

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YERFISTIĞI TOHUMLARINDAN ENZİMATİK SULU EKSTRAKSİYON İLE
YAĞ ELDESİ VE OPTİMİZASYONU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Zeynep Cansu ZEREN

Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

Kimya Mühendisliği Programı

MAYIS 2015

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YERFISTIĞI TOHUMLARINDAN ENZİMATİK SULU EKSTRAKSİYON İLE
YAĞ ELDESİ VE OPTİMİZASYONU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Zeynep Cansu ZEREN
506131034**

Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

Kimya Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Güldem ÜSTÜN

MAYIS 2015

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 506131034 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Zeynep Cansu ZEREN**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**YERFISTIĞI TOHUMLARINDAN ENZİMATİK SULU EKSTRAKSİYON İLE YAĞ ELDESİ VE OPTİMİZASYONU**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı :	Prof. Dr. Güldem ÜSTÜN İstanbul Teknik Üniversitesi	
Jüri Üyeleri :	Prof. Dr. Hanzade AÇMA İstanbul Teknik Üniversitesi	
	Doç. Dr. Sevil YÜCEL Yıldız Teknik Üniversitesi	

Teslim Tarihi : 04 Mayıs 2015
Savunma Tarihi : 03 Haziran 2015

Anneme, babama, babaanneme, dedeme, İrem'e ve Kerem'e,

ÖNSÖZ

Enzimatik sulu ekstraksiyon yöntemi, çevreci ve güvenilir yöntemlerin başında gelmektedir. Enzim kullanılması, bitki hücre çeperlerinin yıkılmasına ve hücre içindeki komponentlerin daha kolay salınımına olanak sağlar. Böylelikle, sulu ekstraksiyondan elde edilenden daha yüksek yağ verimi elde edilebilmektedir.

Bu çalışmada, yerfıstığı tohumlarından alkalaz enzimi kullanılarak sulu ekstraksiyon yöntemi ile yağ elde edilmesi amaçlanmıştır. Yürütülen deneylerde, optimum çalışma koşulları ve maksimum yağ verimini belirlemek amacıyla ortam pH' ı, gram tohum başına kullanılacak enzim miktarı, inkübasyon zamanı, sıcaklık parametreleri ve ortama ikinci bir enzim katılmasının etkisi incelenmiştir.

Bu projede çalışırken bana rehberlik eden, destek, anlayış ve güler yüzünü esirgemeyen çok değerli hocam, tez danışmanım Prof. Dr. Güldem ÜSTÜN' e teşekkür ederim.

Çalışmalarım sırasında yardım ve görüşleriyle beni destekleyen Prof. Dr. Melek TÜTER' e ve sorularımı büyük bir sabırla cevaplayan Ar. Gör. Gülizar BALCIOĞLU' na teşekkürü bir borç bilirim.

Hayatım boyunca bana sevgi ve anlayışlarıyla yol gösterici olan, eğitimim için hiçbir fedakârlıktan kaçınmayan anne ve babama, beni daima yüreklendiren çalışma arkadaşım İrem' e ve manevi olarak her zaman yanımda olan, yardımlarını esirgemeyen Kerem' e teşekkürlerimi iletmek isterim.

Mayıs 2015

Zeynep Cansu Zeren
Kimya Mühendisi

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖNSÖZ	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
ÇİZELGE LİSTESİ	xiii
ŞEKİL LİSTESİ	xv
ÖZET	xvii
1. GİRİŞ	1
2. YERFISTIĞI VE YERFISTIĞI YAĞI LİTERATÜR BİLGİSİ	3
2.1 Yerfıstığı ve Üretimi	3
2.1.1 Yerfıstığının bitkisel özellikleri	4
2.1.2 Yerfıstığı üretimi	5
2.1.3 Yerfıstığının kullanımı ve değerlendirilmesi	9
2.1.4 Yerfıstığının faydaları ve besin değerleri.....	10
2.1.5 Yerfıstığı alerjisi	12
2.1.6 Dünyada ve Türkiye’de yer fıstığı sektörü	12
2.2 Yerfıstığı Yağı.....	15
2.2.1 Yerfıstığı yağının kullanım alanları	18
2.2.2 Dünyada ve Türkiye’de yerfıstığı yağı üretimi	18
3. BİTKİSEL YAĞLARIN ÖZELLİKLERİ VE ELDESİ	19
3.1 Bitkisel Yağların Özellikleri ve Önemi.....	19
3.2 Bitkisel Yağların Elde Edilmesi	20
3.2.1 Ön işlemler	21
3.2.2 Tohumlardan yağın alınması.....	23
3.3 Enzimatik Sulu Ekstraksiyon Yöntemi	28
4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	31
4.1 Kullanılan Hammaddeler	31
4.2 Kullanılan Yöntemler	31
4.2.1 Yerfıstığı tohumlarının öğütülmesi ve karakterizasyonu.....	31
4.2.2 Yerfıstığı yağını yağ asitleri bileşiminin belirlenmesi	32
4.2.3 Yerfıstığı tohumlarından enzimatik sulu ekstraksiyon ile yağ eldesi ve ekstraksiyon veriminin hesaplanması	34
4.2.4 Yerfıstığı tohumlarından enzimatik sulu ekstraksiyon ile yağ eldesine enzim karışımının etkisi	37
5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA	39
5.1 Yerfıstığı Tohumlarının ve Yağının Karakterizasyonu.....	39
5.2 Yerfıstığı Yağının Yağ Asitleri Bileşimi	39
5.3 Enzimatik Sulu Ekstraksiyon Parametrelerinin Etkisi	40
5.3.1 pH değişiminin yağ verimine etkisi	40
5.3.2 Enzim miktarındaki değişimin yağ verimine etkisi	41
5.3.3 İnkübasyon süresinin yağ verimine etkisi	43
5.3.4 Sıcaklığın yağ verimine etkisi	44
5.3.5 Enzim karışımının etkisi	46
5.4 Yerfıstığı Tohumlarından Diğer Ekstraksiyon Yöntemleri ile Yağ Eldesi	49
6. GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER	51
KAYNAKLAR	53
ÖZGEÇMİŞ	57

KISALTMALAR

Vs	: Enzimatik Yağ Verimi
Ys	: Sıvı Fazlardan Çözücü ile Geri Kazanılan Yağ Miktarı (g)
Yb	: Kullanılan Tohumların İçerdiği Başlangıç Yağ Miktarı (g)

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : 100 gram yarfıstığıının enerji, karbonhidrat, protein ve yağ içerikleri	11
Çizelge 2.2 : 100 gram yarfıstığıının kolesterol, yağ ve yağ asidi içerikleri	11
Çizelge 2.3 : 100 gram yarfıstığıının mineral içerikleri	11
Çizelge 2.4 : 100 gram yarfıstığıının vitamin içerikleri	12
Çizelge 2.5 : Türkiye’de �esitli illere göre yarfıstığı ekim alanı, üretim ve verim	14
Çizelge 2.6 : Türkiye’ de yıllara göre yarfıstığı ekili alanı, üretimi ve verim	15
Çizelge 2.7 : Yarfıstığı yağındaki başlıca yağ asitleri	16
Çizelge 2.8 : Yarfıstığı yağının fiziksel ve kimyasal �zellikleri	17
Çizelge 3.1 : Bazı bitkisel yağların P/S oranları	20
Çizelge 4.1 : Gaz kromatografisi analiz koşulları	33
Çizelge 5.1 : Yarfıstığı yağının yağ asitleri bileşimi	39
Çizelge 5.2 : Yağ verimine pH’ ın etkisi.....	40
Çizelge 5.3 : Yağ verimine enzim miktarının etkisi.....	42
Çizelge 5.4 : Yağ verimine inkübasyon zamanının etkisi.....	43
Çizelge 5.5 : Sıcaklığın yağ verimine etkisi	45
Çizelge 5.6 : Pektinazın çalışmasına ortam pH’ ının etkisi	46
Çizelge 5.7 : Pektinazın çalışmasına enzim miktarının etkisi	46
Çizelge 5.8 : Alkalazın çalışmasına pektinaz miktarının etkisi	48
Çizelge 5.9 : Ekstraksiyon metodlarının karşılaştırılması	49

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : a) Yerfıstığı bitkisinin çiçeği b) Ginefor c) Yerfıstığı bitkisinin meyvesi ve tohumu	5
Şekil 2.2 : Salma sulama	8
Şekil 2.3 : a) Kök boğazı çürüklüğü hastalığı b) Kırmızı örümcek zararı	8
Şekil 2.4 : Özel hasat makinesi ile hasat	9
Şekil 2.5 : 2011/2012 yılı dünya yerfıstığı üretimi dağılımı	13
Şekil 2.6 : Yefıstığı yağı	16
Şekil 2.7 : Türkiye’ de yerfıstığı yağı üretimi (2002-2012)	18
Şekil 3.1 : Hidrolik pres makinesi	23
Şekil 3.2 : Fiziksel ve kimyasal metodlar kullanılarak yapılan rafınasyon işlemlerinin akım şemaları	26
Şekil 4.1 : Soxhlet düzeneği	32
Şekil 4.2 : a) Çalkalayıcı su banyosu b) Santrifüj cihazı	34
Şekil 4.3 : Santrifüj sonrası gözlenen fazlar	35
Şekil 4.4 : Ekstraksiyon işlemi	36
Şekil 4.5 : Döner buharlaştırıcı	36
Şekil 4.6 : Yefıstığından enzimatik sulu ekstraksiyon ile yağ eldesinde izlenen proses adımları	37
Şekil 5.1 : Yağ verimine pH’ ın etkisi	41
Şekil 5.2 : Yağ verimine enzim miktarının etkisi	42
Şekil 5.3 : Yağ verimine inkübasyon süresinin etkisi	44
Şekil 5.4 : Yağ verimine inkübasyon sıcaklığının etkisi	45
Şekil 5.5 : Pektinazın çalışmasına enzim miktarının etkisi	47
Şekil 5.6 : Farklı miktarlardaki pektinazın alkalazın çalışmasına etkisi	48

YERFISTIĞI TOHUMLARINDAN ENZİMATİK SULU EKSTRAKSİYON İLE YAĞ ELDESİ VE OPTİMİZASYONU

ÖZET

Bu çalışmanın amacı, bitkisel yağ eldesinde kullanılan çözücü ekstraksiyonu yöntemine alternatif olacak, yüksek verimli, çevre dostu bir yöntemin geliştirilmesidir. Alternatif metot olarak enzim katkılı sulu ekstraksiyon yöntemi seçilerek, yarfıstığı tohumlarından yağ elde edilmiştir. Sulu ekstraksiyon ile elde edilen yağ verimleri düşük olduğundan, enzim kullanılarak, bitki hücre çeperlerinin yıkılması ve hücre içindeki komponentlerin daha kolay salınması sağlanmıştır. Ortam pH' ı, gram tohum başına kullanılacak enzim miktarı, inkübasyon zamanı ve sıcaklık parametreleri değiştirilerek optimum koşullar belirlenmiştir. Çalışmanın ikinci kısmında ise farklı oranlarda başka bir enzim ortama katılarak deneyler yürütülmüştür.

Çalışmada Osmaniye'de yetişmiş yarfıstığı tohumları öğütülerek kullanılmıştır ve tohumların ilk yağ içeriği %49 olarak saptanmıştır. Kullanılacak enzim olarak Alcalase 2.4 L FG seçilmiştir. Çalışılacak ortam pH' ı 4, 5, 6, 7, 8 (1:7 tohum:tampon çözelti); gram tohum başına enzim miktarı 0,25, 0,5, 0,75, 1, 1,5 mL; inkübasyon süresi 6, 18, 24 saat ve inkübasyon sıcaklığı 40, 50, 60 °C olarak belirlenmiştir. Yağ verimleri (%Vs) hesaplanarak, sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Elde edilen yağ verimleri %66,3-75,5 değişiklik göstermiştir. Sonuçlar değerlendirildiğinde; en yüksek yağ veriminin, pH 7' de, 0,25 mL enzim/g tohum miktarında, 18 saatlik inkübasyon süresinde ve 50 °C' de elde edildiği görülmüştür.

Çalışmanın ikinci kısmında, farklı oranlarda alkalaz-pektinaz karışımı kullanılmasının yağ verimine etkileri de incelenmiştir. Önceki çalışmadan pektinaz enzimi ile en yüksek yağ veriminin elde edildiği ortam olarak pH 5 ve bu çalışmadan da pH 7 seçilerek gram tohum başına 0,25 ve 0,5 mL enzim miktarı ile 18 saatlik inkübasyon süresinde çalışılmıştır. pH 5 ortamında enzim miktarı 0,25' den 0,5 mL/ g tohuma çıkartıldığında yağ verimi %60,6' dan %65,1' e ve pH 7 ortamında da %58,5' den %63,3' e yükselmiştir. Sonrasında, alkalazın optimum çalışma koşullarında 0,25, 0,5, 0,75 ve 1 mL enzim/ g tohum olacak şekilde pektinaz da ortama ilave edilmiştir. 0,25 mL alkalaz/ g tohum:0,5 mL pektinaz/ g tohum oranında yağ verimi %82' ye ulaşarak maksimum sonuç elde edilmiştir.

Kaliteli, rafinasyon veya saflaştırma gerektirmeyen temiz yağ üretimine olanak sağlayan, çevre dostu bu yöntemin en önemli dezavantajı, enzim maliyetlerinin yüksek olmasıdır. Su sirkülasyonun sağlanması ve enzimin geri kazanılması veya immobilize enzimlerin kullanılması maliyeti büyük ölçüde düşürebilir ve bu yöntemin daha yaygın ve cazip hale gelmesine olanak sağlayabilir.

Anahtar kelimeler: Yarfıstığı (*Arachis hypogaea*), enzim, sulu ekstraksiyon, optimizasyon

OPTIMIZATION OF AQUEOUS ENZYMATIC EXTRACTION OF OIL FROM PEANUT

SUMMARY

Oilseeds contain fat, protein, carbohydrates, minerals and vitamins which have an important role in human and animal nutrition, but also constitute an important source of raw materials for the industrial sector. Because of high prices and limited production of the animal originated oils, vegetable originated oils gains value more.

Peanut is one of the important crops of tropical and semiarid tropical countries, where it provides a major source of edible oil and vegetable protein. Peanut seeds contain 27–29% (w/w) protein and 40–50% (w/w) oil.

Taste and durability properties of peanut oil are superior than many vegetable oils. Due to its high monounsaturated content, it is considered healthier than saturated oils, and is resistant to rancidity. It contains a lot of essential fatty acids. The oil obtained from the seeds is yellow to greenish yellow in colour with chief constituents of glycerides of oleic and linoleic acids with lesser amounts of the glycerides of palmitic, stearic, arachidic, behenic, and lignoceric acid.

Peanuts, which can be varied product is an agricultural product with economic potential. Peanuts are generally used as human food, animal feed and used in various fields of industry. Peanut oil is often used in cooking, because it has a mild flavor and a relatively high smoke point. Also production of margarine, mayonnaise, biscuits, cakes, candies and fish canning are other uses of peanut oil. Poor quality oils are used in some industries such as soap industry and diodizel production.

The total world production of peanut in is 35-40 million tons a year. China leads in production of peanuts, having a share of about 42% of overall world production, followed by India (12%) and the United States of America (8%). In our country, most of production is done in Cukurova, Antalya and Mugla.

Peanut is located in the first three of the eight oil plants used in the production of vegetable oil. World peanut about 87% of the production is inland in various ways, a small fraction of production is used in foreign trede, as peanut oil, internal peanuts and pulp. However, due to the fact that problem of obtaining peanut oil in many parts of the world and also Turkey, peanuts are consumed as nuts.

Oil from oilseeds is conventionally extracted by either mechanical pressing or solvent extraction. Mechanical pressing is a less efficient process, leading to low oil recovery (40–60%). For oilseeds with high oil content such as peanut, mechanical pressing is applied and over 85% of the oil is extracted. The remaining oil in the expeller cake is extracted with solvent. For some other oilseed with low oil content, solvent extraction is generally considered as the best alternative. However, the initial investment cost of solvent extraction is much higher than mechanical pressing. In addition, solvent extraction is more appropriate for large scale processing than small scale edible oil plants.

The extraction process is a method which defined as separation of a solid or liquid carrier material component(s) in a mixture with the aid of appropriate specificity solvent from other materials. Then the solvent evaporates and obtains crude oil. It is a method used in obtaining of oil from having a low fat content. The commercial hexane used as the most common solvent for oil extraction is listed among hazardous air pollutants associated with neurological and respiratory disorders on prolonged exposure. Oil yields which are gained with solvent extraction are higher than mechanical pressing method. Oil remaining in the pulp is around 0.5-2 %.

In accordance with the requirements of the extraction process it depends on the realization of the highest yield and the desired parameters to be selected correctly. The most important of these parameters; temperature, pressure, solvent, particle size, time, stirring rate, extractor type, humidity and pore properties of material.

The main disadvantages of solvent extraction are economic problems and environmental pollution. Solvent extraction, although its recovery is in the 90–98% range, has disadvantages of poor quality of protein in oil cake, and high investment, and energy requirements. Hence, there is a need to explore alternative safe and efficient oil extraction processes that may also result in edible protein.

Using enzymes to improve the efficiency of aqueous extraction revealed the expression is called "enzymatic aqueous extraction". Enzyme-assisted aqueous extraction of oil from oilseeds is a relatively recent technique. Unlike traditional oil extraction methods, these new bioprocesses are performed without the use of presses and organic solvents. Using enzymes, the destruction of the plant cell wall and allows easier release of intracellular components. For most oil-rich plant materials, three types of enzymes (cellulases, proteases or pectinases) have proven to be most effective for the aqueous enzymatic oil extraction. Although the high cost of enzymes is a major hurdle to the commercialization of aqueous enzymatic oil extraction methods, recent advances in enzyme production technology may soon make the processes economically viable.

Basic parameters affecting enzymatic aqueous extraction; the enzyme composition and concentration, the particle size of raw material, solid-liquid ratio, ambient pH, agitation speed, the incubation temperature and duration. Selection of specific enzymes or enzyme combinations for each raw material, is an important criteria for effective extraction.

Generally after the extraction process centrifugation is applied to the mixtures in order to separate oil. After the application obtained four phases respectively from the top to bottom oil, cream, aqueous phases and pulp. At this point, it is important that breaking of the emulsion is referred cream and gaining of fat from the cream. Emulsion breaking can be done in several ways. The main aim of the process is to create larger oil droplets from small oil droplets and to separate the oil easier.

Enzyme-assisted aqueous extraction is environment friendly process which is reduced solvent consumption and allowed to obtain simultaneously both fat protein from oilseeds.

This study aims at developing a new eco-friendly and highly efficient method of gaining vegetable oil, as an alternative to commonly used solvent extraction method. As an alternative, enzyme added water extraction method has been chosen, and vegetable oil was gained from peanut seeds. Because of the low efficiency of extraction, it has been aimed to demolish plant cell walls, and let the components inside

cells release easily, by adding/utilizing enzyme(s). Optimum conditions was determined, by changing the pH of environment, the amount of enzyme per each grams of seed, the incubation time and temperature parameters. In the second part of the study another enzyme at different rates was added experiment medias and work with the two enzymes was investigated.

In this study, peanut seeds which has grown in Osmaniye/Turkey was utilized after being grinded, and the first oil content of the seeds was determined as 49%. Alcalase 2,4 L FG was selected as enzyme. The pH of the studying environment was determined as 4, 5, 6, 7, 8 (1:7 seed:buffer solution); the amount of enzyme per each gram of seeds was determined as 0,25, 0,5, 0,75, 1, 1,5 mL; the incubation time was determined as 6, 18, 24 hours, and the incubation temperature was determined as 40, 50, 60 °C. The results were compared by calculating the efficiency of oil.

The efficiencies of gained oil varied from 66,3% up to 75,5%. When it came time to evaluate the results; the maximum efficiency of oil gained in conditions of pH 7, 0,25 mL enzyme/g of amount of seed, 18 hours of incubation time and 50 °C of temperature. The maximum efficiency of oil was detected as 75,5%.

When previous studies close to this topic are examined, it can be seen that also pectinase (enzyme) provide higher efficiencies on gaining vegetable oil from peanut seeds. Therefore, it was decided to examine efficiency of alcalase-pectinase mix in different ratios. First of all, results from previous studies were adapted to optimum conditions of this study. pH 5, the environment that provide maximum efficiency with pectinase from previous study and pH 7 from current study were chosen, and it was studied for 18 hours incubation time with 0,25 and 0,5 mL amount of enzyme per each grams of seed. Oil yields were increased in the pH 5 medium from 60,6% to 65,1% and in the pH 7 medium from 58,5% to from 63,3% with increasing enzyme amount. The yields that was obtained with pectinase was similar in the two selected media. The results has shown that the medium of pH 7 was appropriate for pectinase. Then, 0,25, 0,5, 0,75 and 1 mL pectinases/ g of amount of seed were added to the medium in optimum operating conditions of alcalase. The rate of 0,25 mL alcalase/ g of amount of seed: 0,5 mL pectinase/ g of amount of seed, oil yield was reach 82% and maximum result had been obtained.

