



## Gıdaların Oral İşlenmesi ve Tribolojik Perspektif

Gökçe KESER<sup>1</sup>, Barış KIYMA<sup>2</sup>, Tülay ÖZCAN<sup>3</sup>

<sup>1</sup> B.U.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa, TÜRKİYE, ORCID ID 0000-0003-1611-7847

<sup>2</sup> B.U.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa & MBH Gıda Sanayi ve Ticaret A.Ş., Mustafakemalpaşa, Bursa, TÜRKİYE, ORCID ID 0000-0003-0339-0342

<sup>3</sup> B.U.Ü., Ziraat Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Bursa, TÜRKİYE, ORCID ID 0000-0002-0223-3807

Corresponding author: Tülay ÖZCAN, [tulayozcan@uludag.edu.tr](mailto:tulayozcan@uludag.edu.tr)

### Özet

Gıdaların ağızda işlenmesi ve sindirimi birbirini izleyen deformasyonları içeren değişken bir süreç olmak ile birlikte duyuşsal algının temel basamaklarından biridir. Gıdaların mekanik özellikleri ve reolojisi, işlenme sırasında gıda matriksinin reaksiyonunu anlayabilmek ve duyuşsal algı ile interaksyonunu belirlemek için yaygın olarak kullanılmaktadır. Gıdanın tüketimi ile birlikte doku/tekstür ve ağız hissi, tüketici tercihi için önemli olup inovatif ürünlerin üretilmesi ya da var olan ürünlerin geliştirilmesi için temel kriterlerdendir. Gıdaların tekstürünü karakterize etmek ve yorumlamak için birçok teknolojik yaklaşım kullanılmaktadır. Son yıllarda bu teknikler arasında triboloji ön plana çıkmaktadır. Triboloji, gıdanın mikro ve makro yapısı ile korelasyon içinde gıdanın ağızda metabolik olarak işlenmesi sırasında duyuşsal ağız hissini oluşmasına büyük oranda objektif yaklaşımlar sunmaktadır. Bu derlemede, gıdaların oral işlenme süresince meydana gelen biyokimyasal reaksiyonlar açıklanmaktadır.

### Article Info

Research Article

Received: 27/06/2022

Accepted: 26/11/2022

### Anahtar Kelimeler

Gıda, Oral işleme,  
Triboloji, Reoloji

### Öne Çıkanlar

Ağızdaki duyuşsal etkinin belirleyicisi olan fiziksel değişimlerde, reoloji ve triboloji geçişini takip eden bir sıralama gerçekleşmektedir. Ağızda oluşan kayganlık/yağlanma hissi; gıdaların bileşiminden etkilenirken, tükürük ve dil mikro yapısının komplikasyonlarının da dikkate alınması gerekmektedir.

## Oral Processing of Foods and Tribological Perspective

### Abstract

*The processing and digestion of foods in the mouth is a variable process that includes successive deformations and is one of the basic steps of sensory perception. Mechanical properties and rheology of foods are widely used to understand the reaction of the food matrix during processing and to determine its interaction with sensory perception. Along with the consumption of food, texture/structure and mouthfeel are important for consumer preference and are essential criteria for the production of innovative products or the development of available products. Many technological approaches are used to characterize and interpret the texture of foods. In recent years, tribology has come to the fore among these techniques. Tribology offers largely objective approaches to the formation of sensory mouthfeel during the metabolic processing of food in the mouth in correlation with the micro and macro structure of the food.*

### Keywords

*Food, Oral process, Tribology, Rheology*

### Highlights

*In the physical changes, which are the determinants of the sensory effect in the mouth, a sequence takes place following the transition of rheology and tribology. Lubricity/slipperiness feeling in the mouth; While being affected by the composition of the foods, the complications of saliva and tongue microstructure should also into account.*

## 1. Giriş

Gıda ve insan sağlığı arasındaki güçlü ilişki ile ilgili artan farkındalık, gelişmiş toplumlarda tüketicilerin gıda tercihlerini önemli ölçüde değiştirmiştir. Bu doğrultuda, fonksiyonel ürünler, beslenme ile ilgili hastalıkları önleyerek yaşam kalitesini arttırmayı amaçlayan mükemmel gıda seçenekleri olarak gıda sektöründe önemli bir yer tutmaktadır [1,2]. İlk kez 1980'lerin ortalarında Japonya'da tanıtılmış olan fonksiyonel gıdalar kavramı; temel beslenmenin ötesinde sağlık yararları olan bir bileşeni ya da güçlendirilmiş, zenginleştirilmiş veya iyileştirilmiş gıdaları tanımlamaktadır. Bu tür gıdalar şeker, tuz veya yağ azaltılmış, protein içeriği arttırılmış, sağlığı geliştiren bileşenler eklenmiş veya zararlı bileşenleri çıkarılmış nutrasötik gıdalar olabilmektedir [3,4].

Fonksiyonel gıda ürünleri dünyanın birçok ülkesinde giderek daha popüler hale gelmektedir [5]. Tüketicilerin sağlıklı gıdaları nasıl ve neden satın aldıklarını anlamak, fonksiyonel gıda sektörünün sürdürülebilir gelişimi için büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle çok sayıda araştırma, fonksiyonel gıdaları referans alarak tüketicilerin satın alma niyetini, beğeni faktörlerini ve tüketim alışkanlıklarını incelemektedir [6]. Bu tür çalışmalar, demografik faktörler (yaş ve cinsiyet), psikolojik faktörler (bilgi, algılanan faydalar, sağlık, güvenlik, beslenme ve tutumlarla ilgili endişeler), durumsal faktörler (fiyat ve bulunabilirlik) de dahil olmak üzere ilgili etkili faktörleri vurgulamaktadır [7,8].

Sürdürülebilir gıda sektöründe son trend yaklaşımlar, organik ürünlerin temel olarak güvenli, sağlıklı, hayvan refahı ve çevre bilinci için daha kabul edilebilir oldukları için tercih edilerek yeni ürünlerin geliştirilmesi için alternatif olduklarını göstermektedir [9]. Ayrıca, araştırmalar birçok tüketicinin yerel olarak üretilen gıdaları tercih etmeye de daha

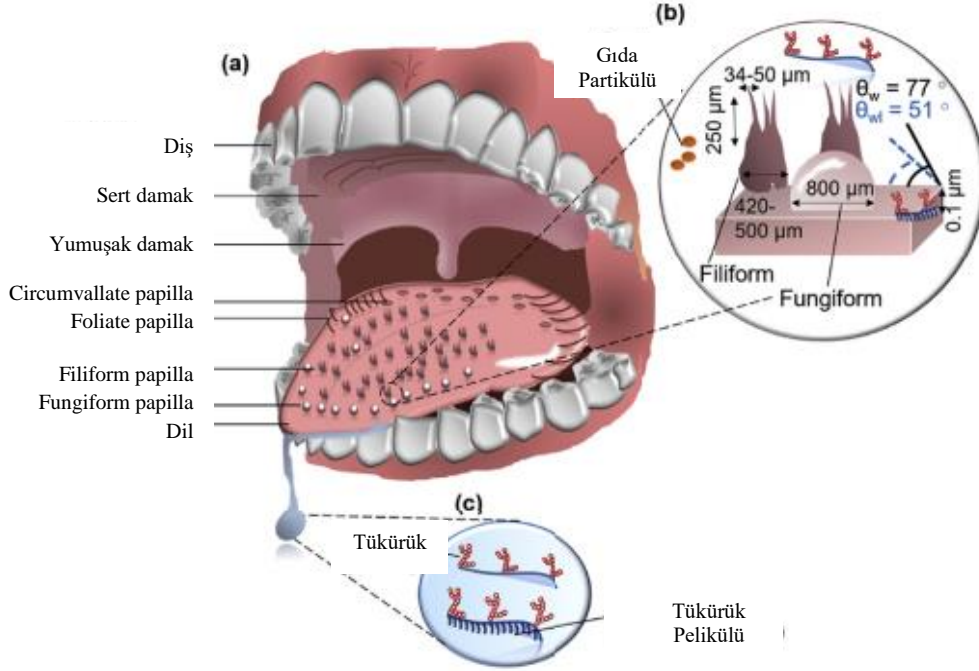
yatkın olduklarını ileri sürmektedir [10]. Gıdaların doğallığı, tüketicilerin aradığı bir özelliktir. Doğallığın gıda seçimleri için ne kadar önemli olduğu konusunda yaklaşımlar da farklılık göstermektedir. Algılanan doğallığın, üretim tipi (organik, yerel), üretim yöntemi (işlenmemiş) veya bileşenler (hiçbir katkı maddesi içermez) gibi faktörlere de bağlı olduğu belirtilmektedir [11]. Bununla birlikte, son zamanlarda, Granato ve ark. [12] fonksiyonel gıdaları endüstriyel olarak işlenmiş veya çeşitli diyetlerde etkili bir şekilde düzenli olarak tüketildiğinde temel beslenmenin ötesinde sağlık üzerinde potansiyel olarak olumlu etkilere sahip olan “doğal gıdalar” olarak da tanımlamıştır.

