T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

PROSES KOŞULLARININ FARKLI ORANLARDA AMİLOZ/AMİLOPEKTİN İÇEREN NİŞASTALARIN JELLEŞME DAVRANIŞINA ETKİSİ

BURCU KARAKELLE

YÜKSEK LİSANS TEZİ
GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
GIDA MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI

DANIŞMAN
DR. ÖĞR. ÜYESİ ÖMER SAİD TOKER

İSTANBUL , 2019

T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

PROSES KOŞULLARININ FARKLI ORANLARDA AMİLOZ/AMİLOPEKTİN İÇEREN NİŞASTALARIN JELLEŞME DAVRANIŞINA ETKİSİ

Burcu KARAKELLE tarafından hazırlanan tez çalışması 20.03.2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Dr. Öğr. Üyesi Ömer Said TOKER

Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Dr. Öğr. Üyesi Ömer Said TOKER

Yıldız Teknik Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Salih KARASU

Yıldız Teknik Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Sanem ARGIN

Yeditepe Üniversitesi

ÖNSÖZ

Çalışmalarımın başlangıcından itibaren bana her türlü desteği sağlayan ve bana her konuda bilgilerini aktaran saygıdeğer danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Ömer Said TOKER' e,

Çalışmalarımı gerçekleştirmek için laboratuvar imkanı sunan Kimya Metalurji Fakültesi Gıda Mühendisliği bölümüne,

Bilgi ve tecrübeleri ile bana hep destek olan Gıda Mühendisliği bölüm arkadaşlarımdan başta Betül Gizem AÇAN, Elif ÇAKIR ve Kübra BURSA olmak üzere tüm bölüm arkadaşlarıma,

Eğitim ve hayatım boyunca bana emek veren, hayatımın her anında yanımda olan, maddi ve manevi desteklerini benden esirgemeyen sevgili aileme ve arkadaşlarıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Mart, 2019

Burcu KARAKELLE

İÇİNDEKİLER

Sayfa

SİMGE LİSTESİ.....vi

KISALTMA LİSTESİ.....vii

ŞEKİL LİSTESİ.....viii

ÇİZELGE LİSTESİ.....iix

ÖZET.....x

ABSTRACT.....xii

BÖLÜM 1

GİRİŞ.....1

1.1 Literatür Özeti.....1
1.1.1 Nişastanın Yapısı.....1
1.1.2 Nişastanın Jelleşmesi.....3
1.1.3 Nişastaların AM/AP Oranı.....7
1.1.4 Farklı Botanik Kaynaklı Nişastalar.....11
1.1.5 Farklı Proses Koşullarında Jelleşme.....14
1.1.6 Nişasta Jellerinde Retrogradasyon.....15
1.1.7 Sineresis.....18
1.2 Tezin Amacı.....20
1.3 Hipotez.....20

BÖLÜM 2

MATERYAL METOT.....22

2.1 Materyal.....22
2.2 Metot.....23
2.2.1 Jelleşme Özelliklerinin Belirlenmesi.....23
2.2.2 Elde Edilen Jellerin Sineresis Özelliklerinin Belirlenmesi.....24
2.2.3 Jelleşme Eğrisinde Modelleme.....24
2.2.4 İstatiksel Analizler.....26

BÖLÜM 3

ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....28

3.1 Pik Viskozite Değerleri 32
3.2 Breakdown Viskozite Değerleri..... 34
3.3 Tutma Gücü Değerleri..... 37
3.4 Setback Viskozite Değerleri. 39
3.5 Final Viskozite Değerleri 40
3.6 Jelleşme Sıcaklığına Değerleri 42
3.7 Farklı AM/AP Oranlarındaki Nişasta Karışımlarının Jelleşme Davranışı.... 44
3.7.1 Amiloz Oranının Nişasta Jellerinin Sineresis Özelliklerine Etkisi 48
3.8 Nişastaların Jelleşme Davranışının Modellenmesi..... 50
3.8.1 Mumsu Nişastaların Jelleşme Eğrisinin Modellenmesi 51
3.8.2 Normal Nişastaların Jelleşme Eğrisinin Modellenmesi 52
3.8.3 Yüksek Amiloz Nişastaların Jelleşme Eğrisinin Modellenmesi 53
3.8.4 Farklı Amiloz İçeriğindeki Nişasta Jelleşme Eğrileri Modellemesi..... 54

BÖLÜM 4

SONUÇ VE ÖNERİLER.....57

KAYNAKLAR 61

ÖZGEÇMİŞ 66

SİMGE LİSTESİ

α	Alfa
%	Yüzde

KISALTMA LİSTESİ

E_a	Aktivasyon enerjisi
AP	Amilopektin
AM	Amiloz
BV	Breakdown viskozitesi
FV	Final viskozitesi
RVA	Hızlı Viskozite Ölçüm Cihazı
OH	Hidroksit
w/v	Kütle/hacim
w/w	Kütle/kütle
µm	Mikrometre
MCR	Modüler Kompakt Reometre
Nm	Nanometre
PV	Pik viskozitesi
P	Poise
Rpm	Dakikadaki devir sayısı
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu (Scanning Electron Microscope)
TPA	Tekstür Profil Analizi
TG	Tutma Gücü

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 Amilopektinin küme modeline göre yapısı 2
Şekil 1.2 Nişastanın jelatinizasyon mekanizması..... 3
Şekil 1.3 Jelatinizasyon mekanizması. 4
Şekil 1.4 Jelatinizasyon sırasındaki nişasta granüllerinin değişimi 5
Şekil 1.5 Nişastaya ait standart jelleşme profili 6
Şekil 1.6 Mısır nişastası jellerinin SEM görüntüleri 15
Şekil 1.7 Amilozun retrogradasyon mekanizması 17
Şekil 1.8 Su moleküllerini içeren retrogradasyon mekanizması 18
Şekil 2.1 Jelleşme eğrisinden elde edilen parametreler 23
Şekil 2.2 Jelleşme eğrisinde uygulanan modellerin şematik gösterimi. 25
Şekil 3.1 Mumsu nişastanın farklı proses koşullarında jelleşme özellikleri..... 29
Şekil 3.2 Normal nişastanın farklı proses koşullarında jelleşme özellikleri 30
Şekil 3.3 Yüksek amiloz nişastanın farklı proses koşullarında jelleşme özellikleri 31
Şekil 3.4 Nişastaların farklı proses koşullarında pik viskozite değerleri 34
Şekil 3.5 Nişastaların farklı proses koşullarında breakdown viskozite değerleri 36
Şekil 3.6 Nişastaların farklı proses koşullarında tutma gücü değerleri 38
Şekil 3.7 Nişastaların farklı proses koşullarında setback viskozite değerleri 40
Şekil 3.8 Nişastaların farklı proses koşullarında final viskozite değerleri..... 42
Şekil 3.9 Nişasta karışımları viskozite profilleri 45
Şekil 3.10 Resimler (a)'dan (c)'ye doğru amiloz yüzdesi azalan jellerin görüntüsü 47
Şekil 3.11 Farklı oranda amiloz içeren nişastalardan hazırlanan jellere ait sineresis değerleri..... 48
Şekil 3.12 Sağ tarafta yüksek amiloz sol tarafta düşük amiloz içeren nişasta jelleri.....50

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 1.1 Nişasta granüllerinin yaklaşık boyut ve şekilleri 12
Çizelge 1.2 Nişastaların fizikokimyasal ve fonksiyonel özellikleri 12
Çizelge 3.1 Farklı proses koşullarının nişastaların pik viskozitesi değerine etkisi 33
Çizelge 3.2 Farklı proses koşullarının nişastaların breakdown değerine etkisi 35
Çizelge 3.3 Farklı proses koşullarının nişastaların tutma gücü değerine etkisi 37
Çizelge 3.4 Farklı proses koşullarının nişastaların setback viskozite değerine etkisi 39
Çizelge 3.5 Farklı proses koşullarının nişastaların final viskozitesi değerine etkisi ... 41
Çizelge 3.6 Farklı proses koşullarının nişastaların jelleşme sıcaklığına etkisi..... 43
Çizelge 3.7 Amiloz oranının nişasta jelleşme özelliklerine etkisi..... 46
Çizelge 3.8 Mumsu nişastanın jelleşme davranışına ait model verileri..... 52
Çizelge 3.9 Normal nişastanın jelleşme davranışına ait model verileri..... 53
Çizelge 3.10 Yüksek amiloz nişastanın jelleşme davranışına ait model verileri 54
Çizelge 3.11 Nişasta karışımlarının jelleşme davranışına ait model verileri..... 55

ÖZET

PROSES KOŞULLARININ FARKLI ORANLARDA AMİLOZ/AMİLOPEKTİN İÇEREN NİŞASTALARIN JELLEŞME DAVRANIŞINA ETKİSİ

Burcu KARAKELLE

Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Ömer Said TOKER

Nişasta, jelleşme özelliklerine bağlı olarak kıvam artırıcı, tekstür geliştirici ve stabilizör olarak birçok gıda ürününde kullanılan bir gıda katkı maddesidir. Nişastaların teknolojik özellikleri daha çok nişastanın moleküler bileşimine dayanmaktadır. Buna ek olarak karıştırma hızı ve ısıtma/soğutma hızı gibi proses koşulları da nişastanın jelleşme özellikleri ile birlikte son ürün kalitesini etkilemektedir. Bu yüzden, mevcut çalışmada farklı proses koşullarının %70 yüksek amiloz, mumsu ve normal mısır nişastalarının jelleşme davranışı üzerindeki etkisi reometre kullanılarak belirlenmiştir. Belirlenen jelleşme özellikleri pik viskozitesi, jelleşme sıcaklığı, tutma gücü, breakdown viskozitesi, setback viskozitesi ve final viskozite değerleridir. Nişasta çözeltilerinin (%14, w/w) 10 °C/dk, 5°C/dk ve 2,5 °C/dk sıcaklık artış hızında; 50 rpm, 160 rpm ve 250 rpm karıştırma hızında jelleşme süreci incelenmiştir. Sonuçlara göre ısıtma ve karıştırma hızlarının jelleşme özellikleri üzerinde istatistiksel olarak etkili olduğu tespit edilmiştir (p<0,05). Karıştırma hızı 50 rpm'den 250 rpm'e doğru artıkça, nişasta çözeltilerinin pik viskozitesi azalmaktadır. Mumsu ve yüksek amiloz nişastadan elde edilmiş mısır nişasta karışımlarının jelleşme özellikleri de araştırılmıştır.

Çalışmanın bir diğer kısmında oda sıcaklığında amiloz içeriğinin mısır nişasta karışımları jellerinde retrogradasyon üzerindeki etkisinin araştırılması amaçlanmıştır. Sonuçlara göre mumsu nişastada düşük sineresis değeri bulunmuştur. Amiloz içeriği %70'den %0'a azaldıkça sineresis değeri de azalmıştır. Buna ek olarak, uygun modeller nişasta jelleşme

eğrisinin her aşamasını analiz etmek için kullanılmıştır. Eğri, analiz parametrelerine bağlı olarak dört kısma ayrılmıştır. İstenen sonuçlar modeller uygulanarak elde edilmiştir. Nişasta katsayıları bütün nişastalar için 1'den büyük bulunmuştur. Bu durum suyun nişasta granülüne girişinin granülün şişme hızını artıracağını gösterir. Ayrıca, AM/AP oranı ve proses koşulları optimize edilerek nişasta modifikasyonuna gerek kalmadan nişasta kaynaklı ürün kalite problemleri minimize edilip ve üründe kullanılacak nişasta miktarı azaltılarak kaloride azalma sağlanabilmektedir. Mevcut çalışmanın bulguları proses koşullarının ve amiloz/amilopektin oranının nişasta içeren gıda ürünlerinin üretiminde hedeflenen kalitede ürün eldesi için hesaba katılması gerektiğini ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: Mısır nişastası, amiloz, proses koşulları, jelleşme özellikleri, sineresis

ABSTRACT

EFFECT OF PROCESS CONDITIONS ON THE PASTING BEHAVIOUR OF STARCH AT DIFFERENT AMYLOSE/AMYLOPECTIN RATIOS

Burcu KARAKELLE

Department of Food Engineering

MSc. Thesis

Adviser: Assist. Prof. Dr. Ömer Said TOKER

Starch is a food additive used in many food products as a thickener, texture improver and stabilizer, which are achieved by pasting properties of the starches. Technological properties of starches are mainly depend on molecular composition of starch. In addition, process conditions such as stirring rate and heating/cooling rate also affected the quality of starch-included end product as well as pasting properties of the starch. Therefore, In the present study, the effect of different process conditions on the pasting behaviour of the 70% high amylose, waxy and normal corn starch was revealed by using a rheometer. These starch properties were the peak viscosity, pasting temperature, holding strength, breakdown viscosity, setback viscosity and final viscosity. The starch suspensions (14%, w/w) were heated at 10 °C/min, 5°C/min and 2.5 °C/min while being stirred at 50 rpm, 160 rpm and 250 rpm levels. According to results, both heating and stirring rate statistically affected the pasting properties (p<0.05). When stirring speed increased from 50 rpm to 250 rpm, peak viscosity of starch suspensions decreased. The pasting properties of maize starch blends made of waxy and high amylose corn starch were also investigated.

The other part of the study was aimed to investigate the effect of amylose content on the retrogradation of maize starch blends gels under room storage temperature. According to the results, waxy corn starch had low syneresis. Syneresis values decreased

as amylose content decreased from 70% to 0%. Moreover, appropriate models were used to analyze each stage of starch pasting curve. According to the analysis parameters of the curve, it was divided into four parts. Intended results were reached by applying models. Starch coefficients were found higher than 1 for all starches. This indicated that penetration of water into starch granules increased granule swelling rate. AM/AP ratios and process conditions can be optimized without the need of modification of starch. Quality problems of starch-based product can be also minimized at that point. Moreover, decreasing of quantity of starch can also decrease the calorie of the starch-based products. The findings of the present study highlighted that process conditions and amylose/amylopectin ratio should be considered during production of the food products including starch to obtain the products with desired quality.

Keywords: Corn starch, amylose, process conditions, pasting properties, syneresis

BÖLÜM 1

GİRİŞ

1.1 Literatür Özeti

1.1.1 Nişastanın Yapısı

Nişasta dünya genelinde yaygın olarak kullanılan önemli bir gıda katkı maddesidir. Nişasta üzerine bilimsel çalışmalar, 1833'te kimyacı Anselme Payen tarafından başlatılmıştır. Gıda endüstrisinde özellikle donmuş yiyecekler, çorbalar, soslar, hamur işlerinde yapı ve kıvamı iyileştirmek amacıyla kullanılan nişasta, amiloz ve amilopektin ünitelerinden oluşmaktadır. Her iki birimde glikoz ünitelerinin polimer zincirleridir ancak bağlanmaları farklıdır [1].

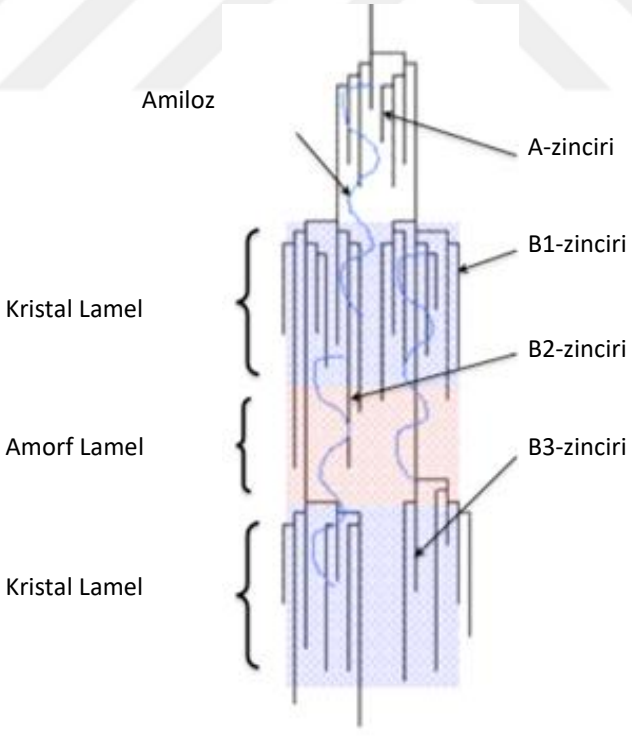
Amiloz, genellikle α-1,4-glikozid grubuna sahip lineer formdadır. Amiloz, düz zincir olarak bilinse de az da olsa dallanma mevcuttur. Lineer amilozun yüzlerce/binlerce glikoz birimi içermesi uzun zincirli molekül olduğunu göstermektedir. Amiloz içeriği nişastadaki nano kristallerin daha az simetri göstermelerine sebep olur [2].

Amilopektin ise daha büyük bir molekül olup amiloza göre daha fazla dallanma gösterir. Dallanmalar her 20-26 ünitede bir α-1,6-glikozid yan grubuyla olur. Amilopektinin dalları molekülün %5'ini oluşturur ve oldukça karışık bir yapı içerisinde yer alır. Amilopektinin kısa zincirleri çift-sarmal yapı oluşturduğundan kristal bir yapı görünümünü alır. Glikoz polimeri olan bu amiloz ve amilopektin, nişasta granüllerinin temel yapısını oluşturur [3].

Nişasta granülleri incelendiğinde büyüme halkalarından oluştuğu fark edilmiştir. Bu halkalar, amorf bölge ve semi-kristal olarak iki kısımdan oluşur. Amorf bölge, amiloz ve kristal yapıda olmayan amilopektin içerir. Semi-kristal büyüme halkaları ise amorf ve

kristal lamellerden meydana gelir. Kristal lameller, amilopektin zincirlerinin α-sarmal şeklinde paketlenmesiyle oluşur ve dallanma noktaları ise amorf bölgede yer alır. Amilopektinin iç ve dış zincirleri A, B veya C zincirleri olarak adlandırılır. Amilopektin sarmalları çoğu tahıl nişastasında sıkı bir şekilde istiflenmişken, patates ve muz gibi bazı bitkilerde daha aralıklı istiflenmiştir [3].

X-ray difraksiyonunda nişastanın katmanlı bölgelerden oluştuğu gözlenmiş ve her katmanda yaklaşık yirmi glikoz ünitesi içeren 100 çift sarmal içerdiği bulunmuştur. Bu sarmal yoğun bir biçimde bitişik olduğundan kristal yapıyı andırır. Amilozun, amilopektine dolanmış bir yapıda olduğu düşünülmektedir ama tam olarak yapıda nasıl yer aldığı bilinmemektedir. Sadece boyut bazında bakıldığında 120-400 nm büyüme halkaları, 9-10 nm amilopektin kümeleri, 5-7 nm ve 2-5 nm kristal ve amorf bölgelerdir (Şekil 1.1). Bu büyüme halklarının büyüklüğü ve sayısı, nişastanın orijinine ve amiloz içeriğine göre değişmektedir. Örnek verilecek olunursa, buğday nişastasında amiloz içeriğinin %1,5'den %39,5'e yükselmesiyle, yarı-kristal büyüme halkalarının kalınlığı da 182 nm'den 312 nm'ye arttığı görülmüştür [4].



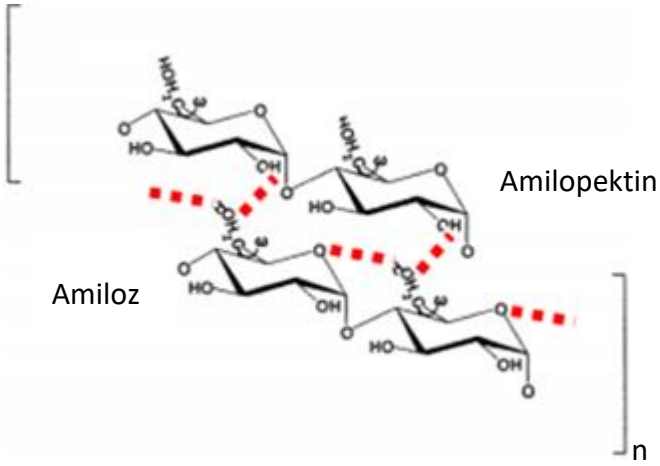
Şekil 1.1 Amilopektinin küme modeline göre yapısı [4]

Amorf tabaka ise amilozun yokluğunda daha kalındır buna karşın kristal tabaka daha incedir. Granülün çevresinde halkalar daha inceyken içe doğru daha kalın olduğu tespit

edilmiştir. İyot ile boyanmış nişasta tanecikleri mikroskop ve polarize ışık altında farklı bir görünüm alır [2]. Granüller, fazla suda ısıtıldıkları zaman polarize çapraz görüntü kaybolur. Bu durum moleküllerin düzenli yapısının bozulduğunu gösterir. Nişastanın fiziksel özelliklerinin moleküler düzenle ilgili olduğu bilinmektedir [1]. Nişasta granüllerinin boyutu 3 mikrondan 100 mikrona kadar oldukça geniş bir boyut aralığındadır. Bazı nişasta granülleri çok biçimli olabilir. Örneğin buğday nişastasında hem büyük hem de küçük granüller mevcuttur. Boyut aralığının geniş olması dışında şekilleri de oldukça değişkendir. Simetrik küre, asimetrik küre, simetrik disk ve asimetrik disk olmak üzere farklı şekilleri de mevcuttur [1]. Nişastanın bu özellikleri, gıdalarda kullanımını belirleyen özellikle jelleşme özellikleri için çok önemlidir.

1.1.2 Nişastanın Jelleşmesi

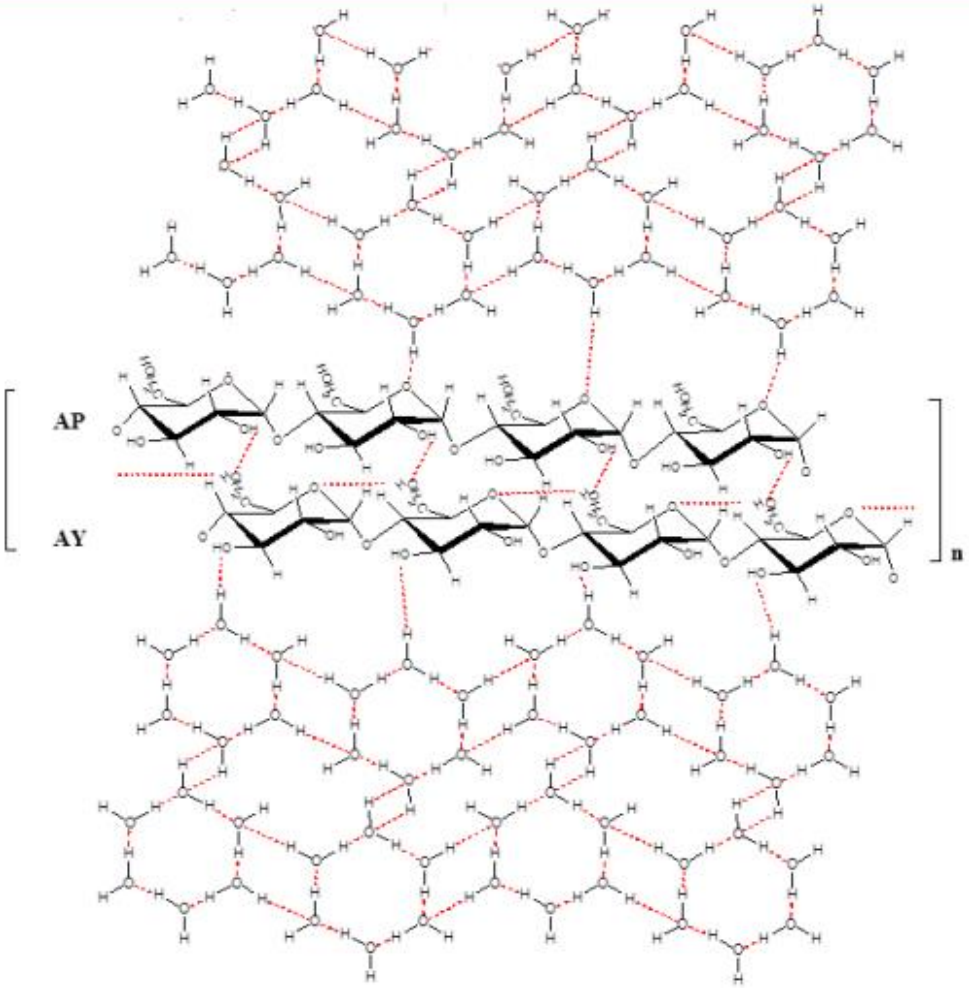
Nişasta su ile karıştırıldığı zaman granülleri bir süspansiyon oluşturur ve ısıtıldığında bu süspansiyon kıvamlanır. Nişastanın jelleşmesi, su içinde ve ısıyla birlikte amiloz ve amilopektinin moleküller arası bağlarının kırılmasını içeren bir süreçtir. Moleküller arası etkileşim olarak amiloz molekülünün 0-6 ve amilopektin molekülünün OH-2 noktasından hidrojen bağları ile bağlanması Şekil 1.2'de gösterilmiştir.



Şekil 1.2 Nişastanın jelatinizasyon mekanizması [5]

Buradaki önemli bir nokta da amilopektinin kısa zincirlerinin (A ve B) bu bağlanmada yer almış olmalarıdır. Isısal olarak kurulan bu hidrojen bağları kararlı formdadır. Su molekülleri, hidrojen bağı oluşturacak şekilde yapıya katılma potansiyeli olduğu halde özellikle bu su molekülleri amilopektinin kısa zincirlerindeki (A ve B) yüksek potansiyel

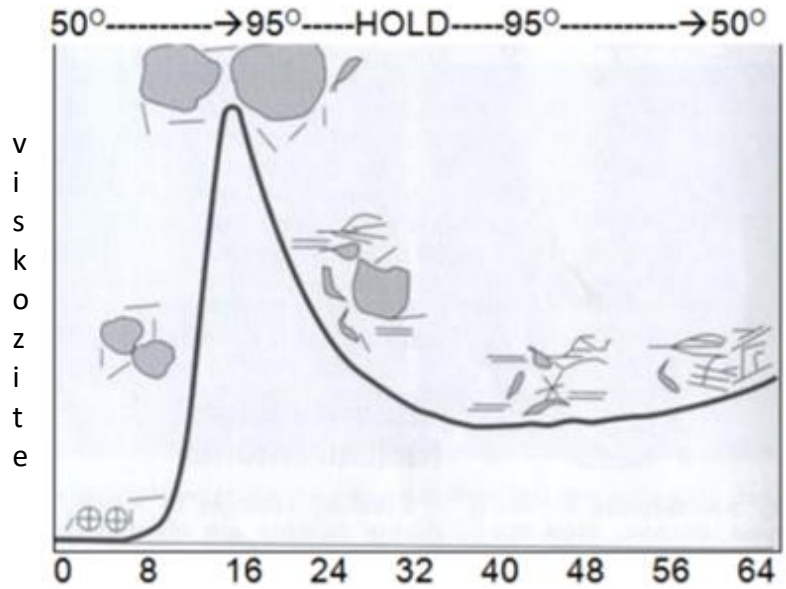
enerjiden dolayı kısmi olarak yapıda yer alır [5]. Şekil 1.2'de amiloz ile amilopektin arasındaki bağ yapısı detaylı olarak ortaya konulmuşken Şekil 1.3'de ise su moleküllerinin yapıya bağlanması ortaya konulmuştur.



