



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

Program Kodu: 1002

Proje No: 1190642

Proje Yürütücüsü:

Doç. Dr. İbrahim PALABIYIK

Araştırmacılar:

Prof. Dr. Nevzat KONAR

Doç. Dr. Ömer Said TOKER

Bursiyerler:

Öğr. Gör. Serpil PEKDOĞAN GÖZTOK

Gıda Mühendisi Emine YILDIZ

Ekim-2020

Tekirdağ



ÖNSÖZ

TÜBİTAK tarafından 1002 programı ile verilen destekle gerçekleştirilen proje kapsamında, şeker salınımında gıdaların formülasyonunda önemli bir yere sahip olan hidrokolloid konsantrasyonlarının ve çeşitlerinin etkisi teorik ve numerik çalışmalarla tespit edilmiştir. Bu sayede duyuşal özelliklerden ödün vermeden kalorisini düşük daha sağlıklı gıdaların formüle edilmesine kapı aralanmıştır.



İçindekiler

ÖNSÖZ	i
TABLO DİZİNİ	iii
ŞEKİLLER DİZİNİ	iv
ÖZET	v
ABSTRACT	vi
1.GİRİŞ	1
2.LİTERATÜR ÖZETİ	1
3.GEREÇ VE YÖNTEM.....	1
3.1 Materyal	1
3.2 Örnek Hazırlama	1
3.3 Jellerin Yoğunluk Ölçümü	4
3.3 Tekstür Analizi	4
3.4 Dinamik osilasyon deneyleri.....	5
3.5 Şeker salınımının belirlenmesi	5
3.6 Matematiksel Modelleme	6
3.7 İstatistiksel Değerlendirme	9
4.BULGULAR VE TARTIŞMA	10
4.1 Şeker Salınımının Belirlenmesi	10
4.2 Tekstürel Özellikler	14
4.3 Reolojik Özellikler	19
4.4 Yoğunluk, Poisson oranı ve Youngs modül değerleri	21
4.5 Efektif Difüzivite Değeri	22
4.6 Nümerik Modelleme	25
5.SONUÇ	32
Kaynaklar	34



TABLO DİZİNİ

Tablo 3.1 Şekerli model jeller ve konsantrasyon oranları	1
Tablo 4.1 Model jel ürünlerindeki şekerin %90 'nının salınım süreleri.....	10
Tablo 4.2 Farklı konsantrasyonlardaki şekerli model jellerin tekstürel özellikleri.....	16
Tablo 4.3 Model jel ürünlerindeki şekerin salınım süreleri ve sertlik değerleri	17
Tablo 4.4 Model jel ürünlerine uygulanan osilasyon testi sonunda elde edilen model parametre değerleri	20
Tablo 4.5 Model jel ürünlerinin yoğunluk, poisson oranı ve Youngs modulus değerleri	21
Tablo 4.6 Jellerden şeker salınmasının efektif difüzivite değerleri (Deff)	23
Tablo 4.7 Model öngörülleri ile deneysel verilerin RMSE ve X^2 değerleri	30

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1 Hidrokolloid çeşitleri göre farklı konsantrasyonlardaki şekerli model jeller	3
Şekil 3.2 Sıkıştırma testi ile poisson oranının belirlenmesinin temsili gösterimi (Jahanbakhshian vd., 2017)	5
Şekil 3.3 Boyutsuz nem içeriği oranının doğal logaritmasının süreye karşı değişiminin temsili gösterimi	8
Şekil 3.4 Kütle transferi ve yapı özelliklerinin Comsol paket programında çözümünün şematik gösterimi (Fanta vd., 2014).....	9
Şekil 4.1 Jelatin örneklerinden elde edilen jellerin şeker salınımı.....	11
Şekil 4.2 Jely örneklerinin salınım boyunca şekil değişiminin temsili gösterimi.....	24
Şekil 4.3 Deff değerlerinin kütle transferi çözümü gerçekleştiren model üzerindeki etkisi.....	24
Şekil 4. 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.....	27
Şekil 4.5 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.....	29



ÖZET

Bu projede, model jeller hazırlanarak içerisinde 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 sakkaroz içeren jellerin hidrokolloid oranları; farklı bloomlu jelatin %6, 8, 10 ve 12; LM pektin %1, 1.7, 2.4 ve 3.1, MM nişasta %2.5, 5, 7.5 ve 10 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 koşul çalışılmıştır. Ortam1'de gerçekleşen şeker salınımında LM pektin örnekleri hariç en düşük konsantrasyonlu ürün en kısa salınım süresine, en yüksek konsantrasyonlu ürün ise en uzun salınım süresine sahip olmuştur($p<0.05$). Pektin örneklerinde konsantrasyon oranı salınım süresi üzerinde etkisi tespit edilmemiştir($p>0.05$) ve hidrokolloidler arasında %2.5 oranlı MM nişasta örneği en kısa salınım süresine sahiptir. Farklı bloom jelatin örneklerinde 200 ve 250 bloomlu aynı konsantrasyonlu ürünlerin salınım süreleri benzer iken ($p>0.05$) 160 bloomlu örneklerin salınım süreleri daha kısa olduğu tespit edilmiştir ($p<0.05$). 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 artışı, sertlik üzerinde etkili olduğu tespit edilmiş, en yüksek orana sahip ürünler en sert değere sahiptir. Sertliği en düşük MM nişasta örneklerinde rastlanılmıştır. Tekstür ile salınım süreleri arasındaki ilişki sertlik ve kohezif değerleri ile tespit edilmiştir. Salınım işleminin efektif diffüzyon hızı değerleri (D_{eff}) Ortam1 'de $0.22 \cdot 10^{-8}$ ile $5.07 \cdot 10^{-8}$ m²/s, Ortam2'de $18.47 \cdot 10^{-8}$ ile $1.37 \cdot 10^{-8}$ m²/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

In this project, model gels were prepared and three different 'hydrocolloid' components were used as stabilizers, which are gelatin (160, 200 and 250 bloom), low methoxyl (dm) pectin and modified corn (mm) starch. Hydrocolloid ratio of gels containing 30% sucrose; different bloom gelatin 6, 8, 10 and 12%; LM pectin 1, 1.7, 2.4 and 3.1, MM starch 2.5, 5, 7.5 and 10% were used. In order to determine the release of 90% of the sugar contained in the model gels at 25 ° C, two different conditions, medium1 (mixing only) and medium2 (disintegration with mixing process) were studied. Except for the LM pectin samples, the lowest concentration product had the shortest release time and the highest concentration product had the longest release time in the sugar release in Environment 1 ($p < 0.05$). In pectin samples, the effect of the concentration ratio on the release time was not determined ($p > 0.05$) and the starch sample with 2.5% ratio had the shortest release time among hydrocolloids. While the release times of the 200 and 250 blooms at the same concentration were similar in different bloom gelatin samples ($p > 0.05$), the release times of the 160 bloom samples were shorter ($p < 0.05$). It has been determined that the oscillation in ambient takes less time than ambient1 and that the decomposition 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. The lowest hardness was found in MM starch samples. The relationship between texture and release time was determined by hardness and cohesive values. The effective diffusivity values (D_{eff}) of the oscillation process are between 0.22×10^{-8} and 5.07×10^{-8} m^2/s in medium1, 18.47×10^{-8} and 1.37×10^{-8} m^2/s in medium2, 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



1.GİRİŞ

Obezite, kalp damar ve tip 2 diabet hastalıkları gözlemlenen kişi sayısı ciddi derecelerde artış göstermektedir. Bu hastalıkların Dünya genelinde ölümlerin %65'inden sorumlu olduğu belirtilmektedir. Dünya Sağlık örgütü verilerine göre, 18 yaş üstü yetişkinlerde 1.9 milyar insan ve 5 yaş altı 41 milyon çocuğun obez veya fazla kilolu olduğu görülmektedir. Bu sayıların da günden güne arttığı görülmektedir. Dünya Sağlık Örgütü, günlük enerji ihtiyacının maksimum %10'unun şekerden sağlanmasını tavsiye etmektedir. Bu durum, kalorisi azaltılmış gıdaların üretilmesini ve tüketilmesini zorunlu hale getirmektedir. Bu amaçla yağ ve şeker miktarı azaltılmış ürünlerin üretimi ve bu doğrultuda çalışmaların yapılması gıda endüstrisinin ve araştırmacılarının öncelikleri arasındadır. 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 yağın ve şekerin ürün kalite özellikleri üzerinde sağlamış olduğu olumlu etkilerinden dolayı sınırlanmaktadır. Bundan dolayı da bu proje çalışmasında şekerin kullanım miktarının tekstürel özelliklerin modifiye edilmesi ile azaltılma olanakları üzerinde çalışılmıştır. Bu amaçla şekerin en fazla miktarda kullanıldığı ürün grubu olan şekerleme ürünleri baz alınarak model jellerde çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen proje, aşağıdaki hipotez ve araştırma sorularına dayanmaktadır:

- Gıdaların tüketiminde algılanan tatlılık düzeyi, tüketici tercihi üzerinde etkili başlıca faktörler arasında yer almaktadır. Bu tatlılık algısı üzerinde tekstürel parametreler önemli etkiye sahiptir.
- Tüketim esnasında oral kavitede gıda maddesinin bileşiminde yer alan şekerin tamamının gıda matriksi özelliklerine bağlı olarak tamamen salınamaması, 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.
- Şekerin tatlılık yanı sıra gıda bileşimindeki diğer sahip olduğu fonksiyonlarda göz önünde tutularak, tekstürel özellikler ve şeker salınımının etkileşiminin modellenmesi, tatlılık algısında değişim gerçekleşmeden tekstürel özelliklerin dizayn ve modifiye edilmesiyle düşük kalorili ürünlerin geliştirilmesi mümkün olacaktır.



- 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. Sadece proje kapsamında yer alan örneklerin değil, ileri çalışmalar ile tasarlanacak farklı gıda örnekleri için de şeker salınımı hakkında ön bilgi sahibi olunmasına imkân sağlanabilir.
- Şeker salınımı ve tekstür arasındaki ilişkinin belirlenmesi, gıda matrislerinden tuz, aroma ve biyoaktif madde salınım çalışmalarına da ışık tutarak kalite ve maliyet açısından daha uygun (örneğin; formülasyonda kullanılacak aroma miktarının azaltılması) ve fonksiyonel özellikleri geliştirilmiş (tuz miktarının azaltılması ve biyoaktif maddelerin salınımının kontrol edilmesi) ürünlerin geliştirilmesine de olanak sağlayacaktır.

Şeker salınımının tekstürel özelliklere bağlı olarak modellenmesi ve şeker salınımında etkili olan tekstürel parametrelerin belirlenmesi ile şeker azaltma çalışmaları yeni bir boyut kazanacaktır. Optimum tekstürel özelliklerin sağlanarak daha az miktarda şeker içeren ürünler üretilerek konvansiyonel ürünlere benzer tatlılık algısının sağlanması mümkün olacaktır.



2.LİTERATÜR ÖZETİ

Gıda maddelerinin önemli kısmının yapısında bulunan jeller, sürekli fazda sıvı fazın dağılmasından oluşan iki fazlı bir sistem olarak veya mekanik kuvvetlerin etkisi altında katıya benzer davranış gösteren yapılar olarak tanımlanmaktadır (Burey vd., 2009) ve yapısında yer aldıkları gıdaların kalite özellikleri açısından büyük öneme sahiptir. Özellikle çoğu şekerleme ürünleri olmak üzere, jel yapıdaki 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 'hidrokolloid' olarak tanımlanmaktadır. Hidrokolloidler yeni şekerleme ürünlerinin üretilmesinde, şekerli ürünlerin kalitesinin iyileştirilmesinde, geliştirilen yeni teknolojilerin kullanılması ve üretim proseslerine aktarılmasına imkan sağlamaktadır (Sungur ve Ercan, 2004). Bu proje çıktılarının sanayiye hızlı bir şekilde uygulanabilmesi ve literatüre katkı sağlaması açısından yaygın olarak kullanılan jelatin (150, 200 ve 250 bloom jelatin), yüksek amilozlu buğday nişastası ve yüksek metoksilli pektin kullanımı ile model jeller üretilecek ve bu jellerin tekstürel özellikleri ile jellerden zamana bağlı şeker salınımı arasındaki ilişki incelenecektir. Hidrokolloid tür ve özellikleri ile kullanım oranları, endüstriyel uygulamalar ve bilimsel literatür esas alınarak araştırma 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. Proje çalışması, tekstür ile şeker salınımı arasındaki ilişkinin belirlenmesine yönelik olduğu için stabilizatör seçimi, üretilecek jellerde tekstürel farklılık olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Hartel (2019), 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 verici çeşidine ve konsantrasyonuna bağlı olarak değişen jel yapılarının tekstürel ve yapısal özelliklerinin aroma, şeker ve tuz salınımı üzerinde etkili olduğu belirtilmiştir (Yang vd., 2015a). Tekstürel/yapısal özellikler ile salınım arasındaki bu etkileşimin ayrıntılı bir şekilde anlaşılmasının kalorisini azaltılmış ürün üretimlerinde fayda sağlaması öngörülmektedir.

Obezitenin dünya genelinde her yaş insan grubu için problem olduğu günümüzde, kalorisini azaltılmış ürünlerin üretimine yönelik çok çeşitli çalışmalar gerçekleştirilmektedir. Şeker alkollerini veya yapay tatlandırıcılar kullanılarak kalori azaltma en yaygın uygulanan

yöntemlerdir. Şeker yerine ikame kullanılarak üretilen ürünlerin sakkaroz kullanılarak üretilen konvansiyonel ürünler ile aynı duyuşsal özellikleri sağlayamayabildiği belirtilmiştir. Ayrıca, bu ikameler FDA veya EFSA tarafından onaylı bileşenler olmasına rağmen bir kısım tüketiciler tarafından kimyasal madde olarak algılanmakta ve doğal ürünlere yönelimin arttığı günümüzde de dezavantaj teşkil etmektedir (Palzer, 2017). 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 duyuşsal reseptör arasındaki ilişkinin artırılmasına dayanmaktadır. Gıda matriksinden çığneme esnasında hedef bileşen salınımının kolaylaştırılarak, reseptöre taşınımının artırılması ile reseptör/bileşen etkileşiminin artırılabilceği 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 olabileceği bulgularına ulaşılmıştır (Lau vd., 2015). Bu çalışmalar ile benzer mantık ile şeker içeren jellerden şeker salınımının da jellerin tekstürel özelliklerinin dizayn edilmesi ile kontrol altına alınabileceği düşünölmektedir. Ayrıca, tuz salınımı ile ilgili gerçekleştirilen bir çalışmada, katı gıdalarda bulunan tuzun %95'inin gıda matriksinden salınmadan ürünü yutulduğu belirtilmiştir (Phan vd., 2008). Bu da bileşim esaslı teorik tatlılık düzeyi ile algılanan tatlılık seviyesi arasında salınım bağlı 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, farklı jel ortamlarında çalışmanın gerekliliğini/özgünlüğünü ortaya koymaktadır. Her yaş grubu için gıda endüstrisinde şeker miktarını artırmadan yada azaltarak arzu edilen şekerlik hissinin sağlanma yöntemlerinin araştırılması üzerinde durulması gereken dikkat çekici bir konudur. Çünkü, düşük şeker ve düşük kalori içrekli gıdaların daha sağlıklı olduğu düşünölmektedir (Nishinari ve Fang, 2016). Tekstürün sadece duyuşsal açıdan değil de hedef bileşenlerin (şeker, tuz, biyoaktif madde, aroma maddeleri vb.) salınımı açısından da önemli olduğu, gıdanın tekstürünün modifiye edilmesiyle salınımın hızlanabileceği ve geciktirilebileceğine yönelik çalışmalar literatürde bulunmaktadır. Gıda tekstürünü değiştirmek ve lezzet salınımını kontrol etmek için çeşitli hidrokolloidler kullanılır (Funami, 2011). Dolayısıyla, gıda tekstüründe belirleyici etkiye sahip hidrokolloidlerin, salınım olayında da önemli olduğu dikkate alınmalıdır. Gıdalarda lezzet miktarının azaltımını gerçekleştirmek veya lezzet algısını arttırmak için gıda yapılarındaki lezzet davranışını/difüzyonunu çok iyi anlamak ve tanımlamak gerekmektedir (Durack vd.,

2008). Bu çalışmada, bu amaçla farklı hidrokolloidlerden şekerli ortamda jeller üretilecek ve bu jellerin tekstürel özelliklerinin şeker salınımına etkisi incelenecektir.

