

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**ULTRASON DESTEKLİ EKSTRAKSİYON İLE YER ELMASINDAN İNÜLİN  
ÜRETİMİ**



**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**BÜŞRA KABATAŞ**

**Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Gıda Mühendisliği Programı**

**TEMMUZ 2021**



**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**ULTRASON DESTEKLİ EKSTRAKSİYON İLE YER ELMASINDAN İNÜLİN  
ÜRETİMİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Büşra KABATAŞ  
506181503**

**Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Gıda Mühendisliği Programı**

**Tez Danışmanı: Prof. Dr. Meral KILIÇ AKYILMAZ**

**TEMMUZ 2021**



İTÜ, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün 506181503 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Büşra KABATAŞ, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı "ULTRASON DESTEKLİ EKSTRAKSİYON İLE YER ELMASINDAN İNÜLİN ÜRETİMİ" başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

**Tez Danışmanı :** **Prof. Dr. Meral KILIÇ AKYILMAZ** .....  
~~İstanbul Teknik Üniversitesi~~

**Jüri Üyeleri :** **Dr. Öğr. Üyesi Celale KIRKIN GÖZÜKIRMIZI** .....  
İstanbul Teknik Üniversitesi

**Prof. Dr. Özlem AKPINAR** .....  
Gaziosman Paşa Üniversitesi

**Teslim Tarihi** : 11 Haziran 2021  
**Savunma Tarihi** : 7 Temmuz 2021





*Aileme,*



## ÖNSÖZ

Lisans ve Yüksek Lisans eğitiminde bilgi ve engin tecrübeleriyle yanımda olan, yenilikçi fikir ve görüşleriyle beni destekleyen sevgili danışman hocam Prof. Dr. Meral KILIÇ AKYILMAZ'a, çalışma sürecinde yardımları için Araş. Gör.Fatma Duygu Ceylan ve Gıda Yük. Müh. Evren DEMİRCAN'a çok teşekkür ederim. Hayatım boyunca beni her zaman destekleyen aileme ve Batuhan Harbutoğlu'na sonsuz teşekkür ederim.

Temmuz 2021

Büşra Kabataş  
Gıda Mühendisi



## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER .....	ix
KISALTMALAR .....	xi
SEMBOLLER .....	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xv
ŞEKİL LİSTESİ.....	xvii
ÖZET.....	xix
SUMMARY .....	xxi
<b>1. GİRİŞ....</b>	<b>1</b>
1.1 Tezin Amacı .....	2
1.2 Literatür Araştırması .....	2
1.2.1 İnülin .....	2
1.3 Hipotez .....	21
<b>2. MALZEME VE YÖNTEM.....</b>	<b>23</b>
2.1 Malzemeler.....	23
2.2 Yöntem .....	23
2.2.1 İnülin tozu eldesi.....	23
2.2.2 Kuru madde analizi .....	24
2.2.3 Toplam şeker analizi .....	25
2.2.4 FTIR analizi .....	25
2.2.5 Diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) analizi .....	26
2.2.6 Rekonstitüye yoğurttta inülin tozunun kullanımı.....	26
2.2.7 İstatiksel analizler .....	27
<b>3. BULGULAR VE TARTIŞMA.....</b>	<b>29</b>
3.1 Ekstraksiyon Verimi.....	29
3.2 İnülin Ekstraktlarının Toplam Karbonhidrat İçeriği .....	30
3.3 İnülin Tozlarının FTIR Yöntemi ile İncelenmesi.....	32
3.4 İnülin tozlarının Diferansiyel Taramalı Kalorimetri (DSC) ile incelenmesi....	36
3.5 Yoğurt Tozunda İnülin Tozunun Kullanımı.....	39
<b>4. SONUÇ VE ÖNERİLER.....</b>	<b>43</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>45</b>
<b>EKLER.....</b>	<b>53</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>55</b>



## **KISALTMALAR**

<b>DSC</b>	: Diferansiyal Taramalı Kalorimetre
<b>FT-IR</b>	: Fourier Dönüşüm Kızılötesi
<b>HP İnülin</b>	: Yüksek Performanslı İnülin
<b>IR</b>	: Kızılötesi
<b>US</b>	: Ultrason





## SEMBOLLER

<b>K</b>	: Kıvam indeksi
<b>t</b>	: Zaman
<b>T<sub>g</sub></b>	: Camı geçiş sıcaklığı
<b><math>\eta</math></b>	: Viskozite
<b><math>\tau</math></b>	: Kayma gerilimi
<b><math>\gamma</math></b>	: Kayma hızı
<b>R</b>	: Determinasyon katsayısı



## ÇİZELGE LİSTESİ

### Sayfa

<b>Çizelge 1.1</b> : İnülin ve oligofruktozların gıda endüstrisinde kullanım alanları. ....	<b>4</b>
<b>Çizelge 2.1</b> : Ekstraksiyon koşulları. ....	<b>24</b>
<b>Çizelge 3.1</b> : İnülin tozu eldesinde uygulanan ısı işlem ve ultrason destekli ekstraksiyon işlemlerinden elde edilen verim. ....	<b>29</b>
<b>Çizelge 3.2</b> : Isıl işlem ve ultrason destekli ekstraksiyon ile elde edilen inülin ekstraktlarının inülin içeriği ve saflığı. ....	<b>31</b>
<b>Çizelge 3.3</b> : Organik fonksiyonel grupların FT-IR spektrumundaki önemli pikler. ....	<b>34</b>
<b>Çizelge 3.4</b> : Yer elmasından elde edilen inülin tozlarının FT-IR spektrumundaki önemli pikler. ....	<b>35</b>
<b>Çizelge 3.5</b> : İnülin tozlarının camsı geçiş sıcaklıkları. ....	<b>37</b>
<b>Çizelge 3.6</b> : İnülin içeren yoğurt tozlarının reolojik özellikleri. ....	<b>40</b>



## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 3.1 : İnülin tozu örneklerinin FT-IR spektrumu .....	33
Şekil 3.2 : İlk ısıtma sürecinde örneklerin DSC eğrileri.....	36
Şekil 3.3 : İkinci ısıtma sürecinde örneklerin DSC eğrileri.....	37
Şekil 3.4 : İnülin içeren yoğurt tozlarının akış grafiği.....	41
Şekil A.1 : Fruktoz kalibrasyon eğrisi. ....	54





## ULTRASON DESTEKLİ EKSTRAKSİYON İLE YER ELMASINDAN İNÜLİN ÜRETİMİ

### ÖZET

Fonksiyonel gıdalara yönelim, tüketicilerin daha besleyici, daha sağlıklı ve daha az kalorili gıdalara yönelmesiyle artmaktadır. Bitkisel kaynaklı inülin, gelecek vaat eden, insan sağlığına oldukça yararlı doğal bir diyet lifidir. Gıda endüstrisinde, yapıyı düzenleyici yağ, şeker, karbonhidrat ve protein ikamesi olarak kullanılmasının yanı sıra prebiyotik olarak gıdalarda kullanılmaktadır. Yer elması, hindiba, soğan, sarımsak ve yıldız çiçeği inülin kaynaklarıdır. Ticari inülin tozu üretiminde genellikle hindiba kullanılsa da yer elmasının inülin içeriği azımsanmayacak kadar fazladır.

Yer elmasından inülin eldesinde, ısı işlem ile ekstaksiyon en çok kullanılan yöntem olsa da inülin eldesini arttırmak için ultrason destekli ekstraksiyon kullanılabilir. Ultrason sayesinde bitki hücreleri parçalanmakta ve inülinin hücre dışına çıkışı artmaktadır. Böylece, daha düşük sıcaklık ve sürelerde inülin elde edilebilmektedir. Bu çalışmada, farklı sıcaklık ve sürelerde ısı işlem ekstraksiyonu ve ultrason destekli ekstraksiyon uygulanarak yer elmasından inülin üretilmiş ve yöntem ve işlem parametrelerinin inülin tozu verimine ve saflığına etkileri incelenmiştir. İnülin tozunun karakterizasyonu için örneklere DSC ile termal ve FTIR ile spektroskopik analizler uygulanmıştır. İnülin tozunun bir gıda ürününde yapıya etkilerinin belirlenmesi için, rekonstitüye yoğurda inülin tozu eklenmiş ve ürünün reolojik özellikleri belirlenmiştir. Elde edilen inülin tozları ticari inülin ile ölçülen özellikler açısından karşılaştırılmıştır.

Çalışmada, yer elması dilimlenerek kurutulmuş ve öğütülerek toz elde edilmiştir. Bu tozdan geleneksel ısı işlem ekstraksiyonu ve ultrason destekli ekstraksiyon ile toz:distile su oranı 1:20 olacak şekilde inülin ekstrakte edilmiştir. Isıl işlem ekstraksiyonunda 80°C’de 10 dakika ve ultrason işlemindeki sıcaklık yükselmesinin kontrolünü sağlayacak şekilde 60°C’de 10 dakika ekstraksiyon yapılmıştır. Ultrason işlemi yüksek güçlü probu bir ünite kullanılarak 80 W güçte, 20 ve 50°C’de 5-10 dakika uygulanmıştır.

Uygulanan ekstraksiyon işlemlerinin elde edilen toz veya kuru madde verimine etkisi olmamıştır. En yüksek inülin içeriğine 80°C’de sıcısıl işlem ekstraksiyonu, 20°C’de ve 50°C’de 10 dakika ultrason destekli ekstraksiyon uygulandığında ulaşılmıştır. Isıl işlem ekstraksiyonunda sıcaklık arttıkça, ultrason destekli ekstraksiyonda ise hem sıcaklık hem de işlem süresi arttıkça tozların inülin içeriği artmıştır. Ultrason destekli ekstraksiyon ile ısı işlem ekstraksiyonu uygulamalarına göre daha düşük sıcaklıkta benzer verim ve saflık değerlerine ulaşıldığı saptanmıştır. İnülin eldesinde verim ve saflık değerleri baz alınarak çalışmaya 60 ve 80°C’de 10 dakika ısı işlem ekstraksiyonu ve 20°C ve 50°C’de 10 dakika ultrason destekli ekstraksiyon uygulanan numunelerle devam edilmiştir.

Farklı işlemlerle üretilen inülin örneklerinin FT-IR spektrumları, ticari inülin tozununki ile karşılaştırmıştır ve benzer oldukları bulunmuştur. Grafiklerde, -OH gerilme titreşimleri 3200-3600  $\text{cm}^{-1}$  arasında; -CH gerilme titreşimleri 2890-2930  $\text{cm}^{-1}$  arasında; -OH eğilme titreşimleri 1300-1500  $\text{cm}^{-1}$ 'de; C-O-C halka gerilme titreşimleri 1116-1154  $\text{cm}^{-1}$ 'de, karbonhidrat zincirinde  $\alpha$ -D-glukopiranoz kalıntısı 958  $\text{cm}^{-1}$ 'de 2-ketofuranoz varlığı ise 877, 888 ve 848 ve 850  $\text{cm}^{-1}$ 'de pik vermiştir. Ayrıca, üretilen inülin tozlarının spektrumlarının 1550-1670  $\text{cm}^{-1}$  bölgesinde ekstra pikler gözlenmiştir ve bu piklerin protein gibi safsızlıklarla ilişkili olduğu belirlenmiştir.

Termal analizlerde, ticari inülinin camsı geçiş sıcaklığı 122.02°C olarak tespit edilmiştir. Farklı işlemlerle üretilen inülinlerin camsı geçiş sıcaklığı ise 41.77 °C - 57.44 °C aralığında ve birbirine benzer bulunmuştur. Kristal erimesi en fazla alan ticari inülinde gözlenmiştir. Ayrıca, tüm inülin tozu örneklerinin 180°C'nin üzerinde termal bozunmaya uğradığı saptanmıştır

İnülin tozu %2 oranında rekonstitüye yoğurda eklenmiş ve inülinin yoğurdun yapısal özelliklerine etkisi belirlenmiştir. İnülin ilave edilen rekonstitüye yoğurtların tümünde psödoplastik akış davranışı tespit edilmiştir ve akış verileri Herschel-Bulkley modeline uygun bulunmuştur. İnülin ilavesi, rekonstitüye yoğurtların kıvam indeksini arttırmıştır. Elde edilen yoğurtlarda en yüksek kıvam katsayısı ticari inülin içeren örnekte tespit edilmiş ve bu değeri sırasıyla 60°C'de ısıtma işlemi ekstraksiyonu, 20°C ve 50°C'de 10 dakika ultrason destekli ekstraksiyon ile üretilen inülin içeren numuneler takip etmiştir. En yüksek akma gerilimine 20°C'de ultrason destekli ekstraksiyon ile üretilen inülin tozunu içeren numune ve en düşük kıvam katsayısına ise 80°C'de ısıtma işlemi ekstraksiyonu ile üretilen inülin ilave edilen örnekler sahip bulunmuştur. Ancak reolojik özellikler açısından örnekler arasında istatistiksel olarak önemli düzeyde bir farklılık bulunmamıştır.

Tüm sonuçlar incelendiğinde, ultrason destekli ekstraksiyon uygulamasıyla geleneksel ısıtma işlemi ekstraksiyonu ile karşılaştırıldığında daha düşük sıcaklıkta benzer verimde ve saflıkta inülin tozu elde edilebildiği gözlenmiştir. Bu nedenle, ultrason uygulaması ile ekstraksiyon için harcanan enerji azaltılabilir. Elde edilen inülin gıda ürünlerinde yapısal özellikleri geliştirmek amacıyla kullanılabilir. Bu çalışmada üretilen inülinin farklı işlemlerle saflaştırılması ve farklı gıda ürünlerinde kullanımı konularında araştırmalar yapılması önerilmektedir.

## INULIN PRODUCTION FROM JERUSALEM ARTICHOKE BY ULTRASOUND-ASSISTED EXTRACTION

### SUMMARY

Demand for functional foods and dietary fiber has increased since consumers prefer healthy, nutritious and also low calorie foods. Inulin from plants is a functional ingredient as a prebiotic and a source for dietary fiber. Jerusalem artichoke, chicory, yam, onion, garlic and dahlia are sources for inulin. Although chicory is generally used in the production of commercial inulin, the inulin content of Jerusalem artichoke is also considerable to underestimate. Inulin is formed by D-fructose bound by  $\beta$ -(2 $\rightarrow$ 1) linkages that are terminated by a D-glucose molecule bonded to fructose by  $\alpha$ -D-glucopyranosyl bond. It consists of a mixture of linear oligosachharides and polysachharides. It could not be digested because of its complex structure so it is a dietary fiber. Inulin has been used as fat or sugar replacer, fiber, prebiotic and texture modifier in food industry.

Jerusalem artichoke that has inulin as a reserved carbohydrate, is classified in the genus *Helianthus L.*, in the family of *Asteraceae*. Jerusalem artichoke tubers consist of 80% water, 15% carbohydrate, and 1-2% protein. Cultivar, post harvest and harvest conditions and harvest time have crucial impacts on composition of tubers. In addition, tubers are good source of dietary fiber because of its inulin content (around 50% of dry weight). Inulin content of tubers are also affected by cultivar, cultivation conditions, harvest time and conditions. There are several methods for the extraction of inulin from Jerusalem artichoke tubers. Extraction with heat treatment is the most used method for inulin production from Jerusalem artichoke roots. In addition, ultrasound-assisted extraction can be applied for inulin production. Ultrasound disrupts the cell walls of plant tissues to enhance mass transfer of inulin. Hence, inulin can be extracted with less energy and time.

In this study, inulin is extracted from Jerusalem artichoke tubers by extraction with heat treatment and ultrasound-assisted extraction at different temperatures and duration. Impacts of extraction method and parameters on the purity and yield of inulin are investigated. The produced inulin are compared with commercial inulin. For the characterization of the obtained inulin powders, DSC and FTIR analyses were performed. In addition, effect of produced inulin powder on rheological properties of reconstituted yoghurt was determined to evaluate performance of the powder in a food product.

Jerusalem artichoke tubers were washed, peeled and sliced. All slices were dipped in to 0.05% citric acid solution for 5 minutes to reduce browning. After that, all slices were dried in a vacuum oven until reaching a moisture content below 8% on dry basis. Dried slices were milled and sieved to produce Jerusalem artichoke powder. Inulin was extracted from Jerusalem artichoke powder at a solid:water ratio of 1:10 (w/v) by conventional method by heat treatment and ultrasound-assisted extraction. Conventional method was applied by heat treatment at 80°C for 10 min.

Conventional method was also carried out at 60°C for 10 min to determine the effect of the temperature increase during ultrasound treatment. Ultrasound-assisted extraction was applied by a device working at a power of 80 W and 24 kHz and sample temperatures of 20 and 50°C for 5 and 10 min). After extraction, all extracts were centrifuged and then purification was applied to separate protein and other impurities. The solutions obtained after purification were dried in a vacuum oven at 70°C for 16 hours and then milled to a powder. Inulin powders were stored in glass jars at 4°C until analyses.

Similar yields were obtained from conventional and ultrasound-assisted extraction methods. Maximum inulin content in powder was obtained by heat extraction at 80°C for 10 min and ultrasound-assisted extraction at 20°C or 50°C for 10 minutes. As the temperature of heat extraction or the initial temperature or processing time of ultrasound assisted extraction was increased, the inulin content of the obtained powders increased. Moreover, ultrasound-assisted extraction resulted in similar yield and purity values at lower temperatures as compared to heat extraction. Based on the yield and purity values, extraction by heat treatment at 60°C and 80°C and ultrasound extraction at 20°C and 50°C for 10 minutes were selected for further analyses.

FTIR spectra of the produced samples were compared with those of commercial inulin and reported in the literature and they were found similar. -OH stretch vibrations between 3200-3600  $\text{cm}^{-1}$ , -CH tensile vibrations between 2890-2930  $\text{cm}^{-1}$ , -OH bending vibrations at 1300-1500  $\text{cm}^{-1}$ , COC ring stretch vibrations at 1116-1154  $\text{cm}^{-1}$ ,  $\alpha$ -D-glucopyranose residue in the carbohydrate chain at 958  $\text{cm}^{-1}$  and 2-ketofuranose at 877, 888 and 848 and 850  $\text{cm}^{-1}$  were the characteristic peaks observed in the spectra. In addition, extra peaks were observed in the 1550-1670  $\text{cm}^{-1}$  region of spectra of the produced inulin powders compared to the commercial sample. This peak was indicated that there were some impurities in the produced inulin powders.

According to thermal analysis by DSC, glass transition temperature of commercial inulin powder was found as 122.02°C. The glass transition temperature of the produced inulin powders was found between 41.77°C-57.44°C. All the produced samples had similar glass transition temperatures. As the commercial inulin was produced from chicory roots, the glass transition of it was different than those of the produced inulin samples. In addition, growing conditions, process conditions, impurities, moisture content, polymerization degree, molecular weight and microstructure affect the glass transition temperature of inulin. Commercial inulin exhibited crystal melting in thermal analysis indicating crystalline structure which was not observed as clearly in the produced samples. Moreover, all inulin powder samples undergo thermal degradation over 180°C.

Performance of produced inulin powder samples was evaluated in a reconstituted yoghurt formulation at a concentration of 2% (w/w). Pseudoplastic flow behavior was detected in all of the inulin-added reconstituted yoghurt samples. The addition of inulin increased the consistency of reconstituted yoghurts. The highest consistency coefficient was determined in the sample containing commercial inulin and this value was followed by the samples containing inulin powder produced by heat extraction at 60°C and ultrasound-assisted extraction at 20°C and 50°C for 10 minutes. In addition, the highest yield stress was observed in inulin powder which was produced ultrasound-assisted extraction at 20°C for 10 minutes.

The lowest consistency coefficient and yield stress were measured in the samples containing inulin powder produced by heat extraction at 80°C. However, there were no statistically significant differences between the samples in terms of rheological properties.

According to the results, application of ultrasound-assisted extraction allowed to obtain a similar yield and purity in inulin powder from Jerusalem artichokes at a lower temperature when compared to conventional heat extraction. Therefore, application of ultrasound can reduce the energy required for extraction. The produced inulin can be used for improving physical properties of food products. Future studies for further purification of inulin produced in this study by different treatments and use of it in different food products are recommended.





