

**Pirinç-Mısır Bazlı Glütensiz Makarnaların
Viskoelastik Özellikleri**

**Gaziantep Üniversitesi
Kimya Bölümü
Yüksek Lisans Tezi**

**Danışmanlar
Doç.Dr. Emine Elçin EMRE
Prof.Dr. Ahmet KAYA**

**Dilek BÜYÜKBEŞE
Nisan 2008**

GAZİANTEP ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
KİMYA ANA BİLİM DALI

Tezin Adı : Pirinç-Mısır Bazlı Glütensiz Makarnaların Viskoelastik Özellikleri
Öğrencinin, Adı Soyadı : Dilek Büyükbeşe
Tez Savunma Tarihi : 15.04.2008

Prof.Dr. Sadettin ÖZYAZICI
FBE Müdürü

Bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak gerekli şartları sağladığını onaylarım.

Prof.Dr. Hasan KARAMAN
Enstitü ABD Başkanı

Bu tez tarafımca (tarafımızca) okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans olarak kabul edilmiştir.

Doç.Dr. Emine Elçin EMRE Prof.Dr. Ahmet KAYA
Tez Danışmanları

Bu tez tarafımızca okunmuş, kapsam ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri:

(Ünvanı, Adı ve SOYADI)

İmzası

Prof.Dr. Hasan KARAMAN (Başkan)

Doç.Dr. Emine Elçin EMRE

Yrd.Doç.Dr. A. Coşkun DALDIÇ

Yrd.Doç.Dr. Ayşegül İYİDOĞAN

Yrd.Doç.Dr. Çiğdem SOYSAL

ÖZET
PİRİNÇ-MISIR BAZLI GLÜTENSİZ MAKARNALARIN VİSKOELASTİK
ÖZELLİKLERİ

Dilek BÜYÜKBEŞE

Yüksek Lisans tezi, Kimya Bölümü

Tez Danışmanları: Doç.Dr. Emine Elçin EMRE

Prof.Dr. Ahmet KAYA

Nisan 2008, 94 sayfa

Çölyak hastalık oranı gelişmiş teşhislere rağmen gittikçe artmakta ve yeme alışkanlıklarını değiştirmektedir. Günümüzde, yüksek kaliteli glütensiz ürünlere karşı büyük bir talep oluşturmaktadır. Glütenin makarnaya güçlü bir ağ yapısı vermesi ve pişirme sırasında dağılmayı engellemesi nedeniyle, glütensiz makarna üretmek zordur. Polisakkaritlerin özelliklerinden dolayı, hidrokolloidlerin hamura eklenmesinin, hamurun viskoelastik özelliğini geliştirmesi beklenir. Hidrokolloidlerin, glütensiz hamurun reolojik özellikleri üzerine etkisi onların molekül yapılarıyla ilgilidir.

Glütensiz formülasyonlu hamur reolojisinde proteinler ve hidrokolloidlerin etkisi % 60, 80 ve 100 jelatinize pirinç unu temel alınarak araştırıldı. Karboksi metil selüloz (KMS), ksantan gam (XG), guar gam (GG), karagenan gam (KG), keçi boynuzu gamı (KBG), kazein proteini ve yumurta akı içeren % 2 g/g hidrokolloidler ve

proteinler eklendi. Hamurların reolojik davranış çalışması Dinamik Mekanik Analiz Cihazı (DMA) ve Tekstür Analiz cihazıyla yapıldı. Hamurun deformasyona karşı direnci ve elastikliğini sürünme-geri kazanım ve dinamik viskoelastik ölçümleriyle belirlendi ve sonuçlar Burger denklemiyle modellendi. Eklenen hidrokolloidler arasında en düşük sürünme komplians değerlerini ksantan ve KMS gamlarının gösterdiği bulundu. Sürünme kompliansın elastik kısmının en yüksek değerleriyle kanıtlandığı gibi en büyük elastik özellikleri gösterdiler. Mısır-pirinç ve pirinç hamurunun elastik davranışı kazein eklendiğinde artmıştır.

Anahtar kelimeler: Mısır, pirinç, sürünme-kompliansı, DMA (dinamik mekanik analiz cihazı, glutensiz makarna, hidrokolloid, protein.

ABSTRACT
VISCOELASTIC PROPERTIES OF RICE-CORN BASED GLUTEN-FREE
PASTA PRODUCTS

Dilek BÜYÜKBEŞE

M.Sc. in Chemistry Department

Supervisors: Assoc.Prof.Dr. Emine Elçin EMRE

Prof.Dr. Ahmet KAYA

April 2008, 94 pages

The incidences of celiac disease are increasing largely due to improved diagnostic procedures and changes in eating habits. Currently, this creates a high demand for high quality gluten-free products, such as gluten-free pasta. Preparation of gluten-free pasta is difficult, as the gluten contributes to a strong protein network that prevents dissolution of the pasta during cooking. Improvement of viscoelastic properties of doughs by incorporation of hydrocolloids to doughs is expected because of the enhanced viscoelastic properties of the polysaccharides. The effect of hydrocolloids on rheological properties of gluten-free dough is related to their molecular structure.

The effect of hydrocolloids and proteins on dough rheology in gluten-free formulations based on 60, 80 and 100 % gelatinized rice flour were investigated. Hydrocolloids and proteins added at 2% w/w were carboxymethylcellulose (CMC), xanthan gum (XG), guar gum (GG), carrageenan gum (CG), locust bean gum (LBG), casein protein and egg-white. The study on rheological behavior of doughs were performed by Dynamic Mechanical Analyzer (DMA) and Texture Analyzer. The elasticity and resistance to deformation of dough were determined by creep-recovery and dynamic viscoelastic measurements, and the results were modelled by Burger

equation. It was found that xanthan and CMC exhibited the lowest creep compliance values among the added hydrocolloids. They showed the most enhanced elastic properties as evidenced by the highest values of elastic portion of creep compliance. Incorporation of casein increased the elastic behavior of the rice and corn-rice dough.

Key Words: Corn, rice, creep-compliance, DMA (dynamic mechanical analyzer), gluten-free pasta, hydrocolloid, protein

TEŞEKKÜR

Araştırmalarım süresince bana sabır gösterip, her adımında bana ışık tutarak yol gösteren, cesaretlendiren ve manevi destek veren Prof.Dr. Ahmet KAYA'ya ve çalışmalarındaki desteğinden dolayı Doç.Dr. Emine Elçin EMRE'ye çok teşekkür ederim.

Gaziantep Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümü'ne, ayrıca bilimsel ve teknolojik araştırmalara finansal desteği nedeniyle TÜBİTAK gurubuna teşekkürlerimi sunarım.

Yaşamım boyunca benden maddi ve manevi yardımlarını esirgemeyen aileme tüm kalbimle minnettarım.

İÇİNDEKİLER LİSTESİ

ÖZET	ii
ABSTRACT	iv
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER LİSTESİ	vii
ŞEKİL LİSTESİ	x
TABLO LİSTESİ.....	xiii
SİMGELER ve KISALTMALAR LİSTESİ	xvi

1. GİRİŞ	1
1.1. Pirinç	4
1.2. Mısır	5
1.3. Makarna üretimi.....	6
1.3.1. Hammadde	7
1.3.2. Karıştırma	7
1.3.3. Ekstrüzyon	7
1.3.4. Kurutma	8
1.4. Nişasta jelatinizasyonu	8
1.5. Proteinler	11
1.5.1. Kazein	11
1.5.2. Yumurta akı.....	12
1.6. Hidrokolloidler (Gamlar).....	12
1.6.1. Guar gam (GG).....	14
1.6.2. Karboksimetil selüloz (KMS)	16
1.6.3. Ksantan gam (XG).....	18
1.6.4. Karagenan gamı (KG).....	20
1.6.5. Keçiyoynuzu gamı (KBG)	22
1.7. Gliserin mono stearat (GMS).....	22
1.8. Reoloji	23

1.8.1. Statik testler.....	25
a- Sürünme ve geri kazanım testleri.....	25
b- Germe gevşeme testi	27
1.8.2. Dinamik testler	27
1.8.3. Dinamik Mekanik Analiz (DMA)	29
1.8.4. Matematiksel modelleme	32
a-Sürünme kompliansı.....	33
b-Germe-gevşeme	35
1.9. Tekstür profil analizi (TPA)	36
1.10. Amaç	37
 2. MATERYAL ve METOT	 38
2.1. Materyal.....	38
2.1.1. Hammadde	38
2.1.2. Kimyasallar	38
2.2. Yöntem	38
2.2.1. Jelatinizasyon	38
2.2.2. Jelatinize irmik, gam, protein ve emülgatör karışımlarının hazırlanması.....	39
2.2.3. Numune hazırlama.....	41
2.2.4. Makarna üretimi	41
2.3. Analizler	41
2.3.1. Nem miktarı	41
2.3.2. Protein miktarı.....	41
2.3.3. Nem alma kapasitesi.....	41
2.3.4. Pişme kaybı	42
2.3.5. Renk ölçümü	42
2.3.6. Termal analiz.....	42
2.3.7. Reometre ölçümleri	43
2.3.8. DMA ölçümleri	43
2.3.9. Tekstür ölçümleri	43
2.3.9.1. Sürünme testi	43
2.3.9.2. Tekstür profil analizi (TPA)	44

3. BULGULAR ve TARTIŞMA	45
3.1. Termal analiz	45
3.2. Nem tutma kapasitesi	47
3.3. Reolojik ölçümler ve renk analizi	50
3.3.1. Jelatinize pirinç karışımları.....	50
3.3.1.1 % 60 Jelatinize pirinç	54
3.3.1.2 % 80 ve % 100 Jelatinize pirinç	63
3.3.2. Jelatinize mısır ve pirinç karışımları	71
3.4. Glütensiz ürünlerin Tekstür profil analizi (TPA) ve pişme kaybı	75
3.5 Glütensiz ürünlerin renk değerleri	77
4. SONUÇ	80
KAYNAKLAR.....	81
EKLER.....	92

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1 Guar gamın kimyasal yapısı	15
Şekil 1.2 Karboksimetil selüloz.....	16
Şekil 1.3 Ksantan gamı	18
Şekil 1.4 Karagenan gam çeşitlerinin tekrarlanan birimleri.....	21
Şekil 1.5 Keçi boynuzu gamı	22
Şekil 1.6 Gliserin mono stearat ve çeşitleri.....	23
Şekil 1.7 Reolojik davranışların sınıflandırması	25
Şekil 1.8 Sürünme ve geri kazanım test grafiği.....	26
Şekil 1.9 Dinamik salınım test grafikleri	29
Şekil 1.10 Elastik davranışı simgeleyen (a) Hooke cismi-yay ve viskoz davranışı gösteren (b) Newton cismi-yag kutusu.....	32
Şekil 1.11 Viskoelastik modeller (a) Maxwell modeli (b) Kelvin modeli.....	33
Şekil 1.12 Dört elemanlı Burgers modeli.....	34
Şekil 1.13 Sürünme-geri kazanım komplians sonuçlarının Burgers denklemi ile modellenmesi	35
Şekil 1.14 Tekstür profil analiz grafiği	37
Şekil 3.1 Farklı jelatinize derecelerindeki pirinç irmiklerinin nem tutma kapasiteleri (20°C).....	49
Şekil 3.2 Farklı jelatinize derecelerindeki mısır irmiklerinin nem tutma kapasiteleri (20°C).....	50
Şekil 3.3 % 60, 80 ve 100 jelatinize pirinçlerin zamana göre komplians değerleri değişimi (25°C).....	52
Şekil 3.4 % 60, 80 ve 100 jelatinize pirinçlerin elastik modül değerlerinin frekansla değişimi (25°C).....	52
Şekil 3.5 % 60, 80 ve 100 jelatinize pirinçlerin zamana göre sürünme komplians değerleri değişimi (25°C).....	53

Şekil 3.6 % 60 jelatinize pirinç ve gam karışımlarının zamana göre	
komplians değerleri değişimi (25°C)	54
Şekil 3.7 % 60 jelatinize pirinç ve protein karışımlarının zamana göre	
komplians değerleri değişimi (25°C)	56
Şekil 3.8 % 60 jelatinize pirinç, kazein ve gam karışımlarının zamana göre	
komplians değerleri değişimi (25°C)	58
Şekil 3.9 % 60 jelatinize pirinç, yumurta akı ve gam karışımlarının zamana göre	
komplians değerleri değişimi (25°C)	59
Şekil 3.10 % 60 jelatinize pirinç, kazein, gam ve gliserin mono stearat karışımlarının	
zamana göre komplians değerleri değişimi (25°C)	61
Şekil 3.11 % 60 jelatinize pirinç, kazein, gam ve gliserin mono stearat karışımlarının	
elastik modül değerlerinin frekansla değişimi (25°C)	62
Şekil 3.12 % 60 jelatinize pirinç, kazein, gam ve gliserin mono stearat karışımlarının	
sürünme komplians değerlerinin zamanla değişimi (25°C)	62
Şekil 3.13 % 80 jelatinize pirinç ve gam karışımlarının zamana göre	
komplians değerleri değişimi (25°C)	64
Şekil 3.14 % 100 jelatinize pirinç ve gam karışımlarının zamana göre	
komplians değerleri değişimi (25°C)	65
Şekil 3.15 % 80 jelatinize pirinç, kazein ve gam karışımlarının zamana göre	
komplians değerleri değişimi (25°C)	66
Şekil 3.16 % 100 jelatinize pirinç, kazein ve gam karışımlarının zamana göre	
komplians değerleri değişimi (25°C)	66
Şekil 3.17 % 80 jelatinize pirinç, kazein, gam ve gliserin mono stearat karışımlarının	
zamana göre komplians değerleri değişimi (25°C)	67
Şekil 3.18 % 100 jelatinize pirinç, kazein, gam ve gliserin mono stearat	
karışımlarının zamana göre komplians değerleri değişimi (25°C)	68
Şekil 3.19 % 80 jelatinize pirinç, kazein, gam ve gliserin mono stearat karışımlarının	
elastik modül değerlerinin frekansla değişimi (25°C)	68
Şekil 3.20 % 100 jelatinize pirinç, kazein, gam ve gliserin mono stearat	
karışımlarının elastik modül değerlerinin frekansla değişimi (25°C)	69
Şekil 3.21 % 80 jelatinize pirinç, kazein, gam ve gliserin mono stearat karışımlarının	
sürünme komplians değerlerinin zamanla değişimi (25°C)	69

Şekil 3.22 % 100 jelatinize pirinç, kazein, gam ve gliserin mono stearat karışımlarının sürünme kompians değerlerinin zamanla değişimi (25°C)	70
Şekil 3.23 Jelatinize mısır ve pirinç karışımlarının zamana göre kompians değerleri değişimi (25°C).....	72
Şekil 3.24 Jelatinize mısır, pirinç ve gam karışımlarının zamana göre kompians değerleri değişimi (25°C).....	73
Şekil 3.25 Jelatinize mısır, pirinç, protein ve gam karışımlarının zamana göre kompians değerleri değişimi (25°C).....	74
Şekil 3.26 Jelatinize mısır, pirinç, kazein, gam ve gliserin mono stearat karışımlarının zamana göre kompians değerleri değişimi (25°C)	75
Şekil 3.27 Tek vidalı ekstrüderde üretilen pirinç ve mısır-pirinç karışımı spagetti tipi makarnalar.....	79

TABLO LİSTESİ

Tablo 1.1 Nişastaların jelatinizasyon sıcaklıkları.....	10
Tablo 2.1 % 60, % 80 ve % 100 JP'lerin gam, protein ve emülgatörler ile karışım oranları.....	39
Tablo 2.2 JM/JP'lerin gam, protein ve emülgatörler ile karışım oranları.....	40
Tablo 3.1 İrmik örneklerinin başlangıç kalite değerleri.....	45
Tablo 3.2 Farklı metotlarla jelatinize edilmiş pirinç irmiklerinin termal özellikleri	46
Tablo 3.3 Farklı metotlarla jelatinize edilmiş mısır irmiklerinin termal özellikleri	46
Tablo 3.4 Pirinç irmikleri nem tutma kapasitelerinin Peleg ve Arrhenius parametreleri	48
Tablo 3.5 Mısır irmikleri nem tutma kapasitelerinin Peleg ve Arrhenius parametreleri	49
Tablo 3.6 Jelatinizasyon derecesinin sürünme-geri kazanım parametreleri üzerine etkisi	53
Tablo 3.7 Jelatinizasyon derecesinin renk değerleri üzerine etkisi	53
Tablo 3.8 Gamların % 60 jelatinize pirinç örneklerinin sürünme-geri kazanım parametreleri üzerine etkisi.....	55
Tablo 3.9 Gamların % 60 jelatinize pirinç örneklerinin renk değerleri üzerine etkisi	55
Tablo 3.10 Proteinlerin % 60 jelatinize pirinç örneklerinin sürünme-geri kazanım parametreleri üzerine etkisi.....	57
Tablo 3.11 Proteinlerin % 60 jelatinize pirinç örneklerinin renk değerleri üzerine etkisi	57
Tablo 3.12 Kazein ve gam karışımlarının % 60 jelatinize pirinç örneklerinin sürünme-geri kazanım parametreleri üzerine etkisi	58

Tablo 3.13 Kazein ve gamların % 60 jelatinize pirinç örneklerinin renk değerleri üzerine etkisi	59
Tablo 3.14 Yumurta akı ve gam karışımlarının % 60 jelatinize pirinç örneklerinin sürünme-geri kazanım parametreleri üzerine etkisi	60
Tablo 3.15 Yumurta akı ve gamların % 60 jelatinize pirinç örneklerinin renk değerleri üzerine etkisi.....	60
Tablo 3.16 Kazein, gam ve gliserin mono stearat karışımlarının % 60 jelatinize pirinç örneklerinin sürünme-geri kazanım parametreleri üzerine etkisi.....	63
Tablo 3.17 Kazein, gam ve gliserin mono stearat karışımlarının % 60 jelatinize pirinç örneklerinin renk değerleri üzerine etkisi	63
Tablo 3.18 Gamların % 80 jelatinize pirinç örneklerinin sürünme-geri kazanım parametreleri üzerine etkisi.....	65
Tablo 3.19 Gamların % 100 jelatinize pirinç örneklerinin sürünme-geri kazanım parametreleri üzerine etkisi.....	65
Tablo 3.20 Kazein ve gam karışımlarının % 80 jelatinize pirinç örneklerinin sürünme-geri kazanım parametreleri üzerine etkisi	67
Tablo 3.21 Kazein ve gam karışımlarının % 100 jelatinize pirinç örneklerinin sürünme-geri kazanım parametreleri üzerine etkisi	67
Tablo 3.22 Kazein, gam ve gliserin mono stearat karışımlarının % 80 jelatinize pirinç örneklerinin sürünme-geri kazanım parametreleri üzerine etkisi.....	70
Tablo 3.23 Kazein, gam ve gliserin mono stearat karışımlarının % 100 jelatinize pirinç örneklerinin sürünme-geri kazanım parametreleri üzerine etkisi.....	70
Tablo 3.24 Kazein, gam ve gliserin mono stearat karışımlarının % 80 jelatinize pirinç örneklerinin renk değerleri üzerine etkisi	71
Tablo 3.25 Kazein, gam ve gliserin mono stearat karışımlarının % 100 jelatinize pirinç örneklerinin renk değerleri üzerine etkisi	71
Tablo 3.26 Jelatinize mısır ve pirinç karışımlarının sürünme-geri kazanım parametreleri	72
Tablo 3.27 Jelatinize mısır ve pirinç karışımlarının renk değerleri.....	72
Tablo 3.28 Gamların jelatinize mısır ve pirinç örneklerinin sürünme-geri kazanım parametreleri üzerine etkisi.....	73
Tablo 3.29 Gamların jelatinize mısır ve pirinç örneklerinin renk değerleri üzerine etkisi	73

Tablo 3.30 Kazein ve gam karışımlarının, jelatinize mısır ve pirinç örneklerinin sürünme-geri kazanım parametreleri üzerine etkisi	74
Tablo 3.31 Kazein ve gam karışımlarının, jelatinize mısır ve pirinç örneklerinin renk değerleri üzerine etkisi.....	74
Tablo 3.32 Kazein, gam ve gliserin mono stearat karışımlarının % 60 jelatinize pirinç örneklerinin sürünme-geri kazanım parametreleri üzerine etkisi.....	75
Tablo 3.33 Kazein, gam ve gliserin mono stearat karışımlarının jelatinize mısır ve pirinç örneklerinin renk değerleri üzerine etkisi	75
Tablo 3.34 % 60, 80 ve 100 jelatinize pirinç, protein, gam ve gliserin mono stearat karışımı ürünlerin TPA parametreleri	76
Tablo 3.35 Jelatinize mısır-pirinç, protein, gam ve gliserin mono stearat karışımı ürünlerin TPA parametreleri	77
Tablo 3.36 % 60, 80 ve 100 jelatinize pirinç, protein, gam ve gliserin mono stearat karışımı ürünlerin pişirme sırasında suya geçen madde miktarı.....	77
Tablo 3.37 Jelatinize mısır-pirinç, protein, gam ve gliserin mono stearat karışımı ürünlerin pişirme sırasında suya geçen madde miktarı.....	77
Tablo 3.38 % 60, 80 ve 100 jelatinize pirinç, protein, gam ve GMS karışımı ürünlerin renk değerleri	78
Tablo 3.39 Jelatinize mısır-pirinç, protein, gam ve GMS karışımı ürünlerin pişirme sırasında suya geçen madde miktarı.....	78

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

a^*	Kırmızılık
Δa^*	Kırmızılık değerin standart ve örnek arasındaki farkı
b^*	Sarılık
Δb^*	Sarılık değerin standart ve örnek arasındaki farkı
DATEM	Di-asetil tartarat ester monogliseriti
DMA	Dinamik mekanik analiz
DMRT	Dinamik mekanik reolojik testi
DS	Substasyon derecesi
DTK	Diferansiyel taramalı kalorimetre
E	Aktivasyon enerjisi (J/kg mol)
E_0	Ani elastik modül
E_1	Geciktirilmiş elastik modül
E'	Elastik modül (depolama)
E''	Viskoz modül (kayıp)
E^*	Kompleks kayma modülü
F	Kuvvet
F_n	Ani bozulma kuvveti
γ_0	Genlik büyüklüğü
τ_0	Gerilim genlik büyüklüğü
GG	Guar gam
GMS	Gliserin mono stearat
HPMS	Hidroksipropilmetil selüloz
ΔH	Geçiş entalpisi (J/g)
ΔH_s	İşlenmemiş irmiğin jelatinizasyon entalpisi (J/g)
ΔH_t	Farklı jelatinizasyon zamanlarında irmiğin entalpisi (J/g)
J	Sürünme kompliansı
J_0	Ani komplians
J_1	Gecikmiş elastik komplians

J_M	Maksimum sürünme komplians değeri
JM	Jelatinize edilmiş mısır irmiği
JP	Jelatinize edilmiş pirinç irmiği
J_R	Minimum geri kazanım komplians değeri
k_1, k_2	Sabit
K_0	Arrhenius katsayısı (% g/dak)
K_1	Peleg sabiti (dak / % g)
K_2	Peleg sabiti (1/ % g)
KBG	Keçiboynuzu Gamı
KG	Karagenan Gamı
KMS	Karboksimetil Selüloz
KZN	Kazein
L^*	Parlaklık
ΔL^*	Parlaklık değerinin standart ve örnek arasındaki farkı
λ	Geciktirme zamanı
λ_{ret}	Kelvin geciktirme zamanı
M	Jelatinize edilmemiş mısır irmiği
M_0	Başlangıç nem miktarı (% kuru ağırlık)
$M(t)$	Zamanla artan nem miktarı (% kuru ağırlık)
μ_0	Serbest deşpotun Newtonian viskozitesi
ω	Açısal frekans (radians/sn)
R	Evrensel gaz sabiti (kJ/kg mol K)
P	Jelatinize edilmemiş pirinç irmiği
σ	Gerilim (psi)
σ_0	Başlangıç gerilimi (psi)
t	Zaman (sn)
T	Sıcaklık (K)
$\tan \delta$	Faz açısı
TPA	Tekstür profil analizi
T_e	Bitiş sıcaklığı
T_0	Başlangıç sıcaklığı
T_p	Tepe sıcaklığı
T_r	Erime aralığı

δ	Faz değişimi
XA	Ksantan Gam
YA	Yumurta akı
YI	Sarılık indeksi

1 GİRİŞ

Günümüzde çalışan nüfusun artmasıyla birlikte, tüketiciler alışılmış beslenme alışkanlıklarını sürdürmenin yanı sıra mutfakta kalış süresini azaltan ürünlere yönelmektedirler. Ayrıca farklı tat, koku ve yapıya sahip olan yeni geliştirilmiş gıdalar tüketicinin ilgisini çekmekte ve bu tür ürünlerin üretimi ve tüketimi gün geçtikçe artmaktadır. Kolay hazırlanan besin maddelerinden birisi de makarnadır. Makarnanın da ekmek gibi çok uzun süredir kullanıldığı ve tarihinin milattan öncelere uzandığı bilinmektedir. Eski Roma, Arap ve Çin medeniyetlerinde makarna yapımında kullanılan aletlere rastlanmaktadır. Zaman içerisinde teknolojik gelişmelere paralel olarak modern ve farklı makarna çeşitleri de ortaya çıkmaya başlamaktadır. Türkçe’de makarna olarak anılsa da İtalya’da hamur işlerinin çoğu pasta adıyla tanımlanır.

Makarna önceleri evde yapılan bir besindi. Sanayileşme ile birlikte makinelerin sayısı da artınca besleyici özelliğiyle bilinen makarna fabrika üretiminde yerini aldı. Makarna, durum buğdayından elde edilen irmik, su ve bazı zenginleştirici maddelerin karıştırılması ve istenilen biçimler verilip kurutulması suretiyle elde edilen yarı hazır gıda maddesidir. Makarna, üretim miktarı ve beslenmedeki önemi bakımından en az ekmek kadar değerli bir besindir. Makarnanın uzun süre muhafaza edilebilmesi, çeşitliliği, kolayca hazırlanması, lezzeti, besleyici ve ekonomik bir gıda maddesi olması nedeniyle oldukça yaygın bir besindir.

Makarnanın üretildiği irmiğin kalitesi makarna kalitesini etkileyen en önemli faktördür. Geleneksel olarak, makarna üretimi için kullanılan durum buğday tanesinin fiziksel yapısı öğütülmeye uygun duruma getirilerek makarnalık buğday, irmiğe dönüştürülür. İrmik ve un arasında en temel fark glüten kalitesine dayanmaktadır.

Glüten, hamura viskoelastik yapıyı veren bir proteindir (Attenburrow vd., 1990; Hibberd ve Parker, 1975). Glüten; glütenin ve gliadin olmak üzere iki çeşit protein

içerir. Glütenin, glüten proteininin elastik yapısına katkı sağladığı, gliadinin de viskoz yapısına katkı sağladığı kabul edilir (Ciaffi vd., 1996; Mills vd., 1990; Wall, 1979). İrmikte bulunan glütenin zarı çok sıkı bir tel şeklinde örülmüş gibidir ve glüten değerinin yüksekliği makarnanın da kalitesini yükseltmektedir.

Glüten, gıda sanayinde kıvam verici, koyulaştırıcı ve yapıştırıcı katkı maddesi olarak kullanılan bir protein çeşididir. Glüten hamur içerisinde bir matriks oluşturur, bu matriks lif parçalarını ve nişasta granüllerini kuşatır (genişleyebilen, gerilmeye dirençli, karıştırmaya toleranslı ve gaz tutucu) ve hamurun önemli özelliklerinin belirleyicisidir.

Glüten; buğday, arpa, yulaf ve çavdar gibi tahılların içinde bulunur. Ancak, bir ince bağırsak alerjisi çeşidi olan Çölyak hastası kişilerin glüten içerikli gıdaları yemesi yasaktır. Çölyak (glüten intoleransı veya buğday alerjisi) hastalığına sahip kişiler glüten içeren gıda tükettiklerinde, bağışıklık sistemleri ince bağırsağa zarar vererek karşılık verir. Belirli bir biçimde, ince bağırsak zarında bulunan, villi olarak adlandırılan, küçük parmak benzeri çıkıntılar kaybolur. Besin öğeleri gıdalardan villi sayesinde kan dolaşımına emilirler. Villi olmaksızın, emilim gerçekleşmez ve yeterli beslenme sağlanamaz. Bunun sonucunda ise; vücudun bağışıklık sisteminde hasar olur ve çölyak hastalığı otoimmün bozukluk olarak kabul edilir. Bununla beraber, çölyak hastalığı absorpsiyon bozukluğu olarak da sınıflandırılır. Çünkü besin elementleri absorblanamamaktadır. Çölyak hastalığı, ayrıca çölyak psiloz, tropikal olmayan psiloz ve glüten-duyarlı enteropati olarak da bilinmektedir.

Yasak tahıllardan oluşan liste; buğday, çavdar, arpa ve yulaftan oluşmaktadır. Fakat değişik isimlerle adlandırılan birçok çeşitleri mevcuttur. Mısır da bir çeşit tahıldır ve çölyak hastalığı açısından ciddi bir risk değildir. Çölyak hastaları tarafından tolere edilebilmektedir. Mısırdaki yüksek seviyede prolin (% 18) içeren çapraz bağlı zein, yapı bakımından sert bir proteindir (Hoseney, 1994). Tahıllar içinde pirinç ise, diğerleri gibi sorun yaratmadığı için tercih edilen bir tahıldır. Çok düşük glüten seviyesine, düşük yağ, protein, lif, sodyum seviyelerine ve kolay bir şekilde sindirilebilen karbonhidratların yüksek bir miktarına sahip pirinç (*Oryza sativa*) glütensiz gıda ürünlerinde en sık şekilde buğdayın yerini alan madde olarak kullanılan hububatlarından birisidir (Sivaramakrishnan vd., 2004). Pirinç nişastaları

geniş ölçüde ve glütensiz pişmiş ürünlerin formülasyonunda potansiyel olarak kullanılabilir. Glütenin yokluğu, düşük sodyum seviyesi, sindirilebilirliğinin yüksek derecede olması ve özel diyetlerde istenilen karbonhidrat içermesi pirincin önemli özellikleridir (Eliasson ve Larsson, 1993).

Mısır ve pirinç bir yana, glütensiz diyetle kullanılan daha başka bir çok tahıl mevcuttur. Amarant karabuğday, nohut, mercimek, bezelye, sorghum, soya, topioca, teff ve yabani pirinç gibi tahıllar değirmende öğütülerek un haline getirilip kullanılabilir. Tam bir tedavi olmamakla birlikte, normal ve sağlıklı bir yaşam sürmek için glütensiz bir diyet yeterlidir. Bunun anlamı buğday, çavdar, arpa, yulaf ve diğer bazı tahıllardan kaçınmaktır. Eğer ihtiyaç hissediliyorsa ekstra vitaminler alınabilir. Son yıllarda glütensiz gıdalar üzerine daha çok çalışma yapılmaktadır.

Glüten makarna ürünlerine kuvvetli matriks sağlayan bir proteindir ve makarnanın pişirilmesi sırasında nişastanın fazla miktarda çözülmesini engelleyerek pişme kaybını azaltmaktadır. Aynı zamanda su tutma kapasitesi, hamura ve pişmiş makarnaya viskoelastik yapı vermesinden dolayı önemlidir. Glütensiz makarna hamuru hazırlanırken bilinen üretim yöntemlerinden farklı bir modifikasyon yapılması gerekmektedir.

Öncelikle glütensiz karışım hazırlanırken su tutma kapasitesinin artırılması için kısmi nişasta jelatinizasyonu yapılması önemlidir. Diğer önemli bir konu ise, hamur karışımı hazırlanırken, glütenin yerini alabilecek ve viskoelastik yapıyı tutabilecek nişastalar, hidrokolloidler, besinsel lifler, süt proteinleri, farklı tahıl ürünleri, monogliseridler gibi farklı katkı maddeleri eklenilmesidir. Hidroksi metil selüloz gibi gamlar ve hidrokolloidler buğday glütene tarafından genellikle sağlanan su absorblama ve gaz tutma özelliklerini geliştirebilir (Ylimaki vd., 1991; Cato vd., 2002).

Nişasta ve gamlar, tahıl bazlı gıda ürünlerine katılarak doku ve görünüş özelliklerini artırmak amacıyla yaygın olarak kullanılmaktadır (Cunin, 1999). Modifiye nişasta, XG ve KBG'ları kullanıldığında pastanın duyusal ve dokusal özelliklerinin arttığı ve buğday bazlı üretilen pasta özelliklerine benzer davranış gösterdiği araştırılmıştır (Huang, 2001). Ayrıca, glütensiz tahıl bazlı ürün karışımına farklı yağ kaynaklarının eklenmesi son ürünün dokusal özellikleri yönünden incelenmiştir.

Reolojik bilgi ürün geliřtirmede deęerlidir. Chun ve Yoo (2004) tarafından uygulanan çalıřmada pirinç unu daęılımı Casson akma geriliminin dūřuk būyūklükleri ile yūysek kayma incelmesi davranıřı gōstermiřtir. Sivaramakrishnan vd. (2004) hidroksi propil metil selūloz içeren pirinç hamurunun, pirinç ekmeęi yapımı için uygun olduęunu ve buęday unu hamuruyla benzer reolojik özelliklere sahip olduęunu bulmuřtur.

1.1 Pirinç

Pirinç tūm geliřen dūnya ūretim sektōründe önemli bir ūründür. Bařlıca pirinç ūreticileri in, Hindistan, Endonezya, Bangladeř, Vietnam ve Tayland'dır. Pirinç hububatlar arasında en dūřuk protein içerięine sahip (% 8-11) olanlardan birisidir. Hububat proteinlerinde lizin eksik olmasına raęmen, pirinç proteini en yūysek lizin içerięine sahip olanlardan birisidir. Pirinçte bulunan protein orizindir. Orizinin temel birimleri molekūl içi- ve molekūller arası- disūlfid baęlarının her ikisi tarafından baęlanılmasından oluřur (Lyon vd., 1999).

