BURSA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ❖ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SICAKLIK VE FARKLI KIVAM VERİCİ MADDELERİN KETÇABIN REOLOJİK ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİLERİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Büşra BILDIR

Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

TEMMUZ 2018

BURSA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ❖ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SICAKLIK VE FARKLI KIVAM VERİCİ MADDELERİN KETÇABIN REOLOJİK ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİLERİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Büşra BILDIR
(151082702)

Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Rasim Alper ORAL

TEMMUZ 2018

BTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 151082702 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Büşra BILDIR, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı "SICAKLIK VE FARKLI KIVAM VERİCİ MADDELERİN KETÇABIN REOLOJİK ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİLERİ" başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Doç. Dr. Rasim Alper ORAL** .....
Bursa Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Dr. Öğr. Üyesi Yavuz YÜKSEL** .....
Balıkesir Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi F. Türker SARICAOĞLU.....
Bursa Teknik Üniversitesi

Savunma Tarihi : 31 Temmuz 2018

FBE Müdürü : **Doç. Dr. Murat ERTAŞ** .....
Bursa Teknik Üniversitesi **…../……../……**

İNTİHAL BEYANI

Bu tezde görsel, işitsel ve yazılı biçimde sunulan tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uyularak tarafımdan elde edildiğini, tez içinde yer alan ancak bu çalışmaya özgü olmayan tüm sonuç ve bilgileri tezde kaynak göstererek belgelediğimi, aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim.

Öğrencinin Adı Soyadı: Büşra BILDIR

İmzası :

Bana her daim destek olan çok değerli aileme,

ÖNSÖZ

"Sıcaklık ve Farklı Kıvam Verici Maddelerin Ketçabın Reolojik Özellikleri Üzerine Etkileri" adlı bu çalışma Bursa Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendiliği Ana Bilim Dalı Programı'nda yüksek lisans tezi olarak hazırlanmıştır.

Yüksek lisans çalışmam boyunca bana ayırdığı zaman, sağladığı destek ve tavsiyeleri için tez danışmanım sayın Doç. Dr. Rasim Alper ORAL'a teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca, tez kapsamında yaptığım çalışmalar sırasında bana yol gösteren, bilgi ve tecrübesi ile desteğini esirgemeyen sayın Arş. Gör. Hüseyin DEMİRCAN'a teşekkür ederim.

Son olarak, eğitim-öğretim hayatım boyunca beni her daim destekleyen babam Osman BILDIR'a, bu zorlu süreçte her zaman yanımda olan annem Kimya BILDIR'a, bana olan güven ve gösterdikleri sabır ile kardeşlerim Adnan BILDIR ve Abdullah BILDIR'a, ayrıca tezin yazım aşamasında doğrudan yada dolaylı olarak emeği geçen herkese sonsuz şükranlarımı sunarım.

Temmuz 2018 Büşra BILDIR

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ ..... **v**
İÇİNDEKİLER ..... **vi**
KISALTMALAR ..... **viii**
SEMBOLLER ..... **ix**
ÇİZELGE LİSTESİ ..... **x**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **xi**
ÖZET ..... **xiii**
SUMMARY ..... **xiv**
1. GİRİŞ **1**
2. LİTERATÜR ÖZETİ **4**
2.1 Domates 4
2.2 Domates Salçası 6
2.2.1 Domates salçası üretimi 8
2.3 Ketçap 10
2.3.1 Ketçap üretiminde kullanılan ham maddeler 11
2.3.2 Ketçap üretimi 12
2.3.2.1 Ambalajlama 15
2.3.2.2 Ketçap üretiminde dikkat edilmesi gereken noktalar 16
2.4 Gamlar 16
2.4.1 Guar gam 18
2.4.2 Ksantan gam 20
2.4.3 Nişasta 22
2.5 Reoloji 24
2.5.1 Reolojinin sınıflandırılması 25
2.5.2 Reolojinin temel kavramları 27
2.5.3 Reolojik davranış çeşitleri 28
2.5.3.1 Newton tipi davranışlar 29
2.5.3.2 Newton Tipi Olmayan Davranışlar 31
3. MATERYAL VE YÖNTEM **46**
3.1 Materyal 46
3.2 Yöntem 46
3.2.1 Ketçap üretimi 46
3.2.3 Reolojik ölçümler 49
3.2.3 İstatistiksel analizler 49
4. BULGULAR VE TARTIŞMA **50**
4.1 Reolojik Modelleme 50
4.2 Kayma Hızı ve Kayma Gerilimi İlişkisi 55
4.3 Kayma Hızı ve Viskozite İlişkisi 57
4.4 Akış İndeksi (n) Değerlerinin Karşılaştırılması 60
4.5 Görünür Viskozite (η_{50}) Değerlerinin Karşılaştırılması 62
4.6 Kıvam İndeksi (K) Değerlerinin Karşılaştırılması 63

4.7 Ea ve K_0 Değerlerinin Karşılaştırılması 64
5. SONUÇ VE ÖNERİLER 67
KAYNAKLAR 69
EKLER 79
ÖZGEÇMİŞ 89

KISALTMALAR

ÇKM **:** Çözünür Kuru Madde
SH **:** Standart Hata
TS **:** Türk Standardı

SEMBOLLER

°Bx	**:** Briks
μ	**:** Mikrogram
Cal	**:** Kalori
cP	**:** Santipoise
Ea	**:** Aktivasyon enerjisi
I.U.	**:** International unit
K	**:** Kıvam indeksi
Kcal	**:** Kilokalori
n	**:** Akış indeksi
Pa	**:** Pascal
R	**:** Gaz sabiti
T	**:** Mutlak sıcaklık
γ	**:** Kayma hızı
η	**:** Viskozite
η_p	**:** Plastik viskozite
τ	**:** Kayma gerilimi
τo	**:** Akma gerilimi

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Domatesin yenen kısmının bileşimi. **5**
Çizelge 2.2 : Domates ve bazı domates ürünlerinin bileşimi..... **7**
Çizelge 2.3 : Domates salçasının genel özellikleri. **8**
Çizelge 2.4 : Ketçabın genel özellikleri. **11**
Çizelge 2.5 : Ketçap ve olgun taze domatesin bileşimi. **11**
Çizelge 2.6 : Salça kullanılarak ketçap üretimine ilişkin reçete. **15**
Çizelge 2.7 : Hidrokolloidler ve orijinlere göre sınıflandırılması..... **17**
Çizelge 2.8 : Guar gamın gıda sektöründe kullanım alanları. **20**
Çizelge 2.9 : Ksantan gamın gıda sektöründe kullanım alanları. **22**
Çizelge 2.10 : Zamandan bağımsız akışkanların akış davranışını tanımlayan reolojik modeller. **40**
Çizelge 2.10 : Zamana bağlı akışkanların akış davranışını tanımlayan reolojik modeller. **40**
Çizelge 3.1 : Ketçap formülasyonu..... **47**
Çizelge 4.1 : Power Law ve Herschel-Bulkey modellerinin katsayıları. **51**
Çizelge 4.2 : Viskozite değerlerine ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları..... **59**
Çizelge 4.3 : Akış indeksi (n) değerlerine ait ANOVA testi sonuçları..... **60**
Çizelge 4.4 : Akış indeksi (n) değerleri. **60**
Çizelge 4.5 : Görünür viskozite (η_{50}) değerlerine ait ANOVA testi sonuçları. **62**
Çizelge 4.6 : Görünür viskozite (η_{50}) değerleri..... **62**
Çizelge 4.7 : Kıvam indeksi (K) değerlerine ait ANOVA testi sonuçları. **63**
Çizelge 4.8 : Kıvam indeksi (K) değerleri. **63**
Çizelge 4.9 : Farklı gam eklenmiş ketçap örneklerine ait Ea ve K_0 değerleri. **65**

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Kiraz veya cherry domates **4**
Şekil 2.2 : Salça **6**
Şekil 2.3 : Salça üretim akış şeması. **9**
Şekil 2.4 : Ketçap **10**
Şekil 2.5 : Ketçap üretim akış şeması **13**
Şekil 2.6 : Guar gamın kimyasal yapısı. **19**
Şekil 2.7 : Ksantan gamın kimyasal yapısı **21**
Şekil 2.8 : Nişastanın kimyasal yapısı **23**
Şekil 2.9 : Reolojinin sınıflandırılması. **25**
Şekil 2.10 : Kayma gerilimi ve kayma hızı gösterimi **28**
Şekil 2.11 : Reolojik davranış biçimleri. **28**
Şekil 2.12 : Newton tipi davranışlar için akış eğrisi **30**
Şekil 2.13 : Newton tipi davranışlar için viskozite eğrisi. **30**
Şekil 2.14 : Kayma hızı ve kayma gerilimi grafikleri **31**
Şekil 2.15 : Psödoplastik davranışlar için akış eğrisi. **33**
Şekil 2.16 : Psödoplastik davranışlar için viskozite eğrisi **33**
Şekil 2.17 : Dilatant davranışlar için akış eğrisi **34**
Şekil 2.18 : Dilatant davranışlar için viskozite eğrisi **34**
Şekil 2.19 : Bingham plastik davranışlar için akış eğrisi **35**
Şekil 2.20 : Bingham davranışlar için viskozite eğrisi **35**
Şekil 2.21 : Herschel-Bulkey davranışlar için akış eğrisi. **37**
Şekil 2.22 : Herschel-Bulkey davranışlar için viskozite eğrisi **37**
Şekil 2.23 : Zamana bağlı reolojik davranışlar için viskozite eğrileri. **38**
Şekil 3.1 : Ketçap üretimi akış şeması. **48**
Şekil 4.1 : K değerine ait box plot grafikleri. **52**
Şekil 4.2 : n değerine ait box plot grafikleri. **53**
Şekil 4.3 : Ketçap örneklerinin sıcaklık-viskozite ilişkisi grafikleri. **65**
Şekil 4.4 : Viskozite-sıcaklık ilişkisine ait box plot grafikleri. **66**
Şekil A.1 : Guar gam, ksantan gam ve modifiye mısır nişastası eklenmiş ketçap örneklerinin 10 °C sıcaklıktaki akış eğrileri **79**
Şekil A.2 : Guar gam, ksantan gam ve modifiye mısır nişastası eklenmiş ketçap örneklerinin 20 °C sıcaklıktaki akış eğrileri **79**
Şekil A.3 : Guar gam, ksantan gam ve modifiye mısır nişastası eklenmiş ketçap örneklerinin 30 °C sıcaklıktaki akış eğrileri **80**
Şekil A.4 : Guar gam, ksantan gam ve modifiye mısır nişastası eklenmiş ketçap örneklerinin 40 °C sıcaklıktaki akış eğrileri **80**
Şekil A.5 : Guar gam, ksantan gam ve modifiye mısır nişastası eklenmiş ketçap örneklerinin 50 °C sıcaklıktaki akış eğrileri **81**
Şekil B.1 : Guar gam, ksantan gam ve modifiye mısır nişastası eklenmiş ketçap örneklerinin 10 °C sıcaklıktaki viskozite eğrileri **82**

Şekil B.2 : Guar gam, ksantan gam ve modifiye mısır nişastası eklenmiş ketçap örneklerinin 20 °C sıcaklıktaki viskozite eğrileri **82**
Şekil B.3 : Guar gam, ksantan gam ve modifiye mısır nişastası eklenmiş ketçap örneklerinin 30 °C sıcaklıktaki viskozite eğrileri **83**
Şekil B.4 : Guar gam, ksantan gam ve modifiye mısır nişastası eklenmiş ketçap örneklerinin 40 °C sıcaklıktaki viskozite eğrileri **83**
Şekil B.5 : Guar gam, ksantan gam ve modifiye mısır nişastası eklenmiş ketçap örneklerinin 50 °C sıcaklıktaki viskozite eğrileri **84**
Şekil C.1 : Guar gam eklenmiş ketçap örneklerinin farklı sıcaklıklardaki akış eğrileri **85**
Şekil C.2 : Ksantan gam eklenmiş ketçap örneklerinin farklı sıcaklıklardaki akış eğrileri **85**
Şekil C.3 : Modifiye mısır nişastası eklenmiş ketçap örneklerinin farklı sıcaklıklardaki akış eğrileri **86**
Şekil D.1 : Guar gam eklenmiş ketçap örneklerinin farklı sıcaklıklardaki viskozite eğrileri **87**
Şekil D.2 : Ksantan gam eklenmiş ketçap örneklerinin farklı sıcaklıklardaki viskozite eğrileri **87**
Şekil D.3 : Modifiye mısır nişastası eklenmiş ketçap örneklerinin farklı sıcaklıklardaki viskozite eğrileri **88**

SICAKLIK VE FARKLI KIVAM VERİCİ MADDELERİN KETÇABIN REOLOJİK ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİLERİ

ÖZET

Domates, kendine has tat ve aroması ile beğenilerek tüketilen, besin değeri yüksek bir üründür. Domatesten elde edilen ketçap ise günümüzde özellikle genç nüfus tarafından zevkle tüketilen popüler bir üründür. Özellikle son yıllarda domates salçası ve domates suyu kullanılarak daha fazla ketçap üretilmekte ve tüketilmektedir. Ketçap genellikle tek başına değil patates kızartması, makarna ve fast food ürünleriyle birlikte tüketilmektedir. Domates ketçabının tüketimi açısından duyusal kalite önemli bir kalite kriteridir. Tüketiciler ketçap ürününün iyi tat, koku, renk gibi özelliklere sahip olmasını beklemektedir. Bu özelliklerin yanında ürünün reolojik özellikleri ürünün duyusal özelliklerini de etkilemektedir. Örneğin sıvı gıdalar için akışkanlık, yarı-katı gıdalar için kıvam (konsistens) ve katı gıdalar için tekstürel özellikler önemlidir. Ketçap gibi heterojen yapılı ve yarı-katı ürünlerde, işleme yöntemlerine bağlı olarak ya da üretimde kullanılan ham maddenin kalitesine göre, ketçapta kıvam farklılıkları meydana gelmektedir. Bu nedenle ketçapta istenilen kıvamın ve bunun sürekliliğinin sağlanabilmesi için ketçap formülasyonlarına farklı kıvam verici katkı maddeleri ilave edilebilmektedir.

Kıvam verici katkı maddesi olan hidrokolloidler, su içerisinde dağıldıklarında çok sayıda su molekülü hidrojen bağlarıyla bağlanarak hidratlaşan polimer maddelerdir. Madde öncelikle kendine gerekli olan suyu tutmakta, daha sonra molekül içi ve arası boşluklarda 3 boyutlu bir ağ oluşturarak geri kalan suyun hareketini sınırlandırmaktadır. Böylece sistemi stabil hale getirmektedir.

Bu araştırmada, laboratuvar ortamında hazırlanan ketçap formülasyonuna üç farklı (guar gam, ksantan gam ve modifiye mısır nişastası) hidrokolloid eklenmiştir. Hidrokolloid eklenen ketçap numunelerinin reolojik davranışları, reometre cihazı kullanılarak 1-100 s^{-1} kayma hızı aralıklarında ve geniş bir sıcaklık aralığında (10-50 °C) incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar, reometre cihazının yazılım programı kullanılarak modellenmiştir. Ön denemeler sonucunda ketçabın salçadan üretilmesi durumunda ideal kıvam değerinin sağlanmasında (guar gam ve ksantan gam için) %1 oranında kıvam arttırıcı eklenmesinin uygun olduğu görülmüştür. Modifiye mısır nişastasının %1'lik ilavesinin ise yapısal bütünlüğü ve sürekliliği sağlamadığı da görülmüştür. Sıcaklığın ketçabın reolojik özellikleri üzerine en iyi etkinin guar gam tarafından sağlandığı belirlenmiştir. Fiyatının diğer kıvam arttırıcı maddelere göre düşük olması guar gamı tercih edilebilir kılmaktadır. Piyasada çok tercih edilen kıvam arttıcı maddelerden biri olan modifiye mısır nişastası ile ilgili çalışmalar, uygun prob ve plaka şeçilerek arttırılmalıdır. Bu sonuçlar ketçap üretiminde üretim koşullarını belirlemek ve standardizasyonu sağlamak için önem arz etmektedir.

Anahtar Kelimeler: Reoloji, ketçap, kıvam arttırıcı, guar gam, ksantan gam, modifiye mısır nişastası

EFFECTS OF TEMPERATURE AND DIFFERENT THICKENERS ON RHEOLOGICAL PROPERTIES OF KETCHUP

SUMMARY

Tomato is a high value food which is consumed with its unique taste and flavor. Ketchup produced from tomatoes is a popular product which is consumed with pleasure today especially by young population. Especially in recent years, more and more ketchup are being produced and consumed using tomato paste and tomato juice. Ketchup is usually not consumed alone, generally it is consumed with fried potatoes, pasta and fast food products. Sensory quality is an important quality criterion in terms of consumption of tomato ketchup.Consumers expect that the ketchup products to have good taste, odor and color characteristics . In addition to these properties, the rheological properties of the product also affect the sensory properties of the product. For example, liquidity for liquid foods, consistency for semi-solid foods and textural properties for solid foods are important. In heterogeneous and semi-solid products such as ketchup, depending on the processing methods, there are differences in consistency in ketchup depending on the quality of the raw materials used in production. For this reason, ketchup formulations may be supplemented with various thickening additives so that the desired consistency and continuity of the ketchup consistency can be maintained.

Hydrocolloids as thickening additives, are polymers that hydrate when multiple water molecules are bound by hydrogen bonds when dispersed in water. The substance firstly retains the water necessary for itself and then limits the movement of the remaining water by forming a three dimensional network of intermolecular and spaces. Therefore this makes the system stable.

In this study, three different (guar gum, xanthan gum and modified corn starch) hydrocolloids were added to the ketchup formulation prepared in the laboratory. The rheological behavior of ketchup samples added with hydrocolloid was investigated using a rheometer at 1-100 s^{-1} shear rate intervals and at a wide temperature range (10-50 °C). The results obtained are modeled using the software program of the rheometer. As a result of the preliminary studies, it has been determined that addition of 1% thickening agent (for guar gum and xanthan gum) is suitable for providing the ideal consistency value when ketchup is made from tomato paste. It had also been observed that 1% addition of modified corn starch does not provide structural integrity and continuity. It has been determined that the best effect on the rheological properties of ketchup was provided by the guar gum. The guar gum can be preferred because the price is lower than other thickeners. Studies on modified corn starch, which is one of the most preferred thickening agents in the market, should be enhanced by appropriate prob and plate processing. These results are important for determining production conditions and standardization in ketchup production.

Keywords: Rheology, ketchup, thickener, guar gum, xanthan gum, modified corn starch.

1. GİRİŞ

Domates, kendine özgü tat ve aroması ile sevilerek tüketilen, besin değeri yüksek bir üründür. Domates taze tüketiminin yanında, iklim koşulları nedeniyle bulunmasının güçleştiği zamanlarda da kendisinden maksimum düzeyde yararlanmak ve özel kullanım amaçları için çok değişik şekillerde değerlendirilmektedir. Başta salça olmak üzere; domates suyu, domates püresi, soyulmuş domates, dilimlenmiş/kübik doğranmış domates, kurutulmuş domates, domates konservesi ve formüle edilmiş domates ürünleri (ketçap, domates çorbası gibi) bunlara örnek verilebilmektedir (İGEME, 1995; Roberts ve diğ, 1998; Uylaşer, 1996).

Domates veya domates salçasından elde edilebilen ketçap, günümüzde özellikle genç nüfus tarafından zevkle tüketilen popüler bir üründür. Ketçap, olgunlaşmış ve yeşil renkli kısımları olmayan domatesin püre hale getirilmesi veya doğrudan domates püresi ya da domates salçası gibi domates mamullerine konsantre etme veya sulandırma işlemleri uygulanarak içerisine şeker, tuz, sirke, çeşitli baharatlar ve kıvam arttırıcılar gibi katkı maddeleri katılarak hazırlanan bir üründür (Cemeroğlu ve diğ, 2003; TSE, 1993).

Ketçap genellikle tek başına tüketilmemekte ancak patates kızartması, makarna ve fast food ürünleri ile birlikte tüketilmektedir (Collins, 1995). Bu gibi ürünlerin vazgeçilmez tamamlayıcısı olan ketçabın, sevilerek tüketilmesinin nedeni kendine özgü tadı ve aromasıdır. Bu özelliklerin yanında ürünün kıvamı da hem üretici hem de tüketici için büyük önem teşkil etmektedir. Üretici, ketçabın üretim sürecinde ürünün kolayca karıştırılmasını ve şişelere doldurulmasını beklemektedir. Tüketicinin beklentisi ise, ketçabın şişeden kolayca akması, diğer yandan patates kızartmasının üstünde akmadan kalmasının sağlanmasıdır. Bu nedenle ketçap gibi heterojen ve yarı akışkan ürünlerde, kıvam stabilitesinin sağlanması oldukça önemlidir. Ketçap üretiminde kullanılan ham maddeler doğal kaynaklıdır ve buna bağlı olarak mevsimsel farklılıklar bu ham maddelerin niteliklerini değiştirmektedir. Bu tip ürünlerin işlenmesi sırasında proses koşulları ve ürün özellikleri, dolayısıyla ürün kıvamı etkilenmektedir (Race, 1991; Rani ve Bains, 1987).

Ketçabın domates salçasından üretildiği durumlarda, salçanın sıcak işleme (hot break) veya soğuk işleme (cold break) yöntemleri ile işlenmesine bağlı olarak kıvamında farklılıklar meydana gelebilmektedir. Özellikle soğuk işleme yöntemi ile işlenmiş salçadan üretilen ketçaplarda istenilen kıvamı elde etmek oldukça güçtür. Bu nedenle ketçapta istenilen kıvamlılığın ve bunun sürekliliğinin sağlanması için ketçap formülasyonlarına farklı kıvam verici katkı maddeleri ilave edilebilmektedir (Den Ouden ve Van Vliet, 2002; Stoforos ve Reid, 1992). Bu amaçla ilave edilen katkı maddeleri; guar gam, karboksimetil selüloz (CMC), ksantan gam, keçiboynuzu gamı (KGB) ve kitre zamkı olarak sıralanabilir (Şahin, 2003). Son yıllarda piyasada bulunan ketçapların içerisinde yer alan modifiye nişastalar da bu kategori içerisine alınabilir. Modifiye nişastaların (mısır, patates vb.) ketçabın reolojik özellikleri üzerine etkisini araştıran çalışmalar ise oldukça azdır.

Ketçabın reolojik özelliklerini etkileyen kritik parametreler; domates çeşidi, elek gözenek boyutları ve işlem sıcaklığıdır (Sanchez ve diğ, 2002). İşlem sıcaklığının yanında ketçap, depolama ve dağıtım sırasında da farklı sıcaklık değerlerine maruz kalmaktadır. Her bir sıcaklığa bağlı olarak ketçabın akış özellikleri değişkenlik göstermektedir. Dolayısıyla sıcaklığın ketçabın reolojik özellikleri üzerine etkisinin bilinmesi gerekmektedir. Bu nedenle yapılan bu tez çalışmasında farklı sıcaklık değerlerinin ketçabın reolojik özellikleri üzerine etkileri incelenmiştir.

Gıdaların kıvam ölçümü genellikle viskozite ölçümleriyle gerçekleştirilmektedir. Şimdiye kadar yapılan çalışmalar da bu yöndedir, fakat bir gıdanın reolojik özellikleri sadece viskozite ile tespit edilememektedir. Genel olarak reoloji, mekanik kuvvetlerin etkisi ile akışkan maddelerde oluşan akış ve deformasyonu incelemektedir (Ibarz ve Barbosa-Canovas, 2003).

Gıda endüstrisinde evaporasyon, pastörizasyon, konsantrasyon, pompalama gibi üretim aşamalarının hepsinde veya bir kısmında akışkan ya da yarı akışkan gıdalarla çalışılmaktadır. Gıdanın her aşamada maruz kaldığı koşullar karşısında fiziksel değişimi ve reolojik davranışlarının bilinmesi ile işlem ekipmanlarının uygun özelliklerde seçilmesi ve verimin arttırılması amaçlanmaktadır (Ibarz ve Barbosa-Canovas, 2003). Bu nedenle teknolojinin de ilerlemesi ile birlikte gelişen gıda işleme yöntemlerinin en verimli şekilde kullanılması için gıdaların fiziksel ve reolojik özelliklerinin bilinmesi büyük önem taşımaktadır (Maceiras ve diğ, 2007). Yapılan bu tez çalışmasında, kıvam verici maddelerin (guar gam, ksantan gam ve modifiye

mısır nişastası) hangilerinin ve hangi miktarlarının ketçapta istenilen kalite özelliklerini karşılayabildiği, ayrıca sıcaklık ve kıvam verici maddeler gibi parametrelerin değiştirilmesi halinde ketçapta meydana gelebilecek reolojik değişimler tespit edilmiştir.

2. LİTERATÜR ÖZETİ

2.1 Domates

Domates, dünyada ve ülkemizde en fazla yetiştiriciliği yapılan, üretilen ve tüketilen sebzelerden biridir (Günay, 2005). Birçok araştırmacı, domatesin anavatanının Orta ve Güney Amerika olduğunu kabul etmektedir. Amerika'nın keşfinden önce Meksika yerlileri tarafından "tomati" veya "tomani" olarak adlandırılan bu bitki gıda olarak kullanılmasına rağmen, Avrupa'da 19. yy'a kadar sebze olarak değerlendirilmesi mümkün olmamıştır. Domatesin diğer ülkelere yayıldığı ve her ülkede farklı şekilde isimlendirildiği bilinmektedir. İngiliz ve Amerikalılar "tomato", Fransızlar "arbe a tomates" (tomate), Almanlar "baumtomaten" (tomate), Japonlar "tomato", Ruslar "pomidor", Çinliler "shu fan qie", İtalyanlar "pomodoro" ve İspanyollar "tomate" olarak domatesi adlandırmaktadır (Decoteaue, 2000; Pierce, 1987; Şeniz, 1992).

Domatesin Türk mutfağına girişi ise 18. yy'da olmuştur. Bu domatesler kiraz veya cherry domates olarak ifade ettiğimiz küçük domateslerdir. Daha sonra çeşitli zirai işlemlerle birlikte günümüzde kullanılan domates formuna gelmişlerdir (Derci, 2012; Raffo ve diğ, 2002). Şekil 2.1'de kiraz (cherry) domates resmi verilmiştir.



Şekil 2.1 : Kiraz veya cherry domates

Kapalı tohumlular (Anginosperm) kısmı, çift çenekliler (Dikotyladone) sınıfı, Personatae takımı ve Solanaceae familyasına dahil olan domatesin bilimsel adı;

Lycopersiconn esculentum L.dır. Tek yıllık bir kültür sebzesi olmasına rağmen tropik bölgelerde çok yıllık da olabilmektedir. (Günay, 2005; Tigchelaar ve Foley, 1991).

Bütün tarımsal ürünlerde olduğu gibi domates ürünün de kimyasal bileşimi çok çeşitli etkenlere bağlı olarak geniş bir aralıkta değişkenlik göstermektedir. Domatesin yenen kısmının bileşimi Çizelge 2.1'de genel olarak verilmiştir.

Çizelge 2.1 : Domatesin yenen kısmının bileşimi (Cemeroğlu ve Acar, 1986).

Bileşen	Miktar
Su (%)	93 - 95
Azotlu Maddeler (%)	0,7 - 1,0
Karbonhidratlar (%)	3,0 - 4,2
Ham Selüloz (%)	0,50 - 0,75
Kül (%)	0,5 - 0,6
K (mg/100g)	250 - 300
Na (mg/100g)	3 - 10
Ca (mg/100g)	10 - 20
Mg (mg/100g)	15 - 20
P (mg/100g)	20 - 30
Fe (mg/100g)	0,4 - 0,6
C Vitamini (mg/100g)	20 - 30
A Vitamini (µ/100g)	540 - 2300
B_1 Vitamini (µ/100g)	20 - 80
B_2 Vitamini (µ/100g)	300 - 850

Domates çiğ olarak tüketilmesinin yanı sıra işlenerek de tüketilmektedir. İşleme sanayinde başta domates salçası olmak üzere, domates suyu, domates tozu, ketçap, sos, parçalanmış domates, kurutulmuş domates, konserve domates ve domates turşusu gibi yan ürünlerinin de elde edildiği düşünüldüğünde önemi daha iyi anlaşılmaktadır. Bu nedenle üretici için domates önemli bir gelir kaynağıdır. Ekolojik açıdan ülkemizin hemen hemen her bölgesi domates tarımı için elverişlidir. Özellikle Marmara, Ege ve Akdeniz bölgelerimiz domates üretiminde önemli potansiyele sahip bölgelerimizdir (Sel, 1998; Vural ve diğ, 2000). Sofralık domates üretimi daha çok Akdeniz Bölgesi'nde, sanayi tipi domates üretimi ise daha çok Marmara ve Ege Bölgelerinde özellikle de Bursa, Manisa, Balıkesir, Çanakkale ve İzmir illerinde gerçekleşmektedir (Keskin, 2010). Üretilen domatesin büyük bir kısmı sofralık olarak tüketime sunulurken, domates üretiminin %30-35'i endüstriyel işlemeye tabi tutulmaktadır (TUİK, 2016). İşlenen domateslerin %80'i domates salçası, %15'i domates konservesi, kalan kısmı ise ketçap, domates suyu ve diğer domates ürünleri üretimi için kullanılmaktadır. (Keskin, 2010). Ülkemizde yıllara

göre değişmekle birlikte yaklaşık 30 milyon ton sebze üretilmekte ve bu üretimin 12 milyon tonunu domates oluşturmaktadır. Ayrıca, domates ülkemizde meyve tarımı içinde ilk sırayı almakta ve dünyada Çin, ABD ve Hindistan'dan sonra Türkiye dördüncü üretici ülke durumundadır (TUİK, 2016).

Yurdumuzun hemen hemen tüm bölgelerinde domates bitkisi yetiştirilebilmektedir. Fakat domatesin yıllık üretim sezonu oldukça kısa olması ve çabuk bozulabilir bir ürün olması nedeniyle kısa sürede tüketilmesi ya da işlenmesi gerekmektedir. Bu nedenle domatesin duyusal ve besleyici değerlerlerine zarar vermeden, daha uzun süre yararlanılabilen, ayrıca taşıma ve depolamada kolaylık sağlayan çok çeşitli ürünler üretilmeye başlanmıştır (Budak, 1998). Domates ve bazı domates ürünlerine ait bileşim öğeleri Çizelge 2.2'de verilmiştir.

2.2 Domates Salçası

Domates salçası; domates bitkisinin (*Lycopersiconn esculentum* L.) olgun, kırmızı renkli ve taze meyvelerinin yıkanıp ezildikten sonra ısıtılarak veya ısıtılmadan tekniğine göre kabuk, çekirdek ve lif gibi parçalarından ayrılarak elde edilen domates pulpunun; belli bir kuru maddeye kadar koyulaştırılması, hermetik kaplarda ısıl işlem ile dayanıklı hale getirilmesi ve gerektiğinde yemeklik tuz ilave edilmesiyle hazırlanan bir üründür (Codex Alimentarius, 1981). Şekil 2.2'de salça resmi verilmiştir.



Şekil 2.2 : Salça

Çizelge 2.2: Domates ve bazı domates ürünlerinin bileşimi (100 g) (AFKA, 1990).

Bileşenler	Domates		Domates Suyu			Domates Püresi	Ketçap	Şili Sos	Domates Salçası
	Taze	Konserve	Norm.	Konsan.	Kuru				
Su, (%)	93,5	93,7	93,6	75,0	1,0	87,0	68,6	68,0	75
Enerji, (Cal)	22	21	19	76	303	39	106	104	82
Protein, (g)	1,1	1,0	0,9	3,4	11,6	1,7	2,0	2,5	3,4
Yağ, (g)	0,2	0,2	0,1	0,4	2,2	0,2	0,4	0,3	0,4
Karbonhidrat,(g)	4,7	4,3	4,3	17,1	68,2	8,9	25,4	24,8	18,6
Lif, (g)	0,5	0,4	0,2	0,9	3,1	0,4	0,5	0,7	0,9
Kül, (g)	0,5	0,8	1,1	4,1	17,0	2,2	3,6	4,4	2,6
Kalsiyum, (mg)	13	6	7	27	85	13	22	20	27
Fosfor, (mg)	27	19	18	70	279	34	50	52	70
Demir, (mg)	0,5	0,5	0,9	3,5	7,8	1,7	0,8	0,8	3,5
Sodyum, (mg)	3	130	200	790	3934	399	1042	1338	38
Potasyum, (mg)	244	217	277	888	3518	426	363	370	888
Vitamin A, (I.U)	900	900	800	3300	13100	1600	1400	1400	3300
Tiamin, (mg)	0,06	0,05	0,05	0,2	0,52	0,09	0,09	0,09	0,20
Riboflavin, (mg)	0,04	0,03	0,03	0,12	0,40	0,05	0,07	0,07	0,12
Niasin, (mg)	0,7	0,7	0,8	3,1	13,5	1,4	1,6	1,6	3,1
Vitamin C, (mg)	23	17	16	49	239	33	15	16	9

Türk mutfağının vazgeçilmez ürünlerinden olan salça, kullanım alanı oldukça geniş bir üründür. Tüm gıda ürünlerinde olduğu gibi salça için de tüketicilerin haklarını koruma amaçlı standartlar resmi kurumlarca yayınlanmıştır. Bu amaçla yayınlanan başlıca standart olan TS 1466 Domates Salçası Standardı (TSE, 2008)'nda yer alan ürün özelliklerine ilişkin değerler Çizelge 2.3'de verilmiştir.