## 1. GİRİŞ

Fonksiyonel gıdalara yönelim, tüketici sağlığı ve düşük kalorili gıda tüketimine verilen önemle birlikte gün geçtikçe artmaktadır. Artan sağlık sorunları ve sağlık harcamaları, tüketicileri daha sağlıklı beslenmeye yönlendirmektedir. Bitkisel kaynaklı inülin fonksiyonel bir gıda bileşenidir. İnülin, 1800'lü yıllarda *Inula helenium* türü bir bitkinin köklerinden elde edilmiş doğal bir oligosakkarittir. İnülinin kimyasal yapısı düz ya da dallanmış fruktoz zincirlerinden oluşur. İnülin karmaşık kimyasal yapısı nedeniyle az çözünen prebiyotik bir diyet lifidir. Gıda endüstrisinde inülin, yağ ikamesi, tatlandırıcı ve kıvam arttırıcı olarak kullanılmaktadır (Niness, 1999; Judprasong ve diğ., 2011). Diyet lifi kaynağı olan inülin, insan sağlığına yararlıdır. İnülin tüketiminin, gastrointestinal sistemi düzenlediği, iskelet sistemini güçlendirdiği ve minerallerin biyoyararlılığını arttırdığı gözlemlenmiştir. Bunun yanı sıra, inülin tüketimi kandaki şeker ve kolesterol seviyesini düşürerek kalp hastalıkları ve metabolik hastalıkların riskini azaltmaktadır (Roberfroid, 1999; Yabancı, 2010).

Inülin, yer elması, hindiba, soğan, sarımsak ve yıldız çiçeği gibi bitkilerde yüksek miktarda bulunan bir depo karbonhidrat türüdür (Franck, 2002; Judprasong ve diğ., 2011). Yer elması, Asteraceae familyasına ait ay çiçeğigiller (*Helianthus*) cinsi bir bitkidir (Zhou ve diğ., 2018). Yer elması yumruları yaklaşık %80 su, %15 karbonhidrat ve %1-2 protein içermektedir. (Kays ve Nottingham, 2008). Çiğ yumrular evlerde turşu, çorba ve salata içinde tüketilirken; yer elması tozu gıda endüstrisinde ingrediyen olarak kullanılmaktadır. Yer elmasından elde edilen inülin ise şekerlemelere tatlandırıcı olarak, et ve süt ürünlerine yağ ikamesi ve kıvam arttırıcı olarak ilave edilmektedir. (Furlan ve diğ., 2014; Praznik ve diğ., 2002; Paseephol ve diğ. 2008; Tárrega & Costell, 2006).

Yer elmasından inülin eldesinde, ısıl işlem ile ekstaksiyon en çok kullanılan yöntemdir. Isıl işlemde yüksek sıcaklıklarda uzun süreli ekstraksiyonlar elde edilen inülin miktarını azaltmaktadır (Srinameb ve diğ., 2015). Gıda bileşenlerinin ekstraksiyonunda verimi arttırmak için, ekstraksiyon sırasında ultrason uygulaması yapılmaktadır.

Ultrason destekli ekstraksiyon bitki hücrelerini parçalayarak ekstrakte edilen bileşenin hücre dışına çıkartılmasında yardımcı olmaktadır (Vinatoru, 2001). Ultrason işlemi ekstraksiyon daha kısa süre ve daha düşük sıcaklıkların uygulanmasına olanak sağlamaktadır (Lingyun ve diğ., 2007). Böylece, ultrason destekli ekstraksiyon daha düşük enerji ve çözügen kullanımıyla ekstraksiyona imkan vermektedir (Chemat ve diğ., 2011).

## **1.1 Tezin Amacı**

Bu çalışmada amaç, yer elmasından inülin eldesinde ultrason-destekli ekstraksiyonun uygulanabilirliğinin araştırılmasıdır.

## **1.2 Literatür Araştırması**

### **1.2.1 İnülin**

İnülin, birçok bitkide depo karbonhidrat olarak bulunan, insan sağlığına yararlı prebiyotik bir diyet lifidir. İnülinin kimyasal yapısı düz ya da dallanmış fruktoz zincirlerinden oluşur. Doğal bir oligosakkarit olan inülin, 2-60 fruktoz biriminin  $\beta$ -2-1 glikozidik bağları ile bağlanması sonucu oluşur. Genellikle iki glukoz molekülünün  $\beta$ -2-1 glikozidik bağı ile bağlanmasıyla da sonlanır. Karmaşık yapısı nedeniyle inülin suda zor çözünür ve zor sindirilen bir diyet lifidir. Su veya süt ile karıştırıldığında mikrokristaller oluşturur.

Mikrokristaller, ağızda yağa benzer bir tat bırakırlar ve yumuşak, kremi ve kaygan bir his oluştururlar. Bu nedenle gıda endüstrisinde inülin yağ ikamesi olarak kullanılır. Gıdada 1 gram yağ yerine 0,25 gram inülin kullanımı yeterli olmaktadır. Gıdalarda şeker yerine kullanılan oligofruktozlar ise inülinin inülinaz enzimiyle hidrolize olmuş halidir. İnüline göre daha kısa zincirleri olan oligofruktozlar 2-10 fruktoz ünitesinin bağlanması ile oluşan oligomerlerdir. Şeker gibi tat vermelerine karşın daha düşük kalori değerine sahip olan oligofruktozların çözünebilirliği sukroza göre daha yüksek, tatlılığı ise %30-50 daha azdır. Kalorisi azaltılmış gıda ürünlerinde kullanılırlar (Niness, 1999; Judprasong ve diğ., 2011).

İnülin asidik ortamlarda hidrolize olmaktadır. Ortamın pH değeri 5 veya daha yüksek olduğu koşullarda inülin kararlıdır. Jel oluşumu ise ortamın nötr veya nötre yakın olduğu durumlarda meydana gelir.

İnülin jellerinin reolojik özellikleri ise sıcaklık ve ısıtma süresine bağlıdır. Süspansiyon haline getirilen inülin tozları 20–40°C’de kararlı jel yapısı oluşturmaktadır. İnülin-su karışımı 20-40°C aralığında yavaş yavaş karıştırıldığında moleküller suyu absorpladığı için karışımın viskozitesi artar. Çözünme sıcaklığının altında çözültide viskozite artışı olmasının nedeni ise inülinin kristal yapıda olmasıdır. Ortam sıcaklığı arttıkça çekirdek molekül sayısı azalır ve jelin kararlı yapısı bozulur. Özellikle 80°C’nin üzerinde ve kristal çekirdek miktarı az olduğunda jel yapısı oluşmaz (Glibowski, 2010).

İnülin ve oligofruktozlar diyet lifi kaynağı olması sebebiyle insan sağlığına oldukça yararlıdır. İnülin, kalın bağırsaktaki bifidobakterilerin sayısını artırır, bifidobakteriler sayesinde Gram-pozitif ve negatif bakterilerin çoğalmasını sağlar ve böylece ishali önler. Ayrıca diyet lifi tüketimi gastrointestinal sistemi düzenleyerek kabızlığı da önler. Kalsiyum ve magnezyum başta olmak üzere birçok mineralin biyoyararlılığını artırarak kemiklerdeki mineral yoğunluğunu artırır, bu sayede osteoporoz riskini azaltır. İnülin kandaki şeker ve kolesterol seviyesini düşürerek kalp hastalıkları ve metabolik hastalıkların riskini de azaltır. Bağışıklık sistemini güçlendiren inülinin özellikle kalın bağırsaklarda olmak üzere tümör gelişimini önleyici etkisi vardır. İnsan sağlığına yararlarının yanı sıra inülin ilave edildiği gıdanın tadını ve yapısını geliştirir, su tutma kapasitesini artırır. Enerji değeri düşük olan inülin ve oligofruktozlar fonksiyonel besin bileşenleri olarak yağ ikamesi veya tatlandırıcı olarak kullanılmaktadırlar (Roberfroid, 1999; Yabancı, 2010).

Yüksek polimerizasyon derecesine sahip inülin moleküllerinin su bağlama ve jelleşme yetenekleri oldukça yüksektir. Reolojik özellikleri de yağa benzediği için yağı azaltılmış gıdalarda sıklıkla yağ ikamesi ve emülsiyon stabilizasyonunda olarak kullanılmaktadır. Düşük polimerizasyon derecesine sahip inülin molekülleri ise genellikle bağlayıcı ajan ve tatlandırıcı olarak kullanılır. Sütlü içecekler, taze peynirler, yoğurtlar, kremler ve süt tatlıları gibi az yağlı süt ürünlerinde lezzeti geliştirir ve gıdanın ağızda kremi bir his bırakmasını sağlar. Kullanılan ürünlerin kolay işlenmesini, yapısını korumasını ve uzun süre stabil kalmasını sağlar. Jel oluşturduğu için düşük yağlı peynirlerde, sos, çorba ve sürülebilir gıdalarda; erime özelliklerine etkisi sebebiyle dondurulmuş tatlılarda ve bağlayıcı özelliği sebebiyle tahıl barlarda sıklıkla kullanılır. (Franck, 2000; Penksza ve diğ. 2013).

İnülin ve oligofruktozların gıda endüstrisinde kullanım alanları, fonksiyonel özellikleri ve inülin ve oligofruktoz bileşimleri ise Çizelge 1.1’de verilmiştir.

**Çizelge 1.1:** İnülin ve oligofruktozların gıda endüstrisinde kullanım alanları (Franck, 2002).

Uygulama Alanı	Fonksiyon	İnülin Miktarı (%)	Oligofruktoz Miktarı (%)
<b>Süt ürünleri</b>	Şeker ve yağ ikamesi Tatlandırıcılarla sinerjik Yapı ve ağızda bıraktığı his Köpük stabilitesi	2-10	2-10
<b>Dondurulmuş Tathlar</b>	Diyet lifi ve prebiyotik Şeker ve yağ ikamesi Yapı ve erime özellikleri Tatlandırıcılarla sinerjik Diyet lifi ve prebiyotik	2-10	5-12
<b>Sürülebilir Gıdalar</b>	Yağ ikamesi Yapı ve sürülebilme özellikleri Emülsiyon kararlılığı Diyet lifi ve prebiyotik	2-10	-
<b>Fırın Ürünleri &amp; Ekmek</b>	Şeker ikamesi Nem bağlama Diyet lifi ve prebiyotik	2-15	2-25
<b>Et Ürünleri</b>	Yağ ikamesi Yapı ve kararlılık Diyet lifi	2-10	-
<b>Dolgular</b>	Şeker ve yağ ikamesi Yapı özellikleri	2-30	2-50
<b>Salata Sosları</b>	Yağ ikamesi	2-10	-
<b>Diyet Ürünleri ve Öğün Yerine Geçen Gıdalar</b>	Yapı ve ağızda bıraktığı his Şeker ve yağ ikamesi Düşük kalori değeri Yapı ve ağızda bıraktığı his Tatlandırıcılarla sinerjik Diyet lifi ve prebiyotik	2-15	2-20
<b>Çikolata</b>	Şeker ikamesi Isıya karşı direnç Diyet lifi	5-30	-
<b>Meyve Preparatları</b>	Şeker ikamesi Yapı ve ağızda bıraktığı his Tatlandırıcılarla sinerjik Diyet lifi ve prebiyotik	2-10	5-50

İnülin farklı bitkisel kaynaklardan genellikle ısı işlem ile ekstraksiyon uygulanarak elde edilmektedir. Yüksek inülin içeriği sebebiyle (>%15) yer elması, hindiba, soğan, sarımsak ve yıldız çiçeği inülin eldesi için kullanılmaktadır. Yüz gram sarımsakta 23 gram, 100 gram yer elmasında 19.4 gram inülin bulunmaktadır (Franck, 2002; Judprasong ve diğ., 2011).

Yapılan diğer çalışmalarda, soğanın yaş ağırlığının %1.1-7.1'i; yer elması yumrularının %17-20.5'i, hindiba yumrularının 15.2-20.5'u; kuşkonmaz yumrularının en az %0.3'ü; pırasanın %2.9'u ve sarımsağın %16.1; enginarın %6.8'i; muzun %0.3'ü ve buğday ununun %1-4'ü inülin tipi fruktan olarak bulunmuştur (Asami ve diğ., 1989; Van Loo ve diğ., 1995; Nilsson & Dahlquist, 1986). Bitkisel kaynaklardan inülin eldesi, şeker kamışından şeker üretimine benzese de inülin eldesi için uygulanan ısı ile ekstraksiyon sırasında meydana gelen Maillard reaksiyonu ve inülin zincirleri parçalandığı için inülin elde etme süreci daha karmaşıktır.

İnülinin molekül ağırlığı arttıkça eklendiği ürünün viskozitesi de artmaktadır. İnülinin suda çözünürlüğü ve jel oluşturma yeteneği sıcaklığa ve derişime bağı olarak değişmektedir (Glibowski, 2009). Düşük derişimlerde inülin (<%5) jel oluşturmamaktadır. Yüksek basınçta homojenizasyon işlemi inülin moleküllerinin yığılmasını engeller ve dağılmasını sağlar. Bu sayede inülin molekülleri daha fazla hidrojen bağı oluşturmakta, moleküllerin su tutma kapasitesi artmakta ve daha kararlı süspansiyonlar elde edilmektedir. Ultrasonik işlem, inülinin amorf yapısına etki ederek jelleşme yeteneğini ve emülsiyon kararlılığını artırır. Uygulanan ultrason gücünü arttırmak inülinin daha küçük parçalara ayrılmasına sebep olur ve jelleşme için gereken kritik inülin miktarını azaltır (Guimaraes ve diğ., 2018). Alvarez-Sabatel ve diğ. (2015) yaptıkları bir çalışmada farklı derişimlerde (%6, 9 ve 12) uzun zincirli inülin moleküllerinin jelleşme yeteneği üzerinde farklı basınçlarda (103, 207 ve 296 MPa) yüksek basınçlı homojenizasyonun etkilerini araştırmışlardır. Yüksek basınçta homojenizasyon uygulaması homojen jel oluşumu için gereken minimum inülin derişimini %9'a düşürmüştür. Ayrıca, bu işlem inülin moleküllerinin daha iyi dağılmasını sağlamış ve kümelerin boyutunu küçültmüştür. Böylece, inülin molekülleri daha fazla Van der Waals ve hidrojen bağı oluşturmuş ve daha kararlı emülsiyonlar elde edilmiştir. Başka bir çalışmada ise, inülinin reolojik özelliklerine farklı sıcaklıkların (0-85°C) ve farklı derişimlerin (%1-12) etkileri incelenmiştir. İnülin çözeltileri düşük derişimlerde Newton-tipi akış göstermiştir.

Derişim arttıkça çözeltilerin viskozitesi artmış, fakat derişim sabit tutulup sıcaklık arttırıldığında çözeltilerin akışa direnci ve çözeltideki moleküller arası uzaklık azalmıştır (Kumar ve diğ., 2014).

İnülinin peynir altı suyu proteinleriyle yaptığı etkileşimler viskozitesini arttırmaktadır.  $\beta$ -laktoglobulin inülinle bağ yaparken  $\alpha$ -laktalbumin inülinle kompleks oluşturamaz. Az miktarda peynir altı suyu protein varlığında inülin sağlam jel yapısı oluşturamasa da ortamdaki peynir altı suyu proteini miktarı arttıkça oluşan jel de güçlenmektedir (Glibowski, 2009). Oda sıcaklığında inülin neredeyse çözünmezdir. Sıcaklık 50°C olduğunda bile inülin çözünürlüğü yalnızca %1,2 (kütle/hacim)'dir. Sıcaklık 90°C'ye ulaştığında suda çözünürlük %34'e çıkmaktadır (Kim ve diğ., 2001).

Farklı derişimlerde (%5-35) hazırlanan inülin-su karışımları 25°C'de 5 dakika farklı devirlerde karıştırılmış ve jel oluşumu incelenmiştir. İnülin %5, 10 ve %25 oranında olduğunda ve 250 rpm'de karıştırma yapıldığında jel oluşmamıştır fakat %30 ve 35 içeren inülin çözeltilerinde jel oluşumu gözlenmiştir. Karıştırma devri 500 rpm'e yükseltildiğinde ve çözeltilerin inülin derişimi minimum %15 olduğunda jel oluşumu gözlemlenmiştir. Düşük devirde hazırlanan jeller daha kumlu bir yapıya sahip bulunmuş, bu durum büyük inülin moleküllerinin kümeleşmesi ile açıklanmıştır. Yüksek karıştırma devirlerinde inülin molekülleri daha iyi dağıldığı için daha pürüzsüz bir yüzey yapısı elde edilmiştir. Buna göre jelleşme oluşturan inülin molekülleri küçük molekül ağırlıklı olanlar olarak belirlenmiştir (Kim ve diğ., 2001). Çözeltilerdeki inülin derişimi arttıkça hacimsel jel oluşum yüzdesi artmakta ve %100'e ulaşmaktadır. Ancak %5 inülin içeren çözeltilerde sıcaklık arttırılsa dahi jel oluşumu gözlemlenmemiştir. Sıcaklık 60-70°C aralığında jel oluşumu optimum düzeyde olmaktadır. Sıcaklık 70°C'nin üzerinde olduğunda inülin zincirleri bozunmaya başladığı için jel oluşumu azalmıştır (Kim ve diğ., 2001).

Sıcaklık 40-70°C aralığında olduğunda jel sertliği artan sıcaklıkla birlikte artmıştır. Sıcaklık 70°C'nin üzerine çıkarıldığında ise jel sertliği sıcaklık arttıkça azalmıştır, bunun sebebinin inülin moleküllerinin hidrolize olması olduğu bildirilmiştir. İnülin çözeltilerine uygulanan ısı işlem sıcaklığı ve inülin derişimi arttıkça çözeltideki indirgen şeker miktarı da artmıştır (Kim ve diğ., 2001).

Derişimi %25 olan inülin çözeltisi 85°C’de 5 dakika farklı pH değerlerinde ısıl işleme tabi tutulmuştur Düşük pH değerlerinde (1-2) inülin çözeltisi jel oluşturmamıştır. Hidrojen iyonları hidrolizi arttırmış ve böylece indirgen şeker miktarı artmıştır (Kim ve diğ., 2001).

Glibowski (2009), inülin (%25-35) ve peynir altı suyu proteinlerinin (%1-7) etkileşimlerini incelemiştir. İnülin, önceden 80°C’de 30 dakika ısıtılmış peynir altı suyu proteini çözeltilerine ilave edilmiştir. Peynir altı suyu proteini oranı %1-4 aralığında olduğunda jel oluşumu gözlenmezken %7 oranında peynir altı suyu proteini içeren çözeltilerde jel yapısı oluşmuştur. Yüksek derişimlerde inülin tek başına da sert jel yapısı oluşturmaktadır ancak düşük derişimlerde peynir altı suyu proteini eklendiğinde jel yapısı zayıflamaktadır. İnülin ve peynir altı suyu proteini karışımlarına tuz ilavesi, karışımların inülin:peynir altı suyu proteini oranı ve inülin derişiminin düşürülmesi oluşan jelin sertlik değerini azaltmıştır.

### **1.2.2 Yer elmasından inülin üretimi**

*Asteraceae* familyasına ait yer elması, ay çiçeğigiller (*Helianthus*) cinsi bir bitkidir. Anavatanı Kuzey Amerika olan bitki daha sonra sırasıyla Çin ve Avrupa’da da yetiştirilmeye başlanmıştır. (Zhou ve diğ., 2018). Hızlı büyüyen, uygun olmayan hava ve toprak koşullarına, zararlılara ve bitki hastalıklarına karşı dirençli bir bitkidir. Yer elmasının yenilebilir yumruları patates gibi, küçük, yuvarlak ve topuz ya da uzun, ince ve pürüzsüz olabilir. Tadı enginara benzeyen bu bitki çiğ veya pişmiş olarak da tüketilebilir. Besin değeri ve içeriği sebebiyle gıda, ilaç, yem, şeker, kâğıt, kozmetik ve biyoetanol endüstrilerinde kullanılmaktadır (Kays & Nottingham, 2008).