Sağlıklı bir hayat yaşama beklentisi tüketicileri her zaman ne tükettikleri konusunda seçici olmaya, gıdalarda besleyici ve fonksiyonel özelliklerin yanı sıra gıdanın duyuşsal algısını da bu seçiciliğe yönlendirmiştir [13]. Tekstür ve duyuşsal özellikleri geliştiren fonksiyonel bileşenler ve raf ömrünü uzatan yeni teknolojiler etkileyici fırsatlar ile yeni ürünlerin geliştirilmesini teşvik etmektedir. Bir gıdanın duyuşsal özellikleri ve tekstürü, tek başına tat ve aromayı etkileyen faktörler olarak anlamlı olmayabilir. Örneğin, taze ve işlenmiş gıda endüstrisinde, genel duyuşsal deneyim kalite özelliklerindedir ve tüketicilerin memnuniyetinin sağlanmasında kritik öneme sahip bulunmaktadır. Bununla birlikte, gıda tüketimi sırasında gıda matriksine bağlı olarak aroma, tat ve tekstür arasında meydana gelen çapraz etkileşimler, bireyin fizyolojik durumu ve alışkanlıkları duyuşsal algıyı açıklamayı karmaşık bir hale dönüştürmektedir. Tat, aroma ve tekstür arasındaki etkileşimler ile bu etkileşimlerin fiziko-kimyasal mekanizmalarından bahsedildiği bir çalışmada, bireyler, bir gıdayı yerken veya içerken, tat, koku, dokunma, sıcaklık, görme, ses ve bazen ağrı ve tahriş gibi çok sayıda duyum yaşamaktadır. Bu çok yönlü duyuşsal deneyim, ağızdaki mekanik ve biyokimyasal etkileşim ile algılanan aroma ve tekstürün derecesini belirlemektedir. Bu anlamda, gıdanın duyuşsal algısında yer alan mekanizmaları, tekstür, reoloji ve triboloji interaksyonunu anlamak tüketici çalışmalarının temelini oluşturmaktadır [14]. Bu derlemede, tekstürel algı, uygulanan tekniklerin farklılıkları, triboloji ile geliştirilmiş yaklaşım fikirleri ve doku algısındaki önemi üzerinde durularak, gıdaların ağızda işlemedeki biyokimyasal mekanizmalar hakkında fikirler verilmektedir.

## 2. Gıdaların Ağızda Duyuşsal Reaksiyonu

Bir gıdanın kalitesi; besin değeri, görünüşü, aroması ve tekstürü gibi birçok parametre ile belirlenmektedir [15]. Tekstürel özelliklerin gıdanın tercihinde önemli bir faktör olduğu ve çoğu insanın, geçmiş deneyimlerine dayalı olarak, bir gıda ürününden beklenen özellikleri hakkında net bir fikre sahip olduğu bildirilmektedir [16]. Gıda tekstürü görsel, işitsel, dokunsal ve kinestetik duyuşlar ile ve/veya çeşitli objektif ölçümlerden bir veya daha fazlasını kullanarak öznel olarak değerlendirilebilen en karmaşık duyuşsal özelliktir. İnsan duyuşu ile karmaşık gıda matriksindeki özellikler daha iyi düzeyde algılanabilmektedir. Dolayısı ile gıda sanayiinde yeni ürünlerin geliştirilmesinde, gıda tekstürünün değerlendirilmesi son derece önemlidir. Örneğin, yüksek lif içeren bisküviler gibi besin değeri açısından zengin olan bir gıdanın geleneksel üretimler ile karşılaştırıldığında, üretim sürecinde ve/veya tüketici kabulü açısından zorluklar ile karşılaşabilmektedir. Bu nedenle inovatif ürünlerde besleyici özellikler ve duyuşsal algılar arasında bir kritik denge olduğu bildirilmiştir. Görsel tekstür, bir gıda maddesinin belirli yüzey özelliklerinden etkilenen, parmaklar tarafından algılanan pürüzlülük,

yağlılık, pürüzsüzlük ve yüzey ıslaklığı gibi terimleri içermektedir. İşitsel tekstür, kulaklar tarafından ses şeklinde algılanarak yiyeceklerin gevrekliği, çıtırılığı vb. tanımlamaları içermektedir. Dokunsal tekstür ise, dudaklar, dişler, ağız mukozası, dil ve boğaz gibi ağız bölümleri tarafından algılanmaktadır (Şekil 1) [17,18].



Şekil 1. Ağız yapısı [19]

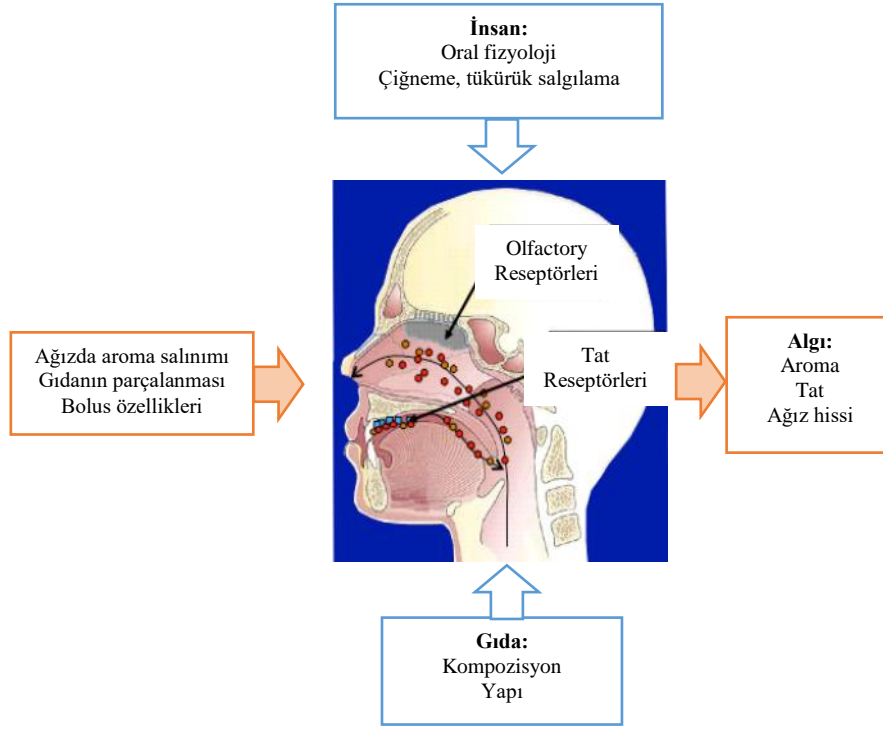
(a) Salya-tükürük, dil ve sert ağız yüzeylerini gösteren ağız boşluğu (b) Yumuşak dil yüzeyinin yapı taşları, mikron ölçeklerde fungiform ve filiformların gösterilmesi ve üzerindeki su aktivitesinin değişmesi ile boyutlardaki değişimler (c) Tükürük-salya kütlesi ve adsorbe edilen tükürük-salya pelikülü.

Gıdaların ağızda işlenmesi (oral işlem), yutmak için hazırlamaya katkıda bulunan tüm kas hareketlerini, çene ve dil hareketlerini içeren dinamik bir eylemdir [20]. Ağızda; büyük parçaların daha küçük parçalara mekanik olarak parçalanması, nişastanın enzimatik olarak küçük moleküllü karbonhidratlara indirgenmesi, mikroorganizmalar ile moleküler etkileşim ve tükürük ile karıştırılması gibi bir dizi işlem gerçekleşmektedir. Oral işleme vücudumuz için gerekli enerji ve besin alımının metabolizma sürecindeki ilk adımını oluşturmaktadır [21].

Bir gıdanın ağızda parçalanması ve bolus oluşum sürecini anlayabilmek, gıdaların fonksiyonel özelliklerini yeniden gözden geçirmenin bir yolu gibi görünmektedir (Şekil 2). Bununla birlikte, bu süreç son derece karmaşıktır ve bu nedenle tanımlanması, farklı disiplinlerden, yani fizik, kimya, fizyoloji, psikoloji, davranış bilimi ve gıda bilimi gibi birçok niceliğin bir kombinasyonunu gerektirmektedir [22].

Oral sistemde tekstür algısı, büyük oranda gıdanın yapısına bağlı bir sistemdir [23]. Gıda tekstürü ve ağız hissi, tüketicinin kabul edilebilirliğini etkilemektedir. Bu nedenle tekstürün değerlendirilmesi ve ölçümlenebilmesi gıda endüstrisinde büyük önem

taşımaktadır. Gıda tekstürünü açıklayabilmek için araçsal/nesnel ve deneysel ve taklit olmak üzere çeşitli testler uygulanmaktadır [24]. Bu tekniklerin sınırlayıcı bir faktörü, oral doku algılama sürecinin sadece bir kısmını, yani mekanik deformasyon ve akışı (reoloji) incelemesidir [23]. Bununla birlikte, ufanma, yağlama, faz değişikliği ve gıdaların yüzey pürüzlülüğünde değişiklik gibi oral işlemler diğer süreçlerdeki özelliklerin algılanmasında yer alsa da, tam olarak açıklanamamaktadır [25]. Örneğin, bisküvilerde, genellikle yapısından dolayı mekanik olarak sertlik ve kırılabilirlik/kırılabilirlik gibi tekstürel özellikler belirlenebilmektedir. Ancak, ufanma, yağlama ve faz değişiminde ortaya çıkan tanecikli yapı, pürüzsüzlük, yapışkanlık ve ağız kaplama gibi özellikler genellikle tespit edilememektedir. Pürüzsüzlük, kayganlık, kremamsılık ve yağlılık gibi ağız hissi özellikleri reolojik ölçümlerde tam olarak açıklanamamış olsa da, burukluk, ağız kaplaması ve pürüzlülük gibi özellikler de tekstür profil analizi gibi mevcut tekstür analiz yöntemleri ile belirlenememektedir [26].



