



**MODEL JELLERDE TEKSTÜREL ÖZELLİKLERE BAĞLI OLARAK ŞEKER  
SALINIMININ BELİRLENMESİ VE NÜMERİK OLARAK MODELLENMESİ**

**SERPİL PEKDOĞAN GÖZTOK**

**Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Doktora Tezi**

**Danışman: Doç. Dr. İbrahim PALABIYIK**

**2022**

T.C.  
TEKİRDAĞ NAMIK KEMAL ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



MODEL JELLERDE TEKSTÜREL ÖZELLİKLERE BAĞLI OLARAK ŞEKER  
SALINIMININ BELİRLENMESİ VE NÜMERİK OLARAK MODELLENMESİ

SERPİL PEKDOĞAN GÖZTOK

ORCID: 0000-0002-6589-1217

GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
DOKTORA TEZİ  
Danışman: Doç. Dr. İbrahim PALABIYIK

EKİM-2022  
Her hakkı saklıdır.

## ÖZET

### MODEL JELLERDE TEKSTÜREL ÖZELLİKLERE BAĞLI OLARAK ŞEKER SALINIMININ BELİRLENMESİ VE NÜMERİK OLARAK MODELLENMESİ

Serpil PEKDOĞAN GÖZTOK

Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

Doktora Tezi

Danışman: Doç. Dr. İbrahim PALABIYIK

Bu tez çalışmasında, model jeller hazırlanarak stabilizatör olarak da tanımlanan jelatin (160, 200 ve 250 bloom), düşük metoksilli (DM) pektin ve modifiye mısır (MM) nişasta olmak üzere üç farklı 'hidrokolloid' bileşen kullanılmıştır. %30 (g/g) sakkaroz içeren jellerin hidrokolloid oranları; farklı bloom değerine sahip jelatin %6, 8, 10 ve 12; DM pektin %1, 1.7, 2.4 ve 3.1, MM nişasta %2.5, 5, 7.5 ve 10 (g/g) oranlarında kullanılmıştır. Model jellerin içerdiği şekerin 25 °C'de %90'ının salınımının belirlenmesi için ortam1 (sadece karıştırma) ve ortam2 (karıştırma işlemiyle birlikte parçalama) olmak üzere iki farklı koşulda çalışılmıştır. Ortam1 ve 2'de hidrokolloidlerin salınım süreleri sırasıyla  $45.00 \pm 0.00$ - $517.00 \pm 0.00$ ,  $8.50 \pm 0.07$ - $92.00 \pm 5.66$  dk aralığındadır. Ortam1'de gerçekleşen şeker salınımında DM pektin örnekleri hariç en düşük hidrokolloid konsantrasyonlu ürün en kısa salınım süresine, en yüksek hidrokolloid konsantrasyonlu ürün ise en uzun salınım süresine sahip olmuştur ( $p < 0.05$ ). Ortam2'de gerçekleşen salınım ortam1'den daha kısa sürdüğü ve parçalama işleminin salınım üzerinde etkili olduğu belirlenmiştir. Model jel örneklerine tekstür profil analizi gerçekleştirilmiştir. Hidrokolloid konsantrasyon artışının, sertlik üzerinde etkili olduğu tespit edilmiş ve yüksek konsantrasyona sahip jellerin daha sert oldukları tespit edilmiştir. MM nişastalı örnekler diğer örneklere göre daha düşük sertliğe sahiptirler. Sertlik, K, Young's modül değerleri ile salınım süreleri arasındaki ilişki tespit edilmiştir. Salınım işleminin efektif difüzyon hızı değerleri ( $D_{eff}$ ) Ortam1'de  $0.22 \times 10^{-8}$  ile  $5.07 \times 10^{-8}$  m<sup>2</sup>/s, Ortam2'de  $18.47 \times 10^{-8}$  ile  $1.37 \times 10^{-8}$  m<sup>2</sup>/s arasında olup parçalama işlemi  $D_{eff}$  değerlerini arttırmıştır. Salınım işlemi iki farklı ortam için nümerik olarak modellenmiştir. İki farklı yöntemde de deneysel verilerle iyi uyum gösteren model geliştirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** şeker salınımı, nümerik modelleme, pektin, nişasta, jelatin

## ABSTRACT

### DETERMINATION AND NUMERICAL MODELING OF SUGAR RELEASE BASED ON TEXTURAL PROPERTIES IN MODEL GELS

Serpil PEKDOĞAN GÖZTOK

Department of Food Engineering

PhD Thesis

Supervisor: Assoc. Doc. Dr. İbrahim PALABIYIK

In this thesis, model gels were prepared and three different 'hydrocolloid' components were used as stabilizers, which are gelatin (160, 200 and 250 bloom), low methoxyl (LM) pectin and modified corn (MC) starch. Hydrocolloid ratio of gels containing 30% (g/g) sucrose; different bloom gelatin 6, 8, 10 and 12%; LM pectin 1, 1.7, 2.4 and 3.1, MC starch 2.5, 5, 7.5 and 10% (g/g) were used. In order to determine the release of 90% of the sugar contained in the model gels at 25 °C, two different conditions, treatment1 (mixing only) and treatment2 (shredding with mixing process) were studied. The release times of hydrocolloids in treatment1 and 2 ranged from 45.00±0.00-517.00±0.00, 8.50±0.07-92.00±5.66 minutes, respectively. Except for the LM pectin samples, the lowest hydrocolloid concentration product had the shortest release time and the highest hydrocolloid concentration product had the longest release time in the sugar release in Environment 1 ( $p < 0.05$ ). It has been determined that the release in ambient2 takes less time than ambient1 and that the fracture process has an effect on the release. Texture profile analysis was performed on the model gel samples. It has been determined that the hydrocolloid concentration increase has an effect on the hardness, the products with the highest rate have the hardest value. MC starch samples had lower hardness than other samples. The relationship between hardness, K, Young's modulus values and release times was determined. The effective diffusivity values ( $D_{eff}$ ) of the release process are between  $0.22 \times 10^{-8}$  and  $5.07 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$  in treatment1,  $18.47 \times 10^{-8}$  and  $1.37 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$  in treatment2, and the mixing process has increased the  $D_{eff}$  values. The sugar release process is modeled numerically for two different environments. A model that fits well with experimental data was developed for both different methods.

**Keywords:** sugar release, numerical modeling, pectin, starch, gelatin

## İÇİNDEKİLER

<b>ÖZET .....</b>	<b>i</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>ii</b>
<b>İÇİNDEKİLER .....</b>	<b>iii</b>
<b>ÇİZELGELER DİZİNİ.....</b>	<b>v</b>
<b>SİMGELER DİZİNİ.....</b>	<b>viii</b>
<b>KISALTMALAR DİZİNİ .....</b>	<b>ix</b>
<b>TEŞEKKÜR .....</b>	<b>x</b>
<b>1. GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
1.1 Literatür Özeti .....	5
1.1.1 Jelatin .....	6
1.1.2 Pektin .....	9
1.1.3 Nişasta.....	11
1.1.4 Sakkaroz.....	13
1.1.5 Su .....	14
1.1.6 Gıdaların Mekaniksel Özellikler.....	14
1.1.7 Nümerik Modelleme .....	15
1.1.8 Jel Örneklerinden Şeker Salınımı .....	19
1.2 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı .....	21
<b>2. MATERYAL VE YÖNTEM.....</b>	<b>24</b>
2.1 Materyal.....	24
2.2 Yöntem.....	25
2.2.1 Örnek Hazırlama.....	25
2.2.2 Yoğunluk Ölçümü.....	28
2.2.3 Tekstür Profil Analizi .....	28
2.2.4 Dinamik Osilasyon Deneyleri.....	30
2.2.5 Şeker Salınımının Belirlenmesi .....	30
2.2.6 Matematiksel Modelleme.....	31
2.2.7 İstatistiksel Değerlendirme .....	33
<b>3. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....</b>	<b>35</b>
3.1 Şeker Salınımının Belirlenmesi .....	35
3.2 Tekstür Özellikleri.....	43
3.3 Reolojik Özellikler .....	48
3.4 Yoğunluk, Poisson Oranı ve Young's Modül Değerleri .....	50

3.5 Efektif Difüzivite Değeri .....	52
3.6 Nümerik Modelleme .....	62
<b>4. SONUÇ VE ÖNERİLER.....</b>	<b>74</b>
<b>TEZDEN ÜRETİLMİŞ ESERLER .....</b>	<b>87</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>Hata! Yer işareti tanımlanmamış.</b>



## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Şekerli model jeller ve konsantrasyon oranları .....	25
Çizelge 2.2. TPA analizinden elde edilen mekanik özelliklerin formülleri (Cruz vd., 2015; Mavroudis, Dejmek ve Sjöholm, 2004) .....	29
Çizelge 3.1. Model jel ürünlerindeki şekerin %90 'nının salınma süreleri .....	35
Çizelge 3.2. Model jellerin tekstürel özellikleri .....	45
Çizelge 3.3. Model jel ürünlerindeki şekerin salınım süreleri, sertlik ve yapışkanlık değerleri .....	47
Çizelge 3.4. Model jel ürünlerine uygulanan osilasyon testi sonunda elde edilen model parametre değerleri .....	49
Çizelge 3.5. Model jel ürünlerinin yoğunluk, poisson oranı ve Young's modülü değerleri ....	51
Çizelge 3.6. Model jellerden şeker salınmasının efektif difüzivite değerleri ( $D_{eff}$ ) .....	54
Çizelge 3.7. Nümerik Modellemede kullanılan parçalı $D_{eff}$ değer aralığı .....	56
Çizelge 3.8. Model öngörülleri ile deneysel verilerin RMSE ve $X^2$ değerleri .....	73

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Kollajen ve jelatin yapısının temsili gösterimi a) Kollajen b) Jelatin (Boran, 2011).	7
Şekil 1.2. Yüksek metoksilli pektinin molekül yapısı (Tharanathan, 2003) .....	10
Şekil 1.3. Düşük metoksilli pektinin molekül yapısı (Tharanathan, 2003) .....	10
Şekil 1.4. Yüksek metoksilli pektin ve düşük metoksilli pektinin endüstriyel üretim (Syeitkhajy, 2017).....	11
Şekil 1.5. İşlemler sırasında nişasta-su karışımında meydana gelen yapısal değişimin şematik gösterimi. (I) soğuk su içerisindeki nişasta granülleri, (IIa) şişmiş nişasta granülleri, (IIb) amilozun granül dışına çıkması, (IIIa) amiloz retrogradasyonu, (IIIb) amilopektin retrogradasyonu (Gerçekaslan, Kotancılar ve Karaoğlu, 2007) .....	12
Şekil 1.6. Deneysel ve hesaplamalı simülasyon kullanarak gerçekleştirilen gıda tasarımının temsili gösterimi (Martins, 2006) .....	16
Şekil 1.7. İki boyutlu örnek uzayının SFY de çözüm noktalarının temsili gösterimi (Anon, 2022a) .....	17
Şekil 1.8. İki boyutlu örnek uzayının SEY de çözümünün ağ ve düğüm noktalarının temsili gösterimi (Anon, 2022b) .....	18
Şekil 2.1. Tez çalışmasının temsili gösterimi .....	24
Şekil 2.2. Termomix cihaz gösterimi.....	25
Şekil 2.3. Hidrokolloid çeşitleri göre farklı konsantrasyonlardaki şekerli model jeller.....	27
Şekil 2.4. TPA ile elde edilen kuvvet-süre ilişkisinin temsili gösterimi (Cruz, Guiné ve Gonçalves, 2015).....	28
Şekil 2.5. Sıkıştırma testi ile poisson oranının belirlenmesinin temsili gösterimi (Jahanbakhshian, Hamdami ve Shahedi, 2017).....	29
Şekil 2.6. Boyutsuz nem içeriği oranının doğal logaritmasının süreye karşı değişiminin temsili gösterimi .....	32
Şekil 2.7. Kütle transferi ve yapı özelliklerinin Comsol paket programında çözümünün şematik gösterimi (Fanta vd., 2014).....	33
Şekil 3.1. Ortam1’de model jellerden salınan şeker diyagramı 1) 160 bloom jelatin, 2) 200 bloom jelatin, 3) 250 bloom jelatin; 4) DM pektin; 5) MM nişasta (○: %6; Δ: %8; □: %10; ◇: %12) (○: %1; Δ: %1.7; □: %2.4; ◇: %3.1) (○: %2.5; Δ: %5; □: %7.5; ◇: %10) .....	37
Şekil 3.2. Ortam 2’de model jellerden salınan şeker diyagramı 1) 160 bloom jelatin, 2) 200 bloom jelatin, 3) 250 bloom jelatin; 4) DM pektin; 5) MM nişasta (○: %6; Δ: %8; □: %10; ◇: %12) (○: %1; Δ: %1.7; □: %2.4; ◇: %3.1) (○: %2.5; Δ: %5; □: %7.5; ◇: %10) .....	39



Şekil 3.3. $D_{eff}$ değerlerinin kütle transferi çözümü gerçekleştiren model üzerindeki etkisi (x: deneysel veri; x: $D_{eff}$ parçalı model veri, x: sabit $D_{eff}$ (parçasız) model veri).....	55
Şekil 3.4. Ortam 1 için farklı hidrokolloid ve konsantrasyonlardan elde edilen jel örneklerinden şeker salınımı işleminde kütle transferinin çözümlenmesi sonucu merkez noktası için nümerik modellemede öngörülen salınım oranı değerleri ile deneysel salınım oranı değerleri ile deneysel salınım oranı değerlerinin süreye bağlı değişimi 1. 160 bloom, 2. 200 bloom, 3. 250 bloom (○: %6; Δ: %8; □: %10; ◇: %12) 4. Düşük metoksilli pektin(○: %1; Δ: %1.7; □: %2.4; ◇: %3.1); 5. Modifiye mısır nişasta (○: %2.5; Δ: %5; □: %7.5; ◇: %10). (○; Δ; □; ◇: öngörülen salınım oranı değerleri, ○; Δ; □; ◇: deneysel salınım oranı değerleri) .....	64
Şekil 3.5. 160 bloom jelatinli örnekler için Ortam1'de gerçekleşen salınımın Comsol görüntüleri .....	65
Şekil 3.6. 200 bloom jelatinli örnekler için Ortam1'de gerçekleşen salınımın Comsol görüntüleri .....	65
Şekil 3.7. 250 bloom jelatinli örnekler için Ortam1'de gerçekleşen salınımın Comsol görüntüleri .....	66
Şekil 3.8. DM pektinli örnekler için Ortam1'de gerçekleşen salınımın Comsol görüntüleri...	66
Şekil 3.9. MM nişastalı örnekler için Ortam1'de gerçekleşen salınımın Comsol görüntüleri .	67
Şekil 3.10. Ortam 2 için farklı hidrokolloid ve konsantrasyonlardan elde edilen jel örneklerinden şeker salınımı işleminde kütle transferinin çözümlenmesi sonucu merkez noktası için nümerik modellemede öngörülen salınım oranı değerleri ile deneysel salınım oranı değerlerinin süreye bağlı değişimi 1.b) 160 bloom, 2.b) 200 bloom, 3.b) 250 bloom (○: %6; Δ: %8; □: %10; ◇: %12) 4.b) Düşük metoksilli pektin(○: %1; Δ: %1.7; □: %2.4; ◇: %3.1); 5.b) Modifiye mısır nişasta (○: %2.5; Δ: %5; □: %7.5; ◇: %10). (○; Δ; □; ◇: öngörülen salınım oranı değerleri, ○; Δ; □; ◇: deneysel salınım oranı değerleri) .....	69
Şekil 3.11. 160 bloom jelatinli örnekler için Ortam2'de gerçekleşen salınımın Comsol görüntüleri .....	70
Şekil 3.12. 200 bloom jelatinli örnekler için Ortam2'de gerçekleşen salınımın Comsol görüntüleri .....	70
Şekil 3.13. 250 bloom jelatinli örnekler için Ortam2'de gerçekleşen salınımın Comsol görüntüleri .....	71
Şekil 3.14. DM pektinli örnekler için Ortam2'de gerçekleşen salınımın Comsol görüntüleri.	71
Şekil 3.15. MM nişastalı örnekler için Ortam2'de gerçekleşen salınımın Comsol görüntüleri	72

## SİMGELER DİZİNİ

$D_{eff}$	Efektif Difüzyon
$\rho_p$	Partikül Yoğunluğu
RMSE	Hata Kareleri Ortalamasının Karekökü
$R^2$	Düzeltilmiş Belirleme Katsayısı
$\chi^2$	Ki-kare
SR	Boyutsuz Şeker Oranı
$S_i$	Başlangıç Şeker İçeriği
$S_e$	Denge Şeker İçeriği
$S_t$	t Anındaki Ürünün Şeker İçeriği
x, y, z	Difüzyon Yolu (m); Pozisyon (m)
t	Süre (s)
L	Örneğin Yarı Kalınlığı (m)
m	Ağırlık
V	Hacim
$\sigma$	Gerilim
$\varepsilon$	Gerinim
E	Young's Modül
$\nu$	Poisson Oranı

### Alt indis

<i>g</i>	Giren
<i>ç</i>	Çıkan
<i>b</i>	Başlangıç
<i>s</i>	Son
<i>p</i>	Partikül
dny	Deneysel
bkl	Beklenen

## KISALTMALAR DİZİNİ

MM	Modifiye Mısır
DM	Düşük Metoksilli
YA	Yüksek Açilli
DA	Düşük Açilli
SFY	Sonlu Farklar Yöntemi
SEY	Sonlu Elemanlar Yöntemi
SHY	Sonlu Hacimler Yöntemi
dk	Dakika



## TEŞEKKÜR

Araştırmak, sorgulamak, çalışmak, yeniliğe açık olmak ve üretmek bu yolculuğun parolası oldu. Bu meşakkatli yolculukta, bilgi birikimi ve samimiyetiyle bana rehber olan ve desteğini hiçbir zaman esirgemeyen yüksek anlayışı ile süreci nihayete erdirmem de en büyük pay sahibi danışmanım sn. Doç. Dr. İbrahim PALABIYIK hocama teşekkür ederim.

Doktora sürecim boyunca tecrübeleriyle yanımda olan ve gelişimime katkı sağlayan değerli hocalarım sn. Prof. Dr. Nevzat KONAR ve Doç. Dr. Ömer Said Toker'e;

Çalışmalarım süresince katkılarından ötürü kıymetli öğrencim Emine Yıldız'a

Tez aşamam süresince laboratuvarlarını kullandığımız Siirt Üniversitesine ve kullandığımız alanları hazır hale getiren çalışanlarına;

Bu tez çalışması TUBITAK 119O642 no' lu numaralı proje kapsamında desteklenmiştir. TUBITAK koordinatörlerine;

Her zaman yanımda olan ve beni her zorlukta destekleyen aileme ve eşime;

TEŞEKKÜR EDERİM

Serpil PEKDOĞAN GÖZTOK

Öğretim Görevlisi

## 1. GİRİŞ

Gıda maddelerinin önemli kısmının yapısında bulunan jeller, sürekli faz içinde sıvı fazın dağılmasından oluşan iki fazlı bir sistem olarak veya mekanik kuvvetlerin etkisi altında katıya benzer davranış gösteren yapılar olarak tanımlanmaktadır (Burey, Bhandari, Rutgers, Halley ve Torley, 2009) ve yapısında yer aldıkları gıdaların kalite özellikleri açısından büyük öneme sahiptir. Özellikle çoğu şekerleme ürünleri olmak üzere, jel yapısındaki gıda maddelerinin tekstürel özellikleri üzerinde, bileşiminde yer alan ve jel-yapıcı (stabilizatör) fonksiyonuna sahip olan maddelerin önemli etkisi bulunmaktadır. Örneğin, şekerleme ürünlerinde, ürün sınıflandırmasını belirleyen yumuşak, jelly, gummy, çiğnenebilir vb. şekerleme tanımları, bileşimlerinde yer alan bu maddelerin miktar ve çeşidi ile doğrudan ilişkilidir. Bu amaçla kullanılan maddeler ise genel olarak hidrokolloidlerdir. Hidrokolloidler yeni şekerleme ürünlerinin üretilmesinde, şekerli ürünlerin kalitesinin iyileştirilmesinde, geliştirilen yeni teknolojilerin kullanılması ve üretim proseslerine aktarılmasına imkan sağlamaktadır (Sungur ve Ercan, 2004). Bu tez çıktılarının sanayiye hızlı bir şekilde uygulanabilmesi ve literatüre katkı sağlaması açısından yaygın olarak kullanılan jelatin (150, 200 ve 250 bloom jelatin), düşük metoksilli pektin ve modifiye mısır nişastası kullanımı ile model jeller üretilmiş ve bu jellerin tekstürel özellikleri ile jellerden zamana bağlı şeker salınımı arasındaki ilişki incelenmiştir. Hidrokolloid türü ile kullanım oranları, endüstriyel uygulamalar ve bilimsel literatür esas alınarak tez kapsamına dahil edilmiştir. Hidrokolloidlerin gıdaların tekstürel özellikleri üzerinde etkili olduğu bilinmektedir. Jelly şekerleme gibi ürünlerde kullanılan jelatin ürüne elastik bir yapı sağlarken pektin gibi hidrokolloidler “short texture” olarak nitelendirilen kırılğan bir yapı sağlamaktadır. Tez çalışması, tekstür ile şeker salınımı arasındaki ilişkinin belirlenmesine yönelik olduğu için stabilizatör seçimi, üretilecek jellerde tekstürel farklılık olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Hartel, Von Elbe ve Hofberger (2018), nişasta kullanılan jellerin yumuşak ve çiğnenebilir; jelatin kullanılarak üretilen jellerin elastik ve sıkı bir tekstüre ve pektin kullanılarak üretilenlerin ise kırılğan (short texture) bir yapıya sahip olduğunu belirtmiştir. Kıvam vericinin çeşidine ve konsantrasyonuna bağlı olarak jel yapıların tekstürel ve yapısal özelliklerinin aroma, şeker ve tuz salınımı üzerinde etkili olduğu rapor edilmiştir (Yang vd., 2015a). Tekstürel özellikler ile salınım arasındaki bu etkileşimin ayrıntılı bir şekilde anlaşılmasının kalorisini azaltılmış ürün üretimlerinde fayda sağlayacağı öngörülmektedir.

Obezite dünya genelinde her yaş insan grubu için problem olmaktadır ve bu nedenle kalorisini azaltılmış ürünlerin üretimine yönelik çok çeşitli çalışmalar gerçekleştirilmektedir.

Şeker alkolleri veya yapay tatlandırıcılar kullanılarak kalori azaltma en yaygın uygulanan yöntemlerdir (Konar, Gunes, Palabiyik ve Toker, 2022). Şeker yerine ikame kullanılarak üretilen ürünlerin sakkaroz kullanılarak üretilen konvansiyonel ürünler ile aynı duyuşal özellikleri sağlamadığı belirtilmiştir. Ayrıca, bu ikameler Amerika Birleşik Devletleri Gıda ve İlaç Dairesi (FDA) veya Avrupa Gıda Güvenliğı Otoritesi (EFSA) tarafından onaylı bileşenler olmasına rağmen bir kısım tüketiciler tarafından doğal olmayan bileşenler olarak algılanmakta ve doğal ürünlere yönelimin arttığı günümüzde de dezavantaj teşkil etmektedir. Bundan dolayı da şeker/tuz gibi bileşenlerin azaltılması amacıyla alternatif yaklaşımlar geliştirilmektedir ve bunlar üzerinde yoğun şekilde çalışmalar devam etmektedir. Bu alternatif yöntemlerden birisi, hedef bileşen (şeker, tuz vb.) ile insanda bulunan duyuşal reseptör arasındaki ilişkinin artırılmasına dayanmaktadır. Gıda matriksinden çiğneme esnasında hedef bileşen salınımının kolaylaştırılarak, reseptöre taşınımının artırılması ile reseptör/bileşen etkileşiminin artırılabilceğı belirtilmiştir (Palzer, 2017). Ancak bunun için ise, ilgili bileşimin salınım düzeyi dikkate alınması gereken bir faktördür. Ekmeklerin glisemik indeksinin azaltılmasına yönelik gerçekleştirilen bir çalışmada, nişasta ile enzimin etkileşiminin, porlu yapının azaltılarak ekmek yapısının daha sıkı bir hale getirilmesi ile mümkün olabileceğı bulgularına ulaşılmıştır (Lau, Soong, Zhou ve Henry, 2015). Bu çalışmalar ile benzer mantık ile şeker içeren jellerden şeker salınımının da jellerin tekstürel özelliklerinin dizayn edilmesi ile kontrol altına alınabileceğı düşünölmektedir. Ayrıca, tuz salınımı ile ilgili gerçekleştirilen bir çalışmada, katı gıdalarda bulunan tuzun %95'inin gıda matriksinden salınmadan ürünlün yutulduğu belirtilmiştir (Phan vd., 2008). Bu da bileşim esaslı teorik tatlılık düzeyi ile algılanan tatlılık seviyesi arasında salınımına bağılı olarak farklılık bulunduğunu göstermektedir. Literatürde özellikle tuz ve aroma salınımına yönelik bazı çalışmalar yer alsa da şeker salınımına yönelik özellikle agar jelleri üzerinde yapılan çalışmanın olması (Normand vd., 2003), farklı jel ortamlarında çalışmanın gerekliliğini/özgünlüğünü ortaya koymaktadır. Her yaş grubu için gıda endüstrisinde şeker miktarını artırmadan ya da azaltarak arzu edilen tat hissini sağlama yöntemlerinin araştırılması üzerinde durulması gereken dikkat çekici bir konudur. Çünkü, düşük şeker ve düşük kalori içelikli gıdaların daha sağlıklı olduğu düşünölmektedir (Nishinari ve Fang, 2016). Tekstürün sadece duyuşal açıdan değil de hedef bileşenlerin (şeker, tuz, biyoaktif madde, aroma maddeleri vb.) salınımı açısından da önemli olduğu, gıdanın tekstürünün modifiye edilmesiyle salınımın hızlanabileceğı ve geciktirilebileceğine yönelik çalışmalar literatürde bulunmaktadır. Gıda tekstürünü değıştirmek ve lezzet salınımını kontrol etmek için çeşitli hidrokolloidler kullanılmaktadır (Funami, 2011). Dolayısıyla, gıda tekstüründe belirleyici etkiye sahip hidrokolloidlerin, salınım olayında da önemli olduğu dikkate alınmaktadır. Gıdalarda lezzet

miktarının azaltımını gerçekleştirmek veya lezzet algısını arttırmak için gıda yapılarındaki lezzet salınımını/difüzyonunu çok iyi anlamak ve tanımlamak gerekmektedir (Durack, Alonso-Gomez ve Wilkinson 2008). Bu tez çalışmasında, bu amaçla farklı hidrokolloidlerden şekerli model jeller üretilmiş ve bu jellerin tekstürel özelliklerinin şeker salınımına etkisi incelenmiştir.

Gıda jelleri, çiğnenerek tüketilen yumuşak katı maddelerdir (Cliff ve Heymann, 1993; Guinard ve Marty, 1995; Nishinari ve Fang, 2016; Vilgis, 2015; Wilson ve Brown, 1997). Gıdaların çiğnenmesi aşamasında fiziksel, kimyasal ve mekanik tepkiler meydana gelmektedir. Tüketim sırasında meydana gelen bu tepkilere karşı olarak gıdaların tat ve tekstür algısı oluşmaktadır. Ayrıca, tepkilerin (fiziksel, kimyasal ve mekanik) farklılaşması sonucunda tat ve tekstür algısında da farklılıklar gözlenmektedir. Bu nedenle, gıdalar üzerindeki fiziksel, kimyasal ve mekanik tepkinin belirlenmesi ve tanımlanması önemlidir. Gıdaların çiğnenmesi esnasında tekstürün tat algısı üzerine etkileri bilinmek istenir ve bu konuda yapılan çalışmalar literatürde de yer almaktadır. Gıdaların tekstür değişimlerinin ve kırılma noktalarının istenilen lezzet maddesinin salınımı ile ilişkilendiren çalışmalar literatürde genellikle model hidrokolloid ürünlerden tuz salınımının incelenmesi yer alırken (Durack vd., 2008; Mills, Spyropoulos, Norton ve Bakalis, 2011) farklı model jellerin şeker salınımının kıvam verici türlerine göre belirlenerek kıyaslanması ve tekstür özellikleriyle ilişkilendirilmesi oldukça kısıtlı ele alınmıştır. Bu tez çalışmasında, farklı hidrokolloidler (jelatin, nişasta, pektin) kullanılarak üretilecek model jellerden şeker salınımının düzeyi tekstür özellikleriyle ilişkilendirilmiştir. Çiğneme sırasında meydana gelen mekanik tepkinin anlaşılması ve lezzet salınımıyla ilişkilendirilmesi gıda tasarımı için önem arz etmektedir. Tekstür, bileşim veya katı gıdaların yapısındaki farklılıklar, çiğneme işlemi sırasında farklı tat düzeylerinin algılanmasına neden olmaktadır (Chen, 2009; Nishinari vd., 1992; Nishinari ve Fang, 2016; Normand vd., 2003; Yang vd., 2015a ve b). Tez kapsamında, ürün yapısal özelliklerinin şeker salımı üzerine etkisi inceleneceği için, şeker konsantrasyonu sabit tutulmuştur. Jel yapılarındaki tekstürel farklılıklar (yumuşak, sert, yarı-sert, elastik, kırılma yapı) şeker salınımı üzerine etkilidir. Ancak bu etkinin nasıl olduğu hakkında yeterli veri yoktur. Bu tez çalışmasında, literatürde yaygın bir şekilde incelenen şeker miktarının değiştirilmesiyle sertliğin değiştirilmesi incelenmeyip, farklı kıvam vericiler kullanarak tekstürel özellikleri farklı şekerli jeller elde edilmiştir. Bu şekilde elde edilen farklı tekstürel özelliklere sahip jellerden şeker salınımı incelenerek literatürdeki önemli bir boşluk doldurulmuştur. Bilindiği gibi, gıdaların sertlik, yapışkanlık, çiğnenebilirlik, elastikiyet, iç/dış yapışkanlık, gumminess gibi çok çeşitli tekstürel özellikleri bulunmaktadır. Bu tekstürel parametrelerden hangisinin veya hangilerinin şeker

salınımında daha etkili olduğunun belirlenmesi de tekstürel özelliklerin modifiye edilerek kalorisi düşük ürünlerin üretimi açısından çok önemlidir. Tez çalışmasında özgün yönleri arasında salınımında etkili olan tekstürel parametrenin belirlenmesi de bulunmaktadır.

Literatür incelendiğinde tekstürel özellikler arasında yer alan poisson ratio (kuvvet etkisi altında genleşmenin boy kısalmasına oranı) ve kırılabilirlik (fracturability) parametrelerinin salınım olayında etkili olduğu görülmektedir (Foegeding, 2007; Pascua, Koç ve Foegeding, 2013). Enstrümental ölçümler sonucuyla tespit edilen kırılma, gerilim ve kayma parametrelerinin jel yapıların kırılma/parçalanma özellikleri ile ilişkilendirilmesi mümkündür (Chen ve Stokes, 2012). Gıdaların ağıza ilk alındığında tat algısı hemen oluşmamakta olup, gıdaların parçalanmasıyla başka bir ifadeyle yüzey alanı artışıyla lezzet algısının arttığı tespit edilmiştir. Poisson ratio ve kırılabilirlik, çiğneme sırasında gıdaların yüzey alanının artması ile ilgili parametreler olsa da elastik ürünlerde özellikle poisson ratio önem kazanmaktadır. Poisson ratio oranı daha yüksek olan gıdalar daha fazla genişip boyu da daha fazla kısalacağı için gıda matriksinden salyaya şeker geçişi kolaylaşacak ve salyadaki şekerler de reseptörler ile daha hızlı etkileşime girerek tat hissi daha kolay hissedilecektir. Kırılabilir gıdaların matriksinde kuvvet etkisi ile meydana gelen deformasyon ve kırılma/parçalanma sonrası gıdaların yüzey alanının artması da gıda matriksinden şeker çıkışını kolaylaştıracaktır. Bu tekstürel özellikler ile salınım arasındaki ilişki genel olarak bilinse de, tekstürel özelliklerin farklı seviyelerde (tezde kıvam verici konsantrasyonu ile sağlanmış) ve niteliklerde (tezde kıvam verici çeşidi ile sağlanacak olup elastikiyet, short tekstür, kırılabilir yapı kastedilmektedir) etkisinin gıda matriksinden hedef bileşen salınımı üzerine etkisi ayrıntılı olarak bu zamana kadar çalışılmamıştır. Literatürdeki bu eksikliğin giderilmesine yönelik gerçekleştirilmiş tez çalışması kapsamında, farklı tekstürel özelliklerde jeller üretilmiş ve bu jellerden şekerin salınımı belirlenerek tekstürel özelliklerin modifikasyonu ile şeker salınımının hızlandırılmasına yönelik elde edilen bulgular, daha az şeker ile arzu edilen tatlılığın algılanması konusunda fayda sağlamıştır. Tez çalışmaları, gözönünde bulundurulduğunda, farklı tekstürel özelliklere sahip jellerin üretilmesi önem arz ettiği gibi, üretilen jellerden şeker salınımının da incelenmesi çok önemlidir.

Tez çalışması, şeker salınımının belirlenmesine yönelik olduğu için şeker salınımı için uygulanacak metodun seçimi de önem taşımaktadır. Hidrokolloid içeren jel yapıdaki ürünlerden lezzet salınımı, yağ, nişasta sindirilebilirliğini belirlemek amacıyla '*in vitro*' ortam kullanılabilir (Espert vd., 2017; Espert, Constantinescu, Sanz ve Salvador, 2019;



Borreani vd., 2017; Guo, Yu, Copeland, Wang ve Wang, 2018a,b ; Wang, Sun, Wang, Wang ve Copeland, 2016; Mills vd., 2011; Prinz, Janssen ve De Wijk, 2007). Bu çalışmada da, farklı hidrokolloid kullanılarak üretilen jellerden şeker salınımını (şeker difüzyonu) tespit edebilmek amacıyla ‘*in vitro*’ ortam oluşturulmuştur. Ayrıca, bu tezde literatürden farklı olarak şeker konsantrasyonun ya da şeker çeşidinin jellere etkisi değil de gıda sanayisinde yaygın olarak kullanılan 30% şeker oranına sahip hidrokolloidlerin farklı çeşitlerinin ve konsantrasyonunun kullanımı ile oluşturulan model jel yapıların mekaniksel farklılığı tespit edilmiştir. Salınım işlemiyle elde edilen difüzyon katsayılarına göre en iyi şeker salınımına sahip model jel tespit edilmiş ve ayrıca belirlenen difüzyon katsayıları ve tekstürel parametreler nümerik model çalışmalarında kullanılmıştır. Bu tez çalışmasında, mekaniksel özellikler ve eş zamanlı kütle transferini bir arada çözebilmek amacıyla, gerekli koşullarda rahatlıkla Matlab paket programına bağlanabilmesi gibi avantajlara sahip olması nedeniyle sonlu elemanlar yöntemi kullanılmıştır. Sonlu elemanlar yöntemi ile nümerik modelleme çalışması COMSOL paket programında gerçekleştirilmiştir. Bu tezde, gıdaların çignenmesi sırasında meydana gelen fiziksel ve mekanik etkiler ayrı ayrı ve kombine olarak incelenmiştir.

Gıdalarda tad ve aroma salınımı öngörülebilmesi ve gıdanın tüketimi sırasında nasıl algılandığının anlaşılması için kullanılan nümerik model çalışmalarında özellikle COMSOL paket program ve benzeri yazılımların kullanılması avantaj sağlamaktadır. Çünkü nümerik model çalışmaları ile yeni gıdaların tasarım süresi kısalabilmekte ve en önemlisi ise gıdalar sanal ortamda değerlendirilerek fiziksel prototipe gerek kalmadan uygunluğu tespit edilebilmektedir (Harrison, Cleary, Eyres, Sinnott ve Lundin, 2014). Literatürde, bazı gıda maddelerinin parçalama ve lezzet/aroma salınımının modellenmesinde kütle transferi ve lezzet salınımı tek boyutlu differansiyel denklemler ile çözülmüştür (De Loubens vd., 2011; Harrison ve Hills, 1997; Harrison, Campbell ve Hills, 1998). Ancak tek boyutlu çözüm, 3 boyuta sahip olan gıdaların kütle ve lezzet salınımını tam olarak temsil etmemektedir. Bu tez çalışmasında, farklı hidrokolloidler kullanılarak elde edilecek model jel yapılarında şeker salınımı ve mekanik etki üç boyutlu incelenmiştir. Ayrıca, şeker salınımının modellenmesi tuz, biyoaktif bileşenler ve aroma gibi gıda endüstrisi açısından çok önemli olan bileşenlerin salınımı ile ilgili çalışmalara da ışık tutacaktır.

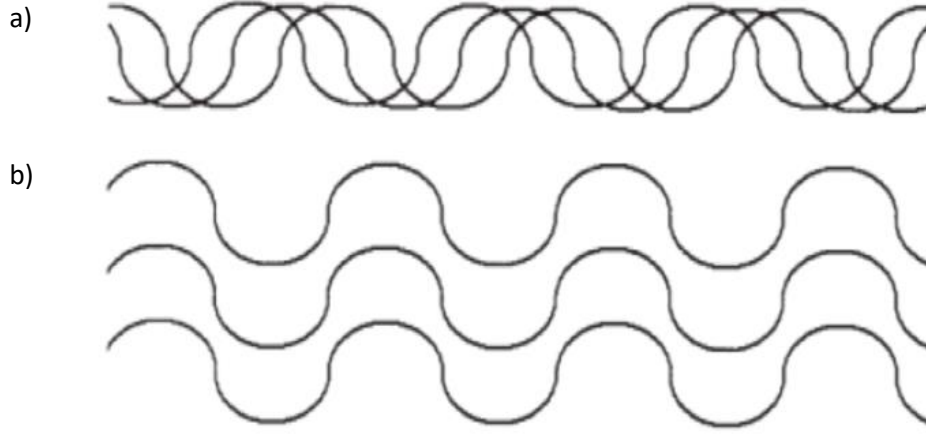
## 1.1 Literatür Özeti

Jelly tipi yumuşak şekerleme ürünlerinde yapıyı oluşturmak için jelleştirici ajan olarak çeşitli hidrokolloidler kullanılmaktadır. Kullanılan hidrololid çeşidi ürünün görünümünü,

yapısını, tat ve aroma salınımı etkilemektedir. Hidrokolloidler birbirlerine çapraz bağlanarak bir ağ yapısı oluştururlar ve bu ağ yapısı içerisine şeker şurubunu hapsederek yarı katı bir doku oluşturmaktadırlar. Bu nedenle, kullanılan hidrokolloid tipine veya kombinasyonlarına bağlı olarak moleküller arası bağlanmanın özellikleri değişmektedir. Örneğin, yüksek hidrokolloid oranı ve göreceli düşük miktarda su varlığında daha sıkı şekerleme ürünü üretilmektedir. Jelly üretiminde yaygın olarak jelatin, pektin ve nişasta ve bunların karışımları tercih edilmektedir. Genel olarak hidrokolloidler karbonhidrat yapısına sahip iken, jelatin protein yapısına sahip bir üründür (Gunes, Palabiyik, Konar ve Toker, 2022; Hartel vd., 2018, Mohos, 2017). Jelatinin protein yapıda olması jelly üretim esnasında şeker ile etkileşime girerek zamanla kademeli olarak Maillard reaksiyonunu meydana getirebilir ve ürünün sertleşmesine sebep olabilmektedir. Ayrıca, elde edilen şekerin dokusu içerisindeki su miktarına, hidrokolloid oranı ve çeşidine bağlıdır. Çok yumuşak bir üründe su çok fazla olabilir, hidrokolloid az olabilir veya yanlış hidrokolloid seçimi olabilir (Örn: jelatin bloom değeri küçüktür) (Gunes vd., 2022; Delgado ve Bañón, 2018; Subramaniam, 2016 ). Ayrıca, kullanılan hidrokolloid çeşidi ve miktarı aroma, biyoaktif madde salınımı etkilemektedir (Mills vd., 2011). Jelatinden üretilmiş jellerde şekerlemenin reolojik (örneğin G', viskozite) ve dokusal özelliklerini etkileyebilir, bu da özellikle aroma molekülleri ve proteinler arasındaki etkileşimler nedeniyle aroma bileşiklerinin salınımında farklılıklara neden olabilir (Saint-Eve vd., 2011). Şekerleme ürünün tekstürel özellikleri üzerindeki etkisi, biyoaktif maddelerin ve aroma maddelerinin salınmasında önemli etkiye sahiptir. Çünkü tekstürel özellikler, ürünlerin çiğneme özelliklerini etkilediğinden biyoaktif madde salınımını da etkilemektedir (Konar, Palabiyik, Toker ve Sagdic, 2016). Bu nedenle, jelly üretiminde kullanılan hidrokolloid türü ve miktarı ile ilgili optimizasyon çalışmaları önem kazanmıştır. Tez çalışmasında jel üretiminde kullanılan hidrokolloid çeşitleri, şeker, sakkaroz ve incelenilen mekaniksel özelliklerin literatür bilgisi alt başlıklar halinde verilmiştir.

### **1.1.1 Jelatin**

Jelatin, sığır , domuz ve balık derisi, kemiği ve diğer kollajen kısımlarının asit veya alkali hidrolizleriyle elde edilmektedir (Burey vd. 2009). Ticari olarak domuz ve sığır derisinden jelatin üretilirken farklı hayvanların kemik ve derisiyle de üretimler mevcuttur. Kollajenin üçlü fibril sarmal yapısında bulunan hidrojen ve bazı kovalent bağlar hidroliz (alkali veya asit) yoluyla dönüşümsüz olarak parçalanarak tekli sarmal yapıdaki jelatin elde edilmektedir (Bkz. şekil 1.1) (Boran, 2011).



