



T.C.
HATAY MUSTAFA KEMAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**SUSAM HASADI İÇİN DİSK BİÇAKLI KESME SİSTEMİNİN
GELİŞTİRİLMESİ, ÇALIŞMA KRİTERLERİNİN ve ENERJİ
GEREKSİNİMLERİNİN BELİRLENMESİ**

GAMZE GENÇ

BİYOSİSTEM MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HATAY
EYLÜL -2020



T.C.
HATAY MUSTAFA KEMAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**SUSAM HASADI İÇİN DİSK BİÇAKLI KESME SİSTEMİNİN
GELİŞTİRİLMESİ, ÇALIŞMA KRİTERLERİNİN ve ENERJİ
GEREKSİNİMLERİNİN BELİRLENMESİ**

GAMZE GENÇ
ORCID: 0000-0003-1935-846X

BİYOSİSTEM MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANSTEZİ

Danışman: Dr.Öğr.Üyesi Selçuk UĞURLUAY
ORCID: 0000-0003-4880-545X

HATAY
EYLÜL -2020

T.C.
HATAY MUSTAFA KEMAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**SUSAM HASADI İÇİN DİSK BİÇAKLI KESME SİSTEMİNİN
GELİŞTİRİLMESİ, ÇALIŞMA KRİTERLERİNİN ve ENERJİ
GEREKSİNİMLERİNİN BELİRLENMESİ**

**GAMZE GENÇ
BİYOSİSTEM MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

Dr. Öğr. Üyesi Selçuk UĞURLUAY danışmanlığında hazırlanan bu tez **07/09/2020** tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından **OYBİRLİĞİ** ile kabul edilmiştir.

Dr.Öğr.Üyesi Selçuk UĞURLUAY
Başkan

Doç. Dr.
Üye

Doç. Dr.
Üye

Kod No:

Doç. Dr. Cengiz KARACA
Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

07/09/2020

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını ve tez üzerinde Yükseköğretim Kurulu tarafından hiçbir değişiklik yapılamayacağı için tezin bilgisayar ekranında görüntülendiğinde asıl nüsha ile aynı olması sorumluluğunun tarafıma ait olduğunu beyan ederim.

İmzası

Gamze GENÇ

ÖZET

SUSAM HASADI İÇİN DİSK BİÇAKLI KESME SİSTEMİNİN GELİŞTİRİLMESİ, ÇALIŞMA KRİTERLERİNİN ve ENERJİ GEREKSİNİMLERİNİN BELİRLENMESİ

Susam, tohumlarından en kaliteli yağın alındığı, önemli bir tarla bitkisi. Susam bitkisinin hasadında, kısmi mekanizasyon uygulamaları söz konusudur ve genellikle makaslama kesme yapılan bir biçme ünitesi kullanılarak tarladan uzaklaştırılmaktadır. Makaslama kesme esaslı çalışan biçme üniteleri çok sayıda parça içermekte, sürekli ayar gerektirmekte, sıkça yağlanması gerekmekte ve titreşim sorunları bulunmaktadır. Döner bıçaklı kesme sistemlerinin kullanımı bu olumsuzlukları gidermektedir. Bu nedenle susam hasadında döner diskli bıçakların kullanım olanaklarını belirlemesi önemlidir. Çalışmada, hasat yöntemlerinden kesme-biçme esaslı çalışan disk bıçaklı bir deney düzeneği, susam bitkisine göre tasarlanıp imal edilmiştir. Deney düzeneğinde bitki saplarını kesip, bazı ölçüm ve gözlemler yaparak en uygun kesme kriterlerinden bıçak ağız tipi (30°-30°, 30°-Düz, 45°-45°, 45°-Düz) ve disk bıçak çapları (150, 180 ve 210 mm) belirlenmeye çalışılmıştır. Farklı ağız yapısına sahip disk bıçakların, kesme kaliteleri ve kesme sırasında harcanan enerji miktarları saptanmış olup, uygun kesim yapabilen ve en düşük enerji tüketimine sahip olan disk bıçak tipi belirlenmiştir. Ayrıca, farklı çaplardaki (10, 15 ve 20 mm) susam bitkisi sapları makaslama kesme yöntemiyle kesilerek kesme için harcanan enerji miktarları ölçülmüş ve disk bıçaklı sistem ile kıyaslanmıştır. Susam sapları ile bıçak malzemesi arasında oluşan sürtünme katsayısı (μ) değeri 0.47 ± 0.02 olarak bulunmuştur. Bitki örnekleri nem değeri ise $\%65 \pm 2$ olarak tespit edilmiştir. Tüm sap kalınlıklarında 30° kama açısına sahip disk bıçak, en düşük kesme enerjisini harcamıştır. Büyük sap kalınlıklarında ise 180 mm çapa sahip disk bıçak, en düşük kesme enerjisini vermiştir. Sap kalınlığının, tüm ağız çiftleriyle yapılan kesimde, harcanan enerji değerleri üzerine etkisi önemlidir ve iri sapların kesiminde daha fazla enerji gerekmektedir. Tüm ağız çiftlerinde, disk çapı arttıkça, sapların kesimi için harcanan enerji değerleri düşmektedir. Tüm kalınlıklardaki sapların kesiminde, 30° ve 45°'lik ağız açısına sahip bıçak çiftleri, kesme kaliteleri bakımından en uygun olanlarıdır. Farklı ağızlı disk çiftlerinde, 20 mm'lik sapın kesiminde 180 mm disk çapı, kesim kalitesi bakımından en iyi sonucu vermiştir. Sap kalınlıkları dikkate alındığında, çift olarak düzenlenmiş bıçaklar, düz ağızlı düzenlemiş olanlara göre kesme kalitesi bakımından oldukça başarılı bulunmuştur. Farklı düzenlenmiş disk çiftlerinde, disk çapı 180 ve 210 mm çaplara sahip bıçaklar en iyi kesme kalitesini vermiştir. Makaslama kesmede, sap kalınlığı farkının, birim alan başına enerji tüketimine etkisi önemlidir ve kalınlık arttıkça artmaktadır. Hem makaslama kesme hem de disk kesme sisteminde elde edilen kesme enerjisi değerleri birbirine yakın bulunmuştur. Disk bıçaklı kesme yöntemi, susam hasadında kullanılabilir.

2020, 71 sayfa

Anahtar Kelimeler: Susam hasadı, disk bıçaklı kesme, makaslama kesme, enerji tüketimi, kesme kalitesi

ABSTRACT

DEVELOPING A DISC BLADE CUTTING SYSTEM for SESAME HARVESTING and DETERMINING ITS OPERATING CRITERIA AND ENERGY REQUIREMENTS

Sesame is an important field plant in which the best quality oil is taken from its seeds. In the harvest of the sesame plant, there are partial mechanization applications and it is usually removed from the field by using a shearing unit with shear cutting. Shear cutting-based mowers have a large number of parts, require constant adjustment, must be lubricated frequently and have vibration problems. The use of rotating knives eliminates these negative situations. Therefore, determining the using possibilities of the disc blades is important. In the study, an experimental setup with a disc blade working on a cut-mowing basis from harvest methods was designed and fabricated according to the sesame plant. In the experimental setup, by cutting the plant stems and making some measurements and observations, the most suitable cutting criteria which are knife mouth types and disc blade diameters were tried to be determined. The cutting qualities of the disc knives with different rim structures and the amount of energy consumed during cutting were determined. It was decided which disc blade has the lowest energy consumption and suitable cutting. In addition, plant stems with different diameters (10, 15 and 20 mm) were measured using the shear cutting method and the energy expenditure for cutting was measured and compared with the disc blade system. The friction coefficient (μ) value between the sesame stems and the blade material was found to be 0.47 ± 0.02 . Plant samples moisture value was determined as $65\% \pm 2$. Disc blade with 30° wedge angle at all stem thicknesses consumed the lowest cutting energy. For large stem thicknesses, the disc blade with a diameter of 180 mm gave the lowest cutting energy. The effect of stem thickness on the energy expended in cutting with all mouth pairs is important and more energy is required for cutting large stems. In all pairs of blade, as the disc diameter increases, the energy spent for cutting the stems decreases. Knife pairs with 30° and 45° cutting edges are the most suitable in terms of cutting qualities for cutting stems of all diameters. 180 mm disc diameter gave the best result in terms of cutting quality in different-edged disc pairs in cutting the stem of 20 mm. Considering the handle thickness, the blades arranged in pairs were found to be quite successful in terms of cutting quality compared to the ones with flat blades. The blades with diameters of 180 and 210 mm with disc diameters in differently arranged disc pairs gave the best cutting quality. The effect of the difference in stem diameter on the energy consumption per unit area in shear cutting is significant and increases as the diameter increases. The cutting energy values obtained in both shear cutting and disc cutting system were found close to each other. The disc blade cutting method can be used in the sesame harvest.

2020, 71 pages

Keywords: Sesame harvest, disc knife cutting, shear cutting, energy consumption, cutting quality

TEŞEKKÜR

Mesleki ve akademik hayatımda önemli kararlar almam gerektiğinde sürekli yanımda olan ve varlığı ile benim için önemli bir rol model oluşturan, gerek YL tez konumunun belirlenmesinde gerek araştırılması ve yazımı sırasında sahip olduğu bilgi birikimi ve tecrübesi ile çalışmalarına ışık tutan ve yardımını esirgemeyen danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Selçuk UĞURLUAY'a saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Tezimin değerlendirilmesinde profesyonel yaklaşımları ve öngörülerini ile çalışmamı zenginleştiren ve yardımlarını esirgemeyen Jüri üyeleri Prof.Dr. Yurtsever SOYSAL ve Prof.Dr. Ahmet İNCE'ye, tez çalışmalarım sırasında tüm bölüm olanaklarından yararlanmamı sağlayan Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi (HMKÜ) Ziraat Fakültesi Biyosistem Mühendisliği Bölüm Başkanlığı'na ve HMKÜ FBE Enstitüsü Müdürlüğü çalışanlarına teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmalarım süresince, tüm laboratuvar çalışmalarımda yapmış oldukları katkı ve yardımları nedeniyle Ar.Gör.Dr. Yunus Emre ŞEKERLİ ve Aysel ARSLAN'a çok teşekkür ederim.

Çalışmamızda kullandığımız deney düzeneğinin tasarımında ve imalatında yardımlarını esirgemeyen Kavak Makine A.Ş. Yöneticisi Hasip KAVAK Bey'e ve çalışanlarına da teşekkürlerimi sunarım.

Eğitim hayatım boyunca beni maddi ve manevi olarak destekleyen, güvenen ve daima yanımda olan canım aileme sonsuz minnet ve şükranlarımı sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	I
ABSTRACT.....	II
TEŞEKKÜR.....	III
İÇİNDEKİLER	IV
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	V
ÇİZELGELER DİZİNİ	VI
1. GİRİŞ	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	7
3. MATERYAL ve YÖNTEM	16
3.1. Materyal.....	16
3.1.1. Susam Bitkisi	16
3.1.2. Kumpas	17
3.1.3. Kurutma Fırını (Etüv)	17
3.1.4. Hassas Terazi	18
3.1.5. Sürtünme Katsayısı Belirleme Düzeneği	18
3.1.6. Elektrik Sarfiyat Ölçüm Cihazı.....	19
3.1.7. Makaslama Kesmede Kullanılan Test Düzeneği	19
3.2. Yöntem	20
3.2.1. Bitki Sapı-Bıçak Malzemesi Arası Sürtünme Katsayısının Tespiti	20
3.2.2. Susam Bitkilerinin Nem İçeriğinin Bulunması	21
3.2.3. Disk Bıçaklı Kesme Deney Düzeneğinin Tasarım ve İmalatı	21
3.2.4. Disk Bıçak Kesme Testi.....	22
3.2.5. Makaslama Bıçaklı Kesme Testi.....	24
3.2.6. Disk Bıçaklı Kesme Sistemi	26
3.2.7. İncelenen Konular	27
3.2.8. Kesme Kalitesi (Başarısı).....	28
4. BULGULAR ve TARTIŞMA	29
4.1. Bitki Sapı-Bıçak Malzemesi Sürtünme Katsayısı ve Nem Oranı.....	29
4.2. Deney Düzeneğinin Tasarımı ve İmalatı	29
4.2.1. Kavramsal Tasarım	29
4.2.2. Mekanik Tasarım	30
4.2.3. Disk Bıçaklar ile Sapların Yakalanma Koşulu.....	30
4.2.4. Deney Düzeneği	31
4.3. Deney Sonuçları – Disk Bıçaklar ile Kesme İşlemi	36
4.3.1. Sap Çapına Göre Enerji Tüketimi	38
4.3.2. Disk Bıçak Ağız Tipine Göre Enerji Tüketimi	43
4.4. Deney Sonuçları – Kesme Kalitesi.....	47
4.4.1. Sap Çapına Göre Kesme Kalitesi.....	50
4.4.2. Disk Bıçak Ağız Tipine Göre Kesme Kalitesi	56
4.5. Deney Sonuçları – Makaslama Kesme	60
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER	66
KAYNAKLAR	67
ÖZGEÇMİŞ	71

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Susam yağı	1
Şekil 1.2. Susam tahini ve susamlı ekmek	2
Şekil 1.3. Farklı karpel sayılarına sahip susam kapsülleri (Anonim, 2009)	3
Şekil 1.4. Hasat olgunluğuna gelmiş susam kapsülleri	5
Şekil 1.5. Traktöre üç nokta askı sisteminden bağlı biçerbağlar orak makinesi (Yapel, 2020)	5
Şekil 1.6. Traktöre ön tarafından bağlı biçerbağlar orak makinesi (Yapel, 2020).....	5
Şekil 1.7. Kendiyürür düzenlenmiş bir biçerbağlar orak makinesi (BCS, 2020).....	6
Şekil 3.1. Deneme alanında yetiştirilen susam bitkileri	16
Şekil 3.2. Kumpas	17
Şekil 3.3. Kurutma fırını	17
Şekil 3.4. Hassas terazi.....	18
Şekil 3.5. Eğik düzlem yöntemi ile sürtünme katsayısının belirlenmesi	18
Şekil 3.6. Enerji Sarfıyat Ölçüm cihazı.....	19
Şekil 3.7. Makaslama Kesme Test Cihazına ait bir görünüm	20
Şekil 3.8. Eğik yüzey yöntemi ile sürtünme açısının saptanması.	21
Şekil 3.9. Disk bıçakların bitki sapını yakalama koşulu (Uğurluay 2008).	23
Şekil 3.10. Susam sapının makaslama kesme testlerinde kullanılan düzenek	25
Şekil 3.11. Diskli kesme düzeneği şematik görünüşleri (a-önden, b-üstten)	26
Şekil 3.12. Karşılıklı yerleşmiş disk bıçak ağız tipleri.....	27
Şekil 4.1. Sap kesme deney düzeneğinde disklerin ve bitkinin duruşu	30
Şekil 4.2. Disk bıçaklı deney düzeneğine ait izometrik görüntü.....	32
Şekil 4.3. Disk bıçaklı deney düzeneğine ait ön görünüş	32
Şekil 4.4. Disk bıçakların dönüş yönleri	33
Şekil 4.5. Karşı bıçağın mesafe ayarı	34
Şekil 4.6. Kesme denemelerinde kullanılan bıçak ağız tipleri	34
Şekil 4.7. Sap yedirme aparatı (a) ve kesme deney düzeneğindeki işlevi (b).....	35
Şekil 4.8. Elektrik sarfıyat ölçüm cihazı ile kesme enerjisi ölçümü	36
Şekil 4.9. Disk bıçaklı kesme deney düzeneği ve ölçüm cihazı.....	37
Şekil 4.10. Disk bıçaklı kesme deney düzeneği ile bitki saplarını kesme işlemi.....	37
Şekil 4.11. “Çok iyi” kalitede kesilmiş susam sapı.....	48
Şekil 4.12. “İyi” kalitede kesilmiş susam sapı	48
Şekil 4.13. “Orta” kalitede kesilmiş susam sapı	49
Şekil 4.14. “Kötü” kalitede kesilmiş susam sapı	49
Şekil 4.15. “Çok kötü” kalitede kesilmiş susam sapı	50
Şekil 4.16. Makaslama kesme esaslı deney düzeneği	61
Şekil 4.17. Örnek bir kuvvet-yer değiştirme grafiği	62

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1. Türkiye’de yıllara göre susam ekiliş alanı üretim ve verim değerleri (FAO, 2019)	4
Çizelge 4.1. Farklı disk çapları ve bitki sap çapları için teorik yakalama koşulları	31
Çizelge 4.2. 10 mm çaplı susam saplarının kesilmeleri sırasında harcanan ortalama enerji tüketim değerleri	38
Çizelge 4.3. Disk bıçak ağzı kama açısı ve disk bıçak çapının enerji tüketimine etkileri varyasyon analiz tablosu (Bitki sap çapı 10 mm)	38
Çizelge 4.4. Enerji tüketimi Duncan ^{a * b} testi sonuçları (Bitki sap çapı 10 mm).....	39
Çizelge 4.5. 15 mm çaplı susam saplarının kesilmeleri sırasında harcanan ortalama enerji tüketim değerleri	40
Çizelge 4.6. Disk bıçak ağzı kama açısı ve disk bıçak çapının enerji tüketimine etkileri varyasyon analiz tablosu (Bitki sap çapı 15 mm)	40
Çizelge 4.7. Enerji tüketimi Duncan ^{a * b} testi sonuçları (Bitki sap çapı 15 mm).....	41
Çizelge 4.8. 20 mm çaplı susam saplarının kesilmeleri sırasında harcanan ortalama enerji tüketim değerleri	42
Çizelge 4.9. Disk bıçak ağzı kama açısı ve disk bıçak çapının enerji tüketimine etkileri varyasyon analiz tablosu (Bitki sap çapı 20 mm)	42
Çizelge 4.10. Enerji tüketimi Duncan ^{a * b} testi sonuçları (Bitki sap çapı 20 mm).....	43
Çizelge 4.11. Bitki sap kalınlığı ve disk bıçak çapının enerji tüketimine etkileri varyasyon analiz tablosu (30° Ağız-30° Ağız)	44
Çizelge 4.12. Enerji tüketimi Duncan ^{a * b} testi sonuçları (30° Ağız-30° Ağız)	44
Çizelge 4.13. Bitki sap kalınlığı ve disk bıçak çapının enerji tüketimine etkileri varyasyon analiz tablosu (30° Ağız-Düz Ağız)	45
Çizelge 4.14. Enerji tüketimi Duncan ^{a * b} testi sonuçları (30° Ağız-Düz Ağız).....	45
Çizelge 4.15. Bitki sap kalınlığı ve disk bıçak çapının enerji tüketimine etkileri varyasyon analiz tablosu (45° Ağız-45° Ağız)	46
Çizelge 4.16. Enerji tüketimi Duncan ^{a * b} testi sonuçları (45° Ağız-45° Ağız).....	46
Çizelge 4.17. Bitki sap kalınlığı ve disk bıçak çapının enerji tüketimine etkileri varyasyon analiz tablosu (45° Ağız-Düz Ağız)	47
Çizelge 4.18. Enerji tüketimi Duncan ^{a * b} testi sonuçları (45° Ağız-Düz Ağız).....	47
Çizelge 4.19. 10 mm çaplı susam saplarının disk bıçak çiftleri tarafından kesilmeleri sonrasında değerlendirilen kesme kalitesi ortalama verileri	50
Çizelge 4.20. Disk bıçak ağzı kama açısı ve disk bıçak çapının kesme kalitesine etkileri varyasyon analiz tablosu (Bitki sap çapı 10 mm)	51
Çizelge 4.21. Kesme kalitesi Duncan ^{a * b} testi sonuçları (Bitki sap çapı 10 mm)	51
Çizelge 4.22. 15 mm çaplı susam saplarının disk bıçak çiftleri tarafından kesilmeleri sonrasında değerlendirilen kesme kalitesi ortalama verileri	53
Çizelge 4.23. Disk bıçak ağzı kama açısı ve disk bıçak çapının kesme kalitesine etkileri varyasyon analiz tablosu (Bitki sap çapı 15 mm)	53
Çizelge 4.24. Kesme kalitesi Duncan ^{a * b} testi sonuçları (Bitki sap çapı 15 mm)	54
Çizelge 4.25. 20 mm çaplı susam saplarının disk bıçak çiftleri tarafından kesilmeleri sonrasında değerlendirilen kesme kalitesi ortalama verileri	55
Çizelge 4.26. Disk bıçak ağzı kama açısı ve disk bıçak çapının kesme kalitesine etkileri varyasyon analiz tablosu (Bitki sap çapı 20 mm)	55
Çizelge 4.27. Kesme kalitesi Duncan ^{a * b} testi sonuçları (Bitki sap çapı 20 mm)	56

Çizelge 4.28. Bitki sap kalınlığının ve disk bıçak çapının kesme kalitesine etkileri varyasyon analiz tablosu (30° Ağız-30° Ağız)	57
Çizelge 4.29. Kesme kalitesi Duncan ^{a * b} testi sonuçları (30° Ağız-30° Ağız)	57
Çizelge 4.30. Bitki sap kalınlığının ve disk bıçak çapının kesme kalitesine etkileri varyasyon analiz tablosu (30° Ağız-Düz Ağız)	58
Çizelge 4.31. Kesme kalitesi Duncan ^{a * b} testi sonuçları (30° Ağız-Düz Ağız)	58
Çizelge 4.32. Bitki sap kalınlığının ve disk bıçak çapının kesme kalitesine etkileri varyasyon analiz tablosu (45° Ağız-45° Ağız)	59
Çizelge 4.33. Kesme kalitesi Duncan ^{a * b} testi sonuçları (45° Ağız-45° Ağız)	59
Çizelge 4.34. Bitki sap kalınlığının ve disk bıçak çapının kesme kalitesine etkileri varyasyon analiz tablosu (45° Ağız-Düz Ağız)	60
Çizelge 4.35. Kesme kalitesi Duncan ^{a * b} testi sonuçları (45° Ağız-Düz Ağız)	60
Çizelge 4.36. Makaslama kesmede farklı çaplardaki susam bitkisi saplarının birim alan başına enerji tüketim değerleri	62
Çizelge 4.37. Makaslama kesmede farklı çaplardaki susam bitkisi saplarının birim alan başına enerji tüketimine etkisi.....	63
Çizelge 4.38. Duncan ^{a * b} testi sonuçları	63

1. GİRİŞ

Susam (*Sesamum indicum* L.) Personatae takımının, Pedaliaceae familyasının *Sesamum* cinsine ait önemli bir yağ bitkisidir (Arioğlu, 2007). Susam, Pedaliaceae yani adını aldığı Susamgiller familyasından, tek yıllık otsu bir bitkidir. Toplam 16 cins ve 60 türün 37'si *Sesamum* cinsinden olup bunlardan sadece *Sesamum indicum* L.'nin kültürü yapılmaktadır (Baydar ve Turgut, 2000).