Gıda jelleri, çiğnenerek tüketilen yumuşak katı maddelerdir (Cliff ve Heymann, 1993; Guinard ve Marty, 1995; Wilson ve Brown, 1997; Hayakawa vd., 2009; Foegeding vd., 2011; Kohyama vd., 2014, 2015, 2016; Nishinari ve Fang, 2016; Vilgis, 2015). 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 mekaniksel tepkinin belirlenmesi ve tanımlanması önemlidir. Gıdaların çiğnenmesi esnasında tekstürün tat algısı üzerine etkileri bilinmek istenir ve bu konuda yapılan çalışmalar literatürde yer almaktadır. Gıdaların tekstür değişimlerinin ve kırılma noktalarının istenilen lezzet maddesinin salınımı ile ilişkilendiren çalışmalar literatürde yer almaktadır. Yapılan çalışmalarda genellikle model hidrokolloid ürünlerden tuz salınımının incelenmesi yer alırken (Mills vd., 2011; Durack vd., 2008) farklı model jellerin şeker salınımının kıvam verici türlerine göre belirlenerek kıyaslanması ve tekstür özellikleriyle ilişkilendirilmesi oldukça kısıtlı ele alınmıştır. Bu projede, farklı hidrokolloidler (jelatin, nişasta, pektin) kullanılarak üretilecek model jellerden şeker salınımının düzeyi tekstür özellikleriyle ilişkilendirilecektir. Bu şekilde, çiğneme sırasında gıdalarda meydana gelen mekaniksel tepki incelenecektir. Çiğneme sırasında meydana gelen mekaniksel 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; Wang vd., 2014; Yang vd., 2015a ve b). Araştırma kapsamında, ürün yapısal özelliklerinin şeker salımı üzerine etkisi inceleneceği için, şeker konsantrasyonu sabit tutulacaktır. 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 projede, literatürde yaygın bir şekilde incelenen şeker oranının değiştirilmesiyle sertliğin değiştirilmesi incelenmeyip, farklı kıvam vericiler kullanarak tekstürel özellikleri farklı şekerli jeller elde edilecektir. Bu şekilde elde edilen farklı tekstürel özelliklere sahip jellerden şeker salınımı incelenerek literatürdeki önemli bir boşluk doldurulacaktır. 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. Proje çalışmasının

özgün yönleri arasında salınımda etkili olan tekstürel parametrenin belirlenmesi de bulunmaktadır.

Literatür incelendiğinde tekstürel özellikler arasında yer alan poisson ratio (kuvvet etkisi altında genleşmenin boy kısalmasına oranı) ve kırılma (fracturability) parametrelerinin salınım olayında etkili olduğu görülmektedir (Foegeding, 2007; van den Berg vd., 2007; Pascua vd., 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 kırılma, 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 salıya şeker geçişi kolaylaşacak ve salıdaki şekerler de reseptörler ile daha hızlı etkileşime girerek tat hissi daha kolay hissedilecektir. Kırılma 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 (projede kıvam verici konsantrasyonu ile sağlanacak) ve niteliklerde (projede kıvam verici çeşidi ile sağlanacak olup elastikiyet, short tekstür, kırılma yapı kastedilmektedir) etkisinin gıda matriksinden hedef bileşen salınımı üzerine etkisi ayrıntılı olarak bu zamana kadar çalışılmamıştır. Literatürdeki bu eksikliğin giderilmesine yönelik gerçekleştirilecek proje çalışması kapsamında, farklı tekstürel özelliklerde jeller üretilen ve bu jellerden şekerin salınımı belirlenerek tekstürel özelliklerin modifikasyonu ile şeker salınımının hızlandırılmasına yönelik elde edilecek bulgular, daha az şeker ile arzu edilen tatlılığın algılanması konusunda fayda sağlayacaktır. Proje çalışmaları, gözönünde bulundurulduğunda, farklı tekstürel özelliklere sahip jellerin üretilmesi önem arz ettiği gibi, üretilen jellerden şeker salınımının da incelenmesi çok önemlidir.

Proje 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., 2019 ve 2017; Borreani vd., 2017; Guo vd., 2018a,b; Wang vd., 2016; Mills vd., 2011; Prinz vd., 2007). Proje çalışması kapsamında da model jellerin tekstürel özelliklerinin şeker salınımına etkisi araştırılacaktır. Bu nedenle, projenin 3 nolu İş Paketinde, farklı hidrokolloid kullanılarak üretilen jellerden şeker salınımını (şeker difüzyonu)

tespit edebilmek amacıyla 'in vitro' ortam oluşturulacaktır. Ayrıca, bu projede literatürden farklı olarak şeker konsantrasyonun yada şeker çeşidinin jellere etkisi değilde gıda sanayisinde yaygın olarak kullanılan 30% şeker oranına sahip hidrokolloidlerin farklı çeşitlerinin ve konsantrasyonunun kullanımı ile oluşturulan model jel yapıların mekaniksel farklılığı tespit edilecektir, tekstür profil analizlerinde yaygın kullanılan penetrasyon probu ile çiğnemeye benzer ezme hareketi ile Deff değerleri belirlenecektir. Elde edilen difüzyon katsayılarına göre en iyi şeker salınımına sahip model jel tespit edilecek ve ayrıca belirlenen difüzyon katsayıları ve tekstürel parametreler nümerik model çalışmalarında kullanılacaktır. Bu projede, 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 kullanılacaktır. Sonlu elemanlar yöntemi ile nümerik modelleme çalışması COMSOL paket programında gerçekleştirilecektir. Bu projede, gıdaların çiğnenmesi sırasında meydana gelen fiziksel ve mekanik etkiler ayrı ayrı ve kombine olarak incelenecektir.

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 vd., 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 vd., 1998). Ancak tek boyutlu çözüm, 3 boyuta sahip olan gıdaların kütle ve lezzet salınımını tam olarak temsil etmemektedir. Bu projede, farklı hidrokolloidler kullanılarak elde edilecek model jel yapılarda şeker salınımı ve mekanik etki üç boyutlu incelenecektir. Tekstürel parametrelerden elde edilen veriler (poisson ratio ve fracturability) ile şeker salınımında elde edilen Deff değerleri COMSOL programına veri olarak girilecek ve zamana bağlı şeker değişimi modellenecektir. Modelden elde edilen verilerin validasyonu için farklı in vitro teknikler kullanılarak elde edilen deneysel şeker salınım verileri incelenecek, modellemenin başarısını belirlemek amacıyla RMSE (root mean square error) ve MAE (mean absolute error) değerleri kullanılacaktır. Bu değerlerin küçük olması, modelden tahmin edilen veriler ile in vitro ortamda elde edilen sonuçların tutarlılığı anlamına gelecektir. Bu tutarlılık da girilen gıdaların de jel matriksinden şeker salınımını ne düzeyde etkileyen faktörler olduğunu ortaya koyacaktır. Örneğin; poisson ratio ve Deff değeri girilecek ve ilgili parametreler kullanılarak tahmini salınan şeker konsantrasyonları elde edilecektir. Tahmini

ve deneysel veriler karşılaştırarak hesaplanan MAE ve RMSE değerleri belirlenecektir. Bu değerler, arzu edildiği derecede küçük çıkmazsa, fracturability parametresi ile Deff değeri girilecektir. Bu veri girişinde de arzu edilen sonuçlar elde edilmezse poisson ratio, fracturability ve Deff değeri girilecektir. Daha sonra da elde edilen parametreler incelenerek şeker salınımını hangi tekstürel parametre(ler)in daha yüksek derecede etkilediği belirlenebilecektir. Günümüzde tüketilen gıdalar üç boyutlu olduğundan nümerik model çalışmasının üç boyutlu olarak çözülmesi reel durum ile bağlantı kurulması ve yeni gıda üretiminde doğru tahminlerde bulunulması açısından önemlidir. Ayrıca, tüketim sırasında birden fazla etkinin bir arada gerçekleşmesi (kimyasal, fiziksel ve mekanik) sebebiyle, bu projede kütle aktarımının ve mekanik etkinin bir arada çözülmesi gerçek çiğneme etkisinin modellenmesi açısından literatüre önemli bir katkı sağlayacaktır. Ayrıca, şeker salınımının modellenmesi tuz, biyoaktif bileşenler ve aroma gibi gıda endüstrisi açısından çok önemli olan bileşenlerin salınımı ile ilgili çalışmalara da ışık tutacaktır. Ancak, gıdaların tüketimi sırasında meydana gelen tepkileri içeren (fiziksel, kimyasal ve mekanik) kombine bir nümerik modelleme ile gerçekleştirilen literatür taramasında karşılaşılmamıştır. COMSOL paket programı kullanılarak kurutma sistemleri üzerinde modellemeler gerçekleştirilmiş fakat gıda matriksinden şeker salınımının COMSOL ile modellenmesine yönelik literatürde herhangi bir veri belirlenememiştir. Ayrıca, tekstürel özelliklere ilave olarak ağız hissi (mouth feel) de salınım çalışmalarında dikkate alınması gereken bir konudur. Çünkü ağız hissi, tekstür algısının olmazsa olmaz parçasıdır ve ağıza gıdanın alımından yutmaya kadar geçen süreçte meydana gelen mekanik algı ile ilişkilidir (Selway ve Stokes, 2013).

3.GEREÇ VE YÖNTEM

3.1 Materyal

Bu proje çalışmasında 3 farklı bloom değerine sahip sığır jelatini [200 Bloom (jelly şekerleme kullanımı), 250 bloom: (marshmallow kullanımı), 160 bloom (çiğnenebilir şekerleme kullanımı)], modifiye mısır nişastası (MM nişastası) ve düşük metoksilli pektin (DM pektin) olmak üzere 3 çeşit hidrokolloid ürünlerden farklı konsantrasyon oranlarında şekerli model jel üretimi gerçekleştirilmiştir. Projede kullanılan farklı hidrokolloidler ve bunların farklı konsantrasyon oranları Tablo 3.1 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.

Tablo 3.1 Şekerli model jeller ve konsantrasyon oranları

Hidrokolloid	Karışım1*	Karışım 2*	Karışım 3*	Karışım 4*	Sakkaroz*
Jelatin (Bloom 150)					
Jelatin (Bloom 200)	6%	8%	10%	12%	
Jelatin (Bloom 250)					
Modifiye mısır nişastası	2.5%	5%	7.5%	10%	30%
Düşük metoksilli pektin	1%	1.7%	2.4%	3.1%	

*: (% , g/g çözelti)

3.2 Örnek Hazırlama

Tablo 3.1’de verilen farklı hidrokolloidler ve farklı konsantrasyon oranlarına göre şekerli model jel üretimleri gerçekleştirilmiştir. Üretimde üretim miktarı belirleme şekli; örneğin, %6 ‘lı 160 bloomda üretilen 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/cm³ değeri üzerinden dikkate alınmıştır.

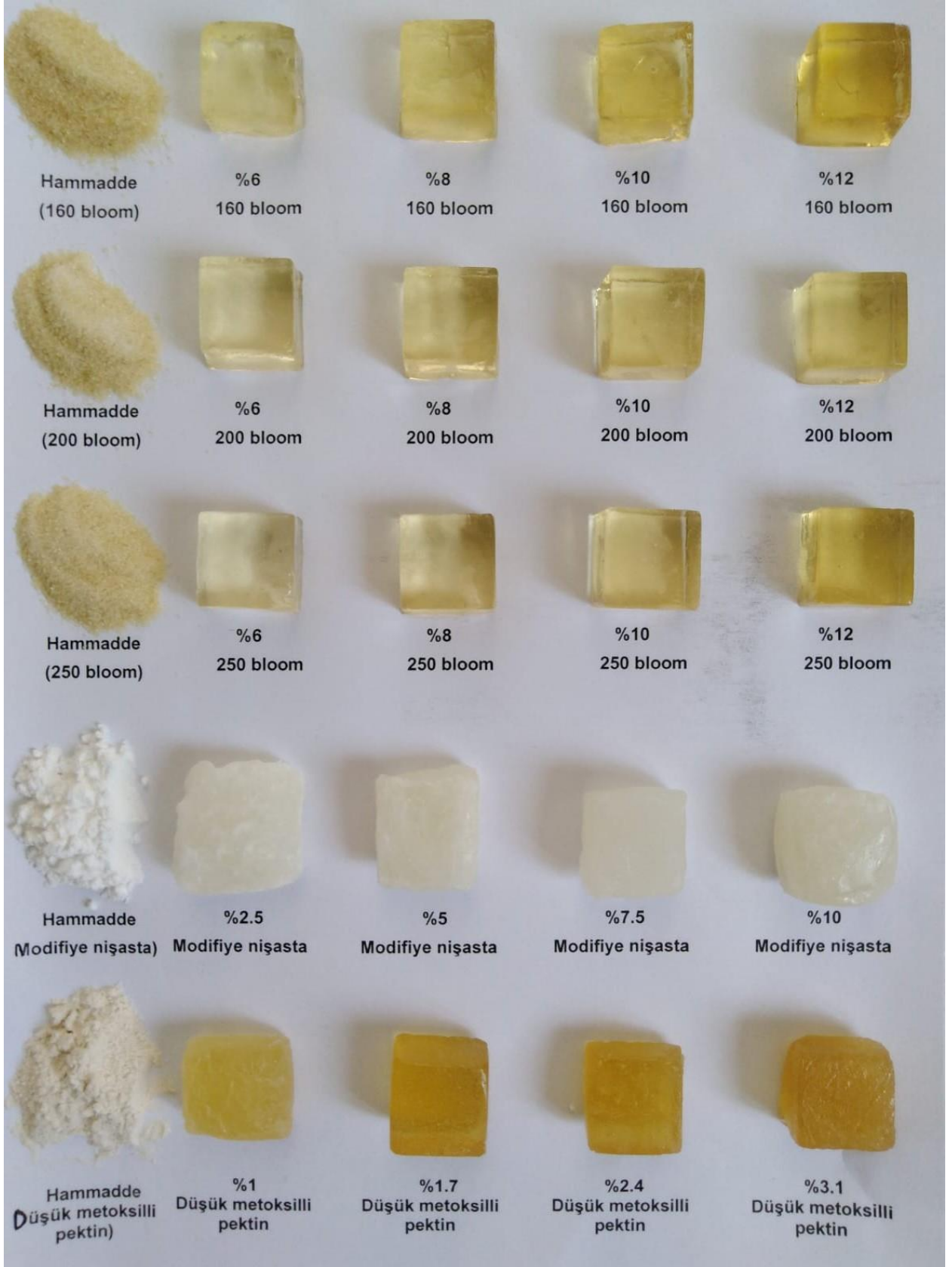
3.2.1 Jelatin jellerin hazırlanması

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, kaynamış suyun üzerine jelatin eklenip çözündürülerek jelatin solusyonu (jelatin:su çözeltisi (1:2)) hazırlanmıştır. Su ve sakkaroz termal mikserde (Thermomix) de 60 °C'de 10 dakika devamlı karıştırılarak (200 rpm) hazırlanan şekerli şuruba jelatin solüsyonu eklenerek aynı sıcaklıkta 5 dakika daha karıştırma işlemine devam edilerek şeker ile jelatinin birbirine harmanlanması sağlanmıştır. Daha sonra 2x2x1.2 cm boyutundaki kalıplara dökülerek 24 saat 4 °C sıcaklıkta soğumaya bırakılmış ve muhafaza edilmiştir. Denemeler yaklaşık 500 g'lık partiler halinde gerçekleştirilmiştir.

3.2.2 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. Tablo 3.1'de verilen formulasyonasyona göre termal mikserde (Termomox) 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. Hidrokolloidli çözeltiliye, formülasyona göre kalan şeker üzerine eklenerek 100 °C'de 200 rpm hızda cihazın ağzı açık bir şekilde devamlı karıştırılarak çözelti Brix (suda çözünür kuru madde) değeri %76±2 oluncaya kadar ısıtma işlemine tabi tutulmuştur. Daha sonra 2x2x1.2 cm boyutundaki kalıplara dökülerek 24 saat 4 °C sıcaklıkta soğumaya bırakılmış ve muhafaza edilmiştir. Denemeler yaklaşık 1000 g'lık partiler halinde gerçekleştirilmiştir.

Hidrokolloid çeşitlerine ve farklı konsantrasyonlarına göre şekerli model jellerin üretilmiş halleri Şekil 3.1' de verilmiştir.



Şekil 3. 1 Hidrokolloid çeşitleri göre farklı konsantrasyonlardaki şekerli model jeller

3.3 Jellerin Yoğunluk Ölçümü

Üretilen jellere partikül yoğunluğu analizi yapılmıştır. Partikül yoğunluğu (ρ_p): Bir miktar bilinen örnek (M_p) belli hacimdeki (V_g) su çözeltisi dolu ölçme silindirene daldırılmıştır, son hacim (V_s) silindirin skalasından okunarak örneklerin partikül yoğunluğu hesaplanmıştır (Eşitlik 1) (Baysal vd., 2003).

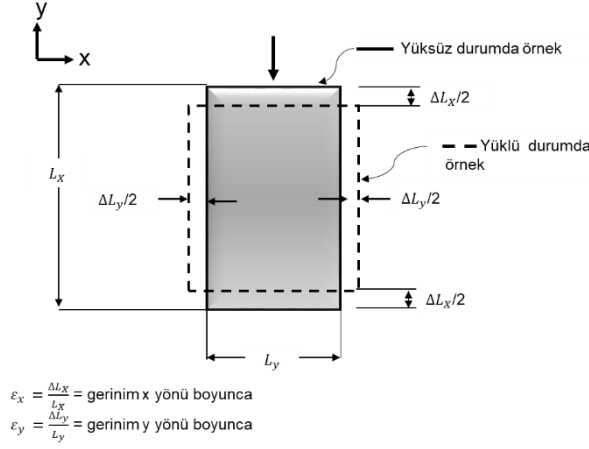
$$\rho_p = \frac{M_p}{V_s - V_g} \quad (1)$$

3.3 Tekstür 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 . Tekstür analiz denemeleri en az yedi tekerrürlü gerçekleştirilmiştir.