Şekil 1.3 Jelatinizasyon mekanizması [5]

Sıcaklığın artmasıyla amiloz, amilopektinden ayrılır ve solüsyon içine geçer. Bunu takip eden soğutmayla da amiloz molekülleri diğer amiloz ve amilopektin ile hidrojen bağları kurar. Suyun, amiloz ve amilopektinden oluşan bu ağ arasında hapsedilmesi sonucu jelatinimsi bir yapı oluşur yani jelleşme meydana gelir (Şekil 1.3). Belli bir süre soğutulduğu zaman, amiloz molekülleri birbirine daha da yakınlaşır ve su molekülleri serbest kalır. Bu olaya retrogradasyon denir [3].

Nişasta granülleri, su ve sıcaklığın etkisiyle yapısal değişime uğrar. Jelatinizasyon aşaması bu süreçleri içerdiği için jelatinizasyon boyunca nişasta granülleri birtakım değişikliklere uğrar. Granül yapıdaki meydana genel değişiklikler Şekil 1.4'te gösterilmiştir [3, 6].

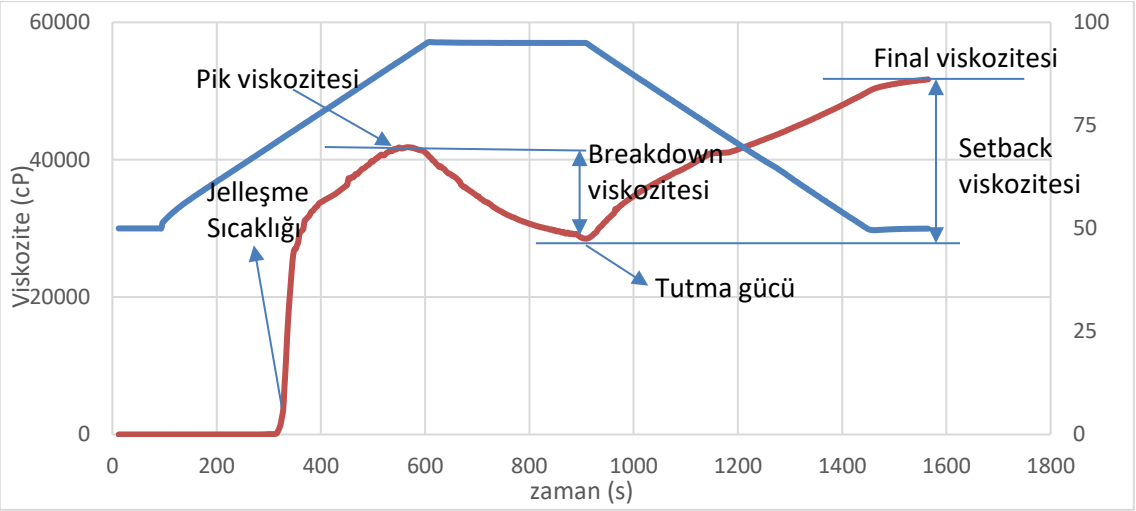


Şekil 1.4 Jelatinizasyon sırasındaki nişasta granüllerinin değişimi [6]

Nişastanın jelleşmesinde etken olan parametreleri bilip kontrol altına almak endüstriyel açıdan kullanımında büyük avantaj sağlar. Bundan dolayı nişastanın jelleşme özelliklerinin belirlenmesi önemlidir.

Nişastanın jelleşme özellikleri jel viskozitesi, jelleşme süresi ve retrogradasyonu hakkında bilgi verir. Nişasta jelleşme özelliklerinin belirlenmesi için en yaygın kullanılan cihaz, hızlı viskozite ölçüm cihazıdır. Bu analiz yöntemi, ısıtma ve soğutmayla birlikte karıştırmayı da içerir. Viskozite sıcaklığa bağlı ölçülür ve jelleşme parametreleri elde edilir. Bu parametreler; pik viskozitesi, tutma gücü, breakdown viskozitesi, final viskozitesi, setback viskozitesi, jelleşme süresi ve jelleşme sıcaklığıdır (Şekil 1.5). Burada önemli olan bir noktada pik viskozitesine ulaşma hızıdır ki jelatinizasyon kinetiğini anlamada, gıda işleme zamanına karar vermede ya da uygun nişasta seçiminde önemli bilgi sunar [7].

Jelleşme verileri pişirme ve ürünü işleme ile ilgili tahmini bilgi sağlar. Farklı RVA profilleri arasından özellikle setback ve breakdown viskozitesi ürünün pişirilmesi ile ilgili tahmini veri sağlamada önemli bir rol oynar. Bunun dışında RVA verileri, hedeflenen üründe kullanılacak ham madde için kalite kriteri olarak kullanılabilir. Örneğin pirinçte yüksek pik viskozitesi ve düşük setback viskozitesi iyi kalitede pirinç ile ilişkilendirilir [8].



Şekil 1.5 Nişastaya ait standart jelleşme profili [4]

Modifiye edilmemiş nişasta özellikle belli bir derecenin altında çözünmez. Nişasta granüller; kritik sıcaklığın üstünde su varlığında ısıtılmaya başlandığında şişmeye ve kendi orijinal boyutlarının kat ve kat üstüne çıkmaya başlar. Belli bir sıcaklık aralığında nişasta granülleri jelatinizasyon denen geri dönüşümsüz bir işleme maruz kalır ki bunun göstergeleri kristal yapıda bozulma, çift kırılma ve çözünürlüktür. Testin başında uygulanan sıcaklık, jelleşme sıcaklığının altındadır ve viskozite düşüktür. Sıcaklık, jelleşme sıcaklığının üstünde bir değerde artmaya başladığında granüller şişmeye başlar. Su alıp şişmiş granüller, kesme kuvveti altında birbirini sıkıştırıp viskozitenin artmasına sebep olurlar. Viskozitenin artmaya başladığı sıcaklığa jelleşme sıcaklığı denir. Bu sıcaklık, verilen örneği pişirmek için gereken minimum sıcaklıktır. Sıcaklık daha da arttıkça granüller şişmeye devam eder hatta bazıları parçalanır. Uygulanan mekanik bir kuvvetin varlığından dolayı polimerler yeniden kendini düzenler. Bu birbirine bağlı sürecin hepsine jelleşme denir [9].

Pik viskozitesinde denge noktası oluşur. Bu viskozite değeri, nişastanın su bağlama kapasitesini gösterir ki son ürünün kalitesiyle de ilişkilendirilebilir. Test sırasında örnek, belli bir periyotta sabit yüksek bir sıcaklıkta kayma gerilimine maruz bırakılır. Granüller parçalanmaya başladığında amiloz molekülü yapıdan ayrılmaya devam eder ve karıştırma esnasında yeniden düzenlenir. Bu süreci, viskozitede minimum değere ulaşana kadar bir azalma takip eder. Bu noktada kaydedilen viskoziteye tutma gücü denir. Pik viskoziteden minimum değere (tutma gücü) kadar olan azalma miktarı ve genişliği birden fazla faktöre bağlıdır. Bu faktörler sıcaklık, karıştırmanın derecesi, uygulanan kayma gerilimi ve

örneğin botanik kaynağıdır. Özellikle nişasta örneğinin bu sıcaklığa ve kayma gerilimine ne kadar dayanabildiği ürünün işlenmesi hakkında önemli bir bilgi sağlar [1].

Ürün soğutulmaya başlandığında nişasta molekülleri arasında özellikle amiloz moleküllerinin dahil olduğu bir düzenleme olur. Yeterli konsantrasyondaki nişasta, jel oluşumunu sağlar. Viskozite artmaya başlar ve final değeri olarak adlandırılan bir noktada stabil olarak kalır. Final viskozitesi, özellikle soğutmadan sonra ürünün jel oluşturma yeteneğini gösterir [9].

Bir diğer önemli veri ise setback viskozitesidir. Bu viskozite değeri, tutma gücü ve final viskozite değerlerinin farkından elde edilir. Bazı durumlarda örneğin pirinçte final değeri yükselişten sonra belli bir durağan noktaya gelmez. Böyle durumlarda tutma gücü yerine pik viskozite değeri kullanılır. Setback değeri, retrogradasyon ya da nişasta granüllerinin yeniden düzenlenmesi ile ilgili bilgi verir. Özellikle yüksek değerde olması donma sırasında sineresisi işaret eder [1]. Son ürün kalite özelliklerinin belirlenmesinde önemli bir parametre olan jelleşme davranışını etkileyen nişastada bulunan AM/AP oranı dikkate alınması gereken bir etkendir. Bu faktörlerin jelleşme özelliklerini nasıl etkilediğinin bilinmesi, arzu edilen kalitede ürünlerin üretimi ve ürün formülasyonlarında minimum konsantrasyonda nişasta kullanılması açısından önemlidir.

1.1.3 Nişastaların AM/AP Oranı

Amiloz içeriği, nişastanın türüne göre değişir. Genel olarak normal nişasta %28 civarında amiloz içerirken; yüksek amiloz nişastasında ise bu oran %50 civarındadır. Ancak mumsu nişastalar neredeyse %100 amilopektin içerir. Amiloz ve amilopektin oranı ile birlikte, amilozun molekül büyüklüğü ve amilopektinin dallanma zincir boyu da nişastanın jelleşme özelliklerini etkilemektedir [10].

Mısır nişastası dört grup altında toplanabilir. Genel olarak mısır nişastası %25 amiloz içerirken mumsu nişasta neredeyse hiç amiloz içermez. Bununla birlikte amiloz oranı % 75, %70 veya %55 olan mısır nişastaları, yüksek amiloz içeren mısır nişastaları olarak bilinmektedir. Granül boyutları 5-20 mikron arasında değişmektedir. Pirinç nişastası ise yaklaşık %20 oranında amiloz içerir ve granülleri 3-8 mikrondur. Bezelye nişastası amiloz

içeriği %33 civarındadır. Nişasta granülleri oldukça farklı boyutlardadır ve 2-40 mikron arasında değişir [11, 12].

İki farklı yöreden elde edilen pirinç ve mısır nişastalarıyla yapılan başka bir çalışmada hem yöre bazında hem de tür bazında fiziko-kimyasal ve morfolojik özellikleri farklı olduğu belirlenmiştir. Özellikle mısır nişastasının pirinç nişastasına göre daha yüksek amiloz içerdiği tespit edilmiştir. Pirinç nişastasının yüksek setback viskozitesi ve sineresis değerinden dolayı buzdolabında muhafaza edilmesi gereken ya da donmuş ürünlerde kullanımının mısır nişastasına göre randımanlı olmayacağı sonucuna varılmıştır [13].

Yapılan bir çalışmada, nişasta yeniden yapılandırılmış diğer bir değişle farklı nişasta türlerinden amiloz ve amilopektin izole edilip belli oranlarda karıştırılmıştır. Amiloz büyük, orta ve küçük boyutlarda olacak şekilde farklı nişasta kaynaklarından elde edilmiş ve amilopektin ise uzun, orta ve kısa dallanma uzunluğunda olacak şekilde elde edilmiştir. Yeniden yapılandırılmasında iki farklı oran üzerinde çalışılmıştır. Çalışma sonunda amiloz ve amilopektinin oranları ile birlikte yapısının da önemli olduğu ortaya konulmuştur [10].

Nişastanın su alıp şişmesiyle viskozite artarak pik değerine ulaşır. Bu aşamada karıştırma uygulanması ve çözünen amilozun ortama karışması viskoziteyi azaltır. Amiloz içeriği düşük olan nişastalarda tutma gücü, amiloz içeriği yüksek olan nişastalara göre daha düşüktür. Jel ağının oluşumunu gösteren bu viskozite değeri, nişastanın amiloz içeriği ile ilgili bir parametredir. Bu aşamalardan sonra, oluşan jel belirli bir süre soğutulduğunda, enerjilerini kaybeden nişasta polimerleri birleşmeye başlar bu da tekrardan viskozite artışına sebep olur. Soğutma prosesi sonucu elde edilen jel viskozitesine final viskozitesi adı verilir [14].

Mumsu tahıl nişastaları düşük jelleşme sıcaklığı, yüksek pik viskozite ve düşük final viskozite değerlerine sahiptir. Amilopektin içeriği yüksek olan nişastada su alma kapasitesi yüksek olduğu için pik viskozitesi yüksekken amiloz içeriği düşük olduğu içinde final viskozitesi düşüktür. Ayrıca, nişasta granüllerinin yavaş şişmesi durumunda daha yatık bir grafik eğrisi elde edilir. Yeterli nişasta konsantrasyonu ve nişasta granüllerinin örnek içerisinde dağılımı, özellikle hızlı bir viskozite artışı sağlar. Mumsu nişastalarda jelatinizasyon entalpisinin daha yüksek olması, amilopektinin kristal yapısı ile ilişkilidir [5].

Başka bir çalışmada amiloz içerikleri farklı olan dört arpa nişastası ile RVA analizi yapılmıştır. %0 amiloz içeriği olan örnekte daha yüksek pik viskozite değeri elde edilmişken setback ve final viskozite değerleri ise daha düşük çıkmıştır. Yüksek amiloz nişastasında ise pik viskozitesi daha düşük ancak final viskozitesi daha yüksektir. Pik viskozite değerleri, direk olarak nişasta granüllerinin yeterli su bulunan ortamda şişmesi ile bağlantılıdır. Amorf bölgenin genişliği de daha fazla su alımını sağlar [15].

Amilopektin, nişasta moleküllerinin kristal yapısında önemli bir rol oynar. Yani amilozun varlığı, kristal bölgenin erime sıcaklığını ve jelatinizasyon için gereken sıcaklığı düşürür. Yüksek amiloz içerikli nişastada daha fazla amorf bölge olduğundan dolayı jelleşme sıcaklığı da daha düşük olur. Amiloz içeriğinin düşük olması, nişasta granüllerinin daha fazla şişmesini yani bünyesine daha fazla su almasını sağlar. Nişastanın bu özelliğinden başlıca amilopektin sorumlu olsa da oluşan jel viskozitesinin stabilitesi kararsızdır [16].

Breakdown viskozitesi, ısı etkisinde nişasta granüllerinin ayrışmasının bir ölçütü olarak kabul edilir çünkü nişasta granüllerinin yapısı bozulmuş ve granüldeki amiloz çözünür hale geçmiştir. Düşük breakdown değerine sahip olan pişmiş ürünün yapışkanlığı daha düşüktür. Karışımın soğutulması, nişasta moleküllerinin yeniden birleşmesi jel oluşumuna ve viskozitede yeniden bir yükselişe sebep olur. Amiloz içermeyen ya da amiloz içeriği çok az olan nişastalarda, breakdown viskozite değeri daha yüksektir [17, 18].

Amiloz içeriği yüksek olan nişasta, daha yüksek jelleşme sıcaklığına ve setback viskozitesine sahipken düşük seviyede pik viskozitesine ve breakdown viskozitesine sahiptir. Mumsu unda ise jelleşme sıcaklığı daha düşükken pik viskozitesi yüksek ve setback viskozitesi de düşüktür. Final viskozitesi değerinin daha az olması, güçlü jel oluşturmayacağının göstergesidir [18].

Amilopektinin daha uzun dallanma göstermesinin, nişastanın jelleşme davranışı üzerindeki etkisi ortaya konulmuştur. Örneğin uzun dallanma gösteren amilopektinin, kısa dallanma gösteren amilopektine göre daha yüksek pik viskozitesine ve daha düşük jelatinizasyon sıcaklığına sahip olduğu ortaya konulmuştur. Ancak kısa dallanma gösteren amilopektinin, retrogradasyonu geciktirdiği de bilinmektedir. Amilopektin içeriğinin baskın olduğu mumsu buğday nişastasında jelatinizasyon için daha yüksek enerji

gereksiniminin olması kristalliğin yüksek düzeyde olması ile ilgilidir. Amilozun varlığında ise kristal yapı azalacağı için jelatinizasyon sıcaklığı da azalır [18].

Pirinç nişastasıyla yapılan bir diğer çalışmada ise, yüksek amiloz içeriğine sahip olan pirinç nişastası daha yüksek jelleşme ve pik sıcaklığı değerine sahiptir. Mumsu pirinç nişastasında ise, amilozun bulunmamasından kaynaklı olarak pik sıcaklığına daha hızlı sürede ulaşılmıştır. Yüksek amiloz içeriği olan örneklerde pik sıcaklığının daha yüksek olması amilozun, granüllerin şişmesine karşı gösterdiği direnç ile daha fazla enerjiye gereksinim duyması ile açıklanmaktadır [19].

Başka bir çalışmada, gama ışımanın pirinç nişastasının jelleşme özellikleri üzerine etkisi incelenmiş ve nişastanın pik viskozitesinin ışıma ile ciddi oranda azaldığı bulunmuştur. Bu durum, ışıma etkisiyle glikozlar arası bağların kırılmasının nişasta granüllerinin sertliğini ve bütünlüğünü bozması ile açıklanmaktadır. Bununla birlikte ışıma ile breakdown, final ve setback viskozite değerlerinde düşüş fark edilmiştir [14].

Nişastanın jelatinizasyon ve jelleşme özellikleri üzerinde amiloz içeriğinin etkisini ortaya koyan bazı çalışmaların sonuçlarının birbiriyle uyum göstermediği ortaya konulmuş ve bunun bir takım olası sebeplerinin olduğu düşünülmektedir. Bu sebepler nişastanın botanik kaynağı, izolasyon metodu, ürünün yetiştiği hava ve toprak koşullarına bağlı olarak sıralanabilir [19].

Genel olarak lipit-amiloz kompleksi miktarının artışıyla birlikte jelleşme ve pik sıcaklığının da arttığı öne sürülmektedir. Amiloz içeriği, aynı zamanda pik ve breakdown viskozitesini azaltırken setback ve final viskozitesini artırmaktadır [20].

Nişasta karışımları, özellikle günümüzde çorba, sos ve keklerde ürün kalitesini artırmak için kullanılmaktadır. Bununla ilgili yapılan bir araştırmada farklı oranlarda doğal mısır, amilotip (yüksek amiloz) mısır ve mumsu mısır nişastası kullanılarak çeşitli örnekler hazırlanmıştır. RVA sonuçlarına göre pik viskozitesi, breakdown viskozitesi ve tutma gücü amiloz içeriği ile arasında negatif korelasyon tespit edilmiştir. Pik süresi ve final viskozitesiyle amiloz içeriği arasında ise pozitif korelasyon tespit edilmiştir. Sonuçlardan da anlaşılabileceği gibi amilopektin nişastada su alımını sağlarken amiloz engellemektedir. Breakdown viskozitesi, şişen nişasta granüllerinin şekillerinin devamlılığı ile ilgilidir. Amilopektinin varlığı, proses koşullarında bu granüllerin

devamlılığını sağlar. Bu yüzden tutma gücü ve en düşük viskozite değeri, amiloz miktarı ile ters orantılıdır [21].

Nişasta, birçok fonksiyonel teknolojik özellikleri sebebiyle ve özellikle son ürünlerin yapısını direkt olarak etkileyebilme özelliği ile çok önemli ticari değere sahiptir. Nişastanın önemli bir özelliği de jelatinizasyona ve granüler yapının kaybolmasına sebep olan su tutma yeteneğidir. Nişastanın fizikokimyasal karakteristikleri arasındaki farklar, fonksiyonel ve reolojik davranışlarına belirgin etkiler yapmaktadır. Bu durum, nişastanın spesifik uygulamalardaki kullanımlarında belirleyici olmaktadır. Buna ek olarak mısır nişastasının farklı nişastalarla karıştırılmasıyla pik viskozitesini artırıcı yönde etki ettiği bulunmuştur [22, 23, 24]. Yüksek amiloz içeren yani amilotip nişastalar, yüksek jelleşme gücüne sahip olduğundan dolayı özellikle tatlılarda ve kızartmalarda kullanılır. Kızartılmış ürünlerin yüzeyindeki tabakanın gevrek olmasını sağlar ve pişirilirken yağ alınımını da azaltır. Nişastanın içerisindeki amilopektinde bulunan kısa zincir sayısının artması, nişastanın düşük sıcaklıklarda (<50 °C) jelleşmesini sağlamıştır. Bu özelliğe sahip nişasta, yiyecek endüstrisinde önemli kullanım alanlarına sahiptir [3].

Yüksek amiloz içeren nişastaların kuvvetli jel oluşması, arzu edilen ürünlerde kullanımı için seçilmesi gerekirken yüksek amilopektin içerenler ise yüksek viskozite değeri için seçilebilir. Ancak nişastaların bu şekilde ürünün tek özelliğini öne çıkarmak amacıyla kullanılması, üründe olması gereken diğer özellikleri örtüleyip hatta tamamen istenmeyen bir özelliğin ortaya çıkmasına sebep olabilir. Mesela diyet içeceklerde, yüksek amilopektin içeren nişastalar kullanılırsa arzu edilen viskoziteyi sağlar fakat son üründe arzu edilen duyusal özellikleri sağlamayabilir. Bu yüzden doğru AM/AP oranına sahip nişasta kullanımı oldukça önemlidir [12]. AM/AP oranına ilave olarak nişastanın elde edildiği kaynak da nişasta kalite özelliklerini belirleyen faktörlerdendir.

1.1.4 Farklı Botanik Kaynaklı Nişastalar

Nişastanın botanik kaynağına göre farklı reolojik ve fonksiyonel özellikleri vardır. Su/nişasta oranı aynı olsa bile farklı nişastaların jelleşme profilleri değişkenlik göstermektedir [25]. Nişastanın bu özelliklerinin değişmesinde etken olan faktörler amiloz/amilopektin oranı, viskozite profili ve nişastanın içeriğinde bulunan farklı maddelerdir [26]. Granül yapısı ve şekli, amiloz-amilopektin oranı, amiloz ve

amilopektinin moleküler yapısı, lipit, protein ve fosfat miktarı gibi diğer faktörler nişastanın teknolojik özelliklerini dolayısıyla endüstriyel kullanım alanını belirler. Kimyasal ve genetik modifikasyonlar sonucu nişastanın yapısal özelliklerinin ve bununla bağlantılı olarak fonksiyonel özelliklerinin değiştirilmesi üzerinde araştırmalar yapılmaktadır [3].

Nişasta jelinin viskozite, tat, tekstür ve stabilite gibi bir takım karakteristik özellikleri vardır. Bu özellikler aynı zamanda jelatinizasyon derecesine göre değişebilir. Bu yüzden nişastanın jelatinizasyon profilinin çıkarılması büyük bir önem taşır. Özellikle endüstriyel şartlardaki pişirilme koşullarında farklı nişastaların karşılaştırılması ve sürecin kontrol edilebilmesi için bu konu daha büyük bir önem taşır [27].

Nişastaların botanik kaynağına göre farklılaşmasında granüllerinin şekil ve boyut olarak çeşitlenmesi de etkendir. Mumsu nişastaların yüksek amiloz nişastalarına göre daha düzenli granül yapıda olduğu bulunmuştur. Çizelge 1.1'de gıda endüstrisinde yaygın bulunan nişasta granüllerinin yaklaşık boyut ve şekilleri özetlenmiştir [26, 28, 29].

Çizelge 1.1 Nişasta granüllerinin yaklaşık boyut ve şekilleri [29]

Nişasta	Çap(µm)	Şekil	Kaynak
Mumsu Nişasta	5-30	Poligonal, yuvarlak	Tahıl
Yüksek Amiloz	5-30	Poligonal, yuvarlak, düzensiz	Tahıl
Buğday	1-45	Yuvarlak, merceksel	Tahıl
Pirinç	1-3	Yuvarlak, küresel	Tahıl
Patates	5-100	Oval, küresel	Yumru
Tapyoka	4-35	Oval, kesik	Kök

Yaygın bulunan nişastaların fizikokimyasal ve fonksiyonel özellikleri ise Çizelge 1.2'de belirtilmiştir [26, 28, 29].

Çizelge 1.2 Nişastaların fizikokimyasal ve fonksiyonel özellikleri [29]

	Mısır	Mumsu Mısır	Buğday	Patates	Tapyoka
Amiloz içeriği (%)	28	0	28	21	17
Yağ içeriği (%)	0,7-0,8	0,15-0,2	0,8-0,9	0,05-0,1	0,1
Protein içeriği (%)	0,35	0,25	0,4	0,06	0,1
Fosfat içeriği (%)	0,2	0,01	0,06	0,08	0,01
Jelleşme Sıcaklığı (°C)	75-80	65-70	80-85	60-65	65-70

Nişastanın jelleşme özellikleri amiloz oranı, ortamda bulunan lipit ve amilopektinin dallanma-zincir uzunluğunun dağılımına göre değişmektedir. Nişastada düşük miktarda

olsa da başka bileşenler bulunabilir. Tahıl nişastaları arasında yer alan mısır, buğday ve pirinç az miktarda lipit içerirler. Lipit içeriği, nişastanın jelleşme özelliklerini etkilemektedir. Bununla birlikte amilopektinin nişasta granüllerinin su alma kapasitesi ve jelleşme özelliği üzerinde pozitif etkiye sahipken amiloz ve lipitlerin negatif bir etkisi vardır. Ayrıca, amiloz boyutunun ve amilopektin zincir uzunluğunun nişasta jelinin viskozitesini artırıcı bir etkisi vardır [30].

Mısır nişastaları, gıda işlemede ve endüstriyel uygulamalarda önemli bir rol oynar. Özellikle ürünün jelleşme özellikleri pişirmede, tat karakteristiğinde, depolamada ve pişirme süreci üzerinde çok büyük etkiye sahiptir [31].