Şekil 1.1. Kollajen ve jelatin yapısının temsili gösterimi a) Kollajen b) Jelatin (Boran, 2011)

Jelatin eldesinde kollajen maddenin hidroliz edilme durumuna göre A ve B olmak üzere iki farklı jelatin türü elde edilmektedir. Seyreltik asit hidroliz yöntemiyle çapraz bağları az olan genç hayvanlardan üretilen jelatin A tipi; alkali hidroliz yoluyla çapraz bağları çok olan yaşlı hayvanlardan ise B tipi jelatin üretilmektedir (Eysturskaro 2010). A tipinde genellikle deri, B tipinde genellikle kemik kullanılmaktadır. Elde edilen jelatin özellikleri, kullanılan hammaddenin yaşına, türüne ve ekstraksiyon çeşidine göre değişiklik göstermektedir. Jelleşme süresi, A tipinin daha kısa olmakla birlikte iki çeşit karıştırılan (A ve B tipi) jelatin karışımı ise daha kısa jelleşme süresine sahiptir (Demircan, 2019). Tipik bir jelatin %14 nem, %84 protein ve %2 külden oluşmaktadır (Burey vd., 2009). Jelatinin hammaddesi olan kollajenin protein kısmında bulunan ana amino asitler glisin (gls), prolin (x) ve hidroksiprolin (y) dir (Burey vd., 2009 ; Boran, 2011). Glisin, kollajen maddelerin en temel karakteristik özelliğini oluşturmakta ve kollajenin üçlü sarmal yapısının oluşmasında önemli rol oynamaktadır (Engel ve Bachinger 2005). Üçlü sarmalın x ve y deki aminoasit yerine triptofan ve sistein hariç diğer aminoasitler yer alabilmektedir (Boran, 2011). Kollajen maddeden jelatin üretimi üç aşamada gerçekleşmektedir.

1. Aşama; Kollajen içeren yapıyı ekstraksiyona hazır getirmek için; yıkama, küçük parçalara bölme, safsızlıkları ayırma, yağ ve tuzların uzaklaştırılması, seyreltik asit ve/veya alkali ile yıkama gibi

2. Aşama; Jelatin ekstraksiyonu; ekstraksiyona hazırlanan dokuların ılık suda (40 °C'nin üzerindeki sıcaklık) karıştırılarak bekletilmesi.

3. Aşama; Ekstraksiyon çözümlerinin süzülmesi, buharlaştırılması ve jelatin eldesi; 40-80 °C arasındaki sıcaklıklarda ısı muamele ya da dondurarak kurutma ile elde edilen karışımın öğütülmesi ve ambalajlanması ile üretilmektedir (Boran, 2011).

Gıda endüstrisinde gıdanın yapısını/dokusunu oluşturabilmek amacıyla jelleştirici ajan olarak jelatin su bağlama özelliğinden dolayı yaygın bir şekilde tercih edilmektedir (Burey vd., 2009). Jelatin üretildiği hammaddeye ve üretim koşullarına bağlı olarak farklı özellikte (jel gücü bloom oranı gibi) elde edilmesi gıda alanında farklı amaçla ve geniş ürün yelpazesinde kullanımına olanak sağlamaktadır (Boran, 2011). Jelatinin gıda sektöründe uygulamaları dört ana gruba göre; **şekerleme ürünlerinde** çığneme, doku ve köpük stabilizasyonu sağlamak için, **jöleli tatlılarda** kremamsı yapı, yağ azaltma ve ağız hissiyatı sağlamak için, **süt ürünlerinde** stabilizasyon ve tekstür sağlamak için, **et ürünlerinde** ise su bağlamayı sağlamak için kullanılmaktadır (Karim ve Bhat, 2009; Nishimoto, Sakamoto, Mizuta ve Yoshinaka, 2005). Jelatinin gıda sektöründe jelleştirme işlemi doğrudan veya dolaylı bir şekilde yapılabilmektedir. Dolaylı yoldan, soğuk suya jelatin eklenerek ıslak ve yumuşak bir kütle oluşturan jelatinin 50–60°C'ye ısıtılması ve karıştırılmasıyla elde edilmektedir. Doğrudan jelleşme işleminde, dolaylı yoldakinden daha sıcak su ve daha yüksek karıştırma hızı kullanılarak işlem süresi kısaltılması sağlanmaktadır. Topaklanmayı önlemek için daha sıcak suya (60–80°C) yavaş yavaş jelatin eklenerek karıştırılmaktadır (Burey vd., 2009). Gıda sektöründe jelleştirici ajan olarak diğer hidrokolloidlerden daha çok jelatinin tercih edilme sebebi (Boran, 2011);

- Suda kolay çözünür olması
- İnsan vücut sıcaklığı gibi düşük sıcaklıkta eriyebilmesi
- Diğer hidrokolloidler gibi erime ve jelleşme sıcaklığı arasındaki farkın yüksek olmaması
- Tatsız ve kokusuz olması
- Jelatin kolajenin hidroliz derecesine göre farklı jelleşme gücüne sahip olması ve ürün kullanım yelpazesinin geniş olması
- Kolay sindirilebilir olması
- Jelleşme için diğer hidrokolloidler gibi asit, şeker gibi maddelere ihtiyaç duymamasıdır.

Jelatinin en önemli özelliği jel oluşturması ve oluşturduğu jelleşmenin gücü ve bloom değeridir. Jelatin örnekleri 50-300 aralığında bloom değerlerinde olabilmekte ve bu bloom değeri jelatinin moleküler ağırlığının bir özeliğidir. Jelatin örneklerinin jelleşme gücünü,

jelleşme sıklığını bloom değerleriyle ifade edilmektedir. Bloom değeriyle, jelleşme gücü doğru orantılıdır. Jelatin örneğinde bloom değeri ne kadar yüksek ise jelleşme gücü o kadar yüksek olmaktadır (Wittich, 2005). Ayrıca, jelatinin jelleşme gücü sadece bloom oranına değil kullanılan jelatin konsantrasyonuna, tatlandırıcı çeşidine (kristal sakkaroz, glukoz şurubu gibi) ve su içeriğine bağlıdır (Hartel vd., 2018). Gıda uygulamalarında farklı bloom jelatin örnekleri farklı amaçlar için kullanımı Çizelge 1.1’de verilmiştir (Tireki, 2017).

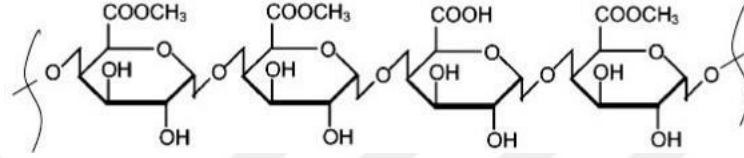
Çizelge 1.1. Gıda sektöründe jelatinin kullanım miktarı ve kullanılan bloom değerleri (Tireki, 2017)

<b>Gıda Kullanım Alanları</b>	<b>% Oran</b>	<b>Bloom değeri</b>
<b>Süt Ürünleri</b>	0.1 - 1.0	150 - 250
<b>Dondurulmuş Gıdalar</b>	0.1- 0.5	225 - 250
<b>Jelatinli Tatlılar</b>	7.0 – 9.0	175 - 275
<b>Şekerlemeler-Sakız</b>	7.0 – 9.0	200 - 250
<b>Şekerlemeler-Marshmallow</b>	1.7 – 2.5	225 - 275
<b>Şekerlemeler- Pastiller</b>	0.5 – 1.0	50 - 100
<b>Şekerlemeler-Gofretler</b>	0.5 – 1.0	50 - 100
<b>Fırın Dolguları ve Kremalar</b>	1.0 – 2.0	225 - 250
<b>Et Ürünleri</b>	1.0 – 5.0	175 - 275
<b>Şarap, Bira ve Meyve Suları</b>	0.002 – 0.015	100 – 200

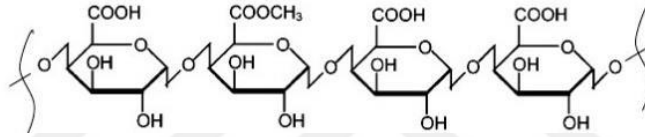
### 1.1.2 Pektin

Pektin genel olarak tüm karasal bitkilerin hücre duvarında bulunan bir heterosakkarittir. Hücreler arasında bitki hücresinin selüloz yapısını güçlendirmeye yardımcı olmaktadır (Burey vd., 2009). Pektinin en önemli kaynakları turunçgiller ve elmadır. Genellikle pektin üretimi elma pulplarından ve turunçgil kabuklarından elde edilmektedir. Pektinin doğrusal ana zincirinde  $\alpha(1,4)$  glukozidik bağlarla D-galakturonik asit birimleri birbirlerine bağlanmıştır.

Doğrusal zincire glukozidik bağlarla bağlanmış ramnoz moleküllerinden oluşmaktadır. D-Galakturonik asit pektini oluşturan temel bir monosakkarittir. Pektini yüksek ve düşük metoksilli olması monosakkaritin esterleşme miktarına bağlı olmaktadır. D-Galakturonik asit başka bir ifadeyle monosakkarit %50' den fazlası esterleşmiş ise yüksek metoksilli (HM-pektin), %50' den az ise düşük metoksilli (LM-pektin) pektin elde edilmektedir. Yüksek/düşük metoksilli pektinler asit ve şeker ile farklı jel yapısı/mekanizması oluşturmaktadır (Burey vd., 2009; Syeitkhajy, 2017). Şekil 1.2 ve 1.3 sırasıyla yüksek metoksilli pektin ve düşük metoksilli pektin molekül yapısı gösterilmiştir.



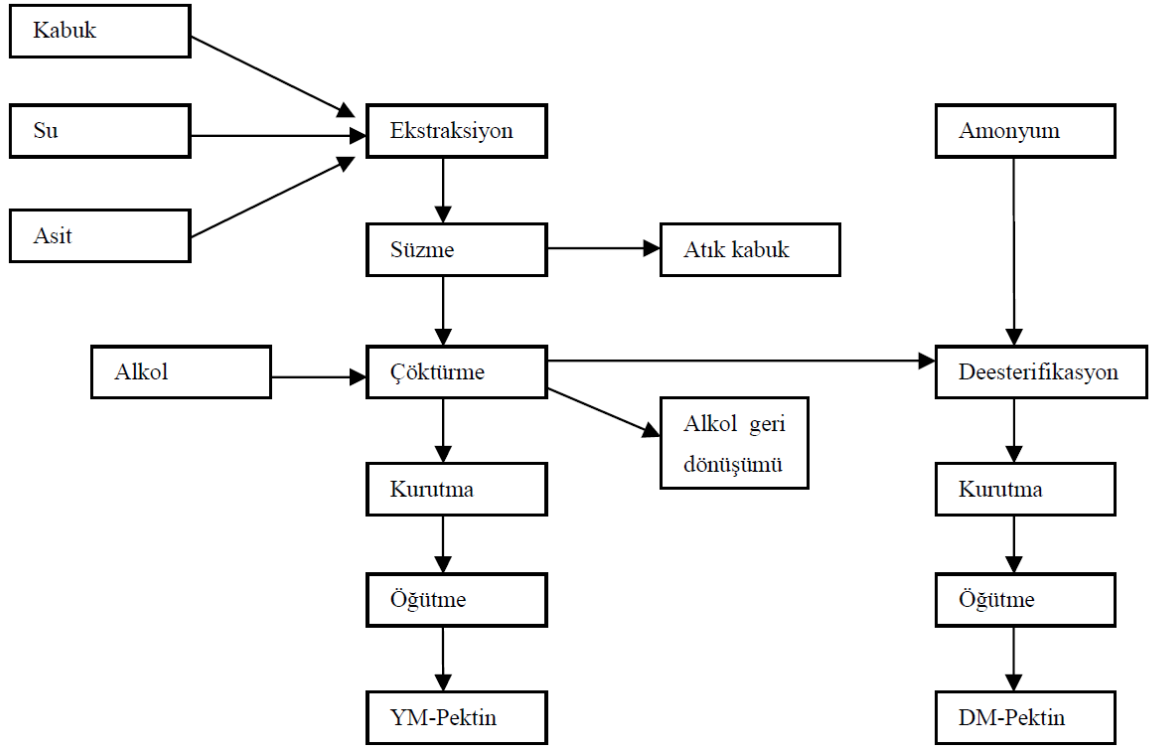
Şekil 1.2. Yüksek metoksilli pektinin molekül yapısı (Tharanathan, 2003)



Şekil 1.3. Düşük metoksilli pektinin molekül yapısı (Tharanathan, 2003)

Yüksek metoksilli pektinler başka bir ifadeyle esterleşme oranı yüksek pektinlerin jelleşmesi için gerekli şeker ve asit miktarı daha fazla iken jelleşme için gerekli süre daha kısadır. Düşük metoksilli pektinler ise fazla şeker gereksinimi olmadan kalsiyum varlığında jel oluşturabilmektedir (Saldamlı vd., 2005). Pektin gıda sanayisinde yaygın bir şekilde kullanılmakta kıvam artırıcı, emülsifiye stabilize edici, jelleştirici ajan ve yağ ikamesi olarak kullanılmaktadır (Liu, Kende, Ruthel, Fishman ve Hicks, 2016; Zouambia, Moulai-Mostefa ve Krea, 2009).

Düşük ve yüksek metoksilli pektin üretimi Şekil 1.4 de verilmiştir. Pektin ekstraksiyonun 3 ana yöntemi ve bunların türevleri bulunmaktadır. 3 ana yöntem kimyasal, fiziksel ve enzimatik yöntemlerdir (Panouille, Thibault ve Bonnin, 2006). Pektin üretiminde sıcaklık, ekstraksiyon süresi, pH gibi faktörler pektin verimini etkileyen önemli etmenlerdir (Burey vd., 2009).



Şekil 1.4. Yüksek metoksilli pektin ve düşük metoksilli pektinin endüstriyel üretim (Syetkhajy, 2017)

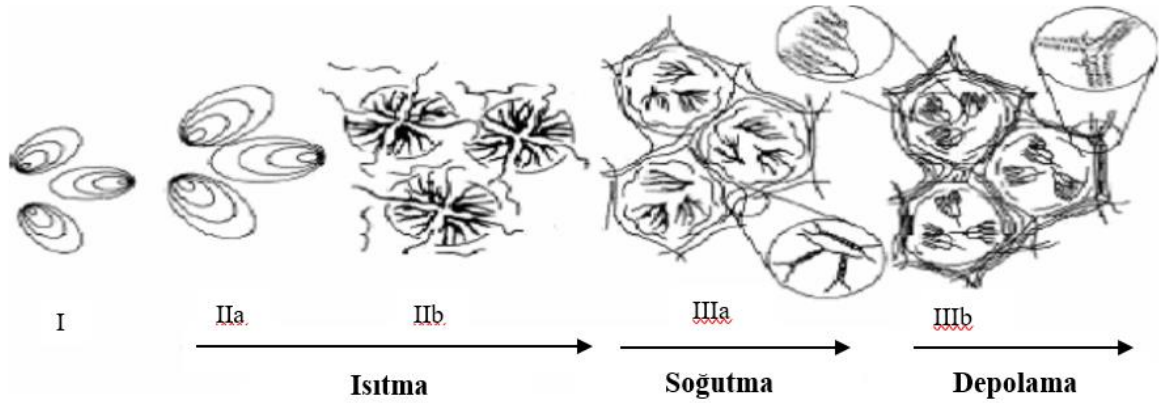
### 1.1.3 Nişasta

Nişasta, geçmişten günümüze kadar en çok kullanılan maddeler arasında yer almaktadır. Genel olarak buğday ve arpa nişastası kullanılırken 19. yüzyıldan sonra nişasta üretiminde patatesten kullanılmaya başlanmış ve günümüzde ise en önemli nişasta kaynağı mısır olmuştur (Karaoğlu, 1998). Mısırın nişasta kaynağı olarak kullanma sebebi yüksek oranda amiloz içermesi ve oluşturduğu jeller arasındaki bağların kuvvetli oluşturmalarıdır (Batu ve Kırmacı, 2006).

Nişasta, amiloz (15-30%) ve amilopektin (70-85) olmak üzere iki farklı D-glukozun homopolimerinden oluşmaktadır (Wang vd., 2020). Amiloz düz zincir formunda  $\alpha$ -(1,4) glukozidik bağlarıyla birbirine bağlı olup 500-200 glukoz biriminden meydana gelmiştir. Amilopektin ise dallı bir yapıya sahip ve düz zincirde  $\alpha$ -(1,4), 10-20 glukoz birimi içeren yan zincirler  $\alpha$ -(1,6) glukozidik bağlarıyla bağlıdır (Wang vd., 2019a, b, c). Bitkilerde (buğdayda %60-70; pirinçte %70-80; mısırdaki %65-75) fotosentez sonucu elde edilen bir karbonhidrattır. Başlıca nişasta kaynağı kuru ağırlığının yaklaşık %70 nişasta içeren tahıllar, kökler, yumrular ve baklagillerde bulunmaktadır (Abd Karim, Norziah ve Seow, 2000; Alcázar-Alay ve

Meireles, 2015; Wang vd., 2020). Doğada buğday, arpa, mısır, pirinç, çavdar, yulaf, sorgum, patates gibi bitkilerden elde edilmektedir. Yenilebilir nişasta üretimi genel olarak, bitkilerin (darı, mısır, patates, buğday, tapyoka, pirinç (Naz, Sulaiman, Ariwahjoedi ve Shaari, 2014) yabancı maddelerden arındırdıktan sonra, yumuşama işlemi için ıslatma, koruyucu ekleme (kükürt dioksit), santrifüjleme, kurutma ve son olarak eleme işlemiyle elde edilmektedir (Molla, 2011).

Nişasta ısı işlemle bünyesine su alarak şişen, belirli sıcaklıktan sonra jelleşmeye başlayan, soğuk suda ise erimeyen bir hidrokolloiddir. Jelatinize olduktan sonra soğuma ve depolama işleminde nişastada retrogradasyon meydana gelmektedir. Nişasta retrogradasyonu nişastanın yeniden kristalizasyonu olarak tanımlanmaktadır (Ertugay ve Kotancılar, 1988; Elgün ve Ertugay, 2003; Karaoğlu, 2005). Amiloz/amilopektin oranı nişastanın jelatinize olma ve retrogradasyon özelliklerini etkilemektedir (Jiang ve Liu, 2002). Nişastada ısıtma-soğutma-depolama sırasında yapısal özelliklerinde meydana gelen değişim Şekil 1.5’de gösterilmiştir. Retrogradasyon, nişastalı jelleşen ürünlerin kalitesini, kabul edilebilirliğini ve raf ömrünü etkilemektedir. Şekerleme ürünlerinde kullanılan şeker, nişastanın yeniden kristalizasyonunu başka bir ifadeyle retrogradasyonunu engelleyerek yapıyı stabilize etmeye yardımcı olmaktadır (Burey vd., 2009).



Şekil 1.5. İşlemler sırasında nişasta-su karışımında meydana gelen yapısal değişimin şematik gösterimi. (I) soğuk su içerisindeki nişasta granülleri, (IIa) şişmiş nişasta granülleri, (IIb) amilozun granül dışına çıkması, (IIIa) amiloz retrogradasyonu, (IIIb) amilopektin retrogradasyonu (Gerçekaslan, Kotancılar ve Karaoğlu, 2007)

Nişasta ürünleri gıda endüstrisinde; kalınlaştırıcı, jelleştirme ajanı, koloidal stabilizör, hacim artırıcı, su tutucu ve yapıştırıcı olarak kullanılmaktadır (Kahraman ve Köksel, 2006). Gıda endüstrisinde nişasta, işlenmemiş doğal formda (bitkiden ekstrakte edilmiş) veya



işlenmiş/modifiye edilmiş formda kullanılır. Doğal nişasta gıda endüstrisinde daha geniş uygulamalarda kullanılabilmesi için yapısal, mekanik ve termal özelliklerini değiştirmek amacıyla çeşitli modifikasyonlara/işlemlere tabi tutulur (Yalçın, Masatcıoğlu ve Cındık ,2020; Mathobo, Silungwe, Ramashia ve Anyasi, 2021). Fiziksel, kimyasal ve ikili modifikasyonların nişastanın jelatinleşme özellikleri üzerinde önemli bir etkisi bulunmaktadır (Chakraborty, Mal, Paul, Rahman ve Mazumder, 2022). Kimyasal modifikasyon, nişasta granüllerinin şeklini ve boyutunu değiştirmeden nişastaya yeni kimyasal veya fonksiyonel gruplar katarak nişastanın fizyokimyasal özelliklerini değiştirmektedir. Fiziksel modifikasyonlar, nem, sıcaklık, basınç, pH değişikliği ve ultrasonik işlem gibi fiziksel faktörlerden etkilenen nişastanın morfolojisini ve yapısına etkilidir. İkili modifikasyon ise, nişastanın iki farklı yöntem (fiziksel ve kimyasal) kullanılarak modifiye edilmesidir (Fan ve Picchioni, 2020). Modifiye nişasta, gıda endüstrisinde yağ ikame maddesi, koyulaştırıcı, stabilizatör veya tekstürel düzenleyici olarak yaygın olarak kullanılmaktadır (Chen vd., 2020).

#### **1.1.4 Sakkaroz**

Sakkaroz, halk arasında sofrta şekeri veya çay şekeri olarak adlandırılan, 1 mol glukoz ve 1 mol fruktozdan oluşan ve indirgen olmayan bir disakkarittir. Yaygın olarak şeker kamışı ve şeker pancarından üretilmektedir (Sezer ve Kavas, 2005). Türkiye’de şeker pancarından şeker üretimi tercih edilmektedir (Eştürk, 2018).

Sakkaroz şekerleme endüstrisinde jelleşme oranını etkilemektedir (Burey vd., 2009). Sakkarozun serbest suyu bağlama özelliği sayesinde mikroorganizmaların kullanabileceği su ortamda bulunmadığından gıda endüstrisinde koruyucu görevi görmektedir (Artık, Bayındırlı ve Mert 2011). Ayrıca, şekerleme endüstrisinde kullanılan sakkarozun kullanım miktarı ve granül boyutu önemlidir. Kristal boyutu sakkarozun çözünme hızını etkilemekte, granül boyutunun küçülmesi çözünme hızının artışına neden olmaktadır, şeker endüstrisinde ise genellikle orta granüllü şeker tercih edilmektedir (Tireki, 2017). Sakkarozun varlığı şekerleme karışımının suda çözünür kuru madde oranını etkilemektedir. Ayrıca, gıdalarda sakkaroz kullanımını tatlılık, renk, aroma, hacim, doku, kristallik, stabilite ve mikrobiyal güvenlik gibi önemli etkiye sahiptir (Gunes vd., 2022; Demircan, 2019). Sakkaroz gıdalarda lezzet katmak ve katıldığı gıdanın tekstür özelliklerini etkilediği gibi teknolojik işlemlerde inversiyon sonrası Maillard reaksiyonuna katılarak ürünün kalite özelliklerini de etkileyebilmektedir (Di Monaco, Miele, Cabisidan ve Cavella, 2018). Şekerleme endüstrisinde tatlandırma veya aroma vermenin

yanında hacim oluşturma, çözünürlük, viskozite, yoğunluk, partikül boyutu, higroskopiklik gibi yararları için sakkaroz kullanılmaktadır (Tireki, 2017).

### 1.1.5 Su

Su gıdalarda önemli bir bileşen olarak yer almaktadır. Kimyasal reaksiyonları desteklemekte ve hidrolitik olaylarda reaktan olarak görev aldığı için suyu çıkarılması veya şeker/tuz ile bağlanması gıda alanında önemli etkiye sahiptir. Suyun çıkarılması veya bağlama durumu mikroorganizma gelişimini durdurmakta, birçok reaksiyon engellenmekte ve böylece gıda ürününün kalite özelliklerini iyileştirerek raf ömrünü uzatabilmektedir. Ayrıca, su gıda ürünlerinin camsı geçiş sıcaklığını etkilemektedir. Şekerleme endüstrisinde ise su jel kıvamını oluşmasında jeli plastikleştirme etkisi bulunmaktadır (Burey vd., 2009). Şekerleme üretiminde eklenen su, hidrojen bağları oluşturma yeteneği sayesinde şeker ve diğer üretim girdileri ile etkileşime girerek üretimin kaynama noktası yükselmesinde ve su aktivitesine üzerine önemli bir etkisi olmaktadır (Kılıç, 2021). Su, şekerleme endüstrisinde ürünün raf ömrünü ve tekstürünü etkilemektedir. Suyun en önemli özelliklerinden biri olan çözücü özelliği şekerlemede endüstrisinde eklenen sakkaroz, glukoz şurubu gibi bileşenleri çözmek için kullanılmaktadır (Ergun, Lietha ve Hartel, 2010).

### 1.1.6 Gıdaların Mekaniksel Özellikler

Bu tez çalışmasında, gıdaların mekaniksel davranışlarını incelemek amacıyla model jel örneklerin tekstürü ve reolojisi incelenmiştir.

**Reoloji**, maddenin deformasyonu (katı) ve akışı (sıvı) ile ilgilenen bilim dalıdır. Bir gıdanın reolojisi elastikiyet (katı davranış) ve viskozitedir (sıvı davranış) veya her ikisine de sahip olma eğilimindedir. Reolojik özellikler jelin özellikleri hakkında fikir vermektedir (Burey vd., 2009).

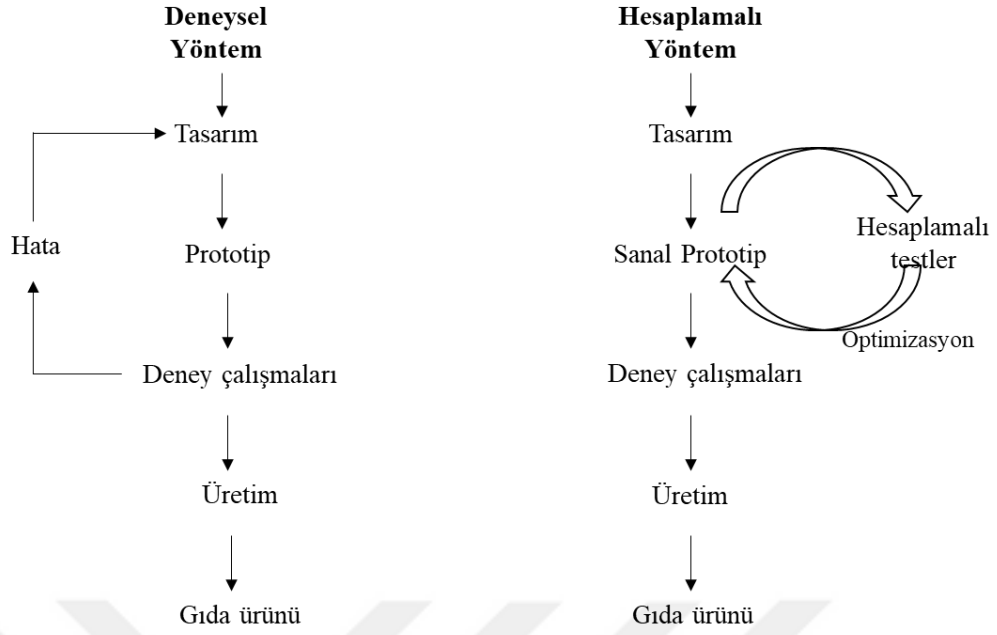
**Tekstür**, gıdaların dokusunu tanımlayabilmek amacıyla kullanılmaktadır. Gıda ürünlerinin dokusu şekerleme ürünleri seçiminde önemli bir kriterdir. Gıda bilimi alanında, duysal değerlendirme ile enstrümantal ölçüm arasındaki ilişkiyi elde etmek için dokusal kalitenin değerlendirilmesinde en yaygın olarak kullanılan yöntem TPA (Doku Profil Analizi) yöntemidir (Nishinari, Fang ve Rosenthal, 2019). Enstrümantal tekstür profili analizi (TPA) yöntemi 1960'ların başında General Foods'ta geliştirildi ve gıda çiğneme sürecinin ilk iki ısırığının bir aletle taklit edilmesini ve elde edilen verilerin dokusal tanımlayıcılarla

ilişkilendirmesini içermektedir. Test, genel olarak zamanla gözlemlenen kuvvetle birlikte gıda numunesine iki döngülü bir penetrasyon testini içerir. Elde edilen çıktı iki tepeli bir kuvvet eğrisi göstermektedir ve dokusal parametrelerin büyüklüğünü belirlemek için hesaplamalar yapılmaktadır (Antoniou vd., 2000). TPA'ya göre çeşitli jelly şekerlerin sertlik, adesif yapışkanlık, elastikiyet, yapışkanlık, çiğnenebilirlik ve esneklik gibi parametreler kuvvet-deformasyon tepkilerine bağlı olarak belirlenmektedir. TPA analizi gıda alanında yaygın olarak kullanılan bir tekniktir. Analiz ile elde edilen verilen gıdaların duyuşal özelliklerinin bir göstergesi olmakta ve tekstürel-duyuşal arasında bir ilişki olarak kullanılabilir (Burey vd., 2009). Yumuşak şekerlemelerin bu parametreleri, üretim süreci, su içeriği, hidrokolloid türü ve içeriği, şeker türü ve fazı, hava içeriği, lipit içeriği ve diğer bileşenlerin varlığı dahil olmak üzere birçok faktörden etkilenmektedir (Gunes vd., 2022).

### **1.1.7 Nümerik Modelleme**

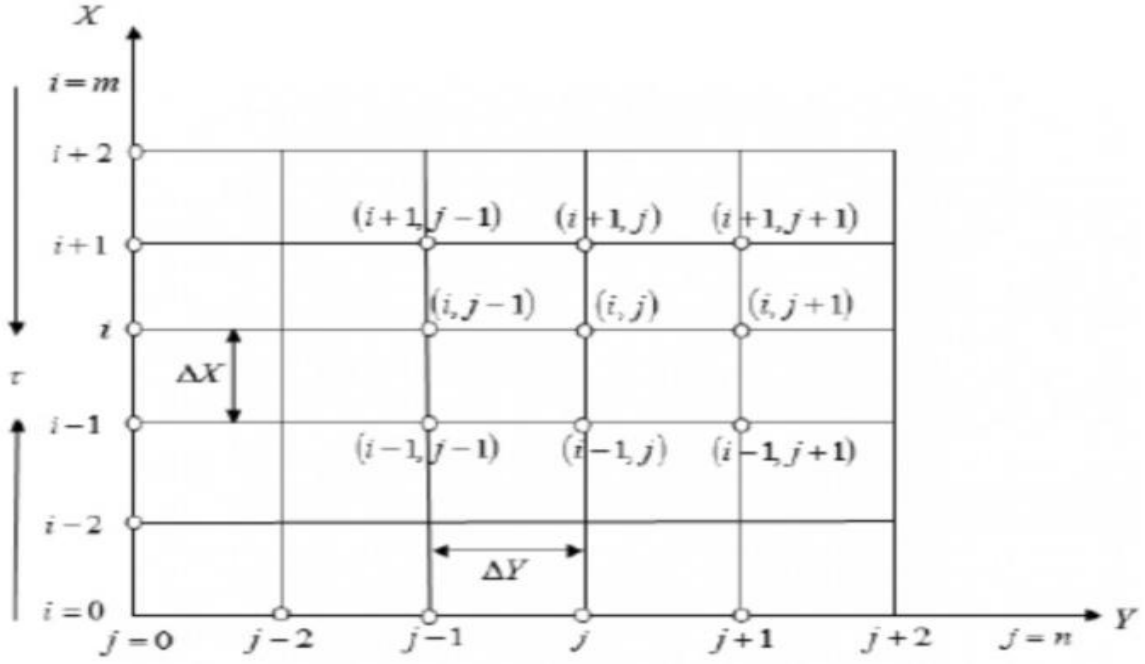
Nümerik modelleme çalışmalarında COMSOL, ANSYS gibi hesaplamalı simülasyon programları kullanılmaktadır. Hesaplamalı simülasyon gıdaları işlerken gerçekleşen transfer işlemlerini tanımlamak, anlamak, gıdaların kalite özelliklerini en iyi şekilde koruyacak işleme ve depolama koşullarını optimize vb. etmek ve deneme yanılma prosedürlerini en aza indirmek için hızlı cevap veren, değerli bir araçtır (Martins, 2006).

Hesaplamalı simülasyon programları standart bir prototipleme aracı olarak kullanılmaktadır. Gıda endüstrisinde ürün geliştirme aşaması tasarım, prototipleme ve test aşamalarını içermektedir. Bilim adamlarının deneme-yanılma yoluyla optimum sonuçlar elde etmesi için uzun bir zaman dilimi, iş gücü ve eğitimli personelden oluşan bir ekibe ihtiyaç duymaktadır. Bunun yanında yapılan onlarca deneylerin bazılarını doğru sonuç vermemesi zaman, maddi ve enerji kaybı olmaktadır (Şekil 1.6). Hesaplamalı simülasyon programlarını sadece ürün geliştirmek amacıyla değil, depolama, dağıtım, tüketim vb aşamalarında gıda kalitesini (fenolik, c vitamin vs) ve güvenliğini (mikroorganizm vs. ) optimize etmek içinde kullanılabilir (Martins, 2006)



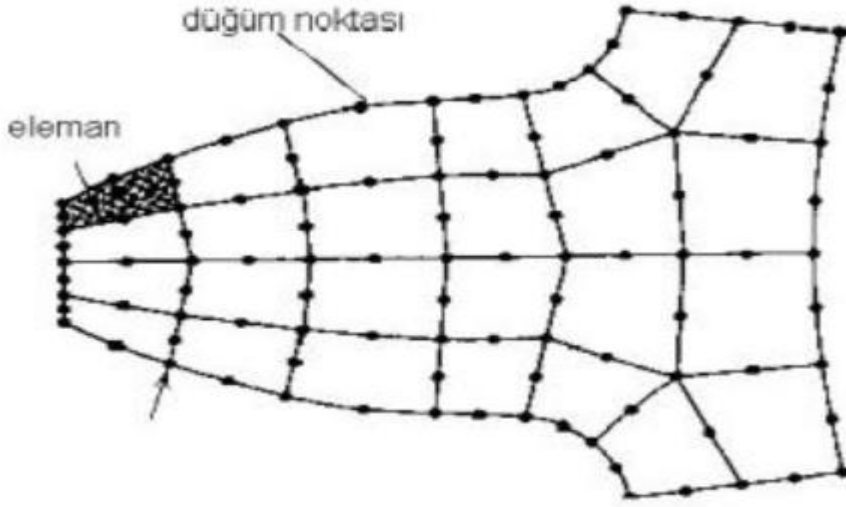
Şekil 1.6. Deneysel ve hesaplamalı simülasyon kullanarak gerçekleştirilen gıda tasarımının temsili gösterimi (Martins, 2006)

Deneysel yöntemlerle çalışılabilecek parametreler koşulları (sıcaklık, hava hızı, karıştırma vb.) sınırlı sayıda incelenebilmektedir. Çalışılabilecek sınırlı koşullarda doğru bir optimizasyon elde etmekte zor olabilmektedir. Ayrıca, deneysel çalışma ile değerlendirilecek sonuçlar için genellikle geniş bir zaman dilimine ihtiyaç olmaktadır. Hesaplamalı simülasyonlar, analiz sonuçlarının görselleştirilmesi başka bir ifadeyle canlandırılması simüle edilmiş verilerin yorumlanmasında çokça yardımcı olmaktadır. Hesaplamalı simülasyon programlarında ise, kısa zamanda ve sürekli cevap alınabilmektedir (Martins, 2006). Gıda endüstrisinde hesaplamalı simülasyon programları kullanılarak gerçekleştirilen nümerik modelleme çalışmaları biyoaktif madde salınımı (Mills vd., 2011), pişirme (Yoko, Sayako, Risa ve Midori, 2021), soğutma (Wang and Sun, 2003), sterilizasyon (Varma and Kannan 2006), pastörizasyon (Arshad vd., 2021), karıştırma (Metcalf ve Lester, 2009) vb. işlemleri için uygulandığı belirlenmiştir. Hesaplamalı simülasyon programları Sonlu Farklar Yöntemi (SFY), Sonlu Elemanlar Yöntemi (SEY) ve Sonlu Hacimler Yöntemi (SHY) olmak üzere üç farklı metot ile çözüm gerçekleştirmektedir (Wang ve Sun, 2003). Gıdaların iletim işlemleri, kalite ve güvenliği için gerçekleştirilen çalışmalarda ilk olarak SFY kullanılmıştır. SFY Taylor serisinin ayrıklaştırılmasıyla gerçekleştirilmektedir. Bir diferansiyel denklemin çözümünde örnek (çözüm uzayının) daha küçük hücrelere bölünmektedir (Kara, 2017) (Şekil 1.7). Her bir düğüm noktasında matematiksel eşitliğin çözümü gerçekleşmektedir. Silindir, kare, küre gibi basit, düzenli şekiller için 1D, 2D ve 3D olarak modellenmesi yapılabilmektedir.



Şekil 1.7. İki boyutlu örnek uzayının SFY de çözüm noktalarının temsili gösterimi (Anon, 2022a)

Sonlu elemanlar yönteminde, SFY'den daha karmaşık modellerin 1D, 2D ve 3D boyutlu olarak çözümü yapılabilmektedir. Ayrıca, heterojen gıdaların, kombine transfer işlemlerin çözümünü bir arada yapmak mümkündür (Göztok, 2017). SEY'de çözümünde amaç var olan problemi basite indirgeyerek çözüm işlemini kolaylaştırmaktır. Bunun için, SEF yönteminde çözüm uzayını birbirine bağlı olacak şekil küçük basit ve çok sayıda alt bölgelere ayırmaktadır. Bu şekilde, büyük çözüm uzayını düğüm (node) noktalarıyla birbirine bağlı küçük bölgelere ayırarak çözümü basite indirgemektedir. Ayrılan her bölgenin çözümü ayrı ayrı gerçekleştirilmektedir. Şekil 1.8'de verilen ızgaraya benzeyen kısma da ağ (mesh) denilmektedir (Anon, 2022b). Genel olarak, ayrık problemin çözümünün doğru olması için ağdaki eleman sayısının yüksek olması gerekmektedir. SEY heterojen yapıdaki malzemelerin özellikleri program içinde yer almakla birlikte, araştırmacı tarafından da programa kodlanması mümkün olmaktadır.



Şekil 1.8. İki boyutlu örnek uzayının SEY de çözümünün ağ ve düğüm noktalarının temsili gösterimi (Anon, 2022b)

SEY kullanımının avantajları ve dezavantajları şu şekildedir; (Puri ve Anantheswaran (1993))

Avantajları:

1. Karmaşık ve değişik malzeme özellikleri tanımlanabilmektedir.
2. Örnek uzayındaki düzensiz bölgeler daha yüksek doğrulukla modelleme imkanı bulunmaktadır
3. Yöntem, kombine, karışık problemler için uygundur.
4. Ağ(mesh) sayısı ve şekli kolay bir şekilde değiştirilebilmektedir.
6. Örnek uzay ve problemin koşul sınırları kolaylıkla tanımlanabilmektedir.

Dezavantajları:

1. Eleman denklemleri genellikle çok daha matematikseldir.
2. Elde edilen sonuçlar girilen verilerin sonuçlarına bağlı olmaktadır.

Sonlu hacimler yöntemi SEY farklı olarak örnek uzayı alanlara değil hacimlere bölünmektedir. Bölünen küçük hacimlerde çözümü gerçekleştirilen diferansiyel denklemlerin sonucu birleştirilerek tüm örneğin çözümü yapılmaktadır (Wang and Sun, 2003).

### 1.1.8 Jel Örneklerinden Şeker Salınımı

İnsan sağlığını korumak amacıyla tüketilen gıdalardaki şeker, tuz gibi maddelerin miktarının azaltılmasına yönelik çalışmalar gıda bilimcileri ve gıda üreticileri tarafından sıklıkla çalışılmaktadır. Bu nedenle, kalorisiz düşük gıdaların üretilmesinde şeker salınımı ile gıda matriksi arasındaki ilişkinin belirlenmesi önemlidir (Busch, Yong ve Goh, 2013; Nishinari ve Fang 2016; Salles vd., 2011; Stieger ve van de Velde, 2013). Jelly ürünlerinin tekstür özellikleri salınım üzerinde etkisi bulunmaktadır. Morris (1994) %20 (g/g) şeker ve %0.1 çilek aroması içeren jellerin üretiminde farklı hidrokoloid çeşidinin (gellan gum k-karagenan, kalsiyum aligenata, ksantan/keçiboynuzu zamkı) kullanımının tat ve aroma salınımı nasıl etkileyeceği üzerine çalışma gerçekleştirmiştir. Uygulanan gerinim (yield strain) arttıkça aroma ve lezzet salınımında azalma tespit etmişlerdir. Gerinim azaldıkça jelly örneklerinin daha küçük parçalara ayrılarak salınım için yüzey alanının artışı lezzet salınımını arttırmaktadır. Clark (2002) şeker ve çilek aromalı jellerin sertliği arttıkça lezzet salınımının azaldığını rapor etmişlerdir. Aynı sertliğe sahip jelatinli örneklerin aroma salınımının, düşük açilli gellan/ksantan gum/keçiboynuzu zamk karışımı içeren jellerden daha fazla olduğunu tespit etmişlerdir. Karışık jelleştirici ajan içeren örneklerin yapışkan olması, jelatinli örneklerin ise ağızda erimesi ve yüzey alanını arttırması jelatinli örneklerin daha yüksek orama/lezzet salınımında etkili olmuştur.