Kırılma gerilim (σ)-gerinim (ϵ) analiziyle Youngs modül (E) ve poisson oran (ν) değerleri belirlenmiştir (Sala ve Stieger, 2013; De Lavergne vd., 2015; Liu vd., 2015). Poisson oran (ν)(Eşitlik 2) belirlemek amacıyla cetvel kullanılmıştır (Şekil 3.2). Ölçüm esnasında x ve y yönünde değişim işaretlenerek hesaplama yapılmıştır. Tekstür analizi 5 kg yük hücresinde ve 45 mm çaplı silindirik (P100) prob ile gerçekleştirilmiştir.

$$\nu = \frac{\epsilon_x}{\epsilon_y} \quad (2)$$



Şekil 3. 2 Sıkıştırma testi ile poisson oranının belirlenmesinin temsili gösterimi (Jahanbakhshian vd., 2017)

3.4 Dinamik osilasyon deneyleri

Dinamik testler (osilasyon ve sürünme-geri kazanım testleri) yapılacaktır. 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 edilecektir. 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 (1). Tüm numuneler peltier plakaya yerleştirilmeden önce, Brix değeri 78°'ye ulaşana kadar ısıtıldı. 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 Storage Modülleri (G') karşılaştırılmıştır. Dinamik testler gerçekleştirildikten sonra reogram verileri analiz edilmiş ve jel numunelerinin karakterizasyonu K ve n değerleri baz alınarak yorumlanmıştır (2). 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 gerçekleştirilecektir (Liu vd., 2015).

3.5 Şeker salınımının belirlenmesi

Farklı hidrokolloid ürünlerden elde edilen farklı konsantrasyona sahip jellerin şeker salınımının belirlenmesi 2 farklı ortam altında gerçekleştirilmiştir. 1. ortam, *in vitro* ortamında ağız hareketliliğini modellemek amacıyla manyetik karıştırıcının üstünde balık bulunan

beherin içinde 180 rpm hızda karıştırma işleminde 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 3, nişasta ve pektin için Eşitlik 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 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 6'daki gibi hesaplanmıştır.

$$m_{\text{jelatin}}(g) = m_{\text{jellerin ağırlığı}} \times \% \text{sakkarozoranı} \quad (3)$$

$$m_{\text{pektin;nişasta}}(g) = \frac{m_{\text{jellerin ağırlığı}} \times m_{\text{üretim kapasitesi}} \times \% \text{sakkarozoranı}}{\left(\frac{m_{\text{sakkaroz}} + m_{\text{üretimdeki hidrokoloid}}}{\text{Brix}_{\text{üretimson}}} \right)} \quad (4)$$

$$m_{t,\text{şeker}}(g) = \text{Jeldeki başlangıç şeker miktarı}(g) - \frac{(\text{Brix}_{\text{şekerli,t}}) \times \text{Kaptaki su miktarı}(g)}{100} \quad (5)$$

$$\% \text{Salınım oranı} = \frac{m_{\text{başlangıçşeker}} - m_{t,\text{şeker}}}{m_{\text{başlangıçşeker}}} \times 100 \quad (6)$$

3.6 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 vd., 2010) (Eşitlik 7).

$$\frac{dM}{dt} = D_{eff} \frac{d^2M}{dx^2} \quad (7)$$

Burada M ürünün şeker miktarı (M , gşeker), x difüzyon yolu (m), t süre (s) ve D_{eff} ise etkin difüzyon hızıdır (m^2/s). Aşağıdaki başlangıç ve sınır koşullarına göre;

$$\begin{aligned} t = 0, & \quad -L < x < L, & \quad M = M_i \\ t > 0, & \quad x = 0, & \quad dM/dx=0 \\ t > 0, & \quad x = dL/dt, & \quad M = M_e \end{aligned} \quad (8)$$

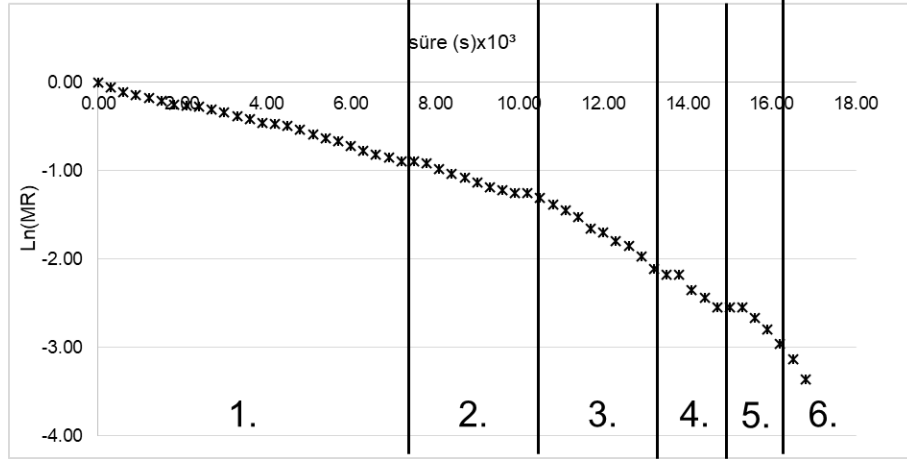
Burada M şeker içeriği, M_i başlangıç şeker içeriği, M_e denge şeker içeriği, M_t t anındaki ürünün şeker içeriğidir. D_{eff} etkin difüzyon hızı (m^2/s) ve L ise örneğin yarı kalınlığını (m) temsil etmektedir. Kütle Fourier denklemi Eşitlik 8'deki koşullara göre analitik olarak çözülmüş ve uzun sürelerde ilk terimin alınması yeterli olacağından Eşitlik 9 kullanılacaktır (Schössler vd., 2012). Dikdörtgen prizma jel örnekleri için A_1 sabiti $512/\pi^6$, A_2 sabiti $1/(L_1^2 + L_2^2 + L_3^2)$ değerlerindedir (Erbay ve İçier, 2010).

$$M = A_1 \exp \left[- \frac{\pi^2 D_{eff} t}{A_2} \right] \quad (9)$$

D_{eff} değerinin belirlenmesi için $\ln(M)$ değerlerinin zamana bağlı değişimi grafik olarak çizilerek, elde edilen doğruların eğimleri (Eşitlik 10) ile D_{eff} değerleri hesaplanacaktır (Göztok, 2017).

$$\text{eğim} = - \frac{\pi^2 D_{eff}}{A_2} \quad (10)$$

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 bölgeye ayrılmıştır ve her bir bölgeden elde edilen eğimler ayrı ayrı değerlendirilmiştir (Şekil 3.3).



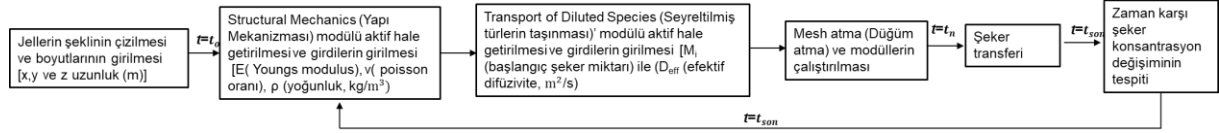
Şekil 3.3 Boyutsuz nem içeriği oranının doğal logaritmasının süreye karşı değişiminin temsili gösterimi

Yapılmış olan kabuller aşağıda verilmiştir (Erbay and Icier, 2010):

- Malzeme özellikleri sabit kabul edilir.
- Basınç değişimleri ihmal edilir.
- Başlangıç nem dağılımı homojen alınır ve işlem sırasında nem dağılımı simetrik kabul edilir.
- Kurutma işleminde belirli süre aralıklarında efektif nem difüzyon hızı sabit kabul edilir.

Bu projede, Şekil 3.4' 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. Kütle transferini tanımlayan Fick'in 2. Yasasını çözmek amacıyla 'Transport of Diluted Species (Seyreltilmiş türlerin taşınması)' modülü, mekaniksel etkiyi dikkate almak amacıyla 'Structural Mechanics (Yapı Mekanizması)' COMSOL paket programında aktif hale getirilmiştir. 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), ν (poissons's oranı) ve ρ (yoğunluk, kg/m^3) (Bkz. 2.2.1) 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(Bkz Şekil 3.4).



Şekil 3. 4 Kütle transferi ve yapı özelliklerinin Comsol paket programında çözümünün şematik gösterimi (Fanta vd., 2014)

3.7 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 kullanılacak ve önemli farklılıklar Tukey çoklu fark testi ile tespit edilmiştir. Ayrıca, in vitro ortamda gerçekleştirilen difüzyon işlemin deneysel veriler ile model öngörülerindeki uyum χ^2 ve RMSE değerleri ile belirlenmiştir (Eşitlik 8-9).

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (MR_{dny,i} - MR_{bkl,i})^2}{N-n} \quad (11)$$

$$RMSE = \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (MR_{bkl,i} - MR_{dny,i})^2 \right]^{1/2} \quad (12)$$

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

4.BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1 Şeker Salınımının Belirlenmesi

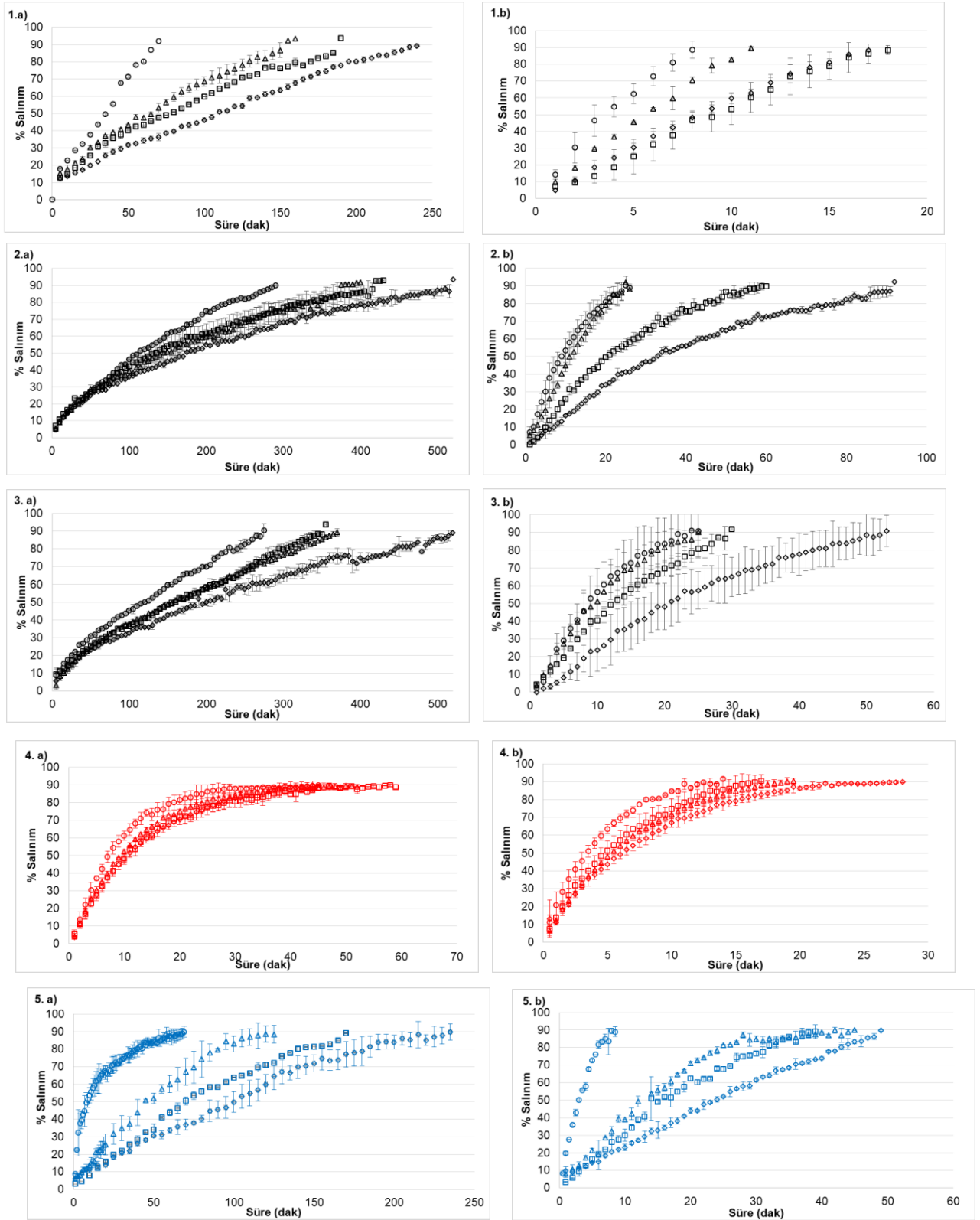
Sığır jelatini (160 bloom, 200 bloom, 250 bloom), düşük metoksilli pektin ve modifiye mısır nişasta olmak üzere 3 farklı hidrokolloid ürünlerinden şekerli model jel üretimi gerçekleştirilmiş olup, jellerin sahip oldukları şekerin %90'nunun salınımı 25 °C'de iki farklı ortamda gerçekleştirilmiştir (Bkz. Yöntem 3.5). 3 farklı hidrokolloidden elde edilen farklı konsantrasyonlardaki şekerli model jel örneklerin şeker salınım süreleri Tablo 4.1'de verilmiştir.

Tablo 4.1 Model jel ürünlerindeki şekerin %90'nunun salınım süreleri

Hidrokolloid	Konsantrasyon	Salınım Süresi (dk)	
		Ortam 1	Ortam 2
160 bloom Jelatin	%6	72.50±10.61 ^{ii,C}	8.50±0.07 ^{h,B}
	%8	162.50±17.68 ^{gh,B}	11.00±0.00 ^{gh,B}
	%10	195.00±21.21 ^{efg,AB}	18.00±2.83 ^{fgh,A}
	%12	240.00±0.00 ^{de,A}	17.00±0.00 ^{fgh,A}
200 bloom Jelatin	%6	290.00±0.00 ^{d,C}	23.50±0.71 ^{efgh,C}
	%8	400.00±42.43 ^{bc,B}	26.00±4.24 ^{efgh,C}
	%10	432.50±31.82 ^{b,AB}	59.00±4.24 ^{b,B}
	%12	510.00±14.14 ^{a,A}	92.00±5.66 ^{a,A}
250 bloom Jelatin	%6	282.50±10.61 ^{d,C}	25.00±9.90 ^{efgh,A}
	%8	372.50±3.54 ^{bc,B}	25.50±6.36 ^{efgh,A}
	%10	357.50±24.75 ^{c,B}	29.50±0.71 ^{def,A}
	%12	517.50±3.54 ^{a,A}	51.50±10.61 ^{bc,A}
Düşük metoksilli pektin	%1	45.00±0.00 ^{i,A}	14.00±0.00 ^{fgh,B}
	%1.7	51.50±4.95 ^{i,A}	19.50±3.54 ^{fgh,AB}
	%2.4	59.00±5.66 ^{i,A}	17.00±3.54 ^{fgh,B}
	%3.1	44.00±8.40 ^{i,A}	28.00±1.41 ^{defg,A}
Modifiye mısır nişastası	%2.5	68.00±5.66 ^{ii,C}	8.50±1.41 ^{h,C}
	%5	125.00±21.21 ^{hi,B}	45.00±4.24 ^{bcd,BC}
	%7.5	170.00±00.00 ^{fgh,B}	38.50±2.12 ^{cde,B}
	%10	232.5±10.61 ^{def,A}	49.50±0.70 ^{bc,A}

^{A,B,C}; Ortam1 ve ortam2 deki aynı hidrokolloid çeşidinde farklı harflendirmeler konsantrasyon arasındaki istatistiksel farklılığı göstermektedir (p<0.05). ^{a,b,c,d,e,f,g,h,i,j}; Ortam 1 ve 2 deki tüm örnekler arasındaki harflendirmeler istatistiksel farklılığı göstermektedir (p<0.05).

Farklı konsantrasyondaki şekerli model jel örneklerin şeker salınım eğrileri Şekil 4.1' de verilmiştir.



Şekil 4.1 Jelatin örneklerinden elde edilen jellerin şeker salınımı

1) 160 bloom, 2) 200 bloom, 3) 250 bloom; 4) Düşük metoksilli pektin; 5) Modifiye nişasta (○: %6; △: %8; □: %10; ◇: %12) (○: %1; △: %1.7; □: %2.4; ◇: %3.1) (○: %2.5; △: %5; □: %7.5; ◇: %10) (a) ortam1, b) ortam2).

Tablo 4.1’de verilen şeker salınım süreleri ve Şekil 4.1’de verilen salınım eğrileri incelendiğinde;

-Ortam 2’de gerçekleşen salınım Ortam 1’deki salınım süresinden çok daha kısa olduğu istatistiksel olarak tespit edilmiştir ($p<0.05$). Bunun nedeni, ortam 2’de örneklerde parçalanma işlemi gerçekleşerek kütle transferini artırıcı yüzey alanı artışı olmasıdır. 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 $9,50\pm 2,12$ ve $18,00\pm 2,83$ dakika arasında tespit edilmiştir. Ortam1’de %6 konsantrasyonlu model jelden %90 şekerin salınımı %12 konsantrasyonlu jelden en az 3 kat daha kısa sürede gerçekleşirken, ortam2’de bu kat oranı yaklaşık 2 kat olarak belirlenmiştir. Ortam1’de ve ortam2’de salınımına ait verilerin benzerlikleri farklılık göstermektedir. Ortam1’de %8 ile %10 benzerken, ortam 2’de 10 ve %12 arasında benzerlik tespit edilmiştir ($p>0.05$).