Yapılan arkeolojik kazılarda; susam bitkisinin ilk kez Hindistan'da Indus vadisinde Harappa'da M.Ö. 2250'de kültüre alındığı ortaya çıkmıştır. Mezopotamya ve Anadolu topraklarında ise M.Ö. 2000 yıllarında ziraatının yapılmaya başlandığı bilinmektedir (Frankel ve Hawkes, 1975).

En önemli yağ bitkilerinden biri olmasının nedeni kuşkusuz tohum içeriğinde bulunan yüksek miktarda ve kaliteli yağ bulundurmasıdır (Şekil 1.1). Tohumlarında yaklaşık %50-60 oranında yağ içerdiği bilinmektedir (Yermanos, 1972). Yaygın olarak simit, pasta, kek, çörek gibi hamur işlerinde veya şekerleme yapılarak tüketilir. (Atakişi, 1999). Susam bitkisi tıbbi alanlarda, yağ, gıda, sabun ve kozmetik sanayileri gibi birçok alanda kullanılmaktadır. (Atakişi, 1985).



Şekil 1.1.Susam yağı

Susam tohumları kavrulduktan ve kabuğu çıkarıldıktan sonra ezilerek tahin yapılır, arta kalan kısmı küspedir (Şekil 1.2). Değerli bir hayvan yemi olduğu gibi bazı ülkelerde ekmeğe de karıştırılmaktadır (Atakişi, 1999).



Şekil 1.2. Susam tahini ve susamlı ekmeğin

Susam yağının diğer bitkisel yağlardan farklı olmasının nedeni oksitlenmeye karşı dirençli, sesamolin ve sesamin gibi ikincil metabolitleri yapısında bulundurmasıdır (Salunkhe ve ark.,1992). Bu nedenle, cipslerin yapımında susam yağı diğer bitkisel yağlara göre daha fazla tercih edilmektedir. Patates cipslerinin susam yağı ile kızartılması raf ömrünü 2-3 ay süreyle bozulmadan muhafaza etmektedir. Kolesterol seviyelerini düşürmeye yardımcı olmasının nedeni yapısında sesamin bulundurmasıdır (Baydar, 2005). Susam yağı açık sarı renkli ve hoş kokulu olup, içeriğinde sesamol, sesamolin ve sesamin gibi maddeler bulunur. Sesamin zirai mücadelede ilaçların böceklerle karşı etkilerini arttırdığından bu gibi ilaçların hazırlanmasında da az miktarda kullanılır (Anonim, 1980).

Susam yetiştirme şartları bakımından çok seçici bir bitki değildir. Sıcak iklim bitkisi olan susam tropikal, subtropikal ve ılıman iklim (Orta kuşak iklimi) kuşağında, uygun sıcaklık ve yağış koşullarında yetişebilmektedir. Vejetasyon süresi boyunca 2500–2800 °C bir sıcaklık toplamına ihtiyaç duymaktadır. Günlük sıcaklık farkından olumsuz etkilenmekte ve vejetasyon süresi uzamaktadır (Şahin, 2014). Toprak sıcaklığı 20-24 °C’yi bulduğunda çimlenme hızlanmaktadır. 32-35 °C’ye ulaştığı zaman çimlenme optimum seviyeye ulaşmaktadır. Toprak sıcaklığı 20 °C’nin altına indiğinde tohum çimlenmesi yavaşlamaktadır. (Baydar ve Turgut, 1994). Susam bitkisi, ana ürün tarımında olduğu kadar yetiştirme süresinin kısıllığı nedeni ile ikinci ürün tarımında da yer almakta ve hemen her kültür bitkisi ile ekim nöbetine girebilmektedir. Bu durum susam

tarımını daha cazip hale getirmektedir. Son yıllarda, Ege, Akdeniz ve Güneydoğu Anadolu bölgelerinde hububattan sonra ikinci ürün olarak ekilmektedir (Tan, 2015).

Susam toprak isteği bakımından fazla seçici olmamakla beraber, drenajı iyi, orta bünyeli, organik maddece zengin, kumlu-killi, alüvyon, hafif topraklarda daha iyi gelişim gösterir. Orta ağır, humuslu topraklarda da iyi gelişmesine karşın fazla killi, kireçli, çok çakıllı veya su tutan topraklarda iyi gelişemez.(Tan ve ark. 2007).

Susam kazık köklü bir bitkidir. Toprak durumuna göre 30-60 cm derinlere ve 20-50 cm yanlara yayılabilen yan kökleri vardır. Susam dik büyüyen çeşide ve yetiştirme koşullarına bağlı olarak 50-250 cm arasında, ortalama 100-120 cm uzar. İki karpelli susam çeşitlerinde sap dört köşelidir (Şekil 1.3). Dört karpelli susamlarda ise 6 veya 8 köşeli ve yassılaştırmış durumdadır (Atakışi, 1981).



Şekil 1.3. Farklı karpel sayılarına sahip susam kapsülleri (Anonim, 2009)

Bitkisel yağ tüketiminin insan beslenmesinde önemli bir yere sahip olduğu bilinmektedir. Bitkisel yağ tüketiminin karşılanmasında yağlı tohumlu bitkilerin payının artırılması gerekmektedir. Yetişkin bir insanın günlük faaliyetlerini sürdürebilmesi için yaklaşık 2800-3000 kaloriye ihtiyaç duymaktadır. Bu ihtiyacını gidermek için de yapısında yüksek kalori içeren yağları kullanması önem arz etmektedir. Yapılan araştırmalarda, sağlıklı bir beslenme için bir insanın yılda yaklaşık 24 kg yağ tüketmesi gerektiği saptanmıştır (Arioğlu, 2007).

Dünya toplam susam ekim alanı, 2017 yılında 5.52 milyon hektar ve 5.5 milyon ton olarak tespit edilmiştir. Dünyada en fazla susam üreten ülkeler Hindistan, Çin ve

Bangladeş olarak sıralanır (FAO, 2019). Çizelge 1’de ise Türkiye’de yıllara göre susam ekiliş alanı, üretim ve verim değerleri verilmiştir.

Çizelge 1.1. Türkiye’de yıllara göre susam ekiliş alanı üretim ve verim değerleri (FAO, 2019)

Yıllar	Üretim(x 1000 t)	Ekim alanı(x 1000ha)	Verim(kg/ha)
1995	30.0	72.9	411.4
2000	23.8	30.9	467.6
2005	26.0	42.4	612.6
2010	23.8	31.8	737.6
2017	18.4	28.0	656.8

Ülkemizde, susam Akdeniz, Ege, Marmara, Güneydoğu Anadolu bölgelerinde yaygın olarak üretimi yapılmaktadır. Susam bitkisinin üretim ve ekim alanlarının yıldan yıla giderek azalmasının sebebi hasadın hala el emeğine dayanıyor olmasıdır. Çünkü çiftçilerin hasatta mekanizasyonu olan diğer bitkilerin üretimini tercih etmesi susam bitkisinin üretim ve ekim alanlarını kısıtlamaktadır.

Susam, olgunlaşması aşağıdan yukarıya doğru olan, dallanan ve dallanmayan, kapsülü çatlatan ve çatlatmayan gibi farklı özelliklere sahip bir yağ bitkisidir. Kapsülü çatlamayan çeşitlerin verimlerinin düşük olması nedeniyle dünyada daha çok kapsülü çatlayan çeşidi yetiştirilmektedir (Ashri, 1998).

Hasat olgunluğuna erişen ürün, zamanında ve hızla hasat edilmelidir (Şekil 1.4). Hasat zamanındaki gecikme, susam kapsüllerindeki nem oranının düşmesine ve uçlarının çatlayarak açılmasına yol açmakta bu da hasat sırasında kayıpların oldukça fazla miktarda artmasına neden olmaktadır (Uğurluay, 2008).



Şekil 1.4. Hasat olgunluğuna gelmiş susam kapsülleri

Tarım ürünlerinin makinalı hasadı genel olarak kesme-biçme, yolma-sökme, sarsma-silkeleme veya kopartma-toplama yöntemlerini çok değişik şekillerde uygulayan hasat makineleri ile yapılmaktadır. Susam hasadında kullanılan, traktöre arka taraftan (Şekil 1.5) ve ön tarafından (Şekil 1.6) bağlanmış biçerbağlar orak makinelerini, ayrıca kendiyürür düzenlenmiş bir başka biçerbağlar orak makinesi de Şekil 1.7’de verilmiştir.



Şekil 1.5. Traktöre üç nokta askı sisteminden bağlı biçerbağlar orak makinesi (Yapel, 2020)



Şekil 1.6. Traktöre ön tarafından bağlı biçerbağlar orak makinesi (Yapel, 2020)



Şekil 1.7. Kendiyürür düzenlenmiş bir biçerbağlar orak makinesi (BCS, 2020)

Susam bitkisi hasadında, kısmi mekanizasyon uygulanması söz konusu olduğunda genellikle biçerbağlar orak makinesi veya üzerinde bazı değişiklikler yapılmış benzeri makineler denenmiştir (Uğurluay, 2002; Vurarak ve Bilgili, 2014). Ayrıca hasatta doğrudan biçerdöver kullanımı da denemeler arasındadır (Öztürk ve Yıldız, 1995).

Hasatta ister biçerbağlar orak makinesi isterse biçerdöver kullanılsın, susam bitkileri makaslama kesme yapılan bir biçme ünitesi kullanılarak tarladan uzaklaştırılmaktadır. Makaslama kesme esaslı çalışan biçme ünitelerinde çok sayıda parça bulunmaktadır. Alternatif hareket yaptıkları için titreşim sorunları vardır. Bazı parçalar sürekli ayar gerektirmektedir. Ara ara yağlanmaları lazımdır. Sorunsuz bir şekilde çalıştırılmaları oldukça zordur. Kesme ünitesinde dönerik çalışan disk bıçak kullanıldığı takdirde bu olumsuz durumların hepsinden kurtulmak mümkün olabilir. Bu nedenle bitki saplarını keserek alacak olan bir hasat makinesinde, disk şeklinde bıçakların kullanım olanaklarının belirlenmesi gerekmektedir.

Bu çalışmanın amaçları aşağıda maddeler halinde verilmiştir:

- 1) Hasat yöntemlerinden kesme-biçme esaslı çalışan disk bıçaklı bir deney düzeneğinin, susam bitkisine uygun olacak şekilde tasarlayıp imal etmek.
- 2) İmal edilen deney düzeneğiyle susam bitkisi saplarının kesilmesi sırasında bazı yapılacak ölçüm ve gözlemlere dayanarak en uygun kesme kriterlerini (bıçak ağız tipi, disk bıçak çapı vb.) belirlemek.
- 3) Farklı ağız yapısına sahip disk bıçakların, kesme kalitelerini ve kesme sırasında harcadıkları enerji miktarına bağlı olarak uygun kesim yapabilen ve en düşük enerji tüketimine sahip disk bıçak tipini belirlemek.
- 4) Farklı çaplara sahip susam bitkisi saplarının makaslama kesme yöntemiyle kesilmesi sırasında kesme için harcadıkları enerji miktarlarını ölçerek döner disk bıçaklı kesme sistemiyle kıyaslamaktır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Susam hasadı, hasadında kesme gereken bitkilerde ve ağaç dalı budanması ile ilgili konularda dal kesme kuvvetleri, kesilme gerilmesi, toplam kesilme enerjisi ve özgül kesilme enerjisi vb. konularının işlendiği yayınlara literatür taramaları sonucunda ulaşılmıştır. Aşağıda bu çalışmalar geçmişten günümüze olacak şekilde sıralanarak özetlenmiştir.

Öztürk ve Yıldız (1995) tarafından yapılan bir çalışmada, üç değişik susam hasat ve harman yöntemi denenmiştir. Birinci yöntemde susam, şu anda da uygulanmakta da olan elle hasat (geleneksel yöntem) metoduyla hasat ve harman edilmiştir. İkinci yöntem olarak makine ile hasat, elle harman metodu denenmiştir. Üçüncü olarak da tam mekanizasyon uygulanmış, bir başka deyişle susam bir parsel biçerdöveri ile hasat ve harman edilmiştir.

Birinci yöntemde, bir dekarlık alandaki susam sökülünden başlayarak temiz dane haline gelinceye kadar yapılan işlemler için harcanan işgücü ve bu işgücünün maliyeti hesaplanmıştır. İkinci yöntemde, susamın hasadı kanatlı orak makinası ve çayır biçme makinası kullanarak yapılmıştır. Bu makinalarla hasattan sonraki bütün işlemler, el ile hasat ve harman yönteminde olduğu gibi uygulanmıştır. Makine maliyetleri olarak kiralama bedelleri dikkate alınmış, buna el ile yapılan işlemlerdeki işgücü bedeli eklenerek bu yöntemin toplam maliyeti bulunmuştur. Son yöntem olarak tam mekanizasyona geçilmiş, bir başka deyişle susamın hasat ve harmanında biçerdöver kullanılmıştır. Bu son yöntem iki farklı nem düzeyinde gerçekleştirilmiştir. Biçerdöver kiralama bedeli makine maliyeti olarak göz önünde bulundurulmuştur. Ekonomik analiz sonucunda el ile hasat ve harman yönteminin en uygun yöntem olmakla beraber, biçerdöverle yapılan ikinci denemenin susamda makineli hasada geçilmesi konusunda ümit verici olduğu saptanmıştır.

Öztürk (1995) tarafından yapılan bir çalışmada, Antalya yöresinde yaygın olarak üretimi yapılan susam bitkisinde, enerji maliyeti farklı hasat yöntemleri kullanarak incelenmiş ve enerji kazanım oranları saptanmaya çalışılmıştır. Çalışmada, geleneksel hasat (I), kanatlı orak makinası (II) ve çayır biçme makinası (III) ile kesilmiş daha sonra geleneksel hasadın gerektirdiği işlemler yerine getirilmiş, son olarak hasat ve harman tamamen bantlı götürücüye sahip bir parsel biçerdöveri (IV) kullanılarak dört farklı

yöntem uygulanmıştır. Sonuç olarak uygulanan bu dört farklı yöntemin Mekanizasyon İndeksi (MI) belirlenmiştir. Bu indeks üretiminde mekanizasyon uygulamalarının düzeyi konusunda fikir vermektedir. Mekanizasyon indeksi; makinelerin yapımı ve bakımı için gerekli enerjinin insan enerjisi, hayvan enerjisi ve makinelerin yapımı ve bakımı için gerekli enerjiye oranı şeklinde hesaplanmıştır. Çalışmada farklı hasat yöntemleri için MI değerleri; I. Yöntemde 0.238, II. Yöntemde 0.421, III. Yöntemde 0.363 ve IV. Yöntemde ise 0.628 olarak belirlenmiştir.

Özcan ve İlbuğa (1998), turunçgil bitkilerinin budama işleminin mekanize edilebilmesi amacıyla çalışmalar yapmışlardır. Araştırmacılar, küçük makaslar kullanılarak el ile yapılan budama işleminde işçilik maliyetlerinin yüksek olduğunu, kalifiye işçi bulunmasında sorunlarla karşılaştığını ve bu nedenle tarım işletmelerinin budama mekanizasyonunda yeni arayışlara girdiklerini bildirmişlerdir. Çalışmada, bu amaçla çit şeklinde budama yapacak, traktöre asma budama makinelerinin kullanımı gündeme geldiği, bu tip budama makinelerinin geliştirme çalışmalarında gereksinim duyulan temel bilgilerin turunçgil ağaçlarının taç yapısı, taçtaki dal sayısı ve dal çapı dağılımı ve dal kesme kuvvetleri olduğunu rapor etmişlerdir. Araştırmanın birinci bölümü bu temel verilerin elde edilmesine yönelik çalışmaların sonuçlarını içermektedir. İkinci bölümü ise budama makinasının projelenmesi, imalatı ve iş başarılarına yönelik çalışmaların sonuçlarını içermektedir.

Uğurluay (2002) tarafından yapılan bir çalışmada, susam bitkisinin hasadına yönelik mekanizasyon durumları ve olanakları gözlenmiştir. Bitki ekiminde ise bir hassas ekim makinesi kullanmıştır. Hasat zamanında ise bir biçerbağlar orak makinesi kullanılarak, geleneksel hasat yöntemiyle iş gücü gereksinimini açısından kıyaslamasını yapmıştır. Araştırma sonucunda ise, bitkinin hasat zamanında biçerbağlar orak makinası kullanımının, önemli oranda işgücü tasarrufu ve hasatta zamandan tasarruf sağladığını belirtmiştir.

Polat (2002) tarafından yapılan çalışmada, antepfıstığı ağaçlarının dal kesme dirençleri üç farklı çeşit ve kalınlık için belirlenmiş ve Siirt çeşidi antepfıstığının budanmasına yönelik olarak kullanılan mekanik ve pnömatik el makasları ve testerelerinin karşılaştırmalı olarak iş başarıları tespit edilmeye çalışılmıştır. Pnömatik makas ve testere kullanılarak yapılan budama işleminin süre olarak el makaslarına oranla çok kısa sürede tamamladığı tespit edilmiştir. Dal kesme dirençleri ise 5 mm'den 30

mm'ye kadar üç farklı dal kalınlığında ölçülmüş, kırmızı çeşidinin dal kesme direncinin Siirt ve Ohadi çeşidine oranla daha düşük olduğu tespit edilmiştir.

Kocabıyık ve Kayışoğlu (2004) tarafından yapılan çalışmada yoğun olarak ayçiçeği üretimi yapılan Trakya bölgesinde, hasattan sonra toprağa karıştırılmak amacıyla parçalanacak olan ayçiçeği saplarının kesilme özelliklerinin belirlenmesi amaçlanmış, ayçiçeği sapının maksimum kesilme kuvveti, kesilme gerilmesi, toplam kesilme enerjisi ve özgül kesilme enerjisi incelenmiştir. Kesilme özellikleri üzerine sap bölgesinin ve nem içeriğinin etkileri araştırılmıştır. Araştırma sonunda, ayçiçeği sapının maksimum kesilme kuvveti 0.25 kN ile 4.85 kN arasında ortalama 1.81 kN, kesilme gerilmesi 0.77 MPa ile 9.44 MPa arasında ortalama 4.05 MPa, kesilme enerjisi 3.27 J ile 47.18 J arasında ortalama 13.40 J, özgül kesilme enerjisi 0.99 J/cm² ile 6.59 J cm⁻² arasında ortalama 2.79 J cm⁻² bulunmuştur.

İnce ve ark (2005) tarafından yapılan çalışmada, ayçiçeği (*Heliantusannus* L.) sapı için eğilme gerilmesi, esneklik modülü, kesme gerilimi ve özgül kesme enerjisi belirlenmiştir. Eğilme kuvvetleri, farklı nem içeriğindeki alanda bir dirsek testi ile ölçülmüş ve eğilme gerilimi ve esneklik modülü bu verilerden hesaplanmıştır. Kesme kuvvetlerini ölçmek için sap örnekleri, bilgisayar destekli bir kesme aparatı kullanılarak kesilmiştir. Özgül kesme enerjisi, yer değiştirme eğrisine karşı kesme kuvveti altındaki alan kullanılarak hesaplanmıştır. Bükme testleri dört farklı nem içeriğinde gerçekleştirilmiştir. Nem içeriği arttıkça bükülme stresi azaldı. Ortalama eğilme gerilmesi değeri 37.77 ve 62.09 MPa arasında değişmiştir. Sapların nem içeriği ve çapı arttıkça bükülmedeki esneklik modülü de azalmıştır. Ortalama esneklik modülü 1251.28 ve 2210.89 MPa arasında değişmiştir. Kesme gerilimi ve özel kesme enerjisi de sap bölgelerine göre beş nem içeriğinde belirlenmiştir. Sonuçlar, nem içeriği arttıkça kesme gerilmesinin ve özel kesme enerjisinin arttığını göstermiştir. Maksimum kesme gerilimi ve özgül kesme enerjisi sırasıyla 10 MPa ve 10.08 mJ mm⁻²'dir. Yapısal heterojenite nedeniyle sapın alt bölgesinde hem kesme stresi hem de özgül kesme enerjisi daha yüksek bulunmuştur.

Lee ve Kim (2007) tarafından yapılan bir çalışmada, susamın Kore'de genellikle elle toplandığını, geleneksel susam hasat işlem aşamalarının kesme, bağlama, kurutma ve bakla parçalamadan oluştuğunu belirtmişlerdir. Kurutma ve parçalama işlemleri 2-3 kez tekrarlanır. Bu geleneksel parçalamanın elle yapılan çalışmaları, az miktarda

baklaların her zaman açılmamış olarak kaldığını tespit etmişlerdir. Bu nedenle, bu çalışma susam parçalama işçiliğini kurutma aygıtı kullanarak tasarruf etmenin bir yolunu bulmak için yapılmıştır. Çalışma kapsamında bir parçalama makinesi prototipi geliştirilmiş ve performansı test edilmiştir. Kalan kapalı kapsüllerin parçalanması için dönen koni ve prototip ile ölçülen susam kapsülü oranı, birinci, ikinci ve üçüncü parça aşamasında sırasıyla %90.3, %6.4 ve %3.3 olmuştur. Tam parça için en az 3 kez işlem gerektiren geleneksel yöntemin aksine, yeterli kurutulmuş susam ile prototipin ilk işlemde parçalama oranının %90'ından fazlasını verdiğini gözlemlemişlerdir.

Bakal ve Arıoğlu (2013) tarafından yapılan bir çalışmada, ikinci ürün yetiştirme sezonunda yürütülen bu çalışmada, farklı ekim yöntemlerinin ve ekim sıklıklarının susamda verim ve önemli tarımsal özelliklere etkileri belirlemeye çalışılmışlardır. Araştırmada; tek sıralı klasik ekim yönteminde ve çift sıralı ekim yönteminde 5, 10, 15, 20 ve 25 cm sıra üzeri olacak şekilde ekim yapmışlardır. Ekimde; Muganlı-57 susam çeşidini materyal olarak kullanılmışlardır. Araştırma sonuçlarına göre; dekadaki bitki yoğunluğu azaldıkça, tohum veriminin belirli bir noktaya kadar arttığı saptanmıştır. Klasik ve çift sıralı ekim yönteminde sıra üzeri mesafenin 15 cm' den daha fazla olması, dekara tohum veriminde azalmaya neden olduğunu gözlemlemişlerdir.

