünde önemli bir azalışa neden olmuştur ($P<0,05$). ÇB işlemi ise nişastaların çözünürlük değerlerinde düşük bir artışa neden olmuştur. Doğal nişastaya uygulanan çapraz bağlama ve ısı-nem uygulaması işlemlerinin her üç baklagil nişastasının jelatinizasyon sıcaklıklarında artışa neden olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca çapraz bağlama işlemi jelatinizasyon entalpisinin düşmesine neden olmuştur.

Pirodekstrinizasyon ve jelatinizasyon-retrogradasyon işlemlerinin ham nişastalarda enzime dirençli nişasta miktarlarında belirgin bir azalmaya neden olduğu belirlenmiştir. Çapraz bağlama ve ısı-nem uygulaması yöntemleri ise enzime dirençli nişasta, sindirimi yavaş nişasta ve hızlı sindirilebilir nişasta miktarlarında çok az bir değişikliğe neden olmuştur. Ayrıca ısı-nem uygulaması, pirodekstrinizasyon ve jelatinizasyon-retrogradasyon işlemlerinin sindirimi yavaş nişasta miktarlarında artışa neden olduğu tespit edilmiştir. En fazla sindirimi yavaş nişasta artışını ise jelatinizasyon-retrogradasyon yöntemi sağlamıştır.

Pişirilmiş nişastalarda en yüksek enzime dirençli nişasta miktarı pirodekstrinize, ısı-nem işlemi ve JR yöntemleri uygulanmış nişastalarda görülmüştür. En fazla sindirimi yavaş nişasta artışı barbunya için JR ve ısı-nem uygulaması yönteminde; nohut için çapraz bağlama yöntemi ve JR işleminde bulunmuştur. Pirodekstrinizasyon yöntemi ise genel olarak üç örnekte de sindirimi yavaş nişasta miktarlarında önemli ölçüde azalmalara neden olmuştur.

Anahtar kelimeler: Baklagil nişastası, sindirimi yavaş nişasta, enzime dirençli nişasta, hızlı sindirilebilir nişasta, modifiye nişasta

ABSTRACT

In this study, chickpea, kidney bean and barlotto bean starch were modified by pyrodextrinization, cross-linking, heat-moisture treatment, and gelatinization-retrogradation process. The effects of these modifications on the nutritionally important starch fractions were studied in both raw and cooked starches. Solubility, swelling power and gelatinization parameters of the modified starches were also studied. Chickpea, kidney bean and barlotto bean starch yields were evaluated as % 23,95;18,65 and 17,73 (g starch/ g legume) respectively.

Pyrodextrinization, cross-linking and heat-moisture treatment reduced the swelling power of the all legume starches. However, gelatinization-retrogradation process did not effect the swelling power of the chickpea and kidney bean starches ($P>0,05$), but it caused a little decrease of the swelling power of the barlotto bean starches. Pyrodextrinization increased the solubility of all starches. Gelatinization-retrogradation decreased the solubility of the samples significantly while the heat-moisture treatment was also tended to decrease the solubility which is statistically not significant. No significant effect of cross-linking were observed on the solubility. Pyrodextrinization and gelatinization-retrogradation process were increased both the gelatinization temperature and gelatinization enthalpy values for all the starch studied. In addition, cross-linking process reduced the gelatinization enthalpies of the samples.

Pyrodextrinization and gelatinization-retrogradation process decreased the enzyme resistant starch content significantly. Cross-linking and heat-moisture treatments did not affect the enzyme resistant, slowly digestible and rapidly digestible starch significantly. Additionally, pyrodextrinization, heat-moisture treatment and gelatinization-retrogradation process increased the slowly digestible starch fractions, and gelatinization-retrogradation process were the most effective modification on this increase.

In the case of cooked starches, the highest enzyme resistant starch content were determined for the pyrodextrinized, heat-moisture treated, and gelatinization-retrogradation processed starches. The highest slowly digestible starch fraction were determined in the jelatinized-retrogradated and heat-treated barlotto bean starch, where this fraction were higher for in the cross-linked and jelatinized-retrogradated chickpea starch. Generally pyrodextrinization decreased the slowly digestible starch content of all starch samples studied.

Key words: Legume starch, slowly digestible starch, enzyme resistant starch, rapidly digestible starch, modified starch

TEŞEKKÜR

Bu tezin her aşamasında bŸyŸk emeği geen, bana her konuda her zaman yardımcı olan, yol gŸsteren ve destek olan değerli danıŐman hocam Yrd. Doç. Dr. Sedat Sayar' a en içten teŐekkŸrlerimi sunarım.

Araştırma ile ilgili deneylerin gerçekleŐtirilmesinde ihtiyaç duyduğumuz her tŸrlŸ olanağı sağlayan Mersin Ÿniversitesi Gıda MŸhendisliĐi BŸlŸm BaŐkanı Prof. Dr. Mahir Turhan, Gıda MŸhendisliĐi BŸlŸmŸ ŸĐretim Ÿyeleri ve sevgili bŸlŸm arkadaŐlarım,

Dostluklarını, sevgilerini ve yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen sevgili arkadaŐım Z. Ÿzge Sancak ve sevgili kuzenim F. Esin Aydın'a,

Bana duydukları gŸven, esirgemedikleri sabırları ve sevgileri için canım annem, babam ve kardeŐime sonsuz teŐekkŸrlerimi sunuyorum.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZ	i
ABSTARCT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER	iv
ÇİZELGELER DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	viii
1.GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	3
2.1. NİŞASTA	3
2.1.1. Nişastanın Kimyasal Yapısı	4
2.1.2. Nişastanın Jelatinizasyonu ve Retrogradasyon	6
2.2. NİŞASTA VE BESLENME	8
2.2.1. Nişastanın Sindirimi	8
2.3. NİŞASTA MODİFİKASYONU	14
2.3.1. Sindirim Hızları Farklı Nişastalar Elde Etme Yöntemleri	16
3. MATERYAL VE METOT	19
3.1. MATERYAL	19
3.1.1. Hammadde	19
3.1.2. Çalışmada Kullanılan Kimyasallar	19
3.1.3. Çözeltilerin Hazırlanması	19
3.2. METOT	20
3.2.1. Baklagil Nişastalarının Ekstraksiyonu	20
3.2.2. Baklagil ve Nişastalarının Kimyasal Bileşimlerinin Analizi	21
3.2.3. Nişastaların Çözünürlük ve Şişme Kapasitelerinin Belirlenmesi	21
3.2.4. Nişastaların Jelatinizasyon Özelliklerinin Belirlenmesi	22
3.2.5. Nişastanın modifikasyonu	22
3.2.5.1. Pirodekstrinizasyon	22
3.2.5.2. Çapraz bağlama	23
3.2.5.3. Isı-nem uygulaması	23
3.2.5.4. Jelatinizasyon-Retrogradasyon	23
3.2.6. Doğal ve modifiye nişastalarda sindirim hızları farklı nişasta kısımlarının analizleri	23

4. BULGULAR VE TARTIŞMA	26
4.1. NİŞASTA EKSTRAKSİYONU	26
4.2. DOĞAL BAKLAGİL NİŞASTALARININ KİMYASAL BİLEŞİMİ	27
4.3. DOĞAL VE MODİFİYE NİŞASTALARIN ÇÖZÜNÜRLÜK VE ŞİŞME KAPASİTELERİ	28
4.4. DOĞAL VE MODİFİYE NİŞASTALARIN JELATİNİZASYON ÖZELLİKLERİ	31
4.5. DOĞAL VE MODİFİYE NİŞASTALARDA SİNDİRİM HIZLARI FARKLI NİŞASTA KISIMLARININ BELİRLENMESİ	35
4.5.1. Pişirilmemiş Örneklerde Sindirim Hızları Farklı Nişasta Kısımları	36
4.5.2. Pişirilmiş Örneklerde Sindirim Hızları Farklı Nişasta Kısımları	38
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	43
KAYNAKLAR	45
ÖZGEÇMİŞ	51

ÇİZELGELER DİZİNİ

ÇİZELGE

Sayfa

Çizelge 2.1. Enzime dirençli nişasta (EDN) tipleri ve bulunduğu gıda maddeleri	13
Çizelge 4.1. Barbunya, fasulye ve nohutun nişasta verimleri	26
Çizelge 4.2. Barbunya, fasulye ve nohut nişastalarının kimyasal bileşimi	28
Çizelge 4.3. Doğal ve modifiye nişastaların çözünürlük ve şişme kapasiteleri	29
Çizelge 4.4. Doğal, çapraz bağlı ve ısı-nem uygulanmış barbunya, fasulye ve nohut nişastalarının DSC diyagramlarının değerlendirme sonuçları	34
Çizelge 4.5. Baklagil nişastalarında SYN ve EDN toplamları	41

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>SEKİL</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1. Nişasta granülünün yapısı	4
Şekil 2.2. Amiloz molekülünün yapısı	5
Şekil 2.3. Amilopektin molekülünün yapısı	5
Şekil 2.4. Nişasta granülünün jelatinizasyonu	7
Şekil 2.5. Nişasta granülünün retrogradasyonu	7
Şekil 3.1. Sindirimi yavaş nişasta ve enzime dirençli nişasta analizleri akım şeması	25
Şekil 4.1. Doğal ve modifiye barbunya nişastasının DSC termogramları	32
Şekil 4.2. Doğal ve modifiye fasulye nişastasının DSC termogramları	33
Şekil 4.3. Doğal ve modifiye nohut nişastasının DSC termogramları	33
Şekil 4.4. Pişirilmemiş, doğal ve modifiye barbunya nişastasında HSN, SYN ve EDN oranları, %	36
Şekil 4.5. Pişirilmemiş, doğal ve modifiye fasulye nişastasında HSN, SYN ve EDN oranları, %	37
Şekil 4.6. Pişirilmemiş, doğal ve modifiye nohut nişastasında HSN, SYN ve EDN oranları, %	37
Şekil 4.7. Pişirilmiş, doğal ve modifiye barbunya nişastasında HSN, SYN ve EDN oranları, %	39
Şekil 4.8. Pişirilmiş, doğal ve modifiye fasulye nişastasında HSN, SYN ve EDN oranları, %	40
Şekil 4.9. Pişirilmiş, doğal ve modifiye nohut nişastasında HSN, SYN ve EDN oranları, %	40

SİMGELER ve KISALTMALAR

- T_o : Jelatinizasyon başlangıç sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)
- T_p : Tepe (pik) sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)
- T_c : Jelatinizasyon bitiş sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)
- ΔH : Jelatinizasyon entalpisi (J/g)
- G_{20} : 20. dakikada salınan glukoz miktarı
- G_{120} : 120. dakikada salınan glukoz miktarı
- TG : Toplam glukoz
- AS : Asetilleme
- HP : Hidroksipropilleme
- ÇB : Çapraz bağlama
- IN : Isı-nem uygulaması
- JR : Jelatinizasyon-Retrogradasyon
- SD : Sübstitüsyon derecesi
- GI : Glisemik indeks
- TN : Toplam nişasta
- EDN : Enzime dirençli nişasta
- SYN : Sindirimi yavaş nişasta
- HSN : Hızlı sindirilebilir nişasta
- OSA : 2-oktan-1-succinic anhidrit
- STMP : Sodyum trimetafosfat

1. GİRİŞ

Beslenme biliminin ortaya çıkmasının ilk yıllarından itibaren yapılan çalışmalar sonucu, diyetle alınan ve sindirime uğrayan çoğu besin ögesinin insan vücudunda tam olarak fayda sağlayamadıkları ortaya çıkmıştır. Beslenme sonucu alınan ve sindirime uğrayan toplam besin öğelerinin yalnızca bir kısmının insan bedeni için yararlılık sağladığı tespit edilmiştir. Besin öğelerinin tam olarak sindirilememesi, gıdalarda doğal olarak bulunan ve sindirimi önleyici fitik asit, tanik asit gibi bileşenlerin yanı sıra, gıdanın besinsel lif içeriği, yapısı, yoğunluğu ve çözünürlüğü gibi faktörlere de bağlıdır. Ayrıca gıdalara uygulanan bazı işleme yöntemlerinin de besin öğelerinin sindirimini azalttığı bilinmektedir. Literatürde bu tür besin öğeleri 'yarayışsız' ya da 'biyoyarayışsız besin öğeleri' olarak adlandırılmaktadır. Ancak son yıllarda yapılan bilimsel çalışmalar, bu tür besin öğelerinin bazılarının beslenme sağlığı açısından önemli fonksiyonlarının olduğunu ortaya koymaktadır [1]. Beslenmemizde önemli bir yer tutan nişastanın da kaynağına ve işleme koşullarına göre farklı oranlarda sindirilemeyen kısımlar içerdiği bilinmektedir. Bu kısımların özellikle kalın bağırsakta önemli fonksiyonlarının olduğu belirlenmiştir [2].

İnsan sindirim sisteminde nişastanın sindirilebilirliği, hızlı sindirilme ile hiç sindirilememe arasında çeşitlilik göstermektedir [2]. Bu şekilde sindirim hızları farklı nişasta fraksiyonlarının beslenme sağlığı açısından yararlarının olduğu bilinmektedir. Literatürde çeşitli kaynaklardan elde edilen nişastaların modifikasyonu ile sindirilebilirliğinde meydana gelen değişikliklerin incelendiği çalışmalar mevcuttur. Ancak bu amaç için baklagil nişastalarının kullanılmadığı görülmüştür.

Bu çalışmada ülkemizde yüksek oranda üretilen ve aynı zamanda yüksek miktarlarda nişasta içeren nohut, fasulye ve barbunya hammadde olarak seçilmiş ve bunlardan nişasta elde edilmiştir. Elde edilen nişastaların hızlı sindirilebilen nişasta (HSN), sindirimi yavaş nişasta (SYN) ve enzime dirençli nişasta (EDN) miktarları

tespit edilmiştir. Daha sonra elde edilen doğal nişastalar; pirodekstrinizasyon (PD), çapraz bağlama (ÇB), ısı-nem uygulaması (IN) ve jelatinizasyon-retrogradasyon (JR) işlemleri ile modifiye edilmişlerdir. Ham ve pişirilmiş modifiye nişastaların HSN, SYN ve EDN içerikleri tespit edilerek modifikasyon işlemlerinin sindirilebilirlik üzerine etkileri incelenmiştir. Ayrıca elde edilen ürünlerin teknolojik anlamda önemli olan fizikokimyasal niteliklerinden jelatinizasyon özellikleri, çözünürlük ve şişme kapasiteleri de incelenmiştir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. NİŞASTA

Nişasta granülleri, bitkilerin tohum, kök ve yumrularında, ayrıca gövde, yaprak, meyve ve hatta polenlerinde bulunabilen enerji depolarıdır. Nişasta içeren gıdalar çok önemli bir enerji kaynağıdır [3]. Nişasta besleyici değerinin yanı sıra gıdaların fiziksel özellikleri üzerinde de önemli etkiye sahiptir [4]. Örneğin pudinglerin jelleşmesi, yemek soslarının kıvamının oluşması ve keklerin pişme sırasında sıvı halden katı hale dönüşmesinde (setting) nişastanın etkisi bulunmaktadır [3].

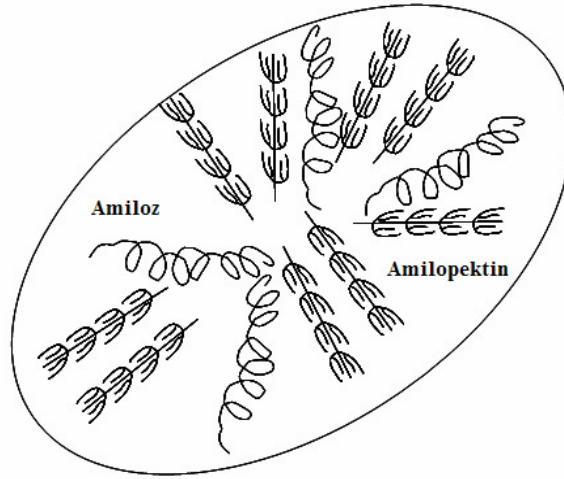
Nişasta bitkilerde granül formunda bulunur. Hububat ve diğer gelişmiş bitkilerde granüller plastidler içinde oluşturulur. Nişasta granülleri, kaynağına bağlı olarak değişik şekil ve büyüklükte bulunabilirler [5]. Basit nişasta granüllerine sahip olan buğday, arpa, çavdar, mısır, sorgum gibi tahıllarda her plastid bir granül içerir. Bileşik nişasta granüllerine sahip olan pirinç ve yulafta ise her bir amiloplast içerisinde birçok granül bulunur. Yumru nişastaları geniş, elips veya küre şeklindedirler. Baklagil nişastaları oval ya da böbrek şeklindedirler [3].

Nişastanın yapısı fiziksel açıdan heterojen olup kristal veya amorf fazlar mevcuttur. Doğal nişasta granülleri %15 ile %45 arasında değişen kristaliteye sahiptirler [6]. Mikroskopta polarize ışık altında incelendiklerinde tipik malta haçı görüntüsü (çift kırınım; birefringence) vermektedirler. X-ışını kırınım tekniği nişastada olduğu gibi *kısmen* veya diğer bazı maddelerde olduğu gibi *tamamen kristal* yapıda olan maddeleri incelemek için güçlü bir araç olarak kullanılmaktadır [3]. Nişasta granülleri X-ışını kırınım desenlerine göre üç sınıfa ayrılmıştır. Hububat nişastaları genellikle A tipi X-ışını kırınım deseni verirken, patates gibi yumru nişastaları B tipi desenine sahiptirler. Bezelye ve fasulye [3] gibi baklagil nişastaları ise C tipi X-ışını kırınım deseni vermektedirler. C deseni, A ve B desenlerinin bileşimi şeklinde bir desendir [7].