Pirinç unu özellikle glūten içermeyen makarna ūretimi için uygundur. Yine de, glūtenin olmaması pirinç ununun suyla karıřtırılmasından elde edilen hamura yapı kazandırma becerisine sahip bir teknolojik prosedūr gerektirir; bōylece, pirinçten elde edilen makarna piřirmeye dayanabilir ve yenildięinde yeterince esnektir.

Önceden jelatinleřtirilmiř pirinç unlarından makarna yapılması özel ekipmanlar gerektirir ve ūretim iřlemi normal makarna yapımından hiç farklı deęildir. Sadece niřasta esaslı unlardan ūretilen būtūn makarnalar için sōz konusu olduęu gibi, pirinç makarnası da taze olarak korunamaz ve kurutulması gerekir, fakat bu teknolojik ařama, protein yapısının daha az önemli olması ve her řeyden önce glūten içermemesi nedeniyle buęday makarnasının kurutulmasıyla karřılařtırıldıęında sōz konusu olduęu kadar kritik deęildir.

Endūstriyel ūretimde katkı maddeleri yaygın olarak kullanılır; jelatinleřtirilmiř niřastaların baęlayıcı kuvvetini arttıran yaęlı asit mono ve digliseritler gibi emūlsiyonlařtırıcılar bunlardan bazılarıdır. Bir ham maddenin sūrekli makarna

retimi için kurutucu da ve preslerde kolay işlenerek desteklenmesi gereklidir. Tatmin edici pirinç makarnası ürünü genellikle pürüzsüz ve uniform renktedir.

Yüksek amilozlu pirinç unundan yapılan pirinç makarnası, düşük amilozlu pirinç unundan yapılanaya göre daha iyi ekstrüzyon özelliklerine, daha iyi dokuya, daha beyaz renye, daha az pişirme kaybına ve daha iyi yeme kalitesine sahiptir.

Pirinç erite ürünleri, birçok doğu ülkesinde beslenmenin önemli bir parçası durumundadırlar. Erite benzeri ürünler yapmak için tek malzeme olarak pirinç kullanıldığında, bağlayıcı olarak işlev görmesi için nişastanın jelatinletirmesi gerekir; çünkü pirinç proteini bir bağlayıcı hamur yapısı yaratılmasında buğday glteninin ilevselliğinden yoksundur.

Kaynar suda piirildiğinde dağılmadan biçimini koruyabilmelidir ve pişirilen makarna herhangi bir yapışkan yüzey tabakası olmaksızın istikrarlı bir kıvama sahip olmalıdır. Pirinç rnlerinin işlenmesini ve/veya kalitesini geliştirmek için birçok katkı maddesinin kullanılmasına karşın, emlsiyonlaştırıcılar en genel kullanılan bileşenlerden biridir. Emlsiyonlaştırıcıların yağlı niteliği, onların ekstrüzyon işleminde bir yağlama maddesi gibi hareket etmelerini sağlamakta ve böylece nozıl yıpranması ve aşınması azalmakta ve üretim kolaylaşmaktadır. Bazı emlsiyonlaştırıcılar daha kararlı bir kıvam, daha az yapışkan yüzey ve pişirme sırasında daha iyi nişasta tutma özellikleri sağlarlar.

1.2 Mısır

Mısır, Türkiye’de buğday ve arpadan sonra en geniş ekim alanına sahip tahıldır. Mısır, hem insan beslenmesinde hem de hayvan yemi olarak kullanılan önemli bir bitkidir. Dünyada mısır yetiştiren ülkeler arasında ilk sırayı A.B.D. alır. in, Brezilya, Arjantin, Meksika ve Fransa da mısır üretiminde önde gelen ülkeler arasındadır. Yıllara göre değişmekle birlikte Dünya mısır üretiminin yaklaşık yarısı Amerika kıtasından sağlanmaktadır (şahin, 2001). Mısırdaki nişasta başlıca karbonhidratlar arasında olup tanenin % 72-73’n oluşturur (Watson ve Ramstad, 1991). Mısırın yaklaşık % 10-12’si zein proteindir. Zein hububatlarda spesifik şekilde oluşan

prolaminler olarak bilinen karakteristik protein sınıfına aittir. Zeinin tanımlanan özelliği; alkolün varlığı, ürenin yüksek konsantrasyonları, alkali (pH 11 veya yukarısı) veya anyonik deterjanların yüksek konsantrasyonları haricinde suda çözünmemesi yani hidrofobik olmasıdır. Bu lösün, pralin ve alanin gibi apolar amino asitler nedeniyledir.

Mısır unu yüksek yağ ve beta-karoten içeriği ile fırın ürünlerinde tat, lezzet ve renk oluşumunda etkilidir. Makarna ürünlerinin besin değerini artırmak amacıyla makarna formülüne ilave edilmektedir (Hummel, 1996). Mısırdan yapılan makarnaların tekstürünün oluşması için hidrotermik olarak 15–20 dk. muamele edilmesi gerekmektedir (Milatoviç ve Mondelli, 1991).

Besleyicilik açısından bakıldığında, mısırın kimyasal bileşimi buğdayınkinden farklı değildir; sadece protein içeriği daha az ve daha düşük kalitededir ve daha da önemlisi glütenli oluşturan proteinlerden yoksundur. Mısır unları, makarna yapımında kullanıldıklarında, nişasta jelatinleştirme işlemi gerektirirler. Ayrıca, mısır nişastasının jelatinleştirilmesi, unun elde edildiği çeşide bağlı olarak farklı parametrelere (sıcaklık, zaman) bağlıdır.

1.3 Makarna üretimi

Makarna ürünlerinin ilk defa İtalya’da 13. yüzyılda yapılmalarına karşın verimli imalat ekipmanları ve yüksek kalite terkip maddeleri ancak 20. yüzyıldan sonra ortaya çıkmıştır. Endüstri devriminden önce, makarna ürünlerinin çoğu küçük dükkanlarda elle yapılıyordu. Günümüzde, makarna ürünleri çoğunlukla yoğurma ve ekstrüzyonun tek bir işlemde yapıldığı burgu ekstrüzyon ilkesiyle çalışan sürekli, yüksek kapasiteli ekstruderlerle imal edilmektedir. Makarna imalatı kuru makarna, erişte ve spagetti üretimini içermektedir.

Makarna ürünleri öğütülmüş buğdayın, suyun, yumurtaların ve bazen isteğe bağlı olarak başka terkip maddeler karıştırılarak üretilir. Bu terkip maddeleri genellikle makarnanın biçimini belirleyen çeşitli kalıp lokmalarının takıldığı bir sürekli, yüksek

kapasiteli burgu ekstrude eklenir. Daha sonra makarna kurutulur ve piyasaya sürölmek üzere ambalajlanır.

1.3.1 Hammadde

Katkısız makarna üretiminde, öğütölmüş durum buğday irmiğı ve su kullanılır. Makarna imalatçılarının çoğı, bir örnek boyutta ince taneciklerden oluşarı ve yüksek kalitede makarna üreten irmiğı tercih ederler. Makarna üretiminde kullanılan su saf olmalı, aroma içermemeli ve içmeye uygun olmalıdır. Ayrıca makarna pastörizasyon sıcaklıklarının altında üretildiğınden, düşük bakteri sayısına sahip su kullanılmalıdır.

1.3.2 Karıştırma

Karıştırma işleminde, yaklaşık olarak % 31'lik nem içeriğıne sahip hamur elde etmek amacıyla bir karıştırma teknesinde öğütölmüş irmiğıe su katılır. Yumurta ve isteğıe bağılı terkip maddeleri de eklenebilir. Günümüzde, makarna preslerinde ekstrüzyon işleminden önce makarnadaki hava kabarcıklarını gidermek için bir vakum bölümü mevcuttur. Eğer ekstrüzyon işleminden önce hava alınmazsa, makarnanın içinde hava kabarcıkları oluşacak ve mekanik direnci ortadan kaldırıp ürüne beyaz ve tebeşirimsi bir görünüm kazandıracaktır. Ayrıca, üretilen makarna, kırılgan ve pişirme esnasında dağılma özelliğı gösterecektir.

1.3.3 Ekstrüzyon

Hamur karıştırıldıktan sonra ekstrudere aktarılır. Ekstrüzyon namlularında ekstrüzyon işlemi sırasında ortaya çıkan ısıyı dağıtmaya yönelik olarak bir soğutma gömleğı mevcuttur. Soğutma gömleğı aynı zamanda bir sabit ekstrüzyon sıcaklığının muhafaza edilmesine yardımcı olur; bu sıcaklık yaklaşık olarak 51°C olmalıdır. Eğer hamur çok sıcaksa (74°C'nin üzerinde), makarnanın bozulmasına neden olur.

Hamurun ekstruderden aynı akış hızında geçmesi önemlidir. Hamurun akış hızında meydana gelecek değışiklik makarnanın farklı hızlarda çıkartılmasına neden

olacaktır. Kalıpların yapıldığı malzeme seçimi önemlidir ve ürünün görünümünü etkilemektedir. Yakın zamanlara kadar, kalıpların çoğu bronzdan yapıldı; bronzdan yapılan kalıplar yumuşak ve periyodik olarak değiştirilmesi gerekmektedir. Son zamanlarda, kalıpların ömrünü arttırmak ve daha pürüzsüz kaliteli makarna üretimi için, kalıp içlerine teflon ara parçalar eklenerek yeni kalıplar geliştirildi.

1.3.4 Kurutma

Kurutma makarna üretim işleminde kontrol edilmesi en güç ve kritik adımdır. Kurutma işleminin amacı, makarnanın nem içeriğini % 31'den % 12'ye düşürerek mamul ürünün sert olmasını, biçimini korumasını ve bozulmadan saklanabilmesini sağlamaktadır. Makarna kurutma işlemlerinde, makarnanın birbirine yapışmasını engellemek için ekstrüzyondan hemen sonra bir ön kurutucu kullanılır. Ön kurutma makarnanın dış yüzeyini sertleştirirken, içini yumuşak ve plastik tutar. Daha sonra, ürünlerdeki nemin büyük bölümünü çıkarmak için bir son kurutucu kullanılır. Sıcaklık ve nem kurutmada önemli faktörlerdir. Makarnanın dış yüzeyi iç yüzeyinden daha hızlı kuruduğu için, makarnanın yüzeyinden içine doğru nem kademeleri oluşur. Eğer makarna çok hızlı kurutulursa çatlayacak ve ürün kötü bir görünüme ve çok düşük bir mekanik dirence sahip olacaktır. Kurutma işlemi sırasında veya ürünün kurutucudan çıkmasından sonraki birkaç hafta içinde çatlama meydana gelebilir. Eğer makarna çok yavaş kurutulursa, kurutma sürecinde bozulma eğilimi gösterir veya küflenir. Bu nedenle kurutma koşullarının, her ürün tipinin gerektirdiği yapıya uygun şekilde ayarlanması gerekir (Seiler, 1996).

1.4 Nişasta Jelatinizasyonu

Ham nişasta ısıya maruz kalmadan su ile temas ettiğinde, % 20-30 oranında su absorbe etmekte, ancak çözünmemektedir. Bu olay geri dönüşümlü olarak gerçekleşir. Ortamdan su uzaklaştırılıp kurutulduğu zaman, nişasta granülleri orijinal yapılarına geri dönmektedirler (Harper, 1989). Sıcaklığın ve suyun etkisi ile granül yapısında bulunan polisakkarit zincirlerini bir arada tutan hidrojen bağlarının

parçalanması sonucunda nişasta jelatinize olmakta ve erimektedir (Camire vd., 1990).

Nişasta ve su karışımı, kritik sıcaklığın (nişastaya bağlı olarak 56°C ve yukarısı için) üzerinde ısıtıldığı zaman granülü tutan hidrojen bağları zayıflayarak şişmekte ve başlangıçtaki büyüklüğün birkaç katı fazla büyüklüğe erişmektedir. Bu olaya jelatinizasyon adı verilmektedir. Bu şişme olayı meydana geldiğinde granüller suyu absorbe ettikçe, karışımın berraklığı ve viskozitesi artar. Soğutma sırasında pişmiş nişastanın berraklığı bazen azalmakta, viskozite muhtelif derecelerde yükselmektedir. Jelatinizasyon sırasında nişastanın takip edeceği yol birçok faktörlere bağlıdır. Genellikle kök ve yumru nişastaları, hububat nişastalarına nazaran daha dar bir sıcaklık sınırında şişmektedir.

Amiloz fraksiyonunun molekül büyüklüğü ve amiloz muhtevası kritik bir durum gösterir. Genellikle birçok nişastada, hidrojen bağları vasıtasıyla bir ilişki meydana getirebilen amiloz moleküllerinin, soğuma sırasında viskozitelerinin artması veya jelleşmesi ve böylece matlaşmaya olan eğilimleri ortaya çıkar.

Ön veya kısmi jelatinizasyon, irmiklerin hamur hazırlama esnasında su tutma kapasitelerinin artmasını sağlamak ve hamur yapışkanlığını azaltmak amacıyla yapılır. Ayrıca jelatinizasyon, ekstrüzyon sonrası çıkan ürünün hızlı kurumasını engellemektedir. Jelatinizasyon farklı metotlar kullanılarak yapılabilmektedir. İşlenmemiş tahıl ürünleri sıcak suda veya basınçlı kaplarda ısıtılarak jelatinize edilirler. İrmik olarak işlenmiş tahıl ürünlerinin önceden nemlendirilerek kapalı kaplarda sıcak buharın etkisiyle, mikrodalga ve ekstruder kullanılarak jelatinize edilmeleri mümkündür.

Nişasta pek çok gıdanın esas bileşenlerinden biri olmasından dolayı, gıdaların fiziksel özellikleri üzerine etkilidir. Nişasta ve nişasta ürünleri ısıl işlemler sırasında jelatinize olurlar. Nişastanın suda şişmesi jelatinizasyon derecesine bağlıdır. Sıcaklık ve nem içeriği jelatinizasyonu etkileyen başlıca faktörlerdir (Chinnaswamy ve Hana, 1988; Mercier ve Feillet, 1975). Jelatinizasyon sırasında, nişasta granülleri dönüşümsüz olarak şişer ve serbest kalan amiloz bozulmuş olur (Imberty vd., 1991; Nikuni, 1978). Dışarıya süzülen amiloz matriks içine gömülen şişmiş granüller ile üç

boyutlu ağ formu oluşturur (Hennig vd., 1976; Richardson vd., 1981; Ring ve Stainsby, 1982; Wong ve Lievre, 1981). Sonuç olarak granüller soğuduğu zaman jel gelişir. Nişasta jelatinizasyonunda nişasta ve su arasındaki reaksiyon (difüzyon) eşzamanlı olarak ısı ve madde transferiyle gerçekleşir. İşlem süreci, jelatinize olmuş irmiğinin artması oranının ölçülmesiyle, yani sürecin ne kadar etkili olduğunun belirlenmesiyle sonuçlanır. Nişasta jelatinizasyonu gıda prosesinde oldukça önemlidir ve yaygın bir şekilde çalışılmaktadır (Hermansson ve Svegmarm, 1996; Tester ve Morrison, 1990; Zobel, 1984). Son yıllarda, özellikle yüksek su içeriği üzerine çalışmalar devam etmektedir. Mısır nişastası yaklaşık % 26-28 amiloz içerir, kalan kısım ise amilopektindir (Lineback, 1984). Ayrıca, farklı kaynaklı nişastalar, amilopektin yapısındaki zincir uzunluğu dağılımı, granüllerin boyutsal dağılımı bakımından yapı farklılıkları gösterirler (Ahmad ve Williams, 1999).

Nişasta jelatinizasyon sıcaklıklarını ve derecesini belirlemede Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DTK) kullanılır ve nişastanın ısısal davranışları tespit edilir (Donovan, 1979; Eliasson, 1980; Lund, 1984; Shogren, 1992; Takahashi, 1982; Tananu Wong ve Reid 2004; Tufvesson vd., 2003). Tablo 1’de farklı tahıl ürünlerinin jelatinizasyon sıcaklıkları verilmiştir. DTK, nişasta jelatinizasyonu sırasında meydana gelen geçiş entalpilerini gösteren en iyi metotlardan biridir. Geçiş entalpisi (ΔH) ısı taramalarıyla bozulan nişasta süspansiyonlarında kristal düzen miktarına (çift-sarmal yapısı) bağlı olarak yorumlanır. Rapor edilen sonuçlar sabit değildir ve bazen nişastanın ısısal karmaşıklığından, farklı ölçüm şartları ve bazen uygun olmayan koşullar nedeniyle tartışmaya yol açabilir. Ölçüm şartları, numune hazırlanması ve ölçüm kabı seçimi sonuçları etkilemektedir (Yu ve Christie, 2001). Yapılan çalışmalar jelatinizasyon entalpisinin nişasta kaynaklarına, su içeriğine, amiloz/amilopektin oranına ve ölçüm şartlarına bağlı olduğunu göstermiştir.

Tablo 1.1 Nişastaların jelatinizasyon sıcaklıkları

Mısır	70-75
Pirinç	68-75
Buğday	52-54

1.5 Proteinler

Proteinler bitkilerde ve hayvanlarda çeşitli biyolojik fonksiyonlara sahiptir. Geniş miktarlarda gıdalarda bulunan proteinler bitkilerde depo proteinleri gibi, hayvanların derisi, kasları ve iskeletinin yapı maddeleri olarak hizmet verir. Gruptaki yapıların sayısı karşılaştırmalı bir şekilde düşüktür. Fakat, biyokimyasal, metabolik fonksiyonlarda uygulanan farklı binlerce protein vardır.

Çorbalar, soslar, mayonezler ve salata soslarının istenilen depolama kararlılıklarını ve reolojik özelliklerini yaratmak için fonksiyonel protein katkı maddeleri proteinlerin moleküler şekline, yüzey hidrofobikliğine, hidrodinamik ölçüsüne ve su bağlamasına bağlıdır (Damodaran, 1994). Hidrofobik bir şekilde birleşen gliadinin varlığından dolayı muhtemelen polimerlerin hareketleri ve yeniden düzenlenmesinden viskoz akışı sonuçlanabilirken, disülfid köprüleri tarafından bağlanan yüksek molekül ağırlıklı prolaminlerin lineer, uzun polimerleri tarafından da hamurun elastik bileşeni sağlanmış olacaktır (Mifflin vd., 1983).

1.5.1 Kazein

KZN, süt içindeki baskın olan bir grup proteine verilen addır. KZNler, insan sütü de dahil olmak üzere hayvansal sütlerin tümünde mevcuttur. İnek sütündeki proteinlerin neredeyse % 80'i KZN'dir, diğer bir ifadeyle 1 litre sütte 26 g KZN vardır.

KZNler dört alt-gruba ayrılırlar α - σ -, α _{s2}-, β - ve κ -KZN. Dört grubun hepside çok heterojendir ve her biri 2–8 farklı kalıtsal türlerden oluşur. Bu türler birbirlerinden yalnızca birkaç aminoasit farklıdırlar. α - ve β - KZNler, genellikle fosforik asidi esterleyen amino asitlere sahiptirler. Moleküller arası ve molekül içi bağları oluşturmak için fosforik asit kalsiyumu (sütte boldur) bağlar. Bu, KZNlerin özdeş veya farklı tipteki KZNleri içeren polimerleri kolayca oluşturmasını sağlar. KZN molekülündeki fosfat gruplarının ve hidrofobik kısımların çokluğuna bağlı olarak KZNlerden oluşan moleküler polimerler çok özel ve kararlı yapılardır. Polimerler yüzlerce, binlerce molekülden oluşmuştur ve bu polimer yapılar süte beyaz rengini

veren kolloidal solüsyonu oluşturur. Bu moleküler kompleksler KZN miselleri olarak bilinirler.

1.5.2 Yumurta akı

YA proteinleri, kabarmayı sağlayıcı özelliktedir. Bu nedenle kek hazırlarken doğal kabartıcı, sütlü tatlılarda ve çorbalarda koyulaştırıcı ve kıvam sağlayıcı olarak kullanılır. YAnın köpük oluşturması gıda formülasyonlarında önemlidir. YAda bulunan albumin, mekanik karıştırma ile köpük oluşturur. Köpük birçok basamağın mekanizması aracılığıyla oluşur (Graham ve Phillips, 1976; Macritchie, 1978).

Köpürme sırasında arayüzeyde adsorbsiyon, yeniden düzenleme, yapışkan viskoelastik filmlerin oluşumu, moleküllerarası etkileşim, meydana gelir. Köpürme esnasında, YA proteinlerinin bir kısmı ve su/gaz arayüzeyinde pıhtılaşma ve denatüre olur. Bu, köpük tabakasının sertleşmesini sağlar. Bu proses sırasında globulinlerin yarısı hidrofobik yarısı gaz fazına yönelir. Protein zincirleri moleküllerarası zincir aracılığıyla bağlanır ve gerilir. Hava baloncukları arasındaki sıvı tabakada çözilemeyen bir film, köpüğün kararlılığı için oluşur. YAnın mükemmel köpük özellikleri ve ısıya dayanıklılığı elektrostatik etkileşimle olur. Hidrofobik özellikleri köpük kapasitesi ile ilişkili olup önemlidir.

1.6 Hidrokolloidler (Gamlar)

Gam terimi ilk olarak yapışkan, zatkımsı, bitkilerden sızan doğal maddeler için kullanılmıştır. Gamin teknik olarak kabul edilen tanımı ise, kıvam artırıcı ve/veya jelleştirici etki vermek için suda dağılabilen veya çözünebilen polimerik karbonhidratlar olarak açıklanmaktadır. Bu tip maddeler kolloidal yapıda ve hidrofilik kolloid özellikte olduklarından “hidrokolloidler” olarak da adlandırılırlar (Glicksman, 1969). Hidrokolloidler, kıvam arttırıcı, emülsiyonları kararlı hale getiren, film ve jel oluşturabilen, tekstürel özellikleri ve su tutmayı arttıran, su hareketini kontrol eden ve genellikle gıda kalitesini arttıran ve muhafaza edici ajanlar

olarak kullanılmaktadırlar (Christianson vd., 1981; Dziezak, 1991; Schenz, 1995; Ward ve Andon, 2002).

Hidrokolloidler çeşitli biyolojik kaynaklardan elde edilirler ve değişik arıtma işlemlerine tabii tutulurlar. Hidrokolloidlerin bir çoğu molekül içinde birleşmiş olarak kalsiyum, magnezyum, potasyum ve bazen de diğer metalik katyonları bulunduran anyonik veya nötral kompleks ve dallanmış heteropolisakkaritlerin bir grubunu oluşturmaktadırlar (Glicksman, 1980).

Hidrokolloidler, hamur karışımlarında % 1 den düşük miktarlarda kullanıldıkları zaman, su absorpsiyonunu ve hamur hacmini artırmakta; ekmek içi sertliğini ve nişasta retrogradasyonunu azaltmaktadırlar (Brummer, 1977).

Kobs (1997), donmuş hamurlarda gamların kullanılmasıyla donma-çözme döngüsü sırasında oluşabilecek zararın azaltılması yönünde bir olasılık bulunabileceğini ifade etmektedir. Ayrıca Ward ve Andon (1993), KMS, KG, gam arabik ve KGB gibi gamların donmuş hamurlarda meydana gelebilecek problemleri önlediklerini belirtmektedirler.

Gam içeren ekmek katkı maddeleri, dondurularak depolanmış ekmeklerin bayatlamalarını geciktirmektedirler (Barcenas vd., 2003). Düşük ve yüksek konsantrasyonlarda GG ve XG ilave edilerek yapılan taze ekmeklerle, bu ekmeklerin dondurularak depolanması ve mikrodalga ile geri ısıtılmasının karşılaştırıldığı bir çalışmada, son ekmek kalitesine GG genellikle daha az etki yaparken; düşük konsantrasyonlardaki XG daha iyi bir özellik göstermiştir. Bu yüzden GG ve XG hem dondurarak depolanan hem de mikrodalga ile geri ısıtılan ekmeklerde, ekmek kalitesini iyileştirmek için alternatif bir çözüm olabilmektedir (Mandala, 2005).

Bir tohum gamı olan GG, dondurmalarda, dolgulu pastalarda ve diğer dondurulmuş ürünlerde KBG ve KG ile birlikte bir stabilizer ajan olarak sıkça kullanılmaktadır (Alexander, 1999). GG, glüten ve DATEM ilave edilerek -18°C de dondurularak depolanan örneklerin incelendiği bir çalışmada, daha yüksek hacimli ve daha iyi içeriğe sahip ekmekler üretilmiştir (Ribotta vd., 2001).

Kappa-karagenan (κ -karagenan) ve HPMSnin taze ekmek kalitesi ve kısmi olarak pişirilen dondurulmuş ekmeğin bayatlaması üzerine etkilerinin incelendiği bir çalışmada, HPMS taze ekmeğin hacmini, su tutma kapasitesini artırmış ve su aktivitesini azaltmıştır. Ayrıca, HPMS ilavesi, ekmek içi sertliğini ve dondurarak depolamanın ekmek bayatlaması üzerindeki etkisini azaltmıştır. Elde edilen tüm sonuçlar, κ -karagenanın kısmi olarak pişirilen dondurulmuş ekmekler için iyi bir katkı olmadığını göstermiştir (Barcenas vd., 2003).

XG, GG ve κ -karagenanın dondurulmuş hamurun yapısal ve reolojik özellikleri üzerine etkilerinin belirlendiği bir diğer çalışmada ise, genel olarak gamların ilave edilmesiyle su absorpsiyonu, hamur gelişme süresi, yoğurma tolerans indeksi, dayanıklılık, uzama kabiliyeti, jelatinizasyon sıcaklığı, viskozite ve hamurun mikro yapısı gibi özellikler artmıştır (Lee vd., 2000).

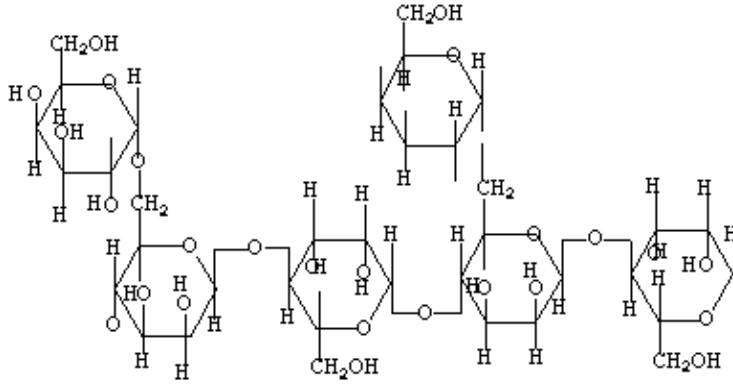
Sharadant ve Khan (2003) tarafından yapılan bir çalışmada, sert kırmızı buğdaydan elde edilen una farklı oranlarda (% 1, 2 ve 3) KMS, KBG, κ -karagenan ve gam arabik ilave edilerek dondurulmuş hamurlar yapılmış ve 16 haftaya kadar depolama uygulanmıştır. Hamur özellikleri, 0, 1 gün ve 4, 8, 12 ve 16 haftalık dondurarak depolamadan sonra DTK, su aktivitesi, ekstensograf ve fermantasyon süreleri ölçülerek tespit edilmiştir. KBG, KMS ve gam arabik genel olarak hamur özelliklerini iyileştirirken, κ -karagenan donmuş hamur özelliklerini olumsuz yönde etkileyen tek gam olmuştur.

Hidrokoloidlerin eklenmesi, nişastaların reolojik ve jelatinizasyon özelliklerini etkilemektedir. Bu nedenle, ürünün kararlılığını geliştirmek, yapısını modifiye etmek, işlenmesini kolaylaştırmak ve genellikle tüm kaliteyi geliştirmek için kullanılır (Chaisawang ve Supphantharika, 2005; Kim ve Yoo, 2006; Mandala vd., 2004; Nussinovitch, 1997).

1.6.1 Guar gam (GG)

Guar bitkisinin tohum endospermelerinin öğütülmesiyle elde edilen GG, gıda ve endüstriyel saflıkta olmak üzere iki tipe bulunmaktadır. Gıda saflığında olan tipi, saf öğütülmüş endosperm olmasına karşın, endüstriyel saflıkta olanı bazı kimyasal

katkılar kullanılarak üretilmektedir. Beyaz ile sarımsı-beyaz arası bir renkte olup, hemen hemen kokusuz, suda iyi derecede çözünen, akışkan toz halde bir forma sahiptir. KBG gibi galaktomannan yapısında olan GG, D-mannoz ve D-galaktoz birimlerinden oluşmakta olup, toz formunda suda çok iyi hidratlanabilmekte ve gıda sanayinde bir çok uygulama alanı bulan kolloidal çözeltiler vermektedir (Şekil 1.1).



Şekil 1.1 Guar gamin kimyasal yapısı

GG ısı uygulaması olmadığında bile yoğun bir kıvam oluşturabilmesi, soğuk ve sıcak suda kolaylıkla çözünmesi, ürünlerde arzu edilen yapıda film oluşturması, katıldığı sıvı yağ ve çözücülere dayanıklılık kazandırması, ürünlerde daha iyi yoğunlukta kıvam oluşturması, su bağlama kapasitesinin yüksek olması ve ilave edildiği ürünlere yüksek viskozite kazandırması nedeniyle yaygın olarak kullanılmaktadır.

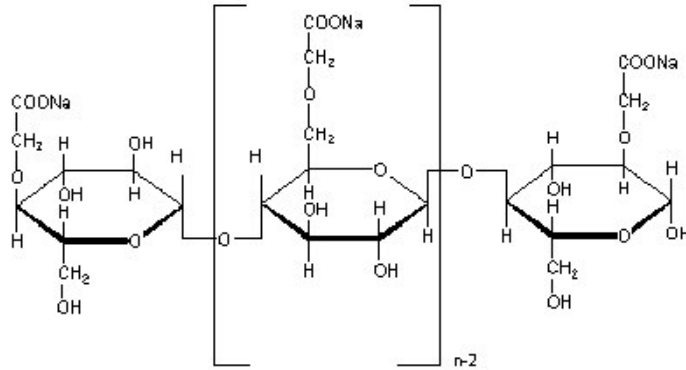
Suda dağıtıldığında, hidrat olan GG, katıldığı ürünün viskozitesini hızla artırmakta, ısıtmadan 10-15 dakika içinde son viskozite değerinin yaklaşık yarısına ulaşmaktadır. Nötral yapıda olan GG; diğer gıda bileşenleriyle uyumlu olup, nişasta, selüloz, agar, κ -karagenan ve XG'le etkileşime girmektedir. Bu etkileşim, selülozla bağlanma şeklinde gerçekleşirken, suda çözünen proteinlerle ise viskozitede sinerjistik bir artış olarak kendini göstermektedir.

GG, gıda endüstrisinde başlıca süt, fırıncılık ürünleri ve sosların üretiminde kullanılmaktadır. Kullanım amaçları; su bağlama, buz kristallerinin büyümesini yavaşlatmak ve erimeyi geciktirmek olan GG; fırıncılık ürünlerinde yoğurma toleransı ve su tutma özelliği ile raf ömrünü arttırmakta, dondurulmuş gıda ve dolgu sıvılarında sinerjisi engellemekte, işlenmiş gıdalarda stabilizatör görevi görmektedir, et

ürünlerinde koruyucu ve lubrike edici ajan olarak kullanılmakta, bu ürünlerde daha düşük depolama kayıplarına yol açmakta, şekerleme ve fırıncılık ürünlerinde nem alıkoyucu ajan ve hamur kondisyoneri olarak ürünlerin tekstürü, renk tekdüzeliğini muhafaza etmekte ve sahip olduğu su tutma özellikleriyle sinerisisi önlemekte, sos, turşu ve çorbalarda su-y yağ fazını kontrol etmekte ve kristalizasyonu önlemekte, kıvam oluşturuıcı görevi görerek bu ürünlerin kararlılığını ve görünümünü geliştirmekte, ekmek yapımında hamura düşük miktarlarda katılarak verimi arttırmakta, tekstürü geliştirmekte ve raf ömrünü arttırmakta, dondurma, peynir, şerbet ve sıvı süt ürünlerinde mükemmel bir tutucu ve stabilizatör görevi görmektedir. Eczacılık endüstrisinde GG, etkili bir tutucu, stabilizatör ve kıvam artırıcı görevi görmektedir, özellikle tablet tipi ilaçların üretiminde ilaçların mikroenkapsülasyonunda tutucu ve parçalayıcı olarak uygulama alanı bulmaktadır.

1.6.2 Karboksimetil selüloz (KMS)

Başlıca gıda, ilaç ve kozmetik ürünlerinde viskoziteyi geliştirici, emülsiyon stabilizatörü, kıvam artırıcı ve tekstürü iyileştirmek amacıyla kullanılan KMS, kimyasal modifikasyonlara uğratılmış bir selüloz türevidir. Suda çözünen tüm hidrokolloidler içinde en çok yönlü fonksiyona sahip olan KMS, gıda endüstrisinde de yaygın bir şekilde kullanılmakta, katıldığı formülasyonların yapısını, hidrofilik özelliklerini ve fonksiyonel kalitesini olumlu yönde etkileyen önemli bir gıda katkı maddesidir.