-200 bloom jelatinli jel örneklerinde en düşük konsantrasyon olan %6 salınım süresi $290,00\pm 0,00$ ’dır ve ortam1’de en kısa salınım süresine sahiptir. Ortam2’de de %6’lı örnek $23,50\pm 0,71$ dakikayla %8 konsantrasyonla beraber en kısa salınım süresine sahiptir. Ortam1 ve ortam2 incelendiğinde konsantrasyon arttıkça salınım sürelerindeki artış oranının ortam2’de daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Örneğin; ortam1’de %6 $290,00\pm 0,00$ dakika, %10 ise $432,50\pm 31,82$ 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 konsantrasyonlu jeller, ortam2’de salınım sürelerinde istatistiksel olarak farklılık tespit edilmiştir ($p<0.05$).

-250 bloom jelatinli jel örneklerinde ortam farklılığının etkisi daha fazla görülmüştür. Ortam2’de konsantrasyon farklılığı salınım süreleri üzerine etkili değilken, ortam1’de %8 ve %10 konsantrasyonlarının salınım süreleri birbirine benzer ($p>0.05$) bulunmuş ve konsantrasyon artışı sürenin artışına sebep olmuştur ($p<0.05$).

Jelatinli jellerin farklı bloomlardaki salınımları incelendiğinde; Ortam 1’de 3 farklı bloomda da (160, 200 ve 250 bloom) %8 ve %10 konsantrasyonlardaki jellerin salınım süreleri benzerlik göstermektedir. En düşük salınım süresine %6 konsantrasyon sahip iken, konsantrasyon artışı salınım süresinin artışına sebep olarak en uzun süre %12 konsantrasyonlu jellerde görülmüştür. 160 bloom jelatin örneklerinin en uzun salınım süresine sahip olan %12 konsantrasyonlu örneği $240,00\pm 0,00$ dakikaya sahip iken, 200 ve 250 bloom jelatin örneklerinde sırasıyla $520,00\pm 7,07$ ve $357,50\pm 24,75$ dakikasına sahiptir. 160 bloomun en uzun salınım süresine sahip olan %12’lik örneği ile 200 ve 250 bloomlu

örneklerin en düşük konsantrasyonlu %6'lık örneklerinde salınım süreleri benzerlik göstermektedir ($p>0.05$). Ayrıca, 160 bloomun diğer bloomlara göre salınım eğrisi daha lineer olduğu belirlenmiştir. 160 bloom ile 200 ve 250 bloom arasında salınım sürelerinde farklılıklar tespit edilirken ($p<0.05$), 200 ve 250 bloom arasında %10 konsantrasyon hariç diğer örneklerle benzerlikler belirlenmiştir. Sonuç olarak, 160 bloom daha kısa sürede şekerin %90'nını salabilirken 200 ve 250 bloom daha uzun sürede salabilmekte ve birbirlerine benzer özellikte davranış göstermektedir. **Ortam 2'**de ise, ortam 1'dekinin aksine 160 bloomlu jeller, 200 ve 250 bloomlu jellerle farklılıklara değil benzerliklere sahiptir. Ortam 2'de 250 bloomun 4 konsantrasyonu, 160 ve 200 bloomun %6, %8 konsantrasyonu benzerlik göstermektedir. Benzerlikler olmasına rağmen, ortam1'deki gibi ortam2'de de en kısa salınım süresine 160 bloomlu örnekler sahiptir. 200 ve 250 bloomlu jellerin %12 konsantrasyonlusu en yüksek salınım süresine ortam 1'de sahip iken, ortam 2'de ise sadece 200 bloomlu jel en uzun sürede salınım gerçekleştirmiştir. Ortam 2'de ürünün parçalanmasıyla artan yüzey alan artışı şeker difüzyonunu arttırmaktadır. Bu durumun avantajını 250 bloom, 200 bloomdan daha fazla kullanmıştır.

-Düşük metoksilli pektin örneklerinin salınım süreleri ortam 1'de $44,00\pm 8,40-59,00\pm 5,66$ iken, ortam2'de $15,50\pm 2,12-28,00\pm 1,41$ dakika arasındadır. Konsantrasyon farklılığı ortam1'de gözlenmiyorken ortam2'de en düşük ve en yüksek olan %1 ve %3.1 arasında görülmektedir ($p<0.05$). LM pektin, farklı bloom jelatin ve modifiye mısır nişastadan üretilen jellerin şeker salınım eğrilerinden farklı olup daha logaritmik bir yapıya sahiptir. LM pektin örneklerinin farklı bloom jelatin örneklerindeki gibi konsantrasyon artışı genel olarak salınım süreleri üzerinde etkisi belirlenmemiştir. LM pektinin ortam1'deki salınım süresi diğer 2 farklı hidrokolloid ürünlerine göre en düşük ($p<0.05$) olmasına rağmen ortam2 için benzerlikler bulunmaktadır. Ortam2'de parçalanma işlemi, hidrokolloid ve konsantrasyon farklılığının salınım üzerindeki etkisini azaltmaktadır.

Modifiye mısır (MM) nişasta örnekleri konsantrasyon arttıkça salınım süreleri artış gösterirken, ortam 1'de %5 ve %7.5 benzerlik göstermekte, ortam 2'de ise %5;7.5 ve %5;2.5 arasında benzerlik tespit edilmiştir. Ortam 1 için MM nişasta örnekleri en düşükten en yüksek konsantrasyon sırasına göre 160 bloom örnekleriyle benzerlik görülmektedir. Ortam 2 için sadece bu durum en düşük konsantrasyon olan %6 160 bloom jelatin ve %2.5 MM nişastası arasında benzerlik bulunmaktadır.

Sonuç olarak, aynı hidrokolloidten üretilen model jellerin şeker salınımları ortam farklılığından etkilenmekte, ortam1 'deki LM pektin örnekleri hariç konsantrasyon artışı genel olarak salınım süresi üzerine etkili olduğu belirlenmiştir. Bloom farklılığı jelatin örneklerinin salınımı üzerine etkili olurken 200 ve 250 bloomda özellikle ortam1' de benzerlik gösterdiği tespit edilmiştir. Hidrokolloidlerin kendi içlerinde salınım eğrileri 2 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 konsantrasyonunda 250 bloom jelatinden üretilen tuzlu model jel örneklerinin %90 tuz salınım süreleri 180 dakika olduğunu belirtmiştir. Model jellerdeki salınan materyalin tuz veya şeker olması salınım hızlarında, salınım diagramlarında ve sürelerinde farklılık olabileceği görülmüştür. Hansson vd (2003) 3 farklı konsantrasyonda (%1.5, 1.85 ve 2) yüksek metoksilli pektinden ürettiği jellerin aroma salınımlarınının genel olarak jel yapısına bağlı olduğunu rapor etmişlerdir. Hansson vd (2003) aksine bu projede ise, pektinin konsantrasyonunun ortam 1'de şeker salınımı üzerine etkisinin olmadığı, ortam2'de ise küçük farklılığın olduğu tespit edilmiştir.

Projede amaçlanan, şekerli ürünlerdeki şekerin %90'ının ağızda tüketim sırasında salınmasını sağlayacak en uygun konsantrasyon ve en uygun hidrokolloid çeşidini bulmaktır. Şekerli ürünlerin ağızda salınmayan şeker fazlalığı insan vücuduna girerek obezite gibi hastalıklara sebep olmaktadır. Projede 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 konsantrasyon seçimini bu çalışma ile yapmamız mümkün olmaktadır. 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 şekeri salan 160 bloom jelatinin %10 ve %12 konsantrasyonu, 200 ve 250 bloomun %6 ve %8 lisi ve LM pektinin tüm %1 ile 3.1 arasındaki tüm konsantrasyonları kullanılabilirliği tespit edilmiştir. Kalorisi düşürülüp tat algısı bozulması istenmeyen ürünlerde 160 bloomun %6 ve %8 konsantrasyonu ve MM nişastanın %2.5 konsantrasyonu tercih edilebilir.

Bu çalışmanın sonuçları yapılacak olan çalışmalarda ve yeni ürün tasarımında konsantrasyon değişiminin şeker salınımı üzerinde etkisi hakkında yeterli bilgi verdiği düşünülmektedir.

4.2 Tekstürel Özellikler

Tüketim tercihinde, başlıca kalite kriteri arasında ürünlerin tekstürel özellikler yer aldığından (Da Silva vd., 2016) proje kapsamında jellerin tekstür analizi gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, ağızda jellerdeki şekerin salınımını etkileyen parametreleri belirleyebilmek (De Mars ve Ziegler, 2001) için tekstür analizi verileri önemli çıktılar vermektedir. Literatürde yer alan şekerleme çalışmalarında, sertlik (g), koheziflik (birimsiz), elastikiyet (mm), yüzey

yapışkanlığı, çiğnenebilirlik (N.mm)dikkate alınmıştır (Figiel veTajner-Czopek, 2006; Marfil vd., 2012; Delgado ve Banon, 2018).

Farklı konsantrasyonlardaki şekerli model jellerin tekstürel özellikleri tablo 4.2 verilmiştir.

160 bloom jelatinden elde edilen jellerin sertlik değerleri 56.22 ± 8.05 ile 18.55 ± 4.00 arasında olup, konsantrasyon arttıkça sertlik değeri arttığı tespit edilmiştir. Konsantrasyon farklılığı sertlik üzerinde etkili iken, yapışkanlık, yapışıklık, çiğnenebilirlik ve esneklik üzerinde etkisi tespit edilememiştir. **200 bloom jelatinden** elde edilen jellerde konsantrasyon artışı sertlik değerinin artışı üzerinde etkili iken %10 ve %12 oranlarında benzerlik görülmüştür. Yapışkanlık ve esneklik özelliği konsantrasyon değişiminden etkilenmemiştir. Çiğnenebilirlik değerleri, %10 ve %12 değerlerinde benzerlik gösterirken, konsantrasyon artışı değerlerin artışını sebep olduğu tespit edilmiştir. **250 bloom jelatinden** elde edilen jellerin konsantrasyon farklılığı esneklik, yapışıklık ve çiğnenebilirlik değerleri üzerinde etkisi olmadığı tespit edilmiştir. Sertlik, yapışkanlık, elastikiyet özellikleri konsantrasyon artışını değerlerin artışına sebep olmuştur. Jelatinden elde edilen jelly tipi yumuşak şekerleme ürünlerinin jelatin konsantrasyonu sertlik değeri üzerinde etkili olduğunu rapor etmişlerdir (Demircan vd., 2019). Demircan vd.,(2019) yaptıkları çalışmada inülin(%0-%65), şeker(%0-%65) ve jelatin solüsyon 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 oranın arttığı ve adeziv yapışkanlığın azaldığını tespit etmişlerdir. Başka çalışmalarda da üretilen jelatinli jellerde konsantrasyon artışı sertliğin artışına sebep olduğunu rapor edilmiştir (Mutlu vd., 2018; Jiamjariyatam 2017).

Düşük metoksilli pektinden elde edilen jellerde %2.4 ile %3.1 konsantrasyon ürünlerde yapışkanlık hariç diğer tekstürel özellikler benzerlik göstermiştir. %1 ve %1.7 oranlarındaki jellerde ise sertlik özelliği hariç diğer tekstürel özellikler benzerlik göstermektedir. Genel olarak konsantrasyon artışı, sertlik değerinin artışına sebep olurken, elastikiyet değerinde azalışa sebep olmuştur.

Modifiye mısır nişastadan elde edilen jellerde %5 ile %10 oranlardaki jellerde tekstürel özellikler benzerlik göstermektedir. Konsantrasyon artışı yapışkanlık değeri üzerinde etkisi tespit edilmemiştir.

Tablo 4. 2 Farklı konsantrasyonlardaki şekerli model jellerin tekstürel özellikleri

Hidrokolloid	Konsantrasyon (%)	Sertlik (N)	Adezif Yapışkanlık (g.s)	Esneklik (%)	Yapışıklık	Çiğnenebilirlik (N)	Elastikiyet
160 bloom Jelatin	%6	18.55±4.00 ^{g,D}	0.00±0.00 ^{b,A}	1.75±0.95 ^{a,A}	0.71±0.11 ^{bcd,A}	24.78±16.53 ^{bcdefg,B}	0.75±0.11 ^{a,AB}
	%8	30.91±3.69 ^{f,C}	0.00±0.00 ^{b,A}	1.03±0.15 ^{abc,A}	0.64±0.05 ^{cd,A}	20.30±5.10 ^{dfeg,B}	0.75±0.03 ^{a,AB}
	%10	45.41±7.60 ^{bcd,B}	0.00±0.00 ^{b,A}	1.55±0.59 ^{ab,A}	0.75±0.05 ^{b,A}	52.11±19.83 ^{ac,A}	0.80±0.05 ^{a,A}
200 bloom Jelatin	%12	56.22±8.05 ^{a,A}	0.00±0.00 ^{b,A}	1.03±0.05 ^{abc,A}	0.70±0.01 ^{bcd,A}	28.37±6.99 ^{acde,AB}	0.61±0.29 ^{b,B}
	%6	32.83±0.96 ^{ef,C}	-57.31±21.37 ^{ab,A}	0.99±0.00 ^{abc,A}	0.91±0.01 ^{a,B}	29.41±1.08 ^{bcdefg,C}	0.78±0.01 ^{a,A}
	%8	42.14±4.40 ^{cde,B}	-20.63±17.96 ^{ab,A}	0.97±0.02 ^{abc,A}	0.90±0.01 ^{a,B}	36.27±4.12 ^{bcdefg,B}	0.77±0.01 ^{a,A}
250 bloom Jelatin	%10	56.26±4.00 ^{a,A}	-39.59±46.63 ^{ab,A}	0.97±0.02 ^{abc,A}	0.89±0.01 ^{a,B}	48.92±3.68 ^{abc,A}	0.74±0.01 ^{a,B}
	%12	56.17±4.33 ^{a,A}	-62.17±25.50 ^{ab,A}	0.98±0.01 ^{abc,A}	0.93±0.01 ^{a,A}	51.40±3.37 ^{abcd,A}	0.79±0.02 ^{a,A}
	%6	32.58±1.94 ^{ef,C}	-16.36±8.56 ^{ab,B}	0.97±0.02 ^{abc,A}	0.89±0.01 ^{a,A}	28.13±2.05 ^{bcdefg,A}	0.72±0.02 ^{ab,B}
Düşük metoksilli pektin	%8	37.33±3.79 ^{def,C}	-46.59±50.67 ^{ab,AB}	1.18±0.60 ^{abc,A}	0.90±0.01 ^{a,A}	39.11±17.85 ^{abcde,A}	0.72±0.02 ^{ab,AB}
	%10	48.20±4.78 ^{abc,B}	-20.58±7.94 ^{ab,AB}	1.27±0.75 ^{abc,A}	0.89±0.01 ^{a,A}	53.37±27.63 ^{ab,A}	0.75±0.03 ^{a,A}
	%12	54.89±5.36 ^{ab,A}	-64.16±53.46 ^{ab,A}	1.25±0.84 ^{abc,A}	0.90±0.02 ^{a,A}	62.60±45.22 ^{a,A}	0.74±0.02 ^{a,AB}
Modifiye mısır nişasta	%1	40.05±2.303 ^{cdef,B}	-41.99±24.3 ^{ab,AB}	0.87±0.07 ^{bc,A}	0.46±0.02 ^{fg,A}	15.95±1.81 ^{efg,A}	0.21±0.01 ^{de,A}
	%1.7	58.23±5.20 ^{a,A}	-10.05±9.68 ^{b,B}	0.80±0.05 ^{bc,AB}	0.44±0.09 ^{fg,AB}	20.99±7.01 ^{cdefg,A}	0.21±0.05 ^{de,A}
	%2.4	55.72±9.95 ^{a,A}	-78.15±59.80 ^{a,A}	0.74±0.09 ^{bc,BC}	0.37±0.07 ^{g,B}	15.49±5.49 ^{efg,A}	0.16±0.04 ^{e,B}
Modifiye mısır nişasta	%3.1	53.06±9.83 ^{ab,A}	-26.61±26.94 ^{ab,B}	0.68±0.08 ^{c,C}	0.42±0.07 ^{fg,AB}	14.88±3.33 ^{efg,A}	0.17±0.03 ^{e,AB}
	%2.5	1.75±0.50 ^{h,B}	-6.39±11.61 ^{b,A}	0.65±0.12 ^{c,B}	0.52±0.07 ^{ef,B}	0.64±0.31 ^{g,C}	0.16±0.02 ^{e,B}
	%5	8.96±3.17 ^{gh,A}	-0.53±0.50 ^{b,A}	0.88±0.06 ^{c,A}	0.61±0.11 ^{de,AB}	4.50±0.54 ^{g,A}	0.30±0.06 ^{cde,A}
Modifiye mısır nişasta	%7.5	3.80±0.72 ^{g,B}	-4.65±5.93 ^{b,A}	0.95±0.04 ^{abc,A}	0.75±0.06 ^{bc,A}	2.67±0.38 ^{g,B}	0.34±0.02 ^{c,A}
	%10	7.79±1.93 ^{g,A}	-0.18±0.14 ^{b,A}	0.91±0.07 ^{abc,A}	0.74±0.11 ^{bc,A}	5.29±1.87 ^{fg,A}	0.33±0.11 ^{cd,A}

^{A,B,C}; Her bir hidrokolloide ait farklı harflendirmeler istatistiksel farklılığı göstermektedir (p<0.05). ^{a,b,c,d,e,f,g,h,i,j,k}; Farklı konsantrasyondaki tüm hidrokolloidlerdeki arasındaki harflendirmeler istatistiksel farklılığı göstermektedir (p<0.05).

