

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**TAHİN-PEKMEZ KARIŞIMLARININ DOĞRUSAL OLMAYAN REOLOJİK
DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Gülay AKKAYA

Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

Gıda Mühendisliği Programı

OCAK 2023

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**TAHİN-PEKMEZ KARIŞIMLARININ DOĞRUSAL OLMAYAN REOLOJİK
DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Gülay AKKAYA
(506181521)**

Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

Gıda Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Filiz ALTAY

OCAK 2023

ISTANBUL TECHNICAL UNIVERSITY ★ GRADUATE SCHOOL

**INVESTIGATION OF NONLINEAR RHEOLOGICAL BEHAVIORS OF
TAHINI-MOLASSES MIXTURES**

M.Sc. THESIS

**Gülay AKKAYA
(506181521)**

Department of Food Engineering

Food Engineering Programme

Thesis Advisor: Prof. Dr. Filiz ALTAY

JANUARY 2023

İTÜ, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün 506181521 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Gülay AKKAYA, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “TAHİN-PEKMEZ KARIŞIMLARININ DOĞRUSAL OLMAYAN REOLOJİK DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Filiz ALTAY**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Dr. Öğr. Gör. Özlem DUVARCI**
İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü

Dr. Fatih BİLDİK
İstanbul Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : 30 Aralık 2022
Savunma Tarihi : 30 Ocak 2023





Aileme,



ÖNSÖZ

“Tahin-Pekmez Karışımlarının Doğrusal Olmayan Reolojik Davranışlarının İncelenmesi” adlı yüksek lisans tez çalışmam süresince bana zaman ayırarak yardım ve desteğini esirgemeyen, değerli fikir ve görüşleriyle çalışmamı şekillendiren danışman hocam Prof. Dr. Filiz ALTAY’a saygılarımı ve teşekkürlerimi sunarım.

Deneysel çalışmalarım sonucunda elde ettiğim verileri analiz etmek için kullandığım MITloas yazılımını benimle paylaşan ve çalışmamı ilerletmemi sağlayan Prof. Dr. Randy H. EWOLDT’a teşekkürlerimi sunarım.

Destekleri ve sevgileri ile her zaman yanımda olan ve varlıkları ile bana güven veren aileme sevgilerimi sunarım.

Aralık 2022

Gülay AKKAYA
(Gıda Mühendisi)



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ	ix
İÇİNDEKİLER	xi
KISALTMALAR	xiii
SEMBOLLER	xv
ÇİZELGE LİSTESİ	xvii
ŞEKİL LİSTESİ	xix
ÖZET	xxi
SUMMARY	xxv
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı	4
1.2 Literatür Araştırması	4
1.2.1 Pekmez	4
1.2.1.1 Pekmezin tanımı	4
1.2.1.2 Pekmezin üretimi	5
1.2.1.3 Pekmezin bileşimi	6
1.2.1.4 Pekmezin kalite kriterleri	11
1.2.2 Tahin	12
1.2.2.1 Tahinin tanımı	12
1.2.2.2 Tahinin üretimi	13
1.2.2.3 Tahinin bileşimi	14
1.2.2.4 Tahinin kalite kriterleri	14
1.2.3 Tahin-pekmez karışımı	17
1.2.4 Reoloji	18
1.2.4.1 Reolojinin tanımı	18
1.2.4.2 Reolojinin gıda endüstrisindeki önemi	18
1.2.4.3 Newton yasası ve newtonyen akış davranışı	19
1.2.4.4 Newtonyen olmayan akış davranışı	20
1.2.4.5 Pekmez kullanılarak yapılan temel reolojik çalışmalar	22
1.2.4.6 Tahin kullanılarak yapılan temel reolojik çalışmalar	22
1.2.4.7 Tahin-pekmez kullanılarak yapılan temel reolojik çalışmalar	23
1.2.4.8 Doğrusal viskoelastisite	23
1.2.4.9 Tahin, pekmez ve tahin-pekmez karışımlarının doğrusal viskoelastik özellikleri üzerine yapılan çalışmalar	25
1.2.4.10 Doğrusal olmayan viskoelastisite	25
1.2.4.11 Bazı gıdaların doğrusal olmayan viskoelastik özellikleri üzerine yapılan çalışmalar	32
1.3 Hipotez	32
2. MATERYAL VE METOT	33
2.1 Materyaller	33
2.2 Reolojik Ölçümler	33

3. BULGULAR VE TARTIŞMA	35
3.1 Doğrusal Olmayan Viskoelastik Bölgelerin Belirlenmesi	35
3.2 Elastik Ve Viskoz Lissajous Figürlerinin Değerlendirilmesi	35
3.3 LAOS Parametrelerinin Değerlendirilmesi	44
4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	53
KAYNAKLAR.....	55
EKLER	61



KISALTMALAR

LAOS	: Large Amplitude Oscillatory Shear (Büyük Genlikli Salınımlı Kayma)
PUFA	: Çoklu Doymamış Yağ Asitleri
SAOS	: Small Amplitude Oscillatory Shear (Küçük Genlikli Salınımlı Kayma)
TGK	: Türk Gıda Kodeksi
TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu



SEMBOLLER

G'	: Depolama modülü
G''	: Kayıp modülü
G'_M	: Minimum gerinim modülü
G'_L	: Maksimum gerinim modülü
μ	: Newton viskozitesi (Pa.s^{-1})
σ	: Kayma gerilmesi (Pa)
σ_0	: Akma gerilimi (Pa)
σ'	: Elastik gerilim
σ''	: Viskoz gerilim
t	: Zaman (s)
γ_0	: Gerinim genliği (boyutsuz)
$\dot{\gamma}$	: Kayma hızı (s^{-1})
ω	: Ölçüm frekansı
n	: Akış davranış indisi (boyutsuz)
k	: Kıvam indisi (Pa.s^n)
η_{app}	: Anlık viskozite
η'	: Dinamik viskozite
η'_M	: Minimum dinamik viskozite
η'_L	: Maksimum dinamik viskozite
e_3	: 3.derece harmonik elastik Chebysev katsayısı
v_3	: 3.derece harmonik viskoz Chebysev katsayısı
e_3/e_1	: 3. derece elastik Chebyshev katsayısının 1. derece elastik Chebyshev katsayısına oranı
v_3/v_1	: 3. derece viskoz Chebyshev katsayısının 1. derece viskoz Chebyshev katsayısına oranı
T_n	: Chebyshev polinomu
S	: Sertleşme oranı
T	: Kalınlaşması oranı
I_n	: n'inci dereceden harmonik tork sinyali



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 1.1 : Ülkemizde üretilen pekmez çeşitlerinin bileşimleri (TürKomp, 2022).	10
Çizelge 1.2 : Türk Gıda Kodeksi'ne göre üzüm pekmezinin fiziksel ve kimyasal özellikleri (TGK Üzüm Pekmezi Tebliği, 2017/8).	12
Çizelge 1.3 : Ülkemizde üretilen tahin çeşitlerinin bileşimleri (TürKomp, 2022). ...	16
Çizelge 1.4 : Türk Gıda Kodeksi'ne göre tahinin fiziksel ve kimyasal özellikleri (TGK Tahin Tebliği, 2015/27).	17
Çizelge 3.1 : Tahin, pekmez ve tahin-pekmaz karışımının kritik gerinim noktaları.	35
Çizelge B.1 : Tahin numunelerinin e_3/e_1 , v_3/v_1 , S ve T değerleri.	87
Çizelge B.2 : Pekmez numunelerinin e_3/e_1 , v_3/v_1 , S ve T değerleri.	88
Çizelge B.3 : Tahin : pekmez (50:50) karışımı numunelerinin e_3/e_1 , v_3/v_1 , S ve T değerleri.	89
Çizelge B.4 : Tahin numunelerinin $G'1$, $G'M$, $G'L$ ve $G'L/G'M$ değerleri.	90
Çizelge B.5 : Pekmez numunelerinin $G'1$, $G'M$, $G'L$ ve $G'L/G'M$ değerleri.	91
Çizelge B.6 : Tahin : pekmez (50:50) karışımı numunelerinin $G'1$, $G'M$, $G'L$ ve $G'L/G'M$ değerleri.	92
Çizelge B.7 : Tahin, Pekmez ve Tahin-pekmaz karışımlarının gerinim tarama testi sonucunda elde edilen veriler.	97



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Üzüm pekmezi üretiminin akım şeması (Dlshad, 2018).	7
Şekil 1.2 : Dut pekmezi üretiminin akım şeması (Dlshad, 2018).	8
Şekil 1.3 : Keçiboynuzu pekmezi üretiminin akım şeması (Dlshad, 2018).	9
Şekil 1.4 : Tahin üretiminin akım şeması (Alaouie ve diğ., 2018).	15
Şekil 3.1 : Tahin numunesinin %0,01 ile %300 gerinim aralığında ve 5 rad/s frekansta analiz edilmesiyle elde edilen elastik Lissajous-Bowditch eğrileri.	37
Şekil 3.2 : Tahin numunesinin %0,01 ile %300 gerinim aralığında ve 5 rad/s frekansta analiz edilmesiyle elde edilen viskoz Lissajous-Bowditch eğrileri.	38
Şekil 3.3 : Pekmez numunesinin %0,01 ile %300 gerinim aralığında ve 5 rad/s frekansta analiz edilmesiyle elde edilen elastik Lissajous-Bowditch eğrileri.	39
Şekil 3.4 : Pekmez numunelerinin %0,01 ile %300 gerinim aralığında ve 5 rad/s frekansta analiz edilmesiyle elde edilen viskoz Lissajous-Bowditch eğrileri.	40
Şekil 3.5 : Tahin : pekmez (50:50) karışımının %0,01 ile %300 gerinim aralığında ve 5 rad/s frekansta analiz edilmesiyle elde edilen elastik Lissajous-Bowditch eğrileri.	42
Şekil 3.6 : Tahin : pekmez (50:50) karışımının %0,01 ile %300 gerinim aralığında ve 5 rad/s frekansta analiz edilmesiyle elde edilen viskoz Lissajous-Bowditch eğrileri.	43
Şekil B.1 : Tahin numunesinin %0,01 ile %300 gerinim aralığında ve 0,5 rad/s frekansta analiz edilmesiyle elde edilen elastik Lissajous-Bowditch eğrileri.	75
Şekil B.2 : Tahin numunesinin %0,01 ile %300 gerinim aralığında ve 1 rad/s frekansta analiz edilmesiyle elde edilen elastik Lissajous-Bowditch eğrileri.	76
Şekil B.3 : Tahin numunesinin %0,01 ile %300 gerinim aralığında ve 0,5 rad/s frekansta analiz edilmesiyle elde edilen viskoz Lissajous-Bowditch eğrileri.	77
Şekil B.4 : Tahin numunesinin %0,01 ile %300 gerinim aralığında ve 1 rad/s frekansta analiz edilmesiyle elde edilen viskoz Lissajous-Bowditch eğrileri.	78
Şekil B.5 : Pekmez numunesinin %0,01 ile %300 gerinim aralığında ve 0,5 rad/s frekansta analiz edilmesiyle elde edilen elastik Lissajous-Bowditch eğrileri.	79
Şekil B.6 : Pekmez numunesinin %0,01 ile %300 gerinim aralığında ve 1 rad/s frekansta analiz edilmesiyle elde edilen elastik Lissajous-Bowditch eğrileri.	80
Şekil B.7 : Pekmez numunesinin %0,01 ile %300 gerinim aralığında ve 0,5 rad/s frekansta analiz edilmesiyle elde edilen viskoz Lissajous-Bowditch eğrileri.	81

Şekil B.8 : Pekmez numunesinin %0,01 ile %300 gerinim aralığında ve 1 rad/s frekansta analiz edilmesiyle elde edilen viskoz Lissajous-Bowditch eğrileri.	82
Şekil B.9 : Tahin : pekmez (50:50) karışımının %0,01 ile %300 gerinim aralığında ve 0,5 rad/s frekansta analiz edilmesiyle elde edilen elastik Lissajous-Bowditch eğrileri.	83
Şekil B.10 : Tahin : pekmez (50:50) karışımının %0,01 ile %300 gerinim aralığında ve 1 rad/s frekansta analiz edilmesiyle elde edilen elastik Lissajous-Bowditch eğrileri.	84
Şekil B.11 : Tahin : pekmez (50:50) karışımının %0,01 ile %300 gerinim aralığında ve 0,5 rad/s frekansta analiz edilmesiyle elde edilen viskoz Lissajous-Bowditch eğrileri.	85
Şekil B.12 : Tahin : pekmez (50:50) karışımının %0,01 ile %300 gerinim aralığında ve 1 rad/s frekansta analiz edilmesiyle elde edilen viskoz Lissajous-Bowditch eğrileri.	86
Şekil B.13 : Tahin, Pekmez ve Tahin-pekmaz karışımının e_3/e_1 ve S değerleri.	93
Şekil B.14 : Tahin, Pekmez ve Tahin-pekmaz karışımının v_3/v_1 ve T değerleri.	94
Şekil B.15 : Tahin, Pekmez ve Tahin-pekmaz karışımının $G'M$, $G'L$ ve $G'L/G'M$ değerleri.	95
Şekil B.16 : Tahin, Pekmez ve Tahin-pekmaz karışımının gerinim tarama testi sonucunda elde edilen grafikler.	96

TAHİN-PEKMEZ KARIŞIMLARININ DOĞRUSAL OLMAYAN REOLOJİK DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ

ÖZET

Pekmez ülkemizde uzun yıllardan beri üretilen ve tüketilen raf ömrü uzun konsantre bir geleneksel gıdadır. Geçmişten günümüze kadar olan süreçte en çok üzümünden pekmez üretilmiştir ve en çok tüketilen pekmez türü üzüm pekmezi olmuştur. Bir diğer geleneksel Türk gıdası olan tahin, kavrulmuş ve kabuğu alınmış susam tohumlarının öğütülmesiyle elde edilmektedir ve sağlığa faydası ve çeşitli yiyeceklere kattığı yeme özelliklerinden dolayı tüm dünyada popülerlik kazanmıştır. Tahinin farklı şeker kaynakları ile karıştırıldıktan sonra tüketimi yaygındır ve bu amaçla üzüm pekmezi sıklıkla kullanılmaktadır. Tahin ve pekmez kaynakları piyasada karışım halinde ya da ayrı olarak satışa sunulmakta ve tüketiciler tercihlerine göre çeşitli oranlarda karışım hazırlayabilmektedir. Tahin-pekmez karışımı, yüksek besin değeri nedeniyle özellikle kış aylarında Türkiye ve İran'da yaygın olarak tüketilmekten bir gıda ürünüdür. Yüksek şeker, vitamin ve mineral içeren pekmez ile yüksek protein, lipid, doymamış yağ, diyet lifi ve antioksidan içeren tahinin karışımıyla elde edilen ürün tüketicilere besleyici, yüksek enerjili ve sağlıklı bir alternatif sunmaktadır. Tahin-pekmez karışımları su içinde yağ emülsiyonu olarak düşünülebilmektedir ve emülsiyonda tahin yağ fazını (dağıtılan faz) oluştururken pekmez su fazını (sürekli faz) oluşturmaktadır. Dolayısıyla karışımın emülsiyon türü tahin-pekmez oranına bağlılık göstermektedir. Karışım içindeki proteinler yağ su arayüzünde emülgatör görevi görmektedirler ve emülsiyonun stabilitesinden birinci derecede sorumludurlar. Tahin-pekmez karışımı ürünlerinin tüketici tarafından kabulü, ekmek gibi başka bir malzemeye yayılabilirliklerine bağlıdır ve bu yayılabilirlik özelliği esas olarak gıda yapısıyla doğrudan ilişkilidir. Güvenilir reolojik veriler, belirli bir ürünün tasarımı, üretimi ve kalite kontrolü, duyuşal değerlendirme, stabilite ve tüketicinin kabulü için gerekli görülmektedir.

Gıda reolojisi gıda endüstrisinin hammaddelerinin, ara ürünlerinin ve nihai ürünlerinin deformasyonu ve akışı üzerine yapılan bir çalışma olarak tanımlanmaktadır. Gıdaların su, protein, karbonhidrat, yağ ve önemli miktarda liften oluşan çok karmaşık yapısı, bir gıda sisteminin akış özelliklerini ve dolayısıyla reolojik özelliklerini önemli ölçüde etkilemektedir. Gıda endüstrisinde reolojik veriler; boru hatları, pompalar, ekstrüderler, karıştırıcılar, kaplayıcılar, ısı eşanjörleri, homojenizatörler ve çevrimiçi viskozimetreler gibi çok çeşitli ekipmanları içeren proses mühendisliği hesaplamalarında, ürün geliştirme çalışmalarında bileşen işlevselliğini belirlemede, ürün bileşenlerinin ve nihai ürünlerin özelliklerinin belirlenmesinde, ara ürün ve son ürün kalite kontrolünde, raf ömrü testlerinde, ürün performansının değerlendirilmesinde, müşteri kabulünün değerlendirilmesinde, ürünlerin duyuşal analizlerinde kullanılmaktadır. Deneysel ölçümlerden elde edilen reolojik modeller, momentum, enerji ve kütle denklikleri ile birlikte kullanıldığında gıda mühendisliği süreçlerinin tasarımında faydalı olabilmektedir. Geleneksel olarak gerçekleştirilen reoloji analizlerinde, malzemelere mikro yapıyı bozmayan küçük gerilmeler

uygulanmaktadır ve analiz sonucunda uygulanan gerinim büyüklüğünden veya gerinim oranından bağımsız doğrusal viskoelastik (LVE) bölgedeki malzeme özellikleri elde edilmektedir. Buna karşın endüstriyel ölçekte proses sırasında uygulanan birçok işlemde malzemeler üzerinde doğrusal viskoelastik bölgenin çok ötesindeki gerilimler ve gerinimler oluşmaktadır ve benzer doğrusal viskoelastik özelliklere sahip karmaşık malzemeler farklı doğrusal olmayan viskoelastik davranışlar sergileyebilmektedir, bu nedenle doğrusal olmayan (NL) rejimdeki gıdaların reolojik tepkisinin ölçülmesi pratik uygulamalar için önemli görülmektedir. LAOS (Yüksek Genlikli Salınımında Kayma) tekniğinde, yalnızca doğrusal olmayan viskoelastik tepkiler ölçülmekle kalmayıp, aynı zamanda karmaşık gıda sistemlerinin mikroyapısı ve morfolojisinin gelişimi ile ilgili bilgi de sağlanmaktadır.

Çalışma kapsamında tahin, pekmez ve tahin : pekmez (50:50) karışımlarının geleneksel reolojik analizlerle değerlendirilemeyen reolojik özellikleri LAOS tekniği kullanılarak analiz edilmiştir. Örneklere uygulanan yüksek gerinimin örnekler üzerinde oluşturduğu doğrusal olmayan mekanik tepkisini doğru karakterize edebilmek amacıyla üç farklı sabit frekans değerinde gerinim değeri artırılarak analiz gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada geleneksel Türk gıdaları olan tahin, pekmez ve bunların karışımlarının doğrusal olmayan reolojik özelliklerinin belirlenmesinde LAOS yönteminin uygulanabilirliği araştırılmıştır.

Yapılan analizler sonucunda tüm numunelerde (tahin, pekmez, tahin-pekmez karışımı) uygulanan gerinim değerindeki artışla elastik Lissajous döngülerinin dar şekli genişlemiş, elastik davranışın giderek daha viskoz davranışa dönüştüğünü göstermiştir. Artan frekans ise gerilim-gerinim döngülerinde daha eliptik şekillere sebep olmuş, numunelere daha elastik benzeri yapı kazandırmıştır. Viskoz Lissajous döngüleri, tüm numunelerin uygulanan gerinim miktarı arttıkça daha geniş eğriler sergileyerek daha büyük gerilim tepkisi gösterdiğini ve uygulanan frekans arttıkça daha dairesel şekil sergilediğini doğrulayarak, elastik izdüşümleri kanıtlamıştır. Tahin, pekmez ve tahin-pekmez karışımlarına ait doğrusal olmayan elastik göstergelerin (e_3/e_1 ve S) ve doğrusal olmayan viskoz göstergelerin (v_3/v_1 ve T) gerinim ve frekansa bağlı olarak incelenmesi yapılmıştır. Yapılan inceleme sonucunda, tüm numunelerde uygulanan tüm frekans değerlerinde ve neredeyse tüm gerinim genliği aralığında e_3/e_1 ve S değerleri sıfıra çok yakın pozitif değerler verirken zaman zaman birkaç gerinim değerinde sıfıra çok yakın negatif değerler göstermiş, numuneler doğrusal elastik davranışa yakın davranış göstermiştir. Tüm numunelerin v_3/v_1 ve T değerleri yaklaşık olarak sıfıra eşit seyrederek doğrusal viskoz davranışa yakın davranış göstermişlerdir. Analiz edilen tüm frekans değerinde e_3/e_1 ve S, v_3/v_1 ve T değerleri birbirini destekleyecek şekilde sonuçlar vermiştir. Elde edilen sonuçlar elastik ve viskoz Lissajous-Bowditch grafikleri ile uyumluluk göstermiştir. Gerinim modülleri incelendiğinde; tahin, pekmez ve tahin-pekmez karışımı numuneleri belirli bir gerinim değerinde maksimum G'_L ve G'_M değerini vermiş ardından numunenin gerinim yumuşaması davranışı gösterdiğini ifade eden bir düşüş göstermiştir. G'_L ve G'_M değerleri neredeyse tüm gerinim değerlerinde yaklaşık olarak eşit değerlerde sonuç vermiştir ve bu sonuç doğrusal viskoelastik özelliğe yakın davranış özelliğini göstermektedir. Tüm numunelerde uygulanan frekans arttıkça elde edilen G'_L ve G'_M değerleri artış göstermiştir, bu durumda tüm numunelerin artan frekansla birlikte elastik özellik kazandığı görülmektedir, elde edilen bulgular elastik Lissajous-bowditch eğrileri, e_3/e_1 ve S değerleri ile uyumluluk göstermektedir. LAOS analizi tahin, pekmez ve tahin-pekmez karışımlarının doğrusal olmayan reolojik özelliklerinin belirlenmesinde uygulanabilir olarak bulunmuştur. Endüstriyel ölçekte proses sırasında uygulanan birçok işlemde malzemeler üzerinde doğrusal viskoelastik

bölgenin çok ötesindeki gerilimler ve gerinmeler oluşması sebebiyle bu gıdaların doğrusal olmayan rejimdeki reolojik tepkisinin ölçülmesi pratik uygulamalar için önemli görülmektedir.





INVESTIGATION OF NONLINEAR RHEOLOGICAL BEHAVIORS OF TAHINI-MOLASSES MIXTURES

SUMMARY

Molasses is a concentrated traditional Turkish food with a long shelf life, which has been produced and consumed in our country for many years. In the process from the past to the present, the most grape molasses has been produced and the most consumed type of molasses has been grape molasses. Tahini, another traditional Turkish food, is obtained by grinding roasted and peeled sesame seeds and has gained popularity all over the world due to its health benefits and the eating properties it adds to various foods. After mixing tahini with different sugar sources, consumption is common and grape molasses is often used for this purpose. Tahini and molasses sources are offered for sale in the market as a mixture or separately, and consumers can prepare a mixture in various proportions according to their preferences. Tahini-molasses mixture is a food product that is widely consumed in Turkey and Iran, especially in winter, due to its high nutritional value. The product, which is obtained with a mixture of molasses containing high sugar, vitamins and minerals, and tahini containing high protein, lipid, unsaturated fat, dietary fiber and antioxidants, offers consumers a nutritious, high-energy and healthy alternative. Tahini-molasses mixtures can be considered as an oil-in-water emulsion, and tahini forms the oil phase (dispersed phase) while molasses forms the water phase (continuous phase) in the emulsion. Therefore, the emulsion type of the mixture depends on the tahini-molasses ratio. The proteins in the mixture act as emulsifiers at the oil-water interface and are primarily responsible for the stability of the emulsion. Consumer acceptance of tahini-molasses mixture products depends on their spreadability to another material such as bread, and this spreadability is mainly directly related to the food structure. Reliable rheological data are considered essential for the design, process and quality control of a particular product, sensory evaluation, stability and consumer acceptance.

Food rheology is defined as the study of the deformation and flow of raw materials, intermediates and final products of the food industry. The very complex nature of food, consisting of water, protein, carbohydrates, fat and significant amounts of fiber, significantly affects the flow properties and therefore the rheological properties of a food system. Rheological data in the food industry; in process engineering calculations involving a wide variety of equipment such as pipelines, pumps, extruders, mixers, coaters, heat exchangers, homogenizers and online viscometers, determining component functionality in product development studies, determining the properties of product components and final products, intermediate and end product quality control, It is used in shelf life tests, evaluation of product performance, evaluation of customer acceptance, and sensory analysis of products. Rheological models obtained from experimental measurements can be useful in the design of food engineering processes when used with momentum, energy and mass balances. In traditional rheology analyzes, small stresses that do not disturb the microstructure are applied to the materials, and the material properties in the linear viscoelastic (LVE) region are

obtained as a result of the analysis, independent of the applied strain size or strain rate. On the other hand, in many processes applied during processing on an industrial scale, stresses and strains occur on materials far beyond the linear viscoelastic region, and complex materials with similar linear viscoelastic properties may exhibit different nonlinear viscoelastic behaviors, so measuring the rheological response of foods in nonlinear (NL) regime is important for practical applications is seen. In the LAOS (High Amplitude Oscillation Shear) technique, not only nonlinear viscoelastic responses are measured, but also information about the evolution of the microstructure and morphology of complex food systems is provided. LAOS analysis is a method used to measure the gradual transition from linear rheological behavior to nonlinear rheological behavior as the strain amplitude (γ_0) increases at any measurement frequency (ω). This results in the LAOS test if the strain amplitude (γ_0) is systematically increased to enter the nonlinear viscoelastic regime. However, since a nonlinear strain response is not a single harmonic sinusoid, linear viscoelastic modules cannot be uniquely identified due to the nonlinearity of the material response. The most common method of measuring LAOS tests is Fourier transform rheology. Fourier transforms combined with Chebyshev polynomials can be used in LAOS tests based on Fourier transform rheology to better define viscoelastic rheology in the nonlinear region.

Within the scope of the study, the rheological properties of tahini, molasses and tahini: molasses (50:50) mixtures that could not be evaluated by traditional rheological analyzes were analyzed using the LAOS technique. In order to accurately characterize the non-linear mechanical response of the high strain applied to the specimens, the analysis was performed with three repetitions for 20 different strain points at three different fixed frequency values (0.5 rad/s, 1 rad/s and 5 rad/s) and a strain range of 0.01-300%. The nonlinear rheological behavior of the samples was interpreted by evaluating the Lissajous curves and Chebysev coefficients obtained as a result of the analysis. In this study, the applicability of the LAOS method was investigated in determining the nonlinear rheological properties of tahini, molasses and their mixtures, which are traditional Turkish foods.

As a result of the analyzes made, elastic Lissajous cycles in all samples (tahini, molasses, tahini-molasses mixture) were affected by high deformation with the increasing amount of strain, giving wider cycles and a return from inter-cycle elastic behavior to viscous behavior, while increasing frequency caused more elliptical shapes in stress-strain cycles, gave the samples a more elastic-like structure. In other words, with the increase in the applied strain value of the samples, while the narrow shape of the stress-strain loops widened, the near-circular shape of the loops turned towards elliptical with the increase in the amount of applied frequency. While the samples gained viscous-like structure with increasing strain amount, they gained elastic-like structure with increasing frequency. The viscous Lissajous loops proved elastic projections, confirming that all samples exhibited larger stress response by exhibiting wider shape as the amount of applied strain increased, and exhibited more circular shape as the applied frequency increased. As the applied frequency increased in all samples, the sensitivity of the samples to the applied strain increased and it was observed that the viscous projections gained wider dimensions and narrow loops became wider at high frequencies. Significantly wider and more elliptical shapes were seen in the viscous projections obtained at a frequency of 5 rad/s, revealing that the flow behavior gained a relatively elastic dominant structure with the increase in frequency.

The nonlinear elastic indicators (e_3/e_1 and S) and non-linear viscous indicators (v_3/v_1 and T) of tahini, molasses and tahini-molasses mixtures were examined depending on strain and frequency. As a result of the examination, e_3/e_1 and S values in all the applied frequency values and almost the entire strain amplitude range showed positive values very close to zero, but occasionally showed negative values close to zero in a few strain values, and the samples showed a behavior close to linear elastic behavior. The v_3/v_1 and T values of all samples were approximately equal to zero and showed a behavior close to linear viscous behavior. In all analyzed frequency values, e_3/e_1 and S , v_3/v_1 and T values gave results supporting each other. Obtained results showed compatibility with elastic and viscous Lissajous-Bowditch graphs. When the strain modules are examined; Tahini, molasses and tahini-molasses mixture samples gave maximum G'_L and G'_M values at a certain strain value, then showed a decrease indicating that the sample exhibited strain softening behavior. The G'_L and G'_M values gave approximately equal results at almost all strain values, and this result shows the behavior close to the linear viscoelastic property. As the applied frequency increased in all samples, the obtained G'_L and G'_M values increased. There is no study in the literature to investigate the viscoelastic properties of tahini, molasses and tahini-molasses mixtures in the nonlinear region. LAOS analysis was found to be applicable in the determination of nonlinear rheological properties of tahini, molasses and tahini-molasses mixtures. Measuring the rheological response of these foods in non-linear regime is considered important for practical applications, as stresses and strains occur on materials far beyond the linear viscoelastic region in many processes applied during processing on an industrial scale.



1. GİRİŞ

Geleneksel bir Türk gıdası olarak pekmez ülkemizde uzun yıllardan beri doğal olarak şeker içeriği yüksek çeşitli gıdalardan üretilen raf ömrü uzun konsantre bir üründür. Geçmişten günümüze kadar olan süreçte en çok üzümünden pekmez üretilmiştir ve en çok tüketilen pekmez türü üzüm pekmezi olmuştur (Batu, 2006). Anadolu’da yüzyıllardan beri üzüm yetiştiriciliği yapılmaktadır ve Türkiye, üzüm hasadı yapılan alana sahip ülkeler arasında dünyada beşinci, üzüm üretimi sıralamasında ise dünyada üçüncü sırada yer almaktadır (Genç, 2017). Ülkemizde üretilen üzümlerin yaklaşık olarak %40’ı kurutulmakta, %25’i taze olarak tüketilmekte, %20’si sirke, pekmez ve pestil üretiminde kullanılmakta ve yaklaşık %15’i alkollü içki üretiminde kullanılmaktadır (Genç, 2017). Ülkemizde 2012 yılında 219 işletmede, 25.855,42 ton pekmez üretimi yapılmıştır. Üzüm pekmezi üretimi, pekmez çeşitleri içinde üretim yapan işletme sayısı (117 adet) ve üretilen pekmez miktarı olarak (43.773.88 ton/yıl) birinci sırada yer almaktadır (Genç, 2017). Üzüm pekmezi; fermente olmamış taze veya kuru üzüm ekstraktının uygun yöntemlerle asitliğinin azaltıp durultulmasından sonra tekniğine uygun olarak vakum altında veya açıkta koyulaştırılması ile üretilmektedir. Pekmezin çözünür kuru madde oranı yaklaşık olarak %70-80 civarındadır ve pekmezin yüksek oranda içerdiği karbonhidratların çoğu glikoz ve fruktoz gibi monosakkarit formundadır. Yüksek oranda şeker içeriğinin yanında mineral madde ve organik asit içerdiğine de sahiptir. Ayrıca pekmezin antioksidan aktivitesinin yüksek olduğu ve bu sayede antikanser özellik gösterdiği bilinmektedir (Göksel ve diğ., 2011). K, Ca, Fe, P ve Mg gibi mineral elementler içeren pekmez, yüksek demir içeriği sayesinde anemi hastaları tarafından sıklıkla tercih edilen bir üründür (Öztürk ve Öner, 1999).

Bir diğer geleneksel Türk gıdası olan tahin, kavrulmuş ve kabuğu alınmış susam tohumlarının öğütülmesiyle elde edilen Doğu Asya ülkelerinde ve Orta Doğu ülkelerinde de popülerliği olan geleneksel gıdalardan biridir (Temiz ve diğ., 2017; Alaouie ve diğ., 2018; Tomruk ve diğ., 2018). Tahin, sağlığa ve çeşitli yiyeceklerle kattığı yeme özelliklerinden dolayı tüm dünyada popülerlik kazanmıştır (Alaouie ve

diğ., 2018). Tahin emülsiyon yapısında olup susam yağı dağılmış fazı oluştururken su sürekli fazlı oluşturmaktadır. Tahin bileşimindeki susam proteinleri emülgatör görevi görmektedir ve yağ-su arayüzünde çok önemli etikeri bulunmaktadır (Tomruk ve diğ., 2018). Tahin karbonhidratlar (%6,4-21), lipitler (%54-65), proteinler (%17-27) ve diyet lifi (%9,3) açısından zengin bir gıda olup birçok kültürel lezzette içerik olarak, ticari olarak ve ev düzeyinde kullanımı bulunmaktadır (Alaouie ve diğ., 2018; Karaman ve diğ., 2017). Tahin kullanılarak hazırlanan popüler ürünler arasında helva, humus, babagannuş ve çeşitli pekmez türleriyle hazırlanan tahin pekmez karışımları sayılabilmektedir (Hussain ve diğ., 2017). Bununla birlikte tahin yaygın olarak farklı şeker kaynakları ile karıştırıldıktan sonra tüketilmektedir. Bu amaçla bal, şeker şurubu, hurma şurubu ve üzüm pekmezi kullanılmaktadır. Tahin ve bu şeker kaynakları piyasada karışım halinde yada ayrı olarak satışa sunulmakta ve tüketiciler tercihlerine göre çeşitli oranlarda karışım hazırlayabilmektedir (Tomruk ve diğ., 2018). Tahin içerdiği yüksek çoklu doymamış yağ asidi nedeniyle yüksek antioksidan aktiviteye sahip olduğu ve kolesterolü düşürme yeteneği gösterdiği bildirilmiştir (Karaman ve diğ., 2017). Ayrıca sesamin, sesamolin ve sesamol gibi lignanlar ve tokoferoller içermektedirler. Susam lignanlarının insan sağlığı üzerinde antioksidan aktivite, kan lipidlerini düşürme, araşidonik asit seviyeleri ve anti-inflamatuvar ve immünomodülatör etkileri gibi çeşitli etkileri olduğu kanıtlanmıştır (Bhat ve diğ., 2014).

Tahin-pekmez karışımı, yüksek besin değeri nedeniyle özellikle kış aylarında Türkiye ve İran'da yaygın olarak tüketilen bir gıda ürünüdür. Yüksek şeker, vitamin ve mineral içeren pekmez ile yüksek protein, lipit, doymamış yağ, diyet lifi ve antioksidan içeren tahinin karışımıyla elde edilen ürün tüketicilere besleyici, yüksek enerjili ve sağlıklı bir alternatif sunmaktadır (Baqeri ve diğ., 2019). Tahin-pekmez karışımları su içinde yağ emülsiyonu olarak düşünülebilmektedir ve emülsiyonda tahin yağ fazını (dağıtılan faz) oluştururken pekmez su fazını (sürekli faz) oluşturmaktadır. Dolayısıyla karışımın emülsiyon türü tahin-pekmez oranına bağlılık göstermektedir. Karışım içindeki proteinler yağ su arayüzünde emülgatör görevi görmektedirler ve emülsiyonun stabilitesinden birinci derecede sorumludurlar (Altay ve Altay, 2018). Tahin-pekmez karışımı ürünlerinin tüketici tarafından kabulü, ekmek gibi başka bir malzemeye yayılabilirliklerine bağlıdır ve bu yayılabilirlik özelliği esas olarak gıda yapısıyla doğrudan ilişkilidir (Tounsi ve diğ., 2019). Güvenilir reolojik veriler, belirli bir ürünün

tasarımı, üretimi ve kalite kontrolü, duyuşal değerdendirme, stabilite ve tüketicinin kabulü için gerekli görülmektedir (Altay ve Altay, 2018).

Gıda reolojisi gıda endüstrisinin hammaddelerinin, ara ürünlerinin ve nihai ürünlerinin deformasyonu ve akışı üzerine yapılan bir çalışma olarak tanımlanmaktadır (Sravan ve diğ., 2021). Gıdaların su, protein, karbonhidrat, yağ ve önemli miktarda liften oluşan çok karmaşık yapısı, bir gıda sisteminin akış özelliklerini ve dolayısıyla reolojik özelliklerini önemli ölçüde etkilemektedir (Mohd Rasidek ve diğ., 2018). Gıda reolojisi çalışmaları zamanla ve enstrümantasyonun gelişmesiyle önemli ölçüde ilerlemiştir ve bu ilerlemeye paralel olarak gıda reolojisinin kapsamı ve uygulaması genişlemiştir. Gıda endüstrisinde reolojik veriler; boru hatları, pompalar, ekstrüderler, karıştırıcılar, kaplayıcılar, ısı eşanjörleri, homojenizatörler ve çevrimiçi viskozimetreler gibi çok çeşitli ekipmanları içeren proses mühendisliği hesaplamalarında, ürün geliştirme çalışmalarında bileşen işlevselliğini belirlemede, ürün bileşenlerinin ve nihai ürünlerin özelliklerinin belirlenmesinde, ara ürün ve son ürün kalite kontrolünde, raf ömrü testlerinde, ürün performansının değerlendirilmesinde, müşteri kabulünün değerlendirilmesinde, ürünlerin duyuşal analizlerinde kullanılmaktadır (Sravan ve diğ., 2021). Deneysel ölçümlerden elde edilen reolojik modeller, momentum, enerji ve kütle denklikleri ile birlikte kullanıldığında gıda mühendisliği süreçlerinin tasarımında faydalı olabilmektedir (Sahin ve Sumnu, 2011). Geleneksel olarak gerçekleştirilen reoloji analizlerinde, malzemelere mikro yapıyı bozmayan küçük gerilmeler uygulanmaktadır ve analiz sonucunda uygulanan gerinim büyüklüğünden veya gerinim oranından bağımsız doğrusal viskoelastik bölgedeki malzeme özellikleri elde edilmektedir (Wang ve diğ., 2012). Buna karşın endüstriyel ölçekte proses sırasında uygulanan birçok işlemde malzemeler üzerinde doğrusal viskoelastik bölgenin çok ötesindeki gerilmeler ve gerinimler oluşmaktadır ve benzer doğrusal viskoelastik özelliklere sahip karmaşık malzemeler farklı doğrusal olmayan viskoelastik davranışlar sergileyebilmektedir, bu nedenle doğrusal olmayan rejimdeki gıdaların reolojik tepkisinin ölçülmesi pratik uygulamalar için önemli görülmektedir (Mermet-Guyennet ve diğ., 2015; Anvari ve Joyner, 2018). LAOS tekniğinde, yalnızca doğrusal olmayan viskoelastik tepkiler ölçülmekle kalmayıp, aynı zamanda karmaşık gıda sistemlerinin mikroyapısı ve morfolojisinin gelişimi ile ilgili bilgi de sağlanmaktadır (Fuongfuchat ve diğ., 2012).

1.1 Tezin Amacı

Çalışma kapsamında tahin, pekmez ve tahin : pekmez (50:50) karışımlarının geleneksel reolojik analizlerle değerlendirilemeyen reolojik özellikleri LAOS tekniği kullanılarak analiz edilmiştir. Örneklere uygulanan yüksek gerinimin örnekler üzerinde oluşturduğu doğrusal olmayan mekanik tepkiyi doğru karakterize edebilmek amacıyla üç farklı sabit frekans değerinde gerinim değeri artırılarak analiz gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada geleneksel Türk gıdaları olan tahin, pekmez ve bunların karışımlarının doğrusal olmayan reolojik özelliklerinin belirlenmesinde LAOS yönteminin uygulanabilirliği araştırılmıştır.

1.2 Literatür Araştırması

1.2.1 Pekmez

1.2.1.1 Pekmezin tanımı

Ülkemizde eski yıllardan beri üretilen geleneksel bir Türk gıdası olarak pekmez yaygın olarak üzüm, dut, incir, ardıç, karpuz, elma, erik, keçiboynuzu, şeker pancarı, kayısı, hurma ve şeker kamışı gibi doğal olarak şeker içeren çeşitli gıdalardan üretilen raf ömrü uzun konsantre bir üründür. Bileşiminin yüksek oranını şeker oluşturan bir çok meyveden pekmez üretimi mümkün olmakla birlikte geçmişten günümüze kadar olan süreçte en çok üzümünden pekmez üretilmiştir ve en çok tüketilen pekmez türü üzüm pekmezi olmuştur (Batu, 2006). Türk Gıda Kodeksi Üzüm Pekmezi Tebliği'nde üzüm pekmezi; fermente olmamış taze veya kuru üzüm ekstraktının uygun yöntemlerle asitliğinin azaltıp durutulmasından sonra tekniğine uygun olarak vakum altında veya açıkta koyulaştırılması ile elde edilen kıvamlı ürün olarak tanımlanmıştır. Ülkemizin bulunduğu coğrafya bağcılık için oldukça elverişli bir coğrafi yapıda olması nedeniyle Anadolu'da yüzyıllardan beri üzüm yetiştiriciliği yapılmaktadır. Ülkemizde 2018 yılında 3933000 ton olan üzüm üretimi 2019 yılında artış göstererek 4100000 tona çıkmıştır (TÜİK, 2019). Türkiye, üzüm hasadı yapılan alana sahip ülkeler arasında dünyada beşinci, üzüm üretimi sıralamasında ise dünyada üçüncü sırada yer almaktadır (Genç, 2017). Üzüm taze ve kuru olarak tüketilebildiği gibi pekmez üretiminde, şarap üretiminde, sirke üretiminde, pestil üretiminde, reçel üretiminde ve meyve suyu üretiminde kullanılmaktadır. Ülkemizde üretilen üzümlerin yaklaşık olarak %40'ı kurutulmakta, %25'i taze olarak tüketilmekte, %20'si sirke,

pekmez ve pestil üretiminde kullanılmakta ve yaklaşık %15'i de alkollü içki üretiminde kullanılmaktadır (Genç, 2017). Ülkemizde 2012 yılında 219 işletmede, 25.855,42 ton pekmez üretimi yapılmıştır. Üzüm pekmezi üretimi, pekmez çeşitleri içinde üretim yapan işletme sayısı (117 adet) ve üretilen pekmez miktarı olarak (43.773.88 ton/yıl) birinci sırada yer almaktadır (Genç, 2017).