Şekil 1.2 Karboksimetil selüloz

Gıda endüstrisinde KMS'nin sodyum tuzu kullanılırken, gıda dışı özel kullanımlar için K, Ca, NH_4 gibi diğer tuzları da üretilmektedir. Sentetik, suda çözünebilir bir selüloz eteri türevi olan sodyum KMS veya selüloz gamı, basit bir kimyasal reaksiyon ile üretilmektedir. Bu reaksiyonda odun veya pamuk orijinli selüloz, sodyum hidroksit çözeltisi ile muamele edilmekte ve daha sonra elde edilen alkali selüloz, monokloroasetat veya monokloroasetik asit ile reaksiyona sokulmaktadır. Söz konusu reaksiyon tamamlandıktan sonra elde edilen ürün nötrale edilmekte ve kurutulmaktadır. Gıda saflığında KMS elde edilmesi sırasında ise bu işlemlere ek olarak, alkol-su karışımı ile yıkanarak tuzlar uzaklaştırılmaktadır (Şekil 1.2). Reaksiyon sonucunda elde edilen KMS'nin çözelti özellikleri ve suda çözünürlüğü; substasyon derecesine (DS) ve polimerdeki karboksimetil- gruplarının düzenli bir şekilde bağlanmasına bağlı olmaktadır. Genel olarak; 0.3 veya daha az bir DS değerine sahip olan KMS, alkali içinde çözünmekte, ancak suda çözünmemektedir. Suda çözünebilirlik için 0.45 veya daha yukarı DS değerleri istenmektedir. Ticari olarak üretilen KMS'nin DS değeri 0.4 ile 1.2 arasında değişirken, gıda saflığında üretilen türünün ise DS değerinin 0.95 ile sınırlı tutulduğu belirtilmektedir. İyonlanmış karboksil grupları nedeniyle negatif yüklü, uzun ve bükülmez özellikteki moleküllerden oluştuğu için moleküller çözeltide birbirini iter. Bu nedenle KMS çözeltileri, kararlı yapıda olup yüksek viskoziteye sahiptir. Çift değerli katyonlar, KMS'yi çöktürmekte; üç değerli katyonların varlığında ise jel oluşmaktadır. Protein dispersiyonları (özellikle izoelektrik noktalarına yakın pH değerlerinde) ve yumurta beyazı (kurutma ve dondurma işlemlerinde) KMS kullanımı ile kararlı hale getirilebilmektedir. Süt ürünlerinde ise KZN çökmesine karşı direnç sağlamaktadır. pH 5-10 arası kararlı olup, pH 5'in altında viskozitesi ve kararlılığı azalmakta, bununla beraber asit kararlı olan KMS'ler de vardır.

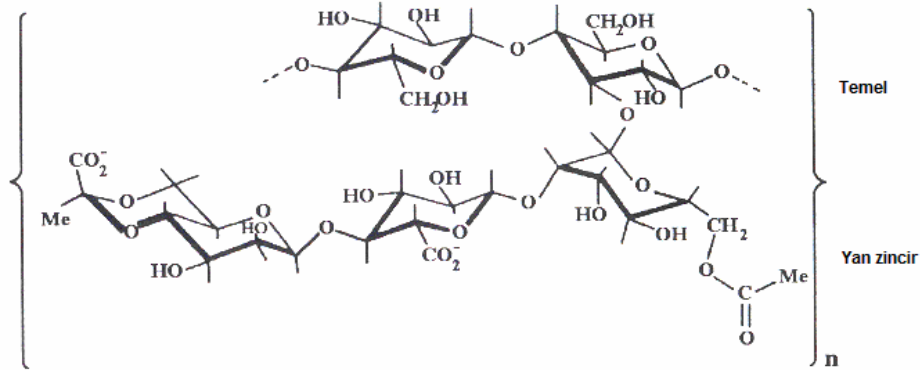
KMS, ayrıca mikrokristalin selüloza katılarak onun çözünürlüğünü geliştirmekte ve onun özelliklerini değiştirmektedir. Kokusuz, toksik olmayan ve biyolojik olarak indirgenebilen bir yapıya sahip olan KMS; çikolatalı içecekler, meyveli yoğurtlar gibi süt ürünlerinde, donmuş balıklar, parmak patates ve patates cipsi gibi donmuş ve kızartılmış ürünlerde, tüm çorba türleri, baharatlı sos, soya sosu, ketçapta, kek ve kek miskleri, tortilla, pasta veya kek üzerine sürülen kremalarda, mayonez gibi emülsifiye soslarda, yumuşak içecek, hazır içecek, diyet ve spor içeceklerinde formülasyonlara katılmaktadır. Diğer önemli bir kullanım alanları diğ macunları,

krem ve losyon gibi kozmetik ürünleri ile toz ve sıvı deterjanlardır. Bu ürünlerde bağlayıcı, kıvam artırıcı ve stabilizatör olarak uygulama alanı bulmaktadır.

1.6.3 Ksantan gam (XG)

Gıda uygulamalarında yaygın olarak kullanılan XG, *Xanthomonas campestris* isimli bir bakteri kullanılarak daldırmalı aerobik fermentasyon ile üretilen bir heteropolisakkarit olup, steril fermentasyon ortamını karbonhidrat, uygun bir azot kaynağı, potasyum fosfat ve diğer iz elementleri oluşturmaktadır.

Fermentasyon aşaması sonunda üretilen polisakkarit, izopropil alkol ile kullanılarak çöktürülmekte ve ortamdan izole edilmektedir. İzole edilen polisakkarit, daha sonra kalıntı izopropil alkolün uzaklaştırılması için santrifüj işlemi uygulanmakta ve devamında kurutulmaktadır. Kurutulan XG, toz hale getirilmek için öğütülmekte ve eleklerden geçirildikten sonra ambalajlanmaktadır. Baskın heksoz olarak D-glukoz ve D-mannoz ile D-glukuronik asit ve pürivik asit içermekte ve sodyum, potasyum veya kalsiyum tuzları olarak hazırlanmaktadır ve çözeltileri nötrdür.



Şekil 1.3 Ksantan gamı

Mikrobiyal bir heteropolisakkarit olan XG, temel olarak selülozda olduğu gibi 1,4-bağlı β -D-glukoz birimlerinin bulunduğu ana bir polimer iskeletinden oluşmaktadır. Bu iskelete bağlı yan zincirlerde ise, iki adet D-mannoz kalıntısı arasında bir adet D-glukuronik asit kalıntısından oluşan bir trisakkarit bulunmaktadır. Polimer ayrıca, %

4.7 oranında *O*-asetil grupları ve % 3.0-3.5 oranlarında ise glukoz biriminde ketal olarak bulunan pürivik asit içermektedir (Şekil 1.3).

XG'de bulunan ve molekülün yaklaşık % 60'lık kısmını oluşturan bu yan zincirler, XG'ye özgü birçok fiziksel ve kimyasal özellikler kazandırabilmektedir. Yan zincirleri nedeniyle XG, soğuk zincir içerisinde bile tamamen hidratlanabilmektedir. Ayrıca, bu yan zincirlerin, XG'yi hidrolize karşı dayanıklı kıldığı belirtilmektedir. Suda çözünen, fakat organik çözücülerde çözünmeyen XG; su içeren sistemlerde reolojik kontrol ajanı, emülsiyon ve süspansiyonlar için stabilizatör olarak kullanılmaktadır. Bunların dışında XG; suyu tutmakta, donma-çözünme kararlılığını arttırmakta, nişastanın retrogradasyonunu önlemekte ve raf ömrünü iyileştirmektedir. Ticari XG, sarımsı toz şeklinde bir madde olup, sıcak veya soğuk suda tamamen çözünmekte ve düşük konsantrasyonlarda yüksek viskoziteli çözeltiler vermektedir. XG'nin sulu çözeltileri, etanol ve propilen glikol gibi bazı hidrofilik çözeltileri % 50'ye varan bir konsantrasyona kadar tolere edebilmektedir.

XG'nin viskozitesi, dağılımındaki konsantrasyonun bir fonksiyonu olmaktadır. Diğer gamlarda olduğu gibi, XG çözeltileri de psödoplastik bir akışkan tipi sergilemektedir. Psödoplastik akışkan tipi özelliği; ağız hissi, lezzetin algılanması ve süspansiyon oluşturma gibi birçok duyuşsal kaliteyi etkileyen özelliklerin oluşumuna önemli derecede katkıda bulunmaktadır. XG'yi diğer gamlardan ayıran önemli bir özelliği de, sıcaklığa ve pH'ya olan dayanırlığının önemli ölçüde büyük olmasıdır. Bu dayanıklılığın, ksantan molekülündeki yan zincirlerin selüloz iskeletinin çevresini sarmasından kaynaklandığı belirtilmiştir. Bu özellik ise XG'yi; enzimler, asitler, bazlar, yüksek sıcaklıklar, dondurma ve çözündürme ve uzun süreli karıştırma sonucunda oluşabilecek bozunmaya karşı dayanıklı kılmaktadır. Bu trisakkarit zincirleri ile ana zincirin etkileşimi, molekülü oldukça katı bir çubuk haline sokar ve ısı, asit ve baz kararlılığını olağan üstü derece artırır. Moleküler ağırlığı 2 milyon civarında olup, muhtemelen birleşme nedeniyle daha büyük değerler bildirilmektedir. Pürivik asit içeriği en yüksek ksantanlar, en yüksek viskozite ve termal karalılığa sahiptir. XG çözeltileri; genel olarak pH değerindeki değişimlerden etkilenmemekte olup, asit ve bazların çoğunda çözünmektedir. Diğer hidrokolloidlerin çoğu; düşük pH değerleri ve yüksek sıcaklıklarda viskozitesini kaybederken, XG aynı koşullarda kararlı kalmaktadır.

XG'nin özellikleri arasında; yüksek konsantrasyonlarda bile gözle görülür berrak çözeltiler oluşturması, hem sıcak hem de soğuk suda çözünmesi, düşük polisakkarit konsantrasyonlarında bile çözeltilere yüksek viskozitesi vermesi, geniş sıcaklık aralıklarında ksantan tarafından oluşturulan çözeltilerin viskozitesinde minimum değişim görülmesi, hem asidik, hem de alkali çözeltilerde çözünmesi ve kararlı olması, yüksek tuz konsantrasyonuna sahip çözeltilerde kararlı kalması, enzimatik bozulmaya yüksek direnç göstermesi, iyi bir yağ olması, donma/çözünme aşamalarından sonra kararlılığı sağlaması, aşırı derece etkili bir emülsiyon stabilizatörü olması, mükemmel ağız tadı vermesi, diğer hidrokolloidlerle (GG ve KBG'leri) sinerjik özellik göstermesi şeklinde sayılabilmektedir.

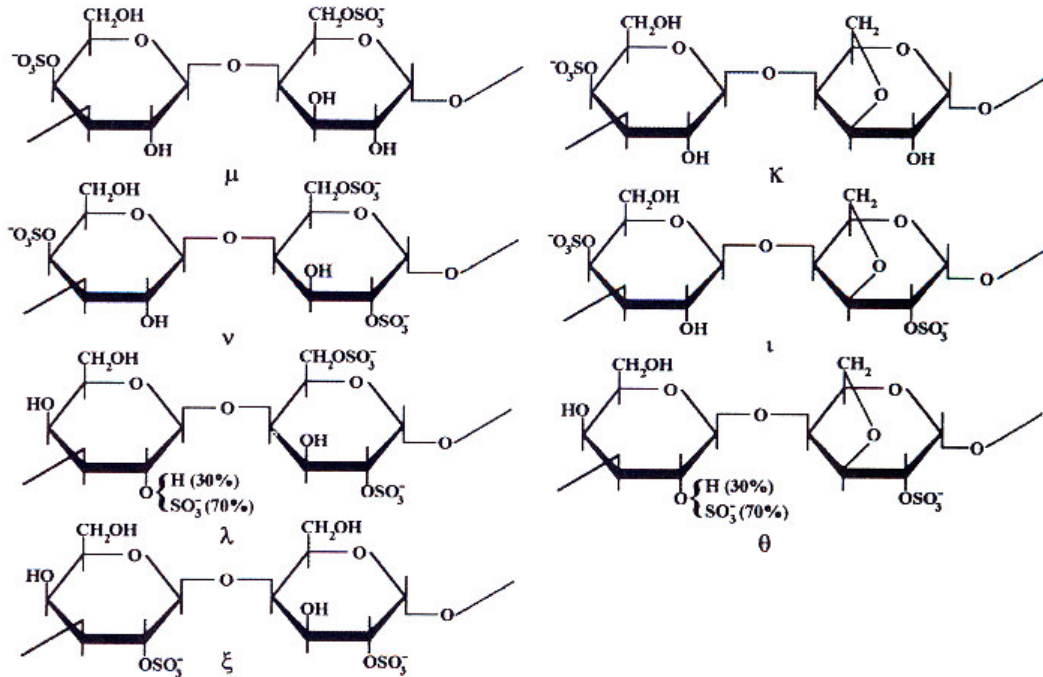
Çözelti viskozitesinin sıcaklıkla çok fazla değişmemesi, yani soğutulduğunda kıvamın artmaması nedeniyle XG, salata sosları ve çikolata şurupları gibi buzdolabından çıkar çıkmaz tüketilecek ürünlerde kullanım açısından çok uygundur. Bu ürünler, buzdolabından çıkar çıkmaz oda sıcaklığındaki kadar kolay dökülebilmelidir. Normal salata soslarında XG, kıvam verici olarak kullanılmakta ve partiküller yapıdaki süspansiyonu ve yağın sudaki emülsiyonunu kararlı hale getirir. XG genellikle propilen glikol yapıdaki aljinatla birlikte kullanılır. Birlikte kullanıldıklarında daha az psödoplastik özellikte ve viskozitesi daha az olan çözelti verirler. Elde edilen ürün, daha iyi dökülebilirlik ve krem benzeri pürüzsüz bir yapıya sahip olurlar. XG ile GG/KBG kombinasyonları, dondurma ve dondurulmuş ürünlerin stabilizasyonunda kullanılırlar. Bu karışıma karagenan ilavesi, donma sırasında sıvı fazın ayrılmasını engeller. Bu gamların ikili veya üçlü kombinasyonları çeşitli süt ürünlerinde de kullanılmaktadır.

1.6.4 Karagenan gamı (KG)

Karagenan terimi, kırmızı deniz yosununun hücreleri arasında bulunan bileşenleri ekstrakte olan, sülfatlanmış polisakkaritlerin bir ismi olarak kullanılır. Kimyasal yapısı AB tipi tekrarlanan disakkarit biriminden oluşur, öyleki A 1,3 bağlı β -D galaktoz biriminden türetilir ve B 1,4 bağlı 3,6-anhidro- α -D-galaktoz olarak, yaygın bir şekilde gösterilir ve $(AB)_n$ olarak ifade edilir (Painter, 1983; Glicksman, 1983).

Karagenanlar karakteristik olarak yüksek bir şekilde sülfatlanmıştır. 1,4 bağlı birimler 2-sülfat, 6-sülfat, 2,6-sülfat ve 3,6-anhidrid-2-sülfat olarak (genellikle bu pozisyonlar sülfatlanmamış olabilir) 1,3- bağlı galaktoz kalıntılarından 2- ve 4- pozisyonunda sülfat oluşturur. Bu gam μ , κ , ν , ι , λ , θ ve ξ karagenanlar olarak sınıflandırılırlar (Stanley, 1990) (Şekil 1.4). ι - ve κ - karagenanları sert ısıt tersinir jeller formunda olup kırmızı deniz yosunundan üretilmiş polisakkaritlerdir. ι -karagenan κ -karagenanı ile karşılaştırıldığında, κ - karagenanın her tekrarlanan biriminde bir sülfat grubu, ι -karagenanın ise her tekrarlanan disakkarit biriminde iki sülfat grubu bulunmasından dolayı, ι -karagenan daha fazla sülfatlanmış durumdadır.

Endüstri bakımından, sulu fazında sert veya zayıf jel özelliklerini vererek kullanılabilen iki polisakkarit arasındaki etkileşimi gösteren birçok örnek vardır. Burada meydana gelen reoloji, polisakkarit bileşikleri arasında basit bir katkı maddesi etkisinden daha çok spesifik etkileşiminin bir sonucudur. Belirli galaktomannanlar da, çözülebilir 1, 4 - bağlı β - D - glukozlar, bu tür etkileşimlerde merkez rolü oynar. Sert veya zayıf jel özellikleri göstermeyen polisakkaritler olduğunda, bunlardan düşük seviyelerde eklendiği zaman, belirli diğer polisakkaritlerin alışılmışın dışında reolojik özelliklerini arttırabilir (Dea, 1987).



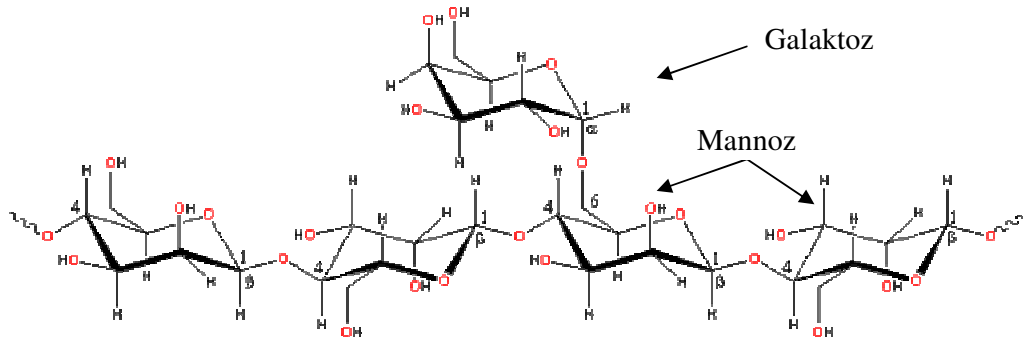
Şekil 1.4 Karagenan gam çeşitlerinin tekrarlanan birimleri

1.6.5 Keçi boynuzu gamı (KBG)

Ticari KBG yaklaşık % 88 D-galakto-mannoglukan, % 6 protein ve % 1 selüloz içerir. KBG'nin kimyasal özellikleri diğer nötr suda çözülebilen polisakkaritlere benzemektedir. KBG, Akdeniz ülkelerinde bulunan keçi boynuzu ağacı *Ceratonia siliqua*, tohumlarının öğütülmesiyle elde edilir (Belitz vd., 1987; Burchard, 1985; Herald, 1983).

Polimer β -(1-4)'e bağlı mannoz biriminin doğrusal ana zincirinden meydana gelir. Ortalama olarak, her dördüncü mannoz biriminde α -(1-6) bağlı monomerik galaktoz birimi vardır (Gaisford vd., 1986) (Şekil 1.5). KBG, GG gibi bir galaktomannandır. Galaktomannanların fiziko-kimyasal özellikleri galaktoz içeriği (Morris, 1990) ve temel zincir boyunca galaktoz biriminin dağılımı tarafından güçlü bir şekilde etkilenir (Launay vd., 1986).

KBG, soğuk suda zayıf bir şekilde çözünür ve bir jel oluşturmaz, fakat 360 K'nin üzerindeki sıcaklıklarda iyi çözülebilirlik gösterir. KBG, dondurmada, gıda maddeleri, sakız ve tütün ürünleri için kalınlaştırıcı madde olarak kullanılır.

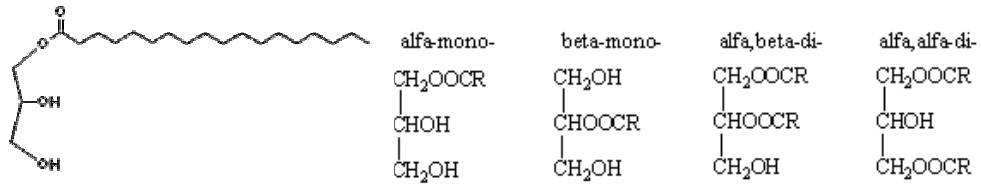


Şekil 1.5 Keçi boynuzu gamı

1.7 Gliserin mono stearat (GMS)

Mono- ve digliseritler, hem polar hem de apolar bağ içermeleri nedeniyle, suda ve yağda çözünen yüzey aktif maddeleridir. Bu nedenle gıda sanayinde emülgatör olarak oldukça geniş kullanım alanları vardır. Özellikle monogliseritler, yağ içinde su emülsiyonlarının oluşumu ve dayanıklılığı üzerinde etkili olması yanında,

kristalizasyonu hızlandırdığından, yemeklik katı yağ üreten sanayide yaygın olarak kullanılmaktadır. Çünkü margarinlere emülgatör olarak az miktarlarda katılmalarında dahi, mikro kristallerden oluşan homojen bir yapı elde edilmektedir. Ayrıca yağ-su emülsiyonundan oluşan gıda sanayinin diğer alanlarında da tercih edilmektedir. Buna karşın digliseritler, monogliseritlere kıyasla daha az polar olan maddelerdir ve genel özellikleri, daha çok trigliseritlere benzemektedir (Şekil 1.6). Diğer emülgatörlere benzer olarak, molekülün polar kısmı sulu fazda ve apolar kısmı yağ fazında olacak şekilde ara yüzeyde bulunmaktadırlar. Bu açıdan monogliseritler, ara yüzey gerilimini azaltıcı ve emülsiyonlarını kararlı yapıcı olarak hareket etmektedirler. Emülgasyon, dispersiyon, köpüklenme, köpüklenmeme, yağ aglomerasyonu gibi faaliyetleri kontrol eden GMS, gıda endüstrisinde kullanılan en yaygın emülgatör olup, fırıncılık ürünlerini taze tutmakta, un kalitesini geliştirmekte ve tüketime hazır gıdalarda emülsifiye edici ajan olarak kullanılmaktadır. Dondurma, nişastalı ürünler, süt ürünleri, sakız, çikolata ve diğer gıda ürünlerinin formülasyonlarına katılan GMS; tekstil ürünlerinde yumuşatıcı ve plastik ürünlerinde lubrikant olarak kullanılmaktadır.



Şekil 1.6 Gliserin mono stearat ve çeşitleri

1.8 Reoloji

Maddelerin deformasyon ve akış bilimidir. Çoğu reolojik testler bir materyale kuvvet uygulamayı, şeklindeki değişimi veya onun akışının ölçülmesini kapsar. Bu testlerde gıdanın reolojisi; optimize şartlarda ürün geliştirilmesinde, işleme metodolojisinde ve son ürün kalitesinin anlaşılmasında önemlidir (Dealy, 1994). Bu tarz çalışmalar, maddelerin gerilim veya gerinim uygulamalarına karşı cevabıdır. Bir malzemeyi deforme etmenin üç farklı yolu vardır; kesme, uzatma ve hacimsel sıkıştırma. Her üç metot kullanılarak sürekli hal veya dinamik koşullarda deformasyon testleri

yapılabilir (Dobraszczyk ve Morgenstern, 2003; Steffe, 1996). Maksimum gerilim, maksimum uzama, elastik modül, yumuşaklık ve sertlik gibi reolojik parametreler, katı gıda maddelerinin dokusal özellikleri açısından önemlidir. Gıdanın reolojisi, gıda materyal bilimi olarak da düşünülebilir. Gıda endüstrisinin çeşitli alanlarında reolojik verilere ihtiyaç vardır. Gıdalar, yapıları farklı olduğu için düşük viskoziteli sıvılardan (süt veya portakal suyu) sert katılara (sert şekerleme) kadar değişik ve farklı boyutta reolojik davranışlar gösterebilirler. Gıda reolojistlerinin temel amaçlarından biri reolojik davranışları farklı tipte tanımlama ve ölçmeyi kullanarak aletleri ve içeriklerini geliştirmektir.

Gıda sistemlerinin farklılık ve karmaşıklılığına rağmen, birkaç basit modelin temelinde onların reolojik özelliklerinin çoğunu sistematik bir şekilde karakterize etmek mümkündür: ideal katı, ideal sıvı ve ideal katı-sıvı. Kompleks sistemlerini, iki veya daha fazla basit modelin birleştirilmesi ile tanımlayabiliriz (Şekil 1.7). Çoğu gıda maddeleri saf katı ya da saf sıvı değildir, kısmi viskoz ve kısmi elastik özelliklere sahiptirler (viskoelastik malzemeler). Plastik maddeler akma geriliminin aşağısında elastik davranış, akma geriliminin üstünde viskoz davranış gösterir. Aksine viskoelastik maddeler hem viskoz hemde elastik davranışı birlikte gösterirler. Bir viskoelastik maddeye kuvvet uygulandığı zaman, ani bir şekilde onun önceki boyutu saf elastik malzemelerde olduğu gibi tekrar elde edilmez. Ayrıca, kuvvet kaldırıldığı zaman deforme olmamış önceki haline geri dönemez. Gıdaların viskoelastik özelliklerini karakterize edebilmek için gıda bilimcileri tarafından deneysel testler için statik ve dinamik ölçümler kullanılır.

Viskoelastik testler:

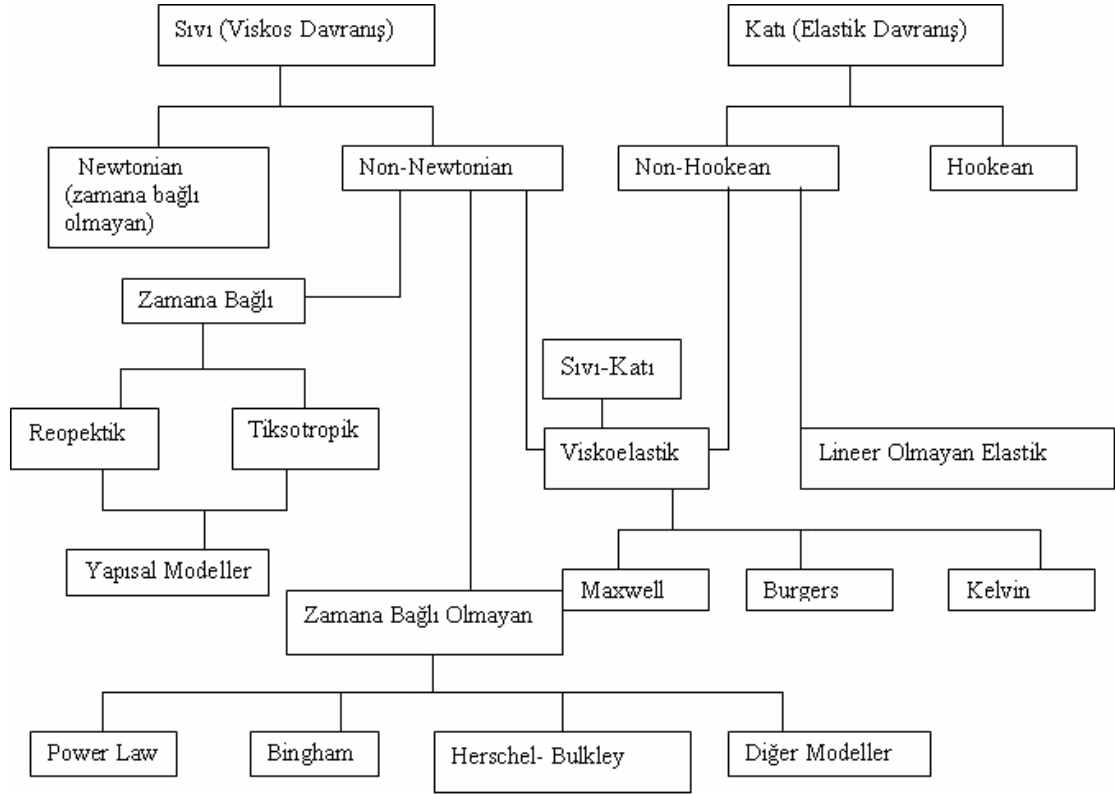
Statik Testler

Sürünme ve geri kazanım testleri

Gerilim gevşeme testleri

Dinamik Testler

Dinamik salınım testleri



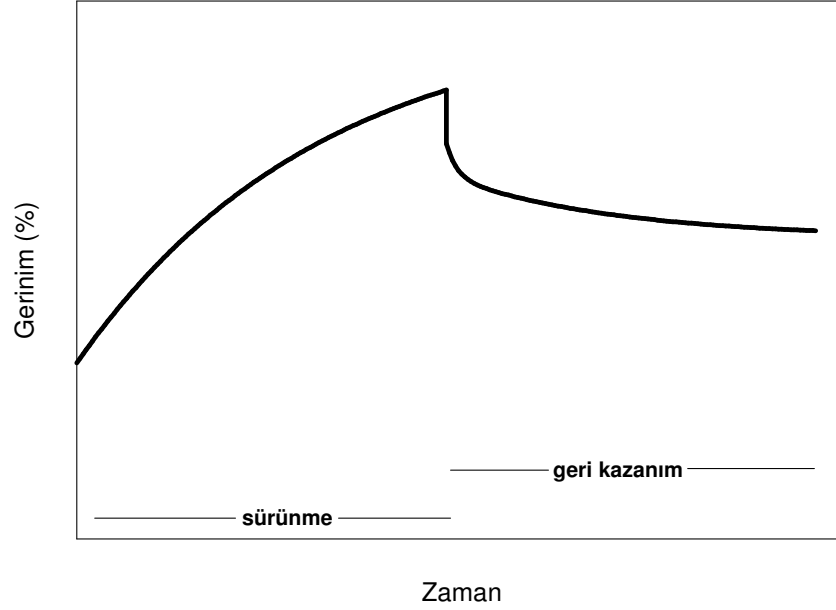
Şekil 1.7 Reolojik davranışların sınıflandırması

1.8.1 Statik testler

Kısa süreli deneyde materyale düşük ve sabit bir kuvvet uygulanır ve sonuç gerinimi zamanın bir fonksiyonu olarak ölçülür.

a- Sürünme ve geri kazanım testleri

Sürünme deneylerinde sabit bir kuvvet numuneye uygulanır ve gerinim zamanın bir fonksiyonu olarak izlenir (Şekil 1.8). Sonuçlar sürünme kompliansı (creep compliance) $J = \text{gerinim/gerilim}$ olarak adlandırılan parametre terimlerinde ifade edilir. Gerilim kaldırıldığı zaman materyalin gerinimindeki değişim ölçülmüş olur (recovery). Viskoelastik maddeler gevşeme zamanı ve katsayısı tarafından karakterize edilebilirler. Ayrım genellikle viskoelastik katılar ve viskoelastik sıvılar arasında yapılır. Sabit bir kuvvet viskoelastik katıya uygulandığı zaman, sürünme geri kazanım sınırlı denge değerine uzun zamanda ulaşır.



Şekil 1.8 Sürünme ve geri kazanım test grafiği

Kuvvet kaldırıldığı zaman J değeri sıfıra yönelir. Diğer taraftan, sabit bir kuvvet viskoelastik sıvıya uygulandığı zaman, J sabit oranda artmaya devam eder ve kuvvet kaldırıldığı zaman malzeme tekrar başlangıç şekline dönemez. Yapılan çalışmalarda, hamurun, makarna hamurunun ve bazı sebze ürünlerinin viskoelastik davranış gösterdiği bulunmuştur (Alvarez vd., 1998; Alvarez ve Canet 2000; Lazaridou vd., 2007; Njintang vd., 2007; Peressini vd., 2002). Jelin sürünme özelliklerinin jelin bileşenlerine bağlı olması beklenir (Bhattacharya, 1998). Pirinç nişasta jelinin sürünme özellikleri amiloz içeriği ile güçlü bir şekilde doğrulanır (Noosuk vd., 2003; Noosuk vd., 2005). Pirinç jel gıdaları çoklu bileşenden meydana gelir. Ayrıca pirinçteki nişasta, protein ve yağ, pirinç jelinin özelliklerini etkiler.

Sürünme-gevşeme metodu numuneye sabit kuvvet yüklemesi basit bir uygulama olduğu için, gerinim gevşemesinden daha fazla tercih edilmiş olması gerekir (Blokksma ve Bushuk, 1988) ve yorumun basit olması gerekir (Blokksma, 1962).