**Şekil 2.** Gıdanın ağızda işlenmesi ve algıların oluşması

İnsan ağız boşluğunda sürtünmeye bağlı birçok mekanik, fizikokimyasal ve biyokimyasal değişiklik aynı anda farklı yoğunluklarda ve zamanlarda meydana gelmektedir. Bugüne kadar, gıdaların ağızda işlenmesi sırasında meydana gelen tüm dinamik değişiklikleri tespit edip, ölçebilecek tek bir sistem veya değerlendirme tekniği bulunmamaktadır. Son zamanlarda gıda tekstür ölçümü ve gıda katkı maddelerinin tespiti alanında tribolojinin önemi üzerine çok sayıda çalışma yapılmaktadır. Nishinari ve ark. [27] doku/tekstür değerlendirmesine ilişkin çalışma yöntemlerini üç gruba ayırmaktadır:

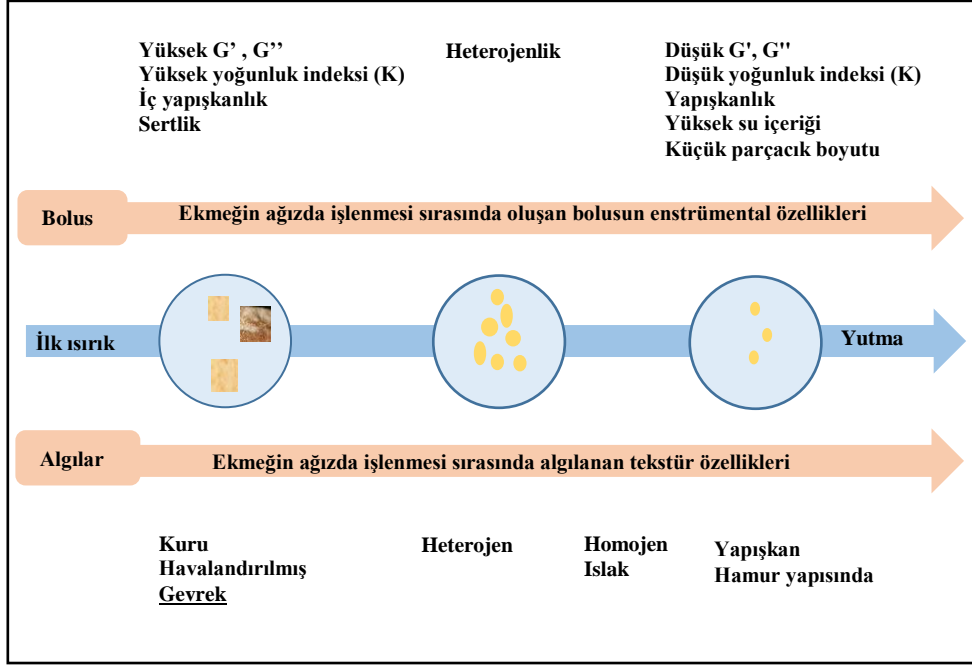
1. Fiziğe dayalı çeşitli reometreler veya doku/tekstür ölçerler gibi araçsal yöntemler,
2. Psikolojiye dayalı, eğitilmiş veya eğitimsiz kişilerden oluşan duyu paneller,

3. Fizyolojiye dayalı olarak kişilerin ağız boşluğundaki kuvveti, deformasyonu veya bolus yer değiştirmesini tespit eden çeşitli sensörlerden oluşan ara yöntemler.

Oral triboloji, homojenize sütün kremsiliğini ve çikolatanın ağız kaplaması ile ağız boşluğundaki tekstürel algıyı araştırmaktadır [28,29]. Çalışmalar kapsamında kullanılan tekstür ölçüm cihazlarındaki dezavantajlar nedeni ile tribometrelerin geliştirilmesi oldukça önemli olmaktadır. Tribometreler sürtünme davranışının ölçümüne odaklanarak mevcut cihazlara ek bir aksesuar ilavesi ile kullanılabilir. Tribometreler, tükürüğün kayganlaştırıcı etkisi, dilin hareket yönü ve göreceli kayma hızı, dilin damağa uyguladığı kuvvet, pürüzlülük ve geometrik pürüzler gibi yüzey özelliklerinden birkaçını taklit etmeyi içermektedir [30,31]. Ayrıca bazı gelişmiş sistemler, sürtünme etkilerinin bir sonucu olarak meydana gelen yapısal değişiklikleri daha iyi açıklamak amacı ile lazer taramalı konfokal mikroskopisi (CLSM) gibi araçlar ile kullanılabilir [32]. Ancak tek başına bir kavram olarak triboloji, gıdaların ağızda işlenmesi sırasında meydana gelen mekanizmaları ve interaksiyonları açıklamada yetersiz kalmaktadır. Gıdaların tükürük ile yağlanmasındaki sürtünme davranışının incelenmesi, daha sonra sürtünme katsayısı ve tekstürel nitelikler arasındaki karmaşık ilişkilerin anlamlandırılması ve ölçülebilmesine olanak sağlayarak önemli bilgiler elde edilmesine yardımcı olmaktadır [33].

Gıdaların duyuşal özellikleri açısından değerlendirilmesinde ve ağızda işlenmesinde, triboloji kavramı ile gıdanın iki hareketli yüzey olan dil ile damak arasında sıkıştırıldığında ve dişler tarafından kesilip parçalandığında göstermiş olduğu sürtünme ve diğer fiziksel özellikleri anlaşılabilir [34]. Yeme/çiğneme esnasında, belirgin bir duyuşal özellik baskın hale gelmekte ve buna göre bir profil oluşmaktadır. Bu dinamik süreç doğrudan gıda partiküllerinin sahip olduğu özelliklere ve bu özelliklerin mekanik işleme verdiği tepkilerin ölçüsüne bağlı olmaktadır. Ağızda uygulanan ilk işlemlerde çoğunlukla gıdanın dokusal tekstürel özellikleri algılanmakta, ancak ağızda bir sonraki aşamada yani gıda-salgı (tükürük) kombinasyonu ile algı değişmektedir (Şekil 3) [35].

Oral işlem sırasında kas, çene ve dil hareketlerinin yoğunluğu, ağız boşluğundaki gıdanın çeşidine bağlı bulunmaktadır. Reolojik ve duyuşal özelliklerine göre gıdalar, sıvı, yarı katı, yumuşak katı ve sert katılar olarak sınıflandırılmaktadır [21]. Sıvılar akışkan özellik göstererek, yutmadan önce çiğnemeyi gerektirmezken (süt, fermente içecekler); Yarı katılar, oral işlem sırasında azı dişleri kullanılmadan ağırlıklı olarak dil ve damak arasında sıkıştırılmakta (puding, muhallebi); Yumuşak katılar başlangıçta azı dişleri arasında çiğnemeyi gerektirmekte, (peynir, işlenmiş etler); Sert katılar ise gevrek özellik göstererek, azı dişleri arasında çiğnemeyi gerektirmekte ve genellikle ağızda işleme sırasında akustik bir ses emisyonu üretmektedir (krakerler, çiğ sebzeler, elma). Ağızdaki gıda matriksi, dil, dişler, yanakların içi ve dudaklar tarafından farklı hız ve basınçlar ile manipüle edilmektedir [36]. Çiğnemenin çeşitli aşamaları boyunca, yiyecekler sürekli olarak çiğnenmekte, tükürük ile karıştırılmakta ve yavaş yavaş yutulmaya hazır bir bolusa dönüştürülmektedir. İnsanların çiğneme sürecinin farklı aşamalarında deneyimlediği/algıladığı çeşitli tekstürel nitelikler arasında sertlik, yumuşaklık, yapışkanlık, yayılabilirlik, sıklık, kırılgenlik, gevreklik, pürüzsüzlük, pürüzlülük, kremamsılık ve kayganlık birçok özellik yer almaktadır [37].



**Şekil 3.** Ekmeğin bolus ve tekstür özelliklerinin evrimi (Altı çizili özellikler, kabuklu ekmeğe ait özelliklerdir) [38]

### 3. Duyusal Değerlendirmede Enstrümental Yaklaşımlar ve Triboloji

Gıda tekstürü geleneksel olarak öznel ve zaman gerektiren bir duyu panel kullanılarak ölçülmektedir. Bu nedenle, nesnel tekstür ölçümü sağlayabilen enstrümental bir yöntem ihtiyacı duyulmaktadır. Son yıllarda gıda reolojisi yaklaşımının, gıda tekstür çalışmaları için önemli bir teknik olduğu kanıtlanmıştır. Bu yaklaşımın temel varsayımları, bir yeme/çığneme süreci boyunca gıdanın deformasyonu, akışkanlığı ve parçalanması süresince uygulanan mekanik etkilere gıdanın verdiği tepkinin beyin tarafından yapılan sözlü bir duyu yorumunun ortaya çıkması olarak tanımlanabilmektedir. Bu varsayımlara dayanarak, gıdanın sahip olduğu tekstürün duyu algısı tamamen fiziksel kaynaklıdır ve yalnızca gıda materyalinin mekanik tepki özellikleri ile belirlenmektedir [39].

Gıdaların tekstürü ile ilgili yapılan araştırmalarda, viskozimetre [40], tekstür analizi (Tekstür profil analizi) [15] ve reometre [41-43] gibi teknikler kullanarak gıdaların fiziksel özellikleri nitelendirilmeye ve ölçülmeye çalışılmıştır. Oral işlem sırasında algılanan sertlik, yayılabilirlik, yapışkanlık ve kırılabilirlik gibi birçok tekstürel özellik, bu teknikler kullanılarak ölçülen bazı fiziksel parametreler ile iyi bir şekilde açıklanmış ve karşılaştırılmıştır [44,45].

Bununla birlikte, bu yaklaşımlar esas olarak, gıdanın bütünü parçalanması ve kesme deformasyonuna dayanmaktadır. Bu nedenle, bu yöntemler yalnızca doğrudan gıdanın tümünün faz deformasyonuna bağlanan tekstür özellikleri için kullanılabilir olmaktadır.

Ancak dilin damak ile sürtünme ve sıkıştırma eylemleri (yukarı/aşağı hareketle birlikte yatay hareketler) tespit edilebilirken kremamsılık, kayganlık ve pürüzsüzlük gibi bazı duyuşal özelliklere uyarlanamamaktadır. Bu tür hareketler ağızda normal kuvvet yaratırken kesme kuvveti de oluşturmaktadır. Gıda veya gıda-tükürük karışımı damak ve dil arasında kayganlaştırıcı olarak hareket eden bir sürtünme/yağlama hissi oluşturmaktadır. Bu oral eylemlerin parçalanmış ve tükürük ile karışmış gıda matriksinin deformasyonu ile ilişkili olmadığı, daha çok ince tabaka reoloji veya triboloji ile ilgili olduğu belirtilmektedir. Ağız duyusunun bir kısmını tanımlamak için reometre, viskozimetre ve tekstür profil analizinin duyuşal özelliklerden bazı tanımlamalarda yetersiz kalmasından son dönemlerde ince film ve yağlama çalışması olan triboloji önemli bir parametre olarak ortaya çıkmaktadır. Gıda tribolojisinin, sıvı/yağ varlığı ve kremamsılık algısı ile bağlantılı olan pürüzsüzlük hissinin açıklanabilmesinde önemli olduğu belirtilmiştir. Tribolojinin sağladığı bu çıkarımlar sayesinde dünya çapında artan yağ tüketimine bağılı hastalıkların azaltılması için gıda sanayinde yağ miktarı azaltılmış ancak lezzetli gıdaların geliştirilmesinin hedeflenmesiyle triboloji giderek daha da önem kazanmaktadır [23,46].

