

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



**BİR BUDAMA ARTIĞI PARÇALAMA MAKİNASININ FARKLI ÇALIŞMA
KOŞULLARINDA İŞLETME PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ**

Mete YİĞİT

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TARIM MAKİNALARI VE TEKNOLOJİLERİ MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

DOKTORA TEZİ

TEMMUZ 2023

ANTALYA

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



**BİR BUDAMA ARTIĞI PARÇALAMA MAKİNASININ FARKLI ÇALIŞMA
KOŞULLARINDA İŞLETME PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ**

Mete YİĞİT

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TARIM MAKİNALARI VE TEKNOLOJİLERİ MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

DOKTORA TEZİ

TEMMUZ 2023

ANTALYA

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BİR BUDAMA ARTIĞI PARÇALAMA MAKİNASININ FARKLI ÇALIŞMA
KOŞULLARINDA İŞLETME PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ**

Mete YİĞİT

TARIM MAKİNALARI VE TEKNOLOJİLERİ MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

DOKTORA TEZİ

**Bu tez
Akdeniz Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından
FDK-2017-2561 no'lu proje ile desteklenmiştir.**

TEMMUZ 2023

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BİR BUDAMA ARTIĞI PARÇALAMA MAKİNASININ FARKLI ÇALIŞMA
KOŞULLARINDA İŞLETME PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ**

Mete YİĞİT

TARIM MAKİNALARI VE TEKNOLOJİLERİ MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

DOKTORA TEZİ

Bu tez 31/07/2023 tarihinde jüri tarafından Oybirliği / Oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Murad ÇANAKCI (Danışman)

Prof. Dr. İbrahim AKINCI

Prof. Dr. Davut KARAYEL

Prof. Dr. Habib KOCABIYIK

Prof. Dr. Deniz YILMAZ

ÖZET

BİR BUDAMA ARTIĞI PARÇALAMA MAKİNASININ FARKLI ÇALIŞMA KOŞULLARINDA İŞLETME PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ

METE YİĞİT

Doktora Tezi, Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği
Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Murad ÇANAKCI

Temmuz 2023; 98 Sayfa

Türkiye coğrafi konumu ve iklimsel özellikleri sayesinde pek çok farklı tarımsal ürünün yetiştirilebildiği bir ülkedir. Son yıllarda meyve yetiştiriciliği yapılan alanlarda niteliksel ve niceliksel artış görülmektedir. Bu artışa bağlı olarak önemli miktarlarda bitkisel artık ortaya çıkmaktadır. Hem materyal özelliği hem de potansiyel açısından farklılıklar gösteren tarımsal artıkların değerlendirilmesinde materyal, bölge ve ekonomik koşulların dikkate alınarak uygun çözüm önerilerinin sunulması önemlidir. Bu kapsamda gündeme gelen konulardan birisi de budama artıklarının hangi yöntem veya yöntemlerle değerlendirileceği sorusudur. Değerlendirme yöntemlerindeki kritik işlemlerden birisi de artıkların parçalanmasıdır. Budama artıklarının istenilen boyut ve şekillerde ekonomik olarak parçalanması önemli bir konudur. Bu amaçla farklı özellikte makineler kullanılmaktadır. Bu makinelerin gerek imalatında gerekse kullanımında dikkate alınması gereken konularla ilgili araştırmaların yürütülmesinin yararlı olacağı düşünülmektedir.

Bu araştırmada, önceki çalışmalar ve uygulamadaki gereksinimler dikkate alınarak toplama ve elek ünitesine sahip bir budama artığı parçalama makinasının farklı çalışma koşullarında işletme parametrelerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda, zeytin ve bağ budama artıklarıyla birbirinden bağımsız olarak yürütülen; üç farklı nem içeriği (N1, N2, N3), (zeytinde %45, %35, %20 ve bağda %55, %35, %25) üç farklı rotor devir sayısı (S1, S2, S3), (1200, 1500 ve 1800 1/min) ve iki farklı bıçak (B1 ve B2), (çekiç ve dişli çekiç bıçak) kullanılarak denemeler gerçekleştirilmiştir. Elde edilen veriler en uygun uygulama koşulları, enerji tüketimi ve parçalama etkinliği yönünden araştırılmıştır. Bununla beraber belirlenen birim kütle başına enerji tüketimi (kWh/ton) ve makina kapasitesi (ton/h) değerlerinden yararlanarak makine maliyetleri hesaplanmıştır.

Araştırma bulgularına göre; zeytin budama artıklarının parçalanmasında, rotor devir sayısının artışı ve materyal nem içeriğinin azalması; parçalama işleminin başarısını düşük enerji tüketimi, yüksek makina kapasitesi ve yüksek parçalama etkinliği açısından olumlu yönde etkilemiştir. Zeytin budama artıklarında, en başarılı parçalama işlemi kuru baza göre S3 rotor devrinde (1800 1/min) ve N3 nem içeriğinde (%25) elde edilmiştir. Belirtilen koşullarda, en düşük toplam birim kütle başına toplam makina maliyeti değerleri B1 bıçağı için 166.8 TL/ton, B2 bıçağı için 159.9 TL/ton olarak hesaplanmıştır. B2 bıçağının B1 bıçağına göre ortalama %5.9 daha düşük maliyet oluşturduğu belirlenmiştir.

Bağ budama artıkları ile çalışmada, rotor devir sayısını artışı ile parçalama işleminde birim enerji tüketimi azalmış, makina kapasitesi ve parçalama etkinliği artmıştır. Zeytin budama artıkları ile yürütülen denemelerden elde edilen sonuçlardan farklı olarak bağ budama artıkları ile çalışmada nem içeriğinin N1'den N2'ye düşmesi özgül enerji tüketimini artırmış, makina kapasitesi değerini azaltmıştır. Nem değerinin N2'den N3 değerine düşmesiyle özgül enerji tüketimi azalmış ve makina kapasitesi artış göstermiştir. Bağ ile çalışmada en uygun makina performans S3 rotor devri (1800 1/min) ile beraber N3 nem içeriği (%20) koşullarında elde edilmiştir. Bağ budama artıklarının parçalanmasında kuru baza göre en düşük toplam birim kütle başına makina maliyeti S3 rotor devri ve N3 nem içeriğinde gerçekleştirilen parçalama işlemi sonunda B1 bıçağı için 179.6 TL/ton, B2 bıçağı için 174.8 TL/ton toplam makina gideri belirlenmiştir. Hesaplamalara göre, tüm denemeler için, B2 bıçağı B1 bıçağına göre, kuru bazda ortalama %7.7 daha düşük maliyettedir.

ANAHTAR KELİMELE: Budama artıkları, parçalama, makina kapasitesi, özgül enerji, parçacık boyutu, görüntü işleme, maliyet

JÜRİ: Prof. Dr. Murad ÇANAKCI
Prof. Dr. İbrahim AKINCI
Prof. Dr. Davut KARAYEL
Prof. Dr. Habib KOCABIYIK
Prof. Dr. Deniz YILMAZ

ABSTRACT

DETERMINING THE OPERATING PARAMETERS of a PRUNING RESIDUES SHREDDER UNDER DIFFERENT WORKING CONDITIONS

Mete YİĞİT

**PhD Thesis in Department of Agricultural Machinery and Technologies
Engineering**

Supervisor: Prof. Dr. Murad ÇANAKCI

July 2023, 98 pages

Türkiye is a country that can cultivate various agricultural products due to its geographical location and climatic features. In recent years, there has been an increase in both the quantity and quality of fruit production areas. Consequently, significant amounts of agricultural residues are generated. It is important to propose appropriate solutions considering the material properties, regional factors, and economic conditions for the utilization of agricultural residues to prevent environmental damage and contribute to the economy. One of the issues that has emerged is how pruning residues can be effectively utilized. It is necessary to evaluate pruning residues in a way that does not harm the environment and brings economic benefits. One critical step in the evaluation process is the shredding (size reduction) of residues. Depending on the purpose of utilization, different types of machines are used for the shredding of pruning residues. Conducting research on the aspects to consider in the manufacturing and operation of these machines would be beneficial.

This study aims to determine the operating parameters of a pruning residue chooper machine equipped with a collection and sieving unit, taking into account previous studies and practical requirements. Three independent experiments were conducted using olive and vineyard pruning residues, considering three different moisture contents (N1, N2, N3) (45%, 35%, 20% for olives and 55%, 35%, 25% for vineyards), three different rotor speeds (S1, S2, S3) (1200, 1500, and 1800 1/min), and two different blades (B1 and B2) (hammer and designed blade). The obtained data were analyzed in terms of the most suitable application conditions, energy consumption, and shredding efficiency. Additionally, using the determined specific energy requirements (kWh/ton) and machine capacity (ton/h), the operating costs of the machine were estimated.

According to the findings of the study, the increase in rotor speed and decrease in material moisture content positively affected the success of the shredding process in terms of low energy consumption, high machine capacity and high shredding efficiency in the shredding of olive pruning residues. In olive pruning residues, the most successful shredding process was obtained at S3 rotor speed (1800 1/min) and N3 moisture content (25%) for dry material. The lowest total machine cost per unit mass values were calculated as 166.8 TL/ton for the B1 blade and 159.9 TL/ton for the B2 blade under the specified conditions. It was determined that the B2 blade generated an average cost of 5.9% lower than the B1 blade.

Regarding vineyard pruning residues, an increase in rotor speed resulted in a decrease in specific energy requirement, while increasing machine capacity and choopering efficiency. In contrast to the results obtained from olive pruning residue experiments, in the case of vineyard pruning residues, a decrease in moisture content from N1 to N2 increased specific energy consumption and decreased machine capacity. However, when the moisture content decreased from N2 to N3, specific energy requirement decreased, and machine capacity increased. The optimum machine performance for vineyard pruning residues was achieved with S3 rotor speed (1800 1/min) and N3 moisture content (20%). The lowest total machine cost per unit mass in the shredding of vineyard pruning residues compared to the dry base was determined as 179.6 TL/ton for B1 knife and 174.8 TL/ton for B2 knife at the end of the shredding process carried out at S3 rotor speed and N3 moisture content. According to the calculations, for all trials, the B2 blade cost 7.7% less than the B1 blade on average on dry material.

KEYWORDS: Pruning Residues, Chopping, Machine Capacity, Specific Energy, Particle Size, Image Processing, Costs

COMMITTEE: Prof. Dr. Murad ÇANAKCI
Prof. Dr. İbrahim AKINCI
Prof. Dr. Davut KARAYEL
Prof. Dr. Habib KOCABIYIK
Prof. Dr. Deniz YILMAZ

ÖNSÖZ

Ülkemizde ve dünyada her alandaki bilimsel araştırmalar ve teknolojik gelişmeler toplum hayatının refahını arttırmaya yönelik katkılar sağlamaktadır. İnsan yaşamının devamlılığı sağlamak ve artan tüketim ihtiyacını karşılamak amacıyla yapılan tarımsal faaliyetler içinde, kullanılan yöntemlerin geliştirilmesi ve mekanizasyona olan talebin artırılması kaçınılmaz bir durum haline gelmiştir. Bununla beraber, son yıllarda iklim değişikliği, çevre kirliliği, gıda güvenliği gibi konuların ön plana çıkmasına paralel olarak tarımsal üretimde ekolojik yöntemlerin kullanılması gündeme gelmektedir. Ayrıca, çevreye duyarlılığın artması ve ekonomik şartlar dolayısıyla, gelişmekte olan medeniyetimizin temelini oluşturan enerjinin sağlanmasında doğal kaynaklardan daha etkili şekilde faydalanmak ve yenilenebilir kaynakların kullanılması her geçen gün önem kazanmaktadır. Tüm bu konular dikkate alındığında tarımsal alanlarda üretim süreci sırasında ortaya çıkan bitkisel artıkların değerlendirilmesi oldukça önemli bir konu olarak ortaya çıkmaktadır.

Meyve bahçelerinde budama sonrası oluşan artıkların değerlendirilmesine yönelik kullanılan bir makinanın performans değerlerini belirlemek amacı ile yapılan bu çalışmada hem tarım makinaları imalatçıları hem de meyve yetiştiriciliği yapan işletmelerin karşılaşılabilecekleri sorulara yönelik yanıtların verilmesi hedeflenmiştir. Araştırma sonunda elde edilen sonuçların bu alanda çalışma yapan araştırmacılara ve uzmanlara katkıda bulunması da beklenmektedir.

Bu çalışmanın doktora tezi olarak planlanıp yürütülmesinde bilgi ve tecrübeleriyle beni yönlendiren ve bu süreç boyunca yakın ilgi ve desteğini hiçbir zaman esirgemeyen danışman hocam Prof. Dr. Murad ÇANAKCI başta olmak üzere istatistiksel analizlerin yapılmasında bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım Prof. Dr. Davut KARAYEL'e, Tez İzleme Komitesinde bulunan ve çözüm önerileriyle destekleyen Prof. Deniz YILMAZ'a sonsuz teşekkür ederim.

Araştırmaya FDK-2017-2561 no'lu Doktora Tez Projesi kapsamında destek sağlayan Akdeniz Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi'ne teşekkür ederim.

Sunduğu çalışma ortamı ve desteklerinden dolayı Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Bölüm Başkanlığına, Değerli Öğretim Üyelerine, destekleriyle hep yanımda olan arkadaşlarım Dr. Emre AKMAN ve Dr. Hasan YILMAZ'a teşekkürü bir borç bilirim.

Beni bugünlere getiren, her zaman sevgisini ve desteklerini hissettiğim başta annem ve ağabeyime, bugünlerimi sağlığında göremese de her zaman varlığını yanımda hissettiğim babama derin duygularıyla teşekkür ederim.

AKADEMİK BEYAN

Doktora Tezi olarak sunduğum “Bir Budama Artığı Parçalama Makinasının Farklı Çalışma Koşullarında İşletme Parametrelerinin Belirlenmesi” adlı bu çalışmanın, akademik kurallar ve etik değerlere uygun olarak bulunduğunu belirtir, bu tez çalışmasında bana ait olmayan tüm bilgilerin kaynağını gösterdiğimi beyan ederim.