In the last part of the study, solvent extraction, aqueous extraction and enzymatic aqueous extraction were compared. The yield that was obtained with solvent extraction was 95,7% and hexane was used as solvent. Aqueous extraction yield was detected as 57,5%. This result has shown the effect of enzyme. This value was increased to 82% with the enzyme additive and a yield was obtained that could compete with solvent extraction.

The most important disadvantage of this method, which let the production of good quality oil with no needs to refining or purification, is high cost of enzymes. To provide the water circulation and recycle of the enzyme, or to use immobilized enzymes may reduce costs, and let this method be common and attractive.

Key words: Peanut (*Arachis hypogaea*), enzyme, aqueous extraction, optimization

1. GİRİŞ

İçerdikleri yağ, protein, karbonhidrat, mineral maddeler ve vitaminler nedeniyle, insan ve hayvan beslenmesinde önemli bir yere sahip olan yağlı tohumlar, aynı zamanda, sanayi sektörü için de önemli bir hammadde kaynağı oluşturmaktadırlar. Yağlı tohumlu bitkiler çok yönlü kullanım alanlarına sahiptir. Hayvansal kökenli yağların üretiminin pahalı ve yeterli olmaması nedeniyle, insan beslenmesi için mutlak surette gereksinim duyulan yağların büyük bir kısmı bitkisel kökenli yağlardan karşılanmaktadır (Arioğlu ve diğ., 2009).

Yerfıstığı çok farklı alanlarda kullanım imkânı bulunan, tohumlarının içerdiği yağ, protein, karbonhidrat, vitaminler ve madensel maddeler ile insan ve hayvan beslenmesinde büyük önemi olan bir yağ bitkisidir (MEB, 2012). Yaklaşık olarak %48,7 yağ, %26,2 protein, %20,6 karbonhidrat ve %4,5 su, lif, kül v.s. içerir. Yerfıstığı, mamul olarak çeşitlendirilebilecek, ekonomik potansiyele sahip bir tarım ürünüdür. Yerfıstığının pek çok kullanım yeri olmakla birlikte genellikle insan gıdası, hayvan yemi ve sanayinin çeşitli alanlarında kullanılır. Yerfıstığı yağı tat ve dayanıklılık özellikleri bakımından birçok bitkisel yağdan daha üstündür. Beslenmemiz için oldukça önemli olan ve dışarıdan alınmaları zorunlu olan yağ asitlerinden 8 tanesini bol miktarda içerir. Yerfıstığı yağı oleik asit açısından çok zengindir ve bileşiminin %59,4' ünü oluşturmaktadır. Yerfıstığı yağı, yemeklik olarak katı ve sıvı halde kullanıldığı gibi balık konserveçiliğinde, bisküvi, pasta, şekerleme ve sabun yapımında da kullanılır. Yerfıstığının yağı çıkarıldıktan sonra geriye kalan küspe, çok değerli bir yem maddesidir. Yerfıstığı kabukları; sunta yapımında, yem dolgu maddesi olarak, mantar yetiştiriciliğinde, yakacak olarak, odun yapımında dolgu maddesi olarak, yapay kömür yapımında, sığır yetiştiriciliğinde kaba yem olarak, kümes hayvancılığında altlık ve malç olarak değerlendirilmektedir (Woodrof, 1973).

Yerfıstığının ilk olarak Brezilya ya da Peru'da yetiştirildiği sanılmaktadır. Bitkisel yağ kaynağı olarak üretilen yağlı tohumlu bitkiler arasında, üretim miktarı açısından dördüncü sırada yer almaktadır. Dünyada yıllık üretimi 35-40 milyon ton arasındadır. (Özüdoğru ve Yıkar, 2003; Kaçmaz, 2006). En büyük üretici ülkeler Çin ve

Hindistan'dır. Bu iki ülkenin toplam üretimi dünya üretiminin %60' ını oluşturmaktadır.

Türkiye'de yerfıstığı tarımı Akdeniz Bölgesi ile Ege Bölgesi'nin bazı yerlerinde yapılmaktadır. Ekim alanlarının %90' ı Akdeniz Bölgesi'ndedir (Kızılaslan ve Onurlubaş, 2007). Ülkemizde yerfıstığı başta Osmaniye ili olmak üzere en fazla Çukurova bölgesinde üretilmektedir.

Bitkisel yağın üretimi, temizleme, nemlendirme, yağlı tohumların kabuklarının kırılması ve ayrılması, pulcuklandırma, presleme, çözücü ekstraksiyonu işlemleri sonucu ham yağın eldesi ile başlar. Fosfatidler, sabunlaştırılmayan maddeler, serbest yağ asitleri, mono ve digliseritler vb. gibi safsızlıklar içeren ham yağa, sırası ile degumming, alkali rafinasyonu, hidrojenasyon ve tekrar rafinasyon işlemleri uygulanır (Kalat, 2011).

Yağlı hammaddelerden yağın sızdırılmasında yararlanılan en eski teknik, basınç altında filtrasyon olarak da tanımlanabilen, presyon tekniğidir (Kayahan, 2004). Presleme verimi %60 civarlarındadır. Bir diğer teknik ise çözücü ekstraksiyonudur. Pres yöntemine göre üstünlüğü yağ veriminin daha yüksek olmasıdır. Bu tekniğin en önemli dezavantajları, yüksek miktarlarda çözücü tüketimi ve kullanılan çözücülerin genellikle çevreye zararlı olmasıdır. Bu sebepler alternatif yağ çıkarım yöntemlerini gündeme getirmiştir. Enzimatik sulu ekstraksiyon yöntemi, çevreci ve güvenilir yöntemlerin başında gelmektedir.

Sulu ekstraksiyonda verimi arttırmak için enzim kullanılması, “enzimatik sulu ekstraksiyon” ifadesini ortaya çıkarmıştır. Enzimatik sulu ekstraksiyonu etkileyen temel parametreler; enzim bileşimi ve konsantrasyonu, hammaddenin partikül boyutu, katı-sıvı oranı, ortam pH' ı, çalkalama hızı, inkübasyon sıcaklığı ve süresidir. Her hammadde için spesifik enzim ya da enzim kombinasyonları seçimi, etkili ekstraksiyon açısından önemli bir kriterdir (Chen ve Diosady, 2003).

Bu çalışmada, Osmaniye bölgesinde yetişen yerfıstığı tohumlarından enzimatik sulu ekstraksiyon yöntemi ile yağ elde edilmesi üzerine denemeler yapılmıştır. Alkalaz enzimi kullanılarak yürütülen deneylerde, optimum çalışma koşulları ve maksimum yağ verimini belirlemek amacıyla ortam pH' ı, gram tohum başına kullanılacak enzim miktarı, inkübasyon zamanı ve sıcaklık parametreleri incelenmiştir.

2. YERFISTIĞI VE YERFISTIĞI YAĞI LİTERATÜR BİLGİSİ

2.1 Yerfıstığı ve Üretimi

Yerfıstığı (*Arachis hypogaea*) baklagiller familyasından, tek yıllık ve değerli bir yağ bitkisidir. Bezelye, bakla ve fasulye ile akraba olan yer fıstığı, meyvelerini toprak içinde meydana getirmesi nedeniyle bu bitkilerden ayrılır. Yerfıstığı çok farklı alanlarda kullanım imkânı bulunan, tohumların içerdığı yağ, protein, karbonhidrat, vitaminler ve madensel maddeler ile insan ve hayvan beslenmesinde büyük önemi olan bir yağ bitkisidir (MEB, 2012). Ayrıca havanın serbest azotunu toprağa bağlayarak kendinden sonra gelen bitkiye azot ve organik madde depolayan önemli bir bitkidir.

Yerfıstığının 32 türü belirlenmiştir. Bunların bir kısmı tek yıllık, bir kısmı ise çok yıllıktır. Dünyada ve Türkiye’de yetişen yerfıstıkları Virginia, Spanish ve Valencia olmak üzere başlıca üç grupta toplanmaktadır. Ülkemizde daha çok Virginia çeşitli, yarı yatık formu yerfıstıkları ağırlık kazanmaktadır (Akova, 2000).

Yerfıstığının 3500 yıllık bir geçmişe sahip olduğu ve ilk olarak Brezilya ya da Peru’da yetiştirildiği sanılmaktadır. Sonraları o günün gezginleri tarafından Afrika’ya taşınmıştır. Ticaret gemilerinde çalışan esirler için yiyecek olarak kullanılmış ve ilk koloni günlerinde esir ticareti yapan gemiciler tarafından Afrika’dan Kuzey Amerika’ya götürülmüştür. 1865 iç savaşına kadar Amerika’da pek yaygın olarak üretilmediği, sonraları Kuzey Carolina ve Virginia’da sınırlı olarak ekiminin yapıldığı ve 19. yüzyılın sonlarına doğru Mısır üzerinden başta Portekiz ve İspanya olmak üzere Akdeniz Bölgesine girdiği bildirilmektedir (Güzel, 1985). Ülkemize giriş tarihi tam olarak bilinmemektedir. Batılı tüccarların Anadolu seferleri vasıtasıyla Anadolu’da tanınmaya başlandığı tahmin edilmektedir.

Yerfıstığının dünyada ekiliş alanları 40° kuzey ve 35° güney enlemleri arasındadır. En fazla üretim yapan ülkeler, tropik ve subtropik ilkim kuşağında bulunan ülkelerdir. Ülkemizde üretimi en fazla Çukurova’da yapılmaktadır. Bu bölgeyi Antalya ve Muğla illeri takip etmektedir (MEB, 2012).

Yerfıstığı, dünya bitkisel yağ üretiminde kullanılan yaklaşık sekiz yağ bitkisinden ilk üçü içerisinde yer alır (Kadiroğlu, 2008). Dünya yerfıstığı üretiminin yaklaşık %87' si çeşitli şekillerde iç tüketimde kullanılmakta, çok az bir bölümü iç fıstık, fıstık yağı ve küspe şeklinde dış ticarete konu olmaktadır. Ancak, yerfıstığından yağ elde edilmesi konusunda sorunların aşılamamış olması nedeniyle dünyanın birçok yerinde olduğu gibi Türkiye'de de yerfıstığı büyük ölçüde çerezlik olarak tüketilmektedir (Alemdar ve Parkalay, 2011).

Yerfıstığı tohumları protein içerikleri bakımından oldukça zengindirler. Çeşitlere göre değişmekle beraber, tohumdaki protein oranı %28 dolaylarındadır. Yerfıstığında proteini oluşturan amino asitlerin kolay sindirilebilir özellikte olması, beslenmedeki değerini artırmaktadır (Ahmed ve Young, 1982). Yerfıstığı tohumlarında yaklaşık %18 oranında karbonhidrat ile bol miktarda K, Ca, Mg, P ve S gibi madensel maddeler bulunmaktadır (%3). Ayrıca, yerfıstığı; A, B ve E gibi vitaminlerce de oldukça zengindir (Woodroof, 1983).

2.1.1 Yerfıstığının bitkisel özellikleri

Kök: Çok iyi gelişmiş kazık kök sistemine sahip olan yerfıstığının ana köke dik olarak konumlanan yan kökleri üzerinde azot bağlayıcı bakteriler bulunur. Kök uzunluğu 80-200 cm arasında değişmektedir (MEB, 2012).

Sap ve gövde: Sap; dal, yaprak ve çiçekleri taşıyan ana eksen olup 30–40 cm boyundadır. Dalların ana sapa bağlanma açılarına göre 2 tip gelişme vardır: Dik büyüyen tipler (Bunch tipi; Spanish ve Valencia grubu) ve yatık büyüyen tipler (Runner tipi; Virginia grubu). Çerezlik çeşitler yatık büyüyen tiplerdir (Virginia grubu); yağlık çeşitler ise dik büyüyen tiplerdir (Bunch tipi) (Kadiroğlu, 2008; MEB, 2012).

Yapraklar: Birleşik yapraklı olan yerfıstığında, yapraklar ana sap ve yan dallar üzerinde dizilmişlerdir. Yapraklar uzun veya oval yapıya sahip olup açık ve koyu yeşil arasında bir renktedir. Ayrıca çeşitlerine göre de tüylü olabilmektedir. Yapraklar ışığa duyarlı olup ışığa yönelme (fototropizm) gösterirler ve akşamları karşılıklı olarak kapanırlar (MEB, 2012).

Çiçek: Yer fıstığında çiçekler, yaprak koltuklarından her bir koltuktan 2-4 sayıda olmak üzere çıkar. Ekimden 50-60 gün sonra çiçekler açmaya başlar ve sarı, beyaz veya erguvan renkte olabilir. Ancak genellikle portakal sarısı rengindedir. Bir

yerfıstığı bitkisi 500-1000 adet arasında çiçek oluşturur ve bu çiçeklerin %50-75' i dölllenerek meyve oluşturma potansiyeline sahiptir (Kadiroğlu, 2008; MEB, 2012).

Ginefor: Yerfıstığına has, toprak içinde kapsül oluşturan uzantılardır. Gineforların %8-13' ü uçlarındaki sert tabaka sayesinde toprağa girerek kapsülleri oluşturmaya başlar. Burada, çiçekten itibaren 60 gün içinde fıstık adı verilen meyve oluşur (Kadiroğlu, 2008).

Meyve (Kapsül): Yerfıstığı meyveleri yumurtalığın gelişmesi ile gineforun uç kısmında ve toprağın altında oluşur. Bitki başına 50-60 adet meyve meydana gelirken, meyvelerin uzunlukları 2-4,5 cm ve enleri 1,5-2 cm arasında değişim gösterir (MEB, 2012).

Tohum: Meyvenin belirli bir büyüklüğe ulaşmasıyla içerisinde tohumlar oluşmaya başlar. Kapsüller içinde genellikle 2 tohum bulunur. Tohumun etrafı ince kağıt gibi bir tabaka ile sarılıdır. Tohum renkleri ten, gül veya kahverengi; tohum şekilleri yuvarlak-oval ile uzun-ovaldır. Koyu renkli tohumlar proteince, açık renkli tohumlar yağca daha zengindir. Yağlık çeşitler küçük tohumlu, çerezlikler ise büyük tohumludur. Ortalama 1000 dane ağırlığı 300- 1000 gramdır (Kadiroğlu, 2008). şekil 2.1' de sırasıyla yerfıstığı bitkisinin çiçeği, ginefor yapısı, meyve ve tohumu gösterilmektedir.



(a)

(b)

(c)

şekil 2.1 : a) Yerfıstığı bitkisinin çiçeği b) ginefor c) yerfıstığı bitkisinin meyvesi ve tohumu.

2.1.2 Yerfıstığı üretimi

2.1.2.1 Adaptasyonu

Yerfıstığı tropik, subtropik ve ılıman iklim bölgelerinin sıcak kuşaklarında yetiştirilebilen, ısı ve güneş isteği fazla olan yazlık bir bitkidir. Yetişme süresince 3000-4500 °C sıcaklık toplamına gereksinim duymaktadır ve aylık ortalama ısı isteği

ise 20 °C' dir. Çimlenme için optimum toprak sıcaklık 30-35 °C' dir. Sıcaklık arttıkça, yetiştirme süresi kısalmaktadır. Çeşitlerine ve iklim şartlarına göre değişmekle beraber genel olarak yetiştirme süresi 120-140 gündür. Isısı düşük olan yerlere erkenci olan yağlık çeşitlerin ekimi yapılmalıdır. Türkiye'de yerfıstığı tarımı Akdeniz ikliminin etkisinde kalan bölgelerde gerçekleştirilebilmektedir (Kadiroğlu, 2008; url-1).

Yerfıstığı bitkisinin mevsimlik su tüketimi iklime, yöreye ve sulama koşullarına göre farklılık gösterir. Yetiştirme süresince toplam 500-600 mm yağışa ihtiyaç duyar (Öğütçü, 1969, s. 28). Yağışın, yerfıstığının yetiştiği aylara düzenli olarak bölünmesi hem gineforların toprağa kolay girebilmeleri hem de meyvelerin toprak içinde normal olarak gelişebilmeleri açısından büyük önem taşımaktadır. Yağışın yeterli olmadığı zamanlarda su açığı sulama yapılarak mutlaka giderilmelidir. Türkiye'de yerfıstığı için en uygun ekim zamanı 1-20 Mayıs tarihleri arasındır. Fakat toprak sıcaklığı uygun dereceye gelirse 1 Nisandan itibaren ekim yapılabilir (Ercan 1981, s.4). Bu vakitlerde ülkemizde yerfıstığı yetiştirilen bölgelere düşen yağış çok az olduğundan Türkiye'de sulanmadan yetiştirilmesi mümkün değildir (Hayli ve Üçecam, 2004).

Yerfıstığı meyvesi toprak altında gelişim gösterdiğinden yerfıstığı, toprak isteği yönünden seçici bir bitkidir. En uygunu, iyi drene edilmiş gevşek ve hafif yapılı, kumlu, kalsiyumu fazla ve orta derecede organik madde içeren, pH' ı 6-6,4 arasında olan topraklardır. Çok ağır ve fazla killi topraklar uygun değildir. Kil miktarının, %7' nin altında olması gerekmektedir. Taban suyu yüksek ve durgun olan arazilerde yerfıstığı yetiştirilecekse, bitki gelişmesini normal bir şekilde sürdüremez ve verim önemli ölçüde düşer (Kadiroğlu, 2008; url-1).

2.1.2.2 Yetiştirilmesi

Yer fıstığı yetiştiriciliğinde toprak hazırlığı, tohumluk temini, bakteri aşılması, ekim ve ekim nöbeti uygulanması gereken başlıca işlemlerdir.

Toprak hazırlama: Toprak hazırlığı sonbaharda yapılır. Önce tarlada bulunan anız ve bitki artıkları sürülerek toprağa karıştırılır ve ardından pullukla 20-25 cm derinlikte sürülür. Toprak kışı bu şekilde geçirdikten sonra ilkbaharda kültivatör ile yüzeysel olarak işlenir. Daha sonra merdane veya tapan geçirilerek toprak yüzeyi bastırılır. Ekim yapılacak tarlanın tavında işlenmesi ve toprak işleme sırasında kesek meydana gelmemesi gineforların toprağa kolay girebilmesi açısından büyük önem taşımaktadır (MEB, 2012).

Ekim: Ekimde kullanılacak tohumun kalitesi iyi ürün elde etmek için önemli bir faktördür. Tohumlar iyi muhafaza edilmiş, olgunluğunu tamamlamış, sağlam ve deforme olamamış dolgun meyvelerden seçilmelidir, gerekli ise mantarlara ve toprak altı kurtlarına karşı ilaçlanmalıdır. Ekim yapılacak toprakta yeteri kadar bakteri bulunmaması durumunda toprağa veya tohuma bakteri aşılması da yapılmalıdır (MEB, 2012).

Ekilecek tohumlar, ekimden önce kabuklarından ayrılır. Daneler kapsüllerden çıkartılırken, danenin zarar görmemesine dikkat edilmelidir. Yerfıstığı kabuklu olarak da ekilebilir; ancak bu durumda çimlenme geç meydana gelmektedir. Ekim mibzerle ya da elle yapılabilir. Mibzerle ekim yapılacaksa mibzer, 75-80 cm sıra arası ve 25-30 cm sıra üzeri mesafesine ekim yapacak şekilde ayarlanmalıdır. Bu ekim sıklığı için kullanılacak tohum miktarı ise iri daneler için 6-7 kg, küçük daneler için 4-5 kg' dır. Ekim derinliği toprak yapısına, tohum iriliğine ve ekim makinesinin özelliklerine göre değişmekle beraber ortalama 5-7 cm dir (url-1).

Yerfıstığı tarımında ekim nöbeti uygulaması çok önemlidir. Aynı tarlaya iki yıldan fazla üst üste yerfıstığı ekilmesi önerilmemektedir. Ana ürün olarak ekimi daha çok tercih edilse de orta sıcak bölgelerde erken kaldırılan bitkiler yerine ikinci bitki olarak ekilmektedir.

Ana ürün, ekim ayında; ikinci ürün ise kasım ayında hasat edilmektedir. Özellikle ikinci üründe sökülme zamanı yağışların artması kurutma süresinin uzamasına ve çeşitli mantar oluşumlarına neden olduğu gibi, ürünün pazar değerini de olumsuz yönde etkilemektedir (Hayli ve Üçecam, 2004; MEB, 2012).