Sertlik değeri, aynı konsantrasyonlardaki 200 bloom ve 250 bloomdan elde edilen jellerde benzerlik göstermiştir. En düşük sertlik oranı modifiye mısır nişastadan elde edilen jellerde görülmüştür. **Yapışkanlık değerlerinde**, %2.4 oranlı düşük metoksilli pektin hariç diğer farklı hidrokolloidlerden elde edilen farklı konsantrasyonlardaki şekerli model jellerde benzerlik tespit edilmiştir. **Esneklik değeri** farklı hidrokolloidlerde 0.65 ile 1.74 arasında olup, farklı bloomdan elde edilen jeller ile %7.5 ile %10 oranlardaki MM nişastası ile benzerlik elde edilmiştir. LM pektin ile %2.5 ile %5 oranlardaki MM nişastalı jellerin esneklik değeri benzerdir. 200 ve 250 bloom jelatinli jellerde **yapışıklık değeri** benzerlik göstermekte ve diğer hidrokolloidlerden en yüksek değerde olmuştur. **Çiğnenebilirlik özelliği** aynı oranlardaki farklı bloom jelatinden elde edilen örneklerde benzerlik göstermiştir. En düşük çiğnenebilirlik değerine LM pektin ve MM nişasta örneklerinde elde edilmiştir. **Elastikiyet değerleri** farklı bloomlarda benzerlik göstermekte (%12 160 bloom hariç) ve en düşük değere LM pektin ile %2.5-5 oranlarındaki MM nişasta örneklerinde ulaşmıştır.

Model jellerden şeker salınımı ile tekstüre 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. Bunun nedeni; hidrokolloidlerden elde edilen jellerde genel olarak konsantrasyon miktarı arttıkça sertlik değeri artmakta ve bununla eş olarak salınım sürelerinin uzun olduğunu söylemek mümkündür. Tablo 4.1 ve Tablo 4.2 birleştirilerek elde edilen Tablo 4.3 da farklı bloom jelatin ve MM nişasta en düşük sertliğe sahip olan ürünler en kısa salınım süresine sahip iken, en yüksek sertlik değerine sahip jeller en yüksek salınım sürelerine sahiptir. Tablo 4.3 incelendiğinde, LM pektin örneklerinin sertlik değerleri (%1 oran hariç) diğer birbirine benzerlik durumu salınım sürelerinde benzerliğine sebep olmaktadır. Projede, kuvvet uygulanmadan gerçekleştirilen şeker salınımı ürünlerin sertliğinden etkilendiği tespit edilmiş ve bazı çalışmalar sertliğin salınım üzerinde etkisi olduğunu rapor etmişlerdir (Clark, 2002). Gerçekleştirilmiş duyu analizlerinde sertlik değerinin, tat alma duyusunu etkilediği ve sertlik oranı arttıkça alınan şeker tadının azaldığı bilgisi literatürde rapor edilmiştir (Demircan vd., 2019). Projede de benzer sonuç duyu analiz ile değil salınımla tespit edilmiş olup, %90 şekerin salınımı için ihtiyaç olan sürenin uzun olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 4.3 Model jel ürünlerindeki şekerin salınım süreleri ve sertlik değerleri

Hidrokolloid	Konsantrasyon	Salınım süresi Ortam 1 (dk)	Sertlik (N)	Cohesiveness (yapışıklık)
160 bloom	%6	72.50±10.61 ^{ii,C}	18.55±4.00 ^{g,D}	0.71±0.11 ^{bcd,A}

Jelatin	%8	162.50±17.68 ^{gh,B}	30.91±3.69 ^{f,C}	0.64±0.05 ^{cd,A}
	%10	195.00±21.21 ^{efg,AB}	45.41±7.60 ^{bcd,B}	0.75±0.05 ^{b,A}
	%12	240.00±0.00 ^{de,A}	56.22±8.05 ^{a,A}	0.70±0.01 ^{bcd,A}
200 bloom Jelatin	%6	290.00±0.00 ^{d,C}	32.83±0.96 ^{ef,C}	0.91±0.01 ^{a,B}
	%8	400.00±42.43 ^{bc,B}	42.14±4.40 ^{cde,B}	0.90±0.01 ^{a,B}
	%10	432.50±31.82 ^{b,AB}	56.26±4.00 ^{a,A}	0.89±0.01 ^{a,B}
250 bloom Jelatin	%12	510.00±14.14 ^{a,A}	56.17±4.33 ^{a,A}	0.93±0.01 ^{a,A}
	%6	282.50±10.61 ^{d,C}	32.58±1.94 ^{ef,C}	0.89±0.01 ^{a,A}
	%8	372.50±3.54 ^{bc,B}	37.33±3.79 ^{def,C}	0.90±0.01 ^{a,A}
Düşük metoksilli pektin	%10	357.50±24.75 ^{c,B}	48.20±4.78 ^{abc,B}	0.89±0.01 ^{a,A}
	%12	517.50±3.54 ^{a,A}	54.89±5.36 ^{ab,A}	0.90±0.02 ^{a,A}
	%1	45.00±0.00 ^{i,A}	40.05±2.303 ^{cdef,B}	0.46±0.02 ^{fg,A}
	%1.7	51.50±4.95 ^{i,A}	58.23±5.20 ^{a,A}	0.44±0.09 ^{fg,AB}
Modifiye mısır nişastası	%2.4	59.00±5.66 ^{i,A}	55.72±9.95 ^{a,A}	0.37±0.07 ^{g,B}
	%3.1	44.00±8.40 ^{i,A}	53.06±9.83 ^{ab,A}	0.42±0.07 ^{fg,AB}
	%2.5	68.00±5.66 ^{ii,C}	1.75±0.50 ^{h,B}	0.52±0.07 ^{ef,B}
	%5	125.00±21.21 ^{hi,B}	8.96±3.17 ^{gh,A}	0.61±0.11 ^{de,AB}
	%7.5	170.00±00.00 ^{fgh,B}	3.80±0.72 ^{g,B}	0.75±0.06 ^{bc,A}
	%10	232.5±10.61 ^{def,A}	7.79±1.93 ^{g,A}	0.74±0.11 ^{bc,A}

^{A,B,C}; Her bir hidrokolloide ait farklı harflendirmeler istatistiksel farklılığı göstermektedir (p<0.05). ^{a,b,c,d,e,f,g,h,i}; Farklı konsantrasyondaki tüm hidrokolloidlerdeki arasındaki harflendirmeler istatistiksel farklılığı göstermektedir (p<0.05).

Ağızda tat algısı ve çiğneme hızı ile çiğneme şekli jellerin tekstürel özellikleri ile ilişkilidir (Nishianari ve Fang,2016). Ortam2 'de parçalama ve karıştırma işlemiyle beraber şeker salınımı gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmayla, şeker salınımının jellerin tüm tekstürel özellikleriyle ilişkili olduğunu söylemek mümkün olmaktadır. Tablo 4.1 ve 4.2'deki hidrokolloidler kendi içlerinde incelendiğinde;

-Benzer sertlikte ve benzer tekstürel özelliklere sahip model jellerin salınım süreleri benzerdir (Bkz. 250 bloom %6 ile %8; MM nişasta %5 ile %10).

-Daha yüksek sertliğe sahip olmasına rağmen daha düşük elastikiyet özellikte olması salınım sürelerinde benzerlik oluşturmuştur (Bkz. 160 ve 250 bloom %10 ile %12). Bu durum 200 bloom %8 ile %10 arasında görülürken salınım sürelerinde benzerlik değil farklılık görülmektedir. Bunun nedeni, çiğnenebilirlik için gerekli olan kuvvetin farklı olmasıdır ve bu nedenle düşük çiğnenebilirlik değerine sahip %8 konsantrasyonlu jel daha kısa salınım sahiptir. Ayrıca, elastikiyet özelliğinden farklı olarak yapışıklık değerindeki farklılıkta salınım üzerinde etkili olduğu tespit edilmiştir. Benzer sertlikte, düşük yapışıklık ve düşük elastikiyet özelliğine sahip jellerin salınım süreleri daha kısadır. (Bkz. 200 bloom %10 ile %12; MM

nişasta %2.5 ile %7.5). Esneklik değerinin salınım üzerinde etkisinin olmadığı tespit edilmiştir (Bkz. Lma %1.7 ile %3.1)

4.3 Reolojik Özellikler

Frekans taramadan elde edilen Storage Modulus (G') değerleri Power law kullanılarak modellenmiş ve modele ait parametreler tespit edilerek yorumlanmıştır. K' ve n' değerleri Tablo 4.4'de listelenmiştir. Tabloda yer alan değerler incelendiğinde, aynı bloom derecesinde jelatin konsantrasyonu arttıkça, K' değerleri (kıvam) de artmıştır. Bu bulgu, 160 bloom dereceli jel örnekleri grubu için geçerli olmamıştır. Çünkü, %10 konsantrasyona sahip 160 bloom derecesinin K' değeri, %6 ve %8 konsantrasyona sahip 160 bloom dereceli örneklerden daha düşük K değerine sahiptir. Ayrıca, 160 bloom derecesinin %6 ve %8 konsantrasyonlu örnekleri; 200 dereceli blooma sahip jel örneklerinin %8, %10 ve %12 konsantrasyona sahip örnekleri ve 250 bloom derecesinin %6 ile %8 konsantasyona sahip örnekleri ile 250 bloom derecesinin %10 ve %12 konsantrasyonuna sahip örnekleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamıştır ($p>0.05$). Jelatin için diğer değerlendirme parametresi ise, farklı bloom derecelerine sahip örneklerin aynı konsantrasyondaki değerlendirmesine bakıldığında; Aynı bloom derecesine sahip farklı konsantrasyonlardaki jelatin örnekleri değerlendirildiğinde, 250 bloom derecesindeki tüm jelatin bazlı jel örnekleri en yüksek viskoziteye sahip olduğu belirlenmiştir. 160 bloom derecesinin %10 konsantrasyondaki jel örneği en düşük viskozite değerine sahip örnektir. MM nişasta bazlı jel örnekleri ise, artan nişasta konsantrasyonu ile artan K' değerine sahip olmuşlardır. Bununla birlikte, %5 ve %7,5 konsantrasyona sahip jel örnekleri aynı viskozite değerlerine sahiptir ($p>0.05$). LM pektin bazlı jel örneklerinde ise, nişasta örneklerinde olduğu gibi artan konsantrasyon değerlerine paralel olarak K' değerleri de artmıştır.

Önemli bir bulgu olarak, elde edilen ve kendi aralarında karşılaştırılan K değerleri ile salınım testlerinde elde edilen veriler arasında bir korelasyon olduğu yönünde yorumlamalar yapılabilir. Örneklerin salınım testleri ile K' değeri kıyasında da bir ilişki görülmektedir. Ortam 1 ve 2'de gerçekleştirilen salınım testlerinde hidrokolloid konsantrasyonu arttıkça salınım sürelerinin uzadığı tespit edilmiştir. K' değerleri incelendiğinde de, örneklerin konsantrasyonları arttıkça K' değerleri de artmıştır. LM pektin örneklerinin salınım testleri ile reolojik verileri incelendiğinde ise, K' değerleri tüm jel örnekleri içerisinde en düşük K' değerlerine sahip olduğu görülürken, salınım testlerinde ise örnekler arası salınım süreleri farkı istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur ($p>0,05$). Bulgular göstermektedir ki, artan K' değeri ile salınım arasında bir korelasyon söz konusudur.

Diğer bir çıkarım olarak, Young's modülü önceki çalışmalarda viskozite sonuçlarıyla (K değerleri) ilişkilendirilmiştir (Nur ve Simmons, 1969). %7,5 modifiye mısır nişastası jel numuneleri ve %12 konsantrasyonlu 160 bloom dereceli jelatin hariç diğer tüm jel numunelerinin artan konsantrasyonlarında 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 incilmesi davranışı ve $n = 1$ ise sıvının Newtonsal davranış gösterdiğini ortaya koymaktadır (Song vd., 2006). Farklı konsantrasyonların frekans tarama testi sonuçları, pektin değerlerine sahip jel örneklerinin 250 bloom jel numunesi için istatistiksel olarak önemli ölçüde farklı olmadığını göstermektedir ($p > 0.05$). %6 ve % 8 konsantrasyonlu jel örneklerinin 160 bloom derecesinde ve %6 konsantrasyonun 200 bloom derecesinde en yüksek n' değerleri saptanmakla birlikte, n' değerleri 1'den küçüktür. Böylece, bütün jelatin jel numuneleri kayma incilmesi davranışı göstermiştir. Nişasta jel örneklerinde ise farklı bir eğilim görülmüştür. En düşük ve en yüksek konsantrasyon değerlerinin aynı n' değerlerine sahip olduğu ve % 2,5 konsantrasyonun kayma kalınlaşma davranışı gösterdiği saptanmıştır. LM pektin jeli örneklerinde ise, konsantrasyon arttıkça n' değerlerinde istatistiksel olarak farklılık görülmemiştir ($p > 0.05$).

Tablo 4.4 Model jel ürünlerine uygulanan osilasyon testi sonunda elde edilen model parametre değerleri

Hidrokolloid	Konsantrasyon	K'	n'
160 bloom Jelatin	%6	3237,6±492,995 ^{B,b}	0,1686±0,02447 ^{A,b}
	%8	5510,15±1111,5 ^{B,b}	0,13625±0,00163 ^{A,b}
	%10	13,255±0,87116 ^{C,c}	0,0718±0,00339 ^{B,}
	%12	19168,5±622,961 ^{A,b}	0,07385±0,01365 ^{B,b}
200 bloom Jelatin	%6	3495,1±350,725 ^{Bb}	0,14425±0,01308 ^{A,b}
	%8	10521,6±1010,31 ^{A,a}	0,0307±0,00396 ^{C,a}
	%10	11003,5±992,0,71 ^{A,b}	0,0794±0,00863 ^{B,b}
250 bloom Jelatin	%6	13664,5±888,833 ^{A,b}	0,0638±0,00679 ^{B,C,b}
	%8	13423,5±3024,3 ^{B,a}	0,02225±0,00488 ^{NS,a}
	%10	13936,5±614,476 ^{B,a}	0,0206±0,00071 ^{NS,a}
	%12	26160±70,7107 ^{A,a}	0,02035±0,00064 ^{NS,a}
Düşük	%1	29651,5±2512,35 ^{A,a}	0,02195±0,00177 ^{NS,a}
		14,4345±1,36967 ^C	0,9504±0,02319 ^{NS}

metoksilli	%1.7	858,18±92,7866 ^{BC}	0,355±0,01824 ^{NS}
pektin	%2.4	3673,45±1214,03 ^B	0,1879±0,05317 ^{NS}
	%3.1	8756,05±701,521 ^A	0,12915±0,03062 ^{NS}
Modifiye	%2.5	11,027±1,3633 ^B	1,0582±0,03833 ^A
	%5	24,8135±2,33416 ^{AB}	0,9311±0,002574 ^B
	mısır nişastası %7.5	0,7401±0,01131 ^{AB}	0,7401±0,01131 ^B
	%10	118,595±47,3549 ^A	0,7339±0,0338 ^A

^ABüyük harfler aynı hidrokolloid içinde konsantrasyon farkını, ^aküçük harfler ise farklı bloom değerlerinin aynı konsantrasyonunun istatistiksel farkını temsil etmektedir (p<0.05).

4.4 Yoğunluk, Poisson oranı ve Youngs modül değerleri

Jellerin yoğunluk, poisson oranı ve youngs modül değerleri Tablo 4.6 verilmiştir. Tablo 4.6 incelendiğinde, yoğunluk değerleri genel olarak benzerlik göstermektedir. Konsantrasyon farklılığı sadece 250 bloom jelatin örneklerinde gözlenmiştir (p<0.05). Jellerin poisson oranı genel olarak benzerlik göstermektedir. En yüksek 0.78, en düşük 0.27 poisson oranına LM pektin örnekleri sahiptir. 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 olduğu rapor edilmiştir (Shi vd., 1999).

Hidrokolloid konsantrasyon oranı genel olarak Youngs modül değeri üzerine etkili olduğu tespit edilmiştir (p<0.05). Yapılan bir çalışmada %8, 10, 12.5 ve 15 oranında jelatinli jellerin youngs modül değerleri sırasıyla 283, 367, 480 ve 665 g/cm² değerlerinde rapor etmiştir (Hatschek, 1931). Hatschek (1931) rapor ettiği gibi konsantrasyon artışı youngs modül üzerinde etkili olduğu tespit edilmiştir (p<0.05).