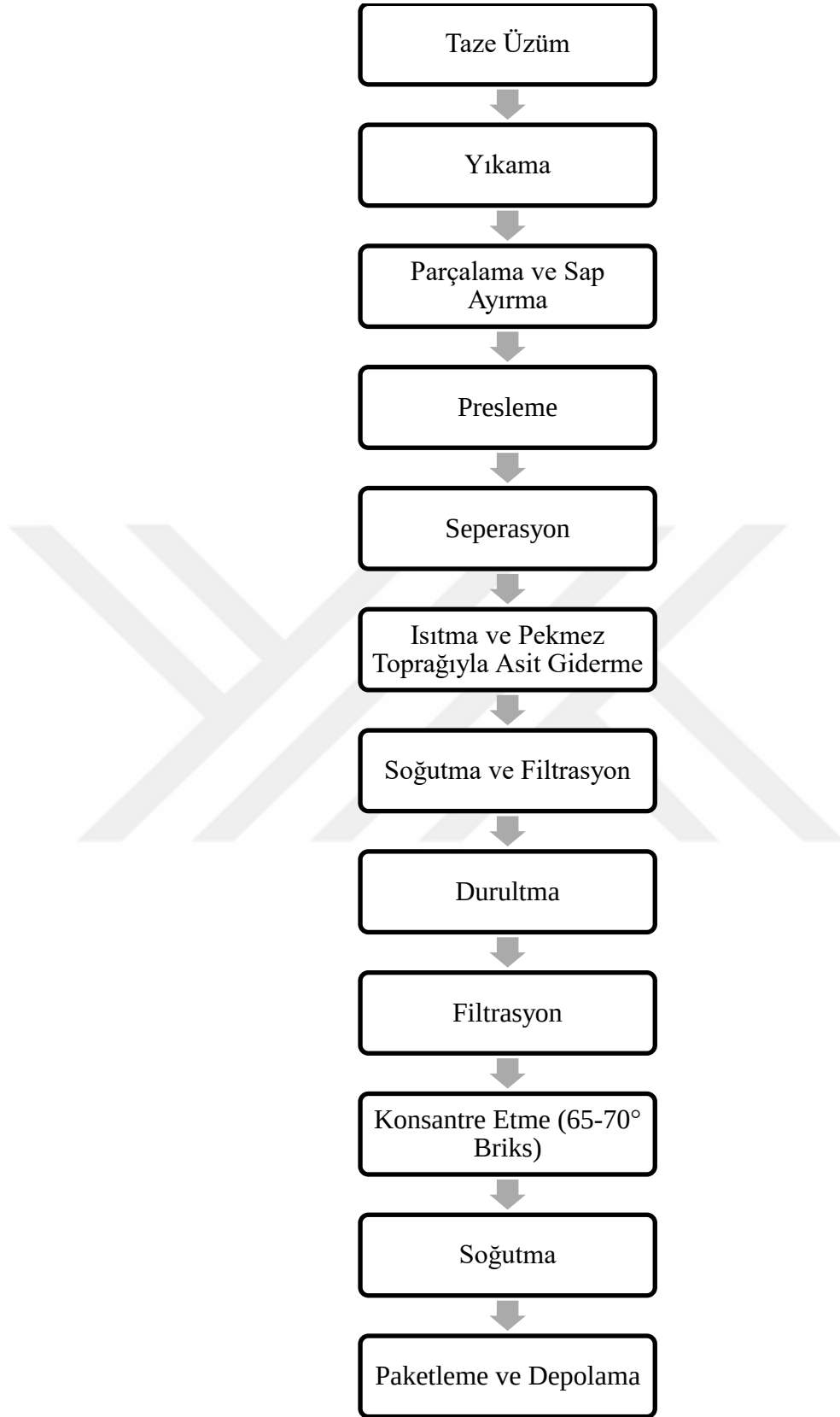
1.2.1.2 Pekmezin üretimi

Pekmez üretimi seçilen pekmez çeşidi için kullanılacak meyvenin hasat edilmesi ve fabrikaya taşınarak yıkanması ile başlar. Kalitesi üretim için uygun olmayan meyvelerin ayrıştırıldığı bu aşamada amaç, işlenecek meyvelerdeki toz, toprak, pestisit kalıntısı ve canlı/ölü böcekler gibi kalıntıların uzaklaştırılması ve meyvenin mikrobiyal yükünün azaltılmasıdır. Yıkama işlemi delikli paslanmaz çelikten yapılmış hareketli bantlar üzerinde duşlama sistemi ile su püskürtülerek yapılmaktadır (Batu, 2006). İkinci aşama olan presleme işlemi birbirine karşı dönen iki valsten oluşan değirmenler kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Değirmenlerde parçalanmış meyvelerden şıranın alınması işlemi çoğunlukla pnömatik presler yardımı ile yapılmaktadır. Pekmez yapımı için seçilen meyve kurutulmuş veya sert ve kabuklu bir meyve ise presleme işlemi öncesinde meyveler parçalanır ve ardından suda bekletilerek kısmi ekstraksiyon işlemine tabi tutulurlar. Ayrıca üzüm pekmezinde meyve saplarında bulunan ve son ürün tadını ve rengini olumsuz yönde etkileyen fenolik maddelerin ve klorofilin pekmeze karışmasını önlemek amacıyla presleme öncesinde üzüm tanelerinin saplarından ve çöplerinden ayrılması önem taşımaktadır (Genç, 2017). Meyvenin çeşidine bağlı olarak presleme işleminin ardından elde edilen şıra asit karakterde ve bulanık olabilir. Elde edilen şıra bulanıklığın giderilmesi ve asitliğin düşürülmesi amacıyla "pekmez toprağı" olarak bilinen ve yaklaşık olarak %90 oranında kalsiyum karbonat içeren kireçli toprakla işlenir ve şıra içerisinde doğal olarak oluşmuş olan tartarik asit ve malik asit kalsiyum tartarat ve kalsiyum malat şeklinde çöktürülür. Bir sonraki aşamaya geçilmeden önce şıra içerisinde doğal olarak bulunan ve bulanık görünüme sebep olan meyve dokusu parçaları, hücre ve hücre parçaları, pektin ve protein bileşikler, canlı ve ölü mikroorganizmalar ve asit giderme işlemi sonucunda oluşan çökeltilerin ortamdaki uzaklaştırılması için sedimentasyon işlemine ihtiyaç vardır. Bu işlemde şıra, tanen, jelatin, bentonit gibi uygun durultma ajanları ile muamele edilerek dinlendirilir ve akabinde uygulanan filtrasyon işlemi ile bulanıklık oluşturan etkenler şıradan uzaklaştırılır (Batu ve Aktan, 1992). Pektik

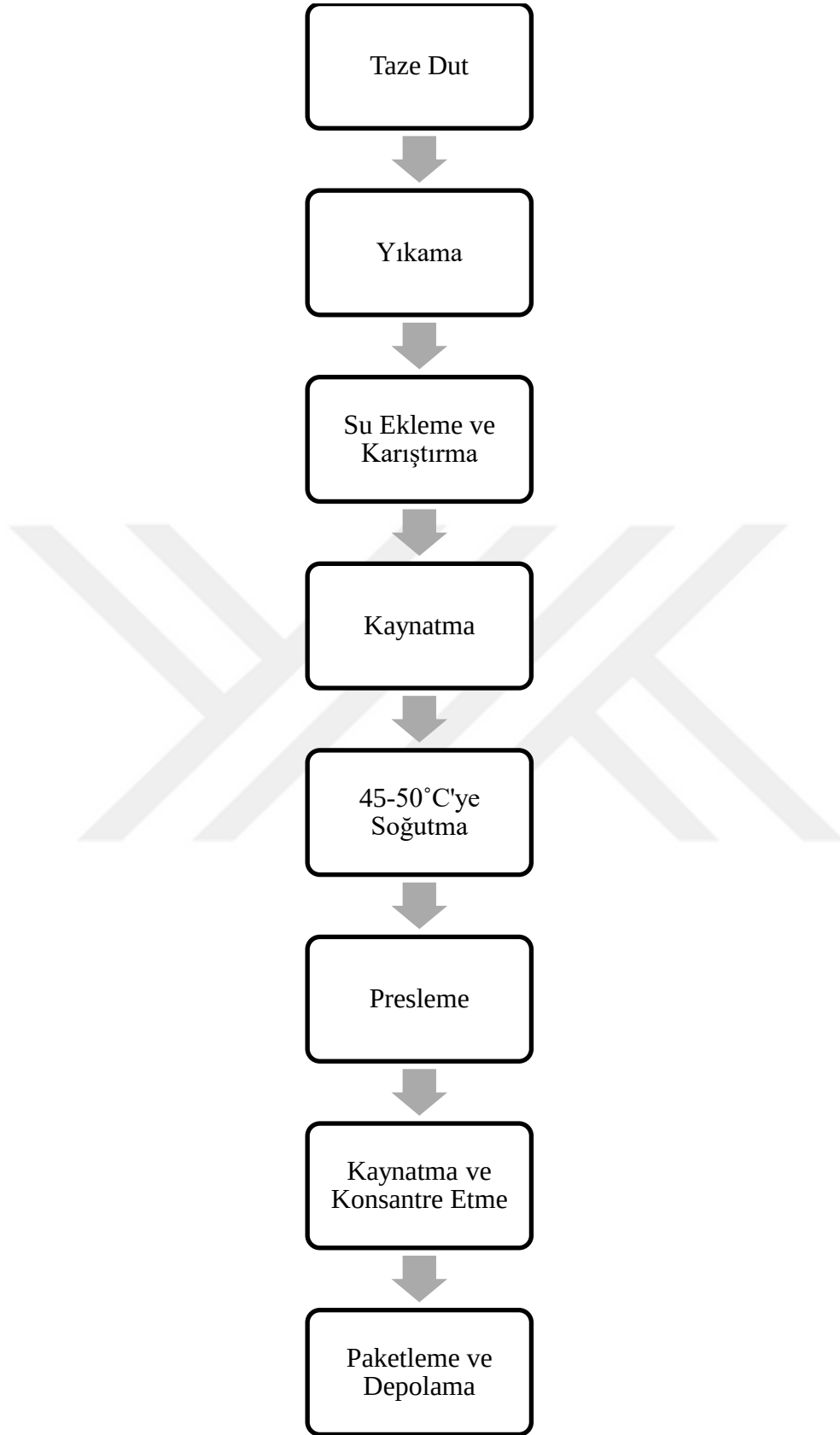
maddelerin şıradan uzaklaştırılması için ise depektinizasyon ya da diğer adı ile enzimatik durultma işlemi yapılır. Endüstriyel üretimde durultma işleminde yararlanılan dinlendirme tankları genellikle ürünün muhafazasında mikrobiyal güvenliği sağlamak amacıyla soğutma özellikli ve tortunun dibe daha kolay çökmesini sağlamak amacıyla dikey yönlü olarak tercih edilmektedir (Gülcü, 2012). Son aşamada elde edilen filtrat evaporasyon işlemine tabi tutulur ve sıra istenilen kuru madde seviyesine kadar konsantre edilir. Konsantrasyon işlemi tek etkili borusal eşanjörlü film vakum evaporatörle veya ceketli vakum kazanlarda gerçekleştirilmektedir (Batu, 2006; Genç, 2017). Son aşamada evaporatörden çıkan pekmez soğutma tankına alınarak oda sıcaklığına soğutulur ve ardından uygulanan dolum aşamasıyla üretim son bulur (Genç, 2017). Çeşitli meyvelerde üretilen pekmez çeşitlerinin akım şemaları Şekil 1.1, Şekil 1.2 ve Şekil 1.3’de verilmiştir.

1.2.1.3 Pekmezin bileşimi

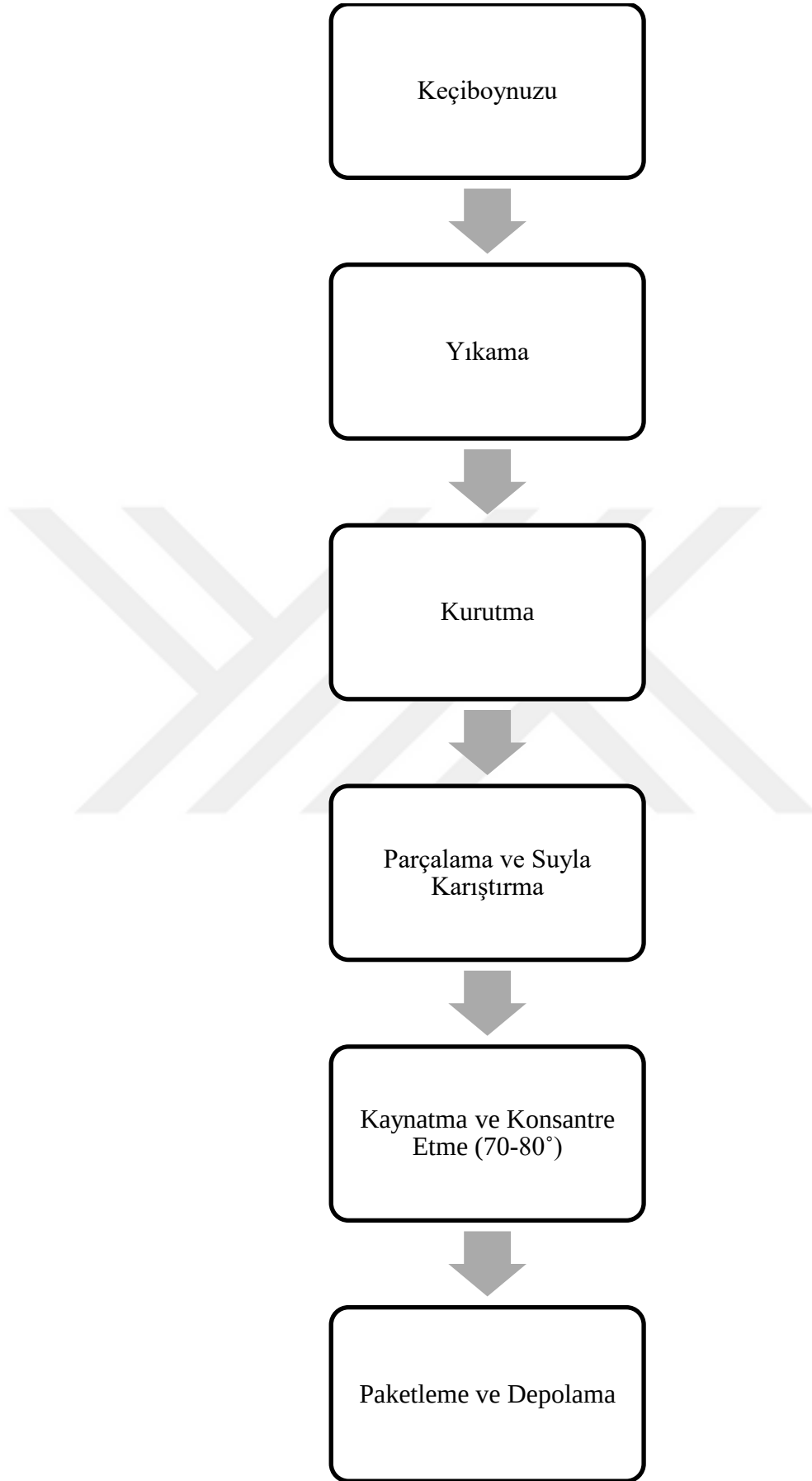
Pekmezin çözünür kuru madde oranı yaklaşık olarak % 70-80 civarındadır ve pekmezin yüksek oranda içerdiği karbonhidratların çoğu glikoz ve fruktoz gibi monosakkarit formunda olması sayesinde sindirim sisteminde parçalanmalarına gerek kalmadan direkt kana geçerler ve vücuda hızlı bir şekilde enerji sağlarlar (Batu, 1993). Dolayısıyla pekmez tüketimi, özellikle yoğun fiziksel aktiviteye sahip sporcular ve çocuklar gibi bireylerle yüksek enerji ihtiyacı olan hamile kadınlar ve emziren anneler için caziptir (Birer, 1983). Ayrıca pekmez beyin gelişiminin en hızlı seyrettiği ve dolayısı ile en çok enerjiye ihtiyaç duyulan bebeklik döneminde beyin tek enerji kaynağı olan glikoz ihtiyacını karşılayabilecek önemli besin kaynaklarından biridir (Batu, 1993). Ayrıca pekmezin antioksidan aktivitesinin yüksek olduğu ve bu sayede antikanser özellik gösterdiği bilinmektedir (Göksel ve diğ., 2011). K, Ca, Fe, P ve Mg gibi mineral elementler içeren pekmez, yüksek demir içeriği sayesinde anemi hastaları tarafından sıklıkla tercih edilen bir üründür (Öztürk ve Öner, 1999). Beslenmedeki önemi nedeniyle üretimi sürekli artan pekmezin üretim yöntemi ve bileşimi elde edilen meyvenin çeşidine, işleme tekniğine ve depolama şartlarına bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Ülkemizde üretilen bazı pekmez çeşitlerinin bileşimleri Çizelge 1.1’de verilmiştir.



Şekil 1.1 : Üzüm pekmezi üretiminin akım şeması (Dlshad, 2018).



Şekil 1.2 : Dut pekmezi üretiminin akım şeması (Dlshad, 2018).



Şekil 1.3 : Keçiboynuzu pekmezi üretiminin akım şeması (Dlshad, 2018).

Çizelge 1.1 : Ülkemizde üretilen pekmez çeşitlerinin bileşimleri (TürKomp, 2022).

Bileşen	Birim	Üzüm Pekmezi, Ürgüp	Üzüm Pekmezi, Kırşehir	Üzüm Pekmezi, Güneydoğu Anadolu	Üzüm Pekmezi, Denizli	Dut Pekmezi, Gümüşhane	İncir Pekmezi, Manisa	Keçiboynuzu Pekmezi, Antalya
Enerji	kcal	240	246	242	243	272	254	270
Enerji	kJ	1003	1030	1013	1015	1137	1062	1128
Su	g	38,64	38,34	38,44	38,12	28,20	29,15	29,42
Kül	g	1,19		0,95	1,08	2,57	6,36	2,68
Protein	g	1,00	0,75	1,13	1,06	1,13	1,19	1,25
Azot	g	0,16	0,12	0,18	0,17	0,18	0,19	0,20
Yağ, toplam	g	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	0,06	0,00
Karbonhidrat	g	58,70	60,62	59,28	59,44	64,87	61,01	65,67
Lif, toplam diyet	g	0,47	0,29	0,21	0,30	3,04	2,23	0,98
Sakaroz	g	0,67	2,64	0,74	2,73	0,53	1,35	27,66
Glukoz	g	17,73	29,31	29,37	28,13	26,05	23,08	11,43
Fruktoz	g	27,74	28,13	28,81	28,95	24,97	19,98	13,36
Laktoz	g	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Maltoz	g	0,13	0,21	0,26	0,18	0,00	0,00	0,00
Tuz	mg	23	4	25	4	123	29	15
Demir, Fe	mg	0,43	0,91	0,45	1,00	1,53	1,37	0,08
Fosfor, P	mg	38	39	40	43	62	49	66
Kalsiyum, Ca	mg	32	30	32	35	108	159	62
Magnezyum, Mg	mg	39	23	42	25	61	95	54
Potasyum, K	mg	779	586	832	648	975	923	1262
Sodyum, Na	mg	9	1	10	2	49	12	6
Çinko, Zn	mg	0,04	0,51	0,04	0,57	0,62	0,34	0,44
Selenyum, Se	µg	-	-	-	-	3,8	-	0,0

*Bileşen değerleri gıdanın yenilebilir 100 g'ı içindir.

1.2.1.4 Pekmezin kalite kriterleri

Türk Gıda Kodeksi Üzüm Pekmezi Tebliği'nde üzüm pekmezi; tat durumuna göre tatlı (pH 5-6) ve ekşi (pH 3,5-5) pekmez olarak iki gruba, kıvamına göre ise sıvı (%80) ve katı (%68) pekmez olarak iki tipe ayrılmakta olup tebliğde üzüm pekmezi, “fermente olmamış taze üzüm veya kuru üzüm ekstraktının uygun yöntemlerle asitliğinin azaltılıp durultulmasından sonra tekniğine uygun olarak vakum altında veya açıkta koyulaştırılması ile elde edilen kıvamlı ürün” olarak tanımlanmakta, katı üzüm pekmezi ise “Üzüm pekmezine teknolojisi gereği çöven ekstraktı ve/veya yumurta akı ilavesiyle üretilen, istenildiğinde çeşni maddeleri de katılabilen katı kıvamdaki ürün” olarak tanımlanmaktadır (TGK Üzüm Pekmezi Tebliği, 2017/8). Türk Standartları Enstitüsü ise üzüm pekmezini “Taze veya kuru üzüm şirasının asitliğini azaltmaksızın veya kalsiyum karbonat ile asitliğini azaltarak tekniğine uygun olarak vakum altında veya açıkta koyulaştırılması ile elde edilen koyu kıvamlı veya bal, çöven, süt, süttozu, yumurta akı gibi maddeler ilavesi ile katılaştırılan bir mamul” olarak tanımlarken, katı üzüm pekmezini “Üzüm pekmezine gerektiğinde çöven ekstraktı (*Radix saponariae albae* L.) ve/veya yumurta akı ilave edilerek elde edilen katı kıvamdaki ürün” olarak tanımlamaktadır (TS 3792). Türk Gıda Kodeksi Üzüm Pekmezi Tebliği'nde üzüm pekmezinin fiziksel ve kimyasal özellikleri verilmekle birlikte pekmezlerde bulunabilecek maksimum HMF, kül miktarı ile şeker ve organik asit miktarları da belirtilmektedir. Ayrıca tebliğ üzüm pekmezi çeşitleri için bulaşanların miktarı Türk Gıda Kodeksi Bulaşanlar Yönetmeliğinde yer alan hükümlere uygun olması gerekliliğiyle birlikte bu hükümlere ek olarak tanımlanan ürünlerde bulunabilecek arsenik, bakır, çinko, demir ve kurşun miktarlarını da belirtmektedir. Tebliğe göre katı üzüm pekmezinden beklenen özellikler “açık sarıdan açık kahverengiye kadar değişen renkte, katı görünüşte, kesildiğinde faz ayrılması ve akışkan bir eğilim göstermeyen yapıda” olarak tanımlanmıştır, sıvı üzüm pekmezinden beklenen özellikler ise “açık kırmızı kahverengiden koyu kırmızı kahverengiye kadar değişen renkte, kıvamlı ve akışkan bir yapıda” olarak tanımlanmıştır. Bu özelliklere ek olarak üzüm pekmezi kendine has tat, koku ve homojen yapıda olmalı, yanık tat bulundurmamalı ve sıvı üzüm pekmezi için kristellenmemiş yapıda bulunmalıdır (TGK Üzüm Pekmezi Tebliği, 2017/8). Türk Gıda Kodeksi Üzüm Tebliği'ne göre üzüm pekmezinin fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 1.2'de verilmiştir.

Çizelge 1.2 : Türk Gıda Kodeksi'ne göre üzüm pekmezinin fiziksel ve kimyasal özellikleri (TGK Üzüm Pekmezi Tebliği, 2017/8).

Parametre	Sıvı üzüm pekmezi	Katı üzüm pekmezi
Suda çözünür katı madde (Brix°) (en az, %)	68	80
Toplam Kül (en çok, %)	2,5	3
Hidroksimetil furfural (HMF) (en çok, mg/kg)	75	100
pH tatlı üzüm pekmezi	5.0 – 6.0	
pH ekşi üzüm pekmez	3.5 – 5.0 (hariç)	
Maltoz (En çok, %)	1,0	
Sakaroz (En çok, %)	1,0	
Rafinoz (En çok, %)	0,2	
Fruktoz/Glukoz oranı	0,9 – 1,1	
Delta c13 (binde)	Bulunmamalı	
C13 (‰) binde	- 23,5'den daha negatif olmalı	
Tartarik asit/malik asit oranı	≥1	
Arsenik (As) (En çok, mg/kg)	0,2	
Kurşun (Pb) (En çok, mg/kg)	0,3	
Bakır (Cu) (En çok, mg/kg)	5	
Çinko (Zn) (En çok, mg/kg)	5	
Demir (Fe) (En çok, mg/kg)	25	

1.2.2 Tahin

1.2.2.1 Tahinin tanımı

Susam bitkileri (*Sesamum indicum* L.) insan beslenmesinde önemli rol oynayan, insanoğlunun bildiği dünyanın en önemli ve en eski yağlı tohum mahsullerinden biridir. Susam tohumu, soya fasulyesi, kolza tohumu, kanola, ayçiçeği tohumu ve pamuk tohumu gibi bilinen diğer yağlı tohumlara kıyasla daha yüksek fiyatlı bir üründür (Hussain ve diğ., 2017; Tounsi ve diğ., 2019). Susam tohumları iyi bir protein, kompleks karbonhidrat ve mineral kaynağıdır ve kolay sindirilebilir özelliğe sahip bir gıdadır. Susam yağı, insan vücudu için gerekli mineraller, vitaminler, fitosteroller, çoklu doymamış yağ asitleri, tokoferoller ve sesamin, sesamolin, sesaminol ve sesamolinol gibi önemli miktarlarda biyoaktif fitokimyasalları içeren önemli bir yağdır. Susam yağı tekli doymamış ve çoklu doymamış yağ içermekle birlikte aynı zamanda tokoferollerin ve fenolik bileşenlerin sinerjik etkisi sayesinde antioksidan aktivite sahiptir ve bu sayede susam yağı oksidatif bozulmalara karşı dirençli hale gelerek raf ömrü uzamaktadır (Temiz ve diğ., 2017). Aynı zamanda çeşitli yararlı antioksidanlar açısından da zengin olması sayesinde insan sağlığını serbest radikallerin zararlı etkilerinden koruma özelliğine sahiptir. Susamda bulunan izoflavonlar kanser, diyabet ve koroner kalp hastalıkları gibi kronik hastalıkların gelişiminin azaltılmasında da rol oynamaktadırlar. Ayrıca fitokimyasallar gibi besleyici ve biyolojik olarak

yararlı aktif bileşenlerin kaynağıdır (Hussain ve diğ., 2017). Susam, uzun yıllardır yüksek oranda unlu mamüller için bir bileşen olarak kullanılmış olmakla birlikte doğrudan tohum, yağ veya tahin olarak da tüketilmiştir (Tomruk ve diğ., 2018).

Tahin, kavrulmuş ve kabuğu alınmış susam tohumlarının öğütülmesiyle elde edilen Doğu Asya ülkelerinde, Orta Doğu ülkelerinde ve Türkiye'de popüler geleneksel gıdalardan biridir (Temiz ve diğ., 2017; Alaouie ve diğ., 2018; Tomruk ve diğ., 2018). Tahin emülsiyon yapısında olup susam yağı dağılmış fazı oluştururken su sürekli fazlı oluşturmaktadır. Tahin bileşimindeki susam proteinleri emülgatör görevi görmektedir ve yağ-su arayüzünde çok önemli etikeri bulunmaktadır (Tomruk ve diğ., 2018). Tahin karbonhidratlar (%6,4-21), lipitler (%54-65), proteinler (%17-27) ve diyet lifi (%9,3) açısından zengin bir gıda olup birçok kültürel lezzette içerik olarak, ticari olarak ve ev düzeyinde kullanımı bulunmaktadır (Alaouie ve diğ., 2018; Karaman ve diğ., 2017). Tahin kullanılarak hazırlanan popüler ürünler arasında helva, humus, babagannuş ve çeşitli pekmez türleriyle hazırlanan tahin pekmez karışımları sayılabilmektedir (Hussain ve diğ., 2017). Bununla birlikte tahin yaygın olarak farklı şeker kaynakları ile karıştırıldıktan sonra tüketilmektedir. Bu amaçla bal, şeker şurubu, hurma şurubu ve üzüm pekmezi kullanılmaktadır. Tahin ve bu şeker kaynakları piyasada karışım halinde yada ayrı olarak satışa sunulmakta ve tüketiciler tercihlerine göre çeşitli oranlarda karışım hazırlayabilmektedir (Tomruk ve diğ., 2018). Yüksek çoklu doymamış yağ asidi nedeniyle yüksek antioksidan aktiviteye sahip olduğu ve kolesterolü düşürme yeteneği gösterdiği bildirilmiştir (Karaman ve diğ., 2017).

1.2.2.2 Tahinin üretimi

Geleneksel tahin üretim yöntemi koyu renkli veya kusurlu tohumları ayıklama ve yıkama işlemiyle başlamaktadır. Ardından tohumlar tuzlu suya batırılmaktadır, bu işlem kirlilik oluşturan yabancı maddelerin suyun alt kısımlarında birikmesine yardımcı olurken tohumların soyma işlemini de kolaylaştırmaktadır. Daha sonra tuzlu suda yüzen tohumlar toplanmakta, soyulmakta ve yıkanmaktadır. Bir sonraki adımda, tohumlar kavurmakta, ardından öğütülerek susam tahumlarındaki yağ çıkarılmakta ve macun halinde ürün elde edilmektedir. Endüstriyel yöntemde susam tohumları tuzlu suya batırılmak yerine, santrifüj işlemine tabi tutulmaktadır. Sonraki aşamada tohumlar bir yıkama makinesine, ardından bir kurutma makinesine ve daha sonra bir kavurma makinesine girmektedirler. Kavurma işleminin ardından susam tohumları

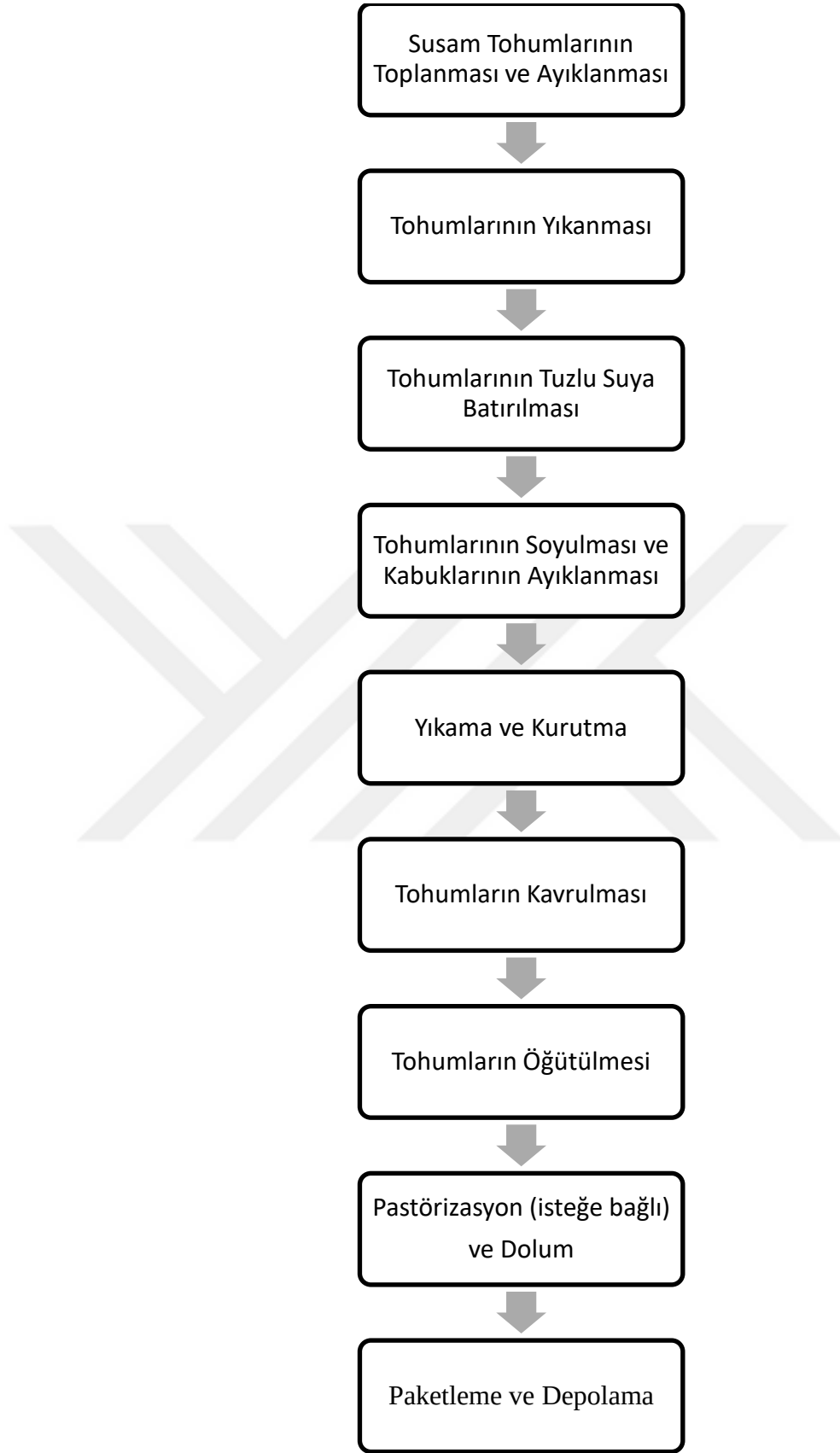
tekrar temizlenmekte ve rengine göre ayrılmaktadırlar. Kabul edilen tohumlar daha sonra öğütülmekte, homojenize edilmekte ve son olarak pastörize edilmektedir (Alaouie ve diğ., 2018). Tahin üretimi akım şeması Şekil 1.4’de verilmiştir.

1.2.2.3 Tahinin bileşimi

Tahinin ana hammaddesi olan susam tohumları doymamış yağlar (%48-55), özellikle çoklu doymamış yağ asitleri (PUFA) bakımından zengindir. Ayrıca protein (%20–28), karbonhidratlar (%14–16), lif (%6–8) ve sesamin, sesamolin ve sesamol gibi lignanlar ve tokoferoller içermektedirler. Susam lignanlarının insan sağlığı üzerinde antioksidan aktivite, kan lipidlerini düşürme, araşidonik asit seviyeleri ve anti-inflamatuar ve immünomodülatör etkileri gibi çeşitli etkileri olduğu kanıtlanmıştır (Bhat ve diğ., 2014). Aynı zamanda önemli bir diyet lifi kaynağı olmakla birlikte kalsiyum, fosfat, demir, potasyum gibi mineraller, E vitamini, tiamin ve niasin gibi mikro besinlerin kaynağıdır (Elleuch ve diğ., 2011; Yao ve diğ., 2021). Ülkemizde üretilen bazı tahin bileşimleri Çizelge 1.3’te verilmiştir.

1.2.2.4 Tahinin kalite kriterleri

Türk Gıda Kodeksi Tahin Tebliği’nde tahin ‘‘Tahin üretimine uygun susam (*Sesamum indicum* L.) tohumlarının tekniğine uygun olarak kabukları ayrıldıktan ve fırında kurutulup kavrulduktan sonra değirmende ezilmesi ile elde edilen ürün’’ olarak tanımlanmaktadır (TGK Tahin Tebliği, 2015/27). Türk Standartları Enstitüsü ise tahini ‘‘Susam (*Sesamum indicum*) tohumlarının tekniğine uygun olarak kabukları ayrıldıktan ve fırında kurutulup kavrulduktan sonra değirmende ezilmesi ile elde edilen mamul’’ olarak tanımlamaktadır (TS 2589:2017). Türk Gıda Kodeksi Tahin Tebliği’nde tahinin fiziksel ve kimyasal özellikleri verilmektedir. Ayrıca tebliğ tahin için bulaşanların miktarı Türk Gıda Kodeksi Bulaşanlar Yönetmeliğinde yer alan hükümlere uygun olması gerekliliğiyle birlikte bu hükümlere ek olarak tanımlanan ürünlerde bulunabilecek arsenik, bakır, demir ve kurşun miktarlarını da belirtmektedir. Tebliğe göre tahin kendine has renk, tat ve kokuda olmalı, üretim teknolojisi gereği kullanılan nişasta yabancı madde olarak değerlendirilmemekle birlikte içeriğinde yabancı madde bulundurmamalı ve üretiminde aroma vericiler ve aroma verme özelliği taşıyan gıda bileşenleri kullanılmamalıdır (TGK Tahin Tebliği, 2015/27). Türk Gıda Kodeksi Tahin Tebliği’ne göre tahinin fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 1.4’te verilmiştir.



Şekil 1.4 : Tahin üretiminin akım şeması (Alaouie ve diğ., 2018).

Çizelge 1.3 : Ülkemizde üretilen tahin çeşitlerinin bileşimleri (TürKomp, 2022).

Bileşen	Birim	Tahin(İstanbul)	Tahin (Konya)
Enerji	kcal	676	663
Enerji	kJ	2827	2776
Su	g	0,20	0,29
Kül	g	3,01	2,95
Protein	g	20,03	20,62
Azot	g	3,78	3,89
Yağ, toplam	g	62,20	60,40
Karbonhidrat	g	3,26	2,96
Lif, toplam diyet	g	11,30	12,78
Nişasta	g	0,12	0,12
Sakaroz	g	0,00	0,00
Glukoz	g	0,00	0,00
Fruktoz	g	0,00	0,00
Laktoz	g	0,00	0,00
Maltoz	g	0,67	0,00
Tuz	mg	676	595
Demir, Fe	mg	6,94	6,01
Fosfor, P	mg	828	869
Kalsiyum, Ca	mg	167	126
Magnezyum, Mg	mg	349	318
Potasyum, K	mg	313	313
Sodyum, Na	mg	271	238
Çinko, Zn	mg	6,98	9,08
Selenyum, Se	µg	19,8	18,8
Tiamin	mg	0,295	0,320
Riboflavin	mg	0,119	0,132
E vitamini	α-TE	0,24	0,38
E vitamini, IU	IU	0,36	0,57
Alfa-tokoferol	mg	0,24	0,38
Yağ asitleri, toplam doymuş	g	12,957	12,819
Yağ asitleri, toplam tekli doymamış	g	22,685	21,907
Yağ asitleri, toplam çoklu doymamış	g	23,684	22,872
Yağ asidi 4:0 (bütirik asit)	g	0,000	0,000
Yağ asidi 6:0 (kaproik asit)	g	0,000	0,000
Yağ asidi 8:0 (kaprilik asit)	g	0,000	0,000
Yağ asidi 10:0 (kaprik asit)	g	0,000	0,000
Yağ asidi 12:0 (laurik asit)	g	0,000	0,000
Yağ asidi 14:0 (miristik asit)	g	0,054	0,058
Yağ asidi 15:0 (pentadesilik asit)	g	0,000	-
Yağ asidi 16:0 (palmitik asit)	g	7,582	7,507
Yağ asidi 17:0 (margarik asit)	g	0,030	0,029

Çizelge 1.3 (devam): Ülkemizde üretilen tahin çeşitlerinin bileşimleri (TürKomp, 2022).

Bileşen	Birim	Tahin(İstanbul)	Tahin (Konya)
Yağ asidi 18:0 (stearik asit)	g	4,828	4,770
Yağ asidi 20:0 (araşidik asit)	g	0,351	0,341
Yağ asidi 22:0 (behenik asit)	g	0,065	0,069
Yağ asidi 24:0 (lignoserik asit)	g	0,048	0,046
Yağ asidi 14:1 n-5 cis (miristoleik asit)	g	0,000	0,000
Yağ asidi 16:1 n-7 cis (palmitoleik asit)	g	0,089	0,064
Yağ asidi 18:1 n-9 cis (oleik asit)	g	22,519	21,769
Yağ asidi 18:1 n-9 trans (elaidik asit)	g	0,000	0,000
Yağ asidi 20:1 n-9 cis	g	0,077	0,075
Yağ asidi 22:1 n-9 cis (erüsik asit)	g	0,000	0,000
Yağ asidi 24:1 n-9 cis	g	0,000	0,000
Yağ asidi 18:2 n-6 cis,cis	g	23,684	22,872
Yağ asidi 18:3 n-3 all-cis	g	0,000	0,000
Yağ asidi 18:3 n-6 all-cis	g	0,000	0,000
Yağ asidi 20:4 n-6 all-cis	g	0,000	0,000
Yağ asidi 20:5 n-3 all-cis	g	0,000	0,000
Yağ asidi 22:6 n-3 all-cis	g	0,000	0,000

Çizelge 1.4 : Türk Gıda Kodeksi'ne göre tahinin fiziksel ve kimyasal özellikleri (TGK Tahin Tebliği, 2015/27).

Bileşenler	Kütlece
Susam Yağı (en az, %)	50
Rutubet (en çok, %)	1,5
Protein (en az, %)	20
Kül (en çok, %)	3,2
Asitlik (oleik asit cinsinden) (en çok, %)	2,4
Acılık	Kreis testi negatif, acılaşma olmamalı
Arsenik (As) (en çok, mg/kg)	0,2
Kurşun (Pb) (en çok, mg/kg)	0,3
Bakır (Cu) (en çok, mg/kg)	18
Demir (Fe) (en çok, mg/kg)	75

1.2.3 Tahin-pekmez karışımı

Tahin-pekmez karışımları su içinde yağ emülsiyonu olarak düşünülebilmektedir ve emülsiyonda tahin yağ fazını oluştururken pekmez su fazını oluşturmaktadır. Dolayısıyla karışımın emülsiyon türü tahin-pekmez oranına bağlılık göstermektedir. Karışım içindeki proteinler yağ su arayüzünde emülgatör görevi görmektedirler ve emülsiyonun stabilitesinden birinci derecede sorumludurlar (Altay ve Altay, 2018). Tahin-pekmez karışımı, yüksek besin değeri nedeniyle özellikle kış aylarında Türkiye

ve İran'da yaygın olarak tüketilmekte olan bir gıda ürünüdür. Yüksek şeker, vitamin ve mineral içeren pekmez ile yüksek protein, lipid, doymamış yağ, diyet lifi ve antioksidan içeren tahinin karışımıyla elde edilen ürün tüketicilere besleyici, yüksek enerjili ve sağlıklı bir alternatif sunmaktadır (Baqeri ve diğ., 2019). Bu tür ürünlerin tüketici tarafından kabulü, ekmek gibi başka bir malzemeye yayılabilirliklerine bağlıdır ve bu yayılabilirlik özelliği esas olarak gıda yapısıyla doğrudan ilişkilidir (Tounsi ve diğ., 2019).

Bu gıda karışımlarının tüketimine olan talebin artması nedeniyle, karışım gıda ürünlerinin birçok farklı özelliğini karakterize etmek için birçok araştırma çalışması yapılmıştır. (Karaman ve diğ., 2017). Güvenilir reolojik veriler, belirli bir ürünün tasarımı, süreci ve kalite kontrolü, duyu değerlendirmesi, stabilite ve tüketicinin kabulü için gerekli görülmektedir (Altay ve Altay, 2018).

1.2.4 Reoloji

1.2.4.1 Reolojinin tanımı

"Yeterince uzun süre beklendiğinde her şeyin aktığı" fikri, reoloji olarak bilinen inceleme alanının temelinde yatmaktadır (Baggioli ve diğ., 2020). Reoloji, gerilme uygulanan bir maddenin akışını ve deformasyonunu inceleyen bilimdir. Reoloji bilimi deformasyon, kuvvet ve zaman arasındaki ilişkiyi açıklamaktadır. Akışkan reolojisi, genellikle viskozite ve elastikiyet başlıkları altında çeşitli ürünlerin kıvamını tanımlamak için kullanılmaktadır. Viskozite akışa karşı gösterilen direnç anlamına gelirken elastikiyet, yapışkanlık özelliğini ifade etmektedir (Sravan ve diğ., 2021).

1.2.4.2 Reolojinin gıda endüstrisindeki önemi

Gıda reolojisi gıda endüstrisinin hammaddelerinin, ara ürünlerinin ve nihai ürünlerinin deformasyonu ve akışı üzerine yapılan bir çalışma olarak tanımlanmaktadır (Sravan ve diğ., 2021). Gıdaların su, protein, karbonhidrat, yağ ve önemli miktarda liften oluşan çok karmaşık yapısı, bir gıda sisteminin akış özelliklerini ve dolayısıyla reolojik özelliklerini önemli ölçüde etkilemektedir. Gıdanın bileşimini oluşturan bu özelliklerin etkisinin yanında dispersiyonlardaki sıvı fazın viskozitesi, çoğunlukla malzemenin akış özelliklerinde önemli bir rol oynamaktadır. Gıda ürünlerinin proses içerisinde gösterdiği reolojik davranış, gıdanın bileşimi, işlem teknolojisi, uygulanan

kayma hızı ve sıcaklık gibi çeşitli parametrelerden etkilenmektedir (Mohd Rasidek ve diğ., 2018).

Gıda maddelerinin reolojik davranışı malzemelerin elastik ve viskoz özelliklerini tanımlayan iki kategoriye ayrılabilir. Bununla birlikte, az sayıda gıda maddesi sadece elastik özellik veya sadece viskoz özellik gösterecek kadar basit yapıdayken birçok gıda maddesi hem elastik hem de viskoz davranış göstermektedir. Viskoelastik ve elastikoviskoz terimleri hem elastik hem de viskoz özellik gösteren gıda maddelerinin akış davranışlarının tanımlayıcıları olarak kullanılabilir (Tucker, 2017). Gıda reolojisi çalışmaları zamanla ve enstrümantasyonun gelişmesiyle önemli ölçüde ilerlemiştir ve bu ilerlemeye paralel olarak gıda reolojisinin kapsamı ve uygulaması genişlemiştir.