Gübreleme: Yerfıstığı topraktaki besin maddelerini en iyi değerlendiren bitkilerden birisidir. Köklerinde bulunan azot bağlayıcı bakteriler nedeniyle yerfıstığının azotlu gübre ihtiyacı az, fosforlu gübre ihtiyacı fazladır. Fosfor, yerfıstığında meyve oluşumunu artırmakta ve boş kapsül oranını azaltmaktadır. Gübreleme yapılmadan önce toprak analizleri yapılmalı ve gübreleme bu analiz sonuçlarına göre yapılmalıdır.

Bakım: Başlıca bakım işleri; çapalama ve yabancı ot kontrolü, boğaz doldurma, sulama, hastalık ve zararlılarla mücadele işleridir.

Kök bölgesini gevşetmek, havalandırmak ve yabancı otlarla mücadele etmek amacıyla mutlaka çapalama yapılmalıdır. Yabancı otlarla mücadele etmek için mekanik, kültürel ve kimyasal yöntemler kullanılmaktadır.

Boğaz doldurma, gineforların toprağa yaklaşmalarını kolaylaştırması nedeniyle en önemli bakım işlemlerinden biridir. Lister tipi çapalar ile genellikle ilk sulamadan önce yapılır. Bir diğer önemli bakım işlemi sulamadır (MEB, 2012).

Yerfıstığı kuraklığa dayanıklı olmayan bir bitki olduğundan sulama işlemlerine çok dikkat edilmelidir. Yerfıstığı için en uygun sulama yöntemi yağmurlama olmasına rağmen uygulamada salma sulama daha fazla kullanılmaktadır (Şekil 2.2) (Kadiroğlu, 2008).



Şekil 2.2 : Salma sulama (Kadiroğlu, 2008).

En yaygın görülen yerfıstığı hastalıkları; kök boğazı çürüklüğü, yaprak leke hastalığı ve sap çürüklüğüdür (Şekil 2.3-a). Önemli yer fıstığı zararlıları ise; kırmızı örümcek, prodenya ve toprak altı zararlılarıdır (Şekil 2.3-b) (MEB, 2012). Çeşitli kültürel önlemler alınarak ve kimyasal ilaçlar kullanılarak bu hastalık ve zararlıların etkileri kontrol altına alınabilmektedir.



(a)



(b)

Şekil 2.3 : a) Kök boğazı çürüklüğü hastalığı b) kırmızı örümcek zararı.

Hasat, harman ve depolama: Yerfıstığı ekimden yaklaşık 150-160 günde hasat olgunluğuna gelir. Hasat zamanı, yaprakların hafif sarardığı, danelerin çoğunluğunun koyu renge dönüşüp normal iriliğini aldığını ve kapsüllerin iç zarında kahverengi çizgilerin görüldüğü devredir. Yerfıstığı hasadı özel söküm pullukları ile ya da özel üretilmiş hasat makineleri ile yapılmaktadır (Şekil 2.4). Yerfıstığı ilk hasat edildiğinde yaklaşık %35-60 oranında nem içerir. Ürün depoya konmadan önce nem oranı kabuklu olarak %9' un, iç olarak %7' nin altına düşmelidir. Bu nedenle hasat edilen ürüne kurutma işlemi uygulanır. Bu işlem sererek ya da kurutma makineleri kullanılarak yapılmaktadır (MEB, 2012). Kurutma işleminden sonra ürün, harman makineleri ile saplarından ayrılır. Harman işlemi elle yapılacak ise, fıstıklar tarladan söküldükten sonra kapsüller kurumadan direkt elle tanelenir.



Şekil 2.4 : Özel hasat makinesi ile hasat (url-2).

Yer fıstığının kalitesinin korunması açısından depolanma şartlarına uyulması büyük önem teşkil etmektedir. Depo alanı düşük neme sahip, havalandırması iyi ve serin olmalıdır. Genel olarak depo sıcaklığı 20 °C' yi ve nemi %65-70' i aşmamalıdır (Arnoğlu, 2013).

2.1.3 Yerfıstığının kullanımı ve değerlendirilmesi

Yerfıstığı, mamul olarak çeşitlendirilebilecek, ekonomik potansiyele sahip bir tarım ürünüdür. Yerfıstığının pek çok kullanım yeri olmakla birlikte genellikle insan gıdası, hayvan yemi ve sanayinin çeşitli alanlarında kullanılır.

Ülkemizde yüksek fiyatlar nedeniyle bitkisel yağ sanayine giremediğinden, büyük çoğunluğu çerez olarak tüketilmektedir. Yerfıstığı tohumları doğrudan veya işlenerek; çerez olarak, bisküvi, şekerleme, çikolatalı ürünler ve fıstık katkılı dondurma yapımında, fıstık ezmesi ve hazır kahvaltılıklarda kullanılmaktadır (url-3).

Yerfıstığı tohumunda yağ oranının çok yüksek olması, yer fıstığının yağlı tohumlar arasında bitkisel yağ üretimi bakımından önemli bir yer almasını sağlar. Yerfıstığı yağı yüksek oranda oleik asit içermesi nedeniyle gerek fiziksel özellikleri ve gerekse besin değeri bakımından bitkisel yağlar içinde zeytinyağına en yakın yağ olarak tanımlanır (url-4).

Yerfıstığının yağı çıkarıldıktan sonra geriye kalan küspesi çok değerli bir yem katkı maddesidir. Gelişmiş ülkelerde, karma yemlerin yapımında, bol miktarda kullanılmaktadır. Ayrıca bir baklagil bitkisi olduğundan bitki kısımları da hayvan yemi olarak değerlendirilebilmektedir (Kaçmaz, 2006). Yeşil yem olarak doğrudan hayvanlara yedirildiği gibi, kurutularak balya yapılmakta ve kış mevsiminde hayvanlara yedirilmektedir. Yerfıstığı küspesinden sağlanan proteinin besin değeri yüksek olduğundan çeşitli çocuk mamalarının hazırlanmasında ve proteince yeterli olmayan gıda maddelerinin protein değerinin yükseltilmesinde de kullanılmaktadır.

Yerfıstığı kabukları yüksek oranda lif, selüloz ve lignin içerdiğinden; sunta yapımında, yem dolgu maddesi olarak, mantar yetiştiriciliğinde, yakacak olarak, odun yapımında dolgu maddesi olarak, yapay kömür yapımında, sığır yetiştiriciliğinde kaba yem olarak, kümes hayvancılığında altlık ve malç olarak değerlendirilmektedir (Arıoğlu, 2013).

Tüm bunlara ek olarak, yerfıstığı; köklerinde yaşayan azot bağlayıcı bakteriler sayesinde kendisinden sonra ekilecek bitkiye azot ve organik maddece zengin ve yetişmesi süresince devamlı çapalama ve toprak kabartma yapılması dolayısıyla yabancı otlardan temizlenmiş, havalanmış bir toprak bıraktığından, iyi bir ekim nöbeti bitkisidir (url-5).

2.1.4 Yerfıstığının faydaları ve besin değerleri

Yerfıstığının faydaları aşağıdaki gibi sıralanmakta ve besin değerleri ile bilgiler Çizelge 2.1, 2.2, 2.3 ve 2.4' te ayrıntılı olarak gösterilmektedir:

- Kemikleri ve kasları kuvvetlendirir.
- Gastrit, mide yanması ve ekşimesine karşı yararlıdır.
- Kalp sağlığı için faydalıdır.
- Kandaki kolesterol oranını düşürüp kalp ve damar hastalıkları riskini azaltmaktadır.
- Kansere karşı koruyucu besinlerdendir.

- Öğrenmeyi kolaylaştırmada etkilidir.
- Zihinsel yorgunluğu giderici etkisi vardır.
- Kandaki şeker oranını dengelediğinden şeker hastaları için yararlıdır.

Çizelge 2.1 : 100 gram yerfıstığının enerji, karbonhidrat, protein ve yağ içerikleri (Ayaz, 2008).

Enerji (kkal)	582
Protein (g)	26,2
Yağ (g)	48,7
Karbonhidrat (g)	20,6
Su, lif, kül v.s. (g)	4,5

Çizelge 2.2 : 100 gram yerfıstığının kolesterol, yağ ve yağ asidi içerikleri (Ayaz, 2008).

Kolesterol (mg)	0
Yağ (g)	48,7
Doymuş yağ asitleri (g)	6,82
Tekli doymamış yağ asitleri (g)	24,39
Çoklu doymamış yağ asitleri (g)	15,53

Çizelge 2.3 : 100 gram yerfıstığının mineral içerikleri (Ayaz, 2008).

Kalsiyum (mg)	72
Fosfor (mg)	407
Demir (mg)	2,2
Çinko (mg)	2,8
Magnezyum (mg)	160
Manganez (mg)	1,6
Bakır (mg)	0,8
Potasyum (mg)	701
Sodyum (mg)	5

Çizelge 2.4 : 100 gram yerfıstığının vitamin içerikleri (Ayaz, 2008).

E vitamini (mg)	10
Folik asit (μ g)	169
Tiamin (B ₁) (mg)	0,32
Riboflavin (B ₂) (mg)	0,13
Niasin (B ₃) (mg)	17,10

2.1.5 Yerfıstığı alerjisi

Fıstık alerjisi, fıstığa veya fıstık ürünlerine maruz kalındıktan kısa bir süre sonra meydana gelen bir reaksiyondur. Fıstık proteinlerine karşı tepki olarak oluşan IgE alerjisi antikorlarından dolayı olur. Dilde şişme, damakta kaşıntı, boğazda kaşıntı ve yanma, gözde burunda kaşıntı, bulantı, kusma, karın ağrısı, nefes darlığı, hırıltılı solunum, morarma, göğüs ağrısı, kurdeşen, tansiyon düşüklüğü ve şoka kadar gidebilen çeşitli belirtileri vardır (url-11).

Yerfıstığı alerjisi yaşamın erken dönemlerinde kendini gösterir ve çoğu bireyde yaşam boyu sürer. Bazı çok duyarlı kişilerde mikrogramlarla ifade edilebilecek kadar küçük miktarlar reaksiyona neden olurken, miligram miktarında alımlar ise sistemik reaksiyonlara neden olmaktadır. Hatta bazı kişilerde, içinde fıstık ezmesi olan bir kavanozun açık bırakılması nedeniyle bile, ürtiker ve hırıltılı solunum ortaya çıkmaktadır (Buttriss, 2002).

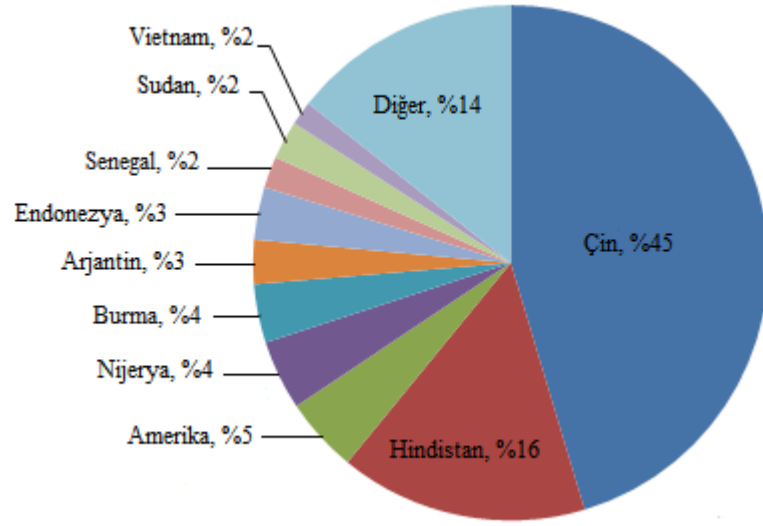
Fıstık alerjisindeki sorun yağ değil, proteindir. Soğuk preslenmiş fıstık yağı, fıstık proteini içerir. Küçük araştırmalarda, rafine edilmiş fıstık yağlarının güvenli olduğu saptanmıştır. Ancak yine de yağın, fıstık proteininin kalıntılarını yok edebilecek denli rafine edildiğini garanti etmek zor olduğundan, fıstık hassasiyeti olanların yer fıstığı içeren her türlü gıdadan uzak durmaları tavsiye edilmektedir.

2.1.6 Dünyada ve Türkiye’de yer fıstığı sektörü

Yerfıstığı, yüksek yağ içeriği nedeniyle dünya genelinde bir yağ bitkisi olarak değerlendirilmektedir. Bitkisel yağ kaynağı olarak üretilen yağlı tohumlu bitkiler arasında, üretim miktarı açısından dördüncü sırada yer almaktadır. Dünyada yıllık üretimi 35-40 milyon ton arasındadır. Dünya yerfıstığı ekim alanlarında 1993-2004 yılları arasında önemli artışlar olmuştur. Buna bağlı olarak yerfıstığı üretimi de artmıştır. En büyük üretici ülkeler Çin ve Hindistan’dır. Bu iki ülkenin toplam üretimi

dünya üretiminin % 60' ını oluşturmaktadır. Diğer önemli üretici ülkeler ise; Nijerya, ABD, Endonezya ve Sudan'dır (Özüdoğru ve Yıkar, 2003; Kaçmaz, 2006).

Amerika Tarım Bakanlığı verilerine göre; 2009/10 yılında 35,9 milyon ton olan dünya yerfıstığı üretimi, 2012/13 yılında artış göstererek 39,9 milyon tona ulaşmıştır ve Çin, 4,7 milyon hektar ekim alanı, 16,7 milyon tonluk üretim miktarıyla ilk sırada yer almıştır. Çin'i 5 milyon hektarlık ekim alanı ve 5 milyon tonluk üretim miktarıyla Hindistan takip etmiştir. Bu ülkeleri sırasıyla; 0,6 milyon hektar ekim alanı ve 3 milyon ton üretimle ABD ve 2,5 milyon hektar ekim alanı, 3 milyon tonluk üretimle Nijerya takip etmiştir (url-8). Şekil 2.5' te 2011/2012 sezonu dünya yerfıstığı üretiminin ülkelere göre dağılımı görülmektedir.



Şekil 2.5 : 2011/2012 yılı dünya yerfıstığı üretimi dağılımı (url-9).

Dünya'da yerfıstığı tüketimi önemli ölçüde iç piyasada gerçekleşir, yani yerfıstığı üretici ülkelerde genel olarak iç tüketimi karşılamak amacıyla üretilmektedir. Dünya üretiminin sadece %5' i uluslararası pazarda satılmaktadır. Yerfıstığının üç ana ürününün dış ticareti yapılmaktadır. Bunlar iç fıstık, fıstık yağı ve fıstık ezmesidir. Çin iç fıstık ihracatında en büyük paya sahip olup, onu ABD izlemektedir. Senegal dünyanın en önemli fıstık yağı üreticisidir. Avrupa Birliği dünya yerfıstığı pazarının %43' lük payına sahip olmasıyla dünyanın en büyük ithalatçısı durumundadır (Alemdar ve Parkalay, 2011). Yerfıstığı ithalatı yapan diğer önemli ülkeler ise; Endonezya, Fransa, ABD, Kanada'dır.

Türkiye'de yerfıstığı tarımı Akdeniz Bölgesi ile Ege Bölgesi'nin bazı yerlerinde yapılmaktadır. Ekim alanlarının %90' ı Akdeniz Bölgesi'ndedir (Kızılaslan ve

Onurlubaş, 2007). Ülkemizde yerfıstığı başta Osmaniye ili olmak üzere en fazla Çukurova bölgesinde üretilmekle birlikte İçel, Antalya, Kahramanmaraş, Aydın ve Muğla illerinde de ekonomik olarak üretilmektedir (Çizelge 2.5). Türkiye'nin dünya üretiminden aldığı pay çok düşük olmasına rağmen hektar başına verim dünya ortalamasından yüksektir (url-5).

Çizelge 2.5 : Türkiye’de çeşitli illere göre yerfıstığı ekim alanı, üretim ve verim (Kaçmaz, 2006).

İller	Ekim alanı (*1000 ha)	Üretim (*1000 ton)	Verim (*ton/ha)
Osmaniye	9	25	2,9
Adana	6	23	3,5
İçel	6	8	1,3
Aydın	2	5	2,7
Kahramanmaraş	1	5	2,7
Muğla	1	3	2,7
Antalya	1	2	2,4

İlk yerfıstığı tarımının başladığı ve yıllarca geniş çapta ekimi yapılan Anamur ve Silifke gibi yerlerde, arazilerin çok parçalanması ve karlılığın yüksek olması nedeniyle buralarda yerfıstığı tarımı çok azalmıştır. Çukurova’ da tarlaların daha geniş olması nedeniyle mekanizasyonunun gelişebilmesi ve ucuz iş gücü sayesinde üretim daha çok Çukurova’ ya kaymıştır. Ayrıca GAP bölgesinin sulamaya açılması, bu bölgeyi yerfıstığı tarımı için bir potansiyel haline getirmiştir (url-5).

Türkiye’de yerfıstığı ekim alanları, potansiyelinin çok altındadır. Ülkemizde yerfıstığının 90 yıllık bir geçmişi olmasına rağmen, üretiminde makineleşmenin yeterince gelişmemiş olması ve iş gücüne fazlaca ihtiyaç duyulması nedeniyle sektörde hedeflenen noktaya gelinememektedir. Ekonomik teknolojinin geliştirilememesi üretim maliyetinin yüksek olmasına ve yerfıstığının yağ sanayinde değerlendirilmesine engel olmaktadır. Bu nedenle yerfıstığı, ülkemizde çerez olarak tüketilmekte ve ihraç edilmektedir (Kadiroğlu, 2008). Türkiye’ de yıllara göre yerfıstığı ekili alanları, üretim ve verim değerleri Çizelge 2.6’ da görülmektedir.

Çizelge 2.6 : Türkiye’ de yıllara göre yerfıstığı ekili alanı, üretimi ve verim (url-7).

	Ekim alanı (dekar)	Üretim (ton)	Verim (kg/dekar)
1989	200 000	50 000	250
1992	288 000	67 000	233
1995	290 000	70 000	241
1998	350 000	90 000	257
2001	270 000	72 000	267
2004	260 000	80 000	308
2007	259 423	86 409	333
2010	274 500	97 310	354
2013	359 428	128 265	357

Türkiye'nin dünya ticaretinde özellikle dışsatımda payı çok azdır. Türkiye 1980' li yıllarda yerfıstığı ihraç eden bir ülke konumunda iken günümüzde ithal eder duruma gelmiştir. 1987 yılında başlayan ithalat, 2005 yılına kadar çok küçük değişimlerle devam etmiş olup, 2005 yılında ciddi artışlar göstermiştir (Alemdar ve Parkalay, 2011). 2005 yılı itibariyle ihracatta 6 bin ton ile dünya sıralamasında 32. sırada, ithalatı ise 36 bin ton ile 23. Sıradadır (Taşkaya, 2007).

Besin değeri çok fazla olan yerfıstığının tüketiminin daha da yaygınlaştırılabilmesi için, birçok ülkede olduğu gibi yerfıstığından yapılan değişik ürünlerinin üretilip tüketilmesi teşvik edilmelidir. Bu amaçla kurulacak yerfıstığı işleme tesislerinde kahvaltılık yağlar, çocuk mamaları, ezme ve çeşitli tatlılar yapılabilir. Bu nedenle, daha kapsamlı tesislerin kurulabilmesi için devletin, kooperatiflerin ve sanayicilerin her türlü tedbirleri almaları ve destek sağlamaları üretimde ve ticarete ciddi artışlar sağlayacaktır (url-5).

2.2 Yerfıstığı Yağı

Yerfıstığı yağı tat ve dayanıklılık özellikleri bakımından birçok bitkisel yağdan daha üstündür. Beslenmemiz için oldukça önemli olan ve dışarıdan alınmaları zorunlu olan yağ asitlerinden 8 tanesini bol miktarda içerir. Yerfıstığı yağının %80' e yakın kısmını doymamış yağ asitleri oluşturur. Yerfıstığındaki doymamış yağ asitlerinin %45' ini

oleik asit, %35' ini linoleik asit oluşturur (url-5). Yerfıstığı yağı, oleik-linoleik grubu yağlar arasında oksidatif stabilitesi yüksek bir yağdır. Ayrıca kalsiyum, potasyum, fosfor, demir mineralleri ve A, C, E, B, B₁, B₆ vitaminleri yönünden zengin bir kaynak oluşturur. Çizelge 2.7' de yerfıstığı yağındaki başlıca yağ asitleri bileşimleri görülmektedir.

Çizelge 2.7 : Yerfıstığı yağındaki başlıca yağ asitleri (Gunstone, 2011).

Yağ asidi	Yüzdesi
Palmitik (16:0)	7,4-12,5
Stearik (18:0)	2,7-4,9
Oleik (18:1)	41,3-67,4
Linoleik (18:2)	13,9-35,4
Linolenik (18:3)	< 2,0
Arasidik (20:0)	1,2-1,9
Behenik (22:0)	2,1-3,6
Lignoserik (24:0)	0,9-1,7

Yerfıstığı yağı; Şekil 2.6' da görüldüğü üzere, açık sarı renkte olup kendine özgü bir tat ve kokuya sahiptir. Yerfıstığının renk, erime noktası, özgül ağırlık, kırılma indeksi, sabunlaşma sayısı gibi bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 2.8' de detaylı olarak gösterilmektedir. Fosfolipid ve yağ dışı unsurları iz miktarda içerdiği için rafinasyonu oldukça kolaydır (url-10).