2.1.1. Nişastanın Kimyasal Yapısı

Nişasta esas olarak α -D-glukoz birimlerinden oluşmaktadır. Granül aynı zamanda küçük miktarlarda diğer bazı bileşenleri de içermektedir. Bu bileşenler çok düşük miktarlarda bulunmalarına rağmen nişastanın bazı özelliklerini etkilemektedirler. Hububat nişastaları çok düşük oranlarda yağ içerirler. Hububat nişastalarında yağ miktarı genellikle %0,5 ve % 1 arasındadır. Diğer kaynaklarda bulunan nişastalar ise yağ içermezler. Nişastanın bileşiminde ayrıca fosfor ve azot da bulunmaktadır. Tahıllarda fosfor, fosfolipit şeklinde bulunmaktadır. Tüm nişastalar düşük oranlarda (< %0,05) azot içerirler [3].

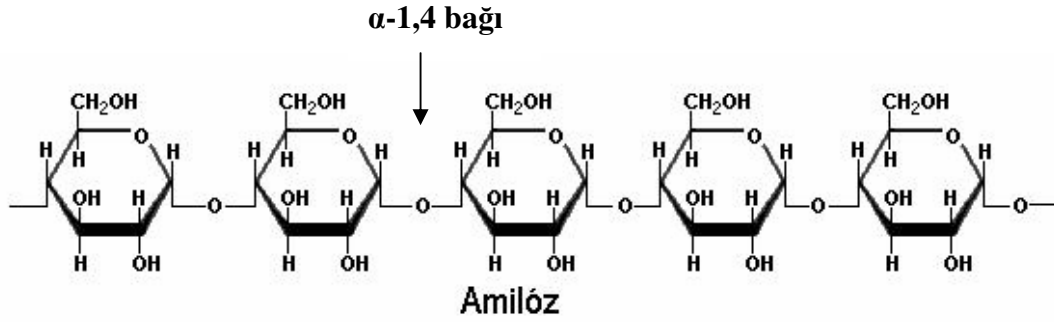
Nişasta temel olarak α -D-glukoz birimlerinin polimerleşmesi ile oluşmaktadır. Kimyasal olarak yapısında iki tür polimer mevcuttur; lineer bir polimer olan amiloz ve dallanmış bir polimer olan amilopektin (Şekil 2.1). Hububat nişastalarında amiloz yaklaşık olarak %23, amilopektin ise %77 oranında bulunur [3].



Şekil 2.1. Nişasta granülünün yapısı

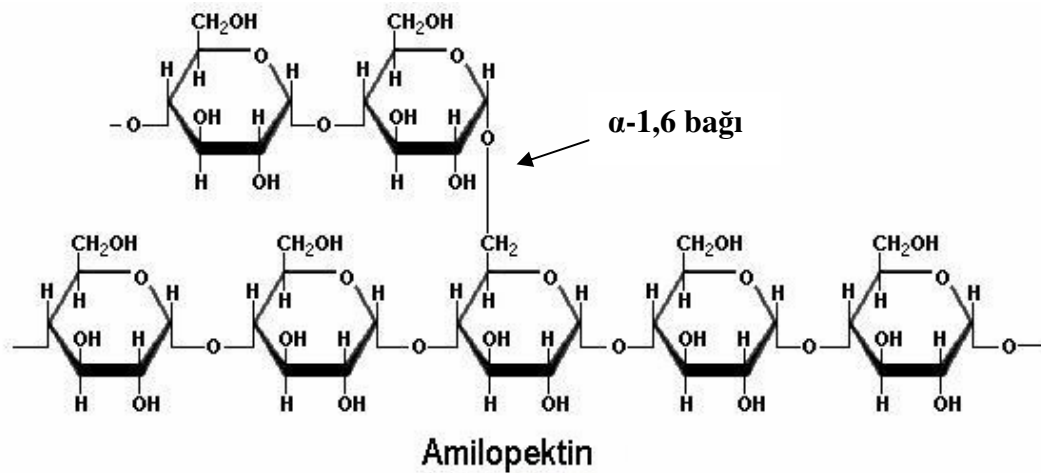
Amiloz genel olarak α -1,4 bağı ile bağlanmış α -D-glukoz birimlerinden oluşan lineer bir polimer (Şekil 2.2) olarak kabul edilmektedir [5]. Molekül ağırlığı, bitki türlerine ve bitkinin olgunlaşmasına bağlı olarak yaklaşık 250 000 (1500

anhidro-glukoz birimi) dir. Nişasta granülünün jelatinizasyon sıcaklığının biraz üzerindeki sıcaklıklara ısıtılması ile amiloz nişasta granülünden sızarak çözeltiye geçer. Amiloz molekülünde dallanmalar çok seyrek ve zincirler oldukça uzun oldukları için molekülün dallanmamış olduğu kabul edilmektedir [3].



Şekil 2.2. Amiloz molekülünün yapısı

Amilopektin, amiloz gibi α -1,4 bağı ile bağlanmış α -D-glukoz birimleri ile α -1,6 bağı dallanma noktalarından oluşmaktadır (Şekil 2.3). Bağların yaklaşık %5'i α -1,6 bağıdır [5]. Molekül ağırlığı $10^7 - 10^8$ arasında değişmektedir. Amilopektin nişasta granülünün *kristal* yapıdaki temel bileşenidir. Amilopektin zincirlerinin çift heliks yapıda oldukları savunulmaktadır. Amilopektinin moleküler yapısının belirlenmesindeki en önemli zorluk molekül ağırlığının çok yüksek olmasıdır [3].



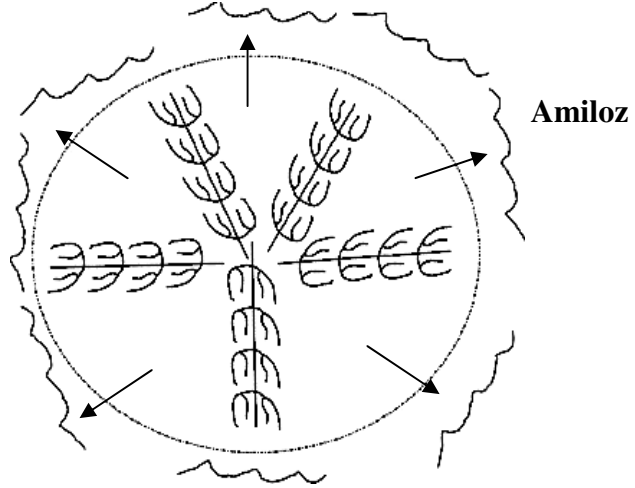
Şekil 2.3. Amilopektin molekülünün yapısı

Nişastanın yapısındaki amiloz ve amilopektin çeşitli enzimlerin etkisiyle parçalanma ürünlerine dönüşmektedirler. α -amilaz nişasta içerisindeki α -1,4 bağlarını rastgele noktalardan kırarak daha küçük parçalar oluşturmaktadır. β -amilaz ise nişasta zincirlerinde indirgen olmayan uçlardan başlayarak α -1,4 bağlarını kırarak maltoz ve dekstrinleri oluşturmaktadır. Glukoamilaz (amiloglukozidaz) nişastanın indirgen olmayan uçlarından α -1,4 bağlarını kırarak D glukoz birimleri oluşturur, ayrıca dallanma noktalarındaki α -1,6 bağlarını da kırarak nişastayı hemen hemen tamamen D-glukoza dönüşürmektedir [3].

2.1.2. Nişastanın Jelatinizasyonu ve Retrogradasyon

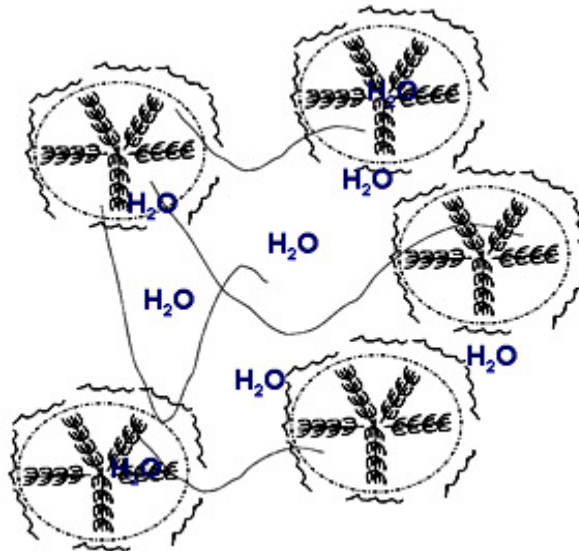
Doğal nişasta granülleri soğuk suda çözünmezler [8]. Ancak bağlı nemi yüksek bir ortamda bekletildiklerinde veya su ile temas ettirildiklerinde suyu absorbe ederek şişerler. Bu durumda su molekülleri ile nişasta molekülünde bulunan hidroksil grupları arasında hidrojen bağları oluşmaktadır. Nişasta kuru ağırlılığının %30 u kadar suyu yapısında tutabilmektedir. Granülün şişmesi sonucunda hacimde %5 oranında bir artış meydana gelmektedir. Hacim değişimi ve suyun yapıya absorpsiyonu geri dönüşümlüdür. Sistemin jelatinizasyon sıcaklığından daha düşük sıcaklık derecelerine ısıtılması granülde başka bir değişime neden olmamaktadır. Ancak daha yüksek sıcaklıklarda ısıtma geri dönüşümsüz değişikliklere neden olabilmektedir [3]. Bu değişiklikler sonucunda nişasta granülünü düzenli yapısı bozulur [5] ve polarize ışık mikroskopunda gözlenen malta hacı görüntüsü kaybolur. Bu olaya jelatinizasyon denilmektedir [3].

Isıtmanın sürdürülmesiyle, nişasta granülü içerisinde bulunan amiloz molekülleri granül çeperinden sızarak çözeltiye geçerler (Şekil 2.4). Çözünen nişasta (amiloz) viskozitenin artmasına neden olmaktadır. Bunun sonucunda oluşan yapı peltemsi (çiriş: paste) bir hal almaktadır [8].



Şekil 2.4. Nişasta granülünün jelatinizasyonu

Jelatinizasyon sonucu oluşan yüksek vizkoziteli yapı stabil değildir. Depolama sırasında bu yapı jel halini almaktadır [5]. Oluşan jelin bekletilmesi sırasında nişasta zincirleri enerjilerini azaltmak için birbirleriyle etkileşime girerler (Şekil 2.5). Bekletme periyodu arttırılırsa nişasta zincirleri arasındaki etkileşim daha da artmaktadır [3]. Bunun sonucunda kristal bir yapı oluşur. Bu olaya retrogradasyon denir [8].



Şekil 2.5. Nişasta granülünün retrogradasyonu

Nişasta granülleri tamamen jelatinize oldukları zaman enzimler tarafından kolaylıkla parçalanabilirler. Ancak jelatinizasyon sonucu meydana gelen jelin soğutulması ile oluşan kristal yapı enzimlere karşı daha dirençlidir [9].

2.2. NİŞASTA VE BESLENME

Yetişkinlerde beslenme sonucu alınan enerjinin %55–60 ı karbohidratlardan sağlanmaktadır. Bu enerjinin ise %75 ini nişasta içeren gıdalar sağlamaktadır [10].

Karbohidratlar, enerji kaynağı olarak bedenin kullanabileceğı en iyi yakittir. Özellikle kompleks karbohidratların ve kaynaklarının, daha sağlıklı besinler olduğı bilinmektedir. Karbohidrat yapısında olan lifler, karbohidratların en sağlıklı parçaları ve aynı zamanda da vitamin, mineral ve birçok doğal antioksidanın taşıyıcısı olduğundan rafine edilmemiş kompleks karbohidratların besin değerinin yüksek olduğuna bilinmektedir [11, 12].

Gıda endüstrisinde tahıl, yumru ve kök bitkilerden elde edilen rafine nişastalar yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Fakat baklagil nişastalarının kullanımı oldukça sınırlıdır. Bunun başlıca sebepleri şöyle sıralanabilir; baklagil nişastalarının granül yapısı; granül büyüklüklerinin fazla (22–40 µm) olması ve yüksek oranda kristaliteye sahip olmaları nişastanın şişme kapasitesini sınırlamakta dolayısıyla çözünürlüğünü azaltmaktadır. Bu durum α-amilaz enzime karşı molekülü daha dirençli hale getirmektedir. Baklagil nişastalarının granül büyüklüklerinin fazla olması ve daha sıkı yapıda amilopektin zincirlerine sahip olmaları nedeniyle asit hidrolizine karşı da oldukça dayanıklı oldukları bilinmektedir [13].

2.2.1. Nişastanın Sindirimi

Nişastanın sindirimi ağızda başlar. Ağızda tükürük bezlerinde bulunan α - amilaz enzimi nişastayı oligosakkaritlere kadar parçalama özelliğine sahiptir. Ağızda kısmen sindirilmiş nişasta ince bağırsağına geldiğinde pankreastan gelen α - amilaz enzimi ile sindirmeye devam eder. İnce bağırsak boyunca maltaz ve

glukoamilaz enzimleri ile nişasta glukoz birimlerine kadar parçalanır ve kan dolaşımına katılır [2].

Gıda maddelerinde bulunan nişastanın sindirilebilirliği, süre ve oran bakımından farklılıklar göstermektedir [14]. Nişastanın sindirilebilirliğini etkileyen faktörler literatürde iç ve dış faktörler olmak üzere ikiye ayrılmıştır [7].

İç faktörler: Nişasta içeren gıdaya bağlı faktörlerdir. Örneğin gıdada bulunan nişasta fiziksel olarak (hücre duvarı, tahıl, tohum vs.) korunuyor ise sindirim hızı yavaşlamaktadır. Bu yapılar nişastayı parçalayan enzimler için engel teşkil etmektedirler. Ayrıca özellikle baklagil hücrelerinde bulunan kalın hücre duvarları, nişasta granülünün şişmesini engelleyerek çözünürlüğünün azalmasına neden olmaktadır [7].

Sindirim hızını etkileyen diğer bir içsel faktör ise granülün bulunduğu bitkisel kaynağa bağlı olarak değişen şekli ve kristal yapısıdır [7]. Bölüm 2.1 de belirtildiği gibi nişasta granülleri kristal yapılarına göre A, B ve C tip olmak üzere üç sınıfa ayrılmıştır. Genel olarak B ve C tip X-ışınım deseni veren nişastaların (baklagil, patates vs.) pankreatik amilaz enzimine karşı daha dirençli oldukları bilinmektedir [7].

Ayrıca tamamen jelatinize olmuş ve çözülmüş nişasta granülü, doğal nişasta granülüne göre oldukça kolay sindirilmektedir [7]. Bölüm 2.1 de açıklandığı üzere nişastanın jelatinizasyonu sırasında granül parçalanmakta ve amiloz molekülleri granül dışına sızarak çözünür hale geçmektedir. Bu durum sindirim enzimlerinin moleküle etkisini hızlandırmaktadır. Ancak jelatinizasyon sonrası oluşan jel soğutulduğunda kısmen kristal bir hal almaktadır (retrogradasyon) ve oluşan bu kristal yapı sindirim enzimlerine karşı daha dirençlidir. Retrogradasyon molekül zincirleri (amiloz ve amilopektin) arasında meydana gelen hidrojen bağlarına bağlıdır ve bu bağlar doğrusal amiloz zincirleri arasında daha hızlı gerçekleşmektedir. Amilopektin molekülünün retrogradasyonu ise molekülün dallanmış yapısından

dolayı daha sınırlı gerçekleşmekte ve oluşan bağların amiloz molekülleri arasında oluşan bağlara göre daha zayıf oldukları bilinmektedir [7].

Dış faktörler: Gıdaya bağlı olmayan faktörler olarak tanımlanmaktadır. Gıda kaynaklı faktörler tek başlarına nişastanın sindirim hızını ve süresini tam olarak yansıtamazlar. Çünkü bireylere bağlı faktörler de gıdaların sindirim süresini ve hızını etkilemektedir. Bunlar ağızda çiğneme süresi, gıdanın ağızdan mideye geçiş süresi, bağırsaklarda bulunan amilaz enzimi konsantrasyonu, alınan nişasta miktarı ve nişasta ile birlikte alınan diğer gıda maddeleri olarak sıralanabilir. Dolayısıyla nişastanın sindirilebilirliğini ölçerken iç ve dış faktörlerin birlikte değerlendirilmesi gerekmektedir. Ancak ölçümler sırasında dış faktörlerden kaynaklanan çeşitliliklerin çok fazla olmamasına da dikkat edilmelidir [7].