Jellerin yoğunluk, poisson oranı ve youngs modül değerleri ile şeker salınımı arasında ise herhangi bir korelasyon tespit edilememiştir.

Tablo 4. 5 Model jel ürünlerinin yoğunluk, poisson oranı ve Youngs modulus değerleri

Hidrokolloid	Konsantrasyon	Yoğunluk (ρ,gr/ml)	Possion oranı (ν)	Youngs modulus (E,Pa)
160 bloom Jelatin	%6	1.07±0.04 ^{cef,A}	0.61±0.07 ^{abc,A}	324.00±124.60 ^{gh,C}
	%8	1.14±0.14 ^{bcd,ef,A}	0.74±0.23 ^{abc,A}	646.18±101.27 ^{efg,B}
	%10	1.27±0.19 ^{abcd,ef,A}	0.67±0.11 ^{abc,A}	1209.44±163.86 ^{b,A}
	%12	1.17±0.08 ^{abcd,ef,A}	0.79±0.20 ^{ab,A}	726.38±185.52 ^{def,B}
200 bloom	%6	0.98±0.06 ^{f,A}	0.58±0.09 ^{abc,AB}	334.33±59.72 ^{gh,B}

Jelatin	%8	1.01±0.01 ^{def,A}	0.76±0.01 ^{ab,A}	831.67±92.31 ^{cde,A}
	%10	1.01±0.04 ^{def,A}	0.45±0.07 ^{abc,B}	1039.67±188.40 ^{bcd,A}
	%12	1.07±0.04 ^{cef,A}	0.69±0.10 ^{abc,A}	1097.00±163.00 ^{bc,A}
250 bloom	%6	1.26±0.03 ^{abcdef,B}	0.55±0.15 ^{abc,A}	385.00±21.53 ^{fgh,C}
	%8	1.00±0.03 ^{ef,C}	0.68±0.11 ^{abc,A}	642.67±71.77 ^{efg,C}
Jelatin	%10	1.39±0.08 ^{abc,A}	0.69±0.01 ^{abc,A}	975.33±203.81 ^{bcde,B}
	%12	1.49±0.03 ^{ab,A}	0.58±0.10 ^{abc,A}	1667.00±125.01 ^{a,A}
Düşük metoksilli pektin	%1	1.28±0.25 ^{abcdef,A}	0.78±0.11 ^{a,A}	633.67±228.75 ^{efg,B}
	%1.7	1.14±0.04 ^{bcdef,A}	0.56±0.28 ^{abc,A}	1697.33±461.40 ^{a,A}
	%2.4	1.23±0.06 ^{abcdef,A}	0.57±0.12 ^{abc,A}	1687.33±86.98 ^{a,A}
	%3.1	1.37±0.32 ^{abcdef,A}	0.27±0.10 ^{c,B}	1912.15±144.96 ^{a,A}
Modifiye mısır nişasta	%2.5	1.51±0.09 ^{aA}	0.61±0.02 ^{abc,A}	85.92±13.29 ^{h,B}
	%5	1.36±0.15 ^{abcde,A}	0.45±0.13 ^{abc,A}	326.89±158.47 ^{gh,A}
	%7.5	1.39±0.07 ^{ab,A}	0.31±0.11 ^{bc,A}	68.30±12.77 ^{h,B}
	%10	1.33±0.03 ^{abcdef,A}	0.60±0.23 ^{abc,A}	182.52±20.12 ^{h,B}

^{a,b,c,d,e,f,g,h,i,-}, Farklı konsantrasyondaki tüm hidrokolloidlerdeki arasındaki harflendirmeler istatistiksel farklılığı göstermektedir (p<0.05).

4.5 Etkif Difüzivite Değeri

Model jellerdeki şekerin %90'nın salınım işleminin efektif difüzivite değeri (D_{eff}) Tablo 4.7'de verilmiştir. Tablo 4.7 incelendiğinde, farklı hidrokolloidlerin farklı D_{eff} değerlerine sahip olduğu görülmektedir. Özellikle pektinli ürünlerde şekerin salınım hızı daha hızlı olduğu ve bununla salınım süresine etki ettiği tespit edilmiştir (Bkz. Tablo 4.1). Hidrokolloidlerde genel olarak konsantrasyon arttıkça D_{eff} süresinin azaldığı saptanmıştır. Ortam1 'de $0.22 \cdot 10^{-8}$ ile $5.07 \cdot 10^{-8}$ m²/s, Ortam2 'de $18.47 \cdot 10^{-8}$ ile $1.37 \cdot 10^{-8}$ m²/s arasındadır. Ortam1 ve Ortam2 kıyaslandığında, Ortam2'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 jellylerin tuz salınımının efektif difüzivite değeri; %6,8 ve %10 oranlarında jelatinli örneklerde sırasıyla 0.99 , 0.93 ve $0.93 \cdot 10^{-9}$ m²/s; %0.5, 1 ve %1.5 oranlarında gellan örneklerin sırasıyla 1.15 , 1.12 ve $1.01 \cdot 10^{-9}$ m²/s; %3 ve %4 oranlarında alijantlı örneklerde 0.96 ve $0.93 \cdot 10^{-9}$ m²/s olduğunu rapor etmişlerdir (Mills vd., 2011). Mills vd., (2011) jelatinli örneklerin tuz salınımı ile projeden gerçekleştirilen şeker salınımı kıyaslandığında şeker salınımının efektif difüzivite değeri daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 4.6 Jellerden şeker salınmasının efektif difüzyon hızı (Deff)

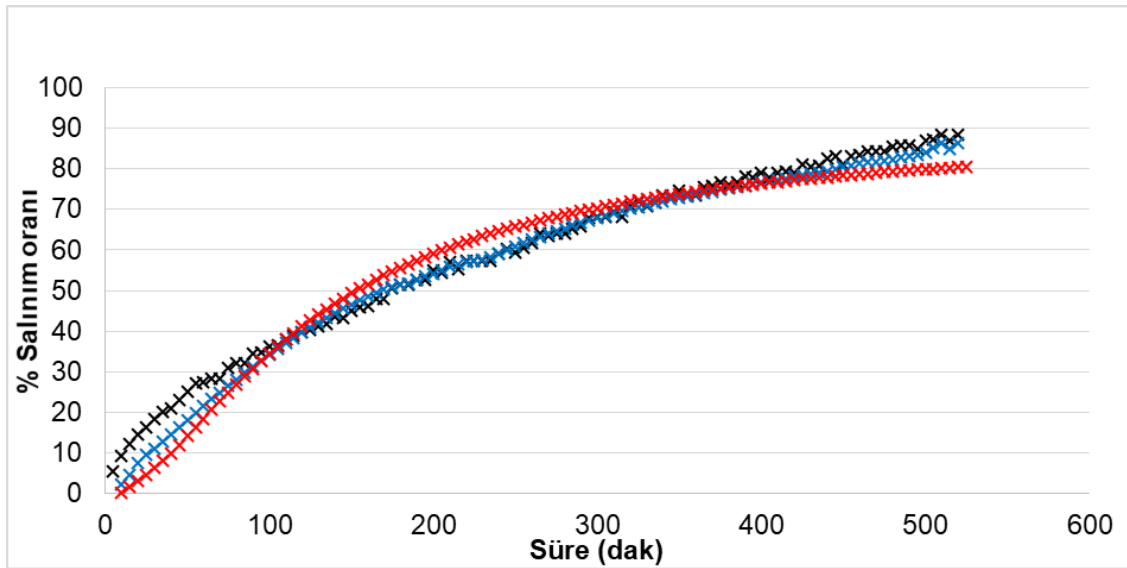
Hidrokolloid	Konsantrasyon	Ortam 1			Ortam 2		
		Salınım süresi(dak)	Deff (m ² /s)*10 ⁸	R ²	Salınım süresi(dak)	Deff (m ² /s)*10 ⁸	R ²
160 bloom Jelatin	%6	0≤t<72.50±10.61	1.71±0.29	0.869±0.02	0≤t<8.50±0.07	11.30±0.54	0.946±0.02
	%8	0≤t<162.50±17.68	0.73±0.07	0.911±0.01	0≤t<11.00±0.00	9.11±0.13	0.887±0.01
	%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
200 bloom Jelatin	%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
	%6	0≤t<290.00±0.00	0.44±0.00	0.895±0.00	0≤t<26.00±2.83	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
250 bloom Jelatin	%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<520.00±7.07	0.23±0.03	0.948±0.03	0≤t<92.00±5.66	1.37±0.01	0.935±0.03
	%6	0≤t<282.50±10.61	0.36±0.08	0.900±0.01	0≤t<25.00±9.90	5.66±2.74	0.939±0.07
Düşük metoksilli pektin	%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
Modifiye mısır nişastası	%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<44.00±8.40	4.15±0.47	0.947±0.01	0≤t<28.00±1.41	7.43±1.23	0.963±0.01
Modifiye mısır nişastası	%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	125.00±21.21 ^{hi.B}	1.22±0.29	0.888±0.05	0≤t<45.00±4.24	3.82±0.27	0.946±0.03
	%7.5	170.00±0.00 ^{fg.h.B}	0.68±0.02	0.954±0.01	0≤t<38.50±2.12	3.24±0.41	0.919±0.00
	%10	232.5±10.61 ^{def.A}	0.61±0.05	0.923±0.00	0≤t<49.50±0.70	2.45±0.12	0.890±0.03

Yapılan deneysel çalışmada ortam1'de ürün eriyerek difüzyon yolunun kısalmakta, Ortam 2'de ise jelyliler parçalara ayrılarak difüzyon yolu kısalmakta ve 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 (Bkz. Gereç-Yöntem 3.6).



Şekil 4.2 Jely örneklerinin salınım boyunca şekil değişiminin temsili gösterimi

Şekil 4.3'de efektif difüzyon (D_{eff}) değeri sabit ve parçalı olarak nümerik modelleme çalışmasında kullanılarak gerçekleştirilen model ile deneysel uyumu gösterilmiştir.



Şekil 4.3 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)

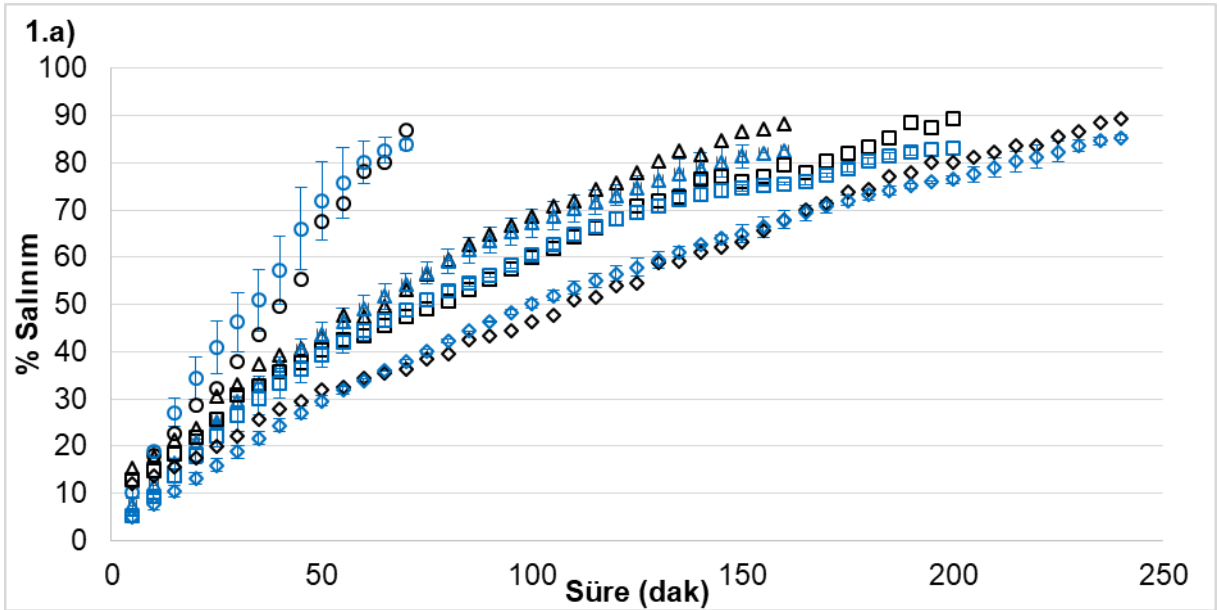
Şekil 4.3 incelendiğinde efektif difüzyon değeri parçaları olarak hesaplanması ve modelde kullanılması daha uygun bulunmuştur.

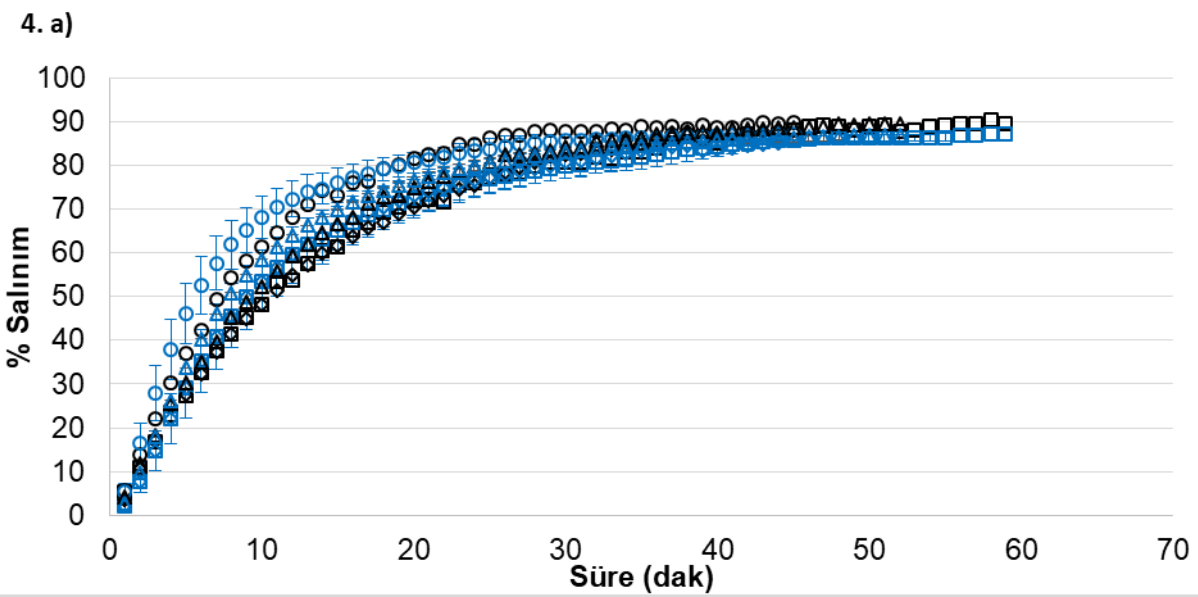
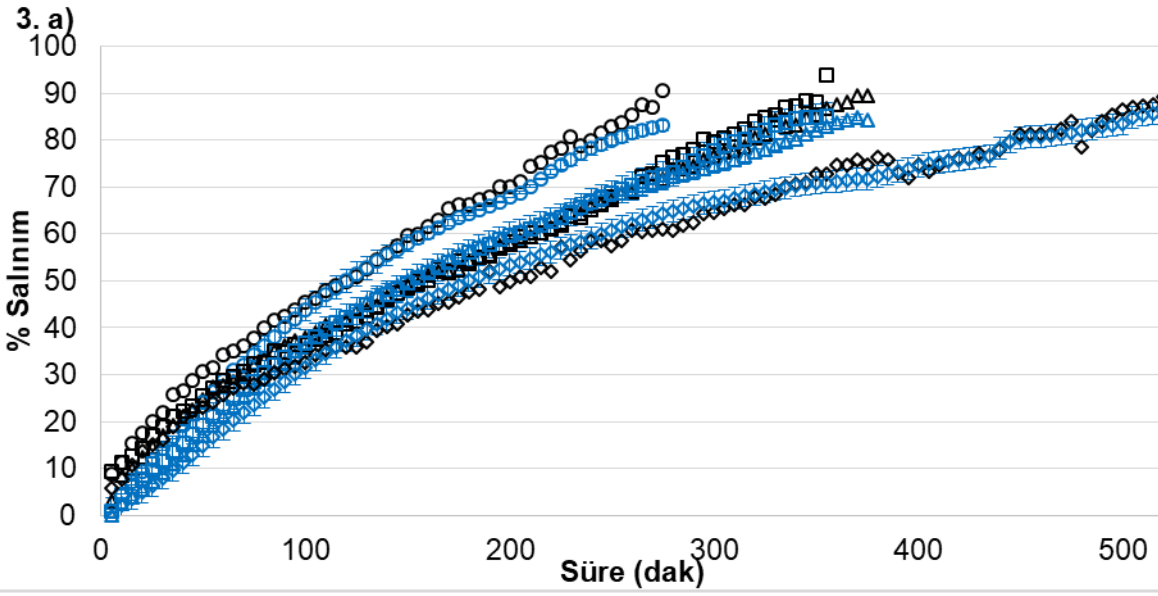
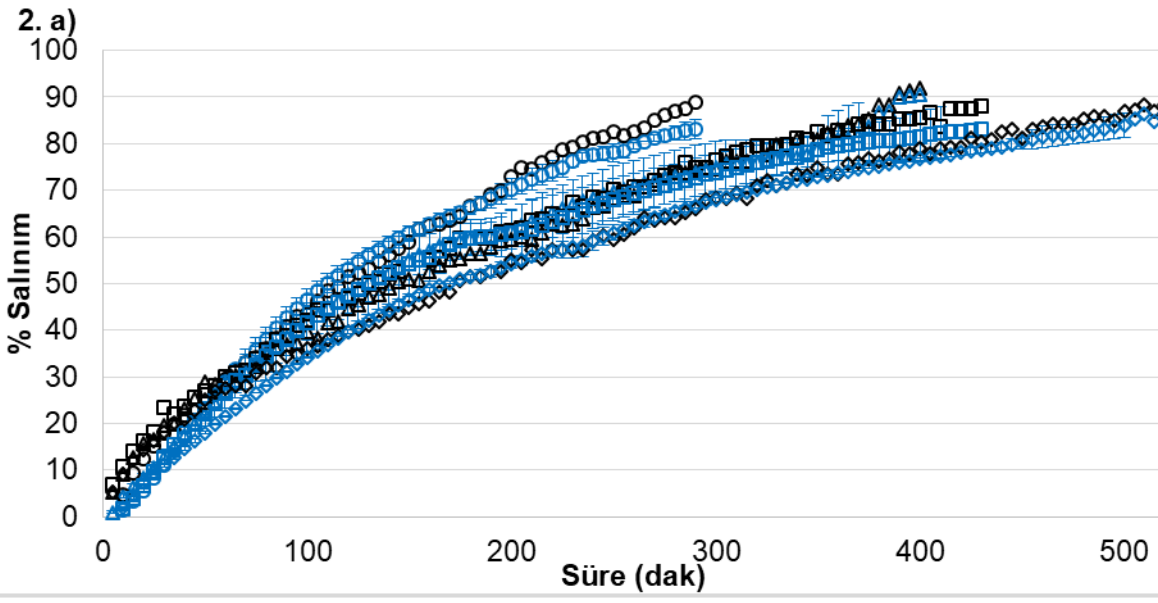
4.6 Nümerik Modelleme