Vurarak ve Bilgili (2014) tarafından yapılan bir çalışmada Adana'nın susam üretim alanları bakımından son 30-40 yıl içinde çok ciddi gerilemeler yaşayan bir il olduğunu belirtmişlerdir. Adana 1970'li yıllarda susam üretiminde birinci sırada yer alırken, 2000'li yıllarda son sıralarda olduğunu belirtmişlerdir. Üreticiler, susam gibi hasad el işçiliğine dayalı ürünler yerine mekanize olan ürünleri tercih etmektedir. Denemede makinalı hasatlarda susam aksamına göre düzenlenmiş bir biçerbağlar kullanmışlardır. Belirli dönemlerde el ve makina ile yapılan hasatları, kalite ve işletmecilik değerleri bakımından karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak geleneksel hasada alternatif olarak el işçiliğine karşı 10 kat daha az zaman gereksinimi olan biçme ve bağlama sistemlerini içeren yarı mekanize sistemin, susamın tam hasat olgunluk döneminden 3-5 gün önce kullanılabileceğini tespit etmişlerdir. Geleneksel yöntem olan elle hasat ile tam olgunluk döneminden 3-5 gün önce makina ile hasat edilen susamın ürün maliyetine bakıldığında ise; makinalı hasatlarda 1.01-0.87 TL kg⁻¹ geleneksel hasatlarda ise 1.47-1.20 TL kg⁻¹ arasında maliyetinin değiştiğini tespit etmişlerdir.

Ishpekov ve ark. (2015a) tarafından yapılan bir çalışmada, Susam genotiplerinin mekanik hasadı için duyarlılığın değerlendirilmesi ve yeni bir yöntemin kanıtı verilmiştir. Yöntem, kapsüllerin kırılması ile veya açılması olmadan tohumun mekanik hasadı için uygun yolun belirlenmesini sağlar. Bu yöntem Bulgaristan'ın IpGR-Sadovo kentinde seçilen altı susam genotipinin duyarlılığını değerlendirmek için uygulanmıştır. Tahıl biçerdöverle hasatta aynı genotipler için elde edilen sonuçların iyi bir uyum içinde olduğunu belirtmişlerdir.

Ishpekov ve ark. (2015b) tarafından yapılan bir çalışmada, Bulgaristan'ın IPGR-Sadovo kentinde seçilmiş altı susam genotipinin kapsüllerinden tohum toplamak için atıl kuvveti deneysel olarak belirlemişlerdir. Tohum neminin, eylemsizlik kuvvetinin büyüklüğü ve yönünün, serbest kalan tohumların yüzdesi üzerindeki etkisini analiz etmişlerdir. Çalışmanın sonuçları, tohumların serbest bırakılmasının, test edilmiş susam genotiplerinin kapsüllerinin ayrılmasını gerektirmeyen ataletsel etkiler ile mümkün olduğunu kanıtlamışlardır. Harmanla kıyaslandığında, bu etki, tohumun iki kat daha yüksek nemde, mekanik hasar olmadan ve daha düşük enerji tüketimi ile hasat edilmesinde uygulanabilir olduğunu kanıtlamışlardır.

Lee ve Noh (2015) tarafından yapılan bir çalışmada, kapsülleri çatlamayan susam için harman makinesi tasarlanmış ve geliştirilmiştir. Geliştirilmiş susam harmanlama sistemi kullanılarak iki tip susam (kapsülleri çatlamayan ve geleneksel) tipleri test edilmiştir. Geleneksel susam hasadında, parmaklı ve pervazlı tip dövücülerde dönme hızı farklılık göstermemiştir. Çatlamaya dayanıklı susam için, silindir dönme hızının artışı ile susam tanelerinde zedelenme oranının arttığını tespit etmişlerdir. Bu sonuçlar etkili bir harman makinesinin yapımı için kullanışlı bulunmuştur.

Hatipoğlu (2016) tarafından yapılan bir çalışmada, ikinci ürün koşullarında bazı susam çeşitlerinin verim ve verim unsurlarının belirlenmesi amacıyla yapmıştır. Denemede 13 adet tescilli susam çeşidini materyal olarak kullanmıştır. Deneme, tesadüf blokları deneme desenine göre dört tekerrürlü olarak yürütmüştür. Ön bitki olan buğday hasadından sonra ekimleri elle yapmıştır. Araştırmada; bitki boyu, bitkide yan dal sayısı, bitkide ilk dal yüksekliği, bitkide kapsül sayısı, kapsüldeki tane sayısı, 1000 tane kütlesi, tohum verimi, yağ oranı, yağ verimi ve protein oranı gibi özellikleri incelemiştir. Araştırma sonucunda; denemede materyal olarak kullanılan 13 çeşitten 10'unun Siirt ili

ekolojik koşullarına adaptasyon sağlayamadığı ve bu 10 çeşide ait bitkilerin 6-7 yapraklı oldukları dönemden sonra canlılıklarını devam ettiremediklerini tespit etmiştir.

Seçer (2016) tarafından yapılan bir çalışmada, Susam tohumlarında yüksek oranda yağ ve protein bulunduran önemli bir endüstri bitkisi olduğunu belirtmiştir. Türkiye’de uzun yıllardır üretilen susam bitkisinin unlu mamul ve şekerleme yapımında kullanımı oldukça yaygındır. Kullanılan bu bitki 1990’lı yıllarda oldukça yaygın olarak üretilirken günümüze doğru geldikçe oldukça hızlı bir şekilde vazgeçilmektedir. 1990-2014 yılları arasında susam ekim alanlarında %68.9, üretiminde %54.6 azalma meydana geldiğini belirtmiştir. Bu sebepten dolayı ekimi yapılmadığı için yurt dışından ithalatın zorunlu hale geldiğini belirtmiştir. Türkiye susam ithalatının, 2013 yılında 180 milyon \$’a kadar ulaştığını belirtmiştir.

Amirian ve ark. (2017) tarafından yapılan araştırmada, nohut sapının bazı fiziksel ve kesme özellikleri üzerindeki nem miktarının ve sap kısmının etkilerini belirlemektir. Deneyler, %10, %15, %20 ve %25’lik dört nem miktarında ve sapın alt, orta ve üst kısımlarında yürütülmüştür. Sap numuneleri, kesme kuvvetlerini ölçme amacıyla bir bilgisayar destekli kesme aleti kullanılarak bölünmüştür. Kesme enerjisi, yer değiştirme eğrisine karşı kesme kuvveti altındaki alan kullanılarak hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlara dayanarak, sapın fiziksel özelliklerinin değerleri artan nem miktarı ile beraber artmıştır. Değerleri ayrıca sapın alt bölgesine doğru da artmıştır. Kesme gerilimi ve belirli kesme enerjisi de artan nem miktarıyla artmıştır. Aynı zamanda, yapısal heterojenlik nedeniyle, değerleri sapın alt kısımlarına doğru da artmıştır. Maksimum kesme gerilimi ve belirli kesme enerjisi sırasıyla 17.26 MPa ve 34.81 mJ mm⁻² olarak bulunmuştur ve her ikisi de %25’lik nem miktarıyla sapın alt kısımlarında meydana gelmiştir.

Toprak (2017) tarafından yapılan bir çalışmada, Türkiye’nin farklı bölgelerinden toplanan yerel susam genotiplerinin tarımsal ve morfolojik özelliklerine dayalı genetik çeşitliliğin belirlenmesi, materyaller arasındaki genetik benzerliğin tanımlanması ile gelecekte yapılacak olan ıslah çalışmalarında kullanılmak üzere bir altyapı oluşturulmasını amaçlamıştır. Böylece elde edilen yüksek verimli genotip çeşitleri seleksiyon çalışmaları yapan ıslahçıların kullanımına sunmuşlardır.

Kamandar ve Jafar (2017) tarafından yapılan çalışmada, şimşir sapının, boğum arası sap kesme mukavemetini, kesme kuvvetini, kesme enerji gereksinimini ölçmek adına dört yükleme hızında (1, 2, 3 ve 4 m s⁻¹), üç boğum arası (beşinci, onuncu, on

beşinci) ve %72'lik düzeyde nem miktarı altında bir dizi laboratuvar testleri yapılmıştır. Sap örnekleri, tasarlanmış, imal edilmiş ve kalibre edilmiş özel bir kesme test aleti kullanılarak darbeli bir şekilde kesilmiştir. Alet, kesme kuvvetini belirlemek için pulluk oku tarzı yük hücresi ile kesme bıçağına tutturulmuştur. Veri sonuçlarının sapma analizi, yükleme hızı ve boğum arası pozisyonunun kesme enerji sarfiyatı üzerinde ve kesme mukavemetinin üzerinde etkisinin kayda değer ($P<0.01$) olduğunu göstermiştir. Ayrıca, yükleme hızı ve boğum arası pozisyon etkisinin etkileşimi, bahsi geçen parametreler üzerinde de kayda ($P<0.01$) değerlidir. Sonuçlar, kesme mukavemeti ve kesme enerji sarfiyatının yükleme hızında bir artışla ve 15.'den 5.'ye boğum arası pozisyonunda yukarı doğru arttığını göstermiştir. Kesme enerji sarfiyatının minimum ve maksimum değerleri sırasıyla beşinci boğum arasında ve yükleme hızı 4 m s^{-1} ve 19.6 J 15. boğum arasında ve yükleme hızı 1 m s^{-1} 'de 319 J olarak elde edilmiştir. Kesme mukavemetinin minimum ve maksimum değerleri, sırasıyla 5. boğum arasında 0.06 MPa ve yükleme hızı: 15. boğum arası 4 m s^{-1} ve 1.55 MPa ve yükleme hızı: 1 m s^{-1} olarak elde edilmiştir. İstatistiksel analize dayanarak, kesme mukavemeti ve kesme enerji sarfiyatının ortalama değerleri sırasıyla 3.19'dan 19.60 J 'ye 13.8 J ve 0.71'den 1.03 MPa 'ya 0.66 J olarak elde edilmiştir.

Sessiz ve ark. (2018) tarafından yapılan araştırmada, bağcılıkta üretim giderlerinde önemli bir payı olan ve ürünün verimini etkileyen yaprak ve sürgün budama işleminde kullanılabilecek makinanın tasarımında temel bir parametre olan kesme kuvveti, kesme gerilmesi, kesme kuvveti-deformasyon ilişkisinden kesme enerjisinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda denemelerde kullanılan yerli ve yabancı çeşitlerin bulunduğu 8 farklı üzüm çeşidi için sürgün çapına ve neme bağlı olarak kesme özelliklerinin değişimi incelenmiş ve istatistiki olarak değerlendirilmiştir. Deneylerde kullanılan asmaların sürgünleri Diyarbakır ilindeki şaraplık üzüm üreten üreticilere ait bağlardan temin edilmiştir. Sürgünlerin kesme özelliklerinin belirlenmesinde, Llyod LRX plus, 5000 N kapasiteli biyolojik malzeme test cihazı kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, bitkinin kesme özelliklerinin sürgün kesit alanıyla doğrudan ilişkili olduğunu gözlenmiştir. Kesilen sürgünlerin çaplarının aynı olsa bile kesme özellikleri bakımından çeşitler arasında önemli farklılıklar ortaya çıkmıştır. Çapa bağlı olarak elde edilen maksimum kesilme kuvveti değerleri yabancı üzüm çeşitlerinde elde edilirken, en düşük değerler ise yerli şaraplık üzüm çeşitlerinde saptanmıştır. Araştırma sonuçlarına göre maksimum kesme kuvveti 2084 N ve kesme enerjisi 662 N cm olarak %42 Nem

içeriğinde, 10 mm sürgün çapında Cabernet Franc çeşidinde bulunurken, aynı sürgün çapında en düşük kesme kuvveti 1595 N ve kesme enerjisi 531 N cm olarak Tannat çeşidinde elde edilmiştir. Dolayısıyla bir budama veya kesme makinasının tasarımında ve imalatında çeşitlerin bu kesme özellikleri önemli bir etkiye sahiptir. Bu nedenle, budama ve benzeri kesme işlerinde kullanılacak bir makina tasarımında mutlaka üzüm çeşidinin kesme özellikleri dikkate alınmalıdır.

Jahanbakhshi (2018) tarafından yapılan araştırmada, acur sebzesinin bazı fiziksel ve mekanik özellikleri standart koşullar altında hesaplanmıştır. Fiziksel özellikler uzunluk, genişlik, kalınlık, ortalama çap (geometrik ve aritmetik), yuvarlaklık, yüzey alanı, en-boy oranı, kütle, hacim ve yoğunluğu içermektedir. Numunelerin ve uzunluklarının mekanik özellikleri, baskı (zedeleme), eğilme (koparma) koşulları altında ve acurun tavsiye edilen standartlara dayalı bir Zwick/Roell Instron test makinesi kullanılarak ortadan ikiye bölünmesiyle hesaplanmıştır. Uzunluk, genişlik, kalınlık, hacim, yüzey alanı ve yoğunluk, özel bir makine tasarlarken veya malzemelerin aktarılmasının sonuçlarını analiz ederken dikkate alınması gereken fiziksel özelliklerden bazılarıdır. Acurun, mekanik özelliklerin araştırılmasında, zedelenmesi, eğilmesi ve kıvrılması için gerekli olan maksimum kuvvetler sırasıyla 309.66, 44.4 ve 36.5 N'dur. Bu çalışmanın sonuçları, acurun işlenmesi, taşınması, ayrılması ve paketlenmesi için kullanılan aletlerin tasarımına veya daha iyi duruma getirilmesine katkıda bulunabilir.

Zhang ve ark. (2018) tarafından yapılan araştırmada, darı saplarının farklı sap bölgelerindeki mekanik kesme özellikleri, nem miktarı ve bıçak yatıklık açısının etkileri incelenmiştir. Sonuçlar, kesme geriliminin sapın alt kısmından yukarı kısmına doğru düştüğünü ve kesme kuvveti ve enerjisinin, çapraz kesit parametreleri nedeniyle alt kısımda diğer alanlardan daha yüksek olduğunu göstermiştir ($p<0.05$). Boğumların kesme kuvveti ve enerjisi, boğumların kesme gerilimi boğum arasından önemli ölçüde yapısal farklılıklar nedeniyle daha küçük olduğundan boğum arasındakinden önemli ölçüde daha büyüktür ($p<0.05$). Kesme gerilimi ve belirli kesme enerjisi başlangıçta artmış ve daha sonra nem miktarı arttıkça kademeli olarak azalmıştır (%10.14 -%72.59). Darı saplarının yüksek veya düşük nem miktarında işlenmesi enerji tasarrufu sağlayabilir. Bıçak yatıklık açısı arttıkça kesme gerilimi azalmıştır. Ancak, bıçak yatıklık açısı arttıkça belirli kesme enerjisi başlangıçta azalıp daha sonra kademeli olarak artmıştır. Boğum arasının ve boğumların minimum belirli kesme enerjisi değerleri, 18.8° ve 0° derecelik bıçak yatıklık

açıları karşılaştırıldığında sırasıyla %28.99 ve %25.97 olarak azalmıştır. Bu bulgular, mekanik hasat toplama ve derin sap işlenmesi ile ilgili daha ileri çalışmalar için yararlı olacaktır.

Kamandar ve ark. (2018) tarafından yapılan araştırmada, kurtbağrı sapının, sap boğum arasının kesme enerji sarfıyatı ve kesme dayanımının farklı yükleme hızı yarı-statik ve darbeli kesimi, farklı boğum pozisyon ve nem seviyesi %58 olan (y.b.) kesme kuvvetini ölçmek için bir dizi deneysel testler yapılmıştır. Yarı-statik kesme testinde, sap numuneleri, 5, 10, 15 ve 20 mm mm^{-1} 'lik dört yükleme hızındaki yarı-statik işlemde ve beşinci, onuncu ve on beşinci olan üç boğum arası pozisyonlarında kesilmiştir. Darbeli kesme testinde, sap numuneleri 1, 2, 3 ve 4 m s^{-1} 'lik dört yükleme hızındaki darbe işleminde ve 5., 10. ve 15. olan üç boğum arası pozisyonlarında işe yaramıştır. Verilerin sapma analizi, yarı-statik kesimde, yükleme hızının %5 ihtimal düzeyinde kesme mukavemeti ve kesme enerji sarfıyatı üzerinde önemli bir etki yarattığını göstermiştir. Ayrıca, boğum arası pozisyonunun ve yükleme hızının boğum arası pozisyonu ve etkileşim etkisi, %1 muhtemel düzeyinde kesme mukavemeti ve kesme enerji sarfıyatı üzerinde önemli etkiler yaratmıştır. İstatistiksel analize dayanarak, kesme enerji sarfıyatı ve kesme mukavemeti değerleri sırasıyla 95.35'ten 1567.95 J'ye 556.70 J ve 19.63'den 37.04 MPa'ya 29,12 MPa olarak elde edilmiştir. Darbeli kesimde, verilerin sonuçlarının sapma analizi, yükleme hızı, boğum arası pozisyonu ve yükleme hızının boğum arası pozisyonu üzerindeki etkileşim etkisinin %1'lik muhtemel düzeyinde kesme enerji sarfıyatı ve kesme mukavemeti üzerinde önemli etki yaratmıştır. Verilerin istatistiksel analizi, ortalama kesme enerji sarfıyatı ve kesme mukavemeti değerlerinin sırasıyla 3.19'dan 28.60 J'ye 17.16 J ve 0.21'den 2.53 MPa'ya 1.01 MPa olarak elde edildiğini göstermiştir.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Materyal

Bu çalışmada materyal olarak susam bitkileri, susam bitkilerinin çaplarının ölçülmesi için kumpas, bitkisel materyalin nem tayininde kurutma fırını ve materyal tartımları için de hassas terazi kullanılmıştır. Susam bitkilerinin saplarının disk bıçaklar ile kesilmesi sırasında harcanan elektrik enerjisinin ölçümü için elektrik sarfiyat ölçüm cihazı kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan materyaller aşağıda açıklanmıştır.

3.1.1. Susam Bitkisi

Çalışmada; deneme materyali olarak Pedaliaceae (Susamgiller) familyasının *Sesamum* cinsinin kültürü yapılan (*Sesamum Indicum* L.) ($2n=26$) türü seçilmiştir. Susam çeşidi olarak Muganlı-57 kullanılmıştır. Deneme materyali bitkileri Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi deneme alanlarında yetiştirilmiştir (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Deneme alanında yetiştirilen susam bitkileri

3.1.2. Kumpas

Çalışmada ana materyal olarak kullanılan susam bitkilerinin çaplarını ölçmek için 0.05 mm hassasiyete sahip kumpas kullanılmıştır (Şekil 3.2).



Şekil 3.2.Kumpas

3.1.3. Kurutma Fırını (Etüv)

Bitkisel materyalin nem tayini için Nüve NV 500 marka kurutma fırını kullanılmıştır. Cihaz 50 °C ile 250 °C arasında ayar edilen sıcaklık değerlerine kadar ısınabilmekte ve belirtilen toleranslar dahilinde stabil sıcaklıklar oluşturabilmektedir. Kullanılabilir hacim 120 L'dir (Şekil 3.3).



Şekil 3.3. Kurutma fırını

3.1.4. Hassas Terazi

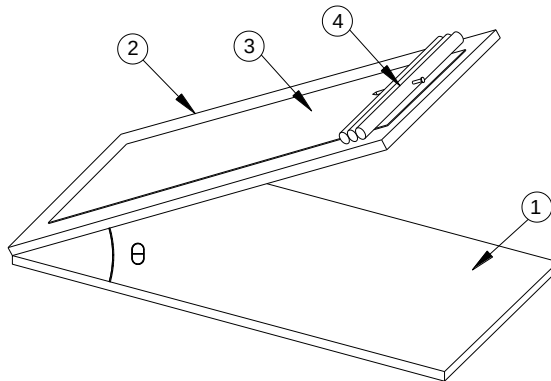
Bitkisel materyalin nem tayini için gerekli olan yaş kütle ve kuru kütleleri belirlemek için Sartorius GP 3202 markalı hassas terazi kullanılmıştır. Terazinin tartım kapasitesi 3200 g, hassasiyeti ise 0.01 g'dır (Şekil 3.4).



Şekil 3.4. Hassas terazi

3.1.5. Sürtünme Katsayısı Belirleme Düzeneği

Susam bitkisi ile çelik bıçak metalı arasında meydana gelen sürtünme katsayısını bulabilmek için eğik düzlem yöntemi kullanılmıştır. Statik sürtünme katsayısının bulunabilmesi için basit bir eğik düzlem düzeneği kullanılmıştır (Şekil 3.5). Düzenek temelde iki kısımdan oluşmaktadır; biri yatay ve sabit duran düzlem, diğeri ise buna menteşe ile bağlanmış eğik düzlemdir. Eğik düzlem üzerine test malzemesi olan çelik malzeme yerleştirilmiştir. Testler sırasında eğik düzlemde meydana gelen açılar (θ) belirleyebilmek için açıölçer kullanılmıştır.



Şekil 3.5. Eğik düzlem yöntemi ile sürtünme katsayısının belirlenmesi
(1-Sabit taban, 2-Eğik düzlem, 3-Test malzemesi (Çelik), 4-Test materyali (Susam Bitkisi Sapları))

3.1.6. Elektrik Sarfiyat Ölçüm Cihazı

Disk bıçaklı kesme sisteminin susam saplarını kesmek için harcadığı enerji miktarı, Enerji Sarfiyat Ölçüm cihazı (TT T-ECHI-C marka, Çin) kullanılarak ölçülmüştür (Şekil 3.6). Ölçüm cihazı, sistemin doğrudan tükettiği enerji miktarını (hassasiyet 0.1 J) ölçebilmektedir. Cihazın frekans ekranı:50HZ, geniş voltaj aralığı: 230-250V, çalışma akımı:max16A, watt göstergesi:0-3600W, geçerli ekran: 0.0-16.0A'dır.



Şekil 3.6. Enerji Sarfiyat Ölçüm cihazı.

3.1.7. Makaslama Kesmede Kullanılan Test Düzeneği

Bu test teçhizatı (Lloyd marka, Londra/İngiltere), sabit ve hareketli bir plaka, bir sürüş ünitesi (AC elektrik motoru, elektronik varyatör ve azaltma ünitesi) ve bir veri toplama (yük hücresi, kişisel bilgisayar kartı ve yazılımı) sistemi olmak üzere üç ana bileşene sahiptir (Şekil 3.7). Üzerindeki yük hücresi 0-5 kN arasında ölçüm yapabilmektedir.