Englyst ve ark. [7] gıda maddelerinde bulunan nişastayı sindirilebilirliğine göre üç kısma ayırmışlardır. Sınıflandırma yapılırken sindirimi etkileyen iç faktörler temel alınmıştır. Bunlar:

- a- İnsan sindirim sisteminde hızlıca hidrolize uğrayıp emilebilen nişasta (Hızlıca sindirilebilen nişasta, HSN)
- b- İnsan sindirim sisteminde daha düşük hızlarda hidroliz olan ve emilimi daha uzun süren nişasta (Sindirimi yavaş nişasta, SYN)
- c- İnsan sindirim sistemindeki enzimlere dirençli nişasta (Enzime dirençli nişasta, EDN)

HSN, SYN ve EDN'yi sindirim sisteminde bulunan enzimler tarafından in vitro olarak hidrolizi sırasında zamana bağlı olarak ortaya çıkan glukoz miktarına göre analiz edilmektedir. Buna göre, hidrolizin ilk 20 dakikası içerisinde salınan glukoz miktarı HSN; hidrolizin 20 ile 120. dakikaları arasında salınan glukoz miktarı SYN ve 120. dakika sonrasında salınan glukoz miktarı ise EDN olarak tanımlanmıştır. Her üç nişasta kısmının besinsel açıdan yararlılıkları farklılıklar göstermektedir [2].

SYN kandaki glikozun seviyesini yavaşça arttıran nişastalar olarak tanımlanmaktadır. SYN, kandaki glukoz seviyesini uzun bir süre belli bir düzeyde tutmasından dolayı tokluk hissi vermekte ve bu durum sağlık açısından önemli bir avantaj teşkil etmektedir. Ara bir fraksiyon olarak adlandırılan SYN'nin yapısı ve sağlığa olan yararlı etkileri, EDN'ye göre daha az bilinmektedir. Lehmann ve Robin [2] nin belirttiğine göre Jenkins ve ark. (2002) SYN içeren gıdaların glisemik indeks (Gİ) üzerine olan olumlu etkilerinin olduğunu savunmaktadırlar. Klinik araştırmalar da düşük Gİ li diyetlerin diabet ve kardiyovasküler hastalık riskini azalttıklarını ortaya koymaktadırlar [2].

Glisemik indeks bir gıdanın veya karbonhidratın kan şekerini yükseltme değeridir. Bu kavram ilk olarak Toronto Üniversitesinde, hangi besinlerin diyabetli hastalar için daha uygun olduğunu araştıran Dr. David J. Jenkins ve meslektaşlarının 1980–81 yıllarındaki çalışmaları sonucu ortaya çıkmıştır [15]. Literatürde, 50 g karbonhidrat tüketildikten hemen sonraki 2 saat içerisinde ölçülen toplam glisemik etki olarak tanımlanmaktadır [16]. Glisemik indeks 0 ile 100 arasında değişmektedir. Daha önceleri Gİ hesaplanırken beyaz ekmek temel alınmaktaydı. Ancak ekmek çeşitlerinin farklı olması nedeniyle bu durum hata payını arttırmış ve bu nedenle glukoz (kan şekeri) temel alınarak hesaplamalar yapılmaya başlanmıştır. Buna göre glukozun değeri 100 kabul edilerek diğer gıdaların kan şekerini yükseltme gücü veya etkisi sıralanmaktadır [15]. Çeşitli besinlerdeki karbonhidratlar kan şekerini farklı derecelerde yükseltmektedirler. Bir gıdanın Gİ i 55'den az ise düşük, 56-69 arasında ise orta, >70 ise yüksek Gİ li olarak adlandırılmaktadır [17].

Düşük Gİ değerli besinler glukozun daha yavaş ve düzenli salınımı sağlarken, yüksek Gİ ye sahip besinler kandaki glukoz düzeylerini hızla yükseltmektedirler. Bu nedenle glisemik indeksi düşük besinler, bireylerin daha uzun süre tok kalmalarını sağlamaktadırlar. Bu oranın yüksek olduğu besinler ise kandaki insülin miktarını hızla yükseltip daha sonra da hızla düşürmelerinden dolayı bireylerin daha hızlı acıkmalarına neden olmaktadır. Ayrıca aniden yükselen kan şekerinin vücutta depolanması sırasında *yağlanma* yani *kilo alma* meydana gelmektedir. Bir yandan da glukozun aşırı ve dengesiz salınması pankreasın insülin miktarını ayarlamak için

aşırı insülin üretmesine ve sonuçta özellikle de genetik yatkınlığı olan kişilerde diyabet hastalığı, hipertansiyon ve damar sertliği gibi hastalıkların ortaya çıkmasına neden olmaktadır [18].

Gıdaların kan şekerini yükseltme gücü kadar insülin hormonunu yükseltme gücü de vardır. Buna *insülin indeksi* adı verilmektedir. Yapılan çalışmalar insülin indeksi ile glisemik indeksin paralellik gösterdiğini ortaya koymuştur. Bu nedenle ayrıca insülin indeksini kullanmaya gerek kalmamaktadır. Yani düşük Gİ li bir gıdanın insülin indeksi de düşük, yüksek Gİ li bir gıdanın insülin indeksi de yüksektir [19].

1982 yılında Englyst ve ark. [7] nişasta olmayan polisakkaritlerle ilgili in vitro çalışmalar yaparlarken bazı nişastaların enzimlerle hidroliz olmadığını bulmuşlardır. Daha sonra yapılan in vivo çalışmalar ise sağlıklı insanların mide ve ince bağırsaklarında EDN olduğunu doğrulamıştır. Buradan yola çıkılarak EDN sağlıklı insanların ince bağırsaklarında sindirime direnç gösteren nişasta olarak tanımlanmıştır [20]. EDN insan sindirim sistemindeki enzimlerle hidroliz edilemediği için kalın bağırsağa ulaşabilmektedir. EDN gibi ince bağırsakta sindirilemeyen polisakkaritler, kalın bağırsak mikroflorası için anaerobik fermentasyon substratı olarak işlev görmektedir [21–22].

Sindirilemeyen polisakkaritlerin fermentasyonu sonucunda da kalın bağırsak sağlığı açısından birçok olumlu sağlık etkileri olan kısa zincirli yağ asitlerinin (asetik, propiyonik, izobütrik, bütrik, izovalerik, valerik) arttığı, *in vitro* ve *in vivo* yöntemlerle, belirlenmiştir [23–24]. Kısa zincirli yağ asitlerinin, kalın bağırsakta kanser oluşumunu tetikleyen ikincil safra asitleri oluşumunu azalttığı ayrıca kalın bağırsak pH'sını düşürerek hem istenmeyen mikroorganizmaların gelişimini engellediği hem de kalsiyum ve magnezyum gibi bazı mineral maddelerin absorpsiyonunu hızlandırdığı belirtilmiştir [25].

Englyst ve ark. [7] EDN'yi 4 grup altında sınıflandırmışlardır. Çizelge 2.1 de EDN tipleri ve buldukları gıda kaynakları yer almaktadır.

Tip-1 EDN, gıdalarda fiziksel olarak ulaşılamayan, bu nedenle sindirime direnç gösteren nişastalar için kullanılan bir terimdir. Örnek olarak tahıl, tohum ve yumru bitkilerin hücre duvarları içerisinde bulunan nişastalar verilmektedir.

Tip-2 EDN ise yapısal özellikleri nedeniyle sindirilemeyen doğal nişastalardır. Yüksek düzeylerde amiloz içermektedirler. Çiğ patates ve yeşil muzda bulunan nişastalar örnek verilmektedir.

Çizelge 2.1. Enzime dirençli nişasta (EDN) tipleri ve bulunduğu gıda maddeleri^a

EDN çeşidi	Tanımı	Bulunduğu gıda maddeleri
Tip-1	Fiziksel olarak enzimlerin etki edemeyeceği (ulaşamayacağı) nişasta granülleri	Kısmen öğütülmüş veya tane halindeki hububatlar ve baklagiller
Tip-2	Doğal, jelatinize olmamış, B-tipi kristal yapıya sahip granüler nişasta	Muz ve pişirilmemiş patates
Tip-3	Retrograde nişasta	Piştirilmiş ve soğutulmuş patates ve ekmek, konserve baklagiller
Tip-4	Kimyasal yöntemlerle modifiye edilmiş nişasta (çapraz bağlı)	Belirtilen modifiye nişastanın kullanıldığı ürünler

^a Kaynak: Nugent (2005) [20]

Tip-3 EDN sindirime dirençli granüler olmayan nişasta türevleri olarak tanımlanmaktadır. Genel olarak nişasta granüllerinin retrogradasyonu esnasında oluşturmaktadırlar [7]. Nişastanın retrogradasyonu sırasında molekülün bir kısmı amilolitik enzimlere karşı dirençli bir hal almaktadır. Tip-3 EDN alfa-(1-4)-glukan birimlerinden oluşan kısa zincirli düz bir yapıya sahip ve ısıya oldukça dayanıklı moleküllerdir. A veya B tip kristal yapıdadır. Bu tipteki nişastaların oluşumunda; nişastanın kaynağı, amiloz /amilopektin oranları, molekül zincirinin uzunluğu, yağ içeriği, jelatinizasyon sırasındaki işlem koşulları ve diğer bileşenlerin varlığı gibi

birçok faktör etkilidir [5]. Örnek olarak pişirilmiş-soğutulmuş patates ve mısır gevreği verilmektedir [7].

Tip-4 EDN eterleme, esterleşme ve çapraz bağlama gibi yöntemlerle kimyasal olarak yapıları değiştirilmiş ve enzimlere direnç kazandırılmış nişastalardır. Modifiye nişasta içeren ekmek, kek, pasta gibi gıdalar örnek verilmektedir [20].

2.3. NİŞASTA MODİFİKASYONU

Modifiye nişastalar doğal nişastanın fiziksel, kimyasal veya enzimatik uygulamaların bir veya birkaçının birlikte kullanılmasıyla elde edilen fakat nişastanın özelliklerini tamamen kaybetmeyip, belirli ölçüde koruyan nişasta türevleridir. Bu uygulamalarla gıda sanayinde spesifik amaçlara uygun ürünler elde edilir [3]. Başlıca nişasta modifikasyon yöntemleri şunlardır:

Asitle İnceltme: Asitle inceltme nişastanın modifikasyonunda kullanılan eski yöntemdir. Doğal nişastanın viskozitesini azaltmak için kullanılmaktadır. Bu nedenle nişasta zinciri çeşitli yöntemlerle daha küçük parçalara bölünmektedir. Bu tür nişastalar endüstriyel üretimde %1–3 lük HCl veya H₂SO₄ ile 50 °C de 12–14 saat bekletilmektedirler. Bu işlemde sonra çözelti nötralize edilmekte ve nişasta süzülerek ortamdan alınmaktadır. Reaksiyon sırasında glikozidik bağlar kısmen hidrolize olmaktadır [3].

Çapraz bağlama: Çapraz bağlama en önemli modifikasyon yöntemlerinden biridir. İki veya daha fazla fonksiyonlu kimyasal maddelerin nişastanın bir veya daha fazla hidroksil grubu ile reaksiyona girmesi ile elde edilmekte, böylece bir molekülden diğerine kovalent çapraz bağlar oluşmaktadır. Çapraz bağlama nişastayı sulu bir süspansiyonda fosfor oksiklorit ile reaksiyona sokarak gerçekleştirilebilmekte, ayrıca kuru nişasta / trimetafosfat reaksiyonu ile de aynı sonuca gidilebilmektedir. Adipik asit de diğer bir çapraz bağlama ajanı olarak kullanılmaktadır.

Diğer bir çapraz bağlama ise belli oranlarda fosfor oksikloritin pH 10 da % 40 lık nişasta lapasına 5°C de ilave edilmesi ile gerçekleştirilmektedir. Reaksiyon tamamlandıktan sonra nötralize edilmekte, granüler nişasta süzülmekte, yıkanmakta ve kurutulmaktadır. Epiklorohidrin kullanılarak da fosforoksiklorit ile yapılan modifikasyona benzer olarak çapraz bağlama yapılabilmektedir.

Çapraz bağlama işleminin nişastanın fiziksel ve kimyasal özelliklerine olan etkileri şu şekilde sıralanabilir:

- Yüksek seviyede gerçekleşen çapraz bağlama nişastanın jelatinizasyon sıcaklığını yükseltmektedir. Düşük seviyeli çapraz bağlama ise jelatinizasyon sıcaklığını etkilememekte ancak çiriş özelliklerini değiştirmektedir.
- Çapraz bağlı nişastalar daha az su alarak şişerler. Karıştırma sırasındaki incelleme bu yöntem ile önlenmektedir çünkü daha az çözünürlükte daha viskoz bir çiriş eldesi sağlanmaktadır.
- Çapraz bağlama ile asidik ortamda da yüksek viskoziteli bir sistem oluşturmak mümkündür. Asidik ortamlarda normal nişastaların α -1,4 bağları hızlıca hidrolize olmaktadır. Ancak çapraz bağlı nişasta kullanıldığında asit, nişasta yapısındaki bağların sınırlı düzeyde hidrolize uğratsa bile çapraz bağlar yapıyı bir arada tuttuğu için viskozite azalmamaktadır.
- Nişasta jellerinde soğukta depolama sırasında retrogradasyon sonucu matlaşma gözlenmektedir. Zincirler daha kısa ise kristalleşme daha da hızlanmaktadır. Çapraz bağlama ile retrogradasyon önlenmekte, böylece nişasta jelinin matlaşması geciktirilebilmektedir.
- Ayrıca çapraz bağlı nişastalar birden fazla donma-erime döngüsüne dayanabilir özellikle oldukları için dondurulmuş gıdalarda, konservelerde, soslarda, bebek mamalarında ve meyve turtalarında dolgu maddesi olarak kolaylıkla kullanılabilirler [3].

Oksidasyon: Değişik ortamlarda nişastanın hidroliz edilmesi sonucunda oluşan ürünlerin yükseltgenmesi ile okside nişastalar meydana gelmektedir. Oksitlenme olayı amiloz ve amilopektinin her ikisini de etkilemektedir. Ancak özellikle amiloz zincirlerinde oluşan karboksil ve karbonil grupları, ürünün jelatinizasyon ve retrogradasyon eğiliminin azalmasında etkilidir [3].

Nişasta esterleri: Nişasta fosfat monoesterleri nişasta ile orto-,piro- veya tiri-polifosfatların asit tuzların yüksek sıcaklıkta reaksiyonu ile oluşmaktadır. Doğal nişastaya göre nişasta esterleri daha düşük jelatinizasyon sıcaklıklarına sahiptir ve süstitüsyon derecesi (SD) 0,07 den büyük olduğundan soğuk suda şişme özelliği kazanmaktadırlar. Nişasta fosfatlarında hamur viskozitesi ve berraklıkta artış, retrogradasyon hızında ise düşüş gözlenmektedir [3].

Nişasta eterleri: En çok kullanılanı hidroksialkil nişastalardır. Genellikle alkilen oksitin %35–45 lik nişasta süspansiyonu ile 50°C deki reaksiyonuyla elde edilmektedir. Nişasta eterleri esterlerden farklı olarak yüksek pH a karşı dayanıklıdır ve kuvvetli bazik koşullarda kullanılabilir. Bununla birlikte nişasta eterleri asit uygulaması ve oksidasyon ile daha fazla modifiye edilerek istenen özellikleri elde etmek mümkün olabilmektedir [3].

2.3.1. Sindirim Hızları Farklı Nişastalar Elde Etme Yöntemleri

Han ve BeMiller [26] yüksek miktarlarda SYN elde etme amacıyla normal mısır, vaksi mısır (waxy, %100 oranında amilopektin içeren nişasta), patates ve tapyoka nişastalarını kimyasal olarak modifiye etmiş ve elde edilen nişastaların sindirilebilirlik ile fiziksel özelliklerini incelemişlerdir. Vaksi mısır nişastasına uygulanan çapraz bağlama (ÇB) – hidroksipropilleme (HP) (veya asetilleme-AS) kombinasyonu sonucu oluşan SYN miktarı sadece çapraz bağlama yöntemi uygulanarak elde edilen SYN'ye göre daha fazla olduğu tespit edilmiştir. ÇB-HP kombinasyonu ile elde edilen modifiye nişastaların SYN içerikleri (%21) diğerlerinden daha fazlayken, ÇB- AS kombinasyonu sonucu oluşan nişastalar da ise

EDN (%24) oranlarının en fazla olduğu saptanmıştır. 2-oktan-1- succinic anhidrit (OSA) ile esterleşme tepkimesinin ise SYN ve EDN elde etmek amacıyla kullanılan en etkili kimyasal modifikasyon yöntemi olduğu ortaya konmaktadır. OSA yöntemine 130°C de kurutma işlemi eklendiği takdirde vaksi mısır nişastası rneklerinin SYN içeriklerinde artış, EDN içeriklerinde ise azalma gözlemlenmiştir. Bu şekilde elde edilen modifiye vaksi mısır, normal mısır, tapyoka ve patates nişastalarının SYN içerikleri sırasıyla % 47, 38, 46 ve 33 olarak belirlenmiştir.

Garcia-Alonso ve ark. [6] yaptıkları başka bir çalışma da ise retrogradasyon ve jelatinizasyon işlemlerinin dirençli nişasta oluşumuna etkisi incelenmiştir. Bunun için buğday, mısır ve pirinç unu ve nişastası ile patates nişastası kullanmışlardır. Yüksek basınç altında pişirilip soğutulan pirinç ve patates nişastalarının EDN içerikleri sırasıyla %3,94 ve %21,21 iken buğday ve mısır nişastaları için bu değerler %14,4 ve %11 olarak tespit edilmiştir. Bu oranların sıcak su banyosu kullanılarak yapılan jelatinizasyon işleminde sonra elde edilen EDN oranlarıyla benzerlik gösterdiği ortaya çıkmıştır. Pirinç hariç diğer örneklerin nişastalarında unlarına göre daha yüksek miktarlarda EDN tespit edilmiştir [27].