Mumsu mısır nişastası yaklaşık olarak %100 amilopektin içerir ve lineer amiloz molekülünün yokluğundan dolayı, yapısal kararlılığı fazladır. Mumsu mısır nişastası Amerika'da keşfedilmiş ve ticari amaçlı ekimi başlanmıştır. Mısır, arpa, buğday ve sorgumun mumsu mutant türleri yıllardır bilinmesine karşın ticari olarak en fazla yetiştirilen sadece mumsu mısır nişastasıdır. İlk olarak hamur işleri, soslar ve pudingler için bir kıvam verici olarak kullanılmaya başlanmış daha sonra asetilleme, çapraz bağlama gibi kimyasal modifikasyonlarla yapısı daha kararlı hale getirilerek donmuş yiyecek endüstrisinde de kullanılmaya başlanmıştır [3].

Normal mısır nişastası saydam olmayan ve güçlü bir jel yapısı oluştururken, buna karşın mumsu mısır nişastası ise daha şeffaf ve yapışkan bir jel oluşturur. Bu fark, özellikle amiloz içeriğinin farklı oranlarda olmasından ve fosfat türevlerinin yapıda bulunmasından kaynaklanmaktadır [25, 26]. Mumsu tahıl nişastasıyla yapılan başka bir çalışmada setback viskozite değeri, mumsu olmayan tahıl nişastası örneklerine göre daha düşük çıkmıştır. Setback viskozite değeri, amilozu da sürece dahil eden jel ağının oluşumu için bir ölçüttür. Amilozu hiç içermeyen örneklerde genellikle düşük çıkar [30].

Doğal nişastalara ilave olarak fiziksel ve kimyasal olarak modifiye edilmiş nişastalar da mevcuttur. Her ne kadar özellikle mısır nişastaları jelatinizasyon sıcaklığı, jel oluşumu ve jel kuvveti bakımından avantajlı olsa da modifiye edilerek daha iyi bir noktaya getirilebilir. Nişasta modifiye edilerek jelatinizasyon sıcaklığı, saydamlık, retrogradasyona karşı direnç, pH ve donma-çözünme stabilitesi üzerinde iyileştirme yapılabilir [25, 26]. Bu çalışma kapsamında yaygın kullanımında ve farklı kompozisyonlarda mısır nişastası

bulunduğu için mısır nişastası kullanılmıştır. AM/AP ve botanik orijine ilave olarak ürün pişirme aşamasında uygulanan proses de jelleşme özelliklerini ve dolayısıyla son ürün kalite özelliklerini etkilemektedir.

1.1.5 Farklı Proses Koşullarında Jelleşme

Nişastanın jelleşme davranışı üzerinde iç faktörlerin yanı sıra dış faktörler de oldukça önemli etkiye sahiptir. Bu noktada en yaygın kullanılan iki önemli proses parametrelerinden olan sıcaklık artış hızı ve karıştırma hızı göz önünde bulundurulmuştur.

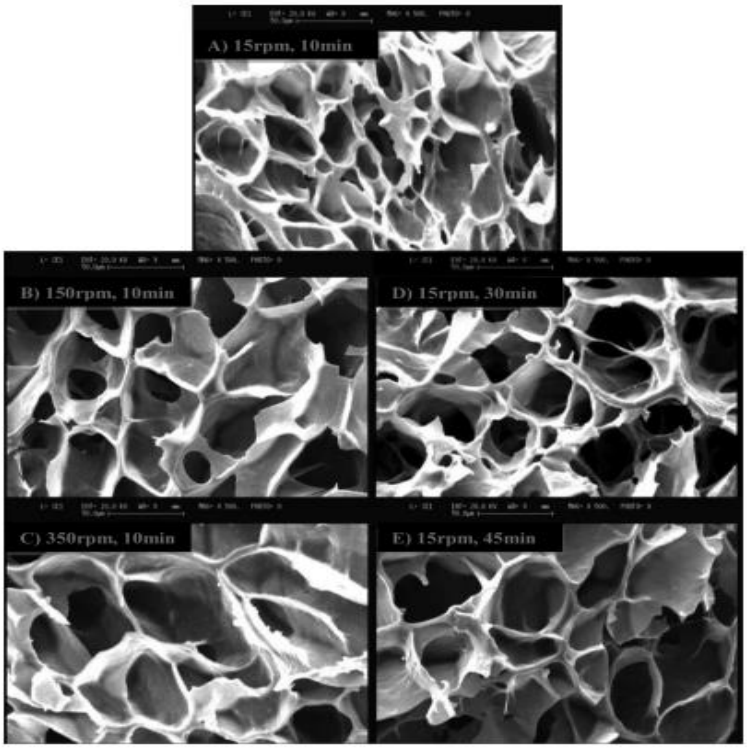
Pişirme koşullarının nişastanın jelleşmesi üzerine olan etkisini ortaya koymak için yapılan bir çalışmada, özellikle farkı pişirme hızı (ısıtma/soğutma) ve karıştırma hızlarının etkisi incelenmiştir. Hızlı (6 °C/dk) ve yavaş (1,5 °C/dk) pişirme hızları; 75 ve 150 rpm karıştırma hızları ayarlanıp RVA verileri elde edilmiştir. Pik ve breakdown viskozitesi karıştırma hızı artıkça artmıştır. Jelleşme sıcaklığının ise yavaş pişirmede daha düşük olduğu ama yavaş karıştırmada ise daha yüksek seviyede olduğu bulunmuştur [17].

Ekstrüzyon edilen ürünlerde gevrekliği artırmak için amiloz içeriği farklı olan nişastaların proses koşullarına göre seçilmesi önerilmektedir. Eğer sistemin karıştırma hızı yüksekse amiloz içeriği yüksek olan nişasta kullanılması gerekirken karıştırma hızının düşük olduğu durumlarda amiloz içeriği düşük olan nişasta kulllanılması gerekir [30]. Bu şekilde kimyasal modifikasyona gerek kalmadan son ürün kalite özelliklerinin proses koşullarının modifiye edilmesiyle optimize edilebileceği görülmektedir.

Doğal mısır, mumsu mısır ve modifiye edilmiş mısır nişastalarında farklı proses koşulları uygulanarak yapılan bir çalışmada ise her bir nişastada öne çıkan farklı bir özelliğin olduğu belirlenmiştir. Örneğin düşük jelatinizasyon sıcaklığı ve entalpiden dolayı modifiye mısır nişastası daha kısa pişirme süresine sahipken, doğal nişastanın diğerlerine göre en yüksek final viskozitesi değerine sahip olduğu tespit edilmiştir [32].

Mısır nişastası jellerinde yapılan başka bir çalışmada ise üç farklı karıştırma hızı (15 ,150 ve 350 rpm) ve ısıtma süresi (10, 30 ve 45 dakika) ayarlanarak jellerin fizikokimyasal ve tekstürel özellikleri incelenmiştir. Sertlik, yapışkanlık ve sakızımsılık değerlerine bahsedilen koşullarda bakıldığında en yüksek değerlere 15 rpm karıştırma hızı ve 10

dakika ısıtma süresi uygulanarak ulaşılmıştır. En düşük değerlere ise 350 rpm karıştırma hızında kaydedilmiştir. Karıştırma hızı ve ısıtma süresi artıkça jelin daha yumuşak bir kıvama geldiği görülmekte ve bu duruma sebep ise nişasta bio-polimerlerinin depolimerizasyonu olarak gösterilmektedir. SEM görüntüsünde ise ısıtma süresi ve karıştırma hızı artıkça sünger-benzeri yapıdaki hava hücrelerinin daha geniş olduğu bulunmuştur (Şekil 1.6). Bu yüzden bu iki önemli proses parametresi ürünün final tekstürel özelliklerini belirlemede etken olmaktadır [33]. Elde edilen jellerin kalite özellikleri de gıdalarda kullanılabilirliği açısından önemlidir. Bu kalite özellikleri arasında tekstürel özellikler, retrogradasyon ve sineresis sayılabilir.



Şekil 1.6 Mısır nişastası jellerinin SEM görüntüleri [33]

1.1.6 Nişasta Jellerinde Retrogradasyon

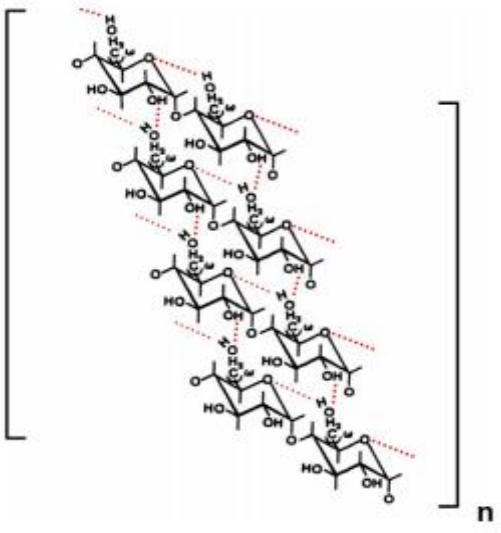
Retrogradasyon diğer bir değişle jelatinize olmuş nişastanın soğutma ve depolamadaki davranışıdır ve bu konu ürünün kalitesi ve dayanıklılığı gibi özelliklerde etken olduğu için birçok gıda bilimcisi için önem arz etmektedir. Jeldeki nişasta granülleri olgunlaştıkça saydamlık ve kıvam gibi özelliklerinde değişiklikler meydana gelir. Retrogradasyon, nişasta jellerinde soğutma ve depolama süresince meydana gelen en önemli fizikokimyasal değişimlerdendir. Retrogradasyon kinetiği üzerine birçok araştırma

yapılmış olsa bile özellikle moleküler seviyede retrogradasyon mekanizması çok açık değildir [34].

Jelleşmiş nişastayı soğutmaya başlayınca retrogradasyon süreci başlar. Bu süreçte amiloz ve amilopektin farklı rol oynar. Amilozun kümeleşmeye başlaması, depolamanın başında gerçekleştiği için kısa-zaman retrogradasyonu olarak bilinirken amilopektinin kristalizasyon süreci ise uzun-zaman retrogradasyonu olarak bilinir. Depolama sürecinde bu durumun gerçekleşmesi, ürünün raf ömrü üzerinde etkendir ve bu yüzden retrogradasyon, gerçekleşmesi istenmeyen bir gıda kusuru olarak literatürde yer almaktadır. Ürün kalite özelliklerini muhafaza etmek için retrogradasyon sürecinin engellenmesi veya azaltılması önem arz etmektedir [35].

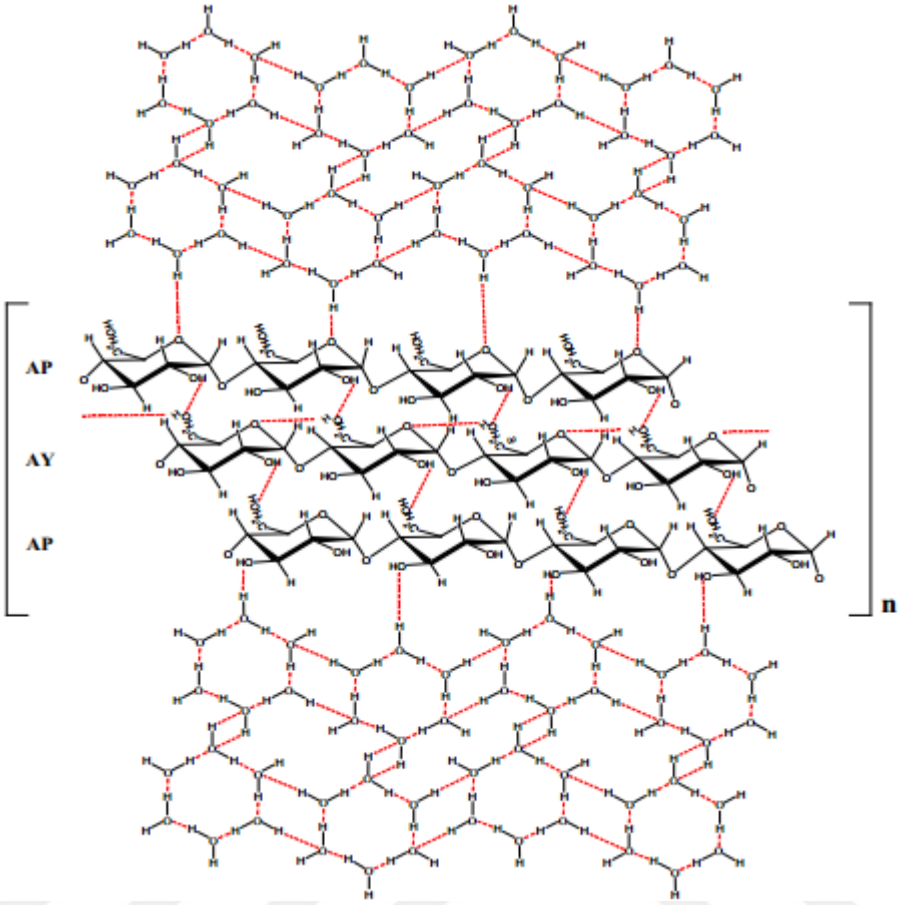
Retrogradasyon süreci amiloz/amilopektin oranı, nişastanın botanik kaynağı ve depolama koşullarından etkilenir. Depolama koşullarında ise sıcaklık, depolama süresi ve nem içeriği etkilidir. Retrogradasyon sürecini, çeşitli yöntemlerle azaltmak mümkündür ancak sertlik gibi tekstürel özelliklere ne yönde etki ettiği de önem arz etmektedir. Örneğin depolama sıcaklığı azaldıkça retrogradasyon azalsa da sert jel oluşumuna sebep olur [36].

Amiloz molekülleri karasız olmalarıyla bilinirler ve retrogradasyon molekül içi düzensizliği artırırken aynı zamanda olası çökmeyi de beraberinde getirir. Sonuç olarak retrogradasyon, amiloz moleküllerinde büzülmeye sebep olur ve buna neden olarak da kinetik enerji azalması gösterilmektedir. Diğer bir nedeni ise polimerlerin ve su moleküllerinin brownian hareketidir. Amilozun büzülmesi sonucu moleküller arası yeni hidrojen bağları oluşur. Bu bağlar, Şekil 1.7'de gösterildiği gibi hem hemi asetal oksijen atomu ve komşu D-glikopiranozun OH-6 arasında oluşurken hem de D-glikopiranozun O-6 ve OH-2 arasında oluşur. Daha fazla bağ oluşumu ise amiloz moleküllerinin çökmesine sebep olur [5].



Şekil 1.7 Amilozun retrogradasyon mekanizması [5]

Amiloz molekülünde gerçekleşen bu çökme eğilimi amilopektin molekülleri arasında daha uzun zamanda görülmektedir. Amilopektin moleküllerinde daha uzun sürede görülmesinin sebebi amilopektinin yüksek kinetik enerjinin eşlik ettiği kısa bağlarıdır. Sonuç olarak nişasta retrogradasyonu, jelatinize olmuş nişastanın bir süre soğutulması sonucu kendini kristal yapıya doğru yeniden düzenlemesidir. Yani molekül gelebileceği en düşük hacme kendini getirmeye çalışır [5]. Retrogradasyon sürecinde moleküler içi yoğun bir hidrojen bağ oluşumu gerçekleşir. Bu bağlar hem amiloz ve amilopektin arasında hem de amilopektin moleküllerinin kendi arasında gerçekleşir (Şekil 1.8). Ancak amilopektinin kendi içerisinde bağ oluşumu amiloz-amilopektin arasında bağ oluştuktan sonra gerçekleşir. Bu bağlar, bekleme sürecinde amilopektin ve su moleküllerinin brownian hareketinden ve kinetik enerjilerinde bir düşüş yaşanmasından kaynaklanır [5]. Retrogradasyon ile ürün kalite özelliklerinden, özellikle tekstüründe bozulmalar meydana gelir.



Şekil 1.8 Su moleküllerini içeren retrogradasyon mekanizması [5]

1.1.7 Sineresis

Jel yapısı soğumaya başlayınca kütlesel fazdaki su polimerik ağdan kolayca ayrılmaya başlar ve bu sürece sineresis denir. Bu yüzden sineresis derecesi direk olarak retrogradasyon ile ilgilidir. Sineresis özellikle çeşitli sayıda çözünme donma döngüsünde sonra ölçümü yapılır ve buna jelin çözünme-donma kararlılığı denir. Her döngü sonrası sineresis hesaplanmaktadır. Böylelikle nişastanın farklı fiziksel değişimlere karşı direnci belirlenmiş olur [35].

Çözücü ve polimerler arasında bir faz ayrımı gerçekleşir buna da sineresis denir. Bunun sonucunda yapı daha sert ve az yapışkan bir özellik kazanır bu durum bazı gıda üretiminde son üründe olması istenen özellikken çoğu üründe gıda kusuru olarak bilinir. Retrogradasyon süreci, üründe tekstürel özelliklerinin yanı sıra organoleptik özellikler üzerinde de etkendir. Endüstriyel açıdan önemi artıkça bu süreci açıklamaya çalışan

çalışmalar her geçen gün artmaktadır. Genellikle zaman-sıcaklık parametreleri üzerinden çalışmalar yürütülmektedir. Uygulanan metotlar daha çok üründeki fiziksel ve kimyasal değişimleri baz almaktadır [34]. Nişastanın amiloz içeriği, sineresis derecesini belirlemede etkin olan yapısal bir özelliktir [36]. Bu yüzden mumsu nişastalarda yapıdan daha az su ayrılması gerçekleşirken amiloz içeriği artıkça suyun yapıdan ayrılma miktarı da artar. Amilopektinin daha yoğun dallanma göstermesi sonucu sineresis ile negatif korelasyon göstermektedir. Buna ek olarak fosforilize edilip yapısı değiştirilmiş doğal nişastaların sineresis sürecinde daha az su kaybı olduğu ortaya konmaktadır [39].

Sineresisi azaltmak için çeşitli yöntemler mevcuttur. Bunlardan bir tanesi de nişastanın asetile edilmesidir. Asetile nişasta daha elastik ve suyu az salan bir yapıdayken doğal nişasta jelleri ise sünger-benzeri yapısından dolayı daha çok su kaybına sebep olan yapıdadır [32]. Jellerin yapısı gereği retrogradasyona güçlü bir eğilimleri vardır ve soğutma sürecinde sineresis meydana gelir. Jellerin bu istenmeyen özelliklerini engellemede ya da geciktirmede her ne kadar kimyasal modifikasyon yöntemleri mevcut olsa da çeşitli hidrokolloidler ile karıştırılarak da endüstriyel uygulamalarda hedeflenen sonuca ulaşılabilir [37].

Depolama koşulları da sineresis hızını tetikleyen önemli faktörlerdendir. Depolama sıcaklığıyla sineresis arasında güçlü bir bağ vardır. Özellikle yüksek sıcaklıklarda depolamada nişasta granülleri daha düzenli kristal yapı gösterme eğilimindedir. Bu durum, yapıdan daha fazla su ayrılmasına sebep olur. Bununla birlikte farklı depolama koşullarında sineresis ölçülürken aynı zamanda sıcaklığın ilgili olduğu, yapısal özelliklerden sertlik, yapışkanlık ve sakızımsılık gibi özelliklere de bakılmalıdır [40, 41]. Sineresisi etkileyen farklı faktörleri araştıran çalışmalar da mevcuttur. Bunlardan bir tanesi farklı bölgelerde yetiştirilen mısır nişastasının yetiştirilme şartlarının sineresis üzerine nasıl bir etkisinin olduğuyla ilgilidir [13].

Şeker ve türevlerinin nişastaya katılması da sineresis üzerinde etkendir. Yapılan bir çalışmada nişastaya monosakkarit ve disakkarit katılarak retrogradasyan sürecine ne yönde etki ettiği araştırılmıştır. Disakkarit olan sakkarozun süreci geciktirmede monosakkarite göre daha etkili olduğu bulunmuştur [42]. Ancak üstünde çalışılan nişastanın botanik kaynağına göre farklı sonuçlar elde edilmesi olasıdır. Örneğin sakkaroz

tatlı patates nişastasında retrogradasyonu artırırken, monosakkarit kullanımı ise engellemektedir [43]. Sineresis, modifikasyon gibi yöntemle ile azaltılırken bu yöntemlerden bir kısmının kimyasal modifikasyon olması dezavantaj oluşturmaktadır. Doğal ürünlere talebin arttığı günümüzde farklı AM/AP oranları ile veya proses koşullarının değiştirilmesi ile sineresisin azaltılması çok önemlidir.

1.2 Tezin Amacı

Nişasta, başta gıda endüstrisi olmak üzere birçok endüstriyel alan için önemli bir ham maddedir. Nişastanın teknolojik özelliklerinin ortaya konulması endüstriyel kullanım alanını belirlemede gerekli verileri sağlayabilir. Özellikle gıda alanında kullanımında, nişastanın üründe istenen özellikleri sağlayabilmesi için uygun nişasta seçimi önem arz eder. Farklı botanik kaynaklı nişastaların aynı üründe eşit miktarda kullanımlarında bile farklı özellikte ürünlerin elde edildiği fark edilmiştir. Jelleşme özellikleri de bu duruma bağlı olarak değişmektedir. Bu noktada amiloz ve amilopektin oranının jelleşme özelliği için önemli bir değişken olduğu düşünülmektedir. Bununla birlikte, ürün üretiminde uygulanan proses koşullarının nişastanın jelleşme özellikleri üzerinde etkisini görebilmek için farklı karıştırma hızı ve sıcaklık artış hızında çalışılması hedeflenmiştir.

Bu araştırmada, farklı amiloz-amilopektin oranına sahip olduğu bilinen mumsu, yüksek amiloz ve normal mısır nişastalarının farklı proses koşullarında jelleşme özelliklerinin belirlenmesi amaçlanmaktadır. Bununla birlikte farklı AM/AP oranına sahip mumsu ve amilotip nişastaların karıştırılmasında elde edilen jellerde, sineresis derecesi ve jelleşme özelliklerinin de ortaya konulması hedeflenmiştir. Ayrıca jelleşme özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan zaman/sıcaklığa bağlı viskozite değerleri, uygun eşitliklerle modellenerek nişastanın jelleşme davranışının kinetiğinin belirlenmesi ve bu özelliklere AM/AP oranının ve proses koşullarının etkisinin belirlenmesi hedeflenmiştir.

1.3 Hipotez

Nişasta içeren gıda ürünlerinde arzu edilen kalite özelliğini sağlamada ya da ürünün işlenmesi sırasında ve sonrasında oluşabilecek çeşitli problemlerin önlenmesinde nişasta seçiminin önemli olduğu bilinmektedir. Özellikle nişastanın jelleşme sürecindeki parametreleri ortaya koymak önem arz etmektedir. Buna sebep olan nişastanın iç

yapısına odaklanıldığında ana etkenlerden birisinin amiloz/amilopektin oranı olduğu düşünülmektedir. Nişastanın jelleşme sürecinde gıda işleme sürecinin iki önemli parametresi olan sistemin karıştırma hızı ve sıcaklık artış hızı olan dış faktörler arasında yer almaktadır. Bahsi geçen bu iç ve dış faktörlerin jelleşme özellikleri üzerinde ciddi derecede etken olduğu düşünülmektedir. Nişasta kullanılan ürünlerde nişasta kaynaklı gözlemlenen problemlerin ortadan kaldırılması amacıyla modifiye nişastalar kullanılmaktadır. Modifikasyon genellikle kimyasal ve fiziksel yöntemlerle yapılmaktadır. Bu da ekstra maliyet ve iş gücüne sebep olmaktadır. Ayrıca, tüketicilerin doğal ürünlere talebinin olması, kimyasal yolla modifiye edilen nişastaların kullanımında dezavantaj teşkil etmektedir. Tez çalışmasının en önemli hipotezi "Farklı AM/AP oranına sahip nişasta kullanımı veya ürün üretiminde uygulanan proses şartları, nişasta modifikasyonuna olan gereksinimi ortadan kaldırabilir mi" dir. Bu yolla son ürünlerde gözlemlenen kalite problemlerinin ne seviyeye kadar azaltılabileceğinin belirlenmesi hedeflenmiştir. AM/AP oranı ve proses koşulları ile oynanarak daha az nişasta ile arzu edilen kalite özelliklerine ulaşarak son ürün kalori düzeyinin azaltılmasının mümkün olup olmaması tez çalışmasının bir diğer çıkış hipotezidir.

BÖLÜM 2

MATERYAL METOT

Tez çalışması iki ana aşamadan oluşmaktadır.

Birinci Aşama: Farklı oranlarda amiloz içeren mısır nişastalarının farklı proses koşullarının jelleşme davranışı üzerine etkisinin incelenmesi,

İkinci Aşama: Hedeflenen amiloz içeriğine sahip nişasta eldesi için mumsu ve yüksek amiloz nişasta örneklerinden hesaplanan miktarlarda karıştırılıp 160 rpm karıştırma hızı ve 5 °C/dk sıcaklık artış hızında, AM/AP oranının nişastaların jelleşme davranışına etkisinin ortaya konulmasıdır. Bunlara ek olarak elde edilen jelleşme eğrilerinin farklı modeller ile modellenerek jelleşme kinetiğinin ayrıntılı bir şekilde incelenmesidir.

2.1 Materyal

Amiloz yüzdesi %70 olan yüksek amiloz mısır nişastası (HYLON VII) Intellion A.Ş'den temin edilmiştir. Normal ve mumsu mısır nişastalar Sigma Aldrich'den temin edilmiştir. Modifiye edilmemiş mumsu nişastada iz miktarda amiloz bulunmasından dolayı amilopektin içeriği %100 olarak kabul edilmiştir [27]. Normal mısır nişastası ise %27 amiloz içermektedir [27]. Çalışma süresince bu nişasta örneklerinin uygun koşullarda muhafazası sağlanmıştır.