Tatlandırıcı profili şeker salınımı üzerinde etkisi bulunmaktadır. Yapılan çalışmalarda, Nagasaka ve Taneya (2000) farklı oranlarda agar kullanılarak elde edilen jellerden sakkaroz ve fruktoz salınımının 10 °C koşulunda Young's modül ve depo modül değerlerinin nasıl etkilendiğine dair çalışma gerçekleştirilmiştir. Young's modül değerlerinin artışı lezzet salınımını arttırırken, depo modül değerlerinin artışı ise şeker salınımı azaltmıştır. Sakkaroz kullanımını depo modül değerlerini fruktoz kullanımından daha fazla arttırmış ve bu artış şeker salınımını yavaşlatmıştır. Ayrıca şeker kullanım miktarının artması salınım hızını yavaşlattığı belirtilmiştir. Kanyuck, Mills, Norton ve Norton-Welch (2022) düşük ve yüksek açilli gellan gum kullanarak elde edilen jellerde eklenen tatlandırıcı çeşidinin şeker salınımına etkisini belirlemek amacıyla tatlandırıcı olarak glukoz, maltoz, DE 10 maltodekstrin ve DE 2 maltodekstrin kullanmışlardır. %30 oranında tatlandırıcı içeren jellerden tat salınım oranı yüksek olandan düşük olana doğru sıralanışı glikoz, maltoz, DE2 ve DE 10 maltodekstrin şeklinde gerçekleşmiştir. %1 oranında yüksek açilli jellerin %2 düşük açilli jel ürünlerinden tatlandırıcı salınım oranı daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Bayarri, Rivas, Costell ve Duran (2001), farklı oranlarda sakkroz (100 ve 150 g/l) ve aspartam (0.8 ve 1.2 g/L) içeren k-karregen (4.5 ve 9 g/l) ve gellan gum'dan (3 ve 9 g/l) elde edilmiş çeşitli jelleri 37 ° C de 250 ml'lik suda bekleterek şeker salınımını incelemiştir. Salınım hızının k-karregenli jellerin, gellan gumdan elde edilen jellere göre daha hızlı olduğunu saptamışlardır. Bunun nedeninin, gellan gum maddesinin erime sıcaklığının k-karregenden (kaynama noktası 40-45 °C) daha yüksek olması olarak ifade etmişlerdir.

Wang vd., 2014 %20 şeker içeren agarlı (0.5, 1, 1.5, 2, 2.5, 3%) jelleri 37 °C de 0.5,1,3,5 ve 10 dk 10 ml saf suda bekleterek şeker salınımını incelemiştir. Şeker salınımını belirlemek için jel örneklerini iki farklı ortamda (tükürük ve su) %80 ve %90 oranlarında sıkıştırma testi uygulamışlardır. Sıkıştırma oranı arttıkça salınım hızında artış görülmüştür. Özellikle %80 oranında sıkıştırma testinde suda gerçekleşen salınım hızı tükürük ortamında gerçekleşen salınım hızından daha fazla olduğunu gözlemlemiştir. Bunun nedeninin parçalanmanın daha fazla olmasından kaynaklı yüzey alanında artış olmasıdır. Genel olarak agar kullanım oranı arttıkça, örneklerin elastik modülünde ve sertlik değerlerinde artış görüldüğünü, şeker salınımının ise azaldığını tespit etmişlerdir. Agar jellerden şeker salınımı uygulanan sıkıştırma testine, sıkıştırma süresine ve jel örneklerinin mekaniksel özelliklerine bağlı olmaktadır. Sıkıştırma süresine ve hızın salınım üzerinde etkili olduğunu Nakamura, Shinoda ve Tokita (2001)'da yaptıkları çalışmada tespit etmişlerdir. Yang vd., (2015b) şeker kullanım oranının artışı gerilim-gerinim değerlerini artırdığını ve şeker salınımını azalttığını rapor etmişlerdir.

Normand vd., (2003) şeker kullanım oranının reoloji özelliklerinde artışa sebep olurken, şeker kullanım miktarının %50'sinden fazlası tam ters durum olan reoloji özelliklerinde azalışa sebep olmaktadır. Bunun nedeni olarak kullanılan jelleştirici ajanının (agaroz) yeteri kadar jelleşme fonksiyonunu gerçekleştirmediği, fazla şekerin jelleşmeyi geciktirmesi olarak açıklamışlardır. Benzer durum Russ, Zielbauer ve Vilgis (2014) yaptıkları çalışmada da gözlemlemiştir.

Jel oluşturmada hidrokolloidlerin ekleniş sırası, şeker salınımına etkisi bulunmaktadır. Yang vd., (2015a) iki farklı yöntemle farklı oranlarda şeker içeren (10, 20, 30, 40, 50 ve 60 %) agarlı jelly üretimi gerçekleştirmiştir. Birinci yöntem kaynayan şeker şurubuna jelleştirici ajan eklenirken, ikinci yöntem ise agar ilk önce su ile çözündürüldükten sonra şeker ilavesi gerçekleştirilmiştir. Birinci yöntemde %1 agar içeren jelly örneklerin kırılma gerinim ve gerilim değerleri %40 oranında şeker içeren örneklerde artış görülürken, daha sonra azalış gözlemlenmiştir. İkinci yöntemle üretimde ise kırılma gerinim ve gerilim değerlerinde herhangi



bir azalış görülmemiş sürekli artış görülmüştür. Sıkıştırma testine tabi tutulan örneklerin üretim yöntemlerinin şeker salınımına etkisi olduğunu bildirmişlerdir. Yöntem1 ile üretilen jellerde % 40 şeker oranına kadar şeker içeriği artışı şeker salınımını azalışına sebep olurken, %40-60 arasında şeker içerikli jellerde şeker salınımında artış görülmektedir. Yöntem2 ile üretilen durumda ise artış gözlemlenmemekte, artan şeker içeriğine bağlı olarak şeker salınımında azalış tespit etmişlerdir. Santrifüjle yapılan salınım çalışmasında yöntem1 ile üretimdeki jellerde salınım artış oranı sıkıştırma testindeki gibi %40 değil %50 şeker içeriğinden sonra artış gözlemlenmişlerdir. Yöntem1 ile üretilen örneklerde belirli şeker oranına kadar azalış daha sonra artış olmasının sebebini şu şekilde açıklamışlardır. Agar jelleri suyu seven (hidrofilik) özellikte oldukları için Yöntem1 de şekerli suyun içine konulan agar örnekleri için kullanılabilir su miktarının düşük olması daha az çözümlerine ve örnek içerisinde dağılarak bulanıklık oluşturmasına sebep olmaktadır. Yöntem2 ile üretilen örneklerde ise sakkaroz eklenmeden agar maddesinin çözünmesi sağlanmaktadır. Sakkarozun agardan daha çözünür olmasından kaynaklı daha sonra eklenmesi herhangi bir problem oluşturmamaktadır. Bu nedenle, Yöntem2 ile üretilen jellerde kırılma gerilim-gerinim değerlerinde monoton bir azalış/artış görülebilmektedir.

Sonuç olarak şekerleme endüstrisinde kullanılan jelleştirici ajan çeşidi, jelleştirici ajan kullanım miktarı, kullanılan tatlandırıcı çeşidi ve miktarı, şekerleme üretim yöntemi jelly örneklerin mekaniksel özellikleri (tekstür, reoloji) üzerinde etkisi olmakta ve lezzet salınımını da etkilemektedir.

## **1.2 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı**

Dünya üzerinde gün geçtikçe obez olan kişi sayısında ciddi derecelerde artış görülmektedir. Dünya sağlık örgütü verilerine göre, yetişkinlerde görülen Tip 2 Diyabet hastalığının %80'inden, kalp hastalıklarının %35'inden ve hipertansiyon hastalığının %55'inden obezite sorumludur. Bu durum, kalorisi azaltılmış gıdaların üretilmesini ve tüketilmesi gerekliliğine dikkat çekmeye başlatmıştır. Bu amaçla, gıda endüstrisinin ve araştırmacılarının yağ ve şeker gibi kalorisi yüksek maddelerin azaltılmış ürünlerinin üretimi çalışma önceliklerinin arasında yer almaya başlamıştır. Yapılan çalışmalar incelendiğinde kalori azaltmaya yönelik çalışmaların daha çok yağ ve şeker ikamelerinin (polioller, sukraloz, yüksek yoğunluklu tatlandırıcılar, polidekstroz, maltodekstrin, hidrokolloidler, inulin ve diyet lifleri) kullanılması üzerinde gerçekleştirildiği görülmektedir. Fakat bu ikamelerin kullanımı, genel olarak maliyet açısından ve ürün kalite özellikleri üzerinde sağlamış olduğu olumsuz

etkilerinden dolayı sınırlıdır. Tüketiciler, şekerleme ürünlerinin içerisindeki şeker miktarına göre değil algıladıkları şeker miktarına göre ürünü tüketime devam etmektedir. Şekerleme ürünlerin içerisindeki şekerler tüketim sırasında salgılanan miktar kadar tüketiciye tatlılık algısı oluştururken tüm şeker ise vücuda alınarak obezite gibi sağlık problemlerine sebebiyet vermektedir. Bu nedenle, bu tez çalışmasında şeker salınımı daha iyi modelleyebilmek amacıyla model jeller üzerinde çalışılmıştır. Gerçekleştirilen tezin amaçları;

- Gıdaların tüketiminde algılanan tatlılık düzeyi, tüketici tercihi üzerinde etkili başlıca faktörler arasında yer almaktadır. Bu tatlılık algısı üzerinde şekerleme ürünlerinin tekstürel parametreler önemli etkiye sahiptir. Bu nedenle, tekstür ve tatlılık arasındaki ilişkinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

- Tüketim esnasında oral kavitede gıda maddesinin bileşiminde yer alan şekerin tamamının gıda matriksi özelliklerine bağlı olarak tamamen salınmaması, gıda maddelerinin potansiyel tatlılık düzeyi ile algılanan tatlılığı arasında farklılığa sebep olmakta ve bu durum tüketicileri yüksek kalorili ürünlerin tüketimi ile karşı karşıya bırakabilmektedir. Gıdanın tekstür ve yapısal özelliklerinin modifiye edilerek şeker salınımının hızlandırılması ve artırılmasıyla daha düşük kalorili gıdaların üretilebilecektir. Bu nedenle, literatürde ve şekerleme endüstrisinde yaygın bir şekilde kullanılan jelleştirici ajan olarak jelatin (160, 200 ve 250 bloom), modifiye mısır nişastası ve düşük metoksilli pektin kullanılarak farklı tekstürel özelliklere sahip jelly üzerinde çalışılmıştır. İki farklı salınım metodu kullanılarak, ağızda erime ve ağızda çiğneme esnasında ürünün içerisindeki şekerin %90 oranına kadar salınma hızı ve süresinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

- Kısa sürede hızlı sonuç alabilmek, maliyet ve zamandan tasarruf sağlamak için bilgisayar destekli programların kullanılması yaygınlaşmıştır. Şekerleme endüstrisinde, tekstürel özellikler ile şeker salınımı arasında tespit edilen ilişkinin nümerik olarak bilgisayar destekli programda tanımlanması, endüstriyel uygulamalar ve bilimsel çalışmalar açısından büyük önem arz etmektedir. Bu nedenle, bu tez çalışmasında farklı hidrokoloid ürünlerinde farklı salınım ortamlarında gerçekleştirilen şeker salınımı nümerik olarak COMSOL paket programında modellenmiştir. Sadece tez kapsamında gerçekleştirilen örnekler için değil, ileri çalışmalar ile tasarlanacak farklı gıda örnekleri için de şeker salınımı hakkında ön bilgi sahibi olunmasına imkân sağlanması amaçlanmaktadır.

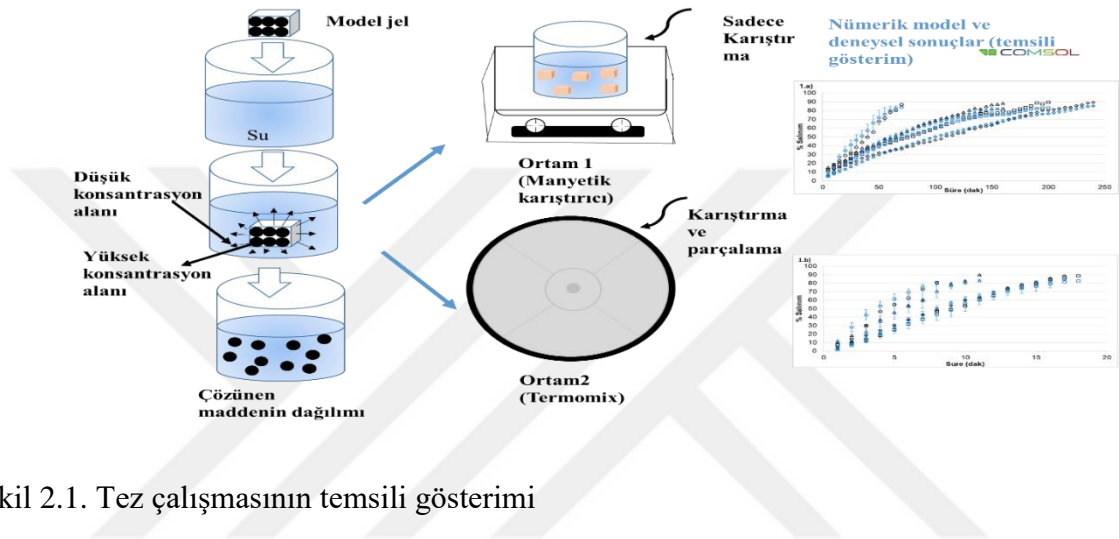
- Şeker salınımı ve tekstür arasındaki ilişkinin belirlenmesi, gıda matrikslerinden tuz, aroma ve biyoaktif madde salınım çalışmalarına da ışık tutarak kalite ve maliyet açısından daha uygun (örneğin; formülasyonda kullanılacak aroma miktarının azaltılması) ürünlerin geliştirilmesine de olanak sağlanması amaçlanmaktadır.

Örneklerin iki farklı ortamda şeker salınımı incelenmiş ve salınım işleminin nümerik modellenmesi gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, salınım ile örneklerin mekaniksel özellikleri arasında bağlantı olup olmadığını anlayabilmek amacıyla model jellerin tekstürel ve reolojik özellikleri incelenmiştir.



## 2. MATERYAL VE YÖNTEM

Tez çalışmasında farklı hidrokolloid ürünlerinden şekerli model jel üretimi gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın temsili gösterimi Şekil 2.1’ de verilmiştir. Model jel örneklerin iki farklı ortamda şeker salınımı incelenmiş ve salınım işleminin nümerik modellemesi gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, salınım ile örneklerin mekaniksel özellikleri arasında bağlantı olup olmadığını anlayabilmek amacıyla model jellerin tekstürel ve reolojik özellikleri incelenmiştir. Çalışmada kullanılan materyal ve yöntem alt başlıklar halinde verilmiştir.



Şekil 2.1. Tez çalışmasının temsili gösterimi

### 2.1 Materyal

Bu tez çalışmasında 3 farklı bloom değerine sahip sığır jelatini [160 bloom (çiğnenebilir şekerleme kullanımı), 200 bloom (jelly şekerleme kullanımı), 250 bloom (marshmallow kullanımı)], modifiye mısır nişastası (MM nişastası) ve düşük metoksilli pektin (DM pektin) olmak üzere 3 çeşit hidrokolloid farklı konsantrasyonlarda kullanarak şekerli model jel üretimi gerçekleştirilmiştir. Şekerli model jellerin tüm hidrokolloid çeşitlerinde sakkaroz karışımın ağırlıkça %30 u kadar eklenmiştir. Tez çalışmasında kullanılan farklı hidrokolloidler ve bunların konsantrasyonları Çizelge 2.1’ de verilmiştir. Jelatin (160, 200 ve 250 bloom), modifiye mısır nişasta ve düşük metoksilli pektin hidrokolloid ürünler ve sakkaroz piyasadan temin edilmiştir. Tüm şekerli jellerin hazırlanmasında saf su kullanılmıştır. Şeker kaynağı olarak kristal sakkaroz (Konya Şeker, Konya, Türkiye) kullanılmıştır.

Çizelge 2.1. Şekerli model jeller ve konsantrasyon oranları

<b>Hidrokolloid</b>	<b>Kullanım miktarı (%, g/g çözelti)</b>
<b>Jelatin (Bloom 160)</b>	6, 8, 10, 12
<b>Jelatin (Bloom 200)</b>	6, 8, 10, 12
<b>Jelatin (Bloom 250)</b>	6, 8, 10, 12
<b>Düşük metoksilli pektin</b>	1, 1.7, 2.4, 3.1
<b>Modifiye mısır nişastası</b>	2.5, 5, 7.5, 10

## 2.2 Yöntem

### 2.2.1 Örnek Hazırlama

Çizelge 2.1’de verilen farklı hidrokolloidler ve farklı konsantrasyon oranlarına göre şekerli model jel üretimleri gerçekleştirilmiştir. Örneğin, %6 ‘lı 160 bloomda üretilecek jelatinli jellerin hazırlanmasında toplam çözelti 100 g olarak düşünüldüğünde jelatin miktarı 6 g, sakkaroz miktarı 30g ve geriye kalan kısım ise 64 g miktarında su olarak hesaplanmıştır. Suyun yoğunluğu 1 g/cm<sup>3</sup> değeri üzerinden dikkate alınmıştır.

Jel örneklerin hazırlanmasında termal mikser (Termomix, TM5, Vorwerk, Almanya) cihazı kullanılmıştır. Termomix cihazında (Şekil 2.2) karıştırma hızı ve üretim sıcaklığı ayarlanabildiğinden jelly üretiminde tercih edilmektedir (Gok, Toker, Palabiyik ve Konar 2020).



Şekil 2.2. Termomix cihaz gösterimi

### 2.2.1.1 Jelatin jelinin hazırlanması

Sığır jelatinleri (bloom 160 (Heybeli baharat, İstanbul, Türkiye), bloom 200 (Burjel, Bursa Türkiye), ve 250 (Halavet, İstanbul, Türkiye)) kullanılarak şekerli jel üretimi gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla, 60 °C sıcaklıktaki suyun üzerine jelatin eklenerek çözündürülmüş ve jelatin solusyonu (jelatin:su çözeltisi (1:2)) hazırlanmıştır. Üretim aşamasında, ilk önce su ve sakkaroz termal mikserde (Thermomix) de 60 °C’de 10 dakika devamlı karıştırılarak (200 rpm) şekerli şurup hazırlanmıştır. Daha sonra jelatin solüsyonu eklenerek aynı sıcaklıkta 5 dakika daha karıştırma işlemine devam edilerek şeker ile jelatinin birbirine karışması sağlanmıştır. Hazırlanan karışım 2x2x1.2 cm boyutundaki silikon kalıplara dökülerek 24 saat 4 °C sıcaklıkta muhafaza edilmiştir. Denemeler yaklaşık 500 g’lık partiler halinde gerçekleştirilmiştir.

### 2.2.1.2 Nişasta ve pektin jelinin hazırlanması

Modifiye mısır nişasta (Brenntag, İstanbul, Türkiye) ve düşük metoksilli pektinden (Azelis, İstanbul, Türkiye) şekerli model jeller aynı üretim aşamalarına sahiptir. Çizelge 2.1’de verilen formülasyona göre termal mikserde su 100 °C’de kaynama işlemine tabi tutulmuştur. Daha sonra toz olarak karıştırılan hidrokolloid:şeker karışımı (1:2) kaynayan suyun üzerine eklenerek, 100 °C’de 10 dakika boyunca devamlı karıştırılarak (200 rpm) homojen haline getirilmiştir. Hidrokolloid içeren çözeltiye, formülasyona göre kalan şeker eklenerek 100 °C’de 200 rpm hızda cihazın ağzı açık bir şekilde devamlı karıştırılarak çözelti Brix (suda çözünür kuru madde) değeri °Bx 76±2 oluncaya kadar ısıtma işlemine tabi tutulmuştur. Daha sonra elde edilen karışım 2x2x1.2 cm boyutundaki kalıplara dökülerek 24 saat 4 °C sıcaklıkta muhafaza edilmiştir. Denemeler yaklaşık 1000 g’lık partiler halinde gerçekleştirilmiştir.

Hidrokolloid çeşitlerine ve farklı konsantrasyonlarına göre şekerli model jellerin üretilmiş halleri Şekil 2.3’ de verilmiştir.



Şekil 2.3. Hidrokolloid çeşitleri göre farklı konsantrasyonlardaki şekerli model jeller

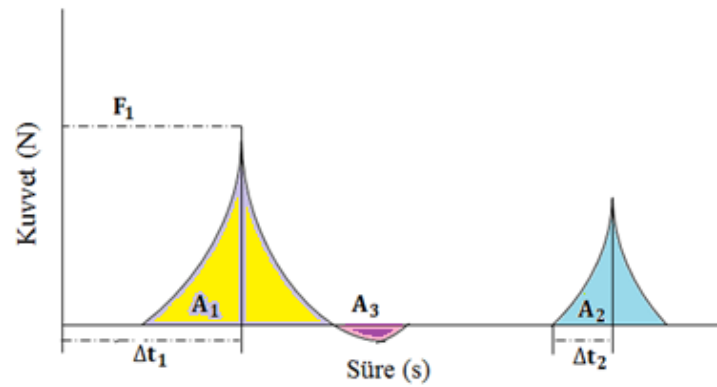
## 2.2.2 Yoğunluk Ölçümü

Üretilen jellere partikül yoğunluğu analizi yapılmıştır. Partikül yoğunluğu ( $\rho_p$ ): Bir miktar jelly örneği ( $M_p$ , g) belli hacimdeki ( $V_g$ , ml) su çözeltisi dolu ölçme silindirene daldırılmıştır, son hacim ( $V_s$ , g) silindirin skalasından okunarak örneklerin partikül yoğunluğu hesaplanmıştır (Eşitlik 2.1) (Baysal, Icier, Ersus ve Yıldız, 2003).

$$\rho_p = \frac{M_p}{V_s - V_g} \quad (2.1)$$

## 2.2.3 Tekstür Profil Analizi

2 x 2 x 1.2 cm boyutlarında dikdörtgen prizma jel örnekleri tekstür profil analizine (Stable Micro Systems, TA-TXplus, UK) tabi tutulmuştur. Jel örnekleri tekstür ölçüm aşamasında yapışmayı önlemek amacıyla örnekler üst ve alt yüzeyi ince bir tabaka şeklinde nişastalanmıştır. Ölçümler oda sıcaklığında, deformasyon hızı 1 mm/s olarak, %50'lik sıkıştırma geriliminde ölçüm gerçekleştirilmiştir. Analizde 35 mm çapa sahip P35 prop kullanılmıştır. Model jel örneklerinin sertlik, adesif yapışkanlık, esneklik, yapışıklık, çiğnenebilirlik, elastikiyet mekanik özellikleri incelenmiştir. TPA analizi ile elde edilen kuvvet-zaman diyagramlarındaki pik alanlarının ve pikler arası uzaklıklar kullanarak cihaz otomatik bir şekilde mekanik özellikleri hesaplamıştır (Şekil 2.4). Mekanik değişim hesaplaması pik alanlarından ve uzaklıkları kullanılarak hesaplama formülleri Çizelge 2.2' de verilmiştir. Tekstür analiz denemeleri en az yedi tekerrürlü gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2.4. TPA ile elde edilen kuvvet-süre ilişkisinin temsili gösterimi (Cruz, Guiné ve Gonçalves, 2015)

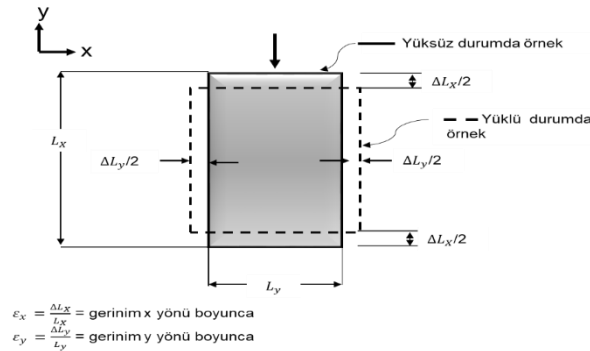


Çizelge 2.2. TPA analizinden elde edilen mekanik özelliklerin formülleri (Cruz vd., 2015; Mavroudis, Dejmeç ve Sjöholm, 2004)

Mekanik Değişim	Birim	Formül
Sertlik	N	$F_1$
Adesif Yapışkanlık	N.s	$A_3$
Elastikiyet	%	$\frac{\Delta t_2}{\Delta t_1} \times 100$
Yapışkanlık	-	$\frac{A_2}{A_1}$
Çıgnenebilirlik	N	$F_1 \times \frac{\Delta t_2}{\Delta t_1} \times \frac{A_2}{A_1}$
Sakızımsılık	N	Sertlik $\times$ Yapışkanlık

Kırılma gerilim ( $\sigma$ )-gerinim ( $\varepsilon$ ) analiziyle Youngs modül (E) ve poisson oran ( $\nu$ ) değerleri belirlenmiştir (Sala ve Stieger, 2013; De Lavergne; van Delft, van de Velde, van Boekel ve Stieger 2015; Liu, Stieger, van der Linden ve van de Velde, 2015). Poisson oran ( $\nu$ )(Eşitlik 2.2) belirlemek amacıyla cetvel kullanılmıştır (Şekil 2.5). Ölçüm esnasında x ve y yönünde değişim işaretlenerek hesaplama yapılmıştır. Tekstür analizi 5 kg yük hücresinde ve 35 mm çaplı silindirik (P35) prob ile gerçekleştirilmiştir.

$$\nu = -\frac{\varepsilon_x}{\varepsilon_y} \quad (2.2)$$



Şekil 2.5. Sıkıştırma testi ile poisson oranının belirlenmesinin temsili gösterimi (Jahanbakhshian, Hamdami ve Shahedi, 2017)

#### 2.2.4 Dinamik Osilasyon Deneyleleri

Jel numunelerinin reolojik özellikleri, gerilim-gerinim kontrollü reometre (TA Instruments, New Castle, DE) kullanılarak belirlenmiştir. Hazırlanan jeller analizden önce 24 saat 4°C’de muhafaza edilmiştir. Numunelerin 40 mm çaplı paralel plaka ve bir peltier plakada 2000 µm gap değerinde, zamana bağlı davranışını açıklamak için frekans taramaları (mekanik spektrumlar) gerçekleştirilmiştir. Açısal frekans aralığı 0,1-100 rad/s arasında seçilip ve gerinim değeri %1 olarak uygulanmıştır. Tüm numuneler peltier plakaya yerleştirilmeden önce, Brix değeri 78°ye ulaşana kadar ısıtılmıştır. Bu şartlar altında, numunelerin yeniden sertleşmesi önlemek ve tüm paralel plakanın yüzeyini kaplamak için 45 °C sıcaklığa ayarlanmış peltier plakaya yerleştirilmiştir. Frekans taraması, düşük frekans aralığında gerçekleştirildi ve nişasta, pektin ve bloom bazlı numunelerinin Depo (Storage) Modülleri (G ') karşılaştırılmıştır. Dinamik testler gerçekleştirildikten sonra reogram verileri analiz edilmiş ve jel numunelerinin karakterizasyonu K ve n değerleri baz alınarak yorumlanmıştır. Her bir numune için 3 paralelli olarak çalışılmıştır. Her ölçümden önce cam ve prob etanol ve su ile temizlenecek ve her ölçüm en az beş paralel ile gerçekleştirilmiştir (Liu vd., 2015).

#### 2.2.5 Şeker Salınımının Belirlenmesi

Farklı hidrokolloid ürünlerden elde edilen farklı konsantrasyona sahip jellerin şeker salınımının belirlenmesi 2 farklı ortam altında gerçekleştirilmiştir. 1. ortam, *in vitro* ağız hareketliliğini modellemek amacıyla manyetik karıştırıcının üstünde balık bulunan beherin içinde 180 rpm hızda karıştırma işlemine tabi tutularak şeker salınımına bakılmıştır. 2. Ortam ise ağızdaki parçalanma ve dil hareketini *in vitro* ortamda tanımlayabilmek amacıyla 200 rpm hızda çalıştırılan termal mikser içerisinde gerçekleştirilmiştir. Salınım 200 mL su içinde 5 adet örnekten (sadece modifiye mısır nişastada 3 adet) şeker salınımına bakılmıştır. Şeker difüzyonu jellerdeki şeker oranının %90’nı difüze olana kadar 25 °C ortamda gerçekleştirilmiştir. 2 farklı ortamda jellerden sızan sakkaroz miktarını belirlemek amacıyla el tipi dijital refraktometre (Hanna, H196801, USA ) aracılığıyla brix değeri ölçülmüştür.

Salınım işlemine tabi tutulan jellerin sakkaroz miktarı farklı bloomlardaki jelatinler için Eşitlik 2.3 Lopez-Sanchez, Fredriksson, Larsson, Altskär ve Ström (2018) ‘den modifiye edilmiştir, nişasta ve pektin için Eşitlik 2.4’de verilmiştir. Nişasta ve pektin üretimlerinde son ürünün brix değerinin 76±2 olması sebebiyle başlangıçtaki jellerde bulunan şeker miktarı hesabında son ürünün brix değeri dikkate alınmıştır. Jel örneklerinin t anındaki kalan sakkaroz

miktarı Eşitlik 2.5'deki gibi hesaplanmıştır. Bu işlem 2 ortam içinde ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir. Her t zamanında elde edilen sakkaroz miktar verileri nümerik model çalışmasında kullanılmıştır. Jellerden t zamanında salınan şekerin salınım oranı ise Eşitlik 2.6'daki gibi hesaplanmıştır (Lopez-Sanchez vd., 2018).

$$m_{\text{jelatin}}(g) = m_{\text{jellerin ağırlığı}} \times \% \text{sakkaroz oranı} \quad (2.3)$$

$$m_{\text{pektin;nişasta}}(g) = \frac{m_{\text{jellerin ağırlığı}} \times m_{\text{üretim kapasitesi}} \times \% \text{sakkaroz oranı}}{\left( \frac{m_{\text{sakkaroz}} + m_{\text{üretimdeki hidrokolloid}}}{\text{Brix}_{\text{üretimson}}} \right)} \quad (2.4)$$

$$m_{t,\text{şeker}}(g) = \text{Jeldeki başlangıç şeker miktarı}(g) - \frac{(\text{Brix}_{\text{şekerli,t}}) \times \text{Kaptaki su miktarı}(g)}{100} \quad (2.5)$$

$$\% \text{Salınım oranı} = \frac{m_{\text{başlangıç şeker}} - m_{t,\text{şeker}}}{m_{\text{başlangıç şeker}}} \times 100 \quad (2.6)$$

## 2.2.6 Matematiksel Modelleme

Farklı jellerin şeker salınımının modellenmesi sonlu elemanlar yöntemi COMSOL (Multiphysics 5.2, COMSOL, Burlington, ABD) paket programındaki hazır modüller kullanılarak incelenmiştir. Fick'in 2. yasası çözümünde 'Transport of Diluted Species (Seyreltilmiş türlerin taşınması)' modülü aktif hale getirilmiştir.

Model çalışmasında zamana karşı şeker difüzyonunu tanımlamak için Fick'in 2. Yasası dikkate alınmıştır (Mosca, van de Velde, Bult, van Boekel ve Stieger, 2010) (Eşitlik 2.7).

$$\frac{dS}{dt} = D_{\text{eff}} \frac{d^2 S}{dx^2} \quad (2.7)$$

S ürünün şeker miktarı (S, g şeker), x difüzyon yolu (m), t süre (s) ve  $D_{\text{eff}}$  ise etkin difüzyon katsayısıdır ( $\text{m}^2/\text{s}$ ). Aşağıdaki başlangıç ve sınır koşullarına göre;

$$\begin{aligned} t = 0 & \quad -L < x < L & \quad S = S_b \\ t > 0 & \quad x = 0 & \quad dS/dx=0 \\ t > 0 & \quad x = dL/dt & \quad S = S_e \end{aligned} \quad (2.8)$$

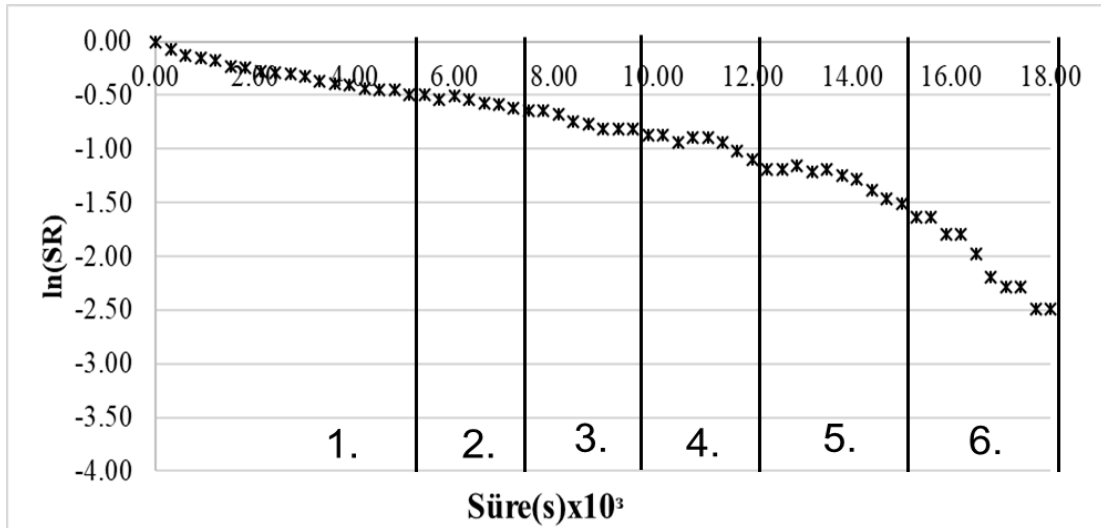
Burada  $S$  şeker içeriği,  $S_b$  başlangıç şeker içeriği,  $S_e$  denge şeker içeriği,  $S_t$  t anındaki ürünün şeker içeriğidir.  $D_{eff}$  etkin difüzyon katsayısı ( $m^2/s$ ) ve  $L$  ise örneğin yarı kalınlığını ( $m$ ) temsil etmektedir. Kütle Fourier denklemi Eşitlik 2.8'deki koşullara göre analitik olarak çözülmüş ve uzun sürelerde ilk terimin alınması yeterli olacağından Eşitlik 2.9 kullanılmıştır (Schössler, Jäger ve Knorr, 2012). Dikdörtgen prizma jel örnekleri için  $A_1$  sabiti  $512/\pi^6$ ,  $A_2$  sabiti  $1/(L^2+L^2+L^2)$  değerlerindedir (Erbay ve İçier, 2010).

$$SR = A_1 \exp \left[ -\frac{\pi^2 D_{eff} t}{A_2} \right] \quad (2.9)$$

$D_{eff}$  değerinin belirlenmesi için  $\ln(SR)$  değerlerinin zamana bağlı değişimi grafik olarak çizilerek, elde edilen doğruların eğimleri (Eşitlik 2.10) ile  $D_{eff}$  değerleri hesaplanmıştır (Göztok, 2017).

$$\text{Eğim} = -\frac{\pi^2 D_{eff}}{A_2} \quad (2.10)$$

Doğrusallaştırma işlemi ile tüm salınım süresi aralığı için istenilen doğrusallaştırma katsayısı elde edilememiştir. Bu nedenle,  $D_{eff}$  değerlerinin salınım boyunca değişimini daha detaylı inceleyebilmek amacıyla, doğrusallaştırma grafiği farklı bölgelere ayrılmıştır ve her bir bölgeden elde edilen eğimler ayrı ayrı değerlendirilmiştir (Şekil 2.6).



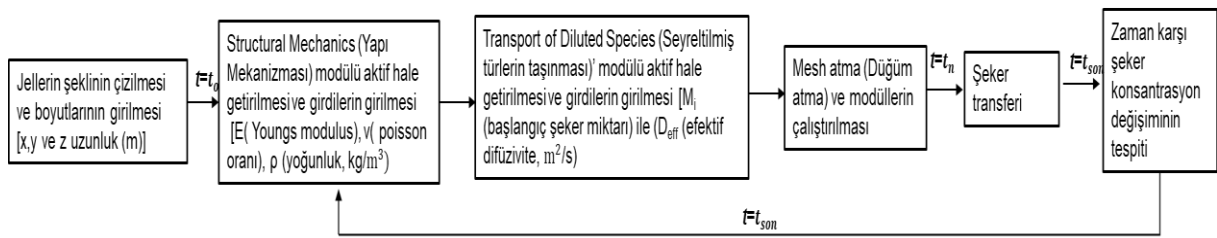
Şekil 2.6. Boyutsuz nem içeriği oranının doğal logaritmasının süreye karşı değişiminin temsili gösterimi

Yapılmış olan kabuller aşağıda verilmiştir (Erbay ve İçier, 2010):

- Malzeme özellikleri sabit kabul edilir.

- Basınç değişimleri ihmal edilir.
- Başlangıç şeker dağılımı homojen alınır ve işlem sırasında şeker dağılımı simetrik kabul edilir.
- Salınım işleminde belirli süre aralıklarında efektif şeker difüzyon hızı sabit kabul edilir.

Şekil 2.7’ de nümerik modelleme çalışma basamakları verilmiştir. Modelleme suyun içindeki jelin şeker difüzyonu olarak incelenmiştir. Suyun dış yüzeyi yalıtımlı ve başlangıç şeker konsantrasyonu 0 olarak kabul edilmiştir. Şekli ve boyutları çizilen jel örneklerin şeker difüzyonunu modellemek amacıyla, Ortam1 için sadece kütle transferi incelenmişken, ortam2 için kütle transferi ve gıdalara uygulanan sıkıştırma işleminin çözümü eş zamanlı olarak gerçekleştirilmiştir. Comsol paket programında eşitlikler 3 boyutlu olarak çözümü gerçekleştirilmiştir. Programa girdi olarak kütle transferinin çözümünde, başlangıç şeker konsantrasyonu ve efektif difüzyon hızı değerleri ( $D_{eff}$ ) girilmiştir. Mekaniksel etkinin çözümü için ise E (youngs modülü),  $\nu$  (poissons’ s oranı) ve  $\rho$  (yoğunluk,  $kg/m^3$ ) (Bkz. 2.2.2) değerleri girdi olarak girilmiştir. İşlem sonunda, zamana karşı jellerdeki şeker konsantrasyon değeri yapısal özellikleri de dikkate alınmış olarak belirlenmiştir. Jel örnekleri basit geometriye sahip oldukları için element boyutu ‘normal’ kullanılmıştır. Diğer düğümlenme kuralları program kontrolüne bırakılmış ve program jel örnekleri için ‘triangular (üçgen)’ tercih etmiştir. Deneysel değerler ile öngörülen model değerleri model değerleri istatistiksel olarak değerlendirilmiştir (Şekil 2.7).



Şekil 2.7. Kütle transferi ve yapı özelliklerinin Comsol paket programında çözümünün şematik gösterimi (Fanta vd., 2014)

## 2.2.7 İstatistiksel Değerlendirme

Farklı hidrokolloid jeller için yapılan analiz sonuçlarının değerlendirilmesi İstatistik Paket Programı (SPSS, ver. 22, 2013) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Güven seviyesi %95 olarak kabul edilmiştir. Tek yönlü varyans analizi kullanılmış ve önemli farklılıklar Tukey

çoklu fark testi ile tespit edilmiştir. Ayrıca, *in vitro* ortamda gerçekleştirilen difüzyon işlemin deneysel veriler ile model öngörülerini arasındaki uyum ki-kare ( $\chi^2$ ) ve hata kareleri ortalamasının karekökü (RMSE) değerleri ile Eşitlik 2.11-2.22 kullanılarak hesaplanmıştır (Eşitlik 2.11-12).

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (SR_{dny,i} - SR_{bkl,i})^2}{N-n} \quad (2.11)$$

$$RMSE = \left[ \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (SR_{bkl,i} - SR_{dny,i})^2 \right]^{1/2} \quad (2.12)$$

Burada,  $SR_{dny,i}$  değeri i. deneysel gözlemlerde ölçülen değer,  $SR_{bkl,i}$  değeri modeldeki i. gözlemlerde beklenen değer, N gözlem sayısı ve n kullanılan modeldeki katsayı adedidir.