Chung ve ark. [16] pirinç nişastasında kısmi jelatinizasyon ve retrogradasyon işlemlerinin in vitro enzimatik sindirilebilirlik üzerine olan etkilerini incelemişler ve kristal yapı oluşumu ile sindirilebilirlik arasındaki ilişkiyi ortaya koymuşlardır. Bu amaçla hazırlanan %5 lik nişasta zelteleri 60, 65 ve 70°C sıcaklıklarda 5 er dak sürelerle kısmi olarak jelatinize edilmiş, retrograde örnekler ise %5 lik nişasta zeltelerinin tam olarak jelatinizasyonundan sonra 4°C de 2, 4 ve 7 dak sürelerle depolanması sonucu hazırlanmıştır. Yapılan in vitro sindirilebilirlik analizleri sonucu; kısmen jelatinize edilmiş örneklerin EDN miktarları (%7,7–8,6) doğal örneklerin EDN miktarlarıyla (%9,3) benzerlik gösterirken, retrograde örneklerin EDN miktarları (%3,0–3,8) doğal örneklerden daha düşük olduğu bulunmuştur. Örneklerin SYN miktarları ise %0,6–4,2 aralığında bulunmuştur. Ayrıca jelatinizasyon işlemi ile örneklerin SYN miktarlarının azaldığı, retrogradasyon işlemi ile de arttığı ortaya konmuştur. Doğal rneklerin HSN içeriği %63,8 iken, tamamem jelatinize edilmiş örneklerin HSN içeriği % 95 e yükselmiştir. Kısmen

jelatinize edilmiş örneklerde bu oran %86,3 ile %90,1 arasında değişirken, retrograde örneklerde HSN miktarları %93,4 ile %95,5 aralığında tespit edilmiştir. Bu sonuçlara göre Chung ve ark. [16] kısmi jelatinizasyon ve retrogradasyon işlemlerinin örneklerin SYN ve HSN içeriklerinde önemli değişikliklere neden olduğunu ancak EDN içeriğini çok fazla etkilemediğini ortaya koymuşlardır.

Shin ve ark. [28] yaptıkları bir çalışmada patates nişastasında ısı-nem uygulaması ile SYN elde etmeye çalışmışlardır. Bu amaçla örnekler %20, 50 ve 90 nem içerikleri ile 40, 55 ve 100°C de 12 sa kurutulmuştur. Daha sonra örneklerin jelatinizasyon ve sindirilebilirlik özellikleri incelenmiştir. %50 ve %90 nem değeri ile 55°C de ve 100°C de ısıl işlem gören bütün nem içeriğindeki örneklerin pik sıcaklıkları, ham nişastaya göre daha yüksek olduğu fakat entalpi değerlerinin ham nişastaya oranla daha düşük olduğu tespit edilmiştir. En yüksek SYN miktarı (%31,0) ise %50 nem içeriğine sahip ve 55°C de ısıl işlem gören nişasta örneklerinde saptanmıştır.

Görüldüğü gibi literatürde daha çok tahıl ve yumru nişastalarının sindirim özelliklerinin modifikasyonu ile ilgili yapılan çalışmalar mevcuttur. Buna karşın baklagil nişastalarının kullanıldığı çalışmalara rastlanmamıştır. Bu nedenle bu çalışmada baklagil nişastalarının çeşitli modifikasyon yöntemleri kullanılarak sindirilebilirlik özelliklerinin değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

3. MATERYAL VE METOT

3.1. MATERYAL

3.1.1. Hammadde

Barbunya, fasulye ve nohut örnekleri Mersin’de faaliyet gösteren bir bakliyat işleme firmasından sağlanmıştır. Örneklerden yabancı madde, kırık ve bozuk taneler ayrıldıktan sonra analiz edilinceye kadar oda sıcaklığında kuru bir ortamda muhafaza edilmiştir.

3.1.2. Çalışmada Kullanılan Kimyasallar

Çalışmada kullanılan kimyasallar analitik saflıkta olup HCl (Merck No: 1.00314, % 37), sodyum karbonat (Merck No: 1.06392), etanol (Merck No: 1.00986, % 99), glukoz (Merck No: 1.08337) ve sodyum asetat (Merck No: 1.06267) Merck (Merck Chemical Co. Darmstad, Germany) marka; pankreatin enzimi (8 x U.S.P specification, Sigma No: P7545), potasyum hidroksit (Sigma No: 62340), potasyum metabisülfid (Sigma No: P2522), sülfürik asit (Sigma No: 07208, % 95-97), petrol eteri (Sigma No: 24541, % 99), kalsiyum klorür (Sigma No: 7022A), sodyum trimetafosfat (Sigma No: T5508), ve guar gum (Sigma No: G4129) Sigma (Sigma-Aldrich Corp., St. Louis, MO, USA) marka; amiloglukosidaz enzimi (200 AGU/ml, Megazyme No: 51001), glukoz-oksidaz-peroksidaz/4, aminoantipyrine enzimi (Megazyme No: 70301) ve glukoz-oksidaz-peroksidaz (GOPOD) tampon çözeltisi (Megazyme No: 70302) ise Megazyme (Megazyme Ltd, Co.Wicklow, Ireland) marka olup yurt içindeki çeşitli firmalardan sağlanmıştır.

3.1.3. Çözeltilerin Hazırlanması

Asetat tampon çözeltisi (0,5 M, Ph 5,2): 68,04 g sodyum asetat trihidrat ($\text{CH}_3\text{COONa} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) 250 mL saf su ile 1000 mL lik balon jodede karıştırıldıktan

sonra 0,1 M asetik asit ile pH sı 5,2 ye ayarlanmıştır. Daha sonra 4 mL 1M CaCl₂ ilave edilmiştir.

Enzim çözeltisi: 3 er g pankreatin enzimi 4 adet santrifüj tüpüne tartılıp üzerlerine 20 mL su eklenmiştir. Manyetik karıştırıcıda 10 dak süreyle karıştırıldıktan sonra santrifüjlenmiştir (1500×g, 10 dak). Santrifüjlenen örneklerin üst fazlarından toplam 54 mL alınarak 4,2 mL amiloglukosidaz (200 AGU/mL) enzimi ile karıştırılmıştır.

3.2. METOT

3.2.1. Baklagil Nişastalarının Ekstraksiyonu

Baklagil nişastalarının ekstraksiyonunda Hoover ve ark. [29] da belirtilen yöntem kullanılmıştır. Yönteme göre yaklaşık 200 g nohut, barbunya ve fasulye %0,01 potasyum metabisülfite içeren 150 mL saf suda 50°C de 20 saat süre ile bekletilmiştir. Daha sonra ısıtılmış örnekler süzülerek homojenize edilmiştir. Homojenizat 3 kez 150 µm lik propilen elekten geçirildikten sonra kalan süzöntü 4 kez daha homojenize edilmiş ve 100 µm lik elekten 3 kez geçirilmiştir. Süzöntü daha sonra oda sıcaklığında 15 saat süreyle bekletildikten sonra üst faz ayrılmıştır. Oluşan çökelti %0,02 lik NaOH çözeltisinde 1 saat bekletildikten sonra üst faz tekrar alınmıştır. Bu işlem 5 kez tekrarlanmıştır. Son çökelti saf su ile yıkandıktan sonra 100 µm lik elekten geçirilip HCl ile pH 7 e ayarlanmıştır. Daha sonra 2647×g de 10 dak süre ile santrifüj (J.P. Selecta Medifriger, BL-S, Spain) edilen örneklerin üst katmanında bulunan renkli kısımları atıldıktan sonra çökelti saf su ile yıkanarak süzgeç kağıdından geçirilip 16 saat 40°C de kurutulmuştur. M₀ başlangıç baklagil miktarı kuru ağırlığı ve M₁ elde edilen nişasta miktarı kuru ağırlığı olmak üzere % verim aşağıdaki eşitlikten hesaplanmıştır.

$$\% Verim = \frac{M_1}{M_0} \times 100 \dots\dots\dots(1)$$

3.2.2. Baklagil ve Nişastalarının Kimyasal Bileşimlerinin Analizi

Bu amaçla nohut, barbunya ve fasulye unlarında ve nişastalarında *nem, kül, protein* ve *yağ* analizleri yapılmıştır. Nem tayini AACC-Metod No. 44.01 [30] e göre yapılmıştır. Analiz edilecek örnekler öncelikle 0,5 mm lik elekten (Test sieve, S-Steel/RF, Germany) geçebilecek şekilde öğütülmüştür. Baklagilleri öğütmek amacıyla laboratuvar değirmeni (IKA-Werke, M20, Germany) kullanılırken, nişastalarını öğütmek için porselen havan kullanılmıştır. Bu örneklerden rutubet kaplarına hassas bir şekilde analitik terazi (Pioneer, Ohaus, China) kullanılarak 2–3 g tartıldıktan sonra 130°C deki etüvde (Mettler ULE–500, Germany) 2 saat kurumaya bırakılmıştır. M_0 ve M_k sırasıyla örneğin başlangıç ve kuru ağırlığı olmak üzere % nem miktarı aşağıdaki eşitlikten hesaplanmıştır.

$$\% \text{ Nem} = \frac{M_0 - M_k}{M_0} \times 100 \dots\dots\dots(2)$$

Kül miktarı tayini AACC-Metod No. 08.01 [30] e göre yapılmıştır. Yöntemin prensibi, darası belli bir porselen kroze içine tartılan belli miktardaki örneğin 900°C deki kül fırınında (Carbolite, Elf 11/ 6B, England) hiç siyah leke kalmayınca kadar yakılması ve kalan miktarın ağırlığının belirlenmesidir. Protein miktarı tayini AACC-Metod No. 46.12 [30] de verilen Kjeldahl yöntemine göre yapılmıştır. Protein miktarları 5,95 dönüşüm faktörü kullanılarak hesaplanmıştır. Yağ tayini AACC-Metod No. 30.10 [30] a göre yapılmıştır. Yöntemin prensibi, materyal içinde bulunan petrol eterinde çözünebilen maddeleri Soxhlet (Velp Scientifica, Ser148 Solvent Extractor, Italy) düzeneğinde ekstrakte ederek almak, sonra petrol eterini ayırarak ham yağ miktarını hesaplamaktır.

3.2.3. Nişastaların Çözünürlük ve Şişme Kapasitelerinin Belirlenmesi

Yaklaşık 0,6 g (kuru temel) nişasta örneği 30 mL su ilave edilerek 85°C de 30 dak süreyle ısıtılmıştır. Karışım daha sonra 2026×g de 15 dak süreyle santrifüj (J.P. Selecta Medifriger, BL-S, Spain) edilmiştir. Üst kısımdaki sıvı faz ayrıldıktan sonra

geriye kalan örnek miktarı tartılmıştır (M_1). Ayrılan sıvı faz ise 130°C de 1 gece kurutulduktan sonra tartılmıştır (M_2) [31]. M_0 örneğin başlangıç kuru ağırlığı olmak üzere örneğin şişme kapasitesi ve çözünürlük aşağıdaki eşitliklerden hesaplanmıştır.

$$\text{Şişme Kapasitesi} = \frac{M_1}{M_0} \dots\dots\dots(3)$$

$$\text{Çözünürlük (\%)} = \frac{M_2}{M_0} \times 100 \dots\dots\dots(4)$$

3.2.4. Nişastaların Jelatinizasyon Özelliklerinin Belirlenmesi

Nişastanın jelatinizasyon özelliklerinin belirlenebilmesi amacıyla aliminyum-hermetik DSC kapsüllerine (Alum-B0144637, Perkin-Elmer Inc., Netherlands) kuru örnekten 3-4 mg tartılarak üzerine üç katı olacak şekilde damıtık su eklenmiştir. Kapsüller, DSC kapsül kapatma düzeneği (Perkin-Elmer Inc., Netherlands) kullanılarak hermetik olarak kapatıldıktan sonra 24 saat buzdolabında bekletilerek suyun kuru örnek tarafından absorblanması sağlanmıştır. Termogramlar DSC (Pyris 6 DSC, B013-9005, Perkin-Elmer Inc., Netherlands) hücresine yerleştirilen örneğin 25°C den 100°C ye 5°C/dak ısıtma hızı ile ısıtılmasıyla elde edilmiştir [32]. Örneklerin jelatinizasyon özellikleri elde edilen termogramların DSC nin yazılım programı ile değerlendirilmesi sonucunda belirlenmiştir.

3.2.5. Nişastanın modifikasyonu

3.2.5.1. Pirodekstrinizasyon (PD)

Pirodekstrinizasyon işlemi Orozco-Martinez ve ark. [33] a göre yapılmıştır. Yaklaşık 5 g doğal nişasta örneği 20 mL lik petri kabına konularak üzerine 0,0625 mL (80:1, nişasta/HCl) 2,2 M HCl eklenmiş ve 16 saat oda sıcaklığında bekletilmiştir. Daha sonra örnekler 110°C sıcaklıkta 3 saat süreyle kurutulduktan sonra öğütülerek 100 µm lik elekten geçirilmiştir.

3.2.5.2. Çapraz bağlama (B)

Çapraz bağlama işlemi Varavinit ve ark. [34] a göre yapılmıştır. Yönteme göre 10 g doğal nişasta rneği 15 mL %0,5 lik NaOH zeltisi içinde karıştırılmış ve içine 0,3 g Na₂CO₃, 4 g Na₂SO₄ ve 4 g NaCl eklenmiştir. Karışım daha sonra 32°C lik su banyosu (Memmert, WB14, Germany) yerleştirilmiştir. Bu işlem sırasında 0,0125 g (%0,1 g/g, nişasta/ STMP) sodyum trimetafosfat eklenerek 2 saat süreyle karıştırılmıştır. Tepkime sonunda karışımın pH sı 6,5–7,0 a ayarlanmış ve karışım santrifüjlenerek (2016×g) birkaç kez saf su ile yıkanmıştır. Bu işlemler sonucunda elde edilen çapraz bağlı nişastalar 50°C de 1 gece kurutularak öğütüldükten sonra 100 m lik elekten geirilmifitir.

3.2.5.3. Isı-nem uygulaması (IN)

Isı-nem uygulaması Shin ve ark. [28] e göre yapılmıştır. Yönteme göre doğal nişastanın nem içeriği gerekli miktarda saf su eklenerek %22 e ayarlanmış ve ağzı sıkıca kapalı kaplarda 100°C de 16 saat bekletilmiştir. Bu işlemin devamında nişasta örneklere 30°C de 48 saat kurutulduktan sonra, öğütülerek 100 m lik elekten geirilmifitir.

3.2.5.4. Jelatinizasyon-Retrogradasyon (JR)

3 er g nişasta rneği üzerine 3 katı olacak şekilde su eklenerek otoklavda (OMS Lab 20, Osmanlı Mak. San. ve Tic. A.ř., Balıkesir, Türkiye) 121°C de 10 dak süreyle ısıl işlem uygulanmıştır. Daha sonra oda sıcaklığına soğutulan örneklere 50°C de kurutulduktan sonra öğütülerek 100 m lik elekten geirilmifitir.

3.2.6. Doğal ve modifiye nişastalarda sindirim hızları farklı nişasta kısımlarının analizleri

SYN ve EDN analizleri Englyst ve ark. [35] yöntemine göre yapılmıştır. Analizin detaylı akış şeması şekil 3.1 de verilmiştir. Yöntemde belirtilen glukoz

analizleri glukoz oksidaz/peroksidaz [36] yöntemine göre yapılmıştır.