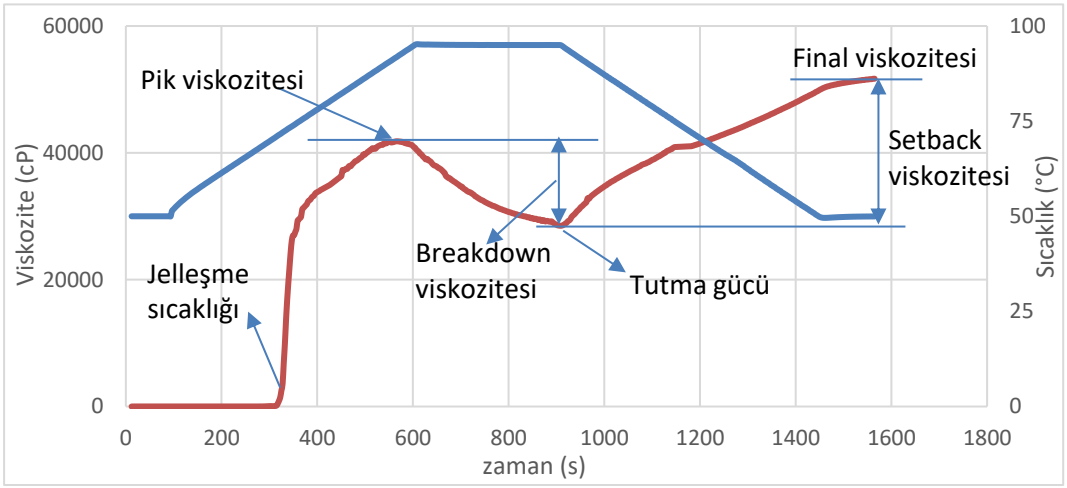
2.2 Metot

2.2.1 Jelleşme Özelliklerinin Belirlenmesi

Jelleşme özellikleri belirlenmek istenen nişasta örneklerinin nem içeriği dikkate alınarak %14 derişimde (w/w) olacak şekilde sulu çözeltileri hazırlanmıştır. Farklı amiloz içeren nişasta örnekleri de aynı derişimde hazırlanmıştır. Reometre (Anton Paar, MCR 302, Avusturya) cihazı kullanılarak, Juhasz ve Salgo (2008) tarafından belirtilen metotta modifikasyonlar yapılarak jelleşme parametreleri elde edilmiştir [21]. Prob olarak ST-24 kullanılmıştır. Analiz metodunda:

- Başlangıç sıcaklığı 50 °C'de 1 dakika bekletme,
- 50 °C den 95 °C ye sıcaklık artış hızı olarak 10, 5 ve 2,5 °C/dk,
- 95 °C de 5 dakika bekletme,
- 95 °C den 50 °C'ye sıcaklık azalış hızı olarak 10, 5 ve 2,5 °C/dk,
- 50 °C de 2 dakika bekletme şartları uygulanmıştır.

Zamana karşılık viskozite grafiğinden elde edilen jelleşme parametreleri pik vikozitesi, breakdown vikozitesi, tutma gücü, setback viskozitesi, final viskozitesi ve jelleşme sıcaklığıdır. İlgili parametrelerin karşılıkları Şekil 2.1'de gösterilmiştir.



Şekil 2.1 Jelleşme eğrisinden elde edilen parametreler

Karıştırma, nişasta partiküllerinin düzgün dağılımı için başlangıçta 10 s boyunca 960 rpm karıştırma hızında uygulanmıştır [7]. Testin geri kalan kısmında karıştırma hızı sırasıyla

50, 160 ve 250 rpm olarak ayarlanmıştır. Bütün deneyler üç paralel olarak gerçekleştirilmiştir. Her bir sıcaklık artış seviyesi için üç farklı karıştırma hızında deneyler yapılmıştır.

Nişasta karışımları AM/AP oranı %70, %60, %50, %40, %30, %20, %10 ve %0 olacak şekilde elde edilmiştir. Bunun için mumu nişasta ve yüksek amiloz nişastasından amiloz kütle dengesi üzerinden ne kadar miktarlarda karıştırılacağı hesaplanmıştır. 160 rpm karıştırma hızı ve 5 °C/dk sıcaklık artış hızında jelleşme parametreleri elde edilmiştir. AM/AP oranı farklı olan nişastaların jelleşme davranışının tam olarak ortaya konulması için diğer nişastalara uygulanan modelleme çalışması bu aşamada da yapılmıştır.

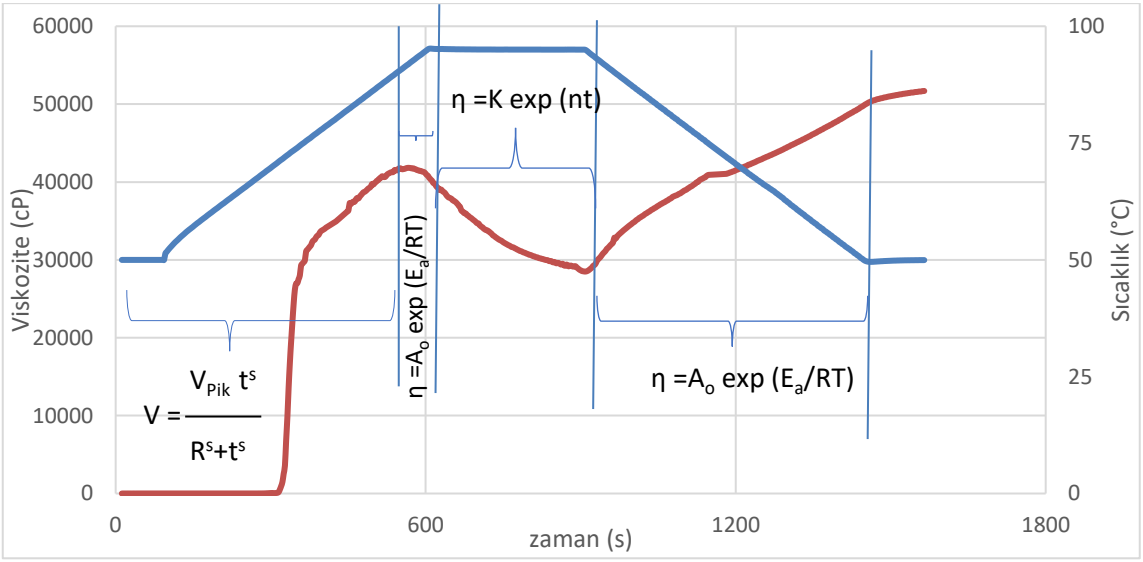
2.2.2 Elde Edilen Jellerin Sineresis Özelliklerinin Belirlenmesi

Farklı oranlarda amiloz/amilopektin içeren nişastalardan üretilen jellerden, % sineresis hesaplaması için Tang ve arkadaşlarının (2018) belirttiği yöntem kullanılmıştır [44]. Jeller, oda sıcaklığında 24 saat bekletildikten sonra ölçümler yapılmıştır. Jel yapısından ayrılan suyun ayrışmasını sağlayacak içinde filtrasyon düzeneği (5 ml şırınga) bulunan santrifüj tüpleri kullanılmıştır (Whatman No.40). Tüpler önce boş olarak tartıldıktan sonra (W_o) 3 g örnek konularak 2100 g'de 10 dakika santrifüj edilmiştir. Yapıdan ayrılan su, merkezkaç kuvvetinin etkisiyle şırınganın içindeki süzgeç kağıdından geçerek santrifüj tüpünün altında toplamıştır. Santrifüj tüpü altında biriken suyla birlikte tartılmıştır (W_1). Aşağıdaki eşitlik yardımıyla % sineresis değeri hesaplanmıştır (Eşitlik 2.1). Analizler, 4 defa tekrar edilmiştir.

$$\% \text{ sineresis} = \frac{W_1 - W_o}{\text{Tartılan örneğin ağırlığı}} x100 \quad (2.1)$$

2.2.3 Jelleşme Eğrisinde Modelleme

Viskozitenin zamana karşı grafiksel gösteriminde elde edilen jelleşme eğrisi dört kısma ayrılıp bu bölgelerdeki verilere uygun matematiksel modeller, Şekil 2.2'deki gibi uyarlanmıştır [7].



Şekil 2.2 Jelleşme eğrisinde uygulanan modellerin şematik gösterimi

Birinci bölge; sıcaklık artışına (50°C 'den 95 °C'ye) bağlı olarak viskozite artmaktadır. İkinci bölge; sıcaklık 95 °C'ye ulaşmadan pik viskozitesine ulaşmış örneklerde sıcaklık artışına ve karıştırmaya bağlı olarak viskozite azalmasını içermektedir. Üçüncü bölge; sabit sıcaklıkta (95 °C) karıştırma uygulanmaktadır. Dördüncü bölge; sıcaklık azalması ile viskozite artmaktadır. Grafiğin 1.kısımda sigmamsı görünümü için (2.2)'de verilen Hill denklemi, 2. ve 4. Kısımlar için (2.3)'de verilen Arrhenius denklemi uygun görülmüştür. 3.kısım içinse (2.4)'de verilen üstel model uygulanmıştır. Bu formüller, excel üzerinde modellerin ilgili parametreleri elde edilecek şekilde uygulanmıştır. Reometrede elde edilen viskozite verileri üzerinden modelleme çalışması yapılmıştır. Özellikle bu noktada, pik viskozitesinin sıcaklığın sabitlendiği (95 °C) bölgeye (3.kısım) denk gelip gelmediğinin bakılması önemlidir. Çünkü 2.kısımda sıcaklık değişimine bağlı olan bir model uygulanmıştır. Eğer pik viskozitesi, sıcaklığın sabit kaldığı kısma denk geliyorsa bu durumda 2.kısımdaki formülün uygulanmaması gerekir. Uygulanan formüller ve hesaplanması hedeflenen ilgili veriler Şekil 2.2'deki kısımlara göre aşağıda belirtilmiştir.

1.kısım:

$$V = \frac{V_{Pik}\, t^s}{R^s + t^s} \qquad (2.2)$$

V_{Pik} pik viskozitesini (cP), t zamanı (s), S nişasta katsayısı, R pik viskozitesinin %50'ye

ulaşması için gereken süreyi temsil etmektedir. R değeri, nişastaların proses koşullarına karşı dayanıklılığın bir ölçütüdür. R değerinin yüksek olması, özellikle ısı ve kayma kuvvetine karşı nişastanın daha dayanıklı olacağını göstermektedir. V değeri, reometre cihazında zaman (sn) karşı elde edilen viskozite değeridir. V_{pik} değeri ise modelden elde edilen bir veri olarak nişastanın şişme derecesini ve su bağlama kapasitesini gösterir. Nişasta katsayısının (S) birden büyük olması, nişasta içerisine suyun girişinin nişastanın şişme oranını artıracağının göstermektedir. Bu değerin birden küçük olması, nişasta içerisine suyun girişinin nişastanın şişmesine engel teşkil edeceği anlamına gelmektedir. Eşitlik olması durumda ise nişastanın şişmesini etkilemeyeceğini göstermektedir.

2. ve 4. kısım:

$$\eta = A_o \exp (E_a/RT) \quad (2.3)$$

A_o denklemin sabit parametresini, η viskozitesini (cP), E_a aktivasyon enerjisini (J/mol), R evrensel gaz sabitini (8,314 J/mol K) ve T sıcaklık (Kelvin) değerlerini temsil etmektedir. 2.kısımda elde edilen aktivasyon enerjisi değeri, ürünün sıcaklık değişimine karşı stabilitesini göstermektedir. Yüksek aktivasyon enerjisine sahip nişastanın, sıcaklık değişimine karşı daha dayanıklı olacağı anlamına gelmektedir. 4.kısımda elde edilen aktivasyon enerjisi değerleri ise retrogradasyon oranının bir ölçütüdür. Bu kısımdaki yüksek E_a değeri elde edilen nişasta jellerinde retrogradasyonun fazla olacağı anlamına gelmektedir.

3.kısım:

$$\eta = K \exp (nt) \quad (2.4)$$

K ve n model parametrelerini, η viskozitesini (cP) ve t zamanı (s) temsil etmektedir. Hasarlı nişasta içeriğinin bir ölçütü, model verilerindeki n değeridir. Bu değerin fazla olması demek hasarlı nişasta içeriğinin fazla olacağı anlamına gelmektedir.

2.2.4 İstatiksel Analizler

İki bağımsız değişkenin (sıcaklık artış hızı ve karıştırma hızı) bağımlı değişken (jelleşme parametreleri) üzerindeki etkisinin önemli olup olmadığını belirlemek amacıyla iki yönlü

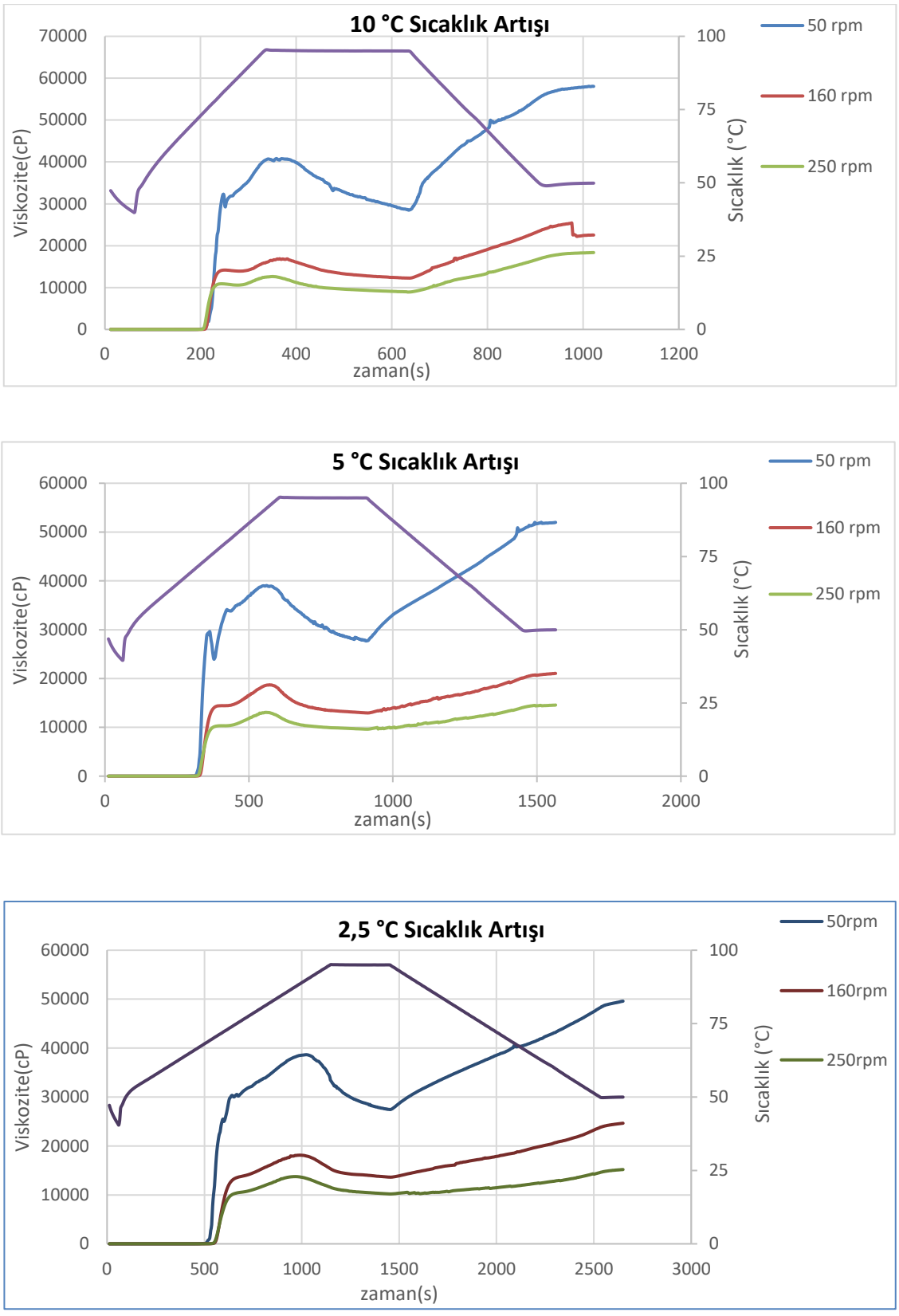
ANOVA testi uygulanmıştır. Ayrıca, sabit proses koşullarında AM/AP oranının jelleşme parametreleri üzerindeki etkisi de ANNOVA testi ile belirlenmiştir. İstatistiksel analizler için paket program (JMP) kullanılmıştır. Çoklu karşılaştırma testi Tukey testi ile gerçekleştirilmiştir. Anlamlılık düzeyi olarak 0,05 seçilmiştir.

BÖLÜM 3

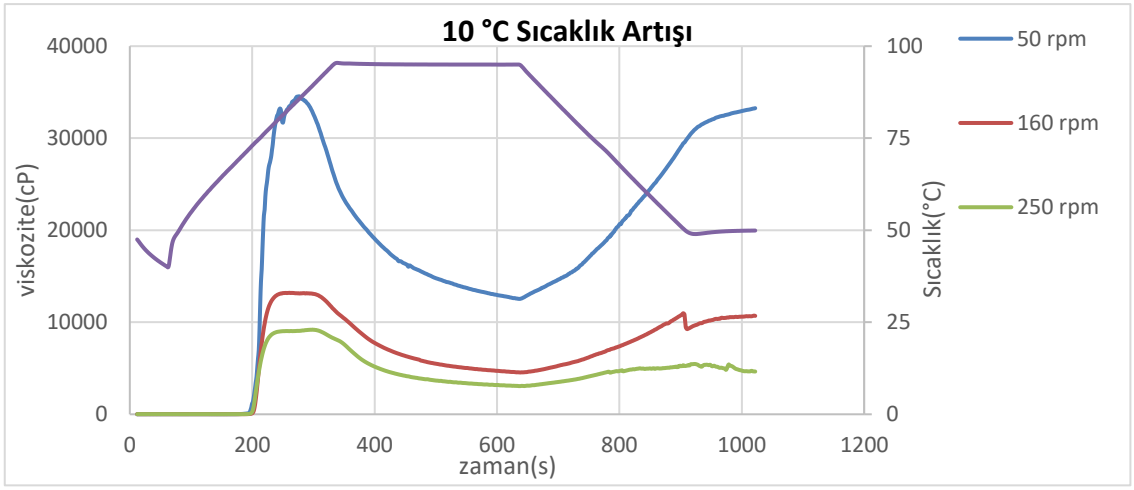
ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

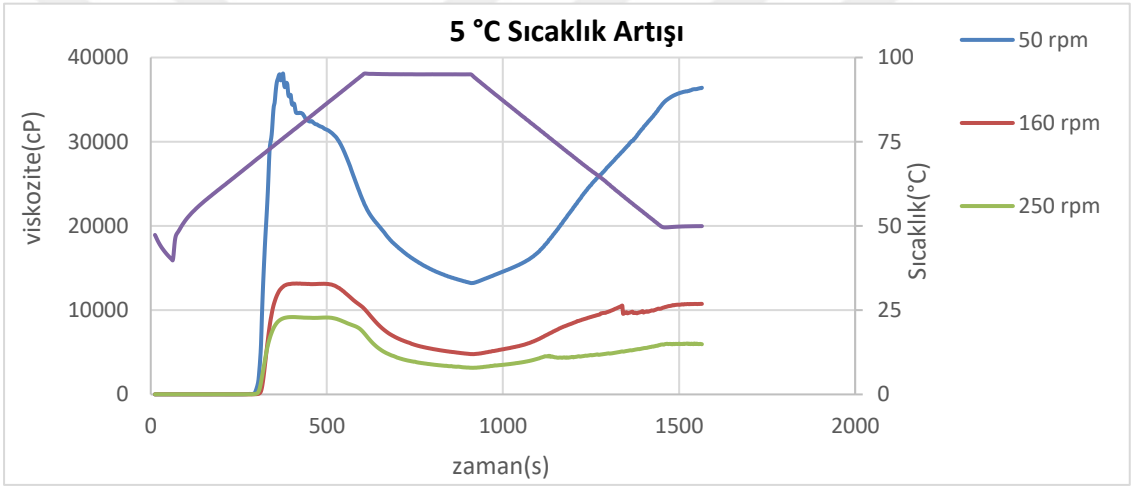
Üç farklı karıştırma ve sıcaklık artış hızı seviyelerinin normal, mumsu ve yüksek amiloz içeren mısır nişastası örneklerinde jelleşme parametrelerine ne yönde etki ettiği araştırılmıştır. Elde edilen bulgular ışığında farklı amiloz içeriğine sahip bu nişasta örnekleri için her bir jelleşme parametresi detaylı olarak ele alınmıştır.

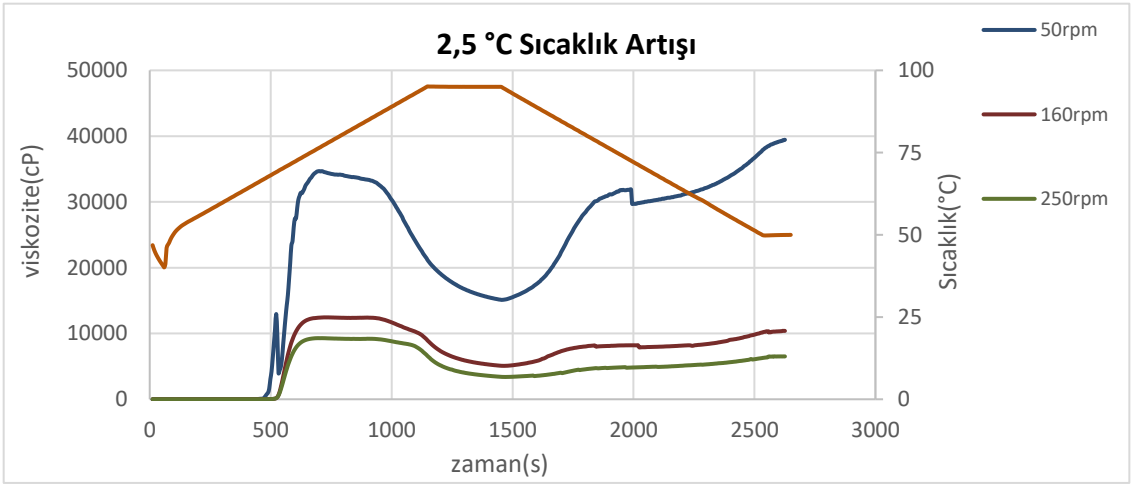
Nişastanın jelleşme aşamasında ısıtılıp soğutulması sonucu jelleşme eğrisi ve parametreleri, reometre cihazından elde edilmiştir (Şekil 3.1, Şekil 3.2 ve Şekil 3.3). Jelleşme parametreleri pik viskozitesi, jelleşme sıcaklığı, breakdown, final viskozitesi, tutma gücü ve setback viskoziteleridir. Bu parametrelere bakılarak nişasta bazlı jelleşmenin sağlandığı gıdalarda istenen teknolojik ve fonksiyonel özelliklere ulaşılıp ulaşılamayacağı konusunda bir öngörü oluşturulabilir. Sıcaklık artış hızı değerleri 10 °C/dk, 5 °C/dk ve 2,5 °C/dk olarak ve karıştırma hızı değerleri de 50 rpm, 160 rpm ve 250 rpm olarak ayarlanmıştır. Böylelikle farklı oranlarda AM/AP içeren nişasta örnekleri için üç farklı karıştırma hızı ve sıcaklık artış hızlarında jelleşme parametreleri elde edilmiştir. İlgili verilerin grafiksel yorumları bu bölümde mevcuttur. Özellikle 50 rpm karıştırma hızında pik viskozitesinin diğer karıştırma hızlarına göre dramatik artışı net olarak yansıtılmıştır. Bunlara ek olarak amiloz oranı farklı olan iki nişasta örneğinden hedeflenen amiloz yüzdesi için hesaplanan miktarlarda karıştırılıp, AM/AP oranının jelleşme davranışı üzerine etkisi ortaya konulmuştur. Aynı zamanda nişastaların karıştırılmasından elde edilen jellerin retrogradasyon derecesi de çalışma kapsamında incelenmiştir.



Şekil 3.1 Mumsu nişastanın farklı proses koşullarında jelleşme özellikleri







Şekil 3.2 Normal nişastanın farklı proses koşullarında jelleşme özellikleri



Şekil 3.3 Yüksek amiloz nişastanın farklı proses koşullarında jelleşme özellikleri

3.1 Pik Viskozite Değerleri

Nişastanın su alıp şişmeye başlamasıyla birlikte viskozite sürekli artmaya başlar ve pik noktası değerine ulaşır. Bu noktada elde edilen viskozite değeri pik viskozitesidir. Üç farklı karıştırma ve sıcaklık artışı hızından elde edilen pik viskozite değerleri mumsu nişasta için 127,25 ve 424,75 P arasında, normal nişasta için 91,99 ve 373,6 P arasında ve yüksek amiloz nişasta için 1,86 ve 11,23 P arasında değişmektedir. Yapılan ölçümlerde en yüksek pik viskozitesi değeri hem mumsu hem de yüksek amiloz nişasta için 10 °C/dk sıcaklık artış hızında ve 50 rpm karıştırma hızında elde edilmişken normal mısır nişastasında ise 5 °C/dk-50 rpm kombinasyonunda elde edilmiştir (Çizelge 3.1). Bir diğer ifadeyle, normal mısır nişastasında sıcaklık artışı daha yavaş olduğu zaman viskozite değeri ulaşabileceği en yüksek değere ulaşmıştır. İstatistik çalışması, önce satırlar arasında iki proses faktörü göz önünde tutularak yapılmıştır (Çizelge 3.1). Böylelikle her bir nişasta örneği için bireysel olarak proses koşullarının etkisine bakılabilmiştir. Sütunlar arasındaki istatistik çalışması ise üç nişasta örneği arasında kendi içerisinde yapılmıştır. En düşük pik viskozitesi değerleri, ön görüldüğü gibi amiloz oranı en yüksek olan örneklerde elde edilmişken en yüksek değerler ise hiç amiloz içermeyen örneklerde elde edilmiştir. Bununla ilgili yapılan benzer çalışmada da pik viskozitesinin hiç amiloz içermeyen ve yavaş karıştırma hızına sahip örneklerde daha yüksek çıktığı bulunmuştur [17].

5 °C sıcaklık artış hızında mumsu nişastada karışım hızı 50 rpm'den 160 rpm'e artığında pik viskozite değerlerinin yarıdan fazla azaldığı bulunmuştur. Ancak, aynı sıcaklık artış hızında karışım hızı 160 rpm'den 250 rpm'e artığında ise pik viskozitesi daha az azalma göstermiştir. Bahsedilen bu durumun üç nişasta örneği içinde geçerli olduğu görülmektedir. Karıştırma hızının hangi oranda azaltıldığının, viskozite profili üzerinde önemli bir etkisi olduğu anlaşılmaktadır. Nişasta granüllerinin hızlı şişmesi sonucu oluşan pik daha dik, tersi olması durumunda daha yatıktır [13]. Buna neden olan etkenlerden bir tanesi de jel konsantrasyonudur. Bununla ilgili yapılan çalışmalarda belli değerin üzerinde (yaklaşık %10 w/v) daha hızlı bir viskozite yükselişi gözlenmemiştir [9]. Eğer jelatinleşme aşamasında nişasta granülleri daha az şişerse pik viskozitesi değeri de daha düşük olur [7]. Bu durumda daha yavaş karıştırmanın nişasta granüllerinin şişmesini yani suyun amiloza geçişini daha rahat sağladığı anlaşılmaktadır. Benzer yapılan bir çalışmada ise nişasta granüllerinin su tutma kapasitesinin, sistemin karıştırma hızı artıkça azaldığı

bulunmuştur. Sistemin ısıtma süresinin, karıştırma hızı kadar su tutma kapasitesi üzerinde etken olmadığı da kaydedilmiştir [45, 46]. Farklı oranlarda amiloz içeren nişasta örneklerinde karıştırma hızı 50 rpm'den 250 rpm'e artması, pik viskozitesi değerlerinde dramatik derecede azalmaya sebep olmuştur. Bu durum hızlı karıştırmanın granüllerin su alımını engellemesiyle hatta bazı granülleri parçalamasıyla açıklanabilir.