### 3. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

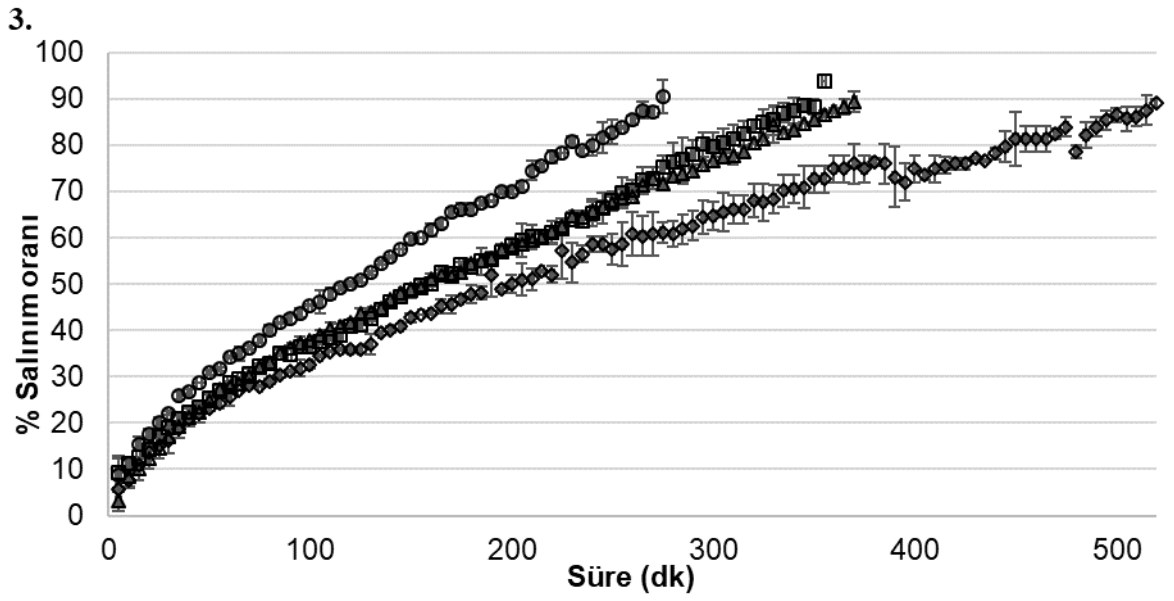
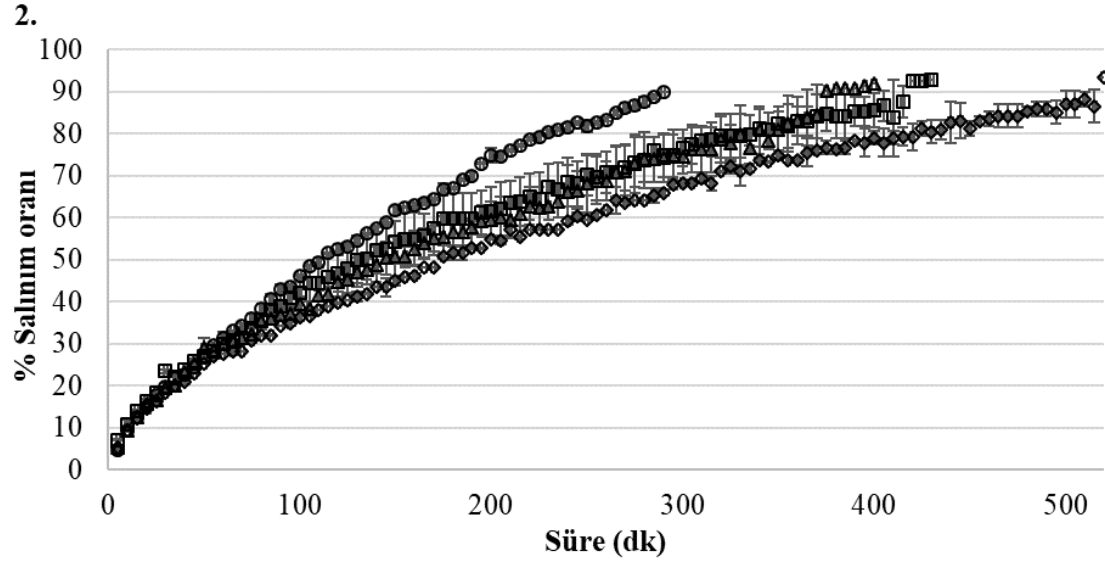
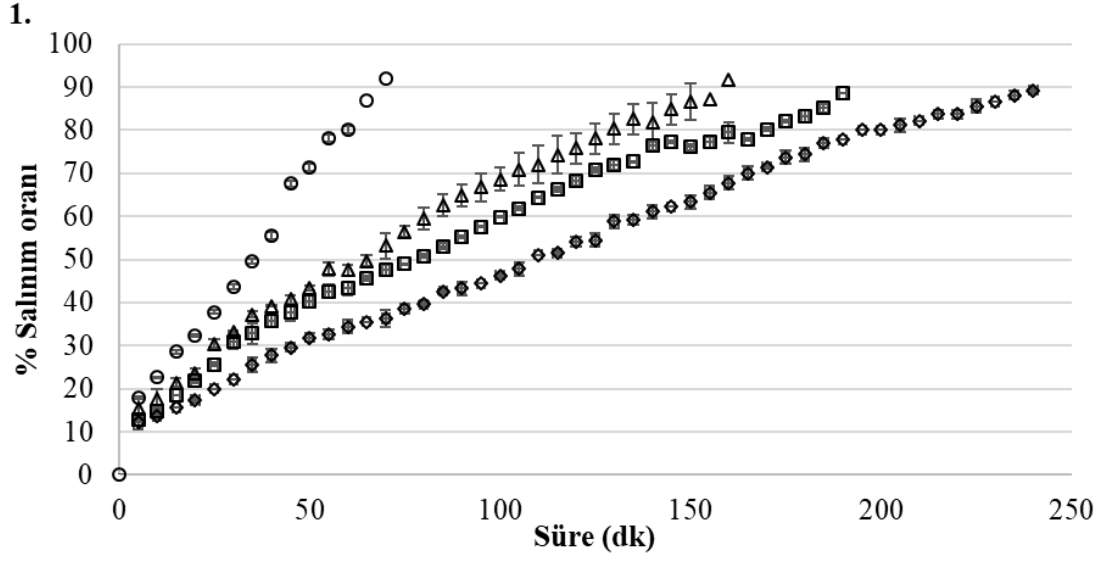
#### 3.1 Şeker Salınımın Belirlenmesi

Sığır jelatini (160 bloom, 200 bloom, 250 bloom), DM pektin ve MM nişasta olmak üzere 3 farklı hidrokolloid içeren şekerli model jel üretimi gerçekleştirilmiş olup, jellerin sahip oldukları şekerin %90'nının salınımı 25 °C'de iki farklı ortamda gerçekleştirilmiştir (Yöntem 2.2.5). 3 farklı hidrokolloidden elde edilen farklı konsantrasyonlardaki şekerli model jel örneklerin şeker salınım süreleri Çizelge 3.1'de verilmiştir. Şekerli model jel örneklerin Ortam 1 de gerçekleşen şeker salınım eğrileri Şekil 3.1' de verilmiştir.

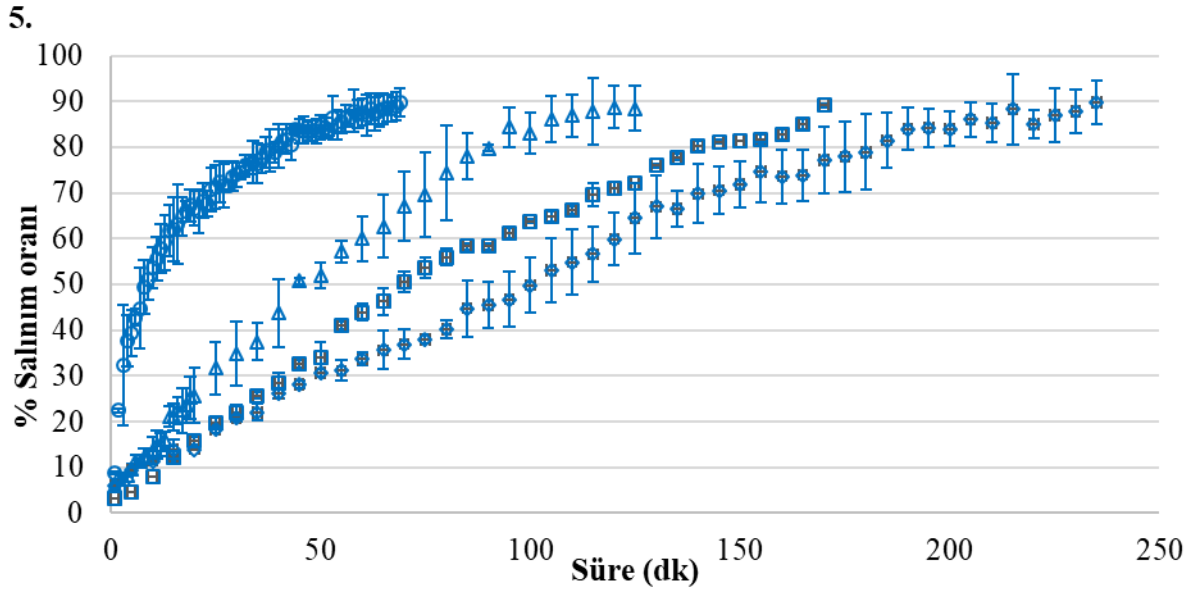
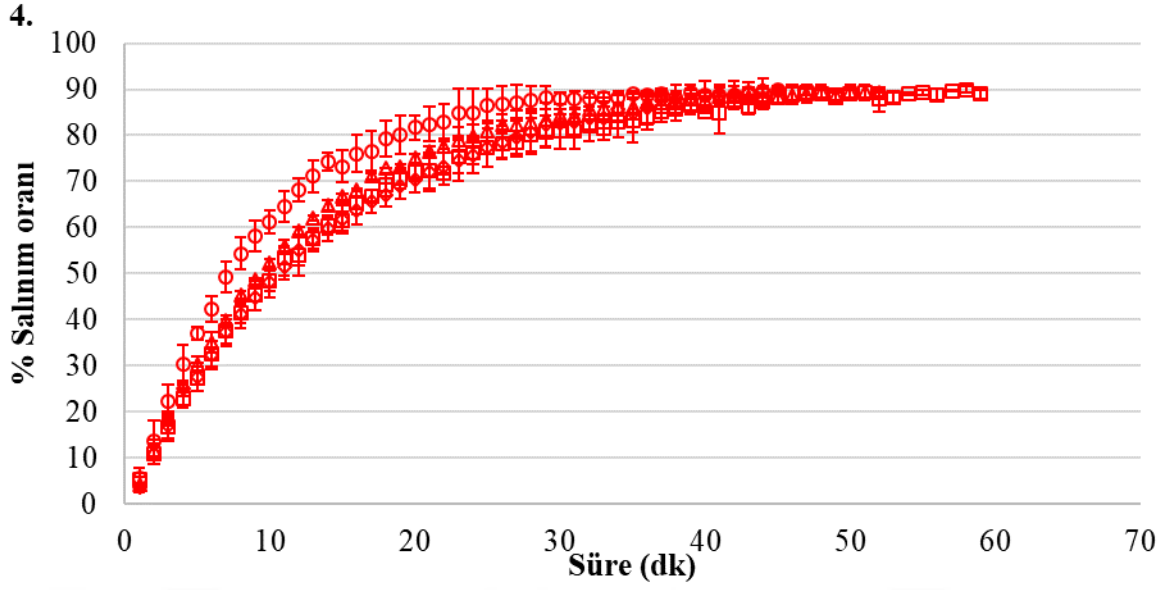
Çizelge 3.1. Model jel ürünlerindeki şekerin %90 'nının salınma süreleri

Hidrokolloid çeşidi	Kullanım miktarı (% , g/g)	Salınım Süresi (dk)	
		Ortam 1	Ortam 2
Jelatin (160 bloom)	6	72.50±10.61 <sup>ij,C</sup>	8.50±0.07 <sup>h,B</sup>
	8	162.50±17.68 <sup>gh,B</sup>	11.00±0.00 <sup>gh,B</sup>
	10	195.00±21.21 <sup>efg,AB</sup>	18.00±2.83 <sup>fgh,A</sup>
	12	240.00±0.00 <sup>de,A</sup>	17.00±0.00 <sup>fgh,A</sup>
Jelatin (200 bloom)	6	290.00±0.00 <sup>d,C</sup>	23.50±0.71 <sup>efgh,C</sup>
	8	400.00±42.43 <sup>bc,B</sup>	26.00±4.24 <sup>efgh,C</sup>
	10	432.50±31.82 <sup>b,AB</sup>	59.00±4.24 <sup>b,B</sup>
	12	510.00±14.14 <sup>a,A</sup>	92.00±5.66 <sup>a,A</sup>
Jelatin (250 bloom)	6	282.50±10.61 <sup>d,C</sup>	25.00±9.90 <sup>efgh,B</sup>
	8	372.50±3.54 <sup>bc,B</sup>	25.50±6.36 <sup>efgh,B</sup>
	10	357.50±24.75 <sup>c,B</sup>	29.50±0.71 <sup>def,B</sup>
	12	517.50±3.54 <sup>a,A</sup>	51.50±10.61 <sup>bc,A</sup>
DM pektin	1	45.00±0.00 <sup>i,C</sup>	14.00±0.00 <sup>fgh,B</sup>
	1.7	51.50±4.95 <sup>j,B</sup>	19.50±3.54 <sup>fgh,AB</sup>
	2.4	59.00±5.66 <sup>j,AB</sup>	17.00±3.54 <sup>fgh,B</sup>
	3.1	65.00±8.40 <sup>j,A</sup>	28.00±1.41 <sup>defg,A</sup>
MM nişastası	2.5	68.00±5.66 <sup>ij,C</sup>	8.50±1.41 <sup>h,C</sup>
	5	125.00±21.21 <sup>hi,B</sup>	45.00±4.24 <sup>bcd,B</sup>
	7.5	170.00±00.00 <sup>fgh,B</sup>	48.50±2.12 <sup>cde,B</sup>
	10	232.5±10.61 <sup>def,A</sup>	49.50±0.70 <sup>bc,A</sup>

ÜSSEL BÜYÜK HARFLER: Her bir hidrokolloide ait farklı harflendirmeler hidrokolloid kullanım düzeyi arasındaki önemli farklılığı göstermektedir ( $p<0.05$ ). ÜSSEL KÜÇÜK HARFLER: Tüm hidrokolloidler arasındaki farklı harflendirmeler önemli farklılığı göstermektedir ( $p<0.05$ ).



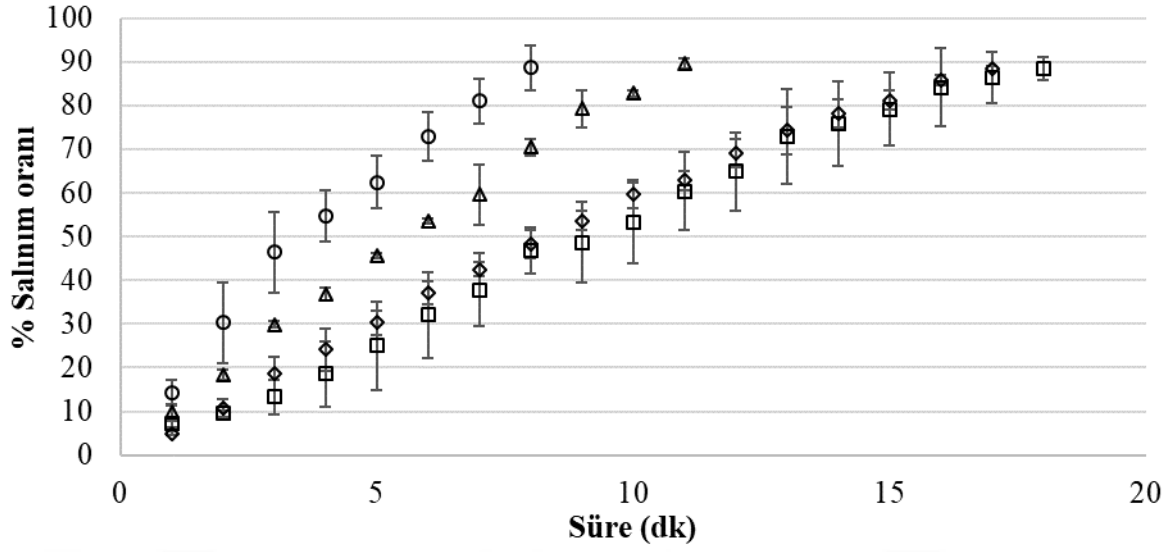




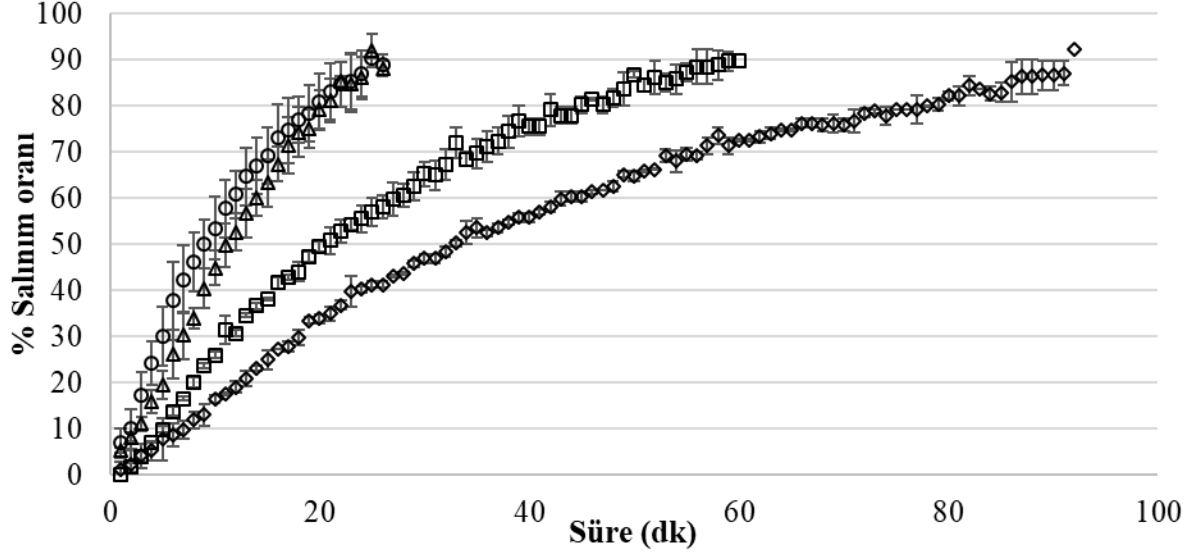
Şekil 3.1. Ortam1’de model jellerden salınan şeker diyagramı 1) 160 bloom jelatin, 2) 200 bloom jelatin, 3) 250 bloom jelatin; 4) DM pektin; 5) MM nişasta (○: %6; △: %8; □: %10; ◇: %12) (○: %1; △: %1.7; □: %2.4; ◇: %3.1) (○: %2.5; △: %5; □: %7.5; ◇: %10)

Farklı konsantrasyonlardaki şekerli model jel örneklerin Ortam2’de gerçekleşen şeker salınım eğrileri Şekil 3.2’de verilmiştir.

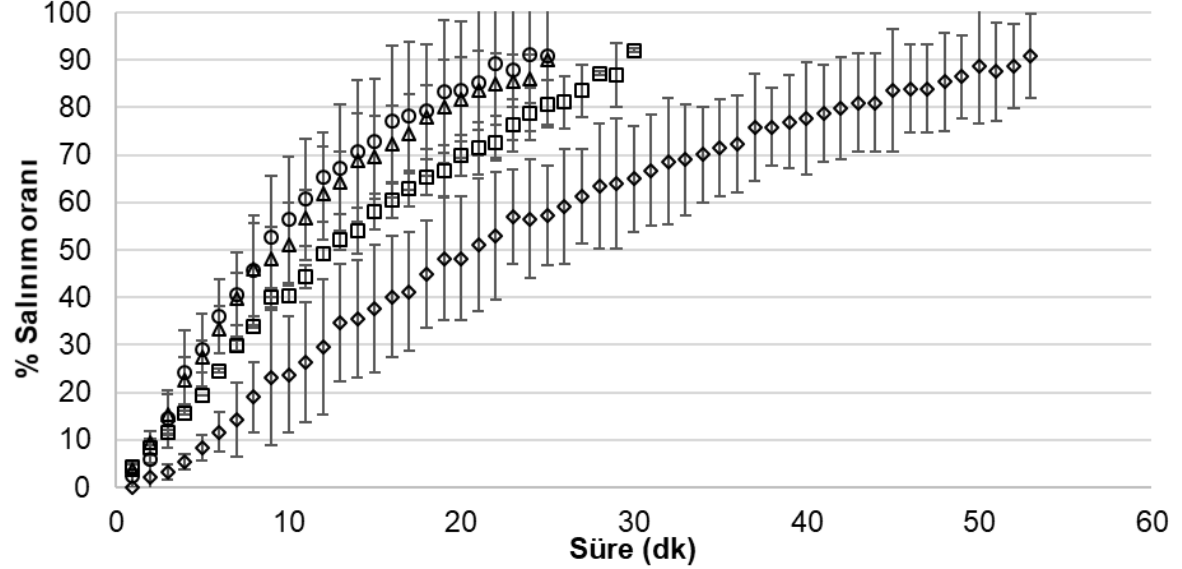
1.

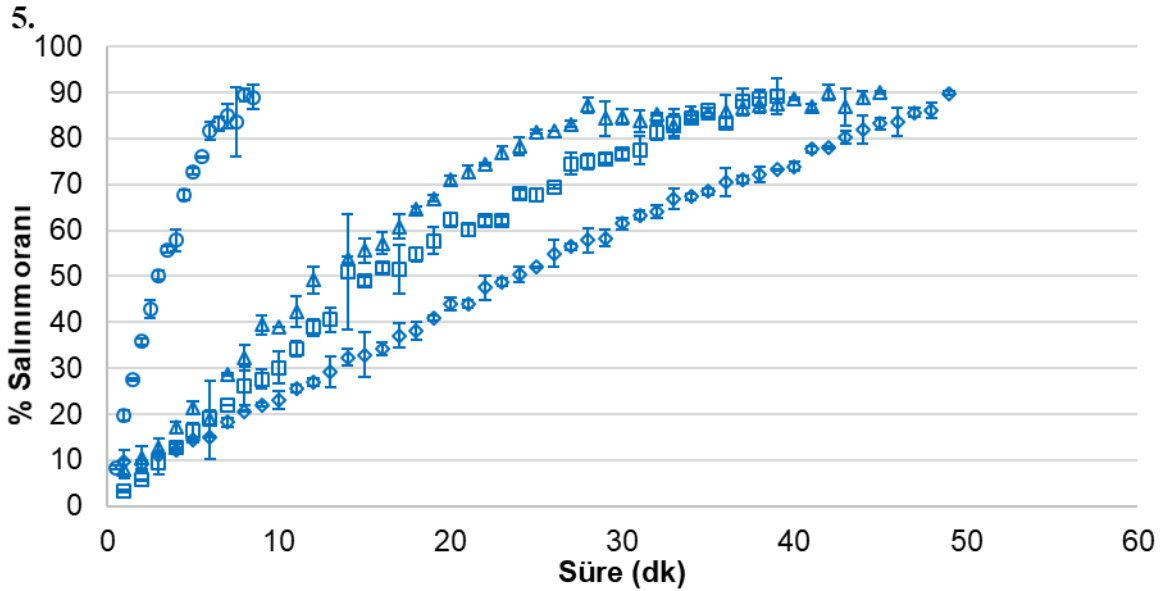
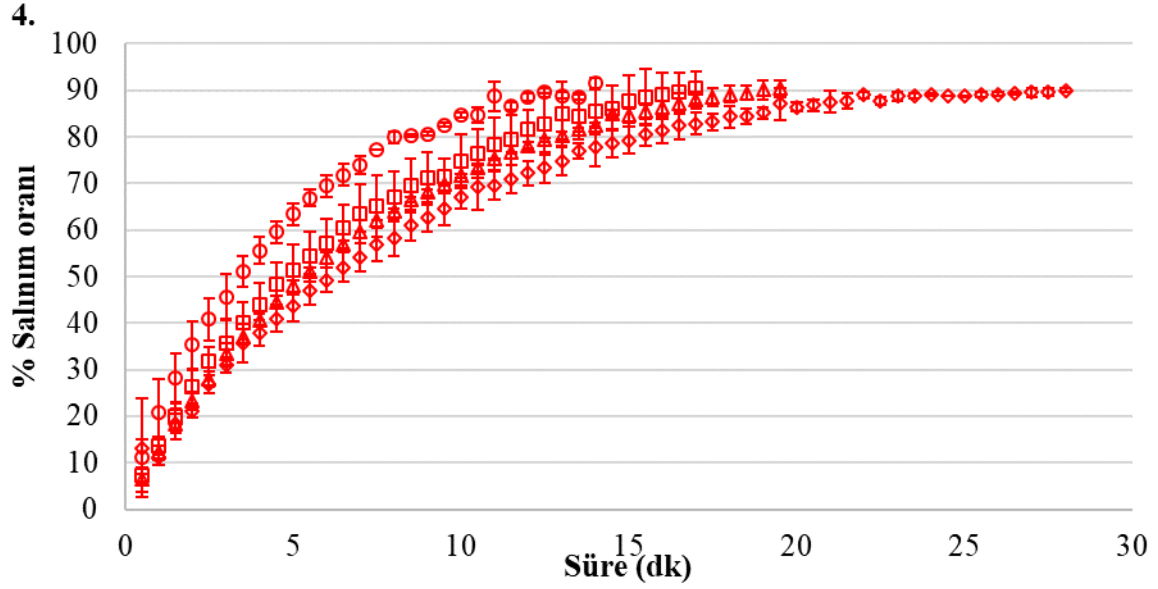


2.



3.





Şekil 3.2. Ortam 2’de model jellerden salınan şeker diyagramı 1) 160 bloom jelatin, 2) 200 bloom jelatin, 3) 250 bloom jelatin; 4) DM pektin; 5) MM nişasta (○: %6; △: %8; □: %10; ◇: %12) (○: %1; △: %1.7; □: %2.4; ◇: %3.1) (○: %2.5; △: %5; □: %7.5; ◇: %10)

Çizelge 3.1’de verilen şeker salınım süreleri ve Şekil 3.1; 3.2’de verilen salınım eğrileri incelendiğinde;

-Ortam2’de gerçekleşen salınım Ortam1’deki salınım süresinden çok daha kısa olduğu belirlenmiştir ( $p < 0.05$ ). Bunun nedeni, ortam2’de örneklerde parçalanma işlemi ile yüzey alanı artışının kütle transfer hızını arttırmasıdır (Harrison ve Hills, 1997; Lopez-Sanchez vd., 2018). Ayrıca zorlamalı konveksiyonel kütle transferi oluşumu da şeker salınımını hızlandırmıştır.

**-160 bloom jelatinli jel** örneklerinin dört farklı konsantrasyonda salınım süreleri ortam1’de  $72.50 \pm 10.61$  ve  $240.00 \pm 0.00$  dakika arasında iken ortam2’de  $8.50 \pm 0.07$  ve

18.00±2.83 dakika arasında tespit edilmiştir. Ortam1'de %6 içeren jelatinli jelden şekerin %90'nın salınımı %12 jelatinli jellerden en az 3 kat daha kısa sürede gerçekleşirken, ortam2'de bu oran yaklaşık 2 kat olarak belirlenmiştir. Ortam1'de ve ortam2'de salınımına ait veriler önemli farklılıklar gözlenmiştir ( $p<0.05$ ). Ortam1'de %8 ile %10 jelatinli jeller benzerken, ortam2'de %10-12 ve %6-8 jelatinli jeller arasında önemli fark tespit edilmemiştir ( $p>0.05$ ).

**-200 bloom jelatinli jel** örneklerinde en düşük hidrokolloid düzeyi olan %6 salınım süresi 290.00±0.00 dakikadır ve ortam1'de en kısa salınım süresine sahiptir. Ortam2'de de %6'lı jelatinli örnek 23.50±0.71 dakikayla %8 li jelatinli örnek beraber en kısa salınım süresine sahiptir. Ortam1 ve ortam2 incelendiğinde hidrokolloid kullanım düzeyi arttıkça salınım sürelerindeki artış oranının ortam2'de daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Örneğin; ortam1'de %6 jelatinli jeller 290.00±0.00 dakika, %10 jelatinli jeller ise 432.50±31.82 dakikadır ve aralarında süre farkı 2 kattan daha az iken ortam2'de bu oran 2'den fazladır. Ayrıca, ortam1'de benzer süreye sahip olan %10 ve %12 oranında hazırlanan jelatinli jeller, ortam2'de salınım sürelerinde önemli farklılık tespit edilmiştir ( $p<0.05$ ).

**-250 bloom jelatinli jel** örneklerinde ortam farklılığının etkisi daha fazla görülmüştür. Ortam2'de hidrokolloid kullanım miktar farklılığı salınım süreleri üzerine etkili değilken, ortam1'de %8 ve %10 düzeyde hazırlanan jelatinli jellerin salınım süreleri birbirine benzer ( $p>0.05$ ) bulunmuş ve hidrokolloid kullanım miktarının artışı sürenin artışına sebep olmuştur ( $p<0.05$ ).

Farklı bloomlardaki jelatinli jellerin salınımları incelendiğinde; Ortam1'de 3 farklı bloomda da (160, 200 ve 250 bloom jelatin) %8 ve %10 (g/g) jelatin içeren örneklerin salınım süreleri benzerlik göstermektedir. En düşük salınım süresine %6 8g/g) jelatinli örnek sahip iken, hidrokolloid kullanım düzeyi artışı salınım süresinin artışına sebep olarak en uzun süre %12 jelatin içeren jellerde görülmüştür. 160 bloom jelatin örneklerinin en uzun salınım süresine sahip olan %12 jelatin içeren örneği 240.00±0.00 dakikaya sahip iken, 200 ve 250 bloom jelatin örneklerinde sırasıyla 510.00±14.14 ve 517.50±3.54 dakikasına sahiptir. 160 bloom jelatin örnekleri en uzun salınım süresine sahip olan %12'lik örneği ile 200 ve 250 bloom jelatin örneklerinin en düşük konsantrasyonlu %6'lık örneklerinde salınım süreleri benzerlik göstermektedir ( $p>0.05$ ). Ayrıca, 160 bloom jelatin örnekleri diğer bloom jelatin örneklerine göre salınım eğrisi daha lineer olduğu belirlenmiştir. 160 bloom jelatin ile 200 ve 250 bloom jelatin örnekleri arasında salınım sürelerinde farklılıklar tespit edilirken ( $p<0.05$ ), 200 ve 250 bloom jelatin örnekleri arasında %10 (g/g) jelatinli hariç diğer örneklerle benzerlikler

belirlenmiştir. Sonuç olarak, 160 bloom jelatin örnekleri daha kısa sürede şekerin %90'nını salabilirken 200 ve 250 bloom jelatin örnekleri daha uzun sürede salabilmekte ve birbirlerine benzer özellikte davranış göstermektedir. Ortam 2'de ise, ortam 1'dekinin aksine 160 bloom jelatinli jeller, 200 ve 250 bloom jelatinli jellerle farklılıklara değil benzerliklere sahiptir. Ortam 2'de 250 bloom jelatinin 4 farklı hidrokolloid kullanım miktarı, 160 ve 200 bloom jelatin örneklerin %6-8 içeren örneklerinde benzerlik göstermektedir ( $p>0.05$ ). Benzerlikler olmasına rağmen, ortam1'deki gibi ortam2'de de en kısa salınım süresine 160 bloom jelatinli örnekler sahiptir. 200 ve 250 bloom jelatinli jellerin %12 jelatin içeren örnekleri en yüksek salınım süresine ortam1'de sahip iken, ortam2'de ise sadece 200 bloom jelatinli jel en uzun sürede salınım gerçekleştirmiştir. Ortam2'de ürününün parçalanmasıyla artan yüzey alan artışı şeker difüzyonunu arttırmaktadır. Ürünün parçalanarak salınım hız artışı 250 bloom jelatin örnekleri, 200 bloom jelatin örneklerinden daha fazla gözlenmiştir.

-Jelatinli örneklerden zamanla salınan şeker miktarının farklı olması kullanılan jelleştirici ajanının jelleşme oranının farklı olmasından kaynaklandığını söylemek mümkündür. Jelatin örneklerin bloom değeri başka bir ifadeyle jelleşme gücü bloom değeri arttıkça artmaktadır (Burey vd., 2009). Bu tez çalışmasında da bloom değeri arttıkça daha sıkı bir yapı oluşmakta ve şeker salınımının daha yavaş gerçekleştiği tespit edilmiştir. 160 bloom jelatin örnekleriyle 200 bloom jelatin örnekleri arasında bloom oranında farklılıklar gözlemlenirken, bu farklılık 200 ve 250 bloom jelatinli örneklerde daha az tespit edilmiştir.

-**DM pektin örneklerinin** salınım süreleri ortam 1'de  $45.00\pm 0.00-65.00\pm 8.40$  dk iken, ortam2'de  $14.00\pm 0.00-28.00\pm 1.41$  dakika arasındadır. Her iki salınım ortamında da en düşük ve en yüksek salınım süresi %1 ve %3.1 DM pektin arasında görülmektedir ( $p<0.05$ ). DM pektin, farklı bloom jelatin ve MM nişastadan üretilen jellerin şeker salınım eğrilerinden farklı olup daha logaritmik bir eğriye sahiptir. DM pektinin ortam1'deki salınım süresi diğer 2 farklı hidrokolloid ürünlerine göre en düşük ( $p<0.05$ ) olmasına rağmen ortam2 için benzerlik bulunmaktadır.

-**MM nişasta örnekleri** hidrokolloid kullanım düzeyi arttıkça salınım süreleri artış gösterirken, ortam1 ve 2'de %5 ve %7.5li nişasta örnekleri arasında benzerlik tespit edilmiştir. Ortam1 için MM nişasta örnekleri en düşükten en yükseğe kullanılan hidrokolloid miktarına göre sırasıyla 160 bloom jelatin örnekleriyle benzerlik görülmektedir. Ortam2 için sadece bu durum en düşük hidrokolloid miktarı olan %6 (g/g) 160 bloom jelatin ve %2.5 (g/g) MM nişasta arasında benzerlik bulunmaktadır ( $p>0.05$ ).

Sonuç olarak, aynı hidrokolloidten üretilen model jellerin şeker salınımları ortam farklılığından etkilenmektedir. Jelatin örneklerinde kullanılan bloom farklılığı salınım üzerine etkili olurken 200 ve 250 bloom jelatin örnekleri özellikle ortam1’ de benzerlik gösterdiği tespit edilmiştir. Hidrokolloidlerin kendi içlerinde salınım eğrileri her iki ortamda da birbirine genel olarak benzerlik göstermektedir. Farklı hidrokolloidler farklı salınım hızlarında ve sürelerinde, farklı salınım diagramlarına sahip olabileceği gözlemlenmiştir. Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde; Mills vd. (2011) %6, %8 ve %10 oranında 250 bloom jelatinden üretilen tuzlu model jel örneklerinin %90 tuz salınım sürelerini 180 dakika olduğunu belirtmiştir. Model jellerdeki salınan materyalin tuz veya şeker olması salınım hızlarında, salınım diagramlarında ve sürelerinde farklılık olabileceği görülmüştür. Hansson, Giannouli ve van Ruth (2003) 3 farklı oranlarda (%1.5, 1.85 ve 2) yüksek metoksilli pektinden ürettiği jellerin aroma salınımlarınının genel olarak jel yapısına bağlı olduğunu rapor etmişlerdir.

Hidrokolloid örneklerindeki jelleştirici ajan miktarındaki artış şeker salınım hızını yavaşlatmaktadır. Ortam2 de gerçekleşen salınım ortam1 dekinden daha hızlı gerçekleşmiştir. Wang, Yang, Brenner, Kikuzaki, ve Nishinari (2014) agar örnekleriyle yaptığı çalışmada da benzer sonuç elde etmiştir. Hidrokolloidlerden şeker ya da başka biyoaktif moleküllerin salınımı karmaşık bir süreçtir. Bu durum üç koşulda incelenebilir. İlk olarak, hidrokolloid jelleri esas olarak sudan oluşmaktadır ve hidrokolloide bağlı olarak farklı sinerisis oranları gözlenebilmektedir. Sakkaroz suda çözüldüğünden jeller deformasyona/ kırılmaya bile maruz kalmadan serbest kalabilir (ortam1). İkincisi, jellerdeki kırılmalar/parçalanmalar (ortam 2) belirli miktarda bağlı sakkaroz moleküllerini serbest bıraktığından daha hızlı salınım görülmektedir. Üçüncüsü, salınacak biyoaktif bileşenin jel ağının ağ boyutundan küçük olup olmaması önemli bir etkidir. Sakkaroz ağ boyutundan küçük olduğu için bu durum ihmal edilebilir (Wang vd., 2014). Salınan polimerin ağ boyutundan büyük veya küçük olmasının salınım üzerine etkisini, literatürde düşük molekül ağırlıklı sakkaroz ve molekül ağırlığı yüksek olan maltodekstrin ile kıyaslama yapılmıştır. Yapılan çalışmada sakkarozun gellan gum ağ boyutundan küçük olduğu ve maltodekstrinden daha hızlı salındığı rapor edilmiştir (Kanyuck vd., 2022). Ayrıca, dikkate alınması gereken önemli husus, kırılma sırasında açığa çıkan jel yüzey alanının artışıdır. Ortam2 de gerçekleşen yüzey alanının artışı, sakkaroz difüzyon hızı ile doğrudan alakalıdır .

Hidrokolloid çeşitliliği şeker salınım eğrileri üzerinde farklılık göstermektedir (Kanyuck vd., 2022; Boland, Delahunty ve van Ruth, 2006; Bayarri vd., 2001). Bu çalışmada

incelenen jelatin örneklerine ait salınım literatürdeki bazı çalışmalarla benzerlik gösterirken (Kanyuck vd., 2022), şeker yerine başka biyoaktif maddenin ayrılmasında daha farklı bir eğri elde edilmektedir (Milss vd., 2011).

Bu çalışmada ortam1 ağızda emilen şekerli ürünleri temsil ederken, ortam2 ise ağızda çiğnenen şekerli ürünleri temsil etmektedir. Genel olarak, ortam2'de ağızda çiğnenen özellikteki şekerli ürünlerde (sakız, toffee, jelly vb.) tüketim sürelerine göre hidrokolloid ve hidrokolloid kullanım miktarı seçimi için bu çalışma ile elde edilen bulgulardan yararlanılabilir. Sakız gibi ağızda 15-30 dakika kalan bir üründe şekerin %90'ının hemen salınması istenmemekte ve çiğnenme esnasında sürekli şeker tadı almak istenilmektedir. Bu nedenle, yavaş salınımın istendiği ürünlerde 15 ile 30 dakika arasında %90 şekerli olan 160 bloom jelatinin %10 ve %12 (g/g) konsantrasyonları, 200 ve 250 bloom jelatin örneklerin %6 ve %8 (g/g) oranları ve DM pektinin %1 ile 3.1 (g/g) konsantrasyonları kullanılabilir. Kalorisi düşürülüp tat algısı bozulması istenmeyen ürünlerde 160 bloom jelatin örneklerin %6 ve %8 (g/g) ile MM nişastasının %2.5 (g/g) içeren oranı tercih edilebilir.

### 3.2 Tekstür Özellikleri

Tüketim tercihinde, başlıca kalite kriteri arasında ürünlerin tekstürel özellikleri (sertlik, çiğnenebilirlik vs.) yer aldığından (Da Silva vd., 2016) tez kapsamında jellerin tekstür analizi gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, ağızda jellerdeki şekerin salınımını etkileyen parametreleri belirleyebilmek için tekstür analizi verileri önemlidir (Burey vd., 2009). Literatürde yer alan şekerleme çalışmalarında, sertlik (hardness) (N), adesif yapışkanlığı (adhesiveness) (N.s), elastikiyet (springiness) (mm), yapışkanlık (cohesiveness) (birimsiz), çiğnenebilirlik (chewiness) (N), esneklik (resilience) dikkate alınmaktadır (Delgado ve Banon, 2018; Figiel ve Tajner-Czopek, 2006; Marfil, Anhe ve Tellis 2012).

Farklı hidrokolloidlerin farklı kullanım düzeyleri kullanılarak elde edilen şekerli model jellerin tekstürel özellikleri Çizelge 3.2'de verilmiştir.

160 bloom jelatinden elde edilen jellerin sertlik değerleri  $56.22 \pm 8.05$  ile  $18.55 \pm 4.00$  N arasında olup, hidrokolloid konsantrasyonu arttıkça sertlik değeri önemli farklılıkla arttığı tespit edilmiştir. Hidrokolloid konsantrasyon farklılığı sertlik üzerinde etkili iken, adesif yapışkanlık, yapışkanlık, çiğnenebilirlik ve elastikiyet üzerinde etkisi tespit edilememiştir. 200 bloom jelatinden elde edilen jellerde hidrokolloid kullanım oranındaki artışı sertlik değerinin artışı üzerinde etkili iken %10 ve %12 oranlarında benzerlik görülmüştür. Adesif yapışkanlık,

yapışkanlık ve elastikiyet özelliği konsantrasyon değişiminden etkilenmemiştir. Çiğnenebilirlik değerleri, %10 ve %12 değerlerinde benzerlik gösterirken, konsantrasyon artışı değerlerin artışını sebep olmaktadır. 250 bloom jelatinden elde edilen jellerin konsantrasyon farklılığının elastikiyet, yapışkanlık değerleri üzerinde etkisi olmadığı tespit edilmiştir. Hidrokolloid kullanım oranı arttıkça sertlik, adesif yapışkanlık, esneklik özelliklerinde artış gözlenmiştir. Jelatin jelly tipi yumuşak şekerleme ürünlerinde hidrokolloid konsantrasyonu sertlik değeri üzerinde etkili olduğu rapor edilmiştir (Demircan, Palabiyik ve Demirci, 2019). Demircan vd., (2019) yaptıkları çalışmada inülin (%0-%65), şeker (%0-%65) ve jelatin oranlarının (%35-%70) tekstür ve duyusal analiz üzerine nasıl etki edeceği üzerine bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Ayrıca, jelly örneklerinde örneklerine aroma (%0,12), renklendirici (%0,15) ve asit (%1,6) katmışlardır. Jelatin oranı arttıkça sertlik oranının arttığı ve adeziv yapışkanlığın azaldığını tespit etmişlerdir. Başka çalışmalarda da üretilen jelatinli jellerde konsantrasyon artışının sertliğin artışına sebep olduğu bildirilmiştir (Jiamjariyatam 2017; Mutlu, Tontul ve Erbaş 2018).