31/07/2023

Mete YİĞİT



İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT	iii
ÖNSÖZ	v
AKADEMİK BEYAN	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiv
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK TARAMASI.....	7
2.1. Budama Artıklarının Potansiyeli ve Değerlendirilmesi ile İlgili Çalışmalar	7
2.2. Artıklarının Parçalanmasında Kullanılan Makinalar ile İlgili Çalışmalar.....	10
2.3. Parçacık Boyutlarının Belirlenmesi ve Görüntü İşleme Yöntemleri ile İlgili Çalışmalar.....	16
3. MATERYAL VE METOT	22
3.1. Materyal.....	22
3.1.1. Deneme alanı ve parçalama sistemi test düzeneği	22
3.1.2. Budama artığı parçalama makinası	23
3.1.3. Parçalama makinasının sabitlenmesi	25
3.1.4. Bantlı götürücü (konveyör).....	26
3.1.5. Parçalayıcı bıçaklar	27
3.1.6. Elektrik ve kontrol panosu	28
3.1.7. Fotoğraflama kabini	30
3.2. Bitkisel Materyal	30
3.3. Yöntem	31
3.3.1. Bitkisel materyalin nem içeriği ve namlu yoğunluğunun belirlenmesi	31
3.3.2. Parçalayıcı rotor devrinin ve konveyör ilerleme hızının belirlenmesi.....	34
3.3.3. Enerji tüketiminin belirlenmesi.....	34
3.3.4. Görüntü işleme yöntemi.....	37
3.4. Makina Maliyetlerinin Belirlenmesi	43
3.4.1. Sabit giderler	43
3.4.2. Değişken giderler	44
3.5. Deneme Planı ve İstatistiksel Yöntem.....	45

4. BULGULAR VE TARTIŞMA	46
4.1. Zeytin Budama Artıklarının Parçalanmasına Ait Bulgular	46
4.1.1. Zeytin budama artıklarının parçalanmasında parçalayıcı rotor devir sayısı değişiminin enerji tüketimi üzerine etkisi	46
4.1.2. Zeytin budama artıklarının parçalanmasında parçalayıcı rotor devir sayısı değişiminin makina kapasitesi üzerine etkisi	48
4.1.3. Zeytin budama artıklarının parçalanmasında parçalayıcı rotor devir sayısı değişiminin parçacık boyutları üzerine etkisi.....	49
4.1.4. Zeytin budama artıklarının parçalanmasında nem içeriği değişiminin enerji tüketimi üzerine etkisi	53
4.1.5. Zeytin budama artıklarının parçalanmasında nem içeriği değişiminin makina kapasitesi üzerine etkisi	55
4.1.6. Zeytin budama artıklarının parçalanmasında nem içeriği değişiminin parçacık boyutu ve dağılımı üzerine etkisi	56
4.1.7. Zeytin budama artıklarının parçalanmasında bıçak tipi değişiminin kıyaslanması	61
4.2. Bağ Budama Artıklarının Parçalanmasına Ait Bulgular	63
4.2.1. Bağ budama artıklarının parçalanmasında parçalayıcı rotor devir sayısı değişiminin özgül enerji tüketimi üzerine etkisi.....	63
4.2.2. Bağ budama artıklarının parçalanmasında parçalayıcı rotor devir sayısı değişiminin makina kapasitesi üzerine etkisi	65
4.2.3. Bağ budama artıklarının parçalanmasında parçalayıcı rotor devir sayısı değişiminin parçacık boyutu ve dağılımı üzerine etkisi	67
4.2.4. Bağ budama artıklarının parçalanmasında materyal nem içeriği değişiminin özgül enerji tüketimi üzerine etkisi.....	71
4.2.5. Bağ budama artıklarının parçalanmasında materyal nem içeriği değişiminin kapasite üzerine etkisi.....	76
4.2.6. Bağ budama artıklarının parçalanmasında materyal nem içeriği değişiminin parçacık boyutu ve dağılımı üzerine etkisi	78
4.2.7. Bağ budama artıklarının parçalanmasında bıçak tipi değişiminin kıyaslanması	82
4.3. Makina Maliyetleri	84
4.4. Zeytin ve Bağ Denemelerindeki En Uygun Çalışma Koşulları	88
5. SONUÇ	89
6. KAYNAKLAR	92
ÖZGEÇMİŞ	

SİMGELER VE KISALTMALAR

Kısaltmalar

BG	: Beygir Gücü
CEC	: California Energy Commission
EPDK	: Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu
FBA	: Flatbed scanning (Düz zeminde tarama)
IA	: Image analysis (Görüntü analizi)
kb	: Kuru baz
KKYDP	: Kırsal Kalkınmayı Destekleme Programı
kW	: kilowatt
MJ	: Megajoule
TJ	: Terajoule
TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
TÜRKPATENT	: Türk Patent ve Marka Kurumu
yb	: Yaş baz

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Bitki Genetik Kaynaklarının Orijin Merkezleri; (1) Meksika-Guatemala (2) Peru-Ekvador-Bolivya (2A) Güney Şili (2B) Güney Brezilya (3) Akdeniz (4) Yakın Doğu (5) Etiyopya (6) Orta Asya (7) Hint-Burma (7A) Siam-Malaya (8) Çin (Anonymous 1).....	1
Şekil 1.2. Toplam tarım alanları ve uzun ömürlü bitkilerin alanlarının değişimi.....	2
Şekil 1.3. Budama artığı parçalama makinaları örnekleri.....	5
Şekil 2.1. Denemelerde kullanılan bıçak tipleri, a) çekiç tip b) üçlü bıçak c) Y tipi bıçak (Çanakcı vd., 2019)	13
Şekil 2.2. Kendi yürür budama artığı parçalaması prototipi (Çanakcı vd.,2018b)	15
Şekil 2.3. Budama artığı parçalama makinası prototipi (Adamchuk vd., 2016).....	14
Şekil 2.4. Görüntü alma ortamı (Aydın ve Kurnaz 2023.)	17
Şekil 2.5. Görüntüleme düzeneği: a) şematik şekil, b) monte edilmiş ürün (Ad vd., 2022)	18
Şekil 3.1. Denemelerin gerçekleştirildiği yarı kapalı alanın görünümü	22
Şekil 3.2. Test düzeneği genel görünümü a) ön cephe görünümü b) arka cephe görünümü	23
Şekil 3.3. Budama artığı parçalama makinası üzerinde yapılan değişiklikler	24
Şekil 3.4. Budama artığı parçalama ünitesinin şematik görünümü	24
Şekil 3.5. Budama artığı parçalama makinasında kullanılan eleğin görünümü.....	25
Şekil 3.6. Taşıyıcı sehpa	26
Şekil 3.7. Toplama ünitesi ve götürücü bant hareket sistemi.	26
Şekil 3.8. Çekiç bıçağın (B1) ölçüleri ve şematik görünümü	28
Şekil 3.9. Dişli çekiç bıçağın (B2) üzerinde yapılan şekil değişikliği ve şematik görünümü	28
Şekil 3.10. Elektrik panosu ve ön panel.....	29
Şekil 3.11. Fotoğraflama kabininin genel görünümleri	30
Şekil 3.12. Denemelerde kullanılan budama artıkları, a) zeytin artıkları b) bağ artıkları	31
Şekil 3.13. Zeytin budama artıklarının nem içeriğinin zamanla değişimi	32

Şekil 3.14. Bağ budama artıklarının nem içeriğinin zamanla değişimi	32
Şekil 3.15. Nem kaybı değişiminin belirlenmesinde kullanılan bağ artıkları a) işlem görmemiş dallar, b) kabuğu ayrılmış dallar c) kabuklar	33
Şekil 3.16. Enerji analizörü.....	35
Şekil 3.17. Denemelerde değerlendirmeye alınan güç değerleri aralığı, örnek deneme verisi: Bağ, B2, N3, S3, Tekerrür 3.	36
Şekil 3.18. Parçalanmış artıkların toplanması ve etiketlenmesi	37
Şekil 3.19. Fotoğrafların boyutlandırılması, a) fotoğrafların piksel boyutları b) referans ölçünün piksel karşılığının belirlenmesi c) ölçek oranı d) fotoğrafların mm boyutları	38
Şekil 3.20. Fotoğrafların görüntü analizi için hazırlanması, a) kırpma (crop), b) binary ve temizlik a-1) kırpılmış fotoğraf, b-1) analiz için hazırlanmış fotoğraf.....	39
Şekil 3.21. İş akışı diyagramı.....	40
Şekil 3.22. Görüntü analizinde kullanılan komutlar	41
Şekil 4.1. Zeytin budama artığı denemelerinde rotor devir sayısı değişiminin özgül enerji üzerine etkisi (y.b.).....	46
Şekil 4.2. Zeytin budama artığı denemelerinde rotor devir sayısı değişiminin özgül enerji üzerine etkisi (k.b.).....	46
Şekil 4.3. Zeytin budama artığı denemelerinde rotor devir sayısı değişiminin makina kapasitesi üzerine etkisi (y.b.)	48
Şekil 4.4. Zeytin budama artığı denemelerinde rotor devir sayısı değişiminin makina kapasitesi üzerine etkisi (k.b.)	48
Şekil 4.5. Zeytin budama artığı denemelerinde rotor devir sayısı değişiminin parçacık uzunluğuna etkisi	49
Şekil 4.6. Zeytin budama artığı denemelerinde rotor devir sayısı değişiminin parçacık projeksiyon alanına etkisi	50
Şekil 4.7. Zeytin budama artığı parçacıklarının rotor devir sayısı değişimindeki uzunluk dağılımı.....	51
Şekil 4.8. Zeytin budama artığı parçacıklarının rotor devir sayısı değişimindeki projeksiyon alanı dağılımı.....	52
Şekil 4.9. Zeytin budama artığı denemelerinde nem içeriği değişiminin enerji tüketimi üzerine etkisi (y.b.)	53

Şekil 4.10. Zeytin budama artığı denemelerinde nem içeriği değişiminin enerji tüketimi üzerine etkisi (k.b.)	53
Şekil 4.11. Zeytin budama artığı denemelerinde nem içeriği değişiminin makina kapasitesi üzerine etkisi (y.b.).....	55
Şekil 4.12. Zeytin budama artığı denemelerinde nem içeriği değişiminin makina kapasitesi üzerine etkisi (k.b.).....	55
Şekil 4.13. Zeytin budama artığı denemelerinde nem içeriği değişiminin parçacık uzunluğuna etkisi	57
Şekil 4.14. Zeytin budama artığı denemelerinde nem içeriği değişiminin parçacık projeksiyon alanına etkisi.....	58
Şekil 4.15. Zeytin budama artığı denemelerinde nem içeriği değişimindeki parçacık uzunluğu dağılımı	59
Şekil 4.16. Zeytin budama artığı denemelerinde nem içeriği değişiminde parçacık projeksiyon alanı dağılımı.....	60
Şekil 4.17. Zeytin budama artıklarının parçalanmasında bıçak tipi değişimine göre özgül enerji tüketimi değerleri	61
Şekil 4.18. Zeytin budama artıklarının parçalanmasında bıçak tipi değişimine göre makina kapasitesi değerleri	62
Şekil 4.19. Zeytin budama artıklarının parçalanmasında bıçak tipi değişimine göre parçacık boyutu değerleri.....	62
Şekil 4.20. Bağ budama artığı denemelerinde rotor devir sayısı değişiminin özgül enerji üzerine etkisi (y.b.).....	63
Şekil 4.21. Bağ budama artığı denemelerinde rotor devir sayısı değişiminin özgül enerji üzerine etkisi (k.b.).....	63
Şekil 4.22. Bağ budama artığı denemelerinde rotor devir sayısı değişiminin makina kapasitesi üzerine etkisi (y.b.)	66
Şekil 4.23. Bağ budama artığı denemelerinde rotor devir sayısı değişiminin makina kapasitesi üzerine etkisi (k.b.)	66
Şekil 4.24. Bağ budama artığı denemelerinde rotor devri değişiminin parçacık uzunluğuna etkisi	67
Şekil 4.25. Bağ budama artığı denemelerinde rotor devri değişiminin parçacık projeksiyon alanına etkisi.....	68
Şekil 4.26. Bağ budama artığı parçacıklarının rotor devir değişimindeki parçacık uzunluğu dağılım.....	69

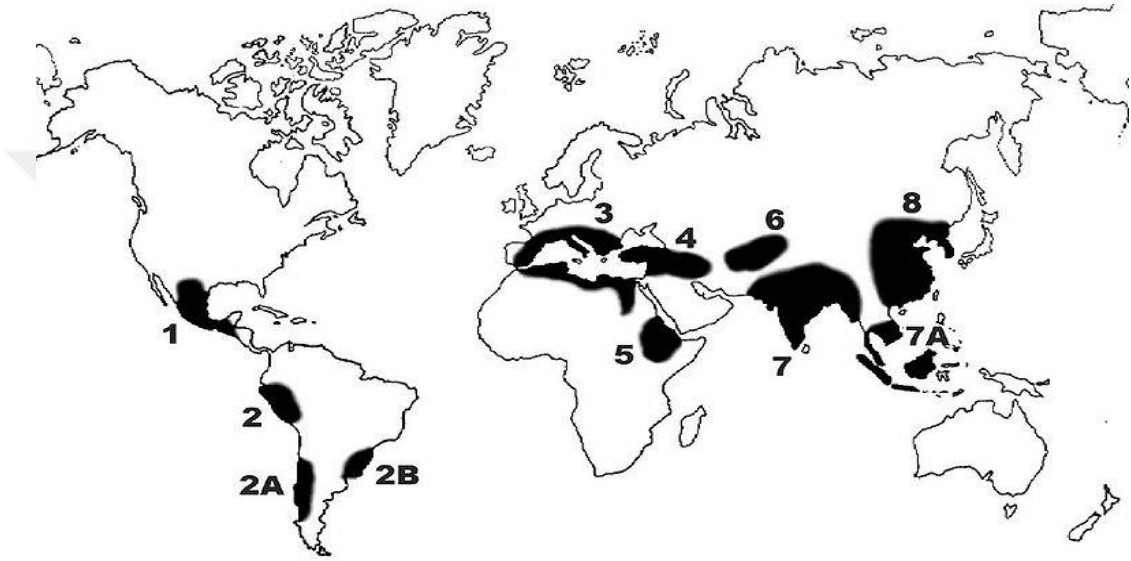
Şekil 4.27. Bağ budama artığı parçacıklarının rotor devir değişimindeki parçacık projeksiyon alanı dağılımı.....	70
Şekil 4.28. Bağ budama artığı denemelerinde nem içeriği değişiminin özgül enerji üzerine etkisi (y.b.).....	71
Şekil 4.29. Bağ budama artığı denemelerinde nem içeriği değişiminin özgül enerji üzerine etkisi (k.b.).....	71
Şekil 4.30. Bağ budama artıklarının zamana bağlı nem kaybetme oranları	74
Şekil 4.31. Yüksek nem içeriğindeki bağ artıklarının parçalamasındaki sıkışma	75
Şekil 4.32. Bağ budama artıkları denemelerinde nem içeriği değişiminin makina kapasitesi üzerine etkisi (y.b.).....	76
Şekil 4.33. Bağ budama artıkları denemelerinde nem içeriği değişiminin makina kapasitesi üzerine etkisi (k.b.).....	76
Şekil 4.34. Bağ budama artıkları denemelerinde nem içeriği değişiminin parçacık uzunluğuna etkisi	78
Şekil 4.35. Bağ budama artıkları denemelerinde nem içeriği değişiminin parçacık projeksiyon alanına etkisi.....	79
Şekil 4.36. Bağ budama artığı parçacıklarının nem içeriği değişimindeki uzunluk dağılım.....	80
Şekil 4.37. Bağ budama artığı parçacıklarının nem içeriği değişimindeki projeksiyon alanı dağılım.....	81
Şekil 4.38. Bağ budama artıklarının parçalanmasında bıçak tipi değişimine göre özgül enerji tüketimi değerleri	82
Şekil 4.39. Bağ budama artıklarının parçalanmasında bıçak tipi değişimine göre makina kapasitesi değerleri	83
Şekil 4.40. Bağ budama artıklarının parçalanmasında bıçak tipi değişimine göre parçacık boyutu değerleri.....	83