Şekil 2.6 : Yerfıstığı yağı.

Çizelge 2.8 : Yerfıstığı yağının fiziksel ve kimyasal özellikleri (Gunstone, 2011).

Özellik	Değer
Tat ve koku	İyi
Renk (görsel)	Açık sarı
Renk (Gardner, maksimum)	4
Erime noktası	0-3 °C
Duman noktası	229,4 °C
Özgöl ağırlık (21 °C)	0,915
Özgöl ısı	0,4914+0,004 T (°C)
Yüzey gerilimi	35,6 mN/m
İyot sayısı	82-106
Peroksit sayısı	10 miliekivalent gram peroksit/kg yağ
Kırılma indeksi (40 °C)	1,46-1,465
Sabunlaşma sayısı	187-196
Sabunlaşmayan yağlar	%0,40
Serbest yağ asidi (oleik asit gibi, maksimum)	%0,05

Yerfıstığı üretiminde en önemli sorun, aflatoksin kontaminasyonudur. Küf gelişimi olan yerfıstıklarından elde edilen yerfıstığı yağının aflatoksin miktarı, alkali nötralizasyon ve renk açma işlemleri ile düşürülmektedir (url-10).

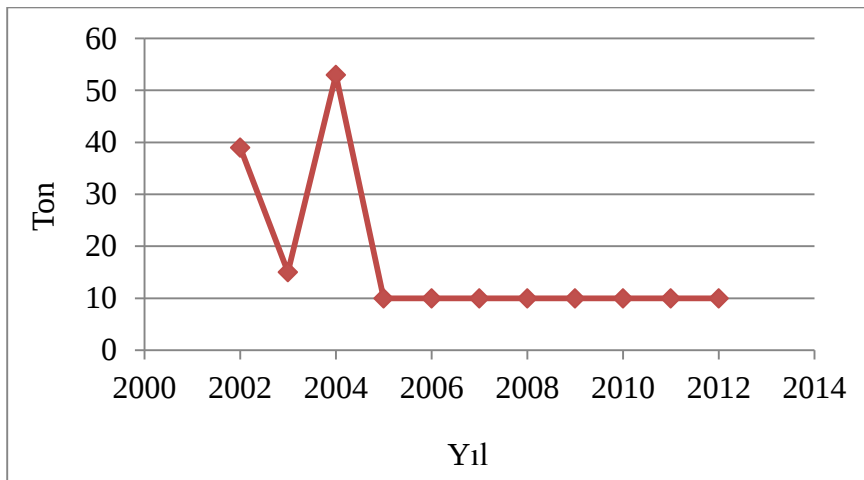
2.2.1 Yerfıstığı yağının kullanım alanları

Genellikle margarin üretiminde, mayonezlerde, bisküvi, pasta, şekerlemelerde, balık konservelerinde, kızartmalarda ve salata yağı olarak kullanılmaktadır. Düşük kalitedeki yağlar ise sabun sanayi gibi bazı sanayi kolları ve diodizel üretiminde kullanılmaktadır (Gunstone, 2011, s. 232).

2.2.2 Dünyada ve Türkiye’de yerfıstığı yağı üretimi

Dünya yerfıstığı yağı üretimi 2005 yılı itibariyle 5 483 051 tondur ve üretimde ilk üç sırayı sırasıyla Çin, Hindistan ve Nijerya oluşturmaktadır. Dünya yerfıstığı yağı ihracatı 2005 yılı itibariyle toplam 217 481 tondur ve ihracatta önemli ülkeler sırasıyla Arjantin, Senegal, Belçika ve Çin’ dir. Aynı yıl itibariyle dünya ithalatında önde gelen ülkeler ise Fransa, İtalya, Belçika ve Hollanda’ dır (Taşkaya, 2007).

Türkiye’de yerfıstığının çerezlik olarak kullanılmasından dolayı, yerfıstığı yağı üretimi, ithalat ve ihracatı oldukça düşük düzeydedir. Şekil 2.7’ de görüldüğü üzere, 2002 yılında 39 ton olan üretimimiz, 2003 yılında 15 tona kadar düşmüştür. 2004 yılında ise tekrar artış göstererek 53 tona ulaşmıştır. Daha sonraki yıllarda üretimimiz 10 tonda sabit kalmıştır (Yapıcıküçük, 2013). Türkiye, yerfıstığı yağı üretimi ve ithalatında 82., ihracatında ise 142. sırada yer almaktadır (Taşkaya, 2007).



Şekil 2.7 : Türkiye’ de yerfıstığı yağı üretimi (2002-2012) (Yapıcıküçük, 2013).

3. BİTKİSEL YAĞLARIN ÖZELLİKLERİ VE ELDESİ

3.1 Bitkisel Yağların Özellikleri ve Önemi

Hücrelerin yapı maddelerinden olan yağlar, enerji kaynağı olarak insan beslenmesinde büyük öneme sahiptirler. 1 gram yağ 9 kalori enerji verir. Bu değer, protein ve karbonhidratların verdiği enerjinin iki katından fazladır. Ayrıca yağlar, vücut yapısının gelişmesi için gerekli temel yağ asitlerinin kaynağı ve yağda çözünen vitaminlerin (A, D, E, K) taşıyıcısıdır (MEB, 2006).

Kimyasal olarak yağ asitlerinin trigliseridleri olarak bilinen yağlar, üç değerli bir alkol olan gliserol ($C_3H_5(OH)_3$) ile yağ asitlerinin ($R-COOH$) esterleşme reaksiyonu sonucu oluşurlar. Suda çözünmeyip sadece apolar organik çözücülerde çözünebilirler (MEB, 2006). Yağların temel yapı taşı olan yağ asitlerinin çeşit ve miktarı, yağların bütün özelliklerini belirler. Bir trigliserit molekülünün yaklaşık %95' ini yağ asitleri, kalan % 5' lik kısmı da minör bileşikler olarak adlandırılan mono ve digliseridler, serbest yağ asitleri, fosfatidler, steroller, yağ asitleri, yağda çözünen vitaminler ve diğer maddeler oluşturur (Alpaslan ve Demir, 2013).

Kimyasal yapı bakımından yağlar; doymuş, tekli doymamış ve çoklu doymamış yağlar olarak 3 grupta toplanmaktadırlar. Doymuş yağ asitleri, kimyasal yapılarında çift bağ içermeyen yağ asitleri olup kalp hastalıklarında önemli bir risk faktörüdür. Doymuş yağ asitlerinin kaynağı hayvansal yağlardır. Tekli doymamış yağ asitleri, yapılarında bir tane çift bağ içerir ve başlıca kaynakları zeytinyağı ve kolza (kanola) yağıdır. Çoklu doymamış yağ asitleri ise, birden fazla çift bağ içerir. Çoğu bitkisel yağda yüksek miktarlarda bulunmaktadır. Bitkisel yağlar; ayçiçeği, aspir, pamuk, zeytin, mısır, soya ve kanola gibi yağlı bitki tohumlarından elde edilen yağlardır (Alpaslan ve Demir, 2013).

Doymuş, tekli doymamış ve çoklu doymamış yağlar tüm yağlarda mevcuttur; ancak oranları yağ cinslerine göre değişmektedir. Yağlarda önemli bir kalite faktörü, içerdiği doymamış yağ asitlerinin, doymuş yağ asitlerine oranıdır (P/S). Bu oran, ne kadar

yüksek olursa, yağların insan sağlığı açısından önemi de o kadar fazla olmaktadır. Bazı bitkisel yağların P/S oranları Çizelge 3.1’ de verilmiştir (Arıoğlu ve diğ., 2009).

Çizelge 3.1 : Bazı bitkisel yağların P/S oranları (Arıoğlu ve diğ., 2009).

Yağ cinsi	P/S oranı
Ayçiçek	8,1
Mısır özü	6,7
Soya	5,7
Yerfıstığı	4,6
Kolza	15,7
Zeytin	6,1

Diğer bir önemli faktör ise; yemeklik yağların besin değeri faktörüdür (B.D.F). Bu değerin 2-4 arasında bulunması o yağın besin değerinin yüksek olduğunu, daha yüksek olması da yağın besin değerinin düştüğünü ifade etmektedir. B.D.F değeri yerfıstığı için 2.6’ dır (Esendal ve diğ., 2008).

3.2 Bitkisel Yağların Elde Edilmesi

İnsan beslenmesinde beslenme alışkanlıklarının sağlıklı yönde değişmesiyle ve nüfusun artması ile birlikte daha fazla tercih edilir olmaya başlayan bitkisel yağlar, işlenerek, saf olarak doğrudan tüketildikleri gibi, birbirleriyle belirli oranlarda karıştırılarak da kullanılmaktadır. Ayrıca, bazı yağlar sıvı olarak tüketilirken, bazıları hidrojenle doyurulmak suretiyle katılaştırılmakta ve bu şekilde tüketilmektedir (Arıoğlu ve diğ., 2009).

Bitkisel yağ üretiminde kullanılan yağlı tohumların içerdiği yağ miktarı, iklim şartlarına, tarımsal tekniklere ve özellikle kullanılan tohumların sahip oldukları niteliklere göre değişiklikler gösterebilmektedir (Alpaslan ve Demir, 2013). Yağlı tohumlardan yağı sızdırmak üzere uygulanan tüm işlemlerin amacı, yağın kalitesinde fazlaca bir kayba neden olmadan verimi yükseltmektir (Kayahan, 2004).

Bitkisel yağın üretimi, temizleme, nemlendirme, yağlı tohumların kabuklarının kırılması ve ayrılması, pulcuklandırma, presleme, çözücü ekstraksiyonu işlemleri sonucu ham yağın eldesi ile başlar. Fosfatidler, sabunlaştırılmayan maddeler, serbest yağ asitleri, mono ve digliseritler, vb. gibi safsızlıklar içeren ham yağa, sırası ile

degumming, alkali rafinasyonu, hidrojenasyon ve tekrar rafinasyon işlemleri uygulanır (Kalat, 2011).

3.2.1 Ön işlemler

Yağlı tohumlardan yağ eldesine başlamadan önce tohumlar bazı ön işlemlerden geçirilir. Uygulanacak ön işlemler yağlı tohumun yapısal özelliklerine ve ham yağ üretiminde kullanılacak yöntemle göre değişmektedir (Erfa, 2007). Ön işlemleri; temizleme, pamuk tohumu için linterleme, tohumun nemlendirilmesi, kabuk kırma ve ayırma, pulcuk haline getirme ve kavurma olarak sayabiliriz (url-12).

Hammaddenin temizlenmesi ve yabancı maddelerin uzaklaştırılması: Genellikle hammaddelere uygulanan ilk işlem temizlemedir. Hammadde çoğu zaman farklı oranlarda taş, toprak, kum, metal parçaları, bitkisel kalıntılar vb. yabancı maddeler içerir. Yağlı tohumlardaki yabancı maddeler, irilik, şekil, yoğunluk ve mıknatıslık özelliklerinden yararlanarak çalışan sistemler kullanılarak uzaklaştırılmaktadır.

Elekler, triyörler, pnömatik (havalı) ayırıcılar, mıknatıs sistemi, linterleme makineleri (pamuk tohumunu liflerinden ayırmada), fırçalama makineleri yağlı tohumların temizlenmesinde kullanılan başlıca sistemlerdir (url-12).

Yağlı tohumların nemlendirilmesi: Tohumların nemlendirilmesi, kabuk kırma ve ayırma, pulcuklandırma, kavurma gibi işlemlerin daha kolay uygulanabilmesi için uygulanan bir işlemdir. Tohumların nem oranının %16-18 olması gerekmektedir. Bu nedenle yağlı tohumların istenen nem derecesine getirilebilmeleri için aşağıda belirtildiği şekilde nemlendirilmeleri gerekmektedir (url-12):

- Su, homojen bir dağılım sağlamak için püskürtme şeklinde verilmelidir.
- Tohumun suyla temas süresi mümkün olduğunca uzun tutulmalıdır (3-4 gün).
- Nemlendirmeden sonra tohumun yüzeyinde su kalmamalıdır.
- Nemlendirilmiş tohumlar çabuk bozulacağı için hemen yağa işlenmelidir.

Kabuk kırma ve ayırma: Kabukta yağ ve protein miktarı çok az olduğundan tohumdan uzaklaştırılır. Presleme sırasında kabuğun tohumla uzun süre temas halinde bulunması, kabuk tarafından emilen yağın geri kazanılamaması nedeniyle yağ kaybına ve pres kapasitesinin düşmesine, çözücü ekstraksiyonu sırasında ise kabuğun renk, tat ve koku maddeleri de çözündüğünden yağın kalitesinin bozulmasına neden olmaktadır.

Yabancı maddelerden ayrılıp temizlenen tohumlar, özel kırıcılarda santrifüj çarpma yöntemiyle kırılırlar. İçi setlerle ve çentiklerle kaplı olan silindirik sabit bir gövde içinde, dakikada 600-650 devirle dönen paletlerden oluşan tambur, üstten gelen tohumları cidara savurarak çarptırır. Kırma işlemi, cidar ile tamburun mesafesi ayarlanarak yapılır. Çarpma sonucu tohumların bir kısmı bütün, bir kısmı parçalanmış halde kabuklarından ayrılır.

Pamuk tohumu, ayçiçeği ve yerfıstığı gibi esnek kabuklarla kaplı yağlı tohumların kabuklarının soyulmasında bar ve disk kabuk soyucular kullanılır. Keten tohumu, kolza ve susam gibi küçük yağlı tohumlarda kabuk soyma işlemi çok zor olduğundan uygulanmaz. Kabuk soyma makineleri, her yağlı tohumun özelliğine göre düzenlenir. İç (badem) ve kabuk bir elekten geçirilerek parçalanmış, ufalanmış olanlar ayrılır ve iri kabuklar hava akımıyla emilir. Ayrılan kabuklar yan ürün olarak değerlendirilebilmektedir.

Kırma işlemi öncesinde kabukları kırılacak tohumların irilik yönünden en az iki veya üç boyda sınıflandırılmaları ve her bir sınıfın boyutlarına göre ayarlanmış kırıcılardan geçirilmesi başarılı bir kırma işlemi için önemlidir.

Pulcuklandırma (tohumların ezilmesi): Pulcuklandırma işlemi ile yağı hapseden hücre ve dokular, parçalanarak yağın kendiliğinden dışarı akışı sağlanır. Pulcuklandırma işlemiyle hem hücre içindeki yağın dışarıya sızma alanı genişletilmiş, hem de yağ çıkışına karşı tohum yapısının gösterdiği direnç azaltılmış olur (Sezer, 2014).

Tohumların kavrulması: Kavurma işlemi, yağlı tohumların yağ verimlerini artırmak ve küspenin daha iyi değerlendirilmesini sağlamak için uygulanır. Sıcaklık uygulanarak yağın viskozitesi azaltılıp, akıcılığı artırılır. Kavurma işlemi ile hücre zarlarına gevreklik verilerek yağın hücreden kolayca çıkması sağlanır. İki aşamada gerçekleştirilir: tavlama (nem ve sıcaklık uygulaması) ve kurutma. Tavalara alınacak yağlı tohum önce 15-20 dakika ısıtılır ve üzerine su buharı veya sıcak su püskürtülüp nemi %16-18' çıkartılır. Ardından tohum sıcaklığı 80-90 °C' ye çıkartılarak kavurma işlemine geçilir. 20-30 dakika kavrulan tohumun proteinleri koagüle edilir. Daha sonra 110-115 °C sıcaklıkta nem oranı %4-4,5' a düşürülür ve kavrulmuş malzemeler, prese aktarılır (Sezer, 2014).

Kullanılan tavalar; tek veya çok katlı olabilmektedir. İndirekt olarak buharla ısıtılıp, nem ve sıcaklık ölçen göstergeler ile donatılmışlardır.

Kavurma işlemi yapılmadığı takdirde; presyon ile yağ eldesinde küspedeki yağ miktarı ancak minimum %6-9 düzeyine kadar düşürülebilmektedir ve presyon işlemi birkaç kez tekrarlanabilmektedir.

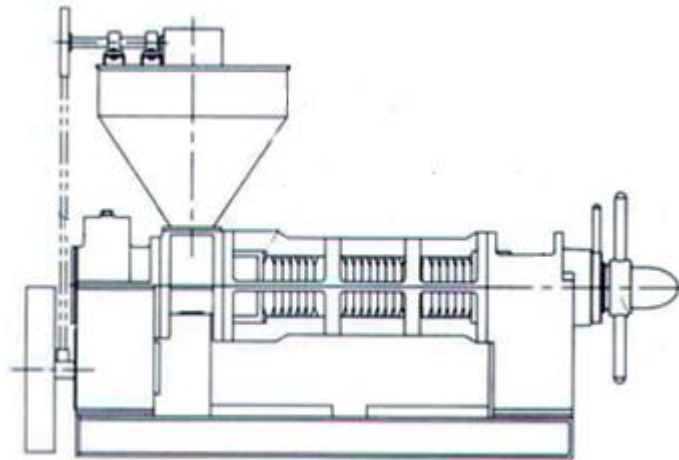
3.2.2 Tohumlardan yağın alınması

3.2.2.1 Mekanik presleme yöntemi

Yağlı hammaddelerden yağın sızdırılmasında yararlanılan en eski teknik, basınç altında filtrasyon olarak da tanımlanabilen, presyon tekniğidir. Bu tekniğin temelini, ham maddedeki yağın basınç altında tohum dışına sızdırılması oluşturur (Kayahan, 2004).

Katı-sıvı faz ayırım yöntemi olarak da tanımlanabilen mekanik presleme işlemi; genellikle yağ oranı %20' den daha düşük olan yağlı tohumlara uygulanabilmektedir. Bu işlem sonunda esas ürün olarak ham yağ, yan ürün olarak küspe elde edilmektedir. Bu yöntemin dezavantajı küspede yağ kalması ve yağ kayıplarının olmasıdır. Bu nedenle presleme verimi %60 civarlarındadır. Mekanik presleme işleminde kesikli çalışan hidrolik presler, sürekli vidalı presler ve döner presler kullanılabilir (url-12).

Şekil 3.1' de görüldüğü üzere, hidrolik presleme mekanizması, bir silindirik gövde içinde, sonsuz bir vida biçiminde dönen eksenden ibarettir. Isıtılmış ve kurutulmuş yağlı madde baş taraftan gövdeye sokularak, gittikçe artan basınca tabi tutulur. Gövdenin yanından yağ ve sonundan küspe alınır (url-10).



Şekil 3.1 : Hidrolik pres makinesi.

Preslerde yağ verimi, prese uygulanan basınç ve sıcaklık ile doğru, küspede kalan yağ oranı ise ters orantılıdır. Presyonda yağ verimine etkili faktörler aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Tohumun olgunluk düzeyi,
- Kavurma sırasında kondüsyonlanma derecesi,
- Tohum nem içeriği,
- Tohumdaki yağ dışı unsurların oranı,
- Ezmedeki kabuk oranı,
- Presleme sıcaklığı,
- Prese uygulanan maksimum basınç,
- Maksimum basınca ulaşma şekli,
- Küspe kalınlığı,
- Ezmeden yağ çıkışını sağlayan sızma yüzeyinin açıklık oranı.

3.2.2.2 Solvent (çözücü) ekstraksiyonu yöntemi

Ekstraksiyon işlemi, taşıyıcı olarak tanımlanan katı veya sıvı bir materyalin bileşimindeki komponent ya da komponentler karışımının, uygun seçicilikteki bir çözücü yardımı ile birlikte olduğu diğer maddelerden ayrılması olarak tanımlanabilir. Daha sonra çözücü süzülerek ayrılıp uçurulur ve geriye ham yağ kalır. Düşük yağ içeriğine sahip dokulardan yağın çıkarılmasında uygulanan bir yöntemdir (Kayahan, 2004). Pres yöntemine göre üstünlüğü yağ veriminin daha yüksek olmasıdır. Küspede kalan yağ %0,5-2 civarındadır (url-10).

Ekstraksiyon işlemi, yağ elde edilecek materyalin, direkt olarak oda sıcaklığında çözücünün içerisine batırılarak ya da bir sokslet içerisinde organik çözücü ile kaynatılarak yapılabilmektedir. Endüstriyel çalışmalarda organik çözücü olarak hekzan ve etanol; analitik laboratuvar çalışmalarında ise eter ve pentan-diklormetan kullanılmaktadır (Cellat, 2011). Sıcaklık, sokslet cihazında 60°C' den az ve daldırma yönteminde ise 5–25°C arasındadır (Linskens ve Jackson, 1997).