Çizelge 3.2. Model jellerin tekstürel özellikleri

Hidrokolloid çeşidi	Kullanım miktarı (% <sub>0</sub> , g/g)	Sertlik (N)	Adezif Yapışkanlık (g.s)	Elastikiyet (%)	Yapışkanlık	Çıgnenebilirlik (N)	Esneklik
<b>Jelatin (160 bloom)</b>	6	18.55±4.00 <sup>g,D</sup>	-*	1.75±0.65 <sup>a,A</sup>	0.71±0.11 <sup>bcd,A</sup>	24.78±16.53 <sup>bcdefg,B</sup>	0.75±0.11 <sup>a,AB</sup>
	8	30.91±3.69 <sup>f,C</sup>	-*	1.03±0.15 <sup>abc,A</sup>	0.64±0.05 <sup>cd,A</sup>	20.30±5.10 <sup>defg,B</sup>	0.75±0.03 <sup>a,AB</sup>
	10	45.41±7.60 <sup>bcd,B</sup>	-*	1.15±0.59 <sup>abc,A</sup>	0.75±0.05 <sup>b,A</sup>	39.16±13.83 <sup>abcde,A</sup>	0.80±0.05 <sup>a,A</sup>
	12	56.22±8.05 <sup>a,A</sup>	-*	1.03±0.05 <sup>abc,A</sup>	0.70±0.01 <sup>bcd,A</sup>	33.62±11.07 <sup>bcde,AB</sup>	0.61±0.19 <sup>b,B</sup>
<b>Jelatin (200 bloom)</b>	6	32.83±0.96 <sup>ef,C</sup>	-57.31±11.37 <sup>abc,A</sup>	0.99±0.00 <sup>abc,A</sup>	0.91±0.01 <sup>a,A</sup>	29.41±1.08 <sup>bcdef,C</sup>	0.78±0.01 <sup>a,A</sup>
	8	42.14±4.40 <sup>cde,B</sup>	-25.79±15.89 <sup>bcd,A</sup>	0.97±0.02 <sup>abc,A</sup>	0.90±0.01 <sup>a,A</sup>	36.27±4.12 <sup>abcde,B</sup>	0.77±0.01 <sup>a,A</sup>
	10	56.26±4.00 <sup>a,A</sup>	-39.59±16.63 <sup>abcd,A</sup>	0.97±0.02 <sup>abc,A</sup>	0.89±0.01 <sup>a,A</sup>	48.92±3.68 <sup>abc,A</sup>	0.74±0.01 <sup>a,B</sup>
	12	56.17±4.33 <sup>a,A</sup>	-62.17±15.50 <sup>ab,A</sup>	0.98±0.01 <sup>abc,A</sup>	0.93±0.01 <sup>a,A</sup>	51.40±3.37 <sup>ab,A</sup>	0.79±0.02 <sup>a,A</sup>
<b>Jelatin (250 bloom)</b>	6	32.58±1.94 <sup>ef,C</sup>	-16.36±8.56 <sup>bcd,B</sup>	0.97±0.02 <sup>abc,A</sup>	0.89±0.01 <sup>a,A</sup>	28.13±2.05 <sup>bcdefg,C</sup>	0.72±0.02 <sup>a,B</sup>
	8	37.33±3.79 <sup>def,C</sup>	-21.40±3.91 <sup>bcd,AB</sup>	1.18±0.60 <sup>abc,A</sup>	0.90±0.01 <sup>a,A</sup>	39.11±7.85 <sup>abcde,B</sup>	0.72±0.02 <sup>a,AB</sup>
	10	48.20±4.78 <sup>abc,B</sup>	-20.58±7.94 <sup>bcd,AB</sup>	1.27±0.75 <sup>abc,A</sup>	0.89±0.01 <sup>a,A</sup>	53.37±7.63 <sup>ab,A</sup>	0.75±0.03 <sup>a,A</sup>
	12	54.89±5.36 <sup>ab,A</sup>	-30.54±13.59 <sup>abcd,A</sup>	1.25±0.84 <sup>abc,A</sup>	0.90±0.02 <sup>a,A</sup>	62.60±11.22 <sup>a,A</sup>	0.74±0.02 <sup>a,AB</sup>
<b>DM pektin</b>	1	40.05±2.303 <sup>cdef,B</sup>	-41.99±14.3 <sup>abcd,AB</sup>	0.87±0.07 <sup>bc,A</sup>	0.46±0.02 <sup>fg,A</sup>	15.95±1.81 <sup>efg,A</sup>	0.21±0.01 <sup>de,A</sup>
	1.7	58.23±5.20 <sup>a,A</sup>	-10.05±9.68 <sup>cd,B</sup>	0.80±0.05 <sup>bc,AB</sup>	0.44±0.09 <sup>fg,AB</sup>	20.99±7.01 <sup>cdefg,A</sup>	0.21±0.05 <sup>de,A</sup>
	2.4	55.72±9.95 <sup>a,A</sup>	-78.15±19.80 <sup>a,A</sup>	0.74±0.09 <sup>bc,BC</sup>	0.37±0.07 <sup>g,B</sup>	15.49±5.49 <sup>efg,A</sup>	0.16±0.04 <sup>e,B</sup>
	3.1	53.06±9.83 <sup>ab,A</sup>	-26.61±16.94 <sup>bcd,B</sup>	0.68±0.08 <sup>c,C</sup>	0.42±0.07 <sup>fg,AB</sup>	14.88±3.33 <sup>efg,A</sup>	0.17±0.03 <sup>e,AB</sup>
<b>MM nişasta</b>	2.5	1.75±0.50 <sup>h,B</sup>	-0.58±0.43 <sup>d,A</sup>	0.65±0.12 <sup>c,B</sup>	0.52±0.07 <sup>ef,B</sup>	0.64±0.31 <sup>g,C</sup>	0.16±0.02 <sup>e,B</sup>
	5	3.80±0.72 <sup>g,B</sup>	-0.45±0.00 <sup>d,A</sup>	0.95±0.04 <sup>abc,A</sup>	0.75±0.06 <sup>bc,A</sup>	2.67±0.38 <sup>fg,B</sup>	0.34±0.02 <sup>c,A</sup>
	7.5	6.96±3.17 <sup>gh,A</sup>	-0.53±0.20 <sup>d,A</sup>	0.88±0.06 <sup>c,A</sup>	0.61±0.11 <sup>de,AB</sup>	3.73±0.54 <sup>fg,A</sup>	0.30±0.06 <sup>cde,A</sup>
	10	7.79±1.93 <sup>g,A</sup>	-0.18±0.14 <sup>d,A</sup>	0.91±0.07 <sup>abc,A</sup>	0.74±0.11 <sup>bc,A</sup>	5.29±0.87 <sup>fg,A</sup>	0.33±0.11 <sup>cd,A</sup>

USSEL BÜYÜK HARFLER: Her bir hidrokolloide ait farklı harflendirmeler hidrokolloid kullanım düzeyi arasındaki önemli farklılığı göstermektedir ( $p < 0.05$ ). USSEL KÜÇÜK HARFLER: Tüm hidrokolloidler arasındaki farklı harflendirmeler önemli farklılığı göstermektedir ( $p < 0.05$ ).

%2.4 ile %3.1 oranlarında DM pektinden elde edilen jellerde adesif yapışkanlık ve elastikiyet dışında diğer tekstürel özellikler benzerlik göstermiştir. %1 ve %1.7 düzeyinde hidrokolloid kullanımı jellerde ise sertlik özelliği hariç diğer tekstürel özellikler benzerlik göstermektedir. Genel olarak konsantrasyon artışı, sertlik değerinin artışına sebep olurken, esneklik değerinde önemli düşüşe sebep olmuştur.

Modifiye mısır nişastadan elde edilen jellerde %7.5 ile %10 düzeyinde bu hidrokolloid kullanımı jellerde tekstürel özelliklerde önemli değişime neden olmamıştır. Konsantrasyon artışı adesif yapışkanlık değeri üzerinde etkisi tespit edilmemiştir ( $p<0.05$ ).

Sertlik değeri, aynı konsantrasyonlardaki 200 bloom ve 250 bloom jelatin kullanılarak elde edilen jellerde benzerlik göstermiştir. En düşük sertlik oranı MM nişastadan elde edilen jellerde görülmüştür. Yapışkanlık değerlerinde, %2.4 oranlı DM pektin hariç diğer farklı hidrokolloidlerden elde edilen farklı konsantrasyonlardaki şekerli model jellerde benzerlik tespit edilmiştir. Elastikiyet değeri farklı hidrokolloidlerde 0.65 ile 1.75 arasında olup, %6 oranlı 160 bloom jelatinden elde edilen jellerde hariç, diğer model jellerin elastikiyet değeri benzerdir ( $p<0.05$ ). 200 ve 250 bloom jelatinli jellerde yapışkanlık değeri benzerlik göstermekte ve MM nişasta, DM pektin ve 160 bloom jelatin örneklerinden daha yüksek değer tespit edilmiştir. Esneklik değerleri farklı bloomlarda benzerlik göstermekte (%12 160 bloom hariç) olup en düşük değere DM pektin ile %2.5-7.5 oranlarındaki MM nişasta örneklerinde ulaşmıştır.

Ağızda tat algısı ve çiğneme hızı ile çiğneme şekli jellerin tekstürel özellikleri ile ilişkilidir (Nishianari ve Fang, 2016). Model jellerden şeker salınımı ile tekstürel özellikleri arasındaki bağlantı incelendiğinde;

Ortam 1'de gerçekleştirilen salınım işleminde sadece karıştırma eylemi olup herhangi bir dış kuvvet uygulanmadığı için ortam2'deki salınım süresinden daha uzun bir salınımına sahip olduğu tespit edilmiştir. Farklı jelleştirme ajanı kullanılan örneklerde hidrokolloid konsantrasyon artışı salınım süresinin artışına sebep olmaktadır (özellikle en düşük ve en yüksek konsantrasyonlu örneklerde). Bunun nedeni; hidrokolloidlerden elde edilen jellerde genel olarak hidrokolloid konsantrasyonu arttıkça sertlik değeri artmaktadır. Bununla paralel olarak salınım sürelerinin uzun olduğunu söylemek mümkündür. Tez çalışmasında, kuvvet uygulanmadan gerçekleştirilen şeker salınımı ürünlerin sertliğinden etkilendiği tespit edilmiştir. Daha önceki bazı çalışmalarda da sertliğin salınım üzerinde etkisi olduğu

belirlenmiştir (Clarck, 2002; Nishinari ve Fang, 2016; Wang vd., 2014). Ayrıca duyu analizlerde sertlik değerinin, tat alma duyunu etkilediği ve sertlik oranı arttıkça alınan şeker tadının azaldığı belirlenmiştir (Demircan vd., 2019). Bu çalışmada benzer bulgular salınım davranışlarının incelenmesi sonucu tespit edilmiş olup, %90 şekerin salınımı için ihtiyaç olan sürenin uzun olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 3.3. Model jel ürünlerindeki şekerin salınım süreleri, sertlik ve yapışkanlık değerleri

Hidrokolloid çeşidi	Kullanım miktarı (% g/g)	Salınım süresi Ortam 1 (dk)	Ortam 2	Sertlik (N)	Yapışkanlık (Cohesiveness)
<b>Jelatin (160 bloom)</b>	6	72.50±10.61 <sup>ij,C</sup>	8.50±0.07 <sup>h,B</sup>	18.55±4.00 <sup>g,D</sup>	0.71±0.11 <sup>bcd,A</sup>
	8	162.50±17.68 <sup>gh,B</sup>	11.00±0.00 <sup>gh,B</sup>	30.91±3.69 <sup>f,C</sup>	0.64±0.05 <sup>cd,A</sup>
	10	195.00±21.21 <sup>efg,AB</sup>	18.00±2.83 <sup>fgh,A</sup>	45.41±7.60 <sup>bcd,B</sup>	0.75±0.05 <sup>b,A</sup>
	12	240.00±0.00 <sup>de,A</sup>	17.00±0.00 <sup>fgh,A</sup>	56.22±8.05 <sup>a,A</sup>	0.70±0.01 <sup>bcd,A</sup>
<b>Jelatin (200 bloom)</b>	6	290.00±0.00 <sup>d,C</sup>	23.50±0.71 <sup>efgh,C</sup>	32.83±0.96 <sup>ef,C</sup>	0.91±0.01 <sup>a,B</sup>
	8	400.00±42.43 <sup>bc,B</sup>	26.00±4.24 <sup>efgh,C</sup>	42.14±4.40 <sup>cde,B</sup>	0.90±0.01 <sup>a,B</sup>
	10	432.50±31.82 <sup>b,AB</sup>	59.00±4.24 <sup>b,B</sup>	56.26±4.00 <sup>a,A</sup>	0.89±0.01 <sup>a,B</sup>
	12	510.00±14.14 <sup>a,A</sup>	92.00±5.66 <sup>a,A</sup>	56.17±4.33 <sup>a,A</sup>	0.93±0.01 <sup>a,A</sup>
<b>Jelatin (250 bloom)</b>	6	282.50±10.61 <sup>d,C</sup>	25.00±9.90 <sup>efgh,B</sup>	32.58±1.94 <sup>ef,C</sup>	0.89±0.01 <sup>a,A</sup>
	8	372.50±3.54 <sup>bc,B</sup>	25.50±6.36 <sup>efgh,B</sup>	37.33±3.79 <sup>def,C</sup>	0.90±0.01 <sup>a,A</sup>
	10	357.50±24.75 <sup>c,B</sup>	29.50±0.71 <sup>def,B</sup>	48.20±4.78 <sup>abc,B</sup>	0.89±0.01 <sup>a,A</sup>
	12	517.50±3.54 <sup>a,A</sup>	51.50±10.61 <sup>bc,A</sup>	54.89±5.36 <sup>ab,A</sup>	0.90±0.02 <sup>a,A</sup>
<b>DM pektin</b>	1	45.00±0.00 <sup>j,C</sup>	14.00±0.00 <sup>fgh,B</sup>	40.05±2.303 <sup>cdef,B</sup>	0.46±0.02 <sup>fg,A</sup>
	1.7	51.50±4.95 <sup>j,B</sup>	19.50±3.54 <sup>fgh,AB</sup>	58.23±5.20 <sup>a,A</sup>	0.44±0.09 <sup>fg,AB</sup>
	2.4	59.00±5.66 <sup>i,AB</sup>	17.00±3.54 <sup>fgh,B</sup>	55.72±9.95 <sup>a,A</sup>	0.37±0.07 <sup>g,B</sup>
	3.1	65.00±8.40 <sup>i,A</sup>	28.00±1.41 <sup>defg,A</sup>	53.06±9.83 <sup>ab,A</sup>	0.42±0.07 <sup>fg,AB</sup>
	2.5	68.00±5.66 <sup>ij,C</sup>	8.50±1.41 <sup>h,C</sup>	1.75±0.50 <sup>h,B</sup>	0.52±0.07 <sup>ef,B</sup>
<b>MM nişastası</b>	5	125.00±21.21 <sup>hi,B</sup>	45.00±4.24 <sup>bcd,B</sup>	3.80±0.72 <sup>g,B</sup>	0.75±0.06 <sup>bc,A</sup>
	7.5	170.00±00.00 <sup>fgh,B</sup>	48.50±2.12 <sup>cde,B</sup>	6.96±3.17 <sup>gh,A</sup>	0.61±0.11 <sup>de,AB</sup>
	10	232.5±10.61 <sup>def,A</sup>	49.50±0.70 <sup>bc,A</sup>	7.79±1.93 <sup>g,A</sup>	0.74±0.11 <sup>bc,A</sup>

ÜSSEL BÜYÜK HARFLER: Her bir hidrokolloide ait farklı harflendirmeler hidrokolloid kullanım düzeyi arasındaki önemli farklılığı göstermektedir ( $p<0.05$ ). ÜSSEL KÜÇÜK HARFLER; Tüm hidrokolloidler arasındaki farklı harflendirmeler önemli farklılığı göstermektedir ( $p<0.05$ ).

Tekstür özellikleri ve şeker salınım süreleri göz önüne alındığında, jelatin ve MM nişasta ile hazırlanan jellerde sertlik değeri arttıkça 1. ve 2. koşullarda elde edilen salınım süreleri arasında çok yüksek ve pozitif bir korelasyon tespit edilmiştir. Örneğin, ortam 1' de 160, 200 ve 250 bloom jelatin ile hazırlanan örneklerde jelatin kullanım oranına bağlı olarak elde

edilen sertlik değerleri ile salınım süreleri arasındaki korelasyon katsayıları  $r = 0.973^*$ ,  $0.915^*$  ve  $0.861$  ( $*p < 0.05$  olmuştur, 1-kuyruklu), ortam 2' de ise sırasıyla  $r = 0.931^*$ ,  $0.866$  ve  $0.856$  ( $*p < 0.05$ , 1-kuyruklu). Öte yandan, MM nişasta ile hazırlanan örneklerde, 1. ve 2. ortamlar için korelasyon katsayıları sırasıyla  $r = 0.966^*$  ve  $0.846$  olarak bulunmuştur ( $*p < 0.05$ , 1-kuyruklu). Ancak DM pektin numunelerinde konsantrasyona bağlı sertlik değerleri ile şeker salınım süreleri arasında anlamlı bir ilişki tespit edilememiştir. Tüm bu sonuçlara göre hidrokolloid tipi, konsantrasyonu ve uygulanan salınım ortam faktörleri arasındaki ilişkinin şeker salınımı üzerinde etkili ve önceki çalışmalarla uyumlu olduğu görülmektedir (Clarck, 2002; Nishinari ve Fang, 2016; Wang vd., 2014).

### 3.3 Reolojik Özellikler

Frekans taramadan elde edilen Depo (Storage) Modulus ( $G'$ ) değerleri Power law kullanılarak modellenmiş modele ait parametreler  $K'$  ve  $n'$  değerleri Çizelge 3.4'de yer almaktadır. Jelatin kullanım miktarı arttıkça,  $K'$  değerleri (kıvam) de artmıştır. Bu bulgu, 160 bloom dereceli jel örnekleri grubu için geçerli olmamıştır. Çünkü, %10 konsantrasyona sahip 160 bloom jelatin kullanılarak hazırlanan  $K'$  değeri, %6 ve %8 konsantrasyona sahip 160 bloom dereceli örneklerden daha düşük  $K$  değerine sahiptir. Ayrıca, 160 bloom jelatinli jel örneklerin %6 ve %8 konsantrasyonlu örnekleri, 200 bloom jelatin jel örneklerinin %8, %10 ve %12 hidrokolloid içeren ve 250 bloom jelatinin %6 ile %8 düzeylerinde hazırlanan örnekleri ile 250 bloom jelatinin %10 ve %12 düzeylerinde jelatin ile hazırlanan örnekleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamıştır ( $p > 0.05$ ). Jelatin için bir diğer değerlendirme parametresi ise, farklı bloom jelatin örneklerin aynı düzeylerde hidrokolloid içeren karşılaştırılmasıdır; Aynı bloom derecesine sahip farklı kullanım düzeylerindeki jelatin örnekleri değerlendirildiğinde, 250 bloom derecesindeki tüm jelatin bazlı jel örnekleri en yüksek viskoziteye sahip olduğu belirlenmiştir. 160 bloom jelatinin %10 kullanımı ile hazırlanan jel örneği en düşük viskozite değerine sahip örnektir. MM nişasta bazlı jel örnekleri ise, artan nişasta kullanım miktarı ile artan  $K'$  değerine sahip olmuşlardır. Bununla birlikte, %5 ve %7,5 MM nişasta kullanılarak hazırlanan sahip jel örnekleri aynı viskozite değerlerine sahiptir ( $p > 0.05$ ). DM pektin bazlı jel örneklerinde ise, nişasta örneklerinde olduğu gibi artan hidrokolloid kullanım düzeyine bağlı olarak  $K'$  değerleri de artmıştır.

Çizelge 3.4. Model jel ürünlerine uygulanan osilasyon testi sonunda elde edilen model parametre değerleri

Hidrokolloid çeşidi	Kullanım miktarı (% <sub>0</sub> , g/g)	K'	n'	R <sup>2</sup>
<b>Jelatin (160 bloom)</b>	6	3237.60±49.99 <sup>B,b</sup>	0.16±0.02 <sup>A,a</sup>	0.99
	8	5510.15±81.50 <sup>B,b</sup>	0.13±0.00 <sup>A,a</sup>	0.99
	10	13.25±0.87 <sup>C,c</sup>	0.07±0.00 <sup>B,a</sup>	0.98
	12	19168.50±122.96 <sup>A,b</sup>	0.07±0.01 <sup>B,a</sup>	0.99
<b>Jelatin (200 bloom)</b>	6	3495.10±350.72 <sup>B,b</sup>	0.14±0.01 <sup>A,a</sup>	0.98
	8	10521.60±1010.31 <sup>A,a</sup>	0.03±0.00 <sup>C,b</sup>	0.98
	10	11003.50±992.07 <sup>A,b</sup>	0.07±0.01 <sup>B,a</sup>	0.99
	12	13664.50±888.83 <sup>A,c</sup>	0.06±0.01 <sup>B,a</sup>	0.99
<b>Jelatin (250 bloom)</b>	6	13423.50±3024.30 <sup>B,a</sup>	0.02±0.05 <sup>A,b</sup>	0.99
	8	13936.50±614.48 <sup>B,a</sup>	0.02±0.00 <sup>A,b</sup>	0.98
	10	26160.00±70.71 <sup>A,a</sup>	0.02±0.00 <sup>A,b</sup>	0.98
	12	29651.50±2512.35 <sup>A,a</sup>	0.02±0.00 <sup>A,b</sup>	0.99
<b>DM pektin</b>	1	14.43±1.37 <sup>C</sup>	0.95±0.02 <sup>A</sup>	0.98
	1.7	858.18±92.79 <sup>BC</sup>	0.35±0.02 <sup>B</sup>	0.98
	2.4	3673.45±1214.03 <sup>B</sup>	0.18±0.05 <sup>C</sup>	0.99
	3.1	8756.05±701.52 <sup>A</sup>	0.12±0.03 <sup>C</sup>	0.99
	2.5	11.02±1.36 <sup>B</sup>	1.05±0.04 <sup>A</sup>	0.98
<b>MM nişastası</b>	5	24.81±2.33 <sup>AB</sup>	0.93±0.00 <sup>B</sup>	0.99
	7.5	35.00±0.011 <sup>AB</sup>	0.74±0.01 <sup>C</sup>	0.98
	10	118.59±47.35 <sup>A</sup>	0.73±0.03 <sup>C</sup>	0.98

*ÜSSEL BÜYÜK HARFLER:* Aynı hidrokolloid içinde kullanım düzeyine bağlı olarak, *ÜSSEL KÜÇÜK HARFLER:* Farklı bloom jelatin örneklerinin aynı kullanım oranı arasındaki önemli farklılığı temsil etmektedir ( $p < 0.05$ ).

Önemli bir diğer bulgu, elde edilen ve kendi aralarında karşılaştırılan K değerleri ile salınım testlerinde elde edilen veriler arasında korelasyon bulunmasıdır. Örneklerin salınım testleri ile K' değeri kıyasında da bir ilişki görülmektedir. Ortam 1 ve 2'de gerçekleştirilen salınım testlerinde hidrokolloid kullanım düzeyi arttıkça salınım sürelerinin uzadığı tespit edilmiştir. K' değerleri incelendiğinde de, örneklerin konsantrasyonları arttıkça K' değerleri de artmıştır.

Diğer bir çıkarım olarak, Young's modülü önceki çalışmalarda viskozite sonuçlarıyla (K değerleri) ilişkilendirilmiştir (Nur ve Simmons, 1969). %7.5 MM nişastası kullanılarak hazırlanan jel numuneleri ve %12 konsantrasyonlu 160 bloom jelatin kullanılarak hazırlanan örnekler hariç diğer tüm jel örneklerinin artan hidrokolloid kullanımı ile artış gösteren viskozite değerleri ile Young's modülü değerlerindeki artış benzerdir.

n' değerlerinden yola çıkılarak materyalin akış davranışı hakkında yorumlamalar yapılabilir. Bu Power Law akış indeksi,  $n > 1$  için, numunenin kayma kalınlaşması davranışı;  $n < 1$  için, numunenin kayma incelmeye davranışı ve  $n = 1$  ise sıvının Newtonsal davranış gösterdiğini ortaya koymaktadır (Song vd., 2006). 160 ve 200 bloom (%8 hariç) jelatin kullanılarak hazırlanan örnekler ile, DM pektin ve MM nişastalı jellerin hidrokolloid kullanım miktarı arttıkça n değerinde düşüş görülmekte ve jel örneklerinde incelmeye gözlemlenmektedir. % 2,5 MM nişastalı kullanılarak hazırlanan örneklerin kayma kalınlaşma davranışı gösterdiği saptanmıştır. 250 bloom jelatinde elde edilen örneklerde ise, konsantrasyon arttıkça n' değerlerinde önemli farklılık görülmemiştir ( $p > 0.05$ ).

### **3.4 Yoğunluk, Poisson Oranı ve Young's Modül Değerleri**

Jellerin yoğunluk, poisson oranı ve Young's modül değerleri Çizelge 3.5'de verilmiştir. Çizelge 3.5 incelendiğinde, yoğunluk değerleri genel olarak benzerlik göstermektedir. Hidrokolloid kullanım düzey farklılığı sadece 250 bloom jelatin örneklerinde belirlenmiştir ( $p < 0.05$ ). Tüm numunelerin partikül yoğunluğunun dar bir aralıkta (0.98-1.51 g/mL) değiştiği gözlenmiştir. Jellerin poisson oranı genel olarak benzerlik göstermektedir. Gıdaların özelliklerine göre poisson oranı değiştiğine dair bilgi literatürde yer almaktadır. Et ürünlerinin poisson değeri 0.05 ile 0.4 (Kim ve Hung, 1994) dondurulmamış patatesler için 0.42, dondurulmuş patatesler için 0.33 tir. (Shi, Datta ve Mukherjee, 1999). Tüm numuneler arasında en düşük (0.27) Poisson oranı %3,1 konsantrasyonda DM pektin örneklerinde belirlenmiştir. Jelatin jellerinin konsantrasyona bağlı olarak artan partikül yoğunluğu ve salım süreleri arasında ortam 1 ve 2 için korelasyon incelendiğinde 160, 200 ve 250 bloom GL jelleri için korelasyon katsayıları sırasıyla  $r = 0.958^*$ ,  $0.934^*$ ,  $0.861$  ( $*p < 0.05$ ) ve  $r = 0.809$ ,  $0.906^*$ ,  $0.736$  ( $*p < 0.05$ ) tespit edilmiştir. DM pektin ve MM nişastası ile hazırlanan jellerde jel konsantrasyonu ile partikül yoğunluğu ve Poisson oranı arasında bir ilişki belirlenememiştir.

Hidrokolloid kullanım düzeyi genel olarak Young's modül değeri üzerine etkili olduğu tespit edilmiştir ( $p < 0.05$ ). Tüm jel örneklerinin Young's modülü değerleri 85.92-1912.15 Pa

arasında belirlenmiştir. Öte yandan, jellerin Youngs modülü ile şekerin salınımı arasında yüksek bir korelasyon olduğu belirlenmiştir. Jelatinli jeller (160 200 ve 250 bloom) dikkate alındığında, Youngs modülü ile jellerdeki hidrokolloid konsantrasyon artışına bağlı olarak elde edilen salım süreleri arasındaki korelasyon katsayıları ortam 1 ve 2 için sırasıyla  $r = 0.946^*$ ,  $0.957^*$ ,  $0.952^*$  ( $*p < 0.05$ ) ve  $r = 0.774$ ,  $0.780$ ,  $0.954^*$  ( $*p < 0.05$ ). Benzer şekilde, DM pektin ve MM nişastalı jellerinin Young's modülü ile şeker salım süreleri arasındaki korelasyon katsayıları, ortam 1 ve 2 için sırasıyla  $r = 0.854$ ,  $0.829$  ve  $r = 0.752$ ,  $0.992^{**}$  ( $**p < 0.01$ ) olarak tespit edilmiştir. Yapılan bir çalışmada %8, 10, 12.5 ve 15 oranında jelatinli jellerin Youngs modül değerleri sırasıyla 283, 367, 480 ve 665 g/cm<sup>2</sup> değerlerinde bildirilmiştir (Hatschek, 1931).

Çizelge 3.5. Model jel ürünlerinin yoğunluk, poisson oranı ve Young's modülü değerleri

Hidrokolloid çeşidi	Kullanım miktarı (% , g/g)	Yoğunluk (ρ, gr/mL)	Poisson oranı (ν)	Young's modülü (E, Pa)
<b>Jelatin (160 bloom)</b>	6	1.07±0.04 <sup>cef,A</sup>	0.61±0.07 <sup>abc,A</sup>	324.00±124.60 <sup>gh,C</sup>
	8	1.14±0.14 <sup>bcdef,A</sup>	0.74±0.23 <sup>abc,A</sup>	640.18±101.27 <sup>efg,B</sup>
	10	1.17±0.08 <sup>abcdef,A</sup>	0.67±0.11 <sup>abc,A</sup>	726.38±185.52 <sup>def,B</sup>
	12	1.27±0.19 <sup>abcdef,A</sup>	0.79±0.20 <sup>ab,A</sup>	1209.44±163.86 <sup>b,A</sup>
<b>Jelatin (200 bloom)</b>	6	0.98±0.06 <sup>f,A</sup>	0.58±0.09 <sup>abc,AB</sup>	334.33±59.72 <sup>gh,B</sup>
	8	1.01±0.01 <sup>def,A</sup>	0.76±0.01 <sup>ab,A</sup>	831.67±92.31 <sup>cde,A</sup>
	10	1.01±0.04 <sup>def,A</sup>	0.45±0.07 <sup>abc,B</sup>	1039.67±188.40 <sup>bcd,A</sup>
	12	1.07±0.04 <sup>cef,A</sup>	0.69±0.10 <sup>abc,A</sup>	1097.00±163.00 <sup>bc,A</sup>
<b>Jelatin (250 bloom)</b>	6	1.00±0.03 <sup>ef,C</sup>	0.55±0.15 <sup>abc,A</sup>	385.00±21.53 <sup>fgh,C</sup>
	8	1.26±0.03 <sup>abcdef,B</sup>	0.68±0.11 <sup>abc,A</sup>	642.67±71.77 <sup>efg,C</sup>
	10	1.39±0.08 <sup>abc,A</sup>	0.69±0.01 <sup>abc,A</sup>	975.33±203.81 <sup>bcde,B</sup>
	12	1.49±0.03 <sup>ab,A</sup>	0.58±0.10 <sup>abc,A</sup>	1667.00±125.01 <sup>a,A</sup>
<b>DM pektin</b>	1	1.28±0.25 <sup>abcdef,A</sup>	0.78±0.11 <sup>a,A</sup>	633.67±228.75 <sup>efg,B</sup>
	1.7	1.14±0.04 <sup>bcdef,A</sup>	0.56±0.28 <sup>abc,A</sup>	1697.33±461.40 <sup>a,A</sup>
	2.4	1.23±0.06 <sup>abcdef,A</sup>	0.57±0.12 <sup>abc,A</sup>	1687.33±86.98 <sup>a,A</sup>
	3.1	1.37±0.32 <sup>abcdef,A</sup>	0.27±0.10 <sup>c,B</sup>	1912.15±144.96 <sup>a,A</sup>
<b>MM nişasta</b>	2.5	1.51±0.09 <sup>a,A</sup>	0.61±0.02 <sup>abc,A</sup>	85.92±13.29 <sup>h,B</sup>
	5	1.36±0.15 <sup>abcde,A</sup>	0.45±0.13 <sup>abc,A</sup>	172.89±18.47 <sup>gh,A</sup>
	7.5	1.39±0.07 <sup>ab,A</sup>	0.31±0.11 <sup>bc,A</sup>	168.30±12.77 <sup>h,A</sup>
	10	1.33±0.03 <sup>abcdef,A</sup>	0.60±0.23 <sup>abc,A</sup>	182.52±20.12 <sup>gh,A</sup>

ÜSSEL BÜYÜK HARFLER: Her bir hidrokolloide ait farklı harflendirmeler hidrokolloid kullanım düzeyi arasındaki önemli farklılığı göstermektedir ( $p < 0.05$ ). ÜSSEL KÜÇÜK HARFLER; Tüm hidrokolloidler arasındaki farklı harflendirmeler önemli farklılığı göstermektedir ( $p < 0.05$ ).

Genel olarak, daha yüksek Young's modülüne sahip jeller daha düşük lezzet salınımı göstermektedir (Boland, Buhr, Giannouli ve van Ruth, 2004). Bu çalışmada da en düşük ve en yüksek kullanım düzeyli jelatin örneklerinde artan Youngs modül değerleri (Wang vd., 2014) salınım üzerinde etkili bulunmuştur. Bayarri vd., (2001) artan elastik modül ile difüzyon katsayısı azaldığını başka bir ifadeyle salınımın yavaşladığını tespit etmiştir. DM pektin örneklerinde hidrokolloid kullanım düzey farklılığının genel olarak Youngs modül değerleri üzerinde etkisi tespit edilmemiştir ve benzer durum Wang vd., (2014) tarafından agar kullanılarak hazırlanan örneklerin elastikiyet özellikleri için de söz konusudur.

Başka bir çalışmada ise Boland vd., (2006) jelatin (1.3, 1.5 ve 1.8% ) ve YM pektin (0.75, 0.95 ve 1%) ile hazırlanan örneklerden çilek aroma salınımını incelemek için düşük, orta ve yüksek olmak üzere Young's modül değerlerini sırasıyla 181, 300 ve 493 N/m<sup>2</sup> şeklinde hazırlamıştır. Düşük Young's modüle sahip ürünlerin daha iyi aroma salınımına sahip olduğunu rapor etmiştir. Benzer Young's modüle sahip olan jelatin ve pektinli örnekler arasında aroma salınım farkı gözlenmiştir. Benzer sonuçlar özellikle ortam 1 koşulunda yapılan çalışmada da dikkati çekmektedir.

### 3.5 Efektif Difüzyon Değeri

Model jellerdeki şekerin %90'nın salınım işleminin efektif difüzyon değeri ( $D_{eff}$ ) Çizelge 3.6'de verilmiştir. Farklı hidrokolloidlerin farklı  $D_{eff}$  değerlerine sahip olduğu görülmektedir. Özellikle pektinli örneklerde şekerin salınım daha hızlı olduğu ve bununda salınım süresine etki ettiği tespit edilmiştir (Çizelge 3.1). Hidrokolloidlerde genel olarak konsantrasyon arttıkça  $D_{eff}$  süresinin kısaldığı saptanmıştır. Ortam 1 'de  $0.22 \times 10^{-8}$  ile  $5.07 \times 10^{-8}$  m<sup>2</sup>/s, Ortam 2 'de  $18.47 \times 10^{-8}$  ile  $1.37 \times 10^{-8}$  m<sup>2</sup>/s arasındadır. Ortam 1 ve Ortam 2 kıyaslandığında, Ortam 2'de salınım hızlı gerçekleştiği için  $D_{eff}$  değerlerinin daha yüksek olduğu beklenmektedir ve yapılan çalışmayla bu ispat edilmiştir. Literatürde, 25 °C de hidrokolloidlerden elde edilen jelly örneklerin tuz salınımının efektif difüzyon değeri; %6,8 ve %10 oranlarında jelatinli örneklerde sırasıyla 0.99, 0.93 ve  $0.93 \times 10^{-9}$  m<sup>2</sup>/s; %0.5, 1 ve %1.5 oranlarında gellan örneklerin sırasıyla 1.15, 1.12 ve  $1.01 \times 10^{-9}$  m<sup>2</sup>/s; %3 ve %4 oranlarında alijantlı örneklerde 0.96 ve  $0.93 \times 10^{-9}$  m<sup>2</sup>/s olduğu belirlenmiştir (Mills vd., 2011). Bu bulgular ile elde ettiğimiz sonuçlar kıyaslandığında şeker salınımının efektif difüzyon değerinin daha yüksek olduğu görülmektedir. Bayarri vd., (2001) kappa-karagenan ve gellan gumu jellerinin farklı konsantrasyonlarından farklı oranlarda sakaroz ve aspartamın difüzyon değerlerinin 3.8-



$7.7 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$  aralığında değiştiğini belirtmiş özellikle hidrokolloid tipi ve oranının difüzyon üzerinde etkili olduğu belirlenmiştir.



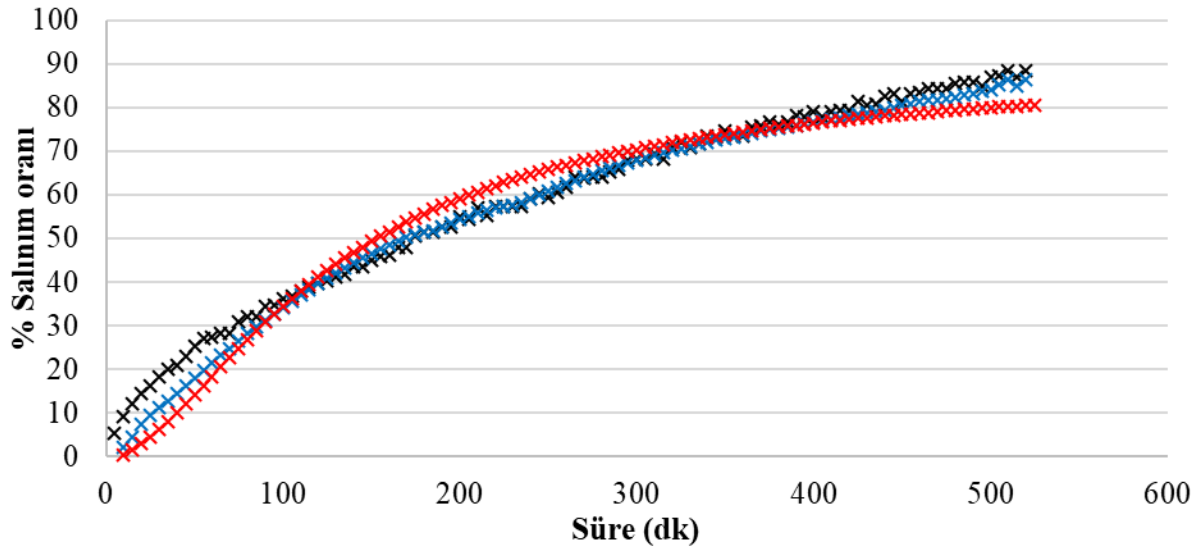
Çizelge 3.6. Model jellerden şeker salınmasının efektif difüzyon hızı değerleri ( $D_{eff}$ )

Hidrokolloid çeşidi	Kullanım miktarı (% , g/g)	Ortam1			Ortam2		
		Salınım süresi(dk)	$D_{eff}$ ( $m^2/s$ )x10 <sup>-8</sup>	R <sup>2</sup>	Salınım süresi(dk)	$D_{eff}$ ( $m^2/s$ )x10 <sup>-8</sup>	R <sup>2</sup>
Jelatin (160 bloom)	6	0≤t<72.50±10.61	1.71±0.29	0.869±0.02	0≤t<8.50±0.07	11.30±0.54	0.946±0.02
	8	0≤t<162.50±17.68	0.73±0.07	0.911±0.01	0≤t<11.00±0.00	9.11±0.13	0.887±0.01
	10	0≤t<195.00±21.21	0.57±0.04	0.919±0.05	0≤t<18.00±2.83	6.54±0.13	0.876±0.04
	12	0≤t<240.00±0.00	0.52±0.01	0.852±0.02	0≤t<17.00±0.00	7.06±0.59	0.878±0.01
Jelatin (200 bloom)	6	0≤t<290.00±0.00	0.44±0.00	0.895±0.00	0≤t<23.50±0.71	5.77±1.21	0.908±0.01
	8	0≤t<400.00±42.43	0.29±0.04	0.906±0.04	0≤t<26.00±4.24	5.19±0.06	0.895±0.03
	10	0≤t<432.50±31.82	0.31±0.05	0.924±0.01	0≤t<59.00±4.24	2.36±0.02	0.940±0.01
	12	0≤t<510.00±14.14	0.23±0.03	0.948±0.03	0≤t<92.00±5.66	1.37±0.01	0.935±0.03
Jelatin (250 bloom)	6	0≤t<282.50±10.61	0.36±0.08	0.900±0.01	0≤t<25.50±9.90	5.66±2.74	0.939±0.07
	8	0≤t<372.50±3.54	0.31±0.02	0.866±0.01	0≤t<25.50±6.36	5.95±1.24	0.897±0.00
	10	0≤t<357.50±24.75	0.33±0.02	0.816±0.00	0≤t<29.50±0.71	3.43±0.56	0.944±0.01
	12	0≤t<517.50±3.54	0.22±0.02	0.922±0.00	0≤t<51.50±10.61	2.81±0.74	0.892±0.01
DM pektin	1	0≤t<45.00±0.00	5.07±0.65	0.898±0.11	0≤t<14.00±0.00	11.76±0.77	0.974±0.01
	1.7	0≤t<51.50±4.95	4.96±0.87	0.967±0.01	0≤t<19.50±3.54	9.82±0.60	0.912±0.02
	2.4	0≤t<59.00±5.66	3.97±0.60	0.940±0.02	0≤t<17.00±3.54	9.94±2.12	0.931±0.03
	3.1	0≤t<65.00±8.40	3.45±0.47	0.947±0.01	0≤t<28.00±1.41	7.43±1.23	0.963±0.01
MM nişastaM nişasta	2.5	0≤t<68.00±5.66	1.10±1.35	0.947±0.05	0≤t<8.50±1.41	18.47±1.46	0.924±0.03
	5	0≤t<125.00±21.21	1.22±0.29	0.888±0.05	0≤t<45.00±4.24	3.82±0.27	0.946±0.03
	7.5	0≤t<170.00±00.00	0.68±0.02	0.954±0.01	0≤t<48.50±2.12	3.24±0.41	0.919±0.00
	10	0≤t<232.5±10.61	0.61±0.05	0.923±0.00	0≤t<49.50±0.70	2.45±0.12	0.890±0.03

Model çalışmasında her bir salınım davranışı incelenmiş ve bunun için her bir denemenin parçalı  $D_{eff}$  değeri ayrı ayrı hesaplanmıştır. Hesaplanan ve nümerik modelleme de kullanılan denemelerin parçalı  $D_{eff}$  değerlerin ortalamaları Çizelge 3.7 de verilmiştir. Salınımında bazı yerlerde durağan olduğundan  $D_{eff}$  değeri 0 olarak alınmıştır. Çizelge 3.7 de de görüldüğü gibi genel olarak zamanla salınım/difüzyon hızında artış olmaktadır. Bunun nedeni ürünün erimesi/parçalanması ve difüzyon yolunun kısalması olduğunu söylemek mümkündür. Çizelge 3.6 da ve 3.7 de de görüldüğü gibi Ortam2 de gerçekleşen salınımın  $D_{eff}$  değerleri Ortam1'den daha yüksektir. Bunun nedeni, parçalama işlemiyle birlikte difüzyon işleminin artış göstermesidir.