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1. Zeytin ve bağ üretiminin toplam meyve üretimi içerisindeki durumu	3
Çizelge 1.2. Bahçe bitkileri alanlarında oluşan artık miktarı.....	3
Çizelge 1.3. Seçili ürünlerde budama artığı miktarı	4
Çizelge 3.1. Parçalama sisteminde kullanılan elektrik motorlarının bazı özellikleri	25
Çizelge 3.2. Hız kontrol ünitelerinin bazı özellikleri.....	29
Çizelge 3.3. Budama artıklarının ve elde edildiği bahçelerin bazı özellikleri.	31
Çizelge 3.4. Namlu yoğunluğu (y.b.).....	33
Çizelge 3.5. Hız kontrol ünitesinden elde edilen rotor devirleri ve konveyör hızı.....	34
Çizelge 3.6. Görüntü analizinde kullanılan parçacık boyutu parametreleri.....	42
Çizelge 3.7. Deneme planı	45
Çizelge 3.8. P değerinin simgesel olarak gösterilmesi (Anonymous 3)	45
Çizelge 4.1. Parçalama makinasına ait yıllık ve saatlik giderler	84
Çizelge 4.2. Zeytin denemelerinde saatlik makina maliyetleri.....	84
Çizelge 4.3. Zeytin denemelerinde birim kütle başına makina maliyetleri (y.b.).....	85
Çizelge 4.4. Zeytin denemelerinde birim kütle başına makina maliyetleri (k.b.).....	85
Çizelge 4.5. Zeytin denemelerindeki toplam makina maliyetleri	85
Çizelge 4.6. Bağ denemelerinde saatlik makina maliyetleri.....	86
Çizelge 4.7. Bağ denemelerinde birim kütle başına makina maliyetleri (y.b.).....	86
Çizelge 4.8. Bağ denemelerinde birim kütle başına makina maliyetleri (k.b.).....	87
Çizelge 4.9. Bağ denemelerindeki toplam makina maliyetleri	87
Çizelge 4.10. Zeytin budama artıklarının en uygun parçalanma koşulları	88
Çizelge 4.11. Bağ budama artıklarının en uygun parçalanma koşulları	88

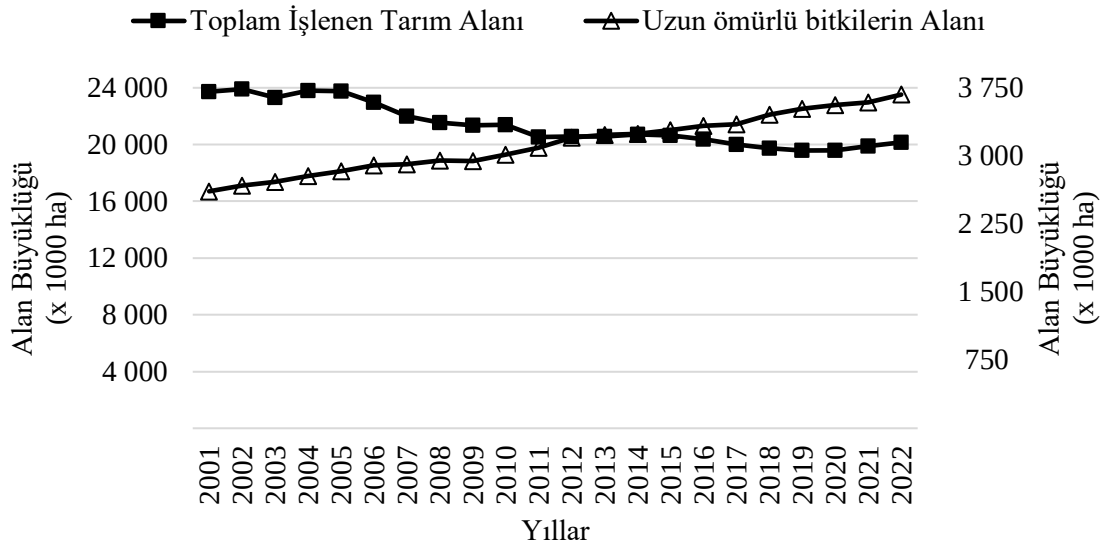
1. GİRİŞ

Türkiye, yüzyıllardır pek çok medeniyete ve göç yollarına ev sahipliği yapmış, sahip olduğu gerek coğrafi gerekse ekolojik özellikler sebebiyle binlerce bitkinin anavatanı olmuş Anadolu ve Batı Trakya topraklarına sahip bir ülkedir. Bitkilerin gen kaynaklarının orijin merkezlerini belirleyen Rus bilim adamı Vavilov'un dünya üzerinde tanımladığı sekiz orijin merkezi arasında yer alan Akdeniz ve Yakın Doğu merkezleri Türkiye coğrafyası ile örtüşmektedir (İlhan, 2017). Bitki genetik kaynaklarının orijin merkezleri Şekil 1.1'de yer almaktadır.



Şekil 1.1. Bitki Genetik Kaynaklarının Orijin Merkezleri; (1) Meksika-Guatemala (2) Peru-Ekvador-Bolivya (2A) Güney Şili (2B) Güney Brezilya (3) Akdeniz (4) Yakın Doğu (5) Etiyopya (6) Orta Asya (7) Hint-Burma (7A) Siam-Malaya (8) Çin (Anonymous 1)

Ülkemizde son yıllara ait veriler incelendiğinde, toplam işlenen tarım alanlarının azalmasının yanında çoğunluğunu meyve bahçelerinin oluşturduğu uzun ömürlü bitkilerin yetiştirildiği alanlarda artış görülmektedir. Buna göre, 2001 yılında 23.7 milyon hektar olan toplam işlenen tarım alanı 2022 yılında %15.03 oranında azalarak 20.2 milyon hektar olmuştur. Uzun ömürlü bitkilerin alanı ise 2001 yılında 2.6 milyon hektar iken, 2022 yılında bu alan %40.8 artış göstererek 3.7 milyon hektara ulaşmıştır. Bununla birlikte, 2001 yılında uzun ömürlü bitkilerin yetiştirildiği alanlar toplam işlenen tarım alanının yaklaşık %11'ini oluştururken bu oran 2022 yılında %18.23 olarak belirlenmiştir (TÜİK 2023). Türkiye'deki toplam işlenen tarım alanları ve uzun ömürlü bitkilerin alanlarının 2001-2022 yılları arasındaki değişimi Şekil 1.2'de verilmiştir.



Şekil 1.2. Toplam tarım alanları ve uzun ömürlü bitkilerin alanlarının değişimi

Pek çok meyve türünün anavatanının sınırları içinde yer alması, çok eski medeniyetlerin beşiği olması ve uzun süre kullanılan göç ve ticaret yollarının üzerinde olması nedeniyle Türkiye birçok meyve türünün yetiştirilmesinde ev sahibi konumundadır. Farklı çevresel özelliklerdeki tarım bölgelerimiz bugün dünyada yetiştirilen 138 adet meyve türünden 75'e yakınının ülkemizde rahatlıkla yetiştirilmesine olanak sağlamaktadır (Özüpek vd. 2013).

Ülkemizde son yıllara ait veriler incelendiğinde yaklaşık 3.6 milyon hektar alanda yapılan meyve yetiştiriciliğinin başta gelen ürünlerinin zeytin ve bağ olduğu görülmektedir. Buna göre 2022 yılında 901000 hektar alanda zeytincilik ve 385000 hektar alanda ise bağcılık yapılmıştır. Aynı yılda toplam zeytincilik ve bağcılık yapılan alanlar toplam meyve üretimi gerçekleştirilen alanın yaklaşık %35'ini oluşturmaktadır (Çizelge 1.1).

Ülkemizde Enerji ve Tabi Kaynaklar Bakanlığı verilerine göre bahçe bitkileri yetiştiriciliği yapılan alanlarda toplam 4038114 ton/yıl artık miktarı ortaya çıkmaktadır. Toplam artıkların enerji eşdeğeri ise 73669 TJ'dur. Toplam artık miktarı içerisinde zeytin artıkları 345771 ton (%8.6), bağ artıkları 1668164 ton (%41.3) olarak yer almaktadır. Enerji eşdeğeri olarak ise bağ ve zeytin artıkları toplam enerji potansiyelinin %50'sini oluşturmaktadır (Çizelge 1.2).

Çizelge 1.1. Zeytin ve bağ üretiminin toplam meyve üretimi içerisindeki durumu*

Yıllar	Uzun ömürlü bitkilerin toplam yetiştirme alanı	Zeytin alanı		Bağ alanı		Toplam	
	1000ha	1000ha	%	1000ha	%	1000ha	%
2010	3011	784	26.04	478	15.88	1262	41.91
2011	3091	798	25.82	473	15.30	1271	41.12
2012	3201	814	25.43	462	14.43	1276	39.86
2013	3232	826	25.56	469	14.51	1295	40.07
2014	3243	826	25.47	467	14.40	1293	39.87
2015	3284	837	25.49	462	14.07	1299	39.56
2016	3329	846	25.41	435	13.07	1281	38.48
2017	3348	846	25.27	417	12.46	1263	37.72
2018	3457	864	24.99	417	12.06	1281	37.06
2019	3519	879	24.98	405	11.51	1284	36.49
2020	3559	887	24.92	401	11.27	1288	36.19
2021	3591	889	24.76	390	10.86	1279	35.62
2022	3675	901	24.52	385	10.48	1286	34.99

*TÜİK, 2023

Çizelge 1.2. Bahçe bitkileri alanlarında oluşan artık miktarı*

Alan	Artık Miktarı		Enerji Eşdeğeri	
	Ton	Oran	TJ	Oran
Bağ	1668164	41.3%	30524.9	41.4%
Zeytin	345771	8.6%	6279.2	8.5%
Bağ ve Zeytin	2013935	49.9%	36804.0	50.0%
Toplam Bahçe Bitkileri	4038114		73669.3	

*T.C. Enerji ve Tabi Kaynaklar Bakanlığı, 2023

Özellikle meyve üretimindeki artışa paralel olarak budama işlemi sonrası ortaya çıkan budama artık miktarının da artışından söz edilebilir. Ülkemizde 2016 yılında yoğun olarak yetiştiriciliği yapılan meyve ağaçlarından budama işlemi sonrasında ortaya çıkan toplam kullanılabilir artık miktarı yaklaşık olarak 2.5 milyon ton olarak belirlenmiştir. Belirtilen çalışmada budama artık miktarlarının belirlenmesi için seçilen ürünlerin (meyve) TÜİK 2016 yılına ait ağaç sayıları ile birlikte Bilandzija vd. (2012) tarafından bildirilen budama katsayıları ve CEC (California Energy Commission) (2015) tarafından belirlenen kullanılabilirlik oranlarından yararlanılmıştır (Sümer vd. 2016). 2022 yılı için, benzer yöntem kullanılarak zeytin ve bağ ağaçlarına ait kullanılabilir budama artığı miktarı yaklaşık 3 milyon ton olarak hesaplanmıştır.

Ülkemizde 2022 yılında zeytin ve bağ bitki türlerine ait hesaplanmış budama artığı miktarı Çizelge 1.3’de görülmektedir.

Çizelge 1.3. Seçili ürünlerde budama artığı miktarı*

Çeşit	Meyve Veren Ağaç Sayısı	Budama Katsayısı	Budama Artığı	Kullanılabilir Oran	Kullanılabilir Budama Artığı
	1000 adet	kg-ağaç/yıl	1000 ton/yıl	%	1000 ton/yıl
Zeytin	163035	9.08	1480.36	70.00	1036.25
Fındık	395994	3.05	1207.78	70.00	845.45
Antep Fıstığı	58144	8.80	511.67	70.00	358.17
Turunçgiller	48428	5.30	256.67	70.00	179.67
Elma	75913	2.34	177.64	70.00	124.35
Kiraz	22200	5.90	130.98	70.00	91.69
Şeftali	20416	7.23	147.61	70.00	103.33
Kayısı	19158	5.79	110.92	70.00	77.65
Erik	9184	7.34	67.41	70.00	47.19
İncir	10852	4.58	49.70	70.00	34.79
Badem	13616	5.81	79.11	70.00	55.38
Vişne	5611	5.37	30.13	70.00	21.09
Armut	11554	2.45	28.31	70.00	19.82
Ceviz	15327	3.43	52.57	70.00	36.80
Bağ	4089	0.89	3.64	70.00	2.55
Toplam	873521		4.093		3034.15
Zeytin ve Bağ					1038.80
Zeytin ve Bağ budama artıklarının toplam artıklara oranı					34%

* TÜİK, 2023; Sümer vd., 2016

Budama artıkları pek çok farklı amaçlar için işlenerek değerlendirilebilecek potansiyele sahip materyallerdir (Öngören ve Sessiz 2022). Tarımsal üretim faaliyetleri sürecinde ortaya çıkan budama artıklarının değerlendirilmesinde toprağa gömme, kompostlaştırma ve yeniden işleme yöntemleri uygulanmaktadır (Şeflek vd. 2006). Kullanım amacına göre farklı işlemlerden geçen budama artıklarının en basit değerlendirme yöntemi, çıktığı ortamda değerlendirilmesidir (Çanakcı 2014). Bitkisel kökenli olan budama artıkları organik madde kaynağı nedeniyle toprak ıslahı ve bitki yetiştirme ortamlarında da kullanılabilir (Çıtlak vd. 2006). Budama artıkları pelet veya briket şeklinde biyokütle enerji kaynağı olarak da değerlendirilebilmektedir (Çanakcı 2014). Ayrıca budama artıkları kâğıt endüstrisinde ve mobilya sektöründe ham madde olarak, hayvansal üretimde ise hayvan yemi olarak kullanılabilir (Gilanipoor vd. 2020, Çolakoglu 2018, Yeniocak 2008).

Artıkların parçalanması veya boyutlarının küçültülmesi işlemi, tüm değerlendirme yöntemlerinde öncelikli, kaçınılmaz ve aynı zamanda yöntemin kalite ve ekonomik olmasını etkileyen önemli ve kritik bir aşamadır (Çanakcı 2014). Artıkların kendine özgü özellikleri nedeniyle parçalama işleminde kullanılan makina ve sistemlerin,

belirtilen özellikler dikkate alarak tasarlanması ve çalıştırılması gerekmektedir. Bu nedenle geçmiş yıllarda bazı araştırmacıların, parçalama işleminin bilim mi yoksa sanat mı olduğu konusunda tartışma yürüttükleri belirtilmektedir (Strerrett ve Sheldon, 1963).