Ekstraksiyon işleminin en uygun şartlarda ve istenilen en yüksek verimle gerçekleştirilebilmesi parametrelerin doğru şekilde seçilmesine bağlıdır. Ekstraktör tipinin seçimi yanında ekstraksiyon işlemleri öncesinde ve işlemler sırasında dikkat edilmesi gereken birçok parametre bulunmaktadır. Bu parametrelerin en önemli

olanları; sıcaklık, basınç, çözücü, parçacık büyüklüğü, süre, karıştırma hızı ve karıştırıcı tipi, nem, yüzey aktif madde etkisi, materyalin por özelliği olarak sayılabilir (url-13).

Çözücü ekstraksiyonunun iki dezavantajı vardır. Bunlardan birincisi, ekstraksiyon sonrası yoğunlaştırma işlemi sırasında molekül ağırlığı düşük uçucu bileşiklerin kaybı ve artifağların oluşumu, ikincisi ise ekstraksiyon sonrası geriye kalan çözücüdür. Bu durum, hem ekonomik açıdan hem de çevre kirliliği (toksik özellikleri) açısından sorun teşkil etmektedir. Saf ve kaliteli çözücüler pahalı ve büyük miktarlarda kullanıldığında maddi bir yük getirmektedir (Cellat, 2011).

3.2.2.3 Bitkisel yağ rafinasyonu

Ham yağ, fiziksel ve kimyasal yöntemler kullanılarak birtakım işlemlerden geçer ve yenilebilecek özellik kazanır. Rafinasyon olarak adlandırılan bu işlemler birkaç aşamadan oluşmaktadır. Rafinasyonun amacı; yağdan istenmeyen safsızlıkları uzaklaştırmak, buna karşın trigliserit, tokoferol, ve yağda bulunmasında sakınca olmayan safsızlıkları ise en az zararla muhafaza etmektir. Bu sırada, yağ kayıplarını en az düzeyde tutmak önemli bir noktadır (Swern, 1982; Nas ve diğ., 2001; Kayahan, 2003).

Ham yağlarda bulunabilen istenmeyen maddeler; çoğu karbonhidrat olan zamlı maddeler, pigmentler, su, serbest yağ asitleri, fosfatidler, aldehydler, ketonlar, hidrokarbonlar ve uçucu yağlar gibi koku ve tat veren maddeler, zehirleyici etkisi olan gossipol, yüksek erime noktalı gliseridler ve mikropların meydana getirdiği mikrotoksinlerdir. Yağlarda bulunan gliserid olmayan maddelerden karotenoidler, vitaminler, lesitin ve tokoferol, sesamol gibi doğal antioksidanlar ise faydalı maddelerdir (url-10).

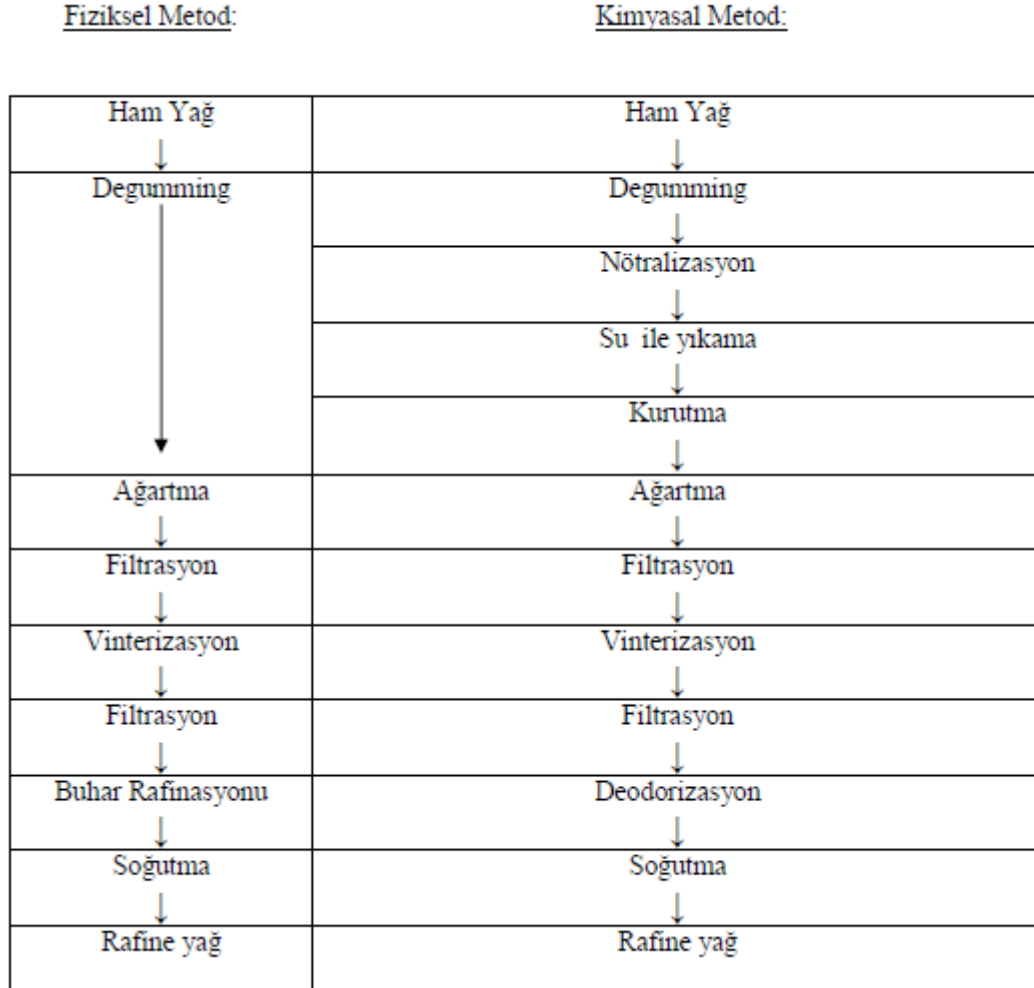
Rafinasyon işlemi;

1. Musilaj (zamlık) giderme (degumming),
2. Asitlik giderme,
 - a. Bazlarla asitlik giderme (nötralizasyon),
 - b. Destilasyonla asitlik giderme (Yüksek sıcaklık ve vakumda su buharı destilasyonu),

3. Ağartma veya renk açma (dekolorizasyon),

4. Deodorizasyon (koku alma) olmak üzere dört aşamadan oluşmaktadır.

Şekil 3.2’ de fiziksel ve kimyasal metodlar kullanılarak yapılan rafinasyon işlemlerinin akım şemaları gösterilmektedir.



Şekil 3.2 : Fiziksel ve kimyasal metodlar kullanılarak yapılan rafinasyon işlemlerinin akım şemaları.

Vinterizasyon, beşinci rafinasyon aşaması olup, sıcaklık değişimiyle bulanıklaşan yemeklik sıvı yağlara uygulanan ve düşük sıcaklık derecelerinde yürütülen bir kristalizasyon işlemidir (Kayahan, 2005).

Ham yağlar ne kadar özenli ve temiz elde edilirse edilsin mutlaka rafine edilmelidir. Çünkü tüketici açık renkli, kokusuz, serbest yağ asidi bulunmayan ve berrak yağ satın almak ister. Rafine edilmeden tüketilen tek bitkisel yağ, iyi kalite zeytinlerden elde edilen zeytinyağıdır. Türkiye’nin kırsal kesiminde ayçiçeği, susam, haşhaş vb. gibi hammaddelerden elde edilen yağlar halk tarafından rafine edilmeden tüketilir.

Koroner kalp ve damar hastalıklarının meydana gelmesinde doymuş yağ asitlerinin ve trans yağ asitlerinin risk oluşturmamasından dolayı, iyi kalitede bir rafine yağ elde edebilmek adına, rafinasyon aşamalarında sıcaklık ve süre profillerinin belirlenmesi önem taşımaktadır.

Musilaj giderme (degumming): Degumming, koloidal formda dağılmış maddelerin ısı ve fosforik asit yardımı ile çöktürülmesi olarak tanımlanır. Müsilaj giderilmezse rafinasyonda kayıplar olur. Ayrıca yağlı tohumlarda bir de patolojik etkenler veya yaralanmalar sonucu meydana gelen zamksı maddeler de bulunur. Müsilaj gidermede hidroklorik asit, fosforik asit kullanılır. Türkiye’de bugün daha çok, sodyum klorür veya pirofosfatın %40-65’ lik çözeltisi kullanılır. Bu çözeltiden ham yağa %2-3 oranında katılır ve yağ karıştırılarak 40-50 °C’ ye kadar ısıtılır. İşlem sonunda çöken sulu tabaka santrifüjlenerek yağdan ayrılır. Bu sırada yağda bulunan mineral maddeler ve bazı yabancı maddeler de çöken bu maddelerle birlikte yağdan uzaklaştırılır (url-12). Degumming prosesinde bir yan ürün olan lesitin hayvan yemlerinde kullanılmaktadır (Kalat, 2011).

Asitlik giderme: Nötralizasyon işleminde, sodyum hidroksit ile muamele edilen ham yağın içindeki serbest yağ asitlerinin sabun şeklinde yağdan ayrılması sağlanır. Yağda serbest halde bulunan yağ asitleri, NaOH ile muamele edilince yağda erimeyen sabun meydana getirerek çöker. Asit karakterde olan diğer bazı maddeler ile sabun tarafından absorbe edilen diğer birçok madde de çöker (Sezer, 2014). Ayrıca, yüksek derecede vakumda damıtılarak serbest yağ asitlerinin yağdan ayrılması işlemi de uygulanmaktadır. Buna fiziksel nötralizasyon denir. Bazın bir kısmı da nötr yağ ile reaksiyona girebileceğinden hesaplanan miktarın %10 fazlası kullanılır.

Ağartma (renk giderme): Ham yağda bulunan renk veren maddeleri adsorban bir madde ile giderme işlemidir. Yağın kalitesini ve ağartma prosesinin verimini göstermesi açısından ağartma, önemli bir rafinasyon aşamasıdır (Kalat, 2011).

Adsorbon madde, genellikle “ağartma toprağı” olarak da adlandırılan kildir. Genellikle Tonsil, Bentonit gibi maddeler kullanılırken, sülfirik veya hidroklorik asitle muamele edilip, aktif hale getirilen diğer topraklar da kullanılmaktadır. Ayrıca aktif kömür de özellikle kırmızı, mavi ve yeşil renklerin adsorbsiyonunda da kullanılabilir; ancak pahalı olması ve fazla yağ emmesi nedeniyle yalnız başına kullanılması ekonomik değildir (url-12).

Ağartmalar açık kazanda, kapalı kazanda vakumda ve son yıllarda sürekli vakumda yapılmaktadır. Ağartmada kullanılacak toprak miktarı, yağın cinsine ve kullanılan toprağın etkinliğine göre %0,5-5,0 olarak değişmektedir (url-10).

Rengi açılacak yağ, kazan içine gönderilir ve 60-80 °C' ye ısıtılır. Adsorplayıcı, kazana, yağın yükseltgenmesini önlemek amacıyla hava girmeyecek biçimde alınır. 90-100 °C' ye çıkarılarak karıştırıcılar hareket ettirilir ve 20-60 dakika bu işlem sürdürülür. Yağ soğutulur ve filtreye pompalanır. Süzme işleminden sonra kazana önce basınçlı hava verilerek serbest yağ, sonra basınçlı buhar verilerek de toprağın adsorbe ettiği yağ alınır. Bu işlemler sırasında oksidasyonu önlemek için vakum da yapılır. Tüm işlemler ortalama 4 saat sürer (url-10, url-12).

Deodorizasyon (koku giderme): İstenmeyen koku ve tat maddelerinin, su buharı ile yağdan uzaklaştırılması işlemidir. Bu proseste yağa, yüksek sıcaklık ve yüksek vakum altında su enjekte edilir ve koku veren maddeler serbest yağ asitleri, az miktardaki trigliseridler, aldehitler ve ketonlar buharla taşınırlar (Kalat, 2011).

Kokusu giderilecek yağ kazana alındıktan sonra, alttan buhar verilerek sıcaklık 180 °C' ye çıkarılır ve yağda istenmeyen koku maddeleri buharla birlikte uzaklaştırılmış olur. Kokusu giderilen yağ yüksek vakum altında önce 100 °C' ye soğutulur, ardından da plakalı soğutuculara gönderilerek 30-50 °C' ye kadar soğutulur (url-10).

3.3 Enzimatik Sulu Ekstraksiyon Yöntemi

Günümüzde yağlı tohumlardan yağ, genellikle presleme ve çözücü ekstraksiyonu yöntemleri ile elde edilmektedir. Çözücü ekstraksiyonu yüksek çevre kirliliğine neden olmakla birlikte emniyet açısından da riskli bir yöntemdir. Ayrıca çözücü teması, toksik madde birikimi açısından da risk oluşturmaktadır. Bu sebepler alternatif yağ çıkarım yöntemlerini gündeme getirmiştir. Enzimatik sulu ekstraksiyon yöntemi, çevreci ve güvenilir yöntemlerin başında gelmektedir.

Sulu ekstraksiyon yönteminde ilk çalışmalar düşük verimle sonuçlanmıştır; ancak bu yöntemin ekonomik olması, toksik etkisinin ve yangın, patlama riskinin olamaması gibi avantajlarından dolayı çalışmalar devam ettirilmiştir. Ayrıca prosesin düşük ilk yatırım ve ekipman maliyeti gerektirmesi de diğer önemli avantajlarıdır (Chen ve Diosady, 2003). Farklı hammaddelere uyum sağlayabilen ve rafine edilmeyi

gerektirmeyen yağ üretimine olanak sağlayan bu prosesin en önemli dezavantajı düşük verim eldesidir.

Sulu ekstraksiyonda verimi arttırmak için enzim kullanılması, “enzimatik sulu ekstraksiyon” ifadesini ortaya çıkarmıştır. Enzim kullanılması, bitki hücre çeperlerinin yıkılmasına ve hücre içindeki komponentlerin daha kolay salınımına olanak sağlar. Enzim müdahalesi ile bitki hücrelerinde kofullarda yer alan yağlar hücre dışına çıkarılarak, ekstraksiyon verimi arttırılmaktadır (Ramadan ve Moersel, 2009).

Enzimatik sulu ekstraksiyonu etkileyen temel parametreler; enzim bileşimi ve konsantrasyonu, hammaddenin partikül boyutu, katı-sıvı oranı, ortam pH’ ı, çalkalama hızı, inkübasyon sıcaklığı ve süresidir. Her hammadde için spesifik enzim ya da enzim kombinasyonları seçimi, etkili ekstraksiyon açısından önemli bir kriterdir (Chen ve Diosady, 2003).

Ekstraksiyon işleminden sonra yağı ayırabilmek için karışımlara genellikle santrifüj uygulanır. Bu uygulama sonrası en üstten alta doğru yağ, krema, sulu ve katı olmak olmak üzere 4 faz elde edilir. Bu noktada önemli olan krema olarak adlandırılan emülsiyonun kırılması ve bu fazdan yağın alınmasıdır. Emülsiyon kırılması, birçok yöntemle yapılabilmektedir. Bunlardan ilki, karışıma sıcak su eklenip yağın yüzdürülmesidir. Emülsiyon tabakası üst yüzeye çıkarılarak alındıktan sonra kaynatılarak emülsiyon kırılır. Ardından da yağ tabakası dekante edilir. Bir diğer yöntem ise; hekzan ile ekstraksiyon yapılmasıdır. Bunlara ek olarak, dondurma ya da eritme işlemleri ile de emülsiyon kırılabilir. Bu işlemlerin temel amacı, emülsiyondaki yağ küreciklerinin birleşerek daha büyük damlacıklar oluşturması ve yağın daha kolay ayrılmasıdır.

Enzimatik sulu ekstraksiyonun pek çok konuda üstünlükleri vardır. Çevre dostu olan bu proseste, çözücü tüketimi ortadan kalkar ve yağlı tohumlardan aynı anda hem yağ hem de protein elde edilebilmektedir. Elde edilen yağ; yüksek kalitede, kararlı, düşük miktarda renkli madde ve fosfatid içerdiğinden, saflaştırma ya da rafinasyon işlemlerine ihtiyacın azalmasını, buna bağlı olarak da maliyetin ve enerji gereksiniminin düşmesini sağlamaktadır.

Yöntemin başlıca dezavantajları ise; yağ veriminin düşük olması, su tüketiminin ve enzim maliyetinin yüksek olması, işlem basamaklarının daha karışık ve uzun sürmesi, proses kurulum maliyetinin daha yüksek olmasıdır. Su sirkülasyonun sağlanması ve

enzimin geri kazanılması veya immobilize enzimlerin kullanılması maliyeti büyük ölçüde düşürebilir ve bu yöntemin daha yaygın ve cazip hale gelmesine olanak sağlayabilir.

4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

4.1 Kullanılan Hammaddeler

Bu çalışmada Osmaniye bölgesinde yetişen yerfıstığı (*Arachis hypogaea*) tohumları kullanılmıştır. Tohumlar buzdolabında +4 °C’ de saklanmıştır.

Yerfıstığı tohumların enzimatik ekstraksiyon yöntemi ile yağ eldesinde kullanılmak üzere Alcalase 2.4 L FG (alkalaz) ve Pectinex Ultra SP-L (pektinaz) ticari enzimleri, sıvı olarak Novozymes A/S (Bagsvaerd, Denmark) firmasından temin edilmiştir. Alcalase 2.4 L FG; *Bacillus licheniformis* bakterisinin fermantasyonu sonucu elde edilen mikrobiyal kaynaklı bir enzim olup Alkalın Proteaz olarak da bilinmektedir. Enzimin aktif olduğu optimum koşullar; 55-70 °C ve pH 4-8’ dir. Pektinaz ise, fungi ailesinden *Aspergillus niger*’ den elde edilen bir enzim türüdür.

Potasyum dihidrojen fosfat (KH_2PO_4) ve disodyum hidrojen fosfat (Na_2HPO_4) kimyasalları kullanılarak 1/15 mol/L stok çözeltileri ve bu çözeltiler ile de farklı pH’ larda fosfat tampon çözeltileri hazırlanmıştır.

Enzimler ve tohumlar buzdolabı koşullarında saklanmıştır. Analitik kullanım amaçlı ve en yüksek saflık değerindeki tüm kimyasallar Merck Chemical Co. firmasından temin edilmiştir.

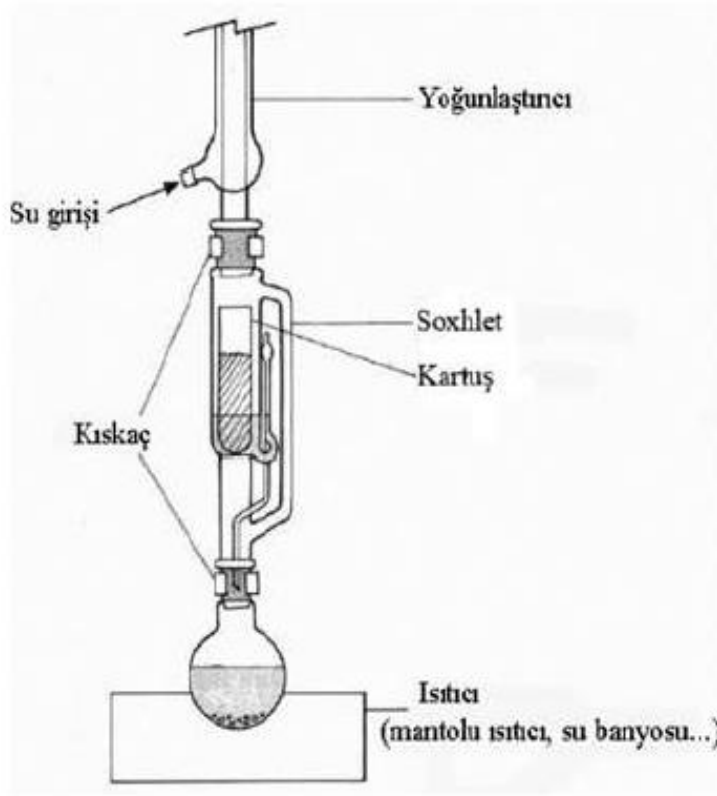
4.2 Kullanılan Yöntemler

4.2.1 Yerfıstığı tohumlarının öğütülmesi ve karakterizasyonu

Yerfıstığı tohumlarına herhangi bir ön işlem uygulanmamıştır. Tohumlar, kahve değirmeninde ezme formuna gelmeyecek şekilde öğütülüp, tohumlar eleme işleminden geçirilmemiştir.