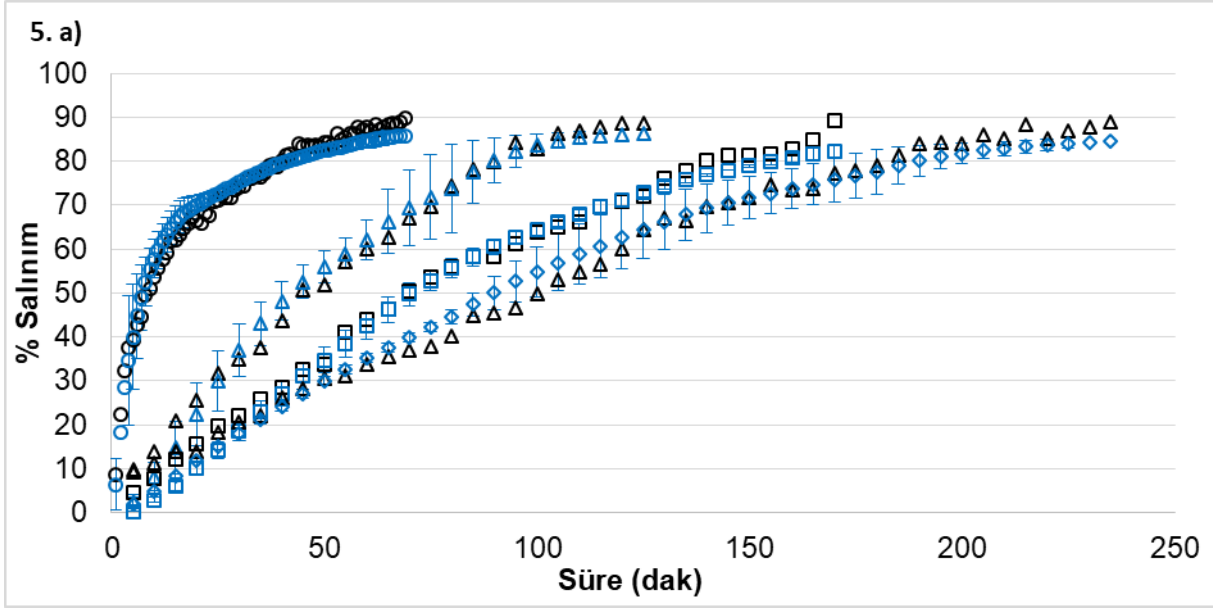
Şekerli model jel örneklerinden şeker salınımında meydana gelen kütle transferi Fick'in 2.yasası esas alınarak incelenmiştir. Salınım boyunca nümerik modellemeyle elde edilen öngörülen şeker miktarı değerleri tespit edilmiş ve deneysel sonuçlarla uyumu incelenmiştir. Deney sonuçları ile nümerik modelleme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

Nümerik modellemeye elde edilen öngörülen şeker miktarı değerleri excel dosyasına aktararak zamanla salınan şeker oranı hesaplanmıştır (Bkz. Mat-met). Şekil 4.4'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 4.4'de verilmiştir.



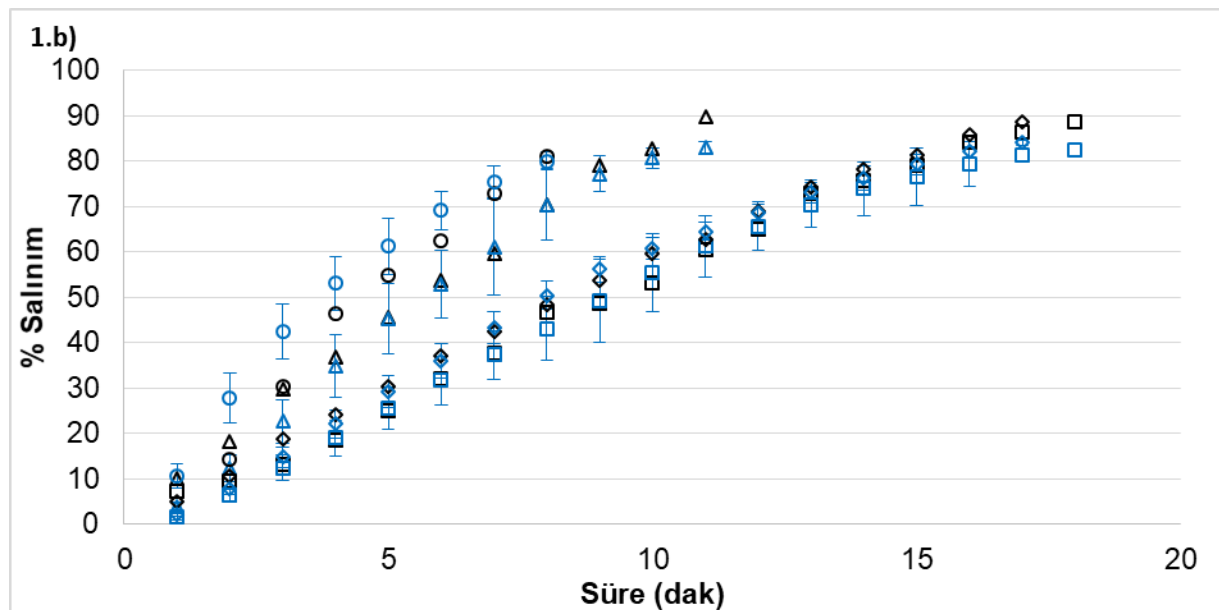


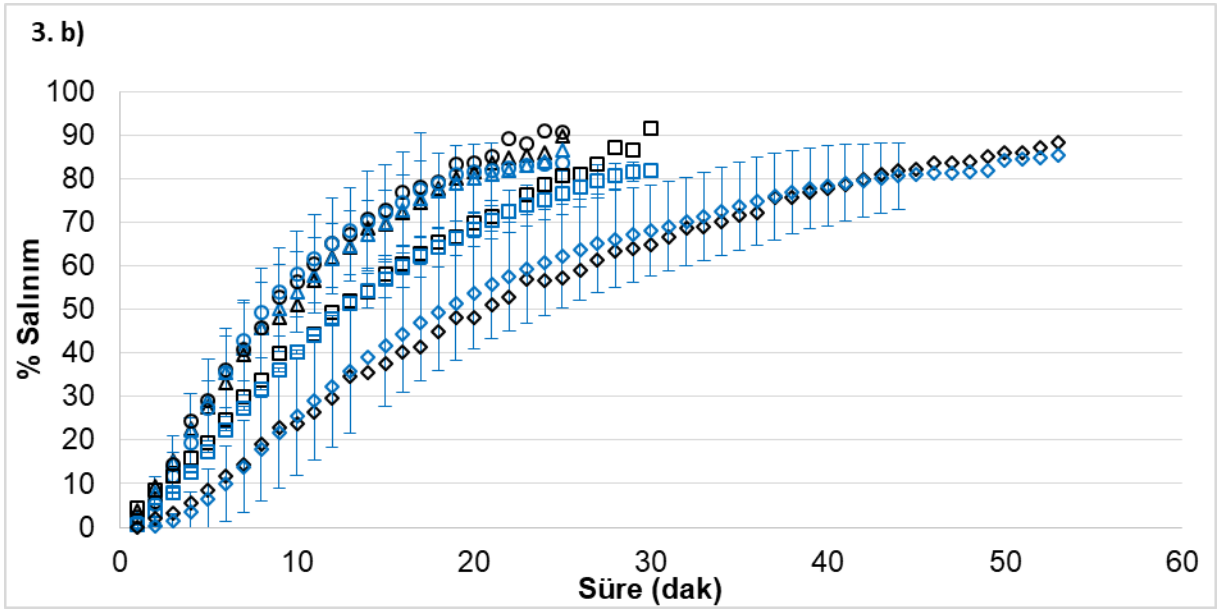
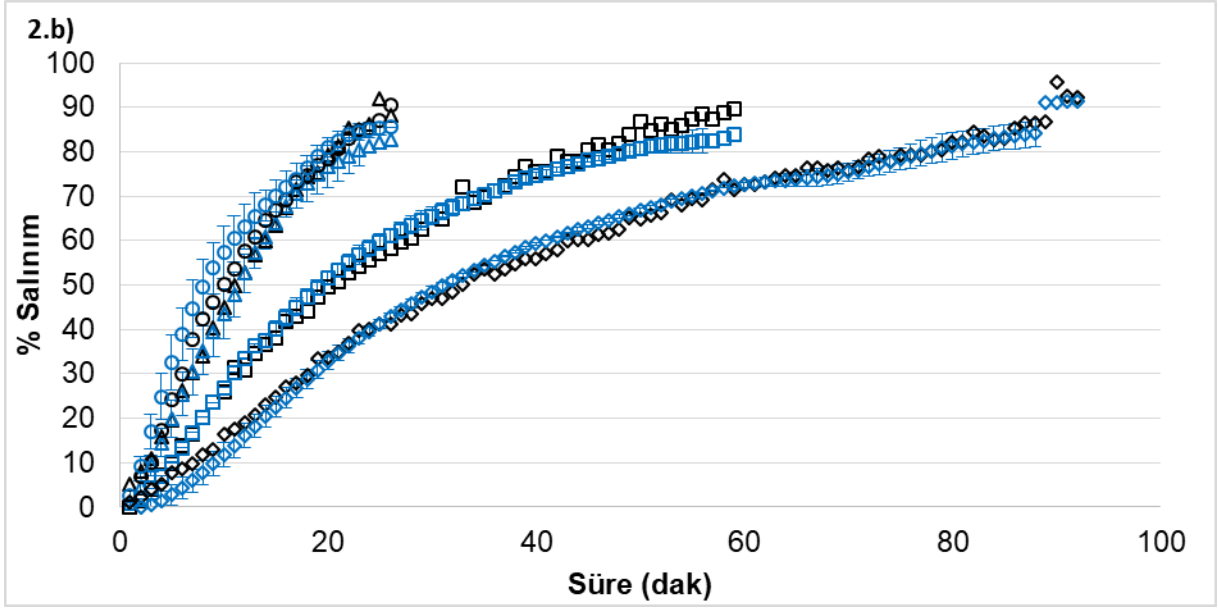


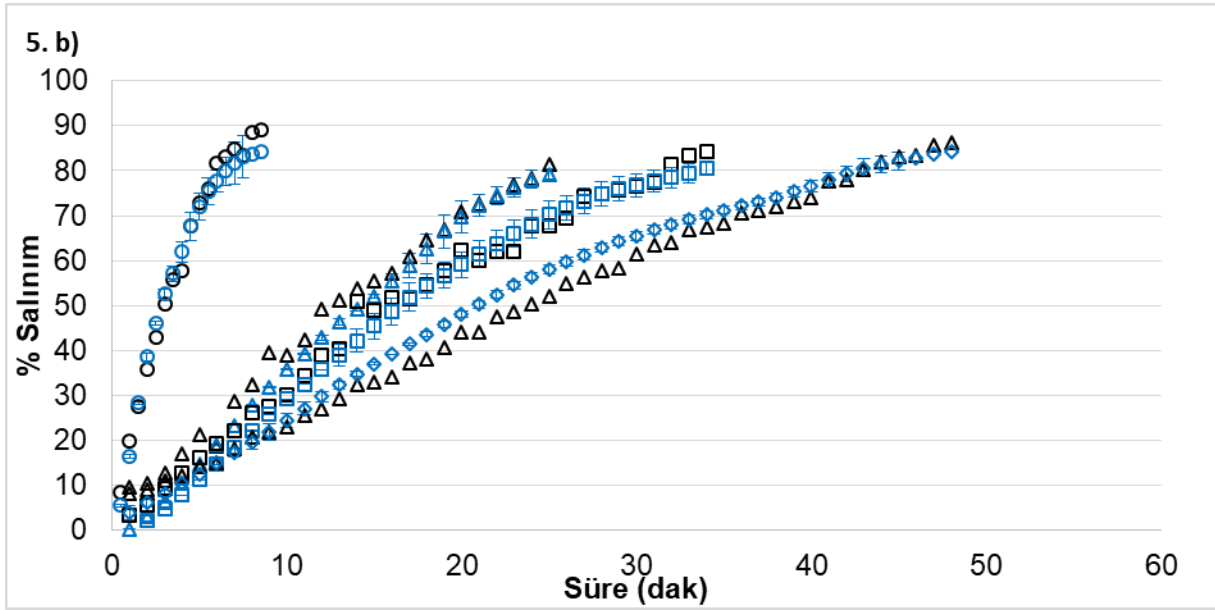
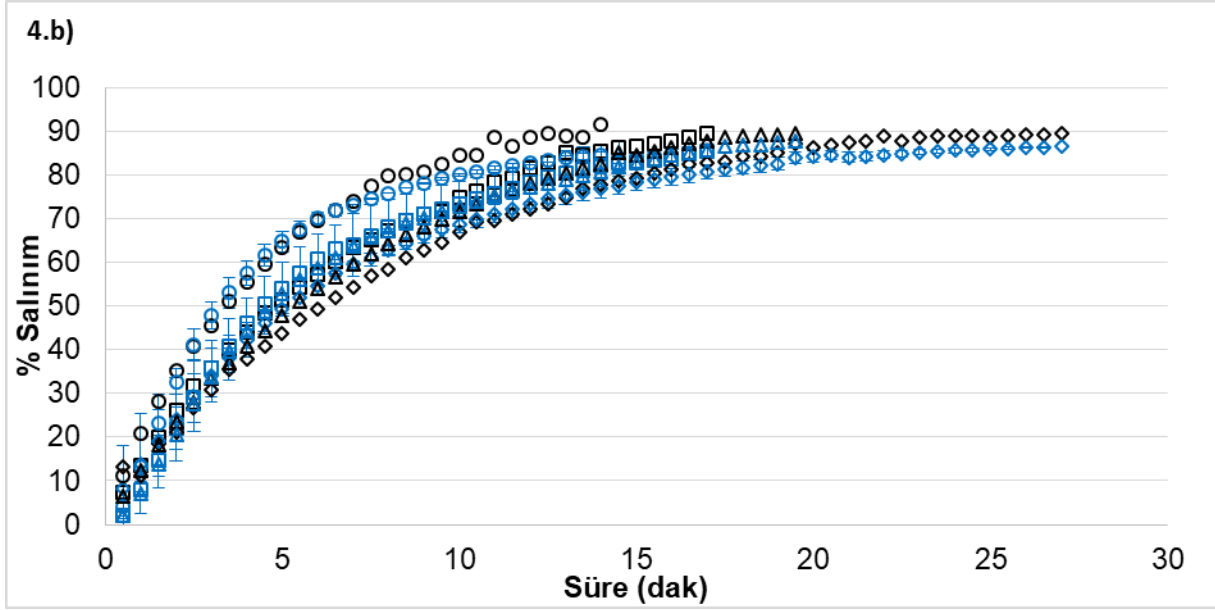
Şekil 4. 4 Ortam 1 için farklı hidrokolloid ve konsantrasyonlardan elde edilen jel örneklerinden şeker salınımı işleminde kütle transferinin çözümlenmesi sonucu merkez noktası için nümerik modellemeye öngörülen salınım oranı değerleri ile deneysel salınım oranı değerleri ile deneysel salınım oranı değerlerinin süreye bağlı değişimi

1.a) 160 bloom, 2.a) 200 bloom, 3.a) 250 bloom (○: %6; △: %8; □: %10; ◇: %12) 4.a) Düşük metoksilli pektin (○: %1; △: %1.7; □: %2.4; ◇: %3.1); 5.a) Modifiye mısır nişasta (○: %2.5; △: %5; □: %7.5; ◇: %10). (○, △, □, ◇: öngörülen salınım oranı değerleri, ○, △, □, ◇: deneysel salınım oranı değerleri)

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. Ortam 2 için merkez noktasında öngörülen salınım oranının süreye bağlı olarak değişiminin deneysel verilerle uyumu Şekil 4.5'de verilmiştir.