Yapılan deneysel çalışmada ortam1'de ürün eriyerek difüzyon yolunun kısalırken, Ortam 2'de ise jelly parçalara ayrılarak difüzyon yolu difüzyon yüzey alanında artış olmaktadır. Bunu daha iyi tanımlayabilmek modelleme çalışmasında şeker miktarı değeri ile tahmin edilen değer arasındaki uyumun daha iyi olması için efektif difüzyon değeri parçalara ayrılmıştır (Materyal-Yöntem 2.2.6).

Şekil 3.3'de efektif difüzyon ( $D_{eff}$ ) değeri sabit ve parçalı olarak nümerik modelleme çalışmasında kullanılarak gerçekleştirilen model ile deneysel uyumu gösterilmiştir.



Şekil 3.3.  $D_{eff}$  değerlerinin kütle transferi çözümü gerçekleştiren model üzerindeki etkisi (x: deneysel veri; x:  $D_{eff}$  parçalı model veri, x: sabit  $D_{eff}$  (parçasız) model veri)

Şekil 3.3 incelendiğinde efektif difüzyon değerinin parçalı olarak hesaplanması ve modelde kullanılması daha uygun bulunmuştur.

Çizelge 3.7. Nümerik Modellemede kullanılan parçalı  $D_{eff}$  değer aralığı

Hidrokolloid çeşidi	Kullanım miktarı (% <sub>g</sub> )	Ortam1			Ortam2		
		Salınım süresi(dk)	$D_{eff}$ (m <sup>2</sup> /s)x10 <sup>-8</sup>	R <sup>2</sup>	Salınım süresi(dk)	$D_{eff}$ (m <sup>2</sup> /s)x10 <sup>-8</sup>	R <sup>2</sup>
Jelatin (160 BLOOM)	6	0.00±0.00≤t<5.00±0.00	1.70±0.06	1.000±0.00	0.00±0.00≤t<4.50±0.71	8.51±1.40	0.988±0.0
		5.00±0.00≤t<47.50±10.61	0.79±0.22	0.975±0.01	4.50±0.71≤t<6.50±0.71	14.42±1.14	0.994±0.01
		47.50±10.61≤t<son	3.53±1.23	0.793±0.27	6.50±0.71≤t<son	25.75±1.90	0.905±0.14
	8	0.00±0.00≤t<5.00±0.00	1.44±0.23	1.000±0.00	0.00±0.00≤t<3.00±0.00	4.71±0.75	0.986±0.00
		5.00±0.00≤t<75.00±0.00	0.43±0.06	0.986±0.00	3.00±0.00≤t<5.00±0.00	7.08±1.13	0.964±0.01
		75.00±0.00≤t<120.00±0.00	0.68±0.16	0.993±0.00	5.00±0.00≤t<7.00±0.00	4.36±0.00	0.892±0.00
		120.00±0.00≤t<145.00±0.00	1.63±0.96	0.920±0.07	6.50±0.71≤t<son	22.39±0.22	0.964±0.02
		145.00±0.00≤t<son	2.55±0.00	0.857±0.00			
		0.00±0.00≤t<5.00±0.00	1.17±0.04	1.000±0.00	0.00±0.00≤t<6.00±1.41	2.49±1.39	0.970±0.02
	10	5.00±0.00≤t<65.00±42.43	0.40±0.05	0.981±0.02	6.00±1.41≤t<11.00±1.41	5.66±2.15	0.970±0.04
		65.00±42.43≤t<95.00±0.00	0.32±0.00	0.988±0.00	11.00±1.41≤t<15.50±0.71	12.79±8.08	0.996±0.00
		95.00±0.00≤t<145.00±0.00	0.70±0.09	0.979±0.01	15.00±0.00≤t<son	20.53±0.00	0.968±0.00
		145.00±0.00≤t<162.50±10.61	0.63±0.00	0.642±0.00			
		162.50±10.61≤t<177.50±17.68	2.16±0.00	0.843±0.00			
		177.50±17.68≤t<son	1.99±0.14	0.842±0.10			
		0.00±0.00≤t<5.00±0.00	1.15±0.16	1.000±0.00	0.00±0.00≤t<6.00±0.00	3.53±0.37	0.984±0.01
	12	5.00±0.00≤t<90.00±56.57	0.27±0.00	0.975±0.00	6.00±0.00≤t<11.00±0.00	5.58±0.28	0.997±0.00
		90.00±56.57≤t<80.00±0.00	0.19±0.00	0.961±0.00	11.00±0.00≤t<13.50±0.71	12.11±3.06	0.987±0.01
		80.00±0.00 ≤t<140.00±0.00	0.36±0.00	0.961±0.00	13.50±0.71≤t<son	26.07±1.43	0.932±0.02
		135.00±7.07≤t<172.50±31.82	0.72±0.00	0.934±0.00			
		172.50±31.82≤t<197.50±10.61	0.78±0.00	0.982±0.00			
		197.50±10.61≤t<215.00±14.14	1.25±0.20	0.915±0.03			
		215.00±14.14≤t<son	3.44±1.18	0.866±0.16			
	Jelatin (200 BLOOM)	6	0.00±0.00≤t<190.00±0.00	0.29±0.01	0.995±0.00	0.00±0.00≤t<13.00±0.00	3.88±0.65
190.00±0.00≤t<225.00±0.00			0.64±0.08	0.958±0.04	13.00±0.00≤t<18.00±0.00	5.58±1.63	0.969±0.00
225.00±0.00≤t<230.00±0.00			1.71±0.00	0.847±0.00	18.00±0.00≤t<son	15.57±5.43	0.958±0.03

Çizelge 3.7. Nümerik Modellemede kullanılan parçalı  $D_{eff}$  değer aralığı (devam)

Hidrokolloid çeşidi	Kullanım miktarı (% , g/g)	Ortam1			Ortam2		
		Salınım süresi(dk)	$D_{eff}$ ( $m^2/s$ )x10 <sup>-8</sup>	R <sup>2</sup>	Salınım süresi(dk)	$D_{eff}$ ( $m^2/s$ )x10 <sup>-8</sup>	R <sup>2</sup>
Jelatin (200 BLOOM)	6	235.00±7.07≤t<252.50±3.54	0.00±0.00	0.000±0.00			
		252.50±3.54≤t<son	3.06±1.21	0.858±0.16			
		0.00±0.00≤t<10.00±0.00	0.43±0.00	0.995±0.00	0.00±0.00≤t<7.50±3.54	2.22±0.17	0.978±0.02
		5.00±7.07≤t<130.00±42.43	0.21±0.00	0.988±0.01	7.50±3.54≤t<18.00±4.24	4.49±0.47	0.986±0.01
		130.00±42.43≤t<182.50±10.61	0.22±0.04	0.974±0.02	18.00±4.24≤t< son	11.41±1.54	0.858±0.14
		182.50±10.61≤t<197.50±10.61	0.00±0.00	0.000±0.00			
		197.50±10.61≤t<277.50±3.54	0.32±0.09	0.947±0.04			
		277.50±3.54≤t<290.00±7.07	0.00±0.00	0.000±0.00			
		290.00±7.07≤t<305.00±0.00	0.45±0.02	0.982±0.02			
		305.00±0.00≤t<315.00±0.00	0.00±0.00	0.000±0.00			
	8	315.00±0.00≤t<327.50±10.61	1.34±1.25	0.899±0.14			
		327.50±10.61≤t<347.50±3.54	0.00±0.00	0.000±0.00			
		347.50±3.54≤t<360.00±0.00	2.23±2.14	0.923±0.05			
		360.00±0.00≤t<370±0.00	0.00±0.00	0.500±0.707			
		365.00±7.07≤t<375.50±10.61	3.98±4.38	0.987±0.02			
		380.00±0.00≤t<390.00±0.00	0.00±0.00	0.000±0.0			
		390.00±0.00≤t<400.00±#0.00	1.14±0.00	0.981±0.00			
		400.00±0.00≤t<415.00±0.00	0.00±0.00	0.000±0.0			
		415.00±0.00≤son	2.72±0.00	0.991±0.00			
		0.00±0.00≤t<30.00±0.00	0.32±0.01	0.960±0.04	0.00±0.00≤t<27.00±9.90	1.65±0.00	0.992±0.01
		30.00±0.00≤t<152.50±3.54	0.22±0.06	0.993±0.00	27.00±9.90≤t<42.50±12.02	2.38±0.66	0.969±0.01
		152.50±3.54≤t<162.50±3.54	0.00±0.00	0.000±0.00	42.50±12.02≤t<48.50±7.78	2.76±0.00	0.837±0.00
		162.50±3.54≤t<175.00±0.00	0.48±0.24	0.976±0.02	48.50±7.78≤t<50.00±7.07	11.84±10.54	1.000±0.00
	10	175.00±0.00≤t<190.00±0.00	0.00±0.00	0.000±0.00	50.00±7.07≤t<52.00±7.07	0.24±0.00	0.800±0.00
		190.00±0.00≤t<215.00±28.28	0.42±0.19	0.987±0.02	52.00±7.07≤t< son	8.38±3.52	0.756±0.05
		195.00±0.00≤t<205.00±0.00	0.00±0.00	0.000±0.00			
		220.00±21.21≤t<295.00±21.21	0.33±0.06	0.958±0.02			
		295.00±21.21≤t<312.50±24.75	0.00±0.00	0.000±0.0			

Çizelge 3.7. Nümerik Modellemede kullanılan parçalı  $D_{eff}$  değer aralığı (devam)

Hidrokolloid çeşidi	Kullanım miktarı (% , g/g)	Ortam1			Ortam2			
		Salınım süresi(dk)	$D_{eff}$ ( $m^2/s$ )x10 <sup>-8</sup>	R <sup>2</sup>	Salınım süresi(dk)	$D_{eff}$ ( $m^2/s$ )x10 <sup>-8</sup>	R <sup>2</sup>	
Jelatin (200 BLOOM)	10	312.50±24.75≤t<345.00±14.14	0.49±0.06	0.929±0.2				
		345.00±14.14≤t<360.00±0.00	1.19±0.83	0.950±0.07				
		360.00±0.00≤t<385.00±0.00	0.00±0.00	0.000±0.00				
		385.00±0.00≤t<392.50±3.54	1.45±0.51	0.850±0.21				
		392.50±3.54≤t<400.00±0.00	0.00±0.00	0.000±0.00				
		400.00±0.00≤t<415.00±14.14	2.10±2.09	0.962±0.03				
		415.00±14.14≤t<sonu	2.27±0.00	0.864±0.00				
		12	0.00±0.00≤t<20.00±0.00	0.35±0.01	0.973±0.02	0.00±0.00≤t<2.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00
			10.00±14.14≤t<202.50±24.75	0.16±0.01	0.989±0.00	1.00±1.41≤t<26.50±3.54	1.04±0.04	0.989±0.01
			202.50±24.75≤t<215.00±28.28	0.00±0.00	0.000±0.00	26.50±3.54≤t<28.50±3.54	0.00±0.00	0.00±0.00
			215.00±28.28≤t<247.50±38.89	0.19±0.03	0.910±0.08	28.50±3.54≤t<46.50±4.95	1.08±0.06	0.960±0.00
			247.50±38.89≤t<260.00±35.36	0.00±0.00	0.000±0.00	46.50±4.95≤t<54.50±12.02	0.85±1.21	0.861±0.00
			260.00±35.36≤t<355.00±0.00	0.26±0.03	0.885±0.12	54.50±12.02≤t<68.00±0.00	0.72±1.01	0.870±0.10
			355.00±0.00≤t<365.00±0.00	0.00±0.00	0.000±0.00	68.00±0.00≤t<74.00±0.00	1.96±0.00	0.885±0.00
			365.00±0.00≤t<370.00±0.00	1.13±0.00	1.000±0.00	74.00±0.00≤t<son	4.47±2.45	0.726±0.21
			370.00±0.00≤t<397.50±17.68	0.00±0.00	0.000±0.00			
			397.50±17.68≤t<425.00±0.00	0.41±0.13	0.865±0.03			
			425.00±0.00≤t<450.00±0.00	0.00±0.00	0.000±0.00			
			450.00±0.00≤t<475.00±14.14	1.63±0.47	0.989±0.02			
			475.00±14.14≤t<sonu	1.69±1.40	0.841±0.21			
Jelatin (250 BLOOM)	6	0.00±0.00≤t<10.00±0.00	0.50±0.06	0.998±0.00	0.00±0.00≤t<5.00±0.00	1.85±2.61	0.979±0.02	
		10.00±0.00≤t<50.00±0.00	0.22±0.02	0.992±0.00	5.00±0.00≤t<10.00±0.00	6.15±0.00	0.987±0.00	
		50.00±0.00≤t<90.00±0.00	0.28±0.00	0.981±0.00	10.00±0.00≤t<20.00±7.07	6.39±3.95	0.978±0.02	
		90.00±0.00≤t<187.50±24.75	0.31±0.05	0.978±0.01	20.00±7.07≤t<son	41.70±50.92	0.828±0.24	
		187.50±24.75≤t<195.00±0.00	0.60±0.50	0.808±0.14				
		195.00±0.00≤t<205.00±0.00	0.00±0.00	0.000±0.00				
		205.00±0.00≤t<242.50±17.68	0.98±0.31	0.883±0.16				
		242.50±17.00≤t<sonu	1.33±0.34	0.834±0.04				
		8	0.00±0.00≤t<10.00±0.00	0.39±0.10	0.984±0.02	0.00±0.00≤t<10.00±0.00	3.56±0.99	0.987±0.01
			10.00±0.00≤t<177.50±74.25	0.19±0.01	0.993±0.00	10.00±0.00≤t<16.00±0.00	5.42±2.17	0.966±0.02

Çizelge 3.7. Nümerik Modellemede kullanılan parçalı  $D_{eff}$  değer aralığı (devam)

Hidrokolloid çeşidi	Kullanım miktarı (% <sub>g</sub> )	Ortam1			Ortam2		
		Salınım süresi(dk)	$D_{eff}$ ( $m^2/s$ )x10 <sup>-8</sup>	R <sup>2</sup>	Salınım süresi(dk)	$D_{eff}$ ( $m^2/s$ )x10 <sup>-8</sup>	R <sup>2</sup>
Jelatin (250 BLOOM)	8	177.50±74.25≤t<265.00±7.07	0.29±0.01	0.902±0.00	16.00±0.00≤t<22.00±0.00	5.34±0.00	0.971±0.00
		265.00±7.07≤t<290.00±0.00	0.33±0.00	0.590±0.00	22.00±0.00≤t<son	23.23±2.80	0.963±0.05
		290.00±0.00≤t<322.50±10.61	0.50±0.01	0.935±0.02			
		322.50±10.61≤t<345.00±0.00	1.03±0.02	0.945±0.06			
		345.00±0.00≤t<son	2.13±0.54	0.861±0.02			
	10	0.00±0.00≤t<10.00±0.00	0.51±0.04	0.993±0.01	0.00±0.00≤t<10.00±0.00	2.38±0.021	0.984±0.01
		10.00±0.00≤t<95.00±56.57	0.18±0.03	0.989±0.00	10.00±0.00≤t<15.00±0.00	3.62±0.00	0.999±0.00
		95.00±56.57≤t<172.50±17.68	0.19±0.01	0.889±0.12	15.00±0.00≤t<20.00±0.00	3.74±0.00	0.995±0.00
		172.50±17.68≤t<220.00±7.07	0.21±0.09	0.829±0.05	20.00±0.00≤t<25.00±0.00	5.43±2.66	0.954±0.01
		220.00±7.07≤t<275.00±0.00	0.46±0.10	0.941±0.04	25.00±0.00≤t<son	8.66±1.60	0.896±0.12
		275.00±0.00≤t<292.50±10.61	0.73±0.00	0.905±0.00			
		292.50±10.61≤t<320.00±0.00	1.09±0.01	0.934±0.08			
		320.00±0.00≤t<son	2.81±1.59	0.950±0.06			
		0.00±0.00≤t<10.00±0.00	0.37±0.10	0.902±0.10	0.00±0.00≤t<1.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00
		10.00±0.00≤t<90.00±35.36	0.17±0.02	0.975±0.00	1.00±0.00≤t<2.00±0.00	2.01±0.00	1.000±0.00
	12	90.00±35.36≤t<235.00±0.00	0.17±0.00	0.957±0.00	2.00±0.00≤t<4.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00
		235.00±0.00≤t<250.00±0.00	0.00±0.00	0.000±0.00	4.00±0.00≤t<26.00±8.49	1.99±0.57	0.989±0.00
		250.00±0.00≤t<332.50±38.89	0.23±0.02	0.855±0.12	26.00±8.49≤t<41.00±12.73	2.94±0.42	0.982±0.01
		332.50±38.89≤t<345.00±42.43	0.00±0.00	0.000±0.00	41.00±12.73≤t<sonu	9.01±0.813	0.809±0.19
		345.00±42.43≤t<410.00±0.00	0.35±0.19	0.727±0.17			
		410.00±0.00≤t<435.00±0.00	0.00±0.00	0.000±0.00			
		435.00±0.00≤t<450.00±0.00	2.88±0.00	0.934±0.00			
		450.00±0.00≤t<475.00±0.00	0.00±0.00	0.000±0.00			
		475.00±0.000≤t<sonu	1.66±0.00	0.855±0.00			
0.00±0.00≤t<19.00±7.07		5.01±0.45	0.994±0.00	0.00±0.00≤t<6.00±1.41	9.77±0.89	0.998±0.00	
DM pektin	1	19.00±7.07≤t<28.50±2.12	12.21±5.65	0.946±0.01	6.00±1.41≤t<10.25±1.06	12.04±1.93	0.965±0.02
		28.50±2.12≤t<39.50±3.54	5.71±4.43	0.714±0.16	10.25±1.06≤t<sonu	14.82±3.79	0.737±0.13
		39.50±3.54≤t<son	9.65±0.05	0.992±0.01			
		0.00±0.00≤t<26.50±14.85	3.97±0.10	0.995±0.00	0.00±0.00≤t<10.50±0.00	6.71±0.06	0.999±0.00
	26.50±14.85≤t<38.50±14.85	4.90±0.73	0.979±0.01	10.50±0.00≤t<14.00±0.00	9.83±0.83	0.993±0.00	

Çizelge 3.7. Nümerik Modellemede kullanılan parçalı  $D_{eff}$  değer aralığı (devam)

Hidrokolloid çeşidi	Kullanım miktarı (% , g/g)	Ortam1			Ortam2		
		Salınım süresi(dk)	$D_{eff}$ (m <sup>2</sup> /s)x10 <sup>-8</sup>	R <sup>2</sup>	Salınım süresi(dk)	$D_{eff}$ (m <sup>2</sup> /s)x10 <sup>-8</sup>	R <sup>2</sup>
DM pektin	1.7	38.50±14.85≤t<45.00±9.90	6.90±0.00	0.908±0.0	14.00±0.00≤t<son	28.33±11.90	0.908±0.03
		45.00±9.90≤t<son	22.60±10.56	0.804±0.28			
	2.4	0.00±0.00≤t<34.50±2.12	3.43±0.65	0.975±0.02	0.00±0.00≤t<5.00±0.00	7.05±1.17	0.999±0.00
		34.50±2.12≤t<43.00±0.00	8.28±3.11	0.946±0.02	5.00±0.00≤t<10.00±0.00	8.88±0.00	0.971±0.00
		43.00±0.00≤t<48.00±0.00	12.67±0.00	0.928±0.00	10.00±0.00≤t<14.25±3.18	12.41±4.44	0.984±0.00
		48.00±0.00≤t<52.00±0.00	0.00±0.00	0.000±0.00	14.25±3.18≤t<son	2.723±8.89	0.917±0.03
		52.00±0.00≤t<son	3.34±1.09	0.744±0.08			
	3.1	0.00±0.00≤t<35.00±0.00	3.48±0.58	0.990±0.01	0.00±0.00≤t<10.00±0.00	4.89±1.49	0.994±0.01
		35.00±0.00≤t<45.00±0.00	6.22±0.00	0.954±0.00	10.00±0.00≤t<15.50±0.00	7.968±0.00	0.966±0.00
		45.00±0.00≤t<son	14.32±7.04	0.773±0.04	15.50±0.00≤t<20.50±0.00	9.61±1.79	0.975±0.01
					20.50±0.00≤t<son	12.00±2.02	0.872±0.12
MM nişasta	2.5	0.00±0.00≤t<5.50±3.54	6.10±3.32	0.942±0.00	0.00±0.00≤t<4.00±0.00	11.80±0.07	0.980±0.02
		5.50±3.54≤t<15.00±1.41	2.56±0.37	0.985±0.00	4.00±0.00≤t<8.00±0.71	14.56±16.22	0.889±0.13
		15.00±1.41≤t<21.50±0.71	1.20±0.71	0.692±0.09	8.00±0.71≤t<son	44.86±21.47	0.999±0.00
		21.50±0.71≤t<31.50±3.54	1.62±0.45	0.768±0.24			
		31.50±3.54≤t<46.00±0.00	2.82±0.00	0.893±0.00			
		46.00±0.00≤t<59.50±3.54	2.62±0.69	0.831±0.11			
		59.50±3.54≤t<son	3.49±0.60	0.691±0.11			
	5	0.00±0.00≤t<3.00±2.83	0.78±0.12	0.794±0.03	0.00±0.00≤t<9.00±0.00	2.53±0.59	0.964±0.01
		3.00±2.83≤t<6.00±0.00	0.66±0.23	0.944±0.02	9.00±0.00≤t<17.00±0.00	2.33±0.00	0.944±0.00
		6.00±0.00≤t<13.00±0.00	0.30±0.00	0.932±0.00	17.00±0.00≤t<30.00±0.00	5.91±1.13	0.883±0.02
7.5	13.00±0.00≤t<20.00±0.00	0.24±0.00	0.732±0.00	30.00±0.00≤t<42.00±0.00	4.43±0.35	0.624±0.01	
	20.00±0.00≤t<52.50±10.61	0.79±0.01	0.928±0.06	42.00±0.00≤t<son	5.79±0.00	0.429±0.00	
	52.50±10.61≤t<80.00±0.00	0.60±0.00	0.00±0.00				
	80.00±0.00≤t<105.00±0.00	1.59±0.00	0.886±0.00				
	105.00±0.00≤t<son	4.25±1.61	0.739±0.07				
	0.00±0.00≤t<55.00±0.00	0.41±0.04	0.984±0.01	0.00±0.00≤t<12.00±0.00	1.76±0.00	0.985±0.01	
	55.00±0.00≤t<120.00±7.07	0.58±0.01	0.976±0.02	12.00±0.00≤t<21.00±0.00	2.58±0.23	0.956±0.03	



Çizelge 3.7. Nümerik Modellemede kullanılan parçalı  $D_{eff}$  değer aralığı (devam)

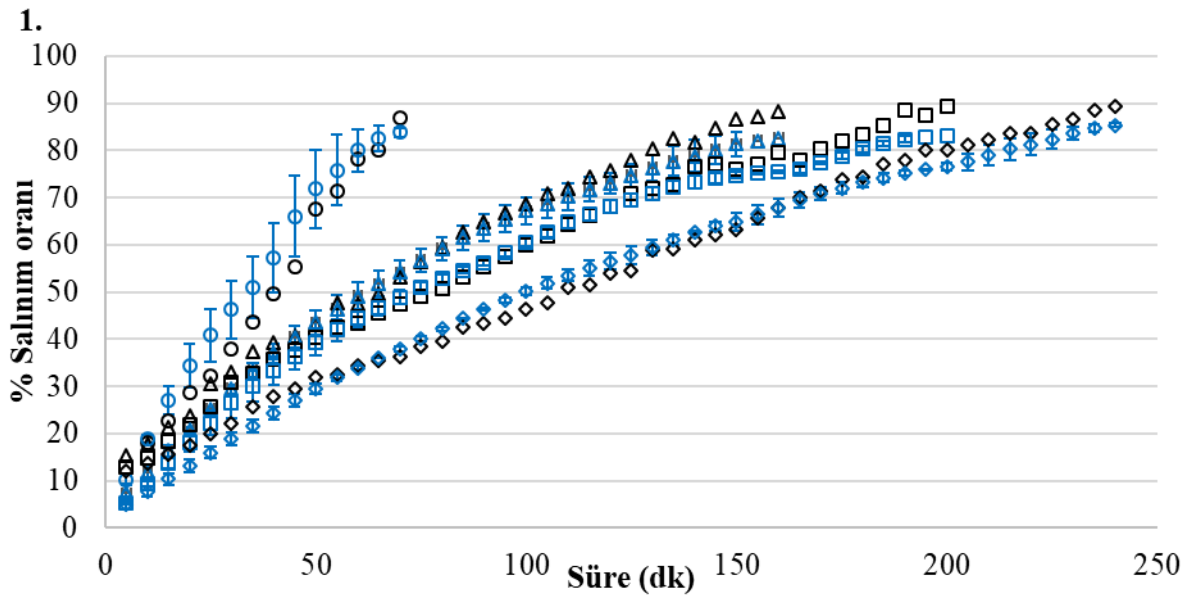
Hidrokolloid çeşidi	Kullanım miktarı (% <sub>o</sub> , g/g)	Ortam1			Ortam2		
		Salınım süresi(dk)	$D_{eff}$ (m <sup>2</sup> /s)x10 <sup>-8</sup>	R <sup>2</sup>	Salınım süresi(dk)	$D_{eff}$ (m <sup>2</sup> /s)x10 <sup>-8</sup>	R <sup>2</sup>
MM nişasta	10	120.00±7.07≤t<125.00±0.00	0.64±0.00	0.970±0.00	21.00±0.00≤t<31.50±0.71	4.55±0.76	0.919±0.01
		125.00±0.00 ≤t<142.50±10.61	1.13±0.16	0.899±0.10	31.50±0.71≤t<son	8.33±3.07	0.825±0.05
		142.50±10.61≤t<son	5.32±4.51	0.851±0.03			
		0.00±0.00≤t<12.50±10.61	0.72±0.34	0.961±0.06	0.00±0.00≤t<1.00±0.00	4.84±1.29	1.000±0.00
		12.50±10.61≤t<97.50±24.75	0.29±0.00	0.986±0.00	1.00±0.00≤t<10.00±0.00	1.10±0.21	0.947±0.02
		97.50±24.75≤t<160.00±0.00	0.67±0.05	0.971±0.00	10.00±0.00≤t<18.00±0.00	1.48±0.00	0.967±0.00
		160.00±0.00≤t<185.00±7.07	1.08±0.84	0.954±0.03	18.00±0.00≤t<30.00±0.00	2.05±0.13	0.979±0.01
		180.00±0.00≤t<205.00±0.00	1.70±0.00	0.951±0.06	30.00±0.00≤t<38.00±0.00	2.64±0.13	0.962±0.04
		205.00±0.00≤t<son	1.17±0.10	0.611±0.00	38.00±0.00≤t<40.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00
					40.00±0.00≤t<son	8.30±2.87	0.945±0.03

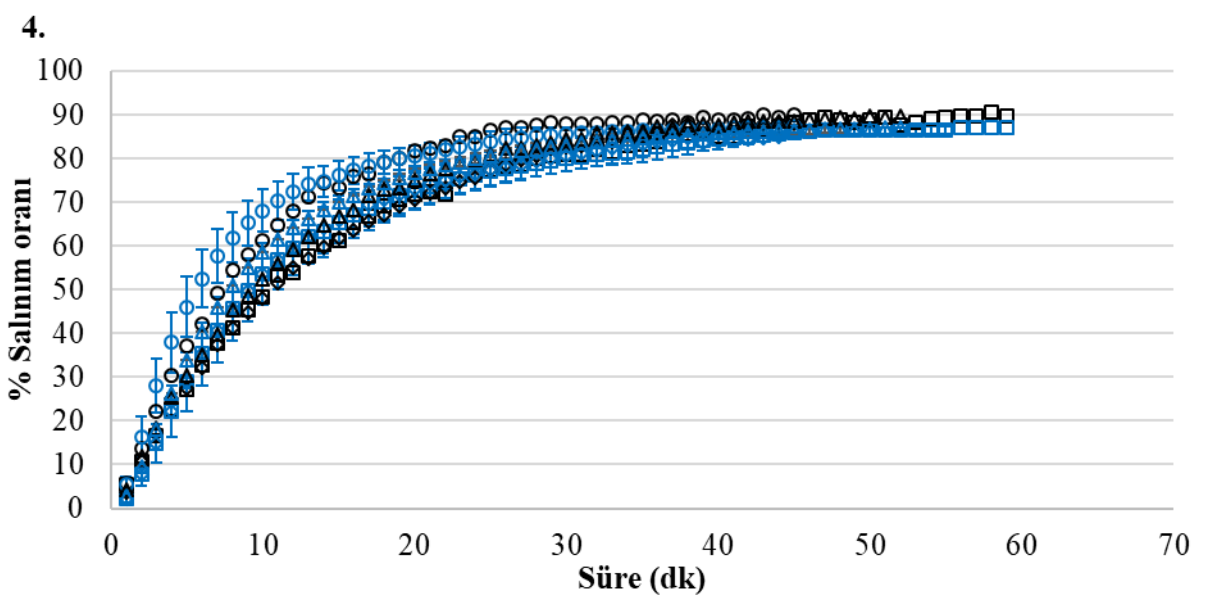
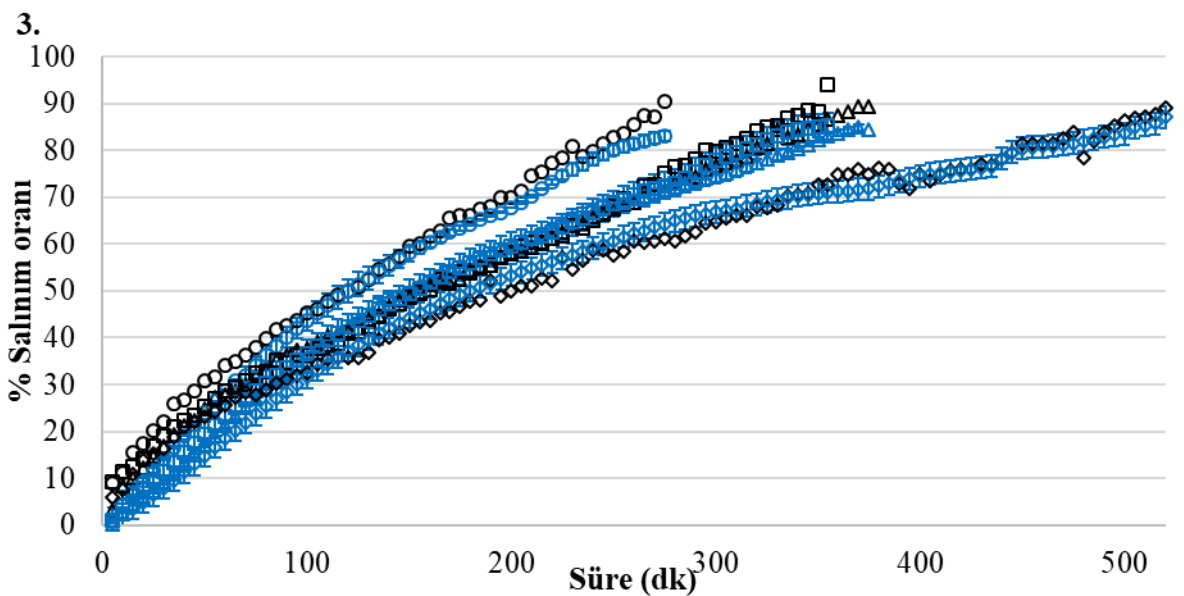
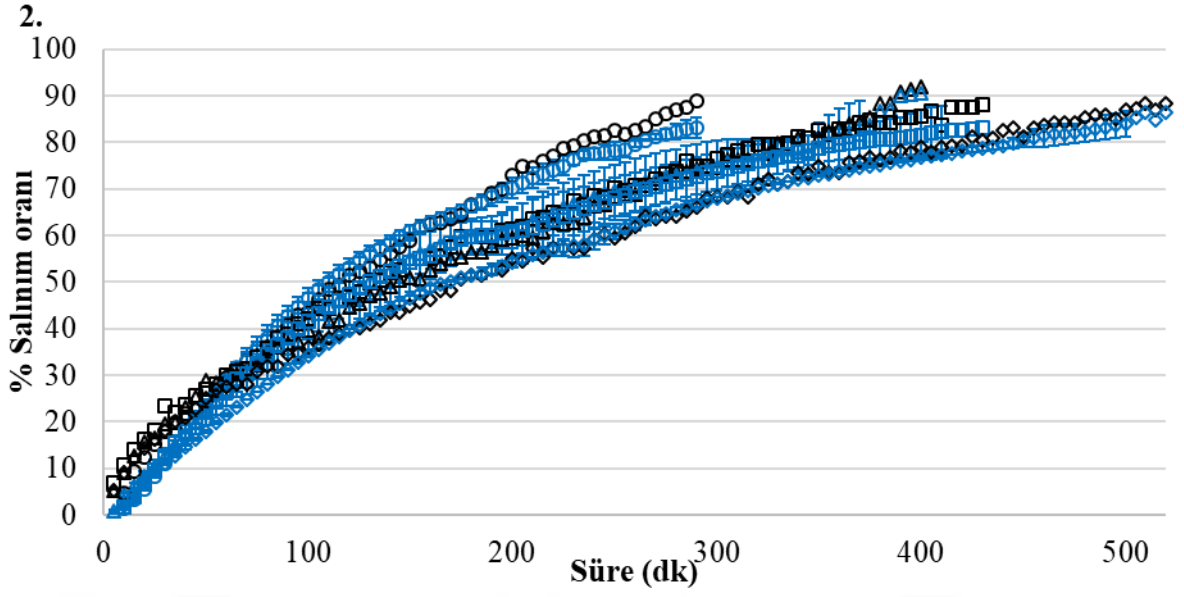
### 3.6 Nümerik Modelleme

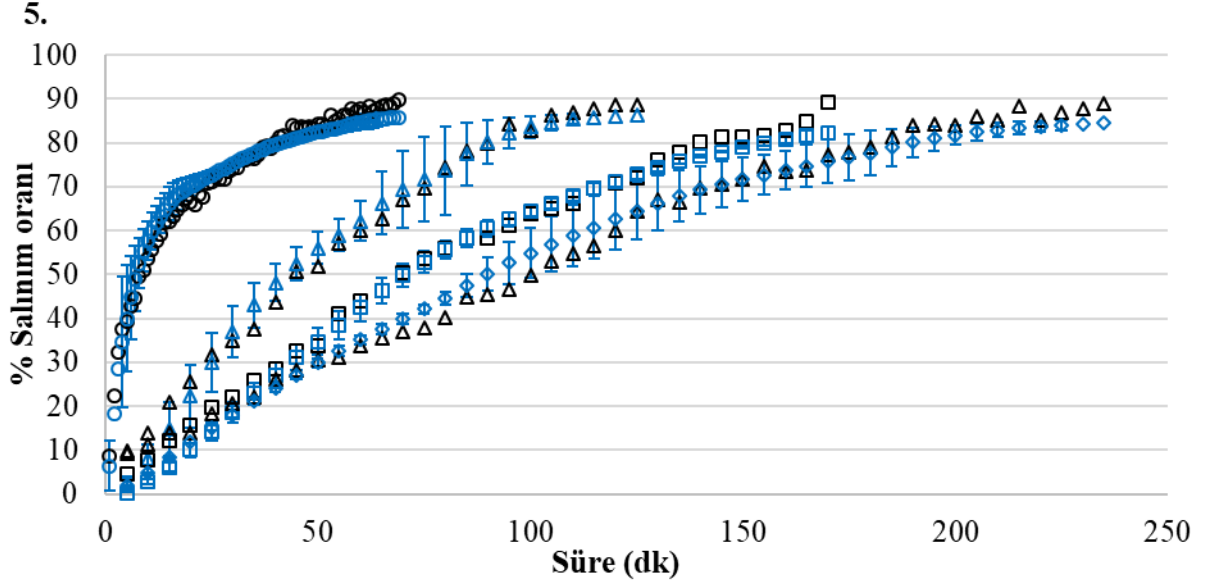
Şekerli model jel örneklerinden şeker salınımında meydana gelen kütle transferi Fick'in 2. yasası esas alınarak incelenmiştir. Salınım boyunca nümerik modellemeyle elde edilen öngörülen şeker miktarı değerleri tespit edilmiş ve deneysel sonuçlarla uyumu incelenmiştir. Deneysel sonuçları ile nümerik modelleme öngörülleri aralarındaki uyum istatistiksel olarak değerlendirilmiş ve RMSE ve  $X^2$  değerleri ile belirlenmiştir.

Nümerik modellemeyen elde edilen öngörülen şeker miktarı değerleri incelenerek zamanla salınan şeker oranı hesaplanmıştır. Şekil 3.3'de verilen grafiklerde modelden elde edilen değerler jel örneklerinin salınımının en zor noktası olan merkez noktasındaki değerleri temsil etmektedir.

Ortam1 için merkez noktasında öngörülen salınım oranının süreye bağlı olarak değişiminin deneysel verilerle uyumu Şekil 3.4'de verilmiştir.