Sürünme-geri kazanım tekniğiyle hamurun temel reolojik özellikleri hakkında 1930'dan beri birçok araştırma yapılmıştır (Blokksma, 1962; Hibberd ve Parker, 1979; Smith ve Tschoegl, 1970). Rapor edilen sonuçlara göre her nasılsa sabit olmayan neticeler ortaya çıkarılmıştır. Sadece genel sonuç, hamurun viskoelastik madde

olması ve tipik çapraz bağlı olmayan polimer gibi davranmasıdır. Buğday ununun pişme kalitesiyle hamurun sürünme geri kazanımı arasındaki ilişki hakkında mevcut olan hiçbir bilgi yoktur. Varsayımlara göre, daha yüksek protein içeriği ve daha iyi protein kalitesi daha geniş elastiklik gösterir ve sonuç olarak daha fazla geri kazanıma sahip olacaktır. Edwards vd. (1999) durum buğday hamuru glüteninin güçlülüğünü belirlemek için sürünme–geri kazanım metodunu kullanmıştır. Maksimum sürünme geriniminin durum buğday hamurunun güçlülüğünün değerlendirilmesinde önemli olduğu bulundu ve bu metot daha basit ve daha az numune gerektirmektedir.

b- Germe gevşeme testi

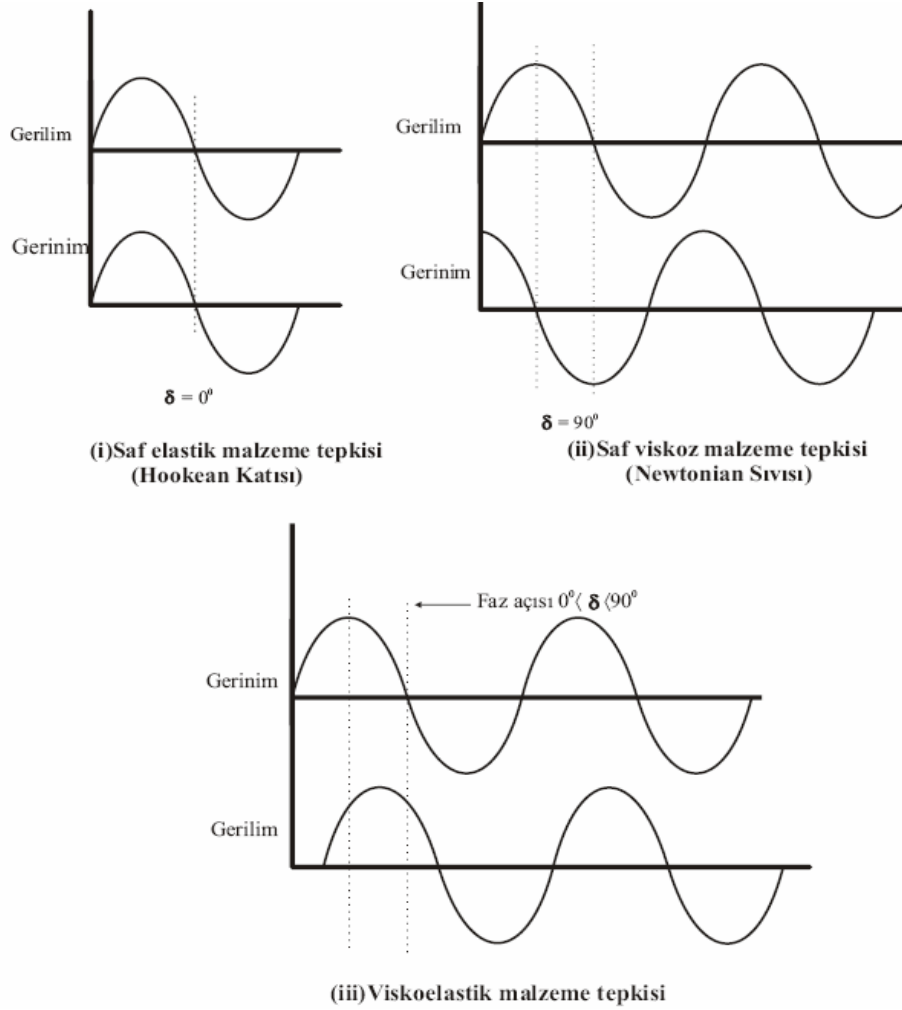
Sabit bir kuvvet uygulanması ve zaman ile gerinimdeki değişimin ölçülmesi yerine, sabit bir gerinim uygulanarak zaman ile gerilimdeki değişimi ölçmek mümkündür. Deneylerin bu tipleri gerilim gevşemesi olarak bahsedilir. Bilgilerin aynı çeşitleri ya sürünme ya da gerilim gevşemesi deneylerinden elde edilir ve metot mevcut aletlere bağlı olarak kullanılır.

1.8.2 Dinamik testler

Dinamik deneyde bir maddeye sinüzoidal gerilim uygulanır ve sinüzoidal gerinimin sonucu ölçülür. Bu alanda sadece numuneye gerilim uygulandığı durum ve ölçülen gerinim sonucu düşünülecektir.

Uygulanan gerilim genlik büyüklüğü (τ_0) ve açısal frekans (ω) tarafından karakterize edilir. Sonuç gerinimler uygulanan gerilimdeki gibi aynı frekansa sahiptir, fakat madde ile gevşeme mekanizması birleştirildiği için fazı farklıdır. Maddelerin viskoelastik özellikleri hakkında bilgi gerinimin faz değişiminin (δ) ve genlik büyüklüğünün (γ_0) ölçümüyle elde edinilebilir. Uygulanan gerilimin büyüklüğü bu test tiplerinde genellikle çok küçük olarak kullanılıp maddeler doğrusal viskoelastik alanlardadır.

Maddelerin dinamik kayma reolojik özellikleri kompleks kayma modülü $E^* = E' + iE''$ tarafından tanımlanmış olabilir, E' ve E'' parametreleri sırasıyla depolama (elastik) modülü ve kayıp (viskoz) modülü olarak ifade edilir. Buradaki E' her çevrimde maddede depolanan enerjinin ölçümüdür, oysa E'' her çevrimde ısı (ve bu nedenle kayıp) olarak yok olan bir enerji ölçümüdür. Tamamen elastik bir madde için gerilim ve gerinim tamamıyla aynı fazdadır (Şekil 1.9).



Şekil 1.9 Dinamik salınım test grafikleri

Tamamen viskoz bir madde için tüm enerji ısı olarak kaybolur ve gerilim ve gerinim 90° fazın dışındadır. Faz açısı δ sembolüyle gösterilir ve gerinimin arkasından gerilimin faz açısını takip eder. Maddenin faz açısı onun viskoelastik özelliklerini anlamak için bir gereklilik gösterir: Mükemmel elastik katı için $\delta=0^\circ$; mükemmel viskoz sıvı için $\delta=90^\circ$; ve viskoelastik maddeler için $0^\circ < \delta < 90^\circ$ 'dir. Bir madde ne

kadar çok elastik ise (belirli frekansta), faz açısı o kadar küçüktür ve her çevrimde o kadar küçük enerji miktarı yok olur. Salınımlı (sinüzoidal) deformasyon (gerilim veya gerinim) numuneye uygulanır ve malzeme tepkisi (gerilim veya gerinim) ölçülür. Deformasyon ve tepki arasında faz açısı δ veya faz aralığı ölçülür.

1.8.3 Dinamik Mekanik Analiz (DMA)

Dinamik mekanik analizi modern polimer laboratuvarında çok önemli bir alettir. Polimerlerin viskoelastik özelliklerinin belirlenmesi için güçlü bir tekniktir. Maddeler dinamik gerilim altında deforme olduğu zaman, DMA maddelerin katsayı (sertlik) ve sönümleme (enerji yok olması) özelliklerini ölçer. Bu ölçümler maddelerin performansı hakkında nicel bilgi sağlar. Teknik yapıstırıcı, kaplama, lifler, filmler, elastomerler ve gıda malzemeleri gibi maddelerin geniş farklılığını değerlendirmek için kullanılır. DMA camısı geçiş (T_g) olayını ölçmek için en duyarlı ısısal analiz tekniğidir ve yüksek doğal duyarlılığı olduğu için kıymetli bir tekniktir. İkinci derecede yumuşama ve faz geçişleri gibi olaylar kolayca DMA tarafından gözlenir ve herhangi bir ısısal teknik tarafından belirlenemez. DMA sonuçları sertlik ve etki dayanıklılığı gibi önemli mekanik özellikler ile bağlantılıdır.

Dinamik mekanik analiz ile sinüzoidal kuvvet veya gerilim numuneye uygulanır ve sinüzoidal deformasyon veya gerinim sonucu izlenir. Numune geriniminin cevabı zaman ile ilgili olarak giriş gerilim dalgası arkasında gecikir ve bu gecikme faz açısı olarak bilinir (δ). Dinamik gerilimin dinamik gerinime oranı kompleks modülü verir, (E^*), bu değer depolama (E') ve kayıp modülünden (E'') oluşur. Depolama modülü maddelerin enerji depolama yeteneğini ifade eder ve maddelerin sertliği ile ilgilidir. Kayıp modülü maddelerin verilen moleküler hareketinin sonucu olarak, numuneden ısının yok olduğunu gösterir. Kayıp ve depolama özellikleri oranı başka gerekli niceliği sağlar, $\tan\delta = E''/E'$. Tüm polimerleri içine alan çoğu maddenin doğal viskoelastikliği olduğu için, viskoelastik özellikler (E' , E'' ve $\tan\delta$), zaman ve frekans kadar sıcaklığın da bir fonksiyonudur. Endüstriyel ve bilimsel birliklerin her ikisi için her zaman en önemli konu polimerlerin yapı-özellik ilişkileridir. Numunenin mekanik özelliklerinin en pratik belirlenme yolu küçük büyüklükte sinüzoidal deformasyon modu ve geniş büyüklükte doğrusal deformasyon modunun her ikisinin de belirlenebildiği dinamik mekanik analiz cihazı aracılığıyla.

Her maddenin yay ve amortisörlerin kombinasyonunun bir viskoelastik modelinin belirlenebilmesi için klasik doğrusal deformasyon modları sürünme/geri kazanım ve germe/gevşemedir. DMA'nın klasik sinüzoidal deformasyon modu kayıp ve depolama modülü, $\tan\delta$ vb. temel madde parametrelerinin değişimlerini sağlar. DMA tarafından sağlanan tüm bilgiler maddelerin son kullanım performansının ve işlenebilirliğinin belirlenmesinde değerlidir. Dinamik mekanik reolojik testi (DMRT) kullanılabilen çok yönlü ısısal analiz metodudur ve başka hiçbir tek test metodu bir tek testteki numune hakkında daha fazla bilgi sağlamaz. Diğer taraftan önemli madde özellik bilgilerini sağlayan DMRT bir maddenin kimyasal yapılışı ve onun mekanik özelliği arasındaki doğrudan bağlantıyı sağlamaktadır. Maddeler;

- Termoplastik, ısı ile sertleşen madde veya elastomerik polimer,
- Polimer karışımı veya alaşım,
- Sıvı, erimiş madde veya katı,
- Peynir veya diğ macunu gibi yumuşak katı,
- Nemli, kuru, yumuşak veya sert köpük,
- Dispersiyon, emülsiyon veya çözelti,
- Dolgu maddeleri, pigmentler, plastikleştirici veya liflerdir.

Genellikle testler zararsızdır ve test yapılan deneysel maddeler için bir avantajda sadece küçük numunelere ihtiyaç olmasıdır.

DMRT ile maddenin camsı geçiş sıcaklığı, sönüm, viskozite, elastiklik davranışları, gerinim, gerinim oranı, sıcaklık ve salınım frekansı ve bunların değişimleriyle yapılan testler sonucunda, DMRT maddenin modül değerlerini verir ve maddenin karakterizasyonu yapılabilir.

Dinamik mekanik reolojik testlerde salınım gerinimi (sinüzoidal veya diğ dalga biçimi) numuneye uygulanır ve numunede gelişmiş sonuç gerilimi ölçülür. Çıkan sinyallerin sonucunda oluşan reolojik parametreler matematiksel metotlar kullanılarak hesaplanır ve analiz edilir.

Genel anlamda, endüstrideki reolojik araştırmalar ham maddelerin ve son ürünlerin her ikisinin kalite kontrolünde, onların muhtemel değişikliğinde, ürün

formülasyonlarında, proseslerin optimizasyonu ve kalite kontrolünde büyük bir rol oynar. Bir reolojik çalışma sayesinde, verilen sistemin sadece makroskopik özelliklerinin zamansal gelişimini değil, aynı zamanda onun yapısal ve/veya moleküler karakteristiklerindeki gelişimini de değerlendirmek mümkündür. Bunun sebebi, fabrikasyon esnasında veya daha önceki fazında polisakkarit matrislerinin (nişasta ve selüloz türevlerine dayanan) kayma etkilerinde ve sıcaklık çalışmalarındaki veya fermantasyon proseslerinin optimizasyonunda ve analizindeki (örneğin, mikrobiyal hücrelerarası polisakkarit üretimi) reolojinin iki taraflı da rol oynamasıdır.

Bir sistemin reolojik özellikleri ve onun proses şartları arasında bir ilişki kurulmasında temel veya verilen bir maddenin işlenebilirliğinin endüstriyi ilgilendiren açıdan değerlendirmesi, ancak uygun reolojik niceliğin belirlenmesi ve proses kinematik şartlarının detaylı bir analiziyle olur. Ayrıca bir fabrikasyon prosesinin aşamaları sırasında ve bazen aynı aşamalarda madde son derece farklı akış şartlarına maruz kalmış olabilir. Örneğin dar boyutlu uzun çevresel çizgi akış yönünün normaliyle çoğu polimer işleme akışı karakterize edilir, bu şartlar altında kayma viskozitesinin baskın reolojik etkisinin tartışılması zor değildir. Endüstriyel alanların çeşitliliği aşırı derecededir, maddelerin ve ürünlerin her alanında bulunan uygulamalar sayısızdır.

Endüstri araştırmacıları sık sık kompleks formülasyon problemleriyle karşılaşmaktadırlar. Reolojik özelliklerin incelenmesi, uygulamalı kullanımı sırasında ürün davranışı, performansının değerlendirilmesi ve ürün kalite kontrolünü sağlamak için temel bir basamaktır.

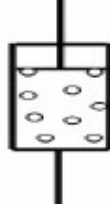
Endüstri araştırma ve gelişiminde özellikle de karbonhidrat polimerlerinin durumunda, farklı sıcaklık şartları ve çözücü ortam bileşenleri altında basit polisakkarit sistemlerinin akışkanlık özelliklerinin detaylı araştırılmasıyla jelleştirici, süspansiyon veya kalınlaştırıcı maddeler gibi polimerlerin mümkün endüstri uygulamalarında değerli bilgileri ortaya çıkarılabilir ve bundan dolayı reoloji, temel bir parça rolündedir. Modelleme ve bilgi korelasyonu tamamlayıcı basamakları oluşturur ve deneysel sonuçların kullanımı için gereklidir.

1.8.4 Matematiksel modelleme

Malzemelerin viskoelastik özellikleri (elastik) doğrusal yay ve (viskoz) deşpot gibi basit elemanların yardımıyla kolaylıkla anlaşılabilir (Şekil 1.10).



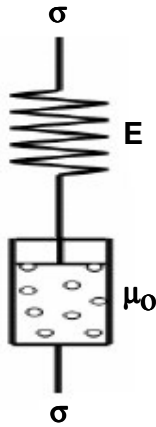
a. doğrusal yay



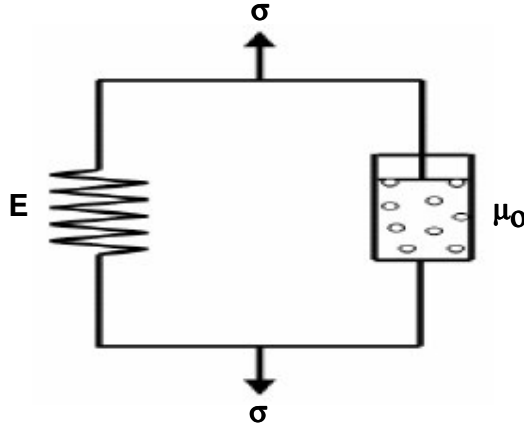
b. deşpot-yağ kutusu

Şekil 1.10 Elastik davranışı simgeleyen (a) Hooke cismi-yay ve viskoz davranışı gösteren (b) Newton cismi-yağ kutusu

En önemli basit modeller bu cisimlerin paralel ve seri bağlanmaları ile elde edilir (Şekil 1.11).



a. Maxwell modeli



b. Kelvin modeli

Şekil 1.11 Viskoelastik modeller

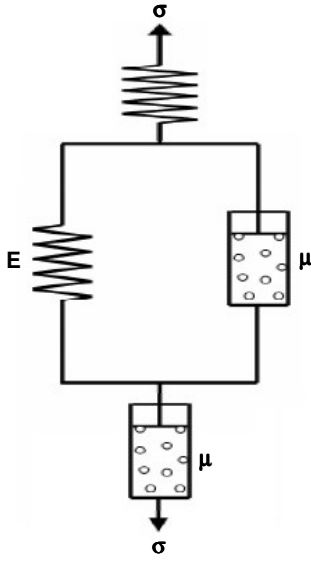
Maxwell modeli, akışkan özelliği üstün cisimleri, Kelvin modeli ise, katı cisimleri daha iyi simgeler. Maxwell ve Kelvin modellerinin düzenlenmesi ile viskoelastik malzemeler çok iyi tanımlanabilir.

a-Sürünme kompliansı

Denklem 1.1'de gösterildiği gibi sürünme verileri sürünme uyumuyla zamana bağlı olarak incelenebilir.

$$J(t) = \gamma(t)/\sigma \quad (1.1)$$

Kelvin modeli biyolojik malzemelerin modellenmesinde yeterli olmadığından dolayı, Kelvin ve Maxwell modellerinin seri bağlanmasından ortaya çıkan Burgers modeli kullanılır (Şekil 1.12). Burgers modelinde serbest yay başlangıçtaki elastik tepkiye, yay-deşpot kombinasyonu gecikmeli elastik davranışa ve serbest deşpot da viskoz özelliğe karşılık gelir (Şekil 1.13).



Şekil 1.12 Dört elemanlı Burgers modeli

Sabit gerilim altında malzemelerin sürünme davranışı aşağıdaki denklemle incelenir:

$$\gamma = f(t) = \sigma_0(1 - \exp(-t/\lambda_{ret}))/E \quad (1.2)$$

$$\gamma = f(t) = (\sigma_0/E_0) + (\sigma_0/E_1)(1 - \exp(-t/\lambda_{ret})) + (\sigma_0 t / \mu_0) \quad (1.3)$$

$\lambda_{ret} = \mu_1 / E_1$, geciktirme zamanı. Burgers modeli 1.3 nolu denklem sabit gerilime bölünürse sürünme kompliansı (uyumu) olarak da ifade edilebilir:

$$\gamma/\sigma_0 = f(t) = (1/E_0) + (1/E_1)(1 - \exp(-t/\lambda_{ret})) + (t/\mu_0) \quad (1.4)$$

Yukarıdaki denklem tekrar düzenlenirse

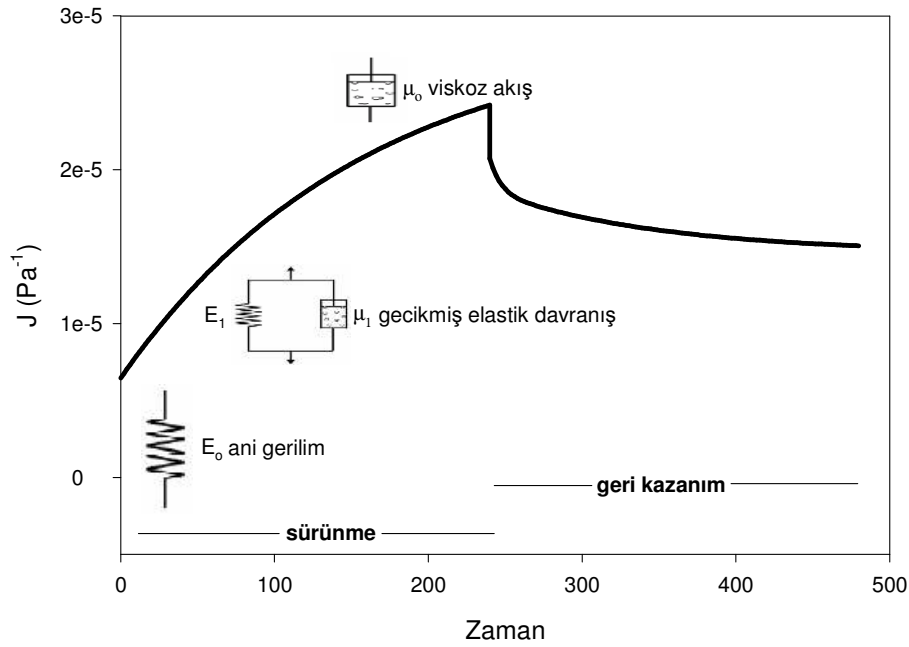
$$J = f(t) = J_0 + J_1(1 - \exp(-t/\lambda_{ret})) + (t / \mu_0) \quad (1.5)$$

elde edilir. J_0 , ani kompians, J_1 gecikmiş elastik kompians ve λ_{ret} Kelvin geciktirme zamanı ve μ_0 serbest deşpotun Newtonian viskozite değeridir. Sürünme ve geri kazanım test sonuçlarından malzemenin deformasyon miktarı veya önceki yapısını ne kadar koruduğu (enerji geri kazanımı) bulunabilmektedir.

$$\% \text{ geri kazanım} = [(J_M - J_R)/J_M]100 \quad (1.6)$$

J_M : maksimum sürünme kompians değeri

J_R : minimum geri kazanım kompians değeri



Şekil 1.13 Sürünme-geri kazanım kompians sonuçlarının Burgers denklemi ile modellenmesi

b-Germe-gevşeme

Germe-gevşeme testinde ani bir uzamaya karşılık gelen kuvvet, zamana bağlı olarak ölçülür. Veriler, germe-gevşeme modülüyle ölçülür.

$$F(t) = F_1 \exp(-t / \lambda_1) \quad (1.7)$$

Verileri incelerken sıklıkla kullanılan modeller; basit Maxwell, genel Maxwell ve Peleg & Normand modelleridir.

Maxwell modelini (Şekil 1.11) elastik (yay) ve viskoz (deşpot) elementlerinin seri bağlanmasıyla gösterebiliriz. Sabit uzama altında basit Maxwell modelinde uygulanan F kuvveti, F_1 den $F(n)$ 'e düşer;

$$F(t) = F_1 \exp(-t/\lambda_1) + F_2 \exp(-t/\lambda_2) + \dots + F_n \exp(-t/\lambda_n) \quad (1.8)$$

F_1 ve F_n bozulma ve kuvvetleri, λ_1 ve λ_n ise gevşeme zamanını gösterir. Ani bozulma kuvveti olan F_n gerilim veya elastik modül parametreleriyle yer değiştirebilir (Khazaei, 2004). Gıda maddelerinin çoğunluğu için altı sabitten oluşan üç terimli Maxwell modeli gerilim verilerini incelemede yeterli olmaktadır.

Peleg ve Normand gıda maddeleri için veri toplamada iki temel problemle karşılaşmıştır (Peleg ve Normand, 1983):

1. Büyük deformasyon altında genelde doğrusal olmayan viskoelastik davranış göstermesi
2. Gıdaların doğal yapısından kaynaklanan karasızlıklar ve biyolojik aktiviteler denge halinde oluşan mekanik parametreleri belirlemeyi zorlaştırır.

Bu güçlüklerin üstesinden gelebilmek için gerilim–gevşeme verileri normalize edilip aşağıdaki denkleme uyarlanır;

$$\sigma_0 t / (\sigma_0 - \sigma) = k_1 + k_2 t \quad (1.9)$$

σ_0 başlangıç gerilimi, σ herhangi bir zamanda azalan gerilim, k_1 ve k_2 sabitler. Deneysel verileri denklem 1.9'a uyarlamak hızlı ve etkili bir yoldur.

1.9. Tekstür profil analizi (TPA)

Temelde sıkıştırma testine benzeyen TPA, birbirini takip eden iki sıkıştırma döngüsünden oluşur (Şekil 1.14). Bu sıkıştırma döngüleri, aletsel olarak ağızda olan ısırma ve çiğnemeyi taklit etme amaçlı tasarlanmıştır. Tipik bir TPA eğrisinden sertlik, yapışkanlık, kohezyon, esneklik gibi birinci parametreler ve kırılma, çiğnenabilirlik ve sakızimsılık gibi ikinci parametreler elde edilir.

TPA parametrelerinin tanımları:

Sertlik: Sertlik değeri, ürünün ilk sıkıştırılmasındaki maksimum kuvvettir.

Kırılganlık: Bütün malzemeler bu özelliği göstermezler. Fakat malzeme kırılğan özelliğe sahipse, TPA eğrisindeki kuvvetteki ilk düşüş bu özelliğe karşılık gelir.

Yapışkanlık: TPA eğrisindeki negatif alan miktarıdır.

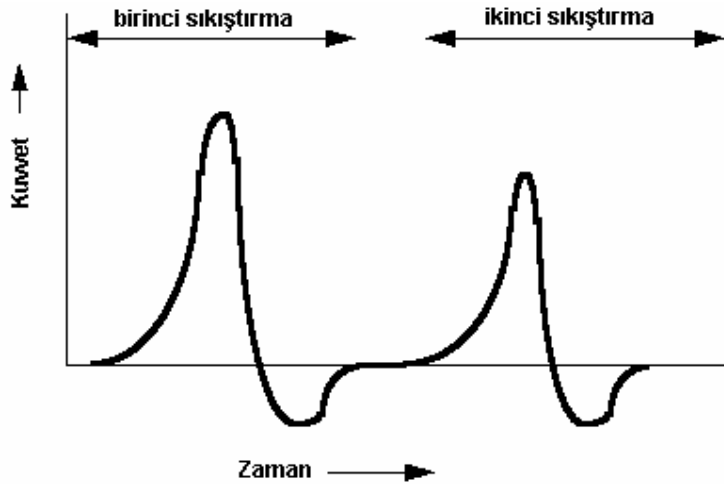
Sıklık: Ürünün ikinci deformasyona birincisine kıyasla ne kadar dayandığını gösterir.

Esneklik: Birinci sıkıştırmada deforme olan malzemenin ne kadar esneyeceğidir.

Çiğnenebilirlik: Sadece katı ürünler için geçerlidir. TPA eğrisinden Sakızımsılık*Esneklik değerlerinden hesaplanır.

Sakızımsılık: Sadece yarı katı ürünler için kullanılır. Sertlik*Sıklık değerlerinden hesaplanır.

Sağlamlık: Malzemenin orijinal haline gelmek için gösterdiği çabadır.



Şekil 1.14 Tekstür profil analiz grafiği

1.10. Amaç

Araştırma, glütensiz makarna üretim yöntemlerinin geliştirilmesi amacıyla planlanmıştır. Glütensiz bir tahıl ürünü hazırlanırken, glüten eksikliği nedeniyle ortaya çıkan önemli sorunlardan, hamurun viskoelastik özellik kazanımını sağlamak ve ürünün pişirme sırasında dağılmasını önlemektir. Bu nedenle, pirinç ve mısır bazlı karışımlara hamur tutma özelliği vermek için, çalışmalarda protein ve gamlar kullanılacaktır.

2 MATERYAL ve YÖNTEM

2.1 Materyal

2.1.1 Hammadde

Mısır ve pirinç irmikleri Beslen Makarna Gıda Sanayi ve Ticaret A.Ş. (Gaziantep, Türkiye) tarafından sağlandı.

2.1.2 Kimyasallar

Çalışmalarda kullanılan ksantan (XG), keçiyoynuzu (KBG), guar (GG), karagenan (KG), karboksimetil selüloz (KMS) gamları ve kazein (KZN), yumurta akı (YA) proteinleri ve gliserin mono stearat (GMS) Sigma ve Merck firmalarından temin edildi.

2.2 Yöntem

2.2.1 Jelatinizasyon

İrmik örnekleri % 40 neme ulaşınca kadar hamur mikserinde (Model 5KSM150PS, KitchenAid, Brussels, Belgium) üzerine sıcak su püskürtülerek karıştırıldı. % 40 nemlendirilen örnekler; (i) etüv (Nüve, Nel Elektronik A.Ş., Ankara, Türkiye) içerisinde, 80°C etüv sıcaklığında ve beherlere su konularak nem sağlanması suretiyle, (ii) etüv içerisinde sürekli buhar (80°C) üretici cihaz (rapid vaporizatör, SUTAŞ Makine San. ve Tic. Ltd. Şti.) kullanılarak, (iii) mikrodalga fırın (MD 584, Arçelik A.Ş., İstanbul, Türkiye) içerisinde 360 W güç seçilerek ve beherlere su konularak nem sağlanması suretiyle ve (iv) otoklav (Taşınabilir, Dixons Surgical Instruments, London, UK) kullanılarak 110°C’de jelatinizasyon işlemleri yapıldı.

2.2.2 Jelatinize irmik, gam, protein ve emülgatör karışımlarının hazırlanması

Tablo 2.1 ve 2.2’de hazırlanan hamur karışımlarına eklenen gam, protein ve emülgatörlerin miktarları gösterilmektedir.

Tablo 2.1 % 60, % 80 ve % 100 JP’lerin gam, protein ve emülgatörler ile karışım oranları

Jelatinizasyon derecesi	Gam					Protein		Emülgatör
	GG	KBG	KG	KMS	XG	KZN	YA	GMS
% 60	-	-	-	-	-	-	-	-
% 60	% 2	-	-	-	-	-	-	-
% 60	-	% 2	-	-	-	-	-	-
% 60	-	-	% 2	-	-	-	-	-
% 60	-	-	-	% 2	-	-	-	-
% 60	-	-	-	-	% 2	-	-	-
% 60	-	-	-	-	-	% 2	-	-
% 60	-	-	-	-	-	-	% 2	-
% 60	-	-	-	-	-	% 1	% 1	-
% 60	% 1	-	-	-	-	% 1	-	-
% 60	-	% 1	-	-	-	% 1	-	-
% 60	-	-	% 1	-	-	% 1	-	-
% 60	-	-	-	% 1	-	% 1	-	-
% 60	-	-	-	-	% 1	% 1	-	-
% 60	% 1	-	-	-	-	-	% 1	-
% 60	-	% 1	-	-	-	-	% 1	-
% 60	-	-	% 1	-	-	-	% 1	-
% 60	-	-	-	% 1	-	-	% 1	-
% 60	-	-	-	-	% 1	-	% 1	-
% 60	-	-	-	-	% 1	% 1	-	% 1
% 60	-	-	-	% 1	-	% 1	-	% 1
% 60	% 1	-	-	-	-	% 1	-	% 1
% 80	-	-	-	-	-	-	-	-
% 80	-	% 2	-	-	-	-	-	-
% 80	-	-	% 2	-	-	-	-	-
% 80	-	-	-	% 2	-	-	-	-
% 80	-	-	-	-	% 2	-	-	-
% 80	-	-	-	-	-	% 2	-	-
% 80	-	% 1	-	-	-	% 1	-	-
% 80	-	-	% 1	-	-	% 1	-	-
% 80	-	-	-	% 1	-	% 1	-	-
% 80	-	-	-	-	% 1	% 1	-	-
% 80	-	-	-	% 1	-	% 1	-	% 1
% 80	-	-	-	-	% 1	% 1	-	% 1
% 100	-	-	-	-	-	-	-	-
% 100	-	% 2	-	-	-	-	-	-
% 100	-	-	% 2	-	-	-	-	-
% 100	-	-	-	% 2	-	-	-	-
% 100	-	-	-	-	% 2	-	-	-

Tablo 2.1 (devam)

Jelatinizasyon derecesi	Gam					Protein		Emülgatör
	GG	KBG	KG	KMS	XG	KZN	YA	GMS
% 100	-	-	-	-	-	% 2	-	-
% 100	-	% 1	-	-	-	% 1	-	-
% 100	-	-	% 1	-	-	% 1	-	-
% 100	-	-	-	% 1	-	% 1	-	-
% 100	-	-	-	-	% 1	% 1	-	-
% 100	-	-	-	% 1	-	% 1	-	% 1
% 100	-	-	-	-	% 1	% 1	-	% 1

Tablo 2.2 JM/JP'lerin gam, protein ve emülgatörler ile karışım oranları

Jelatinizasyon derecesi	Gam					Protein		Emülgatör
	GG	KBG	KG	KMS	XG	KZN	YA	GMS
K1	-	-	-	-	-	-	-	-
K2	-	-	-	-	-	-	-	-
K2	% 2	-	-	-	-	-	-	-
K2	-	% 2	-	-	-	-	-	-
K2	-	-	% 2	-	-	-	-	-
K2	-	-	-	-	% 2	-	-	-
K2	-	-	-	-	-	% 2	-	-
K2	% 1	-	-	-	-	% 1	-	-
K2	-	% 1	-	-	-	% 1	-	-
K2	-	-	% 1	-	-	% 1	-	-
K2	-	-	-	-	% 1	% 1	-	-
K2	% 1	-	-	-	-	% 1	-	% 1
K2	-	% 1	-	-	-	% 1	-	% 1
K2	-	-	% 1	-	-	% 1	-	% 1
K2	-	-	-	-	% 1	% 1	-	% 1
K3	-	-	% 1	-	-	% 1	-	% 1
K3	-	-	-	-	% 1	% 1	-	% 1

Gam-protein karışımlarının etkisi için ise %1 gam + % 1 protein (g/g) olacak oranda örnekler eklendi. Çalışmalarda XG, KBG, GG, KG ve KMS gamları ve protein olarak ise KZN ve YA kullanıldı. Protein ve gamlar su içerisine eklendi, 50°C sabit sıcaklıkta 5 dakika sürekli karıştırılarak JP ve JM irmiklerine karıştırılarak hamur örnekleri hazırlandı. Çalışmalar sonucunda seçilen karışımlara % 1 (g/g) GMS eklendi.

2.2.3 Numune hazırlama

Ölçümler için jelatinize edilmiş pirinç (JP), mısır (JM) ve jelatinize edilmemiş pirinç (P), mısır (M) irmikleri kullanıldı. Tüm numuneler öğütülerek 425 mikronluk eleklerden geçirildi. Planlanan karışımlara, % 40 (g su/g toplam madde) su eklendi. Karışımlar 2 dakika elde yoğrulduktan sonra laboratuvar tipi (Marcato, İtalya) erişte makinesinden geçirilerek (7 birim aralıkla başlanıp, 2 birime kadar ikişer kez hamur yoğurma kısmından geçirildi) yaklaşık 2-3 mm kalınlığında hamur tabakaları Dinamik mekanik analiz (DMA), tekstür ve renk ölçümleri için hazırlandı.

2.2.4 Makarna üretimi

Reolojik ölçümler sonucunda deformasyonu az olan hamur örnekleri, tek vidalı ekstruder (PolyDrive, Haake GmbH, Karlsruhe, Germany) ile vakum uygulanarak makarna üretiminde kullanıldı.

2.3 Analizler

2.3.1 Nem miktarı

Yaklaşık 2 g pişmemiş numuneler öğütülerek 2 saat 105°C'lik etüvde kurutularak nem miktarı hesaplandı (AOAC, 1995).

2.3.2 Protein miktarı

Protein miktarı standart Kjeldahl metoduyla (Malcolmson, 1993) bulundu. Kuru madde miktarı üzerinden yüzde protein miktarı hesaplandı.

2.3.3 Nem alma kapasitesi

Bölüm 2.2.1.d. de açıklanan metoda göre jelatinize edilen örnekler kurutularak nem-sıcaklık-zaman kontrollü dört mevsim etüvde (Nüve-ID 501, Nel), 20, 30 ve

40°C’lerde ve % 90 bağıl nemli ortamda bekletilerek su alma kapasitesi ölçüldü. Sonuçlar Peleg denklemi ile modellendi.