Çizelge 2.3 : Domates salçasının genel özellikleri (TSE, 2008).

Özellikler	Oranlar ve sınırlar
Tuzsuz Kuru Madde Miktarları	Püre salça Duble Konsantre (en az %28) Triple Konsantre (en az %36)
Tuz Miktarı	Tuzsuz Salçalarda
İndirgen şeker	Toplam Kuru Maddenin en az %40'ı
Toplam asitlik	Toplam Kueu maddenin en çok %10'u
%10'luk HCL'de çözünmeyn Kül	Kuru maddede, en çok %0,3
Siyah leke miktarı	En çok 2 adet/g
Hunter a/b	En az 1,8
Yabancı madde	Bulunmamalı

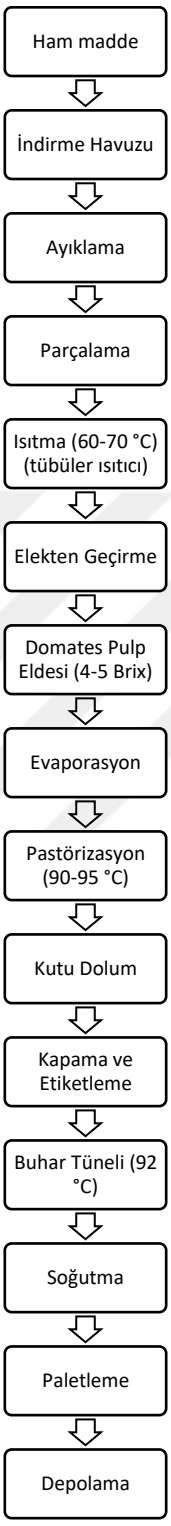
2.2.1 Domates salçası üretimi

Domatesteki kuru madde oranı yaklaşık %5-6,5 arasındadır. Salça olarak kullanılacak domateslerin ortalama 5-6 kg'ından 1 kg salça elde edilmektedir. Bu miktar sanayi tipi olmayan sofralık domateslerde 7-8 kg domatesten 1 kg salça iken, sanayi tipi domateslerde bu miktar 6 kg domatesten 1 kg salçaya kadar düşebilmektedir (MEGEP, 2011).

Domates salçası üretimi için kullanılacak domatesler yıkanır, ayıklanır, sonra parçalama makinesinde mayşe haline getirilip ısıtılır ve palperler de aşamalı olarak inceltilir. Pulp üretimi bu işlem sırasına göre gerçekleştirilmiş ise bu yönteme "sıcak işleme (hot break)" adı verilir. Eğer domatesler parçalandıktan sonra ısıtılmadan kaba palperden geçirilip daha sonra ısıtılırsa "soğuk işleme (cold break)" olarak adlandırılır. Sıcak işleme yönteminde domates pulpu hemen ısıtıldığından, pektolotik enzimler inaktif hale getirilmekte ve salçanın kıvamı daha iyi olmaktadır (Cemeroğlu ve diğ, 2003; Yıldız, 2004). Şekil 2.3'de salça üretim akış şeması verilmiştir.

Salça üretimi bakımından ülkemizde 44 firma faaliyettedir ve bu firmaların toplamdaki üretim kapasiteleri yaklaşık 600 bin ton dur. Bu firmalar Tat, Tamek, Tukaş, Akfa Penguen, Öncü ve Olca firmaları olarak sıralanabilir. Adı geçen firmalar

pazarın yaklaşık %60-70'ini oluşturmaktadırlar. Ülkemizde domates salçası üretiminin % 64'ü Bursa'da gerçekleştirilmektedir (ZMO, 2014).



Şekil 2.3 : Salça üretim akış şeması (MEGEP, 2011)

2.3 Ketçap

Ketçap kelimesinin kökeni hakkında birçok teori vardır. En yaygın teori; Güney Çin'in kıyı bölgesi Fujian'da farklı lehçelerle ifade edilen "koe-chiap" veya "ke-chiap" sözcüklerinden türediği tahmin edilmektedir (Sahlin ve diğ, 2004). Şekil 2.4'de ketçap resmi verilmiştir.



Şekil 2.4 : Ketçap

TSE'ye göre ketçap; olgun ve kırmızı renkli domates, domates suyu, domates konservesi, domates püresi ve domates salçası gibi domates mamullerine gerekli teknolojik işlemler uygulanarak ve içerisine katkı maddeleri ile aroma veren doğal maddeler katılarak yapım kurallarına uygun olarak hazırlanan bir üründür (TSE, 2003).

Ketçap, tadına göre acılı ve acısız olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Ayrıca günümüzde değişik ketçap çeşitleri de üretilmeye başlanmıştır. Bunlar ballı ketçap, catering ketçap, acı catering ketçap, light ketçap olup değişik formülasyonlar sonucu yeni ketçap çeşitleri de ortaya çıkabilmektedir (Nas ve Kadakal, 2013).

Ketçaba lezzet, kıvam ve aroma veren maddeler; şeker (sakkaroz, glikoz şurubu), sofralık tuz, kuru soğan veya soğan tozu, kuru sarımsak veya sarımsak tozu, sarımsak püresi, öğütülmüş acı veya tatlı kırmızı biber veya biber salçası, doğal sebze suları, çeşitli baharat (hindistan cevizi, tarçın, karanfil, karabiber, yenibahar) sirke vb. diğer maddeler olarak sıralanabilir (Kılıçkaya, 2006). Ketçabın genel özellikleri Çizelge 2.4'de verilmiştir.

Ketçap dengeli tuz ve şeker içeriğiyle insan sağlığına fayda sağlamaktadır. Ketçap, kanserin bazı formlarını engellemede etkili olabilen bir antioksidan olan likopenin

kaynağıdır ve diğer organik gıdalardan daha fazla likopen içeriğine sahiptir (Wikipedia, 2010).

Çizelge 2.4 : Ketçabın genel özellikleri (TSE, 2003).

Özellikler	Değerler
Suda çözünen katı madde (tuz hariç)	%23
Tuz (NaCl) (m/m)	3 (en çok)
pH	3,5-4,2
Kabın dolum oranı	%90 (en az)
%10 luk HCl'de çözünmeyen kül (m/m)	0,3 (en çok)
Kurşun (mg/kg)	1 (en çok)
Demir (mg/kg)	15 (en çok)

Pişirme işlemi likopenin domatesteki biyoyararlılığını arttırmaktadır. Bu nedenle ketçap ve sos gibi pişirilerek hazırlanan domates ürünlerinde likopen daha yüksek miktarlarda bulunmaktadır (Wikipedia, 2010). Ketçap ve olgun taze domatesin bileşim öğeleri Çizelge 2.5'de verilmiştir.

Çizelge 2.5 : Ketçap ve olgun taze domatesin bileşimi (100 gr için) (Wikipedia, 2010).

Özellik	Ketçap	Domates
Enerji (kcal)	100	18
Su (g)	68,33	94,5
Protein (g)	1,74	0,88
Yağ (g)	0,49	0,20
Karbonhidrat (g)	25,78	3,92
Sodyum (mg)	1110	5
Vitamin C (mg)	15,1	12,7
Likopen (mg)	17,0	2,6

2.3.1 Ketçap üretiminde kullanılan ham maddeler

Domates pulpu; ketçap üretimi ya doğrudan domates pulpu ya da domates pulpu konsantresi olan salçadan yapılmaktadır. Salçadan üretilene göre, pulptan üretilen ketçap daha kaliteli bir ürün olduğu belirtilmektedir. Ketçap üretiminde eğer pulp kullanılıyorsa, önce belli bir düzeye kadar konsantre edilmelidir, buna karşın eğer salça kullanılıyorsa, salça su ilavesi ile belli oranda seyreltilmelidir. Kaliteli bir pulp veya salça kullanılması halinde yeterli kıvamda bir ketçap üretilebilirse de kıvamı arttırmak amacıyla kıvam arttırıcı maddeler kullanılmaktadır (Cemeroğlu ve diğ, 2003; Kılıçkaya, 2006).

Tuz ve şeker; ketçap üretiminde tuz olarak yüksek kaliteli kristal NaCl, şeker olarak da sakaroz veya glikoz şurubu kullanılmaktadır (Cemeroğlu ve diğ, 2003; Kılıçkaya, 2006).

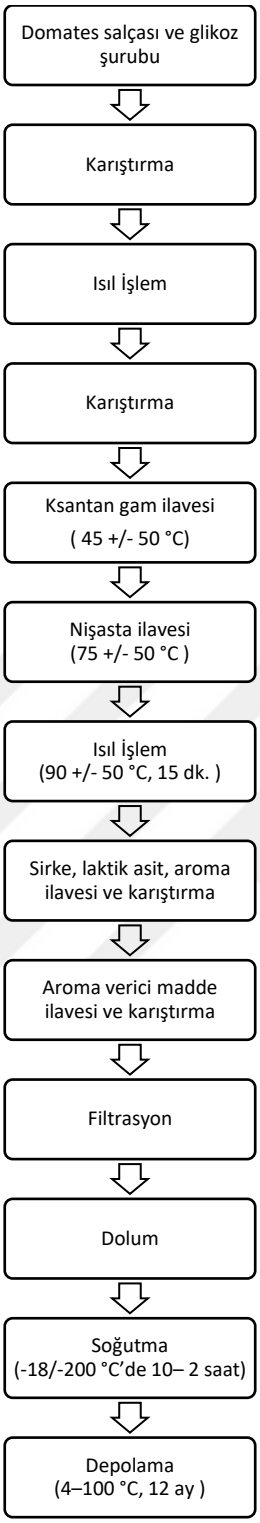
Sirke; aroma maddelerinin zenginliği nedeni ile ketçap üretiminde genellikle üzüm sirkesi kullanılmaktadır. Bunun yerine %5 civarında asetik asit içeren elma veya beyaz üzüm sirkesi de kullanılabilmektedir. Ketçap üretiminde kullanılacak sirke miktarları sirkenin asitlik düzeyine göre değiştirilmektedir (Cemeroğlu ve diğ, 2003; Kılıçkaya, 2006).

Baharat; ketçap üretiminde baharat eklenmesi farklı şekillerde olmaktadır, bu yöntemler şu şekilde özetlenebilir; eklenecek baharatın her birinin miktarı belirlenip tartılmakta ve bunlar topluca bir bez torbaya konulmakta, ketçabın pişirilmesi sırasında pişirme kazanına atılmaktadır. Böylece pişirme sırasında hem pulpun konsantre edilmesi sağlanır hem de baharatın aromasının ketçaba geçmesi sağlanmaktadır. Bir başka yöntemde ise baharatın tümü damıtık sirke içinde hafif bir kaynama halinde ısıtılır ve baharatın asetik asit ekstraktı elde edilir. Bu ekstrakt süzülerek baharat parçacıklarından arındırılır ve ketçap formülasyonuna doğrudan eklenmektedir (Cemeroğlu ve diğ, 2003; Kılıçkaya, 2006).

Soğan ve sarımsak; genellikle kurutulmuş soğan ve sarımsak tozu olarak eklenmektedir. Kurutulmuş soğan ve sarımsak tozu, ketçaba eklenmeden önce su içinde yaklaşık 1 saat rehidre edilmesi gerekmektedir (Cemeroğlu ve diğ, 2003; Kılıçkaya, 2006).

2.3.2 Ketçap üretimi

Ketçap genellikle domates salçasından elde edilir. Eğer ketçap üretiminde domates pulpu kullanılacak ise pulpun hazırlanması aynı salça üretiminde olduğu gibidir. Koyu kırmızı renkli ve etli yapıya sahip domatesler ön işlemlerden geçirilir ve parçalanır, pektik enzimlerin inaktivasyonu için 88 °C'ye kadar ısıtılır. Son aşamada 0,8 mm delik çaplı palperden geçirilerek pulp elde edilir. Hücre büyüklüğünün azalması ve koloidal maddelerin yüzey alanının genişlemesi domates ürünlerinin kıvamını arttırmaktadır. Bu nedenle ön ısıl işlem sonrası homojenizasyon işlemi tavsiye edilmektedir. Ketçap üretiminde iki yöntem uygulanmaktadır; bunlar açık kazanda pişirme ve sürekli karıştırıcılar kullanılarak vakum altında pişirmedir (Kılıç ve diğ, 1997). Şekil 2.5'de ketçap üretim akış şeması verilmiştir.



Şekil 2.5 : Ketçap üretim akış şeması (MEGEP, 2011)

Açık kazanda pişirme; toz halindeki kıvam arttırıcı maddeler (kitre zamkı, ksantan gam, guar gam vb.) önce bir miktar sirke içinde karıştırılıp sonra mikser yardımıyla dispers hale getirilmektedir. Sirkenin geri kalan kısmı su, domates salçası ve kıyılmış soğan parçaları, buhar ceketli kazanlara konularak ısıtılmaktadır. Karışım

kaynamadan önce tuz ve şeker katılmakta ve karıştırılmak suretiyle karışım eritilmektedir. Baharat bez bir torba içinde bu karışım içine daldırılmakta ve tüm karışım 15-30 dakika süreyle kaynatılmaktadır. Baharat torbası dışarı alındıktan sonra, gam-sirke karışımı karıştırılarak ilave edilmektedir. Sonra paslanmaz çelik eleklerden geçirilerek, sıcak halde şişelere doldurulup kapakları kapatılmaktadır. Ayrıca pastörizasyon uygulamak isteniyorsa, 85 °C'de 30 dakikalık bir ısıl işlem yeterli gelmektedir (Cemeroğlu ve Acar, 1986).

Vakum altında pişirme; işletmelerde ketçap üretimi amacıyla yapılmış sürekli çalışan sistemler bulunmaktadır. Sistemin tümü paslanmaz çelikten yapılmış olmalıdır. Bu sistem bir karıştırıcı ve ön ısıtma tankı, bir vakum kazanı, bir palper ve bir vakumlu bekletme tankı (deaeratör) ile doldurma-kapatma düzenlerinden oluşmaktadır (Kılıç ve diğ, 1997). Böyle bir sistemde üretim şu şekilde gerçekleşmektedir; domates salçası, şeker ve su karıştırılarak ön ısıtma tankına alınmakta ve tankta 50 °C'ye kadar ısıtılmaktadır. Domates salçası konsantre edildikten sonra içerisine tuz, sirke, soğan tozu, baharatlar, nişasta ilave edilmekte ve vakum altında pişirmeye alınmaktadır.

Vakum altında pişirilmekte olan bu karışımın kuru madde oranı istenilen düzeye getirilmektedir. Kaynatma sıcaklığı 60-75 °C arasındadır ve işlem yaklaşık 66 mm Hg vakum altında yapılmaktadır. Karışımın kuru maddesi %50'ye erişene kadar kaynatmaya devam edilmelidir (Kılıç ve diğ, 1997). Ketçap önce vakum kazanına alınmakta, atmosfer basıncı altında 88 °C'ye kadar ısıtılıp aroma maddeleri katılmakta ve sonra palpere verilmektedir. Palperden sonra bekleme tankına alınan ketçaba deaerasyon uygulanmaktadır. Deaerasyon işlemi, vakum kazanından sonraki aşamalarda eleklerden geçerken ürüne karışan havanın uzaklaştırılmasıdır.

Bu arada sıcaklık 85-88 °C arasında tutulmaktadır. Sonra doldurma düzenlerine pompalanan ketçap, şişelere doldurulmakta ve soğutulmaktadır. Elde edilen ketçabın briks değeri %32-37 arasında olması gerekmektedir (Kılıç ve diğ, 1997).

Vakum altında ketçap üretimi, rengin esmerleşmesini önlemesinin yanı sıra depolama süresinin de uzamasına yardımcı olmaktadır. Belirtilen bu özellikler vakum altında üretilen ketçapların daha avantajlı olduğunu göstermektedir.

Ketçap ürünlerinde görülen siyahlaşmalar, yapılarındaki çoğunlukla katkı maddelerinden geçmiş bulunan tanen ve tanenli maddelerin havanın oksijeni ile

okside olmasından ileri gelmektedir. Bu nedenle ketçap üretiminde, havanın tamamen çıkarılması ve kapakların hava almayacak şekilde ve vakumlu kapatılması gerekmektedir. Böylece bu olumsuzlukların ortadan kaldırılması sağlanmaktadır (Cemeroğlu ve Acar, 1986).

Ketçap ürünü uzun bir pişirmeyi gerektirmeyecek şekilde düzenlenmelidir. Çünkü uzun süreli pişirme sırasında lezzet ve asetik asit kayıpları meydana gelebilmektedir. Ayrıca ketçabın uzun süre ısı etkisi altında kalmaması, rengin daha iyi korunması açısından da önemlidir. Ketçapta öngörülen kuru madde konsantrasyonuna ulaşıldıktan sonra pişirmeye son verilmelidir. TS 5282 ketçap standardına göre suda çözünen kuru maddenin tuz hariç en az %23 düzeyinde olması öngörülmektedir (Kılıçkaya, 2006; Wikipedia, 2010). Salça kullanılarak üretilen bir ketçap reçetesi Çizelge 2.6'da verilmiştir.

Çizelge 2.6 : Salça kullanılarak ketçap üretimine ilişkin reçete (100 kg son ürün için) (Kılıçkaya, 2006).

Girdiler	Miktar
Salça, (28-32 °Bx)(kg)	50
Su (L)	30
Sirke (L)	6
Şeker (kg)	7,5
Tuz (kg)	1,5
Soğan (kg [(1)])	1
Sarımsak (kg [(1)])	0,5
Baharat	
Tarçın (g)	20
Karanfil (g)	15
Karabiber (g)	50
Kırmızı acı biber (g)	70
Yenibahar (g)	10

[(1)] Taze ağırlık olarak

2.3.2.1 Ambalajlama

Ketçap, ketçabı etkilemeyen, ketçaptan etkilenmeyen uygun teneke kutu, cam kap veya plastik maddelerden yapılmış ambalajlarda piyasaya sürülmektedir. Bu ambalajlar, gerektiğinde daha büyük dış ambalajlara da konulmaktadır. Ketçap ambalajlarının bombaj yapmamış olması gerekmektedir (TSE, 2003). Son yıllarda ketçap gibi soslar için çok katlı "sıkılabilir" plastik şişeler kullanılmaktadır. Bunun nedeni hem maliyetin düşürülmesi hem de ambalaja fonksiyonellik, örneğin "sıkılabilirlik" özelliğinin kazandırılmasıdır (Kılıçkaya, 2006).

2.3.2.2 Ketçap üretiminde dikkat edilmesi gereken noktalar

- İyi kaliteli domates salçası kullanılarak domatesin yapısındaki pektik maddeler istenilen viskoziteyi sağlamakta ve ayrıca kıvam arttırıcı maddelere gereksinim duyulmamaktadır. Diğer taraftan iyi kaliteli domates salçasının kullanılması, elde edilen ketçabın renginin de iyi olmasını sağlamakta ve ayrıca renk maddeleri kullanılması gerektirmemektedir.
- Ketçap üretiminde, üzüm sirkesi kullanılması hem ekonomik, hem de aroma maddelerinin zenginliği açısından daha uygundur.
- Kullanılan bazı baharatlar ketçapta koyu renkli tanecikler oluşmasına sebep olabilmektedir. Bunun için toz karabiber gibi baharatların yerine sadece ekstraktlarının kullanılması koyu renkli taneciklerin oluşmasını önleyebilmektedir.
- Yüksek kaliteli temiz tuz ve kristal şeker kullanılarak bunların çözülmeleri daha kolay olduğu gibi metal kontaminasyonları da önlenmiş olmaktadır (Cemeroğlu ve Acar, 1986).

2.4 Gamlar

"Hidrokolloid" terimi, Yunancada su anlamına gelen "hidro", Fransızca da tutkal anlamına gelen "col" ve benzer anlamına gelen "oid" kelimelerinin bir araya getirilmesiyle türetilmiştir (Cottrel and Kovacs, 1997). "Gam" terimi bitkisel veya mikrobiyal polisakkaritleri ve bunların türevlerini ifade eden, hidrofilik (suyu seven) yapıya sahip olmalarından dolayı "hidrokolloid" grubunda yer alan bileşiklerdir. Hidrokolloid terimi ise, bitkisel veya mikrobiyal polisakkaritlerin yanı sıra hayvansal, kimyasal ve enzimatik şekilde modifiye edilen polimerleri de içine alan daha geniş bir grubu ifade etmektedir (Cengiz, 2010). Gamlar, bitkilerden ekstrakte edilen (polisakkaritler, selüloz, pektin, nişasta); bitki salgılarından elde edilen (gam arabik, gam karaya ve geven); tohumlardan elde edilen (guar gam, keçiboynuzu ve tara gam) ve mikrobiyal kaynaklı gamlar (ksantan ve jellan gam) olarak sınıflandırılabilir (Williams ve Phillips, 2012). Elde edildiği kaynaklara göre hidrokolloidler altı temel grupta toplanmış ve Çizelge 2.7'de bu gruplar içerisinde yer alan bazı hidrokolloidler verilmiştir (Glicksman, 1991).

Çizelge 2.7: Hidrokolloidler ve orjinlerine göre sınıflandırılması (Cengiz, 2010).

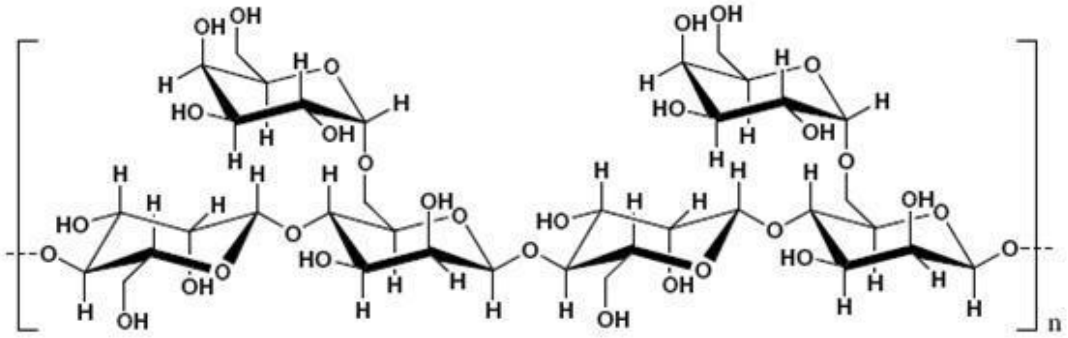
Salgılar	Ekstraktlar	Unlar	Biyosentetik	Yarı Sentetik	Sentetik
Bitki Salgıları	Yosun Ekstrakları	Unlar	Ksantan	Selüloz Türevleri	Pilivinilprirolidon (PVP)
Arabik	Agar	Guar	Jellan	Metilselüloz(MC)	Polietilendioksit Polimerleri
Gatti	Aljinat	Keçiboynuzu	Curdlan	Karboksimetilselüloz (CMC)	Akrilik Asit Polimerleri
Karaya	Karragenanlar	Tara Tamarind	Pullulan	Hidroksipropilmetil Selüloz (HEC)	Metilvinileter
Tragacanth	Fulcelleran	Quince	Scleroglukan	Nişasta Türevleri	Polivinil Alkol
Gıda Harici Kullanılanlar	Bitki Ekstraktları	Psyllium	Dekstran	Asitle İnceltilmiş Nişasta	Polietilen Glikol Polimerleri
Gam Talha	Pektin	Flax		Çapraz Bağlı Nişasta	
Sesbania Gam	Hemiselülozlar	Mesquite		Okside Nişasta	
Leucaena Gam	Tahıl Ekstraktları	Prosopis Gam		Prejelatinize Nişasta	
	β-Gukanlar	Nişastalar		Nişasta Esterleri	
	Pentosanlar	Mısır		Diğer	
	Maya Ekstraktları	Buğday		Proplen Glikol Aljinat	
	β-Gukanlar	Pirinç		Düşük meteoksilli Pektin	
	Hayvansal Ekstraktlar	Kök/Yumru		Hidroksipropil Guar	
	Jelatin	Tapioka Nişastası			
	Kitin	Patates Nişsatası			
		Konjak Manan			

Hidrokolloidler, su içerisinde dağıldıklarında çok sayıdaki su molekülünün hidrojen bağlarıyla bağlanmasıyla hidratlaşan polimer maddelerdir. Madde öncelikle kendine gerekli olan suyu tutmakta daha sonra molekül içi ve arası boşluklarda 3 boyutlu bir ağ oluşturarak geri kalan suyun hareketini sınırlandırmaktadır. Böylece sistemi stabil (sabit, kararlı, değişmez) hale getirmektedir (Gülen, 2010). Bu tip davranışlar hidrokolloidlerin kıvam arttırma, su tutma ve bağlama, süspansiyonların ve emülsiyonların stabilizasyonu ve jelleştirme gibi fonksiyonel özelliklerini oluşturmaktadır. Bu nedenle hidrokolloidler gıda sektöründe; birleştirme, bağlama, kıvam artırma, jel oluşturma, emülsiyon stabilitesi sağlama, kristalleşmeyi, faz ayrılmasını ve sinersisi engelleme, kaplama, film oluşturma ve yapı düzeltme ajanları olarak kullanılmaktadır. Belirtilen bu bileşikler gıda endüstrisinde; fırın ürünlerinde, süt ürünlerinde, pastacılık ürünlerinde, meyveli ve alkolsüz içeceklerde, dondurmalarda ve dondurulmuş gıdalarda ayrıca diyet gıdalar gibi geniş bir ürün yelpazesinde farklı işlevler için kullanılmaktadır (Dziezak, 1991; Keskin, 1975). Bu bileşiklerin temin edilmesinin kolay olması, toksik olmaması ve maliyetinin düşük olmasından dolayı gıda endüstrisinde sıklıkla tercih edilmektedir (Whistler, 1993).

2.4.1 Guar gam

Guar gam, Hindistan ve Pakistan'ın kurak iklimlerinde yetiştirilen, tek yıllık *Cyamopsis tetragonolobus* ve *Cyamopsis psoraloides* isimli iki guar bitkisinin endosperminin öğütülmesiyle elde edilen bir kıvam arttırıcıdır. Guar bitkisinin yıllık üretimi 150.000 ton civarında olmakla birlikte, bu üretimin %70'ini Hindistan ve Pakistan karşılamaktadır. Bunun yanı sıra, Amerika'nın Texas ve Arkansas eyaletlerinde de kültüre alınarak, kısıtlı olarak yetiştirilmektedir (Sezik ve diğ, 2007).

Guar gam, kimyasal olarak düz β-1,4-D-mannopiranozil ana zincirinden oluşmaktadır. Düz ana zincire, yan zincirlerde α-1,6-D-galaktopiranozil birimleri bağlanmıştır. Guar gam eldesinde kullanılan endosperm, galaktomannanlardan oluşan yüksek molekül ağırlıklı (50.000-8.000.000) polisakkaritlerden meydana gelmektedir. Galaktomannanların yapısında yaklaşık her iki mannoz birimine bir adet galaktoz birimi bağlanmış durumdadır. Galaktoz birimleri mannoz zincirleri arasında düzenli bir dağılım gösterirler. Guar gam gıda endüstrisinde E-412 koduyla anılmaktadır (Hammaddeler, 2014a; Kök ve diğ, 1999; Krishanaiah ve diğ, 1998; Simonet ve diğ, 2000;). Şekil 2.6'da guar gamın kimyasal yapısı verilmiştir.



Şekil 2.6 : Guar gamın kimyasal yapısı (Kawamura, 2008)

Guar çözeltilerinin viskozitesi; sıcaklık, pH, zaman, konsantrasyon, karıştırma derecesi ve kullanılan guar gamın partikül boyutu gibi faktörlere bağlı olup genellikle psödoplastik karakter göstermektedirler. Uygulanan işleme yöntemine göre değişmekle birlikte, %1'lik guar gam çözeltilerinin viskozitesi 1.000 cP ile 3.500 cP arasındadır. Guar gamın protein içeriği %3-6 arasında değişirken, pH değeri 4-10 aralığındadır (Dziezak, 1991; Ward, 1997).

Gıda endüstrisinde kıvam artırıcı olarak kullanılan guar gam maddesinin fiyatı, diğer gam maddeleriyle karşılaştırıldığında daha düşük olduğu görülmüştür (Tekin, 2009).

Guar gam, toz formunda suda dağıtıldığında çok iyi hidratlaşmakta ve eklendiği ürünün viskozitesini hızla artırmaktadır. Ürünün ısıtılmasıyla birlikte 10-15 dakika içinde son viskozite değerinin yaklaşık olarak yarısına ulaşmaktadır. Ayrıca guar gam nötral yapıda olup diğer kıvam arttırıcılar ile uyumludur. Nişasta, selüloz, agar, karragenan ve ksantan gamla etkileşime girmektedir (Hammaddeler, 2014a; Karaman, 2011). Bu etkileşim, suda çözünen proteinlerle birlikte viskozitede artış olarak kendini göstermektedir. Örneğin guar gam ve ksantan gam karışımında görülen viskozite değerinin, her bir gam ayrı ayrı kullanıldığında elde edilen viskozite değerleriyle karşılaştırıldığında oldukça yüksek olduğu görülmüştür (Hammaddeler, 2014a).

Guar gam üretiminde, çekirdeklerin dış kabuğunun ayrılması için öncelikle toplanan ürün ıslatılmaktadır. Elde edilen çekirdekler çok basamaklı öğütme ve eleme işlemlerinden geçirilmektedir. Çekirdeklerin farklı derecelerde öğütme işlemleri sonucu ayrılan endospermin yaklaşık %80'nini gam maddesi oluşturmaktadır. Elde edilen gam maddesi daha sonra kurutulup toz haline getirilir. İyi derecede rafine edilmiş guar gam gıda sanayinde kullanılırken, daha düşük kalitedeki gamlar ise

tekstil, kağıt, petrol ve madencilik gibi diğer endüstrilerde kullanılmaktadır (Alexander, 1999; Azero ve Andrade, 2002; Dziezak, 1991). Guar gamın insanlar için kullanımının yanında hayvanlar için bir besin kaynağı olarak kullanımı da bulunmaktadır (Hammaddeler, 2014a). Guar gam, gıda endüstrisinde baslıca süt, fırıncılık ürünleri ve sosların üretiminde kullanılmaktadır. Çizelge 2.8'de guar gamın gıda sektöründe kullanım alanları ve fonksiyonları görülmektedir.

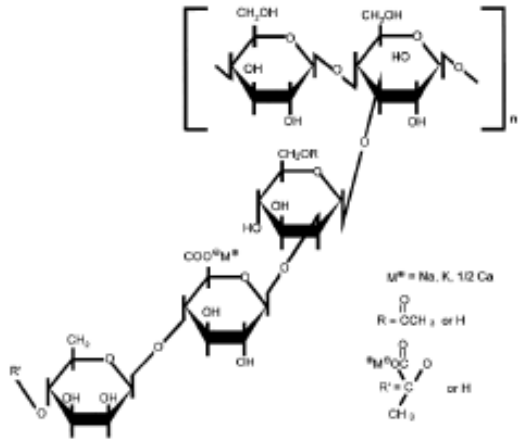
Çizelge 2.8 : Guar gamın gıda sektöründe kullanım alanları (Karaman, 2011).

Kullanım Alanı	Fonksiyonu
Unlu Mamuller	Yapıyı geliştirme, raf ömrünü uzatma, kıtırlığı arttırma
Dondurmalar	Kremsi yapı kazandırma, hızlı erimeyi önleme, buz kristallerinin oluşmasını engelleme
İşlenmiş Peynir	Dokuyu ve lezzeti geliştirme, stabilizatör görevi görme
Çorbalar	Yoğunluk kazandırma, stabilizatör görevi görme
Et Mamulleri	Bağlayıcı madde olarak kullanma, serbest suyu emme, dağılmayı önleme
İçecekler (Salep, boza, limonata, aromalı içecekler, toz karışımlar)	Akışkanlık kontrolünü sağlama, ağızdaki tadı geliştirme, raf ömrünü uzatma

2.4.2 Ksantan gam

Lahana ve benzeri bitkilerden izole edilen *Xanthomonas campestris* mikroorganizması, karbonhidrat içeren ortamda kültüre alınır. Bakterinin aerobik fermantasyonla ürettiği heteropolisakkarite ksantan gam adı verilir. Bakterinin kültüre alındığı ortamda, mineral tuzları, karbon kaynağı olarak %1-5 oranında D-glikoz, azot kaynağı olarak da hidrolize kazein veya soya proteini kullanılmaktadır. Fermantasyon işlemi 28 °C'de 96 saat inkübasyonda tutularak tamamlanmaktadır. Fermantasyon işlemi sonunda elde edilen likör %2'lik KCl içinde, %50'lik metanol veya izopropanol kullanılarak çöktürme işlemi uygulanmaktadır. Elde edilen çökelti yıkanıp kurutulduktan sonra öğütülmektedir. Böylece ksantan gam elde edilmektedir. (Ramirez ve diğ, 2002; Saldamlı, 1998). Ksantan gam, 1,4-D-glukoz birimlerinin bağlı olduğu ana polimer zincirinden oluşmaktadır. Ana zincire bağlı yan zincirlerde ise, iki adet D-mannoz kalıntısı arasında bir adet D-glukorinik asit kalıntısından oluşan bir trisakkarit bulunmaktadır. Polimer ayrıca, %4,7 oranında O-asetil grupları ve %3,0-3,5 oranlarında pürivik asit içermektedir. Molekülün yaklaşık olarak

%60'lık kısmını oluşturan bu yan zincirler ile ana zincirin etkileşimi molekülün ısı, asit, baz ve enzim stabilitesini oldukça artırmaktadır. Ksantan gam, yan zincirleri nedeniyle soğuk zincir içerisinde bile tamamen hidratlaşabilmektedir. Ayrıca, bu yan zincirlerin, ksantan gamı hidrolize karşı dayanıklı hale getirdiği de bildirilmektedir. E-415 koduyla anılan ksantan gamın kimyasal formülü $(C_{35}H_{49}O_{29})n$ seklindedir. Molekül ağırlığının 3-7,5x10^6 arasında değiştiği ve %1'lik çözeltisinin pH'sı 7,3 olarak bilinmektedir (Hammaddeler, 2016; Saldamlı, 1998; Schorsch ve diğ, 1997). Şekil 2.7'de ksantan gamın kimyasal yapısı verilmiştir.