Reoloji, maddelerin yük altında gerilmesi ile deformasyonunu ve akışını inceleyen yunanca karşılığı “Rheo-Logos (Akış-Bilim)” olan bir terim olarak tanımlanmaktadır. Gıdaların reolojik özelliklerin belirlenmesi, ham madde kalitesinin değerlendirilmesi, gıdanın proses sırasında göstereceği davranışların tahmin edilmesi ile depolama ve stabilite gereksinimlerinin karşılanması için giderek önemli hale gelmektedir. Yük altına alınan her madde viskoz veya elastik davranış göstermenin yanı sıra bunun karışımı olarak viskoelastik davranışı da gösterebilmektedir [26]. Reometre, gıdaların mekanik yapısının nicel olarak açıklamasında temel fiziksel parametrelere (stres, gerilim, gerinim hızı, depolama ve kayıp modülleri, vb.) yol açan, iyi tanımlanmış bir geometriye ve deformasyon sürecine sahip olarak, gıdanın sıkıştırıldığında deforme olma ve akma şeklini açıklamaktadır. 50/s’lik bir salınım frekansında dinamik küçük deformasyon ölçümlerinin, Newtonian sıvılar, gerçek çözeltiler, zayıf jeller ve topaklanmış emülsiyonlar olmak üzere çok çeşitli gıda ürünlerinde algılanan sıklık, yapışkanlık ve incelik ile iyi bir korelasyona sahip olduğu açıklanmaktadır [47]. Bununla birlikte, kremamsılık, pürüzsüzlük gibi duyuşal ağız hissinin bazı yönlerinin, gıdanın viskozite davranışı ile ilişkili olmadığı da belirtilmektedir [48,49]. Ayrıca, nöronal olarak beynin yağ dokusuna tepki verme şeklinin viskoziteden bağımsız olduğu da tespit edilmiştir [50].

Tekstür analiz cihazı, gıdanın sahip olduğu tekstürel özelliklerin taklitçi ölçümlerini sağlayabilmekte ve elde edilen sonuçlar doğrudan tanımlanmış bir tekstürel özellik hissi ile ilişkilendirilebilmektedir. Bununla birlikte, reometre ve tekstür analiz cihazı ölçümleri, dişler veya dil tarafından uygulanan kuvvetler altında deforme olduğu zaman, gıdanın ağızda işleminin erken aşamasında, gıdanın tekstürel algısının yalnızca bir bölümünü açıklayabilmektedir. Gıdaların ağızda işlenmeye devam edilmesi ile birlikte, reolojik özellikler azalarak, yüzey sürtünmesi ve yağlama, daha baskın hale gelmektedir. Bu nedenle, gıdanın yapısı, tekstürü ve ağız hissi arasındaki ilişkiyi anlamada gıda reolojisinin yanı sıra gıda oral tribolojisi yeni bir deneysel teknik olarak ortaya çıkmaktadır [23,51].

Gıdanın yapısı, farklı fiziksel (viskozite, sıcaklık) ve kimyasal özelliklere (pH) sahip bir sistemdir. Tüketim sırasında gıda aynı zamanda bir kayganlaştırıcı görevi de görerek, oral işleme sırasındaki sürtünme kuvvetleri gıdanın yapısal özelliklerine bağılı olmaktadır. Ağız sistemi, esas olarak dil ve damak olmak üzere etkileşim halinde olan iki yüzeyden

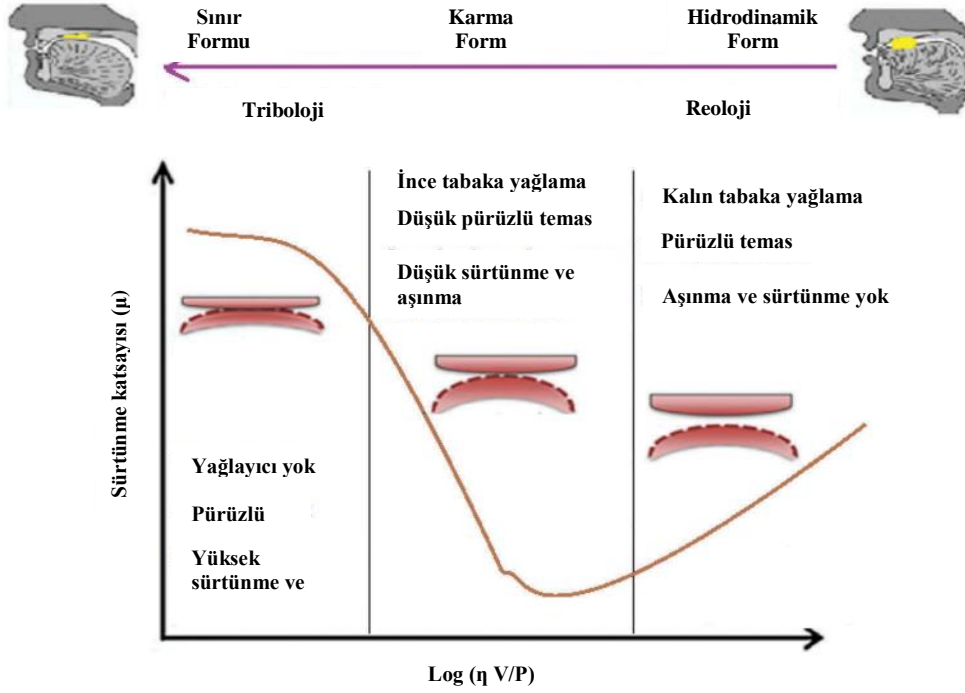


oluşmaktadır. İki yüzeyin pürüzlülüğü, kayma ve yuvarlanma hareketlerinin hızı, yönü ve iki yüzeye baskı yapan kuvvetin tümü, yiyeceklerin oral kayganlığını etkilemektedir. Bu faktörler dışında, tükürük tipi ve akış hızı, ağız boşluğu sıcaklığı ve gıdanın ağızda kalma süresi de gıdanın sürtünme davranışını etkilemektedir. Tükürük, bolus oluşumuna, bolusun ağız boşluğu içinde hareket etmesine ve yutmaya yardımcı olmak için yumuşatmaya ve kayganlaştırmaya yardımcı olan enzimatik bir sıvı olmakla birlikte aynı zamanda gıdaların tekstürünün algılanmasına da yardımcı olmaktadır [30,52,53].

Triboloji, gıda teknolojisinde gelişmekte olan bir kavramdır. Bu bilim dalı sürtünme, yağlanma ve aşınma ile ilgilenmektedir. Gıdanın tribolojik karakteristik özellikleri dil, damak ve dişlerle etkileşimleri hakkında bilgi sağlamaktadır. Gıda tribolojisi ile ilgili çalışmalar ilk olarak Kokini ve ark. [54,55] tarafından yürütülmüştür. Bu çalışmalarda triboloji yaklaşımı kullanılarak sıvı ve yarı katı gıdaların baskın fiziksel özelliklerinden pürüzsüzlük, yumuşaklık, sertlik ve kayganlık gibi duyuşal özellikleri araştırılmıştır.

Gıdaların ağızda işleme sürecini taklit etmek için bir tribometre tasarımında dikkate alınan en kritik iki faktör, *i*) İki yüzey arasında kayma ve/veya dönmenin kontrolü ve *ii*) substrat malzemelerin yüzey özelliklerini içermektedir. Yapılan araştırmalarda, yüzey özelliklerinin gıda algısını etkilediği belirtilmektedir [56]. Dresselhuis ve ark. [57] farklı yüzey özelliklerinin gıda emülsiyonlarında tamamen farklı yağlama davranışlarına yol açtığını bildirmişlerdir. Gıdanın oral yağlılık özellikleri ile ilgili çalışmalar için ideal bir yüzey materyali, insan ağızındaki deriyi ve dili mükemmel bir şekilde taklit edecek olmalıdır [28,53,54,58-60]. Kokini ve ark. [54] eğitimsiz panelistler tarafından farklı reolojik özelliklere sahip 16 sıvıyı değerlendirdikleri çalışmada, panelistler sıvıları, enstrümental ölçümlerle (viskozimetre, sürtünme aparatı gibi) karşılaştırılan pürüzsüzlük, kalınlık ve kayganlık olmak üzere üç duyuşal özelliğe göre değerlendirmiştir. Sonuçlar, pürüzsüzlüğün dil ve ağız arasındaki temasın neden olduğu sürtünme kuvveti ile ters orantılı olduğunu, kayganlığın, viskozite ve sürtünme kuvvetlerinin toplamı ile ters orantılı olduğunu açıklamaktadır. Benzer sonuçlar, Chen ve Engelen [61] tarafından da belirtilmiştir.

Bir triboloji testi için ana parametre, sürtünme kuvvetinin kullanılan yüke oranlanması ile hesaplanan sürtünme katsayısıdır. Sürtünme katsayısı, örneğin kuru bir şekilde hareket eden iki yüzeyin özelliklerine bağlı ve sabitken, iki yüzey arasında ince bir sıvı tabakası oluşturulduğunda yüzeyin yüküne ve sıvının viskozitesine göre önemli ölçüde değişebilmektedir [62]. Gıdaların yağlama özelliklerinin ölçümü gıdaların yağlama davranışı, birleştirilmiş viskozite, hız ve yük parametresine karşı sürtünme katsayısının bir grafiği olan Stribeck eğrisi (Şekil 4) ile açıklanmaktadır. Dikey eksen de sürtünme katsayısı hesaplanırken, yatay eksen de akışkan viskozitesi, yüzey hareketinin bağlı hızı ve yüzey yükünü birleştiren bir parametredir. Bu üç parametrenin kombinasyonu, iki hareketli yüzey arasında yağlayıcı film kalınlığına benzeyen bir uzunluk birimi vermektedir [18].