2.3.4 Pişme kaybı

Piştirme sırasında makarnadan piştirme suyuna geçen toplam katı madde miktarıdır. Makarna pişirildikten sonra kalan piştirme suyundan alınan örnek 105°C etüvde 2 saat kurutularak, % pişme kaybı hesaplanır.

2.3.5 Renk ölçümü

Hamur örneklerinin renk değerleri HunterLAB ColorFlex (Model A60- 1010-615, Hunter Associates Lab. Inc. Reston VA, USA) spektrokolorimetre ile ölçüldü ve sonuçlar CIE 1976 L*a*b* renk biriminde gösterildi.

2.3.6 Termal analiz

Diferansiyel taramalı kalorimetre (DTK) ölçümleri için jelatinize edilmiş ve edilmemiş irmik örnekleri öğütölüp, 0,25 mm elekten geçirildikten sonra kullanıldı. Örneklerin nem miktarına Kızılötesi Kurutucuda (Sartorius Thermo-Control YTC, Göttingen, Germany) bakıldı. Öğütölmuş numunelerden yaklaşık 10 mg DTK kaplarına tartıldı ve 1:3 oranında saf su eklendi. Kaplar kapatıldıktan sonra 4°C buzdolabında bir gece bekletildi. Perkin Elmer DTK 6 (Perkin Elmer Inc., Wellesley, USA) indiyum ile kalibre ettikten sonra ölçümler yapıldı. Boş kap şahit olarak kullanıldı. Numuneler, 5°C/dk’lık ısı artırımıyla 20’den 140°C’ye kadar ısıtıldı. Isının homojen bir şekilde yayılması için azot gazı (40 ml/dk) kullanıldı. Başlangıç (T_o), tepe (T_p) ve bitiş (T_e) sıcaklıkları yazılım programıyla belirlendi. Erime aralıkları ($\Delta T_r = T_e - T_o$) hesaplandı. % Jelatinizasyon derecesi aşağıdaki gibi hesaplandı (Ndife, 1998):

$$\% \text{ Jelatinizasyon derecesi} = (1 - (\Delta H_t / \Delta H_s)) * 100 \quad (2.1)$$

ΔH_t : Farklı jelatinizasyon zamanlarında irmiğin entalpisi (J/g)

ΔH_s : İşlenmemiş irmiğin jelatinizasyon entalpisi (J/g)

2.3.7 Reometre ölçümleri

Sürünme-geri kazanım ölçümleri TCP/peltier ısıtmalı ve sıcaklık kontrollü (DC10) reometre (RheoStress1-Haake GmbH, Karlsruhe, Germany) ve 35 mm çapında paralel-plaka sensör kullanılarak yapıldı. Sürünme-geri kazanım testlerinde hamur örnekleri 25°C sabit sıcaklıkta, 2 mm paralel plakalar aralığında, nem kaybını engellemek amacıyla havaya açık kısımları yağla kaplanarak 4 dakika dengeye gelmesi için bekletildi. Sürünme testinde 750 Pa'lık ani bir gerilim uygulandı ve sürünme deformasyonu için 4 dakika sabit tutuldu. Geri kazanım kısmında ise gerilim 0 Pa'a azaltılarak hamur 4 dakika süresince geri kazanıma bırakıldı.

2.3.8 DMA ölçümleri

Viskoelastik testler statik ve dinamik metotlarla DMA (Pyris-Diamond, PerkinElmer, USA) ile yapıldı. Yaklaşık 6 mm çapında ve 2-3 mm kalınlığında kesilen hamur örnekleri kurumayı önlemek amacıyla ince filmle kaplanarak, paralel plaka sıkıştırma test aparatının alt kısmına yerleştirildi. Testler 25°C'de ikişer kez tekrarlanarak ortalama değerler gösterildi. Hazırlanan hamur numuneleri paralel plaklar arasına yerleştirildi. Salınım testi için 50 mN ve 0.1, 0.2, 0.5, 1 ve 2 Hz frekanslar uygulanarak dinamik testler yapıldı. Test sırasında elastik-depolama (E'), viskoz-kayıp (E''), kompleks (E*) modülleri ve faz açısı (tan δ) değerleri kaydedildi. Sonuçlar modül ve faz açısı değerlerinin frekansa karşı değerleriyle gösterildi.

2.3.9 Tekstür ölçümleri

2.3.9.1 Sürünme testi

Yaklaşık 6 mm çapında ve 2-3 mm kalınlığında kesilen hamur örnekleri kurumayı önlemek amacıyla ince filmle kaplanarak, tekstür cihazının (TA-XT2i Stable Micro Systems Ltd., Godalming, Surrey, UK) alt kısmına yerleştirildi. Sürünme testinde 25

mm silindir (P/25 alüminyum) ile 2 N'luk ani bir kuvvet uygulandı ve sürünme deformasyonu için 4 dakika sabit tutuldu. Testler 25°C'de ikişer kez tekrarlanarak ortalama değerler gösterildi.

2.3.9.2 Tekstür profil analizi (TPA)

Tekstür profil analizleri, reolojik ölçümler sonucunda seçilen karışımların ekstruderde üretilerek kurutulan örneklerin pişme özelliklerinin belirlenmesi için uygulanır. Örneklerin 1 mm/s test hızında HDP/PFS probu ile çift basamaklı sıkıştırma analizi yapıldı. Elde edilen kuvvet-zaman grafiklerinden sertlik, kohezyon, esneklik, yapışkanlık, çiğnenebilirlik ve geri kazanım değerleri bulundu.

3 BULGULAR ve TARTIŞMA

Glütensiz makarna karışımları pirinç ve mısır irmikleri üzerine yapılan çalışmaları içermektedir. Tablo 3.1’de mısır ve pirinç irmiklerinin başlangıç kalite değerleri verilmiştir.

Tablo 3.1 İrmik örneklerinin başlangıç kalite değerleri

	Nem (%)	Protein (%)	Karbonhidrat (%)	Yağ (%)	Renk			SI
					L*	a*	b*	
Mısır	11,2	9,4	72	4,2	82,57	11,02	42,48	78,69
Pirinç	13,0	7,0	79	0,6	86,55	-0,60	10,50	19,60

SI: sarılık indeksi

3.1 Termal analiz

Nişasta jelatinizasyonu ve erimesi gıda malzemeleri için hem dokusal hem de yapısal özellikler açısından önemlidir. Makarnanın pişme ve ekstrüzyonunun optimizasyonu için nişasta jelatinizasyonunun kinetiği bilinmelidir (Spigno, 2004). Nişasta, irmiğin temel bileşenlerinden birisi olup; pişmiş makarnada sertlik kısmen de olsa jelatinize olmuş nişasta özelliklerinden etkilenmektedir (Dexter, 1979). Jelatinizasyon sıcaklığı nişasta tipi ve nişastanın amorf kısmının camsı hale geçiş özelliklerine bağlıdır (Eerlingen, 1995). Tablo 3.2-3.3’de farklı metotlarla jelatinize edilmiş pirinç ve mısır irmiklerinin ortalama DTK jelatinizasyon değerleri gösterilmektedir.

Kullanılan farklı metotlar incelendiğinde tepe sıcaklıkları ve jelatinizasyon sıcaklığı aralığında bazı farklılıklar görülmektedir. Glütensiz makarna üretiminde kullanılacak jelatinize derecesinin % 60-80 arasında olması gerektiği yapılan araştırmalarda tespit edilmiştir. Kısmi jelatinizasyon, kullanılacak irmiklerin hamur hazırlama esnasında su tutma kapasitelerinin artmasını sağlamak ve hamur yapışkanlığını azaltmak amacıyla yapılır. Ayrıca jelatinizasyon, ekstrüzyon sonrası çıkan ürünün hızlı kurumasını engellemektedir.

Jelatinizasyon farklı metotlar kullanılarak yapılabilmektedir. İşlenmemiş tahıl ürünleri sıcak suda veya basınçlı kaplarda ısıtılarak jelatinize edilirler. İrmik olarak işlenmiş tahıl ürünleri ise önceden nemlendirilerek kapalı kaplarda sıcak buharın etkisiyle, mikrodalga ve ekstruder kullanılarak jelatinize edilmeleri mümkündür. Deneme çalışmalarında irmiklerin kısmi jelatinizasyonu için otoklav metodunun daha uygun olduğu bulunmuştur. Otoklavda jelatinize yöntemi zaman ve enerji kullanımını azaltması bakımından tercih edilmiştir. Tablo 3.2-3.3’de diğer metotlarla karşılaştırıldığında irmiklerin otoklavda 1 saatte jelatinize olduğu görülmektedir.

Tablo 3.2 Farklı metotlarla jelatinize edilmiş pirinç irmiklerinin termal özellikleri

Metot	Zaman	T _o (°C)	T _p (°C)	T _e (°C)	ΔT _r (°C)	ΔH (J/g)	Jelatinizasyon (%)
İşlenmemiş	-	63,83	70,01	76,16	12,33	8,15	-
Etüv-80°C	1 saat	64,09	70,42	75,91	11,82	7,13	10,88
Etüv	1 saat	71,54	75,35	82,73	11,19	5,90	26,25
Buhar-80°C	2 saat	71,92	76,43	83,64	11,72	5,51	31,13
	3 saat	72,96	76,67	83,02	10,06	4,21	47,38
	5 saat	74,37	77,83	84,80	10,43	3,97	50,38
Otoklav-110°C % 40 nem	1 saat	-	-	-	-	0	100
Mikrodalga % 40 nem	5 dk	65,89	71,99	78,86	12,97	6,48	19

Tablo 3.3 Farklı metotlarla jelatinize edilmiş mısır irmiklerinin termal özellikleri

Metot	Zaman	T _o (°C)	T _p (°C)	T _e (°C)	ΔT _r (°C)	ΔH (J/g)	Jelatinizasyon %
İşlenmemiş	-	68,43	74,10	80,36	11,93	12,72	-
Etüv-80°C	1 saat	68,04	73,22	78,28	10,14	10,52	17,30
Etüv	1 saat	76,39	78,95	82,92	6,53	7,71	39,39
buhar -80°C	2 saat	74,93	77,50	81,55	6,62	7,45	41,43
	3 saat	76,85	79,20	82,65	5,80	6,23	51,02
	5 saat	77,17	80,02	84,16	6,99	5,55	56,37
Otoklav-110°C % 40 nem	1 saat	-	-	-	-	0	100
Mikrodalga % 40 nem	5 dk	73,65	75,51	78,39	4,74	5,62	55,82

3.2 Nem tutma kapasitesi

Farklı jelatinizasyon derecelerine sahip irmik örnekleri kurutularak nem-sıcaklık-zaman kontrollü dört mevsim etüvde, 20, 30 ve 40°C’lerde ve % 90 bağıl nemli ortamda nem tutma kapasiteleri ölçüldü. Sonuçlar Peleg denklemi ile modellendi.

$$M(t) = M_0 + t/(K_1 + K_2t) \quad (3.1)$$

$M(t)$: zamanla artan nem miktarı; M_0 : başlangıç nem miktarı; K_1 ve K_2 : Peleg sabitleri; t : zaman. Peleg denklemi çoğunlukla tam taneli ve işlenmemiş tahıl ürünlerinin farklı sıcaklıklarda ıslatma çalışmalarında su alma kapasitelerinin belirlenmesi için model olarak kullanılan bir denklemdir (Gowen vd., 2007; Resio vd., 2006). Bu çalışmada ise, irmik örneklerinin su içerisinde bekletilmesinin mümkün olmayacağı düşünülerek, örnekler sabit nemli ortamda tutulmak suretiyle nem alma kapasiteleri bulunmuştur.

Kinetik sonuçlara doğrusal regrasyon analizi yapılarak Peleg denklemine uygunluğu ve K_1 , K_2 sabitleri hesaplanmıştır. Tablo 3.4 ve 3.5 Peleg denkleminin nem alma kapasiteleri için uygun bir model olduğunu göstermektedir. Model sonuçlarından bulunan K_1 değerleri sıcaklıkla azalma göstermekte ve jelatinizasyon derecesine bağlı olarak artmaktadır. Bu nedenle K_1 değeri difüzyon kinetiği hız katsayısı olarak kabul edilebilir. K_2 değeri ise, tam tersi bir durum göstermektedir. Şekil 3.1 ve 3.2’de pirinç ve mısır irmiklerinin nem alma kapasiteleri incelendiğinde birçok nem soğurma çalışmalarında bulunan sonuçlara benzer bir özellik olarak, sıcaklık artışı ile örneklerin nem alma kapasitelerinin azaldığı görülmektedir. Jelatinizasyon derecesinin artması ile nem alma kapasiteleri artmaktadır (Maskan, 2002). Çalışmalarda mısır ve pirinç irmiklerinin su tutma kapasitelerinin arttırmak amacı ile jelatinizasyon işlemleri yapılmıştır. Aynı zamanda jelatinizasyon, örneklerin kurutma sırasında nem kaybetme hızını azaltmaktadır. Şekil 3.1 ve 3.2 karşılaştırıldığında, pirinç irmiklerinin mısır irmiklerine kıyasla biraz daha fazla nem tutma özelliği olduğu görülmektedir. Bu pirinç irmiğinde amiloz/amilopektin oranının mısıra göre daha az olmasından kaynaklanmaktadır. Tablo 3.2 ve 3.3’de pirincin T_p değerinin mısırdan daha düşük olması, işlenmemiş pirincin daha az amiloz içeriği olduğunu göstermektedir. Ayrıca, mısırın azda olsa yağ içermesi nem tutma özelliğinin

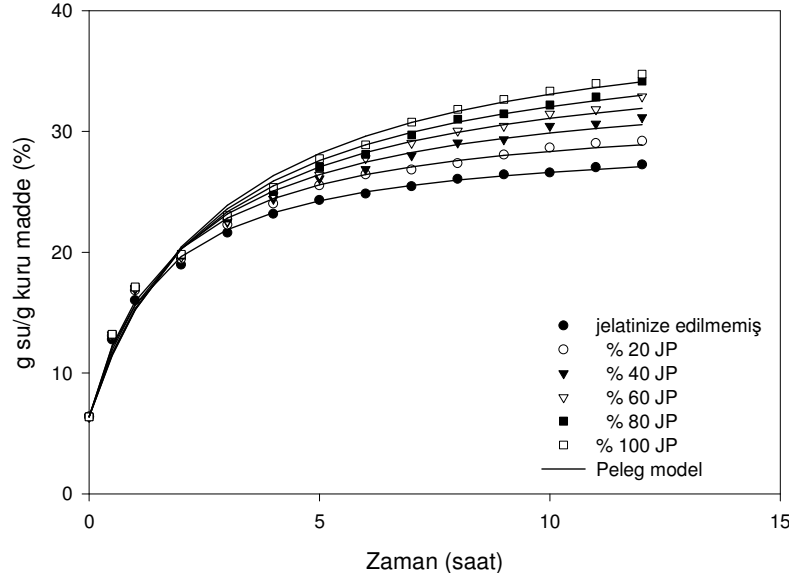
azalmasına neden olmaktadır. $1/K_1$ değeri aktivasyon enerjisi hesaplamak amacıyla Arrhenius denkleminde uygulanarak, sıcaklığın farklı jelatinizasyon derecelerindeki örneklerin su tutma özellikleri üzerine etkisi hesaplandı.

$$1/K_1 = K_0 \exp(-E/RT) \quad (3.2)$$

Tablo 3.4 Pirinç irmikleri nem tutma kapasitelerinin Peleg ve Arrhenius parametreleri

Jelatinizasyon Derecesi	Sıcaklık (°C)	K_1	K_2	R^2	K_0	E_a (kJ/kmol)	R^2
Jelatinize edilmemiş	20	0,0651	0,0429	0,998	4915	14027	0,991
	30	0,0522	0,0609	0,997			
	40	0,0451	0,0929	0,997			
20 %	20	0,0658	0,0389	0,995	5219	14205	0,992
	30	0,0528	0,0518	0,993			
	40	0,0453	0,0847	0,984			
40 %	20	0,0730	0,0353	0,991	20537	17743	0,964
	30	0,0532	0,0485	0,991			
	40	0,0469	0,0791	0,978			
60 %	20	0,0788	0,0326	0,989	50011	20122	0,981
	30	0,0564	0,0462	0,986			
	40	0,0466	0,0771	0,974			
80 %	20	0,0821	0,0307	0,988	76115	21232	0,983
	30	0,0578	0,0447	0,988			
	40	0,0471	0,0738	0,976			
100 %	20	0,0842	0,0290	0,990	96761	21894	0,986
	30	0,0590	0,0416	0,987			
	40	0,0475	0,0688	0,969			

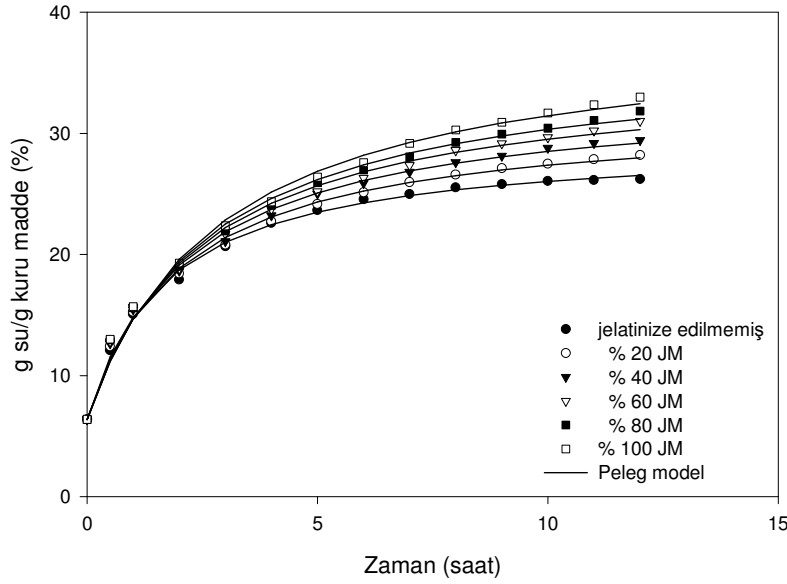
Pirinç irmiklerinin aktivasyon enerjileri incelendiğinde nem tutma özelliğinin sıcaklığa karşı daha hassas olduğu görülmektedir.



Şekil 3.1 Farklı jelatinize derecelerindeki pirinç irmiklerinin nem tutma kapasiteleri (20°C)

Tablo 3.5 Mısır irmikleri nem tutma kapasitelerinin Peleg ve Arrhenius parametreleri

Jelatinizasyon	Sıcaklık	K_1	K_2	R^2	K_0	E_a	R^2
Derecesi	(°C)					(kJ/kmol)	
Jelatinize edilmemiş	20	0,0751	0,0434	0,997	8458	15685	0,984
	30	0,0581	0,0580	0,999			
	40	0,0498	0,0847	0,998			
20 %	20	0,0809	0,0396	0,996	19264	17854	0,972
	30	0,0590	0,0531	0,998			
	40	0,0507	0,0775	0,984			
40 %	20	0,0832	0,0369	0,994	24912	18553	0,979
	30	0,0608	0,0496	0,993			
	40	0,0512	0,0733	0,976			
60 %	20	0,0856	0,0347	0,993	32016	19224	0,971
	30	0,0612	0,0483	0,993			
	40	0,0518	0,0706	0,992			
80 %	20	0,0869	0,0331	0,993	37123	19635	0,984
	30	0,0630	0,0462	0,990			
	40	0,0520	0,0688	0,991			
100 %	20	0,0893	0,0309	0,992	50061	20434	0,987
	30	0,0642	0,0443	0,990			
	40	0,0524	0,0665	0,993			



Şekil 3.2 Farklı jelatinize derecelerindeki mısır irmiklerinin nem tutma kapasiteleri (20°C)

3.3 Reolojik ölçümler ve renk analizi

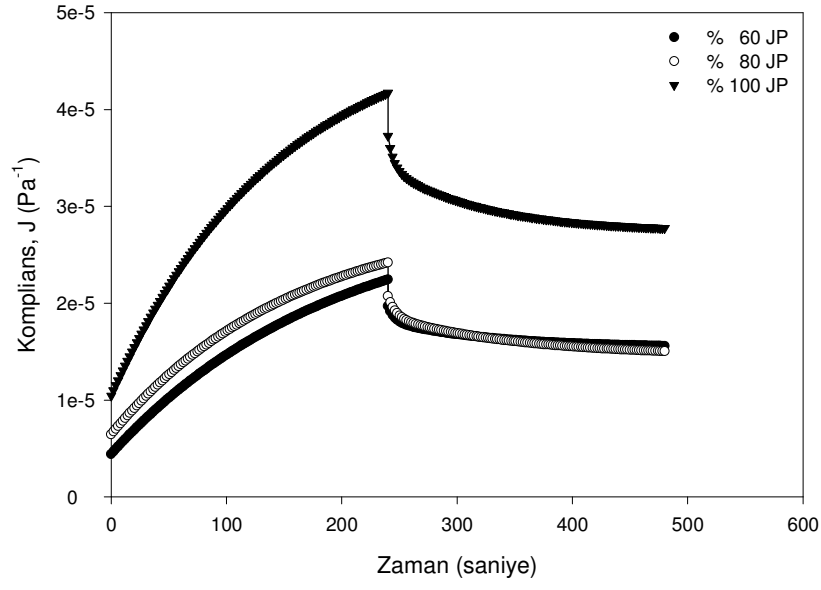
3.3.1 Jelatinize pirinç karışımları

Hamur karışımlarına uygulanan gerilim doğrusal viskoelastik bölgede seçilerek belirlenmiştir. DMA ölçümlerinde elde edilen sürünme-geri kazanım eğrileri glütensiz hamur karışımları elastik ve viskoz özelliğe sahip tipik bir viskoelastik davranışı göstermektedir (Steffe, 1992). Buğday hamuru ile yapılan ölçümlerde benzer sonuçlar daha önce yapılan çalışmalarda da görülmüştür (Edwards vd., 1999; Wang ve Sun 2002). Ölçümlere öncelikle katkısız pirinç örnekleriyle başlanarak % 100, % 80 ve % 60 jelatinize hamurların viskoelastik davranışları belirlendi. % 60 jelatinize derecesinin altında, pirinç örneklerinin hamur tutma özelliğinin olmaması nedeniyle, çalışmalara seçilen bu üç jelatinize derecesi ile devam edildi. DMA ölçümleri sonucunda bulunan gerinim değerleri, denklem 1.2-1.5 kullanılarak sürünüm komplians değerleri olarak düzenlenip Şekil 3.3'de gösterilmiştir. Komplians değerleri 4 elemanlı Burgers denklemi ile modellenerek, bulunan parametreler Tablo 3.6'da verildi.

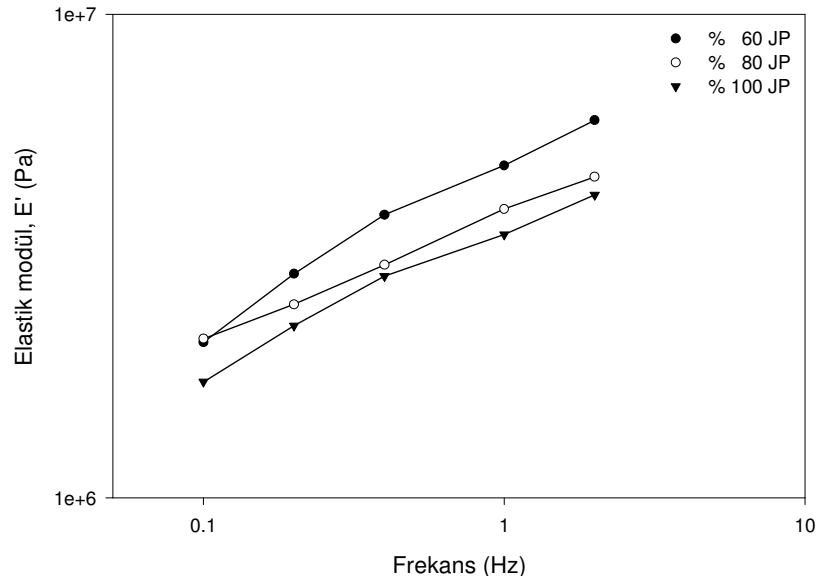
Şekil 3.3'de farklı jelatinize derecelerine sahip katkısız pirinç hamurlarının sürünüm-geri kazanım komplians değerlerinin zamanla değişimi görülmektedir. Jelatinizasyon

derecesinin artması ile hamurlar daha viskoz yapıda, esnek ve kolay deforme olabilmektedir. % 60 ve 80 JPden yapılan hamurlar daha elastik bir davranışa sahiptir. Tablo 3.6'da ani kompians (J_0) değerleri incelendiğinde % 60 jelatinize ırmik daha düşük bir kompians değeri göstermiştir. % 80 JPde ise, bu değeri yüksek olmasına rağmen viskozite ve geri kazanım değerlerine bakıldığında daha iyi bir elastik davranış görülmektedir. Geciktirme zamanı (λ) bunu doğrulamaktadır (Steffe, 1992). Lineer elastik davranış gösteren malzemelerde λ değeri sıfıra yaklaşmaktadır ve % 80 JP hamurunun λ değeri diğer hamur örneklerinden düşüktür. Geciktirme zamanının artması, malzeme karışımlarında bulunan viskoz özellik veren kısımların artması ile açıklanabilmektedir. Sürünme-geri kazanım grafiği incelendiğinde (Şekil 1.8), geri kazanım bölgesinde görüldüğü üzere elastik kısım yeniden yapıyı koruyacak olan enerjiyi biranda kazanmakta ancak, viskoz ve elastik karışımında belli bir gecikme zamanından sonra değişme sabit kalmaktadır. Bu bölge ise, gecikmiş elastik davranış olarak bilinmektedir ve gerekli olan zaman, geciktirme zamanı olarak tanımlanmaktadır. Benzer davranış sürünme kısmında da görülmektedir. Hamur içerisinde viskoz davranışı arttıran (nişasta) kısımların fazlalığı, geciktirme zamanını uzatmaktadır.

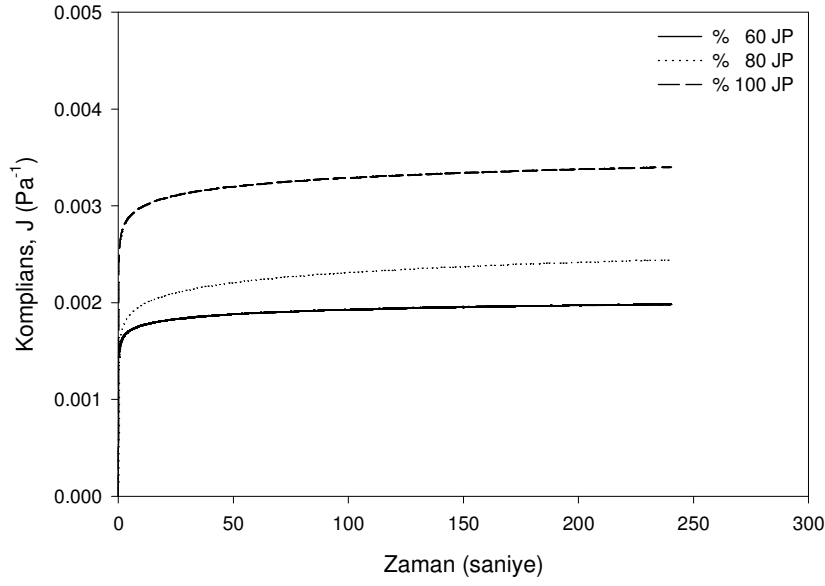
% 100 JP'den yapılan hamur süngerimsi bir yapıya sahip olduğundan daha fazla deforme olmaktadır. Şekil 3.3'de, % 100 JP'nin maksimum sürünme kompians değerinin (sürünme eğrisi tepe noktası) diğer hamur örneklerinden daha yüksek olduğu anlaşılmaktadır. Bu sonuç, % 100 JP hamurunun daha yumuşak ve kolay deforme olduğunun göstergesidir. Şekil 3.4'de DMA dinamik salınım ölçümlerinden elde edilen elastik modül (E') değerlerinin frekansla değişimi verilmektedir. % 60 JP'nin elastik modül değeri diğer JPlerden yüksektir. Hamur karışımlarının DMA sonuçlarından bulunan viskoz modül (E'') değerleri çalışılan frekanslarda elastik modül değerlerinden düşüktür. Benzer gözlemler birçok dinamik reolojik çalışmalarında rapor edilmiştir (Dobraszczyk ve Morgensten 2003; Weipert, 1990). % 60 JP'nin elastik modül değerinin yüksek olması tekstür analiz ile yapılan sürünme kompians değerleriyle de doğrulanmaktadır (Şekil 3.5). Enerji sarfiyatını azaltmak, eklenen hidrokolloidlerin etkisini daha iyi görebilmek ve elastik modül değerinin yüksek olması nedeniyle, ölçümler % 60 JP üzerine yoğunlaştırıldı.



Şekil 3.3 % 60, 80 ve 100 JP'lerin zamana göre kompians değerleri değişimi (25°C)



Şekil 3.4 % 60, 80 ve 100 JP'lerin elastik modül değerlerinin frekansla değişimi (25°C)



Şekil 3.5 % 60, 80 ve 100 JPlerin zamana göre sürünme komplians değerleri değişimi (25°C)

Tablo 3.6 Jelatinizasyon derecesinin sürünme-geri kazanım parametreleri üzerine etkisi

Jelatinize pirinç	$J_0 \times 10^6$ (Pa ⁻¹)	$J_1 \times 10^6$ (Pa ⁻¹)	λ (sn)	$\eta_0 \times 10^{-7}$ (Pa.s)	Geri kazanım (%)	R^2
% 60 JP	3,15	6,74	41,59	1,878	34,80	0,9994
% 80 JP	5,29	6,99	37,04	1,907	37,19	0,9981
% 100 JP	8,89	15,82	50,95	1,376	34,17	0,9956

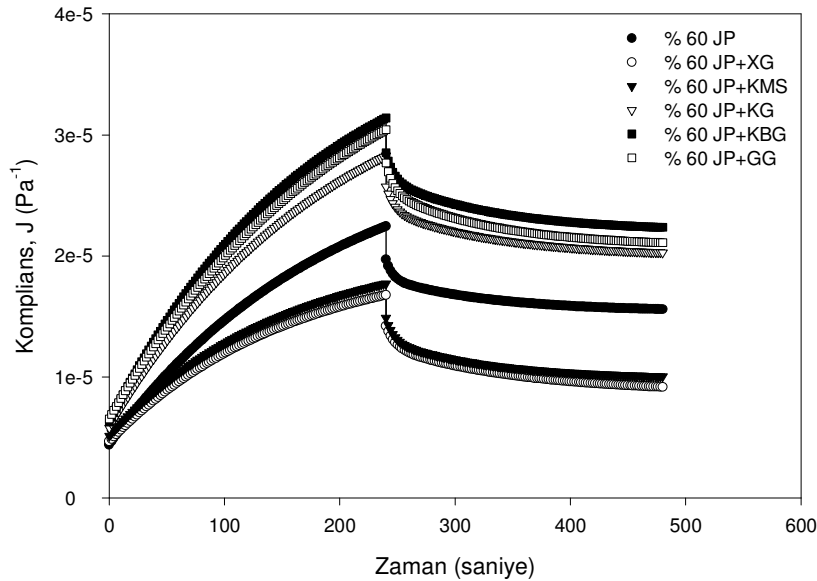
Tablo 3.7’de jelatinizasyonun pirinç irmiklerinin renk değeri üzerine etkisi gösterilmiştir. % 100 jelatinize pirinçte L* (beyaz) değeri azalmakta ve b* (sarı) değeri artmaktadır.

Tablo 3.7 Jelatinizasyon derecesinin renk değerleri üzerine etkisi

Jelatinize pirinç	L*	a*	b*	SI
Pirinç	85,67	-0,67	12,24	22,80
% 60 JP	75,03	-0,88	12,38	25,32
% 80 JP	71,63	-0,11	14,16	30,57
% 100 JP	69,52	0,72	17,25	38,13

3.3.1.1 % 60 Jelatinize pirinç

% 60 JP irmiğine % 2 oranında gamlar ve proteinler ayrı ayrı eklenerek sürünme-geri kazanım davranışı ölçülmüştür. Sürünme-geri kazanım kompians grafiklerine katkısız % 60 JPin sonucu eklenerek ilave edilen gamların ve proteinlerin etkileri karşılaştırılmıştır. Şekil 3.6 gamların etkisini göstermektedir. Tablo 3.8’de 4 elemanlı Burgers model parametreleri verilmektedir. Sonuçlara göre, XG ve KMS eklendiğinde ani sürünme kompians değerleri azalmakta ve hamur karışımı daha elastik bir yapı kazanmaktadır. Viskozite ve λ değerleri de bu sonuçları doğrulamaktadır. Buğday unundan yapılan hamurlara ağ yapısı veren ve hamura direnç sağlayan glütenin yerine, XG ve KMS, glütensiz pirinç hamuruna bu ağ yapısını kovalent olmayan bağlarla sağlamakta ve moleküller arası birleşimle polimerik bir özellik vermektedir. XG gamda bulunan ve molekülün yaklaşık % 60’lık kısmını oluşturan yan zincirler, glütensiz hamura eklendiğinde, çapraz bağ ve karmaşık bir yapı kazandırabilmektedir (Lazaridou vd., 2007). Tablo 3.8’de verildiği üzere, geri kazanım yüzdesi bu iki gam eklendiğinde daha yüksek olmaktadır. XG ve KMS, nişasta karışımlarında kullanıldığında viskoziteyi arttırdığı bilinmektedir (Mandala ve Bayas, 2004). KMS’nin negatif yük taşımasının sonucu su protonları (H^+) ve amiloz zincirleriyle bağlantı oluşturup karışımı kararlı yapıda tutması, KMS eklenen hamur karışımının viskozitesini arttırmaktadır (Keller, 1982).