Yönteme göre HSN, SYN, EDN ve TN oranları aşağıdaki eşitlikler yardımıyla hesaplanmıştır.

$$\text{HSN} = (G_{20}) \times 0,9 \dots\dots\dots(5)$$

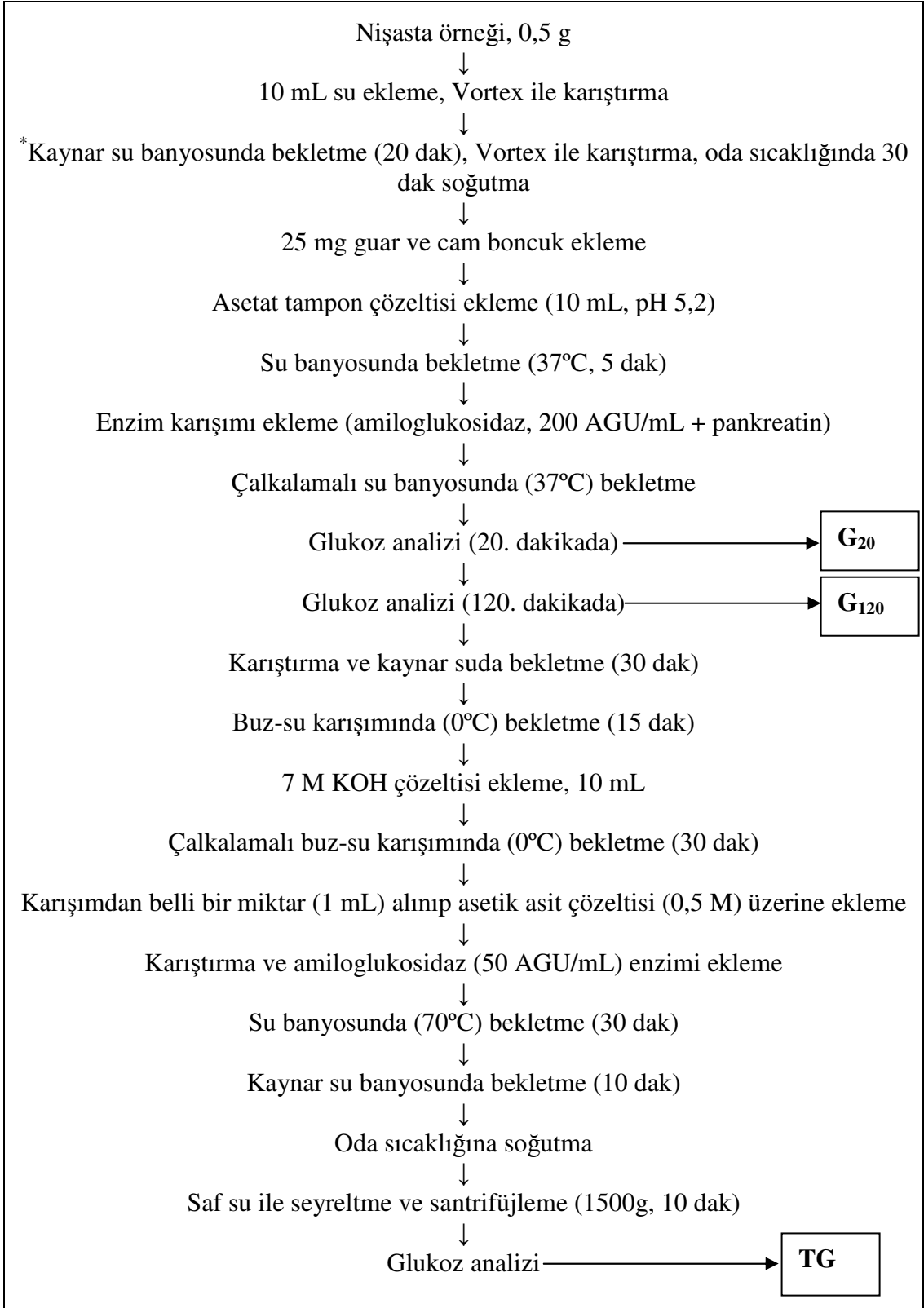
$$\text{EDN} = \text{TN} - (\text{HSN} + \text{SYN}) \dots\dots\dots(6)$$

$$\text{SYN} = (G_{120} - G_{20}) \times 0,9 \dots\dots\dots(7)$$

$$\text{TN} = (\text{TG}) \times 0,9 \text{ (TN: toplam nişasta)} \dots\dots\dots(8)$$

Bu eşitliklerde verilen 0,9 katsayısı glukoz miktarından nişastaya dönüşüm faktörüdür [37].

Doğal ve modifiye nişastalarda sindirim hızları farklı nişasta kısımlarının analizleri, pişirme işleminin etkisini belirlemek amacıyla *pişirilmiş ve pişirilmemiş örnekler* olmak üzere iki grupta yapılmıştır. Pişirilmiş grup için, örnekler analizden (Şekil 3.1) hemen önce kaynar su banyosunda 20 dak boyunca belirli aralıklarda karıştırılarak pişirilmiştir [35].



Şekil 3.1. Sindirimi yavaş nişasta ve enzime dirençli nişasta analizleri akım şeması
(* Pişirilmemiş örnekler için bu basamak atlanmıştır).

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. NİŞASTA EKSTRAKSİYONU

Bu çalışmada Hoover ve ark. [29] da verilen yöntem kullanılarak barbunya, nohut ve fasulyeden nişasta ekstrakte edilmiş ve elde edilen nişastaların 100g un bazında (kuru temel) verim değerleri Çizelge 4.1 de belirtilmiştir. Bu sonuçlara göre nohuttan (%23,95), fasulye (%18,65) ve barbunyaya (%17,73) göre daha fazla nişasta elde edildiği görülmüştür. Bulunan sonuçlar Hoover ve ark. [29] nın elde ettikleri değerlerden (beyaz fasulye %22, g/100g un) daha düşüktür. Ayrıca benzer bir yöntem kullanan Schoch ve Maywald [38] da beyaz fasulyeden %22–30 (g/100g un) oranlarında nişasta elde etmişlerdir.

Çizelge 4.1. Barbunya, fasulye ve nohutun nişasta verimleri (km temelinde) ¹

Nişasta	% Verim (KM)
Barbunya	17,73 a
Fasulye	18,65 a
Nohut	23,95 b

¹ Aynı sütün içerisinde farklı harflerle gösterilen değerler birbirlerinden istatistiki olarak farklıdır (P < 0,05).

Pirinç, buğday ve yulaf gibi diğer tahıl ürünlerinde nişasta ekstraksiyonu verimliliği (% 51,3-71,6 g nişasta/g un) genellikle baklagillerden belirgin bir şekilde daha yüksektir [39]. Bunun başlıca nedeni fasulye, barbunya, mercimek [40], börülce [41] gibi baklagillerde yüksek oranlarda bulunan suda çözünemeyen ve çözelti içerisinde topaklanmaya neden olan *proteinlerin ve liflerin* varlığıdır [40-41]. Bu bileşenler sedimentasyon aşamasında nişastanın çökmesini yavaşlatmakta ve aynı zamanda da nişasta ile beraber çökerek koyu renkli bir tabaka oluşturmaktadırlar. Sedimentasyon aşamasında %0,2 lik NaOH kullanılması proteinleri daha fazla çözünür hale getirmektedir. %0,2 lik NaOH çözeltisinin daha derişik olması durumunda ise nişasta jelatinize olmaktadır [32].

Nişasta ekstraksiyonu zorluk derecesi açısından baklagiller de kendi aralarında farklılıklar göstermektedirler. Schoch ve Maywald [38] nohut, bezelye, mung fasulyesi gibi baklagillerden, fasulye, mercimek, barbunya vb. gibi baklagil çeşitlerine göre daha kolay nişasta elde edildiğini belirtmişlerdir. Bu tür (nohut, bezelye, mung fasulyesi vb.) baklagillerden nişasta ekstrakte ederken, sedimentasyon aşamasında alkali ozeltiiler yerine sadece saf su kullanılmasının bile yüksek saflıkta nişasta elde etmeye yeterli olduğunu belirtmişlerdir. Yaptıkları çalışmada nohuttan nişasta elde etme verimliliğinin (%38–40), beyaz fasulyeye (%22–30) göre daha fazla olduğunu tespit etmişlerdir.

4.2. DOĞAL BAKLAGİL NİŞASTALARININ KİMYASAL BİLEŞİMİ

Çalışmada elde edilen nişastaların kimyasal bileşimi kurumadde temelinde izelge 4.2 de verilmiştir. Örneklerin nem miktarları barbunya, fasulye ve nohut için sırasıyla %8,38, 9,80 ve 9,08 olarak belirlenmiştir. Çizelge 4.2 e göre her u nişastanın kül, protein ve yağ miktarları oldukça düşük seviyelerde ve istatistiksel olarak birbirine benzer değerlerde bulunmuştur. Ancak barbunya nişastasında protein tespit edilememiştir.

Fasulye ve nohut nişastaları için literatürde verilen kül miktarları; sırasıyla %0,08–0,87 ve %0,03–0,08 aralığında değişmektedir [29,42,41-43]. Protein miktarları fasulye için %0,16–0,17 aralığında; nohut için %0,69–0,89 aralığındadır [41-42]. Yağ oranları ise fasulye için %0,10–0,26 aralığında değişirken; nohut için %0,10–0,11 olarak tespit edilmiştir [29, 41–44].

Schoch ve Maywald [38] genel olarak baklagil nişastalarının kl içeriklerinin birçok tahıl (pirinç, mısır, arpa vb.) nişastasına göre oldukça düşük, protein içeriklerinin ise benzer değerlerde olduklarını vurgulamışlardır. Vasanthan ve ark. [40] arpa nişastasında yaptıkları kimyasal analizler sonucu kl miktarını % 0,20, protein miktarını ise % 0,10 olarak tespit etmişlerdir.

Çizelge 4.2. Barbunya, fasulye ve nohut nişastalarının kimyasal bileşimi (% km temelinde)¹

Örnek	Kül	Protein	Yağ miktarı
Barbunya	0,26 a	TE ²	0,40 a
Fasulye	0,13 a	0,14 a	0,44 a
Nohut	0,13 a	0,09 a	0,39 a

¹ Aynı sütün içerisinde farklı harflerle gösterilen değerler birbirlerinden istatistiki olarak farklıdır (P < 0,05).

² TE: Tespit edilemedi.

Huang ve ark. [41] nohut, börülce gibi baklagil nişastalarının yağ içeriklerinin genel olarak düşük ve patates gibi yumru bitkilerin nişastalarının yağ içerikleri ile benzerlik gösterdiğini, ancak birçok tahıl nişastasının yağ içeriğinin daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir. Hoover ve ark. [29] yaptıkları kimyasal analiz sonucu patates nişastasında % 0,11 yağ, mısır nişastasında ise % 0,79 yağ tespit etmişlerdir.

Literatürde doğal nişastalar için verilen kimyasal bileşim analiz sonuçları ile bu çalışmada elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında elde edilen baklagil nişastalarının yeterince saf olduğu görülmektedir.

4.3. DOĞAL VE MODİFİYE NİŞASTALARIN ÇÖZÜNÜRLÜK VE ŞİŞME KAPASİTELERİ

Nişasta granülleri bağıl nemi yüksek bir ortamda bekletildiklerinde veya su ile temas ettirildiklerinde suyu absorbe ederek şişerler. Amiloz miktarının ve amilopektinin moleküler yapısının nişastanın şişme kapasitesini etkilediği bilinmektedir [41]. Tester ve ark. [45] kristal bölgede çift sarmal yapıyı stabilize eden hidrojen bağlarının, nişastanın su içerisinde ısıtılması ile kırıldığını ve bunun sonucunda oluşan hidroksil uçlarına su moleküllerinin hidrojen bağlarıyla bağlandığını belirtmişlerdir. Isıtma işlemine devam edildiğinde nişastanın granüler yapısı bozularak nişastanın özellikle amiloz kısmı çözeltiliye geçerek çözünürlüğü

artırmaktadır [46]. Doğal ve modifiye nişastaların çözünürlük ve şişme kapasiteleri değerleri Çizelge 4.3 de verilmiştir.

Çizelge 4.3. Doğal ve modifiye nişastaların çözünürlük ve şişme kapasiteleri¹

	Nişasta türü	Şişme kapasitesi, g/g	Çözünürlük, %
BARBUNYA	Doğal	8,19 a	11,8 c
	PD	0,65 k	77,7 a
	ÇB	3,94 gh	19,1 b
	IN	6,59 ef	7,4 ce
	JR	7,26 bd	3,2 def
FASULYE	Doğal	7,08 cde	9,9 c
	PD	0,69 k	77,2 a
	ÇB	4,47 g	20,7 b
	IN	6,57 ef	5,8 cf
	JR	7,49 bc	3,7 defg
NOHUT	Doğal	7,71 ab	9,3 cg
	PD	0,82 k	81,2 a
	ÇB	3,34 h	18,5 b
	IN	6,73 df	7,8 cd
	JR	8,16 a	2,5 def

¹ Aynı sütün içerisinde farklı harflerle gösterilen değerler birbirlerinden istatistiki olarak farklıdır (P < 0,05).

PD işleminin her üç baklagil nişastasının şişme kapasitelerinde büyük oranda azalmaya (P<0,05) sebep olduğu görülmüştür. Bunun temel nedeninin nişastasının granüler yapısında meydana gelen değişikliklerden kaynaklandığı belirtilmektedir.

Campechanono-Carrera ve ark. [47] pirodekstrinizasyon işleminin nişastanın amorf bölgesini hidrolize ettiğini ve bunun sonucunda da yüksek oranda kristal yapı oluşumuna neden olduğunu belirtmektedir. Kristal yapıların amorf yapılara göre daha az su absorblama özellikleri olduğundan dolayı [48], PD örneklerin daha düşük şişme kapasiteslerine sahip olduğu düşünülmektedir. Aynı şekilde ÇB ve IN işlemlerinde her üç baklagil nişastasının şişme kapasitelerinde azalmaya ($P < 0,05$) neden olduğu görülmüştür. ÇB işleminin, nişasta granülünü stabilize ederek granülün su absorblayarak şişmesini engellediği daha önceki çalışmalarda da tespit edilmiştir [49]. IN uygulaması ile nişasta granülünde meydana gelen amiloz-amiloz ve amilopektin-amilopektin etkileşimlerindeki artışın şişmeyi sınırlandırdığı bilinmektedir [50]. JR işleminin fasulye ve nohut nişastalarının şişme kapasitelerinde istatistiki olarak önemli bir değişime neden olmadığı ($P > 0,05$), barbunya nişastasında ise çok az bir düşüşe sebep olduğu görülmüştür (Çizelge 4.3). Dolayısıyla JR işleminin nişastanın su absorblayan kısımlarında herhangi bir değişime neden olmadığı sonucuna ulaşılmıştır.

Çizelge 4.3 incelendiğinde doğal nişastaların çözünürlük değerleri arasında istatistiki olarak önemli bir fark tespit edilmemiştir ($P > 0,05$). Ancak PD işleminin her üç baklagil nişastası için de çözünürlük değerlerinde yaklaşık olarak 7-9 kat arasında bir artış sağladığı görülmüştür. Campechano-Carrera ve ark. [47] da PD işleminin lima fasülyesi nişastasının çözünürlük değerini artırdığını belirlemişlerdir. 90 °C de yaptıkları çalışmada doğal nişastanın çözünürlük değerini %23,8, PD nişastanın çözünürlük değerini ise %80 olarak tespit etmişlerdir. Bu çalışmada 85 °C de yapılan çözünürlük analizlerinde de PD nişastaların çözünürlük değerlerinin %77,2-81,2 arasında olduğu bulunmuştur. PD işleminin nişasta daha düşük molekül ağırlıklı dekstrinlere parçalanmakta ve oluşan bu düşük molekül ağırlıklı bileşiklerin çözünürlüğü beklendiği gibi önemli oranda artmaktadır.

IN işleminin uygulanmış nişastaların çözünürlük değerlerinin düşme eğiliminde olduğu gözlenmiş ancak bu düşüşün istatistiksel olarak önemli düzeyde olmadığı görülmüştür. JR işleminin ise istatistiksel olarak nişastanın çözünürlüğünde önemli bir azalışa neden olmuştur. Bunun temel nedeninin retrogradasyon işleminin sonucunda

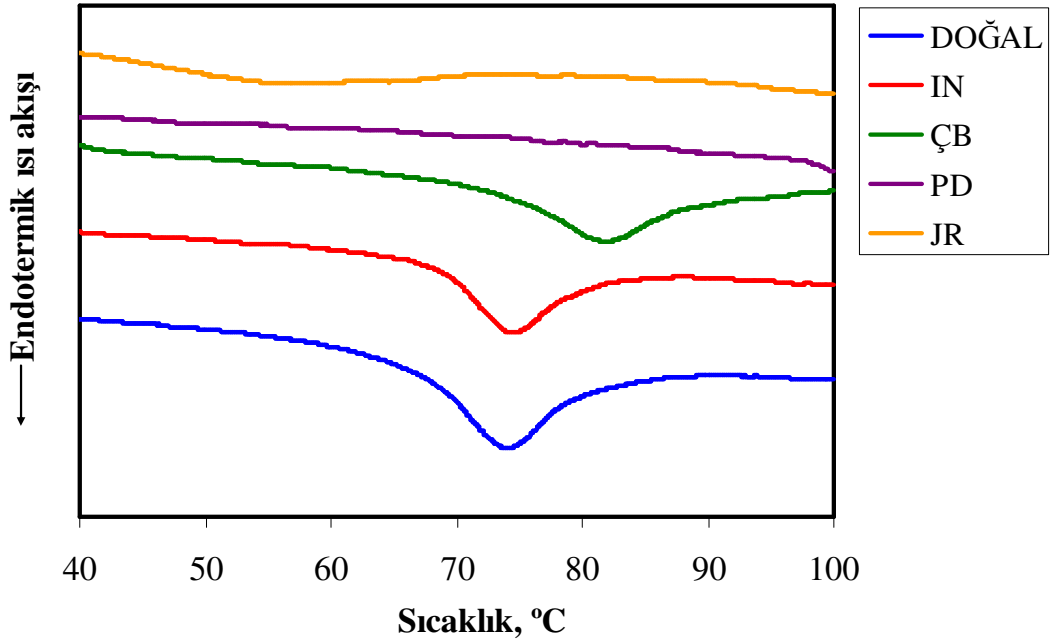
amiloz moleküllerinin etkileşimi ile meydana gelen ve oldukça stabil olan kristal yapılardan kaynaklandığı ve oluşan bu kristal yapıların suyun absorpsiyonunu zorlaştırarak nişastayı daha az çözünür forma dönüştürdüğü düşünülmektedir.