Gıda endüstrisinde reolojik veriler; boru hatları, pompalar, ekstrüderler, karıştırıcılar, kaplayıcılar, ısı eşanjörleri, homojenizatörler ve çevrimiçi viskozimetreler gibi çok çeşitli ekipmanları içeren proses mühendisliği hesaplamalarında, ürün geliştirme çalışmalarında bileşen işlevselliğini belirlemede, ürün bileşenlerinin ve nihai ürünlerin özelliklerinin belirlenmesinde, ara ürün ve son ürün kalite kontrolünde, raf ömrü testlerinde, ürün performansının değerlendirilmesinde, müşteri kabulünün değerlendirilmesinde, ürünlerin duyu analizlerinde kullanılmaktadır (Sravan ve diğ., 2021). Deneysel ölçümlerden elde edilen reolojik modeller, momentum, enerji ve kütle denklemleri ile birlikte kullanıldığında gıda mühendisliği süreçlerinin tasarımında faydalı olabilmektedir (Sahin ve Sumnu, 2011).

1.2.4.3 Newton yasası ve newtonyen akış davranışı

Gıda ürününün temel reoloji davranışının değerlendirilmesi ve reolojik karakterizasyonun belirlenmesinde çeşitli matematiksel modellerden yararlanılmaktadır. Denklem 1.1'de gösterilen Newton viskozite yasası newtonyen akışkanların değerlendirilmesi için kullanılmaktadır (Mohd Rasidek ve diğ., 2018).

$$\sigma = \mu \dot{\gamma} \quad (1.1)$$

Newton modeli, sırasıyla Newton viskozitesi μ (Pa.s^{-1}), kayma gerilmesi σ (Pa) ve kayma hızı $\dot{\gamma}$ (s^{-1}) olarak ifade edilen değerlerden oluşmaktadır. Newton modeli, kayma gerilmesi (σ) ve kayma hızı ($\dot{\gamma}$) ile viskozite değeri arasındaki doğrusal korelasyona deneysel koşullarla katkıda bulunur ve kayma hızı ve kayma gerilmesi

değerleri Newton modelinden tahmin edilebilmektedir (Mohd Rasidek ve diğ., 2018). Kayma hızına karşı kayma gerilmesinin grafiği çizildiğinde bir newtonyen akışkan için akış eğrisi orijinden başlar ve doğrunun eğimi (μ) sabit kalır. Bu sayede bir Newton akışkanı belirli bir sıcaklıkta tek bir viskozite değeri ile tanımlanabilmektedir. Newtonyen akışkanların viskozitesi kayma hızından bağımsızdır ve viskozite sadece sıcaklık ve kompozisyondan etkilenmektedir (Lokumcu, 2000).

1.2.4.4 Newtonyen olmayan akış davranışı

Newtonyen olmayan akışkanlarda akış özellikleri kayma hızından etkilenmektedir ve bu tip akışkanlarda sabit bir viskozite değeri yoktur. Newtonyen olmayan akışkanlar newton viskozite yasasına uymamaktadır ve kayma hızına karşı çizilen kayma gerilmesinin grafiği doğrusal olmamakla birlikte orijinden başlamamaktadır (Mohd Rasidek ve diğ., 2018). Newtonyen olmayan akışkanların viskozitesi hem kayma hızına hem de zamana bağlı olabilmektedir. Bu durumda akışkanın viskozitesi kayma hızının büyüklüğünün yanında ardışık uygulanan kayma uygulamalarının sıklığına da bağlıdır (Çiftçi, 2008).

Zamandan bağımsız Newtonyen olmayan akışkanlar, kayma hızıyla zayıflayan (psödoplastik) akışkan, kayma hızıyla güçlenen (dilatant) akışkan ve plastik akışkan olarak adlandırılırlar. Zamana bağlı newtonyen olmayan akışkanlar tiksotropik, reopektik veya antitiksotropik olarak adlandırılmaktadırlar (Çiftçi, 2008).

Üslü yasa modeli ve zamandan bağımsız newtonyen olmayan akış davranışı

Kayma hızıyla zayıflayan davranışta anlık viskozite, kayma hızı arttıkça azalmaktadır. Kayma hızıyla güçlenen akışta ise anlık viskozite, kayma hızı arttıkça artmaktadır. Plastik akışta belirli bir akma gerilimi görülmektedir, akma geriliminin değeri akışın oluşması için uygulanması gereken minimum gerilime eşittir ve akma geriliminin altında uygulanan gerilimlerde malzeme katı gibi davranmaktadır. Bingham plastik akış davranışında anlık viskozite kayma hızının artmasıyla birlikte azalmaktayken Bingham olmayan plastik akış davranışında ise anlık viskozite kayma hızıyla birlikte azalmaktadır (Lokumcu, 2000).

Kayma hızıyla zayıflayan akış davranışı, kayma hızıyla güçlenen akış davranışı matematiksel olarak üslü yasa ile modellenmektedir (Dlshad, 2018).

$$\sigma = k\dot{\gamma}^n \quad (1.2)$$

Burada σ (Pa) kayma gerilimi, k (Pa.s) kıvam indeksi, $\dot{\gamma}$ (s^{-1}) kayma hızı ve n (boyutsuz) akış davranış indisini göstermektedir. Kayma hızıyla zayıflayan akış davranışında akış davranış indisi (n) değeri 0 ile 1 arasında değişmekte olup ($0 < n < 1$), bu değer newtonyen davranıştan sapmayı göstermektedir. Kayma hızıyla güçlenen akış davranışında ise akış davranış indisi (n) değeri 1'den büyüktür ($1 < n$). Kıvam indisi (k) ve akış davranış indisi (n) sıcaklıktan ve gıdanın bileşiminden etkilenmekte olup kıvam indisi, bir sıvının viskoz yapısını belirlemede çok önemlidir. Akış davranışı indeksi (n) kayma hızıyla zayıflayan akışkanlar ve kayma hızıyla güçlenen akışkanlar olmak üzere iki türe ayrılan üslü yasa akışkanları hakkında bilgi vermektedir (Dlshad, 2018).

Herschel-Bulkley modeli ve zamandan bağımsız newtonyen olmayan akış davranışı

Bingham plastik akış davranışı ve bingham olmayan plastik akış davranışı Hershel-Bulkley matematiksel denklemiyle modellenmektedir (Lokumcu, 2000).

$$\sigma = \sigma_0 + k\dot{\gamma}^n \quad (1.3)$$

Burada σ (Pa) kayma gerilimi, σ_0 (Pa) akma gerilimi, k (Pa.s) kıvam indisi, $\dot{\gamma}$ (s^{-1}) kayma hızı ve n (boyutsuz) akış davranış indisini göstermektedir. Bingham plastik akış davranışına ait modelde akış davranış indisi değeri 1'e eşittir ve akma gerilimi değeri 0'dan büyüktür ($n=1$, $\sigma_0 > 0$). Bingham olmayan plastik akış davranışında ise akış davranış indisi değeri 1'den küçüktür ($n < 1$) (Lokumcu, 2000).

Herschel-Bulkley modeli matematiksel olarak newton yasası modelini ve üslü yasa modelini içermektedir. Akma gerilmesi (σ_0) sıfıra eşit olduğunda, akış davranış indeksinin (n) değeri bire eşit iken model Newton yasasına dönüşmekte, akış davranış indisi değeri birden farklı olması durumunda ise model üslü yasa modeline dönüşmektedir. Bu nedenle Herschel-Bulkley denklemi üç modeli değerlendirmek için kullanılabilir; newton modeli için viskozite veya hem üslü yasa hem de Herschel-Bulkley modelleri için kıvam indeksi olabilir (Salinas ve diğ., 2019).

Bu tip akışkanlar için sabit bir sıcaklıkta tek bir viskozite değeri tanımlanamamaktadır ve bu malzemelerin viskozitesi karşılık gelen bir sıcaklık ve kayma hızı ile birlikte belirtilmektedir (Mohd Rasidek ve diğ., 2018). Bu sebeple Newtonyen olmayan akışkanlarda uygulanan belirli bir kayma hızında görünüm anlık viskoziteden söz edilir ve anlık viskozite (η_{app}) kayma geriliminin kayma hızına bölümünden elde edilmektedir.

$$\eta_{app} = f(\dot{\gamma}) = \frac{\sigma}{\dot{\gamma}} = \frac{k\dot{\gamma}^n}{\dot{\gamma}} = k\dot{\gamma}^{n-1} \quad (1.4)$$

Zamana bağılı newtonyen olmayan akışkanlar

Maddelerde görülen geri dönüşümlü veya geri dönüşümsüz değişimler, sabit bir kayma hızında zamanla anlık viskozitenin artması veya azalmasına göre gerçekleşmektedir. Zamana bağılı newtonyen olmayan akışkanlar, tiksotropik ve reopektik akışkanlar olmak üzere ikiye ayrılarak incelenmektedir (Dilshad, 2018). Tiksotropik (zamana bağılı zayıflayan) akışkanlarda uygulanan sabit bir kayma hızında anlık viskozite zamanla azalırken reopektik (zamana bağılı güçlenen) akışkanlarda anlık viskozite zamanla artış göstermektedir.

1.2.4.5 Pekmez kullanılarak yapılan temel reolojik çalışmalar

Pekmezin reolojik özelliklerin belirlenmesine yönelik birçok çalışma farklı araştırmacılar tarafından gerçekleştirilmiştir, örneğin keçiboynuzu pekmezinin çalışılan farklı sıcaklık ve kayma hızlarında akış özelliklerini belirlemesi (Sengül ve diğ., 2007), sıcaklığın kayısı ve hurma pekmezinin reolojik özelliklerine etkisinin incelenmesi (Karaman ve Kayacier, 2011), dut pekmezinin akış özelliklerini belirlemesi (Eroğlu ve diğ. 2015), üzüm pekmezinin reolojik özelliklerinin incelenmesi (Göksek ve diğ., 2011). Yapılan çalışmalarda üslü yasa modeli ve Herschel-Bulkley modelinin pekmezin reolojik özelliği tanımlamak için uygun olduğu belirtilmiştir (Sengül ve diğ., 2007; Eroğlu ve diğ., 2015; Karaman ve Kayacier, 2011). Harnup pekmezinin zamandan bağımsız kayma hızıyla güçlenen davranış gösterdiği (Sengül ve diğ., 2007), dut pekmezinin kayma hızıyla zayıflayan akış davranışı gösterdiği (Eroğlu ve diğ., 2015), kayısı ve hurma pekmezlerinin kayma hızıyla zayıflayan akış davranışı gösterdiği bildirilmiştir (Karaman ve Kayacier, 2011). Yapılan araştırmalar ve elde edilen sonuçlar Çizelge A.1’de özetlenmiştir.

1.2.4.6 Tahin kullanılarak yapılan temel reolojik çalışmalar

Tahinin reolojik karakterizasyonun belirlenmesi üzerine yapılan birçok çalışma mevcuttur (Alpaslan ve Hayta, 2002; Lokumcu ve Ak, 2005; Hou, 2017). Araştırmacılar kayma hızıyla zayıflayan ve tiksotropik davranışın tahinin kararlı kayma davranışını yansıttığı bildirilmişlerdir (Alpaslan ve Hayta, 2002; Lokumcu ve Ak, 2005). Yapılan araştırmalar ve elde edilen sonuçlar Çizelge A.2’de özetlenmiştir.

1.2.4.7 Tahin-pekmez kullanılarak yapılan temel reolojik çalışmalar

Alpaslan ve Hayta (2002), farklı seviyelerde pekmez içeren tahin-pekmez karışımlarının reolojik ve duyuşal özelliklerini araştırmış ve tahine pekmez ilavesinin nihai ürünün fizikokimyasal, reolojik ve duyuşal özelliklerini önemli ölçüde değıştirdiğini bildirmişlerdir. Alpaslan ve diğ. (2005), tahin-pekmez karışımlarının reolojik özelliklerini farklı tahin konsantrasyonlarında ve sıcaklıklarda belirlemek için yaptıkları çalışmanın sonucunda tahin-pekmez karışımlarının tüm sıcaklıklarda ve tahin konsantrasyonlarında newtonyen olmayan, kayma hızıyla zayıflayan akış davranışı sergilediklerini bildirmişlerdir. Benzer şekilde Ravazi ve diğ. (2007) yaptıkları çalışmada tahin-pekmez karışımlarının kayma hızıyla zayıflayan akış davranışı sergilediklerini bildirmişlerdir. Lokumu ve Ak (2005) yaptıkları çalışmada tahin-pekmez karışımının reolojik davranışını incelemişler ve karışımın 50 s^{-1} kayma hızı civarında kayma hızıyla zayıflayan davranıştan kayma hızıyla güçlene davranışa geçiş yaptığını gözlemlenmişler ve dolayısıyla karışım için anti-tiksotropik karakterden söz etmişlerdir. Yapılan çalışmalarda karışımlarının kayma akışını tanımlamak için Arrhenius denklemiyle birleştirilmiş üslü yasa modelinin kullanılmasının uygun olduğu belirtilmiştir (Alparslan ve Hayta, 2005; Ravazi ve diğ., 2007; Lokumu ve Ak, 2005). Yapılan araştırmalar ve elde edilen sonuçlar Çizelge A.3’de özetlenmiştir.

1.2.4.8 Doğrusal viskoelastisite

Viskoz bir sıvıya bir kuvvet uygulandığında, deforme olmaya başlar ve bu deformasyon uygulanan kuvvetin büyüklüğü ile orantılıdır. Sıvı uygulanan kuvvet ortadan kaldırılıncaya kadar sürekli deforme olur ve böylece kuvvet ortadan kaldırıldığında da eski konumuna dönemez. Viskoz sıvılar genellikle viskozite sergilerken, katılar esneklik sergilemektedir. Viskoelastik malzemeler ise hem viskoz özellik hem de elastik özellikler göstermektedir. Malzemelerin viskoelastik özelliklerini incelemek için üç farklı yöntem kullanılmaktadır: gerilim rahatlama testi, sünme testi ve dinamik test (Şahin ve Sumnu, 2011).

Gerilim rahatlama testi

Bir malzeme sabit bir gerinime kadar deforme edilirse ve elde edilen gerinim sabit tutulursa, bu gerinimi korumak için uygulanması gereken gerilim zamanla azalmaktadır. Buna gerilim rahatlama denir. Gerilim rahatlama testinde, malzeme sabit

bir gerinime maruz bırakılmaktadır ve uygulanan gerilim zamanın bir fonksiyonu olarak ölçülmektedir. Bu test, kayma, tek eksenli gerilim veya tek eksenli sıkıştırma ile gerçekleştirilebilir (Şahin ve Sumnu, 2011).

Sünme testi

Biyolojik bir malzemeye sabit bir yük uygulanırsa ve uygulanan gerilim nispeten büyükse, malzeme zamanla deforme olmaya devam etmektedir. Buna sünme denir. Bir sünme testinde, malzemeye anlık bir sabit gerilim uygulanmaktadır ve ortaya çıkan gerinim, zamanın bir fonksiyonu olarak ölçülmektedir (Şahin ve Sumnu, 2011). Sünme ve sünme geri kazanım testleri, sabit bir kayma gerilimi altında önceden belirlenmiş bir süre boyunca bir gıda sisteminin deformasyonunu değerlendirmek ve zamanın bir fonksiyonu olarak uygulanan deformasyonu ölçmek için kullanılan en yaygın yöntemler arasındadır (Eroğlu ve diğ., 2015). Sünme ve sünme geri kazanım testi, bir sistemin iç yapısı ve bileşimindeki değişikliklerin ortaya çıkmasıyla bağlantılı olarak oluşan yapısal değişiklikler hakkında bilgi sağlamaktadırlar. Bu testlerden elde edilen bilgiler, hangi işleme adımının veya işlem gücünün malzemede kalıcı deformasyona neden olduğunu veya hangi ürün bileşenlerin ürünün deformasyonuna karşı direnç oluşturduğunu ve dolayısıyla son ürünün veya yan ürünün kalitesini etkilediğini belirlemek için kullanılabilecek yararlı bilgilerdir (Toker ve Doğan, 2013). Sünme testi tek eksenli çekme veya sıkıştırmayla yapılabilmektedir (Şahin ve Sumnu, 2011).

Dinamik test

Dinamik testler iki şekilde yapılabilmektedir; uygulanan sabit bir gerinimde gerilim ölçülmektedir (gerinim kontrollü) yada uygulanan sabit bir gerilim genliğinde oluşan deformasyon ölçülmektedir (gerilim kontrollü). Diğer bir deyişle uygulanan bu testte malzemeler zamanla uyumlu olarak değişen deformasyona veya gerilime maruz kalmaktadır. Test kapsamında genellikle numuneye sinüzoidal bir gerilim uygulanmaktadır ve bu da malzemede bir miktar gerilimin iletilmesine neden olmaktadır. Bunun akabinde numunede iletilen kayma gerilmesi ölçülmektedir. Eş merkezli silindir, koni ve plaka veya paralel viskozimetreler bu test için uygundur (Şahin ve Sumnu, 2011).

Salınım testlerinin kullanıldığı reolojik analiz yöntemleri, karmaşık gıda sistemlerinin viskoelastik özelliklerini incelemek için kullanılan viskoz (veya kayıp modülü G'') ve elastik (veya depolama modülü G') modülleriyle sonuçlanmaktadır. G' ve G'' değerlerinin büyüklüğünün incelenmesi yoluyla, sırasıyla elastik ve viskoz kuvvetlerin

büyükliklerinin incelenmesi, gıda malzemelerinin yapısındaki değişiklikleri araştırmak için kullanılabilecek bir yöntemdir (Tucker, 2017).

Salınımlı kayma testi genellikle gerilim kontrollü veya gerinim kontrollü reometreler kullanılarak, küçük genlikli salınımlı kayma (SAOS) ve büyük genlikli salınımlı kayma (LAOS) analizi olmak üzere iki standart sistemde gerçekleştirilmektedir (Precha-Atsawanan ve diğ., 2018; Fuongfuchat ve diğ., 2012; Hyun ve diğ., 2011; Mezger, 2006). Malzemelerin SAOS analizinde, malzemelere mikro yapıyı bozmayan küçük gerilmeler uygulanmaktadır ve analiz sonucunda uygulanan gerinim büyüklüğünden veya gerinim oranından bağımsız doğrusal viskoelastik bölgedeki malzeme özellikleri elde edilmektedir (Wang ve diğ., 2012). Buna karşın endüstriyel ölçekte proses sırasında uygulanan birçok işlemde malzemeler üzerinde doğrusal viskoelastik bölgenin çok ötesindeki gerilimler ve gerinimler oluşmaktadır, bu nedenle doğrusal olmayan rejimdeki gıdaların reolojik tepkisinin ölçülmesi pratik uygulamalar için önemli görülmektedir (Mermet-Guyennet ve diğ., 2015).

1.2.4.9 Tahin, pekmez ve tahin-pekmez karışımlarının doğrusal viskoelastik özellikleri üzerine yapılan çalışmalar.

Tahin ve pekmez karışımlarının viskoelastik özelliklerini belirlemek için bir çok çalışma yapılmıştır (Eroğlu ve diğ., 2015; Karaman ve diğ., 2017; Toker ve Doğan., 2013; Goksel ve diğ., 2011). Yapılan araştırmalar ve elde edilen sonuçlar Çizelge A.4’de özetlenmiştir.

1.2.4.10 Doğrusal olmayan viskoelastisite

Birçok karmaşık gıda sisteminin reolojik analizlerinde LAOS tekniği yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Hyun ve diğ., 2011). Benzer doğrusal viskoelastik özelliklere sahip karmaşık malzemeler, farklı doğrusal olmayan viskoelastik davranışlar sergileyebilmektedir (Anvari ve Joyner, 2018). LAOS tekniğinde, yalnızca doğrusal olmayan viskoelastik tepkiler ölçülmekle kalmayıp, aynı zamanda karmaşık gıda sistemlerinin mikroyapısı ve morfolojisinin gelişimi ile ilgili bilgi de sağlanmaktadır (Fuongfuchat ve diğ., 2012). Bilinmeyen bir malzemenin hem elastik hem de viskoz özellikleri, bir ortogonal gerinim hızı ($\dot{\gamma}(t) = \gamma_0 \omega \cos \omega t$) oluşturan bir salınımlı kayma gerilimi ($\gamma(t) = \gamma_0 \sin \omega t$) uygulanarak aynı anda incelenebilmektedir. SAOS analizinde malzemeler mikro yapıyı bozmayan küçük gerilmelere tabi tutulur ve yapılan analiz doğrusal viskoelastik bölgedeki özellikleri

yani uygulanan gerinim büyüklüğünden veya gerinim oranından bağımsız özellikleri sağlar. LAOS analizi, herhangi bir ölçüm frekansında (ω) gerilim genliği (γ_0) arttıkça doğrusal reolojik davranıştan doğrusal olmayan reolojik davranışa aşamalı geçişi ölçmek için kullanılan bir yöntemdir. Bağımsız değişkenler ω ve γ_0 , sabit viskometrik akışı (düşük ω limitinde), doğrusal viskoelastisiteyi (düşük γ_0 limitinde) ve doğrusal olmayan viskoelastisiteyi sorunsuz bir şekilde birbirine bağlayan bir Pipkin diyagramının koordinat eksenlerini tanımlamak için kullanılabilmektedir (Ewoldt ve diğ., 2008). LAOS analizlerinde, mekanik tepki fonksiyonunun, frekans (ω) ve gerinim genliği (γ_0) ordinatlarında çizilmesiyle elde edilen grafik pipkin diyagramı olarak adlandırılmaktadır ve bu diyagram, karmaşık sıvıların doğrusal olmayan viskoelastisitesinin çok daha ayrıntılı bir şekilde araştırılmasına imkan sağlamaktadır. LAOS analizinin doğrusal olmayan viskoelastisiteyi döngü içi ve döngüler arası yönere ayırdığını belirtmek gerekmektedir. Döngü içi doğrusal olmayan viskoelastisite, sabit γ_0 ve ω değerlerinde Lissajous-Bowditch eğrisinin sinüzoidal olmayan şeklini ifade etmektedir. Döngüler arası doğrusal olmayan viskoelastisite ise γ_0 ve ω 'ye bağlı mekanik yanıtı ifade etmektedir (Sun ve diğ., 2015).

LAOS testi, doğrusal olmayan yanıtı temsil etmek için Lissajous-Bowditch grafiklerini kullanarak doğrusal olmayan bölgedeki davranışı analiz etmektedir (Hyun ve diğ., 2011; Mermert-Guyennet ve diğ., 2015; Wang, Li, Wei ve Adhikari, 2012). Kararlı durumda periyodik stres tepkisi $\sigma(t; \omega, \gamma_0)$, $\gamma(t)'$ ye karşı parametrik olarak çizildiğinde Lissajous-Bowditch eğrileri elde edilmektedir ve bu eğriler LAOS analizinden elde edilen ham verileri temsil etmek için sıklıkla kullanılmaktadır (Ewoldt ve diğ., 2008). Bu yaklaşım, karmaşık malzemelerin büyük deformasyon rejimindeki viskoelastik davranışını anlamak için yararlı bilgiler sağlamaktadır. Lissajous-Bowditch eğrisinde doğrusal bir viskoelastik tepki elips şeklinde görünmekteyken doğrusal olmayan bir viskoelastik yanıt ise elastik şeklini kaybetmektedir ve elde edilen yanıtın $\sigma(t) = \sigma(t + T)$ periyodunda olduğu görülmektedir. Burada T, Fourier serisi stres yanıtında hem tek hem de çift harmoniklere izin veren salınım periyodudur. Her iki kayma yönünde de aynı şekilde davranan basit bir akışkanın genel durumu için, yalnızca tek harmoniklere izin verilmektedir (Denklem 1.5) ve akışkana ait Lissajous-Bowditch eğrisi, orijin etrafında dönme simetrisini korumaktadır (π -rad ile dönme). $\sigma(t)$ 'nin $\gamma(t)'$ ye karşı çizildiği grafikler elastik Lissajous-Bowditch eğrileri olarak adlandırılmakta, $\sigma(t)$ 'nin

$\dot{\gamma}(t)$ 'na karşı çizildiği grafikler ise viskoz Lissajous-Bowditch eğrileri olarak adlandırılmaktadır (Ewoldt ve diğ, 2008).

Küçük gerinim genliklerinde tepki doğrusal olduğunda materyal genellikle sırasıyla γ_0 ve $\dot{\gamma}_0$ fazındaki gerilim bileşenlerinden belirlenen viskoelastik modüllerle ($G'(\omega)$ ve $G''(\omega)$) karakterize edilmektedir (Ewoldt ve diğ, 2008). SAOS bölgesinde viskoz $G'(\omega)$ ve elastik $G''(\omega)$ modül değerleri sabit tutulan frekansta uygulanan gerinim genliğinden bağımsızdır. LAOS bölgesinde ise viskoz ($G'(\gamma_0)$) ve elastik modüller ($G''(\gamma_0)$) gerinim genliğinin bir fonksiyonu haline gelmektedir (Yıldırım Maviş, 2019). Gerinim genliği (γ_0), doğrusal olmayan viskoelastik rejime girmek için sistematik olarak artırılırsa bu LAOS testi ile sonuçlanır. Bununla birlikte, doğrusal olmayan bir gerilim tepkisi tek harmonik bir sinüzoid olmadığından, doğrusal viskoelastik modüller malzeme tepkisinin doğrusal olmayışı sebebiyle benzersiz bir şekilde tanımlanamamaktadır. LAOS testlerinde gözlemlenen çok sayıda farklı maddeye ait doğrusal olmama durumunun fiziksel yorumu zordur. LAOS testlerini ölçmenin en yaygın yöntemi Fourier dönüşümü reolojisi (Ewoldt ve diğ, 2008). Malzemenin tepkisi ideal sinüzoidal tepkiden saptığında, daha yüksek harmonikler kullanarak sinüzoidal olmayan yanıtı simüle etmek için zamana bağlı yanıtı frekans alanına dönüştüren Fourier dönüşümü kullanılmaktadır. Fourier dönüşümü, sinüzoidal olmayan zamana bağlı bir sinyali filtreler ve karmaşık ancak periyodik fonksiyonlar olan basit sinüs ve kosinüs dalga fonksiyonlarının bir toplamına dönüştürür (Duvarcı ve diğ., 2017b). Sinüzoidal bir gerinim girdisi için ($\gamma(t) = \gamma_0 \sin \omega t$), gerilim tepkisi, sırasıyla elastik veya viskoz ölçeklendirmeyi vurgulamak için iki alternatif biçimde verilen bir Fourier serisi ile tamamen temsil edilebilmektedir (Ewoldt ve diğ, 2008; Yazar ve diğ., 2016),

$$\sigma(t; \omega, \gamma_0) = \gamma_0 \sum_{n \text{ tek}} \{ G'_n(\omega, \gamma_0) \sin n\omega t + G''_n(\omega, \gamma_0) \cos n\omega t \} \quad (1.5)$$

$$\sigma(t; \omega, \dot{\gamma}_0) = \dot{\gamma}_0 \sum_{n \text{ tek}} \{ \eta''_n(\omega, \dot{\gamma}_0) \sin n\omega t + \eta'_n(\omega, \dot{\gamma}_0) \cos n\omega t \}$$

Bu denklemde, ω uygulanan salınım frekansını, γ_0 gerinim genliğini, $\dot{\gamma}_0$ oluşan gerinim hızını ve t zamanı göstermektedir. Bu gösterime sadece tek harmonikler dahil edilmiştir çünkü gerilme tepkisinin, kayma gerilmesi veya kayma hızının yönlülüğüne göre tek simetrik olduğu varsayılır, yani koordinat eksenini tersine çevrilirse malzeme tepkisi değişmemektedir (Ewoldt ve diğ, 2008). Tek harmoniklerin oluşması, malzemenin doğrusal olmayan yanıtını göstermektedir ve uygulanan büyük

deformasyon neticesinde malzeme içinde oluşan yapısal değişiklikleri ifade etmektedir (Duvarcı ve diğ., 2017b). Geçici tepkilerde, ikincil akışlarda veya dinamik duvar kaymasında çift harmonik terimler gözlemlenebilmektedir. Doğrusal viskoelastik rejimde, gerilme tepkisi yalnızca birinci harmoniği ($n = 1$) içermektedir, halbuki daha büyük gerinimlerde görülen doğrusal olmayan malzeme tepkileri, daha yüksek harmoniklerin ortaya çıkmasına ve büyümesine neden olmaktadır (Ewoldt ve diğ., 2008).

Doğrusal olmayan bölgedeki viskoelastik reolojiiyi daha iyi tanımlamak için Fourier dönüşüm reolojisine dayalı LAOS testlerinde Chebyshev polinomları ile birleştirilmiş Fourier dönüşümleri kullanılabilmektedir (Yazar ve diğ., 2016). LAOS verilerini fiziksel olarak anlamlı bir şekilde yorumlamak için, Ewoldt ve diğ. (2008) yaptıkları çalışmada genel doğrusal olmayan gerilim yanıtını bir elastik stres ($x = \gamma/\gamma_0 = \sin \omega t$ olduğunda $\sigma'(x)$) ve bir viskoz stresin ($y = \dot{\gamma}/\dot{\gamma}_0 = \cos \omega t$ olduğunda $\sigma''(y)$) üst üste binmesine ayırtmışlardır. Bu elastik ve viskoz tepkilerin toplamı, toplam salınım gerilimi olarak ifade edilmekte ($\sigma(t) = \sigma'(t) + \sigma''(t)$) ve Fourier ayrıştırmasıyla ilişkilendirilmektedir. Bu ayrıştırma, elastik gerilimin (σ') x'e göre tek simetri ve y'ye göre çift simetri göstermesi gerektiği fikrine dayanırken viskoz gerilim (σ'') x'e göre çift simetri ve y'ye göre tek simetri sergilemelidir. Fourier ayrıştırması ile ilgili olan bu ayrıştırmalar aşağıda tanımlanmıştır (Ewoldt ve diğ., 2008; Yildirim-Mavis ve diğ., 2019):

$$\begin{aligned}\sigma' &\equiv \frac{\sigma(\gamma, \dot{\gamma}) - \sigma(-\gamma, \dot{\gamma})}{2} = \gamma_0 \sum_{n \text{ tek}} G'_n(\omega, \gamma_0) \sin n\omega t \\ \sigma'' &\equiv \frac{\sigma(\gamma, \dot{\gamma}) - \sigma(-\gamma, \dot{\gamma})}{2} = \gamma_0 \sum_{n \text{ tek}} G''_n(\omega, \gamma_0) \cos n\omega t\end{aligned}\tag{1.6}$$

Bu denklemde n tek, t zaman, γ_0 gerinim genliği (boyutsuz), $\dot{\gamma}$ gerinim hızı (s^{-1}), G'_n ve G''_n , n 'inci harmonik (Pa) için sırasıyla elastik ve viskoz modüllerdir. Böylece, toplam gerilimin oluşturduğu kapalı döngülerin (γ ya karşı σ' veya $\dot{\gamma}$ ya karşı σ'') aksine x'e karşı elastik gerilim (σ') veya y'ye karşı viskoz gerilimin (σ'') grafiğini çizmek, sırasıyla tek değerli gerinim veya gerinim hızı fonksiyonları üretmektedir (Ewoldt ve diğ., 2008).

Ewoldt ve diğ. (2008) ölçülen stres tepkisine karşılık gelen elastik ve viskoz yanıtları aşağıda verildiği gibi elde etmişlerdir;

$$\begin{aligned}\sigma'(x) &= \gamma_0 \sum_{n \text{ tek}} e_n(\omega, \gamma_0) T_n(x) \\ \sigma''(y) &= \dot{\gamma}_0 \sum_{n \text{ tek}} v_n(\omega, \gamma_0) T_n(y)\end{aligned}\tag{1.7}$$

Bu denklemde, $T_n(x)$ birinci türden n 'inci degeden Chebyshev polinomu olup, $x = \dot{\gamma}/\gamma_0$ ve $y = \dot{\gamma}/\dot{\gamma}_0$ ortogonalite için uygun $[-1, +1]$ alanları sağlamaktadır. Her derecedeki fonksiyonlar ortonormaldir ve bu nedenle e_n , v_n , katsayıları birbirinden bağımsız olmaktadır. $e_n(\omega, \gamma_0)$ elastik Chebyshev katsayısı ve $v_n(\omega, \gamma_0)$, viskoz Chebyshev katsayısı olarak adlandırılmaktadır (Ewoldt ve diğ, 2008; Yazar ve diğ., 2015).

Doğrusal rejimde ($e_3/e_1 \ll 1$ ve $v_3/v_1 \ll 1$) denklem 1.7, $e_1 \rightarrow G'$ ve $v_1 \rightarrow \eta' = G''/\omega$ olacak şekilde doğrusal viskoelastik sonuçları sağlamaktadır. Ewoldt ve diğ. (2008) yaptıkları çalışmada doğrusallıktan herhangi bir sapma, yani $n = 3$ harmoniği aşağıdaki gibi yorumlamışlardır. Üçüncü dereceden polinomun ($T_3(x) = 4x^3 - 3x$) pozitif bir katkısı, maksimum boyutsuz gerinimde ($x \rightarrow 1$), tek başına birinci dereceden katkı ile temsil edilenden daha yüksek bir elastik stres ile sonuçlanmaktadır. Bu nedenle, $e_3 > 0$ elastik gerilimin döngü içi gerinim sertleşmesine karşılık gelirken, $e_3 < 0$ gerinim yumuşatmasını göstermektedir. Benzer şekilde, v_3 için pozitif bir değer, viskoz gerilimin döngü içi kayma kalınlaşmasını temsil ederken, $v_3 < 0$ kayma incelmesini tanımlamaktadır.

Chebyshev polinomlarının kullanılması, e_n ve v_n katsayılarının (Denklem 1.7) Fourier katsayıları denkleminden (Denklem 1.5) hesaplanmasına izin vermektedir. $\sin \theta = \cos(\pi/2 - \theta)$ ile birlikte $T_n(\cos \theta) = \cos(n\theta)$ eşitlikleri kullanılarak n :tek için $T_n(\sin \theta) = \sin(n\theta) (-1)^{(n-1)/2}$ elde edilmektedir. Gerinim veya gerinim hızı alanındaki Chebyshev katsayıları ile zaman alanındaki Fourier katsayıları arasındaki ilişkiler bu nedenle şöyle verilmektedir (Ewoldt ve diğ, 2008):

$$\begin{aligned}e_n &= G'_n (-1)^{(n-1)/2} \quad n: \text{tek} \\ v_n &= \frac{G''_n}{\omega} = \eta'_n \quad n: \text{tek}\end{aligned}\tag{1.8}$$

Doğrusallıktan sapmaları yorumlamak ve malzemenin yerel doğrusal olmayan viskoelastik davranışını değerlendirmek için yalnızca üçüncü dereceden Chebyshev

katsayılarının (e_3 ve v_3) işaretlerine ihtiyaç bulunmaktadır. (Ewoldt ve diğ., 2008; Duvarcı ve diğ., 2017).

Reimers ve Dealy (1996), Fourier dönüşümü reolojisinden elde edilen sonuçları genlik ve faz cinsinden rapor etmişlerdir ve çalışmalarında denklem 1.5 aşağıdaki formu almıştır:

$$\sigma = \gamma_0 \sum_{n \text{ tek}} |G_n^*| \sin(n\omega t + \delta_n) \quad (1.9)$$

$|G_n^*| = \sqrt{G_n' + G_n''}$, ölçeklendirilmiş gerilim büyüklüğü ve δ_n , giriş gerinim sinyaline ($\gamma(t) = \gamma_0 \sin \omega t$) göre fazı göstermektedir. Değişken δ_n değeri, yüksek harmonik katkıların başlangıç koşullarını belirlemek için yorumlanabilmektedir. Örneğin $\omega t = 0$ da üçüncü harmonik katkısı $|G_3^*| \sin \delta_3$ olmaktadır ve daha sonra $\omega t > 0$ için $3\omega_1$ frekansı ile salınım göstermektedir. δ_3 parametresi, üçüncü harmonik katkının başlangıç değerini belirlemektedir ve $0 \leq \delta_3 \leq 2\pi$ aralığındadır (Ewoldt ve diğ., 2008).

Ewoldt ve diğ. (2008) döngü içi sertleşme/yumuşama ve kalınlaşma/incelme yorumunu aşağıda verilen şekilde altı temel kategoride özetlemişlerdir:

$$e_3 = -|G_3^*| \cos \delta_3 \begin{cases} > 0, & \pi/2 < \delta_3 < 3\pi/2 \\ = 0, & \delta_3 = \pi/2, 3\pi/2 \\ < 0, & -\pi/2 < \delta_3 < \pi/2 \end{cases} \begin{matrix} \text{gerinim sertleşmesi} \\ \text{doğrusal elastik} \\ \text{gerinim yumuşaması} \end{matrix}$$

$$v_3 = \frac{|G_3^*|}{\omega} \sin \delta_3 \begin{cases} > 0, & 0 < \delta_3 < \pi \\ = 0, & \delta_3 = 0, \pi \\ < 0, & \pi < \delta_3 < 2\pi \end{cases} \begin{matrix} \text{kayma kalınlaşması} \\ \text{doğrusal viskoz} \\ \text{kayma incelmeleri} \end{matrix}$$

Gerilim ve gerinimden ziyade yalnızca tork ve yer değiştirme sinyalleri mevcutsa, üçüncü harmonik tork tepkisinin ölçeklendirilmiş yoğunluğunu (I_3/I_1) rapor etmek mümkündür, burada I_n , n'inci dereceden harmonik tork sinyalinin büyüklüğünü göstermektedir. Ölçeklendirilmiş üçüncü harmonik Chebyshev katsayıları $e_3/e_1 = (I_3/I_1) \cos \delta_3 / \cos \delta_1$ ve $v_3/v_1 = (I_3/I_1) \sin \delta_3 / \sin \delta_1$ olarak hesaplanabilmektedir, e_1 ve v_1 her zaman pozitif olduğu için denklemlerin işaretleri sırasıyla e_3 ve v_3 'e eşdeğer olmaktadır (Ewoldt ve diğ., 2008).

Ewoldt ve diğ. (2008) yaptıkları çalışmada Chebyshev katsayılarının türetilmesiyle doğrusal olmayan viskoelastik modüller olan G_M' ve G_L' değerlerini tahmin etmenin mümkün olduğunu belirtmişlerdir ve Fourier ayrıştırmasını aşağıdaki gibi vermişlerdir:

$$G'_M(\omega, \gamma_0) \equiv \frac{d\sigma}{d\gamma} I_{\gamma=0} = \sum_{n \text{ tek}} n G'_n(\omega, \gamma_0) \approx e_1 - 3e_3 + 5e_5 - 7e_7 + \dots \quad (1.10)$$

$$G'_L(\omega, \gamma_0) \equiv \frac{\sigma}{\gamma} I_{\gamma=\pm\gamma_0} = \sum_{n \text{ tek}} (-1)^{(n-1)/2} G'_n(\omega, \gamma_0) \approx e_1 + e_3 + e_5 + e_7 + \dots$$

$\gamma = 0$ ve $\gamma = \pm\gamma_0$ 'da gerinime göre gerilim cevabının türevinin değerlendirilmesi, sırasıyla (G'_M) minimum gerinim dinamik modülü (tanjant) ve (G'_L) maksimum gerinim dinamik modülü (sekant) olarak tanımlanmaktadır. Bu parametreler, Lissajous-Bowditch döngülerinden, gerinim ve gerinim hızına göre gerilim tepkisinin grafiğini çizerek belirlenmektedir. Doğrusal bölgede $e_3/e_1 \ll 1$ iken $G'_M = G'_L = G'_1 = G'(\omega)$ eşitliği bulunmaktadır. Benzer şekilde, minimum hız dinamik viskozite (η'_M) ve büyük oranlı dinamik viskozite (η'_L), $\dot{\gamma}_0 = 0$ ve $\dot{\gamma}_0 = \pm\dot{\gamma}_0$ 'da gerinim hızına göre gerilim yanıtının türevidir (Ewoldt ve diğ, 2008).

$$\eta'_M \equiv \frac{d\sigma}{d\dot{\gamma}} I_{\dot{\gamma}=0} = \frac{1}{\omega} \sum_{n \text{ tek}} n G''_n (-1)^{(n-1)/2} = v_1 - 3v_3 + \dots, \quad (1.11)$$

$$\eta'_L \equiv \frac{\sigma}{\dot{\gamma}} I_{\dot{\gamma}=\pm\dot{\gamma}_0} = \frac{1}{\omega} \sum_{n \text{ tek}} G''_n = v_1 + v_3 + \dots,$$

burada η'_M , minimum oranlı dinamik viskozite η'_L , büyük oranlı dinamik viskozitedir. Her dinamik viskozite ölçümünde yanıt tek bir harmonik olduğunda dinamik viskozite $\eta' = G''/\omega$ değerine düşmektedir, yani, doğrusal rejimde $\eta'_L = \eta'_M = \eta'_1 = \eta'(\omega)$ eşitliği bulunmaktadır (Ewoldt ve diğ, 2008).

G'_M , G'_L , η'_M , ve η'_L 'nin aralarındaki ilişkinin tamamlayıcı yorumu, gerinim sertleşme (S) ve kayma kalınlaşma (T) oranları olarak tanımlanabilmektedir. G'_L, G'_M 'den büyükse, malzemenin tepkisi gerinim sertleşmesidir ve gerinim sertleşmesi oranı aşağıda verildiği şekilde tanımlanmaktadır (Ewoldt ve diğ, 2008; Duvarcı ve diğ., 2017).

$$S = \frac{G'_L - G'_M}{G'_L} = \frac{4e_3 + \dots}{e_1 + e_3 + \dots} \quad (1.12)$$

G'_M , G'_L , 'den büyükse, malzeme gerinim yumuşası göstermektedir. Sıvı deformasyona direnç gösteriyorsa ve maksimum gerilmede sıfır gerilmeden daha yüksek gerilme tepkisine sahipse, döngü içi gerinim sertleştirme oranı pozitif değerlere sahip olmaktadır. Bu, döngü içi gerilim sertleşmesinin kanıtıdır. Doğrusal bölgede ise S değeri sıfıra eşitken malzeme döngü içi gerinim yumuşaması gösterdiğinde ise negatif değerlere sahip olmaktadır (Ewoldt ve diğ., 2008; Duvarcı ve diğ., 2017).

Benzer şekilde, kayma kalınlaşma oranı aşağıdaki denklemle tanımlanmıştır (Ewoldt ve diğ., 2008):

$$T = \frac{\eta'_L - \eta'_M}{\eta'_L} = \frac{4v_3 + \dots}{v_1 + v_3 + \dots} \quad (1.13)$$

T, döngü içi kayma kalınlaşması ($\eta'_M > \eta'_L$) için sıfırdan büyüktür, doğrusal bölgede sıfıra eşit ve döngü içi kayma incelleme davranışı ($\eta'_M < \eta'_L$) için sıfırdan küçüktür. Önemli ve ayırt edici yapısal döngü içi bilgiler, bu üç parametre seti kullanılarak elde edilebilmektedir (Ewoldt ve diğ., 2008; Duvarcı ve diğ., 2017).

1.2.4.11 Bazı gıdaların doğrusal olmayan viskoelastik özellikleri üzerine yapılan çalışmalar

Bazı gıdaların doğrusal olmayan viskoelastik özelliklerini belirlemek için bir çok çalışma yapılmıştır, örneğin sert buğday hamuru (Turksoy ve diğ., 2020), glutensiz kek hamuru (Özyiğit ve diğ., 2020), konsantre salça süspansiyonu (Duvarcı ve diğ., 2017), ekşi mayalı hamur (Mavis ve diğ., 2019), mayonez (Duvarcı ve diğ., 2017b). Yapılan araştırmalar ve elde edilen sonuçlar Çizelge A.5'de özetlenmiştir.

1.3 Hipotez

Çalışma sonunda tahin, pekmez ve tahin : pekmez (50:50) karışımlarının geleneksel reolojik analizlerle değerlendirilemeyen reolojik özelliklerinin üç farklı sabit frekans değerinde gerinim değeri artırılarak LAOS yöntemiyle değerlendirilmiş olması beklenmektedir.

2. MATERYAL VE METOT

2.1 Materyaller

Tatlı, sıvı üzüm pekmezi ve tahin İstanbul'da yerel bir marketten temin edilmiştir. Karışımlar, tahine %50 (w/w) konsantrasyon verecek şekilde pekmez ilave edilerek hassas terazilerde tartılıp bir spatula ile manuel olarak eşit şekilde 5 dakika boyunca karıştırılarak hazırlanmıştır. Karışımlar doğrudan analize tabi tutulmuştur. Numuneler kullanılmadan önce oda sıcaklığında depolanmıştır.