Tohumların yağ içerikleri AOCS standartına göre belirlenmiştir. Yağ içeriğini belirlemede Soxhlet düzeneği kullanılmış olup, Şekil 4.1’ de görüldüğü üzere, Soxhlet ekstraktörü, bir solvent şişesi, orta çemberde bir sıvı akış borusu (sifon), bir kondansör

(yoğuşturucu) ve ısıtma sisteminden meydana gelmiştir. Soxhlet sisteminin temel prensibi, homojen hale getirilmiş tohumda, mevcut yağı çözebilen bir solvent ile yağın alınması ve sonrada solvent-yağ karışımından solventin uçurularak geride kalan yağın tartılarak tespit edilmesidir (url-14).



Şekil 4.1 : Soxhlet düzeneği (url-15).

Yerfıstığı tohumunun yağ içeriğinin belirlenmesi için yaklaşık 15 gram tohum Soxhlet cihazının ekstraktör bölümündeki kartuş içine konularak, ilk sifon zamanından sonra 6 saat boyunca hekzan ile ekstrakte edilmiştir. Daha sonra hekzan çözeltisi darası belli bir cam balona alınarak, hekzan döner buharlaştırıcıda (Labota 4000-efficient Heidolph, USA) 85 °C’ de uçurulmuştur. Uçurma işlemi sonunda cam balon tekrar tartılarak, elde edilen yağ miktarı üzerinden tohumun yağ içeriği belirlenmiştir.

4.2.2 Yerfıstığı yağını yağ asitleri bileşiminin belirlenmesi

Soxhlet ekstraksiyonu sonucu elde edilen yerfıstığı yağının, yağ asidi bileşimini belirlemek amacıyla, yağ asitleri önce BF_3 ile metanollü ortamda metil esterlerine dönüştürülmüştür, daha sonra bu metil esterlerinin yağ asidi bileşimi Hewlett-Packard 5890 II gaz kromatografi cihazı ile belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar Çizelge 4.1’ de gösterilmektedir.

Çizelge 4.1 : Gaz kromatografisi analiz koşulları.

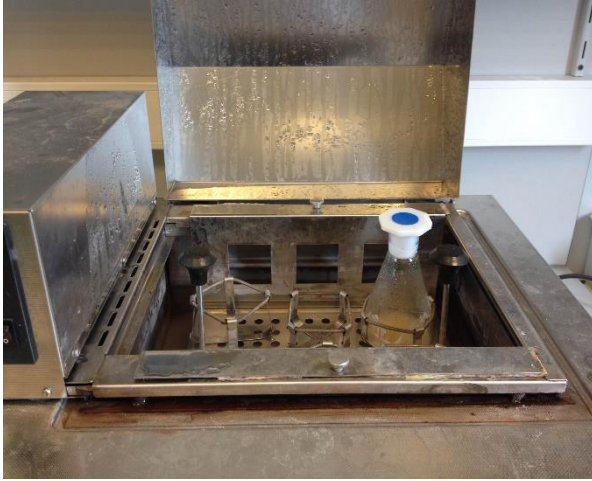
Dedektör tipi	FID (alev iyonizasyon dedektörü)
Dedektör sıcaklığı, °C	280
İnjesiyon sıcaklığı, °C	250
N ₂ hızı, mL/dk	1,6
H ₂ hızı, mL/dk	33
Hava hızı, mL/dk	460
Dağıtma oranı	88:1
Fırın sıcaklığı, °C	150 °C (5dk) 150-275 °C (5°C/dk) 275 °C (10 dk)
Kolon tipi	Kapiler kolon HP-INNOWAX (30 m x 0,32 mm boyutlarında; 0,5 µm kalınlığında polietilen glikol kolon)

0,8 µL yerfıstığı yağı, enjektör iğnesi ile 1:88 ayırma modunda enjekte edilmiştir. Kromatogramdan elde edilen yağ pikleri, piklerin alıkonma sürelerinin, aynı koşullarda standart metil esterlerinin alıkonma süreleri ile karşılaştırılmasıyla tanımlanmıştır.

4.2.3 Yerfıstığı tohumlarından enzimatik sulu ekstraksiyon ile yağ eldesi ve ekstraksiyon veriminin hesaplanması

Bu çalışmada, yerfıstığı tohumlarından enzimatik sulu ekstraksiyon yöntemi ile yağ eldesine, pH, enzim miktarı, süre, sıcaklık ve iki enzimin kombinasyonunun etkisi incelenmiştir.

4 g öğütülmüş yerfıstığı tohumları tartılarak 250 mL' lik erlenlere konulduktan sonra, üzerlerine tohum/tampon zelti oranı 1/7 (ağırlık/hacim) olacak şekilde (yaklaşık 30 mL) belirli pH' larda tampon zeltiler ilave edilmiştir. Ardından her erlene belirlenen miktarda alkalaz enzimi eklenip erlenlerin ağızları kapatılmıştır. Çalkalayıcı su banyosuna yerleştirilen erlenler, 200 rpm hızında, 50 C' de 6 saat boyunca çalkalanmıştır (şekil 4.2-a).



(a) (b)
şekil 4.2 : a) alkalayıcı su banyosu b) santrifüj cihazı.

alkalama işleminin ardından erlenler, enzimlerin inaktivite olması amacıyla 95 C' deki su banyosuna konularak 15 dakika bekletilmiştir. Bu işlemin ardından falkon santrifüj tüplerine alınan karışımlar, santrifüj cihazına (Universal 32, Hettich Zentrifugen, Germany) yerleştirilmiş ve 1 saat boyunca 4000 rpm' de santrifüj edilmiştir (şekil 4.2-b).

Karışımlarda, santrifüj sonrası 4 faz gözlemlenmiştir. Bu fazlar şekil 4.3' te görüldüğü üzere, üsten alta doğru sırasıyla yağ fazı, kremamsı faz (yağ-su emülsiyon fazı), sulu faz ve kspedir. Enzimatik sulu ekstraksiyon çalışmalarında karışılaşılan en büyük zorluk, emülsiyonların kırılmasıdır. Bu emülsiyonlar, enzimatik reaksiyon sonucu

oluşan hidroliz ürünleri ve sulu ortama geçen yağ molekülleri arasında oluşur. Emülsiyonun kırılması yağ veriminin artırılması açısından büyük önem taşımaktadır.



Şekil 4.3 : Santrifüj sonrası gözlenen fazlar.

Bu çalışmada, emülsiyonun kırılması amacıyla ekstraksiyon işlemi uygulanmıştır. İçerisinde 50 mL hekzan bulunan 1. ayırma hunisine, santrifüj tüpündeki küspe hariç diğer fazlar aktarılıp bir süre çalkalandıktan sonra fazların ayrılması beklenir. Bu işlem sonunda sulu faz ve hekzan fazı olmak üzere 2 faz oluşur. Sulu faz 1. ayırma hunisinden alınıp, içerisinde yine 50 mL hekzan bulunan 2. ayırma hunisine aktarılır ve tekrar çalkalanıp fazların ayrılması beklenir (Şekil 4.4). Fazlar ayrıldıktan sonra, sulu faz bir behere alınır, hekzan fazı ise 1. ayırma hunisine alınır. Sulu fazın tekrar 50 mL ve 30 mL hekzanla ekstraksiyonu yapıldıktan sonra, 1. ayırma hunisinde toplanan hekzan fazı 100 mL kadar suyla yıkanır ve darası belli bir balona alınır. Şekil 4.5’ te gösterilen döner buharlaştırıcıda 90-95 °C’ de hekzan uçurulur. Son olarak, eser miktarda kalan hekzanın uçurulması amacıyla 10 dk süreyle vakum işlemi uygulanır.



Şekil 4.4 : Ekstraksiyon işlemi.



Şekil 4.5 : Döner buharlaştırıcı.

Tüm bu işlemler sonucunda içerisinde sadece yağ kalan balon tartılarak, elde edilen yağ miktarı belirlenir ve yağ verimi aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$Vs (\%) = (Ys/Yb) \times 100 \quad (4.1)$$

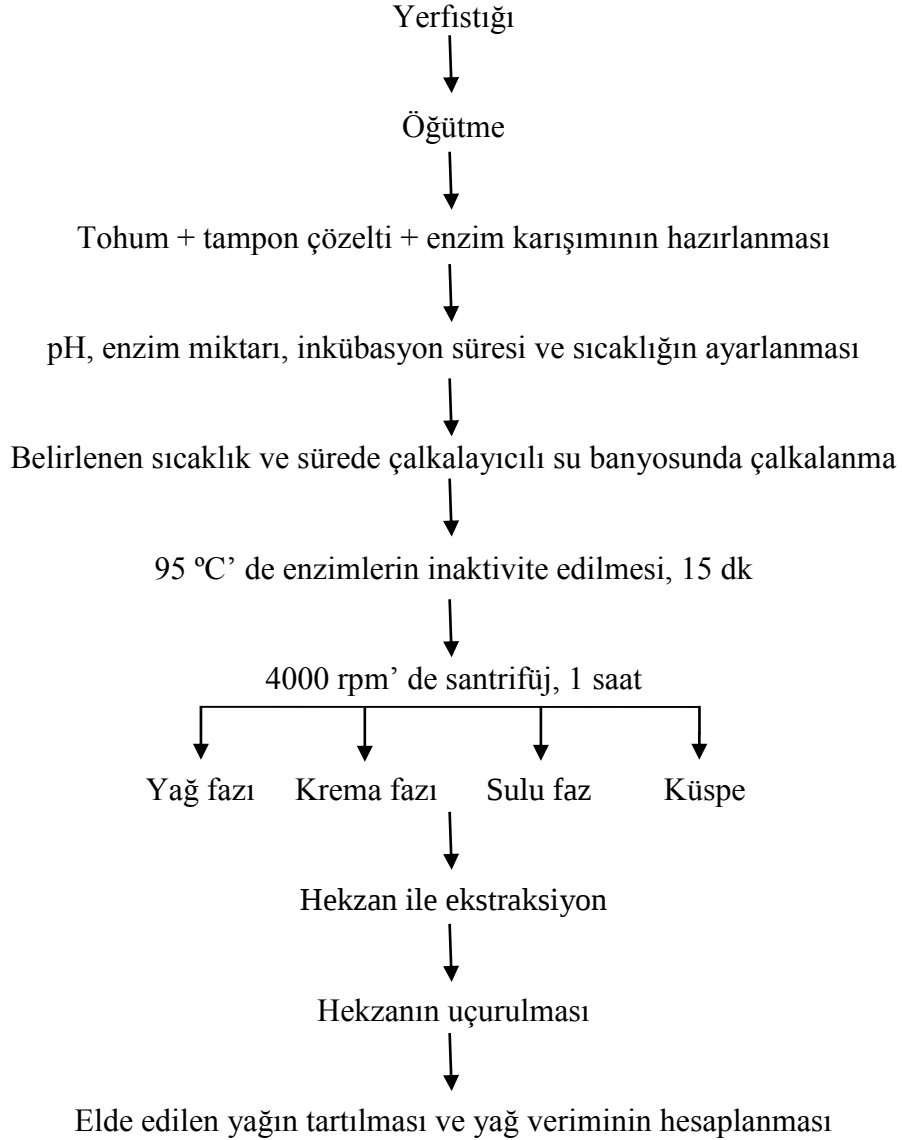
Burada;

Ys: Sıvı fazlardan çözücü ile geri kazanılan yağ miktarı (g),

Yb: Kullanılan tohumların içerdiği başlangıç yağ miktarı (g),

Vs: Yağ verimidir.

Çalışmalarda, optimum koşulları bulabilmek amacıyla, pH 4-8, gram tohum başına 0,25-1,5 mL enzim miktarı, 6-24 saat inkübasyon süresi ve 40-60 °C sıcaklıklarda deneyler yürütülmüştür. Yerfıstığından enzimatik sulu ekstraksiyon yöntemiyle yağ eldesinde izlenen proses adımları, Şekil 4.6’ da gösterilmektedir.



Şekil 4.6 : Yerfıstığından enzimatik sulu ekstraksiyon yöntemiyle yağ eldesinde izlenen proses adımları.

4.2.4 Yerfıstığı tohumlarından enzimatik sulu ekstraksiyon ile yağ eldesine enzim karışımının etkisi

Daha önce yapılan, yerfıstığından enzimatik sulu ekstraksiyon metoduyla yağ eldesi prosesleri incelendiğinde, pektinaz enzimi kullanılmasının da yağ verimini yüksek oranlarda arttırdığı görülmüştür. Bunun sonucunda ikinci enzim olarak Pectinex Ultra SP-L (pektinaz) ticari enzimi kullanılmaya karar verilmiştir. Elde edilen eski

değerlerden yararlanılarak, bu çalışmada elde edilen optimum koşullar için pektinaz ile tekrar çalışılmaya karar verilmiştir. Öncelikle, önceki çalışmadan pektinaz enzimi ile en yüksek yağ veriminin elde edildiği ortam olarak pH 5 ve bu çalışmadan da pH 7 seçilerek gram tohum başına 0,25 ve 0,5 mL enzim miktarı ile 18 saatlik inkübasyon süresinde çalışılmıştır.

Bir sonraki aşamada ise, maksimum yağ veriminin sağlandığı pektinaz enziminin miktarı belirlenmiştir ve alkalaz enziminin optimum çalışma koşulları kullanılarak yürütülen deneylerde, seçilen miktar kadar pektinaz da deneylere eklenmiştir. Böylece, pektinaz enziminin alkalaz enziminin çalışmasına olan etkisi belirlenmiştir. Yağ veriminde sadece alkalaz kullanılmasından daha yüksek değerlere ulaşıldığından, bu iki enzimin birlikte optimum çalışma koşullarını belirlemek için farklı oranlarda alkalaz-pektinaz bileşimleri de denenmiştir.

Pektinaz enzimi katkısının incelendiği bu deneylerde de Bölüm 4.2.3' te açıklanan çalışma prosedürü aynen uygulanmış ve aynı eşitlik kullanılarak verim hesaplamaları yapılmıştır.

5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

5.1 Yerfıstığı Tohumlarının ve Yağının Karakterizasyonu

Yerfıstığı tohumlarının başlangıç yağ içeriği, soxhlet ekstraktörü kullanılarak saptanmıştır. Öğütülen tohumlar, 6 saat süreyle soxhlet cihazında hekzan ile ekstrakte edilmiştir. İşlem sonunda, tohumlardaki yağ hekzana geçmiş ve hekzanın uçurulmasıyla da tohumların başlangıç yağ içeriği %49 olarak bulunmuştur. Bu değer, literatürde belirtilen değerlerle uyumlu olmakla beraber, tohumların çeşidine, yetiştiği iklim koşullarına, hasat zamanına ve ekstraksiyon koşulları gibi birçok faktöre bağlı olarak değişim göstermektedir.

5.2 Yerfıstığı Yağının Yağ Asitleri Bileşimi

Yerfıstığı yağının yağ asidi bileşimi, daha önce de belirtildiği üzere gaz kromatografi cihazı kullanılarak belirlenmiştir. Yağın bileşimi, Çizelge 5.1’ de gösterilmektedir. Çizelgeden de anlaşılacağı üzere, yerfıstığı yağı oleik asit açısından çok zengindir ve bileşiminin %59,4’ ünü oluşturmaktadır. Yüksek oranda bulunan diğer yağ asitleri ise; %24,4’ lük paya sahip linoleik asit ve %9,1’ lik pay ile palmitik asittir.

Çizelge 5.1 : Yerfıstığı yağının yağ asitleri bileşimi.

Yağ asidi	Bileşimi (%)
Oleik asit (18:1)	59,4
Linoleik asit (18:2)	24,4
Palmitik asit (16:0)	9,1
Behenik asit (22:0)	2,5
Araşidik asit (20:0)	1,5
Eikosanoik asit (20:1)	1,1
Lignoserik asit (24:0)	1,1
Stearik asit (18:0)	0,8
α -linolenik asit (18:3)	0,1

5.3 Enzimatik Sulu Ekstraksiyon Parametrelerinin Etkisi

Bu çalışmada, enzimatik sulu ekstraksiyon yöntemi ile yerfıstığı tohumlarından yağ edilmesi amaçlanmıştır. Alkalaz enzimi kullanılarak ekstraksiyon verimine, pH, enzim miktarı, inkübasyon süresi, sıcaklık ve ortama ikinci bir enzimin katılmasının etkileri incelenmiştir.

Deneylerde çalkalama hızı 200 rpm, santrifüjleme hızı 4000 rpm olarak seçilmiş ve 1:7 (ağırlık:hacim) tohum:tampon çözelti oranında çalışılmıştır. Sırasıyla pH 4-8, enzim miktarı gram tohum başına 0,25-1,5 mL, inkübasyon süresi 6-24 saat ve sıcaklık 40-60 °C’ de deneyler yürütülmüştür. Kullanılan ikinci enzimin miktarı ise gram tohum başına 0,25-1 mL arasında değiştirilmiştir.

5.3.1 pH değişiminin yağ verimine etkisi

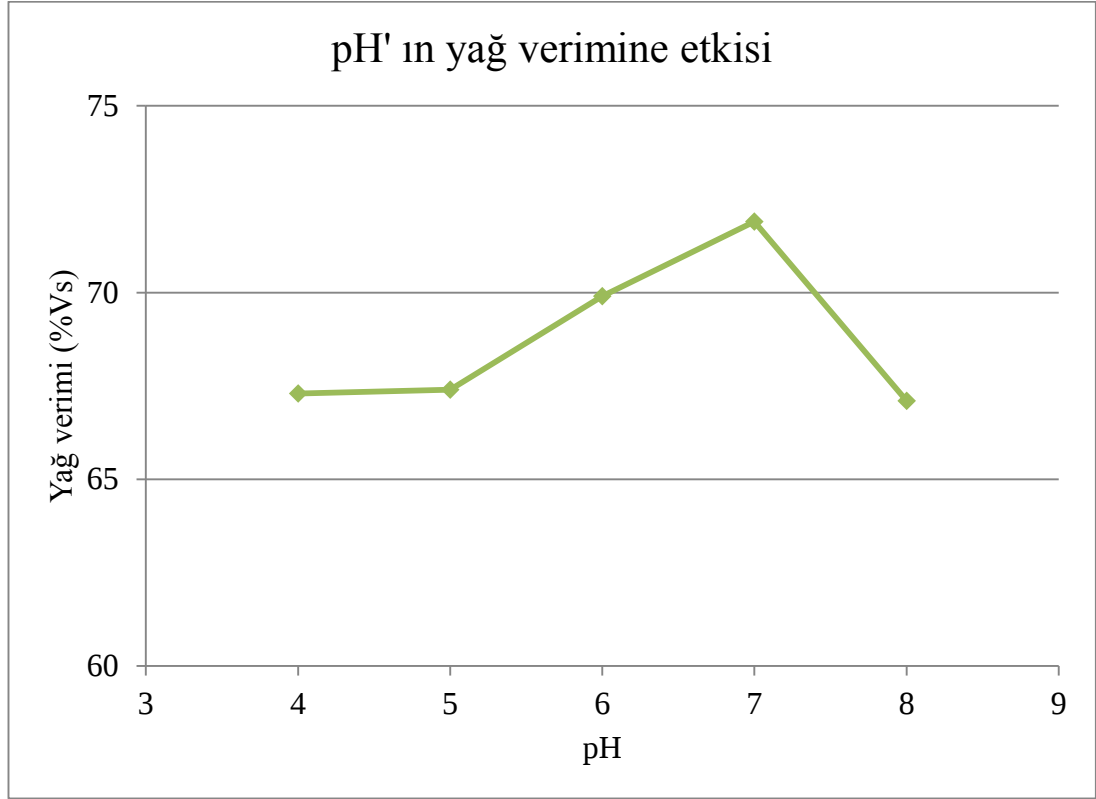
Çalışmada öncelikle alkalaz enziminin çalıştığı optimum pH değerinin bulunması amaçlanmıştır. Her pH değeri için gram tohum başına 0,5 mL enzim kullanılarak, 50 °C ve 6 saat süreyle pH 4-8 değerlerinde deneyler paralel olarak gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar Çizelge 5.2’ de verilmektedir.

Çizelge 5.2 : Yağ verimine pH’ ın etkisi (0,5 mL enzim/ g tohum, 50 °C, 6 saat inkübasyon süresi).

pH değeri	Yağ verimi (%Vs)
4	67,3
5	67,4
6	69,9
7	71,9
8	67,1

Çizelge 5.2’ de gösterilen sonuçlara göre; pH 4-8 aralığında pH’ ın yağ verimine olan etkisi büyük değildir. Verim değerleri, birbirine oldukça yakın olup %67,1-71,9 arasında değişmektedir. Şekil 5.1’ deki grafikte pH’ ın ekstraksiyon üzerindeki etkisi açık olarak yorumlanabilmektedir. pH 4 ve 5 için elde edilen verimlerin aynı olduğu, pH 7’ de verimin maksimuma ulaştığı ve sonrasında ise düşüşe geçtiği görülmektedir.