Tüm parçalama işlemlerinde olduğu gibi, özellikle biyokütlenin değerlendirilmesi işlemlerinde ilk aşamada kullanılan makinalarının seçimi işlemin niteliği ve maliyetler açısından önemlidir (Naimi vd 2006). Tarımsal alanlarda oluşan budama artıklarını parçalayan makinalar; materyal çeşidi, materyalin değerlendirilme şekli ve makinanın çalışma koşulları gibi farklı özelliklere bağlı olarak çeşitlilik göstermektedir. Uygulamada, hobi bahçelerinde kullanılan küçük parçalayıcılardan, geniş meyve bahçelerinde traktöre yarı asılır/asılır şekilde bağlanabilen, kendine ait depolama ünitesi bulunan makinalar ile büyük boyutlu ve güçlü motorlara sahip kendiyürür makinalara kadar geniş bir yelpaze içerisinde parçalama makinaları bulunmaktadır (Çanakcı 2014). Bunların yanında özellikle parçalama tesislerinde sabit şekilde çalışan, hareketini genellikle güç değeri yüksek motorlardan alan ve yüksek kapasiteli parçalama makinaları da bulunmaktadır (Şekil 1.3).



Şekil 1.3. Budama artığı parçalama makinaları örnekleri

Ülkemizdeki meyve bahçelerinde budama işlemi sonrasında ortaya çıkan artıkların bertaraf edilmesi, genellikle boş alanlara terkedilerek veya yakılarak sağlanmaya çalışılmaktadır. Bununla birlikte bu artıkların uygun makinalar ile parçalanıp toprak zemin üzerine bırakılması ve sonrasında toprağa karıştırılması yönteminin son yıllarda yaygınlaştığı gözlemlenmektedir. Bu yöntemde parçalayıcı makina olarak hareketini traktör kuyruk milinden alan, asılır /yarı asılır tip makinalar kullanılmaktadır. Parçalama ünitesinde, rotora serbest salınımlı olarak bağlanmış bıçakların bulunduğu parçalama ünitesi ile elek ve toplama ünitesi opsiyonlu olan bu makinalar, meyve bahçelerinde sıra arasına bırakılan namlu halindeki budama artıklarını parçaladıktan sonra toprak zemin üzerine bırakılmaktadırlar. Son yıllarda yerli tarım makinası

üreticilerinin bu tip makinaları piyasaya sürmesi ve bu makinaların kırsal kalkınmanın geliştirilmesi için sağlanan hibe destekleri kapsamında yer alması parçalama makinası kullanımını arttırmıştır (KKYDP 2013; Çanakcı 2018a). Yine son yıllardaki veriler incelendiğinde ülkemizde dal/sap parçalama makinası diye de adlandırılan budama artığı parçalama makinalarının sayısının artış gösterdiği görülmektedir. TÜİK verilerine göre 2010 yılında 16685 adet olan makina sayısı 2022 yılında %31.5'lik bir artış ile 21951 adete ulaşmıştır (TÜİK 2023).

Bitkisel artıkların değerlendirilmesi kapsamında kullanılan makina sayılarındaki artışın yakın gelecekte de artacağı öngörülmektedir. Bu nedenle Türkiye’de sınırlı sayıda yapılan bilimsel çalışmaların sayısının artmasının yararlı olacağı düşünülmektedir.

Bu araştırmada, önceki çalışmalar ve uygulamadaki gereksinimler dikkate alınarak toplama ve elek ünitesine sahip bir budama artığı parçalama makinasının farklı çalışma koşullarında işletme parametrelerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda; bağ ve zeytin budama artıkları, üç farklı nem içeriği, üç farklı rotor devir sayısı ve iki farklı tip bıçak kullanılarak denemeler gerçekleştirilmiştir. Belirtilen farklı uygulamalarda budama artıkları parçalanmış, elde edilen bulgular doğrultusunda uygun çalışma koşulları, enerji tüketimi, makina kapasitesi, parçalama etkinliği ve makina işletme maliyetleri yönünden incelenmiştir.

2. KAYNAK TARAMASI

Gerek uluslararası gerekse ulusal düzeyde budama artıklarının parçalanması ve sonrasında değerlendirilmesine yönelik bilimsel ve uygulamaya yönelik farklı çalışmalar yürütülmektedir. Yürütülen çalışmaların geniş bir yelpazede yer aldığı görülmektedir. Araştırma konusu ile ilgili kaynak taramaları üç bölümde incelenmiştir. Birinci bölümde; budama artıklarının potansiyeli ve değerlendirme olanakları ile ilgili konular, ikinci bölümde budama artıklarının parçalanmasında kullanılan makineler ile yapılan çalışmalar, üçüncü bölümde ise araştırmada parçalanan budama artıklarının boyutlarının belirlenmesinde uygulanan görüntü işleme yöntemleri ile nesnelerin boyutlarının belirlenmesi ile ilgili çalışmalara yer verilmiştir.

2.1. Budama Artıklarının Potansiyeli ve Değerlendirilmesi ile İlgili Çalışmalar

Çanakcı (2014), çalışmasında ülkemizdeki budama artıklarının genellikle boş görülen alanlara terk edilerek veya yakılarak bertaraf edilmeye çalışıldığını ifade etmiştir. Hastalık içeren budama artıklarının bahçe dışına çıkarılıp uzaklaştırılmasının ve yakılmasının uzmanlar tarafından önerildiğini ancak hastalık içermeyen artıklar için aynı işlemin uygulanmasının, bu materyallerden ekonomik olarak yararlanılmayı engellediği gibi çevre kirliliğine de neden olduğunu belirtmiştir. Bu şekildeki uygulamalar ile artıkların yeterince değerlendirilmediğini ve önemli bir potansiyelin kullanılmadığını bildirmiştir.

Dedeoğlu ve ark. (2017) tarafından hazırlanan çalışmada kent ağaçları, süs bitkileri ve meyve ağaçlarında bakım ve budama esasları konularına yer verilmiştir. Çalışmada budama işlemleri sonucu ortaya çıkan artıkların parçalanıp, kentsel alanlarda malç olarak kullanılabileceği belirtilmiştir.

Kallestad ve ark. (2008), çalışmalarında New Mexico ve Texas eyaletlerinde meyve bahçelerindeki budama artıklarının yakılmasının çevresel sorunlara neden olduğunu bildirilmişlerdir. Bununla birlikte alternatif enerji kaynakları kullanımının fosil yakıtlara olan ihtiyacı azaltacağı, tarımsal artıkların da bu amaçla değerlendirilebileceği belirtilmiştir.

Margaritis vd. (2020) tarafından bağ budama artıkları ile yürütülen bir çalışmada, tarımsal artıkların sürdürülebilir şekilde biyokütle yakıtı olarak kullanabilecek miktarlarda potansiyele sahip olduğu belirtilmiştir. Bununla birlikte artıkların, düşük ısı enerjisi, düşük yoğunluk gibi özellikleri ile birlikte depolama konusundaki sorunlarına vurgu yapılmıştır.

Manzanares vd. (2017), İspanya’da yürütülen başka bir çalışmada zeytin budama artıklarının düşük yoğunluğu ve taşıma maliyetlerinin yüksek olması sebebiyle çok az miktarının enerji tesislerinde hammadde kaynağı olarak kullanılabildiğini, bunun yerinde yakma işlemini tercih ettikleri bildirilmiştir. Bununla birlikte budama artıklarının toprağı koruduğu ve toprak yapısını iyileştirme potansiyeli içerdiği vurgulanmıştır.

Şeflek vd. (2006), budama atıkları toprağı gömme, kompostlaştırma ve yeniden işleme yöntemleri ile değerlendirilebilir özellikteki materyaller olduğunu belirtmiştir.

Çalışmada ayrıca budama artıklarının toprağa gömülmesinde ve kompostlaştırılmasında uygun makinalar tarafından parçalanmasının önemini vurgulamışlardır.

Holtz vd. (2005), çalışmalarında budama artıklarının parçalandıktan sonra toprağa karıştırılmasıyla toprak yapısının iyileştiğini belirtmişlerdir. Araştırma sonuçlarına göre artıkların parçalanıp toprağa karıştırılmasıyla toprak infiltrasyon özelliğinin arttığı, pH değerinin düzenlendiği, toprak besin maddelerinin korunduğu ve zararlı nematod sayısının azaldığını ortaya konulmuştur.

Spinelli vd. (2012), Kuzey ve Orta İtalya'daki 17 sahada yürüttükleri çalışmada bağ budama artıklarının miktarını ve kalitesini belirlemişlerdir. Çalışmada bağ çeşitleri arasında farklıklar olmakla birlikte her bir araziden yaklaşık 1 ton/ha kuru bazda artık elde edilmiştir. Elde edilen budama artıklarının biyokütle yakıtına dönüştürülebilen önemli miktarda ligno-selülozik potansiyele sahip olduğu belirtilmiştir.

Calatrava ve Franco (2011), Güney İspanya'nın Granada bölgesinde zeytin bahçelerinde parçalanmış budama artıklarının malç olarak uygulanması ve bu uygulamanın üreticiler arasında yayılma sürecini incelemişlerdir. Zeytinciliğin çoğunlukla toprak erozyonu riskinin yüksek olduğu sarp alanlarda yapıldığı bölgede üreticilerin geleneksel toprak işleme yöntemlerine alternatif olarak malç yöntemini benimsediği belirtilmiştir. Toplam 215 çiftçi ile yapılan anket çalışması sonucunda budama artıklarının malç olarak kullanım oranı %43 olarak belirlenmiştir. Araştırmacılara göre; malç uygulamasının yayılım süreci 1980'li yıllarda başlamış, 1990'ların sonu ve 2000'li yıllarda yoğunlaşmıştır. Bu süreçteki yaygınlaşmanın AB destekleri ve yayım çalışmalarının yanı sıra çiftçilerin kendi aralarındaki ilişkiden kaynaklandığı belirtilmiştir. Daha profesyonel, bilgili ve yenilikçi çiftçilerin malç uygulamasını daha çok benimsedikleri vurgulanmıştır.

Avcıoğlu vd. (2019), Türkiye'de biyokütle ürünlerin üretiminde kullanabilecek tarımsal artık potansiyelinin bulunduğunu ortaya koymuşlardır. Çalışmada ülkemizde tarla bitkilerinde artık miktarının kuru bazda yaklaşık 54 milyon ton, bahçe bitkilerinde ise kuru bazda yaklaşık 5 milyon ton olarak hesaplanmıştır. Bu artıkların teorik enerji potansiyelinin, tarla bitkilerinde 908119 TJ ve bahçe bitkilerinde 90354 TJ olarak tahmin edilmiştir. Bununla birlikte, tarımsal artıkların toplanması ve taşınmasında karşılaşılan organizasyonel ve finansal zorluklar, kalıntıların kullanımına ilişkin kamuoyu bilincinin zayıf olması, yapılan çok sayıda akademik çalışmaya rağmen uygulanan politikaların ve düzenlemelerin olmaması nedeniyle artıkların değerlendirilmesinin sınırlı düzeyde kaldığı ifade edilmiştir. Enerji ihtiyacının çoğunu ithal eden Türkiye'nin hem ekonomik hem de çevresel sürdürülebilirliğini sağlamak için biyokütle enerji kaynaklarının düzenleyici ve yatırım potansiyelinin geliştirilmesi gerektiğini ileri sürülmüştür.

El-Juhany (2001), çalışmasında Suudi Arabistan'ın üç şehrinde (Cidde, Riyat, Dammam) tarımsal ve peyzaj alanlarında, budama ve bakım işlemleri sonucu ortaya çıkan bitkisel artık potansiyelini incelemiştir. Elde edilen bulgulara göre her yıl 4.5 milyon ağaç, çalı ve palmyeden 62000 ton lignoselülozik artık elde edilmektedir. Ayrıca ağaç ürünlerini işleyen 96 adet tesisten ise yıllık 139000 ton artık maddenin ortaya çıktığı belirtilmiştir. Tarımsal, meyve ve palmye artıklarının çoğunlukla yakılarak bertaraf edildiğini, peyzaj artıklarının ise çöplüklerde biriktirildiği bildirilmiştir.

Repullo ve vd. (2012), İspanya’da yaptıkları çalışmada bitkisel artıkların toprağa karıştırılmasının toprağın biyoçeşitliliğini artırdığı ve verime olumlu katkı sağladığını bildirmişlerdir. Parçalanmış artıkların topraktaki organik madde içeriğini 0-5 cm toprak derinliğinde %0.86-1.52, 0-20 cm derinliğinde ise %0.43-0.84 düzeylerinde artırdığı belirlenmiştir.

Bilandzija vd. (2012), Hırvatistan’da yoğun olarak yetiştiriciliği yapılan 12 çeşit meyve ağacından elde edilen budama artıklarının yenilenebilir enerji kaynağı olarak kullanılması durumundaki yıllık toplam potansiyel enerji değerini 4210 TJ olarak hesaplamışlardır.

Nasser vd. (2014) bağ budama artıklarının yakılması sonucunda ortaya çıkan enerji değerlerini belirlemişlerdir. Yedi farklı bağ budama artığının kullanıldığı denemeler sonucunda, bağ budama artıklarının ısı değeri 18.74-19.19 MJ/kg arasında değiştiği belirlenmiştir.

Dyjakon ve ark. (2016), Polonya’daki elma bahçelerinde budama işlemleri sonucu ortaya çıkan potansiyeli araştırmışlardır. Enerji potansiyelinin yıllık 7900-12500 TJ olduğu hesaplanmıştır.

Giorio vd. (2019), parçalanmış bağ budama artıklarının enerji dönüşümünde sürdürülebilir şekilde kullanılma imkanlarını incelemişlerdir. Bu kapsamda talaş haline getirilen bağ budama artıkları orta büyüklükteki bir biyokütle kazanında yakılmış ve artıkların kimyasal bileşimi, ısı değeri, kül içeriği gibi özellikleri belirlenmiştir. Budama artıklarının denemelerde kullanılan orta boy büyüklükteki biyokütle kazanında başarılı bir şekilde kullanılabileceği ve %86-89’luk bir yanma verimliliği olduğu, ancak yüksek kül içeriği yüzünden ev tipi ısıtıcılarda kullanılmasının uygun olmadığı tespit edilmiştir. Ayrıca kül içeriğindeki bakır oranının bazı Avrupa ülkelerinde uygun sınır değerini aştığı bazı ülkelerde ise sınır değerinin altı kaldığı belirtilmiştir.