2.2 Reolojik Ölçümler

Pekmez, tahin ve tahin : pekmez karışımı (50:50) numunelerinin doğrusal olmayan reolojik özelliklerinin incelenmesi amacıyla HAAKE RS1 (RheoStress RS1) (Thermo Fisher Scientific Inc., Tewksbury, MA 01876, USA) reometresi kullanılarak Yüksek Genlikli Salınımında Kayma (LAOS) analizi gerçekleştirilmiştir. Analizler plakalar arası boşluk 1 mm olacak şekilde 35 mm çaplı paralel plaka kullanılarak yapılmıştır. LAOS analizi 25°C'de, her bir numune için 3 ayrı sabit frekansta (0,5 rad/s, 1 rad/s ve 5 rad/s) ve %0.01- 300 gerinim aralığında 20 farklı gerinim noktası için 3 tekrarlı olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Analiz sonucunda elde edilen Lissajous eğrileri ve Chebysev katsayıları değerlendirilerek numunelerin doğrusal olmayan reolojik davranışları hakkında yorumlama yapılmıştır. Tüm doğrusal olmayan ham veriler Thermo Fisher Scientific™ tarafından sağlanan HAAKE RheoWin 4.88.0002™ yazılımı kullanılarak elde edilmiştir. Tüm doğrusal olmayan LAOS verileri ve Lissajous eğrileri MITlaos yazılımı kullanılarak elde edilmiştir.

Doğrusal viskoelastik bölgelerin belirlenmesi için her üç numune 1 Hz sabit frekansta ve %0,01-20 gerinim aralığında gerinim tarama testine tabi tutulmuştur.



3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1 Doğrusal Olmayan Viskoelastik Bölgelerin Belirlenmesi

Tahin, pekmez ve tahin-pekmez karışımlarının gerinim tarama testine tabi tutulması sonucunda elde edilen elastik ve viskoz modül değerleri Çizelge B.7’de gösterilmektedir. Şekil B.16a’da görüldüğü üzere tahin numunesinin G' değeri çoğu gerinim değerinde ölçülmemiştir ve doğrusal olmama başlangıcı G'' değerine göre değerlendirilmiştir. Tahin numunesinin davranışının yaklaşık %1 gerinim değerinden sonra farklılaştığı dolayısıyla doğrusal olmayan rejime geçiş yaptığı görülmüştür. Şekil B.16b’de pekmez numunesine ait G'' modül davranışının yaklaşık olarak % 0,25 gerinim değerinden sonra doğrusal olmaktan çıktığı ve düşüş göstermeye başladığı dolayısıyla bu gerinim değerinden sonra doğrusal olmayan rejime geçiş yaptığı görülmüştür. Şekil B.16c’de tahin-pekmez karışımının akış davranış grafiğinde yaklaşık %1 gerinim değerinde G'' modül davranışının değiştiği ve doğrusal olmayan rejime girdiği görülmüştür. Çizelge 3.1’de tahin, pekmez ve tahin-pekmez karışımlarının kritik gerinim değerleri verilmiştir.

Çizelge 3.1 : Tahin, pekmez ve tahin-pekmez karışımının kritik gerinim noktaları.

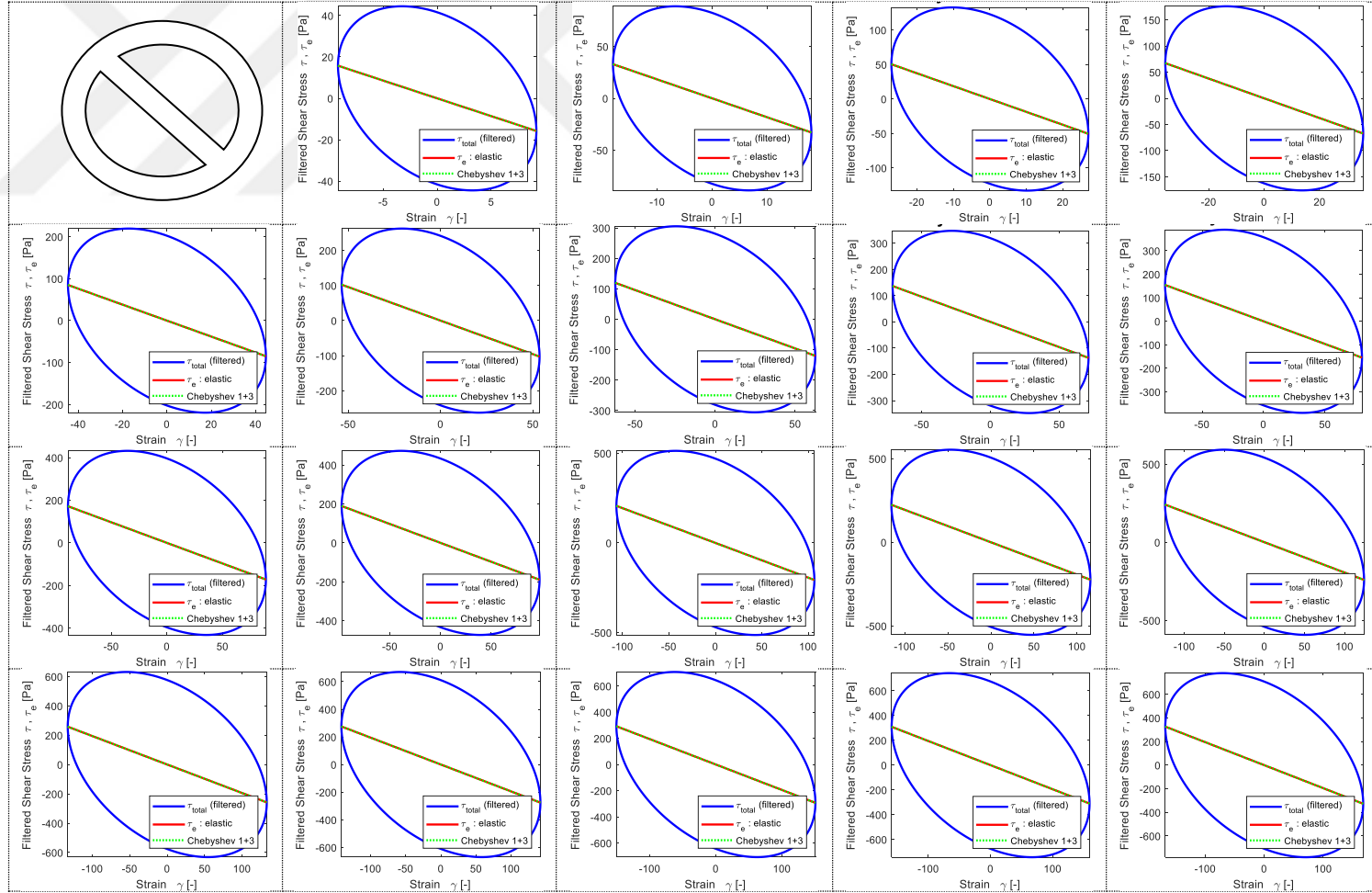
Ürün	Frekans	Kritik Gerinim
Tahin	1 Hz	%1
Pekmez	1 Hz	%0,25
Tahin : Pekmez (50:50)	1 Hz	%1

3.2 Elastik Ve Viskoz Lissajous Figürlerinin Değerlendirilmesi

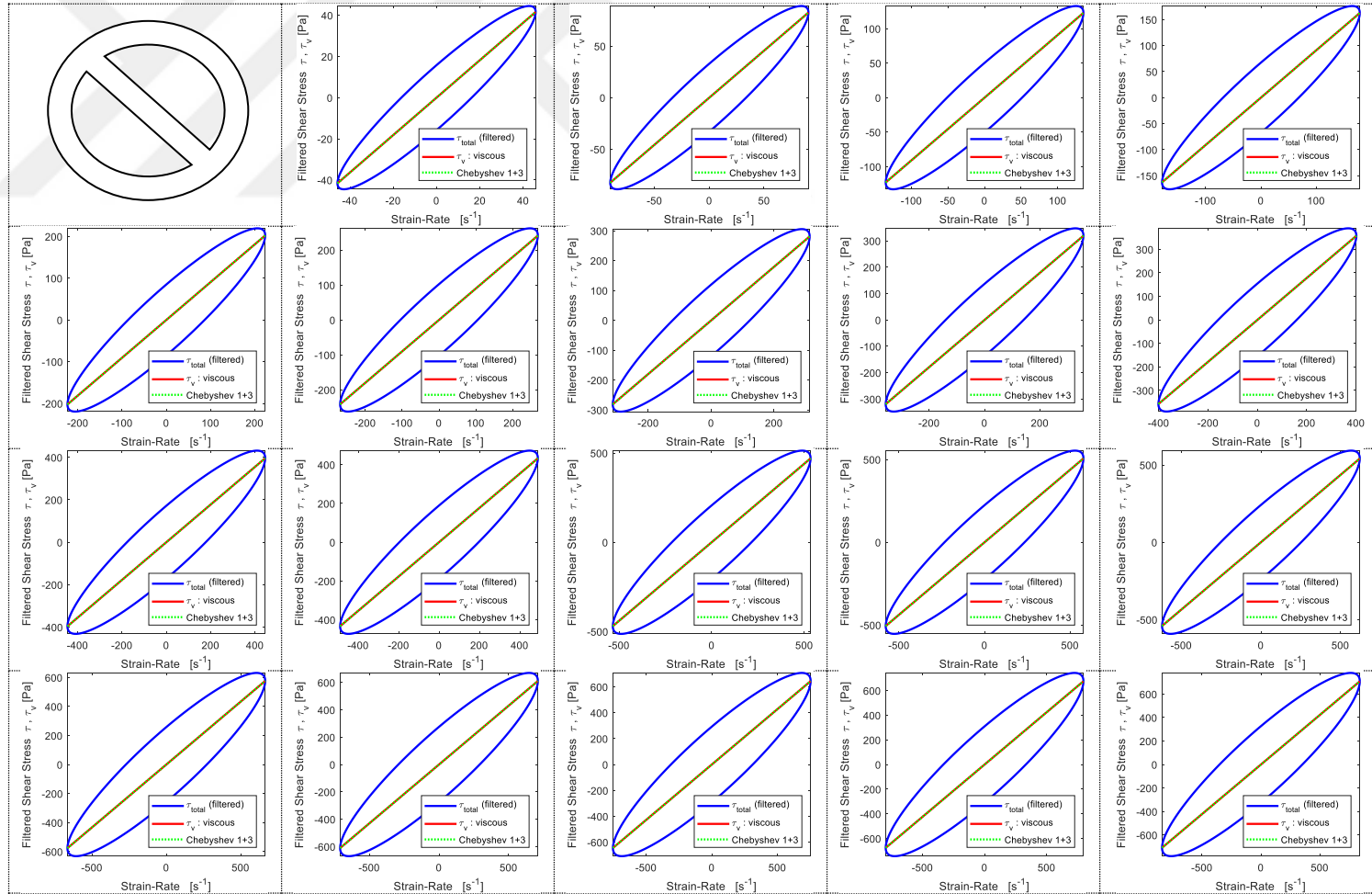
Doğrusal viskoelastik bölge aralığının ötesinde tahin, pekmez ve tahin-pekmez karışımlarının reolojik davranışını gözlemlemek için LAOS ölçümleri yapılmıştır. Numunelerin doğrusal olmayan reolojik davranışı %0,01 ile %300 arasında 20 farklı gerinim değerinde analiz edilmiştir. Ölçümler her numune için 0,5 rad/s, 1 rad/s ve 5 rad/s olmak üzere 3 farklı frekans değerinde gerçekleştirilmiştir. Tahin, pekmez ve tahin-pekmez karışımlarının 5 rad/s frekansta analiz edilmesiyle elde edilen elastik ve

viskoz Lissajous eğrileri Şekil 3.1-3.6’da verilmiştir, 0,5 rad/s ve 1 rad/s frekansta elde edilen elastik ve viskoz Lissajous eğrileri ekler kısmında verilmiştir (Şekil B.1-B.12). Bir döngü içinde harcanan ve depolanan enerji, sabit gerinimdeki gerilim yansımalarının alanı incelenerek ve karşılaştırılarak izlenebilir. Dağıtılan ve depolanan enerji, sırasıyla gerilim-gerinim ve gerilim-gerinim hızı alanlarıyla ilgilidir (Lauger ve Stettin, 2010). Çalışmada analiz edilen tüm numunelerde gerinim değeri %0,01’den %300’e kadar artarken gerilim tepkisi daha büyük olmaya başlamış ve Lissajous eğrilerinde genişleme görülmüştür. Elastik ve viskoz Lissajous eğrilerinin genişlemeye başlaması, yapısal bozulmanın artan enerji girişi tarafından yönlendirildiğini ve elastik davranışın giderek daha viskoz davranışa dönüştüğünü ifade etmektedir (Yazar ve ark, 2017). Elastik Lissajous-Bowditch eğrilerinde elde edilen elips şeklindeki halkalar elastik özelliğin baskın geldiği viskoelastik davranışı temsil ederken, dairesel şeklindeki halkalar viskoz özelliğin baskın geldiği viskoelastik davranışı temsil etmektedir (Ewoldt ve ark., 2008).

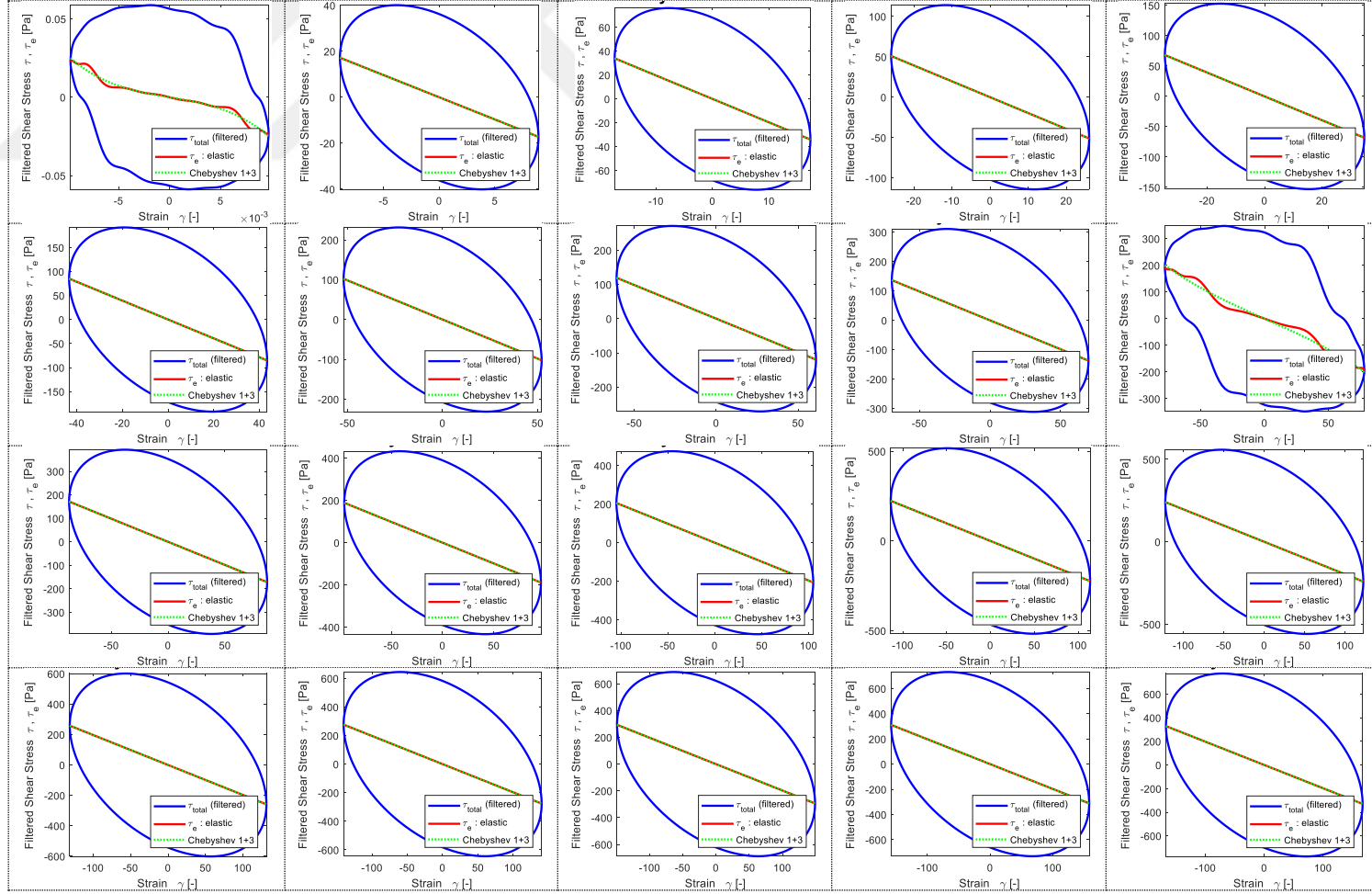
0,5 rad/s’de tahin örneğine (Şekil B.1) ait elastik Lissajous döngüleri, doğrusal olmayan bölgede dairesele yakın elipsler sergileyerek viskoz baskın davranış ortaya koymuştur. Bununla birlikte, tahin örneğinin 1 rad/s de analiz edilmesi sonucu elde edilen (Şekil B.2) elastik Lissajous döngülerinin şekli ve boyutu 0,5 rad/s de elde edilen döngülerin şekil ve boyutuyla benzerlik göstermekte nispeten küçük bir farkla daha eliptik bir şekil vermektedir, 5 rad/s frekansta analiz edilen numuneye ait döngüler (Şekil 3.1) ise belirgin farklılıkla daha eliptik hale gelmektedir ve bu değişiklik numunenin 5 rad/s frekansta daha elastik baskın davranış gösterdiğini ortaya koymaktadır. Yine 0,5 rad/s, 1 rad/s ve 5 rad/s frekansta analiz edilen pekmez örneğine ait elastik Lissajous döngülerinde aynı frekanslarda analiz edilen tahin örneğine ait elastik izdüşümler benzerlik göstermiştir. Pekmez örneğinin 0,5 rad/s frekansta analiz edilmesi sonucu elde edilen (Şekil B.5) elastik döngülerler doğrusal olmayan bölgede viskoz baskın davranış ortaya koyan dairesele yakın elipsler göstermiştir. Pekmez örneğinin 1 rad/s de analiz edilmesi sonucu elde edilen (Şekil B.6) elastik Lissajous döngülerinin şekli ve boyutu 0,5 rad/s de elde edilen döngülerin şekil ve boyutuyla benzerlik göstermekte nispeten küçük bir farkla daha eliptik bir şekil vermektedir, 5 rad/s frekansta analiz edilen (Şekil 3.3) numuneye ait döngüler belirgin şekilde daha eliptik hale gelmektedir ve bu değişiklik numunenin 5 rad/s frekansta nispeten elastik baskın davranış gösterdiğini ortaya koymaktadır.



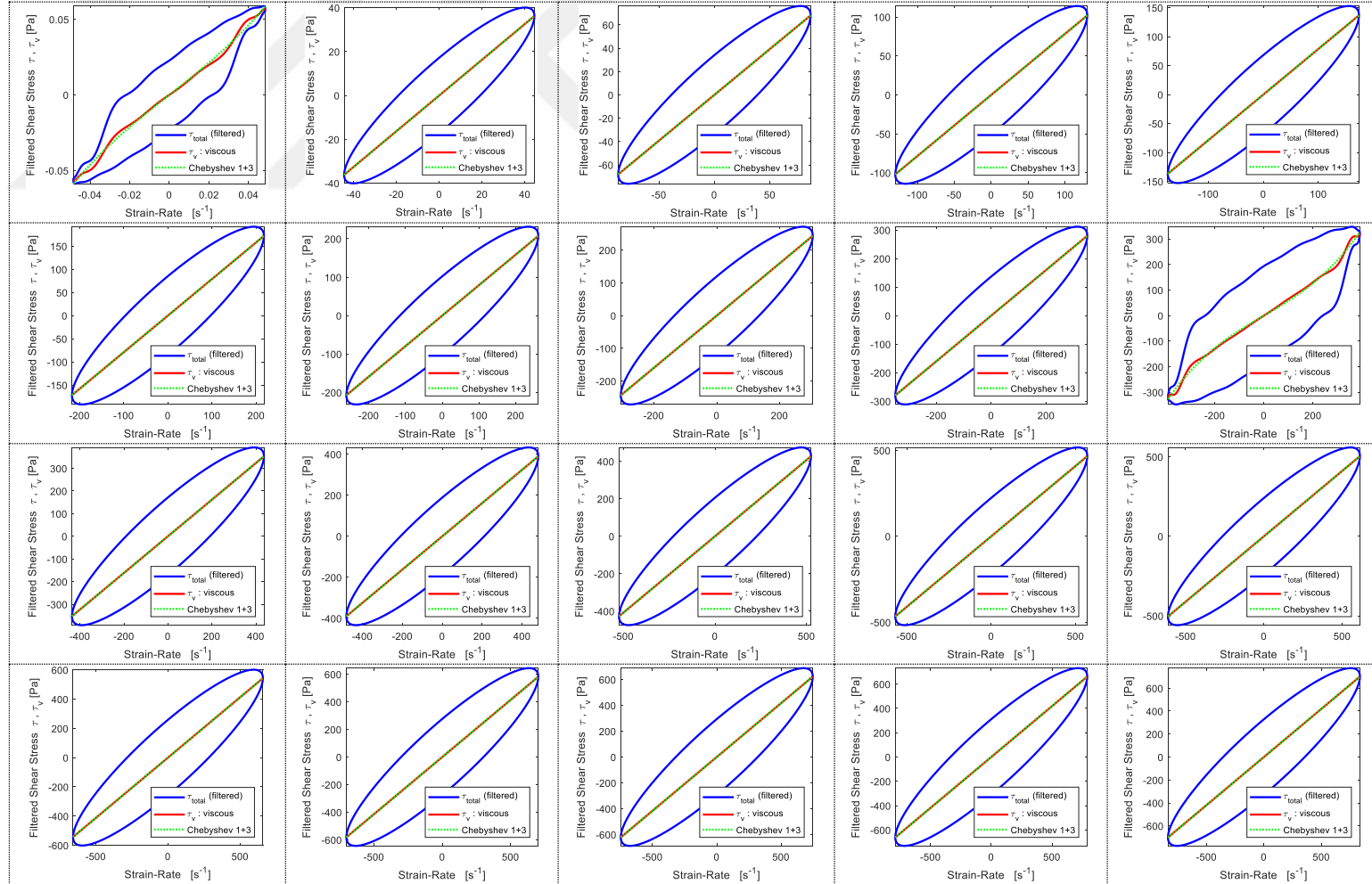
Şekil 3.1 : Tahin numunesinin %0,01 ile %300 gerinim aralığında ve 5 rad/s frekansta analiz edilmesiyle elde edilen elastik Lissajous-Bowditch eürileri.



Şekil 3.2 : Tahin numunesinin %0,01 ile %300 gerinim aralığında ve 5 rad/s frekansta analiz edilmesiyle elde edilen viskoz Lissajous-Bowditch eğrileri.



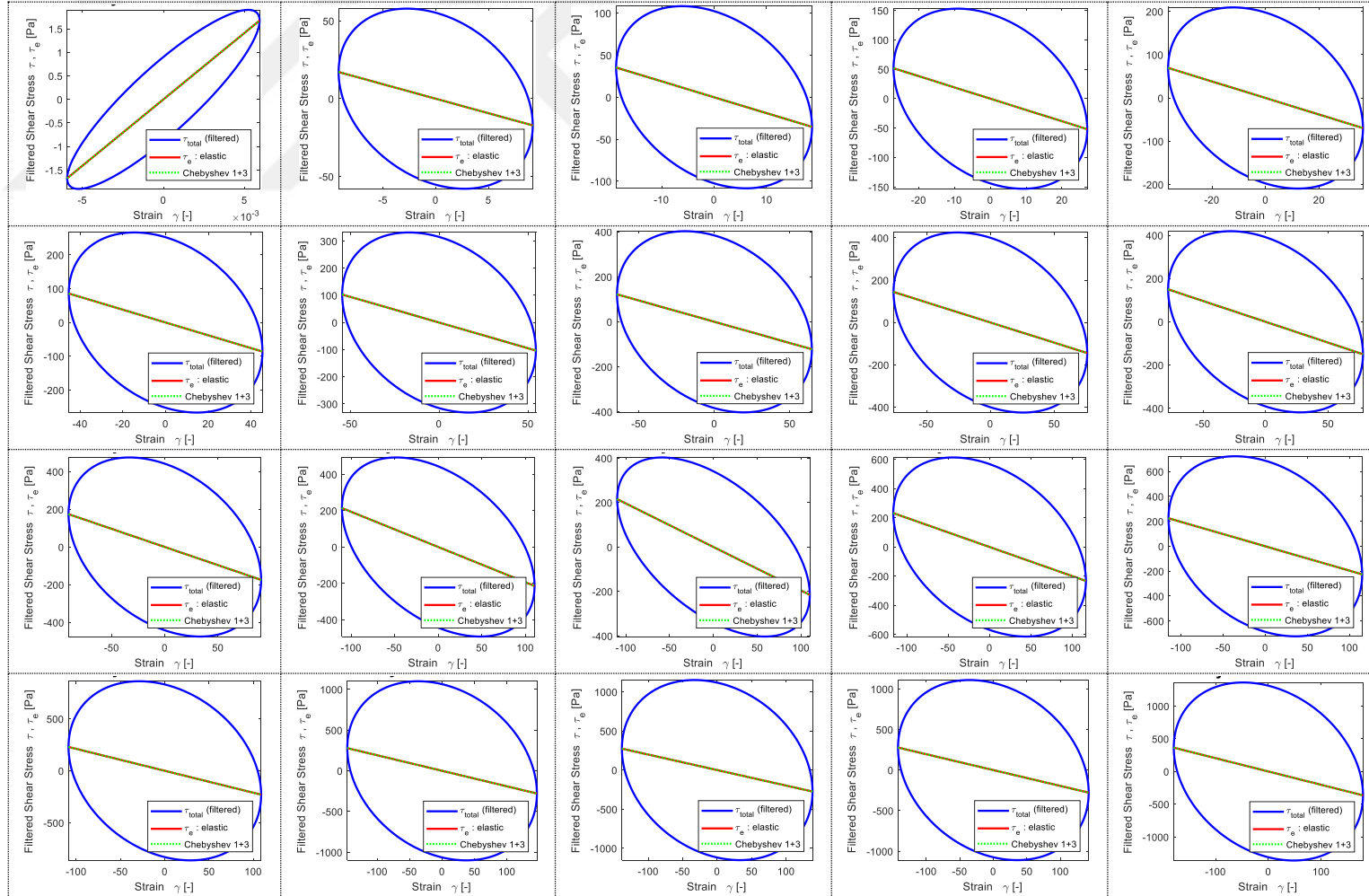
Şekil 3.3 : Pekmez numunesinin %0,01 ile %300 gerinim aralığında ve 5 rad/s frekansta analiz edilmesiyle elde edilen elastik Lissajous-Bowditch eğrileri.



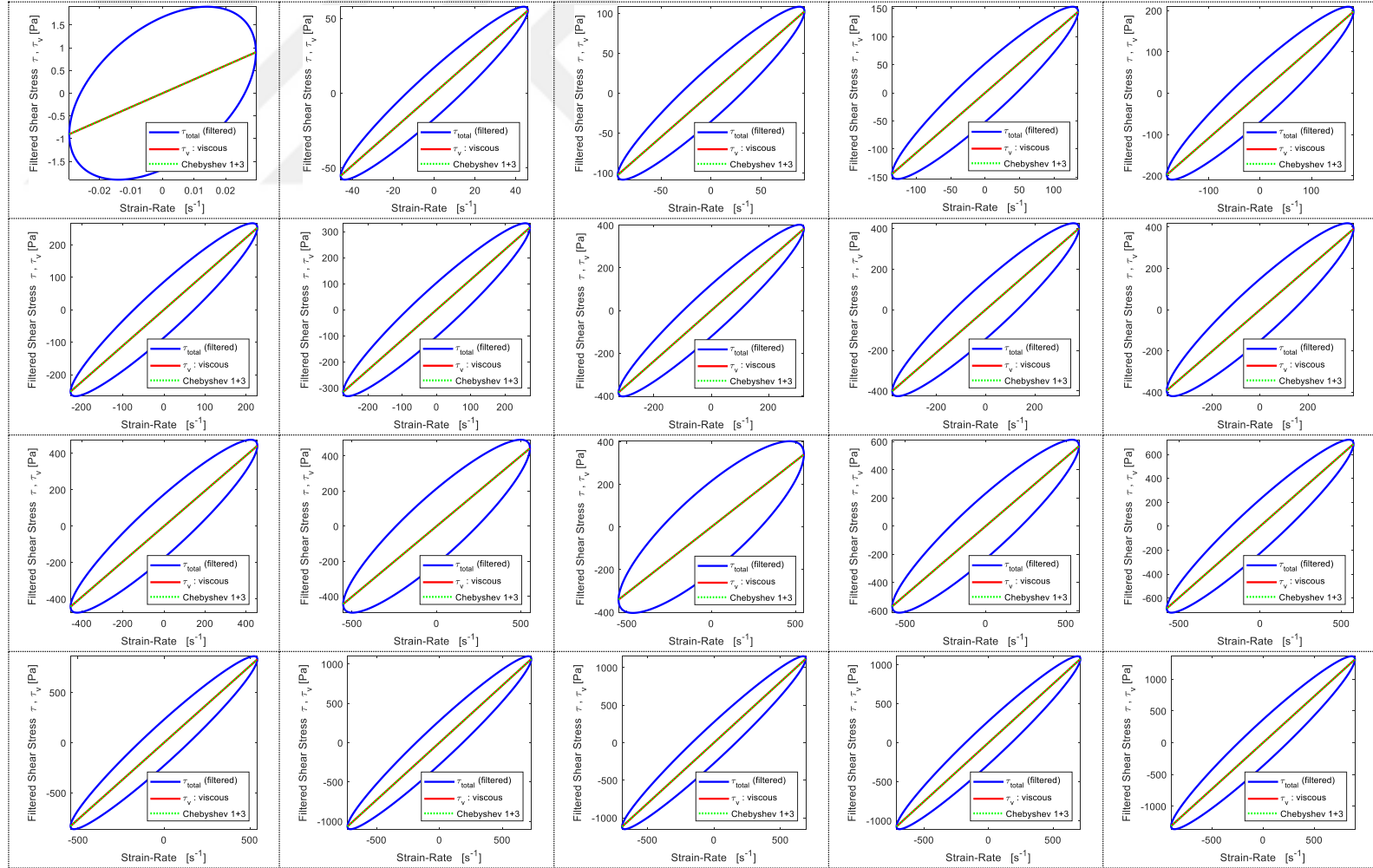
Şekil 3.4 : Pekmez numunelerinin %0,01 ile %300 gerinim aralığında ve 5 rad/s frekansta analiz edilmesiyle elde edilen viskoz Lissajous-Bowditch eğrileri.

0,5 rad/s'de tahin : pekmez (50:50) içeren karışım örneğine (Şekil B.9) ait elastik Lissajous döngüleri, doğrusal olmayan bölgede dairesele yakın elipsler sergileyerek viskoz baskın davranış ortaya koymuştur, elde edilen sonuç 0,5 rad/s frekansta analiz edilen tahin ve pekmez numunelerinin sonuçlarıyla benzerlik göstermektedir. Bununla birlikte, tahin : pekmez (50:50) karışımının 1 rad/s de analiz edilmesi sonucu elde edilen (Şekil B.10) elastik Lissajous döngülerinin şekil ve boyutu 0,5 rad/s de elde edilen döngülerin şekil ve boyutuyla kıyaslandığında döngülerin şeklinin saat yönünün tersine dönüş gösterdiği görülmüştür ve dolayısıyla karışımın 1 rad/s frekansta gerinim katılaşması gösterdiği sonucuna varılmıştır, aynı zamanda 1 rad/s frekansta elde edilen elastik Lissajous döngülerinin şeklinin 0,5 rad/s frekansta elde edilen döngülere göre daha eliptik yansımalar vermiştir ve numunenin bu frekansta nispeten katı baskın davranış gösterdiği sonucuna varılmıştır. 5 rad/s frekansta analiz edilen tahin pekmez karışımına ait döngülerin (Şekil 3.5) de yine 0,5 rad/s ve 1 rad/s frekansta elde edilen döngülere göre bariz farklılıkla saat yönünün tersine dönüş gösterdiği ve daire şekillerinin belirgin şekilde daha eliptik hale geldi görülmektedir ve bu değişiklik numunenin 5 rad/s frekansta daha elastik baskın davranış gösterdiğini ortaya koymuştur. Tüm numunelerde (tahin, pekmez, tahin-pekmaz karışımı) elastik Lissajous döngüleri artan gerinim miktarıyla birlikte yüksek deformasyondan etkilenecek daha geniş döngüler vermiş döngüler arası elastik davranıştan viskoz davranışa dönüş göstermiştir, artan frekans ise gerilim-gerinim döngülerinde daha eliptik şekillere sebep olmuş, numunelere daha elastik benzeri yapı kazandırmıştır. Diğer bir deyişle numunelerin uygulanan gerinim değerinin artmasıyla birlikte gerilim-gerinim döngülerinin dar şekli genişlerken uygulanan frekans miktarının artmasıyla birlikte döngülerin dairesele yakın şekli eliptiğe doğru dönmüştür (Şekil B.1, B.2, 3.1, B.5, B.6, 3.3, B.9, B.10, 3.5). Numuneler artan gerinim miktarıyla birlikte viskoz benzeri yapı kazanırken artan frekansla birlikte elastik benzeri yapı kazanmıştır.

Gerilim-Gerinim hızı döngüleri ile temsil edilen viskoz izdüşümler, tüm numunelerin (sırasıyla Şekil B.3, B.4, 3.2, B.7, B.8, 3.4, B.11, B.12, 3.6) uygulanan gerinim miktarı arttıkça daha geniş Lissajous eğrileri sergileyerek daha büyük gerilim tepkisi gösterdiğini ve uygulanan frekans arttıkça daha dairesel şekil sergilediğini doğrulayarak, elastik izdüşümleri kanıtlamıştır.



Şekil 3.5 : Tahin : pekmez (50:50) karışımının %0,01 ile %300 gerinim aralığında ve 5 rad/s frekansta analiz edilmesiyle elde edilen elastik Lissajous-Bowditch eğrileri.



Şekil 3.6 : Tahin : pekmez (50:50) karışımının %0,01 ile %300 gerinim aralığında ve 5 rad/s frekansta analiz edilmesiyle elde edilen viskoz Lissajous-Bowditch eğrileri.

3.3 LAOS Parametrelerinin Değerlendirilmesi

Şekil B.13'da tahin, pekmez ve tahin-pekmez karışımlarına ait doğrusal olmayan elastik göstergeler (e_3/e_1 ve S) gerinim ve frekansa bağlı olarak gösterilmiştir. Tahin örneği 0,5 rad/s frekansta %0,01-300 gerinime maruz kaldığında yaklaşık %15,73 ile %47,4 gerinim değeri arasında $e_3/e_1 >0$ ve $S>0$ değerleri ile gerinim sertleşmesi davranışı gösterirken %0,009668 gerinim değerinde ve %63,29 gerinim değerinden sonraki gerinim değerlerinde $e_3/e_1 <0$ ve $S<0$ değerleri ile gerinim yumuşaması davranışı göstermiştir. Maksimum S değeri %15,73 gerinim değerinde 0,03 olarak elde edilmiştir ve Çizelge B.1'de de görüldüğü üzere e_3/e_1 ve S değerleri yaklaşık olarak sıfıra eşit seyrederek doğrusal elastik davranışa yakın davranış göstermiştir. Tahin örneği 1 rad/s frekansta ve 5 rad/s frekansta %0,01-300 gerinim genliğine maruz kaldığında e_3/e_1 ve S değerleri nerdeyse tüm gerinim değerlerinde sıfıra çok yakın pozitif değerler verirken zaman zaman birkaç gerinim değerinde sıfıra çok yakın negatif değerler göstermiştir. 1 rad/s frekansta maksimum S değeri %47,28 gerinim değerinde 0,007 olarak elde edilmiştir. 5 rad/s frekansta maksimum S değeri %94,68 gerinim değerinde 0,0000012 olarak elde edilmiştir. Çizelge B.1'de de görüldüğü üzere e_3/e_1 ve S değerleri 1 rad/s ve 5 rad/s frekanslarda yaklaşık olarak sıfıra eşit seyrederek doğrusal elastik davranışa yakın davranış göstermiştir. Tahin numunesi tüm frekans değerinde S ve e_3/e_1 değerleri birbirini destekleyecek şekilde sonuçlar vermiştir ve elde edilen sonuçlar elastik Lissajous-Bowditch grafikleri ile uyumluluk göstermektedir.

Pekmez örneği 0,5 rad/s frekansta %0,01-300 gerinim genliğine maruz kaldığında yaklaşık %15,72 ile 157,6 gerinim değeri arasında $e_3/e_1 <0$ ve $S<0$ değerleri ile gerinim yumuşaması davranışı gösterirken %173,3 ile 219,5 gerinim değeri arasında $e_3/e_1 >0$ ve $S>0$ değerleri ile gerinim sertleşmesi davranışı göstermiştir ve %236,8 gerinim değerinden sonra tekrar $e_3/e_1 <0$ ve $S<0$ değerleri ile gerinim yumuşaması davranışı göstermiştir. Maksimum S değeri %219,5 gerinim değerinde 0,00474 olarak elde edilmiştir ve Çizelge B.2'de de görüldüğü üzere e_3/e_1 ve S değerleri yaklaşık olarak sıfıra eşit seyrederek doğrusal elastik davranışa yakın davranış göstermiştir. Pekmez örneği 1 rad/s frekansta %0,01-300 gerinim genliğine maruz kaldığında yaklaşık %9,931 ile %144 gerinim değerine arasında $e_3/e_1 <0$ ve $S<0$ değerleri ile gerinim yumuşaması davranışı gösterirken %184,4 ile %224,4 gerinim değeri arasında $e_3/e_1 >0$ ve $S>0$ değerleri ile gerinim sertleşmesi davranışı göstermiş, ardında %240

ile %294 gerinim değeri arasında $e_3/e_1 < 0$ ve $S < 0$ değerleri ile gerinim yumuşaması davranışı göstermiştir. Ancak elde edilen değerler Çizelge B.2’de de görüldüğü üzere sıfıra çok yakın seyretmiştir. Pekmez örneği 5 rad/s frekansta %0,01-300 gerinim genliğine maruz kaldığında yaklaşık %0,009666 ile %32,09 gerinim değeri arasında $e_3/e_1 > 0$ ve $S > 0$ değerleri ile gerinim sertleşmesi davranışı gösterirken %46,85 gerinim değeriyle %308,8 gerinim değeri arasında e_3/e_1 ve S değerleri zaman zaman sıfırdan küçük ve büyük değerler gösterse de Çizelge B.2’de de görüldüğü üzere sıfıra çok yakın değerler sergilemişlerdir. 1 rad/s frekansta maksimum S değeri %204,3 gerinim değerinde 0,00002 olarak elde edilmiştir. 5 rad/s frekansta maksimum S değeri %135,9 gerinim değerinde 0,32561 olarak elde edilmiştir ve Çizelge B.2’de görüldüğü üzere tüm frekanslarda e_3/e_1 ve S değerleri birbirini destekleyecek şekilde sonuçlar vermiştir yaklaşık olarak sıfıra eşit seyrederek doğrusal elastik davranışa yakın davranış göstermiştir. Elde edilen sonuçlar elastik Lissajous-Bowditch grafikleri ile uyumluluk göstermektedir.

Tahin : pekmez (50:50) karışımı 0,5 rad/s frekansta %0,01-300 gerinim genliğine maruz kaldığında %5,365 ile %70,22 gerinim değeri arasında Çizelge B.3’de de görüldüğü üzere e_3/e_1 ve S değerleri hem sıfırın altına hem sıfırın üstünde değer vermiş ancak yaklaşık olarak sıfıra eşit seyrederek doğrusal elastik davranışa yakın davranış göstermiştir. %144 ile %205,1 gerinim değeri arasında sıfıra yakın e_3/e_1 ve $S < 0$ değerleri ile gerinim yumuşaması davranışı gösterirken daha yüksek gerinim değerlerinde sıfıra çok yakın seyretmiştir ve doğrusal elastik davranışa yakın davranış göstermiştir. Maksimum S değeri %0,01018 gerinim değerinde 0,7332 olarak elde edilmiştir ve Çizelge B.3’de de görüldüğü üzere diğer tüm gerinim değerlerinde e_3/e_1 ve S değerleri yaklaşık olarak sıfıra eşit seyrederek doğrusal elastik davranışa yakın davranış göstermiştir. Tahin : pekmez (50:50) karışımı 1 rad/s frekansta %0,01-300 gerinim genliğine maruz kaldığında %28,02 gerinim değerine maksimum S değeri 0,97 olarak elde edilmiştir ve diğer tüm gerinim değerlerinde e_3/e_1 ve değerleri zaman zaman sıfırdan küçük ve büyük değerler gösterse de Çizelge B.3’de de görüldüğü üzere sıfıra çok yakın değerler sergilemişlerdir ve doğrusal elastik davranışa yakın davranış göstermiştir. 5 rad/s frekansta maksimum S değeri %78,15 gerinim değerinde 0,000003 olarak elde edilmiştir ve diğer tüm gerinim değerlerinde e_3/e_1 ve değerleri zaman zaman sıfırdan küçük ve büyük değerler gösterse de Çizelge B.3’de de görüldüğü üzere sıfıra çok yakın değerler sergilemişlerdir ve doğrusal elastik davranışa yakın davranış göstermiştir. Çizelge B.3’de görüldüğü üzere tüm

frekanslarda e_3/e_1 ve S değerleri birbirini destekleyecek şekilde sonuçlar vermiştir yaklaşık olarak sıfıra eşit seyrederek doğrusal elastik davranışa yakın davranış göstermiştir. Elde edilen sonuçlar elastik Lissajous-Bowditch grafikleri ile uyumluluk göstermektedir.

Şekil B.14'de tahin, pekmez ve tahin-pekmez karışımlarına ait doğrusal olmayan viskoz göstergeler (v_3/v_1 ve T) gerinim ve frekansa bağlı olarak gösterilmiştir. Tahin örneği 0,5 rad/s frekansta %0,01-300 gerinim genliğine maruz kaldığında %0,009668 gerinim değerinde $v_3/v_1 > 0$ ve $T > 0$ değeriyle kayma kalınlaşması davranışı gösterirken daha ileri gerinim değerlerinde zaman zaman sıfırdan küçük çoğunlukla sıfıra eşit değerler göstererek doğrusal viskoz özellik sergilemiştir. Minimum T değeri %141,9 gerinim değerinde -0,00386 olarak elde edilmiştir ve Çizelge B.1'de görüldüğü üzere v_3/v_1 ve T değerleri yaklaşık olarak sıfıra eşit seyrederek doğrusal viskoz davranışa yakın davranış göstermişlerdir. Tahin örneği 1 rad/s ve 5 rad/s frekansta %0,01-300 gerinim genliğine maruz kaldığında v_3/v_1 ve T değerleri nerdeyse tüm gerinim değerlerinde sıfıra çok yakın pozitif değerler verirken zaman zaman birkaç gerinim değerinde sıfıra çok yakın negatif değerler göstermiştir. 1 rad/s frekanstaki minimum T değeri %94,61 gerinim değerinde -0,0000005 olarak 5 rad/s frekansta minimum T değeri %47,51 gerinim değerinde -0,0000007 olarak elde edilmiştir. Çizelge B.1'de de görüldüğü üzere v_3/v_1 ve T değerleri yaklaşık olarak sıfıra eşit seyrederek doğrusal viskoz davranışa yakın davranış göstermişlerdir. Tahin numunesi analiz edilen tüm frekans değerinde T ve v_3/v_1 değerleri birbirini destekleyecek şekilde sonuçlar vermiştir. Elde edilen sonuçlar viskoz Lissajous-Bowditch grafikleri ile uyumluluk göstermiştir.