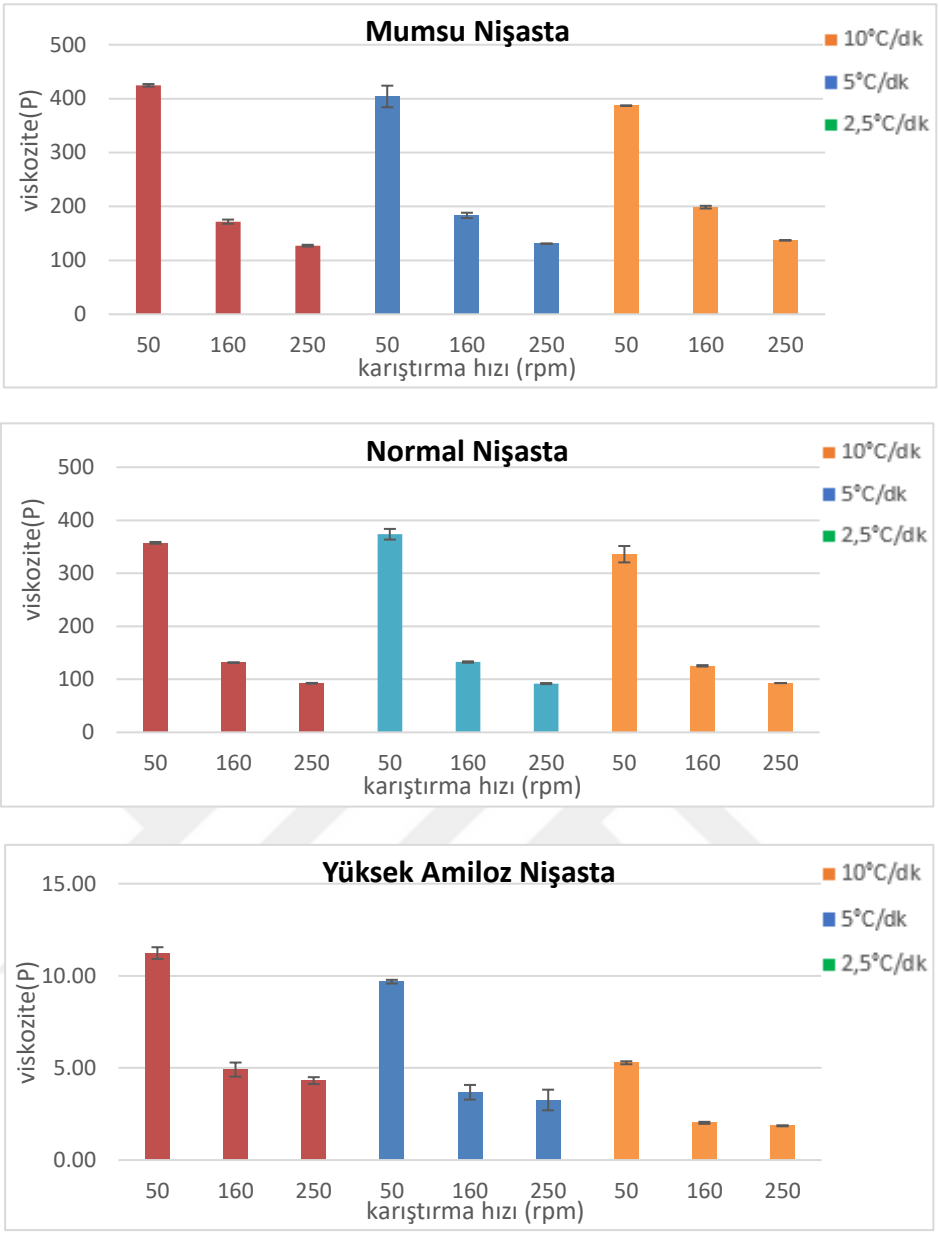
Çizelge 3.1 Farklı proses koşullarının nişastaların pik viskozitesi değerine etkisi

Sıcaklık Artış Hızı (°C/dk)	RPM	Mumsu Nişasta (P)	Normal Nişasta (P)	Yüksek Amiloz Nişasta (P)
10	50	$424,75 \pm 2,34^{Aa}$	$357,40 \pm 1,68^{Bab}$	$11,23 \pm 0,32^{Ca}$
	160	$171,75 \pm 3,88^{Abcd}$	$131,45 \pm 0,78^{Bc}$	$4,91 \pm 0,38^{Ccd}$
	250	$127,25 \pm 1,62^{Ad}$	$92,48 \pm 0,74^{Bde}$	$4,31 \pm 0,19^{Cde}$
5	50	$404,05 \pm 2,21^{Aa}$	$373,60 \pm 10,04^{Ba}$	$9,68 \pm 0,10^{Cb}$
	160	$183,40 \pm 4,94^{Abc}$	$132,60 \pm 1,27^{Bc}$	$3,68 \pm 0,40^{Cef}$
	250	$130,95 \pm 0,35^{Acd}$	$91,99 \pm 0,97^{Be}$	$3,26 \pm 0,56^{Cf}$
2,5	50	$386,95 \pm 0,63^{Aa}$	$335,95 \pm 15,49^{Bb}$	$5,28 \pm 0,08^{Cc}$
	160	$198,70 \pm 2,47^{Ab}$	$125,40 \pm 1,27^{Bcd}$	$2,02 \pm 0,06^{Cg}$
	250	$137,15 \pm 0,35^{Acd}$	$92,92 \pm 0,04^{Bde}$	$1,86 \pm 0,03^{Cg}$

Farklı büyük harfler sütunlar arasındaki önemli farklılıkları gösterir (p<0,05).
Farklı küçük harfler satırlar arasındaki önemli farklılıkları gösterir (p<0,05).

Pik viskozitesinin amiloz içeriği ile olan negatif korelasyonu daha önceki çalışmalarda da ortaya konulmuştur [26]. Nişastanın iç yapısında etken olan AM/AP oranı dışında granül büyüklüğü ve fosfat içeriğinin rol oynadığı bilinmektedir [47]. Farklı miktarlarda amiloz içeren mısır nişastalarında granül büyüklüğü arasında önemli bir fark yokken farklı botanik kaynaklı nişastalarda bu durum daha fazla önem arz etmektedir [48].

Sıcaklık artış hızı aynı oranda etki etmemiştir. Aynı karıştırma hızında ama farklı sıcaklık artış hızlarında dramatik bir artış ya da azalış olmamıştır. Bu durum karıştırma hızının sıcaklık artış hızından daha etken bir değişken olduğunu göstermektedir (Şekil 3.4). Sadece pik viskozitesi için değil diğer viskozite değerleri içinde bu durumun geçerli olduğu görülmektedir. Geçtiğimiz yıllarda yapılan farklı karıştırma hızı ve proses süresini içeren nişastaların jelleşme süreci çalışmasında da karıştırma hızının daha etken bir parametre olduğu ortaya konulmuştur [33].



Şekil 3.4 Nişastaların farklı proses koşullarında pik viskozite değerleri

3.2 Breakdown Viskozitesi Değerleri

Breakdown viskozitesi, pik viskozitesinden tutma gücünün çıkarılmasından elde edilir [22]. Pik değerine ulaşmasının ardından sıcaklığın (95 °C) bir süre sabit tutulmasına bağlı olarak nişastanın parçalanması, çözünen amilozun ortama karışması ve karıştırma yönünde oryantasyonu neticesinde viskozite azalmaya başlar [22]. Bu parametre, jelatinize olmuş nişasta granüllerinin yapısının bozulmasıyla ilgili bir parametredir [8]. İlgili viskozite değerleri Çizelge 3.2'de gösterilmiştir. Üç farklı karıştırma hızı ve sıcaklık artışı hızında elde edilen breakdown viskozite değerleri mumsu nişasta için 34,45 ve

139,6 P arasında, normal nişasta için 30,55 ve 242,85 P arasında ve yüksek amiloz nişasta için 0,26 ve 4,13 P arasında değişmektedir. Aynı sıcaklık artış hızında breakdown viskozite değerlerinin karıştırma hızı artıkça azaldığı görülmektedir (Şekil 3.5). Bu değer, özellikle nişastanın dış faktörlere dayanıklılığının da ölçütüdür [9].

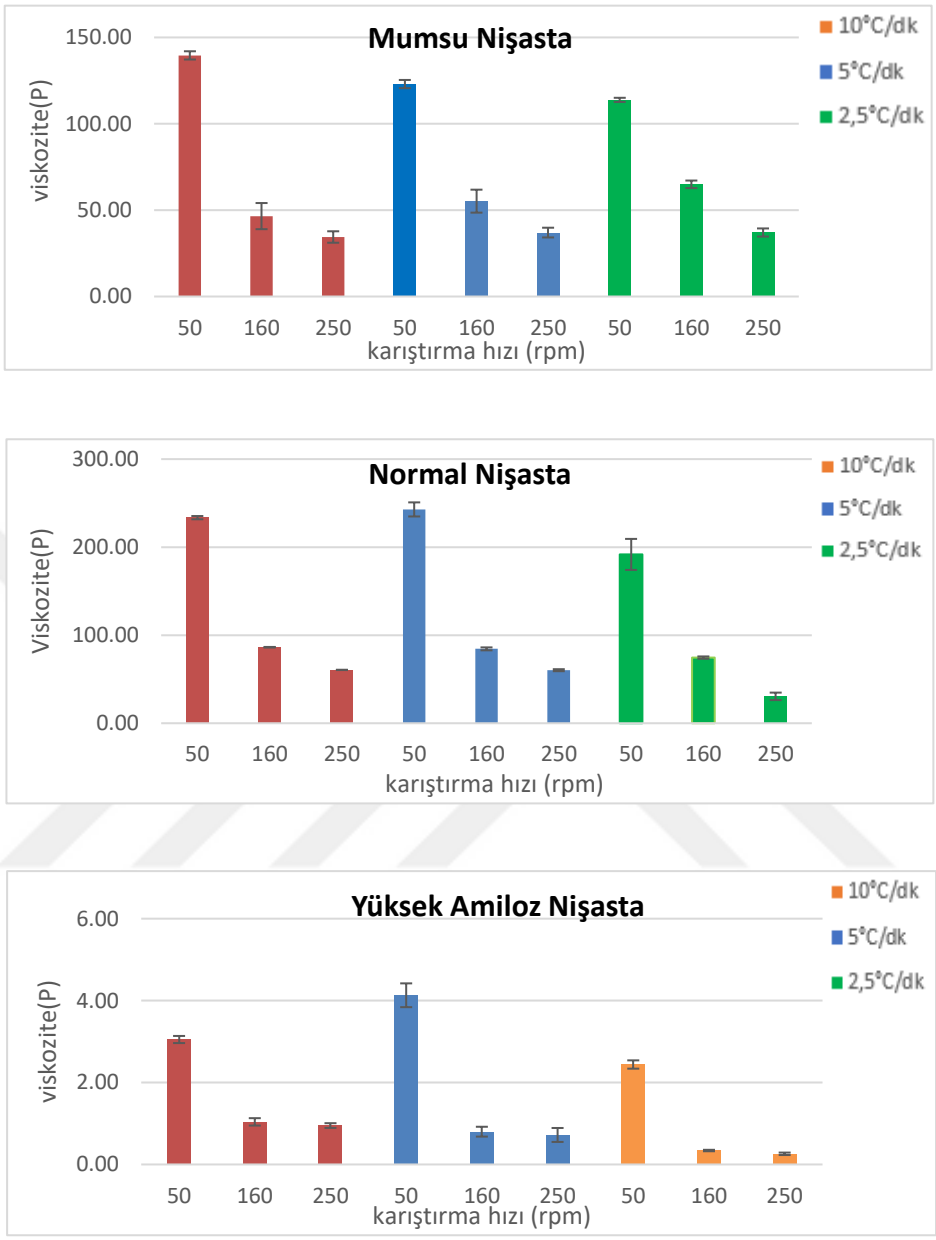
Çizelge 3.2 Farklı proses koşullarının nişastaların breakdown değerine etkisi

Sıcaklık Artış Hızı (°C/dk)	RPM	Mumsu Nişasta (P)	Normal Nişasta (P)	Yüksek Amiloz Nişasta (P)
10	50	$139,60 \pm 2,39^{Aa}$	$233,50 \pm 1,85^{Ba}$	$3,05 \pm 0,09^{Cb}$
	160	$46,55 \pm 7,57^{Abc}$	$86,33 \pm 0,35^{Bc}$	$1,04 \pm 0,09^{Cd}$
	250	$34,45 \pm 3,31^{Ac}$	$60,59 \pm 0,17^{Bd}$	$0,95 \pm 0,06^{Cd}$
5	50	$123,00 \pm 2,38^{Aa}$	$242,85 \pm 7,99^{Aa}$	$4,13 \pm 0,29^{Ba}$
	160	$55,20 \pm 6,65^{Abc}$	$84,49 \pm 1,66^{Ac}$	$0,80 \pm 0,12^{Bd}$
	250	$37,01 \pm 2,81^{Ad}$	$60,26 \pm 1,14^{Bf}$	$0,72 \pm 0,17^{Cd}$
2,5	50	$113,85 \pm 1,20^{Aa}$	$191,75 \pm 17,61^{Bb}$	$2,44 \pm 0,10^{Cc}$
	160	$64,95 \pm 21,28^{Ab}$	$74,58 \pm 1,29^{Bcd}$	$0,34 \pm 0,02^{Ce}$
	250	$37,06 \pm 2,35^{Ac}$	$30,55 \pm 4,24^{Be}$	$0,26 \pm 0,03^{Ce}$

Farklı büyük harfler sütunlar arasındaki önemli farklılıkları gösterir (p<0,05).
Farklı küçük harfler satırlar arasındaki önemli farklılıkları gösterir (p<0,05).

Yapılan benzer araştırmalarda da amiloz içermeyen ya da çok az içeren nişasta örnekleri daha yüksek breakdown viskozite değerine ulaşmıştır. Yavaş ısıtma hızında ise değerlerde düşüş yaşanmıştır [17]. Aynı durum bu çalışmada da görülmüştür. Breakdown viskozite değerinin yüksek çıkması demek nişastanın karıştırma ve ısıya karşı kolay etkilenen yapıda olduğunu gösterir [49]. Bu yüzden bu değerin düşük çıkması ürünü işleme açısından avantaj sağlar çünkü nişastanın proses koşullarına karşı direnç göstereceği anlamına gelir. Daha önceki çalışmalarda kimyasal-enzimatik modifikasyonla, yapıya farklı bileşenler (protein, lipitler, vb.) katarak veya proses koşullarıyla nişastanın breakdown değerinin değiştirilebileceği bulunmuştur [49]. Bu çalışmada özellikle proses koşullarıyla birlikte amiloz içeriğinin de ne kadar etkili olduğu bulunmuştur. Bununla birlikte yüksek amiloz nişastasında, düşük sıcaklık artış ve yüksek karıştırma hızında breakdown viskozitesinin neredeyse on katı kadar azaldığı görülmektedir. Bu azalış diğer

nişastalarda bu seviyede elde edilmemiştir. Bu durum, amiloz içeriğinin de proses koşullarıyla birlikte göz önünde bulundurulması gerektiğini gösterir.



Şekil 3.5 Nişastaların farklı proses koşullarında breakdown viskozite değerleri

Karıştırma hızı, sıcaklık artış hızına göre viskozite değerlerini daha dramatik ölçüde değiştirmiştir. Aynı AM/AP oranındaki nişasta örneklerinde aynı sıcaklık artış hızında karıştırma hızı düştükçe viskozite değerlerinde dramatik azalış gözlemlenmişken, farklı sıcaklık artış hızında ama aynı karıştırma hızında ise bazı değerlerde daha düşük seviyede bir değişim tespit edilmiştir. Farklı oranlarda amiloz içeren üç nişasta örnekleri arasında elde edilen yüksek amiloz nişastadan mumsu nişastaya doğru viskozite değerlerinin yükseldiği görülmektedir (p<0,05). Bir diğer değişle amiloz içeriği azaldıkça breakdown

viskozite değerlerinde artış belirlenmiştir. Bu durum pik viskozitesi değerlerinde de gözlenmiştir.

3.3 Tutma Gücü Değerleri

Tutma gücü, nişastanın pik viskozitesine ulaştıktan sonra viskozitenin ulaşabileceği en düşük viskozite değerine tekabül eder [8]. Elde edilen ilgili veriler Çizelge 3.3'te sunulmuştur. Üç farklı karıştırma hızı ve sıcaklık artışı hızından elde edilen tutma gücü değerleri mumsu nişasta için 92,80 ve 285,15 P arasında, normal nişasta için 31,73 ve 144,20 P arasında ve yüksek amiloz nişasta için 1,60 ve 8,18 P arasında değişmektedir.

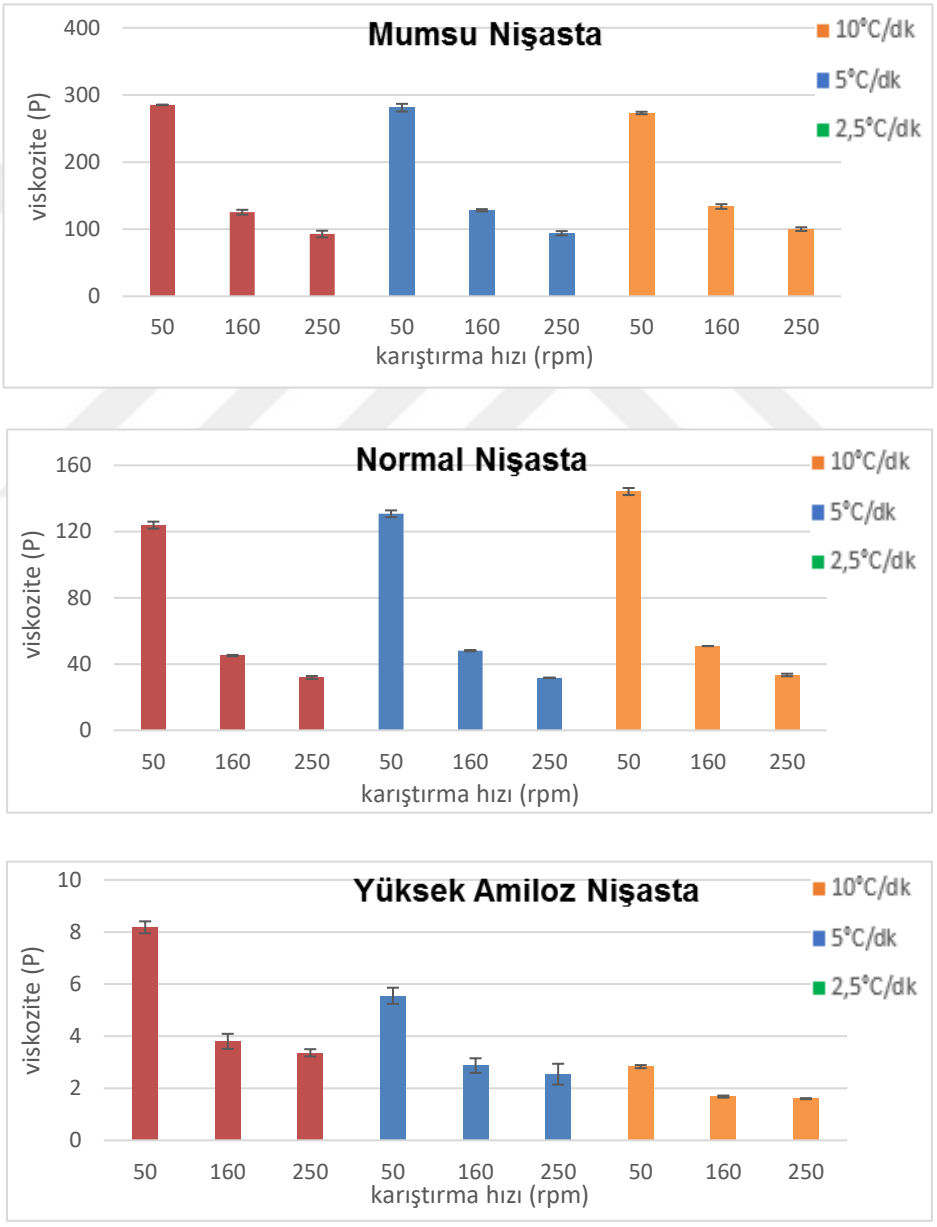
Çizelge 3.3 Farklı proses koşullarının nişastaların tutma gücü değerine etkisi

Sıcaklık Artış Hızı (°C/dk)	RPM	Mumsu Nişasta (P)	Normal Nişasta (P)	Yüksek Amiloz Nişasta (P)
10	50	$285,15 \pm 0,49^{Aa}$	$123,90 \pm 2,12^{Bd}$	$8,18 \pm 0,23^{Ca}$
	160	$125,20 \pm 3,68^{Ab}$	$45,13 \pm 0,43^{Bf}$	$3,80 \pm 0,29^{Cc}$
	250	$92,80 \pm 4,94^{Ac}$	$31,89 \pm 0,90^{Ba}$	$3,36 \pm 0,14^{Ccd}$
5	50	$281,05 \pm 5,73^{Aa}$	$130,75 \pm 2,05^{Bc}$	$5,55 \pm 0,31^{Cb}$
	160	$128,20 \pm 1,70^{Ab}$	$48,11 \pm 0,38^{Bef}$	$2,87 \pm 0,28^{Cde}$
	250	$93,94 \pm 3,17^{Ac}$	$31,73 \pm 0,16^{Ba}$	$2,54 \pm 0,40^{Ce}$
2,5	50	$273,10 \pm 1,84^{Aa}$	$144,20 \pm 2,12^{Bb}$	$2,83 \pm 0,06^{Cde}$
	160	$133,75 \pm 3,46^{Ab}$	$50,87 \pm 0,04^{Be}$	$1,68 \pm 0,04^{Cf}$
	250	$100,09 \pm 2,71^{Ac}$	$33,45 \pm 0,77^{Ba}$	$1,60 \pm 0,02^{Cf}$

Farklı büyük harfler sütunlar arasındaki önemli farklılıkları gösterir (p<0,05).
Farklı küçük harfler satırlar arasındaki önemli farklılıkları gösterir (p<0,05)

En düşük değerler yüksek amiloz nişastada elde edilmiştir. Bu nişasta örneğinde diğer örneklere göre daha dramatik bir düşüş vardır (Şekil 3.6). Bu durum amilozun, moleküllerin yeniden oryantasyonuna ve düzenlenmesine engel teşkil ettiği olarak ortaya konulmuştur [17]. Mumsu ve normal nişasta örneklerinde aynı sıcaklık artış değerlerinde karıştırma hızı artıkça değerlerin düştüğü bulunmuştur. Amiloz içeriği ile tutma gücü arasında negatif korelasyonun olduğu daha önce yapılan çalışmalarda da ortaya konulmuştur [17]. Özellikle tutma gücü değerlerinde amiloz içeriği %9'a kadar ciddi oranda düşüş göstermezken %27 oranının aştığında ciddi oranda düşüş gösterir. Bu yüzden yüksek amiloz nişastalarda dramatik bir azalış görülür [17]. Minimum viskozite

değeri olarak da bilinen tutma gücü; sıcaklığa, karıştırma derecesine, örneğe uygulanan kayma basıncına (shear stress) ve örneğin kendi iç yapısına bağlı olarak değiştiği rapor edilmiştir [9]. Mumsu nişasta örneklerinde aynı karıştırma hızında farklı sıcaklık artış hızı değerlerinde istatistiksel açıdan tutma gücünün değişmediği bulunmuştur (p<0,05). Ancak 50 rpm karıştırma hızında tutma gücü değerinin diğer karıştırma hızlarına göre dramatik artışı net olarak yansıtılmıştır. Farklı oranlarda amiloz içeren nişasta örneklerinde karıştırma hızı 50 rpm'den 250 rpm'e artması, tutma gücü değerlerinde azalmaya sebep olmuştur.



Şekil 3.6 Nişastaların farklı proses koşullarında tutma gücü değerleri

3.4 Setback Viskozite Değerleri

Farklı proses koşullarının nişastaların setback viskozite değerlerine etkisi Çizelge 3.4'te sunulmuştur. Pik viskozitesinde aynı sıcaklık artış hızında karıştırma hızı artıkça ters orantılı olarak değerlerde düşüş gözlenirken aynı durum setback viskozitesi değerleri içinde geçerlidir (Çizelge 3.1, Çizelge 3.4). Üç farklı karıştırma hızı ve sıcaklık artışı hızından elde edilen setback viskozite değerleri mumsu nişasta için 51,1 ve 298,3 P arasında, normal nişasta için 17,86 ve 244,3 P arasında ve yüksek amiloz nişasta için 0,70 ve 3,30 P arasında değişmektedir. Beklenildiği gibi yüksek amiloz nişasta örneklerinde daha dramatik bir düşüş belirlenmiştir. En yüksek değere, mumsu nişasta örneğinde 50 rpm karıştırma hızında ve 10 °C/dk sıcaklık artış hızında ulaşılmıştır.