En yüksek verim değerleri pH 6'da %69,9 ve pH 7' de %71,9 olarak belirlenmiştir. Enzim miktarlarının etkisi görebilmek için, bu pH değerlerinde çalışılmaya karar verilmiştir.



şekil 5.1 : Yağ verimine pH' ın etkisi (0,5 mL enzim/ g tohum, 50 C, 6 saat inkübasyon süresi).

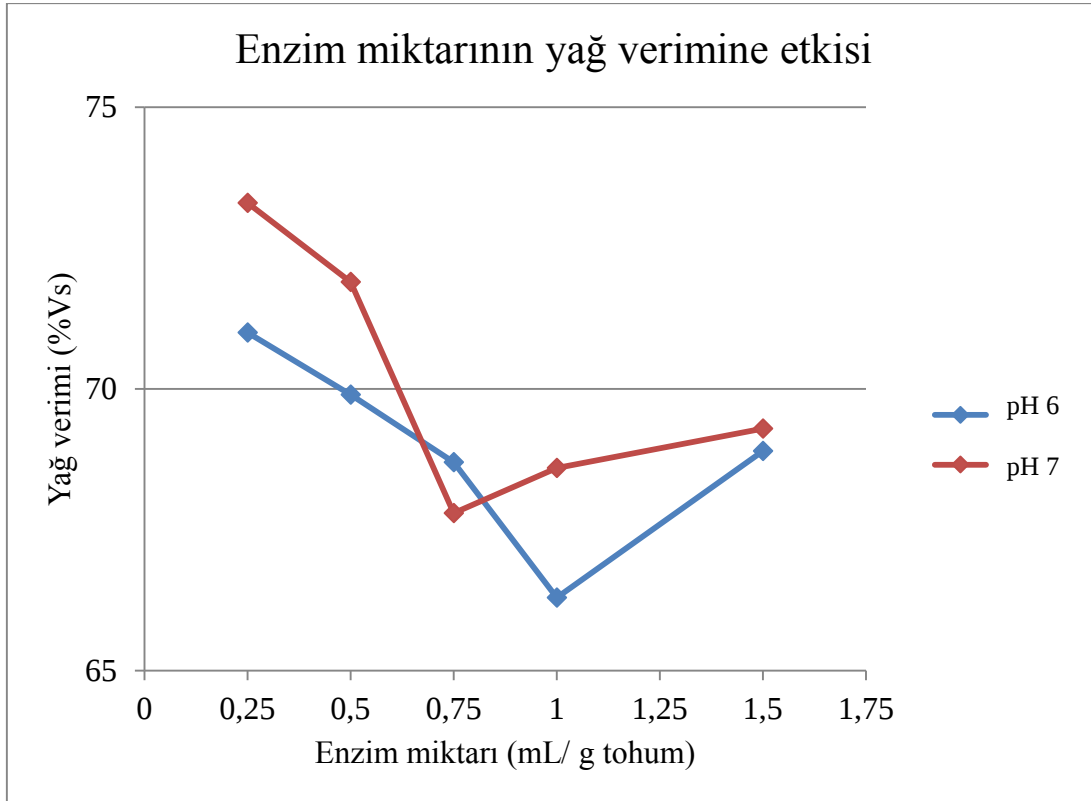
5.3.2 Enzim miktarındaki değişimin yağ verimine etkisi

Yapılan pH inceleme deneylerinden elde edilen sonuçlar doğrultusunda, pH 6 ve 7' de ekstraksiyon verimlerinin enzim miktarı ile değişimi iki seri deney yapılarak incelenmiştir. Kullanılacak enzim miktarları, gram tohum başına 0,25, 0,5, 0,75, 1 ve 1,5 mL olacak şekilde belirlenmiştir. Yine 50 C sıcaklıkta ve 6 saat inkübasyon süresinde deneyler yürütülmüştür. Bu koşullar için elde edilen verim değerleri izelge 5.3' te gösterilmektedir. Bu sonuçlar genel olarak değerlendirildiğinde, enzim miktarının artmasının yağ veriminin düşmesine neden olduğu söylenebilmektedir.

Çizelge 5.3 : Yağ verimine enzim miktarının etkisi (50 °C, 6 saat inkübasyon süresi).

Enzim miktarı (mL/ g)	Yağ verimi (%Vs)	
	pH 6	pH 7
0,25	71	73,2
0,5	69,9	71,8
0,75	68,7	67,8
1	66,3	68,6
1,5	68,9	69,3

Değişimin daha net görülebilmesi için iki pH değeri için de Şekil 5.2’ deki grafik oluşturulmuştur.



Şekil 5.2 : Yağ verimine enzim miktarının etkisi (50 °C, 6 saat inkübasyon süresi).

Yukarıdaki grafiğe göre, enzim miktarı 0,25 mL değerinden 1,5 mL değerine yükseltildiğinde her iki pH değeri için de verim değerlerinin düştüğü görülmektedir. pH 6' da, 1 mL enzim/ g tohum miktarına kadar verim değerlerinde hızla bir düşüş olduğu ve enzim miktarı 1,5 mL/ g tohum' a çıkartıldığında ise verimde ufak bir artış olduğu gözlenmiştir. pH 7' de, 0,75 mL enzim/ g tohum miktarına kadar verim değerleri düşme göstermiş, bu enzim miktarından sonra da az da olsa artış göstermiştir. En yüksek verimler gram tohum başına 0,25 mL enzim kullanıldığında, pH 6' da %71, pH 7' de %73, 2 olarak elde edilmiştir. Genel olarak pH 7 için elde edilen verimler daha yüksektir. Bu nedenle, bir sonraki aşamada inkübasyon süresinin ekstraksiyon verimine olan etkisinin incelenmesinde, ortam pH' ı olarak 7 ve enzim miktarı olarak gram tohum başına 0,25 mL seçilmiştir.

5.3.3 İnkübasyon süresinin yağ verimine etkisi

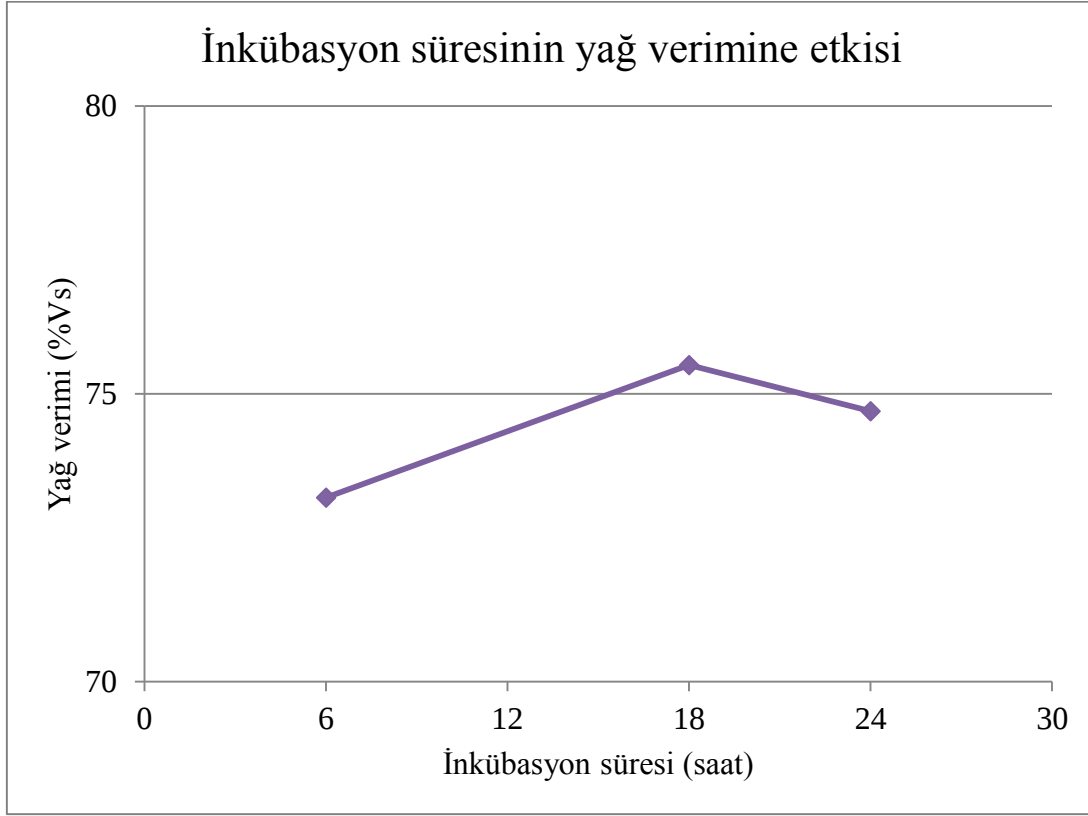
Enzimatik sulu ekstraksiyona inkübasyon süresinin etkisini tayin etmek amacıyla çalışma süreleri; 6, 18 ve 24 saat olarak belirlenmiş, verimde artışın devam etmesi durumunda ise 30 ve 36 saatin de çalışılabileceği öngörülmüştür.

Alkalaz enzimi ile ortam pH' ı 7 ve kullanılacak enzim miktarı gram tohum başına 0,25 mL olacak şekilde 6, 18 ve 24 saat yürütülen deneyler sonucunda elde edilen verim değerleri Çizelge 5 .4' te verilmektedir.

Çizelge 5.4 : Yağ verimine inkübasyon zamanının etkisi (pH 7, 50 °C, 0,25 mL enzim/ g tohum).

pH 7, 0,25 mL enzim/ g tohum, 50 °C	
Süre	Yağ verimi (%Vs)
6	73,2
18	75,5
24	74,7

Yağ verimine sürenin etkisinin daha net görülebilmesi amacıyla, yukarıda Çizelge 5.4' teki veriler kullanılarak inkübasyon süresi-yağ verimi grafiği oluşturulmuş ve grafik Şekil 5.3' te gösterilmektedir.



Şekil 5.3 : Yağ verimine inkübasyon süresinin etkisi (50 °C, 0,25 mL enzim/ g tohum).

Yukarıdaki grafiğe göre, inkübasyon süresinin 6 saatten 18 saate çıkarılmasıyla yağ verimi artmış; ancak süre 24 saate uzatıldığında yağ veriminde düşme olduğu görülmüştür. 6 saat sonunda %73,2 olan yağ verimi, 18 saat sonunda %75,5 ‘ e çıkmış, 24 saat sonunda ise %74,7’ ye düşmüştür. 18 saatte maksimum verim elde edildiğinden, daha uzun sürelerde çalışmaya gerek olmadığına ve sıcaklık parametresinin etkisinin incelenmesinde 18 saatlik deneylerin yürütülmesine karar verilmiştir.

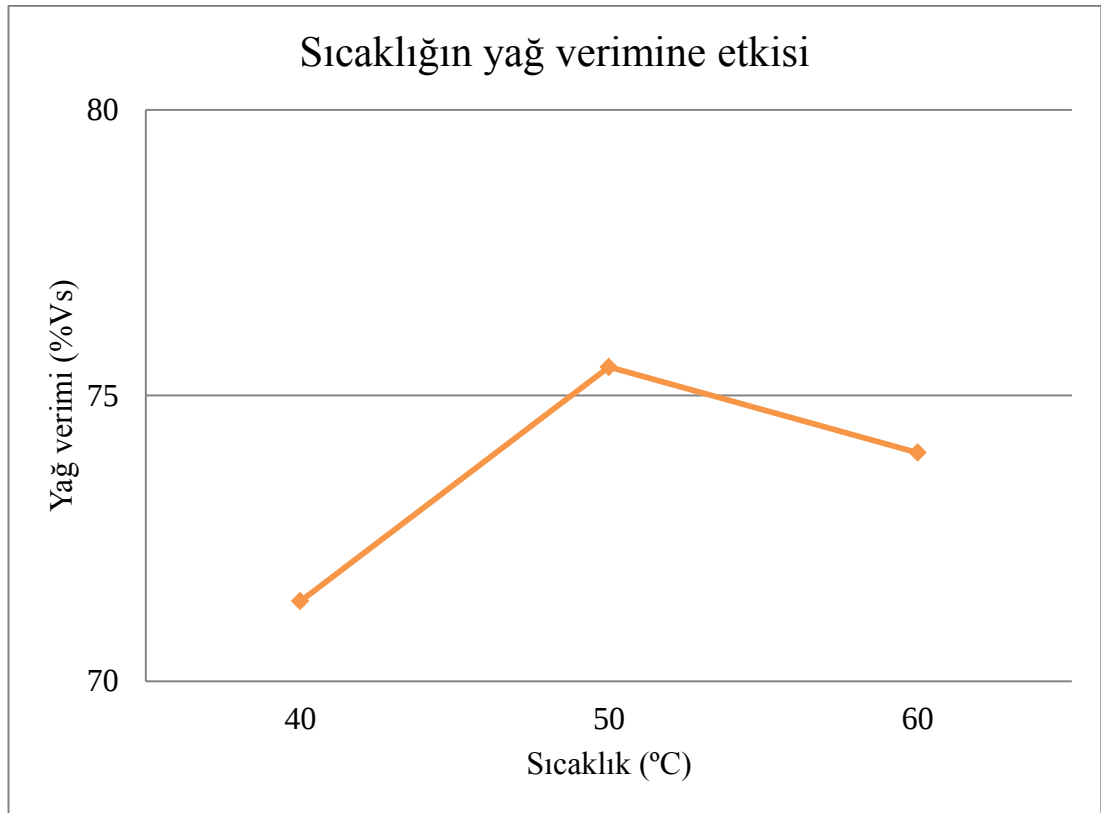
5.3.4 Sıcaklığın yağ verimine etkisi

Deneylerde kullanılan alkalaz enziminin çalıştığı sıcaklık aralığından yola çıkılarak, çalışma boyunca deneyler 50 °C’ de yürütülmüştür. Sıcaklığın yağ verimine etkisini saptamak için ortam sıcaklığı değiştirilmiş, yeni değerler 40 °C ve 60 °C olarak belirlenmiştir. İlk önce 40 °C’ de, ortam pH’ ı 7 ve enzim miktarı 0,25 mL enzim/ g tohum olacak şekilde 18 saatlik, ardından 60 °C’ de aynı koşullar kullanılarak 2’ şer tekrarlar deneyler yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Çizelge 5.5’ te verilmektedir.

Çizelge 5.5 : Sıcaklığın yağ verimine etkisi (pH 7, 0,25 mL enzim/ g tohum, 18 saat).

Sıcaklık (°C)	Yağ verimi (%Vs)
40	71,4
50	75,5
60	73

Elde edilen değerler ile oluşturulan sıcaklık-yağ verimi grafiği Şekil 5.4’ te gösterilmektedir.



Şekil 5.4 : Yağ verimine inkübasyon sıcaklığının etkisi (pH 7, 0,25 mL enzim/ g tohum, 18 saat inkübasyon süresi).

Yukarıdaki grafik incelendiğinde, sıcaklığın 40 °C’ den 50 °C’ ye yükseltilmesiyle yağ veriminde artış olduğu ve sıcaklığın 60 °C’ ye kadar çıkartılmasıyla ise yağ veriminde düşüş olmaya başladığı görülmektedir. 40 °C’ de % 71,4 olan yağ verimi, 50 °C’ de %75,5 ve 60 °C’ de %73 olmuştur. Bu durumda elde edilen en yüksek yağ veriminin 50 °C inkübasyon sıcaklığında olduğu belirlenmiştir.

5.3.5 Enzim karışımının etkisi

Önceki çalışmalarda pektinaz enzimi ile en yüksek yağ veriminin elde edildiği ortam pH 5 olarak ve alkalaz enzimi kullanılarak yürütülen bu çalışmada ise optimum ortam olarak pH 7 belirlenmiştir. Öncelikle pektinaz enzimi ile pH 5 ve 7’ de, gram tohum başına 0,5 mL enzim miktarı ile 18 saatlik inkübasyon süresinde çalışılmıştır. Elde edilen sonuçlar Çizelge 5.6’ da verilmektedir.

Çizelge 5.6 : Pektinazın çalışmasına ortam pH’ ının etkisi (0,5 mL enzim/ g tohum, 18 saat, 50 °C).

pH değeri	Yağ verimi (%Vs)
5	65,1
7	63,3

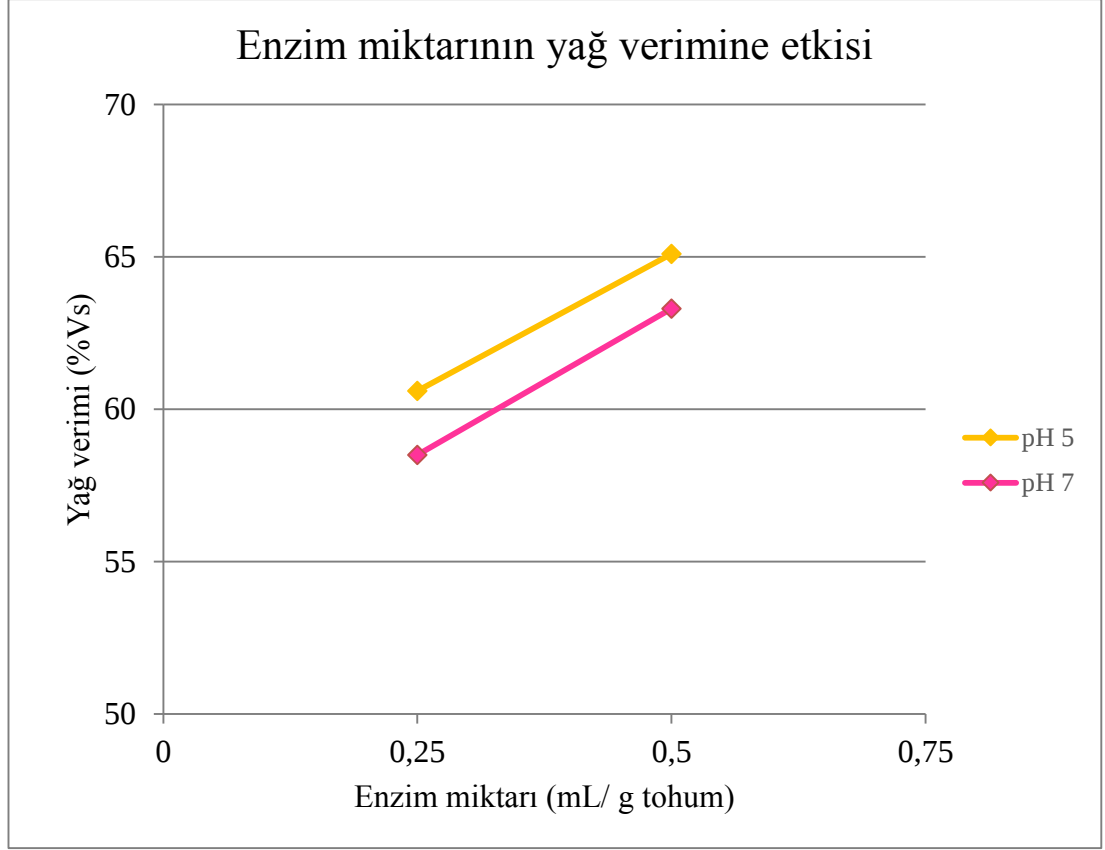
Yukarıda gösterilen sonuçlara göre; pektinaz enzimi ile elde edilen verimler, seçilen iki ortamda birbirine oldukça yakındır. Çalışmada pektinaz enzimi, optimum çalışma ortamı pH 7 olan alkalaz enziminin yanına ekleneceğinden, bu ortamın pektinaz için de uygun olduğu görülmektedir.

Bir sonraki aşamada ise, maksimum yağ veriminin sağlandığı pektinaz enziminin miktarı belirlenmiştir. Bunun için yine pH 5 ve 7 ortamlarında gram tohum başına 0,25 ve 0,5 mL pektinaz kullanılmıştır. Sonuçlar Çizelge 5.7’ de gösterilmektedir.

Çizelge 5.7 : Pektinazın çalışmasına enzim miktarının etkisi (50 °C, 18 saat).

Enzim miktarı (mL/ g)	Yağ verimi (%Vs)	
	pH 5	pH 7
0,25	60,6	58,5
0,5	65,1	63,3

Çizelge 5.7' ye göre, her iki ortamda da enzim miktarı 0,25 mL' den 0,5 mL' ye yükseltildiğinde yağ verimlerinde artış olduğu görülmektedir. İki ortamda da verimler birbirine yakın olmakla beraber, pH 5 ortamında biraz daha yüksektir. Şekil 5.5' te de görüldüğü üzere, pH 5 ortamında enzim miktarı arttırıldığında yağ verimi %60,6' dan %65,1' e yükselmiş ve pH 7 ortamında da %58,5' den %63,3' e yükselmiştir.