Pekmez örneği 0,5 rad/s frekansta %0,01-300 gerinim genliğine maruz kaldığında %15,72 ile %78,8 gerinim değerinde $v_3/v_1 > 0$ ve $T > 0$ değeriyle kayma kalınlaşması davranışı gösterirken daha ileri gerinim değerlerinde yaklaşık olarak sıfıra yakın değerler göstererek doğrusal viskoz özellik sergilemiştir. Minimum T değeri %125,5 gerinim değerinde -0,0029162 olarak elde edilmiştir ve Çizelge B.2'de görüldüğü üzere v_3/v_1 ve T değerleri yaklaşık olarak sıfıra eşit seyrederek doğrusal viskoz davranışa yakın davranış göstermişlerdir. Pekmez örneği 1 rad/s frekansta %0,01-300 gerinim genliğine maruz kaldığında tüm gerinim değerlerinde yaklaşık olarak $v_3/v_1 > 0$ ve $T > 0$ değeriyle kayma kalınlaşması davranışı göstermiştir. Minimum T değeri %204,3 gerinim değerinde -0,0000004 olarak elde edilmiştir ve Çizelge B.2'de

görüldüğü üzere v_3/v_1 ve T değerleri yaklaşık olarak sıfıra eşit seyrederek doğrusal viskoz davranışa yakın davranış göstermişlerdir. Pekmez örneği 5 rad/s frekansta %0,01-300 gerinim genliğine maruz kaldığında % 0,009666 ve %135,9 gerinim değerinde $v_3/v_1 > 0$ ve $T > 0$ değeriyle kayma kalınlaşması davranışı gösterirken daha ileri gerinim değerlerinde yaklaşık olarak sıfıra yakın değerler göstererek doğrusal viskoz özellik sergilemiştir. Minumum T değeri %198,6 gerinim değerinde -0,00000044 olarak elde edilmiştir ve Çizelge B.2’de görüldüğü üzere v_3/v_1 ve T değerleri yaklaşık olarak sıfıra eşit seyrederek doğrusal viskoz davranışa yakın davranış göstermişlerdir. Pekmez numunesi analiz edilen tüm frekans değerinde T ve v_3/v_1 değerleri birbirini destekleyecek şekilde sonuçlar vermiştir Elde edilen sonuçlar viskoz Lissajous-Bowditch grafikleri ile uyumluluk göstermiştir.

Tahin: pekmez (50:50) karışımı 0,5 rad/s frekansta %0,01-300 gerinim genliğine maruz kaldığında %5,365 gerinim değerinde $v_3/v_1 > 0$ ve $T > 0$ değeriyle kayma kalınlaşması davranışı gösterirken daha ileri gerinim değerlerinde v_3/v_1 ve T değeri Çizelge B.3’de de görüldüğü üzere sıfıra çok yakın değerlerde seyrederek doğrusal viskoza yakın davranış göstermişlerdir. Minumum T değeri %46,62 gerinim değerinde -0,0003687 olarak elde edilmiştir ve Çizelge B.3’de görüldüğü üzere v_3/v_1 ve T değerleri yaklaşık olarak sıfıra eşit seyrederek doğrusal viskoz davranışa yakın davranış göstermişlerdir. Tahin: pekmez (50:50) karışımı 1 rad/s frekansta ve 5 rad/s frekansta %0,01-300 gerinim genliğine maruz kaldığında tüm gerinim değerlerinde yaklaşık olarak $v_3/v_1 < 0$ ve $T < 0$ değeriyle kayma incelmeleri davranışı göstermiştir. 1 rad/s frekansta minumum T değeri %184,4 gerinim değerinde -0,77890290, 5 rad/s frekansta minumum T değeri %0,009666 gerinim değerinde -0,00000133 olarak elde edilmiştir ve Çizelge B.3’de görüldüğü üzere v_3/v_1 ve T değerleri yaklaşık olarak sıfıra eşit seyrederek doğrusal viskoz davranışa yakın davranış göstermişlerdir. Pekmez numunesi analiz edilen tüm frekans değerinde T ve v_3/v_1 değerleri birbirini destekleyecek şekilde sonuçlar vermiştir Elde edilen sonuçlar viskoz Lissajous-Bowditch grafikleri ile uyumluluk göstermektedir.

Şekil B.15 G'_L ve G'_M değerlerini uygulanan gerinim ve frekansa bağlı değişimlerini göstermektedir. Tahin numunesinin 0,5 rad/s frekansta analiz edildiği çalışma sonucunda elde edilen grafikte (Şekil B.15a) görüldüğü üzere gerinim modülü değerleri %0,009669 gerinim değerinde maksimum değeri vermiş ($G'_L=7,379$ ve $G'_M=7,392$) ardından %31,66 gerinim değerine kadar numunenin gerinim yumuşaması

davranışı gösterdiğini ifade eden hızlı bir düşüş göstermiştir. Bu değerden sonra yavaş bir artış göstererek az miktarda gerinim katılaşması göstermiştir. %63,29 ve %157,5 gerinim değerleri arasında G'_L değeri G'_M değerinden düşük seyretmiştir ($G'_L/G'_M < 1$), numune bu gerinim değerleri arasında döngü içi gerinim yumuşaması göstermiştir. %15,73 ve %47,4 gerinim değerleri arasında G'_L değeri G'_M değerinden yüksek seyretmiştir ($G'_L/G'_M > 1$), bu durumda numune belirtilen gerinim değerleri arasında döngü içi gerinim katılaşması davranışı göstermiştir. G'_M ve G'_L değerleri yaklaşık olarak %173,8 gerinim değerinden sonra eşit değerlerde sonuç vermiştir ($G'_L/G'_M = 1$, $G'_L = G'_M = G'$) ve bu sonuç doğrusal viskoelastik özelliğe yakın davranış özelliğini göstermektedir. Tahin numunesinin 1 rad/s frekansta analiz edildiği çalışma sonucunda elde edilen grafikte (Şekil B.15a) görüldüğü üzere gerinim modülü değerleri kademeli olarak artış göstermiştir ve %268,6 gerinim değerinde maksimum değerini vermiştir ($G'_L = 0,077$ ve $G'_M = 0,077$) ardından bir düşüş göstererek $G'_L = G'_M = 0,076$ değerine ulaşmıştır. Bu davranış analiz süresince numunenin az miktarda gerinim katılaşması davranışı gösterdiğini, ardından az miktarda gerinim yumuşaması davranışı gösterdiğini ifade etmektedir. %47,8 gerinim değerinde G'_L değeri G'_M değerinden yüksek seyretmiştir ($G'_L/G'_M > 1$) ve numune bu gerinim değerinde döngü içi gerinim sertleşmesi davranışı sergilemiştir. %157,8 gerinim değerinde ise G'_L değeri G'_M değerinden düşük seyretmiştir ($G'_L/G'_M < 1$) ve numune bu gerinim değerinde döngü içi gerinim yumuşaması davranışı sergilemiştir. Uygulanan diğer tüm gerinim değerlerinde ise G'_M ve G'_L değerleri eşit değerlerde sonuç vermiştir ($G'_L/G'_M = 1$, $G'_L = G'_M = G'$) ve bu sonuç doğrusal viskoelastik özelliği göstermektedir. Tahin numunesinin 5 rad/s frekansta analiz edildiği çalışma sonucunda elde edilen grafikte (Şekil B.15a) görüldüğü üzere gerinim modülü değerleri kademeli olarak artış göstermiştir ve %300,2 gerinim değerinde maksimum değerini vermiştir ($G'_L = G'_M = G' = 1,949$). Bu davranış analiz süresince numunenin az miktarda gerinim katılaşması davranışı gösterdiğinin ifade etmektedir. Uygulanan tüm gerinim değerlerinde ise G'_M ve G'_L değerleri eşit değerlerde sonuç vermiştir ($G'_L/G'_M = 1$, $G'_L = G'_M = G'$) ve bu sonuç doğrusal viskoelastik özelliği göstermektedir.

Pekmez numunesinin 0,5 rad/s frekansta analiz edildiği çalışma sonucunda elde edilen grafikte (Şekil B.15b) görüldüğü üzere gerinim modülü değerleri %15,72 gerinim değerinde maksimum değeri vermiş ($G'_L = 0,024$ ve $G'_M = 0,024$) ardından numunenin gerinim yumuşaması davranışı gösterdiğini ifade eden yavaş bir düşüş göstermiştir.

Uygulanan tüm gerinim değerlerinde G'_M ve G'_L değerleri yaklaşık olarak eşit değerlerde sonuç vermiştir ($G'_L/G'_M=1$, $G'_L=G'_M=G'$) ve bu sonuç doğrusal viskoelastik özelliği yakın özelliği göstermektedir. Pekmez numunesinin 1 rad/s frekansta analiz edildiği çalışma sonucunda elde edilen grafikte (Şekil B.15b) görüldüğü üzere gerinim modülü değerleri uygulanan tüm gerinim değerlerinde yaklaşık aynı sonuçları vermiştir ($G'_L/G'_M=1$, $G'_L=G'_M=G'$) ve bu sonuç doğrusal viskoelastik özelliği yakın özelliği göstermektedir. Gerinim modülü değerleri %15,8 gerinim değerinde maksimum değeri vermiş ($G'_L=0,089$ ve $G'_M=0,088$) ardından düşük oranda gerinim yumuşaması gösterdiğini ifade eden az miktarda bir düşüş göstermiştir. Pekmez numunesinin 5 rad/s frekansta analiz edildiği çalışma sonucunda elde edilen grafikte (Şekil B.15b) görüldüğü üzere gerinim modülü değerleri %0,009666 gerinim değerinde maksimum değeri vermiş ($G'_L=2,345$ ve $G'_M=1,721$), ardından numunenin gerinim yumuşaması davranışı gösterdiğini ifade eden yavaş bir düşüş göstermiştir. Uygulanan tüm gerinim değerlerinde G'_M ve G'_L değerleri yaklaşık olarak eşit değerlerde sonuç vermiştir ($G'_L/G'_M=1$, $G'_L=G'_M=G'$) ve bu sonuç doğrusal viskoelastik özelliği yakın özelliği göstermektedir.

Tahin : pekmez (50:50) karışımı 0,5 rad/s frekansta analiz edildiği çalışma sonucunda elde edilen grafikte (Şekil B.15c) görüldüğü üzere gerinim modülü değerleri %0,01018 gerinim değerinde maksimum değeri vermiş ($G'_L=254,584$ ve $G'_M=67,925$) ardından %144 gerinim değerine kadar numunenin gerinim yumuşaması davranışı gösterdiğini ifade eden yavaş bir düşüş göstermiştir. %164,1 gerinim değerinden sonra ise numunenin gerinim sertleşmesi davranışı gösterdiğini ifade eden yavaş bir artış göstermiştir. %0,01018 gerinim değerinde $G'_L/G'_M>1$ değeri diğer tüm gerinim değerlerine göre belirgin şekilde yüksek görünmekte olup bu gerinim değerinde numune belirgin şekilde döngü içi gerinim sertleşmesi göstermiştir. Uygulanan diğer tüm gerinim değerlerinde G'_M ve G'_L değerleri yaklaşık olarak eşit değerlerde sonuç vermiştir ($G'_L/G'_M=1$, $G'_L=G'_M=G'$) ve bu sonuç doğrusal viskoelastik özelliği yakın özelliği göstermektedir. Tahin : pekmez (50:50) karışımı 1 rad/s frekansta analiz edildiği çalışma sonucunda elde edilen grafikte (Şekil B.15c) görüldüğü üzere gerinim modülü değerleri %0,009566 gerinim değerinde maksimum değeri vermiş ($G'_L=308,952$ ve $G'_M=308,952$) ardından %9,931 gerinim değerine kadar numunenin gerinim yumuşaması davranışı gösterdiğini ifade eden ani bir düşüş göstermiştir. %28,02 gerinim değerinden sonra ise numunenin gerinim sertleşmesi davranışı

gösterdiğini ifade eden ani bir artış göstermiştir. %28,02 gerinim değerinde $G'_L/G'_M > 1$ değeri diğer tüm gerinim değerlerine göre belirgin şekilde yüksek görünmekte olup bu gerinim değerinde numune belirgin şekilde döngü içi gerinim sertleşmesi göstermiştir. %184,4 gerinim değerinde $G'_L/G'_M < 1$ değeri diğer tüm gerinim değerlerine göre belirgin şekilde düşük görünmekte olup bu gerinim değerinde numune belirgin şekilde döngü için gerinim yumuşaması göstermiştir. Uygulanan diğer tüm gerinim değerlerinde G'_M ve G'_L değerleri yaklaşık olarak eşit değerlerde sonuç vermiştir ($G'_L/G'_M = 1$, $G'_L = G'_M = G'$) ve bu sonuç doğrusal viskoelastik özelliği yakın özelliği göstermektedir. Tahin : pekmez (50:50) karışımı 5 rad/s frekansta analiz edildiği çalışma sonucunda elde edilen grafikte (Şekil B.15c) görüldüğü üzere gerinim modülü değerleri %0,009666 gerinim değerinde maksimum değeri vermiş ($G'_L = 282,376$ ve $G'_M = 282,376$), ardından numunenin gerinim yumuşaması davranışı gösterdiğini ifade eden yavaş bir düşüş göstermiştir. Uygulanan tüm gerinim değerlerinde G'_M ve G'_L değerleri yaklaşık olarak eşit değerlerde sonuç vermiştir ($G'_L/G'_M = 1$, $G'_L = G'_M = G'$) ve bu sonuç doğrusal viskoelastik özelliği göstermektedir.

Tüm tahin, pekmez ve tahin-pekmaz karışım numunelerinde Çizelge B.4, B.5 ve B.6 ve Çizelge B.15a, B.15b ve B.15c'de görüldüğü üzere uygulanan frekans arttıkça elde edilen G'_L ve G'_M değerleri artış göstermiştir, bu durumda tüm numunlerin artan frekansla birlikte elastik özellik kazandığı görülmektedir, elde edilen bulgular elastik Lissajous-bowditch eğrileri, e_3/e_1 ve S değerleri ile uyumluluk göstermektedir.

Literatürde tahin, pekmez ve tahin-pekmaz karışımlarının doğrusal olmayan bölgedeki viskoelastik özelliklerini araştırmak üzere yapılmış çalışma bulunmamaktadır. Turksoy ve diğ. (2020) yaptıkları çalışmada iki farklı sıcaklıkta ve belirli bir zaman diliminde olgunlaştırmanın, sert buğday unu hamurunun doğrusal olmayan reolojik özellikleri üzerindeki etkilerini, LAOS metodunu kullanılarak araştırmışlardır. Çalışma sonuçlarında depolama (G') ve kayıp (G'') modülleri, 25 °C'de olgunlaştırma sırasında hızla azalmıştır. Sert buğday unu hamurunun 25 °C'de giderek daha uzun olgunlaştırma sürelerine tabi tutulması sonucunda doğrusal olmayan viskoelastik özelliklerinde değişiklikler meydana gelmiş, gerinim yumuşaması (e_3/e_1 'in negatif değerleri) ve kesme incilmesi (v_3/v_1 'in negatif değerleri) davranışı gözlemlenmiştir. Özellikle yüksek sıcaklıklarda hamur olgunlaşması ilerledikçe, elastik Lissajous eğrileri saat yönünde dönüş ve daha geniş eliptik yörüngeler göstermiştir. Doğrusal olmayan LAOS parametreleri ($G'_M - G'_L$, $\eta'_M - \eta'_L$, S ve T), yüksek sıcaklıktaki

olgunlaştırma işleminin hamur yapısında gerinim sertleşmesinden gerinim yumuşaması davranışına doğru ilerleyen bir değişime neden olduğunu desteklemiştir. Özyiğit ve diğ. (2022) yaptıkları araştırmada, karabuğday unu yerine portakal lifi ve portakal posası tozu olmak üzere iki farklı diyet lifi kaynağı ile farklı seviyelerde formüle edilmiş glutensiz kek hamurlarının doğrusal olmayan viskoelastik özelliklerini LAOS metodunu kullanarak araştırmışlardır. Araştırma sonucunda tüm glutensiz kek hamuru numuneleri, küçük gerinim genliklerinde doğrusal viskoelastik özellikler sergilemiştir, ancak gerinim genliği arttığında doğrusal olmayan bölgeye girmişlerdir. Lissajous Bowditch eğrileri, diyet lifi miktarının artmasıyla depolanan enerjinin arttığını ve glutensiz kek hamurlarının doğrusal olmayan bölgede daha elastik hale geldiğini ortaya koymuştur. Kek hamurlarına ait normalize edilmiş elastik Chebyshev katsayıları (e_3/e_1) küçük genliklerinde gerinim sertleşmesi davranışı gösterirken doğrusal olmayan bölgede gerinim yumuşaması davranışına kaymıştır. Gerinim genliğinin bir fonksiyonu olarak e_3/e_1 ve v_3/v_1 oranları, doğrusal olmayanlığın elastik bileşende viskoz bileşene kıyasla daha belirgin olduğunu göstermiştir. Mavis ve diğ. (2019) yaptıkları çalışmada, farklı miktarlarda ekşi hamur ile hazırlanan hamurun LAOS analizini gerçekleştirmişler ve doğrusal olmayan reolojik özellikleri incelemişlerdir. İnceleme sonucunda gerinim sertleşmesi ve kesme incelenmesi davranışları, ekşi maya katılmasından önemli ölçüde etkilenmiştir ve hamur, glüten ağının parçalanmasının başlamasından dolayı %100 gerinim civarında bir zirve verdikten sonra, gerinim yumuşaması ve azalan kayma incelenmesi davranışı göstermeye başlamıştır. Elastik ve viskoz özelliklerle ilgili diğer LAOS parametreleri (e_3/e_1 , v_3/v_1 , $G'_M - G'_L$, $\eta'_M - \eta'_L$, S ve T), doğrusal olmayan viskoelastik özelliklerin güçlü gerinim bağımlılığını ortaya çıkarmıştır. Bu parametreler, doğrusal olmayan bölgede ekşi hamur miktarı arttıkça elastik Lissajous eğrileri ile uyumlu olan gerinim yumuşaması davranışını ve viskoz Lissajous eğrileri ile uyumlu kayma incelenmesi davranışını doğrulamıştır. Gerinim arttıkça gerinim yumuşaması davranışını takip eden gerinim sertleştirme davranışı da G'_L ve G'_M değerleri ile doğrulanmıştır. Duvarcı ve diğ. (2017a) yaptıkları çalışmada domates salçasının LAOS davranışını araştırılmış ve Ewoldt-McKinley teorisi kullanılarak doğrusal olmayan reolojik özellik parametrelerini elde etmişlerdir. Çalışma sonucunda domates salçası, gerinim yumuşaması (orta salınım bölgesinde) ve ardından gerinim sertleşmesi (büyük salınım bölgesinde) ile kanıtlanan LAOS'ta geri dönüşü olmayan bir yapısal değişiklik

göstermiştir. Tek modlu Giesekus modeli tarafından simüle edilen doğrusal olmayan akış davranışı, orta derecede gerinim ve frekanslara kadar iyi sonuçlar vermiştir. Duvarcı ve diğ. (2017b) yaptıkları çalışmada, Ewoldt-McKinley LAOS teorisini kullanarak salça, mayonez, yumuşak ve sert hamurların doğrusal olmayan davranışı incelenmiştir. LAOS parametreleri (G'_M , G'_L , $\eta'_M - \eta'_L$, e_3/e_1 , v_3/v_1 , S ve T) bu gıda ürünlerindeki yapısal değişiklikleri anlamak için kullanılmıştır. Çalışma sonucunda domates salçası ve mayonez, orta salınımlı bölgede gerinim yumuşaması (e_3/e_1 'de negatif değerler) ve kayma kalınlaşması (v_3/v_1 'de pozitif değerler) ve ardından büyük salınım bölgesinde gerinim sertleşmesi (e_3/e_1 'de pozitif değerler) ve kayma incelmesi (v_3/v_1 'deki negatif değerler) ile kanıtlanan LAOS'ta geri dönüşü olmayan bir yapısal değişiklik göstermiştir. Buna karşılık, hem yumuşak hem de sert hamur için gerinim sertleşmesi ve kayma incelmesi gözlemlenmiştir (e_3/e_1 'in pozitif değerleri ve v_3/v_1 'in negatif değerleri ile kanıtlanmıştır).

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yapılan çalışmada geleneksel Türk gıdaları olan tahin, pekmez ve bunların karışımının üç farklı frekans değerinde ve doğrusal viskoelastik bölgenin üzerine çıkan gerinim aralığında reolojik davranışları incelenmiştir. Çalışma kapsamında tahin, pekmez ve tahin-pekmez karışımından oluşan üç farklı numunenin doğrusal olmayan reolojik özellikleri LAOS yöntemi kullanılarak araştırılmıştır. Literatürde yapılan çalışmalarda tahin, pekmez ve tahin-pekmez karışımlarının temel ve doğrusal viskoelastik özellikleri üzerine yapılmış değerlendirmeler mevcut olup doğrusal olmayan bölgede viskoelastik özelliklerinin belirlenmesi üzerine yapılmış bir değerlendirmeye rastlanmamıştır.

Tüm numunelerde (tahin, pekmez, tahin-pekmez karışımı) uygulanan gerinim değerinin artmasıyla birlikte gerinim tepkisi daha büyük olmaya başlamıştır. Gerinim değerindeki artışla elastik Lissajous döngülerinin dar şekli genişlemiş, yapısal bozulmanın artan enerji girişi tarafından yönlendirildiğini ve döngüler arası elastik davranışın giderek daha viskoz davranışa dönüştüğünü göstermiştir. Artan frekans ise gerilim-gerinim döngülerinde daha eliptik şekillere sebep olmuş, numunelere daha elastik benzeri yapı kazandırmıştır. Viskoz Lissajous döngüleri, tüm numunelerin uygulanan gerinim miktarı arttıkça daha geniş eğriler sergileyerek daha büyük gerilim tepkisi gösterdiğini ve uygulanan frekans arttıkça daha dairesel şekil sergilediğini doğrulayarak, elastik izdüşümleri kanıtlamıştır. Tüm numunelerde uygulanan frekans arttıkça numunelerin uygulanan gerinime karşı duyarlılığı artmış ve yüksek frekanslarda viskoz izdüşümlerin daha geniş boyut kazandığı ve dar döngülerin genişlediği görülmüştür. 5 rad/s frekansta elde edilen viskoz izdüşümlerde belirgin şekilde daha geniş ve daha eliptik şekiller görülmüştür, bu durum frekans artışıyla akış davranışının nispeten daha elastik baskın yapı kazandığını ortaya çıkarmıştır.

Tahin, pekmez ve tahin-pekmez karışımlarına ait doğrusal olmayan elastik göstergelerin (e_3/e_1 ve S) ve doğrusal olmayan viskoz göstergelerin (v_3/v_1 ve T) gerinim ve frekansa bağlı olarak incelenmesi yapılmıştır. Yapılan inceleme sonucunda, tüm numunelerde uygulanan tüm frekans değerlerinde ve neredeyse tüm gerinim genliği aralığında e_3/e_1 ve S değerleri sıfıra çok yakın pozitif değerler verirken

zaman zaman birkaç gerinim değeriinde sıfıra çok yakın negatif değeriiler göstermiş, numuneler doğrusal elastik davranışa yakın davranış göstermiştir. Tüm numunelerin v_3/v_1 ve T değeriiler yaklaşık olarak sıfıra eşit seyrederek doğrusal viskoz davranışa yakın davranış göstermişlerdir. Analiz edilen tüm frekans değeriinde S ve e_3/e_1 , T ve v_3/v_1 değeriiler birbirini destekleyecek şekilde sonuçlar vermiştir Elde edilen sonuçlar elastik ve viskoz Lissajous-Bowditch grafikleri ile uyumluluk göstermiştir.

Numunelerin doğrusal olmayan reolojik davranışlarının kantitatif olarak değeriendirilmesi için numunelerin gerinim modülleri (G'_L , G'_M ve G'_L/G'_M) değeriendirilmiştir. Gerinim modüller incelendiğinde; tahin, pekmez ve tahin-pekez karışımı numuneleri belirli bir gerinim değeriinde maksimum G'_L ve G'_M değeriini vermiş ardından numunenin gerinim yumuşaması davranış gösterdiğini ifade eden bir düşüş göstermiştir. G'_M ve G'_L değeriiler nerdeyse tüm gerinim değeriilerinde yaklaşık olarak eşit değeriilerde sonuç vermiştir ve bu sonuç doğrusal viskoelastik özelliğe yakın davranış özelliğini göstermektedir. Tüm numunelerde uygulanan frekans arttıkça elde edilen G'_L ve G'_M değeriiler artış göstermiştir, bu durumda tüm numunelerin artan frekansla birlikte elastik özellik kazandığı görülmektedir, elde edilen bulgular elastik Lissajous-bowditch eğriileri, e_3/e_1 ve S değeriiler ile uyumluluk göstermektedir.

LAOS analizi gıdaların reolojik özelliklerinin belirlenme konusunda uygun ve yenilikçi bir metot olarak değeriendirilmektedir. Endüstriyel ölçekte proses sırasında uygulanan birçok işlemdede malzemeler üzerinde doğrusal viskoelastik bölgenin çok ötesindeki gerilimler ve gerinmeler oluşmaktadır, bu nedenle doğrusal olmayan rejimdeki gıdaların reolojik tepkisinin ölçülmesi pratik uygulamalar için önemli görülmektedir.

KAYNAKLAR

- Alaouire, Z., AlKhatip, A., & Khachfe, M., H.** (2018). A Quantitative Assessment of the Microbiological Quality of Lebanese Tahini (Sesame Paste). *International Journal on Advanced in Life Science*, 10, 3-4.
- Alpaslan, M. & Hayta, M.** (2002). Rheological and sensory properties of pekmez (grape molasses)/tahin (sesame paste) blends, *J. Food Eng.*, 54, 89–93.
- Altay, F & Altay, İ .** (2018). Tribology of pekmez (grape molasses)-tahin (sesame paste) mixtures . *Gıda* , 43 (4) , 582-590.
- Anvari, M., & Joyner (Melito), H. S.** (2018). Effect of fish gelatin and gum Arabic interactions on concentrated emulsion large amplitude oscillatory shear behavior and tribological properties. *Food Hydrocolloids*, 79, 518–525.
- Arslan, E., Yener, M. E., & Esin, A.** (2005). Rheological characteristics of tahin/pekmez (sesame paste/concentrated grape juice) blends, *Journal of Food Engineering*, 69, 167–172.
- Baggioli, M., Grieninger, S., & Soltanpanahi, H.** (2020). Nonlinear Oscillatory Shear Tests in Viscoelastic Holography. *Physical Review Letters*, 124(8).
- Baqeri, F., Nejatian, M., Abbaszadeh, S., & Taghdir, M.** (2020). The effect of gelatin and thymol-loaded nanostructured lipid carrier on physicochemical, rheological and sensory properties of sesame paste/date syrup blends as a snack bar. *Journal of Texture Studies*. 51 (3), 501-510.
- Batu, A.** (1993) Importance of raisin and molasses in terms of human health and nutrition. *Food Journal*, 18 (5), 303-307.
- Batu, A.** (2006). Klasik ve modern yöntemle göre sıvı ve beyaz katı üzüm pekmezi (Zile pekmezi) üretimi. *Gıda Teknolojileri Elektronik Dergisi*, (2), 9-26.
- Batu, A. ve Aktan, N.** (1992). Kuru üzümlerden pekmez yapılmasında şıraya uygulanan asit gidericilerin miktarları üzerinde bir araştırma. *Gıda*, 17(2), 143-150.
- Bhat, K. V., Kumari, R., Pathak, N., & Rai, A. K.** (2014). Value addition in sesame: A perspective on bioactive components for enhancing utility and profitability. *Pharmacognosy Reviews*, 8(16), 147.

- Birer, S.** (1983). Pekmezin beslenmemizdeki yeri ve kullanılması. *Beslenme ve Diyet Dergisi*, 12, 107-114.
- Çiftçi, D.** (2008). *Colloidal stability and some rheological properties of tahin and pekmez-tahin blend*. (Master's thesis). Gaziantep University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Gaziantep.
- Dlshad, A. M.** (2018). *Modeling rheological properties of some molasses-tahin blends*. (Master's thesis). Firat University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Elazığ.
- Duvarcı, O. C., Yazar, G., & Kokini, J. L.** (2017a). The SAOS, MAOS and LAOS behavior of a concentrated suspension of tomato paste and its prediction using the Bird-Carreau (SAOS) and Giesekus models (MAOS-LAOS). *Journal of Food Engineering*, 208, 77–88.
- Duvarcı, O. C., Yazar, G., & Kokini, J. L.** (2017b). The comparison of LAOS behavior of structured food materials (suspensions, emulsions and elastic networks). *Trends in Food Science & Technology*, 60, 2–11.
- Elleuch, M., Bedigian, D. & Zitoun, A.** (2011). Sesame (Sesamum indicum L.) seeds in food, nutrition, and health. In: Victor R. Preedy, Ronald Ross Watson, Vinood B. Patel (Eds.), *Nuts and seeds in health and disease prevention*. Elsevier, Academic Press, London, pp. 1029–1036.
- Eroglu, A., Bayrambaş, K., Eroglu, Z., Toker, O. S., Yilmaz, M. T., Karaman, S., & Dogan, M.** (2015). Steady, dynamic, creep/recovery, and textural properties of yoghurt/molasses blends: Temperature sweep tests and applicability of Cox–Merz rule. *Food Science and Technology International*, 22(1), 31–46.
- Ewoldt, R. H., Hosoi, E., & McKinley, G. H.** (2008). New measures for characterizing nonlinear viscoelasticity in large amplitude oscillatory shear. *Journal of Rheology*, 52, 1427-1458.
- Fuongfuchat, A., Seetapan, N., Makmoon, T., Pongjaruwat, W., Methacanon, P., & Gamonpilas, C.** (2012). Linear and non-linear viscoelastic behaviors of crosslinked tapioca starch / polysaccharide systems. *Journal of Food Engineering*, 109 (3), 571-578.
- Genç, S.** (2017). Endüstriyel pekmez üretim sürecinde enerji analizi. *Akademik Gıda*, 15(1), 51-59.
- Göksel, M., Dogan, M., Toker, O. S., Ozgen, S., Sarioglu, K., & Oral, R. A.** (2011). The Effect of Starch Concentration and Temperature on Grape Molasses: Rheological and Textural Properties. *Food and Bioprocess Technology*, 6(1), 259–271.
- Gülcü, M.** (2012). Pekmez yapım tekniği. Tekirdağ Bağcılık Araştırma İstasyonu Müdürlüğü, *Çiftçi Broşürü*, Yayın No:17, Tekirdağ.

- Hou, L. -X.** (2017). Rheology of sesame pastes with different amounts of water added. *Journal of Chemistry*, 1–5.
- Hussain, E. A., Refaat, W. A., & Ramadan, R. R.** (2017). Effect of Blending Flax Seeds (*Linum usitatissimum* L.) on Tahena Quality. *Journal of Studies and Searches of Specific Education*, 3, 2.
- Hyun, K., Wilhelm, M., Klein, C. O., Cho, K. S., Nam, J. G., Ahn, K. H., Lee, S. J., Ewoldt, R. H., McKinley, G. H.** (2011). A review of nonlinear oscillatory shear tests: analysis and application of large amplitude oscillatory shear (Laos). *Prog. Polym. Sci.*, 36 (12), 1697–1753.
- Karaman, S. & Kayacier, A.** (2011). Effect of temperature on rheological characteristics of molasses: Modeling of apparent viscosity using Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS), *Lebensmittel-Wissenschaftund-Technologie - Food Science and Technology*, 44, 1717-1725.
- Karaman, S., Yilmaz, M. T., Ozturk, G., Yuksel, F., Toker, Ö. S., & Dogan, M.** (2017). Characterization of Grape Molasses/Sesame Paste/Honey Blends: Multiple Response Optimization of Some Physicochemical, Bioactive, Viscoelastic and Sensory Properties. *Journal of Food Process Engineering*, 40(2), e12406.
- Kaur, S., Kaler, R. S. S., & Aamarpali, A.** (2002). Effect of starch on the rheology of molasses. *Journal of Food Engineering*, 55, 319–322.
- Lokumcu Altay, F. & Ak, M. M.** (2005). Effects of temperature, shear rate and constituents on rheological properties of tahin (sesamepaste), *J. Sci. Food Agric.*, 85, 105-111.
- Lokumcu, F.** (2000). *Tahinin reolojik karakterizasyonu*. (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Lokumcu, F. and Ak, M.M.**, “Rheology of Pekmez, Tahin and Their Mixture”, *The 2nd International Symposium on Food Rheology and Structure*, March 12-16, Zürich, Switzerland, 2000. (poster presentation).
- Mermet-Guyennet, M. R. B., Gianfelice de Castro, J., Habibi, M., Martzel, N., Denn, M. M., & Bonn, D.** (2015). LAOS: The strain softening/strain hardening paradox. *Journal of Rheology*, 59(1), 21-32.
- Mezger, T.G.** (2006). *The rheology handbook: for users of rotational and oscillatory rheometers*. Vincentz Network GmbH & Co. KG, Hannover, Germany.
- Mohd Rasidek, N. A., Mad Nordin, M. F., Iwamoto, K., Abd Rahman, N., Nagatsu, Y., & Tokuyama, H.** (2018). Rheological flow models of banana peel pectin jellies as affected by sugar concentration. *International Journal of Food Properties*, 21(1), 2087–2099.

- Ozyigit, E., Eren, İ., Kumcuoglu, S., & Tavman, S.** (2019). Large Amplitude Oscillatory Shear (LAOS) analysis of gluten-free cake batters: The effect of dietary fiber enrichment. *Journal of Food Engineering*, 109867.
- Öztürk, B. A. & Öner, M. D.** (1999). Production and evaluation of yogurt with concentrated grape juice. *Journal of Food Engineering*, 64(3), 530–532.
- Precha-Atsawan, S., Uttapap, D., & Sagis, L. M. C.** (2018). Linear and nonlinear rheological behavior of native and debranched waxy rice starch gels. *Food Hydrocolloids*, 85, 1–9.
- Razavi, S. M. A., Habibi Najafi, M. B., & Alaei, Z.** (2007). The time independent rheological properties of low fat sesame paste / date syrup blends as a function of fat substitutes and temperature. *Food Hydrocolloids*, 21(2), 198–202.
- Reimers, M. J., & J. M. Dealy.** (1996). Sliding plate rheometer studies of concentrated polystyrene solutions: Large amplitude oscillatory shear of a very high molecular weight polymer in diethyl phthalate. *J. Rheol*, 40, 167–186.
- Sahin, S. & Sumnu, S.** (2011). *Physical Properties Of Foods*. New York: Springer.
- Salinas, D. E., Garvin, A., Ibarz, R., & Ibarz, A.** (2019). Effect of apple fibre addition and temperature on the rheological properties of apple juice and compensation study. *LWT-Food Science and Technology*, 108456.
- Sengül, M., Ertugay, M. F., Sengül, M., & Yüksel, Y.** (2007) Rheological characteristics of carob pekmez, *International Journal of Food Properties*, 10:1, 39-46.
- Sravan, T., Alam, M. S. & Sharma, S. R.** (2021). Rheology Applications in Food Products. *Vigyan Varta* 2(1), 1-3.
- Sun, W. X., Huang, L. Z., Yang, Y. R. & Liu, X. X., Tong, Z.** (2015). Large amplitude oscillatory shear studies on the strain-stiffening behavior of gelatin gels, *Chinese Journal of Polymer Science*, 33(1), 70-83pp.
- Temiz, H. T., Tamer, U., Berkkan, A., & Boyaci, I. H.** (2017). Synchronous fluorescence spectroscopy for determination of tahini adulteration. *Talanta*, 167, 557–562.
- Toker, O. S., & Dogan, M.** (2013). Effect of temperature and starch concentration on the creep/recovery behaviour of the grape molasses: modelling with ANN, ANFIS and response surface methodology. *European Food Research and Technology*, 236(6), 1049–1061.

- Tomruk, D., Devseren, E., İlt r, I., Akyl, S., Ko , M., Kaymak Ertekin, F.** (2018). Rheological and sensorial properties of sesame paste blends prepared with different sugar sources. *Gıda*, 43 (1), 43-52.
- Tounsi, L., Kchaou, H., Chaker, F., Bredai, S., & Kechaou, N.** (2019). Effect of adding carob molasses on physical and nutritional quality parameters of sesame paste. *Journal of Food Science and Technology*. 56(3), 1502–1509.
- Tucker, G.** (2017). Applications of Rheological Data Into the Food Industry. *Advances in Food Rheology and Its Applications*, 159–175.
- Turksoy, S., Erturk, M. Y., Bonilla, J., Turasan, H. & Kokini, J. L.** (2020). Effect of aging at different temperatures on LAOS properties and secondary protein structure of hard wheat flour dough. *Journal of Cereal Science*, 92.
- Türk Gıda Kodeksi.** (2015). Tahin Tebliği. Resmi Gazete, Tebliğ, (2015/27).
- Türk Gıda Kodeksi.** (2017).  z m Pekmezi Tebliği. Resmi Gazete, Tebliğ, (2017/8).
- Türk Standartları Enstitüsü,** Tahin Standardı (2017) ICS 67.200.27.
- Türk Standartları Enstitüsü,**  z m Pekmezi Standardı (2008) ICS 67.080.10.
-  st n, N. S. & Tosun, I.** (1997). Pekmezlerin bileşimi. *Gıda*, 22, 417–423.
- Wang, B., Wang, L. J., Li, D., Wei, Q., & Adhikari, B.** (2012). The rheological behavior of native and high-pressure homogenized waxy maize starch pastes. *Carbohydrate Polymers*, 88(2), 481–489.
- Yao, Y.-G., Wang, W.-Y., Chen, L.-Y., Liu, H.-M., Yan, R.-Z., Li, S., & Wang, X.-D.** (2021). Structural changes of cellulosic polysaccharides in sesame hull during roasting at various temperatures. *Quality Assurance and Safety of Crops & Foods* 13(2), 13–24.
- Yazar, G., Duvarci, O. C., Tavman, S., & Kokini, J. L.** (2016). Effect of mixing on Laos properties of hard wheat flour dough. *Journal of Food Engineering*, 190, 195–204.
- Yazar, G., Duvarci, O. C., Tavman, S., & Kokini, J. L.** (2017). Laos behavior of the two main gluten fractions: Gliadin and glutenin. *Journal of Cereal Science*, 77, 201–210.
- Yıldırım Maviş,  .** (2019). *Ekşi hamurun doğrusal olmayan bölgedeki viskoelastik özelliklerinin belirlenmesi.* (Doktora Tezi). Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Yildirım-Mavis, C., Yilmaz, M. T., Dertli, E., Arici, M., & Ozmen, D.** (2019). Non-linear rheological (Laos) behavior of sourdough-based dough. *Food Hydrocolloids*, 96, 481–492.

Url-1 < <http://www.tuik.gov.tr>>, alındığı tarih: 30.08.2022

Url-2 < <http://www.turkomp.gov.tr>>, alındığı tarih: 07.11.2022



EKLER

EK A: Literatür Verileri

EK B: Analiz Sonuçları



EK A

Çizelge A.1 : Pekmez kullanılarak yapılan temel reolojik çalışmalar.

Pekmezin bileşimi	Reolojik ölçüm		Sonuçlar	Kaynak
	Kayma hızı	Sıcaklık	Reolojik model ve elde edilenler	
			Üslü yasa modeli ve Herschel-Bulkley modeli kullanılmıştır. Herschel-Bulkley modeli keçiyoynuzu pekmezinin reolojik özelliklerini belirlemek için daha uygun bir model olarak bulunmuştur.	
			Üslü yasa modeli ile; n: 1,017.10 ⁻⁵ -1,726.10 ⁻⁴ (artan sıcaklı ile birlikte n değei artmıştır.)	
Keçiboynuzu Pekmezi;	5 s ⁻¹	30 °C	k: 0,006.0 ⁻⁴ -0,78610 ⁻⁵ (Pa.s ⁿ)	
Toplam KM: %75,9 w/w	10 s ⁻¹	40 °C	r ² : 0,924-1	
Suda çözünür KM: %72 w/w	20 s ⁻¹	50 °C	Herschel-Bulkley modeli ile:	Sengül ve diğ. (2007)
Nem: %24,1	50 s ⁻¹	60 °C	σ ₀ :0,277-0,519 (Pa)	
	100 s ⁻¹	70 °C	n: 0,992. 10 ⁻⁶ -1,042.10 ⁻⁴ k: 0,127-0,870 (Pa.s ⁿ) r ² : 0,998-0,999	
			Keçiboynuzu pekmezi zamandan bağımsız, kayma hızıyla güçlenen davranış göstermiştir. Arrhenius sabiti Ea: 103,86 kJ/mol	
		10 °C	Üslü yasa modeli kullanılmıştır.	
		15 °C	n: 0,784-0,689	
Kayısı Pekmezi:		20 °C	k: 5.408-39.905 Pa.s ⁿ	
Suda Çözünür KM: %71,57 w/w	0.1-100 s ⁻¹	25 °C	Newton olmayan akış davranışı göstermiştir.	Karaman ve Kayacier (2011)
Su aktivitesi: 0,71		30 °C	Anlık viskozitesi artan kayma hızı ile azalmıştır.	
		35 °C	Pekmezin anlık viskozite değerleri için etkili bir tahmin modeli olarak ANFIS kullanılmıştır.	
		40 °C	Arrhenius sabiti Ea: 41,42 kJ/mol	
		10 °C	Üslü yasa modeli kullanılmıştır.	
		15 °C	n: 0,846-0,976	
Hurma Pekmezi:		20 °C	k: 0.910-2.852 Pa.s ⁿ	
Suda Çözünür KM: %72,58	0.1-100s ⁻¹	25 °C	Newton olmayan akış davranışı göstermiştir.	Karaman ve Kayacier (2011)
Su aktivitesi: 0,70		30 °C	Anlık viskozitesi artan kayma hızı ile azalmıştır.	
		35 °C	Pekmezin anlık viskozite değerleri için etkili bir tahmin modeli olarak ANFIS kullanılmıştır.	
		40 °C	Arrhenius sabiti Ea: 38,19 kJ/mol (54.2s ⁻¹ kayma hızında)	

Çizelge A.1 (Devam) : Pekmez kullanılarak yapılan temel reolojik çalışmalar.

Pekmezin bileşimi	Reolojik ölçüm		Sonuçlar	Kaynak
	Kayma hızı	Sıcaklık	Reolojik model ve elde edilenler	
			Üslü yasa modeli ve Herschel-Bulkley modeli kullanılmıştır. Herschel-Bulkley modeli keçiboynuzu pekmezinin reolojik özelliklerini belirlemek için daha uygun bir model olarak bulunmuştur.	
			Üslü yasa modeli ile; n: 1,017.10 ⁻⁵ -1,726.10 ⁻⁴ (artan sıcaklı ile birlikte n değei artmıştır.) k: 0,006.0 ⁻⁴ -0,78610 ⁻⁵ (Pa.s ⁿ) r ² : 0,924-1 Herschel-Bulkley modeli ile: σ ₀ :0,277-0,519 (Pa) n: 0,992. 10 ⁻⁶ -1,042.10 ⁻⁴ k: 0,127-0,870 (Pa.s ⁿ) r ² : 0,998-0,999	
Keçiboynuzu Pekmezi; Toplam KM: %75,9 w/w Suda çözünür KM: %72 w/w Nem: %24,1	5 s ⁻¹ 10 s ⁻¹ 20 s ⁻¹ 50 s ⁻¹ 100 s ⁻¹	30 °C 40 °C 50 °C 60 °C 70 °C	Keçiboynuzu pekmezi zamandan bağımsız, kayma hızıyla güçlenen davranış göstermiştir. Arrhenius sabiti Ea: 103,86 kJ/mol	Sengül ve diğ. (2007)
		10 °C 15 °C 20 °C 25 °C 30 °C 35 °C 40 °C	Üslü yasa modeli kullanılmıştır. n: 0,784-0,689 k: 5.408-39.905 Pa.s ⁿ Newton olmayan akış davranışı göstermiştir. Anlık viskozitesi artan kayma hızı ile azalmıştır. Pekmezin anlık viskozite değerleri için etkili bir tahmin modeli olarak ANFIS kullanılmıştır. Arrhenius sabiti Ea: 41,42 kJ/mol	Karaman ve Kayacier (2011)
Kayısı Pekmezi: Suda Çözünür KM: %71,57 w/w Su aktivitesi: 0,71	0.1-100 s ⁻¹			
		10 °C 15 °C 20 °C 25 °C 30 °C 35 °C 40 °C	Üslü yasa modeli kullanılmıştır. n: 0,846-0,976 k: 0.910-2.852 Pa.s ⁿ Newton olmayan akış davranışı göstermiştir. Anlık viskozitesi artan kayma hızı ile azalmıştır. Pekmezin anlık viskozite değerleri için etkili bir tahmin modeli olarak ANFIS kullanılmıştır. Arrhenius sabiti Ea: 38,19 kJ/mol (54.2s ⁻¹ kayma hızında)	Karaman ve Kayacier (2011)
Hurma Pekmezi: Suda Çözünür KM: %72,58 Su aktivitesi: 0,70	0.1-100s ⁻¹			

Çizelge A.1 (Devam) : Pekmez kullanılarak yapılan temel reolojik çalışmalar.