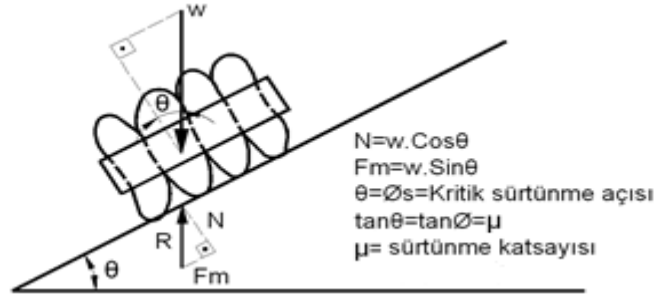


Şekil 3.7. Makaslama Kesme Test Cihazına ait bir görünüm

3.2. Yöntem

3.2.1. Bitki Sapı-Bıçak Malzemesi Arası Sürtünme Katsayısının Tespiti

Bu yöntemde, üzeri bıçak malzemesi (St-37) ile kaplı bir düzlem üzerine bitki uygun bir şekilde (yuvarlanmayacak şekilde) yerleştirilir. Düzlem yavaş ve sabit bir hızla “ θ ” açısı yapacak şekilde kaldırılır (Şekil 3.8). Ürün, kaldırılan eğik düzlem belirli bir açı değerine kadar hareketsiz kalır. Bitkiyi hareket başlangıcına getiren eğim açısının tanjantı (Eşitlik 3.1), kritik sürtünme açısını vermektedir (Uğurluay ve ark. 2010).



Şekil 3.8. Eğik yüzey yöntemi ile sürtünme açısının saptanması.

Sürtünme katsayısı bulunduğundan sonra sürtünme kuvveti aşağıda yer alan denklem sayesinde hesaplanabilir (Mohsenin, 1986).

$$\tan \theta = \frac{F_s}{F_N} \quad (3.1)$$

Burada;

F_s : Sürtünme kuvveti, N

F_N : Normal kuvvet, N

3.2.2. Susam Bitkilerinin Nem İçeriğinin Bulunması

Bitki nem içeriğinin belirlenebilmesi için örneklerinin yaş kütle değerleri hassas terazi kullanılarak kayıt altına alınmıştır. Tartılan örnekler, kurutma fırınında 105 °C'de 24 saat bekletildikten sonra kütleleri tekrar ölçülmüştür. Bu değerler aşağıda görülen Eşitlik 3.2 kullanılarak bitki örnekleri nem oranları hesaplanmıştır (Mohsenin, 1986).

$$NO = \frac{(YK - KK)}{YK} 100 \quad (3.2)$$

Burada;

NO: Nem Oranı (% y.b.),

YK: Yaş Kütle (g)

KK: Kuru Kütle (g)

3.2.3. Disk Bıçaklı Kesme Deney Düzeneklerinin Tasarım ve İmalatı

Çalışma iki aşamadan oluşmaktadır. Birinci aşamada deneysel susam hasat

düzenegi tasarlanmiş ve imalatı gerçekleştirilmiştir. Tasarım parametreleri ana hatlarıyla belirlenen prototip düzenegin tasarım aşamasında, bilgisayar destekli çizim programlarından yararlanılmıştır. Makinanın çizimleri bilgisayar ortamında oluşturulmuş ve makinanın katı modeli ve teknik resimleri bu yolla hazırlanmıştır. İkinci aşamada ise kesme denemeleri yapılmıştır.

3.2.4. Disk Bıçak Kesme Testi

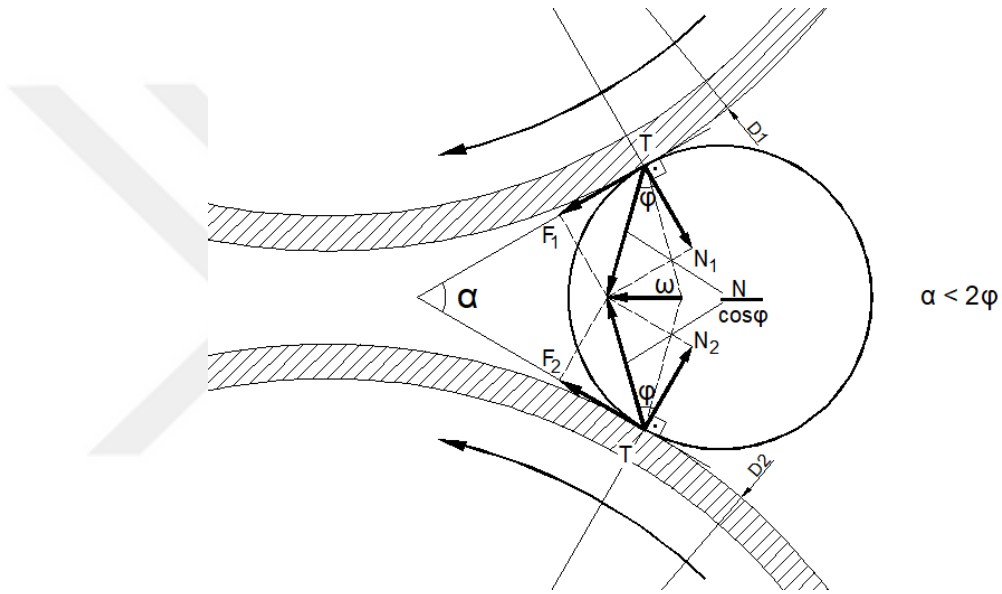
Susam bitkisi günümüzde hala elle hasat edilmektedir ve bu tür bitkilerin topraktan sökölme direnci oldukça yüksektir (Uğurluay, 2002). Çardak (2017) yaptığı çalışmada susam bitkilerinin topraktan sökölme kuvvetlerini ölçmüş ve ortalama 309.1 ± 64.9 N olarak belirlemiştir. Bitkinin topraktan sökölme kuvveti oldukça fazla olduğu için makineli hasatta ya bitki kök bölgesinin toprak altı bıçaklar kullanılarak gevşetilmesi ya da makaslama kesme yapan bir bıçak mekanizması ile bitki gövdesinin toprağın hemen üzerinden kesilmesi gerektiğini vurgulamıştır. Bu nedenle bu çalışma, susam bitkilerini keserek tarladan uzaklaştıracak bir düzenek üzerine planlanmıştır.

Uğurluay (2002) yılında yaptığı çalışmada susam hasadında biçerbağlar orak makinesi kullanmıştır. Bu tür makineler bitkileri tarladan uzaklaştırabilmek için makaslama kesme yapan kesme düzenleri kullanmaktadır. Makaslama kesme sistemlerinin çalışmalarında aşırı sürtünme kuvvetleri oluşur, yüksek atalet kuvvetleri nedeniyle makineye zarar veren titreşimler oluşur, çalışma hızları kısıtlıdır ve sürekli ayar ve bakım gerektirir (Yıldız ve ark., 2008). Titreşime neden olan makaslama kesme sistemi, aşırı olgunlaşmış susam bitkilerinin hasadında kapsül içindeki tohumların dökölmesine neden olabileceği için de uygun değildir (Uğurluay, 2002). Bu olumsuz durumlar dönerek çalışan ve serbest kesme yapan sistemlerde görülmez. Ancak, serbest kesme yapan düzenler küçük gövdeli ve otsu özelliklere sahip bitkiler (Yem bitkileri, çim, çayır vb.) için daha uygundur.

Bitkiler farklı mekanik özellikler gösteren hücrelerden oluşmaktadır. Bitkisel materyallerin kesilmesi konusunda çalışan tasarım mühendisleri ve araştırmacılar, bitkisel materyallerin mekanik olarak kesilmesi sırasında göstereceği davranışları çözümleyebilmek için, bitkilerin yapıları ve özelliklerini tanımaya ihtiyaç duymaktadırlar. Bitki sap yoğunluğu ve nem içeriği, kesme işlemi üzerine en fazla etkisi

olan iki faktördür (Bright & Kleis, 1964). Susam bitkisi sapları, özellikle de köküne yakın kısımları, odunsu bir yapıya sahiptir ve serbest kesme yapan sistemler için pek uygun değildir. Bu nedenle çalışmada karşılıklı olarak yerleştirilmiş, dönerek çalışan disk bıçaklı bir kesme sisteminin geliştirip kullanılması planlanmıştır.

Disk bıçaklar tarafından kesilmesi düşünülen bitki saplarının, bıçaklara yedirilmesi işlemi, laboratuvar ortamında çalışıldığı için, elle yapılmıştır. Bıçaklar arasına gelen bitki saplarının, bıçak kenarı ve sap arasında meydana gelecek olan sürtünme kuvvetlerinin etkisi ile yakalanıp, kesilmesi beklenmiştir (Şekil 3.9).



Şekil 3.9. Disk bıçakların bitki sapını yakalama koşulu (Uğurluay 2008).

Farklı hızlarda ve zıt yönlerde dönen disk bıçaklar ile yakalama işleminde (Şekil 3.9), açısal hızlar ω_1 ve ω_2 ; disk çapları D_1 ve D_2 ; h kalınlığındaki bir sap üzerine etki eden düşey kuvvetler N_1 ve N_2 ; tamburlara teğet olarak etki eden sürtünme kuvvetlerinin F_1 ve F_2 olduğu varsayılırsa (Klenin ve ark., 1986); sap eksenindeki doğrultuda, bütün bu unsurlar toplandığında, dönen tamburların bitkileri yakalayabilmesi için gerekli koşulu veren eşitlik aşağıdaki formülden hesaplanabilir.

$$F_1 \cdot \cos \alpha_1 + F_2 \cdot \cos \alpha_2 \geq N_1 \cdot \sin \alpha_1 + N_2 \cdot \sin \alpha_2 \quad (3.3)$$

Bu durumda, $F_1 = N_1 \cdot \tan \varphi_1$ ve $F_2 = N_2 \cdot \tan \varphi_2$ olarak hesaplanabilir. Burada; φ_1 ve φ_2 tamburlar üzerindeki sapların hareketi için sürtünme ($^\circ$) açılarıdır.

Bu değerleri önceki eşitlikte yerine koyduğumuzda;

$$N_1 \cdot \tan \varphi_1 \cdot \cos \alpha_1 + N_2 \cdot \tan \varphi_2 \cdot \cos \alpha_2 \geq N_1 \cdot \sin \alpha_1 + N_2 \cdot \sin \alpha_2$$

bağıntısı elde edilir. Şu an kullanımda olan makinalarda, D_1 ve D_2 çapları arasındaki fark küçüktür. Bu nedenle, aşağıda verilen basitleştirmeler yapılabilir;

$$N_1 = N_2, \quad \alpha_1 = \alpha_2 = \alpha$$

İfade yeniden yazılırsa, diskler ile sapların yakalanması için gereken koşul aşağıdaki gibi olur;

$$\tan \varphi_1 + \tan \varphi_2 \geq 2 \cdot \tan \alpha \quad (3.4)$$

Eğer,

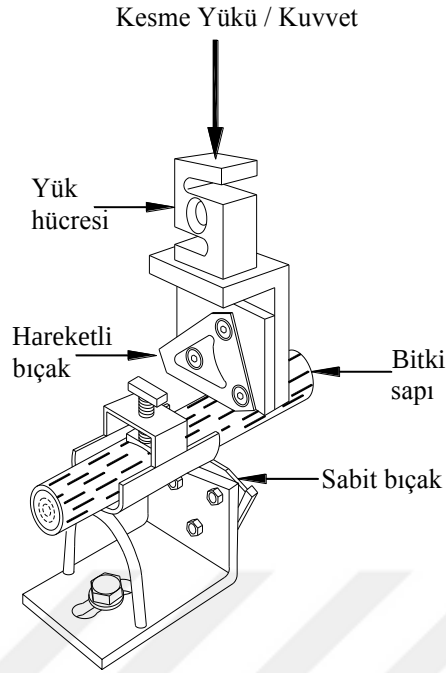
$$\tan \varphi_1 + \tan \varphi_2 \leq 2 \cdot \tan \alpha \quad (3.5)$$

ise, saplar diskler tarafından yakalanamayacaktır.

3.2.5. Makaslama Bıçaklı Kesme Testi

Karşı kenara göre kesme kenarı yerleştirmenin üç yöntemi vardır: dikey, eğik ve eğik değişken. Bu çalışmada, biyolojik malzemelerin kesme kuvvetlerinin belirlenmesinde yaygın olarak kullanılan dikey kesim yöntemi kullanılmıştır (Kanafojiski ve Karwowski, 1972; Sitkei, 1986; Persson, 1987; Çakır ve ark., 1997; Chen ve ark., 2004; İnce ve ark., 2005).

Bitki saplarının kesme kuvvetini belirlemek için deneysel bir kesme cihazı (Şekil 3.10) kullanılmıştır (Özcan ve İlbuga, 1998; Vursavuş ve Özgüven, 2004). Sap numuneleri, 40° kama açısına ve 0.05 mm kenar yarıçapına sahip düz bıçaklar tarafından kesilmiştir. Kesme testleri 1.2 mm s^{-1} bıçak hızında yapılmıştır.



Şekil 3.10. Susam sapının makaslama kesme testlerinde kullanılan düzenek

Kesme testleri sırasında, yük hücresindeki bıçak nüfuzuna göre kesme kuvvetleri kaydedilmiştir. Kesme gerilimi τ , Eşitlik 3.6 ile hesaplanmıştır (Mohsenin, 1986):

$$\tau = \frac{F_{smax}}{A} \quad (3.6)$$

Burada;

τ : Kesme gerilimi, MPa

F_{smax} : N cinsinden maksimum kesme kuvveti, N

A : Kesme düzlemindeki kolun kesit alanı, mm²

Kesme hızı ve süresinden, bıçak yer değiştirmesi hesaplanmış ve yer değiştirme-kuvvet eğrileri, her bir sap çapı için çizilmiştir. Kesme enerjisi (Eşitlik 1), bu eğrilerin altındaki alan kullanılarak hesaplanmıştır (Chattopadhyay & Pandey, 1999; Chen ve ark., 2004). Eğri altında kalan alan, yer değiştirme-kuvvet eğrisini karakterize eden polinom denklemin integrali alınarak hesaplanmıştır. Son olarak bu değer kesilen bitki sapının, kesit alanına oranlanarak özgül kayma enerjisi elde edilmiştir (Eşitlik 3.7).

$$E_{SC} = \frac{E_S}{A} \quad (3.7)$$

Burada;

E_{SC} : Özgöl kayma enerjisi, mJ mm^{-2}

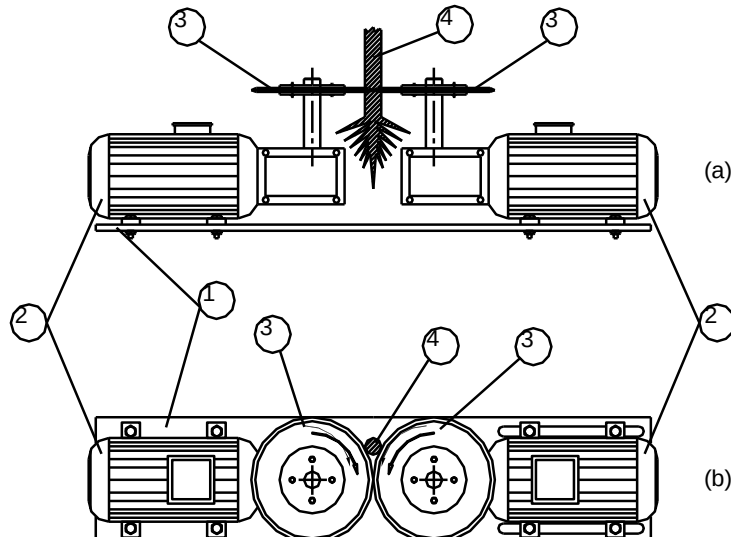
E_S : Toplam kayma enerjisidir, mJ

A : Kesit alanı, mm^2

Makaslama kesme denemeleri sonrasında elde edilen veriler SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) programında “OneWay ANOVA” olarak değerlendirilmiştir.

3.2.6. Disk Bıçaklı Kesme Sistemi

Denemelerin gerçekleştirilebilmesi için öncelikle susam bitkisinin fiziksel özelliklerine uygun bir kesme düzeneği bilgisayar destekli çizim ve tasarım programları kullanılarak tasarlanmıştır. Daha sonra bu düzeneğin imal edilebilmesi için gerekli malzemeler ve miktarları belirlenmiş olup, sonraki aşamada kesme düzeneği hizmet alımı yöntemi ile sanayide hizmet veren uygun bir firmaya imal ettirilmiştir. Denemelerde kullanılması düşünülen disk bıçaklı kesme düzeneğine ait şematik tasarım Şekilde 3.11’de verilmiştir.

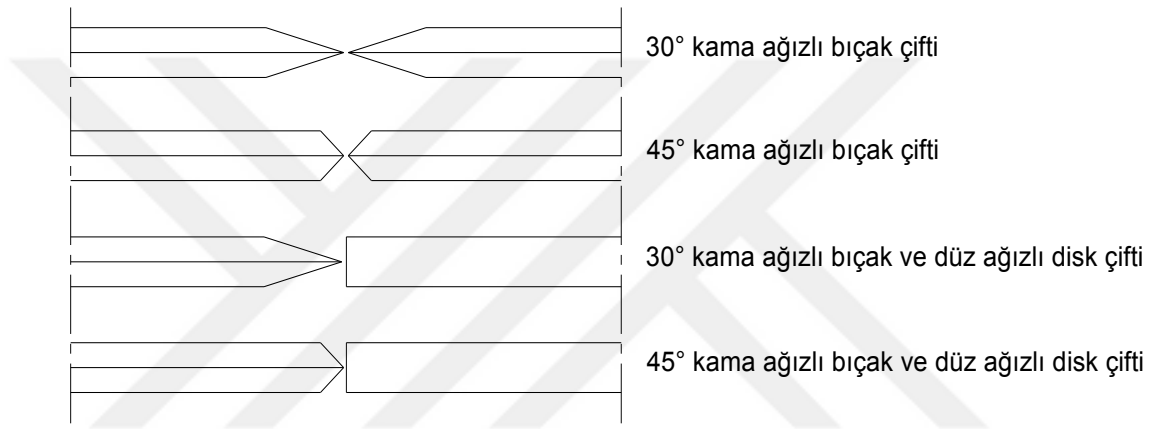


Şekil 3.11. Diskli kesme düzeneği şematik görünümü (a-önden, b-üstten)
1-Şase, 2-Redüktörlü elektrik motorları, 3-Disk bıçaklar, 4-Susam bitkisi sapı

3.2.7. İncelenen Konular

Deneyler 4x3x3 şeklinde toplam 36 grupta 5 tekrarlı faktöriyel deneme planına göre uygulanmıştır. Bağımsız değişkenler kesme ağız tipi, disk çapı ve sap çapıdır.

Çalışmada üç farklı ağız yapısına sahip, disk şeklinde bıçaklar kullanılmıştır. Burada amaç, en düşük enerji harcayarak, en ideal kesme işini yapabilecek bıçak ağız tipini tespit etmeye çalışmaktır. Bu bıçaklar piyasada hazır bulunmadığı için imal edilmiştir. Bıçak profil görünümleri Şekilde 3.12’de verilmiştir.



Şekil 3.12. Karşılıklı yerleşmiş disk bıçak ağız tipleri

Çalışmada üç farklı çapa sahip, disk şeklindeki bıçaklar kullanılmıştır. Burada amaç, susam bitkisi saplarını sorun göstermeden ve en düşük enerji gereksinimi ile kesebilecek en küçük çaplı disk bıçağı saptayabilmektir. Böylece, hem maliyet düşürülmüş hem de hasat koşullarına uygun fiziksel ölçüler sağlanmış olacaktır. Düz ağızlı disk kullanımı, tek bıçakla kesmenin mümkün olup olmayacağı ve harcanacak enerji miktarının saptanması için düzenlenmiştir.

Bağımlı değişken olarak, kesme başarısı ve harcanan enerji miktarı incelenmiştir. Deneme planının matematik modeli (Eşitlik 3.8) aşağıda verilmiştir.

$$Y_{ijkl} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + (\alpha\beta)_{ij} + e_{ijl} \quad (3.8)$$

Burada;

- Y_{ijkl} : Bıçak çeşitleri i. seviyesi, bıçak çapları j. seviye, bıçak aralığı k. seviye ve l. tekerrüre ait gözlem değeri
- μ : Popülasyon ortalaması

- α_i : Bıçak çeşidini i. seviye etkisi
- β_j : Bıçak çapının j. seviye etkisi
- $(\alpha\beta)_{ij}$: Bıçak çeşitlerinin i. seviyesi, Bıçak çaplarının j. seviyesinin interaksiyon etkisi
- e_{ijl} : Y_{ijl} 'nin tesadüfi hatası

Disk bıçaklı kesme düzenin susam bitki saplarını kesme denemelerinde her seferinde 5 adet bitki sapı, kesme düzeninden geçirilmiştir.

Deneme sonucunda elde edilen veriler istatistiksel paket programında (SPSS-Statistical Package for the Social Sciences) analiz edilmiştir.

3.2.8. Kesme Kalitesi (Başarısı)

Disk bıçaklı kesme deney düzeneğinde farklı açılara sahip bıçak ağızları, keskin ağız-keskin ağız ve keskin ağız-düz ağız olacak şekilde farklı disk çiftleri karşılıklı olarak kullanılmıştır. Farklı düzenlemeler ile enerji tüketim değerlerinin yanında susam bitkisi saplarının kesilme başarısı da incelenmiştir. Uygun bir kesmede, kesilecek olan materyal tam olarak ikiye ayrılır ve ayrılma yüzeyleri oldukça düzgün olmalıdır. Bitki sapları disk bıçaklar arasından geçtikten sonra sapların ikiye ayrılıp ayrılmadığı ve kesilme yüzeyinin düzgünlüğüne göre kesme kaliteleri belirlenmiştir.

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

4.1. Bitki Sapı-Bıçak Malzemesi Sürtünme Katsayısı ve Nem Oranı

Susam bitkisi sapları ile çelik bıçak malzemesi arasında meydana gelen sürtünme katsayısı (μ) belirlenmiş ve sürtünme katsayısı değeri 0.46 ± 0.02 olarak bulunmuştur.

Denemeler sırasında alınan bitki örnekleri nem değeri ise $\%65 \pm 2$ olarak tespit edilmiştir.