Şekil 3.6 % 60 JP ve gam karışımlarının zamana göre kompians değerleri değişimi (25°C)

Eklenen gamlar arasında KG en yüksek ani ve maksimum kompians değerine sahiptir. KBG ve GG gamları karışımları eklenildiğinde benzer sonuçlar elde edilmiştir. KG, KBG ve GG gamları, % 60 jelatinize ırmık hamurunun viskoelastik yapısını daha çok viskoz yönde seyreltmekte ve elastik davranış özelliğini azaltmaktadır. Bu sonuç elastik özelliği yüksek olan % 60 JP'ye daha az elastik özellikte bir gamın eklenmesiyle sistemin elastik davranışında meydana gelen azalmayla açıklanabilir. Düşük sıcaklıklarda nişasta ve KG ile hazırlanan jellerde de benzer sonuçlar görülmüştür (Chaudemanche ve Budtova, 2008).

Tablo 3.8 Gamların % 60 JP örneklerinin sürünme-geri kazanım parametreleri üzerine etkisi

Karışım	$J_0 \times 10^6$ (Pa ⁻¹)	$J_1 \times 10^6$ (Pa ⁻¹)	λ (sn)	$\eta_0 \times 10^{-7}$ (Pa.s)	Geri kazanım (%)	R ²
% 60 JP	3,15	6,74	41,59	1,878	34,80	0,9994
% 60 JP+XG	2,75	4,80	37,38	2,482	45,30	0,9999
% 60 JP+KMS	3,19	6,29	29,05	2,380	43,25	0,9891
% 60 JP+KG	5,81	6,65	51,40	1,444	29,30	0,9978
% 60 JP+KBG	5,60	11,20	60,96	1,589	28,23	0,9997
% 60 JP+GG	5,53	8,51	48,10	1,427	30,72	0,9946

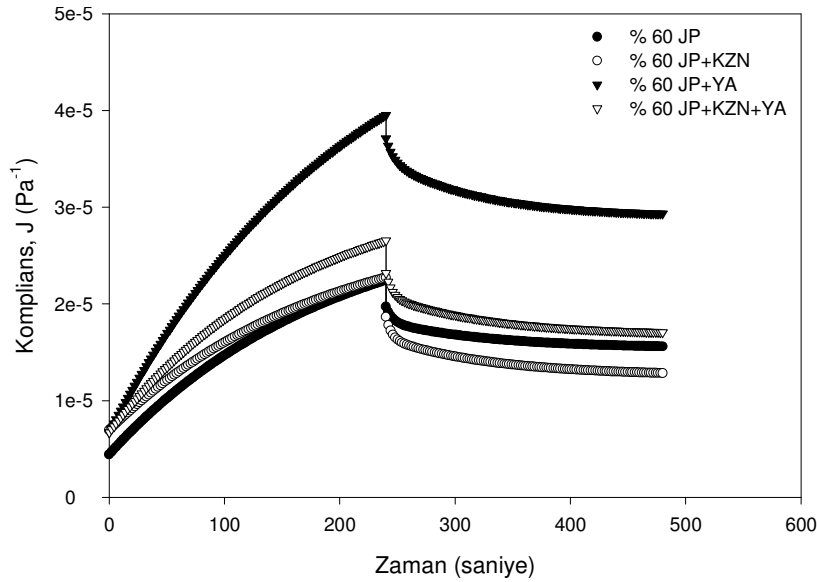
Burgers model parametreleri, % geri kazanım ve kompians grafikleri incelendiğinde, eklenen gamların % 60 pirinç hamuruna etkisi XG>KMS>GG>KBG>KG düzeninde olmuştur. XG, KMS ve KG gamlarının % 60 jelatinize hamur karışımlarının renk değeri üzerine etkisi olumlu yönde olmuştur ve L* değerleri artmıştır (Tablo 3.9).

Tablo 3.9 Gamların % 60 JP örneklerinin renk değerleri üzerine etkisi

Karışım	L*	a*	b*	SI
% 60 JP	75,03	-0,88	12,38	25,32
% 60 JP+XG	77,42	-0,46	12,92	26,20
% 60 JP+KMS	80,19	-0,50	13,28	26,12
% 60 JP+KG	76,71	-0,78	13,33	26,80
% 60 JP+KBG	74,25	-0,59	13,51	28,00
% 60 JP+GG	71,74	0,57	17,36	37,31

Tahıl ürünlerinde yapıyı koruyan ve elastik özelliği veren kompozisyon glüten proteinidir. Nişasta ise, daha çok viskoz özelliğe karşılık gelmektedir. Glütensiz bir undan hamur yapılması kolay değildir. Öncelikle, nişasta jelatinize edilerek su tutma kapasitesi arttırılmalı ve moleküller uzun zincirli bir polimer haline getirilmelidir. Ayrıca, glütenin yerini tutabilecek, bir ağ yapısı oluşturacak ve elastik özelliği

arttıracak bir protein eklenmesi gerekmektedir. Farklı kaynaklı nişasta-protein karışımını bir arada tutacak, sistemi birbirine bağlayacak ve kararlı bir yapıda tutacak gamlara ihtiyaç duyulmaktadır. KZN peynire bir ağ yapısı ve viskoelastik özellik kazandıran süt proteinidir (Jack ve Paterson, 1992). YA ise, birçok alanda kıvam verici ve bağlayıcı olarak kullanılan bir proteindir. Şekil 3.7 ve Tablo 3.10'da protein olarak % 2 (g/g) oranında eklenen KZN ve YAnın, % 60 JP hamuru üzerine etkisi kompians grafiği ve Burgers model parametreleri olarak verilmiştir. YA kullanıldığında, hamur yumuşak ve deforme edilebilir bir davranış göstermektedir. YA hamurunun viskoelastik özelliğini, viskoz davranış yönünde azaltmıştır. Viskozite değeri oldukça düşmüş ve hamurun % geri kazanım değeri azalmıştır. Jel yapılarıyla ilgili benzer çalışmalarda peynir altı suyu proteini yerine eklenen YAnın yapıyı zayıflattığı bilinmektedir (Yang vd., 2004). Hamura KZN eklendiğinde, viskozite değeri çok az artış göstermesine rağmen, % geri kazanımda önemli bir artış olmuştur. KZNin etkisi, hamura esnek ve elastik bir özellik vermesi ile açıklanabilmektedir (Chan, 2007). KZN ve YA (her biri % 1 g/g) karışım olarak kullanıldığında, YA beklenildiği üzere viskozite ve % geri kazanım değerini azda olsa düşürmektedir. % 60 JP hamur sonuçları ile karşılaştırıldığında ise, YA ile kullanıldığında KZNin elastik etkisi biraz azalmaktadır.



Şekil 3.7 % 60 JP ve protein karışımlarının zamana göre kompians değerleri değişimi (25°C)

Tablo 3.10 Proteinlerin % 60 JP örneklerinin sürünme-geri kazanım parametreleri üzerine etkisi

Karışım	$J_0 \times 10^6$ (Pa ⁻¹)	$J_1 \times 10^6$ (Pa ⁻¹)	λ (sn)	$\eta_0 \times 10^{-7}$ (Pa.s)	Geri kazanım (%)	R^2
% 60 JP	3,15	6,74	41,59	1,878	34,80	0,9994
% 60 JP+KZN	5,86	5,32	33,53	1,980	42,95	0,9999
% 60 JP+YA	6,69	11,24	67,42	1,084	26,28	0,9989
% 60 JP+KZN+YA	5,82	8,11	48,38	1,821	38,52	0,9999

Tablo 3.11’de verilen renk değerleri incelendiğinde, KZNin L* değerini biraz arttırdığı ve YAnın ise azalttığı görülmektedir. YA kompozisyonunda azda olsa karbonhidratların özellikle glukozun bulunduğu bilinmektedir (Stadelman, 1988).

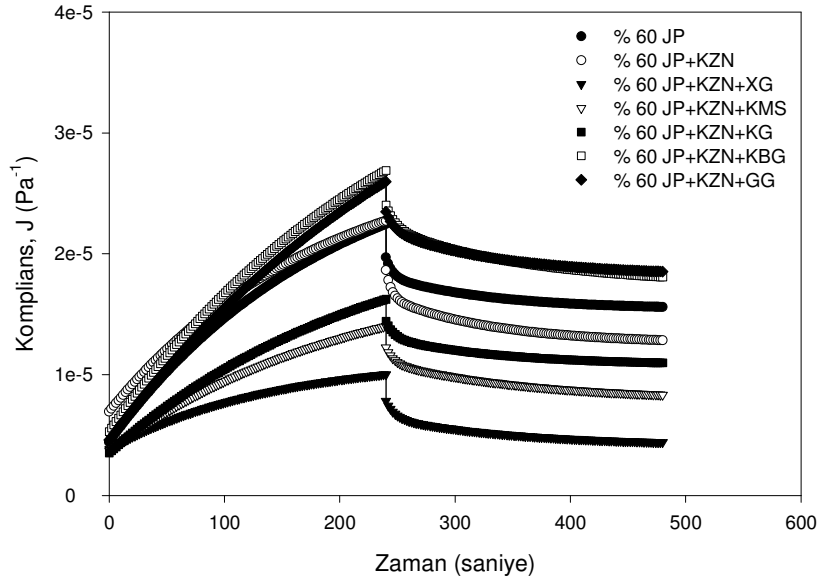
L* değerinin azalması ve b* değerinin sarılığını koyulaştıracak yönde artması, glukozun karışım hazırlanırken oksidasyonundan kaynaklanmaktadır.

Tablo 3.11 Proteinlerin % 60 JP örneklerinin renk değerleri üzerine etkisi

Karışım	L*	a*	b*	SI
% 60 JP	75,03	-0,88	12,38	25,32
% 60 JP+KZN	76,19	-0,84	12,88	26,02
% 60 JP+YA	74,24	-0,81	14,06	28,84
% 60 JP+KZN+YA	73,67	-0,97	13,01	26,79

Şekil 3.8 ve Tablo 3.12’de KZN ve gam karışımları (her biri % 1 g/g) beraber % 60 JP hamuruna eklendiğinde viskoelastik özelliklerde meydana gelen değişimler verilmektedir. Şekil 3.6’da sadece gamlar kullanıldığında alınan ölçüm sonuçlarına benzer bir diziliş Şekil 3.8’de elde edilmiştir. Bunun yanı sıra, KZN’nin etkisi ile viskozite ve geri kazanım değerlerinin arttığı bulunmuştur. KZN ve KG gamı beraber eklendiğinde, % 60 JP hamurundan daha iyi elastik yapı gözlenmektedir. Pozitif yüklü KZN molekülleri ile negatif yüklü KG daha kararlı bir yapı meydana getirmektedir (Spagnuolo vd., 2005). Anyonik gamlar (KG ve KMS) KZN yüzeyindeki pozitif yüklerle bağ oluşturup karışımın viskozitesini arttırmaktadır, yüksüz gamların (XG, GG ve KBG) ise bu mekanizması henüz tam olarak açıklanamamaktadır (Everett ve McLeod, 2005; Hemar vd., 2001). En iyi sonuç, KZN ve XG pirinç hamuruna eklendiğinde alınmıştır. XG-nişasta etkileşiminin fazla olması ve XG’nin kıvam arttırıcı özelliğinin yüksek olması, XG-KZN etkileşiminden daha önemli bulunmuştur. Viskozite değeri büyük bir artış göstermekte ve % geri kazanım önemli oranda artmaktadır. Karışımında kullanılan XG önemli bir kıvam

arttırıcıdır, KZN ise karışımı bir arada tutan ve elastik özelliği iyi duruma getiren bir protein olması nedeniyle, glutensiz bir tahıl ürünü formülasyonunda beraber kullanılması son ürün özellikleri açısından olumlu bulunmuştur. Gam ve proteinler beraber kullanıldıklarında renk değerleri üzerine önemli bir etkileri olmamıştır (Tablo 3.13).



Şekil 3.8 % 60 JP, KZN ve gam karışımlarının zamana göre komplians değerleri değişimi (25°C)

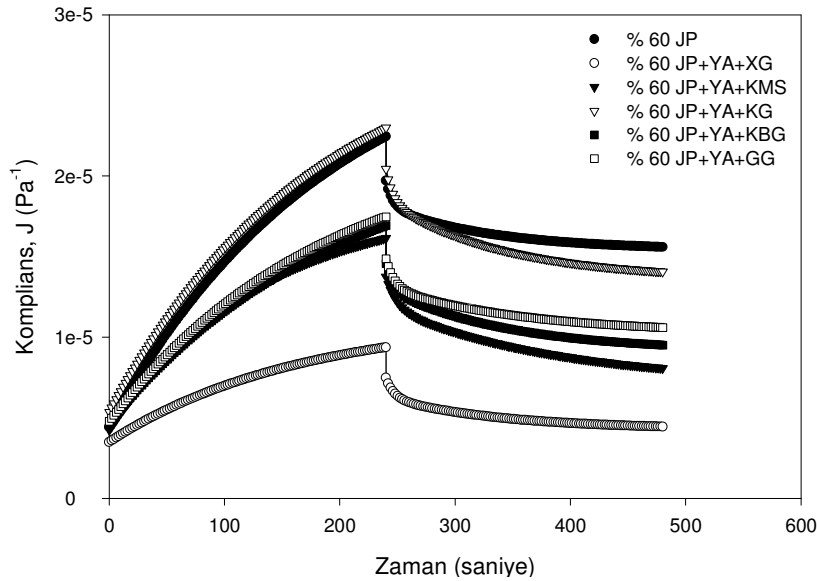
Tablo 3.12 KZN ve gam karışımlarının % 60 JP örneklerinin sürünme-geri kazanım parametreleri üzerine etkisi

Karışım	$J_0 \times 10^6$ (Pa ⁻¹)	$J_1 \times 10^6$ (Pa ⁻¹)	λ (sn)	$\eta_0 \times 10^{-7}$ (Pa.s)	Geri kazanım (%)	R^2
% 60 JP	3,15	6,74	41,59	1,878	34,80	0,9994
% 60 JP+KZN	5,86	5,32	33,53	1,980	42,95	0,9999
% 60 JP+KZN+XG	3,17	3,02	35,67	5,937	54,79	0,9984
% 60 JP+KZN+KMS	3,77	2,05	20,53	2,852	38,74	0,9976
% 60 JP+KZN+KG	2,96	3,82	43,91	2,454	34,13	0,9999
% 60 JP+KZN+KBG	4,67	7,54	63,34	1,630	30,93	0,9981
% 60 JP+KZN+GG	4,59	5,28	69,37	1,462	27,28	0,9987

Tablo 3.13 KZN ve gamların % 60 JP örneklerinin renk değerleri üzerine etkisi

Karışım	L*	a*	b*	SI
% 60 JP	75,03	-0,88	12,38	25,32
% 60 JP+KZN	76,19	-0,84	12,88	26,02
% 60 JP+KZN+XG	78,37	-0,58	13,04	26,06
% 60 JP+KZN+KMS	76,52	-0,48	13,18	26,89
% 60 JP+KZN+KG	76,24	-0,48	13,87	28,25
% 60 JP+KZN+KBG	74,46	-0,43	12,98	27,09
% 60 JP+KZN+GG	76,16	-0,72	13,04	26,47

Çalışmalarda kullanılan YA ve gamların hamur karışımlarına olan etkileri Şekil 3.9'da ve Burgers model sonuçları Tablo 3.14'de gösterilmiştir. YA'nın etkisi hemen hemen kullanılan bütün gamlarda önemli olmuştur. YA bir dolgu maddesi olarak gıda formülasyonlarında yaygın olarak kullanılmaktadır (Mavrakıs ve Kiosseoglou, 2008). Gam ve nişasta karışımlarında kullanılması sisteme bir elastik yapı kazandırdığı çalışmalarda görülmektedir. Yumurta karışımli bir ürün elde edilmesi sonucunda, ürünün pişirilmesi sırasında dolgu olarak bulunan YA proteinlerinin denatürasyonu ile ürünün dağılmadan yapısını koruyacağı beklenmektedir.



Şekil 3.9 % 60 JP, YA ve gam karışımlarının zamana göre komplians değerleri değişimi (25°C)

Tablo 3.14 YA ve gam karışımlarının % 60 JP örneklerinin sürünme-geri kazanım parametreleri üzerine etkisi

Karışım	$J_0 \times 10^6$ (Pa ⁻¹)	$J_1 \times 10^6$ (Pa ⁻¹)	λ (sn)	$\eta_0 \times 10^{-7}$ (Pa.s)	Geri kazanım (%)	R ²
% 60 JP	3,15	6,74	41,59	1,878	34,80	0,9994
% 60 JP+YA	6,69	11,24	67,42	1,084	26,28	0,9989
% 60 JP+YA+XG	3,14	2,27	39,27	5,767	54,29	0,9999
% 60 JP+YA+KMS	3,25	6,52	44,54	3,625	49,19	0,9987
% 60 JP+YA+KG	4,62	6,75	49,29	1,984	39,48	0,9998
% 60 JP+YA+KBG	4,69	3,87	55,65	2,730	45,00	0,9982
% 60 JP+YA+GG	4,77	4,01	55,50	2,678	41,51	0,9943

YA ve gam karışımlarının L* değerleri, YA'nın etkisi ile azalma göstermiştir (Tablo 3.15).

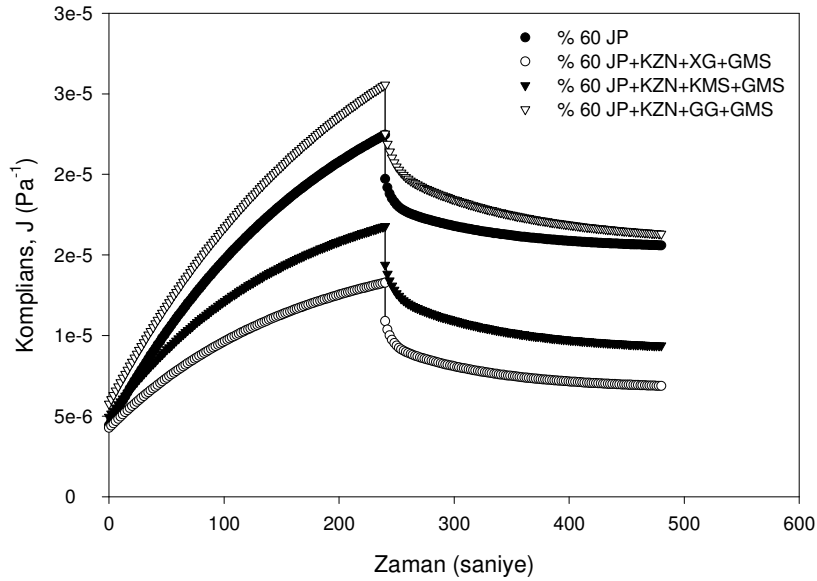
Tablo 3.15 YA ve gamların % 60 JP örneklerinin renk değerleri üzerine etkisi

Karışım	L*	a*	b*	SI
% 60 JP	75,03	-0,88	12,38	25,32
% 60 JP+YA	74,24	-0,81	14,06	28,84
% 60 JP+YA+XG	76,09	-0,57	13,67	27,84
% 60 JP+YA+KMS	73,79	-0,77	13,95	28,79
% 60 JP+YA+KG	73,63	-0,75	14,20	29,33
% 60 JP+YA+KBG	73,38	-0,46	14,82	30,89
% 60 JP+YA+GG	72,76	-0,70	13,66	28,58

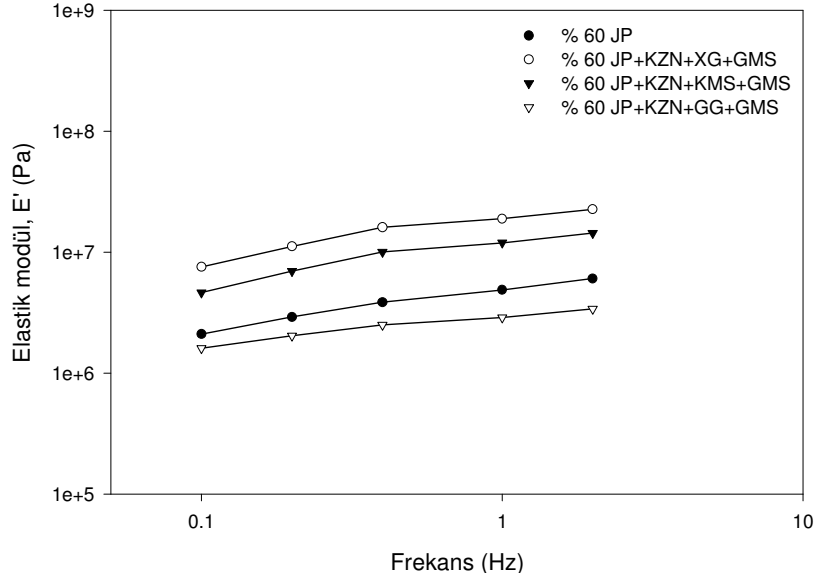
Glütensiz makarna üretiminde önemli sorunlardan biri ise, pişirme sırasında makarnanın dağılması ve pişme kaybının fazla olmasıdır. Amiloz, pişirme suyuna en fazla geçen ve pişirme kaybına neden olan kısımdır. Pişme kaybını engellemek ve daha yumuşak bir ürün elde etmek amacı ile karışımların son formülasyonlara GMS eklendi (Şekil 3.10-3.12).

GMS ile amiloz bir kompleks oluşturarak, amilozun su almasını geciktirmekte, ayrıca pişirme süresini uzatmaktadır (Kaur vd., 2005). GMS, yağ asitlerinin gliserin esterlerinin bir karışımı olup, hidrofilik ve hidrofobik özellikte olduğundan, hem suda hem de yağda kısmen çözünmektedir. Molekülün polar kısmı sulu fazda ve apolar kısmı yağ fazında olacak şekilde, ara yüzeyde bulunmaktadır. Bu açıdan monogliseritler, ara yüzey gerilimini azaltıcı ve emülsiyonlarını kararlı hale getirici olarak hareket etmektedirler. Burada da KZN, KMS, GMS ve KZN, GG, GMS karışımlarındaki viskozitede pek fazla bir değişim gözlenmezken KZN, XG, GMS karışımında farklı olarak viskozitesinde azalma görülmüştür. Viskoz davranışı KZN,

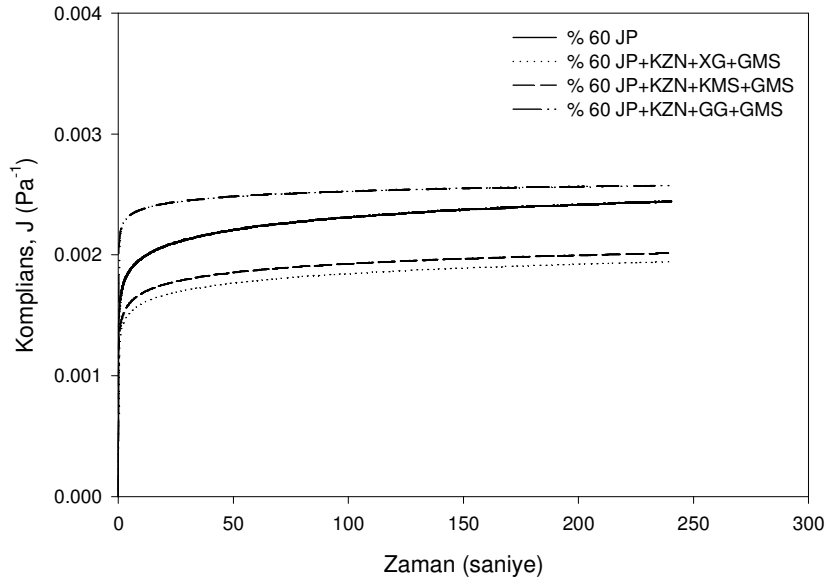
XG, GMS ve KZN, KMS, GMS gamlarıyla olan karışımlarda gecikme zamanlarındaki artışa doğru orantılı olarak artmış olup, KZN, GG, GMS'li karışımda bir değişiklik ile karşılaşılmamıştır. En yüksek geri kazanım sonucu, KZN, XG ve GMS pirinç hamurunda bulunmuştur. Ancak GMS'nin eklenmesi XG-KZN etkileşimindeki geri kazanım sonucunu az da olsa düşürmüş olmasına rağmen yine de KZN, KMS, GMS ve KZN, GG, GMS değerlerinden yüksektir. Bu da XG ve KZN'nin hamura elastiklik artırıcı özelliğini GMS'nin eklenmesiyle pek fazla değişime uğratmayıp, diğerlerinde de artırıcı etki gösterdikleri sonucuna varılmıştır. Gam, proteinler ve yağ asitleri karışımları kullanıldıklarında renk değerleri üzerine önemli bir etkileri olmamıştır.



Şekil 3.10 % 60 JP, KZN, gam ve GMS karışımlarının zamana göre kompians değerleri değişimi (25°C)



Şekil 3.11 % 60 JP, KZN, gam ve GMS karışımlarının elastik modül değerlerinin frekansla değişimi (25°C)



Şekil 3.12 % 60 JP, KZN, gam ve GMS karışımlarının sürünme komplians değerlerinin zamanla değişimi (25°C)

ve faz açısı ($\tan \delta$) değeri (E''/E') 1'den küçüktür (sonuçlar gösterilmedi).

Tablo 3.16 KZN, gam ve GMS karışımlarının % 60 JP örneklerinin sürünme-geri kazanım parametreleri üzerine etkisi

Karışım	$J_0 \times 10^6$ (Pa ⁻¹)	$J_1 \times 10^6$ (Pa ⁻¹)	λ (sn)	$\eta_0 \times 10^{-7}$ (Pa.s)	Geri kazanım (%)	R^2
% 60 JP	3,15	6,74	41,59	1,878	34,80	0,999
% 60 JP+KZN+XG+GMS	4,26	2,66	39,60	3,540	51,22	0,995
% 60 JP+KZN+KMS+GMS	4,95	3,96	44,41	2,854	47,40	0,997
% 60 JP+KZN+GG+GMS	5,77	6,60	66,44	1,756	38,50	0,999

Tablo 3.17 KZN, gam ve GMS karışımlarının % 60 JP örneklerinin renk değerleri üzerine etkisi

Karışım	L*	a*	b*	SI
% 60 JP	75,03	-0,88	12,38	25,32
% 60 JP+XG+KZN+GMS	80,66	-0,44	12,02	23,79
% 60 JP+KMS+KZN+GMS	79,83	-0,44	13,21	26,14
% 60 JP+GG+KZN+GMS	77,75	-0,41	13,50	27,25

3.3.1.2 % 80 ve % 100 Jelatinize pirinç

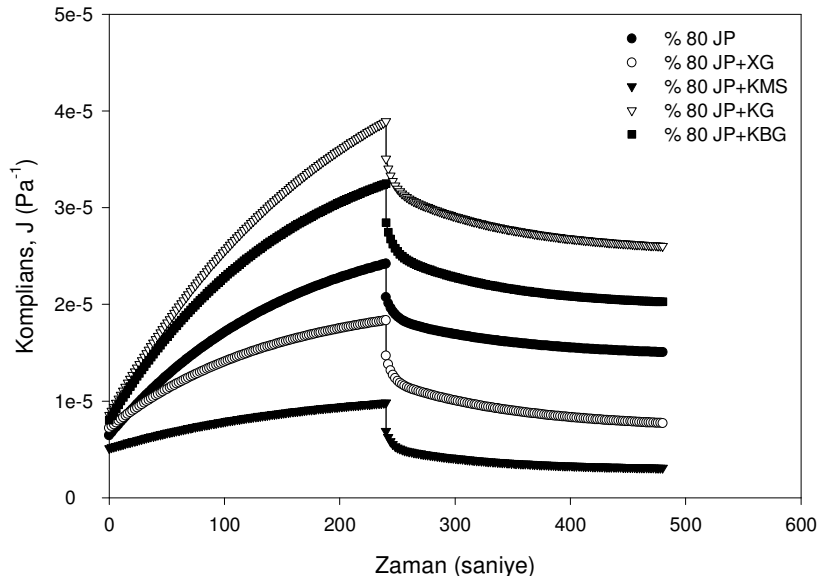
Gamların ve proteinlerin % 80 ve % 100 JPlerin viskoelastik özellikleri üzerine etkileri % 60 JP sonuçlarına benzer bir davranıştır. Ölçümlerde, gam olarak XG, KMS ve KG, protein olarak KZN kullanılmıştır. % 60 JP için yapılan çalışmalar tekrar edilerek sonuçlar; DMA statik ölçümlerinden bulunan kompians, DMA dinamik viskoelastik ölçümlerinden elde edilen elastik modül, tekstür analiz statik ölçümlerinden bulunan sürünme kompians grafikleri ile gösterilmiştir. Burgers model parametreleri ve renk değerleri tablo olarak verilmiştir.

Şekil 3.13-3.14'de gamların, Şekil 3.15-3.16'da KZN-gam karışımlarının ve Şekil 3.17-3.22'de KZN-gam-GMS karışımlarının % 80 ve % 100 JPlerin viskoelastik davranışları üzerine etkileri gösterilmektedir. 4 parametrelili Burgers model sonuçları, sırası ile, Tablo 3.18-3.19'da verilmektedir.

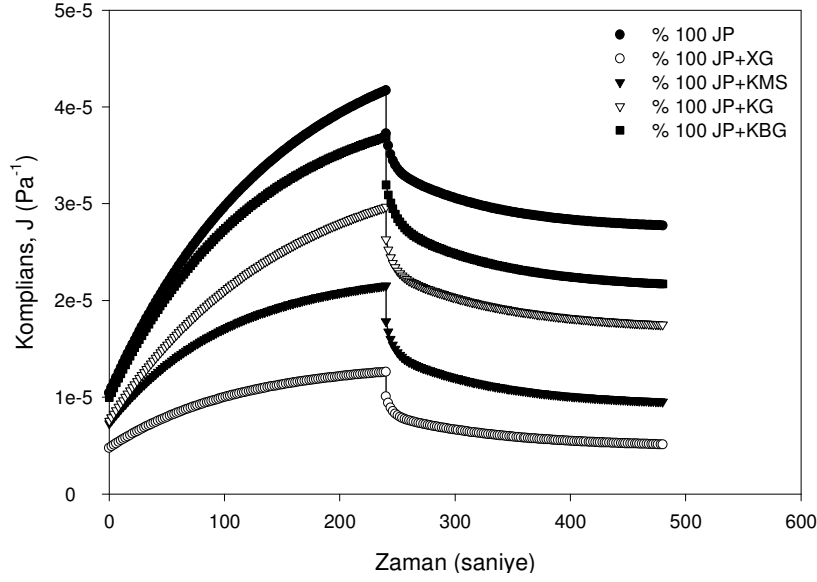
% 60 JP sonuçları ile karşılaştırıldığında gamların % 80 ve % 100 JP üzerine etkileri daha önemli olmuştur. Jelatinizasyon derecesinin artması ile daha yumuşak, sıkıştırılabilir, kolay deforme olan ve geri kazanım yüzdeleri düşük olan örneklerin, XG ve KMS eklendiğinde geri kazanım değerleri önemli oranda artmaktadır. Jelatinizasyon sonucu süngerimsi bir yapı kazanan örneklerden hamur

hazırlandığında, karışım içerisinde bulunan boşluklar gamlar tarafından doldurularak yapı bir polimer özelliği göstermiştir. Tüm grafikler incelendiğinde, KZN'nin hamur karışımını bir arada tutma özelliği verdiğini ve gamların ise yapıda dolgu görevi gördüğünü açıklamak mümkündür. % 60 JP hamur karışımları hazırlanırken duysal olarak yapı incelendiğinde, bu süngerimsi yapı görülmemiştir ve karışım daha sert bir özelliğe sahiptir.

Tablo 3.18 ve 3.19 de bulunan viskozite değerlerine göre KMS'nin etkisi çok daha belirgin görülmektedir. Jelatinizasyon derecesinin artması sonucu açılan yapıda bulunan alt ünitelerin yüklü KMS ile birleşmesi ile yapı daha sıkı bir özellik kazanarak akışkanlığı azalmış ve elastik davranışı ile geri kazanım yüzdesi artmıştır. Bu durum % 60 JPde görülmemektedir. Karışıma KZN eklendiğinde KMS'nin etkisi bir azalma eğiliminde olmuştur. Pozitif yüklü KZNin negatif yüklü KMS ile daha fazla etkileşimi, karışımın viskozitesini ve geri kazanım yüzdesini önemli ölçüde arttırmıştır. XG'nin davranışı ise, yüksüz olması ve iyi bir kıvam verici özelliği nedeniyle beklenen ölçüde gerçekleşmiştir. Tablo 3.24-3.25 da KZN, gam ve GMS karışımlarının, % 80 ve % 100 JP örneklerinin renk değerleri üzerine etkisi görülmektedir.