Pekmezin bileşimi	Reolojik ölçüm		Sonuçlar		Kaynak
	Kayma hızı	Sıcaklık	Reolojik model ve elde edilenler		
Dut pekmezi: KM (%): 68,24 Kül (%): 2,17 Fruktoz (%): 27,69 Glikoz (%): 28,56			Üslü yasa modeli kullanılmıştır. n: 0,364-0,455 k: 21,7-51,1 Pa.s ⁿ n ₅₀ : 2,47-4,31 Pa.s (n ₅₀ , 50 s ⁻¹ kayma hızında sıcaklık tarama testi ile 0-80 °C aralığında analiz edilen sonuç) Newton olmayan ve kayma hızıyla zayıflayan akış davranışı göstermiştir.		
Yoğurt: KM (%): 19,12 Kül (%): 0,55	0.1-100s ⁻¹	25 °C	Kayma hızıyla zayıflayan akış pekmez oranının artışıyla birlikte azalmıştır. Kıvam katsayısı ve anlık viskozite değerleri artan pekmez konsantrasyonu ile birlikte azalmıştır. Anlık viskozite artan sıcaklık değeri ile birlikte azalmıştır.		Eroğlu ve diğ. (2015)
Karışımlar; %5 pekmez (w/w) %10 pemez (w/w) %15 pekmez (w/w)			Pekmez için; Arrhenius sabiti Ea: 30,57 kJ/mol Karışımlar için; Arrhenius sabiti Ea:21,76-24,33 kJ/mol Ea değeri büyüklüğü artan pekmez konsantrasyonu ile birlikte azalması sonucu karışımların sıcaklığa karşı duyarlılığının artan pekmez konstantrasyonu ile birlikte arttığı sonucuna varılmıştır. A ₀ değerleri artan pekmez konstarsyonu ile birlikte artmıştır.		
Üzüm pekmezi: Briks: 36,48% %5 nişasta-pekmaz: Briks: 37,7% %7,5 nişasta-pekmaz: Briks: 38,6% %10 nişasta-pekmaz: Briks: 39,6%	0.1-100s ⁻¹	60 °C 70 °C 80 °C	Üslü yasa modeli kullanılmıştır. Pekmez için: n: 0,631-0,694 k: 0,007-0,011 Pa.s ⁿ Karışımlar için: n: 0,308-0,870 k: 0,007-150,370 Pa.s ⁿ Karışımların anlık viskozitesi artan kayma hızıyla birlikte artmıştır, karışımlar newton olmayan ve kayma hızıyla zayıflayan akış davranışı göstermiştir. Kıvam katsayısı değerleri artan nişasta konsantrasyonu ile birlikte artmış, artan sıcaklıkla birlikte azalmıştır. Akış davranış indeksi değerleri artan nişasta konsantrasyonu ile birlikte azalmış, sıcaklık ile birlikte sabit bir eğilim göstermiştir. Anlık viskozite değerleri azalan sıcaklık ile birlikte artmıştır (50 s ⁻¹ kayma hızında, Arrhenius denklemi). Anlık viskozite değerleri artan nişasta konsantrasyonu ile birlikte artmıştır (50 s ⁻¹ kayma hızında, üslü yasa ve üstel fonksiyon tipi model). Pekmez için: Arrhenius sabiti Ea: 53,44 (kJ/mol) Karışımlar için: Arrhenius sabiti Ea: 18,70-53,44 (kJ/mol)		Göksel ve diğ. (2011)

Çizelge A.2 : Tahin kullanılarak yapılan temel reolojik çalışmalar.

Tahinin bileşimi	Uygulanan reolojik ölçüm			Sonuçlar	Kaynak
	Kayma hızı	Sıcaklık	Depolama süresi	Reolojik model ve elde edilenler	
Yağ: 587 g.kg ⁻¹ Protein: 260 g.kg ⁻¹ Kül: 25,5 g.kg ⁻¹ Nem: 6,3 g.kg ⁻¹	0.13–500 s ⁻¹	20-70 °C	1 yıl	Üslü yasa modeli kullanılmıştır. Kayma hızıyla zayıflayan akış davranışı gözlemlenmiştir. n değeri, sıcaklık 5'ten 45°C'ye çıktıkça 0.91'den 0.98'e yükselmiştir. Sıcaklık ile k değerinde üstel bir azalma görülmüştür. Sabit bir kayma hızında katıların viskozitesi ve hacim oranı arasındaki ilişki Krieger-Dougherty denklemi ile tanımlanmıştır. 1 yıllık depolama süresince tahinin reolojik parametrelerinde sadece küçük değişiklikler meydana gelmiştir. Arrhenius sabiti Ea: 21.6 kJ mol ⁻¹	Lokumcu Altay ve Ak (2005)
Yağ: % 59,71 Protein: %17 Toplam Şeker: %7,7 Kül: %5,01 Nem: % 0,12 Tahin-su (w / v) oranları: 1-0.75 (T1), 1-1 (T2), 1-1.25 (T3), 1-1.5 (T4)	0-25 s ⁻¹	25 °C		Üslü yasa modeli kullanılmıştır. T1 ve T2 numuneleri kayma hızıyla zayıflayan akış özeliği gösteren malzeme olarak davranırken, T3 ve T4'ün anlık viskozitesi, kayma hızı arttıkça neredeyse değişmeden kalmıştır. T2, orta düzeyde tiksotropi döngüsüne sahip (57.32 Pa / s) olarak bulunmuştur.	Hou (2017)

Çizelge A.3 : Tahin-Pekmez karışımı kullanılarak yapılan temel reolojik çalışmalar.

Tahin-pekmez karışımının bileşimi	Tahin-Pekmez Oranı	Reolojik ölçüm		Sonuçlar		Kaynak
		Kayma hızı	Sıcaklık	Reolojik model ve elde edilenler		
Üzüm pekmezi; Karbonhidrat: %65,2 Protein: %0,84 Yağ: %0,25 Tahin bileşimi: Yağ: %60,1 Protein: %25,5 Karbonhidrat: %10,5	%0 (w/w) %2 (w/w) %4 (w/w) %6 (w/w) *% pekmez	-	30 °C 40 °C 50 °C 60 °C 65 °C 75 °C	Üslü yasa modeli kullanılmıştır. n: 0,43-0,58 k: 14,7-87,2 Pa.s Tüm karışımlar kayma hızıyla zayıflayan akış davranışı göstermiştir. Ea: 30,329 kJ/mol (%0 pekmez) Ea: 24,789 kJ/mol (%2 pekmez) Ea: 16,118 kJ/mol (%4 pekmez) Ea: 8,395 kJ/mol (%6 pekmez) Pekmez oranı arttıkça Ea değeri azalmıştır.		Alparslan ve Hayta (2002)
Üzüm Pekmezi: Briks: 76 Standart numunelerle çalışmak amacıyla briks 70 olarak ayarlanmıştır.	%20 (w/w) %23 (w/w) %26 (w/w) %29 (w/w) %32 (w/w) *%tahin	0.75–63.9 s ⁻¹	35 °C 43 °C 50 °C 58 °C 65 °C	Üslü yasa modeli kullanılmıştır. n: 0.7–0.85 k: 282– 2547 mPa s ⁿ Tüm karışımlar kayma hızıyla zayıflayan davranış göstermiştir. Her iki parametre de sıcaklıktan önemli ölçüde etkilenmiştir. Konsantrasyon sadece kıvam indisi üzerinde etkili olmuş olup aralarındaki ilişki hem üstel hem de kuvvet fonksiyonları ile tanımlanabilmektedir. Ea: 13376–28592 J/mol Arrhenius sabiti artan tahin konsantrasyonu ile birlikte artmıştır.		Alparslan ve diğ. (2005)
Hurma pekmezi; Briks: 60 Tahin: Yağ: %60 wt Protein: %24 wt Karbonhidrat: % 8 wt	Tahin/pekmez; 50:50 wt/wt Ksantan gum (0.01, 0.015, 0.02%) guar gum (0.1, 0.15, 0.2%) nişasta (0.75, 1.25, 1.75%)		25 °C 35 °C 45 °C 55 °C	Üslü yasa modeli kullanılmıştır. n: 0.35–0.51 k: 108–240.04 Pa s ⁻¹ Tüm karışımlar, tüm sıcaklık ve her yağ ikame maddesi varlığında kayma hızıyla zayıflayan akış davranışı göstermiştir. Yağ ikameleri, kontrole kıyasla tüm karışımlar için anlık viskozitenin artmasına yol açmıştır.		Razavi ve diğ. (2006)

Çizelge A.3 (devam) : Tahin-Pekmez karışımı kullanılarak yapılan temel reolojik çalışmalar.

Tahin-pekmez karışımının bileşimi	Tahin-Pekmez Oranı	Reolojik ölçüm		Sonuçlar	Kaynak
		Kayma hızı	Sıcaklık	Reolojik model ve elde edilenler	
Üzüm pekmezi: Suda çözünür KM: % 73,6 Kül: %2,6 Tahin: Yağ: %42,5 Kül:%2,55 Nem: %0,63 Mineral: %0,42	%100 pekmez %100 tahin %75 pekmez/%25 Tahin (w/w)	0,13-800 s ⁻¹	%100 pekmez ve %100 tahin örnekleri için; 20°C 40°C 60°C 80°C 95°C Tahin-pekmez karışımı için : 30°C	Üslü yasa modeli kullanılmıştır. %100 pekmez ve %100 tahin numunelerinde: Pekmezin akış davranışı sıcaklığa bağlı olarak değişiklik göstermiştir. Tahin tüm sıcaklıklarda kayma hızıyla zayıflayan özellik göstermiştir. Her iki materyalin de zaman bağımlılığı bulunmamaktadır. Viskozite eğrilerinde belirgin histerezis döngüleri görülmemiştir. Tahin-Pekmez karışımında: Yaklaşık 50 s ⁻¹ 'de kayma hızıyla zayıflayan davranıştan kayma hızıyla güçlene davranışına bir geçiş gözlemlenmiştir. Yukarı rampa eğrisi, aşağı rampa eğrisinin altında olarak gözlemlenmiştir; dolayısıyla karışım için anti-tiksotropik karakterden söz edilmiştir. İkinci döngünün boyutu birincisinden daha küçük olarak bulunmuştur. Bu durum, sürekli kayma uygulaması ile azalmış anti-tiksotropik karakter olarak yorumlanmıştır. Bir saat depolama süresinin sonunda karışım viskozitesinde artış görülmüştür. Tahin ve pekmez numunelerinin ayrı ayrı gösterdiği reolojik davranışı ve tahin-pekmez karışımının reolojik davranışının farklı olmasının sebebinin pekmezde bulunan su ile tahinde bulunan protein arasındaki etkileşimden kaynaklanabileceği düşünülmüştür. Ea: 16010,3–24330,1 J/mol	Lokumcu ve Ak (2000)

Çizelge A.4 : Tahin, Pekmez ve Tahin-Pekmez karışımlarının doğrusal viskoelastik özellikleri üzerine yapılan çalışmalar.

Numune bileşimi	Uygulanan viskoelastik ölçüm				Sonuçlar			Kaynak
	Analizin ismi	Frekans aralığı	Gerinim/Kayma gerilimi	Sıcaklık	Doğrusal viskoelastik bölgeyi belirlemek için yapılan analizler	Reolojik model ve elde edilen sonuçlar	Yapılan değerlendirme	
Dut pekmezi: KM (%): 68,24 Kül (%): 2,17 Fruktoz (%): 27,69 Glikoz (%): 28,56 Yoğurt: KM (%): 19,12 Kül (%): 0,55 %5 pekmez (w/w) %10 pemez (w/w) %15 pekmez (w/w)	Dinamik kayma frekans tarama testi	0,1-10 Hz	1Pa	25°C	Gerilim tarama testi doğrusal viskoelastik bölgeyi bulmak için kullanılmıştır. Analiz Koşulları; Gerilim aralığı: 0,001-10 Pa Frekans: 1Hz	Üslü yasa kanunu kullanılmıştır. Arrhenius Eşitliğinden yararlanılmıştır. Cox-Merz Kuralının uygulanabilirliği incelenmiştir. Modifiye edilmiş Cox-Merz kuralı, kaydırma faktörleri kullanımı ile uygulanabilir bulunmuştur.	Tüm karışımlar için hem G' hem de G'' değerleri açısal frekansla küçük oranda artmıştır. Karışımların eğimleri (n' ve n'') pozitif olduğu için zayıf jel benzeri davranış sergiledikleri sonucuna varılmıştır. G'''ın değerlerinin incelenen tüm frekans aralığında G'' değerlerinden büyük olması sebebiyle karışımların viskozdan ziyade katı benzeri davranış gösterdiği belirtilmiştir. Yoğurt numunesinin çalışılan tüm frekans aralığında en yüksek G* değerine sahip olduğunu ve artan pekmez konsantrasyonu ile azaldığı gözlemlenmiştir. Bu sonuçlar, yoğurdun deformasyona karşı en yüksek toplam dirence sahip olduğunu ve bu direncin pekmez ilavesiyle azaldığını ortaya koymuştur. n* değerleri ile ilgili olarak pekmez ilavesiyle K * değerleri azalmış, bu da pekmez konsantrasyonu arttıkça akmaya karşı direncin azaldığını göstermiştir. Ea değerleri genel olarak pekmez ilavesiyle azalmıştır.	Eroğlu ve diğ. (2015)
	Dinamik kayma frekans tarama testi	1Hz	%1 gerinim	0-80 °C	Genlik tarama testi doğrusal viskoelastik bölgeyi bulmak için kullanılmıştır.	n':0,111-0,128 n'':0,101-0,121 G'(K':2492-6947) G''(K'':625-201) G'(A ₀ :0,0007-0,4802) G''(A ₀ :0,0024-0,1245)	Yoğurt en düşük J(t) değerine sahiptir ve J(t) değeri karışımların pekmez konsantrasyonu ile artmıştır. Pekmez konsantrasyonu arttıkça G' ve n' değerleri azalmıştır. Pekmez konsantrasyonundaki artış, genel olarak yapıyı zayıflatarak, Burger modelinde bulunan elementlerin kayma modüllerini ve viskozitesini düşürmüştür. J _{max} ve J _∞ değerlerinin pekmez konsantrasyonu arttıkça arttığı belirtilmiştir. J _∞ değerlerinin J _{max} değerlerinden daha düşük olduğu bulunmuştur, bu da uygulanan stresin kaldırılmasının ardından tüm numunelerin geri kazanıldığını göstermiştir. Karışımların nihai geri kazanımı, pekmez seviyesinin artmasıyla önemli ölçüde azalmıştır.	
	Sünme ve geri kazanım testi	Sünme fazı 0-320s Geri kazanım fazı 320-960s	1 Pa		Gerilim tarama testi doğrusal viskoelastik bölgeyi bulmak için kullanılmıştır. Analiz Koşulları; Gerilim aralığı: 0,1-10 Pa	Burger Modeli kullanılmıştır. Sünme fazı: G ₀ : 274-804 (Pa) n ₀ : 51058-171217 (Pa.s) G ₁ : 120-396 (Pa) n ₁ : 4453-14298 (Pa.s) Geri kazanım fazı: J _{max} : 0,0042-0,0162 (1/Pa) J _∞ : 0,0029-0,0122 (1/Pa) Yoğurt-pekmez karışım sistemleri 320 sn stres uygulamasından sonra maksimum deformasyona (J _{max}) ulaşmıştır.		

Çizelge A.4 (devam) : Tahin, Pekmez ve Tahin-Pekmez karışımlarının doğrusal viskoelastik özellikleri üzerine yapılan çalışmalar.

Numune bileşimi	Uygulanan viskoelastik ölçüm				Sonuçlar			Kaynak
	Analizin ismi	Frekans aralığı	Gerilim/ Kayma gerilimi	Sıcaklık	Doğrusal viskoelastik bölgeyi belirlemek için yapılan analizler	Reolojik model ve elde edilen sonuçlar	Yapılan değerlendirme	
Üzüm pekmezi							Üzüm pekmezi numunelerinin nişasta konsantrasyonundaki artış, sünme ve geri kazanım sırasında $J(t)$ değerlerinde düşüşe neden olmuştur. Sıcaklıktaki artış ise $J(t)$ değerlerinde artışa neden olmuştur. Tüm karışımların, G' değerlerinin G'' değerlerinden daha yüksek bulunmasıyla, karışımların akış oluşmadan önce başlangıç deformasyonuna ihtiyaç duyduğu ve daha sonra tekrar deforme olduğu sonucuna varılmıştır. Bu sonuçlar, tüm çalışma sıcaklığında pekmez numunelerinin hepsinin yüksek mekanik mukavemete ve viskoziteye sahip olduğunu göstermiştir.	
Mısır nişastası: KM: %87 Protein: %0,4	Sünme ve geri kazanım testi		0,2 Pa	60 °C 70 °C 80 °C	Gerilim tarama testi doğrusal viskoelastik bölgeyi bulmak için kullanılmıştır. Analiz Koşulları; Stres aralığı: 0,1-10 Pa Frekans: 1 Hz (sabit) Sıcaklık: 60, 70 ve 80 °C	Burger modeli kullanılmıştır. $J(t)$ değerlerini tahmin etmek için yapay sinir ağı (ANN) ve uyarlanabilir nöro-bulanık çıkarım sistemi (ANFIS) modelleri yapılmıştır. G_0 :12,56-243,27 (Pa) G_1 :0,004-208,36 (Pa) η_0 : 107-1260950 (Pa.s) η_1 : 0,31-4056,43(Pa.s) J_{max} : 0,004-248,50 (Pa ⁻¹) J_{∞} : 0,003-41,59 (Pa ⁻¹) J_{KV} : 0-0,54.10 ² (Pa ⁻¹) $J(t)$ değerini tahmin etmede ANFIS modelinin performansının ANN modeline göre daha iyi olduğu bulunmuştur. Burger modelinin yüksek belirleme katsayısıyla numunelerin iç yapısını tanımladığı görülmüştür (0,987).	Nişasta konsantrasyonunun artışı ve sıcaklığın düşmesi ile G_0 , G_1 , η_1 ve η_0 değerleri artmıştır. Nişasta konsantrasyonunun azalması ve sıcaklığın artması ile numunelerin sünme uyum değerleri artmış, bu da nişasta konsantrasyonunun azalması ve sıcaklık artışıyla numune yapılarının zayıfladığı anlamıyla yorumlanmıştır. J_{max} , J_{∞} ve J_{KV} değerleri pekmez karışımlarında jelatinleşmiş fraksiyonun konsantrasyonu arttıkça azalmıştır. Nişasta konsantrasyonundaki azalma ile J_{∞} değerinde bir artış jel yapısının çöktüğünü ve elastik bağların geri döndürülemez şekilde kırıldığını göstermektedir.	Toker ve Doğan (2013)

Çizelge A.4 (devam) : Tahin, Pekmez ve Tahin-Pekmez karışımlarının doğrusal viskoelastik özellikleri üzerine yapılan çalışmalar.

Numune bileşimi	Uygulanan viskoelastik ölçüm				Doğrusal viskoelastik bölgeyi belirlemek için yapılan analizler	Sonuçlar		Kaynak
	Analizin ismi	Frekans aralığı	Gerilim /Kayma gerilimi	Sıcaklık		Reolojik model ve elde edilen sonuçlar	Yapılan değerlendirme	
Üzüm pekmezi: Briks: 36,48% %5 nişasta/pekmez: Briks: 37,7% %7,5 nişasta/pekmez: Briks: 38,6% %10 nişasta/pekmez: Briks: 39,6%	Salınımlı frekans tarama testi	0,1-10 Hz	1 Pa (LVR)	60 °C 70 °C 80 °C	Gerilim tarama testi doğrusal viskoelastik bölgeyi bulmak için kullanılmıştır.	Doğrusal olmayan regresyon kullanılmıştır. %7,5 ve %10 nişasta içeren pekmez karışımları için: n':0,233-0,275 n'':0,242-0,365 G'(K':264,26-1734,10) G''(K'':49,32-177,57) %5 nişasta içeren pekmez karışımları için: n':0,98-1,28 n'':0,63-0,94 G'(K':0,1-0,61) G''(K'':0,5-1,59)	G' ve G'' değerleri frekans artışıyla artarken, η* değerlerinde azalması sonucu karışımların kayma incelmeleri davranışı gösterdiği bulunmuştur. %7,5 ve %10 nişasta içeren karışımların eğimlerinin pozitif olması ve G' değerlerinin G'' değerlerinden daha büyük olması sebebiyle bu karışımların zayıf jel benzeri yapı sergilediği sonucuna varılmıştır. %5 nişasta içeren karışımın ise G'' değeri G' değerinden daha yüksek bulunması sebebiyle viskoz davranış gösterdiği bulunmuştur. G* artan sıcaklıkla birlikte azalmıştır.	Göksel ve diğ. (2011)
Pekmez: KM: 73,5 (%) Kül: 1,447 (%) Frktoz: 22,1 (%) Glikoz: 26,8 (%) Su aktivitesi: 0,7 Tahin: KM: 99,6 (%) Kül: 3,282 (%) Su aktivitesi: 0,446	Salınımlı frekans tarama testi	0,1-10 Hz	0,2 Pa (LVR)	25 °C	Gerilim tarama testi doğrusal viskoelastik bölgeyi bulmak için kullanılmıştır. Analiz Koşulları; Stres aralığı: 0,1-10 Pa Frekans: 1 Hz (sabit)	Tahmin edici model denklemleri kullanılmıştır. %100 pekmez G':359,4 (Pa) - G'': 258,2 (Pa) n*:70,55 (Pa.s) G*:443,3 (Pa) %100 tahin G':74,87 (Pa) G'':70,61 (Pa) n*:16,42 (Pa.s) G*:103,21 (Pa) %50 pekmez/%50 tahin G':1658 (Pa) - G'':1159 (Pa) n*:322,1 (Pa.s) G*:2023 (Pa) %25 pekmez/%75 tahin G':38870 (Pa) - G'':51820 (Pa) n*:10375 (Pa.s) G*:65195 (Pa) %75 pekmez/%25 tahin G':545 (Pa) - G'':271,1 (Pa) n*:96,85 (Pa.s) G*:608,7 (Pa)	Frekans arttıkça numunelerin G' ve G'' değerlerinin de arttığı bulunmuştur. Pekmez ve tahinin G' değerinin G'' değerinden daha büyük olduğu ve dolayısıyla ürünlerin elastik özellik gösterdiği belirtilmiştir. Karışımlara eklenen tahin kıvamı ve viskoziteyi artırmıştır.	Karaman ve diğ. (2017)

Çizelge A.5 : Bazı gıdaların doğrusal olmayan viskoelastik özellikleri üzerine yapılan çalışmalar.

Ürün adı ve bileşimi	Uygulanan doğrusal olmayan viskoelastik ölçüm					Sonuçlar		Kaynak
	Analizin ismi	Frekans aralığı	Gerinim	Sıcaklık	Doğrusal viskoelastik bölgeyi belirlemek için yapılan analizler	Reolojik model ve elde edilen sonuçlar	Yapılan değerlendirme	
0,54 ve 108 saat fermentasyon sürelerinde, 4° C ve 25° C fermentasyon sıcaklığında olgunlaştırılmış sert buğday unu hamuru	LAOS	20 rad/s	%0,01- %200	4° C 25° C	Doğrusal olmayan LAOS parametreleri (e_3 / e_1 , v_3 / v_1 , S ve T), fermentasyon süresinin doğrusal olmayan reoloji üzerindeki etkisi hakkında ek bilgi elde etmek için analiz edilmiştir.	Düşük gerinimlerde LAOS parametreleri (e_3 / e_1 , v_3 / v_1 , S ve T), fermentasyon süresinin doğrusal olmayan reoloji üzerindeki etkisi hakkında ek bilgi elde etmek için analiz edilmiştir.	Düşük gerinimlerde Lissajous eğrilerinde doğrusal viskoelastik davranışı gösteren kesintisiz elipsler elde edilmiştir. Daha yüksek gerinimler Lissajous eğrilerinde giderek genişleyen bozulmuş şekillere yol açmıştır. Fermentasyon süresi arttıkça, toplam gerilim tepkisi döngülerinin boyutu, malzemenin gerilime direnme yeteneğinin azaldığını gösteren daha dar eliptik şekiller haline gelmiştir. Fermentasyon süresi 0'dan 108 saate ilerledikçe döngülerin saat yönünde dönüşüyle kanıtlanana gerilim yumuşaması davranışı görülmüştür.	Turksoy ve diğ. (2020)
					Gerinim tarama testi yapılmıştır. Üçüncü harmoniğin görünmesinden hemen önceki gerinim değeri spesifik kritik gerinim değeri olarak belirlenmiştir. $t=0$ ve $t=54$, 4° C'de kritik gerinim %0,039 $t=54$ ve $t=108$, 25° C'de ve $t=108$, 4° C'de kritik gerinim %0,025	4° C de $e_3/e_1 >0$, S>0 kritik gerinim~%68 25° C de $e_3/e_1 <0$ kritik gerinim > %0,1 Tüm hamur numunelerinde $v_3/v_1 <0$ 25° C de %0,1 gerinim değerine kadar S=0 ve T=0 (Doğrusal elastik ve doğrusal viskoz) 25° C de %0,1 ile %4,3 gerinim değeri aralığında S>0	4° C'de, buğday unu hamuru, belirli bir gerinim değerine (~%68) kadar artan gerinim sertleşmesi davranışına uğramıştır ve bunu daha yüksek gerinimlerde gerinim sertleşmesi yoğunluğunda bir azalma izlemiştir. 25° C de fermentasyon süresi 48 saati aştığında gerinim sertleşmesi davranışında kademeli bir düşüş görülmüştür. Fermentasyon sırasında tüm hamur numuneleri kayma incelenmesi davranışı göstermiştir. Artan sıcaklık ve fermentasyon süresi ile kayma incelenmesi yoğunluğu artmıştır. Hamur numunelerinin gerinim sertleşme oranı (S) değerleri e_3/e_1 değerleriyle, kıvam oranı (T) v_3/v_1 değerleriyle korelasyon göstermiştir. %0,1 gerinim değerinden yaklaşık %4,3 gerinim değerine kadar, döngü içi gerinim sertleşmesi davranışı artan S değerleri ile kanıtlanmıştır. 25° C'de 24 saat olgunlaştırılan hamur numunelerinin S değerlerinde belirli bir gerinim değeri aşıldıktan sonra, gerinim sertleşmesi davranışında bir düşüşe işaret eden düşüş görülmeye başlanmıştır. 25° C'de 24 saatten uzun süre olgunlaştırılan hamur numuneleri için S değerleri, doğrusal olmayan bölgede döngü içi gerinim yumuşaması davranışını gösteren negatif değerler göstermeye başlamıştır. 4° C'de olgunlaştırılan hamur numuneleri uygulanan gerinim aralığı içinde gerinim yumuşaması davranışı göstermemiştir. T değerleri yükselen gerinim değerlerinde kayma incelenmesi davranışını gösteren negatif değerler vermiştir. v_3/v_1 değerlerinde görüldüğü gibi, 25° C 'de olgunlaştırılan numuneler için T değerlerinin yoğunluğu, 4° C'de olgunlaştırılanlara kıyasla daha yüksek seyretmiştir, bu da doğrusal olmayan ortamda 25° C'de depolanan hamur numuneleri için daha belirgin bir döngü içi kayma incelenmesi davranışı olarak yorumlanmıştır.	

Çizelge A.5 (devam) : Bazı gıdaların doğrusal olmayan viskoelastik özellikleri üzerine yapılan çalışmalar.

Ürün adı ve bileşimi	Uygulanan doğrusal olmayan viskoelastik ölçüm					Sonuçlar		Kaynak
	Analizin ismi	Frekans aralığı	Gerinim	Sıcaklık	Doğrusal viskoelastik bölgeyi belirlemek için yapılan analizler	Reolojik model ve elde edilen sonuçlar	Yapılan değerlendirme	
Glutensiz kek hamuru 80:20 oranında pirinç unu ve karabuğday unu içeren sulu hamur formülasyonu, kontrol olarak kullanılmıştır. Karabuğday ununun yerine %4, %8, %12 ve %16 oranında diyet lifi kaynakları formülasyona eklenmiştir. Diyet lifi kaynakları; Portakal lifi, portakal posası tozu, xanthan gum	LAOS	10 rad/s	%0,01- %300	25°C	Doğrusal viskoelastik bölge, Lissajous eğrilerinin ortasındaki küçük döngülerle tanımlanmıştır. Tüm numuneler için genel bir eğilim olarak, doğrusal olmama yaklaşık %1 gerilimde başlamıştır ve G' ve G'' davranışları belirgin şekilde farklılaşmıştır.	Diyet lifi artışıyla saat yönünde dönüş görülmüştür. Diyet lifi miktarının artmasıyla gerinim hızına ilişkin gerilim tepkisinin arttığı görülmüştür. Elde edilen v_1 değerleri e_1 değerlerine göre daha yüksektir, ancak e_1 değerleri sıfır değildir. Sonuç olarak, glutensiz hamur numuneleri baskın viskoz davranışın yanında elastik davranış da sergilemişlerdir.	Lissajous Bowditch eğrileri, diyet lifi miktarının artırılmasıyla hamurda depolanan enerjinin arttığını ve glutensiz kek hamurlarının doğrusal olmayan bölgede daha elastik hale geldiğini ortaya koymuştur. Gerilimin elastik bileşeni, yapısal zayıflamanın bir göstergesi olarak orta gerilimlerde gerilim sertleşmesi, çok yüksek gerilimlerde gerilim yumuşaması özellikleri göstermiştir. Tüm glutensiz kek hamuru numuneleri, küçük gerinim genliklerinde doğrusal viskoelastik özellikler gösterirken artan gerinim genliğinde doğrusal olmayan bölgeye girmiştir. Tüm numunelerde doğrusal olmayan bölgenin başlangıcında viskoz baskın davranış görülürken, daha yüksek gerinim değerlerinde elastik baskın forma dönüşmüştür. Yaklaşık %1–100 gerinim aralığında numuneler gerinim sertleşmesi davranışı gösterirken, gerinim artışı G'_L/G'_M değerlerinin düşmesine neden olmuştur ve numune davranışı gerinim yumuşamasına kaymıştır. η'_L/η'_M oranı tüm numuneler için 1'den düşüktür ve kayma incelenmesi davranışı görülmüştür. Normalize edilmiş e_3/e_1 oranına göre, küçük gerinimlerde kek hamurlarının gerinim sertleşmesi davranışı doğrusal olmayan bölgede gerinim yumuşamasına kaymıştır. Üçüncü Chebyshev harmoniklerine göre, tüm numuneler %0.01 ile %1 gerinim genliği arasında doğrusal elastik ve viskoz özellikler göstermiştir. Kontrol ve %4 portakal lifi numuneleri için e_3/e_1 değerleri, numunelerin gerinim sertleşmesi gösterdiğini gösteren %60 gerinim genliğine kadar pozitifdir. Bununla birlikte, daha yüksek gerinimlerde, e_3/e_1 değerleri sıfırdan düşüktür ve numunelerin davranışı, gerinim yumuşamasına kaymıştır. Portakal posası tozu içeren numunelerin sonuçları %100 gerinim değerinin ilerisinde negatif çıkmıştır, bu gerilimden sonra tüm numunelerin e_3/e_1 değerleri sıfırın altındadır ve gerilim yumuşaması davranışı göstermiştir. Genel olarak, tüm numunelerin v_3/v_1 değerleri, %0 gerinim değerinden sonra sıfırın altındadır. Daha sonra, v_3/v_1 değerleri en düşük değere ulaşana kadar azalmıştır ve bir değerden sonra artmaya başlamıştır. Bu model tüm numuneler için aynıdır, ancak her numunenin farklı gerinim genliğinde meydana gelmiştir. Tüm hamur numuneleri, %0 ila %300 gerilme aralığı içinde kayma incelenmesi davranışı göstermiştir.	Özyiğit ve diğ. (2020)

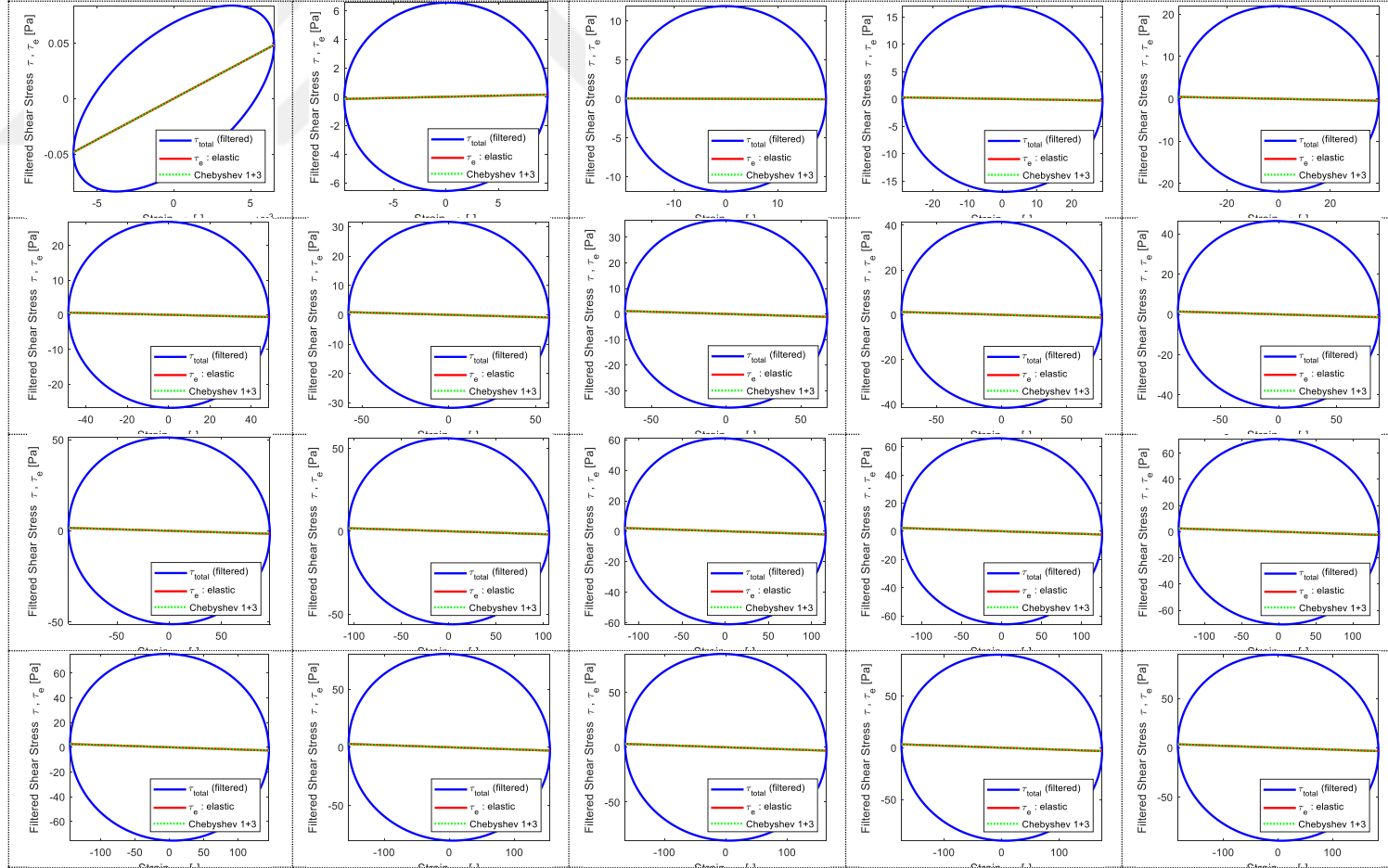
Çizelge A.5 (devam) : Bazı gıdaların doğrusal olmayan viskoelastik özellikleri üzerine yapılan çalışmalar.

Ürün adı ve bileşimi	Uygulanan doğrusal olmayan viskoelastik ölçüm					Sonuçlar		Kaynak
	Analizin ismi	Frekans aralığı	Gerinim	Sıcaklık	Doğrusal viskoelastik bölgeyi belirlemek için yapılan analizler	Reolojik model ve elde edilen sonuçlar	Yapılan değerlendirme	
Konsantre salça süspansiyonu	SAOS LAOS	0,5 rad/s 1 rad/s 5 rad/s 10 rad/s 15 rad/s	%0,01- %210		Gerinim tarama testi	G' ve G'' kesişim noktası, 1 rad/s'de %24,7 gerinim değerinde gerçekleşmiştir. %0,1 gerinim değeri doğrusal olmayan davranış başlangıç değeri olarak belirlenmiştir.	Hem G' hem de G'' modülü, doğrusal olmayan bölgede keskin bir düşüş göstermiştir, bu da akışkan içinde kuvvetli kayma kaynaklı yapısal değişiklikleri işaret etmektedir. Gerilim tepkisinin elastik analizinde, büyük gerilimlerde kayma geriliminin yukarı doğru dönüşü ile gerinim sertleşmesi davranışı gözlenmiştir. Viskoz analizde döngülerin saat yönünün tersine dönüşü, doğrusal olmayan bölgede gerinim yumuşaması davranışı olarak yorumlanmıştır. Doğrusal olmamanın elastik ve viskoz göstergelerinin (e_3/e_1 , v_3/v_1 , S ve T) tümü hem gerinim hem de frekansa bağlı olarak bulunmuştur. Salça için gerinim sertleşmesi ($e_3/e_1 > 0$) %2,65 gerinim değerinden sonra gözlenmiştir. %0,65 gerinim değerinden sonra frekanstaki artış, v_3/v_1 değerini önemli ölçüde değiştirmiştir. Frekansa bağlı olarak yerel bir maksimum veya minimum gözlemlenen orta doğrusal olmayan bölge olarak kabul edilen %0,65-4,32 gerinim aralığında güçlü bir frekans bağımlılığı görülmüştür. Döngü içi kayma kalınlaşması davranışı bir maksimum (sırasıyla 0.5 rad/s ve 15 rad/s frekans için gerinim ~%30 ve ~%18'i) değer göstermiş ve ardından azalan bir eğilim göstermiştir. S ve T oranları dikkate alındığında da benzer ancak biraz daha az belirgin sonuçlar gözlenmiştir.	Duvarcı ve diğ. (2017a)
Mayonez	LAOS	0.5 rad/s 1 rad/s 5 rad/s 10 rad/s 15 rad/s	%0,01- %200		Gerinim tarama testi	Doğrusal olmama, 1 rad/s'de ~%4,3 gerinimde başlamıştır. Doğrusal bölgede $G'_M = G'_L = G'$ olarak elde edilmiştir. G'_M , G'_L ve G' değerlerinin gerinim bağımlılığı oldukça benzer olarak bulunmuştur.	Hem G' hem de G'' modülü, artan gerinimle azalmaya başlamıştır ve LAOS bölgesinin girişinde önemli bir düşüş göstermiştir. G' ve G'''in kesişim noktalarının, frekansa büyük ölçüde bağlı olmadığı görülmüştür. Frekans arttıkça, hem G' hem de G'' artmıştır. Mayonezin yağ damlacıkları arasındaki çekici ve itici kuvvetler arasındaki denge nedeniyle çok esnek bir yapıya sahip olmasına rağmen, özellikle yüksek frekanslarda gerilme tepkisi, elastik ve viskoz bileşenler daha yüksek hale gelmiştir. Mayonez, hafif bir döngü içi gerinim yumuşaması gösterirken doğrusal olmama başladığında döngü içi gerinim sertleşmesi göstermiştir. Gerinim maksimum değerine, σ'_0 / σ_{max} , yaklaştığında, döngü içi gerinim sertleşmesi nedeniyle Lissajous eğrilerinde saat yönünde bir dönüş vardır. Bu durumun, mayonezin süspansiyon ağının bozulması nedeniyle ortaya çıkmış olabileceği düşünülmüştür. Kalınlaşma oranı (T) doğrusal olmayan bölgede maksimuma ulaşmıştır ve daha büyük gerinimlerde düşmeye başlamıştır.	Duvarcı ve diğ. (2017b)

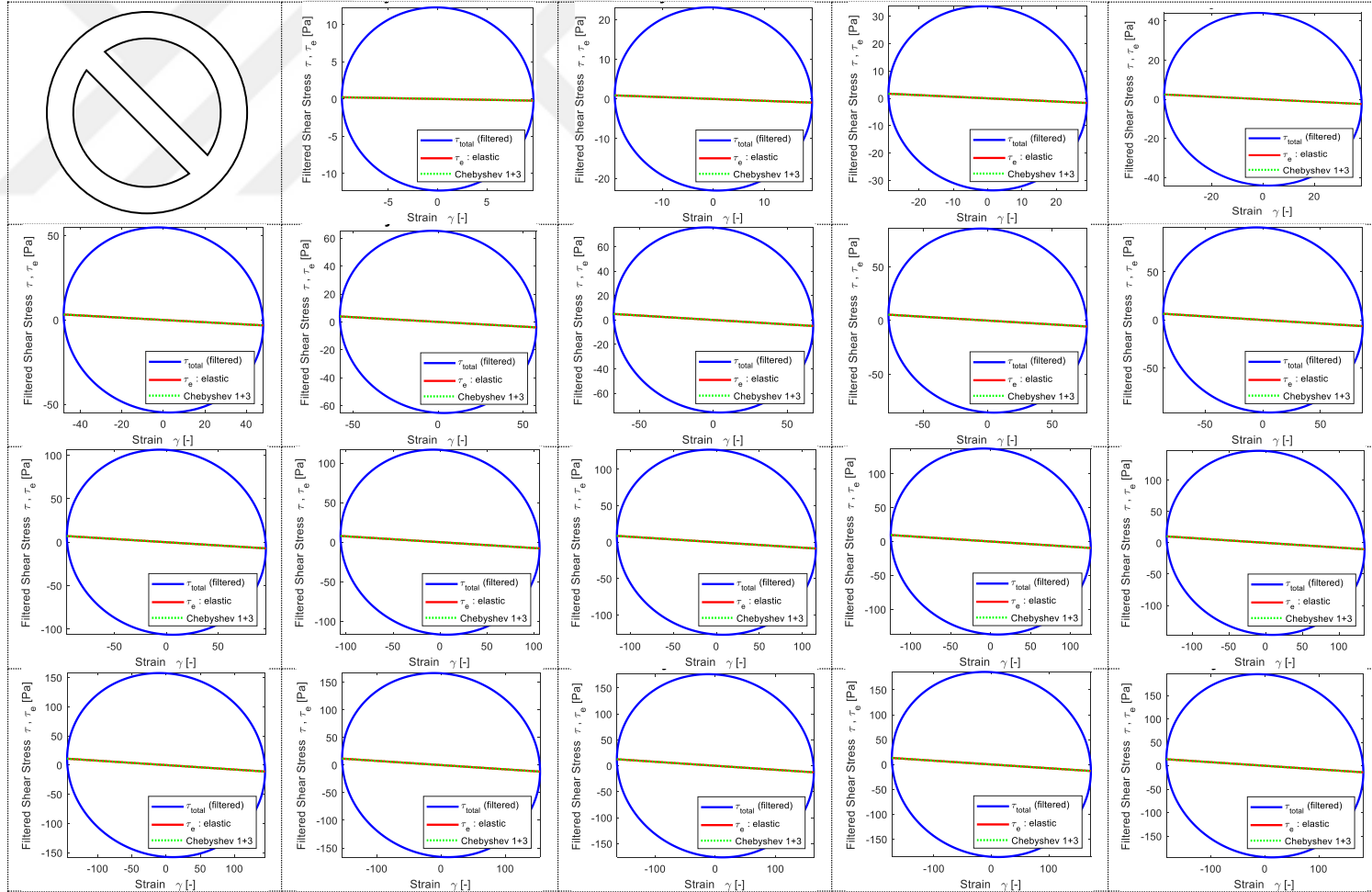
Çizelge A.5 (devam) : Bazı gıdaların doğrusal olmayan viskoelastik özellikleri üzerine yapılan çalışmalar.