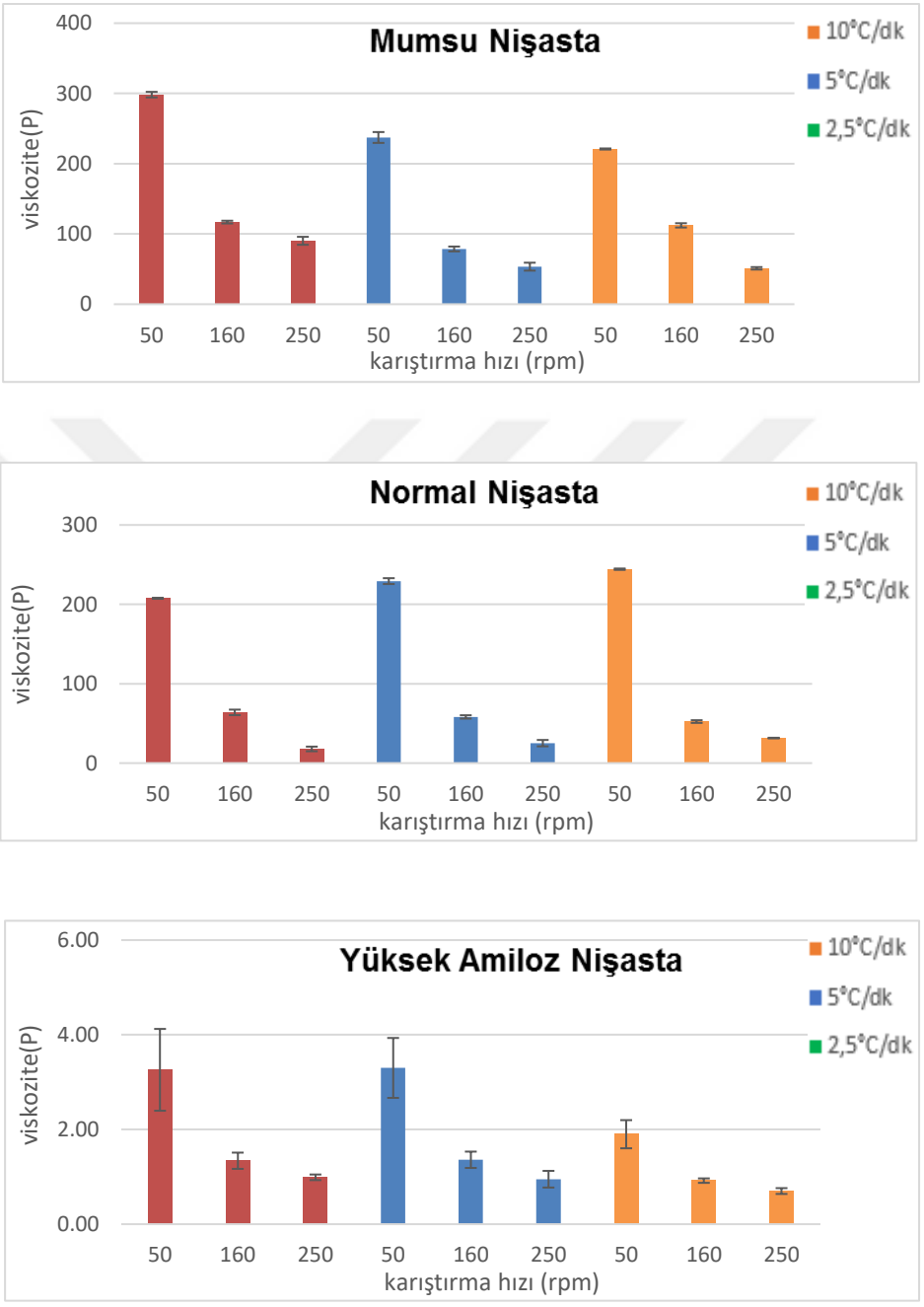
Çizelge 3.4 Farklı proses koşullarının nişastaların setback viskozite değerine etkisi

Sıcaklık Artış Hızı (°C/dk)	RPM	Mumsu Nişasta (P)	Normal Nişasta (P)	Yüksek Amiloz Nişasta (P)
10	50	$298,30 \pm 3,96^{Aa}$	$207,65 \pm 0,64^{cB}$	$3,26 \pm 0,86^{Ca}$
	160	$116,90 \pm 1,94^{Ac}$	$63,89 \pm 3,47^{dB}$	$1,34 \pm 0,17^{Cbcd}$
	250	$90,26 \pm 5,64^{Acd}$	$17,86 \pm 2,89^{gB}$	$0,99 \pm 0,06^{Ccd}$
5	50	$237,35 \pm 7,71^{Ab}$	$229,30 \pm 3,68^{bA}$	$3,30 \pm 0,63^{Bab}$
	160	$78,66 \pm 3,42^{Ade}$	$58,20 \pm 2,09^{deB}$	$1,36 \pm 0,17^{Cbc}$
	250	$53,46 \pm 5,64^{Ae}$	$25,13 \pm 4,01^{fgB}$	$0,95 \pm 0,18^{Ccd}$
2,5	50	$220,95 \pm 0,78^{Ab}$	$244,30 \pm 0,85^{aB}$	$1,90 \pm 0,30^{Cbcd}$
	160	$112,25 \pm 3,04^{Ac}$	$52,37 \pm 1,69^{eB}$	$0,92 \pm 0,05^{Ccd}$
	250	$51,10 \pm 1,73^{Ae}$	$31,55 \pm 0,40^{fB}$	$0,70 \pm 0,06^{Cd}$

Farklı büyük harfler sütunlar arasındaki önemli farklılıkları gösterir (p<0,05).
Farklı küçük harfler satırlar arasındaki önemli farklılıkları gösterir (p<0,05).

Normal nişastada ve mumsu nişastada 250 rpm karıştırma hızında 5 °C/dk ve 2,5 °C/dk sıcaklık artış hızında kaydedilen değerler arasında istatistiksel açıdan fark olmadığı bulunmuştur (p>0,05). Mumsu nişastadan yüksek amiloz nişastaya doğru değerler dramatik ölçüde azalış göstermektedir (Şekil 3.7). Aynı sıcaklık artış hızında karıştırma hızı artıkça değerlerde düşüş gözlenmiştir. Setback viskozitesi, nişastadaki retrogradasyonun derecesi ile ilgili bir parametredir [8]. Düşük amiloz içeriğine sahip mısır nişastası örneklerinde depolama süresi artıkça daha fazla sineresis olduğu yapılan çalışmalarda rapor edilmiştir [13]. Amiloz içeriği düşük olan örneklerde setback

viskozitesinin yüksek olması bu durumun göstergesidir [13]. Buna sebep olarak amilozun kümeleşmesi ve kritalizasyonu, ilk birkaç saat içerisinde gerçekleşirken amilopektinde bu durum daha uzun sürede gerçekleşmektedir [50].



Şekil 3.7 Nişastaların farklı proses koşullarında setback viskozite değerleri

3.5 Final Viskozite Değerleri

Sıcaklık 95 °C'de 5 dakika tutulup 50 °C'ye doğru düşmeye başladığında nişasta molekülleri arasında yeni hidrojen bağlarının kurulmasına ve nişasta zincirlerinin birbiri

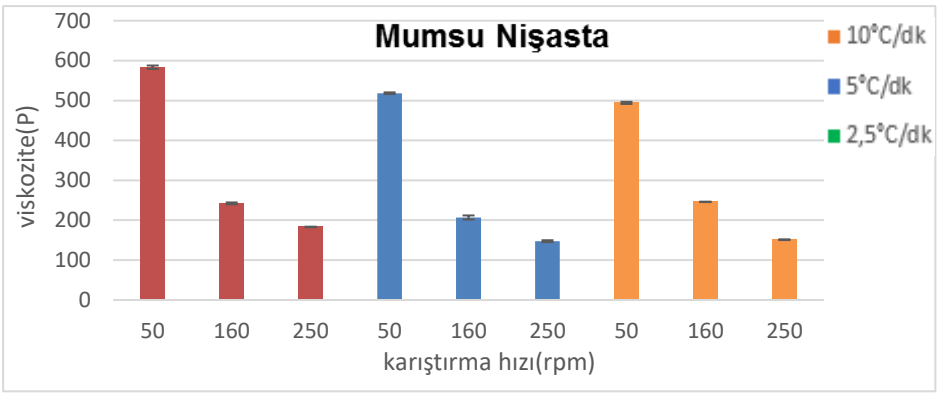
arasına dolanmasına sebep olmaktadır ve bu durum viskozite artışı olarak yansımaktadır [14]. Soğutma sonrasında elde edilen en son viskozite değeri olarak bilinmektedir. Elde edilen final viskozitesi verileri, Çizelge 3.5'te gösterilmiştir. Üç farklı karıştırma hızı ve sıcaklık artışı hızında elde edilen final viskozite değerleri mumsu nişasta için 147,4 ve 583,45 P arasında, normal nişasta için 48,80 ve 388,50 P arasında ve yüksek amiloz nişasta için 2,31 ve 11,44 P arasında değişmektedir. Ölçülen en yüksek final viskozitesi, setback viskozitesinde olduğu gibi mumsu nişastada 50 rpm karıştırma hızında ve 10 °C/dk sıcaklık artış hızında kaydedilmiştir. Mumsu nişastadan yüksek amiloz nişastaya doğru değerler ciddi derecede azalış göstermektedir (Şekil 3.8). Aynı sıcaklık artış hızında karıştırma hızı artıkça değerlerde düşüş gözlenmiştir. Ancak yüksek amiloz nişastasında 2,5 °C/dk artış hızında 160 ve 250 rpm'de kaydedilen değerler arasında istatistiksel açıdan önemli bir fark olmadığı bulunmuştur (p>0,05).

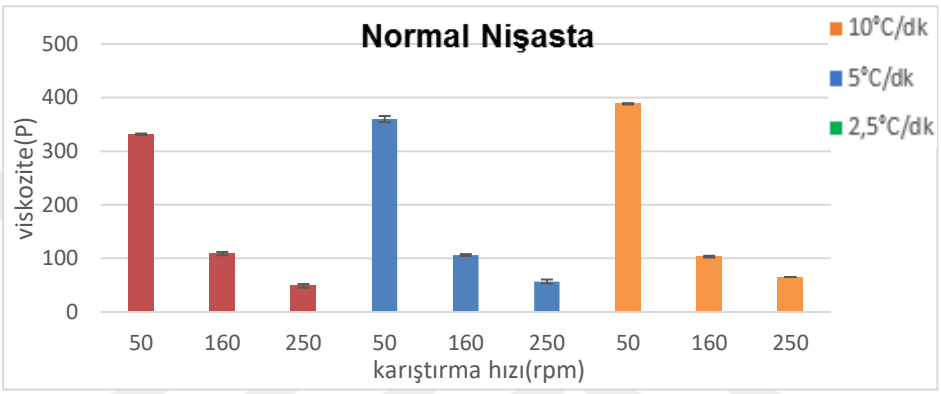
Çizelge 3.5 Farklı proses koşullarının nişastaların final viskozitesi değerlerine etkisi

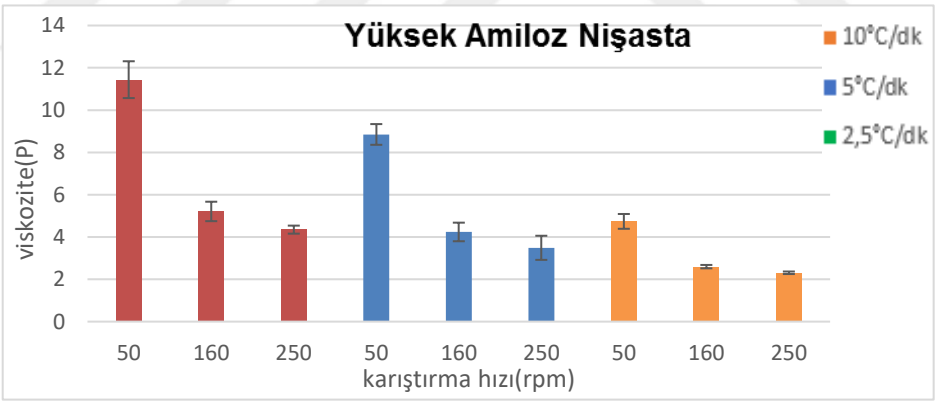
Sıcaklık Artış Hızı (°C/dk)	RPM	Mumsu Nişasta (P)	Normal Nişasta (P)	Yüksek Amiloz Nişasta (P)
10	50	$583,45 \pm 4,31^{Aa}$	$331,55 \pm 1,48^{Bc}$	$11,44 \pm 0,87^{Ca}$
	160	$242,15 \pm 2,36^{Ac}$	$109,05 \pm 3,04^{Bd}$	$5,21 \pm 0,46^{Cc}$
	250	$183,10 \pm 0,71^{Ade}$	$48,80 \pm 3,33^{Bf}$	$4,35 \pm 0,19^{Ccd}$
5	50	$518,35 \pm 2,05^{Ab}$	$360,00 \pm 5,80^{Bb}$	$8,85 \pm 0,49^{Cb}$
	160	$206,90 \pm 5,09^{Ad}$	$106,30 \pm 1,70^{Bd}$	$4,24 \pm 0,44^{Ccd}$
	250	$147,40 \pm 2,40^{Af}$	$56,86 \pm 3,84^{Bef}$	$3,49 \pm 0,57^{Cde}$
2,5	50	$494,05 \pm 2,62^{Ab}$	$388,50 \pm 1,27^{Ba}$	$4,74 \pm 0,35^{Ccd}$
	160	$246,05 \pm 0,49^{Ac}$	$103,25 \pm 1,63^{Bd}$	$2,60 \pm 0,08^{Ce}$
	250	$151,15 \pm 0,92^{Aef}$	$65,30 \pm 0,11^{eB}$	$2,31 \pm 0,06^{Ce}$

Farklı büyük harfler sütunlar arasındaki önemli farklılıkları gösterir (p<0,05).
Farklı küçük harfler satırlar arasındaki önemli farklılıkları gösterir (p<0,05).

Normal nişasta ve mumsu nişastada 250 rpm karıştırma hızında 5 °C/dk ve 2,5 °C/dk sıcaklık artış hızında kaydedilen değerler arasında istatistiksel açıdan fark olmadığı bulunmuştur (p>0,05). Amilozun yokluğu, jel kararlılığını artırıcı kimyasal maddelerin kullanımına gerek kalmadan nişastanın jel kararlılığı ve berraklığını artırmıştır [3].







Şekil 3.8 Nişastaların farklı proses koşullarında final viskozite değerleri

3.6 Jelleşme Sıcaklığı Değerleri

Jelleşme sıcaklığı, viskozitenin artmaya başladığı ilk değerde kaydedilen sıcaklık değeridir. Yüksek jelleşme sıcaklığına sahip nişastaların granüllerinin şişmeye karşı ve jelatinizasyona karşı gösterdiği direncin daha fazla olduğunu bilinmektedir [18]. Farklı proses koşullarının nişastaların jelleşme sıcaklığına etkisi, Çizelge 3.6'da gösterilmiştir.

Çizelge 3.6 Farklı proses koşullarının nişastaların jelleşme sıcaklığına etkisi

Sıcaklık Artış Hızı (°C/dk)	RPM	Mumsu Nişasta (P)	Normal Nişasta (P)	Yüksek Amiloz Nişasta (P)
10	50	$79,55 \pm 1,63^{Aa}$	$88,13 \pm 0,06^{Ba}$	$90,21 \pm 0,76^{Ba}$
	160	$83,64 \pm 1,10^{Aa}$	$88,70 \pm 0,29^{Ba}$	$88,16 \pm 0,33^{Bb}$
	250	$83,95 \pm 2,31^{Aa}$	$89,11 \pm 0,12^{ABa}$	$87,39 \pm 0,14^{Bbc}$
5	50	$67,14 \pm 1,13^{Ab}$	$87,03 \pm 0,56^{Ba}$	$87,12 \pm 0,31^{Bc}$
	160	$67,77 \pm 1,29^{Ab}$	$88,10 \pm 0,19^{aB}$	$86,80 \pm 0,06^{Bcd}$
	250	$67,26 \pm 3,78^{Ab}$	$89,69 \pm 0,57^{Ba}$	$86,10 \pm 0,25^{Bd}$
2,5	50	$66,70 \pm 0,11^{Ab}$	$91,05 \pm 1,28^{Ba}$	$84,46 \pm 0,22^{Ce}$
	160	$67,66 \pm 2,43^{Ab}$	$92,01 \pm 1,63^{Ba}$	$84,81 \pm 0,06^{Ce}$
	250	$65,67 \pm 0,03^{Ab}$	$90,415 \pm 0,02^{Ba}$	$84,96 \pm 0,07^{Ce}$

Farklı büyük harfler sütunlar arasındaki önemli farklılıkları gösterir (p<0,05).
Farklı küçük harfler satırlar arasındaki önemli farklılıkları gösterir (p<0,05).

Mumsu nişastada 10 °C/dk sıcaklık artış hızında ve farklı karıştırma hızlarında elde edilen jelleşme sıcaklık verileri arasında istatistiksel açıdan bir fark bulunamamıştır (p>0,05). Sıcaklık artış hızı, 10 °C/dk'dan 5 °C/dk'ya düşürüldüğünde jelleşme sıcaklığı önemli derece azalmıştır (p<0,05). Ancak diğer sıcaklık artış hızlarındaki tüm karıştırma hızları arasında dramatik bir fark bulunamamıştır. Normal nişastada jelleşme sıcaklığının sistemin karıştırma hızından ve sıcaklık artış hızından bağımsız olduğu görülmüştür. Yüksek amiloz nişasta örneklerinde en yüksek jelleşme sıcaklığı 90,21°C olarak 50 rpm karıştırma hızında ve 10 °C/dk artış hızında kaydedilmiştir. Düşük jelleşme sıcaklığı ise mumsu nişastada elde edilmiştir. Bu durumun ürünü işleme açısından iki avantaj sağladığı bilinmektedir [49]. İlki düşük enerji maaliyeti ikincisi ise formülasyonda yer alacak sıcaklığa hassas diğer bileşenlerin stabilitesini sağlar [49]. Amilotip mısır nişastasında daha yüksek sıcaklık değerlerinin görülmesinin sebeplerinden bir tanesi olarak da bu nişastalarda az miktarda da olsa içerdiği amilopektinin uzun zincirlerinin daha fazla dallanma göstermesidir [26]. Jelleşme sıcaklığının yüksek olması, nişasta granüllerinin şişmeye ve jelatinizasyona karşı daha fazla direnç göstereceği anlamına gelmektedir. Bu da jelleşme sürecinde istenmeyen bir durumdur. Bu yüzden jelleşme sıcaklığının düşük olması avantaj olarak görülür. Proses koşullarının ve AM/AP oranı dışında birçok faktörün, bu parametre üzerinde etken olduğu daha önceki çalışmalarda

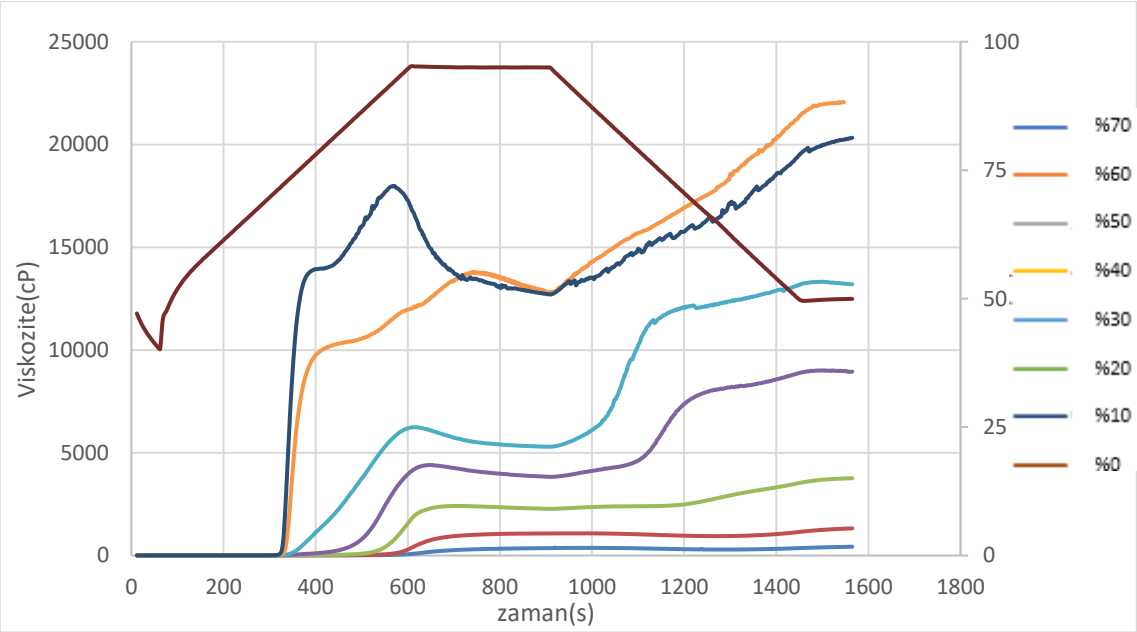
ortaya konulmuştur. Bunlardan bazıları şeker ve yağ asidi ilavesi gibi dışsal faktörlerdir [10]. Bunun yanı sıra özellikle bazı nişasta türlerinde amilopektinin dallanmasında oldukça uzun zincir uzunluğuna sahip olması da önemli bir etkendir [30].

Görüldüğü gibi nişasta pişirme prosesinde uygulanan sıcaklık artış ve karıştırma hızı nişastanın jelleşme özelliklerini önemli derecede etkilemektedir. Jelleşme özelliklerinin modifikasyonu amacıyla proses koşullarında optimizasyon yapılabilir. Bu durum kimyasal yolla nişasta modifikasyonuna gereksinimi azaltacağı gibi ürün formülasyonunda kullanılacak nişasta miktarının da azalmasına sebep olur. Bu da düşük glisemik indeksli ürünlerin üretiminde avantaj sağlama potansiyeline sahiptir. Çalışmanın bu kısmında şimdiye kadar farklı proses koşullarının nişastanın jelleşme davranışına etkisi incelenmiştir. Diğer kısımda ise farklı AM/AP oranlarının nişasta jelleşme özellikleri üzerine etkisi incelenecektir.

3.7 Farklı AM/AP Oranlarındaki Nişasta Karışımlarının Jelleşme Davranışı

Farklı oranlarda amiloz içeren nişastaların jelleşme özellikleri Çizelge 3.7'de özetlenmiştir. Nişastaların jelleşme özellikleri karşılaştırıldığında aralarındaki yüzde amiloz oranları (%70, %27 ve %0) ciddi derecede farklı olduğu için jelleşme profilleri arasında ciddi oranda fark oluşmuştur. Tezin ikinci aşamasında amiloz yüzdeleri arasındaki artış %10 olacak şekilde ayarlanmıştır. Hedeflenen % amiloz için farklı miktarlardaki mumsu ve yüksek amiloz nişastaları karıştırılmıştır. 160 rpm karıştırma ve 5 °C/dk sıcaklık artış hızında elde edilen jelleşme özellikleri, Çizelge 3.7'de sunulmuştur.

Şekil 3.9'da %70'den %0'a doğru, farklı oranlardaki nişastaların jelleşme profilinin gittikçe değiştiği net olarak görülmektedir. En yüksek pik viskozitesi değeri %10 ve %0 amiloz içeren örneklerde kaydedilmiştir. En düşük değerler ise beklenildiği gibi yüksek amiloz nişasta örneklerinde elde edilmiştir. Amiloz içeriği %70'den %0'a doğru düştükçe jelleşme sıcaklığı düşmektedir. %20 ve daha düşük oranlarda amiloz içeren örneklerde, jelleşme sıcaklığı arasında istatistiksel açıdan önemli bir fark tespit edilmemiştir (p>0,05). Amilopektin suyu bünyesine daha hızlı ve kolay aldığı için yüksek amilopektin içeriğine sahip nişastaların daha düşük jelleşme sıcaklığına sahip olduğu daha önceki çalışmalarda ortaya konulmuştur [21].



Şekil 3.9 Nişasta karışımları viskozite profilleri

Mısır nişastasının şişme gücü ve çözünürlüğü üzerinde amilozun varlığının azaltıcı etkisi daha önceki çalışmalarda ortaya konulmuştur [44]. Bu durum amilozun, bu iki özellik üzerinde sınırlayıcı etkisinin olduğunu göstermektedir. Bu durum nişasta granüllerinin, amilozun varlığında suyu bünyesine alamayıp daha düşük pik viskozitesine ulaştığının da göstergesi olmaktadır. Bununla birlikte yüksek oranda amilopektin içeren örneklerde ortamdaki serbest suyun daha az olacağı anlamına da gelmektedir [16]. Amiloz içeriği farklı olan ürünlerle yapılan benzer çalışmalarda pik viskozitesi değerleri üzerinde AM/AP oranının etkisi olduğu bilinmektedir [51]. Nişastada amilopektin içeriğinin artmasıyla birlikte pik viskozite değerlerinin artmasının nedeninin, amilozun yapıdan ayrılırken amilopektinin kısa dallarının çift sarmal yapı oluşturmasında ileri geldiği düşünülmektedir.

Yüksek amilopektin nişastalarının (mumsu) daha düşük jelleşme sıcaklığına sahipken amilotip nişastalarda daha yüksek değerlere sahip olduğu bilinmektedir [52]. Bu durum açıkça jelleşme sıcaklığıyla amiloz içeriği arasındaki bağıntıyı göstermektedir [52]. Daha önce gerçekleştirilen bir çalışmada, AM/AP oranı farklı olan dört mısır nişastası örnekleri içerisinde en yüksek jelleşme sıcaklığı, en yüksek amiloz oranına sahip nişastada belirlenmiştir [39]. Bu sıcaklık değerinin yüksek çıkması, aynı zamanda şişmeye karşı nişastanın daha fazla direnç göstereceğine işaret eder [13]. Başka bir çalışmada ise aralarında %1 amiloz farkı bulunan iki mısır nişastasının jelleşme sıcaklığı arasındaki

farkın yaklaşık 3 °C olduğu bulunmuştur. Diğer bir değişle amiloz içeriğinin bu parametre üzerinde oldukça etken olduğu ortaya konulmuştur [13].

Tutma gücü, en yüksek değere amiloz oranı %0 olan örneklerde ulaşmışken en düşük değere %60-%70 olan örneklerde ulaşmıştır. Breakdown, final ve setback viskozitelerinde en yüksek değerlere yine %0 amiloz içeren örneklerde, en düşük değerlere ise beklenildiği gibi %60-%70 amiloz içeren örneklerde kaydedilmiştir.