Şekil 4. Stribeck eğrisi [23].

Stribeck eğrisi tipik olarak, hidrodinamik form, sınır formu ve karma form olarak üçe ayrılmaktadır. Bu formlar gıdaların ağızda işlenmesi esnasında dil ve damak arasındaki farklı gıda miktarlarına bağlı olarak çok farklı 3 sürtünme olgusunu temsil etmektedir. *i)* Hidrodinamik Form; yiyeceğin tüketilmesi ile yüzeyleri ayırmak için bir sıvı film tabakası oluşmaktadır ve bu işleme hidrodinamik yağlanma ismi verilmektedir. Burada, bağlı hareket halindeki iki yüzey ince bir sıvı tabaka ile tamamen ayrılmaktadır. Bu durumda yüzey aşınması olmamakta ve sıvı akışkanlık kuvveti nedeni ile yüzey sürtünmesi artmaktadır *ii)* Sınır Formu; hidrodinamik sıvı basıncı damak ve dili birbirinden ayırmak için yetersiz ise gıdanın yağlılık/yağlama özellikleri gıda bileşenlerinin sınır filmi oluşturma yeteneğine bağlı olmaktadır. Sınır tabakasının yağlanması ile yüzeyler yakın temas halinde olduğundan pürüzlülük ve pürüzlü yüzeylerin kilitlemesine neden olabilmektedir. Dolayısıyla önemli düzeyde yüzey aşınmaları ve yüksek sürtünme katsayısına yol açabilmektedir. Bu form duyuşsal olarak burukluk, kayganlık algıları ile ilişkilendirilmektedir, *iii)* Karma Form; sınır formu ve hidrodinamik formu arasında karma form yer almaktadır. Bu formda gıda maddesinin girişi dil ve damak bölgesini birbirinden ayırmak için yeterlidir. Bununla birlikte, yağlılık oluşturan maddenin oluşturduğu film kalınlığı ve substrat yüzeyinin oluşturduğu pürüzlülüğün seviyesi benzer boyutlara ulaşmaktadır. Bu nedenle temas halinde oluşan yük kısmen sıvı basıncı ve kısmen pürüzlü yüzeyin oluşturduğu temasın basıncı tarafından taşınmaktadır. Bu sistemde, sürtünme katsayısı minimum seviyeye ulaşmak ile birlikte artan sertlik teması veya artan yağlama tabakasının kalınlığı ile sürtünme katsayısı da artmaktadır [46].

Az tuzlu veya az yağlı gıdaların tasarlanmasında, tuzluluk veya tekstürel özellikleri korumaya yardımcı olabilecek aroma oluşturuvcu ajanların incelenmesi model çalışmalarını mümkün hale getirmektedir [63-66]. Bu stratejiler, tüketicilerin refahını ve sağlığını iyileştirmeyi amaçlayan yenilikçi ürünlerinin tasarlanmasına ve önerilmesine katkıda bulunmaktadır. Genel olarak araştırmalar, ürün tadım değerlerinin, yiyecek ve içecekler için tüketici kararları üzerinde önemli bir etkisi olduğunu göstermiştir. Tadın tanımlanması genel olarak öznel ve nesnel bilgilerden oluşmaktadır (Çizelge 1, Çizelge 2). Nesnel bilgiler, tip, köken, çeşitlilik ve üretim süreci gibi ürün özelliklerinden oluşurken, öznel bilgi ise, koku, tat ve yapı gibi özellikleri içeren duyuşsal algılardan ortaya çıkmaktadır [67].

Duyusal bir perspektiften bakıldığında, araştırmacılar kalıtsal bir özellik olan tat fizyolojisinin, tüketici zevklerini, yiyecek ve içecek tercihlerini önemli ölçüde etkilediğini savunmaktadırlar [68]. Yapılan araştırmalar, acı bir bileşik olan 6-n-propiltiyourasile (PROP) yanıt vermenin bireysel genetik farklılıklara bağlı olarak değiştiğini göstermiştir. Nüfusun yaklaşık %25'i acılığa karşı son derece hassastır ve bu kişiler süpertasterlar (tat duyusunu çok daha yoğun duyumsayan kişiler) olarak belirlenmişlerdir. Diğer tüketiciler ise, PROP'u daha az acı veya hiç acı değil olarak ifade etmektedirler. Dolayısı ile süpertaster olan kişilerin bitter çikolata, acı biber, brüksel lahanası, ıspanak ve brokoli gibi acı sebzeleri sevmemelerinin de muhtemel olduğu belirtilmiştir [69,70]. Ayrıca, alkollü içecekleri de diğer tatlara göre de daha az tüketme eğiliminde olacakları da belirtilmiştir [71,72].

Santagiuliana ve ark. [73]'nin yaptığı bir çalışmada, homojen olarak üretilmiş peynir matrikslerine dolmalık biber parçaları eklenerek on iki heterojen peynir türü hazırlanmış ve ilk durumda, katılımcıların peynir tadını gözleri bağlıyken (interoseptif durum) duyuşsal özelliklerine ve beğenilere göre derecelendirmeleri, ikinci durumda, katılımcılar beklenen duyuşsal özellikleri ve resim olarak sunulan peynirlerin ürün açıklamaları ile birlikte beğenilerini (exteroseptif durumu) değerlendirmeleri ve üçüncü durumda ise, tüketiciler peynirleri görsel ipuçları ve ürün açıklamaları ile birlikte tadını (birleşik durum) değerlendirmeleri istenmiştir. Tüketicilerin peynirleri en çok küçük-orta boy dolmalık biberleri ile sevmesi beklenmiştir. Bununla birlikte, parça büyüklüğünün beğenin belirlenmesinde rol oynamadığı ve yumuşak parçalara sahip peynirlerin en çok tercih edilen peynirler olduğu gözlemlenmiştir. Üç durumun karşılaştırılmasından, hem görsel hem de ağızda hissedilen duyuşsal ipuçlarının heterojen peynirlerin tekstür ve flavor algısını etkilediği sonucuna varılmış ve tüketimden sonra beğenilen yani, heterojen yiyeceklerin tekstürel ürün özelliklerine göre belirlendiği ve büyük ölçüde tüketicilerin duyuşsal beklentilerinin onaylanmasına katkı sağladığı sonucuna varılmıştır.

Włodarska ve ark. [80] ürün özellikleri ve dış ambalaj ile ilişkili faktörlerin gıda kalite algısı üzerindeki etkisini değerlendirmek amacıyla duyuşsal ve görsel yöntemlerle, tüketicilerin dört ticari elma suyunun (konsantreden berrak meyve suyu, konsantre bulanık meyve suyu, konsantre olmayan pastörize bulanık meyve suyu ve taze meyve suyu) kaliteli olup olmadığını nasıl algıladıklarını incelemek istemişlerdir. Sonuçlar, marka ve paket bilgilerinin tüketicilerin duyuşsal algıları üzerinde büyük bir etkiye sahip olduğunu ve yüksek duyuşsal beklentiler yarattığını göstermiştir. Raf ömrü testi sırasında, tüketiciler çoğunlukla yerel üreticilerin konsantre meyve sularının yerine, konsantre edilerek yeniden oluşturulan meyve sularının daha doğal, sağlıklı ve pahalı olarak algılandığını belirtmişlerdir. Etiketler analiz edildiğinde ise, tüketicilerin ağırlıklı olarak beslenme verilerine, marka adına ve ürün türü hakkında bilgiye odaklandığı yani

ambalajla ilgili bilgi ve görsel uyarıların ürün algısı üzerinde büyük bir etkisinin olduğu bildirilmiştir.

**Çizelge 1.** Gıdalarda triboloji çalışmaları

Tekstürel özellikler	Örnek	Özellik
Kremamsılık	%0.06 ve %8.68 yağ içeriğine sahip homojenize süt	Düşük hızda ve %1 yağ içeriğinin üzerinde sürtünme katsayısı (100 mm/sn altında) ve kremamsılık arasında önemli bir ilişki olduğu belirtilmiştir [28].
Ağız kaplama	Çikolata	Eritilmiş çikolataların sürtünme davranışı, tekstür algısındaki farklılıkların büyük ölçüde ağız kaplama derecesine bağlı olduğu tespit edilmiştir [29].
Kayganlık Tozlu Yapışkanlık Yüzey film oluşumu	Çeşitli boyut, şekil ve sertliğe sahip protein partikül dispersiyonları polisakkarit-jel	Sürtünme katsayısının kayganlık algısı ile iyi bir korelasyon gösterdiği, ancak diğer özellikler arasında net bir korelasyon olmadığı, Partikül şeklinin ve partikül sertliğinin tozlu algısı ile ilişkili olduğu belirtilmiştir [74].
Tanecikli yapı Kremamsılık Kalınlık	Peynir altı suyu proteinleri-pektin karışımları ile zenginleştirilmiş yağsız yoğurt	Peynir altı suyu proteini-pektin karışımlarının yağ ikame maddesi olarak kullanılabileceği belirtilmiştir [75].
Kireçlilik/tebeşirimsi Kalınlık Pürüzsüzlük	Asidik süt jeli ve tükürük	Sürtünme katsayısının artması ile ağızdaki viskozite, topaklı görünüm ve tebeşirimsilik ile korelasyon olduğu ayrıca pürüzsüzlüğün ve kumlu ağız kaplama algısının azalması ile ilişkili olduğu belirtilmiştir [53].
Yağ ile ilişkili algılar	Su içinde yağ (Ayçiçek) emülsiyonları, aromalı ve aromasız süt, süzme yoğurt ve emülsifiye sos	Triboloji verileri, sürtünme faktörünün yağ algısı ile bağlantılı olarak enstrümental bir parametre olarak kullanılabileceği belirtilmiştir [76].
Kremamsılık ve yağ ile ilişkili algılar	Kıvam artırıcı (ksantan gam) içeren sıvılarda mikro kabarcıklar, Kıvam artırıcı ve Agar/jelatin içermeyen sıvılar	Su içinde yağ emülsiyonlarının yağlama özellikleri, mikro-kabarcık dispersiyonlarından ve protein çözeltilerinden daha iyi olduğu belirtilmiştir. Gıdalarda mikro kabarcıkların tekstür geliştirici ve yağ ikame maddeleri olarak pratik uygulamalara sahip olabileceği düşünülmektedir [77,78].
Burukluk	Tükürük: 1:1 Tanen, kafein 4 çeşit şarap	İnsanlar ve cihazlar arasında pozitif korelasyon olduğu ve yüksek sürtünme katsayısının, yüksek burukluk algısı ile doğrusal olarak ilişkili olduğu belirtilmiştir [79].
Pürüzsüzlük	Tükürük: Emülsiyon (1:1) Ayçiçek yağı	Farklı emülgatörler ile stabilize edilen O/W emülsiyonları, yağ kütle fraksiyonuna ve emülgatör tipine bağlı olarak pürüzsüzlük algısının farklılaştırılabileceği belirtilmiştir [31].