Çıtak vd (2006), dünya genelinde olduğu gibi ülkemizde de tarımsal artıkların yakılarak yok edilirken çevre kirliliğine sebep olduğunu, bunun yerine organik madde ve besin kaynağı olan bu artıkların tekrar tarımda kullanılabileceğini belirtmiştir. Çalışmada, limon ağacı budama artıkları ile birlikte hazırlanan karışım (%97.5 limon budama artıkları, %2.5 bira fabrikası atıkları), torf da ilave edilerek süs bitkisi yetiştiriciliğinde kullanılmıştır. Ayrıca tarımsal artıkların tekrar kullanılması ile topraklarımızın hem organik madde içeriğinin arttırılacağı hem de bitki besin maddesi yönünden zenginleşeceği bu sayede de daha az kimyasal gübre kullanılacağı vurgulanmıştır.

Gilanipoor vd. (2020) tarafından İran’da yapılan bir çalışmada elma ağaçlarından elde edilen budama artıklarından yonga levha üretmişlerdir. Toplam 9.2 ha alanda bulunan yedi işletmede, birim alandan yaklaşık 1.8-2 ton/ha budama artığı elde edilmiştir. Elde edilen budama artıkları parçalandıktan sonra yonga levha üreten tesise taşınmıştır. Artıklardan yonga levha üretilmesinde ortalama yaklaşık 20 \$/ton kâr elde edilmiştir. Budama işlemi sonrası ortaya çıkan tarımsal artıkların kullanılması ile istihdam, sosyal ve ekonomik fayda, kırsal kalkınma, doğal ormanların korunması, artan enerji verimliliği ve yonga levha endüstrisi üretimi için daha düşük hammadde maliyetleri gibi birçok avantaj sağlandığı belirtilmiştir.

2.2. Artıklarının Parçalanmasında Kullanılan Makinalar ile İlgili Çalışmalar

Şeflek vd (2006), budama artıklarının değerlendirilmesi için çekiçli tip parçalayıcı düzeneği olan elekli bir parçalama makinası tasarlamış ve makinanın performans değerlerini belirlemişlerdir. Denemeler üç farklı parçalayıcı bıçak çevre hızında (52, 57.8 ve 63.58 m/s) ve iki farklı elek delik çapında (25 ve 30 mm) yürütülmüştür. Artan çevre hızına bağlı olarak özgül enerji tüketiminin yaklaşık %9 oranında azalmıştır. Makinanın çevre hızına bağlı olarak güç tüketiminin artmasına rağmen özgül enerji tüketiminin azalmasının, parçalanmış materyalin özgül yüzey alanındaki artışına bağlı olduğu belirtilmiştir. Bununla beraber parçalayıcı çevre hızındaki yaklaşık %22' lik artışın parçacık boyutlarında %24' lük bir azalmaya neden olduğu belirlenmiştir.

Demir (2007), literatürdeki sap parçalama makinaları ile ilgili çalışmalardan derlediği bilgiler doğrultusunda bitki saplarının işlenmesini, bu işlemde kullanılan makinaların tarihi gelişimini, tip ve özelliklerini, parçalanmış materyalin kullanım imkânları hakkında genel bilgiler vermiştir. Araştırmada sap parçalama makinası ile üç farklı bıçak çevre hızı (33.35, 43.46 ve 63.59 m/s) ile üç farklı ilerleme hızında (2.7, 4.5 ve 7.2 km/h) denemeler yapılarak, makinanın kuyruk mili gücü gereksinimi, yakıt tüketimi, parçalanmış materyalin boyut dağılımı, hacim ağırlığı ve su tutma kapasitesi özellikleri belirlenmiştir. Çavdar bitkisinin biçerdöver ile hasadından sonra tarlada kalan anızı üzerinde yapılan denemeler sonucunda, bıçak çevre hızının yaklaşık %80'lik artışı kuyruk mili gücü ihtiyacında %113 artışa neden olmuştur. Çalışma hızının %166'lık artışı ise kuyruk mili gücü ihtiyacında yaklaşık %92'lik artışa neden olmuştur. Ayrıca bıçak çevre hızı yakıt tüketimini %46 artırırken, çalışma hızındaki artış yakıt tüketimini yaklaşık %53 artırmıştır. Parçalanmış materyalin hacim ağırlığı 17.96 - 22.02 kg/m³ arasında bulunmuştur. Bıçak çevre hızı artışı, hacim ağırlığını %16 artırırken, ilerleme hızındaki artış hacim ağırlığını %6 azaltmıştır. Parçalanmış materyalin boyutu ise bıçak çevre hızının artmasıyla %27 azalmış, çalışma hızının artmasıyla %10 artmıştır. Hacim ağırlığı ve su tutma kapasitesi parça boyutuna bağlı olarak, parça boyutunun küçülmesi ile artış göstermiş ve bu artış, makinanın parçalama etkinliğinin bir göstergesi olarak kabul edilmiştir.

Dereli (2009), bağlarda budama sonrası oluşan artıkların parçalanmasında kullanılan 3 farklı parçalama makinasıyla çalışmıştır. Yapılan denemelerde farklı tip bıçaklara sahip ve farklı rotor devirlerinde çalışan makinalara ait performans değerleri belirlenmiştir. Denemelerde makinaların parçalama etkinliği, yakıt ve güç tüketimleri belirlenmiştir. En düşük güç tüketimi 2.98 kW değeri ile Prototip 1 makinasında ölçülürken, geleneksel sap parçalama makinasının 1 m/s ilerleme hızında 4.44 kW değeri ile en yüksek güç tüketimine sahip olduğu belirlenmiştir. Geleneksel makina özellikle 1 m/s ilerleme hızında yeterli parçalama zamanı bulamadığı için parçalama yapamamaktadır. Bununla beraber geleneksel sap parçalama makinası 4.13 L/h ile en yüksek yakıt tüketimine sahiptir. Yapılan ölçümler sonucunda 0-10 cm parçalama aralığında en yüksek parçalama miktarı %62.92 ile Prototip 1 sap parçalama makinasına aittir. Bağ çubuklarında 10 cm ve üzerinde parçalanmış çubuk yoğunluğunda en fazla parçalanmış çubuk miktarı %81.21 ile geleneksel sap parçalama makinasında belirlenmiştir.

Savoie ve Gagnon (2012), söğüt ağacının budanmış dallarını çekiçli tip parçalama makinası ile farklı rotor devirlerinde parçalamışlardır. Parçalama ünitesindeki karşıt bıçakların ve kapağın konumunu değiştirilerek farklı besleme yoğunluğunda ve dört farklı rotor devrinde denemeler yapılmıştır. Parçalama işlemleri sonunda oluşan parçalar (0-250, 250-500, 500-750, 750-1000, ve 1000<mm) sınıflandırılarak makinanın parçalama etkinliği belirlenmiştir. Belirlenen kombinasyonlarda yapılan 25 denemenin sonunda en etkin parçalamanın ve en az materyal kaybının en yüksek (2390 1/min) rotor devrinde gerçekleştiği sonucuna ulaşılmıştır. Aynı zamanda bu rotor devrinde parçaların %58'nin 250 mm'den küçük ve materyal kaybının %17 olduğu tespit edilmiştir. Makinanın güç ihtiyacının ise ortalama 10.2 ve 19.0 kW arasında değiştiği belirlenmiştir.

Öngören (2021), çalışmasında Diyarbakır'da yoğun olarak yetiştiriciliği yapılan üzüm çeşitlerinden elde edilen budama artıkları ile denemeler gerçekleştirmiştir. Çalışmada; Boğazkere, Öküzgözü ve Şire üzüm çeşitlerinin budama artıkları, hareketini termik motordan alan bir budama artığı parçalama makinası ile üç farklı motor devrinde (1500, 2000 ve 2500 1/min) parçalanmış ve makinarya ait saatlik yakıt tüketimi, özgül yakıt tüketimi, moment, güç, kapasite, değerleri ile beraber emisyon ve gürültü seviyesi değerleri belirlenmiştir. Ayrıca devir sayısındaki değişime bağlı olarak parçalanmış budama artıklarının boyutları ve budama artıklarının kesme özellikleri (kesme kuvveti, kesme gerilmesi, kesme enerjisi ve özgül enerji tüketimi) saptanmıştır. Çalışmanın sonunda devir sayısının artmasıyla tüm çeşitler için güç, saatlik yakıt tüketimi, kapasite ve gürültü seviyesi değerleri artış göstermiştir. Bununla beraber yine motor devrinin artışına bağlı olarak parçacık boyutunda azalma belirlenmiş ve devrin artmasının daha küçük sınıflarda yer alan parçacıkların oranını artırdığı ifade edilmiştir.

Çanakcı vd (2010), kuyruk milinden hareketli budama artığı parçalama makinasının temel işletmecilik verilerini belirlemişlerdir. Çalışmada bağ, nar, portakal ve avokado meyvelerine ait budama artıkları kullanılmıştır. Üç farklı besleme yoğunluğunda makinanın güç ve enerji tüketimlerini, parçalanın materyalin boyutları ve makinarya ait maliyet hesaplamaları yapmışlardır. Çalışma sonucunda, en yüksek güç gereksinimi en yüksek besleme yoğunluğunda portakalda 28.15 kW olarak belirlenmiştir. Besleme oranının artması birim alan başına gereken enerji miktarını tüm ürünlerde arttırmıştır. Parçalanın birim kütle başına düşen enerji tüketimi nar ve bağda yoğunluğun artmasına karşın azalmış, portakal ve avokadoda ise yoğunluğun artışına göre önce azalmış, sonra en yüksek yoğunluk değerinde artış göstermiştir. Parçalanın materyallerin ortalama geometrik çap değerleri beslenme yoğunluğuna göre 9.35 ile 13.76 mm arasında değişmiştir.

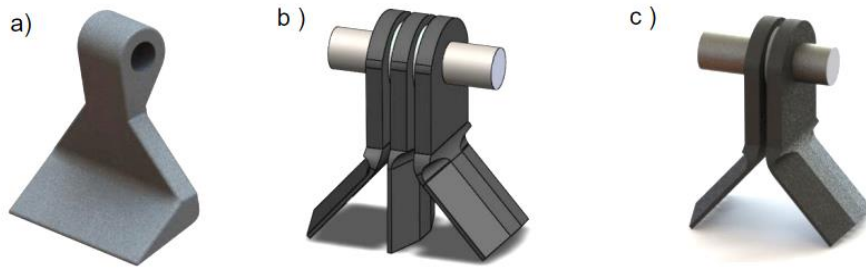
Yiğit ve Çanakcı (2020), araştırmalarında iki farklı budama artığı parçalama makinasının performans değerleri belirlemiş ve birbirleri ile kıyaslanmışlardır. Denemelerde toplama, parçalama ve elek ünitelerine sahip makina (Makina I) ve sadece parçalama ünitesine sahip makina (Makina II) olmak üzere iki farklı budama artığı parçalama makinası kullanılmıştır. Nar budama artıkları ile üç farklı besleme yoğunluğunda (1.49, 2.10 ve 2.41 kg/m²) yürütülen denemelerde; makinalara ait kuyruk mili güç gereksinimi, parçacık boyutları, gürültü düzeyi değerleri ile birim alan ve parçalanın birim kütle başına düşen enerji tüketimi değerleri belirlenmiştir. Araştırma bulgularına göre makina tipinin parçalama etkinliği üzerinde etkili olduğu ve Makina I'in %25 oranında daha iyi parçalama sağladığı belirlenmiştir. Bununla birlikte Makina I için ortalama güç gereksiniminin Makina II'den yaklaşık %120 oranında daha fazla olduğu

tespit edilmiştir. Buna göre Makina I ve Makina II için hesaplanan birim alan başına düşen ortalama enerji tüketimi değerleri sırasıyla 44.99 kWh/ha ve 21.18 kWh/ha olarak belirlenmiştir. Makina I ve Makina II ile üç farklı yoğunlukta elde edilen ortalama parçacık uzunlukları değerleri sırasıyla 68.58 mm ve 87.74 mm'dir.

Spinelli vd. (2011) çalışmalarında farklı boyut ve farklı nem içeriğine sahip budama artıklarının rotorlu tip hareketli bir budama artığı parçalama makinasıyla parçalamış ve parçalama makinasına ait yakıt tüketimi ve parçalama etkinliği değerlerini belirlemişlerdir. Parçalanacak materyal sert ve yumuşak olacak şekilde iki farklı tür ağacın ince ve kalın dalları olarak boyut sınıflandırılması yapılmıştır. Taze, kuru ve kurutulmuş olarak sınıflandırılan materyallerin nem içerikleri %19.5–41.7 arasında değişmektedir. Parçalama makinasında 50 mm aralıklarla dikey olarak sıralanmış şekilde tasarlanmış bir elek kullanmışlardır. Çalışma sonunda nem içeriğinin ve materyal boyutunun parçalanma boyutuna doğrudan etkili olduğunu ortaya koymuşlardır. Elde edilen sonuçların kullanılan makina ve koşullara ait olduğunu ve farklı makina kullanımında farklı sonuçlar elde edilebileceğini belirtmişlerdir.

Pekitkan vd. (2022), Antalya ilinde yürütülen çalışmada üretim alanlarından elde edilen yedi farklı bitki türüne (andız, ateşdiken, çalı, çam, ığde, şeftali ve zakkum) ait budama artıklarını kullanarak kesme testleri gerçekleştirmişlerdir. Denemelerde iki farklı nem içeriğine sahip budama artıkları ile çalışılmış ve kesme kuvveti, gerilme, enerji ve özgül enerji tüketimi değerleri belirlenmiştir. Çalışmanın sonunda çalı, çam, ığde ve şeftali türlerine ait materyallerde nem oranlarındaki azalışın kesme kuvveti, gerilme, enerji ve özgül enerji tüketimine etkisi istatistiksel açıdan önemsiz bulunmuştur. Andız, Ateşdiken ve Zakkum türlerinde ise nem düzeyinin ele alınan parametreler üzerinde önemli derecede etkili olduğu belirlenmiştir. Denemelerde elde edilen sonuçlara göre Andız ve zakkum çeşitlerine ait budama artıklarının nem içeriğinin sırasıyla %46.2 ve %23.6 oranında azalması ile özgül enerji tüketimi yatay ekseninde artmış, dikey ekseninde ise azalmıştır. Bununla beraber, Ateşdiken budama artıklarında nem içeriğinin %39.5 oranında azalması ile özgül tüketimi her iki ekseninde de artmıştır.