Yer elması iyi bir inülin, diyet lifi, fenolik bileşik, protein ve potasyum kaynağıdır (Sritiawthai ve diğ., 2013). Yer elması yumruları yaklaşık %80 su, %15 karbonhidrat ve %1-2 protein içermektedir (Kays & Nottingham, 2008). Yumruların inülin içeriği, taze ağırlığın %7-30’u arasındadır (Van Loo ve diğ., 1995). Yer elması yumrularının kuru madde miktarı %20-32 aralığındadır ve bu değer %54-75’i suda çözünür inülinidir (Černiauskiene ve diğ., 2018). Yer elması yumruları turşu yapımı, sebze salatası ve çorba yapımında kullanılırken (Kays & Nottingham, 2008) yer elması tozu süt ürünleri (Furlan ve diğ., 2014) ve fırında pişirilen ürünlerde (Praznik ve diğ., 2002) kullanılmıştır.

Yer elmasından elde edilen inülin, et ve et ürünleri, şekerleme ürünleri ve terapötik formülasyonlar dahil olmak üzere birçok ürüne ilave edilmektedir (Furlan ve diğ., 2014). Ayrıca inülin ilave edildiği gıdalarda patojen mikroorganizma gelişimini önleyerek gıdaların raf ömrünü uzatır (Gedrovica & Karklina, 2013). Yağı azaltılmış yoğurtlar ve sütlü tatlılar gibi süt ürünleri üretiminde inülin kıvam artırıcı olarak kullanılmaktadır (Paseephol ve diğ., 2008; Tárrega & Costell, 2006).

Genotip, hasat süresi ve toprak yer elmasının toplam çözünebilir şeker, nişasta, selüloz, hemiselüloz ve lignin içeriğini etkilemektedir (Kays & Nottingham, 2008; Liu ve diğ., 2015). Černiauskiene ve diğ. (2015) hasat zamanının ve yer elmasının bitkisel kaynağının yer elmasının bileşimine olan etkilerini araştırmıştır. Yapılan çalışmaya göre, hasat zamanı; kuru maddeyi, toplam diyet lifi miktarını, diyet lifi fraksiyonlarını, suda çözünebilir karbonhidrat miktarını ve inülin miktarını etkilemektedir. Rubik, Albik ve Sauliai cinsi yer elmalarının yumru içeriği incelendiğinde suda çözünen karbonhidrat miktarı en fazla Ekim sonlarında hasat edilen Rubik cinsindedir. Toplam diyet lifi ve diyet lifi fraksiyonları incelendiğinde bahar ayında hasat edilen Albik cinsinde fazla bulunmuştur. İnülin ise en fazla (%45.23) Ekim ayında hasat edilen Saulai cinsinde bulunmuştur (Černiauskiene ve diğ., 2015).

Zhou ve diğ. (2018) püre haline getirilmiş yer elması örneklerinin inülin miktarının hasat zamanına göre değişimini incelemek için yer elması püresine distile su ekleyerek 90°C'de 1:10 (katı:çözücü) oranında 2 saat ekstraksiyon işlemi uygulamıştır. Ekstraksiyon sonrasında karışım filtre edilmiş ve filtrat toz haline getirildikten sonra dondurularak kurutulmuştur. Fenol-sülfürik asit metodu ve glukoza ait standart referans alınarak inülin miktarları hesaplanmıştır. Kış mevsiminden önce hasat edilen yer elmasının inülin miktarı %48.63; kış mevsiminden sonra hasat edilen yer elmasının inülin miktarı %59.83 olarak bulunmuştur. Kış mevsimi boyunca yer elmasındaki nişasta çözünebilir şekere indirgenliği için inülin içeriği artmaktadır. Hasat sonrası yer elmalarına yapılan başka bir çalışmada yumrular yıkanıp daha sonra hipoklorit çözeltisine daldırılmıştır. Bu çalışmada yumrular karanlık koşullarda farklı sıcaklıklarda (-18.4°C ve 18°C) saklanmış ve inülin, sukroz, fruktoz ve glikoz içerikleri takip edilmiştir. Nem içeriği, 4°C ve 18°C'de azalırken -18°C'de saklanan yumrulara, nem içeriği önemli bir azalma göstermezken inulin içeriği tüm sıcaklıklarda azalmıştır.

Depolama sıcaklığı 4°C ve 18°C olduğunda yumruların inülin içeriği 15 gün sonunda sifıra inerken -18°C'de depolanan yumrularda inülin 0.69 gram/gram kuru baz'dan 0.43 g/g'a hidroliz sebebiyle düşmüştür (Cabezas ve diğ., 2002). Depolama sırasında enzim aktivitesiyle yer elması yumrularında polisakkarit miktarı azalırken oligosakkarit miktarı artmaktadır. Yumruları stabil hale getirip daha uzun süre depolamak için enzim aktivitesi haşlama ve spreyle kurutma uygulamasıyla durdurulmaktadır (Slimestad ve diğ., 2010).

Yer elması inülin yönünden oldukça zengin olduğu için yer elmasından inülin eldesi ve elde edilen inülinin gıda endüstrisinde kullanılmasına yönelik çok sayıda araştırma yapılmıştır. Saf inülin soğuk suda neredeyse çok az çözünürken sıcak suda yüksek oranda çözünmektedir. Bu yüzden inülin ekstraksiyonu için sıcak su ekstraksiyonu sıklıkla kullanılmaktadır. Sıcak su ekstraksiyonunda optimum koşullar ve maksimum verim değeri için literatürde farklı sıcaklık ve süreler denenmiştir. İnülin eldesi için uygulanan ekstraksiyon verimi ise sıcaklık, süre ve katı:çözücü oranı gibi faktörlere bağlıdır (Paseephol ve diğ., 2007).

Judprasong ve diğ. (2011) gıdalardaki inülin miktarını belirlemek için bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada yer elmalarının yenilebilir kısımları küçük parçalara (<1 cm) ayrıldıktan sonra dondurularak kurutulmuştur. Dondurularak kurutulmuş yer elması homojenize edilmiş sonrasında ise üzerine 60°C'de 40 mL distile su eklenmiş ve ortamın pH değeri 6.5-8 iken 85°C'de 15 dakika sıcak su ekstraksiyonu uygulanmıştır. Elde edilen ekstraktta fruktoz, glukoz ve sukroz içeriği kuru bazda %1.27, %0.15 ve %5.67 olarak bulunmuştur. Ayrıca yaş ağırlığın inülin ve fruktooligosakkarit içeriği sırasıyla %19.4 ve %5.18 olarak bulunmuştur.

Termittikul ve diğ. (2018) yer elmasından yaş ve kuru öğütme metotlarıyla yer elması tozu hazırladıktan sonra numunelere geleneksel ve ohmik ısıtma destekli ekstraksiyon uygulayarak optimum metodu ve koşulları araştırmışlardır. Yaş öğütme uygulanan yer elmalarının ekstraksiyonu için en uygun katı:çözücü oranı 1:4 olarak bulunurken; kuru öğütme ile hazırlanan yer elması tozu ekstraksiyonu için en uygun katı:çözücü oranı 1:38 olarak bulunmuştur. Ekstraksiyon sırasında ohmik ısıtma uygulanan numunelerde elde edilen fruktan miktarı ve ekstraksiyon verimi geleneksel ısıl işlem ekstraksiyonundan fazladır. Ohmik ısıtma destekli inülin ekstraksiyonunun verimi daha yüksek bulunmuştur.

Yaş öğütme uygulanan numunelerde ohmik ısıtma ile ulaşılan verim %12.91 ve elde edilen fruktan miktarı kuru bazda %39.16; ısıtma işlemi ekstraksiyonu ile ulaşılan verim %6.57 ve elde edilen fruktan miktarı %34.48 olarak bulunmuştur. Kuru öğütme uygulanan numunelerde ohmik ısıtma ile ulaşılan verim %17.59 ve elde edilen fruktan miktarı 57.29; ısıtma işlemi ekstraksiyonu ile ulaşılan verim %16.62 ve elde edilen fruktan %52.52 olarak bulunmuştur. Araştırmacılar, kuru öğütme ve ohmik ısıtma destekli ekstraksiyon yöntemini yüksek verim ve saflıkta inülin tozu elde ettikleri için tavsiye etmişlerdir.

Khuenpet ve diğ. (2015a) yer elması numunelerine kabuklu haşlama, kabuksuz haşlama, kabuksuz ve kabuklu olmak üzere dört farklı ön işlem uygulamışlardır. Ön işlemlerden sonra, örneklere 85°C’ de 30 dakika 1:35 katı: çözücü oranında ısıtma işlemi ekstraksiyonu uygulanmış, santrifüjle ayırma yapıldıktan sonra konsantrasyon işlemi uygulanmıştır. Konsantre edilmiş numunelere sprey kurutma uygulanmıştır. Kuru bazda inülin miktarları kabuklu haşlama uygulanan numunede %39.09, kabuksuz haşlama uygulanan numunede %26.14, kabuksuz ancak haşlama uygulanmayan numunede %33.81 ve kabuklu ve haşlama uygulanmayan numune de %39.98 olarak bulunmuştur. Aynı numunelere sprey kurutma uygulandığında fruktan içeriği sırasıyla %56.29, % 40.27, %34.68 ve %42.11’e yükselmiştir. Ayrıca haşlama işlemi ekstraksiyon ve kurutma sürecinde kararlı reaksiyonlarını da önlemiştir.

Khuenpet ve diğ. (2016) yaptıkları başka bir çalışmada yer elması tozu ve yer elmasından elde edilen inülin tozunun bileşimleri ve farklı gıdalara ilave edilmesi üzerine çalışmışlardır. Yer elması tozu örneklerini hazırlarken yıkama, dilimleme, sitrik asit daldırma (%0.5 kütle/hacim), 100°C’de 2 dakika haşlama, 65°C’de %8 nem oranına dek kurutma ve öğütme işlemleri uygulanmıştır. İnülin tozu üretimi için ise yer elması tozlarına 1:35 katı:çözücü oranında 85°C’de 30 dakika ısıtma işlemi ekstraksiyonu, santrifüj, buharlaştırma ve sprey kurutma uygulanmıştır. Yer elması tozunun inülin tipi fruktan içeriği kuru bazda %51.86-54.47 arasındayken yer elmasından elde edilen inülin tozunun inülin tipi fruktan bileşimi %73.82-79.25 olarak bulunmuştur. İnülin tozunda gözlenen bu artışın sebebi safsızlıklar ve proteinlerin uzaklaştırılmasıdır. Tavsiye edilen günlük inülin tüketim miktarını (5 gram) karşılaması için elde edilen inülin tozundan 6.94 gram pirinç lapası, hazır tahıl içeceği, hazır soya tozu ve çikolata maltı içeceğine eklenmiştir ancak inülin tozu ilave edilmiş

tüm ürünlerin duyusal analizde renk, aroma, viskozite ve toplam kabul edilebilirliği daha düşük bulunmuştur (Khuenpet ve diğ., 2016).

Khuenpet ve diğ. (2015b) yer elması numunelerini haşlama sonrası sıcak havayla ve kızgın buharla kurutma yöntemleri ile kurutmuş ve elde edilen ürünleri karşılaştırmışlardır. Yer elması numuneleri için 65°C'de sıcak hava ile kurutma işlemi daha kısa süre, düşük enerji tüketimi ve renginden ötürü kızgın buharla kurutmaya göre daha uygun bulunmuştur. Aşırı ısıtılmış buharla kurutma işleminde mikroyapı daha yoğun bulunmuştur. Ayrıca, bu çalışmada yer elması tozu ve inülin ekstraktı içerikleri de karşılaştırılmış olup sırasıyla %10 ve %23.62 çözünür şeker, %15.8 ve %23.19 fruktooligosakkarit içerdikleri görülmüştür. Ekstraksiyon sonrasında daha saf inülin tozu üretilmiştir. Yapılan başka bir çalışmada, kurutulmuş ve öğütülmüş yer elması tozlarına, 85°C'de 30 dakika ısıl işlem ile ekstraksiyon 1:35 (kütlece) katı:çözücü oranında uygulanarak inülin ekstraktı elde edilmiştir. Ekstrakt santrifüj edildikten sonra 30° Brix'e kadar evaporasyon işlemi ile konsantre edilip sonrasında sprey kurutma ile kurutulmuştur. Saflaştırılmış inülin için ise ekstrakt süpernatantına, aktif karbon, iyon giderme ve renk giderme işlemleri uygulanmıştır. Saflaştırma işleminden sonra çözelti 30°Brix'e kadar konsantre edilmiş ve sonrasında sprey kurutma uygulanmıştır. Saflaştırılmış inülin tozu üretim verimi kuru madde üzerinden %37.6 olarak belirlenmiştir. İnülin tozunda inülin tipi fruktan miktarı 73.82-79.25 gram/100 gram kuru madde iken saflaştırılmış inülin tozunda inülin tipi fruktan miktarı 82.49-96.22 gram/100 gram kuru maddeye yükselmiştir. Saflaştırma işlemi elde edilen inülin tozunun inülin tipi fruktan içeriği artmıştır (Khuenpet ve diğ., 2018).

Srinameb ve diğ. (2015) yüksek sıcaklık ve yüksek basınç altında yer elmasından inülin eldesi için hızlandırılmış çözücü ekstraktör ile farklı sıcaklıklarda (70°C, 80° ve 100 °C) ve farklı sürelerde (10-30 dakika) ısıl işlem ile ekstraksiyon uygulamışlardır. En yüksek ekstraksiyon verimi, %92.5, 80 °C'de 20 dakika ekstraksiyonda elde edilmiştir. Yüksek sıcaklıklarda uzun süreli ekstraksiyonlar elde edilen inülin miktarını azaltmıştır. Bunun sebebi ise inülin moleküllerinin ısıya ve aside karşı hassas olmasıdır.

Lingyun ve diğ. (2007) yer elmasından inülin eldesi için optimum ısıl işlem ile ekstraksiyon koşullarını araştırmışlardır. Maksimum ekstraksiyon verimi (%83.6) 76.65°C, 20 dakika, nötr pH değeri ve 1:10.56 katı:çözücü oranı olarak belirlenmiştir.

Isıl işlem ile ekstraksiyonu, direkt ve dolaylı ultrason destekli ekstraksiyon ile karşılaştırmışlardır. En yüksek verim değerine, ısıl işlem ekstraksiyonu ile 16 dakikada ulaşırken, dolaylı ultrason destekli ekstraksiyon ile 10 dakikada, direkt ultrason destekli ekstraksiyon ile 8 dakikada ulaşılmıştır. Ultrason destekli ekstraksiyon sayesinde, ekstraksiyon süresi yarıya inerken, ekstraksiyon hızı da artmıştır. En yüksek verime en kısa sürede ulaşmak için en uygun metot dolaylı ultrason destekli ekstraksiyon olarak belirlenmiştir. Direkt ultrason uygulamalarında inülin kısmen degrade olduğu için dolaylı ultrason destekli ekstraksiyon inülin eldesi için daha uygun bulunmuştur. Laboratuvar çalışmalarında sıklıkla kullanılan etanol kullanılarak çöktürme işlemiyle inülin eldesi, verimli bir metot olmasına rağmen endüstriyel ölçekte uygulanamayan pahalı bir metot olduğunu belirtmişlerdir (Lingyun ve diğ. 2007).

Düşük molekül ağırlıklı karbonhidratlar için en uygun çözücü sudur ancak su oligosakkaritlerin yanında protein ve polisakkaritleri de çözmektedir (Johansen, ve diğ.,1996). Ultrason dalgaları bitki hücrelerini parçalayarak etken maddenin hücrelerden dışarı salınmasını sağlar (Vinatoru, 2001). Ultrason destekli ekstraksiyon yüksek verim, düşük enerji gereksinimi ve düşük su tüketimi sağladığı için geleneksel ısıl işlem ekstraksiyonuna alternatif olarak kullanılmaktadır (Chemat ve diğ., 2011).

Jovanovic-Malinovska ve diğ. (2015) kurutulmuş ve öğütülmüş 200 mg'lık yer elması örneklerine, %20-96 derişimleri aralığında 20 mL etanol ile 20-60°C aralığında ve 40 Hz'de çalışan ultrason destekli su banyosunda 5, 10, 20 ve 30 dakika sürelerde ultrason destekli ekstraksiyon uygulamışlardır. Ayrıca, 200 mg kurutulmuş ve öğütülmüş yer elmasını, %85 derişimde 20 mL etanol ile 50°C'de su banyosunda 1 saat ekstraksiyon uygulamışlardır. Ultrason destekli ekstraksiyonda maksimum oligosakkarit miktarını elde etmek için gereken optimum etanol derişimi %63, sıcaklık 40°C ve ekstraksiyon süresi 10 dakika olarak belirlenmiştir. Geleneksel yöntemle 100 gram yer elmasından 1.62 gram oligosakkarit elde edilirken ultrason destekli ekstraksiyonla bu değer 7.17 grama yükselmiştir.

Takeuchi ve Nagashima (2011) yer elmalarına uygulanan ön işlemlerin inülin kaybına ve polifenoloksidaz enziminin aktifliğine olan etkilerini araştırmışlardır. Yer elmaları cips şeklinde dilimlenmiş, sitrik asit ve haşlama ön işlemlerinden geçirildikten sonra 65°C'de nem içeriği %8 olana kadar kurutulmuştur. Elde edilen cipslerin inülin miktarını belirlemek için ise cipsler öğütülerek toz haline getirilmiş, 1:15 katı:sıvı oranında, 80°C'de 20 dakika ekstraksiyon uygulanmıştır.



Yer elması tozu ve RaftilinmST ilave edilen ekmeklerin kabuklarının ıslaklığı standart ekmeğe yakın bulunmuş ancak RaftilosemP95 ilavesi daha nemli bir kabuk oluşturmuştur. Yer elması tozu ilave edilen ekmeklerin hacmi daha fazla bulunmuştur. Duyusal analiz sonuçlarına göre, RaftilinmST ve yer elması tozu eklenen ekmekler yüksek puan almış ve birinci kalite olarak değerlendirilmiştir (Praznik ve diğ., 2002).

Díaz ve diğ. (2019) ise bisküvi hamuruna ilave etmek için, yer elması yumrularını dilimlendikten sonra 60°C'de kurutularak %48.97 inülin, 272 mg gallik asit eşdeğeri /100 g fenolik bileşik, %4.27 protein ve %0.53 yağ içeren yer elması tozu hazırlamışlardır. Bisküviler buğday unu, amarant ve yer elması tozu kullanılarak hazırlanmıştır. Duyusal analizlere göre %75 buğday unu, %8 amarant ve %17 yer elması tozu içeren bisküviler yüksek puanlar almıştır. Yer elması tozu ilave edilen bisküvilerin kalorisi daha düşük olduğu için sağlıklı bir alternatif olduğu ve pişirme boyunca yer elması tozunun 190°C'ye kadar termal olarak stabil kaldığı belirlenmiştir.

Buğday unu, şeker ve yer elması tozu arasındaki etkileşimi inceleyen başka bir çalışmada, yer elması unu ilave edilen kurabiyeler duyusal analizde yüksek puanlar almıştır. Kabul edirliliği en yüksek kurabiyenin formülasyonu 151.89 gram buğday unu, 55.33 gram yer elması unu ve 87.78 gram şeker içermiştir. Ayrıca kurabiyelerin pişirme süresi arttıkça, esmerleşme ve antioksidan aktivitesinde artış meydana gelmiştir. Yer elması unu ilavesi arttıkça hamur sertliği artmış ve hamurun yapışkanlığı azalmıştır. Yer elması unu kurabiye hamurunun ve kurabiyelerin yapısını geliştirmiştir (Lee ve diğ., 2016).

Çelik ve diğ. (2013) öğütülmüş yer elmalarının kararma reaksiyonlarını önlemek için sitrik asit püskürtüldükten sonra 60°C'de kurutularak yer elması tozu hazırlamıştır. Yer elması tozu %5 ve %10 oranında eklenerek hazırlanan kekler sırasıyla 10.4 ve 23.7 mg/g km inülin içermiştir. Ayrıca yer elması tozu keklerin kabuk rengini iyileştirmiş, yumuşaklığını ve hacmini azaltsa da panelistler tarafından beğenilmiştir.