Şekil 2.7 : Ksantan gamın kimyasal yapısı (Cengiz, 2010)

Ksantan gam, çözelti içerisinde düzenli, helezon bir konformasyona sahiptir. Fakat bu konformasyon 40-80 ^oC'de belirli bir süre bekletme sonunda bozulmakta ve molekül düzleşerek, esnek bir form almaktadır. Zayıf bağlardan oluşan ağ yapısı psödoplastik karakterdedir ve akış hızı arttıkça viskozitesi azalır. Akış durdurulduğunda ise çözelti eski viskozitesini geri kazanır. Özellikle pompalama ve karıştırma işlemlerinde psödoplastik özellik avantaj sağlamaktadır. Ksantan gam çözeltilerinin akışla incelme özelliği, molekülün ana zinciri ile yan zincirler arasındaki etkileşimin, akış esnasında zayıflamasından kaynaklanmaktadır (Dziezak, 1991).

Ksantan gamın avantajları arasında soğuk ve sıcak suda tamamen çözünmesi ve düşük konsantrasyonlarda bile yüksek viskozite değeri vermesi gösterilebilir. Çözelti viskozitesi, diğer gam çeşitlerinin aksine 0-100 ^oC ve pH 1-13 gibi büyük ısı ve pH değişimlerinde stabildir. Ayrıca ksantan gam çözeltileri, potasyum, kalsiyum ve

sodyum tuzlarıyla uyum sağlamakta ve gamın donma çözünme stabilitesi de oldukça iyi bir değer göstermektedir.

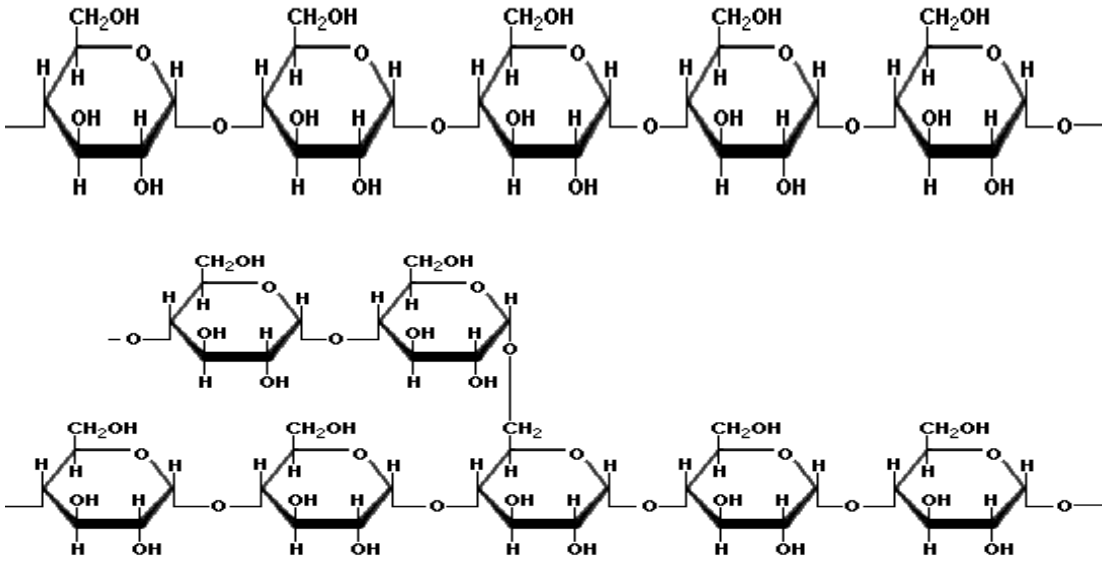
Kayma hızına bağlı olarak, %1'lik çözeltilerin viskozitesi 1000-4300 cP arasında değişmektedir. Gamın ayrıca enzimatik bozulmaya dirençli olduğu da bilinen avantajları arasındadır (Alexander, 1999; Gülen, 2010). Gıda sanayinde ksantan gam, ürünlerde kullanılan aromayı ön plana çıkartması ve düşük oranlarda kullanıldığında bile sağladığı yüksek kıvam açısından tercih edilmektedir. Psödoplastiklik özelliğinin, pompalama ve karıştırma işlemlerinde kolaylık sağlaması da tercih sebepleri arasında gelmektedir. Bu gibi olumlu özellikleri nedeniyle, gıda endüstrisinde salep ve benzer şekilde üretilen toz içecek karışımlarında, fırın ürünlerinde, konserve gıdalarda, sakız, hazır çorba, yoğurt ve dondurma gibi pek çok üründe tercih edilmektedir (Dziezak, 1991; Gökalp ve diğ, 1994). Ksantan gamın gıda sektöründe kullanım alanları genel olarak çizelge 2.9'da verilmiştir.

Çizelge 2.9 : Ksantan gamın gıda sektöründe kullanım alanları (Gülen, 2010).

Özellik	Uygulama Alanı
Yapışkanlaştırıcı	Pasta kaplama şekerleri ve jöleleri
Bağlayıcı malzeme	Evcil havyan mamaları
Kaplama malzemesi	Pastacılık, unlu mamuller
Emülgatör	Salata sosu
Film oluşturma	Koruyucu tabakalar, sosis kaplaması
Köpük sabitleme	Bira
Gluten yerine kullanılabilme ve hamur	Unlu mamuller, makarna
Stabilizatör	Dondurma, salata sosu, meyve suları
Kabartma malzemesi	İşlenmiş et ürünleri
Pıhtılaşma önleyici, donma-erime	Peynir, dondurulmuş gıdalar
Kıvam arttırma	Reçeller, soslar, şuruplar ve turta

2.4.3 Nişasta

Nişasta veya bilimsel adı ile amidon, amiloz ve amilopektin isimli iki polimerik karbonhidratın birleşiminden oluşur. Bitkilerde fotosentez sonucu meydana gelen nişasta, bitkiler tarafından fazla glikozu depolamak için kullanılır. Hem amiloz hem de amilopektin glikozun polimerleridir. Bir amiloz 500-20.000 glikoz molekülünden oluşurken, bir amilopektin ise yaklaşık bir milyon glikoz molekülünden oluşmaktadır (Hammaddeler, 2014b). Nişastanın kimyasal yapısı Şekil 2.8'de verilmiştir.



Şekil 2.8 : Nişastanın (amiloz ve amilopektin) kimyasal yapısı (Anonim, 2017)

Çok sayıda glikoz molekülünün birleşmesiyle oluşan polisakkaritler, fotosentetik depo şekli olmanın yanında fotosentetik olmayan dokularda da en yaygın depo şeklidir (Ölçer ve Akın, 2008).

Nişasta granülleri, bitkilerin tohum ve yumrularında kendilerine özgü şekillerde bulunurlar (Potter ve Hotchkiss, 1995). Nişasta granülleri suda çözünmemekle birlikte, bağıl nemi yüksek bir ortamda bekletildiğinde ya da su ile temas ettirildiğinde suyu emerek şişerler. Isıtma ile birlikte nişasta granülleri çözünür ve çözünen nişasta granülleri çözeltiye geçer. Çözeltiye geçen nişasta ve nişasta granüllerinin suyu bağlamasıyla viskozite artışı gerçekleşir. Sıcaklığın arttırılmasıyla artan viskozite, bir süre sonra düşmeye başlar ve nişasta çirişinin bu özelliğine karıştırma ile incelme (shear-thinning) adı verilmektedir. Karıştırma ile incelmenin istenmediği kıvamlı ürünlerde, ürün aşırı miktarda karıştırılmamalı ve bir boru ile iletim sisteminden pompalanmamalıdır (Köksel, 2007; Ölçer ve Akın, 2008). Nişasta, birçok gıdanın bileşiminde (buğdayda %66, mısırda %71, pirinçte %60, çavdarda %59, arpada %40 ve yulafta %35 civarındadır) bulunmakta ve gıda maddesinin tekstürel özellikleri üzerine önemli derecede katkı sağlamaktadır. Gıda endüstrisinde nişasta; kıvam arttırıcı, stabilizör, emülgatör, jellestirme ajanı, hacim artırıcı ve su tutucu olarak kullanım yeri bulmaktadır (Hammaddeler, 2014b; Karaoğlu ve diğ, 1998;).

Birçok gıdadan elde edilebilen nişastanın günümüzdeki en önemli kaynaklarından biri de mısırdır (Karaoğlu ve diğ, 1998). Mısır nişastası, dünyada ve ülkemizde de en

çok kullanım alanı bulunan nişasta çeşididir. Granül çapları 3 ile 26 μm arasında değişmekle birlikte, jelleşme derecesi de 62-72 °C arasında değişmektedir (Hammaddeler, 2014b). Mısır nisaştası özel istekler için fiziksel, kimyasal veya enzimatik yollarla modifiye edilebilmektedir. Modifiye mısır nişastaları gıda endüstrisinde E-1422 koduyla anılmaktadır (Avenue ve Washington, 2006; Hammaddeler, 2014b). Bugün piyasada bulunan tüketime hazır gıdaların birçoğu donma, çözünme ve ısınma gibi işlemler sırasında yapısal özelliklerinin korunmasını sağlamak amacıyla modifiye nişasta kullanılarak üretilmektedir (Hammaddeler, 2014b).

Modifiye nişastalar bir nişasta türevidir ve doğal nişastanın kullanım amacına göre kuru veya sulu ortamda fiziksel, enzimatik veya kimyasal işlemlere tabi tutularak bazı özelliklerinin değiştirilmesiyle elde edilen ürünlerdir (Batu, 2006; Hammaddeler, 2014b). Modifiye edilen nişastalar ısıtma ve soğutmaya, aside, zamana veya dondurmaya karşı dayanıklı hale getirilebilir. Yapısı değiştirilip, viskozitesi arttırılabilir veya azaltılabilir, jelatinizasyon süresi uzatılabilir veya kısaltılabilir. Bu modifikasyonlar genel olarak ürünlerin kalitesini arttırmak için kullanılmaktadır. Modifiye nişastalar bir çok gıda uygulamalarında kıvam arttırıcı, jelleştirici, nem tutucu, stabilite sağlayıcı, yapı oluşturucu veya bayatlamayı geciktirici olarak kullanılmaktadır. Modifiye nişastalar toz karışımlar (toz içecek ve çorba), et sanayi, unlu mamuller, şekerlemeler, düşük kalorili gıdalar, dondurulmuş gıdalar, çerez ve ketçap üretimi gibi gıda ürünlerinde kullanım alanı sunmaktadır (Anonim 2017; Hammaddeler, 2014b).

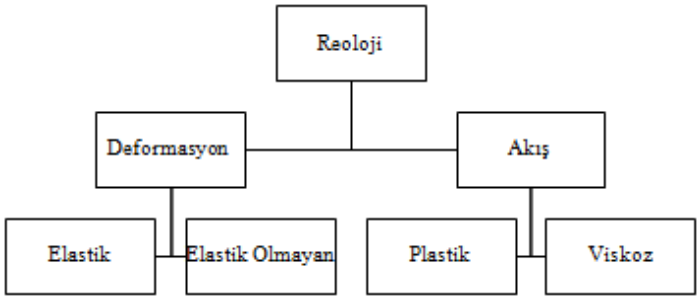
2.5 Reoloji

Reoloji terimi, Yunanca rheo (akış) ve logy (bilimi) sözcüklerinden türetilmiştir. (Ahmed ve diğ, 2004). Bu terim ilk kez Amerika'da 1929 yılında yapılan bir toplantıda Indiana Üniversitesi profesörü E.C. Bingham tarafından kullanılmış ve tanımı yapılmıştır. Bu toplantıda Amerikan Reoloji Topluluğu kurulmuş, reolojik çalışmalar hem hız kazanmış hem de gıda dâhil birçok alanda yaygınlaşmıştır (Ak, 1997; Koçak, 2004). Reoloji, kısaca maddelerin akış davranışlarını inceleyen bir bilim dalıdır. Geniş anlamda ise, mekanik kuvvet uygulanan bir maddenin, bu kuvvet karşısında oluşan akış deformasyonunu ortaya koyar ve oluşan akış ile meydana gelen deformasyonun arasındaki ilişkiyi açıklamaya çalışmaktadır (Ahmed ve diğ,

2004; Steffe, 1992). Reoloji genellikle polimerler, gıdalar, biyolojik sistemler, süspansiyonlar, emülsiyonlar, macunlar ve çamur gibi karmaşık akışkanların akış davranışlarını inceler (Morrison, 2001). Gıda endüstrisinde reoloji, gıdanın yapısına uygulanan güç ve deformasyona nasıl cevap verdiğini anlamamıza yardım etmektedir (Yang ve diğ, 2004). Bir başka araştırmada ise reoloji, dış güçlerin etkisi altında sıvıların akış, katıların ise deformasyon özelliklerini inceleyen bilim dalı olarak ifade edilmiştir (lm-Emsap ve diğ, 2002; Macosko, 1994).

2.5.1 Reolojinin sınıflandırılması

Maddelerin reolojik davranışları ideal sıvıdan ideal katıya kadar değişiklik gösterebilmektedir. Sıvıların reolojik özellikleri viskozite ile katılarınki ise elastisite ile ifade edilmektedir (Steffe, 1996). Reolojinin sınıflandırılması Şekil 2.9'da verilmiştir.



Şekil 2.9 : Reolojinin sınıflandırılması (Şahin ve Şumnu, 2006)

Reoloji, deformasyon ve akış olarak ikiye ayrılmaktadır. Deformasyon kısmı maddenin elastik ve elastik olmayan davranışlarını incelerken, akış kısmı maddenin plastik ve viskoz davranışlarını incelemektedir (Şahin ve Şumnu, 2006).

Gıdaların reolojik sınıflandırılması; gıdanın tasarlanması, geliştirilmesi ve optimizasyonu için ayrıca bileşim maddesi seçimi, üretim proseslerini seçme ve optimize etme, ambalaj tasarımı ve depolama stratejisi için gıda bilimcilere önemli bilgiler sağlamaktadır. Bileşenlerin moleküler yapısından başlayarak reolojik özelliklerin geliştirilebilmesinde ve bu özellikler arasındaki ilişkinin kestiriminde reolojik çalışmalar kullanışlı hale gelmektedir (Barbosa-Canovas ve Ibarz, 2002).

Reolojik özellikler; sıcaklığa, kayma hızına, kayma hızının uygulanma süresine, basınca, konsantrasyona, pH'ya, su aktivitesine (aw), ürünün bileşimine, ürünün yapısına ve daha önce uygulanan deformasyona bağlıdır. Ayrıca gıdaların reolojik

özellikleri, yıkılma stresi varlığı, nişasta jelatinizasyonu, retrogradasyon, protein denatürasyonu, karamelizasyon gibi dönüşüm kinetikleri, mikrobiyal aktivite seviyesi, sıvı ortamın homojenliği, molekül ağırlığı, parçacık boyutu gibi faktörlerden de önemli derece etkilenmektedir (Ak, 1997; Erkek, 2003; Ibarz ve diğ., 1994; Rao, 1995; Ibarz ve Barbosa-Canovas, 2003; Sopade ve diğ., 1993).

Gıdaların içerdikleri maddelerin özelliklerine göre reolojik özellikler çeşitli işlemler sırasında değişebilmektedir (Pala, 1980). Bu nedenle gıda maddelerinin reolojik özellikleri, bir gıdanın üretiminden tüketimine kadar neredeyse her aşamasında önemli bir yere sahiptir. Bunun yanında gıdanın kalitesi açısından da ele alındığında, reolojinin gıda sektörü için önemi göz ardı edilmemelidir. Özellikle sıvı ve yarı-katı gıdaların proses parametrelerinin hesaplanmasında (boru ve pompa boyutu, pompa tipi ve güç gereksinimleri, ayrıca ekstrüder, karıştırıcı, kaplama makinesi, ısı değiştirici, homojenize edici gibi ekipmanların mühendislik hesaplarında) büyük öneme sahiptir. Reolojik özellikler ayrıca, ürün geliştirme esnasında bileşen fonksiyonlarının belirlenmesinde, ara ve son ürünün kalite kontrolünde, raf ömrü testleri ve duyusal analizler gibi birçok alanda ihtiyaç duyulmaktadır (Rao, 1977; Steffe, 1996; Yang ve diğ, 2004). Gıda endüstrisinde özellikle evaporasyon, konsantrasyon, pastörizasyon ve pompalama gibi üretim aşamalarının tümünde veya bir kısmında akışkan gıdalarla çalışılmaktadır. Bu aşamalarda gıdaların her aşamada maruz kaldığı koşullar karşısındaki fiziksel ve reolojik davranışlarının bilinmesi, işlem ekipmanlarının doğru şekilde seçilmesini ve verimin artırılmasını sağlamaktadır (Ahmed ve diğ, 2004; Ibarz ve Barbosa-Canovas, 2003).

Katı, yarı katı ve sıvı halde bulunan gıdaların tüketimi açısından duyusal kalite önemli bir faktördür. Tüketici; her gıda maddesinden tat, koku, renk gibi özellikleri göstermesini beklemektedir. Bu özelliklerin yanında ürünün reolojik özellikleri ürünün duyusal özelliklerini de etkilemektedir. Örneğin sıvı gıdalar için akışkanlık, yarı-katı gıdalar için kıvam (konsistens) ve katı gıdalar için tekstürel özellikler de önemlidir. Reolojik özellikler ürünün duyusal özelliklerinin belirlenmesinin yanında ürünün fiziko-kimyasal özellikleri hakkında da fikir vermektedir (Alpyörük, 2013; Wildmoser ve diğ, 2003).

Ürünlerin duyusal özellikleri ile reolojik özellikleri arasında yakın bir ilişki bulunmaktadır. Gıdaların bazı yapısal ve mekanik özellikleri, duyusal görünüşten anlaşılabilmektedir. Reoloji gıdaların lezzeti ile de ilgilidir. Çünkü gıdanın ağızda

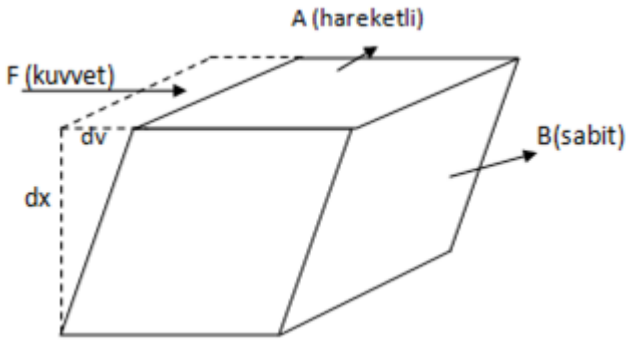
dağılma hızı ve şekli lezzetin algılanışını etkilemektedir. Ayrıca reoloji, gıdaların dokuları ile önemli düzeyde ilgili olup, gıdalar tüketilirken el ve ağız ile algılanan deformasyon ve akış özellikleri ürünün dokusal özellikleri hakkında fikir vermektedir (Erkek, 2003). Bir gıda maddesinin reolojik özellikleri o gıdanın duyular tarafından algılanmasını sağlamakta ve bu da ürünün kalitesini belirlemektedir. Örneğin yeterli kıvamda olmayan bir boza ya da çok koyu kıvamda olan bir sıcak çikolata tüketici tarafından kabul görmemektedir. Bu nedenle gıdaların içeriklerini oluşturan katkıların ve gıdaların formülasyonun hazırlanmasında ve geliştirilmesinde reolojik özelliklerin göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Ayrıca reolojik ölçümler, işlemlerde giren ve çıkan ürünleri kontrol etmek, işlem-hammadde arasındaki ilişkiyi araştırmak ve son ürün yapısını incelemek için gereklidir (McKee ve diğ, 2002; Singh ve Heldman, 1993).

2.5.2 Reolojinin temel kavramları

Kayma gerilimi (shear stress) ve kayma hızı (shear rate) terimleri şu şekilde açıklanabilir; Bir sıvının blok halinde ve paralel tabakalardan oluşmuş olduğu düşünülür ve bu sıvının en alt tabakasının sabit, en üst tabakasının ise F kuvveti tarafından 1 cm/s hızla hareket ettiği varsayılırsa, sıvının her tabakası sabit duran alt kısma olan uzaklıklarına bağlı olarak belirli bir hızla hareket edecektir. Üst tabakaya yakın olanlar daha hızlı hareket ederken, alt kısma yakın olanlarsa daha yavaş hareket edecektir. Her bloğun ivmesi farklı olacaktır ve bloğun sabit duran alt kısmı bulunduğu konumu koruyabilmek için uygulanan F kuvvetinin tersi yönünde ve aynı büyüklükte bir kuvvete ihtiyaç duyacak, yani F kuvveti bir gerilim meydana getirecektir. F kuvvetinin uygulandığı sıvı yüzeyinin alanı A ise sıvı bloktaki birim alana düşen kuvvet F/A olacaktır. İşte bu kayma gerilimi (shear stress) olarak tanımlanır ve bu gerilim düzlemlerin yer değiştirmesine neden olmaktadır. Sıvı bloğun yer değiştirmesinde, düzlemler arasındaki akışa dik yöndeki uzaklık x, hızı ise v olarak düşünülürse, kayma hızı (shear rate) oranı dv/dx olarak tanımlanmaktadır (Çelebi, 2009). Kayma gerilimi ve kayma hızı terimleri ile ilgili görsel Şekil 2.10'da gösterilmiştir.

Sıvı bloktaki tabakaların birbirine göre hareketini frenleyen kuvvete sıvıların iç sürtünmesi, bir başka deyişle dinamik viskozite denilmektedir. Viskozite arttıkça

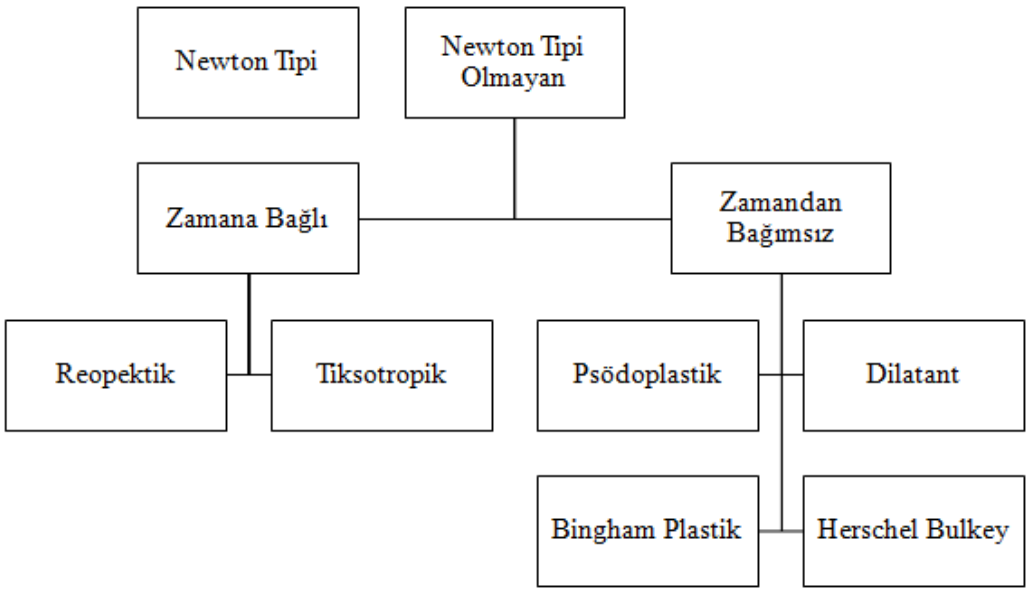
direnç de artmaktadır. Viskozite birimi SI sisteminde Pa.s, cgs sisteminde ise poise (g.cm-1.sn) olarak ifade edilir (Kantekin Erdoğan, 2014).



Şekil 2.10 : Kayma gerilimi ve kayma hızı gösterimi (Kantekin Erdoğan, 2014)

2.5.3 Reolojik davranış çeşitleri

Akışkanların reolojik davranışları sınıflandırılırken, yapılan ölçümlerden sonra kayma hızına karşı kayma gerilimi grafiği çizilmektedir. Elde edilen diyagrama akış eğrisi (reogram) adı verilir ve akış eğrisi çeşitli fonksiyonel bağıntılarla matematiksel olarak modellenmektedir. Akışkanlarda reolojik davranışlar, Newton tipi ve Newton tipi olmayan akışkanlar olmak üzere ikiye ayrılmaktadır (Rao, 1999; Steffe, 1996). Reoloji davranış biçimlerinin kayma hızı ve zamana bağlı olarak sınıflandırılması Şekil 2.11'de verilmiştir.



Şekil 2.11 : Reolojik davranış biçimleri (Lokumcu, 2000)

Akışkan hem sıvı, hem de gaz halindeki maddeleri ifade etmektedir. Akışkanın bilimsel olarak tanımını yapmak ve katı maddelerden farkını belirlemek için kayma gerilimi (stresi) kavramı kullanılabilir. Gerilim bir diğer deyişle stres, genel olarak şöyle tanımlanmaktadır;

Gerilim = Kuvvet / Kuvvetin etki ettiği alan

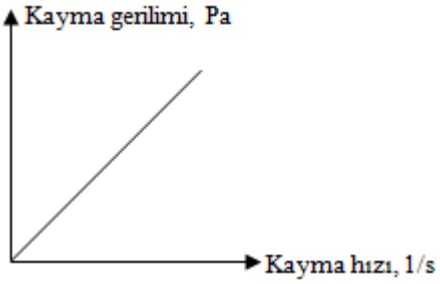
Bir cismin yüzeyine kuvvet dik etkirse bu sıkıştırma gerilimi, paralel (teğet) olarak etkirse bu kayma gerilimi olarak tanımlanır. Katılar çok büyük kayma kuvvetlerine sürekli olarak karşı koyabilen maddelerken, akışkanlar ise çok küçük olsa bile bir kayma kuvvetine sürekli olarak direnç gösteremeyen maddelerdir. Bir kayma kuvvetinin etkisinde kaldıklarında, akışkanlar hareket etmeye başlarlar ve kayma kuvveti etki ettiği sürece akışkanların hareketi de devam etmektedir (Uysal, 2003).

Reolojide akışkan gıdalar, çözeltinin kayma gerilimi (shear stress) ve kayma hızı (shear rate) arasındaki ilişkiye göre Newtonian ve Newton tipi olmayan olarak ikiye ayrılmaktadır. Newton tipi olmayan davranış çeşitleri de zamana bağımlı ve zamandan bağımsız olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Newton tipi olmayan sıvıların kayma gerilimi çeşitli hızlara göre değişkenlik gösterirken, Newton sıvıların kayma gerilimi, kayma hızına bağlı değildir (Dogan ve Kayacıer, 2004; Steffe, 1996).

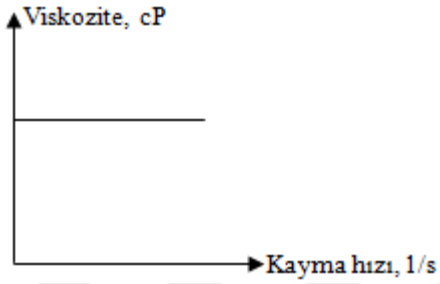
2.5.3.1 Newton tipi davranışlar

Newton Yasasına göre kayma hızı ile kayma gerilimi arasında çizilen akış grafiği doğrusal olup, grafiğin eğimi viskoziteyi vermektedir (Ak, 1997; Koçak, 2004). Yani Newton tipi akışkanlarda kayma hızı ve kayma gerilimi arasında doğrusal bir ilişki vardır, kayma hızı arttıkça doğrusal olarak kayma gerilimi de artış göstermektedir. Ancak viskozite, artan kayma hızından bağımsız ve sabittir. Viskozite doğrusu üzerindeki herhangi bir nokta, tüm akış durumunu temsil etmektedir (Erol ve Koçak, 2004). Newton tipi davranış gösteren akışkanlar için akış ve viskozite eğrileri Şekil 2.12 ve Şekil 2.13'de verilmiştir.

Viskozite, genelde fiziksel olarak homojen yapıda olan ve Newton tipi çekim kuvvetlerinin hâkim olduğu sıvı haldeki gıdaların, molekülleri arasındaki iç sürtünmesi veya akmaya karşı gösterdiği direnç olarak tanımlanmaktadır. Viskozite kayma geriliminin kayma hızına bölünmesiyle elde edilmektedir.



Şekil 2.12 : Newton tipi davranışlar için akış eğrisi (Steffe, 1996)



Şekil 2.13 : Newton tipi davranışlar için viskozite eğrisi (Steffe, 1996)

Newton tipi davranışta viskozite, kayma hızına bağlı değil, sadece sıcaklık ve maddenin bileşimine bağlıdır. Yani Newton tipi davranış gösteren sıvıların viskozitesi zamanla herhangi bir değişiklik göstermezken, sıcaklığın artması viskozitenin azalmasına neden olmaktadır. Viskoziteyi etkileyen faktörler: sıcaklık, çözünen maddenin konsantrasyonu, çözünen maddenin moleküler ağırlığı, askıda kalan maddeler ve basınç olarak sıralanabilir (Altuğ ve diğ, 1995; Bourne, 2002; Erol ve Koçak, 2004; Steffe, 1996).

Newton tipi davranış gösteren gıdalara örnek olarak; su, süt, çay, kahve, bira, şarap, soda, şuruplar, gazlı içecekler, durultulmuş meyve suları, birçok bal çeşidi, bitkisel yağlar, şeker çözeltileri ve bazı çorbalar verilebilir (Altuğ ve diğ, 1995; Bourne, 2002; Koçak, 2004; Lokumcu, 2000; Rao, 1995; Steffe, 1996; Şahin ve Şumnu, 2006).

Newton tipi davranış gösteren akışkanlar için kayma hızı ile kayma gerilimi arasındaki ilişki Denklem 2.1'de verilmiştir.

$$\tau = \eta \gamma \qquad (2.1)$$

Bu denklemde τ kayma gerilimini (Pa), η kayma viskozitesini (Pa.s) ve γ kayma hızını (s^{-1}) ifade etmektedir (Lokumcu, 2000).

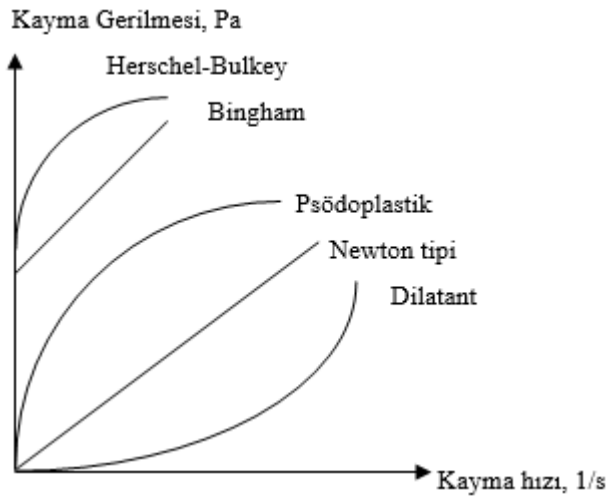
2.5.3.2 Newton Tipi Olmayan Davranışlar

Newton tipi olmayan akışkanlarda kayma hızı ve kayma gerilimi arasındaki ilişki doğrusal değildir (Geankoplis, 1993). Bu tür akışkanların yapısında, kayma hızıyla ve/veya zamanla meydana gelen değişimler viskoziteyi etkilemektedir. Viskozitenin sabit olmaması nedeniyle, tek bir kayma hızında "görünür viskozite" terimi (apparent viscosity) kullanılmaktadır. Görünür viskozite (η_{app}) kayma geriliminin kayma hızına bölünmesiyle elde edilmektedir (Ak, 1997; Şahin ve Şumnu, 2006). Denklem 2.2'de bu oran verilmiştir.

$$\eta = f(\gamma) = \tau / \gamma \qquad (2.2)$$

Bu denklemde η görünen viskoziteyi (Pa.s), τ kayma gerilimini (Pa) ve γ kayma hızını (s^{-1}) ifade etmektedir (Lokumcu, 2000).