Kim ve ark. [81] fonksiyonel bir peynir üretmek amacıyla ginseng ekstraktı ilavesi ile Quark peyniri üretimi gerçekleştirmişlerdir. Tekstür profiline göre, yapışkanlık ve esnekliğin değişmediğini, sertlik, sakızimsılık ve çiğnenebilirliğin ise ginseng ilavesiyle arttığını tespit etmişlerdir. Duyusal analiz sonuçları ise, artan ginseng ekstraktı konsantrasyonuna bağlı olarak acı tat ve ginseng kokusunun önemli ölçüde iyileştiğini göstermiştir.

Yoğurtların protein içeriğini arttırmak, tokluk özelliklerini arttırmak amacıyla Fizman ve ark. [82]'ı yoğurtlara protein ilave etmişlerdir. Bu çalışmada, ilave yağsız süt tozu veya peynir altı suyu protein konsantresi eklenerek ve her birine yoğurtların kıvamını arttırmak amacıyla modifiye edilmiş nişasta ilave edilerek dört çeşit yoğurt hazırlanmıştır.

Örnekler, tükürük ile karıştırıldıktan sonra da analiz edilmiş ve triboloji sonuçları, nişasta ilavesinin, protein tipine bakılmaksızın sürtünme katsayısı değerlerini azalttığını açıkça göstermiştir. Sonuç olarak, daha gerçekçi bir sonuç elde etmek için gıdaların triboloji ölçümlerini yaparken tükürük eklenmesi önerilmiştir. Duyusal sonuçlar ise, nişasta ilavesinin, özellikle peynir altı suyu protein konsantrisi eklenmiş örnekte astringent (büzücü, buruk) hissi azalttığını, süt tozu ve modifiye nişasta eklenmiş örneklerin daha yumuşak ve pürüzsüz olduğunu da doğrulamıştır. Bununla birlikte, peynir altı suyu protein konsantrisi eklenmiş örnekte astringent özelliğin triboloji sonuçlarıyla açıklanamadığı belirtilmiştir. Sonuç olarak, oral triboloji, ağız içindeki kayganlaştırma dinamiklerini, tekstür ve ağız hissi algısının altında yatan fiziksel mekanizmalar ile daha iyi anlamaya yardımcı olabilecek *in vitro* bir teknik olarak ortaya çıkmaktadır.

Yağ içeriği %0,06-8,00 olan homojenize sütlerde sürtünme katsayısı ve viskozite korelasyonunun incelendiği bir çalışmada, %1 den fazla yağ içeren homojenize sütlerde düşük akış hızlarında sürtünme kuvvetinde güçlü bir azalma görülmüştür. 200 mm/s'den daha düşük hızlarda silikon kauçuk için sürtünme katsayısı 0,25'in altında olan ürünlerde kremsilik saptanmıştır. Çalışmada, %1'in üzerindeki yağ içeriğine sahip homojenize sütlerde kremlilik ve sürtünme arasında doğrusal bir korelasyon elde edilmiştir. Daha yüksek hızlarda ise birbiri ile eriyik kaynaşan yağ partikülleri yüksek kayma sebebiyle parçalanarak korelasyonu ortadan kaldırmıştır. Artan kremi yapı ve dolayısıyla azalan sürtünme, dil ve kauçuk disk arasındaki yağ küreciklerinin birleşmesine bağlanmıştır [28].

Selway ve Stokes [83] ağız hissini fiziksel özellikleri ve tükürüğün de rolü dahil olmak üzere oral kayganlığın dinamikleri hakkında bilgi sahibi olmak için reoloji ve tribolojiyi kullanarak tüketicinin kabul edilebilirliğini belirlemek amacıyla değişkenlik gösteren %yağ varyasyonlarında yumuşak bir gıda sistemi olan muhallebi ve koyulaştırılmış kremleri incelemişlerdir. Seçilen gıdaların reolojik profilleri (salınlı ve sabit kaymalı akış özellikleri) benzerlik göstermesine rağmen, benzersiz tribolojik özellikler sergiledikleri belirlenmiştir. Ayrıca gıda-tükürük etkileşimlerinin de dinamik oral süreçleri yansıtabilen geçici yağlama özelliklerinin belirlenmesinde önemli bir rol oynadığı da saptanmıştır.

Nguyen ve ark. [84] süt ürünlerinin yağlama özelliklerini (sürtünme katsayısı) ölçmek için geniş bir kullanım alanına sahip reometre ile tribometre kullanımını kombine ederek, %0,1 ile %4,9 arasında yağ içeriğine sahip pastörize sütler ve %0,5, %5,5, %11,6 yağlı krem peynirlerde sürtünme kuvvetini tribometrenin sürüklenme hızının bir fonksiyonu olarak ölçmüştür. Örneklerin sürtünme katsayılarının düşük sürüklenme hızlarında düşük kayma oranı ürettiği her bir farklı yağ seviyesindeki ürünler içinde sürtünme katsayısının belirgin şekilde değişken olduğunu belirtmişlerdir. Kullanılan bu yöntem ile hem sıvı hem de yarı katı formdaki ürünlerin yağ oranının ayırt edebileceği belirtilmiştir.

#### 4. Sonuç

Gıdaların davranışlarını incelemekte olan triboloji, akışkanın reolojik özelliklerini ve etkileşen substratların yüzey özelliklerini belirlemek için kullanılmaktadır. Reolojinin tanımlayamadığı ince tabaka davranışını açıklamakla birlikte, gıdanın tam duyusal veya ağız hissi algısını belirtmektedir. Yöntem, gıda maddelerinin yağlama ya da yağlılık özelliklerini de göstermektedir. Diğer yandan ise, katı veya parçacıklı gıda maddeleri için

uygun bir yöntem değildir. İşlenmiş gıdaların daha fazla işlenmesi (tüketilmeden önce ısıtma veya mikrodalgada pişirme), doku tanımlayıcı moleküllerin tribolojik özelliklerini değiştirebilmekte ve dolayısıyla bu da gıdanın duyuşal özelliklerini etkilemektedir. Ağızda oluşun duyuşal etkinin belirleyicisi olan fiziksel değişimlerde, reoloji ve triboloji geçişini takip eden bir sıralama gerçekleşmektedir. Duyusal olarak ağızda oluşun pürüzsüzlük, kremsilik ve sertlik algısı, gıdanın kayganlık ya da yağlılık özellikleri tarafından önemli derecede etkilenmektedir. Ağızda oluşun kayganlık/yağlanma hissi; gıdaların bileşimi ve makro/mikro-yapısından önemli derecede etkilenirken, tükürük ve dil mikro yapısının komplikasyonlarının da dikkate alınması gerekmektedir. Bu değerlendirmelerin çoklu analizlerini ve korelasyonlarını yapmak, gıda dokusunun karmaşıklığını ve bunların ortaya çıkan mekanizmalarını anlamada daha fazla netlik sağlayacaktır. Sürtünme davranışının gıda dokusu algısı ve ötesindeki etkisini tam olarak anlamak için gıda tribolojisi alanında temel araştırmalar gerekmektedir.