İyi bir lif kaynağı olan yer elması tozu kek, ballı bisküvi ve terayağlı bisküvi gibi farklı ürünlere %30 ve %50 oranlarında ilave edilerek diyet lifi içeriği yüksek daha sağlıklı ürünler elde edilebileceği bildirilmiştir (Gedrovica ve diğ., 2011). İnülin ilavesi ekmek kabuğunun oluşumunu ve Maillard reaksiyonunu hızlandırmıştır. İnülin ilavesi yapılan ekmeklerin pişirme süresi daha kısa olmuş ve kalite özellikleri inülin ilave edilmeyen ekmeklere benzemiştir.

İnülin ilavesi ile besin değeri artırılan beyaz ekmeklerin duyuşal özelliklerinin de tüketiciler tarafından kabul gördüğü bildirimiştir (Poinot ve diğ., 2010).

Köfte formülasyonunun diyet lifi kaynağı olarak yer elması tozu ile zenginleştirilmesi araştırılmıştır (Gedrovica, & Karklina, 2013). Formülasyondaki beyaz ekmek miktarının %25 ve %50'si kadar yer elması tozu ilave edilen ve edilmeyen köfteler arasında duyuşal olarak farklılık gözlenmemiştir. Yer elması tozu ilave edilen ve edilmeyen köftelerin aromalarında farklılık gözlenmemiş, yer elması tozu ilave edilen köftelerin renginin daha koyu olduğı bulunmuştur. Az miktarda (ekmek miktarının %25'i) yer elması tozu ilavesi köftenin yapısının daha esnek olmasını sağlamıştır.

İlave edilen yer elması tozu konsantrasyonu artırıldıkça (ekmek miktarının %50'si) köfte daha tatlı ve sert olmuştur. Düşük miktarda (ekmek miktarının %25'i) yer elması tozu ilave edilen ve edilmeyen köfteler benzer oranda beğenilmiştir (Gedrovica, & Karklina, 2013).

Etüvde kurtulmuş ve dondurularak kurutulmuş yer elması tozları %3-9 oranlarında sosis formülasyonuna eklenmiştir (Afoakwah ve diğ., 2015). Sosis üretimi için hazırlanan yer elması tozlarından dondurarak kurutulmuş olanı %10.74 protein, %82.57 karbonhidrat, %78.16 inülin, %96.85 su, %6.65 kül içerirken, fırında 80°C'de kurutulmuş olanı %10.88 protein, %81.67 karbonhidrat, %78.22 inülin, %94.23 su ve %7.39 kül içermektedir. Sosis formülasyonu için hazırlanan yer elması tozu numunelerinden dondurularak kurutulmanın fenolik bileşen miktarı, su tutma kapasitesi, yağ bağlama kapasitesi, jel yapma kapasitesi, emülsiyon aktivitesi ve stabilitesi, etüvde kurutulmuş yer elması tozununkinden yüksek bulunmuştur. Mısır nişastası yerine yer elması tozu ilavesi pişirme sırasında meydana gelen kayıpları azaltırken, nem içeriğini, oksidatif ve mikrobiyal stabiliteyi arttırmıştır (Afoakwah ve diğ., 2015).

Chaito ve diğ. (2014) piyasada bulunan inülin ilave edilmiş ve edilmemiş 266 kurutulmuş, sıvı ve yarı katı ürünü inceleyerek diyet lifi kaynağı olabilecek gıdaları belirlemiştir. Bir gıdanın lif kaynağı olması için minimum %10, iyi bir diyet lifi kaynağı olması için %10-19 ve mükemmel bir diyet lifi kaynağı olması için  $\geq$ %20 diyet lifi içermesi tavsiye edilmektedir (FDA, Thailand, 1998). Bu çalışmada, yapılan analizlere göre kilo kontrolü için kullanılan toz gıdalar, hazır içecek tozları, hamileler için takviye gıdalar, krem yoğurtlar, meyve suyu ve aromalı içecekler iyi bir diyet lifi kaynağı olarak bulunurken, inülin tozları, yer elması tozu, kilo kontrolü içecekleri,

soya sütü ve içilebilir yoğurtlar ise mükemmelen diyet lifi kaynakları olarak bulunmuştur. İnülin tozunun %33, yer elması tozunun %21, soya sütünün %26 ve içilebilir yoğurtların %22 oranında günlük tavsiye edilen diyet lifi tüketim miktarını karşıladığı bulunmuştur.

Süt ürünlerine inülin eklendiği zaman son ürünün reolojik ve duyuşsal özellikleri değiştirmektedir. rn kalitesindeki değişimler, sütün bileşimine bağlı olduğu gibi inülinin zincir uzunluğu, derişimi ve ürüne uygulanan ısıl işlem sıcaklığına da bağlıdır. Genel olarak inülin eklenen ürünlerin viskozitesi artmaktadır (Glibowski, 2009).

Süt, yüksek miktarda protein ve mineral içeren zengin bileşime sahip bir gıdadır. Süt proteinlerinin büyük bir kısmını oluşturan kazein miselleri, kalsiyum fosfat moleküllerinin bağlanmasıyla oluşturmaktadır. Sütten elde edilen fermente ürünlerin fonksiyonel davranışlarının üzerinde kazein etkilidir. Yoğurt retimi sırasında, sütte bulunan laktoz termofilik laktik asit bakterilerinin enzimleriyle fermente olarak laktik aside çevrilir. Fermentasyon, son üründe pH düşüşüne dolayısıyla kolloidal kalsiyum fosfatların ayrılmasına yol açar. Ayrılan fosfat molekülleri çökmeye başlar ve kümelenmiş küresel kazein partikülleri; peynir altı suyu proteini, laktoz ve tuzdan oluşan süt serumunu çevreleyerek üç boyutlu sürekli yapıda bir jel oluşturur. Oluşan jelin yapısı elektron mikroskopu ile incelendiğinde serumun hapsedildiği gözenekler gözlenmiştir (Routray ve diğ., 2011).

Üretim basamaklarına göre yoğurtlar set tipi ve karıştırılmış (“stirred”) yoğurt olarak ikiye ayrılır. Set tipi yoğurt üretiminde, starter kültürler inoküle edildikten sonra paketleme işlemi yapılır ve pH 4.4-4.7 aralığına ulaşana kadar fermentasyon devam eder. Karıştırılmış yoğurt üretiminde, inokülasyon ve inkübasyon işlemleri fermentasyon tanklarında gerçekleştirilir. İnkübasyon sonrasında oluşan jel ise yavaşça karıştırıldıktan sonra paketlenir. Jeli parçalayarak, güçlü bir kesme hızı ve zamana bağlı akış davranışı gösteren, yüksek viskoziteli, Newton tipi olmayan bir sıvımsı bir yapı oluşturulur (Jaros & Rohm, 2003).

Yoğurt oldukça popüler bir süt ürünüdür ve sağlığa daha yararlı olması için sıklıkla prebiyotik ilaveli yoğurtlar üretilmektedir. İnülin ve fruktooligosakkaritler prebiyotik etki göstermektedirler. Ayrıca, inülin ilavesi yoğurtların reolojik, yapısal ve mikrobiyolojik özelliklerine de olumlu yönde etki etmektedir. İnülin ilavesi yapılmış fermente süt ürünlerinde ilave edilen inülin miktarı arttıkça serum ayrılması azalırken

daha sert, yapışkan ve kıvamlı ürünler elde edilmektedir (Debon ve diğ., 2012). İnülinin su tutma kapasitesi oldukça yüksektir ve suya bağlanan inülin molekülü oldukça hareketlidir ve yüksek derişimlerde inülin ilavesi (%3) serum ayrılmasına yol açmaktadır (Bisar ve diğ., 2015). İnülin nötr bir molekül olduğu için eklendiği ürünlerde gözenekliliğin artmasına ve serum salınmasına sebep olmaktadır. İnülin yağı azaltılmış veya yağsız yoğurtlarda protein bağlanmasını arttırarak serum ayrılmasını azaltmış ve görünür viskoziteyi arttırmıştır (Aryana & Mcgrew 2007; Srisuvor ve diğ., 2013).

Li ve diğ. (2009) tarafından yapılan bir çalışmada, inüline (16 g) oda sıcaklığında 80 mL distile su eklemiştir ve inülin çözülene kadar yavaşça karıştırmıştır. Çözeltiye 20 mL susuz etanol eklendikten sonra 4°C'de 1 saat bekletilmiştir. Santirifüj işlemi uygulandıktan sonra elde edilen çökelti 5 Pa basınçta, -50°C'de 12 saat dondurularak kurutulmuştur. Kurutmadan sonra elde edilen uzun zincirli inülin elde edilmiştir. Sıvı kısım ise döner evaporatör ile yoğunlaştırıldıktan sonra dondurarak kurutulmuş ve kısa zincirli inülin elde edilmiştir. Uzun zincirli inülin molekülleri daha az çözünür ve daha çok bağ yapabilme yeteneği sayesinde yoğurtlarda yağ ikamesi olarak (Paseephol ve diğ., 2008), kısa zincirli inülin molekülleri ise insanların sindirim sistemi tarafından sindirilemediği ve düşük kalorili olduğu için ise şeker ikamesi olarak kullanılmaktadır (Franck, 2002).

Yağı azaltılmış veya yağsız süt ürünlerine karşı olan tüketici talebi gün geçtikçe artmaktadır. Bunun yanı sıra üründe yağın azaltılması veya tamamen ürün reçetesinden çıkarılması ürünün yapısal ve organoleptik özelliklerinde istenmeyen değişikliklere sebep olmaktadır (Krivorotova ve diğ., 2017). Son yıllarda, yağı azaltılmış yoğurtlarda reolojik ve yapısal özellikleri geliştirmek için inülin kullanımına dair çalışmalar yapılmaktadır. Yağı azaltılmış yoğurt üretiminde ilave edilen inülin miktarının (%1, %2 ve %3) etkileri incelendiğinde %1'in üzerinde inülin ilavesinin serum ayrılmasını ve kıvamı arttırdığı gözlemlenmiştir. Ürünün asiditesi inülin derişiminden etkilenmemiştir. Duyusal analiz sonuçlarına göre, panelistler %1 inülin ilave edilen yoğurt numunelerini tam yağlı yoğurt numunelerine yakın bulmuştur, en beğenilmeyen numune ise %3 inülin içeren numune olmuştur (Güven ve diğ., 2005). Paseephol ve diğ. (2008) yağı azaltılmış yoğurtlarda jelleşmenin ve viskozitenin istenen düzeyde olması için yağı azaltılmış yoğurtlara inülin ilavesi yapmışlardır. Yer elması inülini %4 oranında ilave edilmiş yağsız süt (%12 kuru madde) ile hazırlanan

yoğurtlar, inülin ilave edilmemiş yağsız yoğurt numunelerine göre daha düşük görünür viskoziteye, elastiklik ve viskoz modüllerine ve sertliğe sahip bulunmuştur. İnülin ilavesiz tam yağlı yoğurt numunelerine en yakın reolojik özellikler ise uzun zincirli inülin içeren yağsız yoğurt numunelerinde gözlenmiştir (Pasephol ve diğ., 2008).

Crispín-Isidro ve diğ., (2015) yağsız yoğurt numunelerine 20, 40 ve 60 g/L derişimlerinde inülin ve sabır otundan elde edilen fruktan ilavesinin, yapısal, duyuusal ve reolojik etkileri incelenmiştir. Elde edilen numuneler tam yağlı yoğurt numuneleri ile karşılaştırılmıştır.

Tam yağlı yoğurt özelliklerine en yakın numune ise 40g/L inülin ve 60 g/L fruktan ilave edilmesiyle elde edilen numune olarak belirlenmiştir. Ayrıca, numunelerin mikroyapıları incelendiğinde inülinin, yoğurdun yapısındaki kazein miselleriyle ikincil jel yapısı oluşturarak topaklandığını ve fruktan moleküllerinin ise kazein miselleri üzerinde biriktiğini gözlemişlerdir.

Yağ yerine inülin ilave edilmesinin, set tipi yoğurdun fermentasyon işlemine, fiziksel özelliklerine ve serum ayrılmasına etkilerinin incelendiği bir çalışmada, numunelerin içerdiği yağ miktarı (%0.14, %1.6 ve % 3.6) arttıkça pıhtılaşma (koagülasyon) gecikmiş ve ortamın pH değerinin 4.8'e ulaşma süresi artmıştır. İnülin ilave edilen numunelerde ise, eklenen inülin miktarı (%0, %1.6, %3.2) arttıkça bu süre kısalmıştır. Ayrıca inülin eklenen numunelerin elastik modülü artmaktadır ve elde edilen inülin miktarı arttıkça ürünün sertliği tam yağlı yoğurdun sertlik değerine yaklaşmıştır. Eklenen inülin miktarındaki artış, anlık serum ayrılmasını arttırmış fakat son ürünün su tutma kapasitesine bir etkisi olmamıştır (Arango ve diğ., 2020).

Guggisberg ve diğ. (2009) farklı oranlarda (%0.2-3.5) yağ içeren set tipi yoğurt numunelerine farklı miktarlarda (%0–4%) inülin ilave emiştir. Elde edilen ürünün yapısına etkileri 5°C'de 6 gün depolama yapıldıktan sonra incelenmiştir. Eklenen inülin miktarı ve yağ miktarı arttıkça elde edilen ürünün kremsiliği ve viskozitesi artmıştır. Kremsilik %1, %2 ve %3.5 yağ içeren yoğurtlarda inülin ilavesiyle artmaktayken yağ içeriği %0.1 olan numunelerde inülinin etkisi gözlenmemiştir. Ayrıca, eklenen inülin miktarının pH değerine etkisi olmamıştır. Yapılan bu çalışmaya göre yağ içeriği %2 ve %3.5 olan yoğurtlara inülin ilavesiyle besin değeri yüksek ürünler üretilebilir. Ayrıca, set tipi yoğurtlarda (%0,1 ve %1 yağ içeren) ilave edilen inülin konsantrasyonu arttıkça yoğurdun inkübasyon süresi kısalmaktadır.

Tatjana ve diğ. (2017) farklı cins yer elmalarından elde edilen yer elması tozu ilave edilmiş tam yağlı yoğurt örneklerinin reolojik ve yapısal özelliklerini karşılaştırmışlardır. Yer elması tozundan, fruktooligosakkarit ve karbonhidratların ekstraksiyonu için dört farklı metot denenmiştir ve kullanılan yöntemlerin yoğurdun özelliklerine olan etkisi incelenmiştir. Ayrıca elde edilen örnekler sukroz ve hindiba inülini içeren örneklerle karşılaştırılmıştır. Yapılan çalışmada Albik ve Rubik kültürleri kullanılmıştır. Yer elmaları 80°C'de 24 saat kurutulmuş ve sonrasında öğütülerek yer elması tozu hazırlanmıştır. Yer elması tozundan fruktooligosakkarit eldesi için ise dört farklı yöntem izlenmiştir.

İlk yöntemde; 10 gram yer elması tozu 200 mL distile suyla karıştırılmış ve sıcak su banyosunda 85°C'de 30 dakika ısıtılmıştır. Karışım 40°C'ye soğutulduktan sonra 9000xg 'da 20 dakika santrifüj edilmiştir. Elde edilen ekstrakt ise vakum altında 80°C'de buharlaştırılarak konsantre edilmiştir. Derişik haldeki ekstrakt 55°C'de 3 gün etüvde kurutulmuştur. İkinci metotta, ekstrakt ilk metottaki gibi hazırlanmıştır ve posası ayrılmıştır. Elde edilen ekstrakt, aktif karbon eklendikten sonra 60°C'de 15 dakika sıcak su banyosunda bekletilmiştir. Santrifüj ve filtrasyon işlemleri uygulandıktan sonra ilk metotta uygulanan buharlaştırma ve kurutma işlemleri uygulanmıştır. Üçüncü metotta; 10 gram yer elması tozuna 200 mL asetik asit eklenerek pH'sı 4'e ayarlanmış su eklenmiştir ve ikinci metottaki işlemler aynı şekilde uygulanmıştır. Dördüncü metotta ise, yer elması tozlarına ilk metotta kullanılan yöntemler, vakum altında buharlaştırma işlemine kadar uygulanmıştır. Sonrasında ise etanol veya asetoneitril elde edilen ekstrakta 5:1 (hacimce) oranında eklenmiş ve 5°C'de 1 saat bekletilmiştir. Elde edilen çökelti santrifüj edildikten sonra 50°C'de kurutulmuştur. Yoğurt numuneleri için, 2, 4 ve 8 gram yer elması tozu ekstraktı ya da 4 gram yer elması tozu 75 mL deiyonize su ile karıştırılıp 15 gram süt tozuna karıştırılmıştır. Elde edilen karışıma son ağırlığı 99 gram olana kadar deiyonize su eklenmiştir. Elde edilen tüm karışımlar 80°C'de 30 dakika sıcak su banyosunda ısıtıldıktan sonra fermentasyon sıcaklığına soğutulmuştur. Sonrasında 1 mL yoğurt kültürü eklenmiş, 45°C'de 5 saat fermentasyon gerçekleştirilmiştir, sonrasında ise elde edilen yoğurtlar 5°C'ye soğutulmuştur. Yer elmasından elde edilen inülini karşılaştırmak amacıyla hindibadan elde edilmiş polimerizasyon derecesi 10'dan yüksek olan inülin ile de yoğurt numuneleri hazırlanmıştır (Tatjana ve diğ., 2017).

En yüksek verimle (%76–81) kuru madde ekstraktı üçüncü yöntemle elde edilirken en düşük verim etanol ve asetonitrille (%10-13) çöktürme metodunda gözlenmiştir. İnülin eklenen yoğurt numunelerinin pH değerleri ve asitliği kontrol numunelerinkinden farklı bulunmamıştır. Tüm yoğurt numunelerinin viskoelastik özelliği artmıştır. İnülin ve Rubik yer elmasından elde edilen yer elması tozu ilavesiyle üretilen yoğurtlar daha kıvamlı bulunmuştur. Bunun sebebinin inülinin kazein ve peynir altı suyu protein bağına arttırması olduğu bildirilmiştir (Tatjana ve diğ., 2017). Amfifilik yapıdaki inülin protein molekülleriyle çok sayıda hidrojen bağı yapmakta ve güçlü bir jel yapısı oluşturmaktadır (Kip ve diğ., 2006).

Yer elması tozu eklenen yoğurt numunelerinin sertlik değeri, diğer numunelerin sertlik değerinin yarısından daha düşük bulunmuş, bu durumun yer elması tozlarının partikül büyüklüklerinin jel oluşumu için daha büyük ve heterojen olması ile ilişkili olabileceği bildirilmiştir. Ayrıca, yer elması tozunun iyonik kuvveti de saf haldeki inülinin iyonik kuvvetinden farklıdır ve bu durum jelin yapısını etkilemektedir (Tatjana ve diğ., 2017).

Li ve diğ. (2019) inülin ve çapraz bağlı inülin eklenen set tipi yoğurt numunelerin mikrobiyolojik, reolojik ve duyusal özelliklerini karşılaştırmıştır. Çapraz bağlı inülin ilave edilen yoğurtlarda yüksek asitlik ve 14 günlük depolama süresinde daha düşük serum ayrılması gözlenmiştir. Yüksek polimerazyon derecesine sahip çapraz bağlı inülin eklendiğinde ise daha sert ve yapışkan yoğurtlar elde edilmektedir. Ayrıca, bu numunelerde bulunan probiyotik bakterilerin canlı kalma süreleri daha uzun bulunmuştur. Duyusal analiz sonucunda, çapraz bağlı uzun zincirli inülin içeren numuneler daha yüksek puan almıştır fakat kullanılan inülin tipi koku ya da rengi etkilememiştir. Prebiyotik bir bileşen olan inülin sayesinde set tipi yoğurtların yapısal özelliklerinin geliştirilebileceği ve raf ömrünün uzayacağı bildirilmiştir.