Newton tipi olmayan davranış gösteren akışkanların viskozitesi tek bir kayma hızında ölçülerek karakterize edilemez. Bu özellikleri saptamak için kayma hızı ile kayma gerilimi arasında grafikler çizilmektedir. Her bir akışın özelikleri bu eğrilerden hesaplanmaktadır. Newton tipi ve Newton tipi olmayan değişik akışkanlar için bu eğriler Şekil 2.14'de verilmiştir (Erol ve Koçak, 2004).



Şekil 2.14 : Kayma hızı ve kayma gerilimi grafikleri (Steffe, 1996)

Viskozitenin hem kayma hızından hem de zamandan etkilenmesi nedeniyle Newton tipi olmayan akışkanlar, zamana bağlı ve zamandan bağımsız olmak üzere iki alt gruba ayrılmaktadırlar (Ak, 1997; Singh ve Heldman, 2003). Psödoplastik, dilatant ve bingham plastik davranışlar zamandan bağımsız Newton tipi olmayan davranışları temsil etmekteyken; tiksotropik ve reopektik davranışlar, zamana bağlı Newton tipi

olmayan davranışların alt gruplarını temsil etmektedirler (Rao, 1999). Akışkanların akış özelliklerinin tespit edilmesi için çeşitli modeller kullanılmaktadır. Bunlar; Power-Law (Ostwald-de-Waele), Herschel-Bulkey; Casson ve Bingham modelleridir (Marcotte ve diğ, 2001).

Newton tipi olmayan davranış gösteren gıdalara örnek olarak; çok seyreltik meyve suları hariç birçok sıvı ve yarı katı gıdalar, emülsiyonlar, süspansiyonlar veya yüksek molekül ağırlıklı maddeler verilebilir (Lokumcu, 2000). Ketçap, mayonez, viskoz salata sosları ve meyve suyu konsantreleri de bu grup içindedir (Francis, 2000).

Zamandan bağımsız newton tipi olmayan davranışlar

Bu tip davranış gösteren akışkanlar power-Law modeli: Ostwald-de Waele eşitliği ile ifade edilmektedir (Süren, 2010). Power-law modeli newton tipi olmayan gıdaların akış özelliklerini tespit etmek için mühendislik uygulamalarında önemli bir yer teşkil etmektedir. Bu model konsantrasyonun gıdalardaki görünür viskoziteye etkisini de tanımlamaktadır (Arslan, 2003; Rao ve Kenny, 1975; Zhang ve diğ, 1990). Newton tipi olmayan ve zamandan bağımsız davranışlar için genel matematiksel model Denklem 2.3'de verilmiştir.

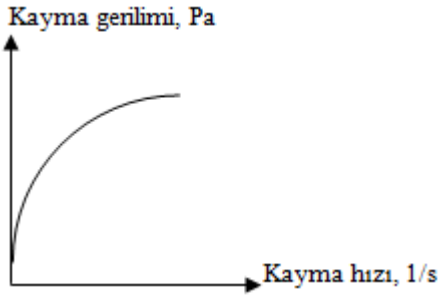
$$\tau = \tau_0 + K\gamma^{n} \qquad (2.3)$$

Bu denklemde τ kayma gerilimini (Pa), τ_0 akma gerilimini (Pa), K kıvam indeksini (Pa.s), γ kayma hızını (s^{-1}), n akış davranış indeksini (boyutsuz) ifade etmektedir. K kıvam indeksi viskoziteye karşılık gelmekte, n akış davranış indeksi ise Newton davranıştan sapmayı ifade etmekte ve akışkanlar n değerine göre de sınıflandırılmaktadır. Bu sınıflandırmaya göre akışkanlar; n=1 ise akışkan Newton tipi, $0<n<1$ ise akışkan psödoplastik (kaymayla incelen), $n>1$ ise akışkan dilatant (kaymayla kalınlaşan) olarak tanımlanmaktadır. Kıvam indeksi ve akış davranış indeksi sıcaklıktan ve gıdanın kompozisyonundan etkilenmektedir (Ak, 1997; Lokumcu ve Ak, 2005; Rao, 1995).

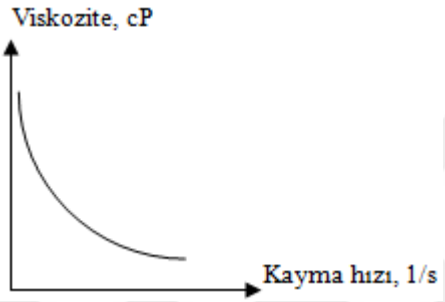
Psödoplastik davranış (Kayma ile incelen)

Kayma hızı arttıkça kayma gerilimi artan fakat viskozitesi azalan davranışlar psödoplastik veya kayma incelmesi (shear thinning) gösteren davranışlar olarak adlandırılmaktadır (Lokumcu, 2000; Steffe, 1996; Şahin ve Şumnu, 2006). Viskozitede görülen bu azalma zamandan bağımsız olarak geri dönüşümü olan bir

değişimdir (Haris, 1977). Psödoplastik davranış gösteren akışkanlar için akış ve viskozite eğrileri Şekil 2.15 ve Şekil 2.16'de verilmiştir.



Şekil 2.15 : Psödoplastik davranışlar için akış eğrisi (Steffe, 1996)



Şekil 2.16 : Psödoplastik davranışlar için viskozite eğrisi (Steffe, 1996)

Psödoplastik davranış "power-law" ile modellenmektedir (Lokumcu, 2000; Steffe, 1996). Psödoplastik davranışlar için matematiksel model Denklem 2.4'de verilmiştir.

$$\tau = K\gamma^{n} \qquad (0<n<1) \qquad (2.4)$$

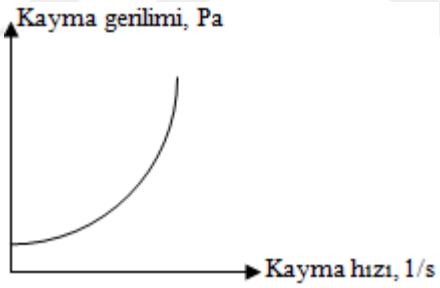
Bu denklemde τ kayma gerilimini (Pa), K kıvam indeksini (Pa.s), γ kayma hızını (s^{-1}) ve n akış davranış indeksini (boyutsuz) ifade etmektedir. Akış davranış indeksi olan n değeri Newton tipi davranıştan sapmayı gösterir ve 1'den küçüktür (Güven, 2010).

Psödoplastik akışkanlara gıda endüstrisinde diğer Newton tipi olmayan akışkanlardan daha çok karşılaşılmaktadır. Psödoplastik davranış gösteren gıdalara örnek olarak; yoğurt, margarin, domates salçası, elma sosu, salata sosları, bazı sebze çorbaları, puding, çikolata verilebilir (Lokumcu, 2000; Steffe, 1996). Konsatre meyve suları ve püreleri (konsantre portakal suyu, muz püresi, fındık püresi), tahin/pekmez karışımları, kaymak ve birçok gam çözeltileri de bu grup içindedir (Kumru, 2013; Rao, 1977; Steffe, 1992).

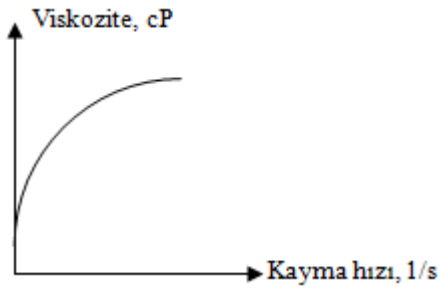
Dilatant Davranış

Kayma hızı arttıkça kayma gerilimi ve viskozitesi artan davranışlar dilatant veya kayma ile kalınlaşan (shear thickening) davranışlar olarak adlandırılmaktadır (Lokumcu, 2000; Steffe, 1996; Şahin ve Şumnu 2006). Psödoplastik akışın tam tersi davranış gösteren bu akışta, artan hız ile birlikte akışa karşı direnç de artmaktadır (Ak, 1997). Dilatant davranış gösteren akışkanlar yüksek kayma hızında bir katı gibi davranıp pompalama vb. işlemlerde sorunlara yol açabilirler. Bu tür davranışa, uygulanan stres sırasında yeni yapısal bölümlerin oluşmasının neden olduğu düşünülmektedir (Rao, 1999).

Dilatant davranış gösteren akışkanlara gıda endüstrisinde çok nadir olarak karşılaşılmaktadır. Dilatant akışkan gösteren gıdalara örnek olarak homojenize yerfıstığı/fıstık ezmeleri, sosis/sucuk eti karışımları, içinde yüksek moleküllü polisakkarit bulunan bazı bal çeşitleri, kısmi jelatinize olmuş nişasta çözeltileri gibi yüksek oranda katı partikül içeren süspansiyonlar verilebilir (Lokumcu, 2000; Singh ve Heldman, 2003; Steffe, 1996; Rao, 1999;). Dilatant davranış gösteren akışkanlar için akış ve viskozite eğrileri Şekil 2.17 ve Şekil 2.18'de verilmiştir.



Şekil 2.17 : Dilatant davranışlar için akış eğrisi (Steffe, 1996)



Şekil 2.18 : Dilatant davranışlar için viskozite eğrisi (Steffe, 1996)

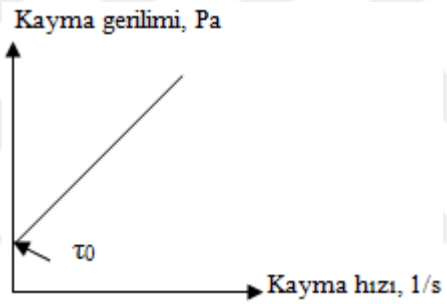
Dilatant davranış "power-law" ile modellenmektedir (Lokumcu, 2000; Steffe, 1996). Dilatant davranışlar için matematiksel model Denklem 2.5'de verilmiştir.

$$\tau = K\gamma^{n} \qquad (1<n<\infty) \qquad (2.5)$$

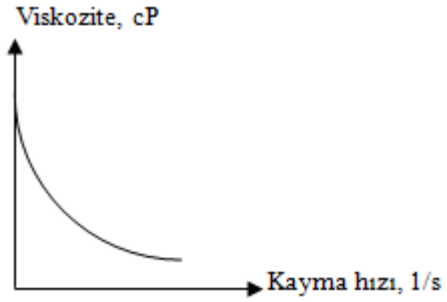
Bu denklemde τ kayma gerilimini (Pa), K kıvam indeksini (Pa.s), γ kayma hızını (s^{-1}) ve n akış davranış indeksini (boyutsuz) ifade etmektedir. Psödoplastik akışkanlarda n değeri 0 ile 1 arasında değişirken, dilatant akışkanlarda bu değer 1'den büyüktür (McKenna ve Lyng, 2003).

Bingham Plastik Davranış

Görünür viskozitesi, kayma hızının artmasıyla azalan davranışlar bingham plastik davranışlar olarak adlandırılmaktadır. Bu tip akışkanlarda kayma hızı artıkça kayma gerilimi artmaktadır. Bu akışkanların Newton tipi akışkanlardan tek farkı kayma stresi ve kayma hızı arasında doğrusal ilişkinin orijinden geçmemesidir (Steffe, 1996; Telcioğlu, 2006). Bingham plastik davranış gösteren akışkanlar için akış ve görünen viskozite eğrileri Şekil 2.19 ve Şekil 2.20'de verilmiştir.



Şekil 2.19 : Bingham plastik davranışlar için akış eğrisi (Steffe, 1996)



Şekil 2.20 : Bingham plastik davranışlar için viskozite eğrisi (Steffe, 1996)

Bingham plastik davranış aşağıdaki denklemle modellenmektedir (Lokumcu, 2000; Steffe, 1996). Bingham plastik davranışlar için matematiksel model Denklem 2.6'de verilmiştir.

$$\tau = \tau_0 + K\gamma^{n} \qquad (n=1,\ \tau_0>0) \qquad (2.6)$$

Bu denklemde τ kayma gerilimini (Pa), τo akma gerilimini (Pa), K kıvam indeksini (Pa.s), γ kayma hızını (s-1) ve n akış davranış indeksini (boyutsuz) ifade etmektedir. Akma gerilimi kısaca, akışın başlayabilmesi için uygulanması gereken minimum kayma gerilimine verilen isimdir (Ak, 1997).

Bingham plastik davranış, maddeye akma gerilimi uygulandıktan sonra akışın başlaması ve maddenin Newton tipi davranışa benzer bir davranış göstermesi durumudur. Maddenin akışkanlık kazanması için, uygulanan stresin bu katı yapıyı kırmaya ve harekete geçirmeye yetecek düzeyde olması gerekmektedir. Uygulanan kayma gerilimi, akma geriliminden daha küçük ise akış gerçekleşmez ve maddeler katı bir madde gibi davranırlar. Sıvıyı katı halden akışkan hale geçirmek için gerekli olan bu kayma gerilimine 'akma gerilimi' denir. Örneğin ketçap ürünü şişeyi sallamadan akışa geçmez ama akışa geçtikten sonra sallamaya devam etmeniz gerekmez (Steffe, 1996; Ün, 2007). Katı gıda yüzeylerinin kaplanması ve dondurma üzerinde kullanılan soslar gibi gıda sektöründe bazı uygulamalarda akma gerilimin pratik önemi vardır (Ak, 1997).

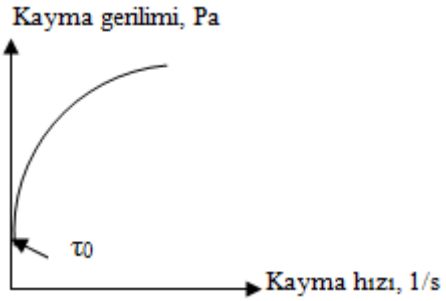
Bingham plastik davranış gösteren gıdalara örnek olarak, ketçap, mayonez, hardal, elma sosu, margarin, tereyağı, yoğurt, krem peynir, çikolata ürünleri (erimiş çikolata, çikolatalı soslar) ve domates salçası verilebilir (Kumru, 2013; Steffe, 1996). Düşük kayma hızları aralığında ketçap, hardal, elma sosu ve domates salçasının Bingham plastik davranış gösterdiği belirtilmiştir (Kumru, 2013).

Bingham olmayan plastik akışkanlar ise Herschel-Bulkley ve Casson modelleri gibi diğer modellere uygun davranış gösteren plastik akışkanları kapsamaktadır (Şahin ve Şumnu, 2006).

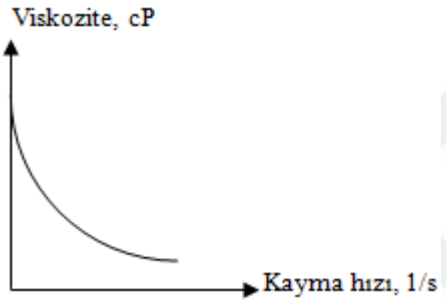
Herschel-Bulkley Davranış (Bingham olmayan plastik davranış)

Görünür viskozitesi, kayma hızının artmasıyla azalan davranışlar Herschel-Bulkley davranış olarak adlandırılmaktadır. Bu tip akışkanlarda kayma hızı arttıkça kayma gerilimi artmaktadır. Herschel-Bulkley akışkanları da Bingham plastik akışkanlar gibi bir akma gerilimi değerine sahip olup, belli bir akma gerilimi aşıldıktan sonra psödoplastik davranış göstermektedirler. Yani bu davranış aslında psödoplastik davranışın akma gerilimi içeren hali gibi düşünülebilir. Bu akışkanlarda kayma stresi kayma hızı arasındaki ilişki doğrusal değildir ve orijinden geçmemektedir. Akış davranış indeksi sıfır ile sonsuz arasındadır (Lokumcu, 2000; Steffe, 1996; Şahin ve

Şumnu, 2006). Herschel-Bulkley davranış gösteren akışkanlar için akış ve görünen viskozite eğrileri Şekil 2.21 ve Şekil 2.22'de verilmiştir.



Şekil 2.21 : Herschel-Bulkley davranışlar için akış eğrisi (Steffe, 1996)



Şekil 2.22 : Herschel-Bulkley davranışlar için viskozite eğrisi (Steffe, 1996)

Herschel-Bulkley davranış aşağıdaki denklemle modellenmektedir (Lokumcu, 2000; Steffe, 1996). Herschel-Bulkley davranışlar için matematiksel model Denklem 2.7'de verilmiştir.

$$\tau = \tau_0 + K\gamma^{n} \qquad (0<n<\infty) \qquad (2.7)$$

Bu denklemde τ kayma gerilimini (Pa), τ0 akma gerilimini (Pa), K kıvam indeksi (Pa.s), γ kayma hızını (s^{-1}) ve n akış davranış indeksini (boyutsuz) ifade etmektedir (Ak, 1997).

Düşük kayma hızlarında Bingham plastik davranış gösterdiği belirtilen ketçap, hardal, elma sosu ve domates salçasının yüksek kayma hızlarında Herschel-Bulkley davranış gösterdiği belirtilmiştir (Kumru, 2013). Ayrıca Herschel-Bulkey davranış gösteren gıdalara örnek olarak, yoğurt, dondurma, erimiş çikolata, ketçap, mayonez ve margarin, balık, üzüm ezmesi, normal ve yağsız mayonez verilebilir (Kumru, 2013; Lokumcu, 2000; Steffe, 1992; Steffe, 1996). Yapılan son çalışmalarda kayısı püresi (İçier ve Bozkurt, 2009), kişniş ve nane yaprağı püresi (Rudra ve diğ, 2007) ve

zencefil ezmesi (Ahmed, 2004) gibi gıda maddelerinin de Herschel-Bulkey davranış gösterdiği tespit edilmiştir.

Herschel-Bulkley modeli, birçok gıda maddesi için kullanılmaktadır. Örneğin, erimiş çikolatanın reolojik davranışı Herschel-Bulkey modelinin özel bir formu olan "Casson" denklemi ile modellenmektedir (Steffe, 1996; Lokumcu, 2000). Bu için matematiksel model Denklem 2.8'de verilmiştir.

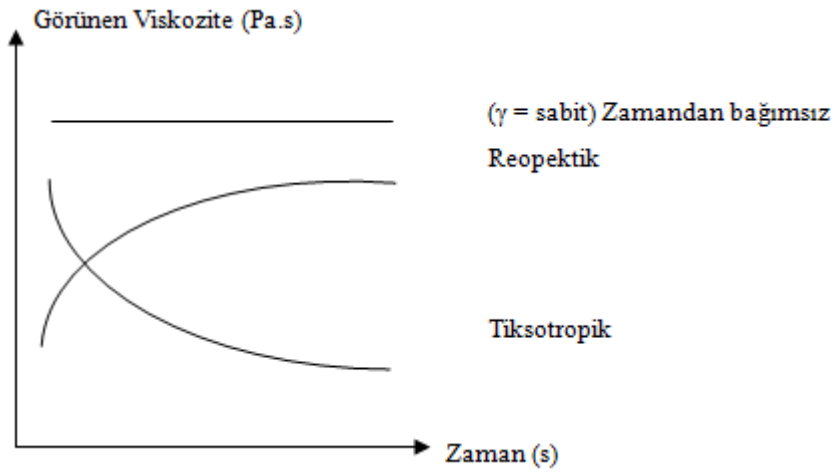
$$\sqrt[n]{\tau} = (\tau_o{}^n + (\eta_p\,\gamma)^n) \qquad (2.8)$$

τ: akma gerilimi, γ: kayma hızı, τ_o: Casson akma gerilimi, η_p: Plastik viskozite, n: akış davranış indeksi.

Herschel-Bulkey modeli diğer modelleri de içine alan bir modeldir. Newton tipi ve zamandan bağımsız Newton tipi olmayan davranışlar aslında Herschel-Bulkey davranışın özelleşmiş halleri durumundadırlar (Lokumcu, 2000; Steffe, 1996).

Zamana Bağlı Newton Tipi Olmayan Davranışlar

Zamana bağlı reolojik davranış şekilleri tiksotropik ve reopektik olmak üzere ikiye ayrılmaktadırlar. Bazı akışkanlar sabit kayma hızına tabi tutulduğunda zamanla viskoziteleri artabilmekte veya azalabilmektedir. Eğer akışkanın görünen viskozitesi ve kayma gerilimi zamanla azalıyor ise tiksotropik, zamanla artıyorsa reopektik olarak tanımlanmaktadır (Şahin ve Şumnu, 2006). Zamana bağlı reolojik davranışlar için viskozite eğrileri Şekil 2.23'de verilmiştir.



Şekil 2.23 : Zamana bağlı reolojik reolojik davranışlar için viskozite eğrileri (Şahin ve Şumnu, 2006).

Şekilden görüldüğü gibi tiksotropik akışkanlarda sabit bir kayma hızında viskozite zamanla azalmakta iken, reopektik akışkanlarda ise tam tersine zamanla artmaktadır. Başka bir deyişle tiksotropi zamana bağlı zayıflama, reopekti ise zamana bağlı güçlenmedir (Rao, 1995; Steffe, 1996;Şahin ve Şumnu, 2006).

Tiksotropik Davranış

Sabit bir kayma hızında, artan zamanla birlikte görünür viskozitesi azalan davranışlar tiksotropik davranışlar olarak adlandırılmaktadır (Rao, 1995). Tiksotropik davranış gösteren akışkanlarda, yapıda bulunan partikül ya da moleküller durgun halde iken birbirlerine zayıf bağlarla tutunurlar, bu tip akışkanlara karıştırma işlemi uygulandığında bu bağlar kırılarak, akmaya karsı direncin zayıflamasına neden olmaktadırlar (Rao, 1999).

Tiksotropik davranış, sabit bir kayma hızında viskozitedeki değişimle ölçülebileceği gibi, kayma hızı kademeli olarak artırılıp (artan hız sırası) sonra da azaltılarak (azalan hız sırası) kayma geriliminin ölçülmesiyle de bulunabilir. Azalan hız sırası ölçümü sonuçlarında elde edilen kayma gerilimi değerleri, artan hız sırası ölçümü sonuçlarında elde edilen kayma gerilimi değerlerinden daha küçük bulunur. Bu durumda gidiş ve dönüş eğrileri aynı yolu takip etmez ve çıkış ve iniş eğrisi arasında kalan halka alanı "loop alanı" adı verilen açıklık ya da başka bir deyişle "histeresis alanı" meydana getirmektedir. Histeresis alanı oluşturan akışkanların tiksotropik davranış gösterdiği söylenebilmektedir. Diğer yöntemde ise kayma hızı sabit tutulmakta ve akışkanın viskozitesi zamana karşı ölçülmektedir. Viskozitenin zaman içerisinde azalması da tiksotropik davranışın göstergesidir (Ak, 1997; Steffe, 1996).

Tiksotropik davranış gösteren gıdalara örnek olarak; domates salçası, yoğurt, bebek maması, elma sosu, mayonez, ketçap, çesitli soslar, yumurta beyazı, mango nektarı, erimis çikolata, sürülebilir peynir ve koyulastırılmıs süt sayılabilir (Ak, 1997; Bhattacharya, 1999; Howard, 1999; Rao, 1977; Rao, 1995; Schmitt ve diğ, 1998; Steffe, 1996). Yapılan son çalışmalarda gilaboru suyu (Altan ve diğ, 2005) tatlandırılmış susam ezmesinin de (Abu-Jdayil, 2003) tiksotropik davranış gösterdiği tespit edilmiştir.

Reopektik Davranış

Tiksotropik davranışın tersine, sabit bir kayma hızında, artan zamanla birlikte görünür viskozitesi artan davranışlar reopektik davranışlar olarak adlandırılmaktadır. Bu akış tipine 'Reopeti' veya 'Anti Tiksotropi' de denir. Reopektik davranış gösteren maddeler de dinlenmeye bırakıldığında, başlangıçtaki orijinal yapılarını ve reolojik özelliklerini tamamen veya kısmen geri kazanabilirler. (Steffe, 1996; Tabilo-Munizaga ve Barbosa-Canovas, 2005).

Reopektik davranış gıda endüstrisinde az rastlanan bir tip olup, reopektik davranış gösteren gıdalara örnek olarak; haşhaş tohumu ezmesi-pekmez karışımı (Süren, 2010), sulu çemen çözeltisi (Işıklı ve Karababa, 2005), çırpılmıs yumurta akı ve krema (Ak, 1997), ayrıca %25 tahin-%75 pekmez karışımları (Lokumcu-Altay ve Ak, 2005) verilebilir.

Diğer Akış Modelleri

Bir akışkanın akış davranışını tanımlamak için kullanılan reolojik modelin seçilmesini birçok faktör etkilemektedir. Newton tipi davranışlara ek olarak pek çok model Newton tipi olmayan davranış gösteren akışların davranışlarını tanımlamak için kullanılmaktadır. Bu modellerin bir kısmı Çizelge 2.10 ve Çizelge 2.11'de gösterilmektedir (Steffe, 1992).

Çizelge 2.10 : Zamandan bağımsız akışkanların akış davranışını tanımlayan reolojik modeller (Kasnak, 2009).

Model	Eşitlik	
Casson	$\tau^{0.5} = (\tau_0^{0.5}) + K_1.(\gamma)^{0.5}$	(2.9)
Modifiye Casson	$\tau^{0.5} = (\tau_0^{0.5}) + K_1.(\gamma)^{n1}$	(2.10)
Genelleştirilmiş Herschel-Bulkley	$\tau^{n1} = (\tau_0^{n1}) + K_1.(\gamma)^{n2}$	(2.11)
Carreau	$\eta = \eta_\infty + (\eta_0 - \eta_\infty) . [1 + (K_1. \gamma)^2]^{(n-1)/2}$	(2.12)

Çizelge 2.11 : Zamana bağlı akışkanların akış davranışını tanımlayan reolojik modeller (Razavi ve Karazhiyan, 2009).

Model	Eşitlik	
Sıfır gerilim değerine sahip 1. dereceden gerilim azalma modeli	$\tau = \tau_0 e^{-kt}$	(2.13)
Sıfır olmayan gerilime sahip 1. dereceden gerilim azalma modeli	$\tau - \tau_\infty = (\tau_0 - \tau_\infty)e^{-kt}$	(2.14)
Weltman modeli	$\tau = A + B \ln t$	(2.15)
Yapısal kinetik model	$[(\eta - \eta_\infty)/(\eta_0 - \eta_\infty)]^{1-n} = (n - 1)kt + 1$	(2.16)

Sıcaklığın reolojik özellikler üzerine etkisi

Gıdalar işleme, depolama, taşıma, satış ve tüketimleri sırasında farklı sıcaklıklara maruz kalmaktadır. Sıcaklığın gıdaların akışkanlık özellikleri üzerine etkisi bulunmaktadır. Genellikle sıcaklık artışında viskozitenin düştüğü bilinmektedir. Newton tipi ve Newton tipi olmayan akışkanlar için sıcaklığın belli bir kayma hızında viskoziteye veya görünen viskoziteye ve kıvam indeksine etkisi Arrhenius tipi matematiksel model ile açıklanmaktadır (Arslan, 2003; Bourne, 2002; Rao ve Anantheswaran, 1982). Arrhenius denklemi Denklem 2.17'de verilmiştir. Aktivasyon enerjisi (Ea) arttıkça, viskozite de sıcaklıkla birlikte genellikle düşmektedir (Steffe, 1996).

$$\eta = K_0 e^{Ea/RT} \quad (2.17)$$

η : Viskozite, Pa.s

K_0 : sabit, Pa.s

Ea : Aktivasyon enerjisi, kJ/kg mol,

R : Gaz sabiti, 8,314 kJ/kgmol.K

T : Mutlak sıcaklık, K

Mansouripour ve diğ. (2017) yaptığı çalışmada, farklı hidrokoloidlerle karıştırılmış uzun zincirli inulin ve kısa zincirli galaktooligosakkaritlerin farklı kombinasyonlarının prebiyotik ketçabın fiziksel ve reolojik özelliklerine etkilerini değerlendirmiştir. Çalışmada modifiye nişasta, ksantan gam ve guar gam ilavesi ile yeni bir prebiyotik ketçap üretilmiştir. Ksantan gam ve guar gamın, prebiyotik ketçap formülasyonunun yapısal bütünlüğünü güçlendirmek için modifiye nişastadan daha iyi bir seçim olduğu ileri sürülmüştür. Modifiye nişastanın prebiyotik numunelerin fiziksel özelliklerini olumsuz etkilediği, ürün için uygun değerlerin %0,4 ksantan gam ve %0,18 guar gam ile birlikte %7,5 uzun zincirli inulin ve %2,5 galaktooligosakkarit kullanımı olduğu tespit edilmiştir. Bu çalışmanın sonucunda, kısa zincirli galaktooligosakkaritler ve uzun zincirli inülinin prebiyotik karışımlarının ketçap formülasyonlarına dâhil edilerek sağlıklı ve besleyici bir çeşni üretilebileceği ortaya koyulmuştur. Bunun yanı sıra reolojik ve dokusal özellikleri açısından ticari ürünlerden önemli ölçüde farklı olmayacağı da görülmüştür. Bu yeni prebiyotik ketçap formülasyonu, gelecekteki çalışmalarda probiyotik bakteri içeren sinbiyotik ürün üretmek için uygun bir ortam olarak düşünülebilir.

Omidbakhsh amiri ve diğ. (2015) taze ve 6 ay depolanmış domates ketçabının stabilitesi, reolojik özellikleri ve duyusal özellikleri üzerine üç farklı hidrokolloidin (ksanthan gam, guar gam ve kitre zamkı) etkisini karşılaştırmışlardır. Nişasta ile hazırlanan ketçaba (0,5 g/100 g) gamlar sırasıyla (0, 0,2, 0,25, 0,3, 0,35 g/100 g) beş farklı seviyede eklenmiştir. İstatistiksel analiz sonuçları, gam konsantrasyonu, gam türü ve depolama tipinin reoloji ve serum ayrılması üzerinde belirgin bir etkiye sahip olduğunu göstermiştir. Sonuçlara göre, gam konsantrasyonu arttıkça, serum ayrılması değerlerinde bir düşüş meydana gelmiş ve viskozite, sürülebilirlik ve akma stresinde bir artış meydana gelmiştir. Ksantan gam ve guar gam içeren numuneler tiksotropik davranış gösterirken, ve kitre zamkı içeren numune, reopektik davranış sergilemiştir. Ksantan gam konsantrasyonu arttıkça tiksotropik davranış azalmış, kitre zamkı konsantrasyonu arttıkça tiksotropik davranış artmış ve kitre zamkı konsantrasyonu arttıkça reopektik davranış azalmıştır. Ayrıca, depolama sonunda tiksotropik davranışın korunmasında ksantan gamın diğer gamlara göre daha iyi olduğu tespit edilmiştir. Genel olarak ksantan gam hem taze hem de depolanmış numunelerde en yüksek stabilite, akma stresi, yapısal dayanıklılık ve bağ dayanıklılığı göstermiştir. Guar gam ve kitre zamkında ise konsantrasyon arttıkça, yapısal dayanıklılık ve bağ dayanıklılığının arttığı gözlemlenmiştir.

Panovská ve diğ. (2009) piyasadan satın aldıkları 20 adet domates ketçap örneğini, çeşitli reolojik prosedürlerle (Rheo-Stress 300) ve dokusal ve lezzet özelliklerinin duyusal profillemesi ile analiz etmişlerdir. Numuneler 23 °C ve 45 °C olmak üzere iki sıcaklıkta test edilmiştir. 23 °C oda sıcaklığına, 45 °C ise sıcak yemek üzerine uygulanan ketçaba tekabül etmektedir. Tüm örnekler arasındaki tüm özelliklerde büyük farklılıklar gözlemlenirken; istatistiksel olarak değerlendirmede, istatistiksel açıdan birçok anlamlı ilişki, reolojik ve duyusal özellikler arasında ise kısmen ilişki bulunmuştur. Ayrıca duyusal doku kabul edilebilirliği ile genel lezzet kabul edilebilirliği arasında yakın bir ilişki gözlemlenmiştir. Bu ketçap dokusunun ketçap tüketimindeki önemini kanıtlamaktadır.

Koocheki ve diğ. (2009) ketçabın akış özelliklerini, yaygın olarak kullanılan kıvam arttırıcıların eklenmesiyle değerlendirmişlerdir. Guar, ksantan ve CMC gamları üç farklı konsantrasyonda (% 0,5, 0,75 ve 1) ve dört farklı sıcaklıkta (25, 35, 45 ve 55 °C) incelenmiştir. Gam takviye edilmeyen ketçap, kontrol numunesi olarak kullanılmıştır. Bu çalışmanın sonucunda, tüm ketçap formülasyonları tüm

sıcaklıklarda ve tüm hidrokolloid seviyelerinde Newtonian olmayan, psödoplastik davranış sergilemiştir. Power law ve Herschel-Buckley modelleri, kayma gerilmesine (shear stres) karşı kesilme hızı (shear rate) verileri için başarıyla uygulanabileceği saptanmıştır. Hidrokolloid konsantrasyonunun arttırılması, kontrol numunesine kıyasla, ketçabın akma noktasını (yield point) ve görünür viskozitesini arttırdığı tespit edilmiştir. Hazırlanan formülasyonların görünür viskozitesi üzerindeki sıcaklığın etkilerini tanımlamak için Arrhenius denklemi kullanılmıştır. Bunlarla birlikte guar gamın viskozite üzerindeki etkisi, ksantan ve CMC gamlarınınkinden daha fazladır. Kıvam endekslerinin üç hidrokolloid konsantrasyonuyla birlikte arttığı, gam eklenmesinin ketçabın kıvamlılığını stabilize ettiği görülmüştür. Genel olarak aktivasyon enerjisinin, kontrol numunesine kıyasla, gam ikamesi kullanılarak düştüğü bulunmuştur.