Şekil 3.13 % 80 JP ve gam karışımlarının zamana göre kompians değerleri değişimi (25°C)



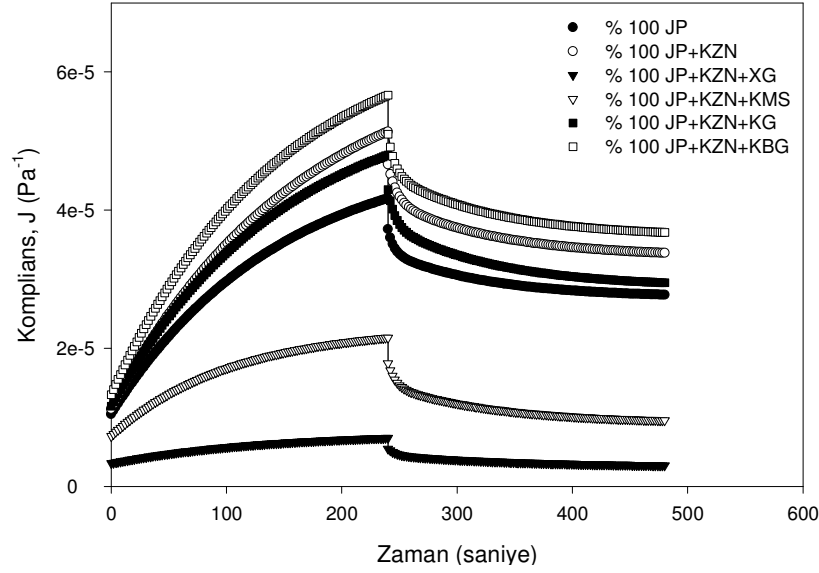
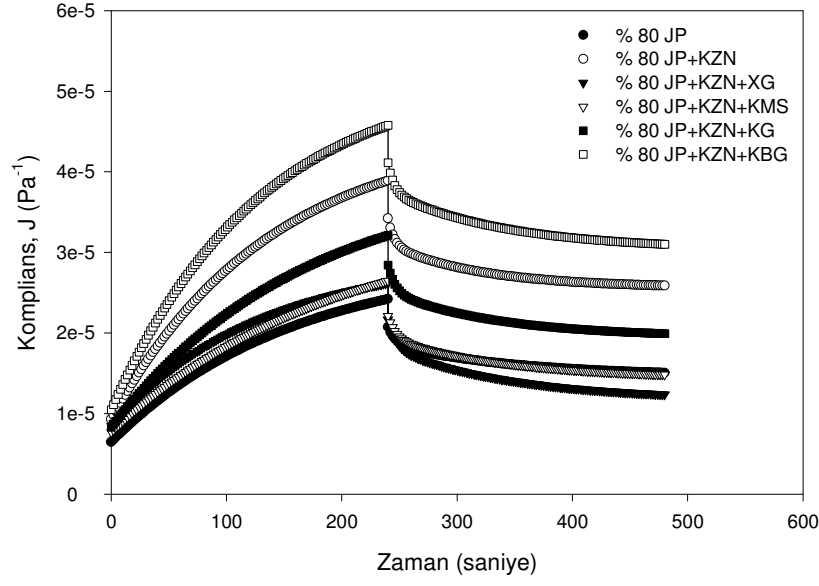
Şekil 3.14 % 100 JP ve gam karışımlarının zamana göre kompians değerleri değişimi (25°C)

Tablo 3.18 Gamların % 80 JP örneklerinin sürünme-geri kazanım parametreleri üzerine etkisi

Karışım	$J_0 \times 10^6$ (Pa ⁻¹)	$J_1 \times 10^6$ (Pa ⁻¹)	λ (sn)	$\eta_0 \times 10^{-7}$ (Pa.s)	Geri kazanım (%)	R^2
% 80 JP	5,29	6,99	37,04	1,907	37,19	0,9981
% 80 JP+XG	5,12	5,61	21,03	3,045	57,56	0,9919
% 80 JP+KMS	4,37	1,84	17,12	6,210	66,78	0,9947
% 80 JP+KG	8,54	10,73	62,30	1,195	35,49	0,9969
% 80 JP+KBG	8,03	9,96	56,98	1,638	37,49	0,9979

Tablo 3.19 Gamların % 100 JP örneklerinin sürünme-geri kazanım parametreleri üzerine etkisi

Karışım	$J_0 \times 10^6$ (Pa ⁻¹)	$J_1 \times 10^6$ (Pa ⁻¹)	λ (sn)	$\eta_0 \times 10^{-7}$ (Pa.s)	Geri kazanım (%)	R^2
% 100 JP	8,89	15,82	50,95	1,376	34,17	0,9956
% 100 JP+XG	3,31	4,98	28,70	5,381	58,02	0,9875
% 100 JP+KMS	7,28	9,22	58,86	4,520	58,98	0,9932
% 100 JP+KG	7,54	10,18	60,04	1,942	40,86	0,9946
% 100 JP+KBG	9,98	13,10	54,94	1,605	42,50	0,9978

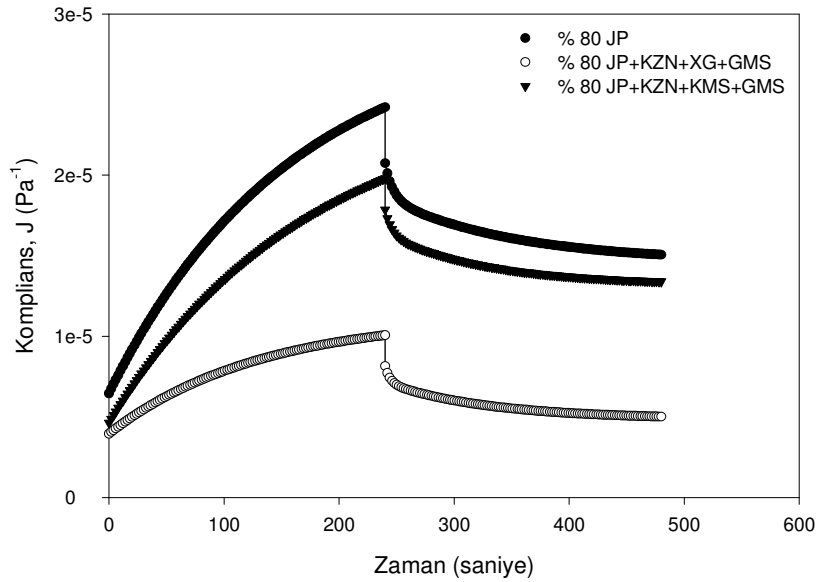


Tablo 3.20 KZN ve gam karışımlarının % 80 JP örneklerinin sürünme-geri kazanım parametreleri üzerine etkisi

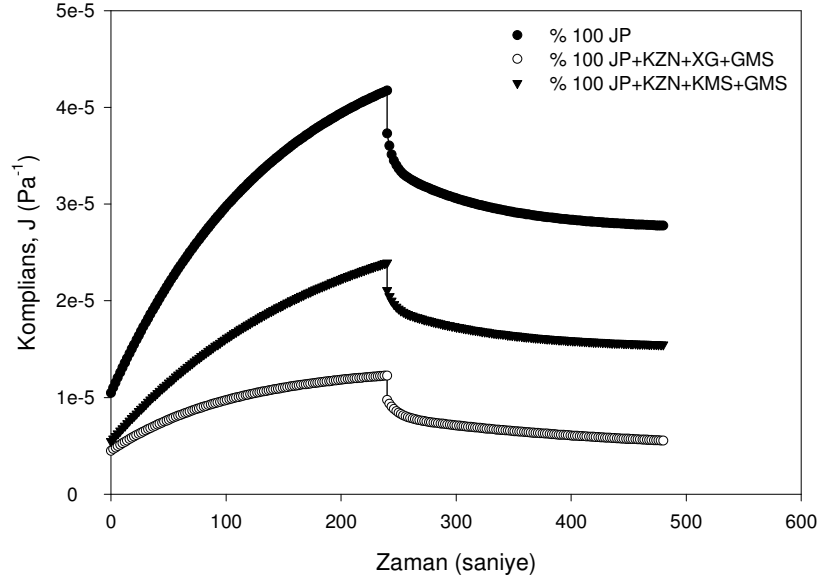
Karışım	$J_0 \times 10^6$ (Pa ⁻¹)	$J_1 \times 10^6$ (Pa ⁻¹)	λ (sn)	$\eta_0 \times 10^{-7}$ (Pa.s)	Geri kazanım (%)	R^2
% 80 JP	5,29	6,99	37,04	1,907	37,19	0,9981
% 80 JP+KZN	5,87	16,19	39,60	1,395	36,86	0,9944
% 80 JP+KZN+XG	5,57	9,90	28,53	2,172	54,82	0,9916
% 80 JP+KZN+KMS	6,91	6,73	48,66	1,800	44,78	0,9998
% 80 JP+KZN+KG	6,87	9,04	39,30	1,410	38,73	0,9997
% 80 JP+KZN+KBG	7,94	19,02	45,09	1,228	33,90	0,9989

Tablo 3.21 KZN ve gam karışımlarının % 100 JP örneklerinin sürünme-geri kazanım parametreleri üzerine etkisi

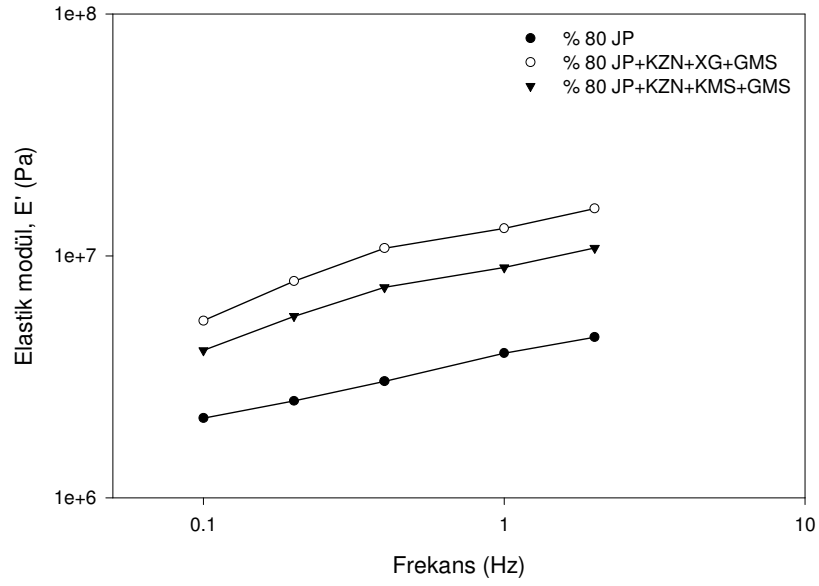
Karışım	$J_0 \times 10^6$ (Pa ⁻¹)	$J_1 \times 10^6$ (Pa ⁻¹)	λ (sn)	$\eta_0 \times 10^{-7}$ (Pa.s)	Geri kazanım (%)	R^2
% 100 JP	8,89	15,82	50,95	1,376	34,17	0,9956
% 100 JP+KZN	11,22	16,31	45,36	0,956	35,48	0,9999
% 100 JP+KZN+XG	3,35	1,70	51,90	11,65	54,89	0,9845
% 100 JP+KZN+KMS	4,86	9,37	30,38	3,166	58,98	0,9932
% 100 JP+KZN+KG	11,61	17,91	62,64	1,265	38,24	0,9954
% 100 JP+KZN+KBG	13,27	18,50	55,30	0,903	37,65	0,9979



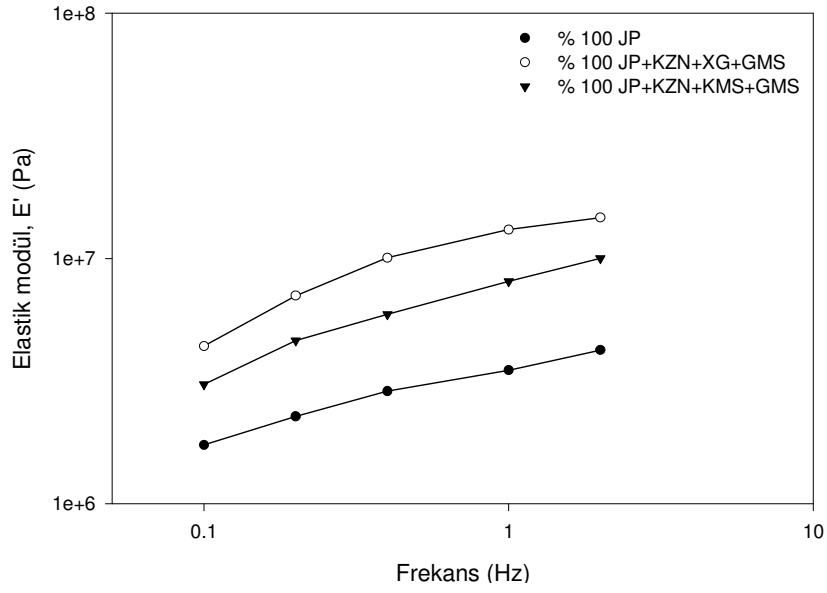
Şekil 3.17 % 80 JP, KZN, gam ve GMS karışımlarının zamana göre kompians değerleri değişimi (25°C)



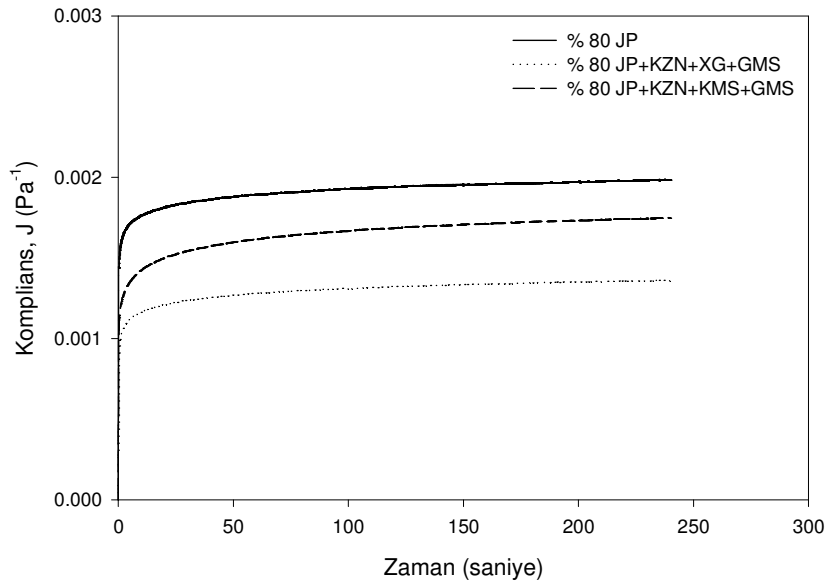
Şekil 3.18 % 100 JP, KZN, gam ve GMS karışımlarının zamana göre komplians değerleri değişimi (25°C)



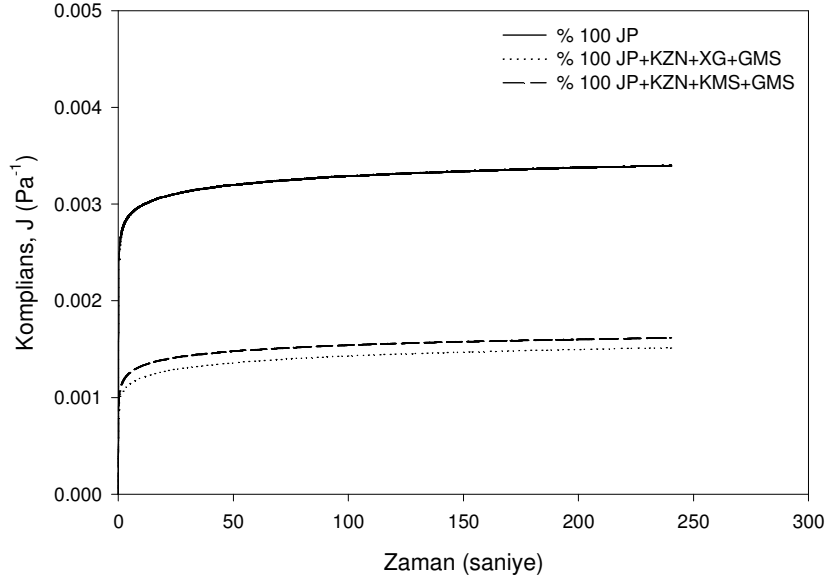
Şekil 3.19 % 80 JP, KZN, gam ve GMS karışımlarının elastik modül değerlerinin frekansla değişimi (25°C)



Şekil 3.20 % 100 JP, KZN, gam ve GMS karışımlarının elastik modül değerlerinin frekansla değişimi (25°C)



Şekil 3.21 % 80 JP, KZN, gam ve GMS karışımlarının sürünme komplians değerlerinin zamanla değişimi (25°C)



Şekil 3.22 % 100 JP, KZN, gam ve GMS karışımlarının sürünme komplians değerlerinin zamanla değişimi (25°C)

Tan δ ($= E''/E'$), 0 ile 1 arasında değer alır. Küçük tan δ değerleri hamurların daha sert ve katı olduğunu gösterirken, 1'e doğru yaklaşırken daha nemli ve gevşek olan yapılar karşımıza çıkar. Burada da % 100 JP değeri 1'e daha yakın bir değer gösterir. Ancak yapı itibariyle sertliği en fazla olan yapı % 80 JP olup XG, KZN ve GMS'nin eklenmesiyle yapı ideal halini almıştır.

Tablo 3.22 KZN, gam ve GMS karışımlarının % 80 JP örneklerinin sürünme-geri kazanım parametreleri üzerine etkisi

Karışım	$J_0 \times 10^6$ (Pa ⁻¹)	$J_1 \times 10^6$ (Pa ⁻¹)	λ (sn)	$\eta_0 \times 10^{-7}$ (Pa.s)	Geri kazanım (%)	R^2
% 80 JP	5,29	6,99	37,04	1,907	37,19	0,9981
% 80 JP+KZN+XG+GMS	2,95	3,25	26,03	5,985	51,76	0,9936
% 80 JP+KZN+KMS+GMS	3,43	4,63	24,69	1,943	32,07	0,9981

Tablo 3.23 KZN, gam ve GMS karışımlarının % 100 JP örneklerinin sürünme-geri kazanım parametreleri üzerine etkisi

Karışım	$J_0 \times 10^6$ (Pa ⁻¹)	$J_1 \times 10^6$ (Pa ⁻¹)	λ (sn)	$\eta_0 \times 10^{-7}$ (Pa.s)	Geri kazanım (%)	R^2
% 100 JP	8,89	15,82	50,95	1,376	34,17	0,9956
% 100 JP+KZN+XG+GMS	3,82	4,03	33,58	5,021	56,76	0,9968
% 100 JP+KZN+KMS+GMS	5,46	7,08	64,20	2,007	34,75	0,9988

Tablo 3.24 KZN, gam ve GMS karışımlarının % 80 JP örneklerinin renk değerleri üzerine etkisi

Karışım	L*	a*	b*	SI
% 80 JP	71,63	-0,11	14,16	30,57
% 80 JP+XG	74,81	0,36	15,93	33,41
% 80 JP+KMS	74,25	-0,28	14,58	30,17
% 80 JP+KG	76,97	0,08	14,68	30,15
% 80 JP+KZN	74,91	-0,19	15,07	31,20
% 80 JP+KZN+XG+GMS	74,77	-0,26	14,62	30,33
% 80 JP+KZN+KMS+GMS	72,81	0,29	15,42	33,06

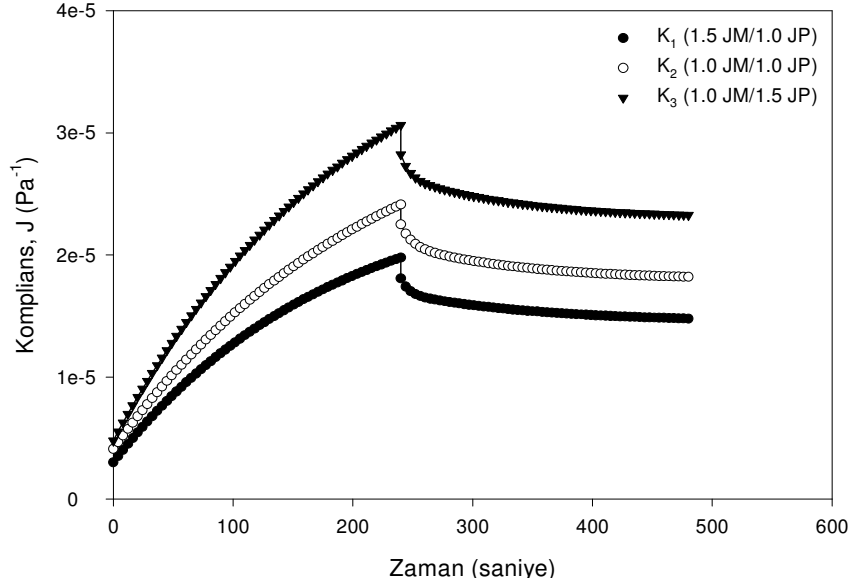
Tablo 3.25 KZN, gam ve GMS karışımlarının % 100 JP örneklerinin renk değerleri üzerine etkisi

Karışım	L*	a*	b*	SI
% 100 JP	71,63	-0,11	14,16	30,57
% 100 JP+XG	71,72	0,90	16,83	36,74
% 100 JP+KMS	69,60	0,06	15,93	34,84
% 100 JP+KG	69,52	0,60	16,59	36,75
% 100 JP+KZN	69,45	0,02	15,77	34,56
% 100 JP+KZN+XG+GMS	71,21	0,21	17,31	37,04
% 100 JP+KZN+KMS+GMS	70,94	0,04	16,72	35,86

3.3.2 Jelatinize mısır ve pirinç karışımları

Deneme çalışmalarında sadece JM kullanılarak hamur hazırlanmasının mümkün olmadığı anlaşılarak, karışımlara JP (JP) eklenmiştir. Formülasyonlar için farklı miktarlarda JM ve JP kullanılmıştır. Karışımlar, 1.5 JM/1.0 JP, 1.0 JM/1.0 JP ve 1.0 JM/1.5 JP (g/g) olacak miktarlarda hazırlanarak DMA ölçümleri yapıldı. Şekil 2.23’de bu üç karışımın kompians grafikleri görülmektedir. Burgers parametreleri incelendiğinde en iyi sonuç eşit miktarlarda mısır ve pirinç kullanıldığında alınmaktadır (Tablo 2.26). JM miktarı fazla olduğunda, mısırın sert bir katkı sağlamasından dolayı, karışım daha elastik davranış göstermekte ve JP miktarı arttıkça viskoz özellik artmaktadır. Bu nedenle çalışmalara eşit miktarlarda mısır ve pirinç kullanılarak devam edilmiştir.

Dinamik salınım testi ve tekstür sürünme kompians sonuçları, statik kompians sonuçlarına benzer davranış gösterdiği için gösterilmemiştir.



Şekil 3.23 JM ve JP karışımlarının zamana göre komplians değerleri değişimi (25°C)

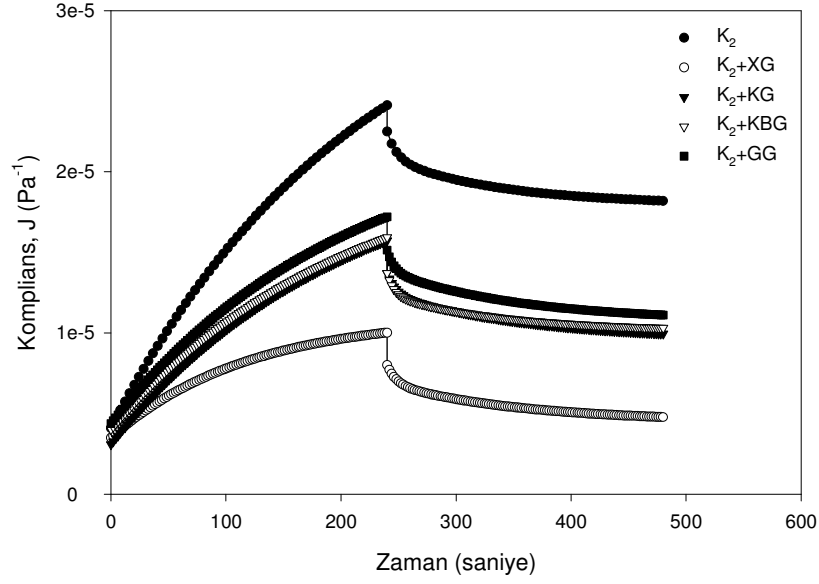
Tablo 3.26 JM ve JP karışımlarının sürünme-geri kazanım parametreleri

Karışım	$J_0 \times 10^6$ (Pa ⁻¹)	$J_1 \times 10^6$ (Pa ⁻¹)	λ (sn)	$\eta_0 \times 10^{-7}$ (Pa.s)	Geri kazanım (%)	R^2
K ₁ (1.5 JM/1.0 JP)	3,00	7,52	66,65	2,578	27,81	0,9978
K ₂ (1.0 JM/1.0 JP)	4,09	5,20	49,78	1,550	29,59	0,9979
K ₃ (1.0 JM/1.5 JP)	4,79	9,80	66,89	1,451	26,34	0,9991

Tablo 3.27 JM ve JP karışımlarının renk değerleri

Karışım	L*	a*	b*	SI
İşlenmemiş mısır	83,07	8,85	36,68	69,59
K ₁ (1.5 JM/1.0 JP)	73,79	5,92	31,49	64,97
K ₂ (1.0 JM/1.0 JP)	75,03	5,78	34,92	68,75
K ₃ (1.0 JM/1.5 JP)	75,42	5,17	34,15	66,88

Renk değerleri, JPnin eklenmesi ile farklılık göstermektedir. Karışımların L*, b* ve sarılık indeksi (SI) değerleri, işlenmemiş mısırla kıyaslandığında renk daha açık sarıdır.



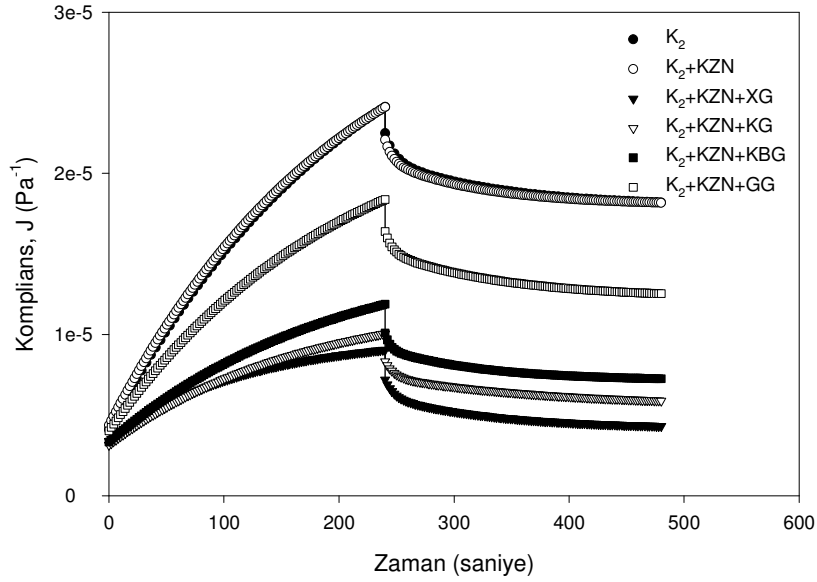
Şekil 3.24 JM, JP ve gam karışımlarının zamana göre kompians değerleri değişimi (25°C)

Tablo 3.28 Gamların JM ve JP örneklerinin sürünme-geri kazanım parametreleri üzerine etkisi

Karışım	$J_0 \times 10^6$ (Pa ⁻¹)	$J_1 \times 10^6$ (Pa ⁻¹)	λ (sn)	$\eta_0 \times 10^{-7}$ (Pa.s)	Geri kazanım (%)	R^2
K ₂	4,09	5,20	49,78	1,550	29,59	0,9978
K ₂ +XG	2,31	4,18	32,29	6,667	51,33	0,9851
K ₂ +KG	3,09	3,43	47,77	2,559	35,32	0,9962
K ₂ +KBG	4,02	4,15	64,66	2,974	34,01	0,9990
K ₂ +GG	4,38	4,48	64,35	2,755	37,32	0,9989

Tablo 3.29 Gamların JM ve JP örneklerinin renk değerleri üzerine etkisi

Karışım	L*	a*	b*	SI
K ₂	75,03	5,78	34,92	68,75
K ₂ +XG	77,82	5,20	33,01	64,11
K ₂ +KG	74,52	4,35	31,44	62,85
K ₂ +KBG	75,69	5,81	35,40	69,05
K ₂ +GG	73,39	5,08	33,72	67,37



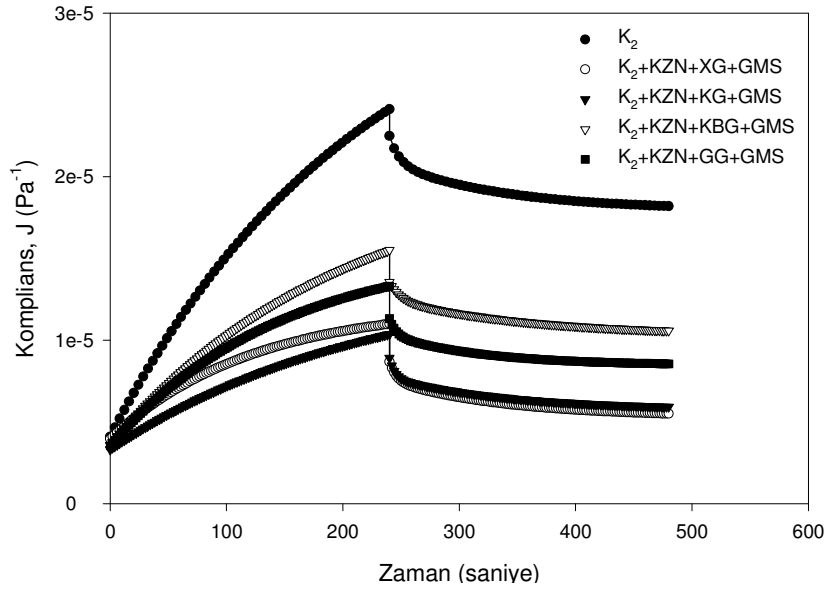
Şekil 3.25 JM, JP, protein ve gam karışımlarının zamana göre komplians değerleri değişimi (25°C)

Tablo 3.30 KZN ve gam karışımlarının, JM ve JP örneklerinin sürünme-geri kazanım parametreleri üzerine etkisi

Karışım	$J_0 \times 10^6$ (Pa ⁻¹)	$J_1 \times 10^6$ (Pa ⁻¹)	λ (sn)	$\eta_0 \times 10^{-7}$ (Pa.s)	Geri kazanım (%)	R^2
K ₂	4,09	5,20	49,78	1,550	29,59	0,9978
K ₂ +KZN	4,36	7,35	67,35	1,875	26,40	0,9991
K ₂ +KZN+XG	3,38	2,66	47,83	7,307	56,27	0,9967
K ₂ +KZN+KG	3,14	2,68	58,05	5,345	45,33	0,9983
K ₂ +KZN+KBG	3,33	3,30	66,36	4,397	37,00	0,9991
K ₂ +KZN+GG	4,03	5,24	66,34	2,534	33,54	0,9995

Tablo 3.31 KZN ve gam karışımlarının, JM ve JP örneklerinin renk değerleri üzerine etkisi

Karışım	L*	a*	b*	SI
K ₂	75,03	5,78	34,92	68,75
K ₂ +KZN	73,86	5,65	35,00	69,40
K ₂ +KZN+XG	75,16	5,96	34,30	68,06
K ₂ +KZN+KG	77,01	5,14	33,29	64,85
K ₂ +KZN+KBG	73,36	6,81	36,09	72,33
K ₂ +KZN+GG	74,20	6,52	35,14	70,31



Şekil 3.26 JM, JP, KZN, gam ve GMS karışımlarının zamana göre komplians değerleri değişimi (25°C)

Tablo 3.32 KZN, gam ve GMS karışımlarının JM ve JP örneklerinin sürünme-geri kazanım parametreleri üzerine etkisi

Karışım	$J_0 \times 10^6$ (Pa ⁻¹)	$J_1 \times 10^6$ (Pa ⁻¹)	λ (sn)	$\eta_0 \times 10^{-7}$ (Pa.s)	Geri kazanım (%)	R^2
K ₂	4,09	5,20	49,78	1,550	29,59	0,9978
K ₂ +KZN+XG+GMS	3,96	3,81	58,79	6,877	52,49	0,9980
K ₂ +KZN+KG+GMS	3,31	1,98	55,67	4,528	45,26	0,9982
K ₂ +KZN+KBG+GMS	3,58	4,78	66,61	3,338	30,32	0,9962
K ₂ +KZN+GG+GMS	3,54	3,82	50,85	3,774	35,43	0,9976

Tablo 3.33 KZN, gam ve GMS karışımlarının JM ve JP örneklerinin renk değerleri üzerine etkisi

Karışım	L*	a*	b*	SI
K ₂	75,03	5,78	34,92	68,75
K ₂ +KZN+XG+GMS	77,54	5,09	32,58	63,57
K ₂ +KZN+KG+GMS	77,21	6,09	34,09	66,73
K ₂ +KZN+KBG+GMS	76,50	4,01	30,58	60,24
K ₂ +KZN+GG+GMS	74,95	6,53	35,05	69,75

3.4 Glütensiz ürünlerin Tekstür profil analizi (TPA) ve pişme kaybı

Makarnanın pişme kalitesini belirlemede en önemli kıstas dokusal özelliklerdir. Pişmiş makarna yenilirken yapışkan olmamalı ve ısırıldığı zaman ağızda hafif sertlik

hissini vermelidir. Duyusal testler, dokusal özellikleri belirlemede etkili olsa da hem çok zaman alması hem de maliyetli olmasından dolayı mekanik testler tercih edilir. TPA eğrisinden, sertlik ve yapışkanlık belirlendi. Pişmiş makarnada sertlik ve yapışkanlık en önemli dokusal parametrelerdir. Yapışkanlık, yüzey özelliklerine, sertlikse yapısal özelliklere bağlıdır. Başlangıçta her spagetti tipi içinde yapışkanlık değerleri fazlaydı. Su difüzyonu dıştan içeriye doğru olduğundan nişastanın yüzeye çıkması pişme sürecinin başlarında daha kolay olur. Protein miktarı ve kalitesi spagettinin pişme kalitesini etkileyen en önemli iki faktördür. Bunu şu şekilde açıklayabiliriz; öncelikle ince bir protein tabakası spagetti parçalarının yüzeyini kaplar. Sonra, pişme bölgesinde (nişasta jelatinizasyonu) içyapı protein ağıyla kaplanmış nişastadan oluşur. Son ürün olarak hazırlanan hamur karışımları düşük sıcaklıkta tek vidalı ekstruder kullanılarak spagetti şeklinde makarna üretimi yapıldı. Ürünlerin 12 dakika pişirme süresinin sonunda tekstür analiz cihazı ile dokusal özellikleri çift basamaklı sıkıştırma testi metodu kullanılarak bulundu (Tablo 3.34-3.35). Jelatinizasyon derecesinin artması ile doğru orantılı olarak ürünlerin sertlik değerlerinin arttığı ve XG kullanıldığında yapışkanlık değerlerinin azaldığı görüldü. KMS katkılı ürünlerde görülen yüksek yapışkanlık bu gamın özelliğinden kaynaklanmaktadır.