Çanakcı vd. (2019), yürüttükleri çalışmada meyve bahçelerinde sıra aralarındaki budama artıklarını parçalayan bir makinanın performans değerlerini ve kullandıkları üç farklı bıçak tipinin bu değerlere etkisini araştırmışlardır. Denemelerde çekik, universal ve Y tipi bıçaklar, nar ve portakal budama artıklarının parçalanmasında kullanılmıştır (Şekil 2.1). Araştırmada güç ve enerji tüketimleri ile parçalanmış artıkların ortalama geometrik çapları belirlenmiştir. Araştırma sonuçlarına göre, kullanılan bıçak tiplerinin makinanın güç tüketimine ve parçacık boyutu üzerine etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Her iki budama artığı için en yüksek güç tüketimi ve en küçük parçacıklar çekik bıçakta belirlenmiştir. Çekik bıçak ile yapılan parçalama işleminde güç değerleri nar için 22.28 kW, portakal için 19.29 kW olarak bulunmuştur. Ortalama parçacık büyüklüğü ise nar için 11.63 mm ve portakal için 13.03 mm'dir. En düşük güç değerleri ise Y tipi bıçakta belirlenmiş, bu değerler nar ve portakal için sırasıyla 13.34 kW ve 10.44 kW'tır. Enerji tüketimi için tüm uygulamalarda elde edilen değerler, nar için 4.24-7.07 kWh/t, portakal için 4.64-8.57 kWh/t olarak hesaplanmıştır.



Şekil 2.1. Denemelerde kullanılan bıçak tipleri, **a)** çekiç tip **b)** üçlü bıçak **c)** Y tipi bıçak (Çanakçı vd., 2019)

Suardi vd. (2021), budama artıklarının enerji üretiminde hammadde olarak kaliteli ve yeterli miktarda bulunabilen materyaller olduğunu ifade etmişlerdir. Buna rağmen, bu kaynağın tedarik zincirinde yaşanan sorunlar ve toplam maliyetlerin yüksek olması nedeniyle yeterince değerlendirilemediğini belirtilmiştir. Sorunun çözümüne yönelik artıkların tedarik zincirinde kullanılan diğer araç ve ekipmanlar ile uyumlu çalışabilen bir parçalama makinası geliştirmişlerdir. Yürütülen denemelerde karşıt bıçağın, parçalanmış materyal yükleme sistemlerinin ve bıçak tiplerinin parçalama işlemi üzerine etkilerini incelemişlerdir. Araştırmacılar parçalama makinası ile çalışırken parçalama ünitesinde ve parçalanmış materyalin taşınmasında kullanılan ekipmanlarda değişiklikler yaparak farklı konfigürasyonlarda denemeler yapmışlardır. Parçalama ünitesinde çapa şeklinde rotor üzerine sabitlenmiş bıçaklar ve sürekli sarmal hareketi yapan bıçaklar olmak üzere iki farklı bıçak kullanmışlardır. Parçalanmış materyaller, büyük taşıma torbaları ve devrilebilen depolar kullanılarak taşınmıştır. Yükleme sisteminde kullanılan besleyici silindirlerin devir hızında ise 5 farklı değerde (51, 74, 99, 120 ve 144 1/min) çalıştırılmıştır. Almanya ve İspanya’da gerçekleştirilen denemelerde badem, şeftali, erik, zeytin ve elma ağaçlarından elde edilen budama artıkları kullanılmıştır. Denemelerin sonunda parçalama makinasına ait teorik ve efektif iş başarısı, tarla etkinliği, materyal kapasitesi, parçalama etkinliği, yakıt tüketimi gibi performans değerleri belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre yakıt tüketimi, bitki türüne ve makina ayarına bağlı olarak 1.42-12.86 L/ton (y.b.) arasında değişmiştir. Besleyici silindirlerin devrinin 51 1/min’den 144 1/min’e yükselmesi parçacık dağılımındaki 16 mm’den küçük parçacıkların oranını %38.7 azaltmıştır. Bu azalmanın sebebinin, besleme hızının artmasıyla budama artıklarının parçalayıcı sisteminde kesme noktasından daha hızlı geçmesinden kaynaklandığı belirtilmiştir.

Adamchuk vd. (2016), Ukrayna’da bağ alanlarında budama sonrası oluşan artıkların yerinde değerlendirilmesine yönelik traktörden hareketli prototip parçalama makinası tasarlamışlar ve üretmişlerdir (Şekil 2.2). Bahçedeki sıra aralarında namlu halinde bırakılmış artıkları yerden toplayıp parçalayan ve tekrar toprağa bırakılmasını sağlayan makinanın bazı performans değerlerini Ukrayna’da aynı amaçla kullanılan benzer bir makina ile kıyaslamışlardır. Çalışmanın sonunda, ürettikleri prototip makinanın piyasadaki muadil makinaya göre yaklaşık 1.5 kat daha hafif olduğunu belirtmişlerdir. Bununla birlikte geliştirdikleri makinanın 15 kW/m güç tüketimiyle kıyaslanan makinaya göre yaklaşık %50 daha az güç gereksinimi olduğunu ortaya koymuşlardır.



Şekil 2.2. Budama artığı parçalama makinası prototipi (Adamchuk vd., 2016).

Çanakcı vd. (2018a), geliştirildikleri kendi yürür bir budama artığı parçalamasının işletme giderleri ile birlikte başa baş noktası olarak adlandırılan kritik alan büyüklükleri ve kritik kullanım süreleri belirlemişlerdir. Çalışmada hareketini traktörün kuyruk milinden alan, asılır tip parçalama makinaları ile çalışmada bazı sorunlarla karşılaşıldığı; düşük ilerleme hızı ve farklı materyal yoğunluklarında traktörün zorlanması gibi nedenlerle her zaman beklenen sonucun alınmadığı ifade edilmiştir. Bu tür sorunları dikkate alarak geliştirilen kendi yürür makina tüm hareketini 115 BG'ne sahip bir dizel motordan hareket almaktadır (Şekil 2.3). Makinanın hareket iletiminde hidrolik sistem kullanılmıştır. Üst ve alt toplama, parçalama ve elek ünitelerine sahip makinanın kontrolü elektronik kontrol sistemi (PLC) ile sağlanmaktadır. Bu sistemde çalışma sırasındaki temel işletmecilik parametrelerini anlık olarak görüntüleyen ve kaydeden panel PC destekli ayrı bir sistem daha bulunmaktadır. İş genişliği 170 cm olan makina meyve bahçelerinde budandıktan sonra sıra aralarında namlu haline getirilmiş artıkları parçalayıp toprak zemin üzerine bırakmaktadır. Çalışmanın sonunda, makinanın toplam yıllık sabit giderleri 30909 TL/yıl, toplam değişken giderleri 138 TL/h olarak hesaplanmıştır. Yıllık kritik kullanım süresi (başabaş noktası) ise 145.8 h ve sıra arası 6 m olan meyve bahçeleri için kritik alan büyüklüğü 111.5 ha olarak belirlenmiştir.



Şekil 2.3. Kendi yürür budama artığı parçalaması prototipi (Çanakcı vd.,2018b)

Jimenez vd. (2013), çalışmalarında İspanya'nın Cordoba bölgesinde zeytin bahçesinde gerçekleştirdikleri denemelerde budama artıklarının parçalandıktan sonraki boyut dağılımını ve toprak üzerini örtme/kaplama etkisini incelemişlerdir. Bu kapsamda 2.1 m iş genişliğine sahip, traktör kuyruk milinden hareketli, asılır tip bir parçalama makinası ile iki farklı besleme yoğunluğu (1.02 ve 2.04 kg/m²) ve iki farklı ilerleme hızında (2.4 ve 3.2 km/h) çalışmışlardır. 7x7 m aralıklarla dikilmiş 34 yıllık zeytin ağaçlarının bulunduğu bir bahçede, sıra alanlarında 35 m uzunluğundaki namlu haline getirilmiş budama artıklarını parçalamışlardır. Parçalama işleminden sonra belirli alanlardan alınan numunelerle parçacıkların boyutları ve dağılımları ile beraber parçacıkların toprak yüzeyini kaplama oranları görüntü işleme yöntemiyle belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar; yüksek besleme yoğunluğunda kaplama oranının %39 daha fazla olduğunu, ilerleme hızındaki değişimin ise kaplama oranı üzerine etkisinin önemli olmadığını göstermiştir. Bununla beraber, materyal yoğunluğunun artması ile 6 cm² den büyük parçacıkların oranı artmış, 2 cm² den küçük parçacıkların oranı azalmıştır.

Velazquez-Marti vd. (2009), İspanya'da zeytin bahçelerinde biyokütle olarak değerlendirilecek budama atıklarının toplanması, parçalanması ve bahçe dışına çıkarılmasında kullanılan makinaları incelemişlerdir. Çalışmada ayrıca bahçede dağınık durumda olan ve insan işgücüyle namlu haline getirilen dalların düzenlenmesi için gerekli zaman gereksinimi de ölçülmüştür. Araştırma sonunda materyalin sıra aralarında elle düzenlenmesi için geçen zaman 5 h/ha olarak belirtilmiştir. Parçalama işlemlerinde ise makina ve insan işgücü için zaman tüketimi değerleri sırasıyla 1.6 h/ha ve 4.8 h/ha olarak ölçülmüştür. Birim alandan ortalama 1.7 ton/ha olan kuru madde yoğunluğu koşullarında, toplama ünitesine sahip makina için yakıt tüketimi 4.75 L/ha olarak ölçülmüştür.

Spinelli vd (2010), İtalya’da yürüttükleri çalışmada bağ budama artıkları ile çalışan farklı makinalara ait bazı çalışma parametrelerini ve kullanım maliyetlerini belirlemişlerdir. Araştırmada, budama artıklarını balya (prizmatik ve silindirik) yapan iki adet, artıkları parçaladıktan sonra arka tarafında bulunan büyük bir torbaya biriktiren ve parçaladığı materyali damperli bir depoya aktarabilen toplam 4 adet makina ile çalışılmıştır. Makinaların saatlik kapasitelerinin 1.1-1.7 ton/h, kullanım maliyetlerinin ise 19.7-32.3 € /ton sınırları arasında hesaplanmıştır.

Fedrizzi vd. (2012), son yıllarda enerji dönüşümü, çevre, yetiştiricilik ve ekonomi açısından budama artıklarına olan ilginin arttığını belirtmişlerdir. Araştırmalarında toplama mekanizması ve parçalanmış materyalin depo edildiği bahçede sıra aralarında çalışan kuyruk milinden hareketli parçalama makinası üzerinde çalışmışlardır. Fındık bahçesinde % 43 nem düzeyinde materyal ile çalışan makinanın alan kapasitesi 1.15 ha/h, materyal kapasitesi ise 1.64 t/h ve 7.13 m³/h olarak hesaplanmıştır. Makina ile çalışmada toplam gider 43.50 €/h’dir. Parçalanmış materyal boyutları değerlendirildiğinde, materyalin %36’sının 6.3-12.5 mm, %34’ünün ise 12.5-25.0 mm uzunluğunda olduğu belirlenmiştir. Çalışma sonunda makinanın 60-70 kW güç aralığında bir traktör ile çalıştırılması önerilmiştir. Elde edilen parçalanmış materyalin kompost olarak ya da küçük-orta büyüklükteki kazanlarda ısı üretiminde yakıt olarak kullanılabileceği belirtilmiştir. Suardi vd. (2020), tarafından Yunanistan’da zeytin budama artıklarını ile yürütülen bir çalışmada budama artığı parçalama makinasının eğimli ve düz alanlardaki bazı performans değerleri belirlenmiştir. Denemelerde traktör kuyruk milinden hareketli, toplama ünitesine sahip ve kendine ait depolama ünitesi olan bir parçalama makinası kullanılmıştır. Parçalama makinasının %25’i geçmeyen eğimli koşullarda sorunsuz şekilde çalıştığı belirtilmiş ve makinanın iş kapasitesinin düz zeminde çalışırken 2.6 ton/h (k.b.), engebeli alanda ise 2.74 ton/h (k.b.) olduğu belirlenmiştir. Parçalama makinasına ait maliyetlerin de belirlendiği çalışmada, bu değerlerin düz ve engebeli alanlar için sırasıyla 29.88 ve 16.59 €/ton (y.b.) olduğu hesaplanmıştır. Çalışmada ayrıca zeytin budama artıklarının yüksek kül içeriğine (%4) sahip olduğu ifade edilmiştir. Bu şekilde değerlendirilecek biyokütle yakıtının kalitesini iyileştirmek için parçalama makinasının daha az oranda yabancı madde (toprak, taş vb.) toplamasına yönelik makinanın toplama ünitesinde değişiklikler yapılması önerilmiştir.

2.3. Parçacık Boyutlarının Belirlenmesi ve Görüntü İşleme Yöntemleri ile İlgili Çalışmalar

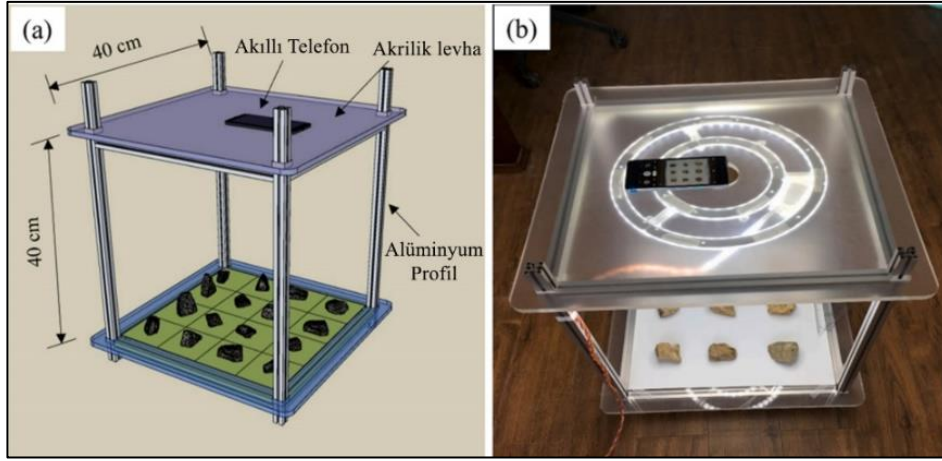
Malzemelerin şekil, boyut, hacim, yoğunluk, projeksiyon alanı, parçacık boyut dağılımı gibi özelliklerinin belirlenmesi malzemenin ekonomik ve amacına uygun şekilde kullanımı açısından önemlidir. Bu özelliklerin görüntü işleme yöntemiyle belirlenmesine yönelik farklı mühendislik alanlarında pek çok bilimsel çalışma bulunmaktadır. Görüntü işleme yöntemlerinin hızlı, kolay ve hassas ölçümler yapılmasına olanak vermesinden dolayı sıklıkla tercih edilen bir yöntem olduğu söylenebilir. Bu çalışma kapsamında parçalama işleminden sonra oluşan parçacıkların uzunlukları ve projeksiyon alanları görüntü işleme yöntemleri kullanılarak belirlenmiştir. Konu ile ilgili literatürdeki benzer çalışmalara aşağıda yer verilmiştir.