Çizelge 3.7 Amiloz oranının nişasta jelleşme özelliklerine etkisi

AM (%)	Pik Viskozitesi(P)	Jelleşme Sıcaklığı (T°C)	Tutma Gücü (P)	Breakdown (P)	Final (P)	Setback (P)
70	3,49 ± 0,33^{g}	86,77 ± 0,02^{b}	2,75 ± 0,24^{f}	0,74 ± 0,09^{e}	4,48 ± 0,26^{f}	1,73 ± 0,02^{d}
60	10,34 ± 0,06^{fg}	85,66 ± 0,26^{b}	9,37 ± 0,09^{ef}	0,96 ± 0,15^{e}	6,46 ± 9,11^{f}	3,70 ± 0,14^{d}
50	24,25 ± 0,18^{f}	78,18 ± 0,18^{c}	22,86 ± 0,19^{de}	1,39 ± 0,01^{d}	38,01 ± 0,50^{e}	15,15 ± 0,35^{cd}
40	43,64 ± 0,59^{e}	89,46 ± 0,83^{b}	38,13 ± 0,27^{cd}	5,51 ± 0,32^{c}	91,86 ± 3,30^{d}	53,73 ± 3,57^{c}
30	62,63 ± 0,28^{d}	94,93 ± 0,08^{a}	53,46 ± 0,72^{c}	9,17 ± 0,44^{ab}	135,60 ± 5,00^{c}	82,14 ± 4,37^{b}
20	83,17 ± 1,05^{c}	63,72 ± 0,64^{d}	76,32 ± 0,35^{b}	6,84 ± 0,70^{a}	167,10 ± 5,00^{b}	90,77 ± 4,74^{b}
10	145,5 ± 10,80^{b}	62,95 ± 0,11^{d}	136,4± 12,45^{a}	9,15 ± 1,63^{ab}	221,4 5± 1,10^{a}	85,05 ± 11,30^{b}
0	183,40 ± 4,95^{a}	67,77 ± 1,20^{d}	128,20 ± 1,70^{a}	55,20 ± 6,65^{b}	206,90 ± 5,00^{h}	78,70 ± 3,39^{a}

Farklı küçük harfler satırlar arası önemli farklılıkları gösterir (p<0,05).

Yapılan çalışmalarda, amiloz içeriği artıkça bütün viskozite değerlerinin düştüğü görülmüştür [21]. Her ne kadar amiloz nişasta granüllerinin şişmesine engel teşkil etse de şişmiş granüllerin bütünlüğünü korumasına da yardımcı olmaktadır [16]. Buna bağlı olarak amiloz oranı yüksek olan örneklerin grafiğinde sert iniş çıkışlar yoktur. Bu yüzden breakdown değerleri amilozun yüzdesi azaldıkça artış göstermektedir. Her ne kadar mumsu nişastaların pik viskozitesinden sonra ulaşabileceği en düşük değer amiloz oranı yüksek olan örnekler kadar düşük olmasa da yine de daha yüksek viskozite değerinden azalış yaşadığı için bu durum breakdown viskozite değerlerine yansımıştır.

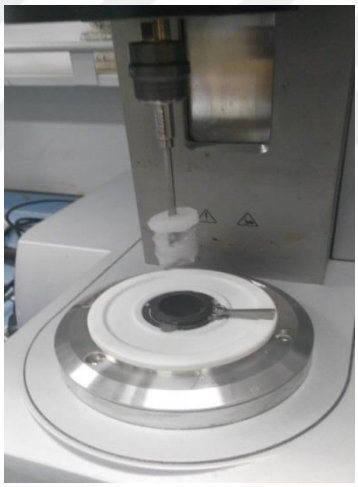
Mumsu nişasta, sanayide nişasta bazlı ürünlerde bazı problemlerin önlemesi için de kullanılmaktadır. Bu açıdan ürüne ne oranda katılacağı önem arz etmektedir. Ürünün daha iyi kaplanması için miktarı artırılabilirken, yapışkan yapıdan kaçınmak içinde miktarı

azaltılabilir [53]. Daha düzenli hücre yapısı için de mumsu nişasta miktarı artırılabilir [53]. Şekil 3.10'da elde edilen jellerin cihazdan çıkarılan ilk görüntüleri de mevcuttur.

a) b)



c)



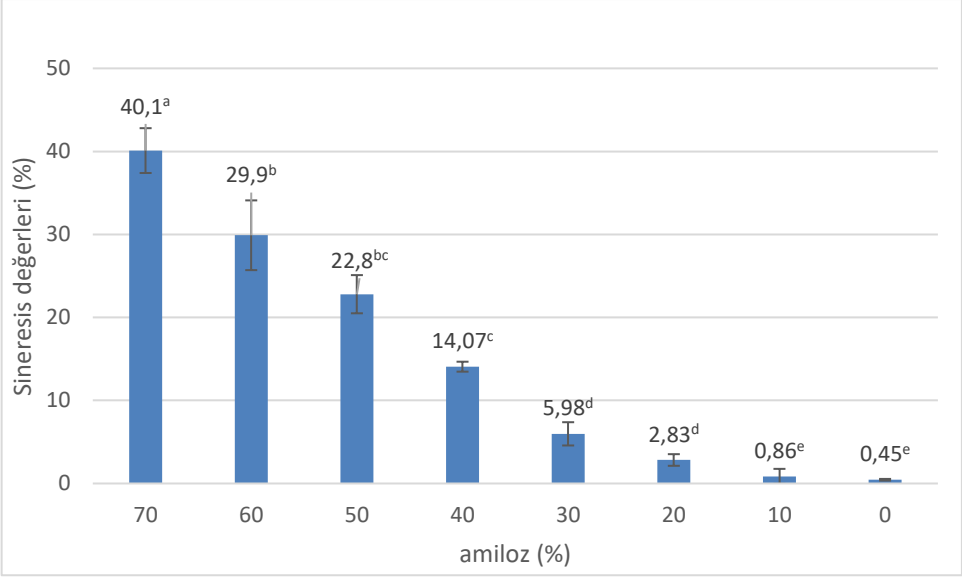
Şekil 3.10 Resimler (a)'dan (c)'ye doğru amiloz yüzdesi azalan jellerin görüntüsü

Üzerinde durulması gereken bir diğer noktada karışımda kullanılan nişastaların aynı yüzde de amiloz içeren mutantlarıyla karşılaştırıldığında farklı jelleşme profili göstereceğidir [16]. Örneğin %50 amiloz içeren mısır nişastası mutantıyla amilotip ve mumsu nişastanın karıştırılmasıyla elde edilen %50 amiloza denk gelen nişastanın birbirinden önemli derecede farklı jelleşme özelliklerinin olacağı bilinmektedir. Bu yüzden buna bağlantılı olarak üzerinde çalışılan sekiz farklı orandaki nişasta karışımlarının, tezin ilk aşamasında yapılan bireysel olarak nişastaların incelendiği kısımdaki sonuçlardan farklı çıkmıştır. Bu durumun nedeni, nişasta karışımlarının tek

başına kullanımlarından ziyade karışım olarak kullanımında moleküler arası spesifik etkileşimlerin meydana gelmesi gösterilmektedir [16]. Bununla ilgili olarak %10 amiloz içeren nişasta karışımının, mumsu nişastaya göre setback, final, breakdown ve pik viskozitesi değerleri daha yüksek çıkmıştır. Proses ile birlikte amiloz oranının da nişastanın jelleşme özellikleri üzerine etkili olduğu görülmektedir. Farklı oranlarda AM/AP içeren nişastaların karıştırılarak nişasta içeren ürünlerin jelleşme özelliklerinin ve kalite parametrelerinin modifiye edilebileceği ortaya çıkmaktadır.

3.7.1 Amiloz Oranının Nişasta Jellerinin Sineresis Özelliklerine Etkisi

Sekiz farklı AM/AP oranındaki nişasta jellerinde sineresis testi uygulanmış ve sonuçlar Şekil 3.11'de sunulmuştur. Elde edilen sineresis verileri %0,45 ve %40,1 arasında değişmektedir. Elde edilen sineresis verileri arasında istatistiksel açıdan önemli derecede fark vardır (p<0,05). En yüksek değer %70 oranında amiloz içeren nişasta jellerinde kaydedilmiştir. Yani gün aşırı sürede bekletilen jellerden en yüksek su kaybı amiloz içeriği yüksek olan jellerde gözlenmiştir. %40'dan sonraki değerlerdeki sineresis verilerinde dramatik bir azalış meydana gelmiştir. %10 ve %0 düzeyinde ise istatistiksel açıdan ciddi bir fark yoktur (p>0,05).

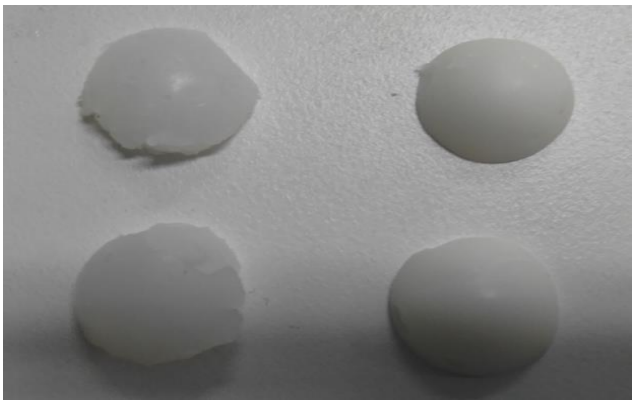


Şekil 3.11 Farklı oranda amiloz içeren nişastalardan hazırlanan jellere ait sineresis değerleri

Farklı amiloz içeriğine sahip nişastalarla yapılan ilgili çalışmada, amiloz içeriği ile sineresis arasında pozitif bir korelasyon olduğu ortaya konulmuştur [7]. En yüksek sineresis değeri, en yüksek amiloz içeriğine sahip nişastada elde edilmiştir [7]. Mısır nişastalarıyla yapılan başka bir çalışmada ise en yüksek amiloz içeren örnekte retrogradasyonun daha fazla olduğu bulunmuştur [39]. AM/AP oranının sineresis üzerinde önemli bir faktör olduğu bilinmektedir [39]. Bu yüzden yüksek amiloz içeren nişastalarda yapıdan daha fazla su kaybı olmaktadır [39]. Farklı bölgelerde yetişmiş aralarında sadece %1 amiloz farkı bulunan mısır nişastaları ile yapılan sineresis deneyinde benzer sonuçlar bulunmuştur. Yüksek amiloz içeren örnekte sineresis yüzdesi daha fazla çıkmıştır. Bu durum yapılan farklı çalışmalarla da desteklenmiştir [54].

Ortamda bulunan su molekülleri, ısının etkisiyle birlikte granül içerisinde amilopektinle hidrojen bağları oluşturararak yapı içerisinde yer almaya başlar [55]. Depolama süresi boyunca bu su molekülleri yapıdan ayrılmaya başlar. Suyun jel yapısından ayrılma eğilimini artıran faktörler arasında botanik kaynağı, molekül kompozisyonu ve yapısı, ortamın sıcaklık dalgalanması ve jel konsantrasyonu bulunmaktadır [13]. Amilozun bir araya toplanması ve kristalizasyonun gerçekleşmesi jellerin bekletildiği daha ilk birkaç saat içerisinde gerçekleşirken amilopektinin aynı sürece gelmesinin ise daha ileri saatlerde gerçekleştiği rapor edilmiştir [13]. Mumsu nişastaların yapışkan ve amilotip nişastalara göre daha saydam bir jel oluşturduğu bilinmektedir [26]. Yüksek amiloz içeren nişastalar güçlü jel oluşturmak için seçilmesi gerekirken yüksek amilopektin içerenler ise yüksek viskozite değeri için seçilebilir [12]. Ancak nişastaların bu şekilde ürünün tek özelliğini öne çıkarması, üründe olması gereken diğer özellikleri örtüleyip hatta tamamen istenmeyen bir özelliğe çevirebilir [12].

Sineresisin yani ortama serbest suyun geçişinin fazla olması, son ürün kalitesi için çok önemli bir parametredir. Çünkü işlenmiş gıda ürünlerinde mikroorganizmaların üremesine ve dondurulmuş mamullerde hoş olmayan değişimlere sebep olmaktadır [3]. Bu yüzden istenmeyen bu yapısal değişimlerinin kontrol altına alınması, önem arz etmektedir [3]. Farklı amiloz oranına sahip nişastalardan üretilen jellerin yapısal özelliklerinin farklı olduğu Şekil 3.12'de gösterilmiştir.



Şekil 3.12 Sağ tarafta yüksek amiloz sol tarafta düşük amiloz içeren nişasta jelleri

3.8 Nişastaların Jelleşme Davranışının Modellenmesi

Elde edilen jelleşme eğrisi, üzerinde modelleme yapabilmek için jelleşme grafiği, analiz esnasında uygulanan parametrelere bağlı olarak ayrılmış ve her bölüm için uygun model kullanılmıştır. Jelleşme eğrisinde bulunana zaman/sıcaklığa karşılık gelen viskozite değerlerinde üzerine modelleme yapmak özellikle jelatinizasyon kinetiğini anlamada önemli bilgi sunar.

Üretilmesi hedeflenen ürün için seçilen uygun nişastanın proses zamanına karar vermek için de kullanılan bir yöntemdir [7]. Makul bir modelin varlığı aynı zamanda nişasta bileşenlerinin arasındaki ilişkiyi ve jelleşme davranışını tahmin etme konularına da ışık tutar [7]. Bununla birlikte mısır nişastası kıvam artırıcı olarak kullanılacaksa ürünün jelleşme profilini detaylı olarak bilmek özellikle ürün formülasyonu için önem arz etmektedir [53].

Birinci bölümde uygulanan Hill eşitliğinde yer alan, nişasta katsayısı olarak bilinen S değeri, nişastanın şişme oranını gösterir. S değeri bütün örnekler için 1'den büyük bulunduğundan dolayı suyun nişasta granülleri içine girişinin granülün şişme oranını artıracağını gösterir. En son kısımda 2.kısımda olduğu gibi Arrhenius denklemi uygun model olarak görülmüştür. Bu kısımdaki aktivasyon enerjisi retrogradasyon oranı ile ilgilidir çünkü özütlenmiş amiloz şişmiş nişasta granüllerindeki amilopektin zincirleriyle etkileşerek katı bir yapı oluşturur [7]. Aktivasyon enerjisinin yüksekliği retrogradasyon oranının fazla olacağını gösterir. Buna ek olarak setback viskozitesi de retrogradasyon oranının başka bir ölçütüdür. Amiloz içeriği artıkça jelin sıcaklığa karşı stabilitesi artar

bunun nedeni jel fazındaki nişasta granüllerinin ve özütlenmiş amilozun kompleks bir yapı oluşturması gösterilebilir [7]. Bunlara ek olarak aktivasyon enerjisi değerlerinin, proses koşullarından ziyade amiloz içeriğine göre daha dramatik olarak düşüş göstermesi, bu noktada amiloz içeriğinin daha etken bir parametre olduğunu göstermektedir.

Modellerden elde edilen kıvam katsayısı (K) ve akış davranış indeksinin (n) nişastanın botanik kaynağına, nişasta konsantrasyonuna ve sıcaklığa göre değiştiği daha önceki çalışmalarda ortaya konulmuştur [56, 57].

3.8.1 Mumsu Nişastaların Jelleşme Eğrisinin Modellenmesi

Mumsu nişastanın farklı karıştırma ve sıcaklık artış hızında elde edilen jelleşme eğrilerinde modelleme yapılmıştır. Bunun için önce mumsu nişastadan elde edilen verilerden grafikler elde edilmiş ve hangi modelin grafiğin hangi kısmında uygulanacağı belirlenmiştir. Şekil 3.1'deki grafikler incelendiğinde 10 °C/dk sıcaklık artışındaki jelleşme eğrilerinde 2.kısmın mevcut olmadığı görülmektedir. Elde edilen jelleşme parametreleri mumsu nişasta için Çizelge 3.8'de gösterilmiştir. 1.kısımda üç önemli kinetik parametresi: V_{Pik}, R ve S elde edilmiş ve modelle olan uygunluğu ortaya konulmuştur. 1.kısımdan elde edilen verilerden tahmini pik noktası verileri deneysel verilere oldukça yakın çıkmıştır. Modelleme sonucunda R^2 değerlerinin 1'e yakın olması tahmini veriler ile gerçek verilerin uyumunu göstermektedir. Proses koşullarının belirteci olan R parametresi ise en yüksek değerlere 2,5 °C/dk sıcaklık artış hızında kaydedilmiştir. Diğer bir ifadeyle karıştırma ve ısıya karşı en dayanıklı yapının, bu sıcaklık artış hızında elde edilen jellerde olacağını gösterir. Ancak R değeri düşük olan nişasta, elde edildiği proses koşullarında daha fazla enerji tüketiminin önüne geçebilir. S değerleri, en yüksek mumsu ve normal nişastada elde edilirken en düşük yüksek amiloz nişastada elde edilmiştir. Bu durum amiloz içeriği azaldıkça S parametresinin yani granülün şişme hızının dramatik derecede yükseleceğini gösterir [7]. Yapılan bir çalışmada da bu durum desteklenmektedir [7].

Çizelge 3.8 Mumsu nişastasının jelleşme davranışına ait model verileri

		1.kısım				2.kısım		3.kısım**		4.kısım	
T (°C/dk)	rpm	V_{Pik} (cP)	R	S	R^2	E_a(J/mol)	R^2	K (cP)	R^2	E_a (J/mol)	R^2
10	50	36.391	233	29	0,8368	M.D*		30	0,9969	12.064	0,9593
	160	14.730	222	48	0,7943	M.D*		12	0,9778	13.413	0,9961
	250	11.278	217	49	0,8250	M.D*		9	0,9949	13.405	0,9972
5	50	35.692	346	20	0,8474	25.328	0,9915	29	0,9454	11.508	0,9957
	160	16.151	352	32	0,8143	23.409	0,9417	13	0,9735	9.319	0,9911
	250	11.346	346	32	0,8142	22.906	0,9888	10	0,9940	8.193	0,9841
2,5	50	35.048	572	19	0,8682	16.857	0,9781	28	0,9796	10.978	0,9954
	160	16.147	603	22	0,8261	23.632	0,9707	14	0,9930	11.299	0,9949
	250	12.193	597	23	0,8371	23.033	0,9908	10	0,9954	7.482	0,9532

*İlgili kısım mevcut değildir.
**3.kısımdaki n verileri sıfır bulunmuştur.

2.kısım ise pik viskozitesi değerinden sistemin ayarlandığı en yüksek sıcaklık derecesine kadar (95 °C) ulaştığı kısmı içerir. 10 °C/dk artış hızında farklı karıştırma hızlarında bu kısım gözlenmemiştir çünkü pik viskozitesi sıcaklığın sabitlendiği 3.kısıma denk gelmektedir. Özellikle bu noktada sıcaklık artışı baskın bir faktördür. Sistem pik viskozitesine ulaştıktan sonra viskozitede azalış görülmektedir çünkü sıcaklık artışı moleküler arası uzaklığı artırmasından dolayı moleküller arası kuvveti azaltır. Buna ek olarak sıcaklık artışı aynı zamanda şişmiş granüllerinde parçalanmasına sebep olur [7, 58].

2.kısımda, Arrhenius denkleminden elde edilen aktivasyon enerjisi değerleri 16.857 ve 25.328 J/mol arasında değişmektedir ve en yüksek değer 5 °C/dk'da kaydedilmiştir. En düşük değerlere ise 2,5 °C/dk'da kaydedilmiştir. Bu durum sıcaklık değişimine karşı en stabil olan jelin, düşük sıcaklık artış hızında elde edileceğini gösterir. 3.kısım sistemin ayarlandığı en yüksek sıcaklık derecesine (95 °C) ulaşıp ve bu sıcaklıkta sabitlendiği kısmı içerir. Modeldeki n değerleri sıfır bulunmuşken K değerleri Çizelge 3.8'deki gibi hesaplanmıştır. 4.kısım ise 95 °C'den 50 °C'e olan soğutma aşamasını içermektedir. Elde edilen aktivasyon enerjisi değerleri 7.482 ile 13.413 J/mol arasında değişmektedir.

3.8.2 Normal Nişastaların Jelleşme Eğrisinin Modellenmesi

Normal nişastasının jelleşme davranışının modellenmesi sonucu elde edilen veriler Çizelge 3.9'da gösterilmiştir. Modelleme öncesi Şekil 3.2'daki grafik verisi incelenmiştir.

1.kısımda elde edilen R değerleri en yüksek değerlere 2,5 °C/dk sıcaklık artış hızında ulaşmıştır. Bu durum proses koşullarına bu sıcaklık artış hızında elde edilen jellerin daha dayanıklı olacağını gösterir. S değeri ise 10 °C/dk sıcaklık artış hızında 160 ve 250 rpm karıştırma hızlarında en yüksek değerlere ulaşmıştır. 2.kısımda aktivasyon enerjisi 31.542 ile 39.343 J/mol arasında bulunmuştur. 10 °C/dk ve 2,5 °C/dk artış hızlarında özellikle 160 rpm karıştırma hızındaki değerler, diğer karıştırma hızlarına göre daha yüksek bulunmuştur. En düşük değere ise 10 °C/dk-50 rpm proses koşulunda elde edilmiştir.

Çizelge 3.9 Normal nişastanın jelleşme davranışına ait model verileri

		1.kısım				2.kısım		3.kısım			4.kısım	
T°C/dk	rpm	V_{Pik} (cP)	R	S	R^2	E_a (J/mol)	R^2	K(cP)	n*100	R^2	E_a (J/mol)	R^2
10	50	33.214	217	36	0,8178	31.542	0,9640	13	0,00	0,9887	19.734	0,9752
	160	13.005	214	43	0,7722	38.651	0,9648	5	0,00	0,9872	19.976	0,9721
	250	9.025	211	41	0,8324	33.651	0,9533	3	0,00	0,9785	12.337	0,9671
5	50	37.829	327	36	0,7281	36.168	0,9738	172	0,53	0,9834	22.742	0,9751
	160	12.969	334	38	0,7830	32.227	0,9158	141	0,46	0,9612	17.403	0,9469
	250	9.102	328	34	0,8265	39.343	0,9710	102	0,42	0,9749	12.351	0,9735
2,5	50	35.753	573	20	0,8433	36.398	0,9738	100	0,38	0,9752	14.675	0,8321
	160	12.497	573	32	0,8190	36.689	0,9161	99	0,29	0,9837	12.729	0,9271
	250	9.160	568	32	0,8291	34.089	0,9161	97	0,26	0,9872	11.750	0,9524

3.kısımda n model sabiti mumsu nişastada hesaplanamamasına rağmen normal nişastada hesaplanmıştır. Bulunan n değerleri 0,26 ve 0,53 arasında değişmektedir. Bu değer hasarlı (zedelenmiş) nişasta içeriğiyle ilgili tahmini bilgi sağlamaktadır. Aynı zamanda jelin kesme kuvvetine karşı kırılgan yapısı hakkında da bilgi sağlar [7]. Hasarlı nişasta oranı artıkça n değeri de artmaktadır. Bu bilgiler ışığında sıcaklık artış hızı artıkça hasarlı nişasta içeriğinin artığı görülmektedir. Buna ek olarak karıştırma hızı 50 rpm'den 250 rpm'e doğru artıkça hasarlı nişasta içeriği azalmaktadır.

3.8.3 Yüksek Amiloz Nişastaların Jelleşme Eğrisinin Modellenmesi

Yüksek amiloz nişastasından elde edilen Şekil 3.3'deki grafikler incelendiğinden mumsu ve normal nişastalara uygulanabilen dört kısma ayrılarak modelleme yapmaya uymadığı görülmektedir. Grafiklerde (Şekil 3.3), bakıldığı zaman pik noktasıyla birlikte minimum viskozite noktasının da sağa doğru oldukça fazla ötelenmiş olduğu görülmektedir. Bu

durum sistem pik noktasına ulaştıktan sonra karıştırma hızının sıcaklık düşüşüne göre daha baskın çıktığını göstermektedir. Sıcaklık azalışına rağmen hala viskozite azalışının devam etmesi bu duruma işarettir. Uygun modelleme yapıldıktan sonra elde edilen model verileri Çizelge 3.10'da sunulmuştur. 1.kısımda S değerleri beklenildiği gibi 1'den yüksek çıktığı için suyun nişasta granülleri içine girişinin granülün şişme oranını artıracağını gösterir [7].

Çizelge 3.10 Yüksek amiloz nişastanın jelleşme davranışına ait modelleme verileri

		1.kısım				2.kısım*		3.kısım**	
T°C/dk	rpm	V_{Pik} (cP)	R	S	R^2	E_a (J/mol)	R^2	E_a (J/mol)	R^2
10	50	1.120	407	10	0,9095	12.112	0,9774	11.158	0,9396
	160	466	384	12	0,9003	10.772	0,9789	8.520	0,9430
	250	421	370	14	0,8775	12.262	0,9879	7.223	0,9194
5	50	990	671	12	0,8644	18.701	0,9872	12.763	0,9195
	160	363	655	14	0,8605	11.695	0,9714	12.069	0,9529
	250	333	634	16	0,8629	12.122	0,9825	8.863	0,9408
2,5	50	539	1194	15	0,8147	25.988	0,9822	18.345	0,9079
	160	201	1185	15	0,8249	10.389	0,9772	15.936	0,9284
	250	186	1168	14	0,8283	9.870	0,9828	13.106	0,9200

*2.kısım grafikte pik noktasında minimum viskozite değerine kadar olan kısmı içerir.
** 3.kısım grafikte minimum viskozite değerinden final viskozitesi değerine kadar olan kısmı içerir.

En yüksek R değeri ise 2,5 °C/dk sıcaklık artış hızında elde edilmiştir. Bir diğer değişle bu sıcaklık artış hızında elde edilen jeller daha stabil olacaktır. Aynı durumun mumsu ve normal nişasta jelleri içinde geçerli olduğu bulunmuştur. 2. ve 3.kısımda Arrhenius denklemi uygulanmıştır. Mumsu ve normal nişasta verilerinde olduğu gibi aktivasyon enerjileri karıştırma hızı artıkça ters orantılı olarak azalmaktadır.