EL-Desouky (2008) tarafından, iki farklı hidrokolloid ilavesinin reolojik özelliklere ve depolama sırasında domates ketçabının duyusal kalitesi üzerine etkisi araştırılmıştır. Domates ketçabına pektin %0,5 ve 1 seviyelerinde, nişasta ise %0, 1, 2 ve 3 seviyelerinde eklenmiştir. Daha sonra domates ketçabı altı ay boyunca oda sıcaklığında depolanmıştır. Farklı hidrokolloid seviyelerini içeren domates ketçabı numunelerinin reolojik davranışları, bir Brookfield Dijital Viskometre kullanılarak 0-100 s^{-1} kayma hızı aralıklarında ve geniş bir sıcaklık aralığında (5, 25, 50 ve 75 °C) incelenmiştir. Sonuçlar, bu domates ketçaplarının Newton tipi olmayan sıvılar (psödoplastik) gibi davrandıklarını ve belirli bir akma stresine sahip olduğunu göstermiştir. Viskozite ile sıcaklık arasında yüksek korelasyon bulunmuş, sıcaklık arttıkça viskozitenin azaldığı görülmüştür. Sıcaklığın viskoziteye etkisi incelendiğinde sonuçlar, hidrokolloidlerin ilavesi arttıkça aktivasyon enerjisinin düştüğünü göstermiştir. Çalışmada kullanılan tüm hidrokolloidlerin domates ketçabının kıvamını arttırdığı da tespit edilmiştir. Bununla birlikte depolama süresi arttıkça, domates ketçabının viskozitesi azalmıştır. Domates ketçabının duyusal kalitesi üzerine önemli bir etkisi olan su ayrımının, hidrokolloid ilavesi ile azaldığı ve artan depolama süresi ile arttığı görülmüştür. Depolama sırasında domates ketçapları için duyusal testler yapılmış ve sonuçlar, hidrokolloid ilavesinin depolama başlangıcında ve depolama süresi boyunca domates ketçabının kalitesini geliştirdiğini göstermiştir.

Bayod, Willers ve Tornberg (2008) tarafından, endüstriyel ölçekli bir tesiste işlenmiş olan (yani seyreltilmiş, ısıtılmış, homojenleştirilmiş ve soğutulmuş) domates ketçaplarının özellikleri üzerindeki etkisini belirlemek için üç sıcak işlenmiş domates salçası araştırılmıştır. Salçalar ve ketçaplar, partikül boyutu dağılımı, hacim fraksiyonu ve sabit ve dinamik kaymadaki reolojik davranışları ile karakterize edilmiştir. Ketçaplar ayrıca duyusal değerlendirmeye de tabi tutulmuştur. Salçaların ketçaba işlenmesi ile incelenen tüm parametrelerde büyük yapısal değişikliklerin olduğu görülmüştür. Katıların hacim fraksiyonu (ø), salça süspansiyonlarının işleme sırasında geçirdiği değişiklikleri doğru bir şekilde yansıttığı ve hem salçaların hem de ketçapların akış davranışının iyi bir belirteci olduğu görülmüştür. İlgili akış eğrilerinin, geniş bir kayma oranı ve konsantrasyon aralıklarında Carreau modeliyle iyi tanımlandığı bulunmuştur. Bununla birlikte, incelenen ticari salçaların reolojik özellikleri, ilgili ketçapların reolojik özellikleriyle doğrudan bağlantılı olmadığı görülmüştür. Salça ve ketçabın reolojik özellikleri, her birinin ayrı ayrı akış özelliklerinin tespit edilmesiyle bulunabilir. Her bir salçanın işleme sırasında maruz kaldığı değişiklikler, reolojik özellikler de dâhil olmak üzere bir dizi parametreye bağlı olmakla birlikte, hacim, boyut ve şekil gibi partikül özelliklerine ve kırılmaya duyarlılıklarına da bağlı olduğu tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, daha sonra işleme sırasında yapılan kalite kontrolünün iyileştirilmesine katkıda bulunabilir. İşlemden sonra beklenen akış davranışı varyasyonunu yansıtabilen bu özellikleri tanımlamak için daha fazla çalışmaya ihtiyaç duyulmaktadır.

Farahnaky ve diğ. (2008) yaptıkları bir çalışmada, domates posası tozunun domates ketçabı formülasyonunda kıvam arttırıcı olarak kullanılmasını araştırmıştır. Domates işleme endüstrisinin ana atıklarından biri olan domates posası tozu, farklı seviyelerde (%1, 2, 5, 7 ve 10) ticari bir domates ketçabı formülasyonunda kıvam arttırıcı olarak kullanılmıştır. Formüle edilmiş ve domates posası tozu eklenmemiş ketçapların renk parametreleri (*L, a, b*) ve reolojik özellikleri belirlenmiş ve karşılaştırılmıştır. Domates posası tozu ilavesi, numunelerin *L* değerinde belirgin bir artışa neden olurken, *a/b* oranını önemli ölçüde azaltmıştır. Çalışmadaki tüm ketçap örneklerinin Newton tipi olmayan sıvılar kategorisine girdiği belirlenmiştir. Ayrıca ketçapların görünür viskozitesi, domates posası tozunun konsantrasyonunda artışa bağlı olarak belirgin şekilde artarken, sıcaklık artışı ile azalmıştır. Çalışmaya ilişkin reolojik veriler, Power-Law modeli kullanılarak modellenmiştir. Elde edilen verilerin analizi,

düşük düzeyde domates posası tozunun domates ketçabının kıvamını arttırmada diğer hidrokolloidlerin yerine kullanılabileceğini ortaya koymuştur. Domates posası tozlarının gıda formülasyonlarında doğrudan kullanılması hammadde ve atık maliyetlerini azaltarak üretim maliyetlerini düşürmede üreticilere yardımcı olabileceği gibi, çevre için de faydalı olabilir.

Valencia ve diğ. (2002) bazı domates salçası işleme değişkenlerinin (son perde açma ve kayma sıcaklığı) ve domates çeşidinin, domates ketçabının doğrusal viskoelastik özellikleri üzerine etkileri ile ilgili bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Domates salçası, domates ketçabı üretiminde bir bileşen olarak kullanılmaktadır. Bu araştırma için ikisi ticari çeşitler (H-282 ve 1401-C) olmak üzere toplam dört domates çeşidi (H-282F çeşidi daha düşük poligalakturonaz enzim içeren, 1401-J çeşidi ise düşük miktarda pektin metil esteraz enzimi bulunan) kullanılmıştır. Çalışmada dinamik viskoelastik testleri ve partikül boyutu dağılımı (PSD) ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen deneysel sonuçlardan, domates sosunun doğrusal viskoelastik özelliklerinin yukarıda belirtilen değişkenlere bağımlılığının çok karmaşık olduğu sonucuna varılmıştır. Bununla birlikte, bu ürünlerin viskoelastik özelliklerinin değişimi, ortalama hacim çapı ve domates salçasının suda çözünmeyen katı içeriği (WIS) ile ilgili olduğu tespit edilmiştir. Bu katı içerik esas olarak domates çeşitleri ve domates salçası işleme koşulları tarafından kontrol edilmektedir. H-282F adlı domates çeşidinden elde edilen domates ketçapları, daha yüksek WIS içermesi ve poligalakturonaz enziminin de etkisi ile daha tutarlı, doğrusal viskoelastisite değerleri göstermektedir. Elde edilen sonuçlardan, domates ketçabının doğrusal viskoelastisitesinin, domates salçasının işlemesine ve domatesin çeşidine bağlı olduğuna karar verilebilir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1 Materyal

Bu çalışmada ketçap üretimi, ketçap standardında (TS 5282) belirtildiği şekilde domates salçası, şeker (sakkaroz), tuz, sirke, soğan, sarımsak ve baharat karışımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ketçap formülasyonuna ek olarak çeşitli kıvam arttırıcı maddeler (guar gam, ksantan gam ve modifiye mısır nişastası) eklenmiştir. Üretimde kullanılan domates salçası, şeker, tuz ve baharatlar ketçap yapım kuralları standardında (TS 10818) belirtilen özelliklerde olup, Bursa'da yerel marketlerden temin edilmiştir. Soğan ve sarımsak kullanım kolaylığı sebebiyle toz halinde kullanılmış olup, Bursa'da bir aktardan satın alınmıştır. Çalışmada kıvam arttırıcı madde olarak kullanılan guar gam, ksantan gam ve modifiye mısır nişastası ise ticari olarak temin edilmiştir.

3.2 Yöntem

3.2.1 Ketçap üretimi

Çalışmada kullanılan ketçap örnekleri, üç farklı formülasyonda ve 'Ketçap Yapım Kuralları' Standardına (TS 10818) göre hazırlanmıştır. Tartılan salça üzerine eklenmesi gereken su miktarı, kütle dengesi hesaplamalarından (Cemeroğlu, 1992) yararlanılarak Denklem 3.1'den hesaplanmıştır.

$$X = (S.\ (Km))/B - S \qquad (3.1)$$

S: Tartılan salça miktarı, g

Km: Salçanın kuru madde oranı, %

B: Ayarlanmak istenilen kuru madde oranı, %

X: Eklenmesi gereken su miktarı, g

Salçanın kuru madde oranı laboratuarda bulunan Kyoto KEM marka RA-600 model refraktometre ile tespit edilmiştir. Ayarlanmak istenilen kuru madde oranı ise ön denemelerle belirlenmiştir. Eşitlikte görüldüğü gibi 50 g domates salçası, 70 ml su ile

seyreltilmiş, çözünür kuru madde (ÇKM) içeriği %12,5 düzeyine ayarlanmıştır. Çözünür kuru madde içeriği ayarlanmış olan seyreltilmiş salça bir behere alınmış ve DAİHAN marka WiseTis/HG-15D model homojenizatörde 1000 devir/dakika (rpm) de homojenize edilmiştir. Daha sonra beher içerisindeki karışım orta derecede çalışan TERMAL marka N11150 model manyetik karştırıcı (ısıtıcılı) üzerine alınmıştır.

Kılıçkaya (2006)'nın salçadan ketçap üretimine ilişkin (100 kg son ürün için) kullandığı ketçap reçetesi, 100 g son ürüne göre uyarlanmış ve Çizelge 3.2-1'de verilmiştir. Kullanılan baharatların ketçap reçetesinden farklı olmasının nedeni, piyasada daha çok tercih edilen baharatların kullanılmasıdır.. Ketçap formülasyonunda belirtilen miktarlarda şeker ve tuz tartılmış ve salça – su karışımına kademeli olarak ilave edilmiştir. Karıştırma işlemi süresince ürün bir kaşıkla karıştırılmış ve karışımın ÇKM içeriği refraktometre kullanılarak periyodik olarak izlenmiştir. Reçetede taze ağırlık olarak belirtilen soğan ve sarımsak pratiklik nedeniyle toz halinde alınmış olup, formülasyonda kullanılması gereken miktarlar kütle ve enerji denklikleri kullanılarak hesaplanmıştır. Toz soğan ve sarımsak ağırlıklarının 10 katı su içerisinde 1 saat boyunca rehidre edilerek karışıma eklenmiştir.

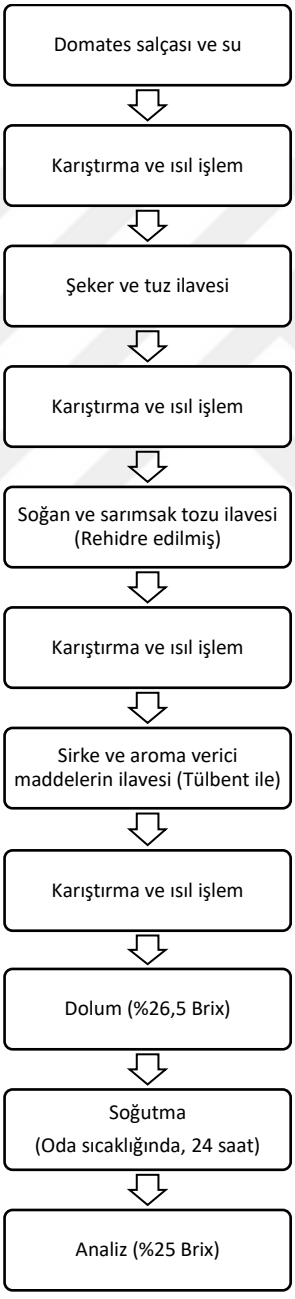
Çizelge 3.1 : Ketçap formülasyonu (100 g son ürün için).

Girdiler	Miktar
Salça, (28-32 ^{o}Bx), g	50
Su, mL	70
Sirke, mL	6
Şeker, g	7,5
Tuz, g	1,5
Soğan, g$^{(1)}$	0,09
Sarımsak, g$^{(1)}$	0,1
Baharatlar	
Tarçın, g	0,02
Karanfil, g	0,015
Karabiber, g	0,05
Kırmızı acı biber, g	0,035
Kırmızı tatlı biber, g	0,035
Hindistan cevizi, g	0,01

$^{(1)}$kuru ağırlık olarak

Ketçap formülasyounda miktarları belirtilmiş olan baharatlar tartılarak bez bir torba içerisinde beher içerisinde bulunan karışıma eklenmiştir. Karışımın ÇKM içeriği %25'e ulaştığında sirke karışıma eklenmiş ve karışım ÇKM içeriği %26,5 olana

kadar sürekli karıştırılarak kaynatılmıştır. İstenilen %ÇKM değeri elde edildikten sonra karışım 100 mL'lik üç ayrı behere alınmıştır. Üç ayrı kaplarda bulunan örneklere, ön denemeler sonucunda belirlenen, toplam örnek ağırlıklarının %1'i kadar kıvam arttırıcı (guar gam, ksantan gam ve modifiye ışır nişastası) ilave edilmiştir. Her üç örnekte homojenize edilerek kapaklı cam kavanozlara aktarılmıştır. Hazırlanan ketçap örnekleri 1 gün süre ile oda sıcaklığında (24 ^{o}C) bekletilmiş, karışımın ÇKM içeriği %25'e sabitlenerek analizlere başlanmıştır. Ketçap üretimine ait akış şeması Şekil 3.1'de verilmiştir.



Şekil 3.1 : Ketçap üretimi akış şeması

3.2.3 Reolojik ölçümler

Ketçap örneklerinin reolojik ölçümleri reometre (Anton Paar MCR 302) cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ölçümlerde konik plaka kullanılmış (CP25-2) ve ölçüm sırasında alt ve üst plaka arasındaki mesafe 0,106 mm olarak ayarlanmıştır. Ölçümler Akış Diyagramı (logaritmik) reolojik testi ile 5 farklı sıcaklıkta (10°C, 20°C, 30°C, 40°C, 50°C) gerçekleştirilmiş olup, sıcaklık kontrolü su banyosu (Viscotherm VT-2) ile sağlanmıştır. Tüm reolojik ölçümler 2 paralel ve 4 tekrar olarak gerçekleştirilmiştir. Kayma hızı (shear rate) aralığı 0-100 s^{-1} olarak belirlenmiş, ölçüm süresi boyunca her bir örnek için toplam 31 veri kaydedilmiştir. Ölçüm verileri ile kayma hızına karşılık (shear rate) kayma gerilimi (shear stres) ve kayma hızına karşılık (shear rate) gelen viskozite değerlerine göre akış eğrileri çizilmiştir. Sonuçlar Anton Paar MCR 302 marka/model reometrinin yazılım programı kullanılarak, Power Law ve Herschel-Bulkley modelleri kullanılarak modellenmiştir. Akış davranış indeksi (n), kıvam indeksi (K), korelasyon değerleri (r) reometrenin yazılım programından elde edilmiştir. Sıcaklığın reolojik parametrelere etkisi ise Denklem 2.17'de verilen Arhenius denklemiyle modellenmiştir.

3.2.3 İstatistiksel analizler

Araştırmada elde edilen verilerin istatistiksel analizleri RStudio istatistik programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Gruplar arasındaki istatistiksel farklılıklar iki faktör ANOVA testi ile hesaplanmıştır. Gruplar arasındaki farklılıkların önemli ($p<0.05$) olup olmadığı Tukey çoklu karsılaştırma testi ile belirlenmiştir. Ayrıca sıcaklığın reolojik parametrelere etkisinin önemini belirlemek için Regresyon analizi yapılmıştır. Sonuçlar, ortalama ± standart hata olarak ifade edilmiştir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

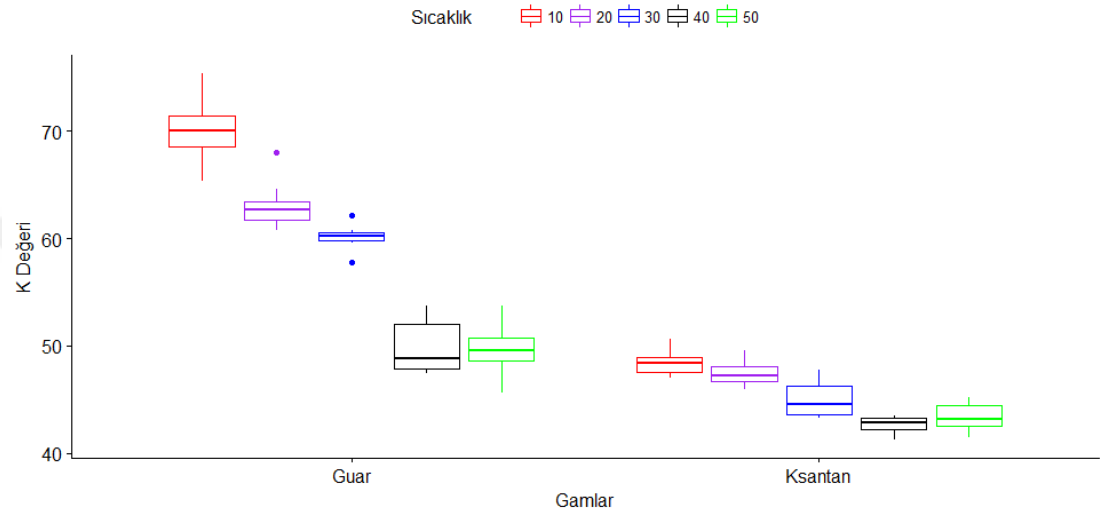
4.1 Reolojik Modelleme

Ketçap üretimi sonucunda elde edilen reometre verilerine ait model katsayıları Çizelge 4.1'de verilmiştir. Sonuçlar ortalama ± standart hata olarak verilmiştir. Guar gam ($R^2 \geq 0,956$) ve ksantan gam ($R^2 \geq 0,981$) eklenmiş ketçap örneklerinin modellemesini en iyi Power Law model açıklamıştır. Modifiye mısır nişastası eklenmiş ketçap örnekleri için sonuçların Herschel-Bulkley modeli ($R^2 \geq 0,970$) ile uyumlu olduğu görülmüştür (Roberts, 2003; Jaros ve Rohm, 2003). Çizelge 4.1'den görüldüğü gibi, guar gam eklenmiş ketçap örneklerinin kıvam indeksi değerlerinin 70,09-49,63 $Pa.s^n$ aralığında değiştiği belirlenmiştir. Bununla birlikte sıcaklığın artmasıyla kıvam indeksi değerleri azalmıştır. Bu veriler, Chaffai (1991) ve Young ve diğ. (1997) tarafından ketçap üzerine yapılan çalışmada elde edilen verilerle uyumludur. Ksantan gam eklenmiş ketçap örneklerinin kıvam indeksi değerleri 48,48-43,36 $Pa.s^n$ aralığında değişmektedir. Sıcaklığın artmasıyla birlikte azalmış, fakat bu azalmanın guar gam eklenmiş ketçap örneklerindeki azalma kadar fazla olmadığı belirlenmiştir. Herschel-Bulkey model kullanılarak modellenen modifiye mısır nişastası eklenmiş ketçap örneklerinin kıvam indeksi değerleri negatif çıkmıştır. Bu teorik olarak mümkün değildir. Mansouripoura ve diğ. (2016) yaptıkları bir çalışmada, modifiye nişasta, ksantan ve guar zamkının dahil edildiği yeni prebiyotik ketçaplarda modifiye nişastanın prebiyotik örneklerin fiziksel özelliklerini olumsuz etkilediğini göstermişlerdir. Benzer bir durum bu araştırma kapsamında üretilen ketçap örneklerinin kıvam indeksi değerlerinin negatif çıkması ile görülebilmektedir. Mansouripoura ve diğ. (2016) yaptığı araştırmada ayrıca optimum koşulun % 0,4 ksantan ve % 0,18 guar gamının birlikte kullanılması ile olduğunu belirlemişlerdir. Ksantan ve guar sakızının bir karışımının, prebiyotik ketçap formülasyonunun yapısal bütünlüğünü güçlendirmek için modifiye mısır nişastasından daha iyi bir seçim olduğu ileri sürülebilir. Yapıdaki bozulma ve katsayılardaki tutarsızlık nedeni ile modifiye mısır nişastası eklenmiş ketçap örnekleri istatistiksel analize dahil edilmemiştir.

Çizelge 4.1 : Power Law ve Herschel-Bulkley modellerinin katsayıları (X±SH).

Sıcaklık	Power Law Model Guar Gam			Power Law Model Ksantan Gam			Herschel-Bulkley Model Modifiye Mısır Nişastası			
	K(Pa.s^n)	n	R^2	K (Pa.s^n)	n	R^2	K'(Pa.s^n)	n'	R^2	τ_0 (Pa)
10 °C	70,1±1,1	0,169± 0,002	0,980± 0,003	48,5± 0,4	0,179± 0,002	0,988± 0,000	-46,0± 20,3	0,862± 0,096	0,972± 0,004	2341±100,3
20 °C	63,1±0,8	0,194± 0,002	0,973± 0,001	47,5± 0,4	0,178± 0,001	0,986± 0,001	-7,73± 5,97	1,36± 0,124	0,978± 0,001	1980±68,8
30 °C	60,1±0,4	0,220± 0,001	0,961± 0,001	45,1± 0,6	0,181± 0,003	0,981± 0,001	-0,249± 0,128	2,07± 0,202	0,990± 0,003	1713±61,8
40 °C	49,9±0,9	0,230± 0,002	0,956± 0,002	42,7± 0,3	0,179± 0,001	0,986± 0,001	-0,152± 0,138	2,44± 0,246	0,970± 0,006	1563±91,0
50 °C	49,6±0,9	0,243± 0,002	0,962± 0,002	43,4± 0,5	0,177± 0,001	0,991± 0,001	-0,001± 0,001	3,52± 0,530	0,744± 0,067	1501±47,9

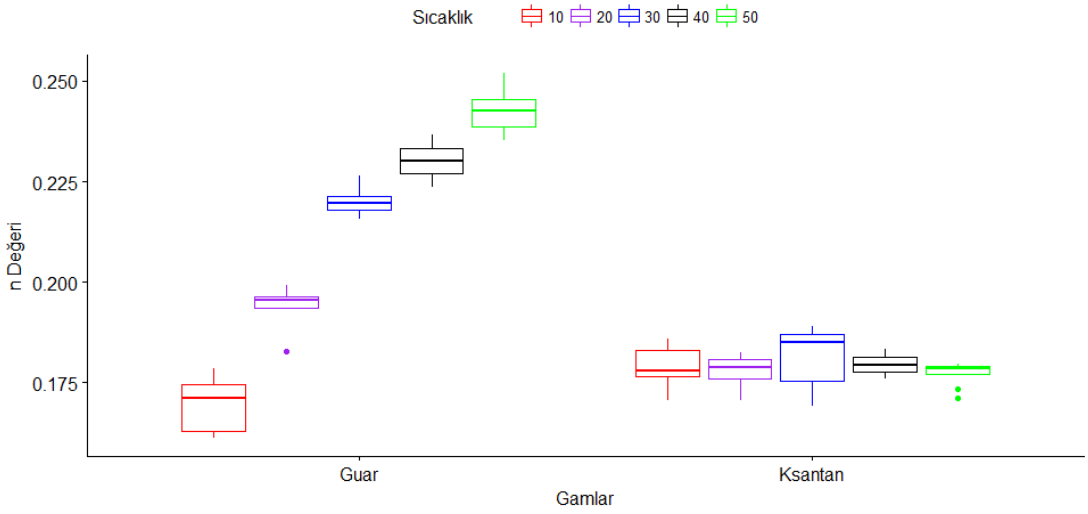
Guar gam ve ksantan gam ekli ketçap örnekleri için istatistik programından elde edilen K değerlerine ait box plot grafikleri Şekil 4.1'de verilmiştir. Şekil 4.1'de sıcaklık değişimi ile K değerlerindeki değişim görülebilmektedir. Farklı gam eklenmiş ketçap örnekleri arasındaki davranış sabitlerindeki bu farklılıkların nedeni, ilave edilmiş gam maddesinin içeriği, parçacık boyut ve şekli arasındaki farklılıklardan kaynaklı olabilmektedir.



Şekil 4.1 : K değerine ait box plot graifkleri

Akış indeksi değerleri için Çizelge 4.1 incelendiğinde, guar gam eklenmiş ketçap örneklerinin akış indeksi değerlerinin 0,169–0,243 aralığında değiştiği görülmektedir. Sıcaklığın artması akış indeksi değerlerinde bir artış meydana getirmiştir. Ksantan gam eklenmiş ketçap örneklerinin akış indeksi değerlerinin 0,177–0,181 aralığında değiştiği görülmektedir. Sıcaklık artışı guar gamın aksine, ksantan gam eklenmiş ketçap örneklerinin akış indeksi değerlerinde önemli bir etkiye neden olmamıştır. Nitekim bazı araştırmacılar yoğunlaşma ve sıcaklığın akış davranış indeksi üzerinde güçlü bir etkisinin olmadığı bildirilmiştir (Fito ve ark. 1983; Gomez-Diaz ve Navaza 2003; Şahin ve Özdemir, 2004). Reolojik analizlerden elde edilen veriler, bu çalışmada kullanılan ketçap örneklerinin Newton tipi olmayan akışkanlar olduğunu; guar gam ve ksantan gam ekli ketçap örneklerinin akış indeksi (n) değerlerinin 0 ile 1 değerleri arasında olması bu reolojik davranışın psödoplastik (kayma incelmesi) olduğunu göstermektedir. Young ve diğ. (1997), Sharoba ve diğ. (2005) ve Koocheki ve diğ. (2009), domates ketçabının n değerinin 0,2 ila 0,5 arasında değiştiğini belirtmişlerdir. Bununla birlikte Canovas ve Peleg (1983), iki domates ketçabından elde edilen n değerlerinin (Heinz ve Stop & Shop) 0,38 ile 0,40 arasında olduğunu

belirtmişlerdir. Araştırma kapsamında elde edilen n değerleri (guar ve ksantan gam için) literatürde belirtilen değerlerden daha düşüktür. Modifiye mısır nişastası eklenmiş ketçap örneklerinin akış indeksi değeri, en düşük sıcaklıkta (10 °C) n < 1 iken; sıcaklığın artmasıyla akış indeksi değerinin de arttığı (n > 1) görülmektedir. Bu örneğin dilatant davranış sergilediğini göstermektedir. Rao (1999) dilatant davranış gösteren akışkanlar yüksek kayma hızında bir katı gibi davranıp pompalama vb. işlemlerde sorunlara yol açabildiğini belirtmiştir. Bu tür davranışa, uygulanan stres sırasında yeni yapısal bölümlerin oluşmasının neden olduğu düşünülmektedir. Guar gam ve ksantan gam ekli ketçap örnekleri için istatistik programından elde edilen n değerlerine ait box plot grafikleri Şekil 4.2'de verilmiştir. Şekil 4.2'de sıcaklık değişimi ile guar gam ekli ketçap örneklerinin n değerlerindeki değişim görülebilmektedir. Aynı şeklide sıcaklık değişiminin ksantan gam ekli ketçap örneklerinin n değerlerinde bir değişikliğe neden olmadığı da görülebilmektedir.



Şekil 4.2 : n değerine ait box plot graifkleri

Kullanılan gam maddesinin türü, miktarı, parçacık boyut ve şekli bu değerlere etki edebilmektedir. Bunun yanı sıra ketçap üretiminde doğrudan domates veya domates salçası kullanılabilmektedir. Araştırmada olduğu gibi domates salçası ile ketçap üretiminde salçanın partikül boyut ve şeklinin akış ve kıvam indeksi değerlerini etkilemesi olasıdır. Valencia ve diğ. (2004) yaptıkları bir çalışmada, ketçap viskozitesinin domates salçası işlemesine ve domates çeşidine kuvvetle bağlı olduğunu tespit etmişlerdir. Ayrıca ketçap viskozitesinin domates salçasının suda çözünmeyen katı madde içeriğiyle ilgili olduğu belirtilmiştir.

Modifiye mısır nişastası eklenmiş ketçap örneklerinin akış indeksi değerleri diğer iki gama ve literatür bulgularına göre çok farklı aralıkta seyretmektedir (0,862–3,523). Bu farklılığın sebebi modifiye mısır nişastasının modifikasyon yönteminden kaynaklandığı düşünülebilir.

Reolojik parametreler mühendislik açısından çok önemli parametrelerdir. Bu parametrelerin yorumlanmasında R^2 değerleri önem arz etmektedir. R^2 değerinin yüksek olması modelin uyumlu olduğunu göstermektedir. Çizelge genel olarak incelendiğinde tüm R^2 değerlerinin 0,95'dan büyük olduğu görülmektedir. Bu veriler örneklerin akış davranışını tanımlamak için uygun modellerin seçildiğini göstermiştir. Sadece 50 °C'deki modifiye mısır nişastası eklenmiş ketçap örneğinin R^2 (0,744) değerinde bir düşüş görülmektedir.

Bazı gıda maddeleri geniş bir kayma gerilimine maruz kaldığında ve düşük kayma geriliminde akmamaktadır. Bu tür maddeler ancak belirli bir seviyede gerilime ulaştıktan sonra akmaya başlamaktadır. Bu noktaya akma gerilimi adı verilmektedir. Domates esaslı ürünlerin akma gerilimleri tüketiciler için önemli olmakla birlikte, işleme parametresi olarak da büyük önem taşımaktadır. Daha önce de belirtildiği gibi modifiye mısır nişastası eklenmiş ketçap örneği Herschel-Bulkley model ile modellenmiştir. Bu modelde τ_0 akma gerilimini ifade etmekte ve Çizelge 4.1'de görülmektedir. τ_0 değerleri 2341–1501 Pa arasında değişmiş ve sıcaklığın artmasıyla birlikte bu değerlerde bir düşüş gözlemlenmektedir. Ancak bu sonuçlar Juszczak ve diğ. (2013) yaptığı çalışmadaki sonuçlara oranla çok yüksektir. Bu çalışmada farklı modifiye mısır nişastalarının ketçabın reolojik özellikleri üzerine etkileri incelenmiştir. Herschel-Bulkley model ile modellenmiş olan örneklerin τ_0 değerlerinin 10,61-33,10 Pa arasında değiştiği görülmektedir. Modifiye mısır nişastası kullanılan ketçap örneklerinin yapısındaki bozukluk ve bunun sonucuna bağlı olarak model katsayılarındaki tutarsızlık nedeniyle bu gam örneği istatistiksel analize uygun bulunmamıştır.

Mansouripoura ve diğ. (2016) modifiye nişastanın örneklerin fiziksel özelliklerini olumsuz etkilediğini ifade etmesinin yanı sıra reometre cihazında kullanılan prob ve plaka özellikleri de dikkate alınması gereken önemli bir husustur. Literatür kapsamında incelenen birçok çalışmada reolojik özelliklerin incelenmesi kapsamında düz paralel plaka ve problar kullanılmış ve olumlu sonuçlar elde edilmiştir. Fakat Mansouripoura ve diğ. (2016) yaptıkları çalışmada tırtıklı yüzey paralel plakalar

kullandığı görülmektedir. Bu araştırma kapsamında kullanılan probun özelliği konik olmasıdır. Konik probun modifiye mısır nişastası kullanılan ketçap örneği analizlerine uygun olmadığı görülmüştür. Ketçabın kalitesini belirleyen en önemli faktör viskozitedir. Tüm gıda ürünlerinin üretiminde olduğu gibi ketçap üretiminde de akış işlemleri çok önemli bir adımdır. Bu nedenle akış özelliklerinin belirlenmesinde ve gıda üretiminde en uygun gıda işleme ekipmanının seçilmesi ve ekonomik tasarımı da önemli bir adımdır.

Juszczak ve diğ. (2013) bir çalışmada farklı menşeli ticari modifiye nişastaların ketçabın reolojik özelliklerine etkisini incelemişlerdir. Çalışma sonucunda fiziksel olarak modifiye edilmiş nişasta eklenmiş ketçaplar, nişastaların botanik kökenli farklılıklarına rağmen, birbirlerine benzer reolojik özellikler göstermişlerdir. Diğer yandan kimyasal olarak modifiye edilmiş nişasta eklenmiş ketçapların reolojik özellikleri önemli ölçüde farklılaşmıştır. Bu durumda modifiye edilmiş nişastaların kıvamlaştırıcı ajan olarak kullanılmasında, modifikasyon yönteminin de önemli olduğu görülmektedir. Modifiye nişastalar, ticari üretim ketçaplarda çok tercih edilmektedir. Uygun bir prob–plaka seçimi ve modifikasyon yöntemi bilinen bir nişasta ile birlikte ketçabın reolojik özellikleri ayrıca araştırılmalıdır.