Aydın ve Kurnaz (2023), granül yapıdaki toprak örneklerinin boyut dağılımını belirlemek amacıyla görüntü işleme yöntemlerini kullanmışlar ve bu yöntemin güvenilirliğini değerlendirmek için geleneksel elek analizi yöntemiyle kıyaslamışlardır. Denemelerde, parçacıklar 60x60 cm ölçülerindeki ışıklı zemin üzerine serilmiş ve tripod ile sabitlenmiş bir kamera ile karanlık oda koşullarında fotoğraflar çekilmiştir (Şekil 2.4). Görüntüler Image Pro Plus yazılımı kullanılarak analiz edilmiştir. Çalışmanın sonunda görüntü işleme yöntemi kullanılarak ölçülen değerlerin geleneksel elek analizi yöntemiyle en az %95.22 benzerlik gösterdiği belirtilmiştir.



Şekil 2.4. Görüntü alma ortamı (Aydın ve Kurnaz 2023.)

An vd. (2022), çalışmalarında kaba taş parçalarının boyutlarını akıllı telefon ve görüntü işleme tekniklerini kullanarak, hızlı ve pratik bir şekilde belirlemek amacıyla denemeler gerçekleştirmişlerdir. Denemelerde geliştirdikleri prototip bir görüntü alma düzeneği kullanmışlardır (Şekil 2.5). Araştırmada taş parçalarının üstünden çekilen fotoğraflarından yararlanarak 2 boyutlu ölçümler elde edilmesinin yanında farklı açılardan çekilen fotoğraflar sayesinde parçacıkların 3 boyutlu modellemesi yapılmıştır. Geliştirilen yöntemde 110 tane parçacığın boyutu ve şekli belirlenmiştir. İki boyutlu görüntü analiz yöntemi ile belirlenen değerler el ile yapılan ölçümlerle karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak; parça uzunluğu için $2.7 \pm 6.3\%$, genişliği için $1.8 \pm 9.9\%$ ve kalınlığı için $10.1 \pm 11.5\%$ oranlarında farklılıklar bulunmuştur. Çalışmanın sonunda akıllı telefonların kullanımı ile birlikte, 3D görüntü analiz yönteminin gelecekte parçacık boyutu ve şekli ölçümü için popüler bir yöntem olma potansiyeline sahip olduğu ifade edilmiştir.



Şekil 2.5. Görüntüleme düzeneği: **a)** şematik şekil, **b)** monte edilmiş ürün (Ad vd., 2022)

Dursun vd. (2017), çalışmalarında hasat sonrası buğday tarlasında toprak yüzeyinde kalan artıkların kaplama oranlarını belirlemişlerdir. Bu amaç doğrultusunda görüntü işleme yöntemi ile beraber cetvel yöntemi ve çapraz hat yöntemini kullanmışlar ve bu farklı yöntemler ile elde ettikleri sonuçları birbirleri ile kıyaslamışlardır. Çalışmada görüntü işleme yönteminde ImageJ ve Labview programlarını kullanmışlardır. Araştırmanın sonunda kaplama oranları cetvel yönteminde %44.13, çapraz hat yönteminde %50.72, ImageJ program ile %56.56 ve Labview programı kullanılarak %64.49 olarak bulunmuştur. Yapılan varyans analizi sonucunda ImageJ kullanılarak elde edilen sonuçlar ile kesişen hat yöntemi ile elde edilen sonuçlar arasındaki farkın istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur. Bununla beraber bu iki yöntemle elde edilen sonuçlar ile diğer yöntemlerde elde edilen sonuçlar arasındaki farkın önemli olduğunu belirtilmiştir. Görüntü işleme yöntemiyle kaplama oranının belirlenmesinin hızlı ve güvenilir olarak yapılabileceği ifade edilmiştir.

Beyaz ve Öztürk (2016), on farklı çeşit zeytin ağacı ile yaptıkları çalışmada zeytinleri görüntü işleme yöntemiyle tanımlamışlardır. Bunun için zeytin meyvelerinin ve yapraklarının 2896x1944 pikselde ve 300 dpi çözünürlükte DSLR kamera ile çekilen fotoğrafları MATLAB v2012 ve ImageJ yazılımları kullanarak işlemişlerdir. İşlemler sonucunda elde edilen veriler ile farklı zeytin ağaçlarına ait karakteristik özelliklerini belirlemişlerdir. Çalışmanın sonunda farklı zeytin çeşitlerinin uzmanlar tarafından tanımlanmasında uyguladıkları yöntemin diğer farklı yöntemlere göre hızlı, hassas ve daha düşük maliyete sahip bir yöntem olduğunu vurgulamışlardır.

Özlü ve Güner (2016), farklı nem içeriğine sahip kanola tohumlarının pnömatik olarak iletilmesinin, tohumların fiziksel özellikleri üzerine etkilerini incelemişlerdir. Denemelerde uygun ebatlarda ölçek kalibrasyon plakası ve dijital kamera kullanılarak her bir nem içeriğindeki örnek yığınları içerisinde rastgele seçilen 30 kanola tohumunun görüntüleri kullanılmıştır. Elde edilen görüntüler, Myriad v8.0 ve ImageJ 1.47v paket programları olmak üzere iki farklı sayısal görüntü işleme yazılımı kullanılarak analiz edilmiştir. Çalışmanın sonunda kanola tohumunun geometrik ve volumetrik özellikleri olarak uzunluk, genişlik, aritmetik ve geometrik ortalama çaplar, yüzey (projeksiyon)

alanları, hacim, küresellik, basıklık ve eşdeğer küre çapı gibi değerleri belirlemiş ve bu değerlerin nem içeriği düzeyleri ile birlikte doğrusal şekilde değiştiği ifade edilmiştir.

Savoie vd (2013a), çalışmasında parçacık boyut dağılımını geleneksel olarak elek yöntemi ile belirlenmesinde parçacıkların kütsel dağılımının tek boyutu dikkate alınarak yapıldığını ve bu yöntemde kullanılan eleklerdeki açıklıklarından daha büyük değerlerde uzunluğu sahip ve ince parçaların eleklerden geçmesi nedeniyle sonuçların gerçek sonuçları yansıtmayacağını ifade etmişlerdir. Bu sebeple elek yönteminde elde edilen sonuçların görüntü işleme yönteminden elde edilen uzunluk ve genişlik değerleri ile kombine edilebileceğini belirtilmiştir.

Savoie vd. (2013b), söğüt ağacı budama artıklarının farklı makinalar kullanılarak parçalanmasından sonra oluşan parçacıkların boyutlarını belirlemek için elek yöntemleri ile görüntü işleme yöntemlerini kullanmışlar ve elde ettikleri sonuçları birbirleri ile kıyaslamışlardır. Denemeler farklı eleme süreleri ve farklı elek açıklıklarına sahip üç eleme sistemi ile beraber sabit ve dinamik şekilde uygulanan görüntü işleme yöntemleri ile yürütülmüştür. Sabit görüntü işleme yönteminde 40x40 cm düz zemin üzerindeki parçacıkların görüntüsü 1.5 m yukarıdan 8 megapiksel çözünürlükteki bir kamera kullanılarak elde edilmiştir. Görüntüler daha sonra bilgisayar ortamında Matlab yazılımı kullanılarak analiz edilmiştir. Dinamik görüntü analizinde ise yatay düzlemde hareket eden bir konveyörün üzerine serpiyen parçacıklar eş zamanlı çalışan 2 adet kamera tarafından saniyede 60 fotoğraf kaydedilerek izlenmiştir. Bu sayede parçacıkların alanı, çevresi, maksimum uzunluğu ve genişlik ölçüleri belirlenmiştir. Çalışmanın sonunda elek yöntemi ile yapılan ölçümler arasında %15-116 oranında farklılığın olduğu belirlenmiştir. Dolayısıyla tek başına eleme yönteminin biyokütle parçacıklarının uzunluğunu doğru bir şekilde ölçülmesini sağlayamayacağını ve görüntü işleme yöntemlerinde de daha fazla kalibrasyon yapılmasının gerekli olduğu belirtilmiştir.

Korucu ve Yurdağül (2013), farklı toprak işleme yöntemlerinden sonra toprak üzerinde kalan artıkların yüzey kaplama oranını, çapraz hat ve görüntü işleme yöntemlerini kullanarak belirlemişlerdir. Toprak işleme makinaları ile iki farklı derinlikte ve ilerleme hızında gerçekleştirilen denemelerde tarla yüzeyinde elde edilen görüntülerin analizinde Image Tool yazılımı kullanılmıştır. Çalışmanın sonunda kullanılan iki yöntem ile elde edilen yüzey kaplama oranı sonuçlarının birbirleri ile ilişkili olduğu bulunmuştur ($R^2 = 0.91$).

Beyaz (2012), çalışmasında, görüntü işleme yöntemlerinin tarım alanında kullanımı hakkında bilgiler vermiştir. 1960'lı yıllarda geliştirilmeye başlayan görüntü işleme yöntemlerinin o yıllarda yüksek maliyeti yüzünden tercih edilemediği ancak geçen yıllar içerisinde gelişen teknoloji ve yüksek performanslı bilgisayarların üretilmesiyle beraber bu yöntemin kullanımının yaygınlaştığı belirtilmiştir. Görüntü işleme yöntemlerinde kullanılan fotoğraflarda farklı dalga boylarındaki ışınların yakalanmasıyla nesnelere ait çok geniş bir yelpazede tanımlayıcı bilgilerin elde edilebildiğini ifade edilmiştir. Günümüzde pek çok alanda kullanılan görüntü işleme yöntemleri tarım alanında da kullanılan yöntemlerdendir. Bu yöntemler kullanılarak tarımsal ürünlerin boyutlarının ölçümü ve renk analizleri yapılabilmektedir. Çalışmada, görüntü işleme yöntemlerinde sıklıkla kullanılan AdOculos, IMAQ vision, Optimas, GLOBAL LAB image, Matlab image processing toolbox, ImageJ ve Myriad gibi bilgisayar yazılımları hakkında tanıtıcı bilgiler verilmiştir.

Beyaz vd. (2009), görüntü işleme yöntemlerini kullanarak Kahramanmaraş Kırmızı Biberi'nin hacim değerini belirlemişlerdir. Bunun için Kahramanmaraş kırmızı biberinin önden, üstten ve sol yandan görünüşlerinin fotoğrafları Myriad V8.0 görüntü işleme yazılımı yardımı ile işlenmiş ve projeksiyon alanları belirlenmiştir. Elde edilen projeksiyon alanları değerleri biberlerin hacimlerini belirlemek amacıyla ilgili matematiksel formüllerde kullanılmıştır. Belirlenen hacim değerleri ile biberlerin gerçek hacim değerleri arasındaki korelasyon katsayısı incelendiğinde en yüksek korelasyon katsayısının %89.7 ile üst ve sol yan projeksiyon alanları kullanılarak hesaplanan hacim değerlerinde olduğu belirlenmiştir.

Yang (2007), çalışmasında elek analizi ve görüntü işleme yöntemlerini kullanarak buğday samanı ve mısır koçanı parçacıklarının boyut dağılımını incelemiştir. Araştırmada standart elek analizi yöntemi ile elde edilen sonuçların yanında görüntü işleme yöntemi ile parçacıkların uzunluk, genişlik ve projeksiyon alanı ölçüleri belirlenmiş, bu veriler birbirleri ile kıyaslanmıştır. Görüntü işleme yöntemiyle elek analizi yönteminden farklı olarak parçacıkların kümülatif dağılımından ziyade tek bir parçacığın boyutlarının ölçülebildiğini ifade etmiştir. Her bir parçaya ait bu tür ayrıntılı bilgileri, (hacim, yüzey alanı, uzunluk/genişlik oranı vb.) taşıma ekipmanları, fermantasyon birimleri ve biyoyakıt üretim birimlerinin tasarımını büyük ölçüde kolaylaştıracak belirtilmiştir. Çalışmanın sonunda görüntü işleme yöntemiyle materyallere ait parçacıkların hızlı, kolay ve doğru olarak tespit edilebileceğini ortaya konulmuştur.

Kıraç (2005), araştırmasında sıvı ilaç uygulamalarında ortalama damla çapı, damla dağılım tekdüzeliği, damla sıklığı ve kaplama oranı gibi ilaç damla dağılımına ilişkin karakteristikleri görüntü işleme yöntemiyle değerlendirmiştir. Çalışmada, örnekleme yüzeyi olarak hem suya duyarlı kartlar hem de yağ banyolu yöntem kullanılmıştır. Örnekleme yapıldıktan sonra suya duyarlı kartların görüntülerinin elde edilmesinde bir tarayıcı, yağ banyosundaki damla görüntülerinin bilgisayar ortamına aktarılmasında ise dijital bir fotoğraf makinasından yararlanılmıştır. Bilgisayar ortamına aktarılan örnekleme yüzeyleri, bir görüntü işleme programıyla analiz edilmiştir. Görüntü analizinden elde edilen sonuçlar, aynı örnekleme yüzeylerinin bir mikroskop altında, göz ile klasik olarak analizinden elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Çalışmanın sonunda, ölçülen çap değerleri arasındaki farklılıkların ölçme yöntemine ve örnekleme yüzeyine bağlı olarak değiştiği belirtilmiş ve mikroskop altında yapılan analiz sonuçları ile görüntü işleme yöntemleri kullanılarak yapılan analiz sonuçları arasındaki farklılıklar ortaya konulmuştur.

Fernlund (2005), çalışmasında görüntü analizi (IA) kullanılarak kaba agregatların 3 boyutlu parçacık şeklini belirlemiştir. Denemelerde, parçacıkların iki pozisyonunda; yatay ve dikey konumda çekilmiş görüntüleri kullanılmıştır. Böylece tüm parçacıkların uzunluk/kalınlık, uzunluk/genişlik ve genişlik/kalınlık oranları belirlenmiştir. Parçacıkların bu iki konumdaki görüntüleri, parçacıkların hem en büyük hem de en küçük projeksiyon alanlarını ölçülmüş ve her parçacığın 3 boyutlu şeklinin boyutlarının belirlenebileceği ortaya konulmuştur. Çalışmanın sonunda görüntü analizi yönteminin hızlı, kolay, çok yönlü, çok hassas ve kullanıcı dostu olduğu ifade edilmiştir.

Dalen (2004), düz zemin üzerinde tarama (FBA, Flatbed scanning) ve görüntü analizi (IA, Image analysis) yöntemlerini kullanarak pirinç tanelerinin boyutlarını, dağılımlarını ve kırık pirinç tanelerinin miktarını belirlemiştir. Araştırmada farklı markalara ait tarayıcı cihazlar, 8 bit gri tonlama modunda 200 dpi çözünürlükte çalıştırılmıştır. Elde edilen tarama görüntüleri ücretsiz olarak kullanıma sunulan Sonic Image programı kullanılarak analiz edilmiştir. Denemelerde görüntü analizinin yanı sıra ölçümlerin kıyaslanabilmesi için pirinç tanelerinin boyutları kumpas ile de ölçülmüştür. Çalışma sonunda FBA yönteminin el ile ölçüme göre daha hızlı, uygulanması daha kolay ve sonuçların aynı doğrulukta olduğu ifade edilmiştir. Yöntemin ayrıca pirinç tanelerinin diğer fiziksel özelliklerini (çatlaklar, renk, yoğunluk) ölçme olanağı da sunduğu belirtilmiştir. El ile gerçekleştirilirken numune analizinin yaklaşık 30 dakikada yapıldığı, aynı analizin görüntü işleme yöntemiyle yaklaşık 3 dakika tamamlandığına vurgu yapılmıştır.