Yumurta katkılı olarak üretilen ürün ise, yapışkanlık olarak yüksek ve sertlik olarak diğer ürünler içerisinde daha yumuşak bir sonuç vermiştir. Tablo 3.36-3.37 de ürünlerin 12 dakikalık pişirme süresi sonucunda suya geçen katı madde miktarı verilmektedir. Sert buğday irmiğinden yapılan çalışmalarda elde edilen pişirme kaybı ile karşılaştırıldığında, glütensiz ürünlerin pişme kaybı daha fazladır (Dexter vd., 1983).

Tablo 3.34 % 60, 80 ve 100 JP, protein, gam ve GMS karışimli ürünlerin TPA parametreleri

Ürün	Sertlik (N)	Yapışkanlık (N)	Esneklik	Çiğneme	Geri kazanım
% 60 JP+YA+XG+GMS	18,52	1,76	0,90	14,90	0,67
% 60 JP+KZN+XG+GMS	21,28	1,18	0,85	17,78	0,63
% 60 JP+KZN+KMS+GMS	20,55	1,23	0,94	15,33	0,65
% 80 JP+KZN+XG+GMS	23,39	0,69	0,95	15,95	0,63
% 80 JP+KZN+KMS+GMS	22,97	1,07	0,93	15,86	0,58
% 100 JP+KZN+XG+GMS	26,34	0,58	0,88	18,41	0,65
% 100 JP+KZN+KMS+GMS	24,96	1,36	0,94	17,93	0,62

Tablo 3.35 JM/JP, protein, gam ve GMS karışımı ürünlerin TPA parametreleri

Ürün	Sertlik (N)	Yapışkanlık (N)	Esneklik	Çiğneme	Geri kazanım
K2+KZN+KG+GMS	18,03	0,61	0,80	13,47	0,66
K2+KZN+XG+GMS	20,08	0,57	0,58	12,97	0,70
K3+KZN+KG+GMS	18,85	0,82	0,62	13,51	0,62
K3+KZN+XG+GMS	19,58	0,78	0,87	17,87	0,64

Tablo 3.36 % 60, 80 ve 100 JP, protein, gam ve GMS karışımı ürünlerin pişirme sırasında suya geçen madde miktarı

Ürün	Pişme kaybı (g kuru madde/100 g makarna)
% 60 JP+YA+XG+GMS	8,42
% 60 JP+KZN+XG+GMS	9,56
% 60 JP+KZN+KMS+GMS	9,73
% 80 JP+KZN+XG+GMS	9,52
% 80 JP+KZN+KMS+GMS	10,86
% 100 JP+KZN+XG+GMS	10,08
% 100 JP+KZN+KMS+GMS	10,64

Tablo 3.37 JM/JP, protein, gam ve GMS karışımı ürünlerin pişirme sırasında suya geçen madde miktarı

Ürün	Pişme kaybı (g kuru madde/100 g makarna)
K2+KZN+KG+GMS	10,66
K2+KZN+XG+GMS	8,57
K3+KZN+KG+GMS	11,21
K3+KZN+XG+GMS	8,52

3.5 Glütensiz ürünlerin renk değerleri

Tablo 3.38-3.39'da tek vidalı ekstrüderde üretilen glütensiz pirinç ve mısır-pirinç spagettilerinin renk değerleri verilmiştir.

Hunter Lab renk skalasına göre L = 0 (siyah), L = 100 (beyaz); -a (yeşillik), +a (kırmızılık); -b (mavilik), +b (sarıklık) değerleri ölçülmüştür. Toplam renk farklılığı (ΔE^*) ise aşağıdaki gibi hesaplanmıştır:

$$\Delta L^* = L^*_{\text{örnek}} - L^*_{\text{standart}}$$

$$\Delta a^* = a^*_{\text{örnek}} - a^*_{\text{standart}}$$

$$\Delta b^* = b^*_{\text{örnek}} - b^*_{\text{standart}}$$

$$\Delta E^* = (\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2})^{0.5} \quad (3.3)$$

XG ve KMS gamlı pirinçlerin beyazlık değerleri jelatinize değerleri arttıkça azalmaktayken, kırmızılık ve sarılık değerleri artış göstermektedir. Renk değerlerindeki toplam renk farklılığında da gamların etkisinden daha çok jelatinize yüzdelerinin etkisi olup, bu oran arttıkça renk farklılığı da artmaktadır.

Tablo 3.38 % 60, 80 ve 100 JP, protein, gam ve GMS karışımli ürünlerin renk değerleri

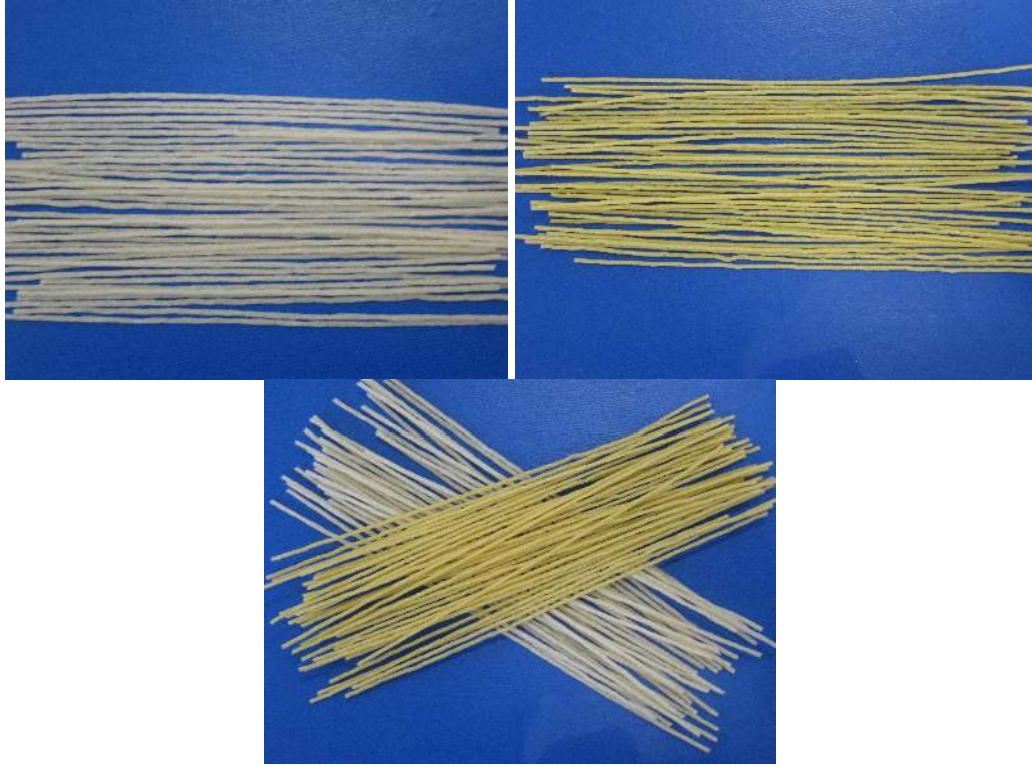
Ürün	L*	a*	b*	ΔE*
% 60 JP+YA+XG+GMS	77,73	-0,23	13,29	19,442
% 60 JP+KZN+XG+GMS	80,66	-0,44	12,02	16,363
% 60 JP+KZN+KMS+GMS	79,83	-0,44	13,21	17,773
% 80 JP+KZN+XG+GMS	74,77	-0,26	14,62	22,601
% 80 JP+KZN+KMS+GMS	72,81	0,29	15,42	24,683
% 100 JP+KZN+XG+GMS	71,21	0,21	17,31	27,078
% 100 JP+KZN+KMS+GMS	70,94	0,04	16,72	26,948

Tablo 3.39 JM/JP, protein, gam ve GMS karışımli ürünlerin pişirme sırasında suya geçen madde miktarı

Ürün	L*	a*	b*	ΔE*
K2+KZN+KG+GMS	77,21	6,09	34,09	36,591
K2+KZN+XG+GMS	77,54	5,09	32,58	35,068
K3+KZN+KG+GMS	71,91	5,16	32,20	37,578
K3+KZN+XG+GMS	75,65	4,17	30,90	34,461

JM/JP karışımı eşit miktarda olduğunda, gamların renkler üzerinde pek farklılık yaratmadığı gözlenirken, pirincin fazla olduğu K3 karışımlarında XG'nin KG'den daha beyazlatıcı etkisi olduğu kırmızılık, sarılık değerlerini ve toplam renk farklılığını da azalttığını gözlemleriz.

Şekil 3.27'de pirinç ve mısır-pirinç spagettileri görülmektedir.



Şekil 3.27 Tek vidalı ekstrüderde üretilen pirinç ve mısır-pirinç karışımlı spagetti tipi makarnalar

4 SONUÇ

Pirinç ve mısırın mekanik olarak malzeme davranışlarının jelatinizasyonla ve protein-gam-GMS karışımları eklenmesiyle değişimi çalışılmıştır. Yapılan ölçümler değerlendirildiğinde bulunan sonuçlar;

1. Pirinç ve mısırın nem alma özelliği jelatinizasyonla artmıştır.
2. Tüm çalışmalardan edinilen bilgiler çerçevesinde % 60, 80 ve 100 JPlerin makarna üretimi için uygun olduğu tespit edilmiştir.
3. % 80 JPnin gerek yapı olarak, gerekse gamlar ve proteinler ile iyi sonuç verdiği görülmektedir.
4. Mısır makarnası üretiminde, % 60'dan yüksek miktarlarda mısır kullanılması hamur oluşumunu engellemektedir. Bu nedenle mısır makarnası üretiminde hamur yapısını oluşturacak JP eklenilmelidir.
5. Jelatinize olmuş yapılarda, protein olarak KZN'nin YA proteininden daha iyi su bağladığını ve kendi arasında daha iyi disülfid bağı yaptığını, böylece pişme sırasında daha kısa süre gerektiği duyusal olarak belirlenmiştir.
6. KZN eklendiğinde, hamur karışımının rengi, YA'ya göre daha açık olmakta, kırmızılık ve sarılık değerleri azalmaktadır.
7. Gam olarak XG ve KMS kullanıldığında üretilmek istenilen makarnaya daha yakın bir yapı ortaya çıkmaktadır.
8. Jelatinizasyon işlemi ve hamur karışımına, protein, nişasta, gam (XG ve KMS) ve GMS eklenmesi ürünün elastik davranışını, yapışkanlık ve pişme kaybı özelliklerini olumlu olarak etkilemektedir.

KAYNAKLAR

Ahmad, F.B., and Williams, P.A. (1999). Effect of sugars on the thermal and rheological properties of sago starch. *Biopolymers*, **50**, 401–412.

Alexander, R. (1999). Hydrocolloid gums, Part I. Natural Products. *Cereal Foods World*, **44**, 684-686.

Alvarez, M.D., Canet, W., Cuesta, F., and Lamua, M. (1998). Viscoelastic characterization of solid foods from creep compliance data: Application to potato tissues, *Zeitschrift fur Lebensmittel-Untersuchung und- Forschung*, **207**, 356–362.

Alvarez M.D., and Canet W. (2000). Storage time effect on the rheology of refrigerated potato tissue (cv. Monalisa). *European Food Research and Technology*, **212**(1), 48-56.

Attenburrow, G., Barnes, D.J., Davies, A.P., and Ingman, S.J. (1990). Rheological properties of wheat gluten. *Journal of Cereal Science*, **12**, 1–14.

Barcenas, M.E., Haros, M., Benedito, C. and Rosell, C.M. (2003). Effect of freezing and frozen storage on the staling of part-baked bread. *Food Research International*, **36**, 863-869.

Belitz, H.D., and Grosch, W. (1987). *Lehrbuch der lebensmittelchemie*. (4th ed.). Springer Verlag, Berlin, pp: 280.

Bhattacharya, M. (1998). Stress relaxation of starch/synthetic polymer blends. *Journal of Materials Science*, **33**, 4131–4139.

Bloksma, A.H. (1962). Slow creep and recovery of wheat flour doughs. *Rheol. Acta.*, **2**, 217.

Bloksma, A.H., and Bushuk, W. (1988). Rheology and chemistry of dough, In *Wheat: chemistry and technology*, (3rd ed.). Pomeranz Y., Am. Assoc. Cereal Chem.: St. Paul, MN.

Brummer, J.M. (1977). Spezielle hydrokolloide bei der brotherstellung. *Getreide. Mehl und Bröt*, **31**, 296-299.

Burchard, W.Ed. (1985). Polysaccharide eigenschaften and nutzung. Springer Verlag, Berlin.

Camire, M.E., Camire, A., and Krumhar, K. (1990). Chemical and nutritional changes in foods during extrusion. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 35-57.

Cato, L., Rafael, L.G.B., Gan, J., and Small, D.M. (2002). The use of rice flour and hydrocolloid gums for gluten-free breads, *Proceedings of The 51st Australian Cereal Chemistry Conference*, pp:304-308.

Chaisawang, M., and Supphantharika, M. (2005). Effects of guar gum and ksantan gum additions on physical and rheological properties of cationic tapioca starch. *Carbohydrate Polymers*, **61-3**, 288–295.

Chan, P.S., Chen, J., Ettelaie, R., Law, Z., Alevisopoulos, S., Day, E., and Smith, S. (2007). Study of the shear and extensional rheology of casein, waxy maize starch and their mixtures. *Food Hydrocolloids*, **21**, 716-725.

Chaudemanche, C., and Budtova, T. (2008). Mixtures of pregelatinised maize starch and κ -carrageenan: compatibility, rheology and gelation. *Carbohydrate Polymers*, **72**, 579-589.

- Chinnaswamy, R., and Hana, M.A. (1988). Relationship between amylose content and extrusion-expansion properties of corn starches. *Cereal Chemistry*, **65**, 138–143.
- Christianson, D.D., Hodge, J.E., Osborne, D., and Detroy, D.W. (1981). Gelatinization of wheat starch as modified by xanthan gum, guar gum and cellulose gum. *Cereal Chemistry*, **58**, 513-517.
- Chun, S.Y., and Yoo, B.J. (2004). Rheological behavior of cooked rice flour dispersions in steady and dynamic shear. *Journal of Food Engineering*, **65**(3), 363-370.
- Ciaffi, M., Tozzi, L., and Lafiandra, D. (1996). Relationship between flour protein composition determined by size-exclusion high-performance liquid chromatography and dough rheological parameters. *Cereal Chemistry*, **73**, 346–351.
- Cunin, C. (1999). Xanthan gum-a food stabiliser of choice. *Innovations in Food Technology*, **5**, 13–15.
- Dea, I.C.M. (1987). *Recent Developments in industrial polysaccharides. The Impact of Biotechnology and Advanced Methodologies*. Crescenzi, V., Dea, I.C.M. and Stivala, S.S. (eds), Gordon and Breach, New York, pp:367-385.
- Dealy, J.M. (1994). Official nomenclature for material functions describing the response to viscoelastic to various shearing and extensional deformations. *Journal Rheology*, **38**, 179-191.
- Demodaran, D.M. (1994). Structure-function relationship in food proteins, in protein functionality in food systems, Hettiarachchy N.S. and Ziegler G.R. (eds). New York: Marcel Dekker, pp:1-37.
- Dexter, J.E., and Matsuo, R.R. (1979). Effect of starch on pasta dough rheology and spaghetti cooking quality. *Cereal Chemistry*, **56** (3), 190-195.

Dexter, J.E., Matsuo, R.R., and Morgan, B.C. (1983). Spaghetti stickiness: Some factors influencing stickiness and relationship to other quality factors. *Journal of Food Science*, **48**, 1545-1551,1559.

Dobraszczyk, B.J., and Morgenstern, M.P. (2003). Rheology and the breadmaking process. *Journal of Cereal Science*, **38**, 229-245.

Donovan, J. (1979). Phase transitions of the starch-water system. *Biopolymers*, **18**, 263–275.

Dziezak, J.D. (1991). A Focus on gums. *Food Technology*, **45**, 115-132.

Edwards, N.M., Dexter, J.E., Scanlon, M.G., and Cenkowski, S. (1999). Relationship of creep-recovery and dynamic oscillatory measurements to durum wheat physical dough properties. *Cereal Chemistry*, **76**, 101-104.

Edwards, N.M., Dexter, J.E., Scanlon, M.G., and Cenkowski, S. (1999). Relationship of creep-recovery and dynamic oscillatory measurements to durum wheat physical dough properties. *Cereal Chemistry*, **76**, 638-645.

Eerlingen, R.C., and Delcour, J.A. (1995). Formation, analysis, structure and properties of type 3 enzyme resistant starch. *Journal of Cereal Science*, **22**, 12-138.

Eliasson, A.C. (1980). Effect of water content on the gelatinization of wheat starch. *Starch/Staerke*, **32**, 270–272.

Eliasson, A., and Larsson, K. (1993). In *Cereals in breadmaking*, Newyork: Marcel Dekker.

Everett, D.W., and McLeod, R.E. , (2005). Interactions of polysaccharide stabilisers with casein aggregates in stirred skim-milk yoghurt. *International Dairy Journal*, **15**, 1175-1183.

Gaisford, S.E., Harding S.E., Mitchell J.R. and Bradley T.D. (1986). *Carbohydrate Polymers*, **6**, 423.

Glicksman, M. (1969). Gum technology in the food industry, Academic Press., New York.

Glicksman, M. (1980). Food hydrocolloids, Vol. 1-3, CRC. Press, Boca Raton. F.L.

Glicksman, M. (1983). Food hydrocolloids, Glickman M. (ed.), CRC Pres, Boca Raton, Vol: 2, Chapt. 5, pp: 73-113.

Gowen, A., Abu-Ghannam, N., Frias, J., and Oliveira, J. (2007). Influence of pre-blanching on the water absorption kinetics of soybeans. *Journal of Food Engineering*, **78**, 965-971.

Graham, D.E. and Phillips, M. (1976). The conformation of proteins at the air-water interface and their role in stabilizing foams, Akers R. J. (ed.), Academic Pres, London, pp. 237-255.

Harper, J.M. (1989). Food extruders and their applications, In:Extrusion Cooking, Mercier C., Linko P. and Harper J.M., St. Paul, MN (Eds.):American Association of Cereal Chemists, USA., pp: 1-15.

Hemar, Y., Tamehana, M., Munro, P.A., and Singh, H. (2001). Viscosity, microstructure and phase behavior of aqueous mixtures of commercial milk protein products and xanthan gum. *Food Hydrocolloids*, **15**, 565-574.

Hennig, V.H.J., Lechert, H., and Goemann, W. (1976). Examination of swelling mechanism of starch by pulsed NMR-method. *Starch/Staerke*, **28**, 10.

Herald, C.T. (1983). In Food Hydrocolloids, Glicksman M. (Ed.), CRC Pres, Boca Raton, Vol. 3, Chapt. 5, pp: 161-170.

Hermansson, A.M., and Svegmarm K. (1996). Development in the understanding of starch functionality. *Trends Food Science Technology*, **7(11)**, 345–353.

Hibberd, G.E., and Parker, N.S. (1975). Measurement of the fundamental rheological properties of wheat-flour doughs. *Cereal Chemistry*, **52**, 1r-23r.

Hibberd, G.E., and Parker, N.S. (1979). Nonlinear creep and creep recovery of wheat flour doughs. *Cereal Chemistry*, **55**, 232-236.

Hoseney, R.C. (1994). Principles of cereal science and technology, *Am. Assoc. Cereal Chem.*, St. Paul, MN.

Huang, J.C. (2001). Model prediction for sensory attributes of nongluten pasta. *Journal of Food Quality*, **24**, 495.

Hummel, C. (1996). Macaroni Products, Food Trade Press, Ltd. London.

Imberty, A.A., Buleon A., Tran V., and Perez S. (1985). Recent advances in knowledge of starch structure. *Stark/Staerke*, **43**, 375.

Jack, F.R., and Paterson, A. (1992). Texture of hard cheeses. *Trends in Food Science and Technology*, **3**, 160-164.

Kaur, L., Singh, J., and Singh, N. (2005). Effect of glycerol monostearate on the physico-chemical, thermal, rheological and noodle making properties of corn and potato starches. *Food Hydrocolloids*, **19**, 839-849.

Keller, J.D. (1982). Sodium Carboxymethylcellulose (CMC), In *Food Hydrocolloids*, Volume III, by Martin G. (Ed.), CRC Press, Inc: Florida, pp: 43-104.

Khazaei J, and Mann, DD. (2004). Effects of temperature and loading characteristics on mechanical and stress-relaxation behaviour of sea buckthorn berries. *Journal Science Research Development*, **6**, 1-12.

Kim, C., and Yoo, B. (2006). Rheological properties of rice starch-xantan gum mixtures. *Journal of Food Engineering*, **75**, 120-128.

- Kobs, L. (1997). Designing frozen food. *Food Product Design*, **1**, 27-43.
- Launay, B., Doublier, J. R., and Cuvelier, G. (1986). Flow properties of aqueous solutions and dispersions of polysaccharides. In J. R. Mitchell, & D. A. Ledward (Eds.), *Functional Properties of Food Macromolecules* (pp. 1–78). London: Elsevier Applied Science.
- Lazaridou, A., Duta, D., Papageorgiou, M., Belc, N., and Biliaderis, C.G. (2007). Effects of hydrocolloids on dough rheology and bread quality parameters in gluten-free formulations. *Journal of Food Engineering*, **79(3)**, 1033–1047.
- Lee, J.M., Lee, M.K., Lee, S.K., Cho, N.J., Cha, W.J. and Park, J.K. (2000). Effect of gums on the characteristics of the dough in making frozen dough. *Korean Journal of Food Science and Technology*, **32**, 604-609.
- Lineback, D.R. (1984). The starch granule, organization and properties. *Bakers Digest.*, **58**, 16–18.
- Lund, D.B. (1984). Influence of time, temperature, moisture, ingredients and processing conditions on starch gelatinization. *CRC Critical Review in Food Science and Nutrition*, **20(4)**, 249–257.
- Lyon, B.G., Champagne, E.T., Windham, W.R., Barton, F.E., Webb, B.D., McClung, A.M., Moldenhauer, K.A., Linscombe, S., McKenzie, K.S., and Kohlwey, D.E. (1999). Effect of degree of milling, drying condition, and final moisture content on sensory texture of cooked rice. *Journal of Cereal Chemistry*, **76**, 56–62.
- MacRitchie, F. (1978). Protein at interfaces. *Protein Chemistry*, **32**, 283-326.
- Malcolmson, L.J., and Matsuo, R.R. (1993). Effects of cooking water composition on stickiness and cooking loss of spaghetti. *Cereal Chemistry*, **5(70)**, 272-275.
- Mandala, I.G., and Bayas, E. (2004). Xanthan effect on swelling, solubility and viscosity of wheat starch dispersions. *Food Hydrocolloids*, **18**, 191-201.

Mandala, I.G., Savvas, T.P., and Kostaropoulos, A.E. (2004). Ksantan and locust bean gum influence on the rheology and structure of a white model-sauce. *Journal of Food Engineering*, **64**, 335–342.

Mandala, I.G. (2005). Physical properties of fresh and frozen stored, microwave-reheated breads, containing hydrocolloids. *Journal of Food Engineering*, **66**, 291-300.

Maskan, M., (2002). Effect of processing on hydration kinetics of three wheat products of the same variety. *Journal of Food Engineering*, **52**, 337-341.

Mavrakis, C., and Kiosseoglou V. (2008). The structural characteristics and mechanical properties of biopolymer/mastic gum micro-sized particles composites. *Food Hydrocolloids*, 854-861.

Mercier, C., and Feillet, P. (1975). Modification of carbohydrate components by extrusion-cooking of cereal products. *Cereal Chemistry*, **52**, 283–297.

Mifflin, B.J., Field, J.M., and Shewery P.R. (1983). Cereal storage proteins and their effect on technological properties, in Seed Proteins, Daussant, J., Mossé, J., and Vaughan, J. (Eds.), London: Academic Press, pp: 225-319.

Milatovic, L.J., and Mondelli, G. (1991). Pasta Technology Today, Italy.

Mills, E.N.C., Burgess, S.R., Tahtam, A.S., Shewry, P.R., Chan, H.W.S. and Morgan, M.R.A. (1990). Characterization of a panel of monoclonal anti-gliadin antibodies. *Journal of Cereal Science*, **11**, 89–101.

Morris, E.R. (1990). Mixed polymer gels. In P. Harris (Eds.), *Food gels* (pp. 291–360). London: Elsevier Applied Science.

Ndife, M., Şumnu, G. and Bayındırlı, L. (1998). Differential scanning calorimetry determination of gelatinization rates in different starches due to microwave heating. *Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie*, **31**, 484-488.

- Nikuni, S. (1978). Studies on starch granules. *Starch/ Staerke*, **30**,105.
- Nikuniz (1985). Studies on Stach Granules. *Stark/Staerke*, **30**, 80-83.
- Njintang, Y.N., Mbofung, C.M.F., Moates, G.K., Parker, M.L., Craig, F., and Smith, A.C. (2007). Functional properties of five varieties of taro flour, and relationship to creep recovery and sensory characteristics of achu (Taro Based Paste). *Journal of Food engineering*, **82**, 114-120.
- Noosuk, P., Hill, S.E., Pradipasena, P., and Mitchell, J.R. (2003). Structure-viscosity relationships for thai rice starches. *Starch/Staerke*, **55**, 337–344.
- Noosuk, P., Hill, S.E., Farhat, I.A., Mitchell, J.R., and Pradipasena, P. (2005). Relationship between viscoelastic properties and starch structure in rice from Thailand. *Starch/Stärke*, **57**, 587–598.
- Nussinovitch, A. (1997). Hydrocolloid Applications, Gum Technology in the Food and Other Industries, London: Blackie Academic & Professional.
- Painter, T.J. (1983). In the polysaccharides, Aspinall G. O. Ed., Academic Press, New York, Vol. 2, pp: 196-285.
- Peleg M. (1980). Linearization of Relaxation and creep curves of biological materials. *Journal of Rheology*, **24**, 451-463.
- Peleg, M., and Normand, M.D. (1983). Comparison of two methods for stress relaxation data presentation of solid foods. *Rheological Acta*, **22**, 108-113.
- Peresini, D., Sensidoni, A., Pollini, C.M., Gabriele, D., Migliori, M., and de Cindio, B. (2002). Filled-snacks production by coextrusion-cooking. Part 3. A rheological-based method to compare filler processing properties. *Journal of Food Engineering*, **54(3)**,227–240.

- Resio, A.C., Aguerre, R.J., and Suarez, C. (2006). Hydration kinetics of amaranth grain. *Journal of Food Engineering*, **72**, 247-253.
- Ribotta, P., Leon, A., and Anon, M.C. (2001). Effect of freezing and frozen storage of doughs on bread quality. *Journal of Agricultural Food Chemistry*, **49**, 913-918.
- Richardson, R.K., Robinson, G., Ross-Murphy, S.B., and Todd, S. (1981). Mechanical spectroscopy of filled gelatin gels. *Polym. Bull.*, **4**, 541.
- Ring, S.G., and Stainsby, G. (1982). Filler reinforcement of gels. *Prog. Food Nutr. Sci.*, **6**, 323.
- Schenz, T.W. (1995). Glass transition and product stability-an over review. *Food Hydrocolloids*, **9**, 307-315.
- Seiler, W. (1996). Switzerland Food Tech. Europe; **1**, 93-101.
- Sharadant R., and Khan K. (2003). Effect of hydrophilic gums on frozen dough, I. Dough quality. *Cereal Chemistry*, **80**, 764-772,
- Shogren, R.L. (1992). Effect of moisture content on the melting and subsequent physical aging of cornstarch. *Carbohydrate Polymer*, **19**, 83-90.
- Sivaramakrishnan, H.P, Senge, B., and Chattopadhyay P.K. (2004). Rheological Properties of Rice Dough for Making Rice Bread. *Journal of Food Engineering*, **62(9)**, 37-45.
- Smith, T.L., and Tschoegl, N.W. (1970). Rheological properties of wheat flour doughs, IV. Creep and creep recovery in simple tension. *Rheol. Acta*, **9**, 339-344.
- Spagnuolo, P.A., Dalgleish, D.G., Goff, H.D., and Morris, E.R. (2005). Kappa-carrageenan interactions in systems containing casein micelles and polysaccharide stabilizers. *Food Hydrocolloids*, **19**, 371-377.

Spigno, G., and De Faveri, D.M. (2004). Gelatinization kinetics of rice starch studied by non-isothermal calorimetric technique: influence of extraction method, water concentration and heating rate. *Journal of Food Engineering*, 62, 337-344.

Stadelman, W.J., Olson, V.M., Shemwell, G.A., and Posch, S. (1988). *Egg and Poultry Meat Processing*, Ellis Harword Ltd. Chiester, England.

Stanley, N.F. (1990). In *Food Gels*, Haris, P. (Ed.), Elsevier Applied Science, Barking UK, Chapt. 3, pp: 79-119.

Steffe, J.F. (1992). *Rheological methods in food process engineering*, Freeman Press, East Lansing, Michigan, USA.

Steffe, J.F. (1996). *Rheological Methods in Food Process Engineering*, East Lansing: Freeman Press.

Şahin, S. (2001). Türkiye’de mısır ekim alanlarının dağılışı ve mısır üretimi. *G.Ü. Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi*, **21(1)**, 73-90.

Takahashi, K. (1982). Application of differential thermal analysis to examination of thermal behaviour of starch. *Journal of The Japanese Society of Starch Science*, **29**, 56–67.

Tananuwong, K., and Reid, D.S. (2004). DSC and NMR relaxation studies of starch-water interactions during gelatinization. *Carbohydrate Polymers*, **58**, 345–358.

Tufvesson, F., Wahlgren, M., and Eliasson, A-C. (2003). Formation of amylose-lipid complexes and effects of temperatue treatment. *Starch/ Stärke*, 55, 61–71.

Tester, R.F., and Morrison, W.R. (1990). Swelling and gelatinisation of cereal starches, II. Waxy rice starches. *Cereal Chemistry*, **67**, 558–563.

Wall, J.S. (1979). Recent advances in biochemistry of cereals. Laidman, D.L. and Wyn-Jones, R.G. (Eds.), Academic Press, London, pp: 275–311.

- Wang, F.C., and Sun, X.S. (2002). Creep-recovery of wheat flour doughs and relationship to other physical dough tests and breadmaking performance. *Cereal Chemistry*, **79**, 567-571.
- Ward, F.M., and Andon, S.A. (1993). Water-soluble gums used in snack foods and cereal products. *Cereal Foods World*, **38**, 748-752.
- Ward, F.M., and Andon, S.A. (2002). Hydrocolloids as film formers adhesives and gelling agents for bakery and cereal products. *Cereal Foods World*, **47**, 52-55.
- Watson, S.A., and Ramstad, P.E. (1991). Structure and composition. In Corn-chemistry and technology, pp. 53–82. St. Paul, USA: AACC.
- Weipert, D. (1990). The benefits of basic reology in studying dough rheology. *Cereal Chemistry*, 311-317.
- Wong, R.B.K., and Lelievre, J. (1981). Viscoelastic behavior of wheat starch pastes. *Rheol. Acta.*, **20**, 199.
- Takahashi, K. (1982). Application of differential thermal analysis to examination of thermal behaviour of starch. *Journal of The Japanese Society of Starch Science*, **29**, 56–67.
- Tananuwong, K., and Reid, D.S. (2004). DSC and NMR relaxation studies of starch-water interactions during gelatinization. *Carbohydrate Polymers*, **58**, 345–358.
- Tufvesson, F., Wahlgren, M., and Eliasson, A-C. (2003). Formation of amylose-lipid complexes and effects of temperatue treatment. *Starch/ Staerke*, **55**, 61–71.
- Yang, H., Irudayaraj, J., Otgonchimeg, S., and Walsh, M. (2004). Rheological study of starch and dairy ingredient-based food systems. *Food Chemistry*, **86**, 571-578.

Ylimaki, G., Hawrysh, Z.J., Hardin, R.T., and Thomson, A.B.R. (1991). Response surface methodology in the development of rice flour yeast breads: sensory measurements. *Journal of Food Science*, **56**, 751-759

Yu, L., and Christie, G. (2001). Measurement of starch thermal transition using differential scanning calorimetry. *Carbohydrate Polymer*, **46**, 179–184.

Zobel, H.F. (1984). Gelatinization of starch and mechanical properties of starch pastes, Whistler, R., Bemiller, J.N., Paschall, E.F. (Eds.), *Starch: Chemistry and Technology* Orlando: Academic Pres, pp: 285–309.

EKLER



EKSTRUDER



DİNAMİK MEKANİK ANALİZ CİHAZI (DMA)



TEKSTÜR ANALİZ CİHAZI



REOMETRE CİHAZI