4.2 Kayma Hızı ve Kayma Gerilimi İlişkisi

Ketçap örneklerinin reolojik ölçümlerinin gerçekleştirildiği reometre cihazında kayma hızı aralığı 1-100 s^{-1} olarak belirlenmiş, ölçüm süresi boyunca her bir örnek için toplam 31 adet kayma gerilimi verisi kaydedilmiştir. Guar gam, ksantan gam ve modifiye mısır nişastası eklenmiş ketçap örneklerinin her bir sıcaklıktaki kayma hızı (s^{-1}) ve kayma gerilimi (Pa) grafikleri EK A'da verilmiştir. EK A'daki grafiklere karşılık gelen veriler incelendiğinde, her bir sıcaklıktaki başlangıç kayma hızında (1 s^{-1}) en düşük kayma gerilimine sahip örneğin ksantan gam eklenmiş ketçap olduğu görülmektedir. Bu örneği guar gam eklenmiş ketçap takip etmektedir. Bu iki örnekten farklı olarak modifiye mısır nişastası eklenmiş ketçabın kayma gerilimi, diğer iki örneğe kıyaysa çok fazladır. Kayma hızının artmasıyla kstantan gam ve guar gam eklenmiş ketçap örneklerinin kayma gerilimi de artmaktadır. Elde edilen grafik numunelerdeki plastik davranışı (kayma incelmesi) göstermektedir. Nitekim Choi and Yoo (2009) kompozit bir ürün olan salçaların, kayma incelmesi davranışlarının

akma gerilmesi ve sürekli kayma özellikleri ile birlikte hidrokolloid konsantrasyonunun bir işlevi olduğunu bildirmişlerdir.

Başlangıç kayma hızında olduğu gibi bitiş kayma hızında (100 s^{-1}) en düşük kayma gerilimine sahip örnek ksantan gam eklenmiş ketçaptır. Bu örneği guar gam eklenmiş ketçap takip etmektedir. Yine en yüksek kayma gerilimi değeri modifiye mısır nişastası eklenmiş ketçap örneğine aittir. Fakat kayma hızının artmasıyla birlikte modifiye mısır nişastası eklenmiş ketçap örneklerinin kayma gerilimi önce artmakta daha sonra azalmaktadır. Bu düşüş tüm sıcaklıklarda (34,1-46,4 s^{-1}) aralığındaki kayma hızlarında gerçekleşmektedir. Modifiye mısır nişastası için bu kayma hızlarından sonra elde edilen değerlerin sağlıksız olduğu varsayılmaktadır. Ölçüm sonucunda elde edilen veriler ile kayma hızına karşılık kayma gerilimi akış eğrileri çizilmiştir. EK A'da verilmiş olan guar gam, ksantan gam ve modifiye mısır nişastası eklenmiş ketçap örneklerinin her bir sıcaklıktaki akış eğrileri incelendiğinde, tüm sıcaklıklarda ki grafiklerin (guar gam ve ksantan gam için) Şekil 1.14'deki grafikteki psödoplatik akış grafiği ile uyuştuğu açıkça görülmektedir. Omidbakhsh amiri ve diğ. (2015) yaptıkları çalışmada benzer sonuçlar elde etmişlerdir. Modifiye mısır nişastası eklenmiş ketçap örneğinde ise kayma hızı artıkça kayma gerilimi önce artmış sonra azalışa geçmiştir. Kayma gerilimindeki bu azalma EK A'daki eğrilerden net bir şekilde görülebilmektedir. Modifiye mısır nişastası eklenmiş örneklerin değerlerinin çok farklı olması nedeniyle guar gam ve ksantan gam eklenmiş ketçap örneklerinin her bir sıcaklıktaki akış eğrileri ayrıca verilmiştir. 30 °C sıcaklıkta başlangıç kayma hızında (1 s^{-1}) guar gam ve ksantan gam eklenmiş ketçap örneklerinin kayma gerilimi değerlerinin birbirine yaklaştığı görülmektedir (guar gam: 42,87 Pa; ksantan gam: 41,99 Pa). Benzer şekilde 30 °C sıcaklıkta bitiş kayma hızındaki (100 s^{-1}) kayma gerilimi değerleri arasındaki farkın diğer sıcaklıklardaki farka oranla azaldığı da görülmektedir (guar gam: 127,7 Pa; ksantan gam: 99,52 Pa).

Kayma hızı ve kayma gerilimi arasındaki ilişkinin daha iyi anlaşılması açısından, ketçap örneklerinin 10 °C, 20 °C, 30 °C, 40 °C ve 50 °C sıcaklıklardaki kayma hızı (s^{-1}) ve kayma gerilimi (Pa) grafikleri EK C'de her bir gam için ayrı ayrı verilmiştir. Guar gam eklenmiş ketçap örnekleri için elde edilen grafiğe karşılık gelen veriler incelendiğinde, başlangıç kayma hızında (1 s^{-1}) en yüksek kayma gerilimi değerine (63,90 Pa) en düşük sıcaklıkta (10 °C) karşılaşılmıştır. Bununla birlikte sıcaklığın artmasıyla birlikte kayma gerilimi değerlerinde bir düşüş gözlemlenmektedir. Sadece

en yüksek sıcaklıkta (50 °C) az da olsa bir artış gözlemlenmektedir. Bu durum bitiş kayma hızında (100 s^{-1}) farklı bir yorum gerektirmektedir. Çünkü 40 °C'den sonra kayma hızının artmasıyla birlikte kayma geriliminde de az da olsa bir artış gözlemlenmektedir. Yani sıcaklığın 30 °C'nin üzerine çıkması ile birlikte kayma gerilimi değerlerinde düşüş değil artış görülmektedir. Ksantan gam eklenmiş ketçap örnekleri için edilen grafiğe karşılık gelen veriler incelendiğinde, guar gam örneğine benzer şekilde, başlangıç kayma hızında (1 s^{-1}) en yüksek kayma gerilimi değerine (45,29 Pa) en düşük sıcaklıkta (10 °C) karşılaşılmıştır. Bununla birlikte sıcaklığın artmasıyla birlikte kayma gerilimi değerlerinde bir düşüş gözlemlenmektedir. Yine guar gam örneğine benzer şekilde sadece en yüksek sıcaklıkta (50 °C) az da olsa bir artış gözlemlenmektedir. Bitiş kayma hızında (100 s^{-1}) sıcaklığın artmasıyla birlikte kayma gerilimi değerlerinde bir düşüş gözlemlenmekte ve en yüksek sıcaklıkta (50 °C) bu düşüş artışa çevrilmektedir. Modifiye mısır nişastası eklenmiş ketçap örnekleri için edilen grafiğe karşılık gelen veriler incelendiğinde, başlangıç kayma hızındaki (1 s^{-1}) kayma gerilimi değerlerinin, diğer iki örneğe göre çok yüksek olduğu görülmektedir. Başlangıç kayma hızında (1 s^{-1}) en yüksek kayma gerilimi değerine (1762 Pa) en düşük sıcaklıkta (10 °C) karşılaşılmıştır. Bununla birlikte sıcaklığın artmasıyla birlikte kayma gerilimi değerlerinde düzenli bir düşüş gözlemlenmektedir. Bitiş kayma hızında (100 s^{-1}) sıcaklığın artmasıyla birlikte kayma gerilimi değerlerinde öncelikle bir düşüş gözlemlenmekte ve diğer iki örnekte de olduğu gibi yüksek sıcaklıklarda (40 ve 50 °C) bu düşüş artışa çevrilmektedir. Gam eklenmiş ketçap örneklerinin her bir sıcaklıktaki akış eğrileri incelendiğinde, ketçap örneklerinin kayma incelmesi gösterdiği bildirilmiştir (Steffe, 1996). Modifiye mısır nişastası eklenmiş örneklerin yapısının bozulduğu da grafikten net bir şeklide görülmektedir.

4.3 Kayma Hızı ve Viskozite İlişkisi

Ketçap örneklerinin reolojik ölçümlerinin gerçekleştirildiği reometre cihazında kayma hızı aralığı 1–100 s^{-1} olarak belirlenmiş, ölçüm süresi boyunca her bir örnek için toplam 31 adet viskozite verisi kaydedilmiştir. Guar gam, ksantan gam ve modifiye mısır nişastası eklenmiş ketçap örneklerinin her bir sıcaklıktaki kayma hızı (s^{-1}) ve viskozite (Pa.s) verileri EK B'de olarak verilmiştir. EK B'deki grafiklere karşılık gelen veriler incelendiğinde, her bir sıcaklıktaki başlangıç kayma hızında (1

s^{-1}) en düşük viskoiziteye sahip örneğin ksantan gam eklenmiş ketçap olduğu görülmektedir. Bu örneği guar gam eklenmiş ketçap takip etmektedir. Achayuthakan ve Suphantharika (2008) ksantan gam zincirlerinin moleküler yapısı ve esnekliğindeki farklılıkların bir sonucu olarak amilopektin ve sakız molekülleri arasındaki farklı etkileşimler nedeniyle guar gamdan daha fazla viskozite oluşturabildiğini bildirmişlerdir. Araştırma sonuçları bu bilginin tersi bir sonuç vermektedir. Bunun yanısıra Alexander (1999), hidrokolloidlerin viskoziteyi arttırma özelliğinin kimyasal yapı, konsantrasyon, sıcaklık, akış hızı ve ortamda bulunan diğer bileşenler gibi faktörlere bağlı olduğunu bildirmiştir. Ayrıca aynı sayıda şeker molekülü içeren hidrokolloidlerden, lineer zincir yapısına sahip olanların, dallanmış zincir yapısında olanlara göre gıda sistemlerinde daha viskoz yapı geliştirdiklerini de bildirmiştir. Guar gam ksantan gama göre daha lineer molekül yapısına sahip olması nedeniyle, çalışmadan da görüleceği gibi viskoziteyi arttırma da daha etkili olmuştur.

Bu iki örnekten farklı olarak modifiye mısır nişastası eklenmiş ketçabın viskozite değeri diğer iki örneğe kıyaysa çok fazladır. Kayma hızının artmasıyla birlikte gam eklenmiş tüm ketçap örneklerinin viskozitesinde bir düşüş gözlemlenmektedir. Tüm sıcaklıklarda bitiş kayma hızındaki (100 s^{-1}) viskozite değerleri incelendiğinde, kstantan gam ve guar gam eklenmiş ketçap örnekleri viskozite değerlerinin birbirine yaklaştığı görülmektedir. Bununla birlikte modifiye mısır nişastası eklenmiş ketçap örneklerinin bitiş kayma hızındaki (100 s^{-1}) viskozite değerlerinin diğer iki örneğin viskozite değerlerinin yaklaşık 10 katı olduğu gözlemlenmiştir. Ölçüm sonucunda elde edilen veriler ile kayma hızına karşılık viskozite akış eğrileri çizilmiştir. Guar gam, ksantan gam ve modifiye mısır nişastası eklenmiş ketçap örneklerinin her bir sıcaklıktaki akış eğrileri EK B'de verilmiştir. Modifiye mısır nişastası eklenmiş ketçap örneğinin viskozite değerinin yüksekliği bu eğrilerden net bir şekilde görülebilmektedir.

Kayma hızı ve viskozite arasındaki ilişkinin daha iyi anlaşılması açısından, ketçap örneklerinin 10 °C, 20 °C, 30 °C, 40 °C ve 50 °C sıcaklıklardaki kayma hızı (s^{-1}) ve viskozite (Pa.s) verileri EK D'de her bir gam için ayrı ayrı verilmiştir. Guar gam eklenmiş ketçap örnekleri için elde edilen grafiğe karşılık gelen veriler incelendiğinde, başlangıç kayma hızında (1 s^{-1}) en yüksek viskozite değerine (63,90 Pa) en düşük sıcaklıkta (10 °C) karşılaşılmıştır. Bununla birlikte sıcaklığın artmasıyla birlikte viskozite değerlerinde bir düşüş gözlemlenmektedir. Sadece en

yüksek sıcaklıkta (50 °C) az da olsa bir artış gözlemlenmektedir. Bununla birlikte guar gam için bitiş kayma hızında (100 s^{-1}) tüm sıcaklıklarda viskozite değerleri yaklaşık olarak aynı değeri göstermektedir. Ksantan gam eklenmiş ketçap örnekleri için elde edilen grafiğe karşılık gelen veriler incelendiğinde, guar gam örneğine benzer şekilde, başlangıç kayma hızında (1 s^{-1}) en yüksek viskozite değerine (45,29 Pa.s) en düşük sıcaklıkta (10 °C) karşılaşılmıştır. Bununla birlikte sıcaklığın artmasıyla birlikte viskozite değerlerinde bir düşüş gözlemlenmektedir. Yine guar gam örneğine benzer şekilde sadece en yüksek sıcaklıkta (50 °C) az da olsa bir artış gözlemlenmektedir. Bitiş kayma hızında (100 s^{-1}) sıcaklığın artmasıyla birlikte viskozite değerlerinde bir düşüş gözlemlenmektedir. Değerler birbirine yakın olmakla birlikte 30 °C ve üstündeki sıcaklıklardaki viskozite değerleri 30 °C altındaki sıcaklıklardaki viskozite değerlerine göre daha düşüktür. Modifiye mısır nişastası eklenmiş ketçap örnekleri için elde edilen grafiğe karşılık gelen veriler incelendiğinde, başlangıç kayma hızındaki (1 s^{-1}) viskozite değerlerinin, diğer iki örneğe göre çok yüksek olduğu görülmektedir. Başlangıç kayma hızında (1 s^{-1}) en yüksek kayma gerilimi değerine (1762 Pa.s) en düşük sıcaklıkta (10 °C) karşılaşılmıştır. Bununla birlikte sıcaklığın artmasıyla birlikte viskozite değerlerinde düzenli bir düşüş gözlemlenmektedir. Bitiş kayma hızında (100 s^{-1}) sıcaklığın artmasıyla birlikte viskozite değerlerinde öncelikle bir düşüş gözlemlenmekte ve diğer iki örnekte de olduğu gibi yüksek sıcaklıklarda (40 ve 50 °C) bu düşüş artışa çevrilmektedir. Alexander (1999)'a göre hidrokolloidlerin %1'lik sulu çözeltilerinin viskozite değerleri guar gam > ksantan gam olarak sıralanmaktadır. Benzer sıralama bu çalışmada elde edilmiş olup, modifiye mısır nişastası için de ayrıca çalışma yapılması gerekmektedir. Guar gam ve ksantan gam eklenmiş ketçap örneklerinin viskozite değerleri birlikte ele alınarak istatistiksel analizleri yapılmış ve Tukey çoklu karşılaştırma testine tabi tutulmuştur. Bu veriler Çizelge 4.2'de verilmiştir.

Çizelge 4.2 : Viskozite değerlerine ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları.

Sıcaklık	Viskozite Değerleri	
	Guar Gam	Ksantan Gam
10°C	2,66 ± 0,026^{d}	1,92 ± 0,026^{b}
20°C	2,63 ± 0,026^{d}	1,87 ± 0,026^{b}
30°C	2,74 ± 0,026^{d}	1,80 ± 0,026^{ab}
40°C	2,36 ± 0,026^{c}	1,69 ± 0,026^{a}
50°C	2,48 ± 0,026^{c}	171, ± 0,026^{a}

Farklı harfler $p<0,05$ seviyesinde farklılık olduğunu göstermektedir.

Veriler incelendiğinde ksantan gam eklenmiş ketçap örneklerinin viskozitelerinin, analizin iki yüksek sıcaklığı olan 40° C ve 50 °C derecelerde benzerlik gösterdiği tespit edilmiştir. 30 °C'nin bu yüksek sıcaklıktaki verilere benzemekle birlikte, analizin iki düşük sıcaklığı olan 10 °C ve 20 °C ile de benzediği görülmektedir. Yine harflendirmeden görüleceği üzere 10 °C ve 20 °C ye ait örneklerde birbiriyle benzerdir. Guar gam ekli ketçap özelliklerinin viskozite değerleri incelendiğinde, benzer bir durum (30 °C hariç) söz konusudur. Yüksek sıcaklıktaki (40° C ve 50 °C) viskozite değerleri birbiriyle aynı harf değerlerini alırken, diğer sıcaklıklar (10 °C, 20 °C ve 30 °C) istatistiksel olarak birbiriyle aynı değerleri göstermektedir.

4.4 Akış İndeksi (n) Değerlerinin Karşılaştırılması

Araştırmada ketçap örneklerinin reolojik ölçümleri Anton Paar MCR 302 marka/model reometrede gerçekleştirilmiş ve bu ölçümler sonucu akış indeksi değerleri (n) reometre yazılımından elde edilmiştir. Bu değerler RStudio istatistik programında iki faktör ANOVA ve Tukey çoklu karşılaştırma testlerine tabi tutulmuştur. Bu değerlere ait sonuçlar Çizelge 4.3 ve Çizelge 4.4'de verilmiştir.

Çizelge 4.3 : Akış indeksi (n) değerlerine ait ANOVA testi sonuçları.

	Serbestlik Derecesi	Toplam Kare	Ortalama Kare	F Değeri
Gam	1	0,0209	0,0209	789,3*
Sıcaklık	4	0,0138	0,0035	130,6*
GamxSıcaklık	4	0,0139	0,0035	131,2*
Artık	70	0,0019	0,0000	

(*) p<0,05 seviyesinde farklılık olduğunu göstermektedir.

Çizelge 4.3'deki ANOVA testi sonuçlarına göre gam eklenmiş ketçap örneklerinin n değerleri üzerine gam, sıcaklık ve gam sıcaklık etkileşiminin p<0,05 seviyesinde önemli bir etkisinin olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 4.4 : Akış indeksi (n) değerleri (X±SH).

Sıcaklık	n Değerleri	
	Guar Gam	Ksantan Gam
10°C	$0,169 \pm 0,002^{a}$	$0,179 \pm 0,002^{b}$
20°C	$0,194\ \ 0,002^{c}$	$0,178 \pm 0,001^{b}$
30°C	$0,220 \pm 0,001^{d}$	$0,181 \pm 0,003^{b}$
40°C	$0,230 \pm 0,002^{e}$	$0,179 \pm 0,001^{b}$
50°C	$0,243 \pm 0,002^{f}$	$0,177 \pm 0,001^{ab}$

Farklı harfler p<0,05 seviyesinde farklılık olduğunu göstermektedir.

Çizelge 4.4‘e bakıldığında guar gam eklenen ketçap örneklerinin akış indeksi (n) değerlerinin 0,169 ile 0,243 arasında değiştiği, ksantan gam eklenen ketçap örneklerinin akış indeksi (n) değerlerinin 0,177 ile 0,181 arasında değiştiği görülmektedir. Her iki durumda da akış indeksi (n) değerlerinin <1 olması, ketçap örneklerinin Newton tipi olmayan davranışta bir akışkan olduğunu göstermektedir. Nitekim bazı araştırmacılar ketçabın psödoplastik davranış (kayma incelmesi) gösteren bir akışkan olduğunu bildirmişlerdir (Rani ve Bains 1987; Bottiglieri ve diğ. 1991; Singh Gujral ve diğ. 2002). Akış indeksi (n) değerleri kullanılan gama bağlı olarak değerlendirildiğinde, guar gam eklenerek elde edilen ketçap örneklerinin akış indeksi (n) değerleri sıcaklığa bağlı olarak artış göstermiştir. Ayrıca guar gam eklenerek elde edilen ketçap örneklerinin akış indeksi (n) değerlerinin $p<0,05$ seviyesinde farklı olduğu görülmektedir. Nitekim akış indeksinin kıvam indeksi kadar güçlü olmasa bile akışkan konsantrasyonu ve sıcaklık gibi faktörlere bağlı olarak değişebileceği bazı araştırmacılar tarafından bildirilmiştir (Gomez-Diaz ve Navaza, 2003). Fakat ksantan gam eklenerek elde edilen ketçap örneklerinin akış indeksi (n) değerleri sıcaklığa bağlı olarak değişkenlik göstermemiştir. Ksantan gam eklenerek elde edilen ketçap örneklerinin akış indeksi (n) değerlerinin $p<0,05$ seviyesinde farklı olmadığı yapılan istatistiksel analiz sonucunda da görülmektedir. Bazı araştırmacılar da akış indeksinin, akışkan konsantrasyonu ve sıcaklığından bağımsız olduğu bazı kaynaklarda belirtilmişlerdir (Rani ve Bains 1987; Bottiglieri ve diğ. 1991). Kısaca sıcaklık değişimi guar gam ekli ketçap örneklerinde önem arz ederken, ksantan gam ekli ketçap örneklerinde önem arz etmemektedir. Bunların yanı sıra Alexander (1999), akış indeksi değerlerinin kullanılan gam ve miktarına göre değişkenlik gösterebileceğini bildirmiştir. Bunların yanı sıra Takada ve Nelson (1983) domates ve ürünlerinde akış üzerine pulp miktarı ve çözünür pektin miktarının önemli bir etkisi olduğunu belirtmişlerdir. Tüm bu durumlar göz önüne alındığında ketçap formülasyonundaki en küçük farklılığın akış özelliklerini ve akış indeksi değerini etkilemesi normal olduğu düşünülmektedir.

Guar gam ve ksantan gam eklenmiş ketçap örneklerinin n değerleri birlikte ele alınarak istatistiksel analizleri yapılmış ve Tukey çoklu karşılaştırma testine tabi tutulmuştur. Bu teste ait veriler Çizelge 4.4’de harflendirme ile verilmiştir. Veriler incelendiğinde guar gam eklenmiş ketçap örneklerinin analizin en düşük sıcaklığı olan 10 °C deki n değeri ile, ksantan gam eklenmiş ketçap örneklerinin analizin en

yüksek sıcaklığı olan 50 °C deki n değeri istatistiksel olarak aynıdır. Yani guar gam ekli ketçap örneklerinde düşük sıcaklıklardaki n değerleri, ksantan gam ekli ketçap örneklerinde ancak yüksek sıcaklıklarda yakalanabilmiştir. Ksantan gam ekli ketçap örneklerinin n değerleri diğer sıcaklık değişimleriyle etkilenmemiş, en düşük sıcaklıktan en yüksek sıcaklığa kadar istatistiksel olarak aynı değeri göstermiştir. Guar gam ekli ketçap örneklerinde ise tam tersi bir durum söz konusudur. Her sıcaklık değişimiyle birlikte n değerleri de istatistiksel olarak değişim göstermektedir.

4.5 Görünür Viskozite (η_{50}) Değerlerinin Karşılaştırılması

Ağızdaki kayma hızına karşılık gelen 50 s^{-1} kayma hızındaki görünür viskozite değerleri (η_{50}) reometre yazılımından elde edilmiştir. Bu değerler RStudio istatistik programında iki faktör ANOVA testine tabi tutulmuştur. Bu değerlere ait sonuçlar Çizelge 4.5 ve Çizelge 4.6'da verilmiştir. Kayma hızının 50 s^{-1} olarak seçilmesinin nedeni, bu kayma hızının ağızdaki kayma hızı olarak kabul edilmesidir (Rao ve Tattiyakul 1999).

Çizelge 4.5 : Görünür viskozite (η_{50}) değerlerine ait ANOVA testi sonuçları.

	Serbestlik Derecesi	Toplam Kare	Ortalama Kare	F Değeri
Gam	1	12,12	12,12	2227,33*
Sıcaklık	4	0,878	0,220	40,37*
GamxSıcaklık	4	0,159	0,040	7,33*
Artık	70	0,381	0,005	

(*) $p<0,05$ seviyesinde farklılık olduğunu göstermektedir.

Çizelge 4.5'deki ANOVA testi sonuçlarına göre gam eklenmiş ketçap örneklerinin η50 değerleri üzerine gam, sıcaklık ve gam sıcaklık etkileşiminin, $p<0,05$ seviyesinde önemli bir etkisinin olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 4.6 : Görünür viskozite (η_{50}) değerleri (X±SH).

Sıcaklık	η_{50} Değerleri	
	Guar Gam	Ksantan Gam
10°C	$2,66 \pm 0,024^{ab}$	$1,92 \pm 0,018^{a}$
20°C	$2,63 \pm 0,039^{b}$	$1,87 \pm 0,016^{b}$
30°C	$2,74 \pm 0,024^{a}$	$1,80 \pm 0,010^{c}$
40°C	$2,36 \pm 0,036^{d}$	$1,69 \pm 0,009^{d}$
50°C	$2,48 \pm 0,043^{c}$	$1,71 \pm 0,015^{d}$

Farklı harfler $p<0,05$ seviyesinde farklılık olduğunu göstermektedir.

Çizelge 4.6'da η_{50} değerleri ketçap formülasyonunda kullanılan gam maddesine bağlı olarak değerlendirilmiştir. Guar gam eklenerek elde edilen ketçap örneklerinin η_{50} değerlerinin sıcaklıklara bağlı olarak $p<0,05$ seviyesinde farklı olduğu görülmektedir. Ksantan gam eklenerek elde edilen ketçap örneklerinin η_{50} değerleri düşük sıcaklıklarda (10°C, 20°C ve 30°C) $p<0,05$ seviyesinde farklılık gösterirken, sıcaklığın yükselmesiyle (40°C ve 50°C) birlikte bu farklılık da ortadan kalkmıştır.

4.6 Kıvam İndeksi (K) Değerlerinin Karşılaştırılması

Araştırmada ketçap örneklerinin reolojik ölçümleri Anton Paar MCR 302 marka/model reometrede gerçekleştirilmiş ve bu ölçümler sonucu kıvam indeksi değerleri (K) reometre yazılımından elde edilmiştir. Bu değerler RStudio istatistik programında iki faktör ANOVA ve Tukey çoklu karşılaştırma testlerine tabi tutulmuştur. Bu değerlere ait sonuçlar Çizelge 4.7 ve Çizelge 4.8'de verilmiştir.

Çizelge 4.7 : Kıvam indeksi (K) değerlerine ait ANOVA testi sonuçları.

	Serbestlik Derecesi	Toplam Kare	Ortalama Kare	F Değeri
Gam	1	3460	3460	928,63*
Sıcaklık	4	2038	510	136,73*
GamxSıcaklık	4	654	163	43,87*
Artık	70	261	4	

(*) $p<0,05$ seviyesinde farklılık olduğunu göstermektedir.

Çizelge 4.7'de ketçap örneklerine ait anova testi sonuçları verilmiştir. Buna göre gam eklenmiş ketçap örneklerinin K değerleri üzerine gam, sıcaklık ve gam sıcaklık etkileşiminin $p<0,05$ seviyesinde önemli bir etkisinin olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 4.8 : Kıvam indeksi (K) değerleri (X±SH).

Sıcaklık	K Değerleri	
	Guar Gam	Ksantan Gam
10°C	$70,09 \pm 1,057^{e}$	$48,48 \pm 0,426^{c}$
20°C	$63,09 \pm 0,827^{d}$	$47,49 \pm 0,425^{bc}$
30°C	$60,13 \pm 0,430^{d}$	$45,09 \pm 0,625^{ab}$
40°C	$49,89 \pm 0,921^{c}$	$42,66 \pm 0,278^{a}$
50°C	$49,63 \pm 0,882^{c}$	$43,36 \pm 0,463^{a}$

Farklı harfler $p<0,05$ seviyesinde farklılık olduğunu göstermektedir.

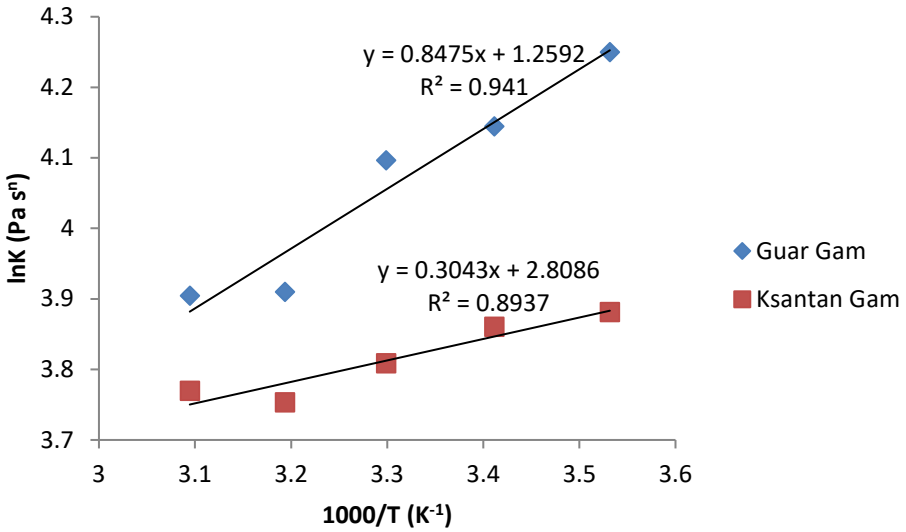
Çizelge 4.8'e bakıldığında guar gam eklenen ketçap örneklerinin kıvam indeksi değerlerinin 70,09 ile 49,63 arasında değiştiği, ksantan gam eklenen ketçap örneklerinin kıvam indeksi değerlerinin 48,48 ile 42,66 arasında değiştiği

görülmektedir. Guar gam ve ksantan gam eklenmiş ketçap örneklerinin K değerleri birlikte ele alınarak istatistiksel analizleri yapılmış ve Tukey çoklu karşılaştırma testine tabi tutulmuştur. Bu teste ait veriler Çizelge 4.4'de harflendirme ile verilmiştir. Veriler incelendiğinde ksantan gam eklenmiş ketçap örneklerinin K değerlerinin, analizin iki yüksek sıcaklığı olan 40° C ve 50 °C derecelerde benzerlik gösterdiği tespit edilmiştir. 30 °C'nin bu yüksek sıcaklıktaki verilere benzemekle birlikte, 20 °C de ki K değeri ile benzediği görülmektedir. 10 °C de ki K değeri, 20 °C de ki K değeri ile benzemekle birlikte; guar gam eklenmiş ketçap örneklerinin 40° C ve 50 °C de ki K değerleri ile de istatistiksel olarak aynıdır. Yani ksantan gam ekli ketçap örneklerinde düşük sıcaklıklardaki K değerleri, guar gam ekli ketçap örneklerinde ancak yüksek sıcaklıklarda yakalanabilmiştir. Guar gam ekli ketçap örneklerinin K değerleri 20° C ve 30 °C de aynı iken en düşük sıcaklık olan 10 °C de diğer tüm değerlerden yüksek ve istatistiksel olarak farklı bir değer almıştır. Rani ve Bains, (1987) ketçaplarda K değerinin konsantrasyon, sıcaklık, pulp miktarı ve çözünür pektin miktarı gibi faktörlerden etkilendiğini bildirmişlerdir. Ayrıca bu faktörlerden sıcaklık artıkça K değerinin azaldığını ve diğer faktörler arttıkça ise K değerinin arttığı aynı araştırmacılar tarafından bildirilmektedir. Her iki gam maddesi için sıcaklığın artmasıyla birlikte K değerlerinde bir düşüş gözlemlenmiştir. Birbirine yakın sıcaklıklarda K değerinin değişmemesi ise ketçap örneklerinin konsantrasyon, pulp miktarı ve çözünür pektin miktarı gibi faktörlerden etkilendiği düşünülerek açıklanabilir.

4.7 Ea ve K_0 Değerlerinin Karşılaştırılması

Viskozite sıcaklık ile birlikte azalmaktadır, işte bu tür akışkan gıdaların akış davranışındaki sıcaklığın etkisi, Arrhenius ilişkisi ile tanımlanmaktadır. (Canovas ve Peleg, 1983; Singh ve Eipeson, 2000; Yoo, 2001; Sharoba, ve diğ. 2005). Arrhenius denklemi Denklem 1.17'de verilmiştir.

Sıcaklığın viskoziteye etkisi Power Law modeline göre elde edilmiş viskozite değerleri kullanılarak incelenmiş, Arrhenius denklemi yardımıyla 1000/T ile $\ln K_0$ arasında çizilen grafiklerin eğiminden Ea değerleri hesaplanmıştır. 1000/T ile $\ln K_0$ arasında çizilen grafik ise Şekil 4.3'de, hesaplanan Ea ile $\ln K_0$ değerleri Çizelge 4.9'da verilmiştir.