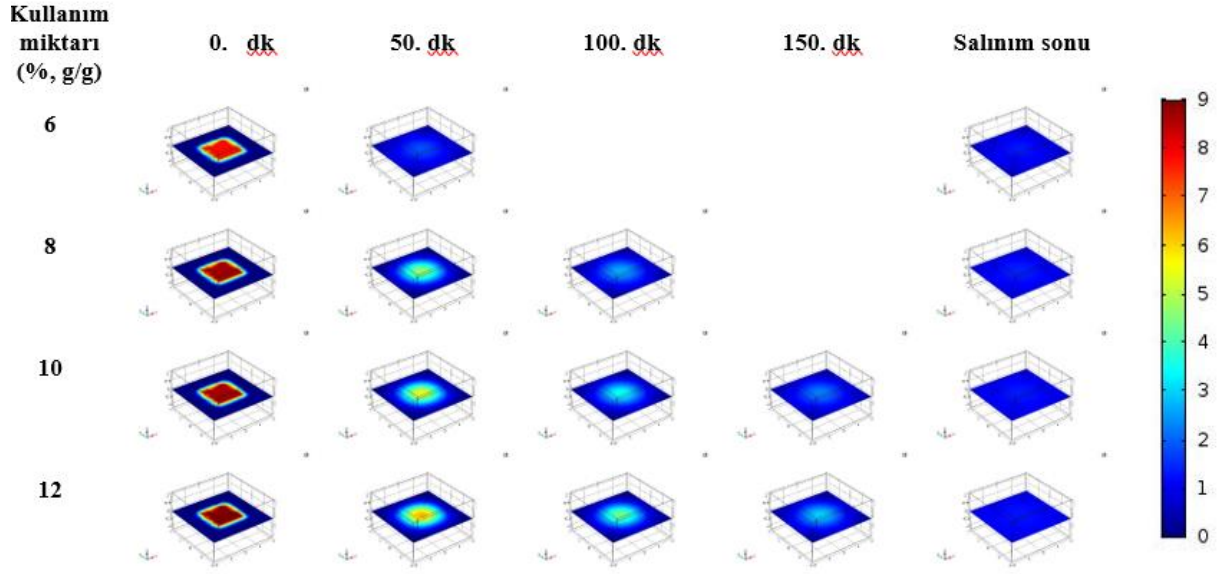




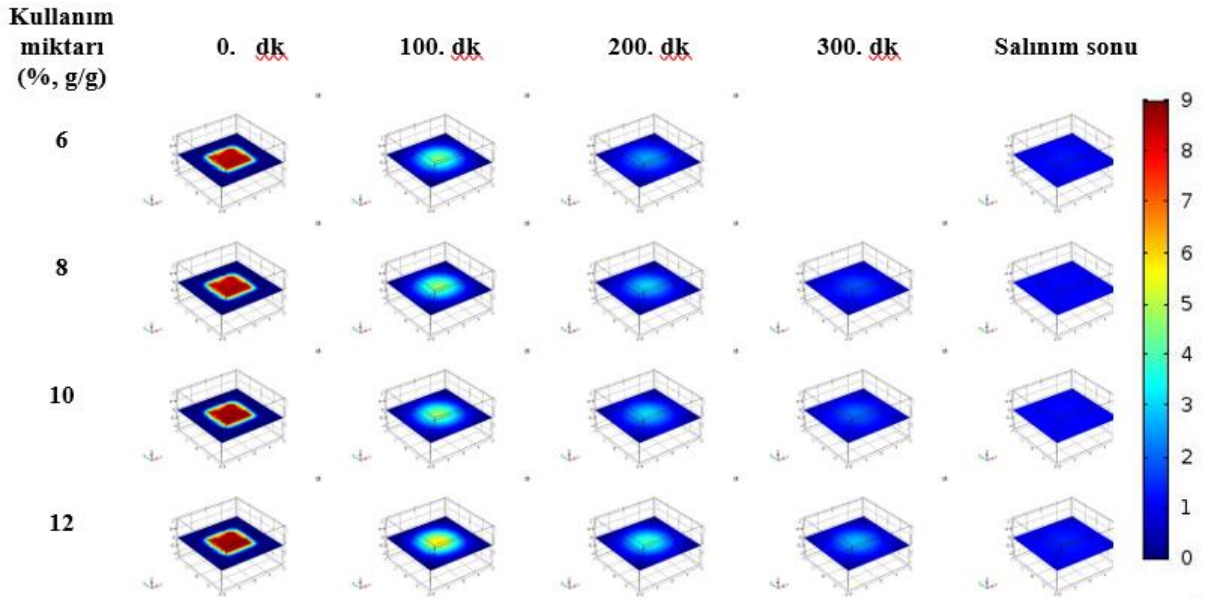
Şekil 3.4. Ortam 1 için farklı hidrokolloid ve konsantrasyonlardan elde edilen jel örneklerinden şeker salınımı işleminde kütle transferinin çözümlenmesi sonucu merkez noktası için nümerik modellemeye öngörülen salınım oranı değerleri ile deneysel salınım oranı değerleri ile deneysel salınım oranı değerlerinin süreye bağlı değişimi 1. 160 bloom, 2. 200 bloom, 3. 250 bloom (○: %6; △: %8; □: %10; ◇: %12) 4. Düşük metoksilli pektin (○: %1; △: %1.7; □: %2.4; ◇: %3.1); 5. Modifiye mısır nişasta (○: %2.5; △: %5; □: %7.5; ◇: %10). (○; △; □; ◇: öngörülen salınım oranı değerleri, ○; △; □; ◇: deneysel salınım oranı değerleri)

Ortam1’de model jellerdeki şekerin %90’nın salınmasının SEY yöntemiyle çözümünden elde edilen görüntüler her bir hidrokollid çeşidi için Şekil 3.5, 3.6, 3.7, 3.8, 3.9’da verilmiştir. Skaladaki kırmızı renk şeker oranının yüksekliği mavi renge doğru eğilim ise içerisindeki şekerin azaldığını ifade etmektedir. Nümerik modellemeye çözüm yapılırken ürünün içerisindeki şeker miktarına göre inceleme yapılmıştır. Salınım boyunca;

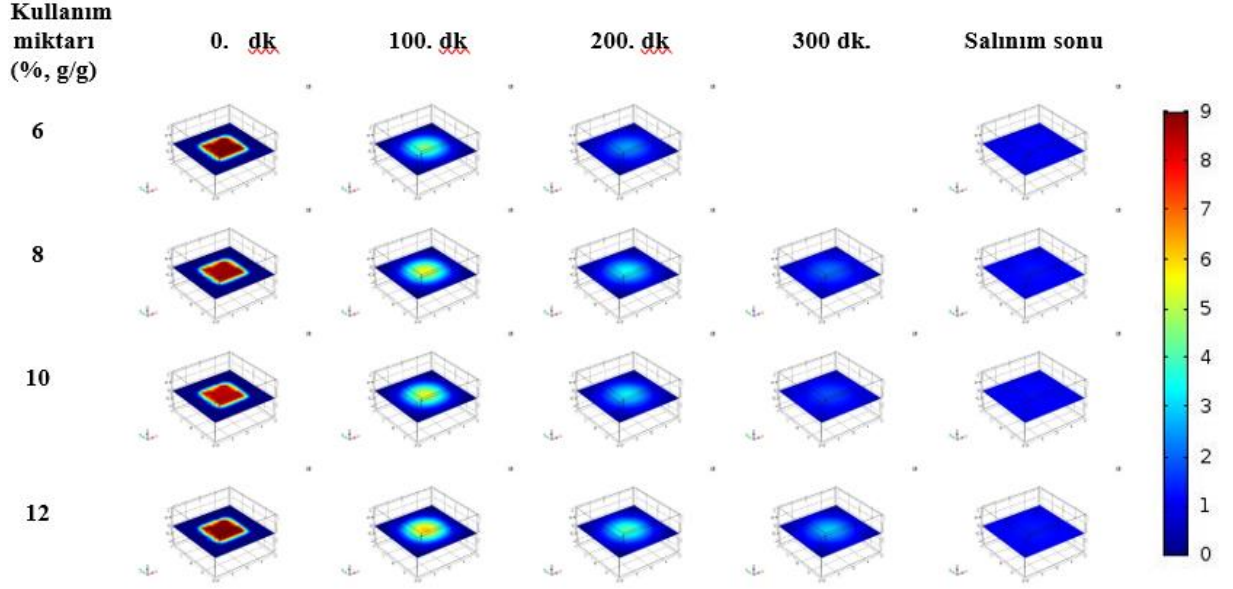
Şekil 3.5 160 bloom jelatinli örneklerin 0. dak, 50. dak, 100. dak, 150. dak ve salınım sonu görüntüleri verilmiştir.



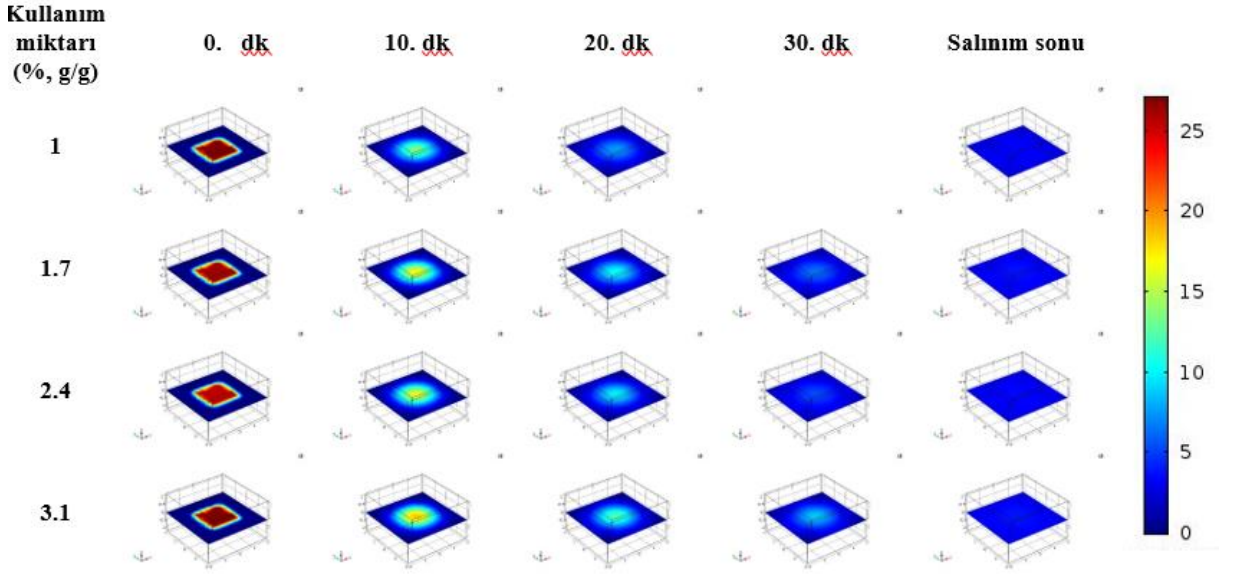
Şekil 3.5. 160 bloom jelatinli örnekler için Ortam1’de gerçekleşen salınımın Comsol görüntüleri



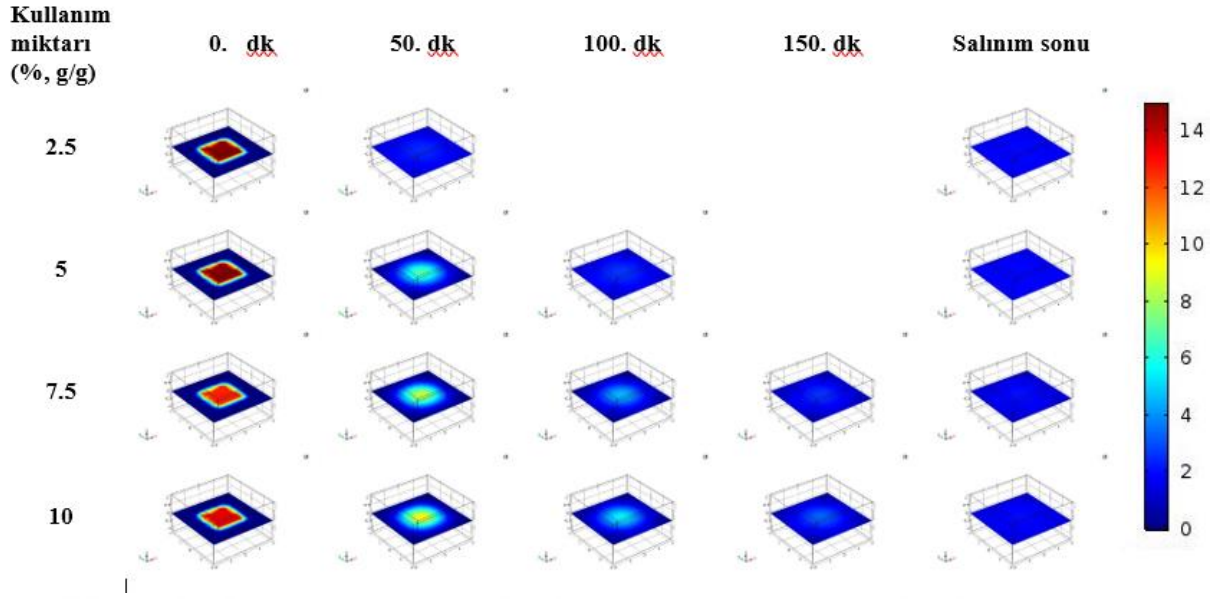
Şekil 3.6. 200 bloom jelatinli örnekler için Ortam1’de gerçekleşen salınımın Comsol görüntüleri



Şekil 3.7. 250 bloom jelatinli örnekler için Ortam1’de gerçekleşen salnımın Comsol görüntüleri

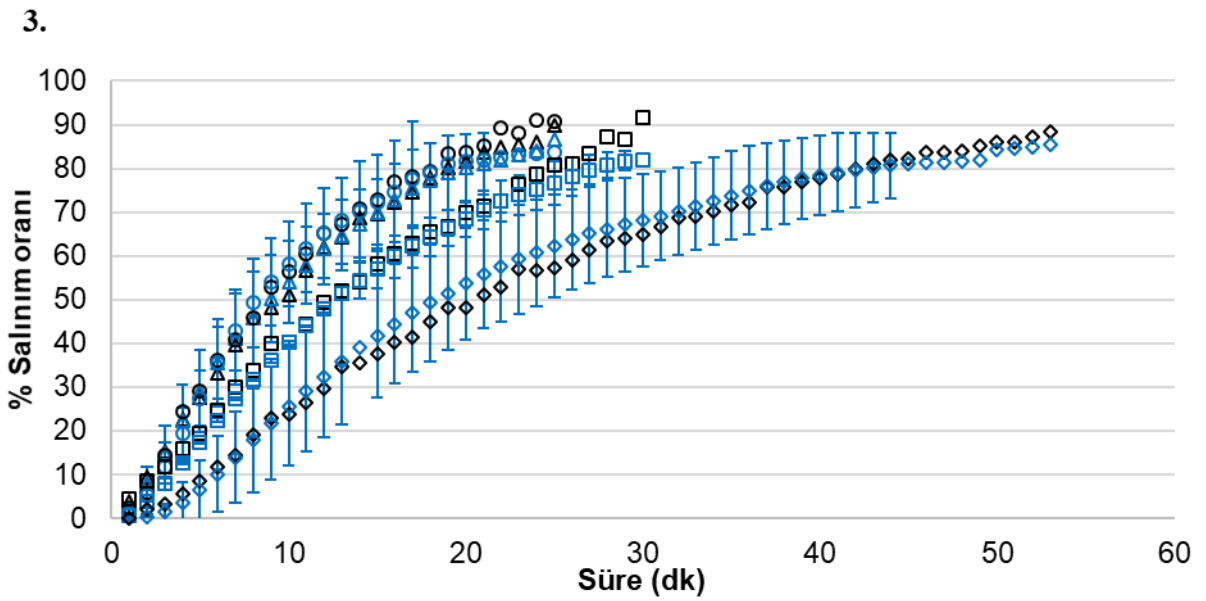
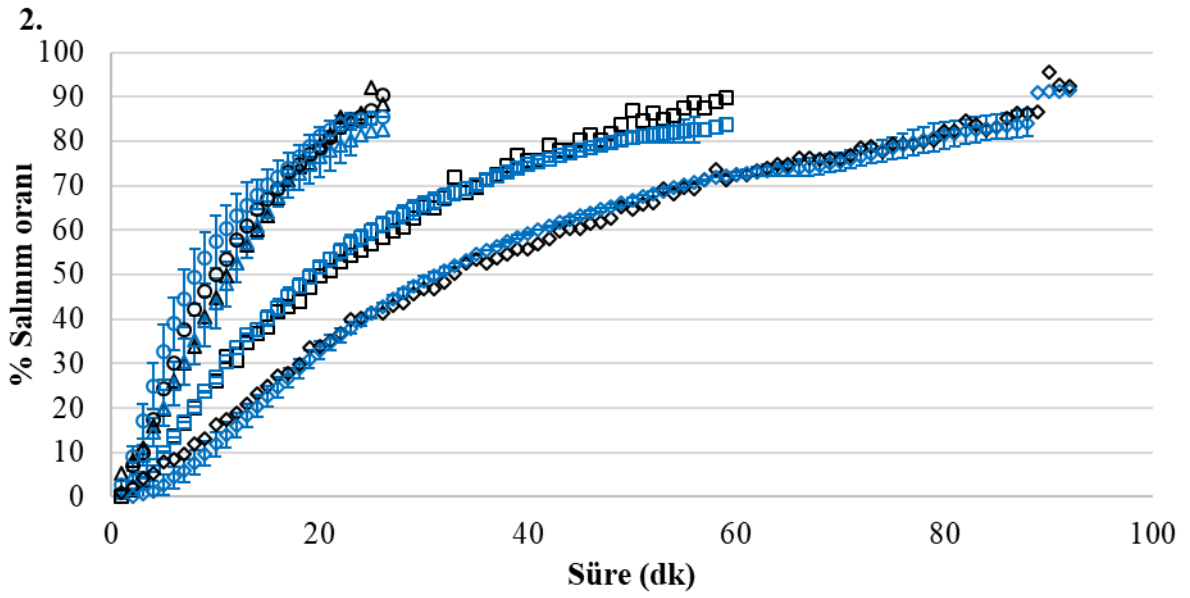
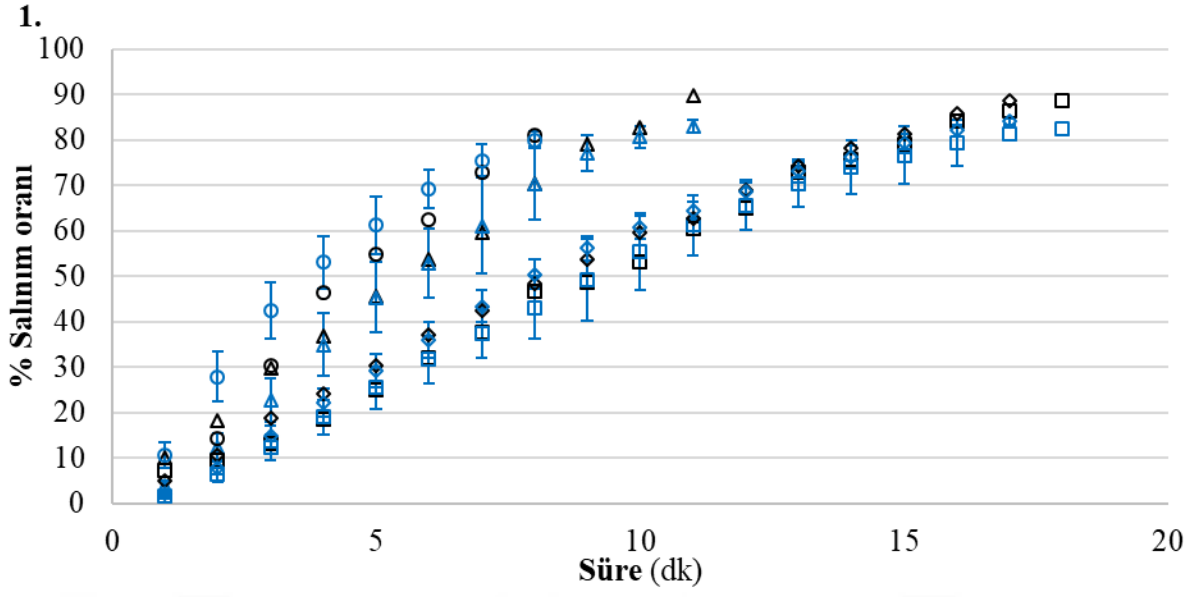


Şekil 3.8. DM pektinli örnekler için Ortam1’de gerçekleşen salnımın Comsol görüntüleri

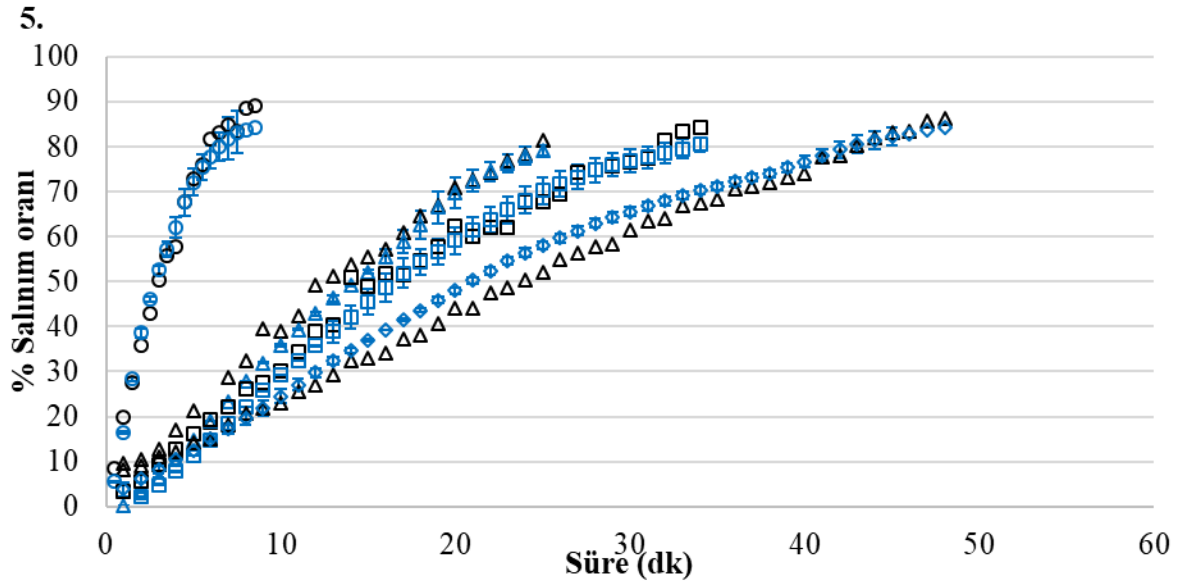
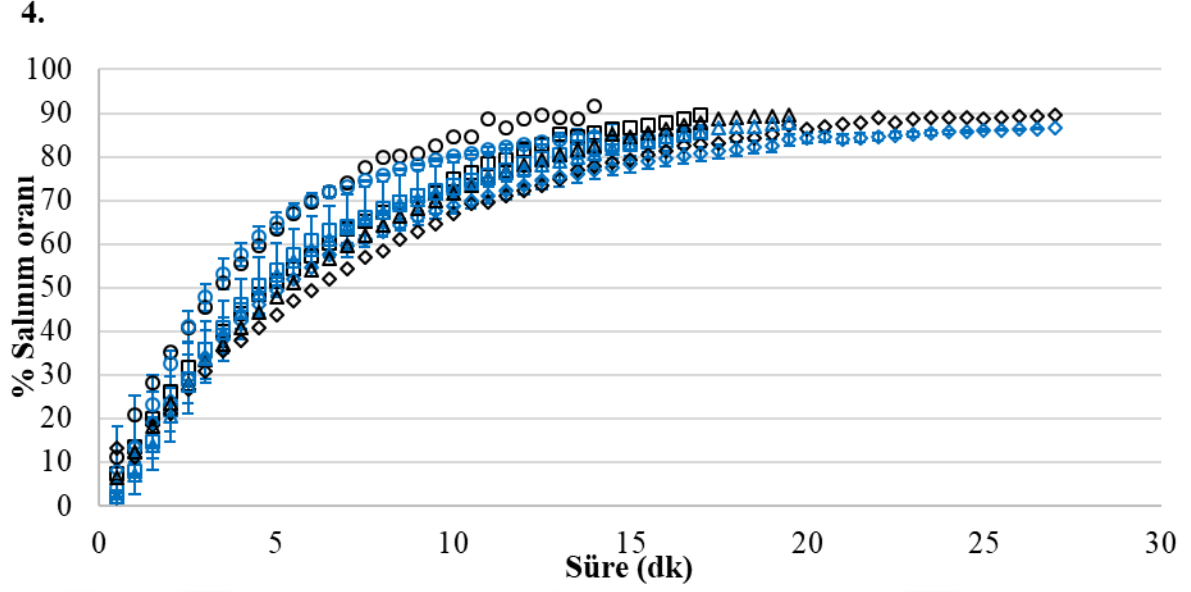


Şekil 3.9. MM nişastalı örnekler için Ortam1’de gerçekleşen salınımın Comsol görüntüleri

Şeker salınımı işlemi sırasında gerçekleşen kütle transferinin başarı ile modellendiği ve elde edilen model öngörülleri ile deneysel veriler arasındaki uyumun genel olarak iyi olduğu belirlenmiştir. Salınım işleminin modellenmesinde bazı çalışmalarda salınımının başında veya sonunda model öngörülleri ile deneysel değerler arasındaki uyumun bozulduğu ve daha sonra düzeldiği belirlenmiştir. Bazı çalışmalarda deney ile model arasındaki uyum çok az tespit edilmiştir. Kayunck vd., (2022), yüksek açilli (YA) ve düşük açilli gellan (DA) gum örneklerinden düşük moleküllü şekerlerin salınım modellemesinde DA gellan gum örneklerinin modelle uyumun YA gellan gum örneklerine göre daha iyi olduğunu tespit etmiştir. Ancak, model uyumu bu çalışmadaki gibi başarılı tespit edilememiştir. Bunun nedeni, araştırmacıların modellemede literatürden aldıkları şekerin suyun içindeki difüzyon değerini  $6 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$  (Stein ve Litman, 2015) olarak alması ve zamanla artan difüzyon değerini dikkate almadıkları için uyum daha az görüldüğü düşünülmektedir. Ortam2 için merkez noktasında öngörülen salınım oranının süreye bağlı olarak değişiminin deneysel verilerle uyumu Şekil 3.10’de verilmiştir.

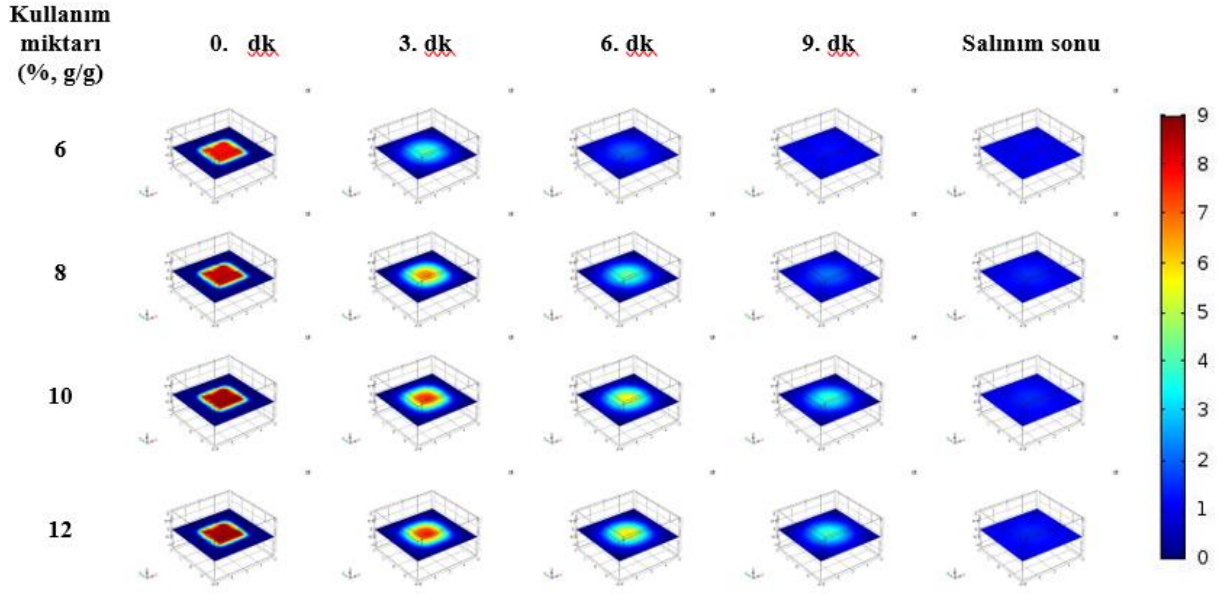




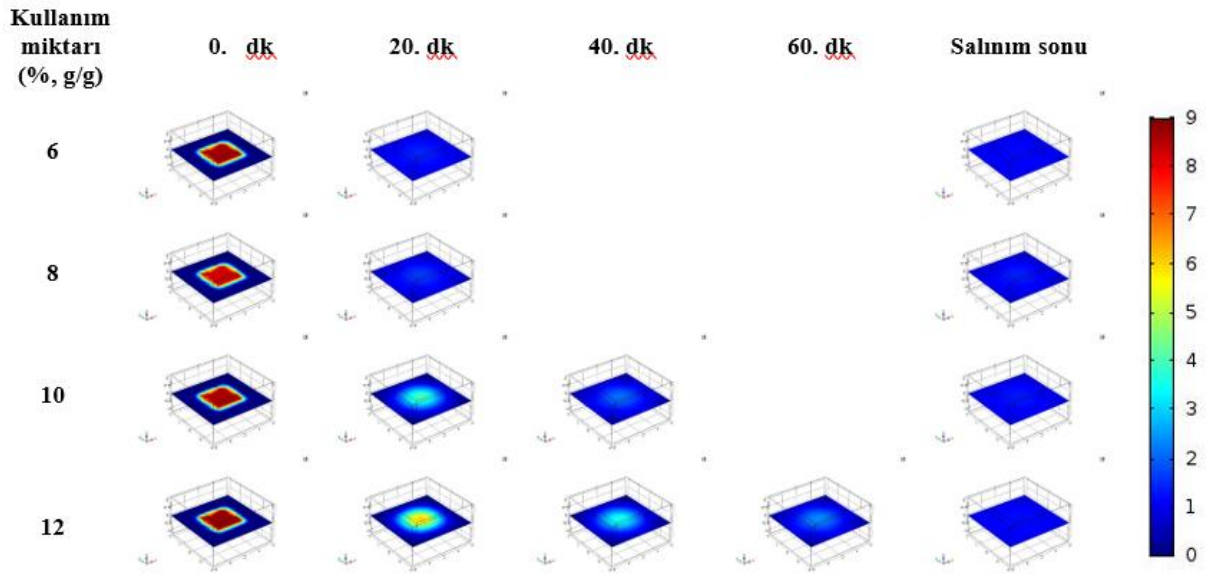


Şekil 3.10. Ortam 2 için farklı hidrokolloid ve konsantrasyonlardan elde edilen jel örneklerinden şeker salınımı işleminde kütle transferinin çözümlenmesi sonucu merkez noktası için nümerik modellemeye öngörülen salınım oranı değerleri ile deneysel salınım oranı değerlerinin süreye bağlı değişimi 1.b) 160 bloom, 2.b) 200 bloom, 3.b) 250 bloom (○: %6; △: %8; □: %10; ◇: %12) 4.b) Düşük metoksilli pektin (○: %1; △: %1.7; □: %2.4; ◇: %3.1); 5.b) Modifiye mısır nişasta (○: %2.5; △: %5; □: %7.5; ◇: %10). (○; △; □; ◇: öngörülen salınım oranı değerleri, ○; △; □; ◇: deneysel salınım oranı değerleri)

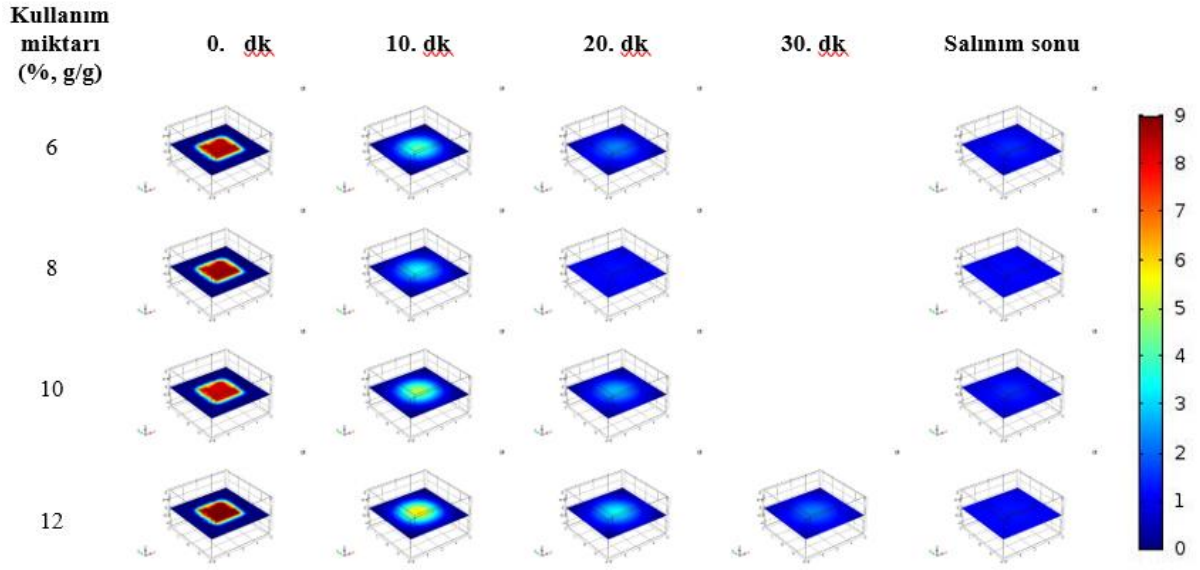
Ortam2’de gerçekleşen farklı hidrokolloidlerden üretilen model jellerdeki şekerin %90’nın salınmasının SEY yöntemiyle çözümünden elde edilen görüntüler Şekil 3.11, 3.12, 3.13, 3.14, 3.15’ de verilmiştir. Skaladaki kırmızı renk şeker oranının yüksekliği mavi renge doğru eğilim ise içerisindeki şekerin azaldığını ifade etmektedir. Nümerik modellemeye çözüm yapılırken ürünün içerisindeki şeker miktarına göre inceleme yapılmıştır.



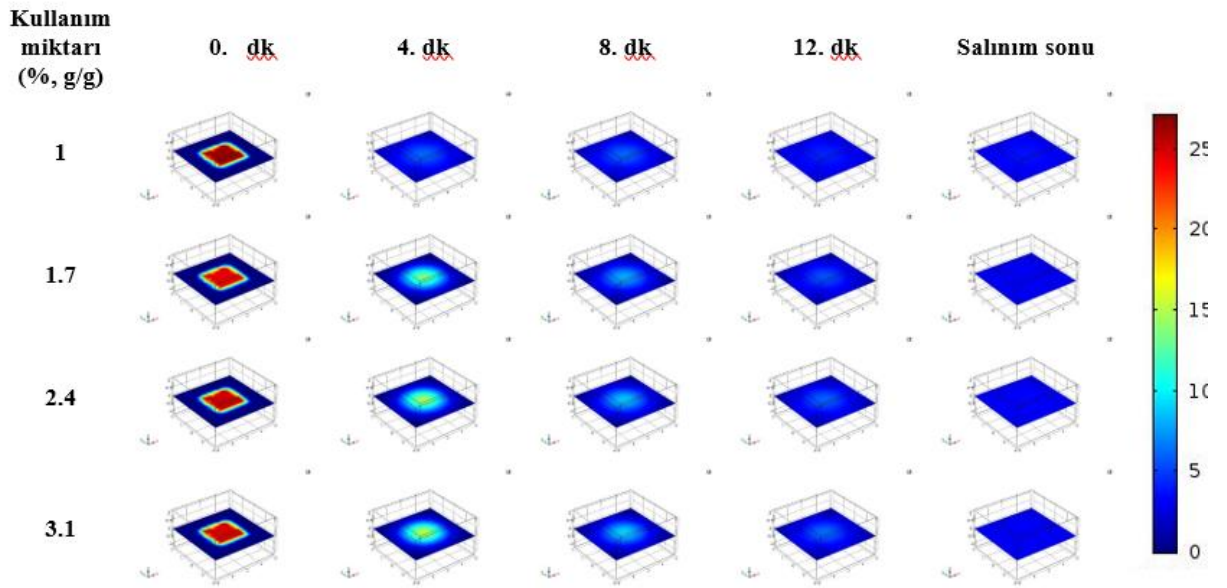
Şekil 3.11. 160 bloom jelatinli örnekler için Ortam2’de gerçekleşen salınımın Comsol görüntüleri



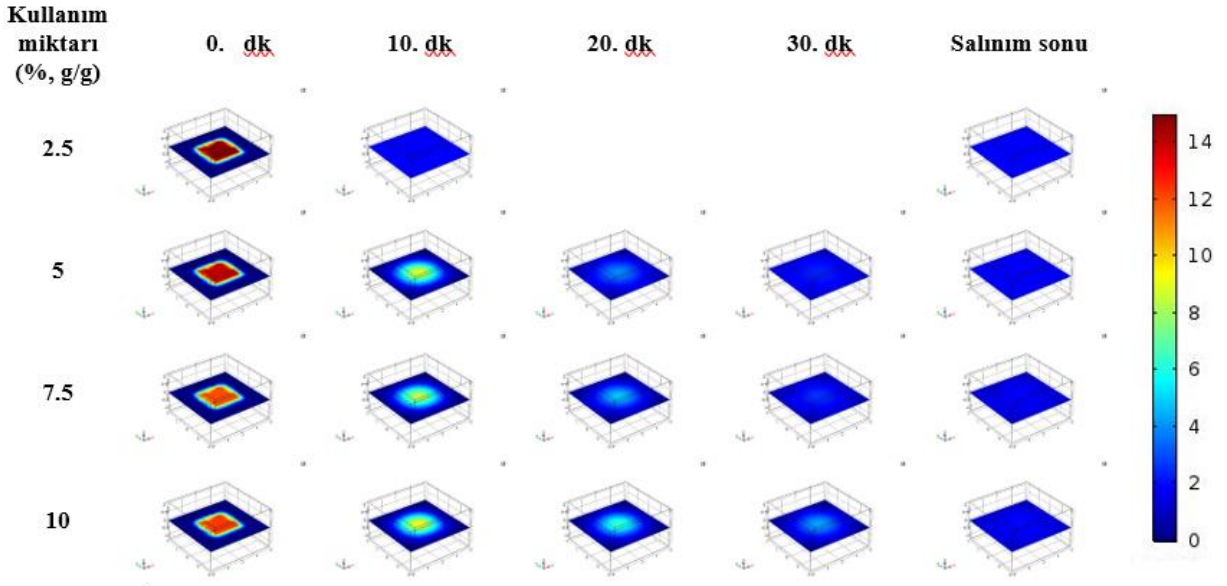
Şekil 3.12. 200 bloom jelatinli örnekler için Ortam2’de gerçekleşen salınımın Comsol görüntüleri



Şekil 3.13. 250 bloom jelatinli örnekler için Ortam2’de gerçekleşen salınımın Comsol görüntüleri



Şekil 3.14. DM pektinli örnekler için Ortam2’de gerçekleşen salınımın Comsol görüntüleri



Şekil 3.15. MM nişastalı örnekler için Ortam2’de gerçekleşen salınımın Comsol görüntüleri

Model öngörülleri ile deneysel verilerin RMSE ve  $X^2$  değerleri Çizelge 3.8’de verilmiştir. Çizelge 3.8 verilen RMSE ve  $X^2$  değerlerinden en düşük değere sahip olan modelin deney ile uyumu en iyi olduğunu temsil etmektedir. Ortam1’de yapılan çalışmada model uyumlulukları konsantrasyon ve hidrokolloid çeşidinden etkilenmemiştir ( $p>0.05$ ). Aynı durum ise ortam2’de gözlenmemiştir. Ortam2 hidrokolloid ve konsantrasyon farklılığından etkilenmiştir ( $p<0.05$ ). Ortam1 ve Ortam2 RMSE ve  $X^2$  değerleri kıyaslandığında genel olarak ortam2 için geğekleştirilen modelden daha iyi sonuç alındığı tespit edilmiştir. Modele mekanik değişim eklemek ve daha kısa süreli salınım modellemek deney ile uyumu arttırdığı tespit edilmiştir. Jellerde şişme ve parçalanma gibi yapısal değişikliklere neden olan çevresel uyarılar, moleküllerin salınım hızını etkileyebilmektedir (McClements, 2017).

Mills vd., (2011) yaptıkları bir çalışmada, farklı oranlardaki jelatinli, gellan ve aljinatlı jellerden tuz salınımı geğekleştirilmiş ve salınım işlemini COMSOL paket programı geğekleştirilerek modellemişlerdir. Model çalışmalarında, salınımın başlarında tahmin edilen tuz miktarı, ölçülen tuz miktarından daha hızlı olduğunu ve genel olarak ölçülen ile tahmin edilen değerler arasında yakınlık olduğunu rapor etmişlerdir. Yapılan bir başka çalışmada, insan sağlığını koruyabilmek amacıyla azaltılması gereken şeker, tuz, yağ gibi aktif bileşenlerin vücuda alım miktarını tanımlayabilmek için COMSOL paket programında modelleme işlemini geğekçştirmişlerdir. Modelleme için alijanttan şeker salınımında difüzyon ve enzimin etkisine bakmışlardır (Haydock, 2007).

Çizelge 3.8. Model öngörülleri ile deneysel verilerin RMSE ve  $X^2$  değerleri

Hidrokolloid çeşidi	Kullanım miktarı (% , g/g)	Ortam1		Ortam2	
		$X^2$	RMSE	$X^2$	RMSE
Jelatin (160 bloom)	6	11.25±4.19 <sup>a</sup>	3.21±0.59 <sup>a</sup>	19.31±1.39 <sup>a</sup>	4.16±0.17 <sup>a</sup>
	8	12.34±0.41 <sup>a</sup>	3.46±0.05 <sup>a</sup>	18.29±5.16 <sup>ab</sup>	4.07±0.58 <sup>a</sup>
	10	9.66±1.25 <sup>a</sup>	3.07±0.20 <sup>a</sup>	12.77±2.26 <sup>abc</sup>	3.47±0.29 <sup>ab</sup>
	12	10.94±1.16 <sup>a</sup>	3.27±0.17 <sup>a</sup>	5.63±0.33 <sup>c</sup>	2.30±0.07 <sup>b</sup>
Jelatin (200 bloom)	6	17.07±2.05 <sup>a</sup>	4.09±0.25 <sup>a</sup>	6.66±0.14 <sup>c</sup>	2.53±0.02 <sup>ab</sup>
	8	12.23±2.00 <sup>a</sup>	3.47±0.28 <sup>a</sup>	6.12±0.38 <sup>c</sup>	2.41±0.09 <sup>b</sup>
	10	13.59±0.96 <sup>a</sup>	3.66±0.13 <sup>a</sup>	8.62±1.54 <sup>abc</sup>	2.91±0.26 <sup>ab</sup>
	12	9.70±0.94 <sup>a</sup>	3.10±0.15 <sup>a</sup>	5.81±0.21 <sup>c</sup>	2.40±0.04 <sup>b</sup>
Jelatin (250 bloom)	6	18.52±4.94 <sup>a</sup>	4.25±0.57 <sup>a</sup>	6.75±0.25 <sup>c</sup>	2.54±0.03 <sup>ab</sup>
	8	14.58±0.51 <sup>a</sup>	3.79±0.07 <sup>a</sup>	5.93±3.73 <sup>c</sup>	2.32±0.76 <sup>b</sup>
	10	13.43±2.53 <sup>a</sup>	3.63±0.34 <sup>a</sup>	7.18±3.94 <sup>bc</sup>	2.58±0.74 <sup>ab</sup>
	12	15.09±0.34 <sup>a</sup>	3.87±0.04 <sup>a</sup>	11.46±2.89 <sup>abc</sup>	3.09±0.08 <sup>ab</sup>
DM pektin	1	16.89±10.30 <sup>a</sup>	3.96±1.27 <sup>a</sup>	15.65±2.46 <sup>ab</sup>	3.88±0.31 <sup>ab</sup>
	1.7	8.68±0.49 <sup>a</sup>	2.92±0.08 <sup>a</sup>	9.012±1.56 <sup>abc</sup>	2.96±0.25 <sup>ab</sup>
	2.4	8.16±6.70 <sup>a</sup>	2.70±1.22 <sup>a</sup>	10.23±0.33 <sup>abc</sup>	3.15±0.04 <sup>ab</sup>
	3.1	12.56±9.73 <sup>a</sup>	3.36±1.41 <sup>a</sup>	12.47±5.58 <sup>abc</sup>	3.46±0.79 <sup>ab</sup>
MM nişasta	2.5	9.62±2.93 <sup>a</sup>	3.06±0.47 <sup>a</sup>	11.87±4.46 <sup>abc</sup>	3.32±0.65 <sup>ab</sup>
	5	12.44±1.01 <sup>a</sup>	3.46±0.13 <sup>a</sup>	12.05±2.61 <sup>abc</sup>	3.42±0.37 <sup>ab</sup>
	7.5	8.86±0.63 <sup>a</sup>	2.93±0.10 <sup>a</sup>	13.91±0.02 <sup>abc</sup>	3.68±0.00 <sup>ab</sup>
	10	9.48±1.04 <sup>a</sup>	3.05±0.17 <sup>a</sup>	11.85±3.31 <sup>abc</sup>	3.39±0.48 <sup>ab</sup>

USSEL KUÇUK HARFLER; tüm hidrokolloidlerdeki arasındaki farklı harflendirmeler önemli farklılığı göstermektedir ( $p<0.05$ ).