ÇB işlemi ise nişastaların çözünürlük değerlerinde düşük bir artışa neden olduğu görülmüştür (Çizelge 4.3). ÇB işlemi doğal nişasta moleküllerinin birbirlerine fosfor köprüleriyle bağlanmasına ve daha yüksek molekül ağırlıklı bileşiklerin oluşmasına neden olmaktadır. Dolayısıyla daha yüksek molekül ağırlıklı bu bileşiklerin daha düşük çözünürlük değerlerine sahip olmaları beklenmektedir. Ancak bu çalışmada ÇB nişastaların çözünürlükleri doğal nişastalara göre daha yüksek bulunmuş ve bunun temel nedeninin ÇB işlemi sırasında oluşan çözünür nişastadan kaynaklandığı düşünülmektedir.

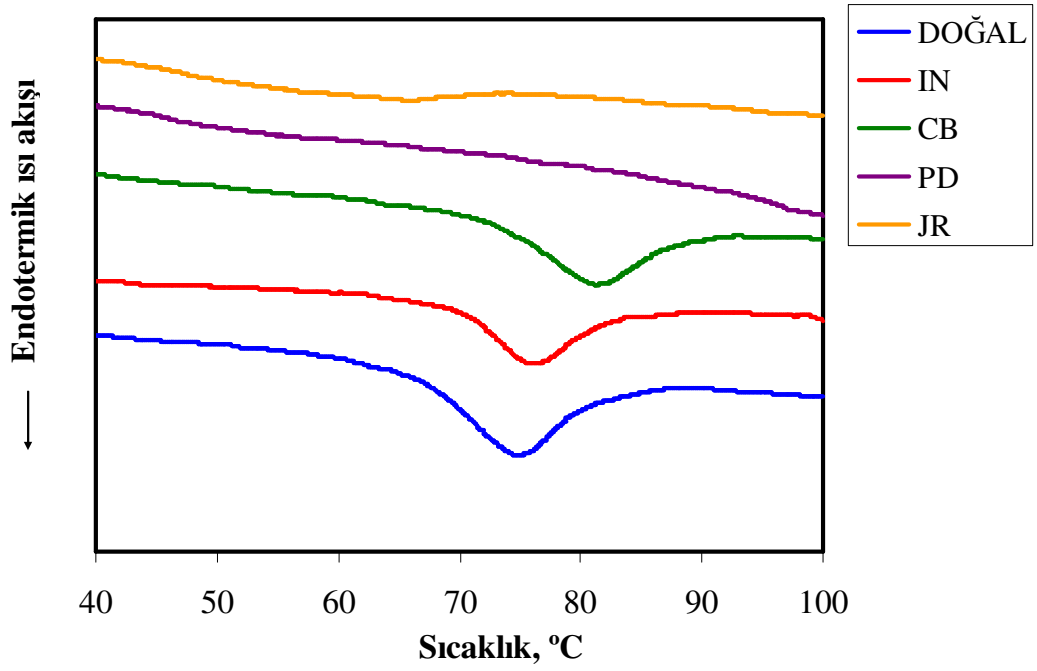
4.4. DOĞAL VE MODİFİYE NİŞASTALARIN JELATİNİZASYON ÖZELLİKLERİ

Doğal nişasta granülleri nişastayı parçalayan enzimlere karşı dirençlidirler. Ancak nişasta granülleri, belli bir su derişiminin üzerinde (nişasta:su \geq 0,75) [51,52] ısıtıldıkları zaman öncelikle camsı geçiş sıcaklığında nişastanın amorf bölgesi faz değişimine uğrayarak camsı yapıdan, elastik bir yapıya dönüşmektedir. Bunun hemen ardından da yine bir faz değişimi olan kristal yapının erimesi gerçekleşmektedir. Bütün bu değişimlerden sonra nişasta enzimler tarafından kolayca hidroliz edilebilmektedir. Camsı geçiş ve kristal yapı erimesi işlemlerinin her ikisinde de enerji absorpsiyonu olduğu için DSC de bu değişimler, endotermik pik olarak görülmektedir. Ancak amorf bölgedeki camsı geçişin, kristal erimesi geçişine çok yakın bir sıcaklıkta gerçekleşmesi ve çok daha düşük enerji gerektirmesi nedeniyle her iki işlem DSC de tek bir pik şeklinde görülmektedir. Dolayısıyla bu pikin alanı nişasta jelatinizasyonu geçiş entalpisi olarak alınmaktadır [32]. Bu çalışmada uygulanan modifikasyon işlemlerinin nişastanın jelatinizasyon özelliklerinde meydana getirdiği değişim belirlenerek bu değişimin nişastanın sindirim özelliklerine etkisi belirlenmeye çalışılmıştır.

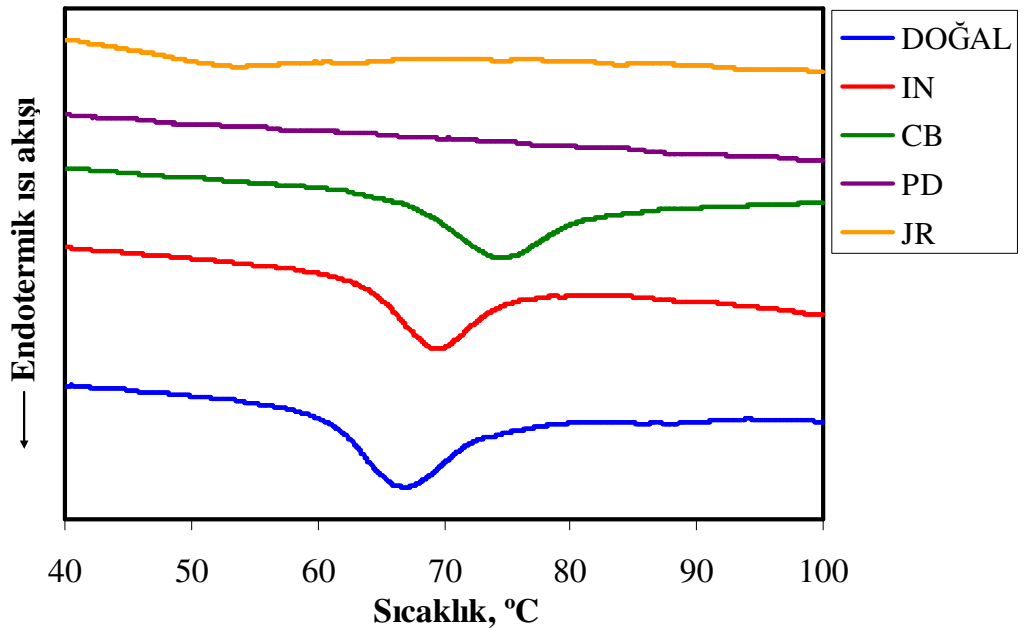
Doğal barbunya, fasulye ve nohut nişastaları ile pirodekstrinizasyon, çapraz bağlama, jelatinizasyon-retrogradasyon ve ısı-nem uygulaması işlemleri ile modifiye edilen nişastaların DSC (Differential Scanning Calorimetry) termogramları Şekil 4.1, 4.2 ve 4.3 de verilmiştir. Buna göre PD ve JR işlemleri uygulanan barbunya, fasulye ve nohut nişastalarında herhangi bir jelatinizasyon piki gözlemlenmemiştir. Doğal nişasta ile ÇB ve IN nişastalarda ise belirgin jelatinizasyon pikleri görülmektedir. Çünkü PD işlemi nişastanın granüler yapısını tamamen bozarak nişastayı düşük molekül ağırlıklı dekstrinlere dönüştürmektedir. JR işleminde ise nişasta tamamen jelatinize olduğu için granüler yapı ortadan kalkmaktadır. Ancak ÇB ve IN işlemleri nişastanın granüler yapısında herhangi bir değişikliğe neden olmamaktadırlar.



Şekil 4.1. Doğal ve modifiye barbunya nişastasının DSC termogramları



Şekil 4.2. Doğal ve modifiye fasulye nişastasının DSC termogramları



Şekil 4.3. Doğal ve modifiye nohut nişastasının DSC termogramları

Doğal nişasta, ÇB ve IN nişastaların jelatinizasyon sıcaklıkları (T_o , T_p , T_c) ve entalpi (ΔH , J/g) değerleri Çizelge 4.4 de verilmiştir. Buna göre doğal nişastaya

uygulanan ÇB ve IN işlemlerinin her üç örnek için de jelatinizasyon başlangıç sıcaklıklarında (T_o) istatistiksel olarak önemli bir artışa neden olduğu tespit edilmiştir ($P<0,05$). Örneklerin jelatinizasyon entalpileri (ΔH) incelendiğinde ise en belirgin değişimin ÇB nişastalarda gözlenen düşüş olduğu görülmektedir. Woo ve Seib [49] de buğday nişastasının jelatinizasyon entalpisinin, ÇB işleminden sonra düştüğünü belirlemişlerdir. Shin ve ark. [28] jelatinizasyon entalpisindeki düşüşün nişasta granülünün kristal ve amorf bölgelerinde bulunan çift sarmal yapılarda meydana gelen bozulmaya ilişkili olduğunu belirtmişlerdir.

Çizelge 4.4. Doğal, çapraz bağlı ve ısı-nem uygulanmış barbunya, fasulye ve nohut nişastalarının DSC diyagramlarının değerlendirme sonuçları

Nişasta türü		T_o	T_p	T_c	$\Delta H, J/g$
BARBUNYA	Doğal	66,4 c	73,0 c	80,6 c	14,7 c
	ÇB	72,6 a	82,8 a	87,3 a	10,8 b
	IN	68,5 b	74,4 bc	80,6 c	15,2 c
FASULYE	Doğal	66,2 c	74,1 bc	81,6 bc	16,2 c
	ÇB	71,9 ab	81,3 a	88,8 a	7,9 a
	IN	69,3 b	76,1 b	83,1 b	12,2 b
NOHUT	Doğal	60,9 e	67,3 e	72,8 e	9,6 b
	ÇB	67,0 c	73,7 c	80,9 bc	7,7 a
	IN	64,1 d	69,6 d	75,2 d	11,1 b

T_o : Jelatinizasyon başlangıç sıcaklığı, °C

T_p : Tepe (pik) sıcaklığı, °C

T_c : Jelatinizasyon bitiş sıcaklığı, °C

ΔH : Jelatinizasyon entalpisi, J/g

Adebowale ve ark. [43] ise, ısı-nem uygulamasının mucuna fasulyesinin (*Mucuna pruriens*) jelatinizasyon sıcaklıklarında (T_o , T_p , T_c) artış, ancak entalpi (ΔH , J/g) değerlerinde azalış sağladığını ortaya koymuşlardır. Yaptıkları çalışmada doğal nişasta için T_o , T_p , T_c değerlerini sırasıyla 75,6, 79,9 ve 87,6°C olarak bulmuşlardır. IN için ise bu değerleri 76,3, 83,6 ve 90,1°C olarak tespit etmişlerdir. Entalpi değerleri ise doğal nişasta için 0,52 J/g iken IN için 0,34 J/g olarak belirtmişlerdir. Genel olarak nişastanın jelatinizasyonu sırasında amorf bölge şişmekte ve bu durumun kristal erimesini kolaylaştırdığı bilinmektedir [53]. Ancak IN işlemi sonucunda oluşan amiloz-amiloz etkileşimleri amorf bölgenin şişmesini geciktirici bir durum oluşturarak jelatinizasyon sıcaklıklarında artışa neden olmaktadır [53].

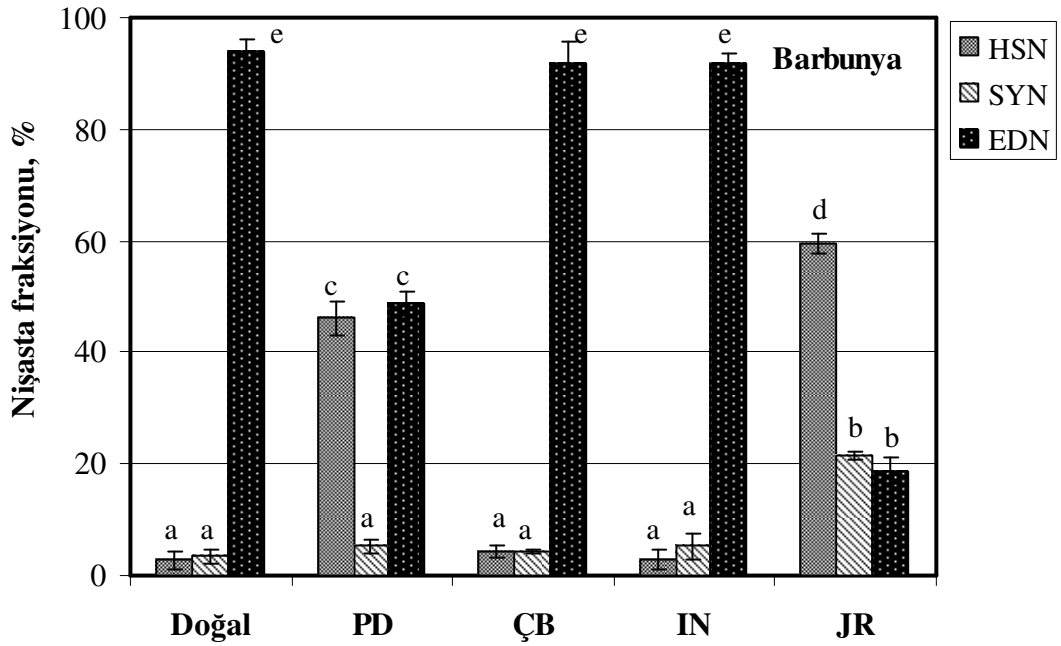
ÇB işlemi nişasta molekülünü su absorblamaya karşı dirençli hale getirdiği Bölüm 4.3 de belirtilmiştir. Bu durum nişastanın kristal yapısının erimesini geciktirmekte ve dolayısıyla jelatinizasyon sıcaklıklarında artışa neden olduğu bilinmektedir [49]. Buğday, mısır ve patates nişastalarında yapılan çalışmada çapraz bağlama işleminin T_o , T_p , ve T_c sıcaklıklarında 1-11 °C arasında artışa neden olduğu tespit edilmiştir [49].

4.5. DOĞAL VE MODİFİYE NİŞASTALARDA SİNDİRİM HIZLARI FARKLI NİŞASTA KISIMLARININ BELİRLENMESİ

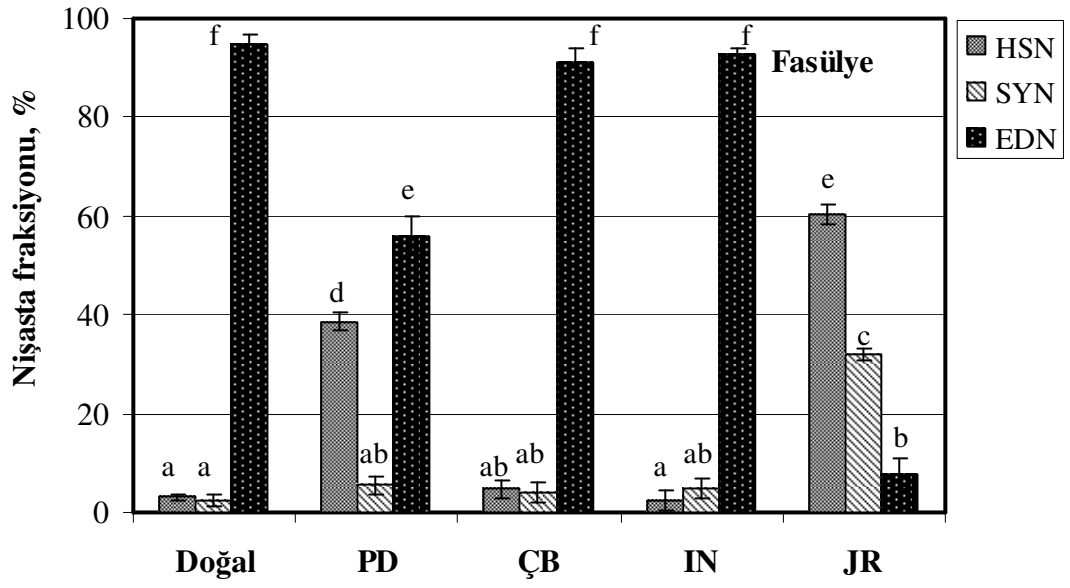
Doğal ve modifiye nişastalarda sindirim hızları farklı nişasta kısımlarının belirlenmesi yöntemi baklagil nişastalarının *in vitro* ortamda sindirim hızlarının ölçülmesi esasına dayanmaktadır. Bu kısımda yapılan analizler hem pişirilmemiş hem de pişirilmiş örnekler üzerine uygulanmıştır. Nişasta içeren birçok gıda maddesinin pişirilerek tüketildiği düşünüldüğünde pişirilmiş örnekler kullanılarak yapılan sindirim testlerinin pratikte daha çok önemli olacağı açıktır. Ancak nişastanın tamamen jelatinizasyona neden olacak kadar ısı işlem görmeyen gıda maddelerinin de olduğu düşünüldüğünde (bebek mamaları, dondurma, soğuk suda çözünebilir kremler, hazır tatlılar v.b.) pişirilmemiş örneklerde de bu analizlerin yapılması gerektiği düşünülmüştür.