4.2. Deney Düzeneğinin Tasarımı ve İmalatı

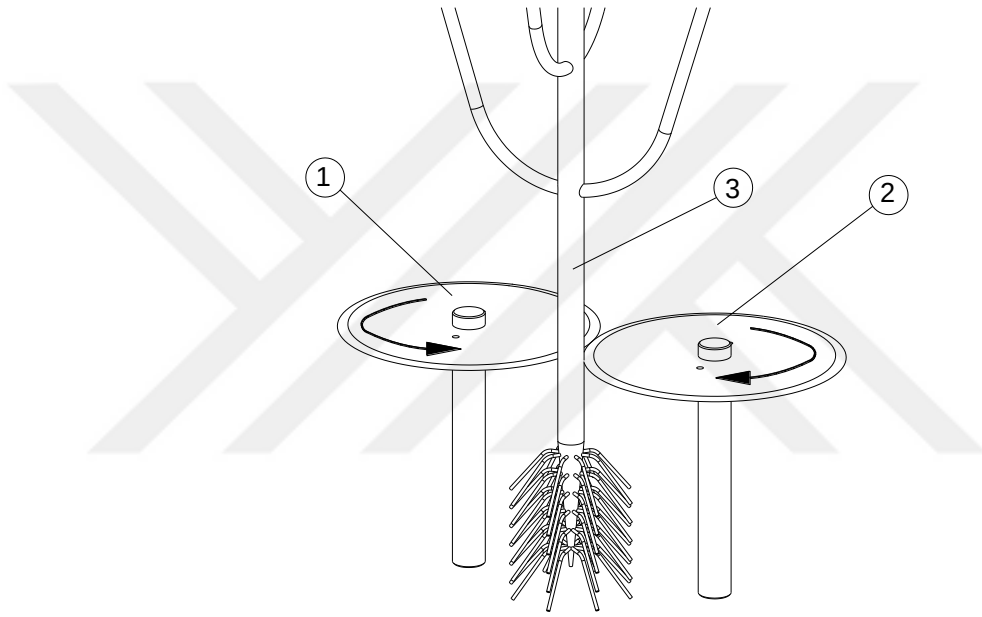
4.2.1. Kavramsal Tasarım

Susam bitkisi el ile hasat edilmek istendiğinde sökme, demetleme, demetlerin toplanması, toplanan demetlerin kurutulmak üzere harman yerinde gümül şeklinde dizilmesi, bitkiler kurutulduktan sonra çırpılması ve son olarak da temizleme işleri yapılmalıdır. Demetlerin kurutulması, çırpılması ve temizleme (eleme) işleri hasat sonrası işler olarak da sayılabilir. Hasat işlemleri içerisinde en fazla güç gerektiren, oldukça yorucu olan ve ilk yapılan iş bitkinin tarladan sökülerek alınmasıdır. Makine ile hasatta ise bitki sapları toprak üzerinden kesilerek alınmaktadır (Uğurluay, 2002). Disk bıçaklar tarafından kesme esaslı ile çalışacak olan bir deney düzeneği tasarımında bitkiye dair yapılan incelemeler sonucunda aşağıdaki kıstaslar göz önünde bulundurulmuştur.

- Bitki kök bölgesinin yaklaşık 10 cm üzerinden ve sap kısmından kesilmelidir.
- Bitki sıraya ekilmektedir ve sıra üzerinden kesilerek alınmalıdır.
- Bitki sıraya ekili olduğu için kesimin de sürekli yapılması gerekmektedir. Makine ilerlemesi ve kesim işlemi aynı anda yapılmalı ve duraklama yapmadan çalışabilmelidir.
- Bitki sapları çok farklı çaplarda olabilir. Bıçaklar arasına alınan her kalınlıktaki bitki sapı kesilebilmelidir.

4.2.2. Mekanik Tasarım

Deneme düzeneği temel olarak, bitki saplarını kesecek şekilde karşılıklı olarak yerleştirilmiş iki adet disk bıçaktan oluşmaktadır (Şekil 4.1). Disk bıçaklar birbirine göre ters yönde dönmeli ve farklı şartları oluşturabilmek (çaplar, ağız tipleri vb.) için kolaylıkla sökülebilir şekilde olmalıdır. Ayrıca farklı çaplara sahip disk bıçaklar yerlerine takılmak istendiğinde, bıçak yataklarından en az birinin yatay yönde kayar şekilde hareket kabiliyeti olmalı ve yeteri kadar kaydırıldıktan sonra basit bir şekilde sabitlenebilmelidir.



Şekil 4.1. Sap kesme deney düzeneğinde disklerin ve bitkinin duruşu
(1-Disk bıçak, 2- Karşı disk bıçak, 3-Bitki sapı)

4.2.3. Disk Bıçaklar ile Sapların Yakalanma Koşulu

Susam bitkisi sapları ile disk bıçakların imal edildiği çelik malzeme arasında oluşan statik sürtünme katsayısı yapılan denemeler sonrasında “ μ_s ” ortalama 0.46 olarak bulunmuştur. Susam bitkisi saplarının disk bıçaklar ile ilk temasa geçtiği durumlarda oluşan “ α ” açılarının değerleri, disk çaplarına ve bitki gövdesine ait gerçek boyutlar kullanılarak bir çizim programına yerleştirilmiş ve elde edilmiştir. Farklı disk çapları ve bitki sap çapları için teorik yakalama koşullarına ait sonuçlar Çizelge 4.1’de verilmiştir.

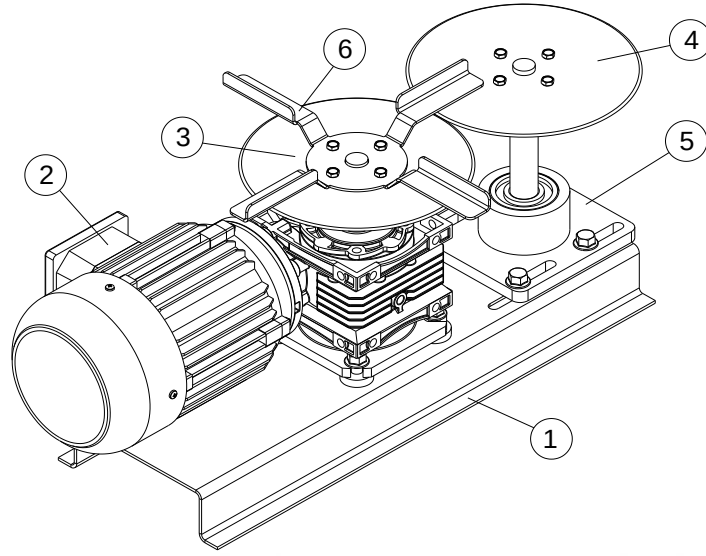
Çizelge 4.1. Farklı disk çapları ve bitki sap çapları için teorik yakalama koşulları

10 mm çaplı bitki sapı için				
	α açısı (°)	Sürtünme Katsayısı (μ)	Sürtünme Açısı (°)	Yakalama Koşulu $\tan \varphi_1 + \tan \varphi_2 \geq 2.\tan \alpha$
Kasnak Ø150	20.4	0.46	24.7	$0.92 > 0.74$
Kasnak Ø180	18.7			$0.92 > 0.67$
Kasnak Ø210	17.3			$0.92 > 0.62$
15 mm çaplı bitki sapı için				
	α açısı (°)	Sürtünme Katsayısı (μ)	Sürtünme Açısı (°)	Yakalama Koşulu $\tan \varphi_1 + \tan \varphi_2 \geq 2.\tan \alpha$
Kasnak Ø150	24.6	0.46	24.7	$0.92 \geq 0.92$
Kasnak Ø180	22.6			$0.92 > 0.83$
Kasnak Ø210	21.0			$0.92 > 0.76$
20 mm çaplı bitki sapı için				
	α açısı (°)	Sürtünme Katsayısı (μ)	Sürtünme Açısı (°)	Yakalama Koşulu $\tan \varphi_1 + \tan \varphi_2 \geq 2.\tan \alpha$
Kasnak Ø150	28.1	0.46	24.7	$0.92 < 1.06$
Kasnak Ø180	25.8			$0.92 < 0.97$
Kasnak Ø210	24.1			$0.92 > 0.89$

Çizelge 4.1’de elde edilen sonuçlar incelendiğinde, deneme düzeneğine ait tasarlanan bazı büyüklüklerin, özellikle 20 mm çaplı bitki sapları için, uygun olmadığı, yani bitki saplarının disk bıçaklar tarafından teorik olarak yakalanamadığı görülmüştür. Bu nedenle, disk bıçaklarla bitki saplarının kesin olarak kesilmelerini sağlamak için sapları bıçaklar arasına yedirecek/itecek yardımcı bir aparatın deney düzeneğine eklenmesi gerekmiştir.

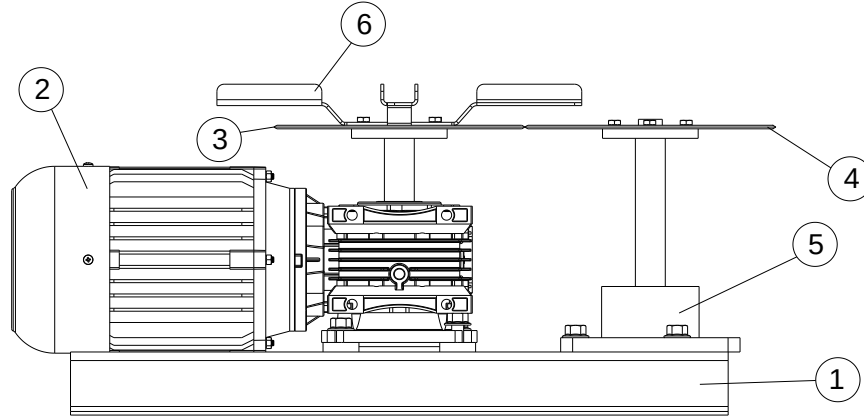
4.2.4. Deney Düzeneği

Bu çalışmada öncelikli hedef olarak susam bitkisi saplarını disk bıçaklar ile kesebilecek bir deney düzeneği tasarımı ve imalatı amaçlanmıştır. Deney düzeneğinin tasarımı ve çizimleri bilgisayar ortamında yapılmıştır. Çalışmada kullanılan deney düzeneği, Antakya/Hatay’da bulunan ve makine üretim sektöründe çalışan özel bir firmaya hizmet alımı şeklinde imal ettirilmiştir. Deney düzeneğine ait izometrik bir görünüş Şekil 4.2’de görülmektedir.



Şekil 4.2. Disk bıçaklı deney düzeneğine ait izometrik görüntü

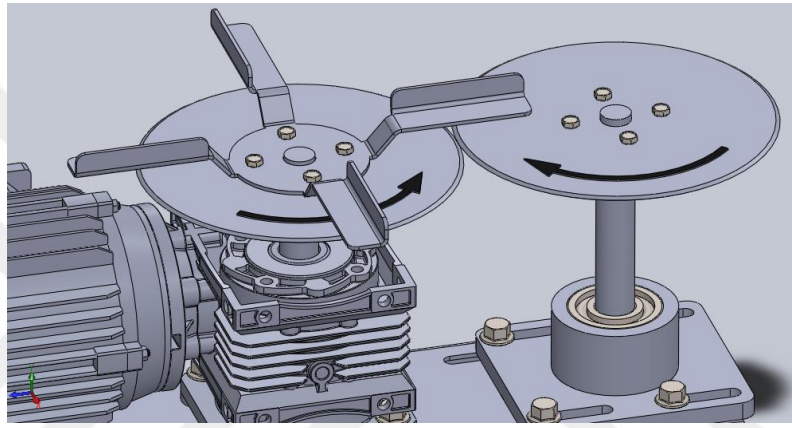
Disk bıçaklı deney düzeneğinin organları şunlardır: 1-Kasa, 2-Elektrik motoru, 3-Disk bıçak (motora bağlı), 4-Karşı disk bıçak (avare), 5-Karşı bıçak yatağı, 6-Sap yedirme düzeni. Deney düzeneğinde bazı kısımların daha iyi anlaşılabilmesi için ön görünüşü de verilmiştir (Şekil 4.3).



Şekil 4.3. Disk bıçaklı deney düzeneğine ait ön görünüş

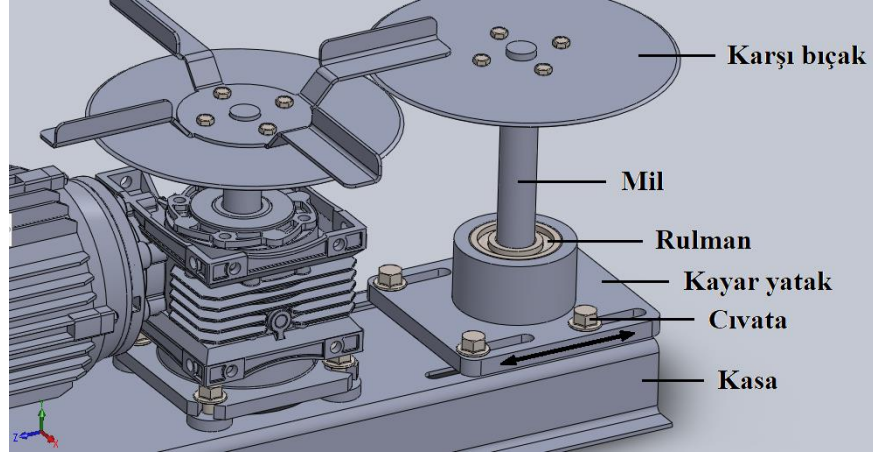
Deney düzeneğinin çalışma temelini, karşılıklı olarak yerleştirilmiş ve birbirine göre ters yönde dönerek çalışan disk bıçaklar (3 ve 4) oluşturmaktadır. Bunu sağlayabilmek için disk bıçakları çeviren millerin belirli konumlara sabitlenmesi ve birinin belirli bir hızda bir yönde, diğerinin de ters yönde döndürülmesi gerekmektedir.

Disk bıçaklardan birincisi (3), redüktörlü bir elektrik motoruna bağlanmıştır. Disk bıçağın dönüşü için kullanılan elektrik motoru 0.75 kW gücünde, 1440 min^{-1} devirli ve üzerlerinde R:12 redüktör bulunmaktadır. Ayrıca, elektrik motorunun devir sayısını değiştirmek için elektronik hız kontrol ünitesi bulunmaktadır. İkinci disk bıçak (4) ise serbest dönüşlü olacak şekilde yataklanmıştır. Böylece birinci disk bıçak hangi yöne hareket ederse etsin, karşı disk bıçak da ters yönde ve aynı hızda dönebilmektedir (Şekil 4.4). Bu tasarım sayesinde, deney düzeneğinin de tek motor kullanılmış ve daha sade bir form ortaya çıkmıştır.



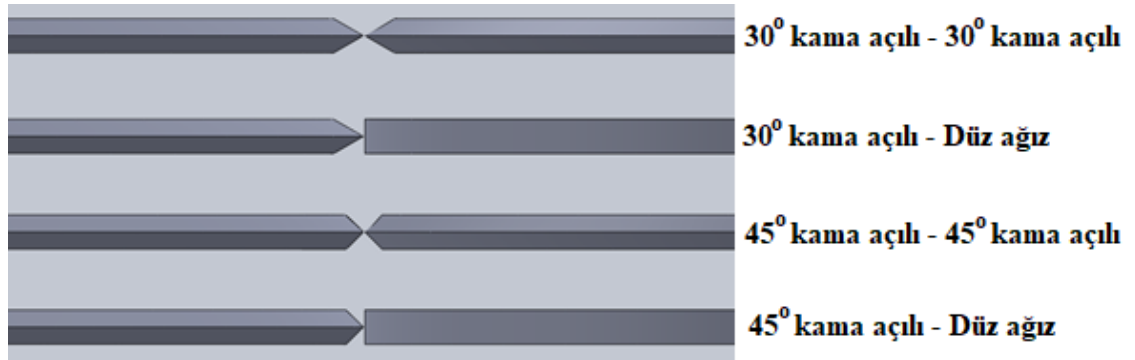
Şekil 4.4. Disk bıçakların dönüş yönleri

Deney düzeneğinde kesme işini sağlayacak olan disk şeklinde dönerek çalışan bıçaklar (3 ve 4), boyutları ($\varnothing 150$, $\varnothing 180$ ve $\varnothing 210$ mm) ve ağız yapıları (30° , 45° kama açılı ve düz ağız) bakımından farklı özelliklere sahiptir. Farklı boyutlardaki disklerin kullanılabilmesi için düzeneğin üzerinde yer alan karşı bıçak yatağı (5), ayarlanabilir şekilde tasarlanmıştır. Karşı bıçak yatağı kaydırılarak yeni bir ayar verilmek istendiğinde, kayar yatağı tutan civatalar gevşetilip arzu edilen miktarda sürüklenerek, civataları tekrar sıkılmaktadır (Şekil 4.5).



Şekil 4.5. Karşı bıçağın mesafe ayarı

Farklı kesme durumları (disk bıçak çapları, bıçak ağız açıları ve bıçak ağız tipleri) oluşturularak, disk bıçaklar tarafından yapılan kesme işi sonrasında, “harcanan enerji miktarı” değerleri ölçülmüş ve “kesme kalitesi” değerlendirilmiştir. Bu nedenle farklı bıçak ağız tipleri, karşılıklı olarak 30°-30° kama ağızlı, 45°-45° kama ağızlı, 30°-Düz ağız ve 45°-Düz ağızlı olacak şekilde, disk bıçaklı kesme deney düzeneğine bağlanmış (Şekil 4.6) ve kesme denemeleri yapılmıştır.

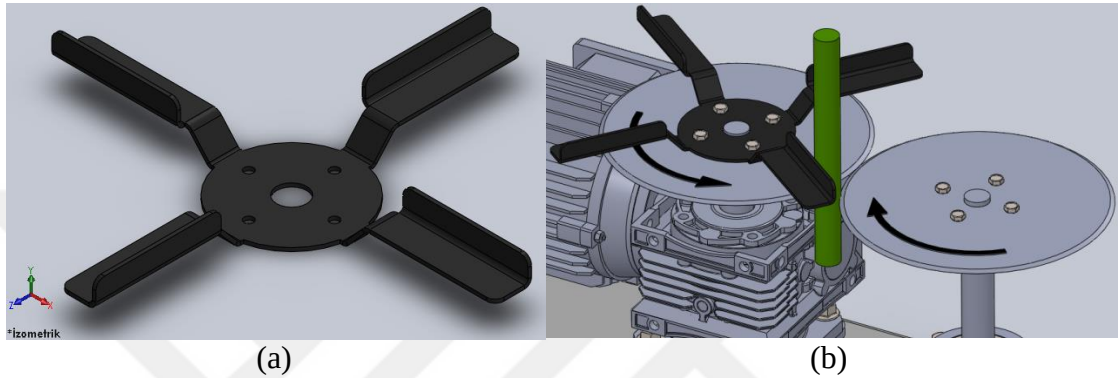


Şekil 4.6. Kesme denemelerinde kullanılan bıçak ağız tipleri

Disk bıçaklar ile sapların yakalanma koşulu teorik olarak hesaplanmış sonuçlar Çizelge 4.1’de verilmiş ve özellikle 20 mm çaplı bitki saplarının disk bıçaklar tarafından teorik olarak yakalanamadığı görülmüştü. Deneyler 10.0±1, 15.0±1 ve 20.0±1 mm çaplı bitki saplarının kesilmesi üzerinden yürütülmüştür. Ancak tarla koşullarında 20 mm’den daha büyük çaplı bitki sapları da olabilecektir. Bu yüzden, tüm sapların kesilmesinin kesinlikle sağlanması gerekmektedir. Bunu sağlayabilmek için de bir sap yedirme aparatı

tasarlanmıştır (Şekil 4.7-a). Bu aparat, dört adet kanadı olan, 2.5 mm kalınlığındaki sac malzemeden lazer CNC ile kesilip, bükülerek imal edilmiştir.

Sap yedirme aparatı, elektrik motoruna bağlı tahrik milindeki disk bıçak üzerine dört adet cıvata ile bağlanmaktadır. Sap yedirme aparatı üzerindeki kanatlar, bıçaklar ile birlikte dönmekte ve bıçaklar arasına gelen bitki saplarını, sürtünme kuvveti olsun veya olmasın, bıçaklara doğru ittirerek kesilmelerini garanti etmektedir (Şekil 4.7-b).



Şekil 4.7. Sap yedirme aparatı (a) ve kesme deney düzeneğindeki işlevi (b)

Ayrıca, disk bıçak mili devir sayısının istenilen değerlerde ayarlanabilmesi için elektronik hız kontrol ünitesi kullanılmıştır. Elektrik motor devir sayısı, elektrik panosu üzerinde yer alan bir potansiyometre ile kontrol edilmektedir.

Tasarlanan bu deney düzeneğinde, bitki saplarının kesilmesi esnasında harcanan enerjinin, elektrik motorunun kesme anında harcamış olduğu elektrik enerjisine eşit olduğu varsayılmıştır. Kesme anındaki elektrik enerjisinin ölçülebilmesi için de bir elektrik sarfiyat ölçüm cihazı (Şekil 4.8) kullanılmıştır.



Şekil 4.8. Elektrik sarfiyat ölçüm cihazı ile kesme enerjisi ölçümü

Bu cihaz güç tüketimini W (Watt) olarak ölçmektedir. Bilindiği gibi Watt, bir güç birimidir ve birim zamanda yapılan iş miktarını gösterir. Enerjinin (Joule), zamana (second) oranıyla elde edilebilir. Bıçakların kesme süresi 1 saniyede yapılacak şekilde ayarlanırsa, enerji tüketimi $(J/s).s = J$ olur. Böylece kesme için harcanan enerji miktarı doğrudan elde edilmiş olur. Bu nedenle, disk bıçakların dönü hızı, bıçağın bir sapı yaklaşık 1 s süre içerisinde kesmesi gerekliliğine göre ayarlanmıştır.

Kesme diski üzerinde bulunan sap yedirme aparatında 4 adet kanat bulunmaktadır. Disk bıçakları döndüren milin devri, kanat sayısına göre ayarlanmıştır. Yani disk bıçak bir devrini yaklaşık 4 s sürede tamamlamalıdır. Buradan disk bıçakların devir sayısının 15 min^{-1} olacak şekilde ayarlanma gerekliliği ortaya çıkmıştır. Bu durumda 150, 180 ve 210 mm çaplı disk bıçakların çizgisel hızları sırasıyla; 0.24, 0.27 ve 0.33 m/s şeklinde oluşmaktadır.

4.3. Deney Sonuçları – Disk Bıçaklar ile Kesme İşlemi

Disk bıçaklı kesme deney düzeneği, daha önce de bahsedildiği gibi karşılıklı olarak yerleştirilmiş iki adet disk bıçağın birbirine göre ters yönde dönmesi ile bitki

saplarını kesmesi ve tam bu sırada tüketilen elektrik enerjisinin ölçülmesi esasına göre tasarlanmıştır (Şekil 4.9).



Şekil 4.9. Disk bıçaklı kesme deney düzeneği ve ölçüm cihazı

El ile verilen susam bitki sapları, disk bıçaklı kesme deney düzeneği tarafından bir saniye süre içerisinde kesilmektedir. (Şekil 4.10).