#### 4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Şekerleme endüstrisinde jelleşme ajanı olarak yaygın olarak tercih edilen üç farklı hidrokolloid (jelatin (160, 200 ve 250 bloom)[6, 8 10 ve 12 g/g], düşük metoksilli pektin[1, 1.7 2.4 ve 3.1 g/g], modifiye mısır nişastası[ 2.5, 5, 7.5 ve 10 g/g]) ve bunların dört farklı kullanım düzeylerinden elde edilen şekerli model jel örnekleriyle çalışma yapılmıştır. Çalışmadaki asıl amaç şeker salınımının farklı tekstür özelliklerinden nasıl etkileneceği belirlemektir. Bu nedenle literatürde yaygın olarak tercih edilen ve farklı hidrokolloid kullanım düzeyleri kullanılmıştır. Model jellerin sertlik değerleri 160 bloom jelatinli örneklerde  $18.55 \pm 4.00$ - $56.22 \pm 8.05$  N, 200 bloom jelatinli örneklerde  $32.83 \pm 0.96$ - $56.17 \pm 4.33$  N, 250 bloom jelatinli örneklerde  $32.58 \pm 1.94$ - $54.89 \pm 5.36$  N, DM pektinli örneklerde  $40.05 \pm 2.303$ - $53.06 \pm 9.83$  N, MM nişastalı örneklerde  $1.75 \pm 0.50$ - $7.79 \pm 1.93$  N aralıklarında tespit edilmiştir. Hidrokolloid kullanım düzeyindeki artış sertlik değerleri üzerinde artışa sebep olmuştur. Jelatin örneklerinde jelleşme güç oranı sertlik değeri üzerinde önemli farklılıklara neden olmuştur (özellikle 160 bloom ile 200-250 bloom jelatinli örneklerde). 200 bloom ve 250 bloom derecesine sahip jelatinli örneklerde 250 bloom jelatinli örneklerin sertlik değerinin daha yüksek olması beklenmekteydi. Jelatin hammeddelerinin farklı firmalardan temin edilmesi ve safsızlıklarının farklı olması jelleşme güçlerinde dolayısıyla sertlik değerleri üzerinde farklılığa neden olmuştur. Bu durumun benzeri şekerleme sanayisinde de gözlenmektedir. Jelatinden elde edilen model jel örneklerin elastikiyet ve yapışkanlık özellikleri hidrokolloid kullanım düzeylerinden ve farklı bloom derecelerinin kullanılması önemli bir farklılık oluşturmamıştır. Çiğnenebilirlik özellik DM pektinli örneklerde hariç hidrokolloid konsantrasyonu arttıkça artış göstermiştir. Esneklik 160 bloom jelatinli örneklerde hariç en düşük ve en yüksek hidrokolloid kullanım düzeylerinde önemli farklılıklar tespit edilmiştir.

Model jellerin Depo Modülü incelenerek elde edilen K ve n değerlerine bakıldığında; kıvamı niteleyen K değerinin hidrokolloid kullanım düzeyi arttıkça artış gösterdiği belirlenmiştir (%10.00 g/g 160 bloom jelatinli örnek hariç). Jelatin örnekleri arasında farklı bloom derecelerinin kullanılması ve jelleşme gücünün artışı viskozite üzerinde etkisi tespit edilmiştir (en yüksek K değeri 250 bloom jelatinli jel örnekler sahiptir). DM pektin ve MM nişasta bazlı jel örneklerde artan hidrokolloid kullanımı artan K değerine sahip olmuştur. Akış davranışı hakkında yorum veren n değeri, 160, 200 bloom (%8 hariç) jelatinli örneklerle, DM pektin ve MM nişastalı örneklerde hidrokolloid kullanım miktarı arttıkça n değerinde düşüş görülmekte ve jel örneklerinde inceltme gözlemlenmektedir. 250 bloom jelatin jeli örneklerinde

ise, n' değerinde önemli farklılık görülmemiştir ( $p>0.05$ ). Şekerli model jellerde hidrokolloid kullanım düzeyinden partikül yoğunlukları ve poisson oranları genel olarak önemli farklılık olmazken, Young's modül değeri üzerinde etkili olduğu tespit edilmiştir.

Salınım işleminde sadece karıştırma işlemini simgeleyen ortam1 koşulunda; 160 bloom jelatinli örneklerin salınım süreleri  $72.50\pm 10.61$ - $240.00\pm 0.00$  dk, 200 bloom jelatinli örneklerin salınım süreleri  $290.00\pm 0.00$ - $510.00\pm 14.14$  dk, 250 bloom jelatinli örneklerin salınım süreleri  $282.50\pm 10.61$ - $517.50\pm 3.54$  dk, DM pektinli örneklerin salınım süreleri  $45.00\pm 0.00$ - $65.00\pm 8.40$  dk, MM nişastalı örneklerin salınım süreleri  $68.00\pm 5.66$ - $232.5\pm 10.61$  dk aralıklarında tespit edilmiştir. Jelatin örneklerinde jelleşme gücü farklı bir ifadeyle bloom derecelendirmesi arttıkça salınım sürelerinde artış görülmüştür. 200 bloom ve 250 bloom jelatin örneklerinde genel olarak aynı hidrokolloid kullanım düzeyine sahip olanlar salınım süreleri arasında anlamlı fark gözlemlenmemiştir. Ayrıca 200 ve 250 bloom jelatinli örneklerin sertlik değerlerinde de önemli farklılık bulunmaktadır. Karıştırma ve parçalama işlemini simgeleyen ortam2 koşulunda hidrokolloidlerin salınım süreleri  $8.50\pm 0.07$ - $51.50\pm 10.61$  dk aralığında tespit edilmiştir. Her iki ortamda en düşük salınım süresine DM pektin örneklerinde rastlanılmıştır. Bunun nedenin pektin örneklerinin 'short texture' özelliğine sahip olmasından kaynaklanmaktadır. Ayrıca ortam1'de gerçekleşen salınımın ortam 2'ye göre daha uzun olduğu görülmüştür. İki farklı ortam koşulunun salınım sürelerindeki farklılık, ortam2'de parçalanmayla beraber yüzey alanının artması, difüzyon yolunun kısalması ve difüzyon hızının artmasından meydana gelmektedir. Tekstür özellikleri ve şeker salınım süreleri kıyaslandığında, jelatin ve MM nişasta ile hazırlanan jellerde sertlik değeri arttıkça 1. ve 2. koşullarda elde edilen salınım süreleri arasında çok yüksek ve pozitif bir korelasyon tespit edilmiştir. Ortam1'de 160, 200 ve 250 bloom jelatin ile hazırlanan örneklerde jelatin kullanım oranına bağlı olarak elde edilen sertlik değerleri ile salınım süreleri arasındaki korelasyon katsayıları  $r = 0.973^*$ ,  $0.915^*$  ve  $0.861$  ( $*p<0.05$  olmuştur, 1-kuyruklu), ortam 2' de ise sırasıyla  $r = 0.931^*$ ,  $0.866$  ve  $0.856$  ( $*p<0.05$ , 1-kuyruklu). Öte yandan, MM nişasta ile hazırlanan örneklerde, 1. ve 2. ortamlar için korelasyon katsayıları sırasıyla  $r = 0.966^*$  ve  $0.846$  olarak bulunmuştur ( $*p<0.05$ , 1-kuyruklu). Ancak, DM pektin numunelerinde konsantrasyona bağlı sertlik değerleri ile şeker salınım süreleri arasında anlamlı bir ilişki tespit edilememiştir. Jelatin jellerinin kullanım düzeyine bağlı olarak partikül yoğunluğu ve salım süreleri arasında 160, 200 ve 250 bloom jelatin jelleri için korelasyon incelendiğinde ortam1 ve 2 için korelasyon katsayıları sırasıyla  $r = 0.958^*$ ,  $0.934^*$ ,  $0.861$  ( $*p<0.05$ ) ve  $r = 0.809$ ,  $0.906^*$ ,  $0.736$  ( $*p<0.05$ ) tespit edilmiştir. DM pektin ve MM nişastası ile hazırlanan jellerde jel konsantrasyonu ile partikül yoğunluğu ve Poisson oranı arasında bir

ilişki belirlenmemiştir. Şekerli model jellerin Young's modülü ile şekerin salınımı arasında yüksek bir korelasyon olduğu belirlenmiştir. Jelatinli jeller (160 200 ve 250 bloom), DM pektin ve MM nişasta örneklerinin Young's modülü ile jellerdeki hidrokolloid konsantrasyon artışına bağlı olarak elde edilen salım süreleri arasındaki korelasyon katsayıları ortam 1 ve 2 için sırasıyla  $r = 0.946^*$ ,  $0.957^*$ ,  $0.952^*$ ,  $0.854^{**}$ ,  $0.829^{**}$  ve  $r = 0.774^*$ ,  $0.780^*$ ,  $0.954^*$ ,  $0.752^{**}$ ,  $0.992^{**}$  ( $*p < 0.05$ ;  $**p < 0.01$ ). Çalışmada gerçekleştirilen salınımın nümerik modellemesi başarıyla gerçekleştirilmiştir. İki farklı ortamda model jellerden incelenen şeker salınımının  $D_{eff}$  aralığı Ortam 1 'de  $0.22 \times 10^{-8}$  ile  $5.07 \times 10^{-8}$   $m^2/s$ , Ortam 2 'de  $18.47 \times 10^{-8}$  ile  $1.37 \times 10^{-8}$   $m^2/s$  arasında bulunmuştur.

Bu çalışma ile şekerleme endüstrisinde kullanılan jelleştirici ajanın çeşidi ve kullanım miktarının önemli olduğu görülmüştür. Tekstür özellikleri içerisinde salınımı etkileyen en önemli parametrenin sertlik olduğu tespit edilmiştir. Yapılan çalışmada belirtilen süre  $25^\circ C$  ortam koşulu için gerçekleştirilmiştir. Çalışmadaki amaç, salınım süresini belirlemek değil, salınımı etkileyen parametreleri incelemek olduğu için salınım süreleri  $36^\circ C$  ortama göre daha uzun olabilmektedir. Ayrıca, incelenen şekerin inversiyona uğrayıp uğramaması, şeker profilinin farklılığı, aroma veya diğer biyoaktif maddelerin salınımının şeker salınımı nasıl etkileyeceğine dair çalışmaların altyapısını oluşturduğu düşünülmektedir. Şekerleme endüstrisinde genellikle %7-8 (g/g) oranında jelatin kullanımı gerçekleştirilmektedir ve bu çalışmayla en uygun kullanım düzeyi olarak %8 i vermek mümkündür. Jelly örneklerinde 160 bloom jelatinin % 10-12 (g/g), 200 bloom veya 250 bloom jelatinin %6-8 (g/g) oranını önerebiliriz. Hızlı eriyip, parçalanması istenilen örneklerde ise jelleştirici ajan olarak pektin (%2.4-3.1 g/g) kullanılması öneri olarak verilebilmektedir. Bu çalışma bir sonraki şekerleme ürünlerinde biyoaktif madde salınım çalışmalarına alt yapısı olma niteliği taşımaktadır, özellikle salınımın nümerik olarak modellenmesi şekerleme endüstrisi açısından önem teşkil etmektedir.



## KAYNAKLAR

- Abd Karim, A., Norziah, M. H. ve Seow, C. C. (2000). Methods for the study of starch retrogradation. *Food chemistry*, 71(1), 9-36.
- Alcázar-Alay, S. C., ve Meireles, M. A. A. (2015). Physicochemical properties, modifications and applications of starches from different botanical sources. *Food Science and Technology*, 35(2), 215–236. <https://doi.org/10.1590/1678-457X.6749>.
- Antoniou, K. D., Petridis, D., Raphaelides, S., Omar, Z. B. Ve Kesteloot, R. (2000). Texture assessment of French cheeses. *Journal of Food Science*, 65(1), 168-172.
- Anon 2022a, <https://www.serdarkorkut.com/2017/05/09/sonlu-elemanlar-metodu/> Erişim tarihi: 13.09.2022
- Anon 2022b, <https://matkafasi.com/133982/muhendislik-uygulama-alanlarinda-kullanilan-matematik-konulari> Erişim tarihi: 13.09.2022
- Arshad, R. N., Abdul-Malek, Z., Munir, A., Ahmad, M. H., Nawawi, Z., Sidik, M. A. B., ... ve Khan, A. (2021). An improved electroporator with continuous liquid flow and double-exponential waveform for liquid food pasteurization. *IEEE Access*, 9, 147732-147742.
- Artık, N., Bayındırlı, L. Ve Mert, İ. (2011). Karbonhidratlar, Mısır Şekeri ve Gıda Endüstrisinde Kullanımı. *Türkiye Gıda ve İçecek Sanayii Dernekleri Federasyonu*. Ankara, 104s.
- Batu, A. Ve Kırmacı, B. (2006). Lokum üretimi ve sorunları. *Gıda Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 3, 37-49.
- Bayarri, S., Rivas, I., Costell, E. ve Durán, L. (2001). Diffusion of sucrose and aspartame in kappa-carrageenan and gellan gum gels. *Food Hydrocolloids*, 15(1), 67–73.
- Baysal, T., İcier, F., Ersus, S. ve Yıldız, H. (2003). Effects of microwave and infrared drying on the quality of carrot and garlic. *European Food Research and Technology*, 218(1), 68-73.
- Boland, A. B., Buhr, K., Giannouli, P. ve van Ruth, S. M. (2004). Influence of gelatin, starch, pectin and artificial saliva on the release of 11 flavour compounds from model gel systems. *Food Chemistry*, 86(3), 401–411.
- Boland, A. B., Delahunty, C. M. ve van Ruth, S. M. (2006). Influence of the texture of gelatin gels and pectin gels on strawberry flavour release and perception. *Food chemistry*, 96(3), 452-460.
- Boran, G. (2011). Bir gıda katkısı olarak jelatin: yapısı, özellikleri, üretimi, kullanımını ve kalitesi. *Gıda*, 36(2), 97-104.
- Borreani, J., Espert, M., Salvador, A., Sanz, T., Quiles, A. ve Hernando, I. (2017). Oil in water emulsions stabilised by cellulose ethers: Stability, structure and in vitro digestion. *Food and Function*, 8(4), 1547-1557.

- Busch, J. L. H. C., Yong, F. Y. S. ve Goh, S. M. (2013). Sodium reduction: Optimizing product composition and structure towards increasing saltiness perception. *Trends in Food Science & Technology*, 29(1), 21-34.
- Burey, P., Bhandari, B.R., Rutgers, R.P.G., Halley, P.J. ve Torley, P.J. (2009). Confectionery gels: A review on formulation, rheological and structural aspects. *International Journal of Food Properties*, 12, 176-210.
- Chakraborty, I., Mal, S. S., Paul, U. C., Rahman, M. ve Mazumder, N. (2022). An insight into the gelatinization properties influencing the modified starches used in food industry: A Review. *Food and Bioprocess Technology*, 1-29.
- Chen, J. (2009). Food oral processing e a review. *Food Hydrocolloids*, 23(1), 1-25.
- Chen, J. ve Stokes, J. R. (2012). Rheology and tribology: two distinctive regimes of food texture sensation. *Trends in Food Science & Technology*, 25(1), 4-12.
- Chen, Y., She, Y., Zhang, R., Wang, J., Zhang, X. ve Gou, X. (2020). Use of starch-based fat replacers in foods as a strategy to reduce dietary intake of fat and risk of metabolic diseases. *Food Science & Nutrition*, 8(1), 16–22.
- Clark, R. (2002). Influence of hydrocolloids on flavour release and sensory-instrumental correlations. *Gums and stabilisers for the food industry 11*, 217-224.
- Cliff, M. ve Heymann, H. (1993). Development and use of time intensity methodology for sensory evaluation: a review. *Food Research International*, 26(5), 375-385.
- Cruz, A. C., Guiné, R. P. ve Gonçalves, J. C. (2015). Drying kinetics and product quality for convective drying of apples (cvs. Golden Delicious and Granny Smith). *International Journal of Fruit Science*, 15(1), 54-78.
- da Silva, L. B., Annetta, F. E., Alves, A. B., Queiroz, M. B., Fadini, A. L., da Silva, M. G. ve Efraim, P. (2016). Effect of differently processed açai (*Euterpe oleracea* Mart.) on the retention of phenolics and anthocyanins in chewy candies. *International Journal of Food Science & Technology*, 51(12), 2603-2612.
- De Lavergne, M. D., van Delft, M., van de Velde, F., van Boekel, M. A. ve Stieger, M. (2015). Dynamic texture perception and oral processing of semi-solid food gels: Part 1: Comparison between QDA, progressive profiling and TDS. *Food Hydrocolloids*, 43, 207-217.
- De Loubens, C., Panouillé, M., Saint-Eve, A., Déléris, I., Tréléa, I. C. ve Souchon, I. (2011). Mechanistic model of in vitro salt release from model dairy gels based on standardized breakdown test simulating mastication. *Journal of Food Engineering*, 105(1), 161-168.
- Delgado, P. ve Bañón, S. (2018). Effects of replacing starch by inulin on the physicochemical, texture and sensory characteristics of gummy jellies. *CyTA-Journal of Food*, 16(1), 1-10.
- Demircan, A. (2019). *Yüksek lif içerikli jelly üretimi için formülasyon optimizasyonu* (Yüksek Lisans Tezi). Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ.
- Demircan, A., Palabiyik, I. ve Demirci, A. S. (2019). Production of inulin containing jelly type soft confectionery and optimization of ingredients. *The Journal of Food*, 44(5), 759–769.

- Di Monaco, R., Miele, N.A., Cabisidan, E.K. ve Cavella, S., (2018). Strategies to reduce sugars in food. *Current Opinion in Food Science*, 19, 92-97.
- Durack, E., Alonso-Gomez, M. ve Wilkinson, M. G. (2008). Salt: a review of its role in food science and public health. *Current Nutrition ve Food Science*, 4(4), 290-297.
- Elgün, A. ve Ertugay, Z., (2003). Tahıl İşleme Teknolojisi. Atatürk Üniversitesi Yayınları No:718, s:376.
- Engel, J. ve Bächinger, H. P. (2005). Structure, stability and folding of the collagen triple helix. *Collagen*, 7-33.
- Ergun, R., Lietha, R. Ve Hartel, R. W. (2010). Moisture and shelf life in sugar confections. *Critical reviews in food science and nutrition*, 50(2), 162-192.
- Ertugay, Z. Ve Kotancılar, G., (1988). Nişastanın bazı fizikokimyasal özellikleri ile ekmek içi sertliği arasındaki ilişkiler. *Gıda*, 13, 115-121.
- Espert, M., Borreani, J., Hernando, I., Quiles, A., Salvador, A. ve Sanz, T. (2017). Relationship between cellulose chemical substitution, structure and fat digestion in o/w emulsion. *Food Hydrocolloids*, 69, 76-85.
- Espert, M., Constantinescu, L., Sanz, T., ve Salvador, A. (2019). Effect of xanthan gum on palm oil in vitro digestion. Application in starch-based filling creams. *Food Hydrocolloids*, 86, 87-94.
- Eştürk, Ö. (2018). Türkiye’de şeker sektörünün önemi ve geleceği üzerine bir değerlendirme. *Anadolu İktisat ve İşletme Dergisi*, 2(1), 67-81.
- Eysturskarð, J. (2010). Mechanical properties of gelatin gels; Effect of molecular weight and molecular weight distribution. *Norwegian University of Science and Technology*.
- Fan, Y. ve Picchioni, F. (2020). Modification of starch: A review on the application of “green” solvents and controlled functionalization. *Carbohydrate Polymers*, 241, 116350.
- Fanta, S. W., Abera, M. K., Aregawi, W. A., Ho, Q. T., Verboven, P., Carmeliet, J. ve Nicolai, B. M. (2014). Microscale modeling of coupled water transport and mechanical deformation of fruit tissue during dehydration. *Journal of food engineering*, 124, 86-96.
- Figiel, A. veTajner-Czepek, A. (2006). The effect of candy moisture content on texture. *Journal of Food Service*, 17, 189-195.
- Foegeding, E. A. (2007). Rheology and sensory texture of biopolymer gels. *Current Opinion in Colloid & Interface Science*, 12(4-5), 242-250.
- Funami, T. (2011). Next target for food hydrocolloid studies: Texture design of foods using hydrocolloid technology. *Food Hydrocolloids*, 25(8), 1904-1914.
- Gerçekaslan, K.E., Kotancılar, H.G., Karaoğlu, M.M., 2007. Ekmek bayatlaması ve bayatlama derecesini ölçmede kullanılan yöntemler-I. *Gıda*, 32 (6): 305-315.

- Gok, S., Toker, O. S., Palabiyik, I. ve Konar, N. (2020). Usage possibility of mannitol and soluble wheat fiber in low calorie gummy candies. *LWT*, 128, 109531.
- Göztok, P. S. (2017). *Karbon fiber destekli kabin kurutucuda elma kurutulmasının deneysel ve kuramsal incelenmesi ve işlemin enerjetik/ekserjetik değerlendirilmesi* (Yüksek Lisans Tezi), Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Guinard, J. X. ve Marty, C. (1995). Time-intensity measurement of flavor release from a model gel system: effect of gelling agent type and concentration. *Journal of Food Science*, 60(4), 727-730.
- Gunes, R., Palabiyik, I., Konar, N. ve Toker, O. S. (2022). Soft confectionery products: Quality parameters, interactions with processing and ingredients. *Food Chemistry*, 132735.
- Guo, P., Yu, J., Copeland, L., Wang, S. ve Wang, S. (2018a). Mechanisms of starch gelatinization during heating of wheat flour and its effect on in vitro starch digestibility. *Food Hydrocolloids*, 82, 370-378.
- Guo, P., Yu, J., Wang, S., Wang, S. ve Copeland, L. (2018b). Effects of particle size and water content during cooking on the physicochemical properties and in vitro starch digestibility of milled durum wheat grains. *Food Hydrocolloids*, 77, 445-453.
- Güzel, M., ve Akpınar, Ö., (2017). Turunçgil kabuklarından elde edilen pektinlerin karakterizasyonu ve karşılaştırılması. *Akademik Gıda*, 15(1), 17-28.
- Hansson, A., Giannouli, P. ve van Ruth, S. (2003). The influence of gel strength on aroma release from pectin gels in a model mouth and in vivo, monitored with proton-transfer-reaction mass spectrometry. *Journal of agricultural and food chemistry*, 51(16), 4732-4740.
- Harrison, M. ve Hills, B. P. (1997). Mathematical model of flavor release from liquids containing aroma-binding macromolecules. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 45(5), 1883-1890.
- Harrison, M., Campbell, S. ve Hills, B. P. (1998). Computer simulation of flavor release from solid foods in the mouth. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 46(7), 2736-2743.
- Harrison, S. M., Cleary, P. W., Eyres, G., Sinnott, M. D. ve Lundin, L. (2014). Challenges in computational modelling of food breakdown and flavour release. *Food & function*, 5(11), 2792-2805.
- Hartel, R. W., Joachim, H. ve Hofberger, R. (2018). Confectionery science and technology (Vol. 536). Berlin/Heidelberg, Germany: Springer.
- Hatschek, E. (1931). The study of gels by physical methods. *The Journal of Physical Chemistry*, 36(12), 2994-3009.
- Haydock, D., Melrose, J., Rayment, P., Butler, M. F. ve Lian, G. (2007). *Modelling Controlled Release Of Actives From Structured Foods*. Paper presented at The Proceedings of the COMSOL Users Conference, Grenoble. Erişim adresi: <https://www.researchgate.net/publication/268439374>

- Jahanbakhshian, N., Hamdami, N. ve Shahedi, M. (2017). Measurement and prediction of the mechanical properties of a two-component food during freezing. *International Journal of Food Properties*, 20(3), 3088-3095.
- Jamjariyatam, R. (2017). Influence of gelatin and isomaltulose on gummy jelly properties. *International Food Research Journal*, 25(2), 776–783.
- Jiang, G. ve Liu, Q. (2002). Characterization of residues from partially hydrolyzed potato and high amylose corn starches by pancreatic  $\alpha$ -amylase. *Starch/Stärke*, 54, 527-533.
- Kahraman, K. ve Köksel, H., 2006. Enzime dirençli nişasta üretimi ve fonksiyonel özelliklerinin incelenmesi. *Hububat Ürünleri Tekn. Kong.*, 7-8 Eylül, Gaziantep.
- Kanyuck, K. M., Mills, T. B., Norton, I. T. ve Norton-Welch, A. B. (2022). Release of glucose and maltodextrin DE 2 from gellan gum gels and the impacts of gel structure. *Food Hydrocolloids*, 122, 107090.
- Kara, K. B. (2017). Sonlu farklar yöntemi ile 1-b ve 2-b yer radarı modellemesi. *Uygulamalı Yerbilimleri Dergisi*, 16(2), 13-28.
- Karaoğlu, M.M. (1998). *Farklı yöntemler uygulanarak elde edilmiş modifiye nişastaların kek kalitesi üzerin etkileri*. (Yüksek Lisans Tezi). Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Karaoğlu, M.M. (2005). Nişasta retrogradasyonu: 1. Nişasta retrogradasyonu ve Gıda endüstrisi için önemi. *Unlu Mamuller Tekn.*, 67, 52-65.
- Karim, A. A. ve Bhat, R. (2009). Fish gelatin: properties, challenges, and prospects as an alternative to mammalian gelatins. *Food hydrocolloids*, 23(3), 563-576.
- Kılıç, B. (2001). *Meyve suyu dolgulu jelly şekerleme geliştirilmesi* (Yüksek Lisans Tezi) Gaziantep Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Gaziantep.
- Kim, N.K. ve Hung, Y.C. (1994). Freeze-Cracking in Foods as Affected by Physical Properties. *Journal of Food Science*, 59, 669–674.
- Konar, N., Gunes, R., Palabiyik, I. Ve Toker, O. S. (2022). Health conscious consumers and sugar confectionery: Present aspects and projections. *Trends in Food Science & Technology*.
- Konar, N., Palabiyik, I., Toker, O. S. ve Sagdic, O. (2016). Chewing gum: Production, quality parameters and opportunities for delivering bioactive compounds. *Trends in Food Science & Technology*, 55, 29–38.
- Lau, E., Soong, Y. Y., Zhou, W. ve Henry, J. (2015). Can bread processing conditions alter glycaemic response?. *Food chemistry*, 173, 250-256.
- Liu L.S., Kende M., Ruthel G., Fishman M.L. ve Hicks, K.B., (2006). Pectin/Zein beads for potential colon-specific drug delivery: synthesis and in vitro evaluation. *Drug Delivery* 13(6), 417-423.

- Liu, K., Stieger, M., van der Linden, E. ve van de Velde, F. (2015). Fat droplet characteristics affect rheological, tribological and sensory properties of food gels. *Food Hydrocolloids*, 44, 244-259.
- Lopez-Sanchez, P., Fredriksson, N., Larsson, A., Altskär, A. ve Ström, A. (2018). High sugar content impacts microstructure, mechanics and release of calcium-alginate gels. *Food Hydrocolloids*, 84, 26-33.
- Marfil, P.H.M., Anhe, A.C.B.M. ve Tellis, V.R.N. (2012). Texture and Microstructure of Gelatin/Corn Strach-Based Gummy Confections. *Food Biophysics*, 7, 236-243.
- Martins, R. C. (2006). Simple finite volumes and finite elements procedures for food quality and safety simulations. *Journal of Food Engineering*, 73(4), 327-338.
- Mathobo, V. M., Silungwe, H., Ramashia, S. E. ve Anyasi, T. A. (2021). Effects of heat-moisture treatment on the thermal, functional properties and composition of cereal, legume and tuber starches—a review. *Journal of Food Science and Technology*, 58(2), 412–426. <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04520-4>.
- Mavroudis, N. E., Dejmek, P. ve Sjöholm, I. (2004). Studies on some raw material characteristics in different Swedish apple varieties. *Journal of Food Engineering*, 62(2), 121-129.
- McClements, D. J. (2017). Designing biopolymer microgels to encapsulate, protect and deliver bioactive components: Physicochemical aspects. *Advances in Colloid and Interface Science*, 240, 31–59.
- Mills, T., Spyropoulos, F., Norton, I. T. ve Bakalis, S. (2011). Development of an in-vitro mouth model to quantify salt release from gels. *Food Hydrocolloids*, 25(1), 107-113.
- Mohos, F. A. (2017). Gelling, emulsifying, stabilizing and foam formation. In F. A. Mohos (Ed.), *Confectionery and chocolate engineering: Principles and applications* (pp. 424–467). John Wiley & Sons Inc. ISBN 9781118939772
- Molla, M.E. (2011). *Glikoz Şurubu ve Sakarozun Hammadde Olarak Kullanılması ile Üretilen Sade ve Sultan Lokumlarında Kalite Bileşenlerinin Belirlenmesi ve Raf Ömrüne Etkisi*, (Yüksek Lisans Tezi) ,Afyonkarahisar Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon.
- Morris, E. R. (1994). Food Hydrocolloids-Structures, Properties, and Functions. *Rheological and organoleptic properties of food hydrocolloids* (201-210). NewYork, USA: Plenum Press.
- Mosca, A. C., van de Velde, F., Bult, J. H., van Boekel, M. A. ve Stieger, M. (2010). Enhancement of sweetness intensity in gels by inhomogeneous distribution of sucrose. *Food Quality and Preference*, 21(7), 837-842.
- Mutlu, C., Tontul, S. A. ve Erbaş, M. (2018). Production of a minimally processed jelly candy for children using honey instead of sugar. *LWT - Food Science and Technology*, 93, 499–505.

- Nagasaka, K. ve Taneya, S. I. (2000). Effects of sugars on syneresis of agarose gel (syneresis phenomena of foods part 3). *Journal of the Japanese Society for Food Science and Technology*, 47(9), 670-678.
- Nakamura, K., Shinoda, E. ve Tokita, M. (2001). The influence of compression velocity on strength and structure for gellan gels. *Food Hydrocolloids*, 15(3), 247-252.
- Naz, M. Y., Sulaiman, S. A., Ariwahjoedi, B. Ve Shaari, K. Z. K. (2014). Characterization of modified tapioca starch solutions and their sprays for high temperature coating applications. *The Scientific World Journal*.
- Nishimoto, M., Sakamoto, R., Mizuta, S. ve Yoshinaka, R., (2005). Identification and characterization of molecular species of collagen in ordinary muscle and skin of the Japanese sounder (*Paralichthys olivaceus*). *Journal of Food Chemistry*, 90, 151-156.
- Nishinari, K. ve Fang, Y. (2016). Sucrose release from polysaccharide gels e a review. *Food & Function*, 7(5), 2130-2146.
- Nishinari, K., Fang, Y. ve Rosenthal, A. (2019). Human oral processing and texture profile analysis parameters: Bridging the gap between the sensory evaluation and the instrumental measurements. *Journal of Texture Studies*, 50, 369–380.
- Nishinari, K., Watase, M., Kohyama, K., Nishinari, N., Koide, S. ve Ogino, K. (1992). The effect of sucrose on the thermo-reversible gel-sol transition in agarose and gelatin. *Polymer Journal*, 24(9), 871-877.
- Normand, V., Aymard, P., Lootens, D. L., Amici, E., Plucknett, K. P. ve Frith, W. J. (2003). “- Effect of sucrose on agarose gels mechanical behaviour. *Carbohydrate Polymers*, 54, 83-95.
- Nur, A. ve Simmons, G. (1969). The effect of viscosity of a fluid phase on velocity in low porosity rocks. *Earth and Planetary Science Letters*, 7(2), 99-108.
- Palzer, S. (2017). Technological solutions for reducing impact and content of health sensitive nutrients in food. *Trends in Food Science and Technology*, 62, 170-176.
- Panouille, M., Thibault, J. F. ve Bonnin, E. (2006). Cellulase and protease preparations can extract pectins from various plant by-products, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(23), 8926-8935.
- Pascua, Y., Koç, H. ve Foegeding, E. A. (2013). Food structure: roles of mechanical properties and oral processing in determining sensory texture of soft materials. *Current Opinion in Colloid & Interface Science*, 18(4), 324-333.
- Phan, V., Yven, C., Lawrence, G., Chabanet, C., Reparet, J. ve Salles, C. (2008). In vivo sodium release related to salty perception during eating model cheeses of different textures. *International Dairy Journal*, 18(9), 956-963.
- Prinz, J. F., Janssen, A. M. ve De Wijk, R. A. (2007). In vitro simulation of the oral processing of semi-solid food. *Food Hydrocolloids*, 21(3), 397-401.
- Puri, V. M. ve Anantheswaran, R. C. (1993). The finite-element method in food processing: a review. *Journal of food engineering*, 19(3), 247-274.

- Russ, N., Zielbauer, B. I. ve Vilgis, T. A. (2014). Impact of sucrose and trehalose on different agarose-hydrocolloid systems. *Food Hydrocolloids*, 41, 44-52.
- Saint-Eve, A., Panouill'e, M., Dakowski, F., D'el'eris, I., Cordelle, S., Schlich, P. ve Souchon, I. (2011). How texture influences aroma and taste perception over time in candies. *Chemosensory Perception*, 4(1-2), 32-41.
- Sala, G. ve Stieger, M. (2013). Time to first fracture affects sweetness of gels. *Food Hydrocolloids*, 30(1), 73-81.
- Saldamlı, İ., Acar, J., Altuğ, T., Kayahan, M., Temiz, A., Us, F., Köksel, H., Sağlam, F., Uygun, Ü., Elmacı Y., (2005). Gıda Kimyası. (Editör: Saldamlı, İ.)(61-63 p), Hacettepe Üniversitesi Yayınları, Ankara, Türkiye,
- Salles, C., Chagnon, M. C., Feron, G., Guichard, E., Laboure, H., Morzel, M., Semon, E., Tarrega, A. ve Yven, C. (2010). In-mouth mechanisms leading to flavor release and perception. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 51(1), 67-90.
- Schössler, K., Jäger, H. ve Knorr, D., (2012). Effect of continuous and intermittent ultrasound on drying time and effective diffusivity during convective drying of apple and red bell pepper. *Journal of Food Engineering*, 108(1), 103-110.
- Sezer, G. ve Kavas, M.F. (2005). Şeker Çeşitleri, *Türkiye Şeker Fabrikaları A. Ş. Şeker Enstitüsü Teknolojik Araştırmalar Müdürlüğü*, 1-15.
- Shi, X.; Datta, A.K. ve Mukherjee, S. (1999). Thermal Fracture in a Biomaterial During Rapid Freezing. *Journal of Thermal Stresses*, 22, 275-292.
- Song, K. W., Kim, Y. S. ve Chang, G. S. (2006). Rheology of concentrated xanthan gum solutions: Steady shear flow behavior. *Fibers and Polymers*, 7(2), 129-138.
- Stieger, M. ve van de Velde, F. (2013). Microstructure, texture and oral processing: New ways to reduce sugar and salt in foods. *Current Opinion in Colloid & Interface Science*, 18(4), 334-348.
- Stein, W. D. ve Litman, T. (2014). Channels, carriers, and pumps: An introduction to membrane transport. Elsevier.
- Subramaniam, P. (2016). The stability and shelf life of confectionery products. In *The stability and shelf life of food* (pp. 545-573). Woodhead Publishing.
- Sungur, B. ve R. Ercan. (2004). Suda çözünebilir gıdaların gıda endüstrisinde kullanım olanakları. *Gıda Mühendisliği Dergisi*, 28-32.
- Syentkhajy, A. (2017). *Turunçgil Kabuklarından Modifiye Pektin Ve Pektin Ekstraksiyonu* (Yüksek Lisans Tezi) İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Tharanathan, R. N. (2003). Biodegradable films and composite coatings: past, present and future, *Trends in Food Science & Technology*, 14(3), 71-78.
- Tireki, S. (2017). *Investigation of sensory and instrumental methods to predict shelf-life of jelly gum*. (Doktora Tezi) Ortadoğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.



- Vilgis, T. A. (2015). Gels: model systems for soft matter food physics. *Current Opinion in Food Science*, 3, 71-84.
- Wang, H., Xiao, N., Wang, X., Zhao, X. ve Zhang, H. (2019a). Effect of pregelatinized starch on the characteristics, microstructures, and quality attributes of glutinous rice flour and dumplings. *Food Chemistry*, 283, 248–256. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.01.047>.
- Wang, M., Sun, M., Zhang, Y., Chen, Y., Wu, Y. ve Ouyang, J. (2019b). Effect of microwave irradiation-retrogradation treatment on the digestive and physicochemical properties of starches with different crystallinity. *Food Chemistry*, 298, 125015. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125015>
- Wang, R., Wan, J., Liu, C., Xia, X. ve Ding, Y. (2019c). Pasting, thermal, and rheological properties of rice starch partially replaced by inulin with different degrees of polymerization. *Food Hydrocolloids*, 92, 228–232. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.02.008>
- Wang, S., Sun, Y., Wang, J., Wang, S. ve Copeland, L. (2016). Molecular disassembly of rice and lotus starches during thermal processing and its effect on starch digestibility. *Food & Function*, 7(4), 407-418.
- Wang, S., Zhang, X., Wang, S. ve Copeland, L. (2016). Changes of multi-scale structure during imicked DSC heating reveal the nature of starch gelatinization. *Scientific Reports*, 6, 1–9. <https://doi.org/10.1038/srep28271>
- Wang, X., Huang, L., Zhang, C., Deng, Y., Xie, P., Liu, L. ve Cheng J. (2020). Research advances in chemical modifications of starch for hydrophobicity and its applications: A review. *Carbohydrate Polymers*, 240, 116292. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.116292>
- Wang, Z., Yang, K., Brenner, T., Kikuzaki, H. ve Nishinari, K. (2014). The influence of agar gel texture on sucrose release. *Food Hydrocolloids*, 36, 196-203.
- Wang, L. ve Sun, D. W. (2003). Recent developments in numerical modelling of heating and cooling processes in the food industry—a review. *Trends in Food Science & Technology*, 14(10), 408-423.
- Wilson, C. E. ve Brown, W. E. (1997). Influence of food matrix structure and oral breakdown during mastication on temporal perception of flavor. *Journal of Sensory Studies*, 12(1), 69-86.
- Wittich, W. J. (2005). *New automated industrial technologies for improving chemical penetration of bovine pieces in the raw material processing and conditioning areas of gelatine manufacture* (Msc. Thesis), University of Canterbury, New Zealand.
- Yalçın, E., Masatcıoğlu, M. T. ve Cındık, B. (2020). Normal, mumlu (waxy) ve yüksek amilozlu nişastalar ve gıdalardaki fonksiyonel özellikleri. *Gıda*, 45(6), 1261-1271.
- Yang, K., Wang, Z., Brenner, T., Kikuzaki, H., Fang, Y. ve Nishinari, K. (2015a). Sucrose release from agar gels: effects of dissolution order and the network inhomogeneity. *Food Hydrocolloids*, 43, 100-106.

- Yang, K., Wang, Z., Brenner, T., Kikuzaki, H., Fang, Y. ve Nishinari, K. (2015b). Sucrose release from agar gels: correlation with sucrose content and rheology. *Food Hydrocolloids*, 43, 132-136.
- Yoko, S., Sayako, H., Risa, H. ve Midori, K. (2021). Simultaneous simulation of changes in the NaCl concentrations of Japanese radish and an aqueous solution during cooking. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 24, 100343.
- Zouambia, Y., Moulai-Mostefa, N. ve Krea, M. (2009). Structural characterization and surface activity of hydrophobically functionalized extracted pectins. *Carbohydrate Polymer* 78(4), 841-846.



## TEZDEN ÜRETİLMİŞ ESERLER

### A. Uluslararası Hakemli Makaleler

Serpil Pekdoğan Göztek, P. S., Palabiyik, İ., Bölük, E., Gunes, R., Toker, S. Ö., ve Konar, N. (2022). Determination and numerical modeling of sugar release from model food gels. *Journal of Food Engineering*.111262, <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2022.111262>.

### B. Projeler

1002 TUBİTAK ‘Model jellerde tekstürel özelliklere bağlı olarak şeker salınımının belirlenmesi ve nümerik olarak modellenmesi’, 01.09.2019 - 01.09.2020