**Çizelge 2.** Bolus özelliklerini karakterize etmek için kullanılan enstrümental ve duyuşal yöntemler [38]

Yöntem	Tekstürel Özellikler	Gıda
<b>Reoloji</b>		
Tekstür profil analizi	Sertlik, iç yapışkanlık, yayılabilirlik ve dış yapışkanlık Sertlik, dış yapışkanlık, iç yapışkanlık	Kahvaltılık gevrekler Ekmek
Ardışık çift sıkıştırma	Tepe kuvveti, dış yapışkanlık, iç yapışkanlık	Bisküvi
Penetrasyon testi	Kohezif kuvvet	Ekmek
Yayılabirlik testi	İlk yayılabilme alanı, sertlik, yayma, yapıştırma Sürülebilirlik, dış yapışkanlık	Prototip süt ürünleri Peynir
Sıkıştırma testi	Bolus yüksekliği, akma gerilimi, kıvamlılık Sıkıştırma sırasındaki tepe kuvveti, sıkıştırma	Peynir Pirinç
Back ekstrüzyon	Akış davranış indeksi, kıvamlılık katsayısı Tepe kuvveti	Bisküvi Ekmek
Kapılar reometri	Görünür viskozite, kıvamlılık indeksi, akış davranış indeksi	Ekmek
Gerilebilirlik testi	Maksimum gerilme kuvveti,	Jöleler, muhallebi benzeri gıdalar
Kayma (kesme) testi	Maksimum kayma kuvveti	Et
Akış reometrisi	Görünür viskozite, Kıvamlılık indeksi, akış davranış indeksi Görünür viskozite, Görünür viskozite, Statik akma gerilimi	Muhallebi benzeri gıdalar Prototip süt ürünleri Jöleler, muhallebi benzeri gıdalar Kahvaltılık gevrekler
Salımlı reometri	Depolama modülü $G'$ , Kayıp modülü $G''$ , Kritik gerilim ve gerinim $G'/G''$ Depolama modülü $G'$ , Kayıp modülü $G''$ , akma gerinimi Depolama modülü $G'$ , Kayıp modülü $G''$ , Depolama modülü $G'$ , Kayıp modülü $G''$ , $\tan \delta$	Muhallebi benzeri gıdalar Kahvaltılık gevrekler Ekmek Peynir
<b>Triboloji</b>		
Sürtünme testi	Sürtünme katsayısı	Muhallebi benzeri gıdalar
Parçacık boyutu Görüntü analizleri	Parçacık sayısı, boyutu, Parçacık sayısı, boyutu Feret çapı Parçacık alanı, parçacık boyutu, dağılımı, dağılım genişliği Parçacık alanı Parçacık alanının histogramı	Polimerik jel matriksi Jel Bisküvi Jelatin veya çikolata ile kaplanmış fıstık Ekmek Makarna
Eleme metodu	Parçacık boyutu dağılımı  Parçacık boyutu dağılımı Medyan parçacık genişliği, D50	Fıstık, badem, Antep fıstığı, havuç, turp, karnabahar Polimerik jel matriksi Kahvaltılık gevrekler
Lazer kırınımı	Parçacık boyutu dağılımı  Parçacık alanının histogramı	Fıstık, badem, Antep fıstığı, havuç, turp, karnabahar Ekmek
Sıkıştırma testi	Partikül yüksekliği	Peynir
Matematiksel modelleme	Toplam partikül alanı	Prototip süt ürünleri
<b>Mikro yapı</b>		
Işık mikroskobu	Kalitatif tanımlama	Bisküvi
Konfokal ışık mikroskobu	Kalitatif tanımlama	Polimerik jel matriksi
Görüntü analizi	Kenar algılama, kontrast, parçalanma, frekans analizi	Muhallebi benzeri gıdalar

## 5. Kaynaklar

- [1] Domínguez Díaz, L., Fernández-Ruiz, V. ve Cámara, M., The frontier between nutrition and pharma: The international regulatory framework of functional foods, food supplements and nutraceuticals. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, 60, 10, 1738-1746, (2019).
- [2] Huang, L., Bai, L., Zhang, X. ve Gong, S., Re-understanding the antecedents of functional foods purchase: Mediating effect of purchase attitude and moderating effect of food neophobia. **Food Quality Preference**, 73, 266-275, (2019).
- [3] Ye, Q., Georges, N. ve Selomulya, C., Microencapsulation of active ingredients in functional foods: from research stage to commercial food products. **Trends Food Science Technology**, 78, 2, 167-79, (2018).
- [4] Silva, M. A., Albuquerque, T. G., Rita C. A., Beatriz P. P. O. ve Costa, H. S., Melon (*Cucumis melo L.*) by-products: Potential food ingredients for novel functional foods? **Trends in Food Science and Technology**, 98, 181-198, (2020).
- [5] Karelakis, C., Zevgitis, P., Galanopoulos, K. ve Mattas, K., Consumer trends and attitudes to functional foods. **Jornal of International Food Agribusiness Marketing**, 32, 3, 266-294, (2019).
- [6] Nystrand, B. T. ve Olsen, S. O., Consumers attitudes and intentions toward consuming functional foods in Norway. **Food Quality and Preference**, 80, 103827, (2020).
- [7] Pappalardo, G. ve Lusk, J. L., The role of beliefs in purchasing process of functional foods. **Food Quality and preference**, 53, 151-158, (2016).
- [8] Bimbo, F., Bonanno, A., Nocella, G., Viscecchia, R., Nardone, G., De Devitiis, B. ve Carlucci, D., Consumers acceptance and preferences for nutrition-modified and functional dairy products: A systematic review. **Appetite**, 113, 141-154, (2017).
- [9] Massey, M., O’Cass, A. ve Otahal, P., A meta-analytic study of the factor driving the purchase of organic food. **Appetite**, 125, 418-427, (2018).
- [10] Rizzo, G., Borrello, M., Guccione, G. D., Schifani, G. ve Cembalo, L., Organic food consumption: The relevance of the health attribute. **Sustainability**, 12, 2, 595, (2020).
- [11] Mancini, S., Moruzzo, R., Riccioli, F. ve Paci, G., European consumers readiness to adopt insects as food. A review. **Food Research International**, 122, 661-678, (2019).
- [12] Granato, D., Nunes, D. S. ve Barba, F. J., An integrated strategy between food chemistry, biology, nutrition, pharmacology, and statistics in the development of functional foods: A proposal. **Trends Food Science Technology**, 62, 13-22, (2017).
- [13] Sethupathy, P., Moses, J. A. ve Anandharamakrishnan, C., Food oral processing and tribology: Instrumental approaches and emerging applications. **Food Reviews International**, 37, 5, 538-571, (2021).
- [14] Keser, G. ve Ozcan, T., Determining product development and consumer strategies with food texture-aroma interactions. **International Journal of Scientific and Technological Research**, 6, 10, 29-54, (2020).
- [15] Bourne, M., **Food texture and viscosity: Concept and measurement**; Elsevier: London, 427, (2002).
- [16] Mojet, J. ve Köster, E. P., Sensory memory and food texture. **Food Quality and Preference**, 16, 3, 251-266, (2005).
- [17] Chen, J. ve Opara, U. L., Texture measurement approaches in fresh and processed foods-a review. **Food Research International**, 51, 2, 823-835, (2013).



- [18] Prakash, S., From rheology to tribology: Applications of tribology in studying food oral processing and texture perception. In *Advances in food rheology and its applications*. Woodhead Publishing, 65-86, (2017).
- [19] Sarkar, A., Andablo-Reyes, E., Bryant, M., Dowson, D. ve Neville, A., Lubrication of soft oral surfaces. **Current Opinion in Colloid and Interface Science**, 39, 61-75. (2019).
- [20] Koc, H., Vinyard, C. J., Essick, G. K. ve Foegeding, E. A., Food oral processing: Conversion of food structure to textural perception. **Annual Review of Food Science and Technology**, 4, 237-266, (2013).
- [21] Stieger, M. ve van de Velde, F., Microstructure, texture and oral processing: New ways to reduce sugar and salt in foods. **Current Opinion in Colloid Interface Science**, 18, 4, 334-348, (2013).
- [22] Feron, G. ve Salles, C., Food oral processing in humans: Links between physiological parameters, release of flavour stimuli and flavour perception of food. **International Journal of Food Studies**, 7, 1, 1-12, (2018).
- [23] Prakash, S., Tan, D. D. Y. ve Chen, J. S., Applications of tribology in studying food oral processing and texture perception. **Food Research International**, 54, 2, 1627-1635. (2013).
- [24] Lee, M. R., Objective measurements of textural and rheological properties of cheese. **Journal of Dairy Science and Biotechnology**, 36, 2, 73-80, (2018).
- [25] Lillford, P., Texture and breakdown in the mouth: An industrial research approach. **Journal of Texture Studies**, 49, 2, 213-218, (2018).
- [26] Chen, J. ve Stokes, J. R., Rheology and tribology: Two distinctive regimes of food texture sensation. **Trends in Food Science and Technology**, 25, 1, 4-12, (2012).
- [27] Nishinari, K., Hayakawa, F., Xia, C. F., Huang, L., Meullenet, J. F. ve Siefferman, J. M., Comparative study of texture terms: English, French, Japanese and Chinese. **Journal of Texture Studies**, 39, 530-568, (2008).
- [28] Chojnicka-Paszun, A., de Jongh, H. H. J. ve De Kruif, C. G., Sensory perception and lubrication properties of milk: Influence of fat content. **International Journal of Dairy Technology**, 26, 1, 15-22, (2012).
- [29] Carvalho-da-Silva, A. M., Van Damme, I., Taylor, W., Hort, J. ve Wolf, B. Oral processing of two milk chocolate samples. **Food and Function**, 4, 3, 461-469, (2013).
- [30] Foster, K. D., Grigor, J. M. V., Cheong, J. N., Yoo, M. J. Y., Bronlund, J. E. ve Morgenstern, M. P., The role of oral processing in dynamic sensory perception. **Journal of Food Science**, 76, 2, 49-61, (2011).
- [31] Upadhyay, R. ve Chen, J., Smoothness as a tactile percept: Correlating oral tribology with sensory measurements. **Food Hydrocolloids**, 87, 38-47, (2019).
- [32] Dresselhuis, D. M., De Hoog, E. H. A., Stuart, M. A. C. ve Van Aken, G. A., Application of oral tissue in tribological measurements in an emulsion perception context. **Food Hydrocolloids**, 22, 2, 323-335, (2008).
- [33] Stokes, J. R., Boehm, M. W. ve Baier, S. K., Oral processing, texture and mouthfeel: From rheology to tribology and beyond. **Current Opinion in Colloid Interface Science**, 18, 4, 349-359, (2013).
- [34] Dresselhuis, D. M., The fate of fat: Tribology, adhesion and fat perception of food emulsions. Wageningen University, Wageningen, 152, (2008).
- [35] Engelen L. ve de Wijk, R. A., **Oral processing and texture perception: Food oral processing**. Wiley-Blackwell, 157-176, (2012).