Şekil 4.10. Disk bıçaklı kesme deney düzeneği ile bitki saplarını kesme işlemi

Hasat olgunluğuna gelen susam bitkileri deneme alanından sökülerek alınmıştır. Kök bölgesinin yaklaşık olarak 10 cm üzerinden laboratuvar koşullarında kesilerek denemeler yapılmıştır. Kesme işlemi belirli bitki çapları (10 ± 1 , 15 ± 1 ve 20 ± 1 mm) için yapılmıştır. Bu denemelerin sonucunda elde edilen veriler SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) programında değerlendirilmiştir.

4.3.1. Sap Çapına Göre Enerji Tüketimi

10 mm çaplı susam saplarının disk bıçak çiftleri tarafından kesilmeleri sırasında harcanan ortalama enerji tüketim değerleri Çizelge 4.2’de görülmektedir.

Çizelge 4.2. 10 mm çaplı susam saplarının kesilmeleri sırasında harcanan ortalama enerji tüketim değerleri

Disk Bıçak Çiftleri	Disk Çapları, mm	Enerji tüketimi, J
30° Ağız-30° Ağız	150	5.4±0.6
	180	3.4±0.6
	210	6.8±2.2
45° Ağız-45° Ağız	150	6.8±0.7
	180	5.8±1.1
	210	4.5±0.8
30° Ağız-Düz° Ağız	150	5.7±0.9
	180	7.1±1.4
	210	7.4±2.3
45° Ağız-Düz° Ağız	150	5.9±1.9
	180	6.3±0.5
	210	6.1±0.8

10 mm susam bitkisi sap çapında disk bıçak çapı ve disk bıçak ağızı kama açısının enerji tüketimine etkilerinin incelendiği varyasyon analiz tablosu Çizelge 4.3’de ve Duncan Testi sonuçları da Çizelge 4.4’de verilmiştir.

Çizelge 4.3. Disk bıçak ağızı kama açısı ve disk bıçak çapının enerji tüketimine etkileri varyasyon analiz tablosu (Bitki sap çapı 10 mm)

Varyasyon Kaynakları	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F	Sig.
Genel	150.9	59			
BA	17.5	3	5.8	3.3	.025
DC	2.8	2	1.4	0.8	.442
BA*DC	47.8	6	7.9	4.6	.001
Hata	82.7	48	1.7		

BA: Bıçak Açısı, DC: Disk Çapı

Çizelge 4.4. Enerji tüketimi Duncan ^{a * b} testi sonuçları (Bitki sap çapı 10 mm)

BA	N	Enerji*	DC	N	Enerji*
30°-30°	15	5.2 ^a	180	20	5.7 ^a
45°-45°	15	5.7 ^{ab}	150	20	5.9 ^a
45°-Düz	15	6.1 ^{ab}	210	20	6.2 ^a
30°-Düz	15	6.7 ^b			
P		<0.05			>0.05

*Farklı harflendirmeler, aynı sütun içerisindeki istatistiksel farklılıkları nitelendirmektedir.

Bıçak ağızı kama açısının 10 mm sap kalınlığına sahip susamların kesimi için harcanan enerji değerleri üzerine etkisinin istatistiksel olarak önemli olduğu tespit edilmiştir ($p<0.05$). Deney düzeneğinde kullanılan disk bıçaklar, 10 mm çaplı susam saplarını kesme başarısı bakımından değerlendirildiğinde 30° kama açısına sahip disk bıçak, en düşük kesme enerjisi harcaması bakımından diğerine göre çok daha başarılı bulunmuştur.

Disk çapının 10 mm sap kalınlığına sahip susamların kesimi için harcanan enerji değerleri üzerine etkisinin istatistiksel olarak önemli olmadığı tespit edilmiştir ($p>0.05$).

Bıçak açısı ve Disk çapı interaksyonunun 10 mm sap kalınlığına sahip susamların kesimi için harcanan enerji değerleri üzerine etkisinin istatistiksel olarak önemli olduğu tespit edilmiştir ($p<0.001$).

15 mm çaplı susam saplarının disk bıçak çiftleri tarafından kesilmeleri sırasında harcanan ortalama enerji tüketim değerleri Çizelge 4.5’de görülmektedir.

Çizelge 4.5. 15 mm çaplı susam saplarının kesilmeleri sırasında harcanan ortalama enerji tüketim değerleri

Disk Bıçak Çiftleri	Disk Çapları, mm	Enerji tüketimi, J
30° Ağız-30° Ağız	150	6.7±2.5
	180	10.6±7.9
	210	10.0±2.8
45° Ağız-45° Ağız	150	9.4±1.7
	180	8.1±1.6
	210	5.7±1.4
30° Ağız-Düz Ağız	150	10.3±1.5
	180	6.5±0.7
	210	8.5±2.0
45° Ağız-Düz Ağız	150	12.4±2.6
	180	6.2±1.0
	210	38.4±16.0

15 mm susam bitkisi sap çapında disk bıçak çapı ve disk bıçak ağız kama açısının enerji tüketimine etkilerinin incelendiği varyasyon analiz tablosu Çizelge 4.6’da ve Duncan Testi sonuçları da Çizelge 4.7’de görülmektedir.

Çizelge 4.6. Disk bıçak ağız kama açısı ve disk bıçak çapının enerji tüketimine etkileri varyasyon analiz tablosu (Bitki sap çapı 15 mm)

Varyasyon Kaynakları	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F	Sig.
Genel	5724.8	59			
BA	1274.2	3	424.7	14.3	.000
DC	665.7	2	332.8	11.2	.000
BA*DC	2368.4	6	394.7	13.3	.000
Hata	1416.4	48	29.5		

BA: Bıçak Açısı, DC: Disk Çapı

Çizelge 4.7. Enerji tüketimi Duncan ^a*^b testi sonuçları (Bitki sap çapı 15 mm)

BA	N	Enerji	DC	N	Enerji
30°-30°	15	7.7 ^a	180	20	7.8 ^a
45°-45°	15	8.4 ^a	150	20	9.7 ^a
45°-Düz	15	9.0 ^a	210	20	15.6 ^b
30°-Düz	15	19.0 ^b			
P		<0.001			<0.001

Bıçak ağızı kama açısının 15 mm sap kalınlığına sahip susamların kesimi için harcanan enerji değerleri üzerine etkisinin istatistiksel olarak önemli olduğu tespit edilmiştir ($p<0.001$). Deney düzeneğinde kullanılan disk bıçaklar, 15 mm çaplı susam saplarını kesme başarısı bakımından değerlendirildiğinde 30° kama açısına sahip disk bıçak, en düşük kesme enerjisi harcaması bakımından diğerlerine göre çok daha başarılı bulunmuştur.

Disk çapının 15 mm sap kalınlığına sahip susamların kesimi için harcanan enerji değerleri üzerine etkisinin istatistiksel olarak önemli olduğu tespit edilmiştir ($p<0.001$). Deney düzeneğinde kullanılan disk bıçaklar, 15 mm çaplı susam saplarını kesme başarısı bakımından değerlendirildiğinde 180 ve 150 mm çaplı disk bıçaklar, en düşük kesme enerjisi harcaması bakımından diğerine göre çok daha başarılı bulunmuştur.

Bıçak açısı ve Disk çapı interaksyonunun 15 mm sap kalınlığına sahip susamların kesimi için harcanan enerji değerleri üzerine etkisinin istatistiksel olarak önemli olduğu tespit edilmiştir ($p<0.001$).

20 mm çaplı susam saplarının disk bıçak çiftleri tarafından kesilmeleri sırasında harcanan ortalama enerji tüketim değerleri Çizelge 4.8’de görülmektedir.

Çizelge 4.8. 20 mm çaplı susam saplarının kesilmeleri sırasında harcanan ortalama enerji tüketim değerleri

Disk Bıçak Çiftleri	Disk Çapları, mm	Enerji tüketimi, J
30° Ağız-30° Ağız	150	37.5±8.2
	180	14.6±5.5
	210	23.0±9.6
45° Ağız-45° Ağız	150	11.3±3.3
	180	85.6±31.8
	210	14.3±3.8
30° Ağız-Düz Ağız	150	41.7±7.9
	180	21.4±5.7
	210	25.4±7.7
45° Ağız-Düz Ağız	150	456.2±19.2
	180	390±25.9
	210	40.8±15.8

20 mm susam bitkisi sap çapında disk bıçak çapı ve disk bıçak ağız kama açısının enerji tüketimine etkilerinin incelendiği varyasyon analiz tablosu Çizelge 4.9’da ve Duncan Testi sonuçları da Çizelge 4.10’da incelenebilir.

Çizelge 4.9. Disk bıçak ağız kama açısı ve disk bıçak çapının enerji tüketimine etkileri varyasyon analiz tablosu (Bitki sap çapı 20 mm)

Varyasyon Kaynakları	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F	Sig.
Genel	1320866.0	59			
BA	791869.5	3	263956.5	1187.0	.000
DC	151808.3	2	75904.1	341.3	.000
BA*DC	366514.6	6	61085.7	274.7	.000
Hata	10673.5	48	222.3		

BA: Bıçak Açısı, DC: Disk Çapı

Çizelge 4.10. Enerji tüketimi Duncan ^{a * b} testi sonuçları (Bitki sap çapı 20 mm)

BA	N	Enerji	DC	N	Enerji
30°-30°	15	25.0 ^a	180	20	25.8 ^a
45°-45°	15	29.5 ^{ab}	150	20	127.9 ^b
45°-Düz	15	37.0 ^b	210	20	136.6 ^b
30°-Düz	15	295.6 ^c			
P		<0.001			<0.001

Bıçak ağız açısının 20 mm sap kalınlığına sahip susamların kesimi için harcanan enerji değerleri üzerine etkisinin istatistiksel olarak önemli olduğu tespit edilmiştir ($p<0.001$). Deney düzeneğinde kullanılan disk bıçaklar, 20 mm çaplı susam saplarını kesme başarısı bakımından değerlendirildiğinde 30° kama açısına sahip disk bıçak, en düşük kesme enerjisi harcaması bakımından diğerlerine göre çok daha başarılı bulunmuştur.

Disk çapının 20 mm sap kalınlığına sahip susamların kesimi için harcanan enerji değerleri üzerine etkisinin istatistiksel olarak önemli olduğu tespit edilmiştir ($p<0.001$). Deney düzeneğinde kullanılan disk bıçaklar, 20 mm çaplı susam saplarını kesme başarısı bakımından değerlendirildiğinde 180 mm çaplı disk bıçak, en düşük kesme enerjisi harcaması bakımından diğerlerine göre çok daha başarılı bulunmuştur.

Bıçak açısı ve Disk çapı interaksyonunun 20 mm sap kalınlığına sahip susamların kesimi için harcanan enerji değerleri üzerine etkisinin istatistiksel olarak önemli olduğu tespit edilmiştir ($p<0.001$).

4.3.2. Disk Bıçak Ağız Tipine Göre Enerji Tüketimi

Disk bıçaklı kesme deney düzeneğinde farklı açılara sahip bıçak ağızları, keskin ağız-keskin ağız ve keskin ağız-düz ağız olacak şekilde farklı kombinasyonlar kullanılmıştır. Farklı bıçak düzenlemeleri sonucunda kesilen susam bitkisi saplarının enerji tüketim değerleri tespit edilmeye çalışılmıştır. Karşılıklı olarak yerleştirilmiş 30° Ağız-30° Ağız bıçak düzenlemesinde, bitki sap kalınlığı ve disk bıçak çaplarının enerji tüketimine etkilerinin incelendiği varyasyon analiz tablosu Çizelge 4.11’de ve Duncan Testi sonuçları da Çizelge 4.12’de verilmiştir.

Çizelge 4.11. Bitki sap kalınlığı ve disk bıçak çapının enerji tüketimine etkileri varyasyon analiz tablosu (30° Ağız-30° Ağız)

Varyasyon Kaynakları	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F	Sig.
Genel	5806.95	44			
SK	3304.39	2	1652.19	54.67	.000
DC	365.35	2	182.67	6.04	.005
SK*DC	1049.27	4	262.32	8.68	.000
Hata	1087.94	36	30.22		

SK: Sap kalınlığı, DC: Disk çapı

Çizelge 4.12. Enerji tüketimi Duncan^{a*b} testi sonuçları (30° Ağız-30° Ağız)

SK	N	Kesme Enerjisi	DC	N	Kesme Enerjisi
10	15	5.26 ^a	180	15	9.56 ^a
15	15	9.09 ^a	210	15	13.30 ^{ab}
20	15	25.05 ^b	150	15	16.54 ^b
P		<0.001			<0.001

Sap kalınlığının 30° ağız açısına sahip disklerle susamların kesimi için harcanan enerji değerleri üzerine etkisinin istatistiksel olarak önemli olduğu tespit edilmiştir ($p<0.001$). 10 ve 15 mm çaplara sahip susam saplarının kesilmesinde, 20 mm çapa sahip sapları kesmek için gerekli enerjiden çok daha az enerji gerekmektedir.

Disk çapının 30° ağız açısına sahip disklerle susamların kesimi için harcanan enerji değerleri üzerine etkisinin istatistiksel olarak önemli olduğu tespit edilmiştir ($p<0.001$). 180 mm çapa sahip diskler en düşük enerji tüketimine sahiptir.

Sap kalınlığı ve Disk çapı interaksiyonunun 30° ağız açısına sahip disklerle susamların kesimi için harcanan enerji değerleri üzerine etkisinin istatistiksel olarak önemli olduğu tespit edilmiştir ($p<0.001$).

Karşılıklı olarak yerleştirilmiş 30° Ağız-Düz Ağız bıçak düzenlemesinde, bitki sap kalınlığı ve disk bıçak çaplarının enerji tüketimine etkilerinin incelendiği varyasyon analiz tablosu Çizelge 4.13’de ve Duncan Testi sonuçları da Çizelge 4.14’de verilmiştir.

Çizelge 4.13. Bitki sap kalınlığı ve disk bıçak çapının enerji tüketimine etkileri varyasyon analiz tablosu (30° Ağız-Düz Ağız)

Varyasyon Kaynakları	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F	Sig.
Genel	6699.78	44			
SK	4820.53	2	2410.26	127.92	.000
DC	459.26	2	229.63	12.19	.000
SK*DC	741.71	4	185.43	9.84	.000
Hata	678.28	36	18.84		

SK: Sap kalınlığı, DC: Disk çapı

Çizelge 4.14. Enerji tüketimi Duncan^{a*b} testi sonuçları (30° Ağız-Düz Ağız)

SK	N	Kesme Enerjisi	DC	N	Kesme Enerjisi
10	15	6.74 ^a	180	15	11.66 ^a
15	15	8.44 ^a	210	15	13.77 ^a
20	15	29.50 ^b	150	15	19.24 ^b
P		<0.001			<0.001

Sap kalınlığının, 30°-Düz ağız olacak şekilde düzenlenmiş disklerle bitkilerin kesimi için harcanan enerji değerleri üzerine etkisinin istatistiksel olarak önemli olduğu tespit edilmiştir ($p<0.001$). 10 ve 15 mm çapa sahip sapları kesmek, diğerine göre oldukça az enerji gerektirmektedir.

Disk çapının 30°-Düz ağız çiftinde susamların kesimi için harcanan enerji değerleri üzerine etkisinin istatistiksel olarak önemli olduğu tespit edilmiştir ($p<0.001$). 180 ve 210 mm çaplara sahip diskler en düşük enerji tüketimine sahiptir.

Sap kalınlığı ve disk çapı interaksiyonunun 30°-Düz ağız açısına sahip disklerle susamların kesimi için harcanan enerji değerleri üzerine etkisinin istatistiksel olarak önemli olduğu tespit edilmiştir ($p<0.001$).

Karşılıklı olarak yerleştirilmiş 45° Ağız-45° Ağız bıçak düzenlemesinde, bitki sap kalınlığı ve disk bıçak çaplarının enerji tüketimine etkilerinin incelendiği varyasyon analiz tablosu Çizelge 4.15’de ve Duncan Testi sonuçları da Çizelge 4.16’da verilmiştir.

Çizelge 4.15. Bitki sap kalınlığı ve disk bıçak çapının enerji tüketimine etkileri varyasyon analiz tablosu (45° Ağız-45° Ağız)

Varyasyon Kaynakları	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F	Sig.
Genel	31161.89	44			
SK	9236.98	2	4618.49	39.75	.000
DC	6016.94	2	3008.47	25.89	.000
SK*DC	11724.82	4	2931.20	25.23	.000
Hata	4183.16	36	116.20		

SK: Sap kalınlığı, DC: Disk çapı

Çizelge 4.16. Enerji tüketimi Duncan^{a*b} testi sonuçları (45° Ağız-45° Ağız)

SK	N	Kesme Enerjisi	DC	N	Kesme Enerjisi
10	15	5.74 ^a	210	15	8.16 ^a
15	15	7.73 ^a	150	15	9.19 ^a
20	15	37.08 ^b	180	15	33.19 ^b
P		<0.001			<0.001

Sap kalınlığının 45° ağız açısına sahip disklerle susamların kesimi için harcanan enerji değerleri üzerine etkisinin istatistiksel olarak önemli olduğu tespit edilmiştir (p<0.001). 10 ve 15 mm çaplı bitkileri kesmek diğerine göre çok daha az enerji gerektirmektedir.

Disk çapının 45° ağız açısına sahip disklerle susamların kesimi için harcanan enerji değerleri üzerine etkisinin istatistiksel olarak önemli olduğu tespit edilmiştir (p<0.001). 210 ve 150 mm çaplara sahip diskler en düşük enerji tüketimine sahiptir.

Sap kalınlığı ve Disk çapı interaksiyonunun 45° ağız açısına sahip disklerle susamların kesimi için harcanan enerji değerleri üzerine etkisinin istatistiksel olarak önemli olduğu tespit edilmiştir (p<0.001).

Karşılıklı olarak yerleştirilmiş 45° Ağız-Düz Ağız bıçak düzenlemesinde, bitki sap kalınlığı ve disk bıçak çaplarının enerji tüketimine etkilerinin incelendiği varyasyon analiz tablosu Çizelge 4.17’de ve Duncan Testi sonuçları da Çizelge 4.18’de verilmiştir.

Çizelge 4.17. Bitki sap kalınlığı ve disk bıçak çapının enerji tüketimine etkileri varyasyon analiz tablosu (45° Ağız-Düz Ağız)

Varyasyon Kaynakları	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F	Sig.
Genel	1310014.47	44			
SK	802740.63	2	401370.32	2321.78	.000
DC	142947.72	2	71473.86	413.45	.000
SK*DC	358102.73	4	89525.68	517.87	.000
Hata	6223.38	36	172.87		

Çizelge 4.18. Enerji tüketimi Duncan ^{a*b} testi sonuçları (45° Ağız-Düz Ağız)

SK	N	Kesme Enerjisi	DC	N	Kesme Enerjisi
10	15	6.11 ^a	210	15	28.43 ^a
15	15	19.00 ^b	180	15	134.18 ^b
20	15	295.66 ^c	150	15	158.16 ^c
P		<0.001			<0.001

Sap kalınlığının 45° Ağız-Düz Ağız düzenlenmiş disk çiftinde susamların kesimi için harcanan enerji değerleri üzerine etkisinin istatistiksel olarak önemli olduğu tespit edilmiştir (p<0.001). İlk iki sapın kesim enerjisi ile üçüncüsü arasında çok büyük fark bulunmaktadır.

Disk çapının 45° Ağız-Düz Ağız düzenlenmiş disklerle susamların kesimi için harcanan enerji değerleri üzerine etkisinin istatistiksel olarak önemli olduğu tespit edilmiştir (p<0.001). 210 mm çapa sahip diskler en düşük enerji tüketimine sahiptir.

Sap kalınlığı ve Disk çapı interaksiyonunun 45° Ağız-Düz Ağız düzenlenmiş disklerle susamların kesimi için harcanan enerji değerleri üzerine etkisinin istatistiksel olarak önemli olduğu tespit edilmiştir (p<0.001).

4.4. Deney Sonuçları – Kesme Kalitesi

Daha önce de değinildiği gibi disk bıçaklı kesme deney düzeneğinde farklı açılara sahip bıçak ağızları, keskin ağız-keskin ağız ve keskin ağız-düz ağız olacak şekilde farklı kombinasyonlar kullanılmıştır. Farklı bıçak düzenlemeleri sonucunda kesilen susam

bitkisi saplarının kesilme düzgünlüğü de araştırılmıştır. Kesme kalitesi 1 ila 5 arasında, 1-Çok kötüyü, 5-Çok iyiyi temsil edecek şekilde derecelendirilmiştir.

“Çok iyi” kalitede kesim, sapların düzgün bir şekilde kesildiği ve tamamen ikiye ayrılmış halini ifade etmektedir. Şekil 4.11’de “Çok iyi” kalite sınıfında kesilmiş bir susam sapının görüntüsü yer almaktadır.



Şekil 4.11. “Çok iyi” kalitede kesilmiş susam sapı

“İyi” kalitede kesim, sapların düzgün bir şekilde kesildiği ve tam olarak ikiye ayrılmadığı ancak çok küçük miktarda kuvvet uygulayarak olarak ikiye ayrılabilirdiği halini ifade etmektedir. Şekil 4.12’de “İyi” kalite sınıfında kesilmiş bir susam sapının görüntüsü yer almaktadır.



Şekil 4.12. “İyi” kalitede kesilmiş susam sapı

“Orta” kalitede kesim, sapların düzgün bir şekilde kesildiği ancak bir miktar kuvvet uygulayarak ikiye ayrılabilirdiği halini ifade etmektedir. Şekil 4.13’de “Orta” kalite

sınıfında kesilmiş bir susam sapının görüntüsü yer almaktadır.



Şekil 4.13. "Orta" kalitede kesilmiş susam sapı

"Kötü" kalitede kesim, sapların düzgün kesilmediği ve fazladan bir miktar kuvvet uygulayarak ikiye ayrılabilirdiği halini ifade etmektedir. Şekil 4.14'de "Kötü" kalite sınıfında kesilmiş bir susam sapının görüntüsü yer almaktadır.



Şekil 4.14. "Kötü" kalitede kesilmiş susam sapı

"Çok kötü" kalitede kesim, sapın sadece kenarlarından bir miktar kesilebildiği ve onu ikiye ayrılabilmek için oldukça fazla kuvvet uygulanması gereken durumu ifade etmektedir. Şekil 4.15'de "Çok kötü" kalite sınıfında kesilmiş bir susam sapının görüntüsü yer almaktadır.



Şekil 4.15. “Çok kötü” kalitede kesilmiş susam sapı

4.4.1. Sap Çapına Göre Kesme Kalitesi

10 mm çaplı susam saplarının farklı ağız yapılı disk bıçak çiftleri tarafından kesilmeleri sonrasında değerlendirilen kesme kalitesi ortalama verileri Çizelge 4.19’da verilmiştir.