Şekil 4.3 : Ketçap örneklerinin sıcaklık-viskozite ilişkisi grafikleri

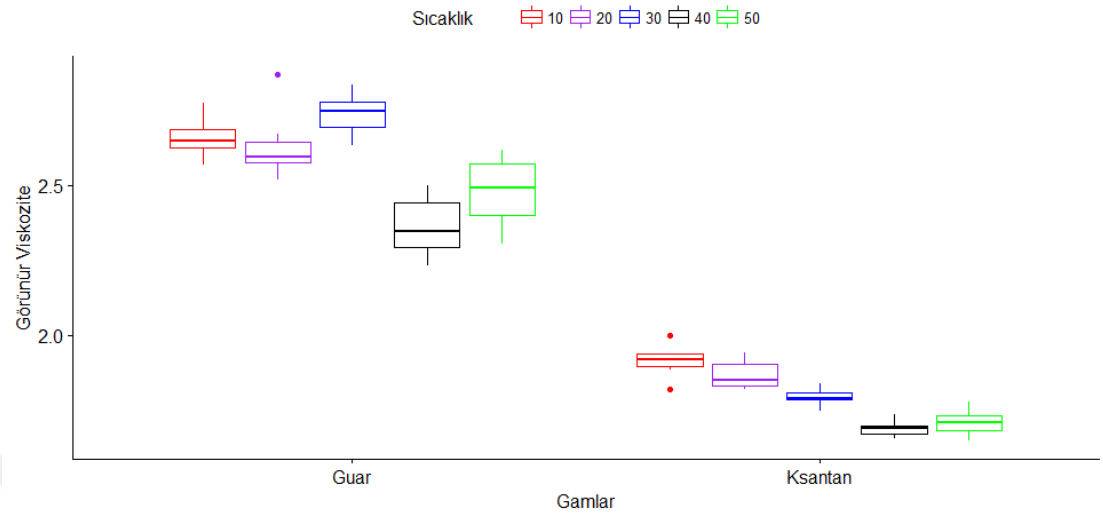
Elde edilen veriler ile RStudio istatistik programında bağımsız iki örneklem için t-testi uygulanmıştır. Hem Ea değeri ($p<0,01$) hem de K_0 değeri ($p<0,001$) için p değerleri 0,05 değerinde küçük çıkmıştır. Böylece farklı gam kullanımının Ea ve K_0 değerleri üzerinde önemli bir etkisinin olduğu belirlenmiştir. Bu veriler Çizelge 4.9'da verilmiştir.

Çizelge 4.9 : Farklı gam eklenmiş ketçap örneklerine ait Ea ve K_0 değerleri (X±SH).

	K_0 (Pa.s^n)	Ea (kJ.mol^{-1})	R^2
Guar gam	3,39±0,47	7,06±0,44	0,919±0,01
Ksantan gam	18,70±0,93	2,25±0,12	0,710±0,05

Elde edilen bu bulgular Koocheki ve diğ, (2009) yaptığı çalışma ile karşılaştırılmıştır. Çalışmada %1'lik guar gam ilavesi ile elde edilen ketçabın Ea değeri 9,84 kJ.mol^{-1} bulunurken, K_0 değeri 0,41 Pa.s^n olarak bulunmuştur. %1'lik ksantan gam ilavesi ile elde edilen ketçabın Ea değeri 6,51 kJ.mol^{-1} bulunurken, K_0 değeri 1,86 Pa.s^n olarak bulunmuştur. Bu değerler Çizelge 4.9'daki değerler ile karşılaştırıldığında guar gam ilaveli ketçabın Ea değeri ile yaklaşık bir değer göstermektedir. Koocheki ve diğ, (2009) ksantan gamın en düşük Ea değerlerini verdiği sonucuna varmıştır. Benzer bir sonuç bu çalışmada da görülmektedir. Genel olarak, aktivasyon enerjisi ne kadar yüksek olursa, sıcaklığın viskoziteye daha fazla etkisi olduğu bilinmektedir. Ayrıca yüksek R^2 değerleri, ketçapların sıcaklık ile olan

görünür viskozitesinin Arrhenius tipi davranışa uygunluğunu göstermektedir (Mohd. Nurul ve diğ, 1999).



Şekil 4.4 : Viskozite-sıcaklık ilişkisine ait box plot grafikleri

Sıcaklık artışının bir sonucu olarak viskozitedeki gözlemlenen farklılıklar, termal genleşmeye bağlı olarak molekül içi mesafelerde ki artışa bağlanabilir (Constenla ve diğ, 1989). Moleküllerin ısıl enerjisi, sıcaklık arttıkça artar ve moleküler-arası kuvvetler azaltıldığı için moleküler mesafelerin gelişmesine neden olmakta dolayısıyla sıvının viskozitesi azalmaktadır (Hassan ve Hobani, 1998; Arslan ve diğ, 2005). Sıcaklığın viskozite üzerine etkisinin yanı sıra n (akış indeksi) ve K (kıvam indeksi) değerlerine etkisi RStudio istatistik programında Regresyon analizi ile gerçekleştirilmiş ve guar gam ve ksantan gam eklenmiş ketçap örneklerinin viskozite-sıcaklık ilikşine ait p değerlerinin 0,05'ten küçük olması her iki gam için de sıcaklığın ketçabın viskozitesi üzerinde önemli bir etkisinin olduğu tespit edilmiştir. Guar gam ve ksantan gam eklenmiş ketçap örneklerinin akış indeksi sıcaklık ilişkisine ait regresyon analizleri gerçekleştirilmiştir. Guar gama ait p değerinin 0,05'ten küçük olması, sıcaklığın n değeri üzerinde önemli bir etkisinin olduğunu göstermektedir. Fakat aynı etkiyi ksantan gama ait p değeri için söylemek mümkün değildir çünkü p değeri 0,05'ten büyüktür. Guar gam ve ksantan gam eklenmiş ketçap örneklerinin kıvam indeksi sıcaklık ilişkisine ait regresyon analizleri gerçekleştirilmiştir. Guar gam ve ksantan gam eklenmiş ketçap örneklerinin k değerlerinin sıcaklık ilikşine ait p değerlerinin 0,05'ten küçük olması her iki gam için de sıcaklığın K değerleri üzerinde önemli bir etkisinin olduğu göstermektedir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Araştırma kapsamında hazırlanan ketçap örneklerine ön denemeler sonucu %1'lik kıvam arttırıcı madde (guar gam, ksantan gam ve modifiye mısır nişastası) eklenmesine karar verilmiştir. Ketçap örneklerinin reolojik ölçümleri reometre cihazı kullanılarak, 5 farklı sıcaklıkta (10, 20, 30, 40 ve 50 °C) gerçekleştirilmiştir. Kayma hızı (shear rate) aralığı 1-100 s^{-1} olarak belirlenmiştir. Reometre cihazının yazılım programından elde edilen veriler ile istatistik analizler gerçekleştirilmiştir.

Guar gam ve ksantan gam eklenen ketçap örneklerinin psödoplastik davranış gösterdiği belirlenmiştir. Bu bilgi literatürde bulunan çalışmalar ile uyum göstermektedir. Ancak modifiye mısır nişastası eklenmiş ketçap örneklerinin işlem başlangıcında diğer iki örneğe benzer davranış gösterdiği, daha sonra yapısal bütünlüğünün bozulduğu görülmektedir. Modifiye ürünlerin kimyasal yapının çok kompleks olması ve lineer zincir yapısına sahip olan gamların, dallanmış zincir yapısında olanlara göre gıda sistemlerinde daha viskoz yapı geliştirdikleri göz önüne alındığında; modifiye mısır nişastası ile kıvam stabilitesinin sağlanabilmesi için miktarı arttırılabilir. Bunun yanı sıra literatürde reometre ile yapılan çalışmalarda kullanılan prob-plaka özellkilerine çok az rastlanılmaktadır. Reometre cihazında kullanılan probun, analiz edilecek örneğe uygun olarak seçilmesi önemlidir. Nitekim önceki çalışmalarda kullanılan tırtıklı yüzey paralel plaka ve bu çalışma kapsamında kullanılan konik probun modfiye mısır nişastası için uygun olmadığı tespit edilmiştir. Ketçabın kalitesini belirleyen en önemli faktör viskozitedir ve ketçap üretiminde de akış işlemleri çok önemli bir adımdır. Bu nedenle akış özelliklerinin belirlenmesinde ve gıda üretiminde en uygun gıda işleme ekipmanının seçilmesi ve ekonomik tasarımı da önemli bir adım olduğu düşünülmektedir.

Bu üç gam içinde en iyi kıvamı guar gamın ve sıcaklığın guar gam eklenmiş ketçap örneklerinin reolojik katsayılarına (K ve n gibi) en iyi etkiyi gösterdiği tespit edilmiştir. Bunun yanı sıra ksantan gam eklenmiş ketçap örneklerinin K değerlerini, guar gamdaki kadar olmasa da sıcaklığın etkilediği, n değerlerini ise etkilemediği görülmüştür.

Modifiye mısır nişastası ile çalışmanın zorluğunun yanı sıra konik probun nişasta ile uyumsuzluğu nedeniyle istenilen sonuca varılamamıştır. Bu da uygun plaka-prob seçilerek yeni bir çalışma alanına zemin hazırlamaktadır. Modifiye nişastaların modifikasyon yönteminin de ketçabın reolojik özellikleri üzerine önemli bir etkisinin olduğu düşünülürse, farklı bir çalışma konusu ortaya çıkmaktadır. Son olarak gıda ürünlerinin buzdolabı sıcaklığında (+4 °C) muhafaza edildiği göz önüne alınırsa, reolojik analizde uygulanan sıcaklıklarda değişime gidilebilir. Böylece bir domates ürünü olan ketçabın buzdolabı sıcaklığındaki reolojik davranışı gözlemlenbilir.

KAYNAKLAR

Abu-Jdayil, B. (2003). Modelling the time-dependent rheological behavior of semisolid foodstuffs, *Journal of Food Engineering*, *57*, 97–102.

Achayuthakan, P. & Suphantharika, M. (2008). Pasting and rheological properties of waxy corn starch as affected by guar gum and xanthan gum, *Carbohydr Polyers, 71* (1), 9–17.

AFKA. (1990). Akpınar Zirai İstihsal ve Konservecilik A.Ş. (AFKA). Eğitim Yayınları, Balıkesir.

Ahmed, J. (2004). Effect of Temperature on Rheological Characteristic of Ginger Paste, *Emirates Journal of Food and Agriculture Science*, *16* (1), 43-49.

Ahmed, J., Shivhare, U. S., Singh, P. (2004). Colour kinetics and rheology leaf puree and storage characteristics of the paste, *Food Chemistry, 84*, 605–611.

Ak, M. M. (1997). Reoloji bilim dalı ve gıda endüstrisi, *Gıda ve Teknoloji, 2* (4), 36-46.

Alexander, R. J. (1999). Hydrocolloid Gums-Part I, Natural Products, *Cereal Foods World*, *44*, 684–687.

Alpyörük, G. (2013). *Farklı konsantrasyonlardaki Afyon Kaymağı-Bal Karışımlarının Depolama Koşullarında Reolojik Karakterlerinin İncelenmesi* (Yüksek Lisans Tezi). Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar.

Altan, A., Kus, S., Kaya, A. (2005). Rheological behaviour and time dependent characterisation of Gilaboru Juice (Viburnum opulus L.), *Food Science and Technology International, 11,* 129–137.

Altuğ, T., Ova, G., Demirağ, K., Kurtcan, Ü. (1995). *Gıda Kalite Kontrolü.* Ege Üniversitesi Basımevi, İzmir, 157.

Anonim. (2017). Erişim: 03 Haziran 2017, http://content.lms.sabis.sakarya.edu.tr/Uploads/40013/30748/ni%C5%9Fasta_2.pdf

Arslan, E. (2003). *Rheological Characterization of Tahin/Pekmez Blends* (Yüksek Lisans Tezi). Orta Dogu Teknik Üniversitesi, Ankara.

Arslan, E., Yener, M. E., Esin, A. (2005). Rheological characterization of tahin/pekmez (sesame paste/concentrated grape juice) blends, *Journal of Food Engineering, 69,* 167–172.

Avenue, N. W. & Washington, D. C. (2006). *Corn starch*. Pennsylvania, CRA.

Azero, E. G. & Andrade, C. T. (2002). Testing prosedures for galactomannan purification, *Polymer Testing, 211,* 551-556.

Barbosa-Canovas, G. V. & Ibarz, A. (2002). Rheology of Food Products. *Unit Operations in Food Engineering*. CRC Press, 89–142.

Batu, A. (2006). Türk lokumu üretim teknigi ve kalitesi, *Gıda Teknolojileri Elektronik Dergisi, 1,* 35–46.

Bayod, E., Willers, E. P., Tornberg, E. (2008). Rheological and structural characterization of tomato paste and its influence on the quality of ketchup. *LWT - Food Science and Technology, 41* (7), 1289–1300. doi: 10.1016/j.lwt.2007.08.011.

Bhattacharya, S. (1999). Yield stress and time-dependent rheological properties of mango pulp, *Journal of Food Science*, *64* (6), 129-133.

Bottiglieri, P., DeSio, F., Fasanaro, G., Mojoli, G., Impembo, M., Castaldo, D. (1991). Rheological characterization of ketchup, *Journal of Food Quality, 14,* 497-512.

Bourne, M. C. (2002). Food Texture and Viscosity, Concept and Measurement. *Elsevier Science and Technology Books*, 423.

Budak, Ş. (1998). Marmara Bölgesi Domates Yetiştiriciliği ve Domates Ürünleri Üzerinde Çalışma. Tarımın Verimlilik Sempozyumu, Bursa.

Canovas, G.V. & Peleg, M. (1983). Flow parameters of selected commercial semi-liquid food products, *Journal of Texture Studies, 14,* 213-234.

Cemeroğlu, B. & Acar, S. (1986). *Meyve ve Sebze İşleme Teknolojisi*. Gıda Teknolojisi Derneği, Yayın No. 6, Ankara.

Cemeroğlu, B., (1992). Meyve *ve Sebze İşleme Endüstrisinde Temel Analiz Metotları.* Biltav Yayınları, Ankara.

Cemeroğlu, B., Karadeniz, F., Özkan, M. (2003). *Meyve ve Sebze İşleme Teknolojisi.* Gıda Teknolojisi Derneği Yayınları, Yayın No. 28, Ankara.

Cengiz, E. (2010). *Yabani Keçiboynuzu (Gleditsia Triacanthos) Çekirdeklerinden Gam Üretimi ve Bazı Gamlar ile Sinerjik Etkilerinin Reolojik Yönden İncelenmesi* (Yüksek Lisans Tezi). Erciyes Üniversitesi, Fen Filimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Kayseri.

Chaffai, A.H. (1991). A comparative study of the rheology of four semi-solid foods, *Sciences-des-Aliments, 11* (4) 673-681.

Choi H.M. & Yoo, B. (2009). Steady and dynamic shear rheology of sweet potato starch xanthan gum mixtures, *Food Chemistry, 116* (3), 638–643.

Codex Alimentarius. (1981). *Codex Standart For Processed Tomato Concantrates.* Codex Alimentarius Commission Standarts (Codex Stan 57-1981).

Collins, heila D. (1995). *Let eat them ketchup.* Monthly Review Press, New York.

Constenla, D. T., Lozanno, J. E., Crapiste, G. H. (1989). Thermophysical properties of clarified apple juice as a function of concentration and temperature, *Journal of Food Science, 54,* 663–668.

Cottrel, I. W. & Kovacs, P. (1997). *Food Colloids* (Graham H. D., Ed.). The AVI Publishing Company Inc., 438–46.

Çelebi, N. (2009). Emülsiyonlar, Modern Farmasötik Teknoloji. *Türk Eczacılar Birliği Eczacılık Akademisi Yayını,* Ankara, 2. Baskı, 276-299.

Decoteaue, D. R. (2000). *Vegetable Crops*. Prentice-Hall, Inc., Upper Saddle River. New Jersey, USA.

Den Ouden, F. W. C. & Van Vliet, T. (2002). Effect of concentratşon on the rheology and serum separation of tomato suspensions, *Journal of Texture Studies, 33,* 91-104.

Derci, B. (2012). Erişim: 02 Ekim 2017, http://bugraderci.blogspot.com.tr/2012/06/domatesin-tarihi.html

Dogan, M. & Kayacıer, A. (2004). Rheological properties of reconstituted hot salep beverage, *International Journal of Food Properties, 7* (3), 683-691.

Dziezak, J. D. (1991). A focus on gums, *Food Technology, 45* (3), 116-130.

EL-Desouky, A. (2008). Effect of hydrocolloids addition on rheological properties, and sensory quality of tomato ketchup during storage, *Bu.Edu.Eg*, 1–23.

Erkek, J. (2003). *Puding Tipi Ürünlerde Reolojik Özelliklerin Objektif ve Subjektif Yöntemlerle Saptanması* (Yüksek lisans tezi). Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.

Erol, M. & Koçak, E. (2004). *Katı Su Karısımlarının Reolojik Davranıslarının İncelenmesi* (Yüksek Lisans Tezi). Ankara Üniversitesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Ankara.

Farahnaky, A., Abbasi, A., Jamalian, J., Mesbahi, G. (2008). Agent in formulation of tomato ketchup, *Journal of Texture Studies, 39,* 169–182.

Fito, P. J., Clemente, G., Sanz, F. J. (1983). Rheological behavior of tomato concentrate, *Journal of Food Engineering, 2,* 51–62.

Francis, F. J. (2000). *Wiley Encyclopedia of Food Science and Technology*. 2nd Edition, Edited by Francis, F. J., John Wiley & Sons, Inc., New York, USA.

Geankoplis, C. J. (1993). *Transport Processing and Unit Operations*. PTR Prentice-Hall, Inc, third edition.

Glicksman, M. (1991). Hydrocolloids and Search for The "Oily Grail", *Food Technology, 45,* 96–103.

Gomez-Diaz, D. & Navaza, J. M. (2003). Rheology of aqueous solutions of food additives: Effect of concentration, temperature and blending, *Journal of Food Engineering, 56,* 387–392.

Gökalp, H. Y., Kaya, M., Zorba, Ö. (1994). *Et Ürünleri İşleme Mühendisliği.* Atatürk Üniversitesi, Yayın no 786, Erzurum, *107,* 213–216.

Gülen, A. (2010). *Yoğurtlu Dondurma Üretimi ve Reolojik Özellikleri* (Yüksek Lisans Tezi). Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Bolu.

Günay, A. (2005). *Sebze Yetiştiriciliği. Cilt:II. Özel Sebze Yetiştiriciliği.* İzmir.

Güven, A. N. (2010). *Mesir Macunu Antioksidan Aktivitesinin ve Reolojik Özelliklerinin Belirlenmesi* (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.

Hammaddeler. (2014a). Tito Guar Gam. Erişim: 03 Ocak 2018, https://magaza.hammaddeler.com/Tito-Guar-Gam-Gida-Tipi-100-gr,PR-31725.html

Hammaddeler. (2014b). Tito Modifiye Mısır Nişastası. Erişim: 03 Ocak 2018, https://magaza.hammaddeler.com/Tito-Modifiye-Misir-Nisastasi-Gida-Tipi-100-

gr,PR-53027.html

Hammaddeler. (2016). Tito Ksantan Gam Erişim: 03 Ocak 2018, https://magaza.hammaddeler.com/Tito-Ksantan-Gam-Xanthan-Gum-Gida-Tipi-100-gr,PR-31724.html

Haris, J. (1977). *Rheology and Non-newtonian Flow*. 2Longman, London.

Hassan, B. H., Hobani, A. I. (1998). Flow properties of roselle (Hibiscus sabdariffa L.) extract, *Journal of Food Engineering, 35,* 459–470.

Howard, A. B. (1999). The yield stress—a review or "παντα ρ ι"—everything flows?', *Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics, 81* (1-2), 133-178.

Ibarz, A. & Barbosa-Canovas, G.V. (2003). Rheology of Food Products. *Unit Operations in Food Engineering*. CRC Press, LLC. Florida, USA.

Ibarz, A., Gonzalez, C., Esplugas, S. (1994). Rheology of clarified fruit juices. III: Orange juices, *Journal of Food Engineering, 21,* 485–494. doi:10.1016/0260-8774(94)90068-X.

Işıklı, N. D. & Karababa, E. (2005). Rheological characterization of fenugreek paste (çemen), *Journal of Food Engineering, 69,* 185–189.

İçier, F. & Bozkurt, H. (2009). *Ohmik Isıtma Uygulamasının Kayısı Püresi Örneklerinin Reolojik Özellikleri Üzerine Etkisi*. 6.Gıda Mühendisliği Kongresi, 6-08 Kasım 2009, Antalya, 73–79.

İGEME. (1995). Domates Salçası Ürün Profili. Türkiye Cumhuriyeti Dış Ticaret Müsteşarlığı İhracatı Geliştirme Etüd Merkezi (İGEME), Ankara.

Jaros, D. & Rohm H. (2003). The rheology and textural properties of yoghurt. (McKenna B.M., Ed.). *Texture in Food.* Vol 1. Semi-solid Foods. Chapter 13. CRC Press, New York.

Juszczak L., Oczadły Z., Gałkowska, D. (2013). Effect of Modified Starches on Rheological Properties of Ketchup, *Food Bioprocess Technoogyl, 6,* 1251–1260. doi: 10.1007/s11947-012-0813-x.

Kantekin Erdoğan, M. N. (2014). *Kısmi Gliseritlerin Mayonezin Emülsiyon Stabilitesi ve Reolojisi Üzerine Etkisi* (Yüksek Lisans Tezi). Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Karaman, N. (2011). *Salep ve Bazı Stabilizatörlerin Maraş Dondurmasının Çeşitli Nitelikleri Üzerine Etkilerinin Belirlenmesi* (Yüksek lisans tezi). Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş.

Karaoğlu, M. M., Kotancılar, H. G., Çelik, İ. (1998). Modifiye nişasta eldesi ve fırın ürünlerinde kullanımı, *Atatürk Üniv. Ziraat Fak. Dergisi, 29* (2), 359-368, Erzurum.

Kasnak, C. (2009). *Dondurulmuş Organik Vişneden Depolama Süresince Bazı Duyusal, Yapısal ve Reolojik Özellikleri* (Yüksek Lisans Tezi). Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon.

Kawamura, Y. P. D. (2008). Guar gum chemical and technical assessment, 69th JECFA, Guar Gum (CTA), 4.

Keskin, G. (2010). Türkiye'de domates salça sanayi ve iç piyasada fiyat değişimleri, *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi, 20* (3), 214-221, Van.

Keskin, H. (1975). *Gıda Kimyası*. İ.Ü. Yayınları, Yayın no: 1980, Kimya Fakültesi, 23, 222.

Kılıç, O., Başoğlu, F., Çopur, U. (1997). Meyve ve Sebze İşleme Teknolojisi, Ders Notları No. 74, Uludağ Üniversitesi, Bursa.

Kılıçkaya, Z. (2006). *Ketçapta Mikrobiyolojik Raf Ömrü* (Yüksek Lisans Tezi). Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Ankara.

Koçak, E. (2004). *Katı Su Karışımlarının Reolojik Davranışlarının İncelenmesi* (Yüksek Lisans Tezi). Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara.

Koocheki A., Ghandi A., Razavi S. M. A., Mortazavi S.A., Vasiljevic T. (2009). The rheological properties of ketchup as a function of different hydrocolloids and temperature, *International Journal of Food Science and Technology*, *44* (3), 596–602. doi: 10.1111/j.1365-2621.2008.01868.x.

Kök, M. Ş., Hill, S. E., Mitchell, J. R. (1999). Viscosity of galactomannans during high temperature processing: Influence of degradation and solubilization, *Food Hydrocolloids, 13,* 535-542.

Köksel, H. (2007). Karbonhidratlar, (Saldamlı, İ., Ed.) *Gıda Kimyası*. Hacettepe Üniversitesi Yayınları, Ankara, 49–129.

Krishanaiah, Y. R. S., Satyanarayana, S., Rama-Prasad Y. V., Narasımha-Rao, S. (1998). Evaluation of guar gum as a compression coat for drug targeting to colon, *International Journal of Pharmaceutics, 171,* 137-146.

Kumru, A. (2013). *Elektroüretimle Nanolif Eldesine Etki Eden Faktörlerin ve Jelatin-pektin İçeren Nanoliflerin Model Gıdaların Reolojik Özelliklerine Etkilerinin İncelenemsi* (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.

lm-Emsap, W., Siepmann, J., Paeratakul, O. (2002). Disperse Systems, *Modern Pharmaceutics.* Fourth Ed., Marcel Dekker Inc., 237-285, New York.

Lokumcu, F. (2000). *Tahinin Reolojik Karakterizasyonu* (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniveritesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,Gıda ühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.

Lokumcu-Altay, F. & Ak, M. M. (2005). Effects of temperature, shear rate and constituents on rheological properties of tahin (sesame paste), *Journal of the Science of Food and Agriculture, 85,* 105–111.

Maceiras, R., Alvarez, E., Cancela, M. A. (2007). Rheological properties of fruit purees: Effect of cooking, *Journal of Food Engineering, 80,* 763–769.

Macosko, C. W. (1994). Rheology: principles, measurements and applications. Wiley-VCH, 550, New York.

Mansouripoura, S., Mizania, M., Rasoulib, S., Geramic, A., Sharifana, A. (2016). Effect of Inulin and Galactooligosaccharides on Particle Size Distribution and Rheological Properties of Prebiotic Ketchup, *International Journal of Food Properties,* doi: 10.1080/10942912.2016.1152478.

Marcotte, M., Hoshahili, A. R., Ramaswamy, H. S. (2001). Rheological properties of selected hydrocolloids as a function of concentration and temperature, *Journal of*

Food Engineering, 34, 695–703.

McKee, L. H., Garcia-Whitehead, C., Remmenga, M. (2002). Quality characteristics of red raspberry fruit spread made with four sweeteners, *Plant Foods for Human Nutrition, 57*, 3–4, 343–352.

McKenna, B. M., & and Lyng, J. G. (2003). Introduction to food rheology and its measurement (McKenna, B. M, Ed.). *Texture in food Volume 1: Semi-solid foods*. Woodhead Publishing Limited, Cambridge.

MEGEP. (2011). Salça Üretim Teknolojisi. T.C. Milli Eğitim Bakanlığı MEGEP Yayınları, Gıda Teknolojisi, Ankara.

Mohd. Nurul, I., Mohd. Azemi, B. M. N., Manan, D. M. A. (1999). Rheological behaviour of sago (Metroxylon sagu) starch paste, *Food Chemistry, 64,* 501–505.

Morrison, F. A. (2001). *Understanding Rheology*. New York: Oxford University Press.

Nas, S. ve Kadakal Ç. (2013). *Domates ve Domates Ürünleri.* Sidas Yayınları, Yayın No. 26, İzmir.

Omidbakhsh amiri, E., Nayebzadeh, K., Mohammadifar, M. A. (2015). Comparative studies of xanthan, guar and tragacanth gums on stability and rheological properties of fresh and stored ketchup, *Journal of Food Science and Technology, 52* (11), 7123–7132. doi: 10.1007/s13197-015-1837-9.

Ölçer, H. & Akın, B. (2008). Nişasta: biyosentezi, granül yapısı ve genetik modifikasyonlar, *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 16,* 1-12, Kütahya.

Pala, M. (1980). *Besinlerin fiziksel özellikleri*. Ege Üniversitesi, Besin İşleme ve Mühendisliği Bölümü Çalısmaları, İzmir.

Panovská Z., Štern P., Váchová A., Lukešová D., Pokorný J. (2009). Textural and Flavour Characteristics of Commercial Tomato Ketchups, *Czech Journal Food Science, 27* (3), 167–170.

Pierce, L. C. (1987). *Vegetables. Characteristic, Production, and Marketing.* University of New Hampshire, Canada.

Potter, N. N. & Hotchkiss, J. H. (1995). *Food Sciences* (5th edn.). Chapman and Hall, New York, USA.

Race, S. W. (1991). Improved Product Quality through Viscosity Measurement, *Food Technology*, July, 86-88.

Raffo, A., Leonardi, C., Fogliano, V., Ambrosino, P., Salucci, M., Gennaro, L., Bugianesi, R., Giuffrida, F., Quaglia, G. (2002) Nutritional Value of Cherry Tomatoes (Lycopersicon esculentum Cv. Naomi F1) Harvested at Different Ripening Stages, *Journal of Agricultural Food Chemistry, 50* (22), 6550-6556.

Ramirez, J. A., Barrera, M., Morales, O. G., Vazquez, M. (2002). Effect of xanthan and locust bean gums on the gelling properties of myofibrillar protein, *Food Hydrocolloids, 16,* 11–16.

Rani, U. & Bains, G. S. (1987). Flow behavior of tomato ketchups, *Journal of Texture Studies, 18,* 125-135.

Rao, M. A. (1977). Rheology of liquid Foods – A review, *Journal of Texture*

Studies, 8 (2), 135-168.

Rao, M. A. (1995). Rheological properties of fluid Foods. (Rao, M. A. and Rizvi, S. S. H., Ed.) *Engineering Properties of Foods*. 2nd ed. Marcel Dekker, Inc. New York., 1–97.

Rao, M. A. (1999). *Rhelogy of fluid and semisolid foods pricibles and aplications*. USA: Aspen Publishers Inc.

Rao, M. A. & Anantheswaran, R. C. (1982). Rheology of fluid in food processing, *Food Technology, 36* (2), 116–126.

Rao, M. A. & Kenny, J.F. (1975). Flow properties of selected gums, Journal of *Food Science and Technology, 8,* 142–148.

Razavi, S. M. A., & Karazhiyan, H. (2009). Flow properties and thixotropy of selected hydrocolloids: Experimental and modeling studies, *Food Hydrocolloids, 23,* 908–912.

Roberts, I. (2003). In-line and on-line rheology measurement of food. (McKenna, B. M., Ed.). *Texture in Food.* Vol. 1. Semi-solid Foods. Woodhead Publishing, Cambridge: 161–182.

Roberts, T. A., Pitt, J. I., Farkas, J., Grau, F. H. (1998). Fruits and fruit products. *Microorganisms In Foods, 6,* 252–270. Chapman and Hall, London.

Rudra, S. G., Sarkar, B. C., Shivhare, U. S., Basu, S. (2007). Rheological Properties of Coriander and Mint Leaf Puree, *Journal of Food Process Engineering, 31,* 91–104.

Sahin, H. & Ozdemir, F. (2004). Effect of some hydrocolloids on the rheological properties of different formulated ketchups, *Food Hydrocolloids, 18,* 1015–1022.

Sahlin, E., Savage, G. P., Lister, C. E. (2004). Investigation of the antioxidant properties of tomatoes after processing, *Journal of Food Composition and Analyses, 17,* 635-647.

Saldamlı, İ. (1998). *Gıda Kimyası.* Hacettepe Üniversitesi Yayınları, Ankara, 527.

Sanchez, A., Ysunza, F., Beltran-Garcia, M. J., Esqueda, M. (2002). Biodegradation of viticulture wastes by Pleurotus: a source of microbial and human food and its potential use in animal feeding. *Journal of Agricultural and Food Chemistry, 50* (9), 2537-2542.

Schmitt, L., Ghnassia, G., Bimbenet, J. J., Cuvelier, G. (1998). Flow properties of stirred yogurt: Calculation of the pressure drop for a thixotropic fluid, *Journal of Food Engineering, 37* (4), 367-388.

Schorsch, C., Garnier, C., Doublier, J. L. (1997). Viscoelastic Properties of Xanthan/Galactomannan Mixtures, Comparison of Guar Gum With Locuds Bean Gum, *Carbohydrate Polymers, 34,* 165–175.

Sel, T. (1998). *Domates Suyu Üretim Tekniği Üzerine Çalışmalar* (Yüksek Lisans Tezi). Çukurova Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Adana.

Sezik, E., İşler, S., Güler, N., Orhan, Ç., Aybeke, M., Deniz, İ. G., Üstün, O. (2007). Salep ve Orkidelerin Tahribi, TÜBİTAK Araştırma Projesi Raporu, TBAG-Ç-SEK/23 (103T008). Ankara.

Sharoba, A. M., Senge, B., El-Mansy, H.A., Bahlol, H.El.M., Blochwitz, R. (2005). Chemical, sensory and rheological properties of some commercial German and Egyptian tomato ketchups, *European Food Research and Technology, 220,* 142-151.

Simonet, F., Garnier, C., Dublier, J. L. (2000). Partition of proteins in the aqueous guar/dextran two-phase system, *Food Hydrocolloids, 14,* 591-600.

Singh Gujral, H., Sharma, A. & Singh, N. (2002). Effect of hydrocolloids, storage temperature, and duration on the consistency of tomato ketchup, *International Journal of Food Properties, 5,* 179–191.

Singh, N. I. & Eipeson, W. E. (2000). Rheological Behaviour of clarified Mango juice concentrates, *Journal of Texture Studies, 31,* 287-295.

Singh, R. P. & Heldman, D. R. (1993). Fluid Flow in Food Processing. 2nd Ed. *Introduction to Food Engineering,* New York.

Singh, R. P. & Heldman, D. R. (2003). *Introduction to Food engineering*. Academic Press, California.

Sopade, P. A., Kassum, A. L. & Adamu, D. J. M. (1993). Rheological characterisation of some Nigerian traditional soups. *International Journal Food Science and Technology, 28,* 467–653.

Steffe, J. F. (1996). *Rheological Methods in Food Process Engineering*. Freman Press, USA.

Steffe, J. M. (1992). *Rheological Methods in Food Process Engineering, (1st ed.).* Freemen Press, USA, Section 1, 1-35.

Stoforos, N. G. & Reid, D. S. (1992). Factors Influencing Serum Separation of Tomato Ketchup, *Journal of Food Science, 57* (3), 707-713.

Süren, F. (2010). *Haşhaş Tohumu Ezmesi ve Üzüm Pekmezi Karışımlarının Reolojik Özellikleri,* (Yüksek Lisans Tezi). Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Denizli.

Şahin, H. (2003). *Bazı Hidrokolloidlerin Farklı Formülasyonlara Sahip Ketçapların Konsistensi ve Serum Ayrılması Üzerine Etkisi* (Yüksek Lisans Tezi). Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Antalya.