Ürün adı ve bileşimi	Uygulanan doğrusal olmayan viskoelastik ölçüm					Sonuçlar		Kaynak
	Analizin ismi	Frekans aralığı	Gerinim	Sıcaklık	Doğrusal viskoelastik bölgeyi belirlemek için yapılan analizler	Reolojik model ve elde edilen sonuçlar	Yapılan değerlendirme	
Ekşi mayalı hamur Ekşi hamur oranı; %0, %10, %20, %30, %40 (toplam un ağırlığı üzerinden)	LAOS	10 rad/s	%0,005-200s ⁻¹	25°C	% gerinim değerine karşı G' ve G'' değerleri için çizilen grafiğe göre belirleme yapılmıştır.	LAOS bölgesinin girişinde ekşi hamur içermeyen numunenin hem G' hem de G'' değerleri önemli bir düşüş göstermiştir. Bu değerler artan gerilim ile hızlı bir şekilde düşmeye başlarken, diğer numunelerinkiler yavaşça doğrusal olmayan bölgeye girmiştir. Doğrusal rejimde G' ve G'' değerleri arasındaki farkın, hamurdaki ekşi maya miktarı arttıkça doğrusal olmayan rejimde bu değerler arasındaki farktan daha fazla olduğu görülmüştür.	Gerilim ve gerinim değerlerindeki artışla birlikte Lissajous eğrileri genişlemiştir, akış davranışı elastikten viskoza dönmüştür, artan ekşi maya miktarı da benzer sonuca sebep olmuştur. Viskoz projeksiyonlar, ekşi maya içeren numunelerin kontrol numunesine göre daha dar boyut ve daha eliptik şekil sergilediğini doğrulamıştır. Ekşi maya içeren numuneler daha sıvı benzeri özellik göstermiştir. Kontrol numunesi, viskoz projeksiyonda en düşük sıvı benzeri davranışa sahip olduğunu ortaya koyan daha büyük elipsler göstermiştir. e ₃ /e ₁ , v ₃ /v ₁ , G' _M -G' _L , η' _M -η' _L , S ve T parametreleri, doğrusal olmayan viskoelastik özelliklerin kuvvetli gerilme bağımlılığını ortaya çıkarmıştır. Bu parametreler, elastik Lissajous eğrileri ile tutarlı olan gerinim yumuşaması davranışını ve doğrusal olmayan bölgede ekşi maya miktarı arttıkça viskoz Lissajous eğrileri ile uyumlu olan kayma incelmeleri davranışını doğrulamıştır. e ₃ /e ₁ değerleri pozitif olarak bulunmuştur, bu da numunelerin gerilim sertleşmesi gösterdiğini göstermektedir. Bu davranış, %50-70 civarında bir gerinim değerine kadar baskındır, ancak bu gerilim değerinden sonra, gerinim arttıkça glüten ağındaki bağlardaki kopma nedeniyle e ₃ /e ₁ değerleri keskin bir şekilde düşmeye başlamıştır. Bu durum, gerinim yumuşaması davranışına yol açmıştır. Ekşi maya ilavesinin, Lissajous eğrilerinin normalize edilmemiş ve normalize edilmiş elastik projeksiyonlarından yorumlanan sonuçları kanıtlayan S değerleriyle gösterildiği gibi hamurun gerinim sertleşmesi davranışını azalttığı belirlenmiştir. Gerinim sertleştirme davranışı ve ardından gerinim arttıkça gerinim yumuşaması davranışı, G' _L ve G' _M değerleri ile de doğrulanmıştır. Yapılan çalışmada hamur numunelerinin doğrusal olmayan bölgede negatif v ₃ /v ₁ değerleri verdiği tespit edilmiş, bu da tüm numunelerin kayma incelmeleri davranışı sergilediğini düşündürmüştür. S değerlerinin tersine, hamur numuneleri %50-70 civarında bir gerinim değerinde azalma gösteren T değerleri sergilemiştir. Bu düşüşü, bu gerinim değerinden sonra belirgin kayma kalınlaşması davranışını düşündüren bir artış izlemiştir ve bu, bu gerinim değerlerine kadar hamurdaki ekşi maya miktarı arttıkça daha belirgindir.	Mavis ve diğ. (2019)

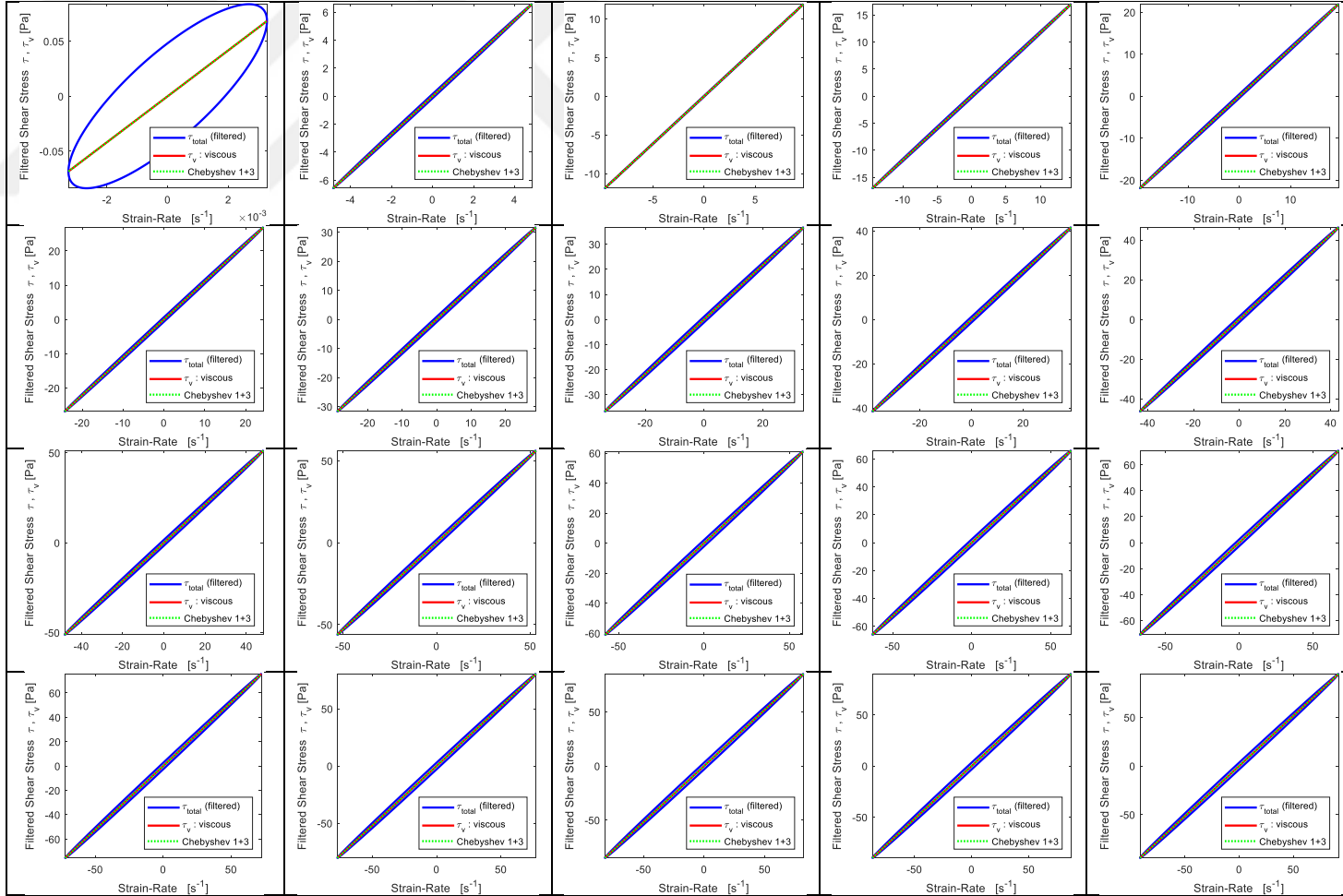
EK B



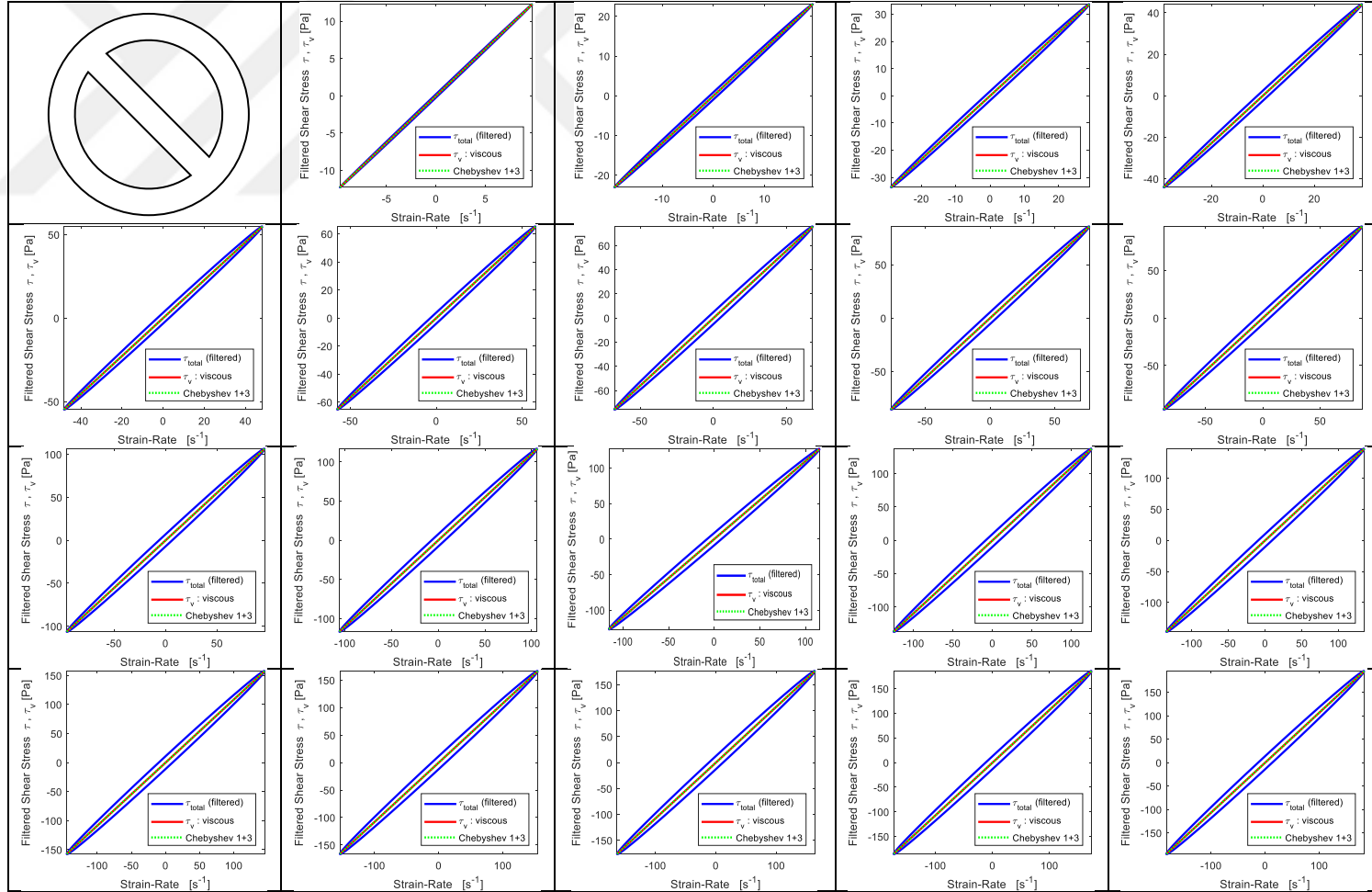
Şekil B.1 : Tahin numunesinin %0,01 ile %300 gerinim aralığında ve 0,5 rad/s frekansta analiz edilmesiyle elde edilen elastik Lissajous-Bowditch eğrileri.



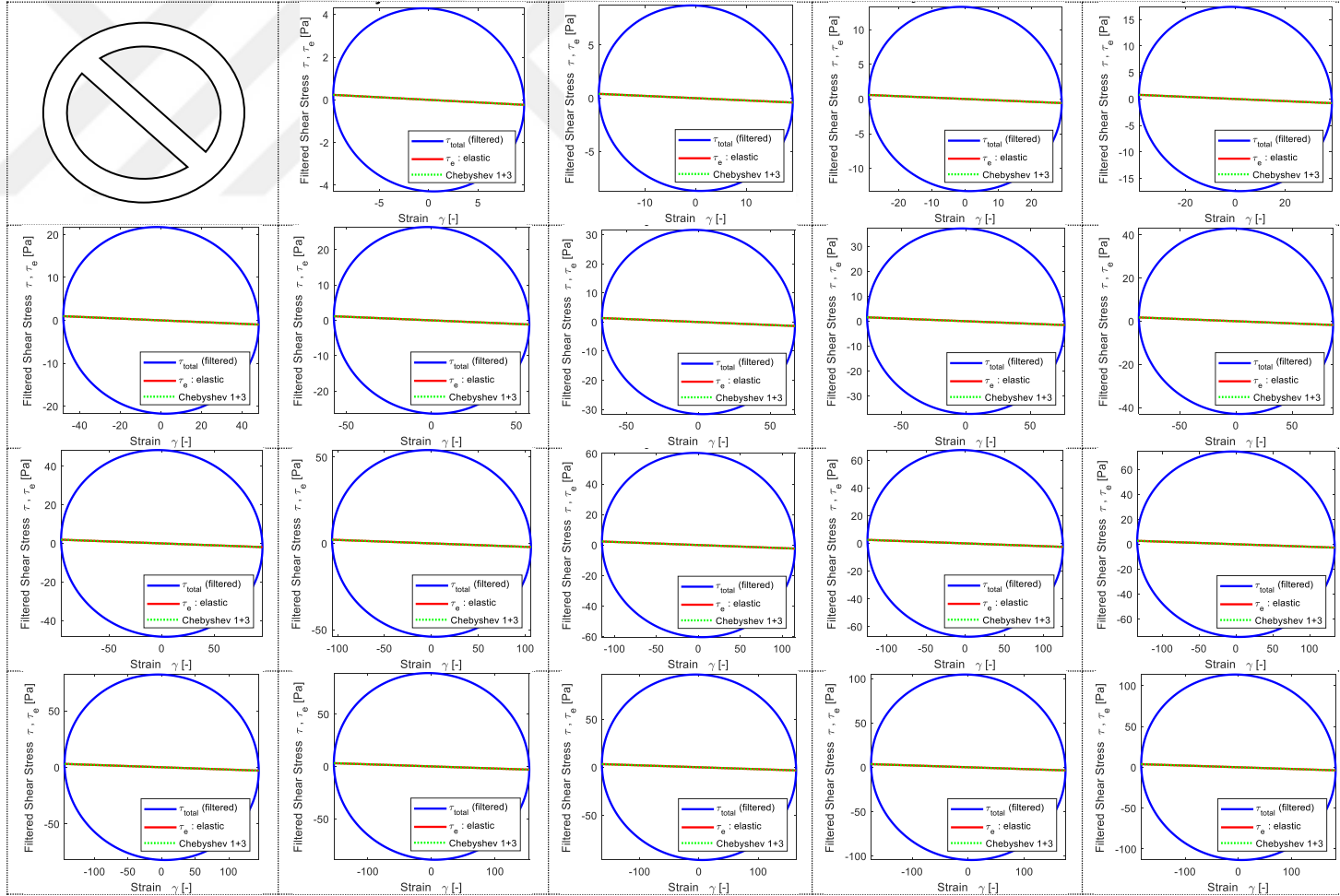
Şekil B.2 : Tahin numunesinin %0,01 ile %300 gerinim aralığında ve 1 rad/s frekansta analiz edilmesiyle elde edilen elastik Lissajous-Bowditch eğrileri.



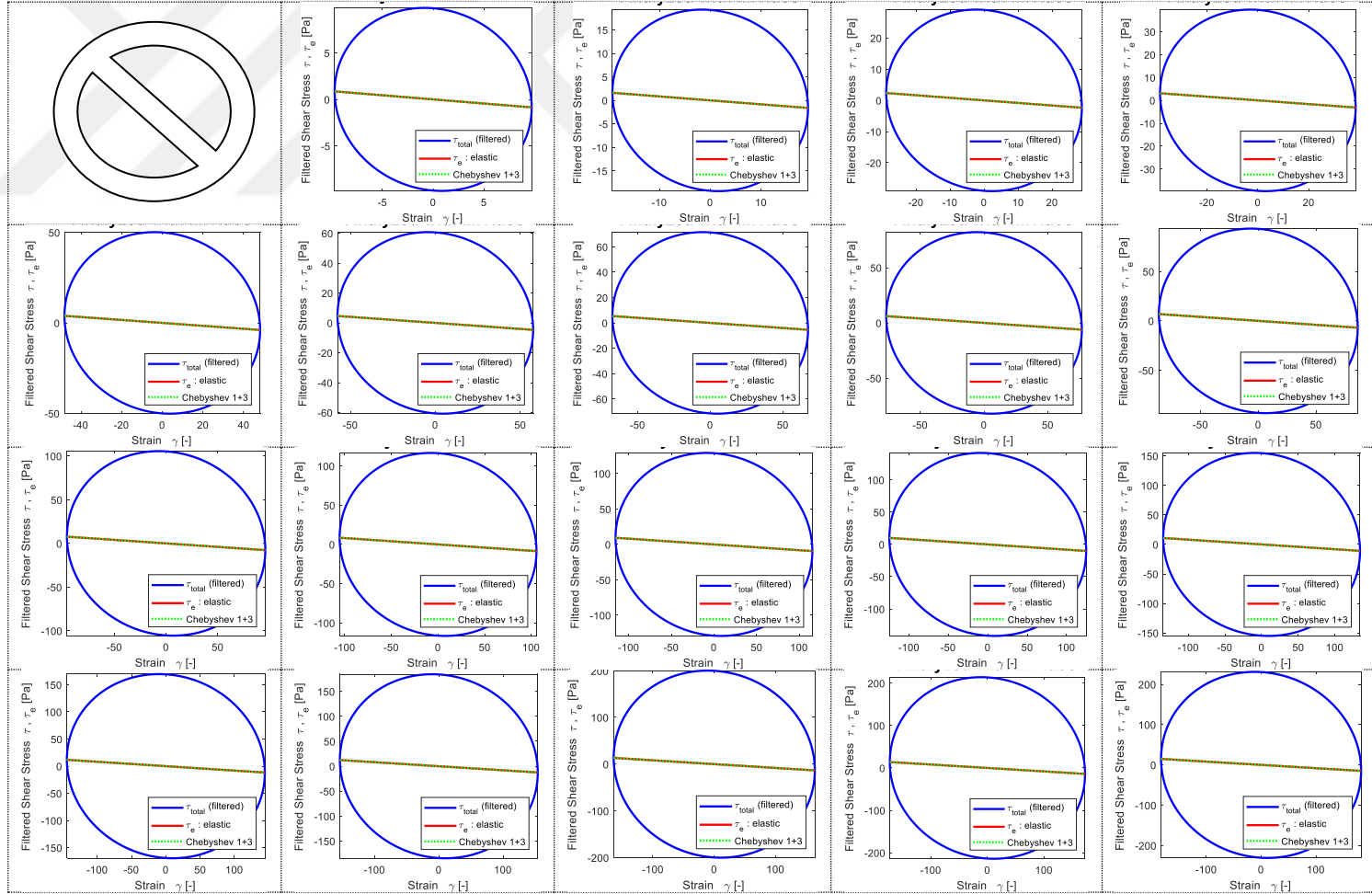
Şekil B.3 : Tahin numunesinin %0,01 ile %300 gerinim aralığında ve 0,5 rad/s frekansta analiz edilmesiyle elde edilen viskoz Lissajous-Bowditch eğrileri.



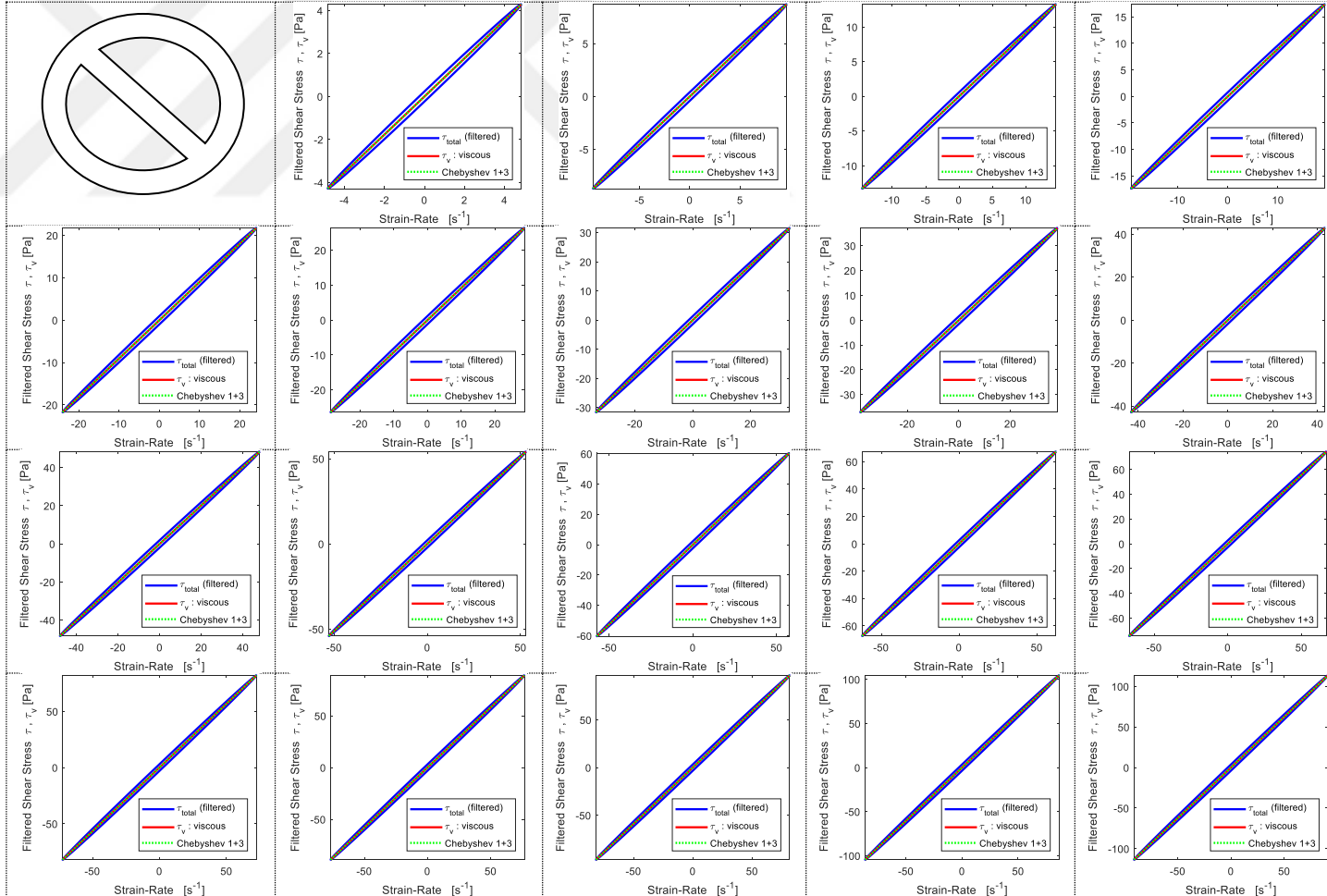
Şekil B.4 : Tahin numunesinin %0,01 ile %300 gerinim aralığında ve 1 rad/s frekansta analiz edilmesiyle elde edilen viskoz Lissajous-Bowditch eğrileri.



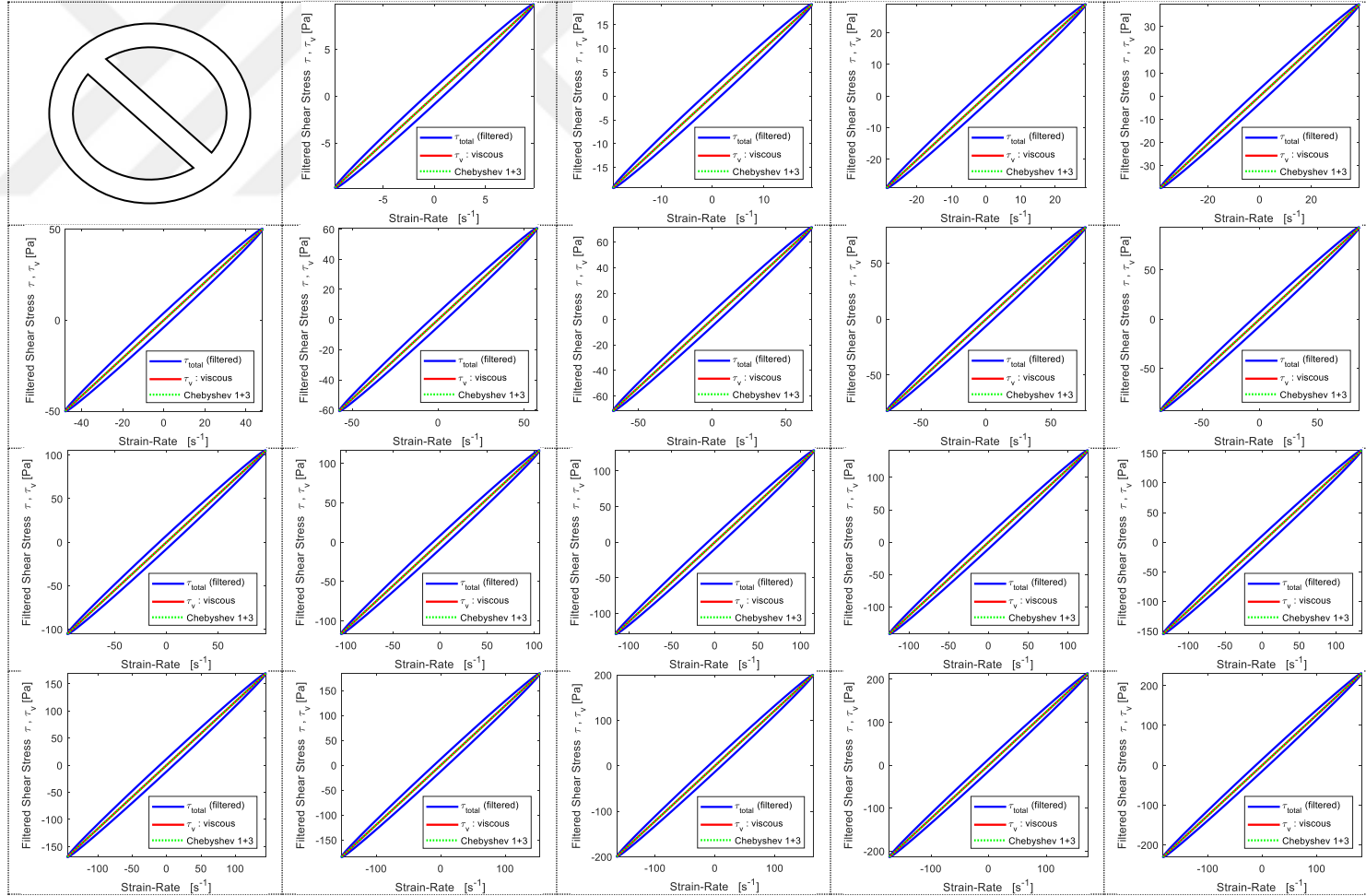
Şekil B.5 : Pekmez numunesinin %0,01 ile %300 gerinim aralığında ve 0,5 rad/s frekansta analiz edilmesiyle elde edilen elastik Lissajous-Bowditch eğrileri.



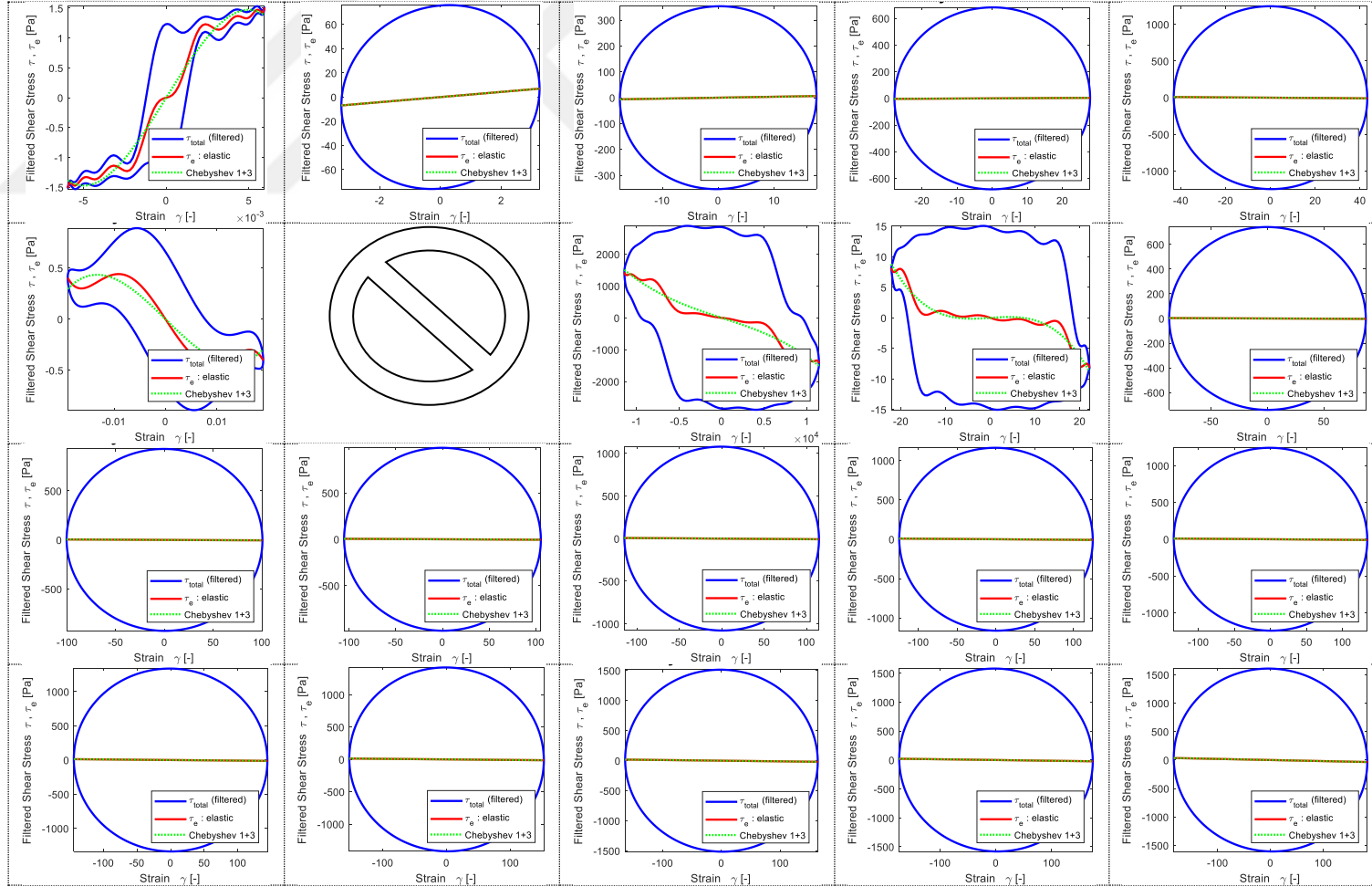
Şekil B.6 : Pekmez numunesinin %0,01 ile %300 gerinim aralığında ve 1 rad/s frekansta analiz edilmesiyle elde edilen elastik Lissajous-Bowditch eğrileri.



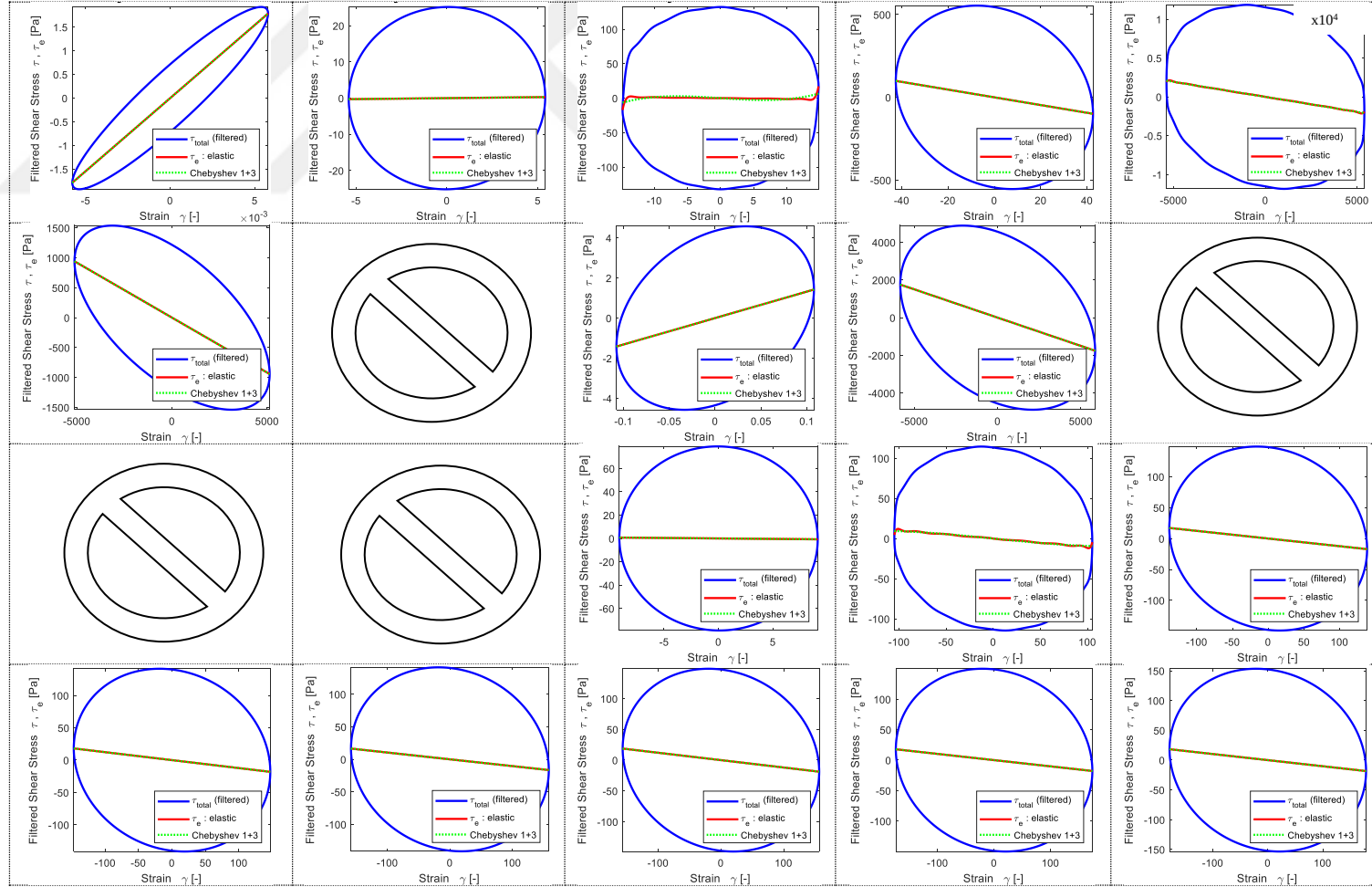
Şekil B.7 : Pekmez numunesinin %0,01 ile %300 gerinim aralığında ve 0,5 rad/s frekansta analiz edilmesiyle elde edilen viskoz Lissajous-Bowditch eğrileri.



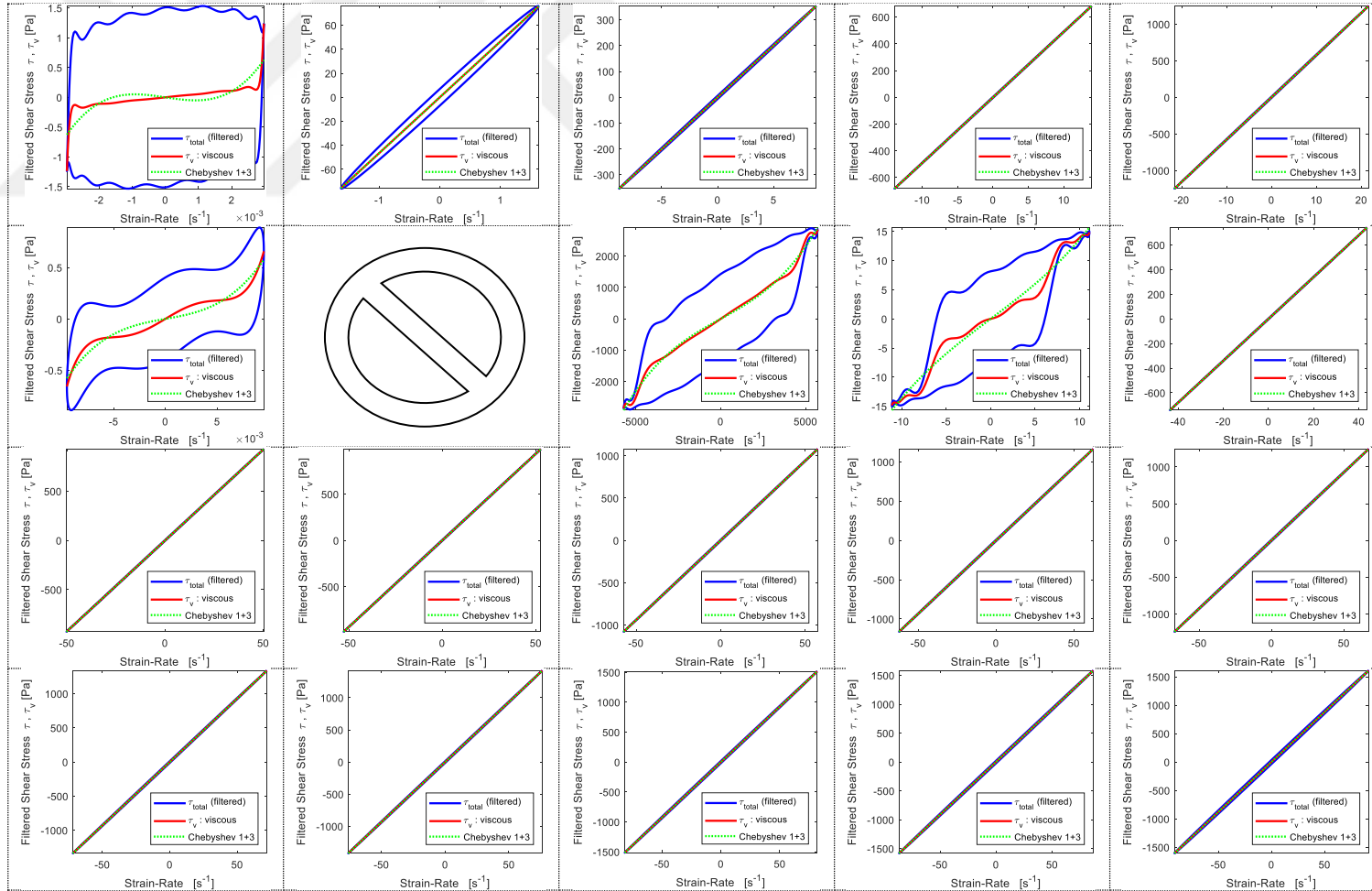
Şekil B.8 : Pekmez numunesinin %0,01 ile %300 gerinim aralığında ve 1 rad/s frekansta analiz edilmesiyle elde edilen viskoz Lissajous-Bowditch eğrileri.



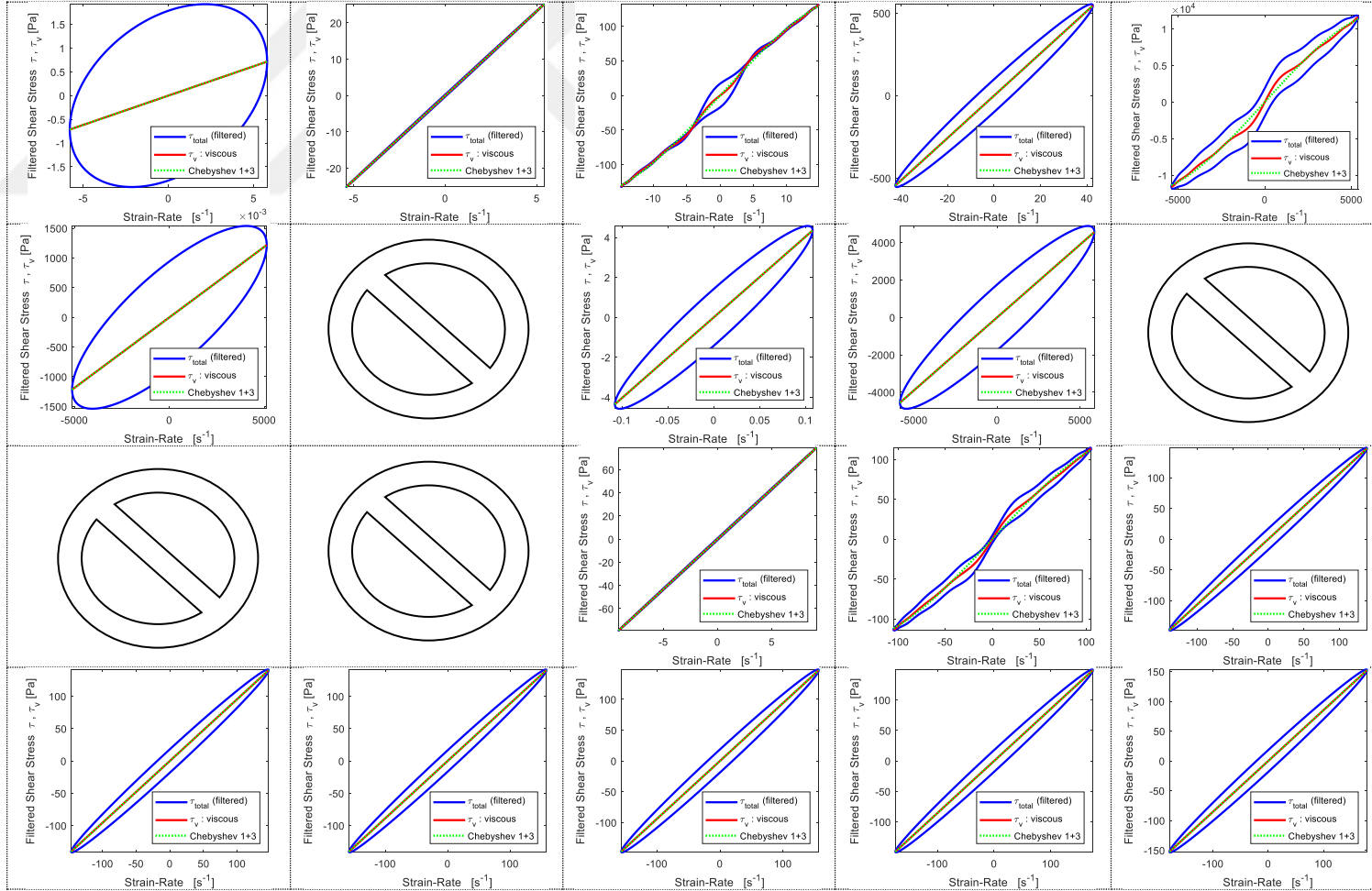
Şekil B.9 : Tahin : pekmez (50:50) karışımının %0,01 ile %300 gerinim aralığında ve 0,5 rad/s frekansta analiz edilmesiyle elde edilen elastik Lissajous-Bowditch eğrileri.