Çizelge 4.19. 10 mm çaplı susam saplarının disk bıçak çiftleri tarafından kesilmeleri sonrasında değerlendirilen kesme kalitesi ortalama verileri

Disk Bıçak Çiftleri	Disk Çapları, mm	Kesme Kalitesi
30° Ağız-30° Ağız	150	4.6±0.5
	180	2.8±1.3
	210	3.2±0.8
45° Ağız-45° Ağız	150	4.4±0.5
	180	4.4±0.5
	210	3.6±0.9
30° Ağız-Düz Ağız	150	2.6±1.1
	180	3.4±0.5
	210	2.0±0.7
45° Ağız-Düz Ağız	150	1.6±0.9
	180	2.6±1.1
	210	3.8±0.8

10 mm susam bitkisi sap çapında, disk bıçak ağızı kama açısı ve disk bıçak çapının kesme kalitesine etkilerinin incelendiğı varyasyon analiz tablosu izelge 4.20’de ve Duncan Testi sonuçları da izelge 4.21’de verilmiştir.

Çizelge 4.20. Disk bıçak ağızı kama açısı ve disk bıçak çapının kesme kalitesine etkileri varyasyon analiz tablosu (Bitki sap çapı 10 mm)

Varyasyon Kaynakları	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F	Sig.
Genel	87.25	59			
BA	23.12	3	7.70	10.27	.000
DC	0.30	2	0.15	0.20	.819
BA*DC	27.83	6	4.63	6.19	.000
Hata	36.00	48	0.75		

BA:Bıçak Açısı, DC:Disk apı

Çizelge 4.21. Kesme kalitesi Duncan ^{a*b} testi sonuçları (Bitki sap çapı 10 mm)

BA	N	Kesme Kalite	DC	N	Kesme Kalite
45°-Düz	15	2.6 ^a	210	20	3.1 ^a
30°-Düz	15	2.6 ^a	150	20	3.3 ^a
30°-30°	15	3.5 ^b	180	20	3.3 ^a
45°-45°	15	4.1 ^b			
P		<0.001			>0.05

Bıçak ağızı kama açısının 10 mm sap kalınlığına sahip susamların kesimi için kesme kaliteleri üzerine etkisinin istatistiksel olarak önemli olduğu tespit edilmiştir (p<0.001). Deney düzeneğinde kullanılan disk bıçaklar, 10 mm çaplı susam saplarını kesme kalitesi bakımından değerlendirildiğinde 30 ve 45° kama açısına sahip disk bıçak, en iyi kesme kalitesini vermesi bakımından diğerlerine göre çok daha başarılı bulunmuştur.

Disk çapının 10 mm sap kalınlığına sahip susamların kesim kalite değerleri üzerine etkisinin istatistiksel olarak önemli olmadığı tespit edilmiştir (p>0.05).

Bıçak açısı ve Disk apı interaksiyonunun 10 mm sap kalınlığına sahip susamların kesim kalite değerleri üzerine etkisinin istatistiksel olarak önemli olduğu tespit edilmiştir (p<0.001).

15 mm çaplı susam saplarının farklı ağız yapılı disk bıçak çiftleri tarafından kesilmeleri sonrasında değerlendirilen kesme kalitesi ortalama verileri izelge 4.22'de verilmiştir.



Çizelge 4.22. 15 mm çaplı susam saplarının disk bıçak çiftleri tarafından kesilmeleri sonrasında değerlendirilen kesme kalitesi ortalama verileri

Disk Bıçak Çiftleri	Disk Çapları, mm	Kesme Kalitesi
30° Ağız-30° Ağız	150	4.8±0.4
	180	3.6±1.1
	210	4.0±0.0
45° Ağız-45° Ağız	150	3.8±1.1
	180	4.2±0.8
	210	4.0±0.7
30° Ağız-Düz Ağız	150	3.4±0.9
	180	4.0±1.2
	210	3.2±0.8
45° Ağız-Düz Ağız	150	1.6±0.9
	180	2.8±1.1
	210	4.8±0.4

15 mm susam bitkisi sap çapında, disk bıçak ağızı kama açısı ve disk bıçak çapının kesme kalitesine etkilerinin incelendiği varyasyon analiz tablosu Çizelge 4.23’de ve Duncan Testi sonuçları da Çizelge 4.24’de verilmiştir.

Çizelge 4.23. Disk bıçak ağızı kama açısı ve disk bıçak çapının kesme kalitesine etkileri varyasyon analiz tablosu (Bitki sap çapı 15 mm)

Varyasyon Kaynakları	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F	Sig.
Genel	78.98	59			
BA	10.58	3	3.53	4.65	.006
DC	3.63	2	1.82	2.40	.102
BA*DC	28.37	6	4.73	6.23	.000
Hata	36.40	48	.76		

BA:Bıçak Açısı, DC:Disk Çapı

Çizelge 4.24. Kesme kalitesi Duncan ^{a**b} testi sonuçları (Bitki sap çapı 15 mm)

BA	N	Kesme Kalite	DC	N	Kesme Kalite
45°-Düz	15	3.1 ^a	150	20	3.4 ^a
30°-Düz	15	3.5 ^{ab}	180	20	3.6 ^{ab}
45°-45°	15	4.1 ^b	210	20	4.0 ^b
30°-30°	15	4.0 ^b			
P		<0.01			>0.05

Bıçak ağız açısının 15 mm sap kalınlığına sahip susamların kesime kalite değerleri üzerine etkisinin istatistiksel olarak önemli olduğu tespit edilmiştir ($p<0.01$). Deney düzeneğinde kullanılan bıçak düzenlemeleri, 15 mm çaplı susam saplarını kesme kalitesi bakımından değerlendirildiğinde 30° ve 45°'lik kama açısına sahip çiftler, en iyi kesme kalitesini vermesi bakımından diğerlerine göre daha başarılı bulunmuştur.

Disk çapının 15 mm sap kalınlığına sahip susamların kesime kalite değerleri üzerine etkisinin istatistiksel olarak önemli olmadığı tespit edilmiştir ($p>0.05$).

Bıçak ağız açısı ve disk çapı interaksiyonunun 15 mm sap kalınlığına sahip susamların kesime kalite değerleri üzerine etkisinin istatistiksel olarak önemli olduğu tespit edilmiştir ($p<0.01$).

20 mm çaplı susam saplarının farklı ağız yapılı disk bıçak çiftleri tarafından kesilmeleri sonrasında değerlendirilen kesme kalitesi ortalama verileri Çizelge 4.25'de verilmiştir.

Çizelge 4.25. 20 mm çaplı susam saplarının disk bıçak çiftleri tarafından kesilmeleri sonrasında değerlendirilen kesme kalitesi ortalama verileri

Disk Bıçak Çiftleri	Disk Çapları, mm	Kesme Kalitesi
30° Ağız-30° Ağız	150	3.8±0.8
	180	4.0±1.4
	210	3.8±0.4
45° Ağız-45° Ağız	150	2.2±1.3
	180	4.6±0.5
	210	3.0±1.2
30° Ağız-Düz Ağız	150	1.0±0.0
	180	3.8±1.3
	210	2.8±0.8
45° Ağız-Düz Ağız	150	1.0±0.0
	180	1.0±0.0
	210	3.8±1.3

20 mm susam bitkisi sap çapında, disk bıçak ağızı kama açısı ve disk bıçak çapının kesme kalitesine etkilerinin incelendiği varyasyon analiz tablosu Çizelge 4.26’da ve Duncan Testi sonuçları da Çizelge 4.27’de verilmiştir.

Çizelge 4.26. Disk bıçak ağızı kama açısı ve disk bıçak çapının kesme kalitesine etkileri varyasyon analiz tablosu (Bitki sap çapı 20 mm)

Varyasyon Kaynakları	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F	Sig.
Genel	135.40	59			
BA	32.07	3	10.69	12.22	.000
DC	24.30	2	12.15	13.89	.000
BA*DC	37.03	6	6.17	7.05	.000
Hata	42.00	48	.88		

BA:Bıçak Açısı, DC:Disk Çapı

Çizelge 4.27. Kesme kalitesi Duncan ^{a * b} testi sonuçları (Bitki sap çapı 20 mm)

BA	N	Kesme Kalite	DC	N	Kesme Kalite
45°-Düz	15	1.9 ^a	150	20	2.0 ^a
30°-Düz	15	2.5 ^a	180	20	3.3 ^b
45°-45°	15	3.9 ^b	210	20	3.3 ^b
30°-30°	15	3.3 ^b			
P		<0.001			<0.001

Bıçak kama ağız açısının 20 mm sap kalınlığına sahip susamların kesime kalite değerleri üzerine etkisinin istatistiksel olarak önemli olduğu tespit edilmiştir ($p < 0.001$). Çift olarak düzenlenmiş bıçaklar, düz ağızlı düzenlemiş olanlara göre oldukça başarılı bulunmuştur.

Disk çapının 20 mm sap kalınlığına sahip susamların kesime kalite değerleri üzerine etkisinin istatistiksel olarak önemli olduğu tespit edilmiştir ($p < 0.001$). 180 ve 210 mm çaplara sahip bıçaklar en iyi kesme kalitesini vermiştir.

Bıçak ağız açısı ve disk çapı interaksiyonunun 20 mm sap kalınlığına sahip susamların kesime kalite değerleri üzerine etkisinin istatistiksel olarak önemli olduğu tespit edilmiştir ($p < 0.001$).

4.4.2. Disk Bıçak Ağız Tipine Göre Kesme Kalitesi

Bilindiği gibi disk bıçaklı kesme deney düzeneğinde farklı açılara sahip bıçak ağızları çiftler halinde, keskin ağız-keskin ağız ve keskin ağız-düz ağız olacak şekilde kullanılmıştır. Farklı bıçak düzenlemeleri sonucunda kesilen susam bitkisi saplarının kesme kaliteleri de tespit edilmeye çalışılmıştır. Karşılıklı olarak yerleştirilmiş 30° Ağız-30° Ağız bıçak düzenlemesinde, bitki sap kalınlığı ve disk bıçak çaplarının sap kesme kalitesine etkilerinin incelendiği varyasyon analiz tablosu Çizelge 4.28’de ve Duncan Testi sonuçları da Çizelge 4.29’da verilmiştir.

Çizelge 4.28. Bitki sap kalınlığının ve disk bıçak çapının kesme kalitesine etkileri varyasyon analiz tablosu (30° Ağız-30° Ağız)

Varyasyon Kaynakları	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F	Sig.
Genel	43.91	44			
SK	2.71	2	1.36	1.72	.194
DC	7.24	2	3.62	4.59	.017
SK*DC	5.56	4	1.39	1.76	.158
Hata	28.40	36	.79		

SK: Sap Kalınlığı, DC: Disk Çapı

Çizelge 4.29. Kesme kalitesi Duncan^{a*b} testi sonuçları (30° Ağız-30° Ağız)

SK	N	Kesme Kalitesi	DC	N	Kesme Kalitesi
10	15	3.53 ^a	180	15	3.46 ^a
20	15	3.86 ^a	210	15	3.66 ^a
15	15	4.13 ^a	150	15	4.40 ^b
P		>0.05			<0.05

Sap kalınlığının 30° ağız açısına sahip disklerle susamların kesim kalite değerleri üzerine etkisinin istatistiksel olarak önemli olmadığı tespit edilmiştir (p>0.05).

Disk çapının 30° ağız açısına sahip disklerle susamların kesme kalite değerleri üzerine etkisinin istatistiksel olarak önemli olduğu tespit edilmiştir (p<0.05). 150 mm çapa sahip bıçaklar en iyi kesme kalitesini vermiştir.

Sap kalınlığı ve Disk çapı interaksiyonunun 30° ağız açısına sahip disklerle susamların kesime kalite değerleri üzerine etkisinin istatistiksel olarak önemli olmadığı tespit edilmiştir (p>0.05).

Karşılıklı olarak yerleştirilmiş 30° Ağız-Düz Ağız bıçak düzenlemesinde, bitki sap kalınlığı ve disk bıçak çaplarının sap kesme kalitesine etkilerinin incelendiği varyasyon analiz tablosu Çizelge 4.30’da ve Duncan Testi sonuçları da Çizelge 4.31’de verilmiştir.

Çizelge 4.30. Bitki sap kalınlığının ve disk bıçak çapının kesme kalitesine etkileri varyasyon analiz tablosu (30° Ağız-Düz Ağız)

Varyasyon Kaynakları	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F	Sig.
Genel	65.64	44			
SK	8.84	2	4.42	5.31	.010
DC	16.04	2	8.02	9.63	.000
SK*DC	10.76	4	2.69	3.23	.023
Hata	30.00	36	.83		

SK: Sap Kalınlığı, DC: Disk Çapı

Çizelge 4.31. Kesme kalitesi Duncan ^a*^b testi sonuçları (30° Ağız-Düz Ağız)

SK	N	Kesme Kalitesi	DC	N	Kesme Kalitesi
20	15	2.53 ^a	150	15	2.33 ^a
10	15	2.66 ^a	210	15	2.66 ^a
15	15	3.53 ^b	180	15	3.73 ^b
P		<0.05			<0.001

Sap kalınlığının 30°Ağız-Düz ağız çifti şeklinde düzenlenmiş disklerle susamların kesilme kalite değerleri üzerine etkisinin istatistiksel olarak önemli olduğu tespit edilmiştir (p<0.05). 15 mm çapa sahip sapların kesilme kalitesi, 10 ve 20 mm olanlardan daha iyidir.

Disk çapının 30° Ağız-Düz ağız çifti şeklinde düzenlenmiş disklerle susam saplarının kesilme kalite değerleri üzerine etkisinin istatistiksel olarak önemli olduğu tespit edilmiştir (p<0.001). 180 mm çapa sahip disklerin kesme kalitesi, 150 ve 210 mm olandan daha iyidir.

Sap kalınlığı ve Disk çapı interaksiyonunun 30° Ağız-Düz ağız çifti şeklinde düzenlenmiş disklerle susam saplarının kesime kalite değerleri üzerine etkisinin istatistiksel olarak önemli olduğu tespit edilmiştir (p<0.05).

Karşılıklı olarak yerleştirilmiş 45° Ağız-45° Ağız bıçak düzenlemesinde, bitki sap kalınlığı ve disk bıçak çaplarının sap kesme kalitesine etkilerinin incelendiği varyasyon analiz tablosu Çizelge 4.32’de ve Duncan Testi sonuçları da Çizelge 4.33’de verilmiştir.

Çizelge 4.32. Bitki sap kalınlığının ve disk bıçak çapının kesme kalitesine etkileri varyasyon analiz tablosu (45° Ağız-45° Ağız)

Varyasyon Kaynakları	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F	Sig.
Genel	53.20	44			
SK	6.53	2	3.27	4.03	.026
DC	8.13	2	4.07	5.01	.012
SK*DC	9.33	4	2.33	2.88	.036
Hata	29.20	36	.81		

SK: Sap Kalınlığı, DC: Disk Çapı

Çizelge 4.33. Kesme kalitesi Duncan ^{a * b} testi sonuçları (45° Ağız-45° Ağız)

SK	N	Kesme Kalitesi	DC	N	Kesme Kalitesi
20	15	3.26 ^a	150	15	3.46 ^a
15	15	4.00 ^b	210	15	3.53 ^a
10	15	4.13 ^b	180	15	4.40 ^b
P		<0.05			<0.05

Sap kalınlığının 45° Ağız açısına sahip disklerle susam sapların kesime kalite değerleri üzerine etkisinin istatistiksel olarak önemli olduğu tespit edilmiştir (p<0.05). 10 ve 15 mm çaplara sahip sapların kesim kalitesi, 20 mm olandan daha iyidir.

Disk çapının 45° ağız açısına sahip disklerle susamların kesilme kalite değerleri üzerine etkisinin istatistiksel olarak önemli olduğu tespit edilmiştir (p<0.05). 180 mm çapa sahip disklerin kesme kalitesi, 150 ve 210 mm olandan daha iyidir.

Sap kalınlığı ve Disk çapı interaksiyonunun 45° ağız açısına sahip disklerle susamların kesime kalite değerleri üzerine etkisinin istatistiksel olarak önemli olduğu tespit edilmiştir (p<0.05).

Karşılıklı olarak yerleştirilmiş 45° Ağız-Düz Ağız bıçak düzenlemesinde, bitki sap kalınlığı ve disk bıçak çaplarının sap kesme kalitesine etkilerinin incelendiği varyasyon analiz tablosu Çizelge 4.34’de ve Duncan Testi sonuçları da Çizelge 4.35’de verilmiştir.

Çizelge 4.34. Bitki sap kalınlığının ve disk bıçak çapının kesme kalitesine etkileri varyasyon analiz tablosu (45° Ağız-Düz Ağız)

Varyasyon Kaynakları	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F	Sig.
Genel	101.11	44			
SK	9.91	2	4.96	6.66	.003
DC	60.04	2	30.02	40.33	.000
SK*DC	4.36	4	1.09	1.46	.234
Hata	26.80	36	.74		

SK: Sap Kalınlığı, DC: Disk Çapı

Çizelge 4.35. Kesme kalitesi Duncan ^a*^b testi sonuçları (45° Ağız-Düz Ağız)

SK	N	Kesme Kalitesi	DC	N	Kesme Kalitesi
20	15	1.93 ^a	150	15	1.40 ^a
10	15	2.66 ^b	180	15	2.13 ^b
15	15	3.06 ^b	210	15	4.13 ^c
P		<0.05			<0.001

Sap kalınlığının 45° ağız-Düz ağız çifti şeklinde düzenlenmiş disklerle susamların kesime kalite değerleri üzerine etkisinin istatistiksel olarak önemli olduğu tespit edilmiştir (p<0.05). 10-15 mm çaplara sahip sapların kesime kalitesi, 20 mm olandan daha iyidir.

Disk çapının 45° ağız-Düz ağız çifti şeklinde düzenlenmiş disklerle susamların kesime kalite değerleri üzerine etkisinin istatistiksel olarak önemli olduğu tespit edilmiştir (p<0.001). 210 mm çapa sahip disklerin kesme kalitesi, diğerlerinden daha iyidir.

Sap kalınlığı ve Disk çapı interaksyonunun 45° ağız-Düz ağız çifti şeklinde düzenlenmiş disklerle susamların kesime kalite değerleri üzerine etkisinin istatistiksel olarak önemli olmadığı tespit edilmiştir (p>0.05).

4.5. Deney Sonuçları – Makaslama Kesme

Makaslama kesme deneyleri, karşılıklı iki adet yaprak bıçağın makaslama etkisi oluşturacak şekilde, 10, 15 ve 20 mm çaplı susam bitkisi saplarının 5'er tekrarlı olarak

kesilmesi şekilde uygulanmıştır. Deneylerin sonucunda kesilen bitki sapında, birim alan başına tüketilen kesme enerjisi miktarları belirlenmeye çalışılmıştır.

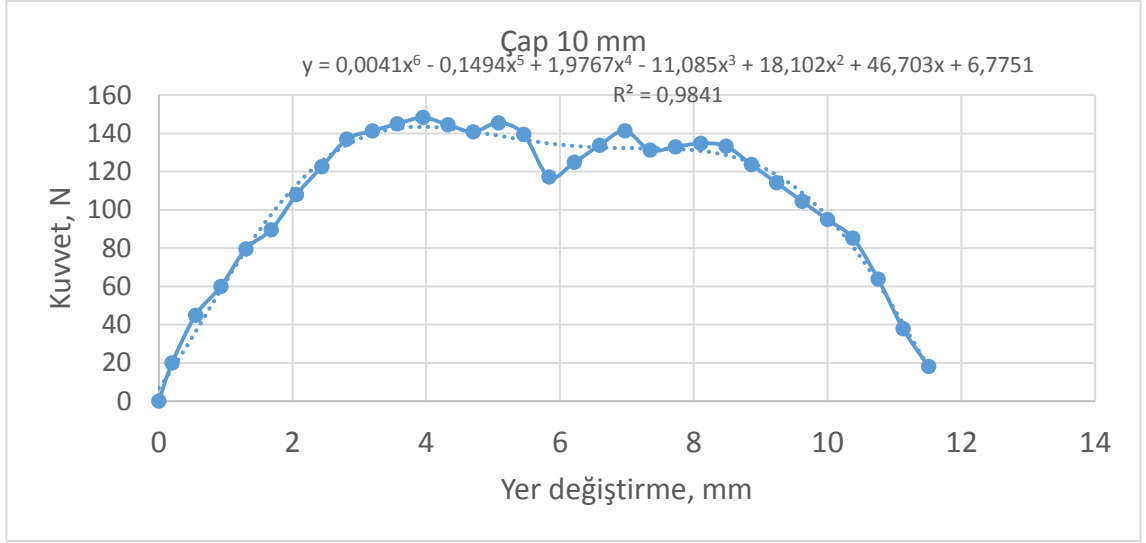
Makaslama kesme deney düzeneği, daha önce de bahsedildiği gibi karşılıklı olarak yerleştirilmiş, biri sabit diğeri hareketli iki adet yaprak bıçağın bitki saplarını kesmesi ve tam bu sırada tüketilen enerjinin hesaplanması işinde kullanılmaktadır (Şekil 4.16).



Şekil 4.16. Makaslama kesme esaslı deney düzeneği

Hasat olgunluğuna gelen susam bitkileri deneme alanından sökülmüş ve yan dalları koparılarak temizlenmiştir. Denemeler, bitki sapları kök bölgesinin yaklaşık olarak 10 cm üzerinden laboratuvar koşullarında kesilerek gerçekleştirilmiştir. Kesme işlemi 10 ± 1 , 15 ± 1 ve 20 ± 1 mm bitki çaplarında yapılmıştır.

Susam bitkisi saplarının makaslama kesme sırasında kuvvet-yer değiştirme değerleri elde edilmiştir. Bu değerler Excel programına girilerek, grafik haline getirilmiştir (Şekil 4.17). Bu grafiğin altında kalan alan toplam kesme enerjisi değerini vermektedir. Bu değeri hesaplayabilmek için grafiği tanımlayan denklemlerin, grafikteki yer değiştirme değerlerinin minimum ve maksimum değerleri için, integralleri alınmıştır.



Şekil 4.17. Örnek bir kuvvet-yer değiştirme grafiği

Son olarak elde edilen enerji değeri, kesilen sap kesit alanına oranlanarak birim alan başına tüketilen kesme enerjisi miktarları hesaplanmıştır. Makaslama kesme denemelerinden elde edilen verilerin ortalama değerleri Çizelge 4.36’da verilmiştir.