4.5.1. Pişirilmemiş Örneklerde Sindirim Hızları Farklı Nişasta Kısımları

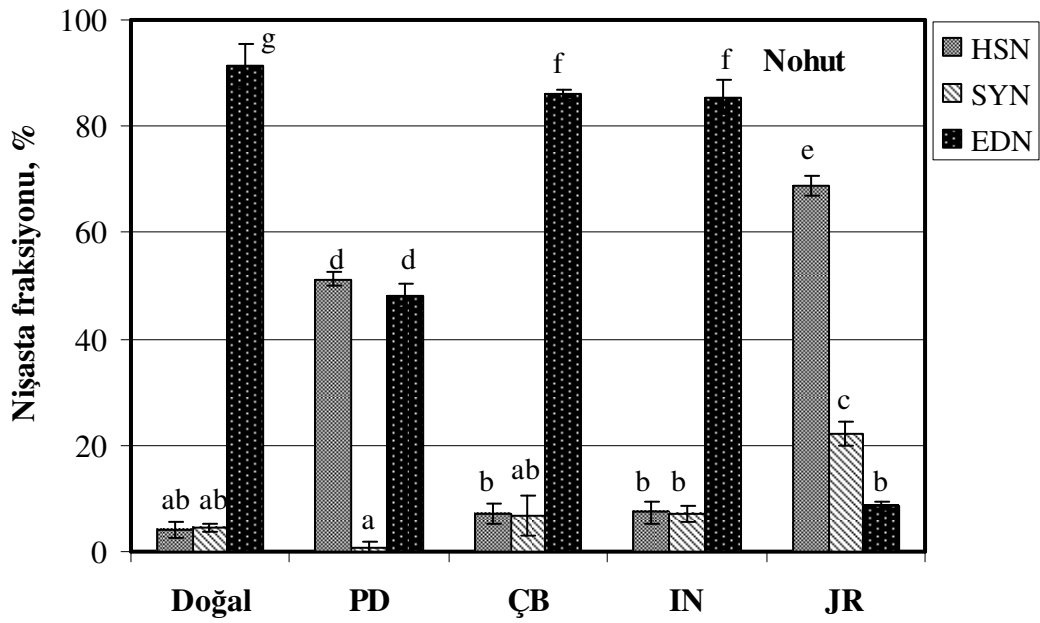
Pişirilmemiş doğal ve modifiye nişasta örneklerinin (barbunya, fasulye ve nohut) HSN, SYN ve EDN % miktarları Şekil 4.4, 4.5 ve 4.6 da verilmiştir. Bunlara göre pirodekstrinizasyon (PD) ve jelatinizasyon-retrogradasyon (JR) işlemleri ile modifiye edilmiş her üç baklagil nişastasında HSN oranının diğer nişasta örneklerine göre oldukça yüksek olduğu görülürken, EDN miktarlarının ise çok düşük olduğu tespit edilmiştir. ÇB ve IN yöntemleri ise EDN, SYN ve HSN miktarlarında çok az bir değişikliğe neden olmuştur. En fazla SYN artışı ise JR işleminde görülmüştür. PD ve JR işlemleri nişastanın kristal yapısını bozarak sindirim enzimleri tarafından daha hızlı bir şekilde hidrolizine olanak sağladığı düşünülmektedir. ÇB işlemi ile modifiye edilen nişastalarda granüler yapı korunduğundan bu örneklerin sindirim profili doğal nişastalara benzemektedir.



Şekil 4.4. Pişirilmemiş, doğal ve modifiye barbunya nişastasında HSN, SYN ve EDN oranları, %



Şekil 4.5. Pişirilmemiş, doğal ve modifiye fasulye nişastasında HSN, SYN ve EDN oranları, %



Şekil 4.6. Pişirilmemiş, doğal ve modifiye nohut nişastasında HSN, SYN ve EDN oranları, %

IN uygulamasında ise nişasta granülünün kristal yapısı kısmen bozulmasına rağmen [53] bu işlemin devamında uygulanan kurutma işlemi tekrar amiloz-amiloz ve amilopektin-amilopektin etkileşimlerine neden olarak sindirimi azalttığı sonucuna ulaşılmıştır. Benzer nedenlerle, Bölüm 4.3 de belirtildiği gibi, nişastanın şişme kapasitesini de sınırlandırdığı görülmüştür.

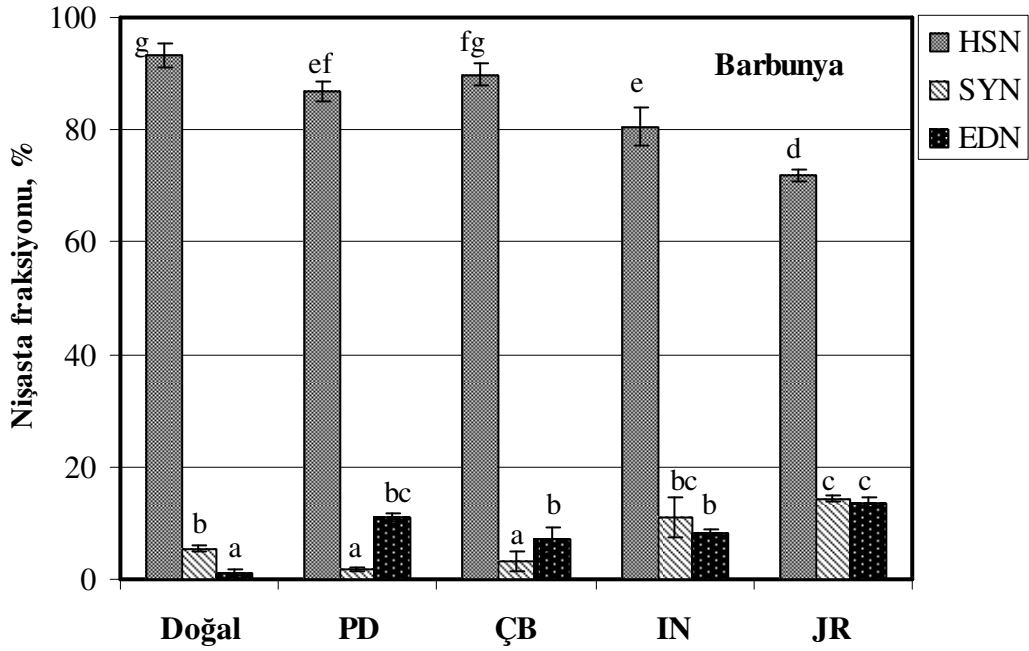
Köksel [3], bebek mamaları, dondurma, soğuk suda çözünebilen kremler, şeker kaplamaları ve hazır tatlılar gibi gıdalarda kullanılan modifiye nişastaların daha çok PD ve JR işlemi görmüş nişastalar olduğunu belirtmektedir. Çünkü yukarıda da belirtildiği gibi bu tip ürünler genellikle nişastanın jelatinizasyonuna neden olacak kadar ısı işlemlerden geçmemektedir. Bu nedenle bu tip ürünlerde granüler yapısı bozulmuş ve daha düşük sıcaklıklarda suda çözünebilen PD ve JR gibi modifiye nişastalar kullanılmaktadır. Dolayısıyla çalışmanın bu bölümünde elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde düşük GI'li ürün üretimi için PD nişastaların JR nişastalardan daha uygun olduğu sonucu ortaya çıkmaktadır. Doğal, ÇB ve IN işlemi görmüş nişastalar pişirilmemiş ürünlerde kullanılamayacağı için sindirilebilirlik özelliklerinin teknolojik anlamda önemli olmadığı sonucuna varılmıştır.

4.5.2. Pişirilmiş Örneklerde Sindirim Hızları Farklı Nişasta Kısımları

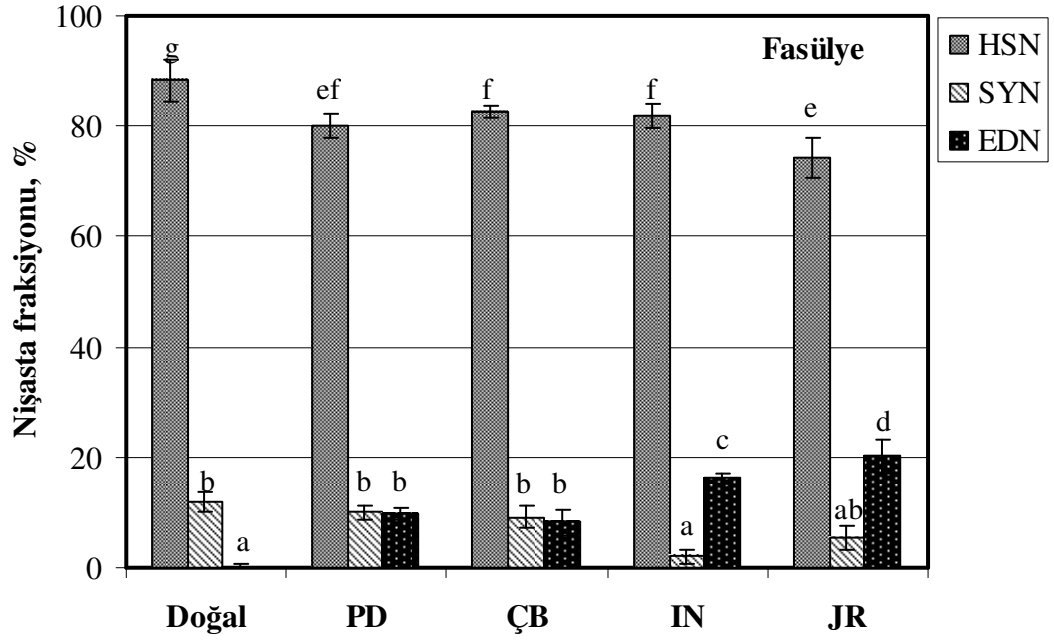
Kaynar su banyosunda 20 dak pişirilmiş (nişasta:su oranı=1:20), doğal ve modifiye nişasta örneklerinin (barbunya, fasulye ve nohut) % HSN, SYN ve EDN miktarları Şekil 4.7, 4.8 ve 4.9 da verilmiştir. Bu sonuçlara göre *pişirilmemiş* örneklerle karşılaştırıldığında *pişirme* işleminin beklendiği gibi bütün nişastalarda sindirilebilirliği arttırdığı açıkça görülmektedir. Ancak pişirilmiş örnekler kendi içerisinde karşılaştırıldığında uygulanan modifikasyon işlemlerinin tamamı HSN miktarında istatistiki olarak önemli oranda azalmaya neden olduğu tespit edilmiştir. Şekil 4.7, 4.8 ve 4.9 incelendiğinde HSN de görülen en fazla düşüşün JR işlemi görmüş örneklerde olduğu açıktır. En az düşüş ise ÇB nişasta örneklerinde gözlenmiştir. PD, IN ve JR işlemlerine tabii tutulmuş baklagil nişastalarının pişirilme sonrasında ÇB nişastalara göre daha yüksek oranda EDN içerdiği görülmüştür. SYN miktarlarındaki değişim ise her üç baklagil nişastasında

farklılıklar göstermiştir. Buna göre PD dışındaki modifikasyon yöntemleri, barbunya ve nohut nişastalarının SYN miktarlarında artışa neden olurken, fasulye nişastasında azalmaya neden olmuştur. En fazla SYN artışı barbunya için JR ve IN yönteminde; nohut için ise ÇB ve JR yönteminde bulunmuştur.

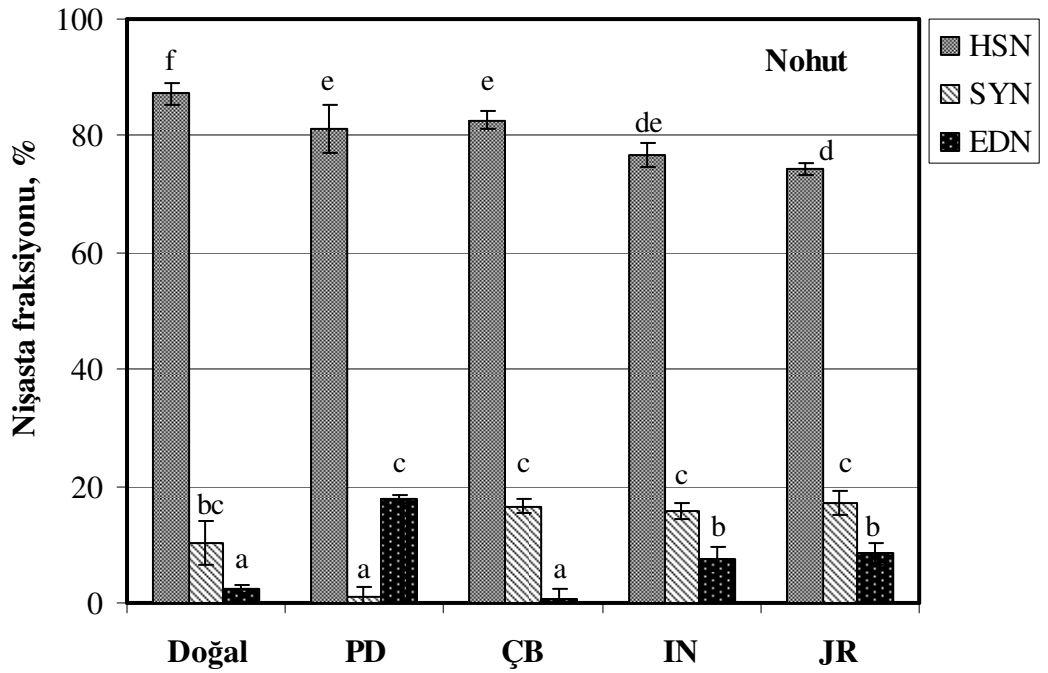
Shin ve ark. [28], tatlı patates nişastasının bu çalışmada uygulanan benzer bir IN işlemi ile modifikasyonu sonucunda SYN oranını %24,7, EDN oranını ise %54,6 olarak belirlemişlerdir. Elde ettikleri sonuçlar, çalışmada elde edilen sonuçlardan (SYN<%20, EDN <%20) daha yüksek değerlerdedir. Bu durumun Shin ve ark. [28] nin in vitro sindirim testinden önce herhangi bir ısıl işlem uygulamamış olmalarından kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 4.7. Pişirilmiş, doğal ve modifiye barbunya nişastasında HSN, SYN ve EDN oranları, %



Şekil 4.8. Pişirilmiş, doğal ve modifiye fasülye nişastasında HSN, SYN ve EDN oranları, %



Şekil 4.9. Pişirilmiş, doğal ve modifiye nohut nişastasında HSN, SYN ve EDN oranları, %

Woo ve Seib [49], bu çalışmada uygulanan in vitro sindirim testini kullanarak ÇB buğday nişastasının SYN oranını %16,9, EDN oranını ise %8,1 olarak belirlemişlerdir. Orozco-Martinez ve Betancur-Ancona [33] yaptıkları çalışmada, beyaz fasulyeye çeşitli PD işlemleri uygulayarak sindirilemeyen nişasta kısımlarını tespit etmeye çalışmışlardır. PD örneklerle yaptıkları in vitro sindirilebilirlik analizleri sonucunda sindirilemeyen nişasta oranını %42 ile %52 arasında olduğunu tespit edilmiştir. Bu değerlerin bu çalışmada PD örnekler için elde edilen değerlerden yüksek olması yine araştırmacıların farklı bir sindirim testi kullanmalarından dolayı olduğu düşünülmektedir.

Daha önceki bölümlerde belirtildiği gibi beslenme açısından yararlı olduğu bilinen nişasta fraksiyonları SYN ve EDN dir. Dolayısıyla bu çalışmada modifiye nişastaların doğal nişastalara göre üstünlüklerinin olup olmadığının test edilmesinde SYN ve EDN miktarlarının toplamı hesaplanmıştır (Çizelge 4.5).

Çizelge 4.5. Baklagil nişastalarında SYN ve EDN toplamaları, %

Nişasta Türü	Barbunya	Fasülye	Nohut
Doğal	6,7±0,6	11,8±1,1	12,7±0,9
PD	13,0±1,0	19,9±0,9	18,9±2,1
ÇB	10,2±0,2	17,5±2,1	17,3±1,8
IN	19,4±0,9	18,2±1,9	23,2±2,1
JR	28,0±1,0	25,7±1,3	25,7±1,9

Buna göre beslenme sağlığı açısından yararlı olduğu düşünülen SYN ve EDN kısımlarının toplamı en fazla JR işlemi sonucunda olduğu görülmektedir. JR işlemini sırasıyla IN, PD ve ÇB izlemektedir. Bu çalışmada seçilen modifikasyon yöntemleriyle elde edilen nişastaların yapısal özellikleri incelendiğinde amiloz-amiloz etkileşimi sonucu meydana gelen rekristalizasyonun sindirim hızını düşürmede

en etkili parametre olduğu düşünölmektedir. Çünkü en yüksek oranda SYN ve EDN oluşumuna neden olan JR ve IN uygulaması işlemlerindeki ortak değışim doğal nişastanın kristal yapısının kısmen veya tamamen bozulması ve devamında meydana gelen amiloz-amiloz rekristalizasyonudur. JR ve IN işlemleri uygulanmış örneklerin bir diğer ortak özelliği bu örneklerin çözünürlük değeriinin (Çizelge 4.3) diğer örneklerden daha düşük olmasıdır. Literatürde de nişastanın in vitro ortamda sindirilebilirliğini etkileyen faktörlerin kristal özellikleri, amiloz zincirleri arasındaki etkileşim, ve granül yüzey alanları olduğu belirtilmiştir [54,55-56].