Aryana ve McGrew (2007) yağsız, sade probiyotik yoğurtta %1.5 oranında farklı zincir uzunluklarına sahip inülin eklemiştirlerdir. Elde edilen yoğurt numunelerinde, inülin moleküllerinin zincir uzunluklarının viskozite ve renk üzerine etkileri olmamıştır. Bunun yanı sıra, uzun zincirli inülin ilave edilen yoğurtlarda daha az serum ayrılması gözlenmiş, kısa zincirli inülin molekülü içeren numunelerin pH değeri kontrol grubuna göre düşük bulunmuştur. Kısa zincirli inülin ilave edilen numunelerin tadı uzun zincirli inülin ilave edilen numunelere göre daha çok beğenilse de, uzun zincirli inülin ilavesi yapılan numunelerin yapısal ve dokusal özellikleri kontrol grubuna ve diğer numunelere göre daha fazla beğenilmiştir.

Bisar ve diğ. (2015) tam yağlı ve yağsız fermente süt ürünü numunelerine %3 oranında maltodekstrin, polidekstroz ve inülin ilave etmişlerdir. İnülin ilave edilen yoğurt numunelerinin asitlik değerleri kontrol grubuna göre depolama sürecinde (21 gün) artış göstermiştir. İnülin ilavesi numunelerde serum ayrılmasını azaltmıştır ancak azalma miktarı maltodekstrin ve polidekstroza göre daha az bulunmuştur. Bunun nedeninin inülinin su tutma özelliğinin nişasta bazlı polisakkaritlere göre daha fazla olması ve daha düşük molekül ağırlığına sahip olması olarak belirtilmiştir.

İNülin ilave edilen numunelerin viskozite değerleri kontrol grubuna göre daha yüksek bulunmuş fakat maltodekstrin ve polidekstrozun viskoziteyi inüline nazaran daha çok artırdığı bulunmuştur (Bisar ve diğ., 2015).

Yoğurda fruktooligosakkarit ilave edilmesi sonucunda laktik asit bakterilerinin sayısı 28 günlük bir sürede kontrol yoğurda göre daha hızlı düştüğü bulunmuştur (Akalın ve diğ., 2004). Bifidobacterium longum'un canlılık süresi prebiyotik yokluğunda 7 gün iken fruktooligosakkarit varlığında 21 güne çıktığı belirtilmiştir. İnülinin yoğurt kültürü ve probiyotik mikroorganizmaların canlılık sürelerine ve aktivitelerine olumlu etkisi olduğu bulunmuştur.

### **1.3 Hipotez**

Bu çalışmada, yer elmasından inülinin ultrason destekli ekstraksiyon ile ısıl işlem ekstraksiyona göre daha düşük enerji kullanılarak ekstrakte edilebileceği hipotezi araştırılmıştır.



## 2. MALZEME VE YÖNTEM

### 2.1 Malzemeler

Yer elması Sakarya’da yerel yetiştiricilerden alınmıştır. Ticari inülin Orafiti-®-HP (Beneo, Artisan Gıda, İstanbul) firmasından temin edilmiştir. Bu inülin üretici firma tarafından yağ ikamesi için düşük sıcaklıkta yüksek performanslı inülin olarak tavsiye edilmekte ve polimerizasyon derecesinin 23’ün üzerinde olduğu bildirilmektedir . Reolojik analizler için kullanılan yarım yağlı (%1,5 yağ) yoğurt numuneleri (Sütaş, Bursa) yerel marketten alınmıştır.

### 2.2 Yöntem

#### 2.2.1 İnülin tozu eldesi

Çalışmada, ekstraksiyon yöntemlerinin ve koşullarının inülin eldesi verimine etkilerinin incelenmesi için ısıl işlem ekstraksiyonu ve ultrason destekli ekstraksiyon ile inülin tozu örnekleri elde edilmiştir. Yer elmaları yıkandıktan sonra kabukları soyulmuş ve yaklaşık olarak 2x2x0.2 cm (en, boy, kalınlık) boyutlara dilimlenmiştir. Yer elması dilimleri kararmanın engellenmesi için, 5 dakika boyunca %0.05 sitrik asit içeren distile suda bekletilmiştir. Aside daldırma işleminden sonra yer elması dilimleri, 75°C’de sabit tartıma gelinceye kadar kurutulmuştur. Kurutulmuş örnekler blender yardımıyla öğütüldükten sonra 200 µm açıklıklı elekten geçirilmiştir.

Elde edilen yer elması tozu örneklerinden 1.00±0.02 gram tartılarak 20 mL distile su ile manyetik karıştırıcı yardımı ile karıştırılmıştır. Elde edilen numunelere, Çizelge 2.1’de belirtilen koşullarda ekstraksiyon işlemleri uygulanmıştır. Isıl işlem ile ekstraksiyonda örnekler 80°C’de su banyosunda manyetik karıştırıcı ile karıştırılarak inülin ekstrakte edilmiştir. Ultrason destekli ekstraksiyon için 400 W güç ve 24 kHz frekansta çalışan yüksek güçlü ultrasonikatör (UP400S, Hielscher, Almanya) ve H7 probu (H22D, Hielscher, Teltow, Almanya) kullanılmıştır. Ultrason gücü %20 düzeyinde uygulanmış ve örnekler uygulama sırasında manyetik karıştırıcı ile karıştırılmıştır. Uygulama aralarında prob soğuk su ile soğutulmuştur.

Ultrason işlemi sırasında 50-60°C arasında sıcaklık yükselmesi olduğu için 60°C’de 10 dk ısıtma işlemi ekstraksiyonu da kontrol örneği olarak deneme planına dahil edilmiştir.

**Çizelge 2.1:** Ekstraksiyon koşulları.

Numune Kodu	Uygulanan İşlem	Süre	Sıcaklık (°C)	Çıkış sıcaklığı (°C)
K 60	Isıl işlem ile ekstraksiyon	10	60	63.2
K 80	Isıl işlem ile ekstraksiyon	10	80	82.8
US 20-5	Ultrason Destekli Ekstraksiyon	5	20	50.2
US 20-10	Ultrason Destekli Ekstraksiyon	10	20	58.9
US 50-5	Ultrason Destekli Ekstraksiyon	5	50	59.2
US 50-10	Ultrason Destekli Ekstraksiyon	10	50	65.4
K 60	Isıl işlem ile ekstraksiyon	10	60	63.2

### 2.2.2 Kuru madde analizi

Taze yer elmasından ve elde edilen ekstrakttan 3.0±0.2 gram alınarak nem kaplarına (5 cm yarı çap; 2 cm derinlik) yayılarak aktarılmıştır. Numune vakumlu etüvde 70°C’de sabit ağırlığa gelene kadar kurutulmuştur. Numunenin sabit ağırlığa geldiği 1 saat aralıklarla alınan ölçüm sonuçları arasında %0.05’ten daha az bir fark olduğunda anlaşılmıştır (AOAC 2002).

Ekstraksiyon işleminden sonra, örnek oda sıcaklığına buzlu su ile soğutulmuş, vorteks karıştırıcı ile karıştırılmış ve 4000 rpm’de 20 dakika santrifüj edilmiştir. Elde edilen supernatanta protein ve diğer safsızlıkları çöktürmek için pH değeri 10.5-11.5 olana kadar %5’lik Ca(OH)<sub>2</sub> bulamacı ilave edilmiştir. Çözelti 35-40°C’deki su banyosunda 30 dakika bekletildikten sonra Whatman No. 4 filtre kağıdından filtre edilmiştir. Süzüntüdeki kalsiyum hidroksiti nötralize etmek için pH değeri 8,0-9,5 aralığına düşene kadar 60-80°C’de %10’luk fosforik asit ilave edilmiştir, hemen ardından filtrasyon işlemi tekrar edilmiştir (U.S Patent No: 5,254,174). Saflaştırma işleminden sonra elde edilen çözeltiler vakumlu etüvde 70°C’de sabit tartıma gelinceye kadar (~16 saat) kurutulmuştur. Kurutma işleminden sonra elde edilen inülin tozları, kapaklı cam kavanozlarda 4°C’de depolanmıştır.

Ekstraksiyon işlemlerinden elde edilen verim değeri aşağıdaki formül ile hesaplanmıştır.

$$\text{Verim (\%)} = \frac{w_i}{w_y} * 100 \quad (2.1)$$

Burada;

$w_i$ : İnülin tozu miktarı (g)

$w_y$ : Kullanılan yer elması tozu miktarı (g)'dir.

### 2.2.3 Toplam şeker analizi

Saflaştırma işleminden sonra elde edilen ekstraktta inülin miktarını belirlemek için fenol-sülfürik asit metodu kullanılmıştır (Dubois, Gilles, Hamilton, Rebers, & Smith, 1956). Çözeltide 1 mL'de 20 µL şeker olacak şekilde seyreltme (hacimce, 1:1000) yapıldıktan sonra 1 mL çözeltiye önce 1 mL %5'lik fenol çözeltisi, ardından 5 mL konsantre sülfürik asit çözeltisi ilave edilmiştir. Karışımlar 30 dakika bekletildikten sonra elde edilen turuncu renkteki çözeltilerin 490 nm'de absorbansı UV spektrometre (UV-3100PC, VWR, İstanbul, Türkiye) kullanılarak ölçülmüştür. Fruktoz kalibrasyon eğrisi 0-50 mg/mL aralığındaki konsantrasyonlarda hazırlanarak kalibrasyon eğrisi oluşturulmuştur (EK A.1).

Ekstraktlardaki inülin konsantrasyonu kalibrasyon eğrisi kullanılarak fruktoz cinsinden hesaplanmıştır. İnülin tozlarının saflık değeri aşağıdaki formül ile hesaplanmıştır.

$$\text{İnülin tozunun saflığı} = \frac{w_e}{w_i} * 100 \quad (2.2)$$

Burada;

$w_e$  : Ekstraktın inülin içeriği (g),

$w_i$  : İnülin tozu miktarı (g)'dir.

### 2.2.4 FTIR analizi

İnülin tozu numuneleri FT-IR cihazı haznesine (Bruker Tensor II, Agilent, İstanbul, Türkiye) yerleştirilmiştir ve 4000-400 cm<sup>-1</sup> dalga boyu aralığında spektroskopisi çekilmiştir. Numunenin verdiği piklere göre içerdiği kimyasal bağlar belirlenmiştir.

### **2.2.5 Diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) analizi**

İnülin tozu numuneleri infrared kurutucu yardımıyla nem içeriği  $1.0 \pm 0.5$  olacak şekilde kurutulmuştur. On mikrogram kurutulmuş inülin tozu alüminyum kaba koyularak hermetic olarak kapatılmıştır. Kap DSC cihazına (DSC Q10, TA Instruments, İstanbul) yerleştirilerek boş kaba karşılık termal analiz yapılmıştır. Her iki kap önce oda sıcaklığından  $10^{\circ}\text{C}/\text{dakika}$  hızda  $200^{\circ}\text{C}$ 'ye ısıtıldıktan sonra  $40^{\circ}\text{C}/\text{dakika}$  hızda  $-40^{\circ}\text{C}$ 'ye soğutulmuştur. Soğutulan numuneler  $10^{\circ}\text{C}/\text{dakika}$  hızda tekrar  $200^{\circ}\text{C}$ 'ye ısıtılmıştır. Elde edilen ikinci ısıtma grafiğinden camsı geçiş sıcaklığı belirlenmiştir.

### **2.2.6 Rekonstitüye yoğurttta inülin tozunun kullanımı**

Marketten alınan yarım yağlı yoğurt örnekleri ilk önce kaşıkla daha sonra problu homojenizatörle (Ultraturrax T18, IKA Werke, Staufen, Almanya)  $3600\text{ rpm}$ 'de 1 dakika boyunca homojenize edilmiştir. Yoğurt örnekleri  $-20^{\circ}\text{C}$ 'de dondurulmuş ve daha sonra liyofilizatörde (Freezone45, Labconco, Kansas, ABD)  $0.021\text{ mBar}$  basınç altında  $-50^{\circ}\text{C}$ 'de 2 gün boyunca kurutulmuştur. Kurutulan örnekler, partikül boyutlarının homojen olması için 1 dakika öğütülmüş ve  $425\text{ }\mu\text{m}$  açıklıklı elekten geçirilerek yoğurt tozu elde edilmiştir. İnülin son yoğurt örneğinde  $\%2$  olacak şekilde,  $0.1\text{ gram}$  inülin tozu,  $0,75\text{ gram}$  yoğurt tozu ve  $3,5\text{ mL}$  distile su kullanılarak için rekonstitüye yoğurt numuneleri hazırlanmıştır ve analizden önce  $4^{\circ}\text{C}$ 'de 1 gün bekletilmiştir.

Rekontitüye yoğurt örneklerinin reolojik özellikleri reometre (Rheostres1, Karlsruhe, Almanya) kullanılarak  $35\text{ mm}$  çapında ve  $2^{\circ}$  açığa sahip konplaka (CP35mm-2°Ti, Thermo Fisher Scientific, Karlsruhe, Almanya) sensörü ile ölçülmüştür. Örnekler, vorteks karıştırıcı ile karıştırıldıktan sonra reometre haznesine spatül ile konulmuştur. Kayma hızı  $0-300\text{ s}^{-1}$  aralığında  $150$  saniyede artırılarak akış eğrileri elde edilmiştir. Örneklerin kıvam indeksi, akış davranış indeksi ve akma gerilimi değerleri, akış eğrisi verilerine cihazın yazılımı ile üslü yasa ve Herschel–Bulkley modeli uygulanarak belirlenmiştir.

### **2.2.7 İstatiksel analizler**

İstatistiksel analizler için Minitab 16.2.4 (Minitab, Coventry, Birleşik Krallık) yazılımı kullanılmıştır. İşlemlerin ölçülen özelliklere etkileri tek yönlü varyans analizi (ANOVA) ile ve ortalamalar arasındaki farklılıklar Tukey testi ile belirlenmiştir.





### 3. BULGULAR VE TARTIŞMA

#### 3.1 Ekstraksiyon Verimi

Yer elmalarının kuru madde içeriği  $17\pm 0.15$  olarak bulunmuştur. Kurutulmuş yer elması tozundan inülin tozu elde etmek için numunelere farklı ekstraksiyon işlemleri uygulanmış ve numuneler saflaştırıldıktan sonra kurutulmuştur. Ekstraksiyonda kullanılan yer elması tozunun kuru maddesi  $1.2\pm 0.30$  olarak bulunmuştur. Isıl işlem içeren geleneksel ekstraksiyon 60 ve 80°C’de 10 dakika uygulandığında sırasıyla  $32.27$  ve  $34.27$  verimle inülin tozu elde edilirken; 20°C’de 5 ve 10 dakika ultrason destekli ekstraksiyon uygulandığında  $33.07$  ve  $33.31$  verimle inülin tozu elde edilmiştir. Ultrason destekli ekstraksiyon 50°C’de 5 ve 10 dakika uygulandığında ise  $32.14$  ve  $32.71$  verimle inülin tozu elde edilmiştir. İstatiksel olarak, yer elmasından elde edilen inülin tozlarının miktarları arasında önemli bir farklılık bulunmamıştır ( $p>0.05$ ). Ultrason uygulamasında parametrelerin değiştirilmesi elde edilen verimi etkilememiştir. Ancak en düşük ultrason parametrelerinde (20°C/5 dakika) ısıl işlem ekstraksiyonlarında elde edilen verime benzer bir verim elde edilmiştir. Dolayısıyla ultrason ekstraksiyonda uygulanan sıcaklık ve süreyi kısaltabilecek bir uygulama olarak bulunmuştur.

**Çizelge 3.1:** İnülin tozu eldesinde uygulanan ısıl işlem ve ultrason destekli ekstraksiyon işlemlerinden elde edilen verim.

İşlem	Kullanılan Yer Elması Tozu (g)	İnülin Tozu	Verim (%)
K60	1.0274±0.02	0.3316 ± 0.01 <sup>a</sup>	32.3 ± 0.7
K80	1.0730±0.05	0.3677 ± 0.01 <sup>a</sup>	34.3 ± 0.2
US20-5	1.0655±0.06	0.3524 ± 0.03 <sup>a</sup>	33.1 ± 0.3
US20-10	1.0630±0.05	0.3541 ± 0.01 <sup>a</sup>	33.3 ± 0.8
US50-5	1.0380±0.04	0.3336 ± 0.01 <sup>a</sup>	32.1 ± 0.8
US50-10	1.0489±0.02	0.3431 ± 0.01 <sup>a</sup>	32.7 ± 1.0
K60	1.0274±0.02	0.3316 ± 0.01 <sup>a</sup>	32.3 ± 0.7
K80	1.0730±0.05	0.3677 ± 0.01 <sup>a</sup>	34.3 ± 0.2
US20-5	1.0655±0.06	0.3524 ± 0.03 <sup>a</sup>	33.1 ± 0.3
US20-10	1.0630±0.05	0.3541 ± 0.01 <sup>a</sup>	33.3 ± 0.8

\*Aynı sütunda aynı harfle işaretlenmiş ortalamalar farklı değildir ( $p>0.05$ ).

Kays ve Nottingham (2008), yer elmasının yaklaşık %80 su, %15 karbonhidrat ve %1-2 oranında protein içerdiğini bildirmişlerdir. Yer elması yumrularının içerdiği inülin miktarını ise yaş ağırlığın %7-30'u aralığında (kuru ağırlığın %50'si) olduğunu bulmuşlardır. Aynı şekilde Van Loo ve diğ. (1995) yer elmasında kuru madde oranını %19-23; yumruların inülin içeriğini de yaş ağırlığın %8-21'i kadar olduğunu bulmuştur. Yapılan başka bir çalışmada, kullanılan yer elmalarının kuru madde miktarı %20-32 aralığında bulunmuştur ve kuru maddenin %54-75'inin suda çözünür inülin olduğu belirlenmiştir (Černiauskienė ve diğ., 2018). Bu çalışmada da kullanılan yer elması yumrularının kuru madde miktarı %17 olarak bulunmuştur ve bu değer yapılan çalışmalarda bulunan değerlere benzerlik göstermektedir. Elde edilen inülin tozu miktarı literatürde belirtilen değerlerden düşük bulunmuştur. Bu durum kullanılan yer elması türünün farklı olması ve taze olması ile ilgili olabilir.

### **3.2 İnülin Ekstraktlarının Toplam Karbonhidrat İçeriği**

Yer elması tozundan elde edilen ekstraktlardaki inülin içeriği %29.01-30.41 aralığında bulunmuştur (Çizelge 3.2). En yüksek inülin içeriği 80°C'de ısıtma işlemi ekstraksiyonu uygulanan ve 20°C ve 50°C'de 10 dakika ultrason destekli ekstraksiyon uygulanan numunelerde saptanmıştır. Ultrasonik ekstraksiyon uygulanan örneklerde, işlem süresi uzadıkça verimin biraz arttığı gözlemlenmiştir. Ultrason destekli ekstraksiyon ile ısıtma işlemi ekstraksiyonu uygulanan örneklerin inülin içerikleri karşılaştırıldığında ise ultrason destekli ekstraksiyon sayesinde daha düşük sıcaklıklarda benzer inülin içeriğine ulaşılmıştır.

İnülin tozlarının saflık değeri %82.42-91.92 aralığında bulunmuştur. En saf inülin tozu 50°C'de ultrason destekli ekstraksiyon uygulanarak üretilirken, en düşük saflık 20°C'de 5 dakika ultrason uygulamasıyla üretilen inülin tozunda elde edilmiştir. Ultrasonun 20°C ve 50°C'de 5 dakika uygulandığı örneklerde inülin içeriği ve saflık düşük olduğundan, çalışmaya 60°C ve 80°C'de ısıtma işlemi ekstraksiyonu, 20°C ve 50°C 10 dakika ultrason destekli ekstraksiyon uygulanarak hazırlanan örneklerle devam edilmiştir.

**Çizelge 3.2:** Isıl işlem ve ultrason destekli ekstraksiyon ile elde edilen inülin ekstraktlarının inülin içeriği ve saflığı.