Çizelge 4.36. Makaslama kesmede farklı çaplardaki susam bitkisi saplarının birim alan başına enerji tüketim değerleri

	10 mm	15 mm	20 mm
Sap çapları, mm	10.04±0.09	14.86±0.54	20.50±0.60
Kesme Enerjisi, J	1.29±0.08	3.78±0.84	7.84±0.34
Alan, mm ²	79.17±1.42	173.61±12.64	330.27±18.92
Kesme Enerji, mJ	1296.06±81.30	3780.89±844.26	7841.64±335.52
Birim alana harcanan enerji, mJ/mm ²	16.36±0.85	21.61±3.59	23.82±2.02

Makaslama kesmede farklı çaplardaki susam bitkisi saplarının birim alan başına enerji tüketimine etkisinin incelendiği varyasyon analiz tablosu Çizelge 4.37’de ve Duncan Testi sonuçları da Çizelge 4.38’de görülmektedir.

Çizelge 4.37. Makaslama kesmede farklı çaplardaki susam bitkisi saplarının birim alan başına enerji tüketimine etkisi

	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F	Sig.
Gruplar arası	146.80	2	73.40	12.45	0.001
Grup içi	70.73	12	5.89		
Toplam	217.54	14			

Çizelge 4.38. Duncan ^a * ^b testi sonuçları

Cap	N	Enerji
10	5	16.364 ^a
15	5	21.620 ^b
20	5	23.821 ^b
P		<0.001

Makaslama kesmede farklı çaplardaki susam bitkisi saplarının birim alan başına enerji tüketimine etkisi önemli bulunmuştur. Bitki sap çapı büyüdükçe (15 ve 20 mm) kesme için gerekli olan birim alan başına enerji miktarı fazladan artmaktadır.

Yapılan çalışmaların bir kısmı sadece dal kesme dirençlerinin tespit edilmesine yönelik olmuştur (Özcan ve İlbuğa, 1998; Polat, 2002; Sessiz ve ark., 2018).

Kocabıyık & Kayışoğlu (2004) ve İnce & ark. (2005) tarafından yapılan çalışmalarda ayçiçeği saplarının kesilmesi için gereken kesme kuvvetleri ve maksimum kesme gerilme değerleri belirlenmiştir. Çalışmalarında farklı nem içerikleri veya bitki sapının farklı bölgelerinde kesme denemeleri yapmışlar ve benzer sonuçlar elde etmişlerdir. Bitki nem içeriği arttıkça kesme gerilmesinin ve özel kesme enerjisinin arttığını, sapın alt bölgesinde hem kesme stresi hem de özgül kesme enerjisi daha yüksek bulunmuştur.

Benzer bir çalışma Amirian ve ark. (2017) tarafından, nohut sapının bazı fiziksel ve kesme özellikleri üzerindeki nem miktarının ve sap kısmının etkilerini belirlemek için yapılmıştır. Bitki sapının fiziksel özelliklerinin değerleri artan nem miktarı ile beraber artmıştır. Değerleri ayrıca sapın alt bölgesine doğru da artmıştır.

Yine benzer bir çalışma Kamandar ve Jafar (2017) tarafından şimşir sapının farklı boğumlarında kesme mukavemetini, kesme kuvvetini, kesme enerji gereksinimini

ölçmek için dört farklı yükleme hızında yapılmıştır. Hem yükleme hızlarında hem de boğumlar arasında sonuçlar arasında istatistiksel farklar bulunmuştur.

Tarafımızdan yapılan çalışmada ise özelde susam bitkisinin, genelde benzer ürünlerin, hasadında kullanılması muhtemel bir hasat başlığı için diskli kesme sistemi tasarlanmış, imal edilmiş ve çeşitli parametrelerde (disk bıçak çapı, disk ağız açısı vb.) denenmiştir. Susam sapının kesilmesine yönelik önceden yapılmış bir çalışmaya rastlanmamıştır. Kesme ve budama ile ilgili daha önceki çalışmaların hepsinde kesme kuvvetleri, gerilmeleri vb. makaslama kesme yöntemi kullanılarak elde edilmiştir. Bu nedenle çalışmamızda susam saplarının makaslama kesme yöntemiyle kesilmesine de yer verilmiştir.

Makaslama kesme yöntemlerinde, üzerlerinde yer alan yük hücreleri sayesinde, doğrudan kesme kuvvetleri elde edilebilmektedir. Ancak çalışmamızda geliştirdiğimiz diskli kesme düzeninde, üzerinde bir yük hücresi olmadığından dolayı, doğrudan kesme kuvveti elde edilememektedir. Bunun yerine disk bıçakları çeviren elektrik motorunun yüklenme anında harcamış olduğu elektrik enerjisi üzerinden ölçümler yapılmaya çalışılmıştır.

Çalışmamızda her iki yöntemi de kullanarak elde ettiğimiz kesme enerjisi değerlerini kıyaslayacak olursak, disk bıçaklı kesmede 10 mm çaplı bitki sapını kesmek için 2.8-7.2 J (30° Ağız-30° Ağız) arasında enerji gerekmektedir. Makaslama kesme sisteminde ise 1.2-1.4 J (40° Ağız, tek yön) arasında enerji gerekmektedir. İki yöntem arasında 2-3 kat fark vardır.

Disk bıçaklı kesmede 15 mm çaplı bitki sapını kesmek için 4.2-18.5 J (30° Ağız-30° Ağız) arasında enerji gerekmektedir. Makaslama kesme sisteminde ise 14.3-15.4 J (40° Ağız, tek yön) arasında enerji gerekmektedir. Her iki yöntemin değerleri birbiri içindedir ve yakındır.

Disk bıçaklı kesmede 20 mm çaplı bitki sapını kesmek için 9.1-45.7 J (30° Ağız-30° Ağız) arasında enerji gerekmektedir. Makaslama kesme sisteminde ise 19.9-21.1 J (40° Ağız, tek yön) arasında enerji gerekmektedir. Her iki yöntemin değerleri birbiri içindedir ve yakındır.

Görüldüğü gibi makaslama kesmede ortaya çıkan değerler birbirine daha yakın, diğer yöntemde ise oldukça aralık açıktır. Buna sebebi, 3 farklı çapta disk bıçak kullanılmış olmasıdır. Enerji tüketimi bakımından sonuçlar, gelecek vaat etmektedir.

Kesme kalitesi bakımından her iki yöntem karşılaştırılacak olursa, makaslama kesme yönteminde kesmenin sonuçlanması için bıçakların bitki sapını çapı boyunca keserek yol alması gerekmektedir. Böylece tam kesme gerçekleşir. Makaslama kesme sistemlerinde ayar bozuklukları, kırık bıçaklar vb. sebeplerle tam kesmenin gerçekleşmediği durumlar oluşabilmektedir. Ancak, literatürde yer alan çalışmaların büyük çoğunluğu zaten laboratuvar koşullarında yapıldığından bu tür sorunlar oluşmamakta ve rapor edilmemektedir.

Disk bıçaklı kesme sisteminde ise bıçakların bağlı olduğu millerde esneme olabileceğinden, bazı sapların kesilmeleri tam olarak gerçekleşmemiştir. Ancak yine de 10 mm sap çapı için orta ve üzeri, 15 mm sap çapı için orta ve üzeri ve 20 mm sap çapı için orta ve üzeri kalitede kesimler gerçekleşmiştir. Çardak (2017) yolma esaslı çalışan bir susam hasat başlığı üzerinde çalışmış, bitkinin toprak doğrudan sökülmesinin güç olduğunu, bitki kök bölgesi gevşetilmeden veya bitki sapı alt kısımdan kesilmeden bitkilerin toplanmasının çok zor olduğunu belirtmiştir. Bitki sapları disk bıçaklar ile kesildiğinde, kötü kalitede bir kesme gerçekleşse bile, yolucu başlık bitki sapını sap kesitinde mukavemet bakımından rahatlıkla koparabilecek kadar oldukça fazla zayıflama oluşturabilecektir. Bu kesme sistemi böylesi bir hasat başlığında kullanılabilmesi bakımından gelecek vaat etmektedir.

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Susam sapları ile bıçak malzemesi arasında oluşan sürtünme katsayısı değeri 0.46 ± 0.02 olarak bulunmuştur. Bitki örnekleri nem değeri (y.b.) ise $\%65 \pm 2$ olarak tespit edilmiştir.

Bıçak ağız kama açısının 10, 15 ve 20 mm sap kalınlığına sahip susamların kesimi için harcanan enerji değerleri üzerine etkisi önemlidir ve 30° kama açısına sahip disk bıçak, en düşük kesme enerjisini harcamıştır. Disk çapının 15 ve 20 mm sap kalınlığına sahip susamların kesimi için harcanan enerji değerleri üzerine etkisi önemlidir ve 180 mm çapa sahip disk bıçak, en düşük kesme enerjisini vermiştir.

Sap kalınlığının 30° - 30° , 30° -Düz, 45° - 45° ve 45° -Düz ağızlara sahip disk çiftleri ile kesimde, harcanan enerji değerleri üzerine etkisi önemli bulunmuş ve iri sapların kesiminde daha fazla enerji gerekmiştir. Disk çapı arttıkça, tüm ağız çiftleri için, sapların kesimi için harcanan enerji değerleri düşmektedir.

Bıçak ağız kama açısının 10, 15 ve 20 mm sap kalınlığına sahip susamların kesimi için kesme kaliteleri üzerine etkisinin önemli olduğu tespit edilmiş, 30° ve 45° 'lik ağız açısına sahip bıçak çiftleri, kesme kaliteleri bakımından en uygun olanlardır.

Sap kalınlıkları dikkate alındığında, çift olarak düzenlenmiş bıçaklar, düz ağızlı düzenlemiş olanlara göre kesme kalitesi bakımından oldukça başarılı bulunmuştur. Farklı düzenlenmiş disk çiftlerinde, 180 ve 210 mm çaplara sahip bıçaklar en iyi kesme kalitesini vermiştir.

Makaslama kesmede, sap çapı farkının, birim alan başına enerji tüketimine etkisi önemli bulunmuştur. Sap çapı arttıkça (15 ve 20 mm) kesme için gerekli olan birim alan başına enerji miktarı fazladan artmaktadır. Hem makaslama kesme hem de disk kesme sisteminde elde edilen kesme enerjisi değerleri birbirine yakın bulunmuştur.

Disk bıçaklı kesme sistemi, gelecek vaat etmektedir. Bu kesme sistemi susam ve benzeri sıraya ekilen bitkilerin hasadında kullanılabilir.

KAYNAKLAR

- Amirian, F., Shahbazi, F., Garavand, A.T., 2017. Effects of moisture content and level in the crop on the shearing properties of chickpea stem. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 19(4): 187-192.
- Anonim, 1980. **Tarla bitkileri ders notları**. Ankara Üni. Zir. Fak. Yayınları. Teksir No: 38.
- Anonim, 2009. International Union for the Protection of New Varieties of Plants. https://www.upov.int/edocs/mdocs/upov/en/twa/38/tg_sesame_proj_4.pdf (Erişim tarihi: 13.06.2020)
- Arioğlu, H., 2007. **Yağ bitkileri yetiştirme ve ıslahı**. Çukurova Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Yayınları, Adana, 142 s.
- Ashri, A. 1998. **Sesame breeding**. In: J. Janick (Editor). *Plant Breeding Reviews*. 16:179-228.
- Atakışi, G.K., 1985. **Yağ bitkileri yetiştirme ve ıslahı**. Çukurova Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Ders Kitapları, Yayın No:47, :120.
- Atakışi, İ.K. 1999. **Yağ bitkileri yetiştirme ve ıslahı**. Trakya Üniversitesi. Tekirdağ Ziraat Fakültesi. Yayın No: 148. Ders Kitabı No: 10.
- Bakal, H. ve Arioğlu, H., 2013. Çukurova bölgesinde ikinci ürün susam (*Sesamum indicum* L.) tarımında farklı ekim yöntemlerinde oluşturulan farklı bitki yoğunluklarının verim ve kalite üzerindeki etkileri. **Ç.Ü.Z.F. Dergisi**, 2013, 28 (1): 23–30.
- Baydar, H., Turgut, İ., 1994. Farklı Ekim Zamanlarının Susam“da (*Sesamum indicum* L.) Yağ Oranı, Yağasitleri Kompozisyonu ve Yağ Stabilite Kriterleri Üzerine Etkisi, **Türk Journal Agriculture Forestry** 18,387-391.
- Baydar, H. ve Turgut, İ., 2000. Susam (*Sesamum indicum* L.) genetiği ve ıslahı üzerinde araştırmalar I. bitki tipini belirleyen özelliklerin kalıtımı, **Turkish Journal of Biology** 24:3, (2000): 503-512.
- Baydar, H., 2005. Breeding for the Improvement of the ideal plant type of sesame. **Plant Breeding**, 124: 263-267.
- BCS, 2020. BCS Agricultural Machinery. <http://www.bcsagri.it/en/product/mowers-537a868fa2387c44627b23c7/280-reaper-binder-58ef24bbfd6088526f0315fe> (Erişim tarihi: 04.09.2020)
- Bright, R.E. & Kleis, R.W. 1994. Mass Shear Strength of Haylage. **Transactions of the ASAE**, 7(2), 100-101.
- Cakır, E., Jhonson, C.E., Raper, R.L. and Schafer, R.L., 1997. Bitki artıklarının toprak zeminde kesilmesinin mekanığı. [The mechanics of cutting plant residues on a soil surface.] **Proceedings of 17th National on Congress Agricultural Machinery**, pp 966–974, Tokat, Turkey.
- Chattopadhyay, P.S. and Pandey, K.P., 1999. Mechanical properties of sorghum stalk in relation to quasi-static deformation. **Journal of Agricultural Engineering Research**, 73, 199–206
- Chen, Y., Gratton, J.L., Liu, J., 2004. Power requirements of hemp cutting and conditioning. **Biosystems Engineering**, 87(4), 417–424
- Çardak, G. 2017. Susam bitkisi örneğinde bantlı sökücü-yolucu düzenin geliştirilmesi ve çalışma kriterlerinin belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi. **Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü**. 44 s, Hatay.

- Frankel, O.H. and Hawkes, J.G., 1975. **Crop genetic resources for today and tomorrow**. International Biological Program 2. Cambridge University Press.
- Hatipoğlu, H., 2016. Siirt ikinci ürün koşullarında bazı susam (sesamum Indicum L.) çeşitlerinin verim ve verim unsurlarının belirlenmesi Yüksek Lisans Tezi **Siirt Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Siirt. 45 s.
- Ishpekov, S. and Stamatov, S., 2015a. Method for assessment the susceptibility of sesame genotypes for mechanized harvesting of the seed. **Bulgarian Journal of Agricultural Science**, 21 (No 6) 2015, 1300-1303 Agricultural Academy
- Ishpekov, S., Zajkov, R. and Chervenkov, V., 2015b. Inertial detachment of sesame seeds from non-squander genotypes. **AgricEngInt: CIGR Journal**. Vol. 17, No. 3 83
- İnce, A., Uğurluay, S., Güzel, E., Özcan, M.T., 2005. Bending and shearing characteristics of sunflower stalk residue. **Biyosistemler engineering**, 92 (2), 175-181
- Jahanbakhshi, A., 2018 Determination of some engineering properties of snake melon (cucumis melon var. Flexuosus) fruit, **Agricultural Engineering International: CIGR Journal**, 20(1): 171-176
- Kamandar, M.R., ve Jafar, M., 2017 Sensor based definition of buxus stem shearing behavior in impact cutting process **Agricultural Engineering International: CIGR Journal**, 19(4): 29-35.
- Kamandar, M.R., Massah, J., and Khanali, M., 2018 Quasi-static and impact cutting behavior definition of privet stem **Agricultural Engineering International: CIGR Journal**, 20(1): 70-80.
- Kanafojiski, C.Z. and Karwowski, T., 1972. Agricultural machines, theory and construction. US Department of Commerce. **National Technical Information Service**, Vol. 2. pp 25–60, Springfield, Virginia.
- Klenin, N. I., Popov, I.F., Sakun, V. A., 1986. **Agricultural Machines**. Theory of Operation, Computation of Controlling and the Conditions of Operation. A. A. Balkema/Rotterdam. 650 p. ISBN10: 9061914485.
- Kocabıyık, H., Kayışoğlu, B., 2004. Ayçiçeği Sapının Kesilme Özelliklerinin Belirlenmesi **Tarım Bilimleri Dergisi** s: 10 (3) 263-267
- Lee, J.S. and Kim, K.B., 2007. Development of shattering machine for sesame. **J. of Biosystems Eng.** Vol. 32. No 5. pp:301-308. 2007.
- Lee, K.S. and Noh, H.K., 2015. Development of threshing machine for shatter-resistant sesame. **J. of Biosystems Eng.** 40(2):110-114. (2015. 6).
- Mohsenin, N.N. 1986. Physical properties of plant and animal materials. **Gordon and Breach Science Publishers Inc.**, pp:78-97, NY.
- Oplinger, E.S., Putman, D.H., Kaminski, A.R., Hanson, C.V., Oelke, E.A., Schulte, E.E., and Doll, J.D., 1990. Sesame. alternative field crops manuel. <http://www.hort.purdue.edu/newcrop/articles/sesame.html>. (Erişim Tarihi: 15.10.2019)
- Özcan, M.T. and İlbuğa, M., 1998. Turunçgil ağaçlarında budama mekanizasyonu üzerinde çalışmalar—I. [Studies on pruning in citrus orchards—Part I.] **Proceedings of 18th National Congress on Agricultural Machinery**, pp 56, Tekirdağ, Turkey,
- Öztürk, S., 1995. Susamın geleneksek yöntem, yarı mekanizasyon sistemler ve biçerdöverle hasat olanakları. Yüksek Lisans Tezi, **Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Antalya.

- Öztürk, S. ve Yıldız, O., 1995. Susam tarımında farklı mekanizasyon uygulamalarının enerji maliyetine etkisi, **Tarımsal Mekanizasyon 16. Ulusal Kongresi**, 5-7 Eylül, s:120-127, Bursa
- Persson, S., 1987. Mechanics of cutting plant material. **ASAE Publications**, Michigan, US. ISBN: 0916150860, 9780916150860. P:288.
- Polat, R., 2002. Antepfıstığında Dal Kesme Dirençlerinin ve Budamada İş Başarılarının Saptanması. **Tarım Bilimleri Dergisi** s: 8 (1) 22-27
- Salunkhe, D.K. Chavan, J.K., Adsule; R.D. ve Kadam, S.S., 1992. **Sesame, World Oilseeds**, Van Nostrand Reinhold, pp. 371-402, New York.
- Seçer, A., 2016. Türkiye’de susam üretim ve dış ticaretinde gelişmeler. **Çukurova Tarım Gıda Bil. Der.** 31: 27-36, 2016.
- Sessiz, A., Güzel, E., Bayhan, Y., 2018. Bazı Yerli ve Yabancı Üzüm Çeşitlerinde Sürgünlerin Kesme Kuvveti ve Enerjisinin Belirlenmesi Araştırma Makalesi **Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi** 5(4): 414–423.
- Sitkei, G., 1986. Mechanics of agricultural materials. Vol. 8 First Edition. New York. **Elsevier Sciences**, eBook ISBN: 9780444601032.
- Şahin, G., 2014. Türkiye’de üretimi azalan önemli bir yağ bitkisi susam. İnsan ve Toplum Bilimleri Araştırmaları Dergisi. **Journal of the Human and Social Science Researches** Cilt.3, Sayı: 2 s: 404-433
- Tan, A.Ş., Ak, E.E. ve Ayaz M., 2007. Ege bölgesi susam araştırmaları projesinde ara sonuç raporu. **Ege Tarımsal Araştırma Enstitüsü**, 213-237 s, Menemen, İzmir.
- Tan, A.Ş., 2015. **Susam Tarımı**. T.C Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı. Ege Tarımsal Araştırma Enstitüsü. Yayın No: 135. Menemen, İzmir.
- Toprak, T., 2017. Türkiye’nin farklı bölgelerinden toplanan susam (*Sesamum indicum* L.) genotiplerinin verim ve verim özelliklerinin belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi. **Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**. 57 s
- Uğurluay, S., 2002. Susam bitkisinin hasat mekanizasyonu olanaklarının belirlenmesi üzerine bir araştırma. Yüksek Lisans Tezi. **Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü**. 42 s Adana.
- Uğurluay, S., 2008. Çukurova bölgesinde bazı sebzelerin hasadında teknik başarıların belirlenmesi ve prototip pırasa hasat makinesi geliştirilmesi. Doktora Tezi. **Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü**. 180 s, Adana.
- Uğurluay, S., İnce A., Sessiz, A., Kayışoğlu, B., Güzel E. ve Özcan M.T., 2010. **Hasat harman makinaları ve ilkeleri**. Nobel Kitabevi. 316 s, ISBN: 978-605-397-111-5.
- Vurarak, Y. ve Bilgili, M.E., 2014. Biçerbağlarla hasat edilen II. ürün susamda verim-kalite ve bazı işletmecilik değerlerinin belirlenmesi. **Harran Tarım Ve Gıda Bilimleri Dergisi** 18 (2), 38-48, 2014 ISSN: 0099246, Araştırma Makalesi. Doğu Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Adana.
- Vursavuş K. and Özgüven, F., 2004. Mechanical behavior of apricot pit under compression loading. **Journal of Food Engineering**, 65(2), 255–261
- YAPEL, 2020. YAPEL Tarım Makineleri Sanayi. <http://yapel.com.tr/tema1/bicerbaglar/detay.asp?id=538> (Erişim tarihi: 04.09.2020)
- Yermanos, D. M., Hemstreet, S., Salieb, W. and Huszar, C. K. 1972. Oil content and composition of the seed in the world collection of sesame introductions. Jour. Amer. Oil. Chem. Soc., 49:20-25.

- Yıldız, Y., Karaca, C. ve Dağtekin, M. 2008. **Hayvancılıkta mekanizasyon**. Hasad Yayıncılık. ISBN: 978-975-8377-68-8.
- Zhang, Y., Cui, Q., Li, H., Sun, D., Hou, H., 2018 Effects of stem region, moisture content and blade oblique angle on mechanical cutting of millet stems College of Engineering, Shanxi Agriculture University, Taigu/China Vol.55, No.2 105-112



ÖZGEÇMİŞ

1991 yılında Kahramanmaraş'ta dünyaya geldim. İlkokul, ortaokul ve lise öğrenimini Kahramanmaraş'ta tamamladım. 2012 yılında Mustafa Kemal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Bölümünde lisans eğitime başladım. 2014 yılında Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Bölüme yatay geçiş yaptım ve 2016 yılında mezun oldum. 2015 yılında Cemsan Plastik Sondaj ve Mühendislik A.Ş.'de stajerlik eğitimimi tamamladım. 2016-2017 Teta Tohumculuk Firmasında Ziraat Mühendisi olarak çalıştım.

Eylül 2017'de Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Eğitime başladım. Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans eğitimini Eylül 2020'de tamamladım.