Bu sonuçlara göre nişasta içeren gıda formülasyonlarının hazırlanmasında JR veya IN işlemleri görmüş modifiye nişastaların doğal nişasta yerine kullanılmasının elde edilecek ürünün daha düşük glisemik indeks değeriine neden olacağı sonucuna ulaşılmaktadır.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Araştırma kapsamında nohut, fasulye ve barbunyadan elde edilen doğal baklagil nişastaları pirodekstrinizasyon (PD), çapraz bağlama (ÇB), ısı-nem uygulaması (IN) ve jelatinizasyon-retrogradasyon (JR) işlemleri uygulanarak modifiye edilmişlerdir. Yapılan bu modifikasyon işleminin nişastanın sindirililebilirliği üzerine etkisi hem pişmemiş ham nişastalarda hem de pişirilmiş nişastalarda araştırılmıştır. Araştırma sonunda elde edilen sonuçlar aşağıda sunulmuştur:

- 1- Nohut, fasulye ve barbunyadan yapılan nişasta ekstraksiyonu işleminin verimliliği sırasıyla %23,95; % 18,65 ve %17,73 g nişasta/g un olarak belirlenmiştir.
- 2- Baklagil örneklerinden elde edilen doğal nişastaların kimyasal bileşim analiz sonuçları her üç baklagil örneğinden yüksek saflıkta nişasta elde edildiğini göstermiştir.
- 3- PD işlemi her üç baklagil nişastasının *şişme kapasitelerinde* büyük oranda azalmaya ($P<0,05$) sebep olmuştur. ÇB ve IN işlemleri de her üç baklagil nişastasının *şişme kapasitelerinde* azalmaya ($P<0,05$) neden olduğu tespit edilmiştir. Buna karşın JR işlemi fasulye ve nohut nişastalarının *şişme kapasitelerinde* istatistiki olarak önemli bir değişime neden olmazken ($P>0,05$), barbunya nişastasında çok az bir düşüşe sebep olmuştur. Dolayısıyla JR işleminin nişastanın su absorblayan kısımlarında herhangi bir değişime neden olmadığı sonucuna ulaşılmıştır.
- 4- PD işlemi her üç baklagil nişastası için de *çözünürlük değerlerinde* yaklaşık olarak 7-9 kat arasında bir artış sağlamıştır. IN işlemi ile modifiye edilmiş nişastaların *çözünürlük değerlerinin* düşme eğiliminde olduğu gözlenmiş ancak bu düşüşün istatistiksel olarak önemli düzeyde olmadığı görülmüştür. JR işlemi ise istatistiksel olarak nişastanın *çözünürlüğünde* önemli bir azalışa neden olmuştur ($P<0,05$). ÇB işlemi ise nişastaların *çözünürlük değerlerinde* düşük bir artışa neden olmuştur.

- 5- Doğal nişastaya uygulanan ÇB ve IN işlemlerinin her üç örnek için de jelatinizasyon başlangıç sıcaklıklarında (T_0) istatistiksel olarak önemli bir artışa neden olduğu tespit edilmiştir ($P < 0,05$). Jelatinizasyon entalpileri (ΔH) incelendiğinde ise en belirgin değişimin ÇB nişastalarda gözlenen düşüş olduğu görülmüştür.
- 6- Pişirilmemiş örneklerde pirodekstrinizasyon (PD) ve jelatinizasyon-retrogradasyon (JR) işlemleri ile modifiye edilmiş her üç baklagil nişastasında HSN oranının diğer nişasta örneklerine göre oldukça yüksek olduğu görülürken, EDN miktarlarının ise çok düşük olduğu tespit edilmiştir. ÇB ve IN yöntemleri ise EDN, SYN ve HSN miktarlarında çok az bir değişikliğe neden olmuştur. En fazla SYN artışı ise JR işleminde görülmüştür.
- 7- Pişirilmemiş örneklerle karşılaştırıldığında *pişirme* işleminin bütün nişastalarda sindirilebilirliği arttırdığı açıkça görülmüştür.
- 8- PD, IN ve JR işlemleri ile modifiye edilmiş baklagil nişastalarının pişirilme sonrasında ÇB nişastalara göre daha yüksek oranda EDN içerdiği görülmüştür. SYN miktarlarındaki değişim ise her üç baklagil nişastasında farklılıklar göstermiştir. Buna göre PD dışındaki modifikasyon yöntemleri, barbunya ve nohut nişastalarının SYN miktarlarında artışa neden olurken, fasulye nişastasında azalmaya neden olmuştur. En fazla SYN artışı barbunya için JR ve IN yönteminde; nohut için ise ÇB ve JR yönteminde bulunmuştur.

KAYNAKLAR

- [1] Sajilata, M.G., Singhal, R.S., Kulkarni, P., R., “Resistant Starch- A Review”, *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, **5**: 1-17, (2006).
- [2] Lehmann, U. and Robin, F. “Slowly digestible starch- its structure and health implications: A Review”, *Trends in Food Science and Technology*, **18**: 346–355, (2007).
- [3] Köksel, H. “Karbonhidratlar”, İ. Saldamlı (ed), *Gıda Kimyası*, 3. Baskı, Hacettepe Üniversitesi Yayınları, Ankara, s. 49–132, (2005).
- [4] Pongsawatmanit, R., Temsiripong, T., ve Suwonsichon T. “Thermal and rheological properties of tapioca starch and xyloglucan mixtures in the presence of sucrose”, *Food Research International*, **40**: 239-248, (2007).
- [5] Eerlingen, R.C. and Delcour, J.A. “Formation, Analysis, Structure and Properties of Type III Enzyme Resistant Starch”, *Journal of Cereal Science* **22**: 129-138, (1995).
- [6] Garcia-Alonso, A., Jimenez-Escrig, A., Martin-Carron, N., Bravo, L., Saura-Calixto, F., “Assessment of some parameters involved in the gelatinization and retrogradation of starch”, *Food Chemistry*, **66**: 181-187, (1999).
- [7] Englyst, H. N., Kingman, S. M., and Cummings, J. H. “Classification and measurement of nutritionally important starch fractions”, *European Journal of Clinical Nutrition*, **46** : 33-50, (1992).
- [8] Thomas, D. I. and Atwell W. A. " *Starches*", Eagan Press, Minnesota, USA, 25-30 s., (1999).
- [9] Escarpa, A., Gonzales, M. C., Manas, E., Garcia-Diz, L., and Saura-Calixto, F. “Resistant starch formation: Standardization of a high-pressure autoclave process”, *J. Agric. Food Chem.*, **44**: 924-928, (1996).
- [10] Namratha, J., Asna, U., Prasad, N.N., “Effect of storage on resistant content of processed ready-to-eat foods”, *Food Chemistry*, **79**: 395-400, (2002).

- [11] Aarathi, A., Urooj, A. and Puttaraj, S., “In vitro starch digestibility and nutritionally important starch fractions in cereals and their mixtures”, *Starch/Starke*, **55**: 94-99, (2003).
- [12] Garcia-Alonso, A., Goni, I. and Saura-Calixto, F. “ Resistant starch and potential glycaemic index of raw and cooked legumes (lentils, chickpeas and beans)”, *Z Lebensm Unters Forsch A*, **206**: 284-287, (1998).
- [13] Sosulski, F., Waczkowski, W., Hoover, R., “ Chemical and Enzymatic Modifications of the Pasting Properties of Legume Starches”, *Starch/Starke*, **41**: 135-140, (1989).
- [14] Englyst, H. N., and Hudson, G.J. “The classification and measurement of dietary carbohydrates”, *Food Chem.*, **57**: 15-21, (1996).
- [15] DeVries, J.W., “Glycemic Index: The analytical perspective”, *Cereal Foods World*, **52**: 45-49, (2007).
- [16] Chung, H. J., Lim, H. S., and Lim, S. T. “ Effect of partial gelatinization and retrogradation on the enzymatic digestion of waxy rice starch” *Journal of Cereal Science*, **43**: 353-359, (2006).
- [17] Henry, C.J.K., Lightowler, H.J., Strik, C.M., Renton, H. and Hails, S. “Glycaemic index and glycaemic load values of commercially available products in the UK”, *British Journal of Nutrition*, **94**: 922–930, (2005).
- [18] Foster-Powell K., Holt H.S. and Brand-Miller J.C., “International table of glycemic index and glycemic load values: 2002”, *American Journal of Clinical Nutrition*, **76**: 5-56, (2002).
- [19] Holt S.H., Brand-Miller J.C, and Petocz P., “An insulin index of foods : the insulin demand generated by 1000-kJ portions of common foods ”, *American Journal of Clinical Nutrition*, **66**:1264-76 (1997).
- [20] Nugent, A. P., “Health properties of resistant starch.”, *British Nutrition Foundation*, **30**: 27-54, (2005).

- [21] Mortensen, P. B., Holtug, K. and Rasmussen, H. S. “Short-chain fatty acid production from mono- and disaccharides in a fecal incubation system: Implications for colonic fermentation of dietary fiber in humans”, *Journal of Nutrition*, **118**: 321-325, (1988)
- [22] Henningsson, A. M., Margareta, E., Nyman, G. L. and Björck, I. M. E. “ 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**: 385-393, (2002).
- [23] Drzikova, B., Dongowski, G., Gebhardt, E. and Habel, A. “The composition of dietary fibre-rich extrudates from oat affects bile acid binding and fermentation *in vitro*”, *Food Chemistry*, **90**: 181-192, (2005).
- [24] Wood, P. J., Arrigoni, E., Miller, S. S. and Amadò, R. “Fermentability of oat and wheat fractions enriched in β -glucan using human fecal inoculation”, *Cereal Chemistry*, **79**: 445-454, (2002).
- [25] Cummings, J. H. “Short chain fatty acids in the human colon”, *Gut*, **22**: 763–779 (1981).
- [26] Han, J. and BeMiller, J.N. “ Preparation and physical characteristics of slowly digesting modified food starches”, *Carbohydrates Polymers*, **67**: 366–374, (2007).
- [27] Aparicio- Saguilan, A., Sayago-Ayerdi, S. G. and Bello-Perez, L. A. “Slowly digestible cookies prepared from resistant starch-rich linterized banana starch”, *Journal of Food Composition and Analysis*, **20**: 175-181, (2007).
- [28] Shin, S. I., Kim, H. J., Ha, H. J., Lee, S. H., and Moon, T. W. “Effect of hydrothermal treatment on formation and structural characteristics of slowly digestible non-pasted granular sweet potato starch”, *Starch/Starke*, **57**: 421-430, (2005).
- [29] Hoover, R., Rorke, S.C., Martin, M. A., “Isolation and characterization of Lima Bean Starch’’, *Journal of Biochemistry*, **15**: 117-136, (1991).
- [30] AACC. “Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists” 10th ed., The Association: St. Paul, MN, (2000).

- [31] Liu H., Ramsden L., and Corke H., “ Physical properties of cross-linked and acetylated normal and waxy rice starch” , *Starch/Starke*, **51**: 249-252, (1999).
- [32] Sayar, S. “Nohutta (*Cicer arietinum* L.) Su Absorpsiyonunun Analizi”, Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 143s, (2003).
- [33] Orozco-Martinez, T., Betancur-Ancona, D., ‘Indigestible Starch of *P.lunatus* Obtained by Pyroconversion: Changes in Physicochemical Properties’, *Starch/Starke*, **56**:241-247(2004).
- [34] Varavinit, S., Paisanjit, W., Tukomane, T., and Pukkahuta, C. “Effects of Osmotic Pressure on the Crosslinking Reaction of Tapioca Starch”, *Starch/Starke*, **59**: 290-296, (2007).
- [35] Englyst, K. N., Englyst, H. N., Hudson G.J., Cole T.J., and Cummings, J. H, “Rapidly available glucose in foods: an in vitro measurement that reflects the glysemic response”, *The American Journal of Clinical Nutrition*, **69**: 448-454, (1999).
- [36] Megazyme D-Glucose Assay Procedure (GOPOD-Format), Megazyme Ltd, Co.Wicklow, Ireland.
- [37] Sullivan J.T., “ The estimation of starch ” *Industrial and Engineering Chemistry*, **7**: 311-314, (1935).
- [38] Schoch, T.J. and Maywald, E.C., “Preparation and properties of various legume starches”, *Cereal Chemistry*, **45**: 564-569 (1968).
- [39] Xue Q., Newman R.K., and Newman C.W., “Effects of Heat Treatment of Barley Starches on In Vitro Digestibility and Glucose Responses in Rats”, *Cereal Chemistry*, **73(5)**:588-592, (1996).
- [40] Vasanthan, T., and Bhatt, R. S. “Enhancement of resistant starch (RS3) in amylo maize, barley, field pea and lentil starches”, *Starch/Starke*, **50**: 286-291, (1998).

- [41] Huang J., Schols, H.A., Voragen, A.G.J., ‘Physicochemical properties and amylopectin chain profiles of cowpea, chickpea and yellow pea starches’, *Food Chemistry*, **101**: 1338-1345 (2007).
- [42] Singh N., Sandhu K. S., and Kaur M., ‘Characterization of starches separated from Indian chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars ’, *Journal of Food Engineering*, **63**: 441–449,(2004).
- [43] Adebowale K.O. and Lawal O.S., ‘Microstructure, physicochemical properties and retrogradation behaviour of Mucuna bean (*Mucuna pruriens*) starch on heat moisture treatments.’, *Food Hydrocolloids*, **17**: 265-272 (2003).
- [44] Casanas F, Pujola M, del Castillo R. R. “Variability in some texture characteristics and chemical composition of common beans (*Phaseolus vulgaris* L.)”, *J. Sci. Food Agric.*, **86**: 2445-2449, (2006).
- [45] Tester R. F. and Karkalas J., “Swelling and gelatinization of oat starches”, *Cereal Chemistry*, **73(2)**:271-277, (1996).
- [46] Leach, H. W. "Gelatinization of starch", R. L. Whistler and E. F. Paschall (eds.), *Starch: Chemistry and Technology*, Academic Press Inc., New York, s.289-307, (1965).
- [47] Campechano-Carrera E., Corona-Cruz A., Chel-Guerrero L., and Betancur-Ancona D., ‘Effect of pyrodextrinization on available starch content of lima bean (*Phaseolus lunatus*) and cowpea (*Vigna unguiculata*) starches’, *Food Hydrocolloids*, **21**: 472-479, (2007).
- [48] Adebowale K.O., Olu-Owolabi B.I, Olayinka O.O., and Lawal O.S., ‘Effect of heat moisture treatment and annealing on physicochemical properties of red sorghum starch’, *African Journal of Biotechnology*, **4(9)**: 928-933, (2005).
- [49] Woo, K.S., and Seib, P.A., ‘Cross-Linked Resistant Starch: Preparation and Properties’, *Cereal Chemistry*, **79(6)**: 819-825, (2002).

- [50] Olayinka O.O., Adebowale K.O., and Olu-Owolabi B.I., ‘‘Effect of heat-moisture treatment on physicochemical properties of white sorghum starch’’, *Food Hydrocolloids*, **22**: 225-230, (2008).
- [51] Hosoney, R.C., ‘‘Principles of cereal science and technology’’, 2nd ed., AACC, St. Paul, MN., (1994).
- [52] Sayar, S., Turhan M., and Gunasekaran S., ‘‘Analysis of chickpea soaking by simultaneous water transfer and water–starch reaction’’, *Journal of Food Engineering*, **50**: 91-98, (2001).
- [53] Hoover, R. and Manuel, H., ‘‘Effect of heat-moisture treatment on the structure and physicochemical properties of legume starches’’, *Food Research International*, **29(8)**: 731-750, (1996).
- [54] Gunaratne A. and Hoover R., ‘‘Effect of heat-moisture treatment on the structure and physicochemical properties of tuber and root starches’’, *Carbohydrate Polymers*, **49**: 425-437, (2002).
- [55] Tester, R.F., Debon S.J.J. and Sommerville M.D., ‘‘Annealing of maize starch’’, *Carbohydrate Polymers*, **42**: 287-299, (2000).
- [56] Planchot V., Colonna P., Gallant D.J., and Bouchet B., ‘‘Extensive degradation of native starch granules by alpha-amylase from *Aspergillus fumigatus*’’, *Journal of Cereal Science*, **21**: 163-171, (1995).

ÖZGEÇMİŞ

DEMET GÜZEL

EĞİTİM DURUMU: Mersin Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans (2006-)

Ege Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümü
Lisans (2000- 2006)

GÖREVLERİ: Mersin Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümü
Araştırma Görevlisi (Aralık 2006-)

Aral Endüstri A.Ş., Mersin
Sorumlu Müdür (Nisan 2006-Aralık 2006)

YABANCI DİL: İngilizce

YAYINLAR

1. **Güzel, D.**, Erdoğan Sancak Z.Ö. ve Turhan K.N., 2007. Askorbik Asitin Kurutulmuş Muz Dilimlerinin Sertliği Üzerine Etkisi, 5. Gıda Mühendisliği Kongresi, 8-10 Kasım, Ankara, Türkiye. (poster sunum)