Örnek	İnülin içeriği	İnülin Tozunun Saflığı (%)
K60	29.02 ± 0.11 <sup>ab</sup>	88.0±3.7
K80	30.34 ± 0.09 <sup>a</sup>	93.9±3.6
US20-5	26.15 ± 0.79 <sup>c</sup>	85.82±2.5
US20-10	29.80 ± 0.37 <sup>a</sup>	84.0±2.9
US50-5	27.82 ± 0.31 <sup>b</sup>	91.2±2.2
US50-10	30.41 ± 0.16 <sup>a</sup>	90.9±0.8
K60	29.02 ± 0.11 <sup>ab</sup>	88.0±3.7

\*Aynı sütunda aynı harfle işaretlenmiş ortalamalar farklı değildir (p>0.05).

Khuenpet ve diğ., (2015) kabuklu ve kabuksuz yer elmalarına haşlama uygulamasının ve ısıl işlem ekstraksiyonunun etkisini araştırmışlardır. Örneklerin inülin tipi fruktan içeriği sırasıyla %35-56 aralığında bulunmuştur. Haşlama yapılan örneklerin inülin içeriğinin fazla olduğunu ve bunun da haşlama işleminin hücreleri parçalayarak ekstraksiyon verimini arttırması ile ilişkili olduğunu bulmuşlardır. Ayrıca, haşlama yapılmayan örneklerde santrifüj sırasında ayrılan safsızlıklar daha fazla bulunmuştur ve aynı zamanda inülin kaybı meydana gelmiştir. Bu çalışmada da uygulanan ultrason sayesinde hücreler işlem sırasında parçalanmış ve ısıl işlem ekstraksiyonuna kıyasla daha düşük sıcaklıkta inülin elde edilmiştir.

Termrittikul ve diğ. (2018) kuru öğütme metoduyla yer elması tozu hazırladıktan sonra ohmik ısıtma destekli ekstraksiyon ve ısıl işlem ekstraksiyonu uygulayarak inülin tozu elde etmişlerdir. Yer elması tozundan inülin eldesi verimi sırasıyla %17.59 ve %16.62 iken, tozun inülin tipi fruktan içeriği sırasıyla %57.29 ve %52.52 olarak bulunmuştur. Ohmik ısıtma destekli ekstraksiyon, örneklerde elektroporasyona ve sıcaklık artışına sebep olduğu için örneğin hücre bütünlüğü ekstraksiyon sırasında bozulmaktadır. Böylelikle, elde edilen inülin miktarı artmıştır. Bu çalışmada elde edilen inülin tozu verimi daha yüksek olsa da elde edilen tozun inülin tipi fruktan içeriği daha düşük bulunmuştur. Ultrason destekli ekstraksiyon, ohmik ısıtma destekli ekstraksiyona benzer şekilde ekstraksiyon verimini olumlu yönde etkilemiştir.

Khuenpet ve diğ. (2016) ısıtma işlemi ekstraksiyonu ile yer elmasından? (85°C - 30 dakika) inülin tozu elde etmiştir. Elde edilen inülin tozunun, inülin tipi fruktan içeriği kuru bazda %75 olarak bulunmuştur.

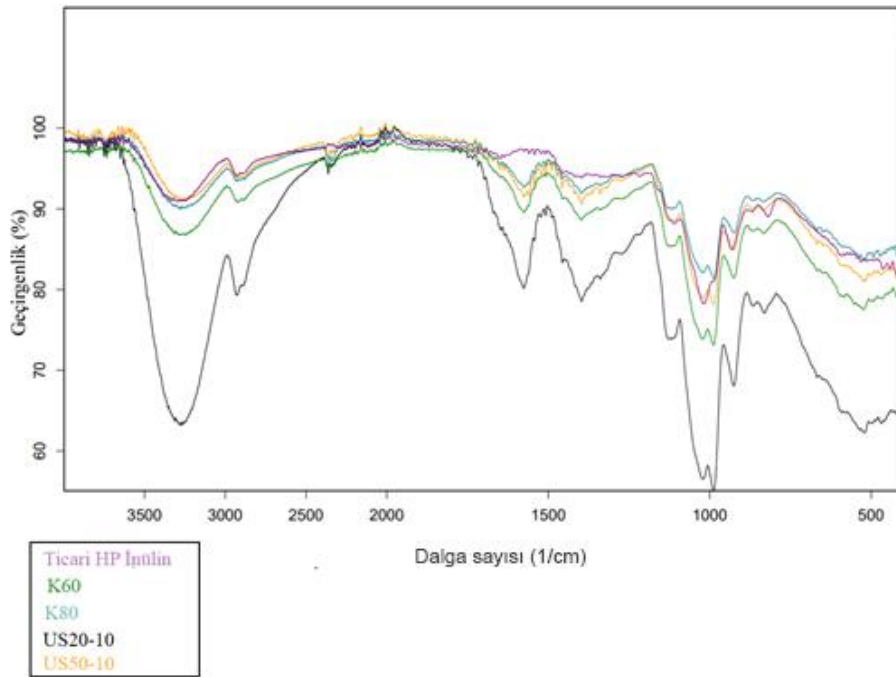
Başka bir çalışmada, kurutulmuş yer elmalarından sıcak su ekstraksiyonu (85°C - 30 dakika) ve saflaştırma işlemleri (karbonlama, iyon giderme, renk giderme) ile saflaştırılmış inülin tozu elde etmiştir. Sıcak su ekstraksiyonu ve santrifüj işlemi sonrası elde edilen inülin ekstraktının ve saflaştırma işlemlerinden sonra elde edilen inülin tozunun sırasıyla inülin tipi fruktan içeriği %73.82-79.25 ve %82.49-96.22 aralığında bulunmuştur (Khuenpet ve diğ., 2018). Uygulanan ısıtma işlemin süresi, çalışmada uygulanan sıcaklıklardan daha yüksek ve gelişmiş saflaştırma basamakları olduğu için belirtilen değerler, bu çalışmada elde edilen değerlerden yüksektir.

Hancı ve diğ., (2020) Türkiye'nin farklı bölgelerinden 18 yer elması örneğinin inülin içeriği ve ekstraksiyon verimini belirlemiştir. Yer elmalarının kuru madde içeriği %18.99-20.33 aralığında bulunmuştur. Örneklerin kuru bazda inülin içeriğinin %33.79- 82.34 aralığında olduğu belirlenmiştir. Bu çalışmada kullanılan örneklerin kuru madde içeriği belirtilen aralıktadır, inülin içeriği ise, Samsun'dan temin edilen yer elmalarının inülin içeriğine yakındır. Puttha ve diğ. (2012) farklı genotip ve çevresel faktörlerde yetiştirilen yer elması örneklerinin inülin içeriğinin, kuru bazda %55-74 aralığında olduğunu ve inülin içeriğinin örneklerin hasat zamanına, yetiştirildikleri toprağın içeriğine, ortamın sıcaklığına ve nem miktarına bağlı olarak değiştiğini belirtmiştir.

### **3.3 İnülin Tozlarının FTIR Yöntemi ile İncelenmesi**

Organik fonksiyonel grupların absorpladığı spesifik dalga sayıları Çizelge 3.3'te verilmiştir Gıda bileşenleri, yakın kızılötesi bölgede absorpsiyon bantları içerir. Örneğin, 1400-1450 cm<sup>-1</sup> bölgesinde su molekülünde -OH bağları ; 2080-2220 cm<sup>-1</sup> ve 1560-1670 cm<sup>-1</sup> bölgelerinde protein ve peptidlerin -NH deformasyonu; 2300-2350 cm<sup>-1</sup> bölgesinde yağların metilen, -CH, -CH<sub>2</sub> ve -CH<sub>3</sub> bağları ve 2060-2150 cm<sup>-1</sup> bölgesinde karbonhidratların C-O ve O-H bağları absorpsiyon piki verir (Nielsen, 2010).

Çalışmada üretilen inülin tozu örneklerinin spektrumları, ticari inülin tozu örneği referans alınarak 400-4000  $\text{cm}^{-1}$  dalga sayıları arasında Şekil 3.1’de verilmiştir. -OH gerilme titreşimleri 3200-3600  $\text{cm}^{-1}$  arasında; -CH gerilme titreşimleri 2890-2930 $\text{cm}^{-1}$  arasında; -OH eğilme titreşimleri 1300-1500  $\text{cm}^{-1}$ ’de ; C-O-C halka gerilme titreşimleri 1116-1154  $\text{cm}^{-1}$ ’de, karbonhidrat zincirinde  $\alpha$ -D-glukopiranoz kalıntısı 958  $\text{cm}^{-1}$ ’de, 2-ketofuranoz varlığı ise 877, 888 ve 848 ve 850  $\text{cm}^{-1}$ ’de pik vermiştir (Çizelge 3.4).



Şekil 3.1: İnülin tozu örneklerinin FT-IR spekturumu

**Çizelge 3.3:** Organik fonksiyonel grupların IR soğurma frekansları (Nielsen, 2010).

Grup	Bağlar	Dalga sayısı (cm <sup>-1</sup> )
Alkan	–CH gerilme ve bükülme titreşimi	3000-2800
	–CH <sub>2</sub> ve –CH <sub>3</sub> bükülme titreşimi	1470-1420 ve 1380-1340
Alken	Olefinik –CH gerilme titreşimi	3100-3000
Alkin	Asetilenik –CH gerilme titreşimi	3300
Aromatikler	Aromatik –CH gerilme titreşimi	3100-3000
	–C = C – gerilme titreşimi	1600
Alkoller	–OH gerilme titreşimi	3600-3200
	–OH bükülme titreşimi	1500-1300
	C – O gerilme titreşimi	1220-1000
Eter	C – O asimetrik gerilme titreşimi	1220-1000
Aminler	Primer ve sekonder –NH gerilme titreşimi	3500-3300
Aldehit ve ketonlar	–C = O gerilme titreşimi	1735-1700
	–CH (çift)	2850-2700
Karboksilik Asit	–C = O gerilme titreşimi	1740-1720
Amidler	–C = O gerilme titreşimi	1670-1640
	–NH gerilme titreşimi	3500-3100
	–NH bükülme titreşimi	1640-1550

**Çizelge 3.4:** Yer elmasından elde edilen inülin tozlarının FT-IR spektrumundaki önemli pikler.

Bağlar	Ticari inülin tozu örneğine göre örneklerin dalga sayısı değerleri (cm <sup>-1</sup> )
Alkollerde -OH gerilmesi ve H-bağı	3364, 3296
Alkanlarda	2929, 2896
-CH gerilme ve bükülme titreşimi Su Absorpsiyonu	1642
Alkollerde -OH bükülme titreşimi	1403, 1390, 1233
C-O-C gerilme, halka gerilme titreşimi	1154
Alkollerde C-O gerilme titreşimi	1093
$\alpha$ -D-Glcp kalıntısı C-C zincirinde	958
2-ketoz (piranozil halkası)	877, 850

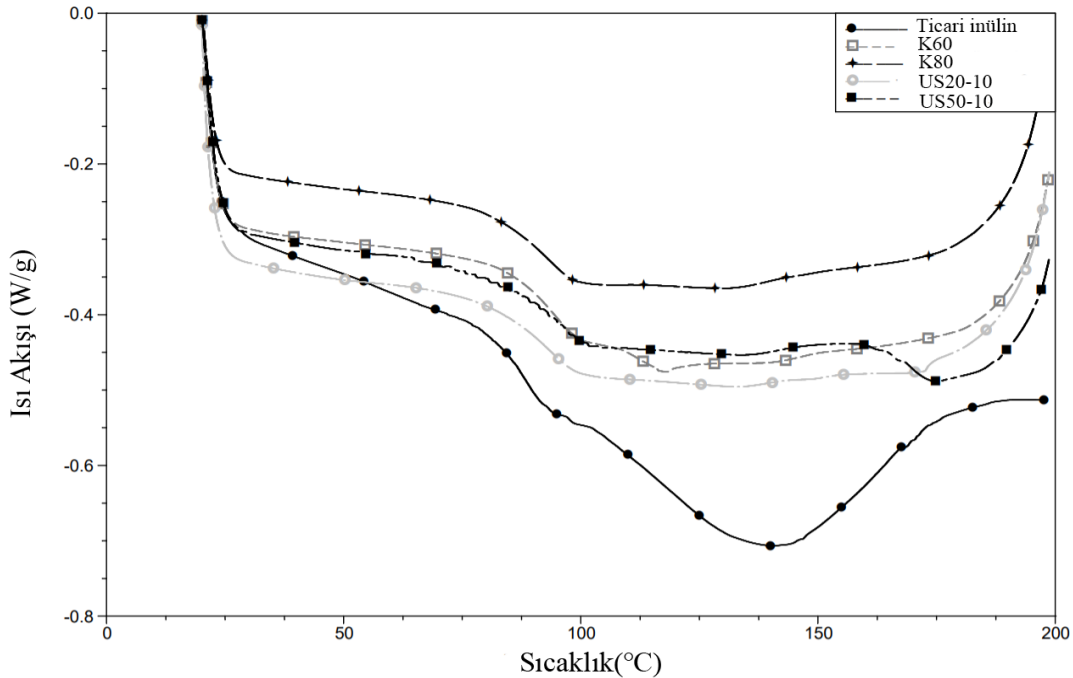
Çalışmada elde edilen inülin örneklerinin FT-IR spektrumu, ticari inülin tozunun spektrumuna ve yapılan çalışmalardaki inülin spektrumlarına paralellik göstermektedir. Ancak çalışmada üretilen inülin tozlarının spektrumları, 1550-1670 cm<sup>-1</sup> bölgesinde, ticari inülin tozuna göre farklılık göstermektedir. Üretilen inülin tozlarındaki safsızlıklar ekstra pik oluşumuna sebep vermiştir. Bu bölgedeki pikler, peptidlerin -NH deformasyonunu göstermektedir. Bu bulgu inülin tozlarında protein ve benzeri safsızlıklar bulunma ihtimaline işaret etmektedir.

Temkov ve diğ. (2015) yer elmasından hızlandırılmış ekstraksiyon, mikrodalga destekli ekstraksiyon, ultrason destekli ekstraksiyon ve sıcak su ekstraksiyonu ile inülin tozu elde ettikleri çalışmada OH gerilme titreşimleri için 3342 cm<sup>-1</sup>'de C-O-C halka gerilme titreşimleri için 1134 cm<sup>-1</sup>'de  $\alpha$ -D-glukopiranoz kalıntısı için 937 cm<sup>-1</sup>'de 2-ketofuranoz için ise 874 ve 817 cm<sup>-1</sup>'de pik elde etmişlerdir.

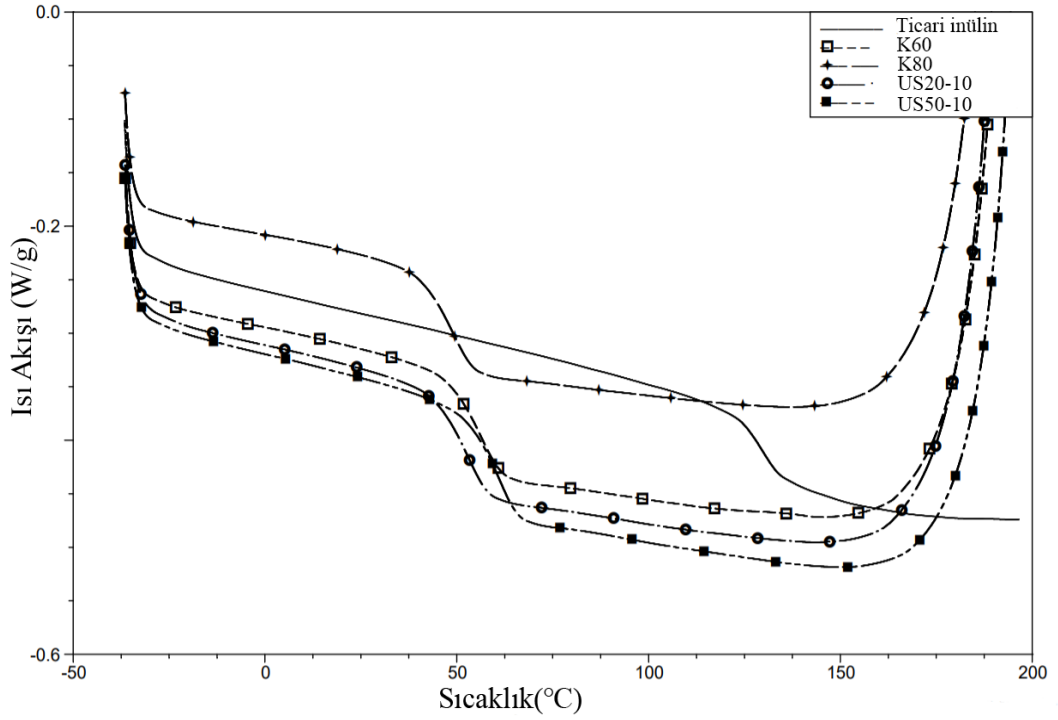
Yer elmasından ısıl işlem ekstraksiyonu ile inülin tozu elde edilen başka bir çalışmada ise, numunelerin spektrumunda OH gerilme titreşimleri için  $3400\text{ cm}^{-1}$ 'de C-H gerilme titreşimleri için  $2930\text{ cm}^{-1}$ 'de, karbonhidratlara özgün olan C=O bağları için  $2500\text{--}1500\text{ cm}^{-1}$  bölgesinde, fruktoz halkasındaki simetrik ve asimetrik iç deformasyonlar ve  $\text{CH}_2 - \text{OH}$  eğilme titreşimleri  $1335$  ve  $1455\text{ cm}^{-1}$ 'de pik oluşturmuştur (Panchev ve diğ., 2011).

### 3.4 İnülin tozlarının Diferansiyel Taramalı Kalorimetri (DSC) ile incelenmesi

Tüm örneklerin birinci ve ikinci ısıtma eğrileri sırasıyla Şekil 3.2 ve Şekil 3.3'te verilmiştir. İlk ısıtma eğrilerinde kristal erimesi sebebiyle endotermik pikler gözlenmiştir. Ticari inülin tozu örneğinde gözlemlenen piklerin altında kalan alan, çalışmada üretilen inülin tozlarında meydana gelen piklerin altında kalan alandan daha büyüktür. Bu durum, ticari inülin örneğinde daha fazla kristal yapıda inülin oluştuğunu göstermektedir. Ayrıca, eğrilerde  $200^\circ\text{C}$ 'nin üzerinde örneklerde bozunma gözlemlenmiştir. Çalışmada elde edilen inülin tozu örnekleri  $150^\circ\text{C}$ 'de stabildir ve gıda endüstrisinde yüksek sıcaklıklarda kullanılabilir.



Şekil 3.2: İlk ısıtma sürecinde örneklerin DSC eğrileri



**Şekil 3.3:** İkinci ısıtma sürecinde örneklerin DSC eğrileri

Tüm örneklerin camsı geçiş sıcaklıkları Çizelge 3.5'te verilmiştir. Kontrol örneği olarak seçilen ticari HP inülin tozunun camsı geçiş sıcaklığı  $122.02^{\circ}\text{C}$  olarak belirlenmiştir. Çalışmada üretilen inülin tozlarının camsı geçiş sıcaklığı ise  $41.77^{\circ}\text{C}$ - $57.44^{\circ}\text{C}$  aralığında bulunmuştur. Bu farklılığın sebebi, ticari inülin tozu örneğinin hindibadan endüstriyel üretim koşullarında üretilmesidir. Çalışmada üretilen inülin tozu örneklerinin camsı geçiş sıcaklıkları arasında önemli düzeyde bir farklılık saptanmamıştır ( $p>0.05$ ).

**Çizelge 3.5:** İnülin tozu örneklerinin camsı geçiş sıcaklıkları.

Örnek	Camsı geçiş sıcaklığı ( $T_g$ , $^{\circ}\text{C}$ )
Ticari	$122,02 \pm 9,79^a$
K60	$41,77 \pm 20,65^b$
K80	$45,80 \pm 4,67^b$
US20-10	$46,03 \pm 10,09^b$
US50-10	$57,44 \pm 4,94^b$
Ticari	$122,02 \pm 9,79^a$
K60	$41,77 \pm 20,65^b$

\*Aynı harfle gösterilen ortalamalar arasında farklılık yoktur ( $p>0.05$ ).