- [36] Prinz, J. F., Janssen, A. M. ve De Wijk, R. A., In vitro simulation of the oral processing of semi-solid foods. **Food Hydrocolloids**, 21, 3, 397-401, (2007).
- [37] de Wijk, R. A. ve Prinz, J. F., Mechanisms underlying the role of friction in oral texture. **Journal of Texture Studies**, 37, 4, 413-427, (2006).
- [38] Panouille, M., Saint-Eve, A. ve Souchon, I., Instrumental methods for bolus characterization during oral processing to understand food perceptions. **Current Opinion in Food Science**, 9, 42-49, (2016).
- [39] Fischer, P. ve Windhab, E. J., Rheology of food materials. **Current Opinion in Colloid and Interface Science**, 16, 1, 36-40, (2011).
- [40] Christensen, C. M., Oral perception of solution viscosity. **Journal of Texture Studies**, 10, 2, 153-164, (1979).
- [41] Stanley, N. L. ve Taylor, L. J., Rheological basis of oral characteristics of fluid and semisolid foods-a review. **Acta Psychologica**, 84, 1, 79-92, (1993).
- [42] de Wijk, R. A., van Gemert, L. J., Terpstra, M. E. J. ve Wilkinson, C. L., Texture of semi-solids; sensory and instrumental measurements on vanilla custard desserts. **Food Quality and Preference**, 14, 305-317, (2003).
- [43] Janssen, A. M., Terpstra, M. E. J., de Wijk, R. A. ve Prinz, J. F., Relations between rheological properties, saliva-induced structure breakdown and sensory texture attributes of custards. **Journal of Texture Studies**, 38, 1, 42-69, (2007).
- [44] Chen, J., Food oral processing-a review. **Food Hydrocolloids**, 23, 1, 1-25, (2009).
- [45] Baysal, S. ve Ozcan, T., Characterization and consumer liking of White cheeses from different milk fermentation: Correlation between sensory and instrumental analyses. **International Food Research Journal**, 27, 6, 1132-1140, (2020).
- [46] Sudhakar A., Jithender B. ve Mishra A., Importance of tribology in food and dairy industries: An overview. **Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry**, 9, 1, 418-422, (2020).
- [47] Shama, F. ve Sherman, P., Identification of stimuli controlling the sensory evaluation of viscosity II. Oral methods. **Journal of Texture Studies**, 4, 1, 111-118, (1973).
- [48] Kokini, J. L., The physical basis of liquid food texture and texture-taste interactions. **Journal of Food Engineering**, 6, 1, 51-81, (1987).
- [49] Baier, S., Elmore, D., Guthrie, B., Lindgren, T., Smith, S. ve Steinbach, A., A new tribology device for assessing mouthfeel attributes of foods. In: **5<sup>th</sup> International Symposium on Food Structure and Rheology**. ETH Zurich, Switzerland, (2009).
- [50] Verhagen, J.V., Rolls, E.T. ve Kadohisa, M., Neurons in the primate orbitofrontal cortex respond to fat texture independently of viscosity. **Journal of Neurophysiology**, 90, 3, 1514-1525, (2003).
- [51] Chojnicka, A., de Jong, S., de Kruif, C. G. ve Visschers, R. W., Lubrication properties of protein aggregate dispersions in a soft contact. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 56, 4, 1274-1282, (2008).
- [52] van Vliet, T., van Aken, G. A., de Jongh, H. H. J. ve Hamer, R. J., Colloidal aspects of texture perception. **Advances in Colloid and Interface Science**, 150, 1, 27-40, (2009).
- [53] Joyner, H. S., Pernell, C. W. ve Daubert, C. R., Impact of oil-in-water emulsion composition and preparation: Method on emulsion physical properties and friction behaviors. **Tribology Letters**, 56, 143-160, (2014).
- [54] Kokini, J. L., Kadane, J. B. ve Cussler, E. L., Liquid texture perceived in mouth. **Journal of Texture Studies**, 8, 2, 195-218, (1977).

- [55] Kokini, J. L. ve Cussler, E. L., Predicting the texture of liquid and melting semi-solid foods. **Journal of Food Science**, 48, 4, 1221-1225, (1983).
- [56] de Hoog, E. H. A., Prinz, J. F., Huntjens, L., Dresselhuis, D. M. ve van Aken, G. A., Lubrication of oral surfaces by food emulsions: The importance of surface characteristics. **Journal of Food Science**, 71, 7, 337-341, (2006).
- [57] Dresselhuis, D. M., de Hoog, E. H. A., Cohen Stuart, M. A. ve van Aken, G. A., Application of oral tissue in tribological measurements in an emulsion perception context. **Food Hydrocolloids**, 22, 2, 323-335, (2008a).
- [58] Ranc, H., Servais, C., Chauvy, P. F., Debaud, S. ve Mischler, S., Effect of surface structure on frictional behaviour of a tongue/palate tribological system. **Tribology International**, 39, 12, 1518-1526, (2006).
- [59] Dresselhuis, D. M., de Hoog, E. H. A., Cohen Stuart, M. A., Vingerhoeds, M. H. ve van Aken, G. A., The occurrence of in-mouth coalescence of emulsion droplets in relation to perception of fat. **Food Hydrocolloids**, 22, 6, 1170-1183, (2008b).
- [60] Goh, S. M., Versluis, P., Appelqvist, I. A. M. ve Bialek, L., Tribological measurements of foods using a rheometer. **Food Research International**, 43, 1, 183-186, (2010).
- [61] Chen, J. ve Engelen, L., **Food oral processing: Fundamentals of eating and sensory perception**. Wiley Blackwell, Chichester, (2012).
- [62] Bongaerts, J. H. H., Fourtouni, K. ve Stokes, J. R., Soft-tribology: Lubrication in a compliant PDMS-PDMS contact. **Tribology International**, 40, 1531-1542, (2007).
- [63] Ghawi, S. K., Rowland, I. ve Methven, L., Enhancing consumer liking of low salt tomato soup over repeated exposure by herb and spice seasonings. **Appetite**, 81, 20-29, (2014).
- [64] Prescott, J., Multisensory processes in flavour perception and their influence on food choice. **Current Opinion Food Science**, 3, 47-52, (2015).
- [65] Thomas-Danguin, T., Lawrence, G., Emorine, M., Nasri, N., Boisard, L., Guichard, E. ve Salles, C., Strategies to enhance saltiness in food involving cross modal interactions. **The chemical sensory informatics of food: Measurement, analysis, integration**: American Chemical Society, Washington DC, 27-40, (2015).
- [66] Syarifuddin, A., Salles, C., Septier, C. ve Thomas-Danguin, T., Reducing salt and fat while maintaining taste: an approach on a model food system. **Food Quality Preference**, 48, A, 59-69, (2016).
- [67] Mogendi, J. B., De Steur, H., Gellynck, X. ve Makokha, A., Consumer evaluation of food with nutritional benefits: A systematic review and narrative synthesis. **International Journal of Food Sciences and Nutrition**, 67, 4, 355-371, (2016).
- [68] Hayes, J. E. ve Keast, R. S. J., Two decades of supertasting: Where do we stand? **Physiology and Behavior**, 104, 5, 1072-1074, (2011).
- [69] Kaminski, L. C., Henderson, S. A. ve Drewnowski, A., Young women's food preferences and taste responsiveness to 6-n-propylthiouracil (PROP). **Physiology and Behavior**, 68, 5, 691-697, (2000).
- [70] Catanzaro, D., Chesbro, E. C. ve Velkey, A. J., Relationship between food preference and PROP taste status of college students. **Appetite**, 68, 124-131, (2013).
- [71] Duffy, V. B., Peterson, J. M. ve Bartoshuk, L. M., Associations between taste genetics, oral sensation and alcohol intake. **Physiology and Behavior**, 82, 2-3, 435-445, (2004).
- [72] Hanni, T., **Why you like the wines you like: Changing the way the world thinks about wine**. HanniCo, 246, (2013).

- [73] Santagiuliana, M., Vani Bhaskaran, V., Scholten, E., Fiszman, B. P. ve Stieger, M. Don't judge new foods by their appearance! How visual and oral sensory cues affect sensory perception and liking of novel, heterogeneous foods. **Food Quality and Preference**, 77, 64-77, (2019).
- [74] Chojnicka-Paszun, A. ve de Jongh, H. H. J., Friction properties of oral surface analogs and their interaction with polysaccharide/MCC particle dispersions. **Food Research International**, 62, 1020-1028, (2014).
- [75] Krzeminski, A., Tomaschunas, M., Köhn, E., Busch-Stockfisch, M., Weiss, J. ve Hinrichs, J., Relating creamy perception of whey protein enriched yogurt systems to instrumental data by means of multivariate data analysis. **Journal of Food Science**, 78, 2, 314-319, (2013).
- [76] Le Calvé, B., Saint-Léger, C., Babas, R., Gelin, J., Parker, A., Erni, P. ve Cayeux, I., Fat Perception: How sensitive are we? **Journal of Texture Studies**, 46, 3, 200-211, (2015).
- [77] Rovers, T. A. M., Sala, G., der Linden, E. ve Meinders, M. B. J., Potential of microbubbles as fat replacer: Effect on rheological, tribological and sensorial properties of model food systems. **Journal of Texture Studies**, 47, 3, 220-230, (2016).
- [78] Zhu, Y., Bhandari, B., Pang, Z.; Liu, X. ve Prakash, S., Protein concentration and hydrocolloid effect on the rheological and tribological behaviour of resulting protein solution. **LWT**, 100, 150-157, (2019).
- [79] Brossard, N., Cai, H., Osorio, F., Bordeu, E. ve Chen, J., Oral tribological study on the astringency sensation of red wines. **Journal of Texture Studies**, 47, 5, 392-402, (2016).
- [80] Włodarska, K., Pawlak-Lemanska, K., Górecki, T. ve Sikorska, E., Factors influencing consumers perceptions of food: A study of apple juice using sensory and visual attention methods. **Foods**, 8, 11, 545, (2019).
- [81] Kim, K., Hwang, J. E., Eum, S. J. ve Paik, H., Physiochemical analysis, antioxidant effects, and sensory characteristics of quark cheese supplemented with ginseng extract. **Food Science of Animal Resources**, 39, 2, 324-331, (2019).
- [82] Fiszman, S., Morell, P. ve Chen, J., The role of starch and saliva in tribology studies and the sensory perception of protein-added yogurts. **Food and Function**, 8, 545-553, (2017).
- [83] Selway, N. ve Stokes, J. R., Insights into the dynamics of oral lubrication and mouthfeel using soft tribology: Differentiating semi-fluid foods with similar rheology. **Food Research International**, 54, 1, 423-431, (2013).
- [84] Nguyen, P. T. M., Bhandari, B. ve Prakash, S., Tribological method to measure lubricating properties of dairy products. **Journal of Food Engineering**, 168, 27-34, (2016).