Şekil B.10 : Tahin : pekmez (50:50) karışımının %0,01 ile %300 gerinim aralığında ve 1 rad/s frekansta analiz edilmesiyle elde edilen elastik Lissajous-Bowditch eğrileri.



Şekil B.11 : Tahin : pekmez (50:50) karışımının %0,01 ile %300 gerinin aralığında ve 0,5 rad/s frekansta analiz edilmesiyle elde edilen viskoz Lissajous-Bowditch eğrileri.



Şekil B.12 : Tahin : pekmez (50:50) karışımının %0,01 ile %300 gerinim aralığında ve 1 rad/s frekansta analiz edilmesiyle elde edilen viskoz Lissajous-Bowditch eğrileri.

Çizelge B.1 : Tahin numunelerinin e_3/e_1 , v_3/v_1 , S ve T değerleri.

TAHİN														
0,5 rad/s					1 rad/s					5 rad/s				
$\gamma (-)$	e_3/e_1	S	v_3/v_1	T	$\gamma (-)$	e_3/e_1	S	v_3/v_1	T	$\gamma (-)$	e_3/e_1	S	v_3/v_1	T
0,009668	-0,000027	-0,001874	0,000161	0,00056	15,79	0,0000033	-0,000073	0,0000000	0,0000004	15,9	-0,00000005	0,000001	-0,00000001	0,0000001
15,73	0,001658	0,038435	-0,000008	-0,00010	31,63	0,0000002	0,000001	0,0000001	0,0000010	31,59	-0,00000005	0,000000	0,00000002	0,0000003
31,66	0,000006	0,000089	0,000000	0,00000	47,28	0,0004985	0,007050	0,0002836	0,0023685	47,51	0,00000011	0,000000	-0,00000002	-0,0000007
47,4	0,000004	0,000053	0,000000	0,00000	62,97	0,0000017	0,000002	-0,0000001	0,0000000	62,98	0,00000000	-0,000001	0,00000001	-0,0000005
63,29	-0,001898	-0,033050	-0,000271	-0,00367	78,89	0,0000007	-0,000014	-0,0000001	-0,0000001	78,9	0,00000000	0,000001	0,00000000	-0,0000006
79,12	-0,000001	-0,000007	0,000000	0,00000	94,61	0,0000017	0,000005	-0,0000001	-0,0000005	94,68	0,00000005	0,000001	0,00000000	0,0000001
94,62	0,000001	-0,000015	0,000000	0,00000	110,6	-0,0000009	-0,000033	0,0000000	0,0000001	110,5	0,00000003	0,000000	-0,00000002	0,0000003
110,7	-0,005563	-0,029624	-0,000103	-0,00011	125,7	0,0000006	0,000001	0,0000001	0,0000002	126,3	0,00000001	0,000000	-0,00000004	-0,0000003
126,2	-0,004314	-0,029175	-0,000025	-0,00009	142,1	0,0000001	0,000002	0,0000000	0,0000003	142	0,00000004	0,000001	-0,00000003	-0,0000005
141,9	-0,000254	-0,008838	-0,000272	-0,00386	157,8	-0,0009726	-0,008961	0,0002423	0,0023681	158	0,00000000	0,000000	-0,00000005	0,0000001
157,5	0,000001	-0,000012	0,000000	0,00000	173,7	0,0000000	-0,000009	0,0000000	-0,0000001	173,8	-0,00000005	0,000000	0,00000003	0,0000002
173,8	-0,000001	0,000013	0,000000	0,00000	189,5	0,0000007	0,000011	0,0000000	-0,0000002	189,6	-0,00000001	0,000000	-0,00000002	0,0000000
189,8	0,000001	-0,000010	0,000000	0,00000	205,4	0,0000015	0,000002	0,0000000	0,0000001	205,4	0,00000001	-0,000001	0,00000002	-0,0000001
205,4	0,000001	-0,000003	0,000000	0,00000	220,7	0,0000011	-0,000015	-0,0000001	-0,0000004	221	-0,00000005	-0,000002	0,00000002	0,0000002
220,9	0,001746	-0,000436	-0,000249	-0,00083	237,4	0,0000001	0,000004	0,0000000	0,0000000	236,9	0,00000007	0,000001	0,00000000	0,0000001
237	0,000545	0,001488	-0,000269	-0,00308	252,7	-0,0000004	-0,000006	0,0000000	-0,0000003	252,9	0,00000002	0,000000	0,00000005	0,0000002
252,9	0,000000	0,000006	0,000000	0,00000	268,6	-0,0000001	0,000009	0,0000000	-0,0000001	268,7	-0,00000010	-0,000001	0,00000004	0,0000002
268,5	0,000000	-0,000020	0,000000	0,00000	284,4	0,0000005	0,000012	0,0000000	0,0000004	284,5	0,00000007	0,000000	-0,00000003	-0,0000003
284,5	0,000001	0,000016	0,000000	0,00000	299,8	0,0000007	0,000007	-0,0000001	-0,0000003	300,2	-0,00000003	-0,000001	-0,00000003	-0,0000003
300,1	-0,000002	-0,000019	0,000000	0,00000										

Çizelge B.2 : Pekmez numunelerinin e_3/e_1 , v_3/v_1 , S ve T değerleri.

PEKMEZ														
0,5 rad/s					1 rad/s					5 rad/s				
γ (-)	e_3/e_1	S	v_3/v_1	T	γ (-)	e_3/e_1	S	v_3/v_1	T	γ (-)	e_3/e_1	S	v_3/v_1	T
15,72	-0,0000018	-0,00001	0,0000001	0,0000005	15,8	-0,0012600	-0,00914	0,0002486	0,0017971	0,009666	0,1714093818	0,26630	0,0391107698	0,23721250
31,4	-0,0015266	-0,01756	-0,0000095	0,0000156	31,59	-0,0025009	-0,01133	0,0001730	0,0019697	15,68	0,0000000154	0,00000	0,0000000069	0,00000025
47,38	-0,0000026	0,00001	0,0000000	0,0000000	47,17	-0,0009680	-0,01390	0,0002363	0,0018827	32,09	0,0000000675	0,00000	0,0000000017	0,00000011
63,29	-0,0000019	-0,00002	0,0000002	0,0000005	63,17	-0,0000003	0,00001	0,0000000	-0,0000001	46,85	-0,0000000434	0,00000	-0,0000000017	0,00000007
78,8	0,0000011	0,00001	0,0000001	0,0000006	78,6	0,0000000	0,00001	0,0000000	-0,0000001	62,92	0,0000000471	0,00000	0,0000000090	0,00000014
94,19	-0,0000018	-0,00001	-0,0000001	-0,0000002	94,74	-0,0000003	-0,00001	0,0000001	0,0000006	78,15	-0,0000001983	0,00000	-0,0000000331	0,00000046
110,1	0,0000014	-0,00001	0,0000000	0,0000001	110,5	-0,0000012	0,00000	-0,0000001	0,0000001	93,38	-0,0000000925	0,00000	0,0000000087	-0,00000003
125,5	0,0005901	0,00119	-0,0002686	-0,0029162	125,7	0,0000011	0,00002	0,0000000	0,0000000	110,8	0,0000000861	0,00000	-0,0000000199	-0,00000023
141,8	-0,0000006	-0,00003	0,0000001	0,0000003	140,8	0,0000000	0,00001	0,0000001	0,0000000	130,7	0,0000000698	0,00000	-0,0000000029	0,00000035
157,6	0,0034991	-0,00566	-0,0001733	0,0001457	157,9	0,0000006	0,00000	-0,0000001	-0,0000002	135,9	0,0432185659	0,32561	0,0891010724	0,25518530
173,3	0,0011609	0,00412	-0,0002615	-0,0017114	173,7	-0,0006985	-0,00159	0,0002623	0,0020248	158,8	0,0000000335	0,00000	-0,0000000122	0,00000033
188,6	0,0000012	-0,00001	-0,0000002	-0,0000002	189,5	-0,0000006	0,00001	0,0000001	-0,0000002	198,3	-0,0000001016	0,00000	0,0000000158	-0,00000013
204,3	0,0000031	0,00003	-0,0000001	0,0000000	204,3	0,0000000	0,00002	0,0000000	-0,0000004	202,1	0,0000000352	0,00000	0,0000000017	0,00000015
219,5	0,0011861	0,00474	-0,0002619	-0,0017863	218,9	0,0000001	0,00000	0,0000001	0,0000006	204,8	-0,0000000645	0,00000	-0,0000000344	0,00000014
236,8	-0,0000028	-0,00002	0,0000000	-0,0000006	236,8	-0,0010552	-0,01718	0,0002417	0,0021711	198,6	0,0000001088	0,00000	0,0000000155	-0,00000044
252	-0,0017181	-0,01727	-0,0000045	0,0001220	252,6	-0,0000015	-0,00004	0,0000000	0,0000003	201,1	0,0000000556	0,00000	-0,0000000068	0,00000016
267,7	-0,0017434	-0,01742	-0,0000042	0,0001216	268,4	0,0001957	-0,00324	0,0002761	0,0023659	242,6	0,0000000806	0,00000	0,0000000377	0,00000003
283,5	0,0000018	0,00001	-0,0000001	-0,0000002	281,2	0,0000009	-0,00001	0,0000000	0,0000006	229,8	0,0000000896	0,00000	-0,0000000130	0,00000009
299,2	-0,0001820	-0,00800	-0,0002723	-0,0038357	298,4	0,0000003	0,00002	0,0000000	-0,0000002	244,3	-0,0000000025	0,00000	0,0000000031	-0,00000005
										308,8	-0,0000000084	0,00000	-0,0000000124	-0,00000010

Çizelge B.3 : Tahin : pekmez (50:50) karışımı numunelerinin e_3/e_1 , v_3/v_1 , S ve T değerleri.

TAHİN PEKMEZ (50:50)														
0,5 rad/s					1 rad/s					5 rad/s				
γ (-)	e_3/e_1	S	v_3/v_1	T	γ (-)	e_3/e_1	S	v_3/v_1	T	γ (-)	e_3/e_1	S	v_3/v_1	T
0,01018	-0,1847558	0,7332	0,5353072	0,8483066	0,009566	-0,00000001	0,00000	-0,00000012	-0,00000003	0,009666	0,0000000551	0,000000	-0,0000000060	-0,00000133
5,365	0,0009808	0,0028	0,0000286	0,0001123	9,931	-0,00095549	-0,01751	0,00026506	0,00381659	15,68	0,0000000803	0,000001	-0,0000000186	-0,00000008
29,3	0,0000041	0,0000	0,0000001	0,0000002	28,02	1,57325879	0,97435	-0,04599648	0,16848480	32,09	0,0000000062	0,000000	-0,0000000019	-0,00000004
46,62	-0,0220834	-0,0369	-0,0001206	-0,0003687	69,3	0,00000037	0,00001	-0,00000005	-0,00000026	46,85	-0,0000000763	0,000001	-0,0000000138	0,00000007
70,22	0,0139669	0,0018	-0,0000266	0,0000093	9540	0,00127503	-0,22156	-0,05500030	-1,15601900	62,92	0,0000001661	-0,000002	0,0000000271	0,00000030
0,2505	-0,3495723	-2,6447	0,2132717	0,1253365	8836	-0,00000005	0,00000	0,00000012	-0,00000002	78,15	0,0000000962	0,000003	-0,0000000041	-0,00000019
17980	0,0904270	0,7516	0,1147138	0,2553528	0,2542	-0,00000026	0,00000	-0,00000017	-0,00000035	93,38	0,0000000172	0,000000	-0,0000000017	0,00000037
53,63	0,3909653	0,3380	0,0495038	0,7215294	9339	-0,00000047	0,00000	0,00000009	0,00000026	110,8	-0,0000000011	0,000000	0,0000000221	-0,00000001
144	-0,0000088	0,0001	0,0000000	-0,0000003	18,22	-0,00000090	-0,00004	-0,00000003	-0,00000009	130,7	-0,0000000663	0,000001	0,0000000150	0,00000026
165,1	-0,0376671	-0,1528	-0,0000891	0,0000237	184,4	-0,07133236	-2,73345	-0,04406579	-0,77890290	135,9	0,0000001376	-0,000001	-0,0000000285	-0,00000012
173,2	-0,0000102	-0,0001	-0,0000001	-0,0000004	224,4	0,00000039	-0,00001	-0,00000002	0,00000023	158,8	-0,0000000283	0,000001	0,0000000124	-0,00000021
187,7	-0,0222348	-0,0768	-0,0000297	-0,0001107	240	0,00000038	0,00000	-0,00000008	-0,00000062	198,3	0,0000000043	0,000001	0,0000000234	0,00000034
205,1	-0,0000079	-0,0002	0,0000001	0,0000003	257,7	0,00000061	0,00001	-0,00000015	0,00000009	202,1	0,0000000417	0,000000	-0,0000000109	-0,00000035
220,1	0,0000050	0,0000	0,0000000	-0,0000003	258,2	-0,00000023	-0,00001	0,00000007	0,00000040	204,8	-0,0000000843	0,000000	-0,0000000063	-0,00000008
237,5	0,0000051	0,0000	0,0000000	-0,0000003	286,6	0,00000018	0,00000	-0,00000005	-0,00000032	198,6	-0,0000000342	0,000001	0,0000000127	-0,00000007
250,7	0,0000080	-0,0001	0,0000000	-0,0000002	294,7	0,00000111	-0,00001	-0,00000005	-0,00000031	201,1	0,0000000269	0,000001	-0,0000000202	-0,00000004
268,4	-0,0000003	0,0002	0,0000001	0,0000004						242,6	-0,0000000465	0,000001	0,0000000297	0,00000025
285,9	-0,0086029	-0,0704	-0,0000103	-0,0002078						229,8	-0,0000000836	-0,000002	-0,0000000361	-0,00000007
299,7	0,0000021	0,0000	0,0000000	-0,0000006						244,3	0,0000001183	0,000002	0,0000000264	0,00000002
										308,8	0,0000001076	0,000000	0,0000000066	0,00000007

*Kalın yazıyla belirtilmiş olan değerler analiz şartları dışında bir gerenim değerinde elde edilmesi sebebiyle değerlendirmeye dahil edilmemiştir.

Çizelge B.4 : Tahin numunelerinin G'_1 , G'_M , G'_L ve G'_L/G'_M değerleri.

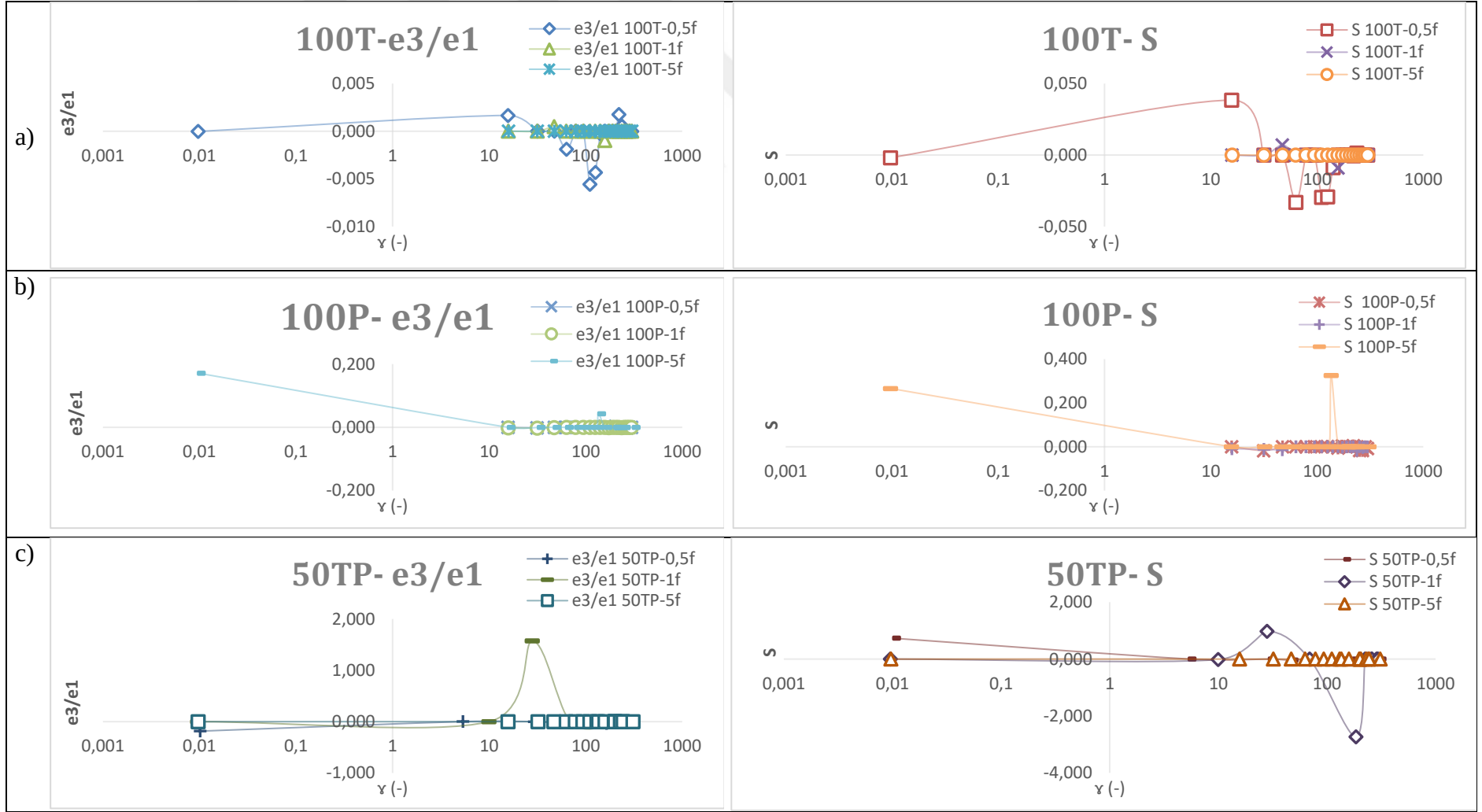
TAHİN														
0,5 rad/s					1 rad/s					5 rad/s				
γ (-)	G'_1 (Pa)	G'_M (Pa)	G'_L (Pa)	G'_L/G'_M	γ (-)	G'_1 (Pa)	G'_M (Pa)	G'_L (Pa)	G'_L/G'_M	γ (-)	G'_1 (Pa)	G'_M (Pa)	G'_L (Pa)	G'_L/G'_M
0,009668	7,378	7,392	7,379	0,998129	15,79	0,023	0,023	0,023	1,000	15,9	1,721	1,721	1,721	1,000
15,73	0,016	0,015	0,016	1,039971	31,63	0,047	0,047	0,047	1,000	31,59	1,819	1,819	1,819	1,000
31,66	0,003	0,003	0,003	1,000089	47,28	0,059	0,058	0,058	1,007	47,51	1,864	1,864	1,864	1,000
47,4	0,010	0,010	0,010	1,000053	62,97	0,063	0,063	0,063	1,000	62,98	1,884	1,884	1,884	1,000
63,29	0,012	0,012	0,012	0,968007	78,89	0,067	0,067	0,067	1,000	78,9	1,900	1,900	1,900	1,000
79,12	0,013	0,013	0,013	0,999993	94,61	0,068	0,068	0,068	1,000	94,68	1,911	1,911	1,911	1,000
94,62	0,016	0,016	0,016	0,999985	110,6	0,073	0,073	0,073	1,000	110,5	1,913	1,913	1,913	1,000
110,7	0,017	0,017	0,017	0,971229	125,7	0,072	0,072	0,072	1,000	126,3	1,920	1,920	1,920	1,000
126,2	0,017	0,017	0,016	0,971652	142,1	0,074	0,074	0,074	1,000	142	1,927	1,927	1,927	1,000
141,9	0,016	0,017	0,016	0,991240	157,8	0,073	0,074	0,073	0,991	158	1,929	1,929	1,929	1,000
157,5	0,017	0,017	0,017	0,999988	173,7	0,074	0,074	0,074	1,000	173,8	1,935	1,935	1,935	1,000
173,8	0,018	0,018	0,018	1,000013	189,5	0,075	0,075	0,075	1,000	189,6	1,937	1,937	1,937	1,000
189,8	0,018	0,018	0,018	0,999990	205,4	0,076	0,076	0,076	1,000	205,4	1,939	1,939	1,939	1,000
205,4	0,019	0,019	0,019	0,999997	220,7	0,076	0,077	0,076	1,000	221	1,942	1,942	1,942	1,000
220,9	0,019	0,019	0,019	0,999564	237,4	0,076	0,076	0,076	1,000	236,9	1,943	1,943	1,943	1,000
237	0,018	0,018	0,018	1,001491	252,7	0,076	0,076	0,076	1,000	252,9	1,945	1,945	1,945	1,000
252,9	0,019	0,019	0,019	1,000006	268,6	0,077	0,077	0,077	1,000	268,7	1,945	1,945	1,945	1,000
268,5	0,019	0,019	0,019	0,999979	284,4	0,076	0,076	0,076	1,000	284,5	1,948	1,948	1,948	1,000
284,5	0,019	0,019	0,019	1,000016	299,8	0,076	0,076	0,076	1,000	300,2	1,949	1,949	1,949	1,000
300,1	0,019	0,019	0,019	0,999980										

Çizelge B.5 : Pekmez numunelerinin G'_1 , G'_M , G'_L ve G'_L/G'_M değerleri.

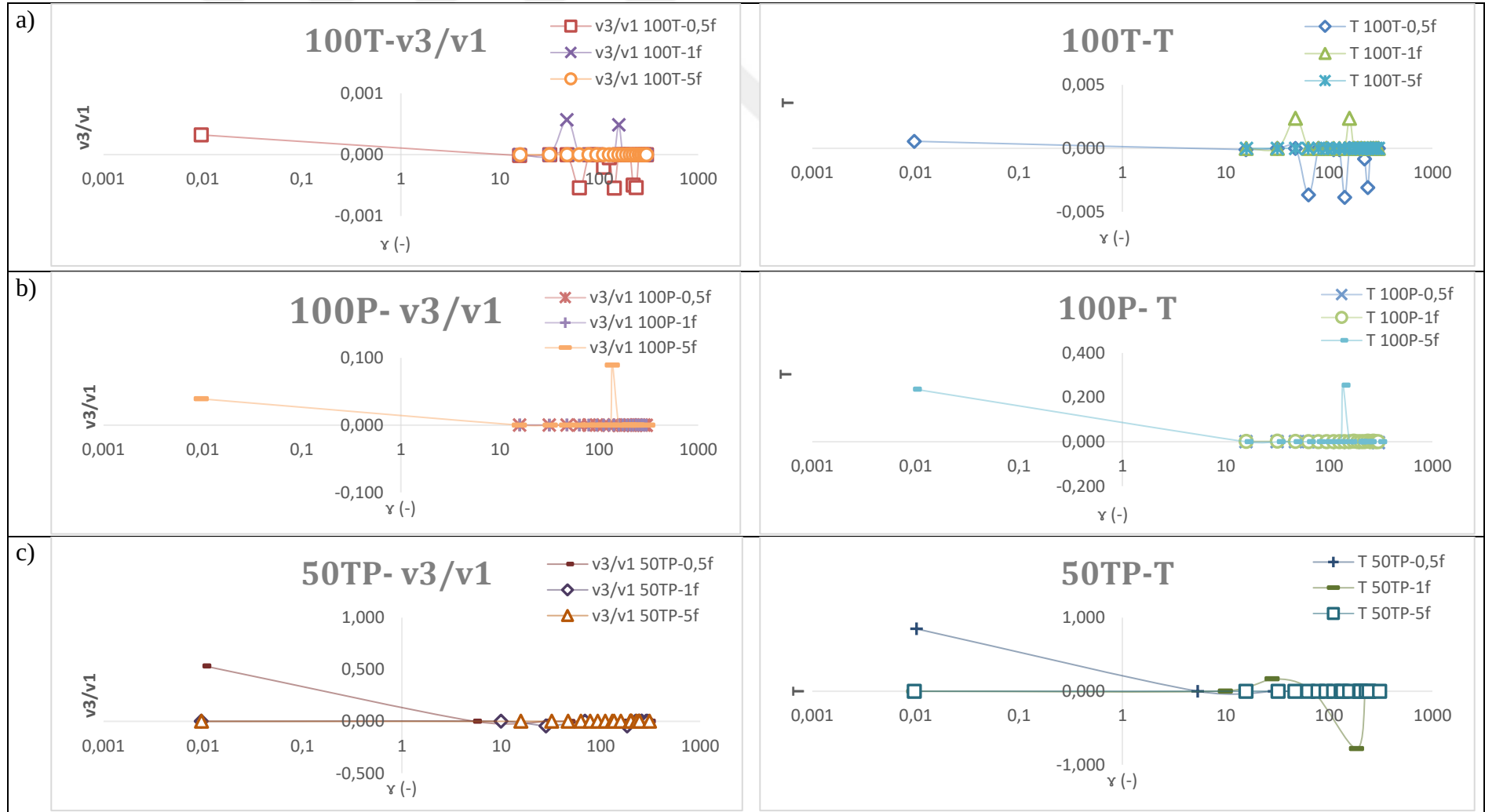
PEKMEZ														
0,5 rad/s					1 rad/s					5 rad/s				
γ (-)	G'_1 (Pa)	G'_M (Pa)	G'_L (Pa)	G'_L/G'_M	γ (-)	G'_1 (Pa)	G'_M (Pa)	G'_L (Pa)	G'_L/G'_M	γ (-)	G'_1 (Pa)	G'_M (Pa)	G'_L (Pa)	G'_L/G'_M
15,72	0,024	0,024	0,024	0,999986	15,8	0,089	0,089	0,088	0,990941	0,009666	2,197	1,721	2,345	1,362954
31,4	0,021	0,022	0,021	0,982746	31,59	0,084	0,084	0,083	0,988799	15,68	1,935	1,935	1,935	1,000000
47,38	0,020	0,020	0,020	1,000012	47,17	0,082	0,083	0,082	0,986293	32,09	1,959	1,959	1,959	1,000000
63,29	0,020	0,020	0,020	0,999979	63,17	0,081	0,081	0,081	1,000006	46,85	1,962	1,962	1,962	1,000000
78,8	0,020	0,020	0,020	1,000011	78,6	0,081	0,081	0,081	1,000013	62,92	1,962	1,962	1,962	1,000001
94,19	0,020	0,020	0,020	0,999988	94,74	0,081	0,081	0,081	0,999992	78,15	1,963	1,963	1,963	1,000003
110,1	0,020	0,020	0,020	0,999989	110,5	0,080	0,080	0,080	0,999998	93,38	1,962	1,962	1,962	0,999999
125,5	0,020	0,020	0,020	1,001186	125,7	0,080	0,080	0,080	1,000017	110,8	1,964	1,963	1,964	1,000001
141,8	0,020	0,020	0,020	0,999971	140,8	0,080	0,080	0,080	1,000006	130,7	1,964	1,964	1,964	1,000000
157,6	0,020	0,020	0,020	0,994371	157,9	0,080	0,080	0,080	0,999995	135,9	2,457	1,676	2,485	1,482824
173,3	0,020	0,020	0,020	1,004142	173,7	0,081	0,081	0,081	0,998410	158,8	1,966	1,966	1,966	1,000001
188,6	0,020	0,020	0,020	0,999995	189,5	0,081	0,081	0,081	1,000006	198,3	1,966	1,966	1,966	1,000001
204,3	0,020	0,020	0,020	1,000035	204,3	0,081	0,081	0,081	1,000024	202,1	1,966	1,966	1,966	0,999999
219,5	0,020	0,020	0,020	1,004758	218,9	0,081	0,081	0,081	1,000000	204,8	1,967	1,967	1,967	1,000001
236,8	0,020	0,020	0,020	0,999975	236,8	0,081	0,082	0,081	0,983112	198,6	1,968	1,968	1,968	1,000002
252	0,020	0,020	0,020	0,983022	252,6	0,081	0,081	0,081	0,999963	201,1	1,969	1,969	1,969	0,999999
267,7	0,020	0,020	0,020	0,982878	268,4	0,082	0,082	0,081	0,996767	242,6	1,970	1,970	1,970	0,999999
283,5	0,020	0,020	0,020	1,000009	281,2	0,081	0,081	0,081	0,999992	229,8	1,971	1,971	1,971	1,000001
299,2	0,021	0,021	0,021	0,992065	298,4	0,082	0,082	0,082	1,000015	244,3	1,972	1,972	1,972	1,000000
										308,8	1,973	1,973	1,973	1,000002

Çizelge B.6 : Tahin : pekmez (50:50) karışımı numunelerinin G'_1 , G'_M , G'_L ve G'_L/G'_M değerleri.

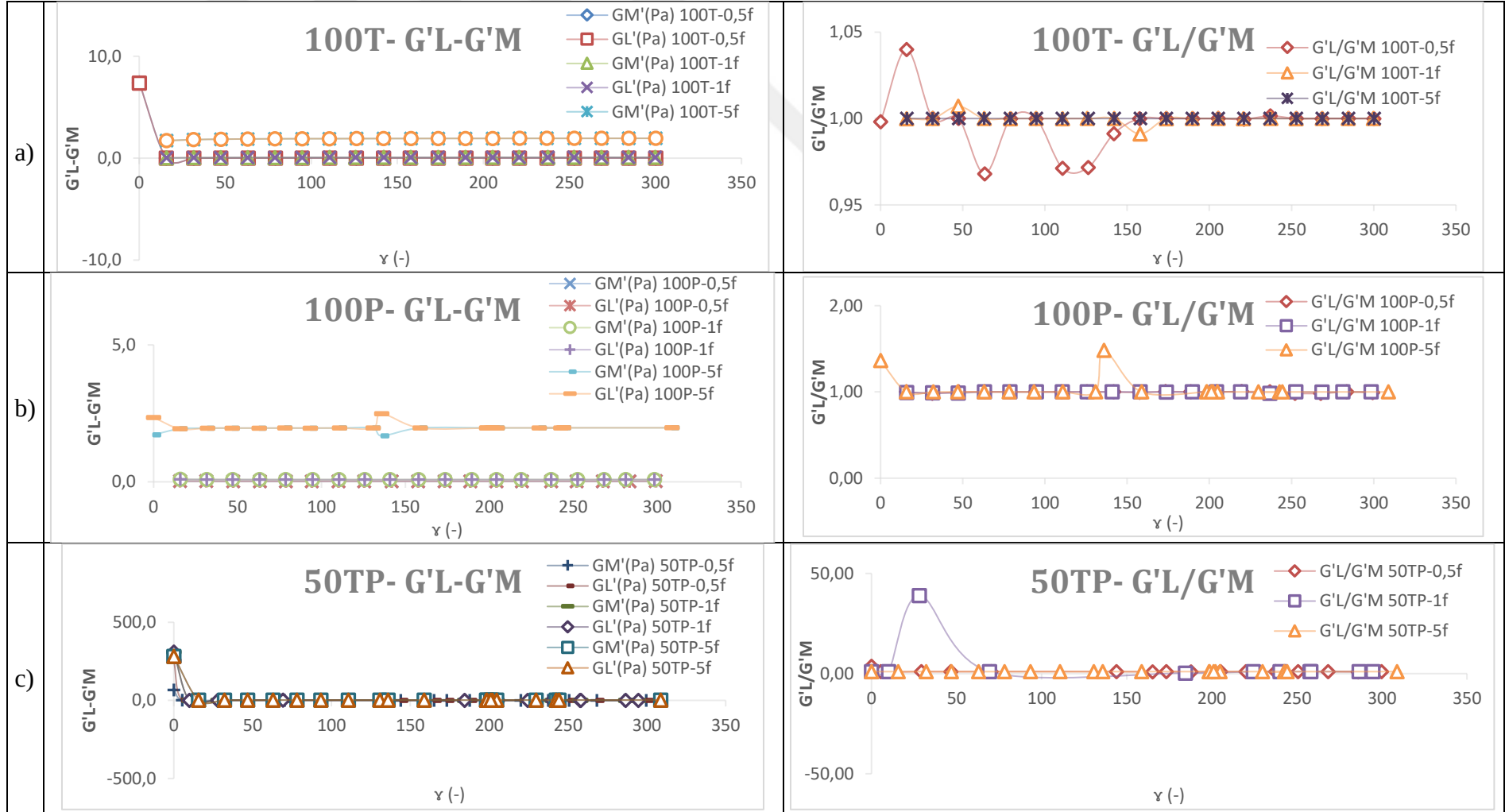
TAHİN PEKMEZ (50:50)														
0,5 rad/s					1 rad/s					5 rad/s				
γ (-)	G'_1 (Pa)	G'_M (Pa)	G'_L (Pa)	G'_L/G'_M	γ (-)	G'_1 (Pa)	G'_M (Pa)	G'_L (Pa)	G'_L/G'_M	γ (-)	G'_1 (Pa)	G'_M (Pa)	G'_L (Pa)	G'_L/G'_M
0,01018	285,985	67,925	254,584	3,748000	0,009566	308,952	308,952	308,952	0,999999	0,009666	282,376	282,376	282,376	1,000000
5,365	2,128	2,123	2,129	1,002848	9,931	0,053	0,055	0,054	0,982796	15,68	1,867	1,867	1,867	1,000001
29,3	0,360	0,360	0,360	0,999979	28,02	0,170	0,030	1,158	38,988818	32,09	1,892	1,892	1,892	0,999999
46,62	0,134	0,136	0,131	0,964423	69,3	2,331	2,331	2,331	1,000009	46,85	1,915	1,915	1,915	1,000001
70,22	0,203	0,204	0,204	1,001818	9540	0,386	0,431	0,353	0,818624	62,92	1,910	1,910	1,910	0,999998
0,2505	23,894	77,331	21,217	0,274367	8836	0,183	0,183	0,183	0,999999	78,15	1,895	1,895	1,895	1,000003
17980	0,121	0,031	0,125	4,026430	0,2542	13,201	13,201	13,201	1,000003	93,38	1,893	1,893	1,893	1,000000
53,63	0,285	0,243	0,367	1,510604	9339	0,300	0,300	0,300	0,999998	110,8	1,884	1,884	1,884	1,000001
144	0,038	0,038	0,038	1,000136	18,22	0,082	0,082	0,082	0,999965	130,7	1,902	1,902	1,902	1,000001
165,1	0,044	0,049	0,043	0,867448	184,4	0,096	0,160	0,043	0,267849	135,9	1,924	1,924	1,924	0,999999
173,2	0,049	0,049	0,049	0,999926	224,4	0,124	0,124	0,124	0,999989	158,8	1,920	1,920	1,920	1,000001
187,7	0,066	0,070	0,065	0,928645	240	0,123	0,123	0,123	1,000000	198,3	1,938	1,938	1,938	1,000002
205,1	0,068	0,068	0,068	0,999819	257,7	0,104	0,104	0,104	1,000010	202,1	1,959	1,959	1,959	1,000000
220,1	0,072	0,072	0,072	1,000006	258,2	0,120	0,120	0,120	0,999993	204,8	1,999	1,999	1,999	1,000001
237,5	0,086	0,086	0,086	1,000036	286,6	0,102	0,102	0,102	0,999999	198,6	1,961	1,961	1,961	1,000001
250,7	0,086	0,086	0,086	0,999948	294,7	0,103	0,103	0,103	0,999993	201,1	2,111	2,111	2,111	1,000000
268,4	0,111	0,111	0,111	1,000169						242,6	1,909	1,909	1,909	1,000001
285,9	0,128	0,136	0,127	0,934189						229,8	1,987	1,987	1,987	0,999997
299,7	0,192	0,192	0,192	0,999990						244,3	1,952	1,952	1,952	1,000002
										308,8	2,035	2,035	2,035	1,000000



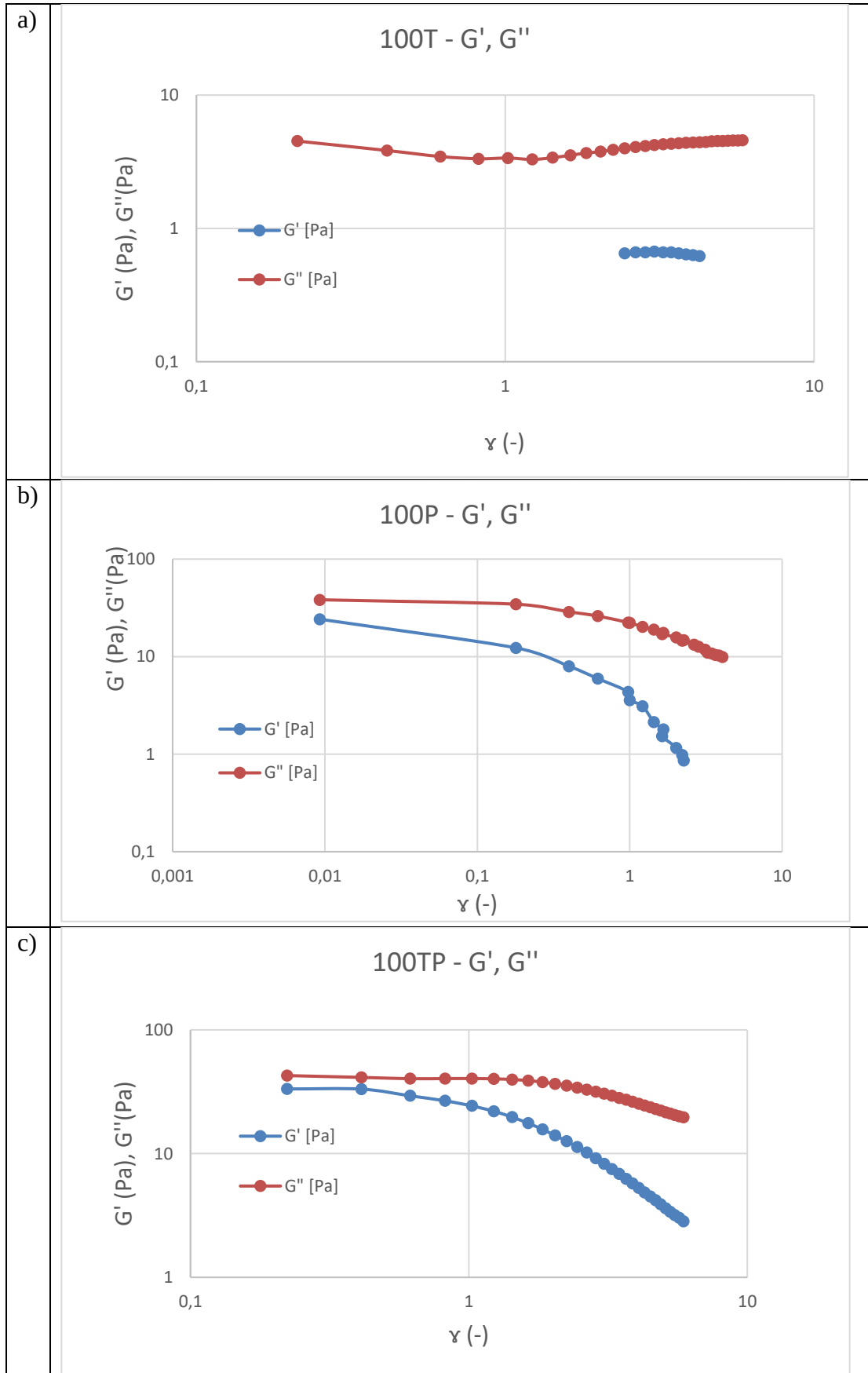
Şekil B.13 : Tahin, Pekmez ve Tahin-pekmaz karışımlarının e_3/e_1 ve S değerleri.



Şekil B.14 : Tahin, Pekmez ve Tahin-pekmaz karışımlarının v_3/v_1 ve T değerleri.



Şekil B.15 : Tahin, Pekmez ve Tahin-pekmaz karışımlarının G'_M , G'_L ve G'_L/G'_M değerleri.



Şekil B.16 : Tahin, Pekmez ve Tahin-pekmaz karışımlarının gerinim tarama testi sonucunda elde edilen grafikler.

Çizelge B.7 : Tahin, Pekmez ve Tahin-pekmaz karışımının gerinim tarama testi sonucunda elde edilen veriler.

Tahin				Pekmez				Tahin : Pekmez (50:50)			
γ [-]	G' [Pa]	G'' [Pa]	f [Hz]	γ [-]	G' [Pa]	G'' [Pa]	f [Hz]	γ [-]	G' [Pa]	G'' [Pa]	f [Hz]
0,212		4,52	1	0,009236	24,2	38,3	1	0,222	33,3	42,7	1
0,414		3,84	1					0,411	33,2	41,3	1
0,616		3,46	1	0,179	12,3	34,5	1	0,615	29,3	40,3	1
0,818		3,33	1	0,398	7,98	28,8	1	0,821	26,7	40,4	1
1,02		3,37	1					1,024	24,3	40,4	1
1,222		3,29	1	0,617	5,96	26,1	1	1,227	22	40,2	1
1,423		3,39	1	0,974	4,36	22,4	1	1,43	19,7	39,7	1
1,625		3,54	1	1	3,58	22,2	1	1,634	17,6	38,9	1
1,827		3,67	1	1,212	3,11	20,3	1	1,837	15,7	37,8	1
2,036		3,77	1	1,438	2,14	19	1	2,041	14	36,6	1
2,234		3,89	1	1,659	1,8	17,6	1	2,243	12,6	35,4	1
2,435	0,65	3,99	1	1,631	1,53	17	1	2,447	11,3	34,1	1
2,638	0,66	4,08	1	2,017	1,16	15,8	1	2,65	10,2	32,9	1
2,839	0,66	4,15	1	2,257	0,86	14,8	1	2,854	9,16	31,6	1
3,038	0,67	4,22	1	2,208	0,98	14,6	1	3,057	8,28	30,5	1
3,243	0,66	4,27	1	2,643		13,3	1	3,262	7,51	29,3	1
3,444	0,66	4,32	1	2,823		12,7	1	3,462	6,86	28,2	1
3,644	0,65	4,36	1	3,123		11,8	1	3,667	6,26	27,2	1
3,848	0,64	4,38	1	3,241		11	1	3,867	5,75	26,2	1
4,052	0,63	4,41	1	3,443		10,8	1	4,071	5,28	25,3	1
4,254	0,62	4,43	1	3,645		10,4	1	4,274	4,86	24,5	1
4,457		4,45	1	3,846		10,3	1	4,478	4,5	23,7	1
4,654		4,5	1	4,048		9,95	1	4,679	4,2	22,9	1
4,856		4,52	1					4,883	3,89	22,3	1
5,058		4,53	1					5,085	3,62	21,6	1
5,26		4,54	1					5,283	3,39	21,1	1
5,462		4,56	1					5,479	3,19	20,5	1
5,664		4,56	1					5,687	3,02	20	1
5,866		4,58	1					5,89	2,84	19,6	1



ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Gülay AKKAYA

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2018, Yıldız Teknik Üniversitesi, Kimya Metalurji Fakültesi, Gıda Mühendisliği

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- 2019 yılında Baklavacı Güllüoğlu Gıda Sanayi ve Dış Ticaret A.Ş.'de Üretim ve Kalite Mühendisi olarak çalıştı.
- 2019-2021 yılları arasında Umursan Un Mamülleri Gıda Sanayi Ticaret Ltd. Şti'de Üretim Müdürü ve Kalite Güvence Sorumlusu olarak çalıştı.
- 2021 yılında itibaren Ülker Bisküvi Sanayi A.Ş.'de Vardiya Mühendisi olarak çalışmaktadır.