Yüksek molekül ağırlığına sahip bileşenler gıdaların camsı geçiş sıcaklığını artırmaktadır. (Bhandari ve diğ., 1997). Ekstraksiyon sıcaklığının artması ve uygulanan ekstraksiyon yönteminin değiştirilmesi, inülin eldesini artırırken fruktoz ve glukoz gibi monosakkaritlerin açığa çıkmasını da artırabilir. Ultrason destekli ekstraksiyon ile üretilen örneklerin camsı geçiş sıcaklıklarının daha yüksek olmasının sebebi, yüksek molekül ağırlığına sahip bileşenlerin bulunması ile açıklanabilir.

Panchev ve diğ. (2011) farklı bölgelerden temin edilen yer elması örneklerinden elde edilen inülin örneklerinin camsı geçiş sıcaklığını 51-55°C aralığında olduğunu belirlemiştir. Ayrıca, örneklerin 152-156°C'ye kadar stabil olduğunu belirlenmiştir. Zimeri & Kokini (2002) yüksek performanslı hindiba inülinin DSC analizi sonucunda camsı geçiş sıcaklığını 120°C olarak bulmuştur.

Schaller-Povolny ve diğ. (2000) polimerizasyon derecesi 5, 9, 11 ve 23 olan ticari inülin tozu örneklerinin camsı geçiş sıcaklıklarının su aktivitesine göre değişimini incelemiştir. Oda sıcaklığında 0.33 su aktivitesi değerine sahip farklı ticari inülin tozu örneklerinin, camsı geçiş sıcaklıkları 37.8, 46.9, 53.9 ve 56.9°C olarak belirlenmiştir. Örneklerin polimerizasyon derecesi arttıkça camsı geçiş sıcaklıkları artmıştır.

Farklı su aktivitesi değerlerinin etkisi incelendiğinde ise örneklerin içerdiği nem miktarı arttıkça camsı geçiş sıcaklıklarının azaldığı görülmüştür. Deney planında camsı geçiş sıcaklığını belirleyebilmek için örnekler IR kurutucu yardımıyla nem içeriği  $1 \pm 0.5$  olana kadar kurutulduktan sonra analize alınmıştır. Literatürde rapor edilen değerler, bu çalışmada elde edilen değerlerle benzerlik göstermektedir.

Dan ve diğ. (2009) hindiba inülinine 30-200°C aralığında termal analiz uygulamış ve örnekler önce ısıtılmış, sonra soğutulmuş ve tekrar ısıtılmıştır. İlk ısıtmada, 165°C'de ısı akışı keskin bir şekilde yükselmiş ve 178°C'de pik oluşturmuş ve 180°C'de sönümlenmiştir. İlk ısıtma sırasında erime sıcaklığının üzerine çıktığı için inülin molekülünde tersinmez değişimler meydana gelmiştir. Tekrar ısıtma sırasında ise 59.17°C'de endotermik bir pik oluşmuştur. Bu pikin ise morfolojik değişimler sebebiyle oluştuğu bildirilmiştir. Deney planında üretilen inülin tozu örneklerinin ikinci ısıtma eğrilerinde elde edilen pik sıcaklıkları, ilk ısıtma sırasındaki piklerin sıcaklıklarından daha düşüktür. İlk ısıtma sırasında örneklere uygulanan işlemlerin etkileri silinmiş, soğutma sırasında amorf yapı oluşmuş ve ikinci ısıtma sırasında

örneklerde kristal erimesi meydana gelmemiştir. Afoakwah ve diğ. (2015) etüvde kurutulmuş ve dondurularak kurutulmuş yer elması tozu örneklerine DSC analizi yapmıştır. Dondurularak kurutulmuş örneklerin DSC eğrisinde 69, 200.8 ve 230.9 °C’de endotermik pikler oluşurken; etüvde kurutulmuş örneklerde 74.3 °C ve 231.8 °C’de iki geniş endotermik pik gözlemlenmiştir. Örneklerin 150°C’de stabil olduğu ve gıda maddelerinde kullanılabileceği belirtilmiştir. Bu çalışmada da belirtildiği üzere, inülin tozlarının üretim koşulları camsı geçiş sıcaklığı üzerinde etkilere sahiptir. İnülin tozunun üretildiği bitki çeşidi, inülin tozunun üretim koşulları, tozun molekül ağırlığı, nem içeriği ve polimerizasyon derecesi, camsı geçiş sıcaklığı üzerinde önemli etkilere sahiptir.

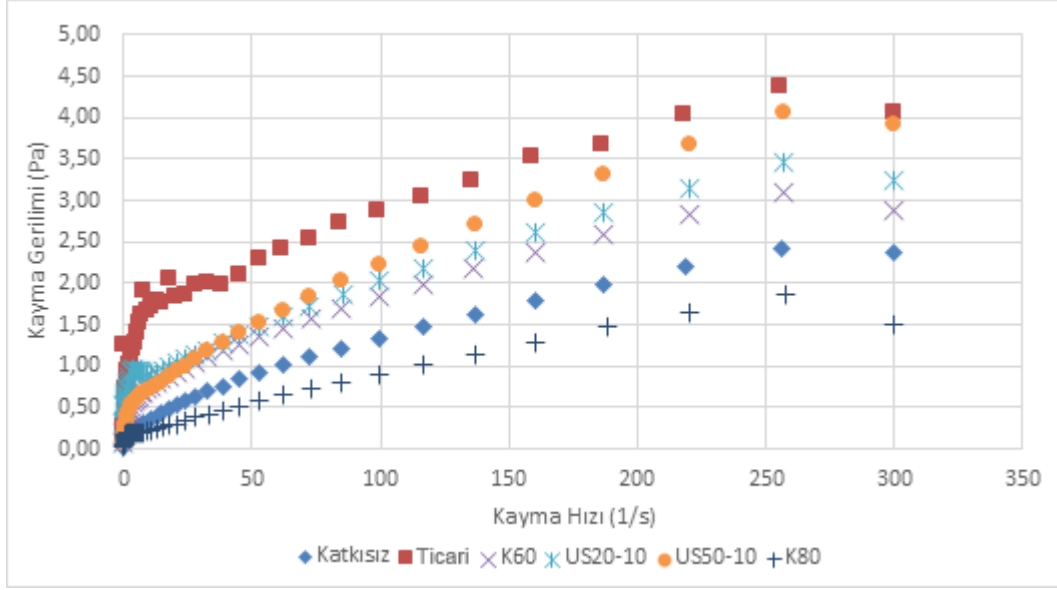
### **3.5 Yoğurt Tozunda İnülin Tozunun Kullanımı**

Ticari inülin ve çalışmada elde edilen inülin tozlarını içeren rekonstitüye yoğurt örneklerinin akış grafikleri Şekil 4.1’de gösterilmektedir. Akış grafiklerine üslü yasa modeli ve Herschel–Bulkley Modeli uygulanarak kıvam katsayısı ve akış davranış indeksi belirlenmiştir (Çizelge 3.6).En yüksek kıvam indeksi ticari inülin içeren örnekte saptanmıştır. Bu değeri, 60°C’de ısıl işlem ekstraksiyonu, 20°C’de ultrason destekli ekstraksiyon ve 50°C’de ultrason destekli ekstraksiyon ile üretilen inülin tozunu içeren numunelerin kıvam indeksi değerleri takip etmiştir. Isıl işlemin 80°C’de uygulandığı inülin ekstraktı kıvam indeksi üzerine en az düzeyde etkili olmuştur. Genel olarak inülin ilavesi örneklerin görünen viskozitesini katkısız örneğine göre arttırmıştır. İstatiksel olarak, örneklerin kıvam indeksleri arasında önemli bir farklılık yoktur ( $p>0.05$ ). Akış davranış indeksi tüm örnekler için birden küçük olduğunda elde edilen karışımın kayma ile incelen akış davranışı gösterdiği saptanmıştır. (Şekil 3.4). Korelasyon katsayıları incelendiğinde ise, numunelerin akış davranışının Herschel–Bulkley Modeline daha uygun olduğu görülmektedir. Çalışmada 20°C’de ultrason destekli ekstraksiyon uygulanarak elde edilen inülin tozları, en yüksek akma gerilimine sahip bulunmuştur. En düşük akma gerilimini ise 80°C’de ısıl işlem ekstraksiyonu ile üretilen inülin tozunun ilave edildiği numune göstermiştir. İnülin eldesi sırasında yükselen sıcaklık nedeniyle inülinin kararlı yapısı bozunmuş ve jel oluşumu gerçekleşmemiştir. Ultrasonik işlemin, inülinin amorf yapısına etki ederek jelleşme yeteneğini ve emülsiyon kararlılığını artırdığı bildirilmiştir (Guimaraes ve diğ., 2018).

**Çizelge 3.6:** İnülin içeren yoğurt tozlarının reolojik özellikleri.

Örnek	Üslü Yasa Modeli			Herschel–Bulkley Modeli			Akma Gerilimi
	K (mPa)	n	R <sup>2</sup>	K (mPa)	n	R <sup>2</sup>	
Katkısız	84.15 ± 19.54 <sup>a</sup>	0.585 ± 0.02 <sup>a</sup>	0.995	65.16 ± 15.10 <sup>a</sup>	0.629 ± 0.02 <sup>abc</sup>	0.996	47.80 ± 7.06 <sup>a</sup>
Ticari	300.45±2.90 <sup>a</sup>	0.385 ± 0.02 <sup>c</sup>	0.992	186.35 ± 61.59 <sup>a</sup>	0.469 ± 0.04 <sup>c</sup>	0.996	160.45 ± 86.76 <sup>a</sup>
K60	264.70 ± 29.13 <sup>a</sup>	0.408 ± 0.01 <sup>c</sup>	0.991	146.60 ± 32.81 <sup>a</sup>	0.509 ± 0.01 <sup>bc</sup>	0.995	176.45 ± 5.02 <sup>a</sup>
K80	56.45 ± 8.93 <sup>a</sup>	0.579 ± 0.01 <sup>a</sup>	0.988	28.01 ± 13.82 <sup>a</sup>	0.737 ± 0.01 <sup>a</sup>	0.995	95.75 ± 7.98 <sup>a</sup>
US20-10	236.60±148.63 <sup>a</sup>	0.447 ± 0.03 <sup>bc</sup>	0.987	112.76±76.20 <sup>a</sup>	0.577 ± 0.04 <sup>abc</sup>	0.993	205.45 ± 98.92 <sup>a</sup>
US50-10	146.51 ± 97.72 <sup>a</sup>	0.531 ± 0.02 <sup>ab</sup>	0.977	109.00 ± 24.75 <sup>a</sup>	0.663 ± 0.08 <sup>ab</sup>	0.987	152.75 ± 41.79 <sup>a</sup>

Aynı harfe sahip veriler arasında anlamlı bir farklılık yoktur. (p>0.05)



**Şekil 3.4:** İnülin içeren yoğurt tozlarının akış grafiği.

Bisar ve diğ. (2015) tam yağlı ve yağsız süt örneklerine, süt tozu ve %3 inülin ilave ederek fermente süt ürünleri üretip örneklerin reolojik özelliklerini incelemişlerdir. İnülin ilave edilerek tam yağlı ve yağsız sütle üretilen fermente süt ürünlerinin viskozite değerleri (425 Poise, 283 Poise), inülin ilave edilmeyen kontrol örneklerine göre (394 Poise, 273 Poise) daha yüksek bulunmuştur. İnülin ilave edilen tam yağlı süt ile üretilen fermente ürünün viskozitesi yağsız süt tozu ile üretilen örneğin viskozitesinin neredeyse 2 katı kadardır. Benzer şekilde bu çalışmada da inülin ilavesi genel olarak viskozite değerini arttırmıştır.

Pasephol ve diğ. (2008) rekonstitüye yağsız süt örneklerine (%12 k.m), %4 oranında hindiba inülini ilave etmiş ve yoğurt üretmişlerdir. Ayrıca, katkısız ve %16 kuru maddeye sahip yağlı ve yağsız yoğurt örnekleri de kontrol grubu olarak hazırlamışlardır. Tüm yoğurt örnekleri kayma ile incelen akış davranışı göstermiştir. Tam yağlı kontrol grubunun viskozitesi 2.53 Pa.s, kıvam indeksi 0.54 iken, yağsız kontrol grubunun 4.26 Pa.s, kıvam indeksi 1.04; inülin içeren örneklerin viskozitesi 2.37-2.96 Pa.s ve kıvam indeksi 0.66-0.90 aralığında bulunmuştur. Tüm örneklerin değeri, tam yağlı yoğurt örneğine yakındır, bu da inülinin yağ ikamesi olarak kullanılabileceğini doğrulamaktadır.



#### 4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, yer elmasından ısıl işlem ekstraksiyonu ve ultrason destekli ekstraksiyon yöntemi ile inülin tozu üretilmiş ve kullanılan yöntem ve parametrelerin inülin tozu verimi, son ürün saflığı ve tozun renkonstitüye yoğurdun reolojik özelliklerine etkileri araştırılmıştır. İnülin tozu verimi, yer elmasından ekstrakte edilen kuru madde olarak ifade edildiğinde yöntem ve üretim parametrelerinden etkilenmemiştir. Ekstraktların inülin içeriği incelendiğinde, ısıl işlem ekstraksiyonu ile elde edilen inülin miktarına ultrason destekli ekstraksiyon ile 20°C ve 50°C'de 10 dakika uygulandığında yaklaşılmıştır. Ultrason destekli ekstraksiyon sayesinde daha düşük sıcaklıklarda geleneksel ısıl işlem ekstraksiyonuna benzer verim elde edilebilmektedir. Ayrıca, ultrasonik ekstraksiyon uygulamalarında işlem süresi uzadıkça verimin arttığı gözlemlenmiştir. İnülin tozlarının saflık değeri %82.42-91.92 aralığında bulunmuştur. En saf inülin tozu 50°C'de ultrason destekli ekstraksiyon uygulanarak üretilirken, en düşük saflık 20°C'de 5 dakika ultrason uygulamasıyla üretilen inülin tozunda saptanmıştır.

Çalışmada elde edilen inülin tozlarının kimyasal karakterizasyonu için yapılan FT-IR analizinde, örneklerin spektrumları, ticari inülin örneğinin spektrumu ile karşılaştırılmıştır. Üretilen tozlarda gözlemlenen pikler, ticari örneğin pik değerleri ve daha önce yapılan çalışmalarda inülin tozlarının verdiği piklere paralellik göstermektedir. Örneklerde 1550-1670 cm<sup>-1</sup> bölgesinde gözlenen ekstra piklerin örneklerdeki peptidlerin -NH deformasyonu ve safsızlıklar ile ilişkili olduğu düşünülmektedir.

Termal analizlerde ticari inülin tozunun kristal yapıdaki inülin içeriğinin üretilen örneklerde bulunandan daha fazla olduğu belirlenmiştir. Ticari inülin tozunun camsı geçiş sıcaklığı 122.02°C ve çalışmada üretilen inülin tozlarının camsı geçiş sıcaklıkları ise 41.77°C - 57.44°C aralığında bulunmuştur. Ticari inulin tozu hindibadan ve farklı üretim koşullarında elde edildiği için camsı geçiş sıcaklığı üretilen örneklerinkinden farklı bulunmuştur. Isıl işlem ekstraksiyonu ve ultrason destekli ekstraksiyon ile üretilen inulin tozlarının camsı geçiş sıcaklıkları benzer bulunmuştur.

Üretilen ve ticari inülin tozları, %2 konsantrasyonda yoğurt tozu ve su karışımına ilave edilerek bir üründeki etkileri araştırılmıştır. İnülin ilave edilen rekonstitüye yoğurt örneklerinin tümünde viskozite artışı gözlemlenmiştir. En yüksek kıvam katsayısı, ticari inülin içeren örnekte saptanmıştır. Bu değeri, 60°C’de ısıl işlem ekstraksiyonu ve 20°C ve 50°C’de ultrason destekli ekstraksiyon ile üretilen inülin içeren numunelerin viskoziteleri takip etmiştir. 80°C’de ısıl işlem ekstraksiyonu ile üretilen inülin, kıvam üzerine en az düzeyde etkili olmuştur. En yüksek akma gerilimi 20°C’de ultrason destekli ekstraksiyon uygulaması ile üretilen inülin tozu içeren örnekte, en düşük akma gerilimi ise 80°C’de ısıl işlem ekstraksiyonu ile üretilen inülinin ilave edildiği numunede saptanmıştır. Numunelerin akış eğrileri Herschel–Bulkley Modeline daha uygun bulunmuş ve tümünün kaymayla incelen akış davranışı gösterdiği tespit edilmiştir.

Sonuçlar değerlendirildiğinde, inülin tozu üretiminde en yüksek verim değerine minimum süre ve enerji ile 20°C’de 10 dakika ultrason destekli ekstraksiyon uygulandığında ulaşılmıştır. Rekonstitüye yağsız yoğurtta %2 oranında kullanıldığında kıvam artışı sağladığı için yağı azaltılmış benzer ürünlerde kullanılabilir. Çalışmada elde edilen inülin verimi ve saflığını yükseltmek için farklı ultrason gücü, süre ve sıcaklık parametreleri ile saflaştırma yöntemlerinin etkileri araştırılabilir.

## KAYNAKLAR

- Afoakwah, N. A., Dong, Y., Zhao, Y., Xiong, Z., Owusu, J., Wang, Y., & Zhang, J.** (2015). Characterization of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) powder and its application in emulsion-type sausage. *LWT-Food Science and Technology*, *64*(1), 74-81.
- Akalın, A. S., Fenderya, S., & Akbulut, N.** (2004). Viability and activity of bifidobacteria in yoghurt containing fructooligosaccharide during refrigerated storage. *International Journal of Food Science and Technology*, *39*(6), 613-621. doi:10.1111/j.1365-2621.2004.00829.x
- Alvarez-Sabatel, S., Marañón, I. M., & Arboleya, J.** (2015). Impact of high pressure homogenisation (HPH) on inulin gelling properties, stability and development during storage. *Food Hydrocolloids*, *44*, 333-344. doi:10.1016/j.foodhyd.2014.09.033
- AOAC.** (2002). Moisture and Volatile Matter in Oils and Fats Vacuum Oven Method(926.12). Washington, DC.
- Arango, O., Trujillo, A. J., & Castillo, M.** (2020). Influence of fat substitution by inulin on fermentation process and physical properties of set yoghurt evaluated by an optical sensor. *Food and Bioproducts Processing*, *124*, 24-32. doi:10.1016/j.fbp.2020.07.020
- Aryana, K. J., & McGrew, P.** (2007). Quality attributes of yogurt with *Lactobacillus casei* and various prebiotics. *LWT - Food Science and Technology*, *40*(10), 1808-1814. doi:10.1016/j.lwt.2007.01.008
- Asami, T., Ohyama, T., Minamisawa, K., & Tsukihashi, T.** (1989). New tuber yacon containing large amounts of fructooligosaccharides. *Nogyo Oyobi Engei*, *64*(9), 1033.
- Baldini, M., Danuso, F., Turi, M., & Vannozzi, G. P.** (2004). Evaluation of new clones of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) for inulin and sugar yield from stalks and tubers. *Industrial Crops and Products*, *19*(1), 25-40.
- Bhandari, B. R., Datta, N., & Howes, T.** (1997). Problems associated with spray drying of sugar-rich foods. *Drying technology*, *15*(2), 671-684.
- Bisar, G., El-Saadany, K., Khattab, A., & El-Kholy, W.** (2015). Implementing Maltodextrin, Polydextrose and Inulin in Making a Synbiotic Fermented Dairy Product. *British Microbiology Research Journal*, *8*(5), 585-603. doi:10.9734/bmrj/2015/16950
- Blecker, C., Chevalier, J. P., Fournies, C., Van Herck, J. C., Deroanne, C., & Paquot, M.** (2003). Characterisation of different inulin samples by DSC: Influence of polymerisation degree on melting temperature. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, *71*(1), 215-224.