Şekil 4.5 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)

Model öngörülleri ile deneysel verilerin RMSE ve X^2 değerleri Tablo 4.7'de verilmiştir. Tablo 4.7 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 χ^2 değerleri kıyaslandığında genel olarak ortam2 için gerçekleştirilen modelden daha iyi sonuç alındığı tespit edilmiştir. Modele mekanik değişim eklemek ve daha kısa süreli salınım modellemek deney ile uyumu arttırdığı tespit edilmiştir.

Tablo 4. 7 Model öngörülere ile deneysel verilerin RMSE ve χ^2 değerleri

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

^{a,b}; Ortam 1 ve 2 deki farklı konsantrasyondaki tüm hidrokolloidlerdeki arasındaki harflendirmeler istatistiksel istatistiksel farklılığı göstermektedir (p<0.05).

Mills vd., (2011) Yaptıkları bir çalışmada, farklı oranlardaki jelatinli, gellan ve aljinatlı jellerden tuz salınımı gerçekleştirilmiş ve salınım işlemi COMSOL paket programı gerçekleştirilerek modellemiştir. 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 işlemi gerçekleştirmişlerdir. Modelleme için alijanttan şeker salınımında difüzyon ve enzimin etkisine bakmışlardır (Haydock, 2007).

5.SONUÇ

Beslenme ve sağlık arasındaki ilişkinin son yıllarda önem kazanmasıyla ve tüketicilerin bu konuda bilinçlenmesiyle kalorisini azaltılmış ve sağlığa faydalı fonksiyonel gıdalara olan talep gün geçtikçe artmaktadır. Yüksek kalorili gıdaların obezite ve diyabet hastalığına sebep olması ve bu hastalıkların da kalp damar hastalığı gibi ölümcül etkilere neden olan önemli hastalıklara neden olması, bazı ülkelerde ürün miktarındaki şeker artışına bağlı olarak vergilerde de artışa neden olmuştur. Gıda endüstrisi de tüketicinin bu talebini dikkate alarak bu konu ile ilgili Ar-Ge ve Ür-Ge çalışmalarına yoğunlaşmaktadır. Gıdalarda kalori artışına neden olan en önemli bileşenden birisi olan şekerin azaltılmasına yönelik çok çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Şeker alkollerini, diyet lifleri veya yüksek yoğunluklu tatlandırıcıların şeker ikamesi olarak kullanımı ile üretilen çeşitli ürünler de raflarda yer almalarına rağmen şekerin ürünlerde tatlılık yanında çok çeşitli fonksiyonlara sahip olması, bu tarz ürünlerin tüketimini sınırlandırmaktadır. Bu durum da şeker azaltmaya yönelik novel metotların geliştirilmesini zorunlu hale getirmektedir. Tüketim esnasında oral kavitede gıda maddesinin bileşiminde yer alan şekerin tamamının gıda matriksi özelliklerine bağlı olarak tamamen salınmamasıyla gıda maddelerinin potansiyel tatlılık düzeyi ile algılanan tatlılığı arasında ortaya çıkan farklılık, tekstürel özelliklerin modifiye edilerek şeker salınımının hızlandırılarak daha düşük kalorili gıdaların üretilebileceği fikrini ortaya çıkarmıştır. Proje çalışmaları kapsamında tekstürel özellikleri farklılaştırılan jellerden şeker salınımı gerçekleştirilmiş ve elde edilen veriler nümerik olarak modellenmiştir. Jellerin tekstürel özellikleri, jelatin, düşük metoksilli pektin ve modifiye mısır nişastasının farklı oranlarda kullanımı ile modifiye edilmiştir. Farklı tekstürel özelliklere sahip jellerde 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. Şeker salınımları sadece karıştırmanın ve karıştırma ile birlikte mekanik parçalamanın da uygulandığı iki farklı ortamda gerçekleştirilmiştir. Şeker salınımı ile tekstürel özelliklerden sertlik ve koheziflik arasında önemli ilişki tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, nümerik modelleme kullanılarak şeker salınımına bağlı olarak jellerin tekstürel özelliklerinin modifiye edilebileceğini ve bu durum da kalorisini düşük ürünlerin üretiminde yeni bir yaklaşım getirebileceğini ortaya çıkarmaktadır. Tüketicilerin, aşına olduğu bileşenler ve tekstürel özelliklere sahip ürünleri daha düşük kalori olarak tüketimine olanak sağlayacaktır. Şekerin ürün formülasyonunda azaltılması sonucunda açığa çıkan kuru madde ihtiyacının ikame edilmesine yönelik de ucuz ve duyuşsal özellikleri ve tekstürel özellikleri önemli derecede



etkilemeyen bileşenlerin bulunmasına yönelik çalışmaların yapılması da sektör açısından önem arz etmektedir.

Kaynaklar

- Aee, L. H., Hie, K. N. ve Nishinari, K. 1998. "DSC and rheological studies of the effects of sucrose on the gelatinization and retrogradation of a corn starch", *Thermochimica acta*, 322(1), 39-46.
- Ahmad, F. B. ve Williams, P. A. 1999. "Effect of sugars on the thermal and rheological properties of sago starch", *Biopolymers: Original Research on Biomolecules*, 50(4), 401-412.
- Baysal, T., Icier, 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., 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.
- 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.
- Bray, G. A., Paeratakul, S. ve Popkin, B. M. 2004. "Dietary fat and obesity: A review of animal, clinical and epidemiological studies", *Physiology & Behavior*, 83(4), 549-555.
- Burey, P., Bhandari, B.R., Rutgers, R.P.G., Halley, P.J. ve Torley, P.J. 2009. "Confectionery Gles: A review on formulation, rheological and structural aspects", *International Journal of Food Properties*, 12, 176-210.
- Chajès, V., Thiébaud, A. C., Rotival, M., Gauthier, E., Maillard, V., Boutron-Ruault, M. C. ve Clavel-Chapelon, F. 2008. "Association between serum trans-monounsaturated fatty acids and breast cancer risk in the E3N-EPIC Study", *American journal of epidemiology*, 167(11), 1312-1320.
- Chang, S. M. ve Liu, L. C. 1991. "Retrogradation of rice starches studied by differential scanning calorimetry and influence of sugars, NaCl and lipids", *Journal of Food Science*, 56(2), 564-566.
- Chang, Y. H., Lim, S. T. ve Yoo, B. 2004. "Dynamic rheology of corn starch–sugar composites", *Journal of Food Engineering*, 64(4), 521-527.
- 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.

- Chiou, B. S., Yee, E., Glenn, G. M., & Orts, W. J. (2005). Rheology of starch–clay nanocomposites. *Carbohydrate Polymers*, 59(4), 467-475.
- 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.
- 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.
- Durack, E., Alonso-Gomez, M. ve Wilkinson, M. G. 2008. “Salt: a review of its role in food science and public health”, *Current Nutrition & Food Science*, 4(4), 290-297.
- 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 emulsions” *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.
- 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.
- Foegeding, E. A. 2007. “Rheology and sensory texture of biopolymer gels” *Current Opinion in Colloid & Interface Science*, 12(4-5), 242-250.
- Foegeding, E. A., Daubert, C. R., Drake, M. A., Essick, G., Trulsson, M. ve Vinyard, C. J. 2011. “A comprehensive approach to understanding textural properties of semi- and soft-solid foods” *Journal of Texture Studies*, 42(2), 103-129.
- Funami, T. 2011. “Next target for food hydrocolloid studies: Texture design of foods using hydrocolloid technology”, *Food Hydrocolloids*, 25(8), 1904-1914.
- Göztok, P. S. 2017. “Karbon Fiber Destekli Kabin Kurutucuda Elma Kurutulmasının Deneysel Ve Kuramsal İncelenmesi Ve İşlemin Enerjetik/Ekserjetik Değerlendirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ege Üniversitesi, 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.
- Guo, P., Yu, J., Copeland, L., Wang, S. ve Wang, S. 2018b. "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. 2018a. "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.
- 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.
- Hayakawa, F., Kazami, Y., Fujimoto, S., Kikuchi, H. ve Kohyama, K. 2009. "Time-Intensity analysis of sourness of commercially produced gummy jellies available in Japan", *Food Science and Technology Research*, 15(1), 75-82.
- Jampala, S. N., Manolache, S., Gunasekaran, S., & Denes, F. S. (2005). Plasma-enhanced modification of xanthan gum and its effect on rheological properties. *Journal of agricultural and food chemistry*, 53(9), 3618-3625.
- Kohyama, K., Hayakawa, F., Gao, Z., Ishihara, S., Nakao, S. ve Funami, T. 2014. "Electromyographic texture characterization of hydrocolloid gels as model foods with varying mastication and swallowing difficulties" *Food Science and Technology Research*, 20, 1121-1130.
- Kohyama, K., Hayakawa, F., Kazami, Y. ve Nishinari, K. 2016. "Sucrose release from agar gels and sensory perceived sweetness", *Food Hydrocolloids*, 60, 405-414.

- Kohyama, K., Hayakawa, F., Kazami, Y., Ishihara, S., Nakao, S., Funami, T. ve Nishinari, K. 2015. "Electromyographic texture characterization of hydrocolloid gels as model foods with varying mastication and swallowing difficulties", *Food Hydrocolloids*, 43, 146-152.
- Koliandris, A., Lee, A., Ferry, A. L., Hill, S. ve Mitchell, J. 2008. "Relationship between structure of hydrocolloid gels and solutions and flavour release", *Food Hydrocolloids*, 22(4), 623-630.
- Lau, E., Soong, Y. Y., Zhou, W. ve Henry, J. 2015. "Can bread processing conditions alter glycaemic response?", *Food chemistry*, 173, 250-256.
- 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.
- 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.
- 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.
- Mosca, A. C., van de Velde, F., Bult, J. H., van Boekel, M. A. ve Stieger, M. 2012. "Effect of gel texture and sucrose spatial distribution on sweetness perception", *LWT-Food Science and Technology*, 46(1), 183-188.
- Motamedzadegan, A., Naeli, M. H., Maghsoudlou, E., Bahri, S. M. H., Belgheisi, S., & Babaei, Z. E. A. (2019). Effects of basal seed gum and carboxymethyl cellulose gum on rheological properties and flow behavior of pomegranate paste. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 13(1), 87-96.
- Mozaffarian, D., Aro, A. ve Willett, W. C. 2009. "Health effects of trans-fatty acids: Experimental and observational evidence", *European Journal of Clinical Nutrition*, 63(2), 5-21.
- Nishinari, K. ve Fang, Y. 2016. "Sucrose release from polysaccharide gels e a review", *Food & Function*, 7(5), 2130-2146.
- 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., & 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.
- 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 foods", *Food Hydrocolloids*, 21(3), 397-401.
- Rao, M. A. ve Cooley, H. J. 1994. "Influence of glucose and fructose on high- methoxyl pectin gel strength and structure development", *Journal of food quality*, 17(1), 21-31.
- Sala, G. ve Stieger, M. 2013. "Time to first fracture affects sweetness of gels", *Food Hydrocolloids*, 30(1), 73-81.
- Sato, A. C., Oliveira, P. R. ve Cunha, R. L. 2008. "Rheology of mixed pectin solutions", *Food Biophysics*, 3(1), 100.
- Seyssiecq, I., Ferrasse, J. H., & Roche, N. (2003). State-of-the-art: rheological characterisation of wastewater treatment sludge. *Biochemical Engineering Journal*, 16(1), 41-56.
- 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.
- Selway, N. ve Stokes, J. R. 2013. "Insights into the dynamics of oral lubrication and mouthfeel using soft tribology: Differentiating semi-fluid foods with similar rheology", *Food research international*, 54(1), 423-431.
- Song, K. W., Kim, Y. S., & Chang, G. S. (2006). Rheology of concentrated xanthan gum solutions: Steady shear flow behavior. *Fibers and Polymers*, 7(2), 129-138.
- Sungur, B. ve R. Ercan. 2004. "Suda çözünebilir gamların gıda endüstrisinde kullanım olanakları", *Gıda Mühendisliği Dergisi*, 28-32.
- Tan, J. ve Joyner, H. S. 2018. "Characterizing wear behaviors of κ-carrageenan and whey protein gels by numerical modeling", *Journal of Food Engineering*, 235, 98-105.
- Tuik. 2018. <http://www.tuik.gov.tr/> . Erişim tarihi: 10.03.2019.

- Van den Berg, L., Van Vliet, T., Van der Linden, E., Van Boekel, M. A. J. S. ve van de Velde, F. 2007. "Breakdown properties and sensory perception of whey proteins/polysaccharide mixed gels as a function of microstructure", *Food Hydrocolloids*, 21(5-6), 961-976.
- Vilgis, T. A. 2015. "Gels: model systems for soft matter food physics". *Current Opinion in Food Science*, 3, 71-84.
- Wang, S., Sun, Y., Wang, J., Wang, S. ve Copeland, L. 2016a. "Molecular disassembly of rice and lotus starches during thermal processing and its effect on starch digestibility", *Food & Function*, 7(4), 407-418.
- 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.
- 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.
- Xu, Z. ve Raphaelides, S. N. 2011. "Structure development studies of soft gels using a dynamic U-tube rheometer of novel design", *Procedia Food Science*, 1, 251-257.
- 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.

TÜBİTAK
PROJE ÖZET BİLGİ FORMU

Proje Yürütücüsü:	Doç. Dr. İBRAHİM PALABIYIK
Proje No:	1190642
Proje Başlığı:	Model Jellerde Tekstürel Özelliklere Bağlı Olarak Şeker Salınımının Belirlenmesi ve Nümerik Olarak Modellenmesi
Proje Türü:	1002 - Hızlı Destek
Proje Süresi:	12
Araştırmacılar:	NEVZAT KONAR, ÖMER SAİD TOKER
Danışmanlar:	
Projenin Yürütüldüğü Kuruluş ve Adresi:	TEKİRDAĞ NAMIK KEMAL Ü. ZİRAAT F. GIDA MÜHENDİSLİĞİ B.
Projenin Başlangıç ve Bitiş Tarihleri:	01/09/2019 - 01/09/2020
Onaylanan Bütçe:	37300.0
Harcanan Bütçe:	35997.94
Öz:	<p>Bu projede, model jeller hazırlanarak içerisinde 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 sakkaroz içeren jellerin hidrokolloid oranları; farklı bloomlu jelatin %6, 8, 10 ve 12; LM pektin %1, 1.7, 2.4 ve 3.1, MM nişasta %2.5, 5, 7.5 ve 10 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 koşul çalışılmıştır. Ortam1'de gerçekleşen şeker salınımında LM pektin örnekleri hariç en düşük konsantrasyonlu ürün en kısa salınım süresine, en yüksek konsantrasyonlu ürün ise en uzun salınım süresine sahip olmuştur. Pektin örneklerinde konsantrasyon oranı salınım süresi üzerinde etkisi tespit edilmemiştir ve hidrokolloidler arasında %2.5 oranlı MM nişasta örneği en kısa salınım süresine sahiptir. Farklı bloom jelatin örneklerinde 200 ve 250 bloomlu aynı konsantrasyonlu ürünlerin salınım süreleri benzer iken 160 bloomlu örneklerin salınım süreleri daha kısa olduğu tespit edilmiştir. Ortam2'de gerçekleşen salınım ortam1'den daha kısa sürdüğü ve parçalama işleminin salınım üzerinde etkili olduğu belirlenmiştir.</p> <p>Model jel örneklerine tekstür profil analizi gerçekleştirilmiştir. Hidrokolloid konsantrasyon artışı, sertlik üzerinde etkili olduğu tespit edilmiş, en yüksek orana sahip ürünler en sert değere sahiptir. Sertliği en düşük MM nişasta örneklerinde rastlanılmıştır. Tekstür ile salınım süreleri arasındaki ilişki sertlik ve kohezif değerleri ile tespit edilmiştir. Salınım işleminin efektif diffüzivite değerleri(Deff) Ortam1 ?de 0.22*10-8 ile 5.07*10-8 m2/s, Ortam2'de 18.47*10-8 ile 1.37*10-8 m2/s arasında olup parçalama işlemi Deff değerlerini arttırmıştır. Salınım işlemi iki farklı ortam için nümerik olarak modellenmiştir. İki farklı yöntemde de deneysel verilerle iyi uyum gösteren model geliştirilmiştir.</p>
Anahtar Kelimeler:	şeker salınımı, nümerik modelleme, pektin, nişasta, jelatin, tekstür, reoloji
Fikri Ürün Bildirim Formu Sunuldu Mu?:	Hayır