Şahin, S. & Şumnu, S. G. (2006) Physical Properties of Foods, *Springer, 257.*

Şeniz, V. (1992). Domates, Biber ve Patlıcan Yetiştiriciliği. Tarımsal Araştırmaları Destekleme ve Geliştirme Vakfı. Yayın No. 26, Yalova.

Tabilo-Munizaga, G. & Barbosa-Canovas, G. V. (2005). Rheology for the food industry, *Journal of Food Engineering, 67* (1–2), 147–156. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2004.05.062.

Takada, N. & Nelson, P. E. (1983). Pectin-Protein Interaction in Tomato Products, *Journal of Food Science,* doi.org/10.1111/j.1365-2621.1983.tb03503.x.

Tekin, T. (2009). *Farklı Kıvam Verici Maddelerin Nar Reçelinin Reolojik Özellikleri Üzerine Etkilerinin Araştırılması,* (Yüksek Lisans Tezi). Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Manisa.

Telcioğlu, A. (2006). *Farklı Tatlandırıcı ve Süt Tiplerinin Düşük Kalorili Salep İçeceğinin Reolojik Özelliklerine Etkisi* (Yüksek Lisans Tezi). Erciyes Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisligi Anabilim Dalı, Kayseri.

Tigchelaar, E. C. & Foley, V. L. (1991). Horticultural Technology, *Hort Technology, 1* (1), 7-16.

TSE. (1993). *Ketçap Yapım Kuralları.* Türk Standartları Enstitüsü, TS 10818, Ankara.

TSE. (2003). *Ketçap*. Türk Standartları Enstitüsü, TS 5282, Ankara.

TSE. (2008). *Domates Salçası ve Püresi.* Türk Standartları Enstitüsü, TS 1466, Necatibey Cad, Bakanlıklar, No:12, Ankara.

TUİK. (2016). Erişim: 04 Ekim 2017, www.tuik.gov.tr

Uylaşer, V. (1996). *Salça Üretim Aşamalarına Göre Bakteri ve Maya Florasındaki Değişim ve Bozulmadaki Etkileri Üzerine Araştırmalar* (Doktora tezi, Basılmamış). Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.

Uysal, B. Z. (2003). *Akışkanlar Mekaniği*. Ankara: Alp Yayınları.

Ün, H. (2007). *Malzeme bilgisi ders notları,* Pamukkale Üniversitesi, Denizli.

Valencia, C., Sánchez, M., Ciruelos, A., Latorre, A., Franco, J., Gallegos, C. (2002). Linear viscoelasticity of tomato sauce products: Influence of previous tomato paste processing, *European Food Research and Technology*, *214* (5), 394–399. doi: 10.1007/s00217-002-0501-6.

Valencia, C., Sanchez, M. C., Ciruelos, A., Gallegos, C. (2004). Influence of tomato paste processing on the linear viscoelasticity of tomato ketchup, *Food Science and Technology International, 10*, 95–100.

Vural, H., Eşiyok, D., Duman, İ. (2000). *Kültür Sebzeleri (Sebze Yetiştirme)*. Ege Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Bahçe Bitkileri Bölümü, Bornova, İzmir.

Ward, F. M. (1997). Hydrocolloids systems as fat mimetics in bakery products: İcings, glazes and fillings. *Cereal Foods World, 42* (5), 386-390.

Whistler, R. L. (1993). *Chapter 1- Introduction to industrial gums, Polysaccharides and their Derivates*.

Wikipedia. (2010). Ketçap. Erişim: 06 Ekim 2016, http://www.en.wikipedia.org/wiki/Ketchup

Wildmoser, H., Scheiwiller, J., Erich, J. (2003). Impact of disperse microstructure on rheology and quality aspects of ice cream, *Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie, 37,* 881–891.

Williams, P. A. & Phillips, G. O. (2012). Introduction to food hydrocolloids. *Handbook of hydrocolloids*, CRC Press, *2*, 1–19.

Yang, H., Irudayaraj, J., Otgonchimeg, S., Walsh M. (2004). Rheological study of starch and dairy ingredient-based food systems. *Food Chemistry, 86,* 571-578.

Yıldız, H. (2004). *Domates Salçası Üretiminde Elektroplazmoliz Uygulamasının Salça Kalite ve Verimi Üzerine Etkilerinin Araştırılması* (Doktora Tezi). Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.

Yoo, B. (2001). Rheological properties of hot pepper-soybean paste, *Journal of Texture Studies, 32,* 307-318.

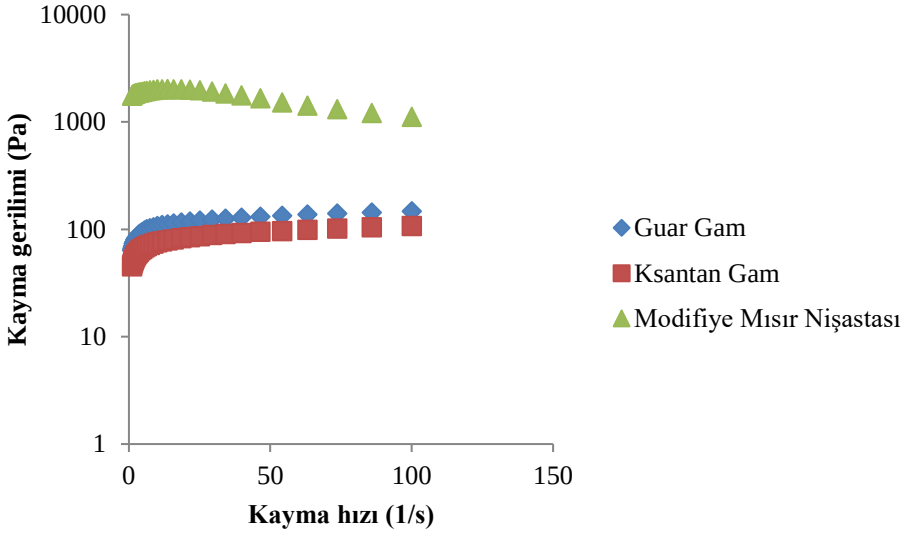
Young, I.L., Seung, J.L., Wan, S.N. (1997). Effect of the modified starch on the physical properties of tomato ketchup, *Agricultural-Chemistry-and-Biotechnology, 40* (1) 48-52.

Zhang, M. Y., Huang, C. Y., Wang, X., Hong, J. R., Peng, S. S. (1990). The effect of foods containing refined Konjac meal on human lipid metabolism, *Biomedical and Environmental Sciences, 3* (1), 99–105.

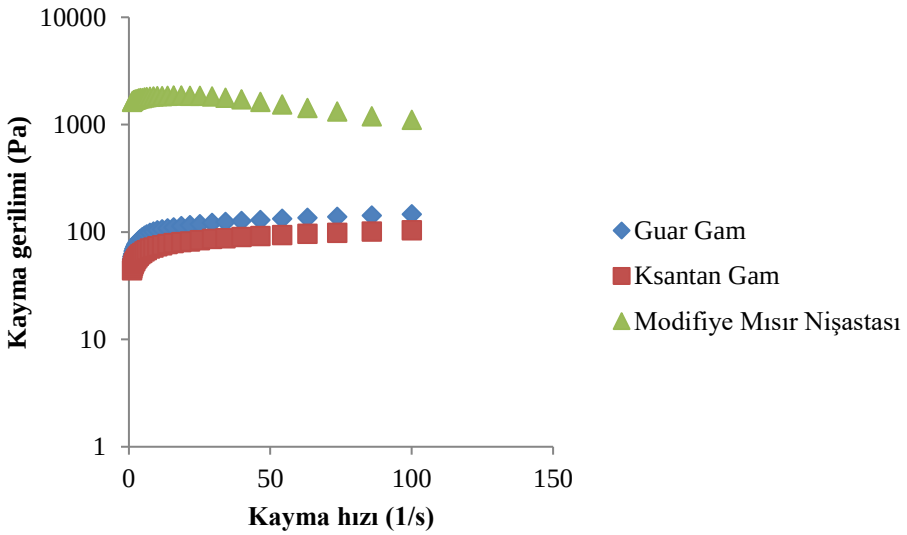
ZMO. (2014). Erişim: 01 Nisan 2016, www.zmo.org.tr

EKLER

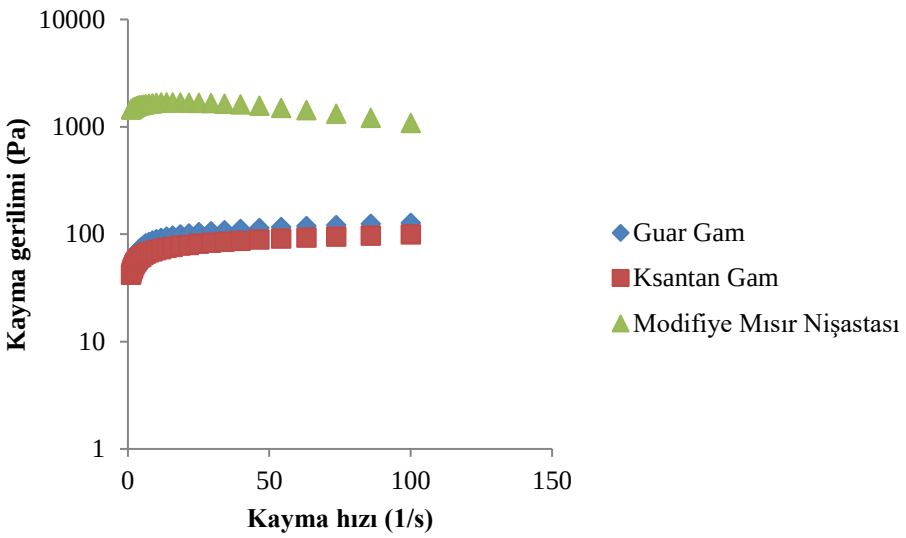
EK A



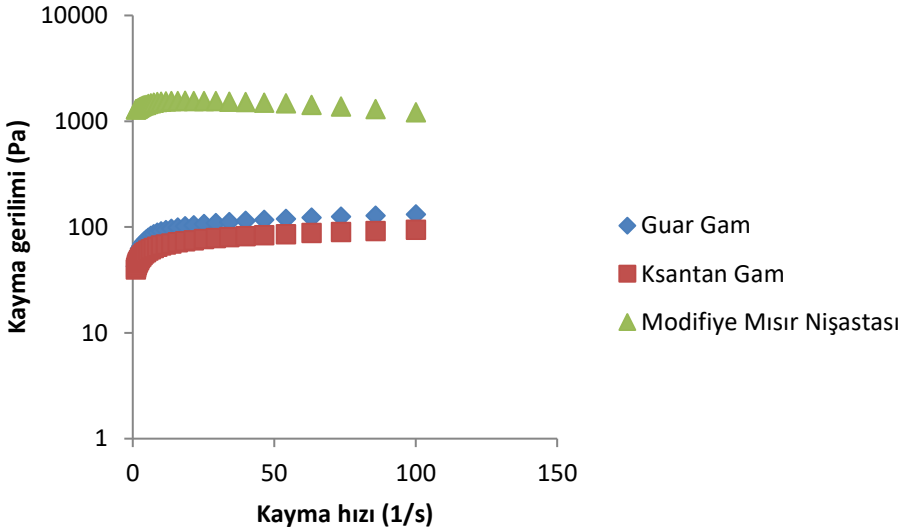
Şekil A.1 : Guar gam, ksantan gam ve modifiye mısır nişastası eklenmiş ketçap örneklerinin 10 °C sıcaklıktaki akış eğrileri



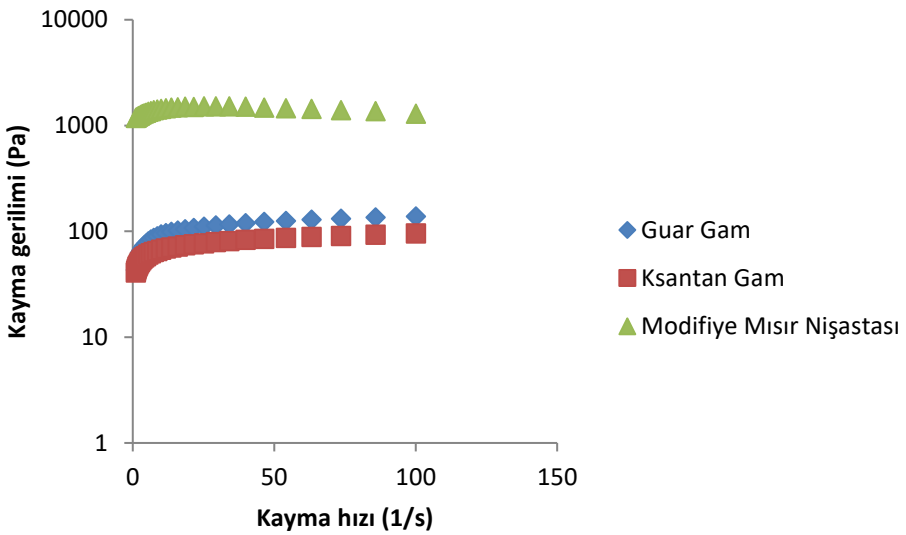
Şekil A.2 : Guar gam, ksantan gam ve modifiye mısır nişastası eklenmiş ketçap örneklerinin 20 °C sıcaklıktaki akış eğrileri



Şekil A.3 : Guar gam, ksantan gam ve modifiye mısır nişastası eklenmiş ketçap örneklerinin 30 °C sıcaklıktaki akış eğrileri

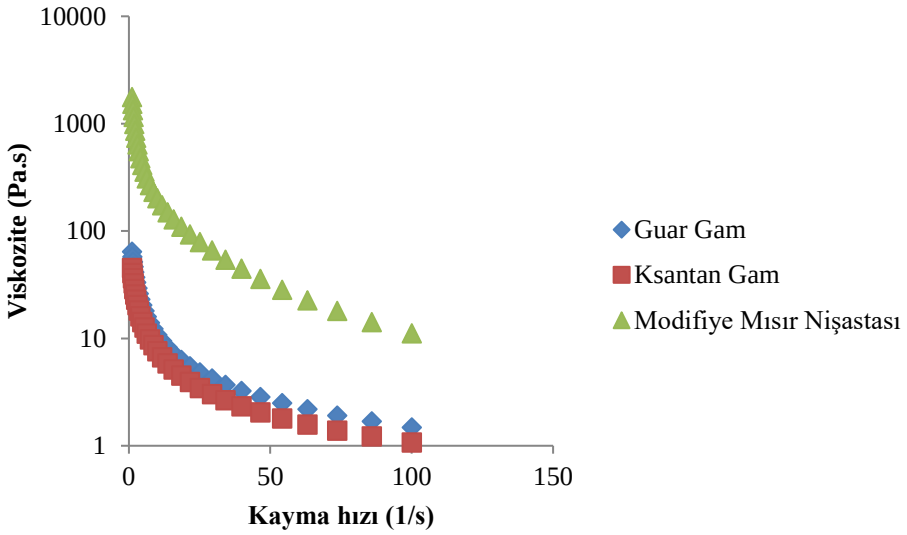


Şekil A.4 : Guar gam, ksantan gam ve modifiye mısır nişastası eklenmiş ketçap örneklerinin 40 °C sıcaklıktaki akış eğrileri

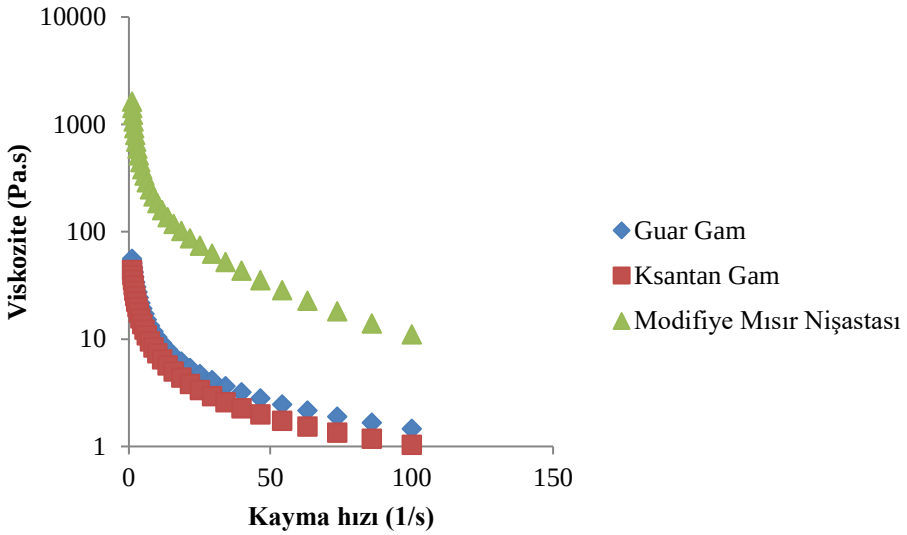


Şekil A.5 : Guar gam, ksantan gam ve modifiye mısır nişastası eklenmiş ketçap örneklerinin 50 °C sıcaklıktaki akış eğrileri

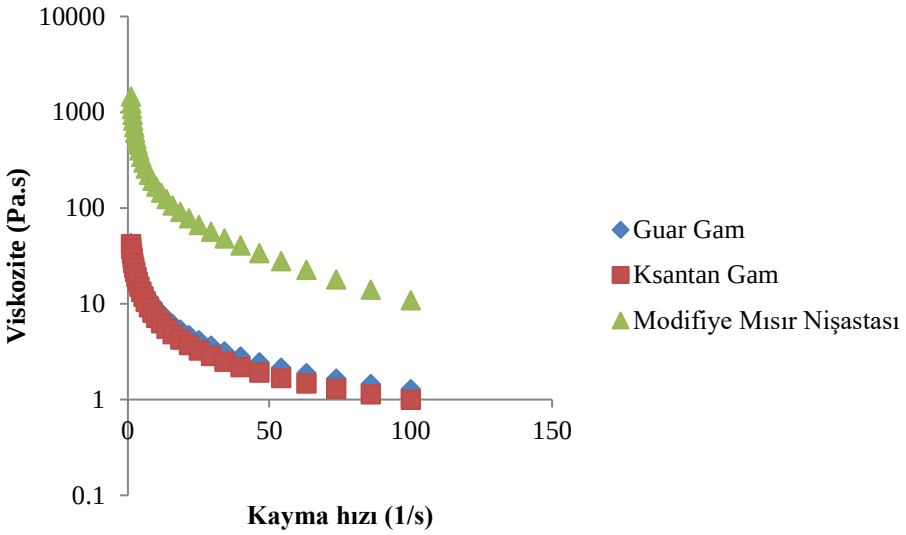
EK B



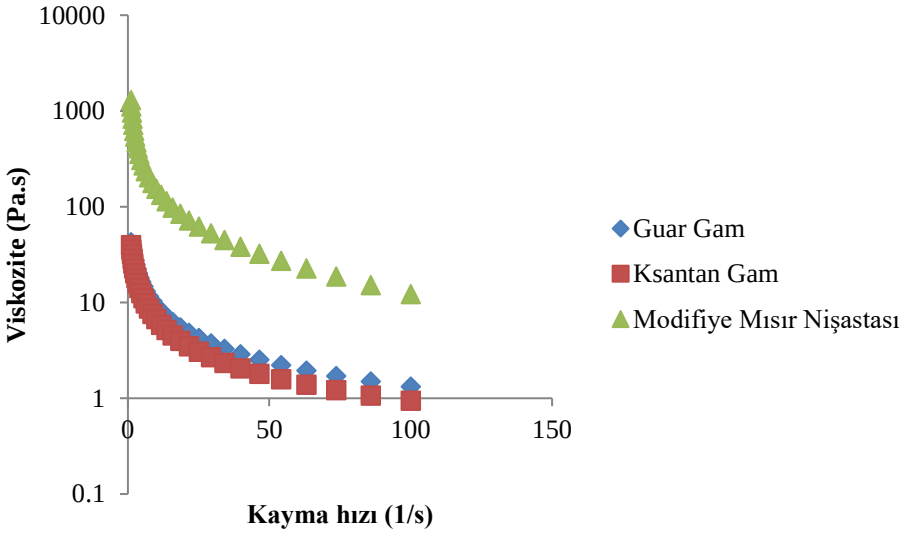
Şekil B.1 : Guar gam, ksantan gam ve modifiye mısır nişastası eklenmiş ketçap örneklerinin 10 °C sıcaklıktaki akış eğrileri



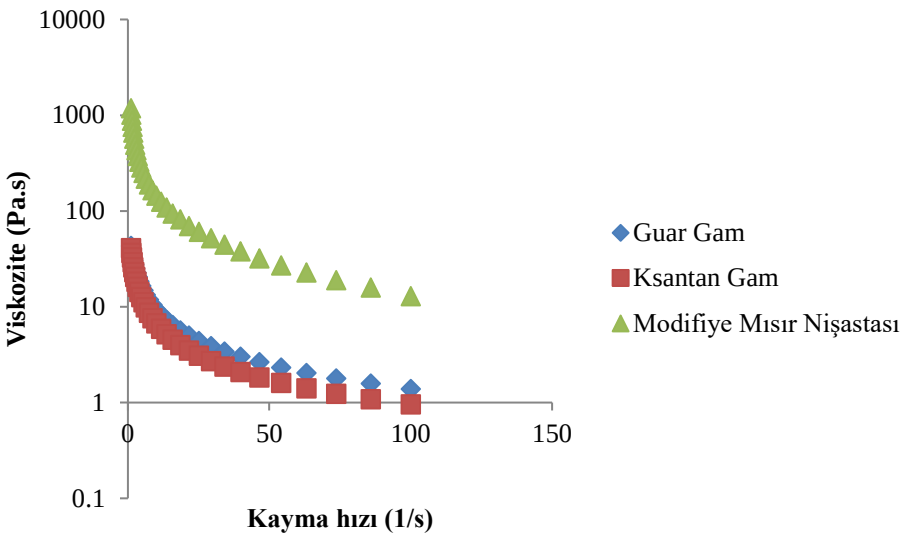
Şekil B.2 : Guar gam, ksantan gam ve modifiye mısır nişastası eklenmiş ketçap örneklerinin 20 °C sıcaklıktaki akış eğrileri



Şekil B.3 : Guar gam, ksantan gam ve modifiye mısır nişastası eklenmiş ketçap örneklerinin 30 °C sıcaklıktaki akış eğrileri

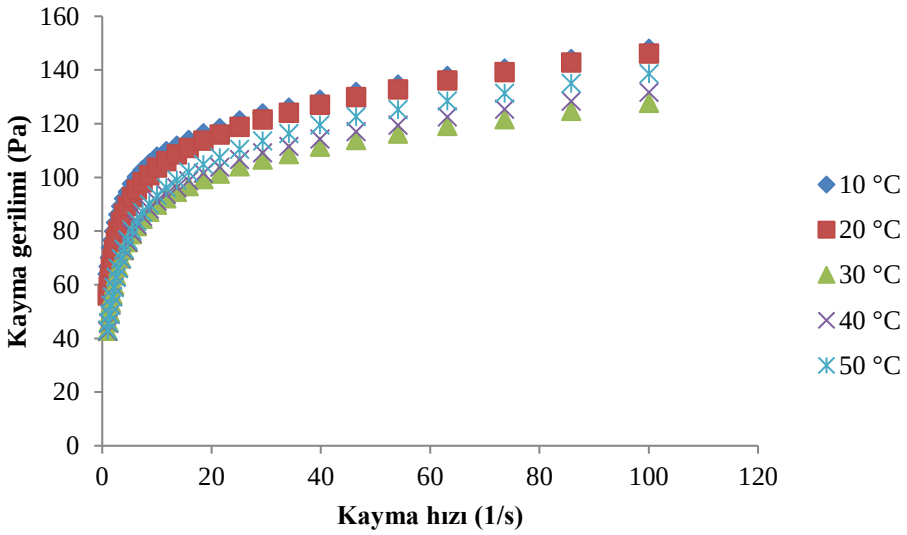


Şekil B.4 : Guar gam, ksantan gam ve modifiye mısır nişastası eklenmiş ketçap örneklerinin 40 °C sıcaklıktaki akış eğrileri

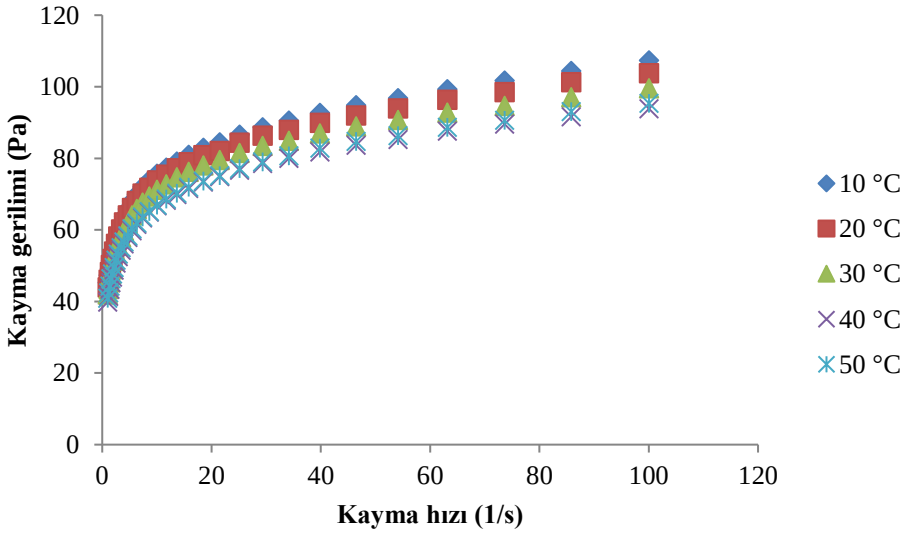


Şekil B.5 : Guar gam, ksantan gam ve modifiye mısır nişastası eklenmiş ketçap örneklerinin 50 °C sıcaklıktaki akış eğrileri

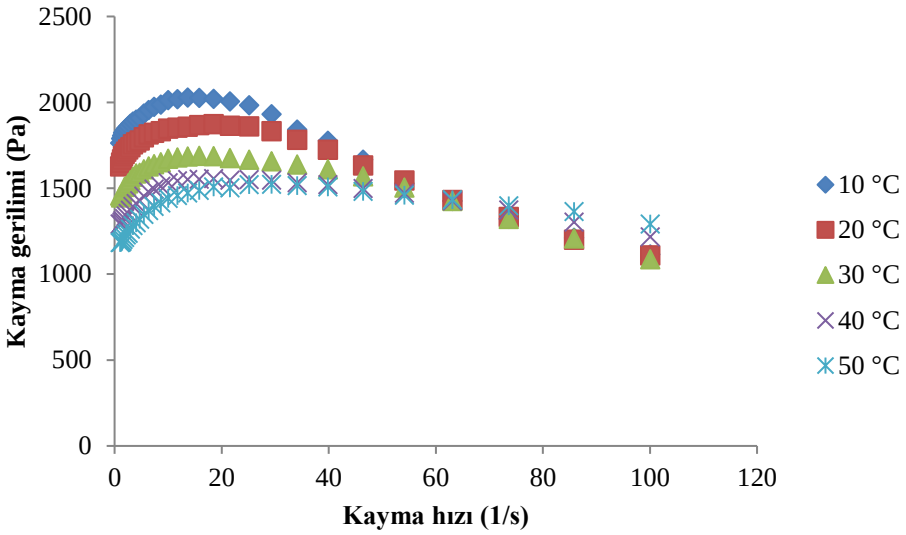
EK C



Şekil C.1 : Guar gam eklenmiş ketçap örneklerinin farklı sıcaklıklardaki akış eğrileri

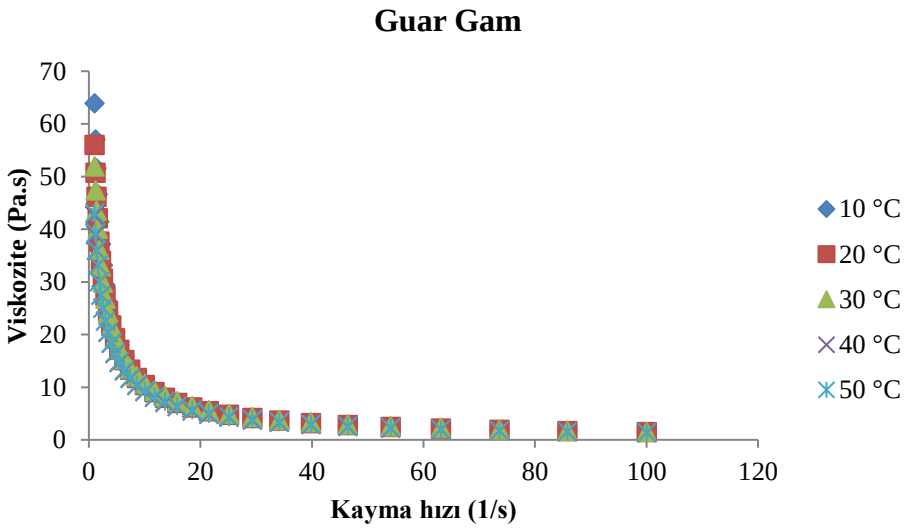


Şekil C.2 : Ksantan gam eklenmiş ketçap örneklerinin farklı sıcaklıklardaki akış eğrileri

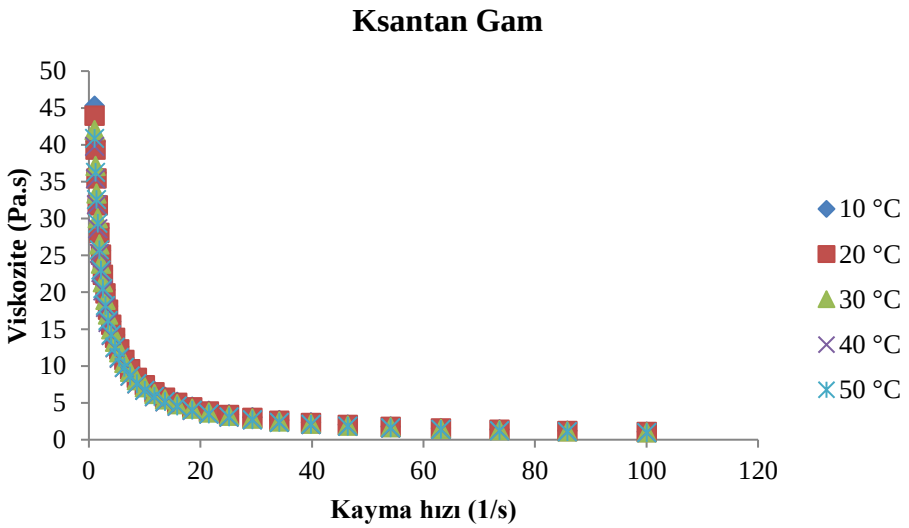


Şekil C.3 : Modifiye mısır nişastası eklenmiş ketçap örneklerinin farklı sıcaklıklardaki akış eğrileri

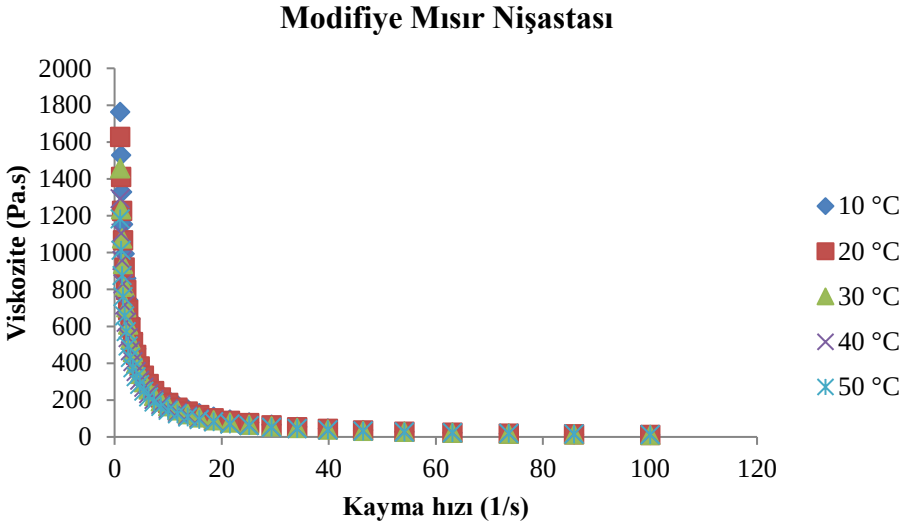
EK D



Şekil D.1 : Guar gam eklenmiş ketçap örneklerinin farklı sıcaklıklardaki akış eğrileri



Şekil D.2 : Ksantan gam eklenmiş ketçap örneklerinin farklı sıcaklıklardaki akış eğrileri



Şekil D.3 : Modifiye mısır nişastası eklenmiş ketçap örneklerinin farklı sıcaklıklardaki akış eğrileri

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad **: Büşra BILDIR**
Doğum Tarihi ve Yeri **: 1992 - BALIKESİR**
E-posta **:** busrabildir@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** **:**2014, Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü
- **Önlisans** **:**2014, Anadolu Üniversitesi, Yönetim ve Organizasyon Bölümü, İşletme Yönetimi Programı
- **Yüksek Lisans** **:**2018, Bursa Teknik Üniversitesi, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Gıda Mühendisliği Programı

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- ……..
- ……..

TEZDEN TÜRETİLEN ESERLER, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- …….
- ……..
- ……

DİĞER ESERLER, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- …….
- ……..