- Cabezas, M. J., Rabert, C., Bravo, S., & Shene, C.** (2002). Inulin and sugar contents in *Helianthus tuberosus* and *Cichorium intybus* tubers: effect of postharvest storage temperature. *Journal of Food Science*, 67(8), 2860-2865.
- Černiauskiėnė, J., Kulaitienė, J., Jariėnė, E., Danilėenko, H., Źaldariėnė, S., & Jeznach, M.** (2018). Relationship between harvesting time and carbohydrate content of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) tubers. *Acta Scientiarum Polonorum: Hortorum Cultus. Lublin: Wydawnictwo akad rolniczej w Lublinie*, 17(3), 41-48.
- Chaito, C., Judprasong, K., & Puwastien, P.** (2014). Inulin content of fortified food products in Thailand. *Food Chemistry*, 193, 102-105.
- Chemat, F. Huma, Z. & Khan, M. K.** (2011). Applications of ultrasound in food technology: processing, preservation and extraction. *Ultrasonics sonochemistry*, 18(4), 813-835.
- Crispín-Isidro, G., Lobato-Calleros, C., Espinosa-Andrews, H., Alvarez-Ramirez, J., & Vernon-Carter, E.** (2015). Effect of inulin and agave fructans addition on the rheological, microstructural and sensory properties of reduced-fat stirred yogurt. *LWT - Food Science and Technology*, 62(1), 438-444. doi:10.1016/j.lwt.2014.06.042
- Çelik, I., Isik, F., Gursoy, O., & Yilmaz, Y.** (2013). Use of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus*) tubers as a natural source of inulin in cakes. *Journal of Food Processing and Preservation*, 37(5), 483-488.
- Dan, A., Ghosh, S., & Moulik, S. P.** (2009). Physicochemical studies on the biopolymer inulin: A critical evaluation of its self-aggregation, aggregate-morphology, interaction with water, and thermal stability. *Biopolymers*, 91(9), 687-699. <https://doi.org/10.1002/bip.21199>
- Debon, J., Prudêncio, E. S., Petrus, J. C., Fritzen-Freire, C. B., Müller, C. M., Amboni, R. D., & Vieira, C. R.** (2012). Storage stability of prebiotic fermented milk obtained from permeate resulting of the microfiltration process. *LWT - Food Science and Technology*, 47(1), 96-102. doi:10.1016/j.lwt.2011.12.029
- Dubois, M., Gilles, K. A., Hamilton, J. K., Rebers, P. T., & Smith, F.** (1956). Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Analytical chemistry*, 28(3), 350-356.
- El-Kholy, W. M., Aamer, R. A., & Ali, A. N.** (2020). Utilization of inulin extracted from chicory (*Cichorium intybus* L.) roots to improve the properties of low-fat synbiotic yoghurt. *Annals of Agricultural Sciences*, 65(1), 59-67. doi:10.1016/j.aas.2020.02.002
- Food and Drug Administration Thailand.** (1998). Notification of the Ministry of Public Health No.182 / 2541. *Nutrition Labelling*. Alınmıştır: [http://www.fda.moph.go.th/eng/eng\\_food/Notification/182-41.pdf](http://www.fda.moph.go.th/eng/eng_food/Notification/182-41.pdf)
- Franck, A.** (2000). Inulin and oligofructose. In G. Gibson & F. Angus (Eds.), *LFRA ingredient handbook: prebiotics and probiotics* (pp. 1-18). Leatherhead: Leatherhead Publishing.
- Franck, A.** (2002). Technological functionality of inulin and oligofructose. *British Journal of Nutrition*, 87(2), 287-291. doi:10.1079/bjn/2002550

- Furlan, L. T. R., Padilla, A. P., & Campderrós, M. E.** (2014). Development of reduced fat minced meats using inulin and bovine plasma proteins as fat replacers. *Meat Science*, *96*(2), 762-768.
- Gedrovica, I., & Karklina, D.** (2013). Sensory evaluation of meatballs with Jerusalem Artichoke (*Helianthus tuberosus* L.). *World Academy of Science, Engineering and Technology*, *7*, 499-501.
- Gedrovica, I., Karklina, D., Frás, A., Jablonka, O., & Boros, D.** (2011). The non-starch polysaccharides quantity changes in pastry products where Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) added. *Procedia Food Science*, *1*, 1638-1644.
- Glibowski, P.** (2009). Rheological properties and structure of inulin–whey protein gels. *International Dairy Journal*, *19*(8), 443-449. doi:10.1016/j.idairyj.2009.03.011
- Glibowski, P.** (2010). Effect of thermal and mechanical factors on rheological properties of high performance inulin gels and spreads. *Journal of Food Engineering*, *99*(1), 106-113. doi:10.1016/j.jfoodeng.2010.02.007
- Guggisberg, D., Cuthbert-Steven, J., Piccinali, P., Bütikofer, U., & Eberhard, P.** (2009). Rheological, microstructural and sensory characterization of low-fat and whole milk set yoghurt as influenced by inulin addition. *International Dairy Journal*, *19*(2), 107-115. doi:10.1016/j.idairyj.2008.07.009
- Guimarães, J. T., Silva, E. K., Costa, A. L., Cunha, R. L., Freitas, M. Q., Meireles, M. A., & Cruz, A. G.** (2018). Manufacturing a prebiotic whey beverage exploring the influence of degree of inulin polymerization. *Food Hydrocolloids*, *77*, 787-795. doi:10.1016/j.foodhyd.2017.11.021
- Güven, M., Yaşar, K., Karaca, O. B., & Hayaloğlu, A. A.** (2005). The effect of inulin as a fat replacer on the quality of set-type low-fat yogurt manufacture. *International Journal of Dairy Technology*, *58*(3), 180-184. doi:10.1111/j.1471-0307.2005.00210.x
- Hancı, F., Tuncer, G., & KUZU, C.** (2020). Inulin based characterisation of Turkish Jerusalem Artichokes. *Journal of Bangladesh Agricultural University*. <https://doi.org/10.5455/jbau.96310>
- Hansen, O. C., & Madsen, R. F.** (1992). *U.S. Patent No. 5,127,956*. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- Hunter, R. S., & Harold, R. W.** (1987). *The measurement of appearance*. Hoboken, NJ: Wiley-Interscience.
- Jaros, D., Rohm, H., (2003).** The Rheology and Textural Properties of Yoghurt İçinde McKenna, B.M. (Editör), *Texture in Food Volume 1: Semi-Solid Foods*. (ss.321–349). Woodhead Publishing Ltd., England.
- Johansen, H. N., Glitsø, V., & Bach Knudsen, K. E.** (1996). Influence of extraction solvent and temperature on the quantitative determination of oligosaccharides from plant materials by high-performance liquid chromatography. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *44*(6), 1470-1474.
- Jovanovic-Malinovska, R., Kuzmanova, S., & Winkelhausen, E.** (2015). Application of ultrasound for enhanced extraction of prebiotic oligosaccharides from selected fruits and vegetables. *Ultrasonics Sonochemistry*, *22*, 446-453.

- Judprasong, K., Tanjor, S., Puwastien, P. And Sungpuag, P.** (2011). Investigation of Thai plants for potential sources of inulin-type fructans. *J. Food Compos.Anal.* 24, 642–649.
- Kays, S. J., & Nottingham, S.** (2008). *Biology and chemistry of Jerusalem artichoke helianthus tuberosus*. L. Boca Raton, FL: CRC Press. 1–6
- Khuenpet, K., Jittanit, W., & Sirisansaneeyakul, S.** (2015b). Comparison of hot air and superheated steam drying of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) tubers and inulin powder production. *Transactions of the ASABE*, 58(4), 1113-1125.
- Khuenpet, K., Jittanit, W., Sirisansaneeyakul, S., & Srichamnong, W.** (2018). The application of purification process for inulin powder production from Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) tuber powder. *Journal of Food Processing and Preservation*, 42(8), e13695.
- Khuenpet, K., Jittanit, W., Sirisansaneeyakul, S., & Srichamnong, W.** (2015a). Effect of pretreatments on quality of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) tuber powder and inulin extraction. *Transactions of the ASABE*, 58(6), 1873-1884.
- Khuenpet, K., Jittanit, W., Sirisansaneeyakul, S., & Srichamnong, W.** (2017). Inulin powder production from Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) tuber powder and its application to commercial food products. *Journal of Food Processing and Preservation*, 41(4), e13097.
- Kim, Y., Faqih, M., & Wang, S.** (2001). Factors affecting gel formation of inulin. *Carbohydrate Polymers*, 46(2), 135-145. doi:10.1016/s0144-8617(00)00296-4
- Kip, P., Meyer, D., & Jellema, R. H.** (2006). Inulins improve sensoric and textural properties of low-fat yoghurts. *International Dairy Journal*, 16(9), 1098-1103.
- Krivorotova, T., Sereikaite, J., & Glibowski, P.** (2017). Rheological and textural properties of yogurts enriched with Jerusalem artichoke flour. *Czech J. Food Sci.*, 35 (5), 432–439.
- Kumar, R., Manjunatha, S., Kathiravan, T., Vijayalakshmi, S., Nadanasabapathi, S., & Raju, P. S.** (2014). Rheological characteristics of inulin solution at low concentrations: Effect of temperature and solid content. *Journal of Food Science and Technology*, 52(9), 5611-5620. doi:10.1007/s13197-014-1671-5
- Lee, Y. J., Kim, D. B., Lee, O. H., & Yoon, W. B.** (2016). Characterizing texture, color and sensory attributes of cookies made with jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) flour using a mixture design and browning reaction kinetics. *International Journal of Food Engineering*, 12(2), 107-126.
- Li, Y., Shabani, K. I., Qin, X., Yang, R., Jin, X., Ma, X., & Liu, X.** (2019). Effects of cross-linked inulin with different polymerisation degrees on physicochemical and sensory properties of set-style yoghurt. *International Dairy Journal*, 94, 46-52. doi:10.1016/j.idairyj.2019.02.009
- Lingyun, W., Jianhua, W., Xiaodong, Z., Da, T., Yalin, Y., Chenggang, C., Tianhua, F., & Fan, Z.** (2007) Studies on the extracting technical conditions of inulin from Jerusalem artichoke tubers. *Journal of Food Engineering*, 79, 1087–1093

- Moghadam, B. E., Keivaninahr, F., Fouladi, M., Mokarram, R. R., & Nazemi, A.** (2019). Inulin addition to yoghurt: Prebiotic activity, health effects and sensory properties. *International Journal of Dairy Technology*, 72(2), 183-198. doi:10.1111/1471-0307.12579
- Nielsen, S. S.** (Editor). (2010). *Food Analysis*. Gaithersburg: Aspen Publishers.
- Nilsson, U., Dahlgvist, A., & Nilsson, B.** (1986). Cereal fructosans: part 2. Characterization and structure of wheat fructosans. *Food chemistry*, 22(2), 95-106.
- Niness, K. R.** (1999). Inulin and oligofructose: what are they?. *The Journal of nutrition*, 129(7), 1402-1406.
- Özgoren, E., Işık, F., & Yapar, A.** (2019). Effect of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) supplementation on chemical and nutritional properties of crackers. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 13(4), 2812-2821.
- Panchev, I., Delchev, N., Kovacheva, D., & Slavov, A.** (2011). Physicochemical characteristics of inulins obtained from Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.). *European Food Research and Technology*, 233(5), 889-896.
- Paseephol, T., Small, D. M., & Sherkat, F.** (2008). Rheology And Texture Of Set Yogurt As Affected By Inulin Addition. *Journal of Texture Studies*, 39(6), 617-634. doi:10.1111/j.1745-4603.2008.00161.x
- Paseephol, T., Small, D., & Sherkat, F.** (2007). Process optimisation for fractionating Jerusalem artichoke fructans with ethanol using response surface methodology. *Food Chemistry*, 104(1), 73-80.
- Poinot, P., Arvisenet, G., Grua-Priol, J., Fillonneau, C., Le-Bail, A., & Prost, C.** (2010). Influence of inulin on bread: Kinetics and physico-chemical indicators of the formation of volatile compounds during baking. *Food Chemistry*, 119(4), 1474-1484.
- Praznik, W., Cieslik, E., & Filipiak-Florkiewicz, A.** (2002). Soluble-dietary-fibres in Jerusalem artichoke-powders: composition and application in bread. *Food/Nahrung*, 46(3), 151-157.
- Puttha, R., Jogloy, S., Wangsomnuk, P. P., Srijaranai, S., Kesmala, T., & Patanothai, A.** (2012). Genotypic variability and genotype by environment interactions for inulin content of Jerusalem artichoke germplasm. *Euphytica*, 183(1), 119-131.
- Roberfroid, M. B.** (1999). Concepts in functional foods: the case of inulin and oligofructose. *The Journal of nutrition*, 129(7), 1398-1401.
- Routray, W., Mishra, H.N., Jusoh, Y.M.M.,** (2011). Study of the variation in viscosity during addition of stabilizers to obtain an optimised reconstituted Indian yoghurt (dahi) powder based drink. *Int. Food Res. Journal*. 18 (4), 1269–1273.
- Saengthongpinit, W., & Sajjaanantakul, T.** (2005). Influence of harvest time and storage temperature on characteristics of inulin from Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) tubers. *Postharvest Biology and Technology*, 37(1), 93-100.

- Schaller-Povolny, L. A., Smith, D. E., & Labuza, T. P.** (2000). Effect of water content and molecular weight on the moisture isotherms and glass transition properties of inulin. *International Journal of Food Properties*, 3(2), 173-192.
- Slimestad, R., Seljåsen, R., Meijer, K., & Skar, S. L.** (2010). Norwegian-grown Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.): Morphology and content of sugars and fructo-oligosaccharides in stems and tubers. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 90, 956–964.
- Srinameb, B. O., Nuchadomrong, S., Jogloy, S., Patanothai, A., & Srijaranai, S.** (2015). Preparation of inulin powder from Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) Tuber. *Plant foods for human nutrition*, 70(2), 221-226.
- Srisuvor, N., Chinprahast, N., Prakitchaiwattana, C., & Subhimaros, S.** (2013). Effects of inulin and polydextrose on physicochemical and sensory properties of low-fat set yoghurt with probiotic-cultured banana purée. *LWT - Food Science and Technology*, 51(1), 30-36. doi:10.1016/j.lwt.2012.10.018
- Sritiawthai, E., Kaewtapee, C., Bunchasak, C., & Poeikhampha, T.** (2013). Effect of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) supplementation on production performances, egg quality characteristics and intestinal microflora of laying hens. *Journal of Applied Sciences*, 13(1), 183-187.
- Takeuchi, J., & Nagashima, T.** (2011). Preparation of dried chips from Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus*) tubers and analysis of their functional properties. *Food Chemistry*, 126(3), 922-926.
- Tárrega, A., & Costell, E.** (2006). Effect of inulin addition on rheological and sensory properties of fat-free starch-based dairy desserts. *International Dairy Journal*, 16(9), 1104-1112.
- Tatjana, K., Jolanta, S., & Pawel, G.** (2017). Rheological and textural properties of yogurts enriched with Jerusalem artichoke flour. *Czech Journal of Food Sciences*, 35(5), 432-439. doi:10.17221/2/2017-cjfs
- Tchoné, M., Bärwald, G., & Meier, C.** (2005). Polyphenoloxidases in Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.). *British Food Journal*, 693, 701.
- Temkov, M., Petkova, N., Denev, P., & Krastanov, A.** (2015). Characterization of inulin from *Helianthus tuberosus* L. obtained by different extraction methods—Comparative study. *Scientific Works of University of Food Technologies*, 62, 461-464.
- Termrittikul, P., Jittanit, W., & Sirisansaneeyakul, S.** (2018). The application of ohmic heating for inulin extraction from the wet-milled and dry-milled powders of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) tuber. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 48, 99-110.
- Türk Gıda Kodeksi Fermente Süt Ürünleri Tebliği.** Tebliğ no: 2009/25. Türkiye Cumhuriyeti Tarım ve Köy İşleri Bakanlığı, Ankara, Türkiye.
- Url-1** <<https://www.beneo.com/ingredients/human-nutrition/functional-fibres/inulin>>, erişim tarihi 01.06.2021.
- Van Loo, J., Coussement, P., De Leenheer, L., Hoebregs, H., & Smits, G.** (1995). On the presence of inulin and oligofructose as natural ingredients in the western diet. *Critical Reviews in Food Science & Nutrition*, 35(6), 525-552.

- Vuyst, D., & de Ven, V.** (1998). Production by and isolation of exopolysaccharides from *Streptococcus thermophilus* grown in a milk medium and evidence for their growth-associated biosynthesis. *Journal of Applied Microbiology*, *84*(6), 1059-1068.
- Vinatoru, M.** (2001). An overview of the ultrasonically assisted extraction of bioactive principles from herbs. *Ultrasonics sonochemistry*, *8*(3), 303-313.
- Yabancı, N.** (2010). İnülin ve oligofruktozların insan sağlığı ve beslenmesi üzerine etkileri. *Akademik Gıda*, *8*(1), 49-54.
- Zhou, H. L., Li, B., Wu, M. F., & Liu, Y.** (2019). Evaluation of antioxidant capacity of polysaccharide in Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) during overwintering. İçinde *E3S Web of Conferences* (78, s.2008). EDP Sciences. doi:10.1051/e3sconf/20197802008.
- Zimeri, J. E., & Kokini, J. L.** (2002). The effect of moisture content on the crystallinity and glass transition temperature of inulin. *Carbohydrate Polymers*, *48*(3), 299-304.
- Zucco, F., Borsuk, Y., & Arntfield, S. D.** (2011). Physical and nutritional evaluation of wheat cookies supplemented with pulse flours of different particle sizes. *LWT-Food Science and Technology*, *44*(10), 2070-2076.W

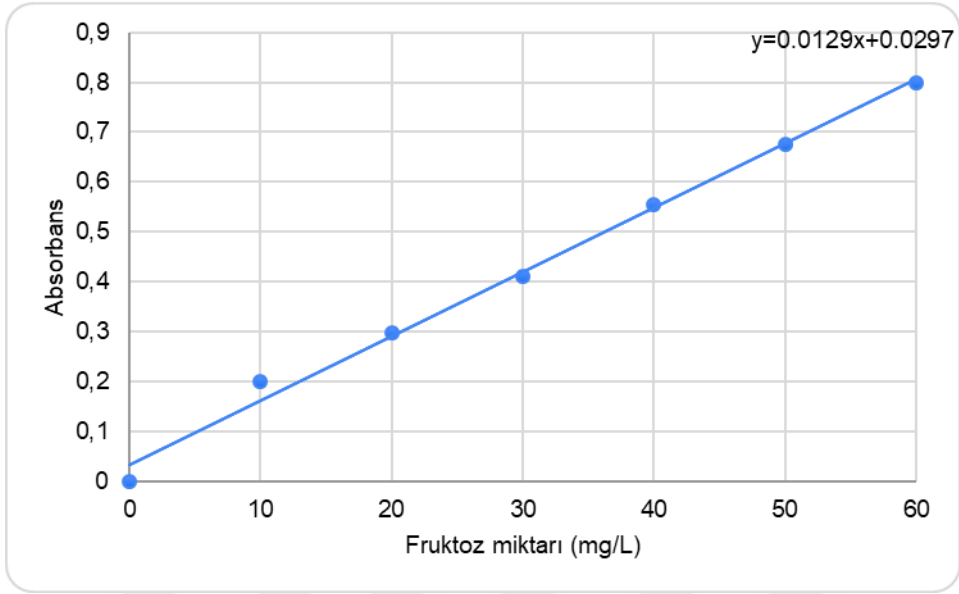


## **EKLER**

**EK A:** Fruktoz kalibrasyon eğrisi



## EK A



Şekil A.1: Fruktoz kalibrasyon eğrisi.

## ÖZGEÇMİŞ

**Ad-Soyad** : Büşra KABATAŞ

### ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2018, İstanbul Teknik Üniversitesi, Kimya-Metalurji Fakültesi, Gıda Mühendisliği  
2019, İstanbul Teknik Üniversitesi, Kimya-Metalurji Fakültesi, Kimya Mühendisliği
- **Yükseklisans** : 2021, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Yüksek Lisans Programı