3.8.4 Farklı Amiloz İçeriğindeki Nişastanın Jelleşme Eğrileri Modellemesi

Nişasta karışımlarına Şekil 3.9'daki grafikler incelendikten sonra uygun modeller uygulanmış ve elde edilen model verileri Çizelge 3.11'de gösterilmiştir. Tahmini pik viskozitesi verileri, deneysel verilerde olduğu gibi yüksek amiloz içeren örneklerden

düşük amiloz içeren örneklere doğru azalış göstermiştir. R değeri amiloz yüzdesi fazla olan örneklerde artış göstermiştir. Bu durum proses koşullarına karşı amiloz oranı yüksek olan nişasta karışımlarının daha dayanıklı olacağını gösterir. Özellikle %70 ve %60 amiloz içeren örneklerde pik noktasının sistemin 95 °C sabitlenişinden sonraya denk gelmesi proses koşullarına karşı dirayetin oluşacağına işarettir. Ancak burada unutulmaması gereken önemli bir nokta da viskozitenin amilopektin içeriği yüksek olan nişastalara göre oldukça düşük olacağıdır. S değeri, beklenildiği gibi 1 değerinden yüksek çıkmıştır yani nişasta granülüne su girişi ile şişme hızı arasında doğru orantı bulunmaktadır.

Çizelge 3.11 Nişasta karışımlarının jelleşme davranışına ait model verileri

	1.kısım				2.kısım		3.kısım			4.kısım	
AM(%)	V_{Pik} (cP)	R	S	R^2	E_a (J/mol)	R^2	K (cP)	n*100	R^2	E_a (J/mol)	R^2
70	1.120	407	10	0,9095	M.D. *		M.D. *			M.D. *	
60	1.064	626	21	0,8482	M.D. *		M.D. *			M.D. *	
50	2.458	587	26	0,7605	M.D. *		99	0,38	0,9965	10.228	0,8559
40	4.791	549	17	0,7668	M.D. *		179	0,37	0,9810	20.754	0,9277
30	7.345	495	9	0,8833	M.D. *		190	0,40	0,9786	17.132	0,9515
20	7.766	389	13	0,9131	M.D. *		3.106	0,12	0,9905	7.902	0,9232
10	14.211	401	7	0,8893	M.D. *		14.866	0,00	0,9968	6.769	0,9201
0	16.151	352	32	0,8143	23.409	0,9417	13.322	0,00	0,9735	9.319	0,9911

*İlgili kısım mevcut değildir.

2.kısım sadece amilozu hiç içermeyen nişastada görülmüştür. Bu durum oldukça ilginçtir çünkü bireysel olarak nişastalara modelleme yapıldığında %27 amiloz içeren normal nişastada bu kısım mevcuttur. Yani az miktarda dahi olsa yüksek amiloz içeren nişasta karıştırıldığında bu kısım üzerinde ne kadar baskın olduğu görülmektedir. Özellikle %10 ve %20 amiloz içeren örneklerde pik noktası beklenenden de fazla ötelenmiştir. %60 amiloz yüzdesine sahip örnek ise %70 olan örneğe oldukça benzer bir profil çizmiştir. Bu değerler için jelleşme eğrisinin dörde ayrılıp modellenmesiyle uyum göstermemektedir. Çünkü sadece pik noktası değil tutma gücünü belirten minimum viskozite noktası da sağa doğru oldukça fazla ötelenmiştir. Bu durum sistem pik noktasına ulaştıktan sonra karıştırma hızının sıcaklık düşüşüne göre daha baskın çıktığını göstermektedir. Sıcaklık azalışına rağmen hala viskozite azalışının görülmesi bu duruma işarettir. 3.kısımda yapılan modellemede n değerleri, mumsu nişastanın tüm verilerinde olduğu gibi amiloz

yüzdesi %0 ve %10 olan örneklerde sıfır bulunmuştur. R^2 değerleri 0,9735 ile 0,9965 arasında hesaplanmıştır. 4.kısımda aktivasyon enerjisi 6.769 ile 20.754 J/mol olarak hesaplanmıştır. R^2 değerleri 0,8559 ile 0,9911 arasındadır. Aktivasyon enerjisi, amiloz yüzdesi yüksek olanda düşük olan örneklere doğru azalış göstermektedir. Bu durum aktivasyon enerjisi düşük olan örneklerde retrogradasyonun daha az olacağını göstermektedir. Daha önce hesaplanan % sineresis değerlerinin de (Şekil 3.11) bu durumu yansıttığı görülmektedir.

BÖLÜM 4

SONUÇ VE ÖNERİLER

Farklı oranda AM/AP içeren nişasta örnekleri için farklı karıştırma ve sıcaklık artış hızlarında jelleşme özellikleri elde edilmiştir. Bu örneklerde jelleşme profilini ortaya koymak için pik viskozitesi, jelleşme sıcaklığı, breakdown, final viskozitesi, tutma gücü ve setback viskozite değerleri bulunmuştur. Amiloz içeriği aynı olan örneklerde farklı karıştırma hızında, viskozite değerlerinin dramatik derecede değiştiği bulunmuştur.

Amilotip, mumsu ve normal nişasta örneklerinde aynı sıcaklık artış hızı değerlerinde karıştırma hızı artıkça viskozite değerlerinin dramatik ölçüde düştüğü bulunmuştur. Ancak bu dramatik düşüş, aynı karıştırma hızında ama farklı sıcaklık artış hızlarında bulunmamıştır. Bu durumda karıştırma hızının sıcaklık artış hızına göre daha etken bir proses parametresi olduğu yorumu yapılabilir. Nişastaların aynı proses koşullarında viskozite değerlerinin istatistiksel yorumu da yapılmıştır. Amiloz içeriğindeki farklılık sonuçlara yansımıştır. Özellikle amilotip nişastanın %70 oranındaki amiloz içeriği diğer nişasta örneklerinin amiloz içeriğinden (%0 ve %27) çok daha fazla olduğu için viskozite değerleri çok daha düşük çıkmıştır. Ancak amiloz içeriği yüksek olan nişastalarda jelleşme sıcaklık değerleri ise yüksek çıkmıştır. Bununla birlikte proses koşullarına dayanıklılık için yüksek amiloz nişasta kullanılacaksa, yüksek karıştırma hızında ama düşük sıcaklık artış hızında kullanılması önerilmektedir.

Farklı miktarlarda amilotip ve mumsu nişastaların karıştırılmasından elde edilen jellerde retrogradasyon derecesi, yapıdan ayrılan suyun yüzdesi ölçülerek belirlenmiştir. Sineresisin yani ortama serbest suyun geçişinin fazla olması son ürün kalitesi için çok önemli bir parametredir. En yüksek sineresis yüzdesi, AM/AP oranı en yüksek olan nişasta jellerinde elde edilmiştir. Bir diğer değişle, gün aşırı sürede bekletilen jellerden en yüksek

su kaybı amiloz içeriği yüksek olan ürünlerde gözlenmiştir. Böylelikle farklı amiloz içeriğine sahip nişastalarla yapılan bu çalışmada amiloz içeriği ile sineresis arasında pozitif bir korelasyon olduğu ortaya konulmuştur.

Kullanılacak nişastanın işleme sürecinde jelleşme profilinin bilinmesi, üretilmesi hedeflenen ürünün kalitesini iyileştirici hamlelerin alınmasına da olanak sağlar. Üretilmesi hedeflenen ürünün özelliğine göre hem içsel hem de dışsal faktörlerinin ne yönde etki ettiği oldukça önem arz etmektedir. Sonuçlar incelendiğinde jelleşme özellikleri üzerinde hem proses koşullarının hem de AM/AP oranının etken olduğu ortaya konulmuştur. Buna ek olarak, nişastaların bu koşullara bağlı olarak jelleşme davranışı bilinirse hem işleme avantajı elde edilmiş olunur hem de maaliyet azaltılmış olunur. Düşük jelleşme sıcaklığına sahip nişasta örnekleri jelleştirici madde olarak sistem düşük sıcaklıklarda çalıştırıldığı zaman kullanılabilir [13]. Jelleşme sıcaklığı sistemin enerji maaliyeti de demektir. Bu durumda amiloz oranı daha düşük olan nişasta kullanımı sistemin enerji maliyetini de azaltacaktır. Normal nişastada ise jelleşme sıcaklığı üzerinde proses koşulları etken değildir. Yüksek amiloz nişastası ise mumsu nişastadaki gibi benzer bir tablo çizmektedir.

160 rpm karıştırma hızı ve 5 ° C/dk sıcaklık artış hızında sekiz faklı AM/AP oranına sahip nişasta karışımlarının jelleşme özellikleri ortaya konulmuştur. Her ne kadar amiloz, nişasta granüllerinin şişmesine engel teşkil etse de şişmiş granüllerin bütünlüğünü korumasına da yardımcı olmaktadır. Bu yüzden amiloz yüzdesi düşük olan örneklerde pik viskozitesi değeri daha yüksekken minimum viskozite değerine doğru daha fazla bir azalış yaşanmaktadır. Bunlara ek olarak jelleşme davranışına etki eden faktörler bilinirse bunlar ile oynayarak daha az nişasta kullanımı da mümkün olacaktır. Bu da son ürünün kalorisini düşürerek avantaj sağlar. Ayrıca, kimyasal modifikasyona gerek kalmadan son ürün kalite özelliklerinin proses koşullarının modifiye edilmesiyle optimize edilebileceği görülmektedir. Sineresisi, kimyasal modifikasyon gibi yöntemlerle azaltmak yerine farklı AM/AP oranları ile veya proses koşullarıyla azaltmak çok önemlidir.

Jelleşme eğrisi, dört kısma ayrılıp ilgili grafiklerin davranışına göre uygun modeller kullanılmıştır. Suyun nişasta granüllerinin içine girişinin, granülün şişme oranını artıracağı bulunmuştur. AM/AP oranı ile granülün şişme hızı arasındaki ters orantı ortaya

konulmuştur. Yani sistem pik noktasına, amiloz yüzdesi azaldıkça daha hızlı ulaşmaktadır ve bununla birlikte granülün, yapıya daha fazla su girişinin olacağı da görülmektedir.

Aktivasyon enerjisi verilerinde ise aynı sıcaklık artış hızında ve farklı karıştırma hızlarında 50 rpm 'den 250 rpm'e doğru dramatik derecede düşüş kaydedilmiştir. Ancak aynı karıştırma hızında ama farklı karıştırma hızlarında ise bu dramatik düşüş görülmemektedir. Elde edilen jellerde retrogradasyonun daha az olması isteniyorsa daha yüksek karıştırma hızı tercih edilebilir. Nişasta karışımlarında ise beklenildiği gibi amiloz yüzdesi azaldıkça aktivasyon enerjisi de azalmaktadır. % sineresis değerlerinin de benzer eğilim göstermesi retrogradasyonun uygun model kullanımıyla amiloz içeriği ile olan bağıntısının ortaya konulacağını göstermektedir. Yüksek amiloz içeren nişastada diğer nişastalar göre farklı bir durum gözlenmiştir. Jelleşme eğrisinin dört kısma ayrılıp modellemesiyle uyum göstermemektedir. Tezin ilk aşamasında yapılan çalışmada jelleşme sıcaklığının normal ve mumsu nişastaya göre dramatik derecede yüksek çıkması aslında karıştırma hızına karşı bu direncin oluştuğunun da başka bir ispatıdır. Bununla birlikte yüksek amiloz nişastasının modellemesinde ilk kısımdaki R değerlerinin özellikle 2,5 °C/dk ve 5 °C/dk sıcaklık artış hızlarında diğer nişastalara göre oldukça fazla çıkmıştır. Yani proses koşullarına göre en yüksek direncin yüksek amiloz nişastada olacağı anlaşılmaktadır. Karıştırma hızı artıkça da proses koşullarına karışı oluşan direnç azalmaya başlamaktadır. Bununla birlikte jel viskozitesi diğer nişastalara göre oldukça düşük seyretmektedir.

Bu araştırmada elde edilen bulgular ışığında, farklı proses koşullarında elde edilen nişastaların jelleşme özellikleri incelenerek son üründe olması istenen özelliklere göre nişasta seçimi yapılıp buna uygun proses koşulu sağlanabilir. Ekstrüde edilmiş ürünlerde, kaplama amaçlı veya dondurulmuş ürünlerde kullanımında nişastanın jelleşme davranışının bilinmesi avantaj sağlayacaktır. Buna ek olarak üründe olası proses problemlerinin de ortadan kaldırılmasına yardımcı olacaktır.

Bu çalışmada sadece farklı AM/AP içeren mısır nişastası örnekleriyle çalışılmıştır. Farklı botanik kaynaklı nişastalarla ya da çeşitli hidrokolloidlerle karıştırılarak çalışmalar ilerletilebilir [35]. Buna ek olarak farklı karıştırma hızı ve sıcaklık artış hızları denenebilir. Bu çalışmada bu iki önemli proses faktörlerinden üç tane değer seçilmiştir. Bir diğer

önemli proses faktörü olan basıncın jelleşme özelliklerine etkisi yüksek basınç reometresi kullanılarak ortaya konulabilir [52]. Jelleşme özellikleri üzerinde etken olan amiloz içeriği dışında diğer iç yapısıyla ilgili faktörler de ortaya konulabilir. Amilopektin zincirindeki dallanmaların uzunluğunun da bu noktada önemli bir faktör olduğu bilinmektedir.

KAYNAKLAR

[1] Cornuejols, D., (2010). "Starch:A Structural Mystery", Science in School, 11:70-76.

[2] Bertoft, E., (2017). "Understanding Starch Structure: Recent Progress", Agronomy, 7:56-72.

[3] Ölçer, H. ve Akın, B., (2008). "Starch: Biosynthesis, Granule Structure and Genetic Modifications", Dergipark, 40:63-67.

[4] Yuryev, V.P., Tomasik P. ve Bertoft E., (2006). Starch: Achievements in Understanding of Structure and Functionality, First Edition, Nova Science, New York.

[5] Tako, M., Tamakil, Y., Teruyal, T. ve Takeda, Y., (2014). "The Principles of Starch Gelatinization and Retrogradation", Food and Nutrition Sciences, 5:280-291.

[6] Thomas, D.J. ve Atwell, W.A., (1999). Starches: Practical Guides For The Food Industry, Fifth Edition, Eagan Press Handbook Series Eagan Press. St. Paul, Minnesota, USA.

[7] Palabıyık, I.,Toker, O.S.,Karaman, S. ve Yıldız, O., (2017). "A Modeling Approach in the Interpretation of Starch Pasting Properties", Journal of Cereal Science, 74: 272-278.

[8] Kesarwani, A., Chiang, P.Y. ve Chen, S.S., (2016). "Rapid Visco Analyzer Measurements of Japonica Rice Cultivars to Study Interrelationship Between Pasting Properties and Farming System", International Journal of Agnonomy, 6: 53-59.

[9] Perten Inst., Rapid Visco Analyser, www.perten.com/Products/Rapid-Visco-Analyser-RVA/, 20 Aralık 2018.

[10] Chen, J., (1990). Effects of Amylose and Amylopectin on the Functional Properties of Starch, Yüksek Lisans Tezi, Iowa State University, Ames, Iowa.

[11] Ratnayake,W.S., Hoover,R. ve Warkentin, T., (2002). "Pea Starch:Composition, Structure and Properties", Starch-Starke, 54(6):217-234.

[12] Hegenbart, S., (1996). Understanding Starch Functionality, www.naturalproductsinsider.com/foods/understanding-starch functionality, 20 Mart 2018.

[13] Ali, A., Wani, T.A., Wani, I.A. ve Masoodi, F.A., (2016). "Comparative Study of the Physico-chemical Properties of Rice and Corn Starches Grown in Indian Temperate Climate", Saudi Society of Agricultural Sciences, 15:75–82.

[14] Doğan, S.İ., (2000). "Gıda Sanayisinde Hızlı Viskozite Test Cihazının Kullanımı", Dergipark, 25(6):429-434.

[15] Eriksson, J., (2012). Barley Starch, Structure and Properties, Yüksek Lisans Tezi, Swedish University and Agricultural Sciences, Uppsala.

[16] Sasaki, T., (2005)."Effect of Wheat Starch Characteristics on the Gelatinization, Retrogradation and Gelation Properties", JARQ, 39:253-260.

[17] Suh, S.D. ve Jane, J.L., (2003). "Comparison of Starch Pasting Properties at Various Cooking Conditions Using the Micro Visco-Amylo-Graph and the Rapid Visco Analyser", Journal of Cereal Chemistry, 80:745-749.

[18] Saunders, J., Izydorczyk, M. ve Levin, D.B., (2011). Limitations and Challenges for Wheat-Based Bioethanol Production, Economic Effects of Biofuel Production,http://intechopen.com/books/economiceffectsofbiofuelproduction/limit-and challenges-for-wheat-based-bioethanol-production, 06 Haziran 2018.

[19] Park, I.M., Ibanez, A.M., Zhong, F. ve Shoemaker, C.F., (2007). "Gelatinization and Pasting Properties of Waxy and Non-waxy Rice Starches", Starch-Starke, 59:388-396.

[20] Ward, K.E.J., Hoseney, R.C. ve Seib, P.A., (1994). "Retrogradation of Amylopectin from Maize and Wheat Starches", Journal of Cereal Chemistry, 71:150-155.

[21] Juhasz, R. ve Salgo, A., (2008)."Pasting Behavior of Amylose, Amylopectin and Their Mixtures as Determined by RVA Curves and First Derivatives", Starch/Starke, 60:70-78.

[22] Hoover, R. ve Ratnayake, W.S., (2001). "Determination of Total Amylose Content of Starch", Current Protocols in Food Analytical Chemistry, 13: 231-235.

[23] Kaur, M., Sandhu K.S. ve Lim, S., (2010)."Microstructure, Physicochemical Properties and in Vitro Digestibility of Starches from Different Indian Lentil (Lentil culinaris) Cultivars", Carbohydrate Polymers, 79: 349-355.

[24] Dogan. S.İ. ve Yusuf. Y., (2015). "Glutensiz Ekmek Karışımların Kalite ve Bileşenler Yönünden Değerlendirilmesi", Dergipark, 40(6):335-342.

[25] Jane, J.L. ve Chen, J.F., (1992). "Effect of Amylose Molecular-Size and Amylopectin Chain-Length on Paste Properties of Starch", Journal of Cereal Chemistry, 69(1):60-65.

[26] Sulaiman, R., (2011). Estimation of Kinetics Parameters in a Corn Starch Viscosity Model at Different Amylose Contents, Doktora Tezi, Michigan Eyaleti Üniversitesi Gıda Bilimi, Michigan.

[27] Dobbing, J., (1989). Dietary Starches and Sugars in Man: A Comparison, First Edition, Springer-Verlag, London.

[28] Alexander, R.J., (1995). "Potato Starch - New Prospects for an Old Product", Cereal Foods World, 40(10):763-764.

[29] Yuryev, V.P., Cesaro, A. ve Bergthaller, W.J., (2003). Book Starch and Starch Containing Origins: Structure, Properties and New Technologies, Nova Science, New York.

[30] Jane, J.L., Chen, M., Lee, L.F., McPherson, A.E., Wong, K.S., Radosavljevic, M. ve Kasemsuwan, T., (1999). "Effects of Amylopectin Branch Chain Length and Amylose Content on the Gelatinization and Pasting Properties of Starch", Journal of Cereal Chemistry, 76(5):629-637.

[31] Yang, X., Yang, T., Zhou, Y., Yin, S., Li, P., Liu, J., Xu, S., Yang, Z. ve Xu, C., (2018). "Genome-Wide Association Mapping of Starch Pasting Properties in Maize Using Single-Locus and Multi-Locus Models", Frontiers, 10: 33-89.

[32] Song, C. G., Baik M. Y. ve Kim, B.Y., (2013). "Rheological Properties of Native Mand Acetylated Maize Starches, the Development of Food Products", Springer, 56:63-68.

[33] Alishahi, A., Farahnayk, A., Majzoobi, M. ve Blanchard. C.L., (2014). "Physicochemical and Textural Properties of Corn Starch Gels: Effect of Mixing Speed and Time", Food Hydrocolloids, 45:55-62.

[34] Karim, A.A., Norziah, M. H. ve Scow, C.C., (2000). "Methods For the Study of Starch Retrogradation", Journal of Food Chemistry, 71:9-39.

[35] Yu, Z., Wang, Y.S., Chen, H.H., Li, Q.Q. ve Wang, Q., (2018). "The Gelatinization and Retrogradation Properties of Wheat Starch with the Addition of Stearic Acid and Sodium Alginate", Food Hydrocolloids, 81:77-86.

[36] Gudmundsson, M., (1994). "Retrogradation of Starch and the Role of its Components", Thermochimica Acta, 246:329–341.

[37] Zhang, B., Pan, Y., Bai, B., Cheng, J.S. ve Chen, H.Q., (2018). "Effects of Pectin with Different Molecular Weight on Gelatinization Behavior, Textural Properties Retrogradation and in Vitro Digestibility of Corn Starch", Journal of Food Chemistry, 264: 58-63.

[38] Varavinit, S., Anuntavuttikul, S. ve Shobsngob, S., (2000). "Influence of Freezing and Thawing Techniques in Stability of Sago and Tapioca Starch", Starch/Starke, 52:214-217.

[39] Landerito, N.A. ve Wang, Y., (2005). "Preparation and Properties of Starch Phosphates Using Waxy, Common, and High-Amylose Corn Starches. II. Reactive Extrusion Method", Journal of Cereal Chemistry, 82:271-276.

[40] Perdon, A.A., Siebenmorgen, T.J., Buescher, R.W. ve Gbur,E.E.,(1999). "Starch Retrogradation and Texture of Cooked Milled Rice During Storage", Journal of Food Science, 64:828–832.

[41] Zeng, J., Gao, H. ve Li, G., (2014)."Functional Properties of Wheat Starch with Different Particle Size Distribution", Science of Food and Agriculture, 94(1):61-86.

[42] Chang, Y., Lim, S. T. ve Yoo, B., (2004). "Dynamic Rheology of Corn Starch Sugar Composite", Journal of Food Engineering, 64(4):521-527.

[43] Gökşen, G. ve Ekiz, İ.H., (2018). "Pasting and Gel Texture Properties of Starch-Molasses Combinations", Journal of Food Science Technology, 10:60-84.

[44] Tang, X.J., Liu, N., Huang, W.N., Cheng, X.Y., Wang, F., Zhang, B.L., Chen, J.F., Jiang, H., Omedi, J.O. ve Li, Z.B., (2018). "Syneresis Rate, Water Distribution, and Microstructure of Wheat Starch Gel During Freeze-thaw Process", Journal of Cereal Chemistry, 95:117-129.

[45] Lin, J., Liang, C.W. ve Chang, Y.H., (2016). "Effect of Starch Source on Gel Properties of Kappa-Carrageenan Starch Dispersions", Food Hydrocolloids, 60:509-515.

[46] Farahnaky, A., Alishahi, A., Majzoobi, M. ve Al-hakkak, J., (2014). "Effect of Mixing Speed and Time on Some Textural and Physicochemical Properties of Wheat Starch Gels", Food Engineering, 142: 138-145.

[47] Li, S., Zhang, Y., Wei, Y., Zhang, W. ve Zhang, B., (2014). "Thermal, Pasting and Gel Textural Properties of Commercial Starches from Different Botanical Sources", Journal of Bioprocessing & Biotechniques, 4: 161-173.

[48] Kou, X.R., Luo, D.L., Li, Y., Xu, B.C., Zhang, K.Y., Li, P.Y., Li, X., Han, S.H. ve Liu, J.X., (2018). "Effect of Inulin with Different Degree of Polymerisation on Textural and Rheological Properties of Wheat Starch Effect of Inulin on Gel Properties of Starch", Journal of Food Science and Technology , 53: 2576-2585.

[49] Farro, P. C., Menegalli, F. C ve Sobral, J. P., (2014). "Comparison of Starch Pasting and Retrogradation Properties of Quino, Rice, Potato, Cassava, Wheat and Corn Starch", 2nd Mercosur Congress, 2-4 December 2014, Brazil.

[50] Miles, M. J., Morris, V. J., Orford, R. D. ve Ring, S. G., (1985). "The Roles of Amylose and Amylopectin in the Gelatin and Retrogradation of Starch", Carbonhydrate Research, 135: 271-281.

[51] Yang, Q., Zhang, P., Ou, Y., Gao, X., Liang, J., Yang, P. ve Feng, B., (2018). "Comparison of Physicochemical Properties and Cooking Edibility of Waxy and Non-waxy Proso Millet", Journal of Food Chemistry, 257:271-278.

[52] Ji, Z., Yu, L., Liu, H., Bao, X., Wang, Y. ve Chen, L., (2017). "Effect of Pressure with Shear Stress on Gelatinization of Starches with Different Amylose/Amylopectin Ratios", Food Hydrocolloids, 72: 331-337.

[53] Sulaiman, R. ve Dolan, K. D., (2013). “Effect of Amylose Content on Estimated Kinetic Parameters For a Starch Viscosity Model”, Journal of Food Engineering, 114: 75-82.

[54] Zheng, G. H. ve Sosulski, F. W., (1998).“Determination of Water Separation from Cooked Starch and Flour Pastes after Refrigeration and Freeze-thaw”, Journal of Food Science, 63:134-139.

[55] Markusse, Deli., Marcel, N.R., Aboubakar, X., Nicolas, N.Y., Joel, S. ve Moses, M.F., (2018). “Production, Physicochemical and Sensory Characterization of Cocoyam mixed Flours and Pastes ”, Food Measurement and Characterization, 12: 1242-1252.

[56] Lagarrigue, S. ve Alvarez, G., (2001). “ The Rheology of Starch Dispersions at High Temperatures and High Shear Rates”, Journal of Food Engineering, 50: 189-202.

[57] Sulaiman, R., Dolan, K. D. ve Mishra, D. K., (2013). “Simultaneous and Sequential Estimation of Kinetic Parameters in a Starch Viscosity Model”, Journal of Food Engineering, 114: 313-322.

[58] Arslan, E., Yener, M.E. ve Esin, A., (2005). “Rheological Characterization of Tahin/Pekmez Sesame Paste/Concentrated Grape Juice Blends”, Journal of Food Engineering, 69:167-172.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı :Burcu KARAKELLE

Doğum Tarihi ve Yeri :16.02.1990, Trabzon

Yabancı Dili :İngilizce

E-posta :burcu.karakelle@hotmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Yüksek Lisans	Gıda Mühendisliği	Yıldız Teknik Üniversitesi	2019
Lisans	Gıda Mühendisliği	Orta Doğu Teknik Üniversitesi	2014
Lise	Sayısal	Yeşilköy Anadolu Lisesi	2008

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Kurum	Görevi
2016-Devam	Milli Eğitim Bakanlığı	Gıda Teknolojisi Öğretmeni

YAYINLARI

Bildiri

1. Karakelle, B. ve Toker, O.S., (2018). “Pasting Properties of High Amylose Starch at Various Cooking Conditions ”, The International Symposium on Food Rheology and Texture, 19-21 October 2018, İstanbul.