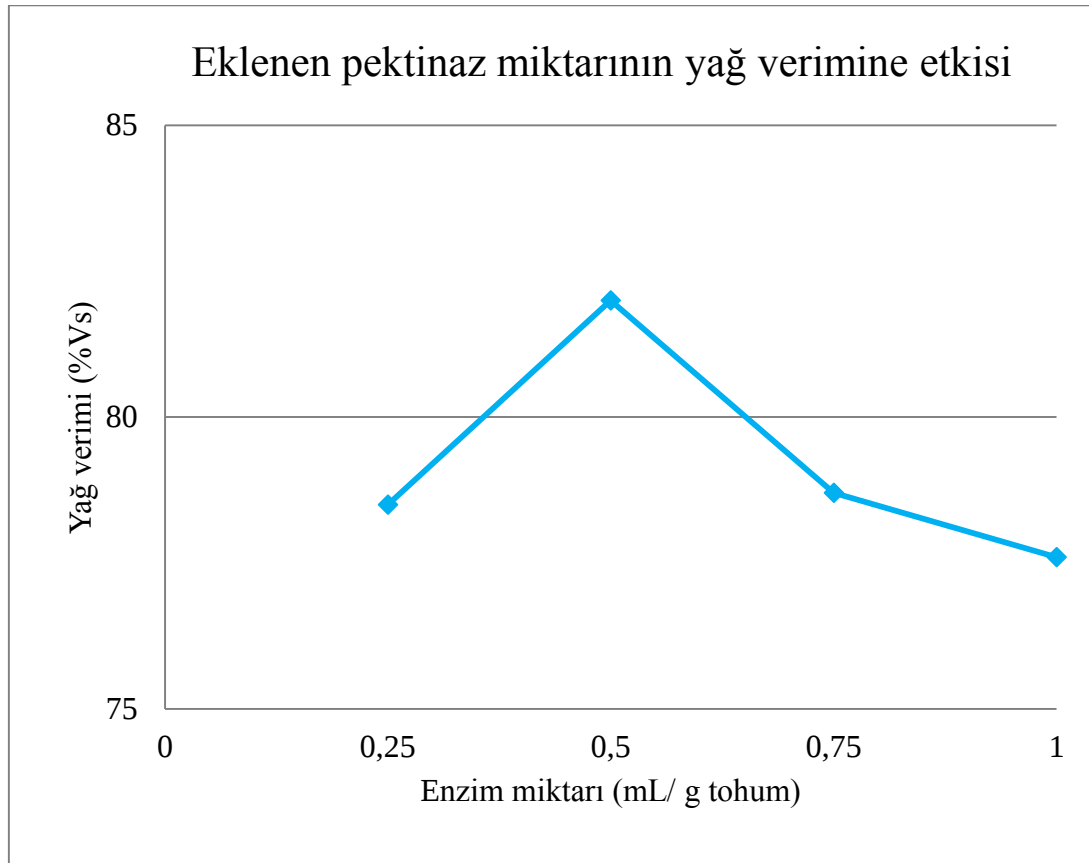
Şekil 5.5 : Pektinazın çalışmasına enzim miktarının etkisi (50 °C, 18 saat).

Bir sonraki aşamada ise yine alkalaz enziminin optimum çalışma koşulları kullanılarak deneyler yürütülmüş ve ortama gram tohum başına 0,25, 0,5, 0,75 ve 1 mL olacak şekilde pektinaz da eklenmiştir. Böylece, pektinaz enziminin alkalaz enziminin çalışmasına olan etkisi belirlenmiştir. Elde edilen yağ verimleri Çizelge 5.8' de verilmektedir.

Çizelge 5.8 : Alkalazın çalışmasına pektinaz miktarının etkisi (pH 7, 0,25 alkalaz/ g tohum, 50 °C, 18 saat).

Eklenen pektinaz miktarı (mL/g)	Yağ verimi (%Vs)
0,25	78,5
0,5	82
0,75	78,7
1	77,6

Alkalaz-pektinaz karışımlarının yağ verimine etkisi, Çizelge 5.8’ deki veriler kullanılarak çizdirilen grafik üzerinde net olarak görülmektedir (Şekil 5.6).



Şekil 5.6 : Farklı miktarlardaki pektinazın alkalazın çalışmasına etkisi (pH 7, 0,25 mL alkalaz/ g tohum, 50 °C, 18 saat).

Yukarıdaki grafiğe göre, gram tohum başına 0,25 mL alkalaz bulunan ortama pektinaz eklenmeye başladıkça yağ veriminde artış görülmüştür; ancak bu artış belli bir noktaya kadar sürmüştür, bu noktadan sonra yağ veriminde azalma görülmüştür. Sadece alkalaz

kullanılarak en fazla %75,5 yağ verimi elde edilirken, ortama 0,25 mL/ g tohum pektinaz eklendiğinde yağ verimi %78,5' e yükselmiştir. 0,5 mL/ g tohum pektinaz eklendiğinde ise yağ verimi %82' ye ulaşarak maksimum sonuç elde edilmiştir. Bu noktadan sonra pektinaz miktarı arttırılmaya devam edildiğinde yağ verimi %77,6' ya kadar düşmüştür; ancak yine de pektinazın alkalazın çalışmasını desteklediği görülmektedir. Çünkü eklenen her pektinaz miktarı için, sadece alkalaz kullanılarak elde edilen maksimum yağ veriminden daha yüksek verimler elde edilmiştir. Böylece pektinazın alkalazın çalışması üzerinde olumlu bir etkisi olduğu ve maksimum sonuç elde edilen alkalaz:pektinaz oranının 0,25 mL alkalaz/ g tohum:0,5 mL pektinaz/ g tohum olduğu belirlenmiştir.

5.4 Yerfıstığı Tohumlarından Diğer Ekstraksiyon Yöntemleri ile Yağ Eldesi

Enzimatik sulu ekstraksiyonun ne kadar etkili bir yağ elde metodu olduğunu belirlemek adına, aynı prosedür uygulanarak sulu ekstraksiyon ve çözücü ekstraksiyonu yöntemleri kullanılarak yerfıstığından yağ elde edilmiştir. Böylelikle, enzimatik sulu ekstraksiyon, sulu ekstraksiyon ve çözücü ekstraksiyonu yöntemleri karşılaştırılmış ve aşağıda Çizelge 5.9' da gösterilen sonuçlar elde edilmiştir:

Çizelge 5.9 : Ekstraksiyon metodlarının karşılaştırılması (pH 7, 50 °C, 18 saat).

Ekstraksiyon yöntemi	Yağ verimi (%Vs)
Çözücü ekstraksiyonu	95,7
Enzimatik sulu ekstraksiyon	82
Sulu ekstraksiyon	57,5

Çizelge 5.9' da gösterilen verilere göre, en yüksek yağ verimi çözücü ekstraksiyonu ile edilmiştir ve %95,7 olarak belirlenmiştir. Çözücü olarak hekzan kullanılmıştır. Enzim kullanılmadan uygulanan sulu ekstraksiyon yönteminde ise ancak %57,5 verim elde edilebilmiştir. Bu yöntem, diğer ekstraksiyon yöntemlerine göre oldukça zayıf kalmaktadır. Bu nedenle bu yöntemin etkinliğini arttırmak amacıyla enzim katkısı yapılmaktadır ve enzim/enzim kombinasyonları ile bu çalışmada yağ verimi %82' ye

kadar yükseltilmiştir. Böylece sulu ekstraksiyonda enzim katkısının etkisi ve bu şekilde geleneksel metot olan çözücü ekstraksiyonuyla yarışabilirliği ortaya konmuştur.

6. GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmanın amacı ekonomik ve çevre dostu bir yöntem kullanarak kaliteli bitkisel yağ elde etmektir. Bu amaca yönelik olarak, yerfıstığı tohumlarından yağ elde etmek için enzimatik sulu ekstraksiyon yöntemi kullanılmıştır. Alkalaz enzimi kullanılarak yürütülen deneylerde, optimum çalışma koşulları ve maksimum yağ verimini belirlemek amacıyla ortam pH' ı, gram tohum başına kullanılacak enzim miktarı, inkübasyon zamanı, sıcaklık parametreleri ve ortama ikinci bir enzim katılmasının etkileri incelenmiştir.

İlk olarak yağ verimine pH' ın etkisi incelenmiş, bunun için de daha önceden yapılan çalışmalardan faydalanılmış ve 50 °C' de ve 0,5 mL enzim/ g tohum kullanılarak 6 saatlik deneyler yapılmış, pH 4-8 ortamlarında yağ verimleri incelenmiştir. En yüksek verimler pH 6 ve 7 ortamlarında elde edilmiş ve optimum enzim miktarının saptanmasında bu pH' lar kullanılmıştır. Gram tohum başına kullanılan enzim miktarı 0,25-1,5 mL olarak değiştirilmiştir ve en iyi sonuçlar her iki ortam için de 0,25 mL enzim/ g tohum olarak belirlenmiştir; ancak pH 7' de elde edilen bütün verim değerleri pH 6' dan yüksek olduğundan, inkübasyon süresi incelenirken ortam olarak pH 7 kullanılmaya karar verilmiştir. İnkübasyon süresinin etkisi; 6, 18 ve 24 saatlik çalışmalar yapılarak belirlenmiştir. 18 saatlik deneyler sonucunda daha yüksek verimler elde edildiği görülmüştür. Bu nedenle sıcaklık deneyleri, 18 saatlik sürelerde çalışılmıştır. İnkübasyon sıcaklığının yağ verimine olan etkisinin belirlenmesi için, yukarıda belirlenen koşullar altında 40, 50 ve 60 °C' de olmak üzere 3 farklı sıcaklıkta çalışmalar yapılmıştır ve en yüksek yağ verimi 50 °C' de elde edilmiştir. Sonuç olarak; alkalaz enzimi ile yürütülen çalışmalarda optimum çalışma koşulları, pH 7 ortamı, 0,25 mL enzim/ g tohum enzim miktarı, 18 saat süre ve 50 °C inkübasyon sıcaklığı ve maksimum yağ verimi ise %75,5 olarak belirlenmiştir.

Çalışmanın ikinci kısmında ise, ilk kısımda elde edilen optimum koşullar kullanılarak, alkalaz enzimine farklı oranlarda pektinaz enzimi katılmış ve böylelikle ikinci bir enzimin alkalazın çalışmasını nasıl etkilediği ve yağ verimlerindeki değişim

incelenmiştir. Kullanılan ikinci enzimin miktarı gram tohum başına 0,25-1 mL arasında değiştirilmiştir. Eklenen her pektinaz miktarı için, sadece alkalaz kullanılarak elde edilen maksimum yağ veriminden daha yüksek verimler elde edilmiştir ve yağ verimi %82' ye yükseltilmiştir. Bu durumda, pektinazın alkalazın çalışmasını desteklediği saptanmış ve maksimum sonuç elde edilen alkalaz:pektinaz oranının 0,25 mL alkalaz/ g tohum:0,5 mL pektinaz/ g tohum olduğu belirlenmiştir.

Çalışmanın son kısmında, geleneksel yağ elde etme yöntemlerinden olan çözücü ekstraksiyonu, alternatif olarak geliştirilmeye çalışılan sulu ekstraksiyon ve bu çalışmanın konusu olan yeni ekstraksiyon tekniklerinden enzim katkılı sulu ekstraksiyon yöntemi karşılaştırılmıştır. Enzimatik sulu ekstraksiyonda elde edilen optimum koşullar kullanılarak diğer yöntemler ile de yerfistiğinden yağ elde edilmiştir. Çözücü ekstraksiyonunda hekzan kullanılmış ve %95,7 verim elde edilmiştir. Sulu ekstraksiyonun ise %57,5 yağ verimi ile daha yetersiz bir teknik olduğu görülmüştür. Enzim katkısının etkisi bu noktada ortaya konmuştur. Bu yöntemin etkinliği, enzim katkısı ile artırılarak yağ verimi %82' ye kadar taşınabilmiştir ve çözücü ekstraksiyonuyla yarışabilecek bir sonuç elde edilmiştir.

İleriye dönük çalışmalarda ekstraksiyon verimini arttırmak amacıyla, tohumlara rendeleme, hidrotermal işlemler vs. uygulanabilir. Ayrıca emülsiyonların kırılmasında ısıtma, dondurma gibi farklı yöntemler kullanılabilir. Kaliteli, rafinasyon veya saflaştırma gerektirmeyen temiz yağ üretimine olanak sağlayan, çevre dostu bu yöntemin en önemli dezavantajı, enzim maliyetlerinin yüksek olmasıdır. Su sirkülasyonun sağlanması ve enzimin geri kazanılması veya immobilize enzimlerin kullanılması maliyeti büyük ölçüde düşürebilir ve bu yöntemin daha yaygın ve cazip hale gelmesine olanak sağlayabilir. Çeşitli çalışmalar ve araştırmalar yapılarak prosesin ticari olarak daha cazip hale gelmesi sağlanabilirse, enzim katkılı sulu ekstraksiyon yöntemi, en önemli ve yaygın bitkisel yağ elde etme yöntemlerinden biri haline gelecektir.

KAYNAKLAR

- Ahmed, E.M. ve C.T. Young.,** (1982). Composition, Quality and Flavor of Peanut, Peanut Science and Technology (Ed. H.E. Pattee and C.T.Young), 665-688, APRES. Inc. Texas.
- Akova, Y.,** (2000), Kuru ve Sert Kabuklu Meyveler Dış Pazar Araştırması, T.C.Başbakanlık Dış Ticaret Müsteşarlığı İhracatı Geliştirme Etüt Merkezi, Ankara.
- Alemdar, T. ve Parkalay, O.,** (2011). Türkiye'de Yerfıstığı Tarımında Teknik ve Ekonomik Etkinlik, Tarım Ekonomisi Dergisi; 17(2): 47-53, İzmir.
- Alpaslan, M. ve Demir, N.,** (2013). Yemeklik Yağlar ve Margarinler, İnönü Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü, Malatya.
- Arioğlu, H., Kolsarıcı, Ö., Göksu, A. T., Güllüoğlu, L., Arslan, M., Çalışkan, S., Söğüt, T., Kurt, C., Arslanoğlu, F.,** (2013). Yağ Bitkileri Üretiminin Arttırılması Olanakları, Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümü ve Ceylan Meslek Yüksekokulu, Adana.
- Ayaz, A.,** (2008). Yağlı Tohumların Beslenmemizdeki Yeri, Hacettepe Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi Beslenme ve Diyetetik Bölümü, Ankara.
- Buttriss, J.,** (2002). Adverse Reactions to Food, Blackwell Science, Oxford.
- Cellat, K.,** (2011). Bazı Endemik Bitkilerin Uçucu Yağ Bileşenlerinin Ekstrakte Edilmesi ve İçeriklerinin Araştırılması, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, Adana.
- Chen, J., Du, F., Zhao, X.,** (2011). Potential use of peanut by-products in food processing: a review, J Food Sci Technol, 49 (5): 521–529, India.
- Çiftçi, Y.,** (2006). Bitkisel ve Hayvansal Katı ve Sıvı Yağlar (Lipitler), Ankara Üniversitesi Yayınevi, Ankara.
- Ercan, A.S.,** (1981). Yerfıstığı Üretim ve İhracatının Geliştirilmesi, İGEME İhracatı Geliştirme Etüt Merkezi Yayınları No: 66, Ankara.
- Erfa, M.A.,** (2007). Ham ve Rafine Ayçiçeği Yağı Üretiminde TS EN ISO 22000 Gıda Güvenliği Sisteminin Kurulması, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, Tekirdağ.
- Esendal, E., Arslan, B., Ümit, G., Paşa, C.,** (2008). Yağlı Tohumların Üretimi, Tüketimi ve Tüketici Tercihleri ile Yeni Kullanım Alanlarına Göre Üretim Projeksiyonları, Bitkisel Yemeklik Yağlar Sempozyumu ve Sergisi Bildiriler Kitabı, 320-332.

- Kaçmaz, A.,** (2006). Yerfıstığı İşleme Teknolojisi ve Bu Amaçla Kullanılan Makinelerin İş Başarılarının Değerlendirilmesi Üzerine Bir Araştırma, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarım Makineleri Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Adana.
- Kadiroğlu, A.,** (2008). Yerfıstığı Yetiştiriciliği, Batı Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Antalya.
- Kayahan, M.,** (2004). Yağlı Tohumlardan Ham Yağ Üretim Teknolojisi, TMMOB Gıda Mühendisleri Odası Kitaplar Serisi No:7, Ankara.
- Kayahan, M.,** (2005). Yemeklik Yağ Rafinasyon Teknolojisi, TMMOB Gıda Mühendisleri Odası Kitaplar Serisi No:10, Ankara.
- Kızılaslan, H. ve Onurlubaş, H. E.,** (2007). Türkiye’de Bitkisel Yağ Sanayindeki Gelişmeler ve Geleceğe Yönelik Beklentiler, Tarımsal Ekonomi Araştırma Enstitüsü, Ankara.
- Linskens, H. F. ve Jackson, J.F.,** (1997). Modern Methods of Plant Analysis, Vol. 12: Essential Oils and waxes, Springer, Germany.
- MEB,** (2006). Lipitler, Mesleki Eğitim ve Öğretim Sisteminin Güçlendirilmesi Projesi, Ankara.
- MEB,** (2012). Yağ Bitkileri Yetiştiriciliği (Soya ve Yer Fıstığı) Modülü, Mesleki Eğitim ve Öğretim Sisteminin Güçlendirilmesi Projesi Ankara.
- Nas, S., Gökalp, H. Y., Ünsal, M.,** (2001). Bitkisel Yağ Teknolojisi, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Matbaası, Yayın no: 005, sayfa 329, Denizli.
- Öğütçü, Z.,** (1969). Yerfıstığı ve Ziraatı, Türkiye Ticaret Odaları, Sanayi Odaları ve Ticaret Borsaları Birliği Matbaası, Ankara.
- Özüdoğru, T. ve Yıkar, E.,** (2003). Yerfıstığı, Tarımsal Ekonomi Araştırma Enstitüsü T.E.A.E- Bakış Sayı 3 Nüsha 11, Ankara.
- Swern, D.,** (1982). Ed., Bailey’s Industrial Oil and Fat Products Vol. 2 4th Edition, John Wiley & Sons Inc., Page 603, New York.
- Taşkaya, B.,** (2007). Yerfıstığı, Tarımsal Ekonomi Araştırma Enstitüsü T.E.A.E- Bakış Sayı 9 Nüsha 7, Ankara.
- Url-1** <http://tyhm.cu.edu.tr/Tr/detay.aspx?pageId=1526>
- Url-2** [http://www.gazetesiz.com/haber/ekonomi/osmaniyede-fistik-gibi hayat51184.html](http://www.gazetesiz.com/haber/ekonomi/osmaniyede-fistik-gibi-hayat51184.html)
- Url-3** <http://www.osmaniye.gov.tr/?/osmaniye-yerfistigi//8>
- Url-4** <http://www.bayercropscience.com.tr/cs/CropDetails.aspx?id=106>
- Url-5** <http://www.mku.edu.tr/getblogfile.php?keyid=980>
- Url-6** <http://www.dogakuruyemis.com/YER-FISTIGI-TUZSUZ-KG,PR-37.html>
- Url-7** <http://www.tuik.gov.tr>
- Url-8** <http://tr.millermagazine.com/?p=833>
- Url-9** <http://en.cnagri.com/news/insight/20130424/296772.html>
- Url-10** http://www.arabacioglu.com.tr/BitkiselYaglar_genelbilgiler.pdf

Url-11 http://www.schn.health.nsw.gov.au/files/factsheets/peanut_allergy-tr.pdf

Url-12 http://web.hitit.edu.tr/dersnotlari/ibrahimbilici_19.03.2014_7N4Z.pdf

Url-13 <http://ue.anadolu.edu.tr/ekitap/tab206u.pdf>

Url-14

<http://gida.erciyes.edu.tr/dosyalar/dokumanlar/YA%C4%9E%20LAB%20F%C3%96Y/BYTUDModul-1.pdf>

Url-15

http://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Kar%C4%B1%C5%9F%C4%B1mlar%C4%B1%20Ay%C4%B1rma.pdf

Woodroof, J.G., (1973). Peanuts Production, Processing, Products, 3 Edition AVI Publishing Comp. Inc. Westport, Connecticut.

Yapıcıkküçük, C., (2013). Türkiye’de Yağ Bitkileri Üretim Miktarları ve Tüketici Alışkanlıkları, Osmangazi Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümü Bitirme Tezi, Eskişehir.

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad : Zeynep Cansu ZEREN

Doğum Yeri ve Tarihi : İstanbul/02.07.1991

E-Posta : zeynepppzeren@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2013, Yıldız Teknik Üniversitesi, Kimya-Metalürji Kimya Mühendisliği Bölümü
- **Yüksek lisans** : 2015, İstanbul Teknik Üniversitesi, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Kimya Mühendisliği Programı