3. MATERYAL VE METOT

Bir budama artığı parçalama makinasının farklı çalışma koşullarında çalışma parametrelerinin belirlenmesine yönelik yapılan bu çalışmada, materyal olarak zeytin bahçesi ve bağlarda ortaya çıkan budama artıkları kullanılmıştır.

Deneme materyali olarak kullanılan budama artıkları, Akdeniz Üniversitesi Kampüs Alanı içerisinde yer alan üretim alanlarından elde edilmiştir. Denemeler, Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü Araştırma ve Uygulama Alanı'nda yer alan atölyede yürütülmüştür. Denemeler, bu çalışma kapsamında arazi koşulları dikkate alınarak kurulan bir parçalama makinası test düzeneğinde yürütülmüştür. Parçalama ünitesi devri, besleme hızı gibi değişken koşulların kontrol edilebildiği test düzeneğinde parçalama ünitesi sabit olarak çalışmakta, artık materyal hareketli bir konveyör yardımıyla toplama ünitesine iletilmektedir. Her bir artık materyal (zeytin ve bağ) için bağımsız olarak gerçekleştirilen denemeler, iki farklı bıçak, üç farklı nem düzeyi ve üç farklı parçalayıcı devir sayısında yürütülmüştür. Elde edilen enerji tüketimi ve parçacık büyüklüklerine yönelik değerlerin istatistiksel analizi yapılmıştır.

3.1. Materyal

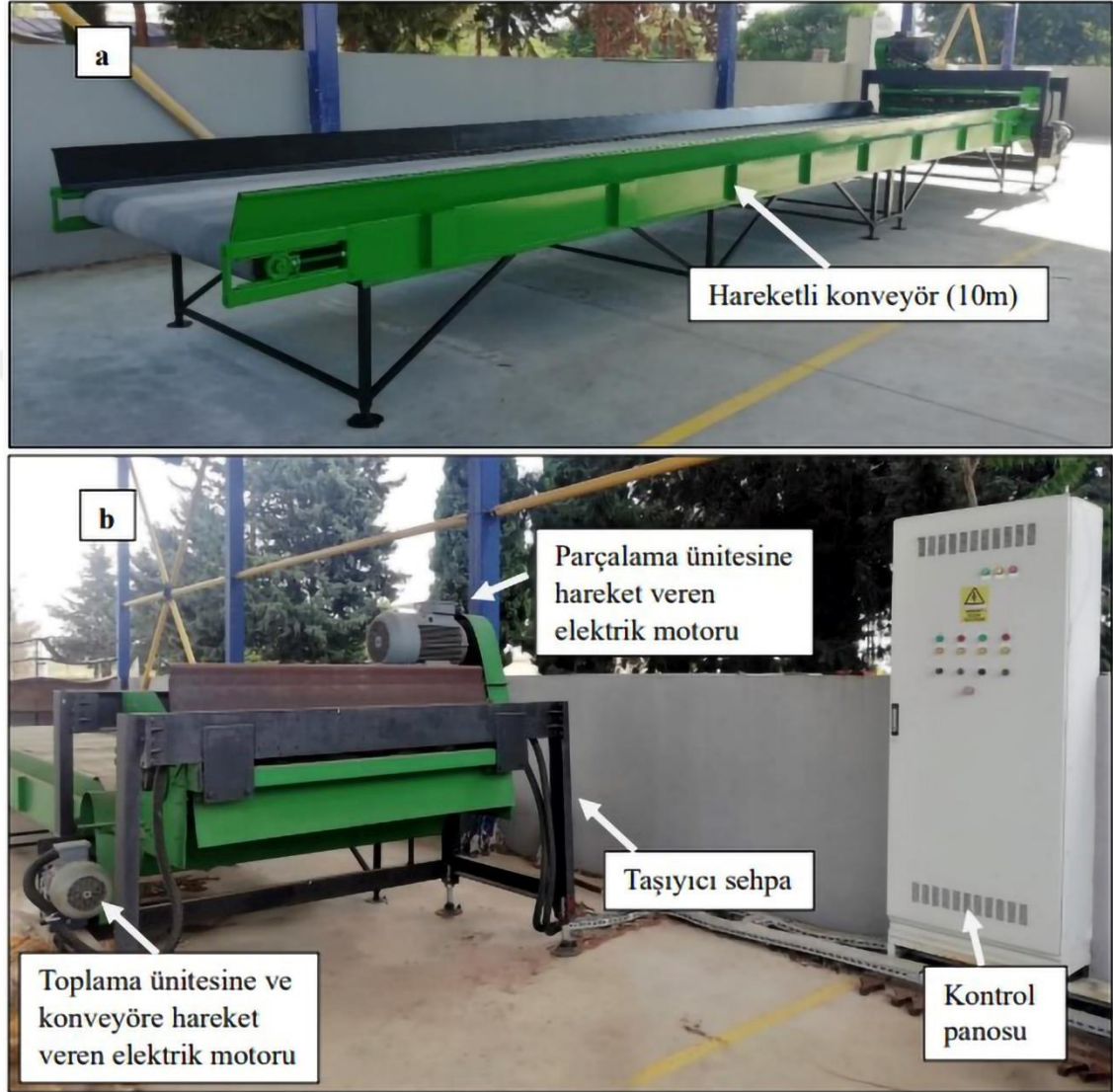
3.1.1. Deneme alanı ve parçalama sistemi test düzeneği

Meyve bahçelerinde ortaya çıkan budama artıklarının parçalanmasında farklı tiplerde parçalama makinaları kullanılmaktadır. Bu çalışmada; toplama, parçalama ve elek ünitelerine sahip, traktörün kuyruk milinden hareket alan ve meyve bahçesinde sıra aralarında ilerleyerek budama artıklarını parçalayıp toprak üzerine bırakan bir makina dikkate alınmıştır. Budama artığı parçalama makinalarına yönelik meyve bahçeleri içerisinde yapılan denemelerin hassasiyetindeki ve kontrolündeki (arazi, iklim, çevre koşulları vb. kaynaklı) zorluklar dikkate alınarak, bu çalışmada sabit bir test düzeneği geliştirilmiştir. Test düzeneği, Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Araştırma ve Uygulama Alanı içerisinde yer alan 12 m genişliğinde, 25 m uzunluğunda, 6 m yüksekliğinde, 1.5 m yüksekliğinde duvar ile çevrili ve çatısı sac malzeme ile örtülmüş yarı kapalı bir alanda kurulmuştur (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Denemelerin gerçekleştirildiği yarı kapalı alanın görünümü

Test düzeneğinde; toplama, parçalama ve elek ünitesine sahip parçalama makinası, parçalama makinasının sabit şekilde çalışmasını sağlayacak sehpa, bitkisel artık materyali parçalama makinasına iletmekte kullanılan hareketli konveyör, parçalama makinasına ve konveyöre hareketini veren elektrik motorları ve elektrik motorlarının çalıştırılmasını sağlayan bir kontrol panosu bulunmaktadır (Şekil 3.2).



Şekil 3.2. Test düzeneği genel görünümü **a)** ön cephe görünümü **b)** arka cephe görünümü

3.1.2. Budama artığı parçalama makinası

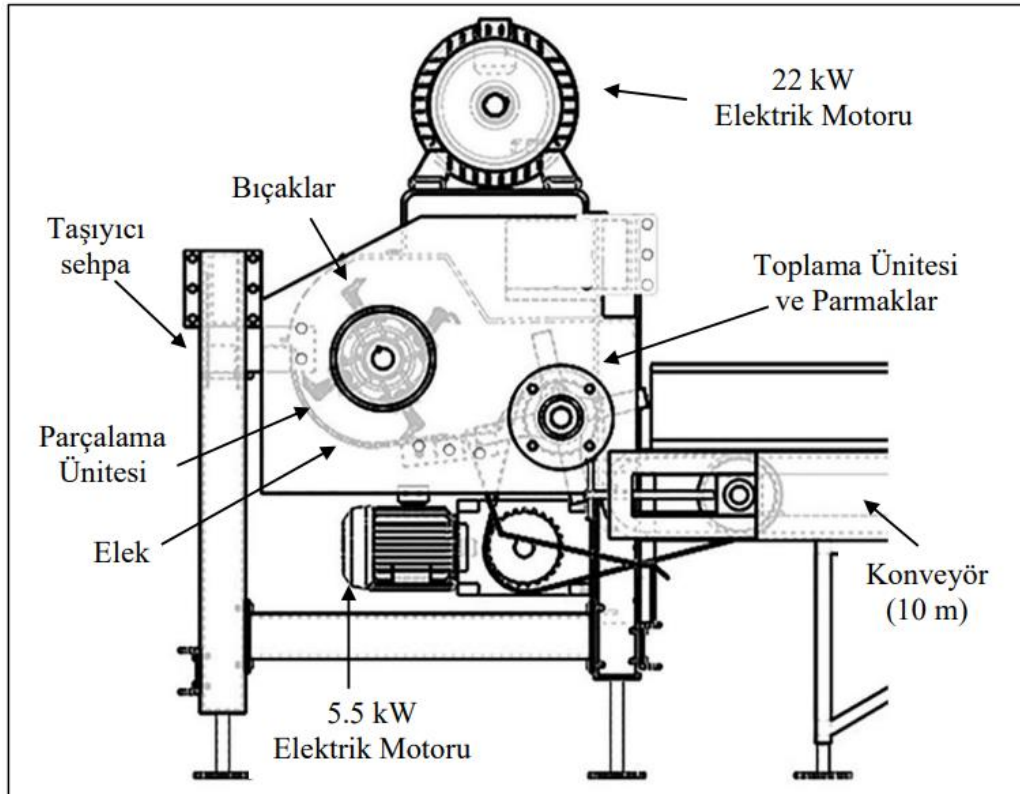
Geliştirilen test düzeneğine piyasada seri üretilen, hareketini traktör kuyruk milinden alan ve toplama ve elek ünitelerine sahip bir budama artığı parçalama makinası yerleştirilmiştir. Test düzeneğinde hareketini elektrik motorlarından alan makina üzerinde, denemelerde çalıştırılmasına uygun olacak şekilde değişiklikler yapılmıştır. Buna göre makina şasesi üzerinde bulunan üç nokta bağlantı düzeneği ve traktör kuyruk milinden aldığı hareketi kasnaklara ve oradan da parçalayıcı bıçakların bulunduğu rotora

iletken dişli kutusu sökülümüş ve yerine 22 kW (30 BG) gücünde bir elektrik motoru yerleştirilmiştir. Makina şasesi üzerine yerleştirilen elektrik motorundan alınan hareket 30 cm çapında 4 kanallı kasnağa, oradan kayış yardımıyla 18 cm çapındaki rotora bağlı kasnağa iletilmektedir (Şekil 3.3).



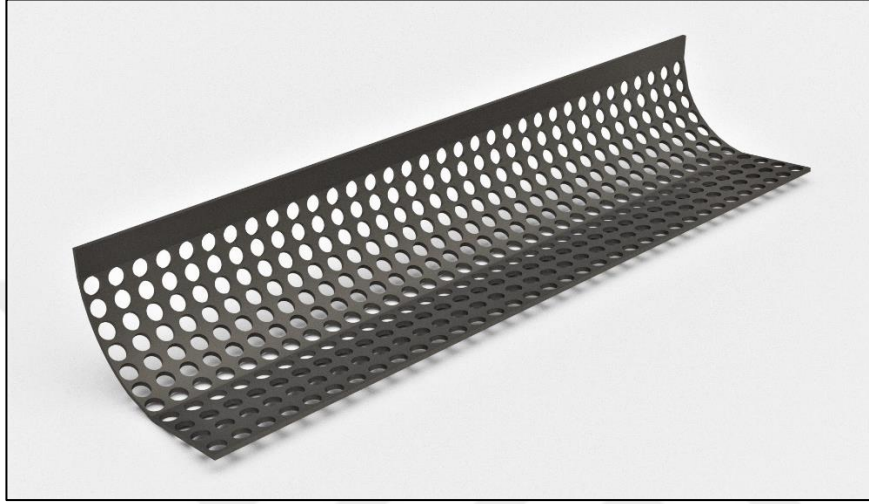
Şekil 3.3. Budama artığı parçalama makinası üzerinde yapılan değişiklikler

Parçalama makinasının ön kısmında bir rotor üzerinde 4 sıralı olacak şekilde toplam 19 adet parmağın yer aldığı bir toplama ünitesi bulunmaktadır. Parçalama ünitesinde rotor ve bu rotorun üzerinde oynak (serbest) şekilde bağlanmış, 18 adet bıçak bulunmaktadır (Şekil 3.4).



Şekil 3.4. Budama artığı parçalama ünitesinin şematik görünümü

Makinada parçalama işleminin kontrollü bir şekilde yapılmasını sağlayan bir elek bulunmaktadır. Parçalayıcı bıçaklar ile elek arasındaki maksimum-minimum açıklık değeri 60-15 mm'dir. Daire şeklindeki deliklerden oluşan eleğin delik çapı 36 mm ve parçalama ünitesini örtme oranı %43'tür (Şekil 3.5). Parçalama ünitesinin alt kısmında bulunan eleğin özellikleri, daha önceki yürütülen arazi çalışmaları da dikkate alınarak, denemelerin tümünde sabit faktör olarak değerlendirilmiştir (Çanakcı ve ark., 2010; Yiğit, 2013; Çanakcı ve ark., 2019).



Şekil 3.5. Budama artığı parçalama makinasında kullanılan eleğin görünümü

Parçalama makinasının toplayıcı ve parçalayıcı ünitelerine ve hareket veren elektrik motorlarına ait özelliklere Çizelge 3.1' de yer verilmiştir.

Çizelge 3.1. Parçalama sisteminde kullanılan elektrik motorlarının bazı özellikleri

Marka/model	Voltaaj	Frekans	Koruma sınıfı	Anma Akımı	Güç faktörü	Çıkış gücü	Anma hızı
	V	Hz	IP	A	cosφ	kW	1/min
Volt Elektrik Motorları /VMC 112-4	Δ 400	50	55	11.3	0.79	5.5	1440
Gamak / GM2E 180 L 4b				42.5	0.81	22	1475

3.1.3. Parçalama makinasının sabitlenmesi

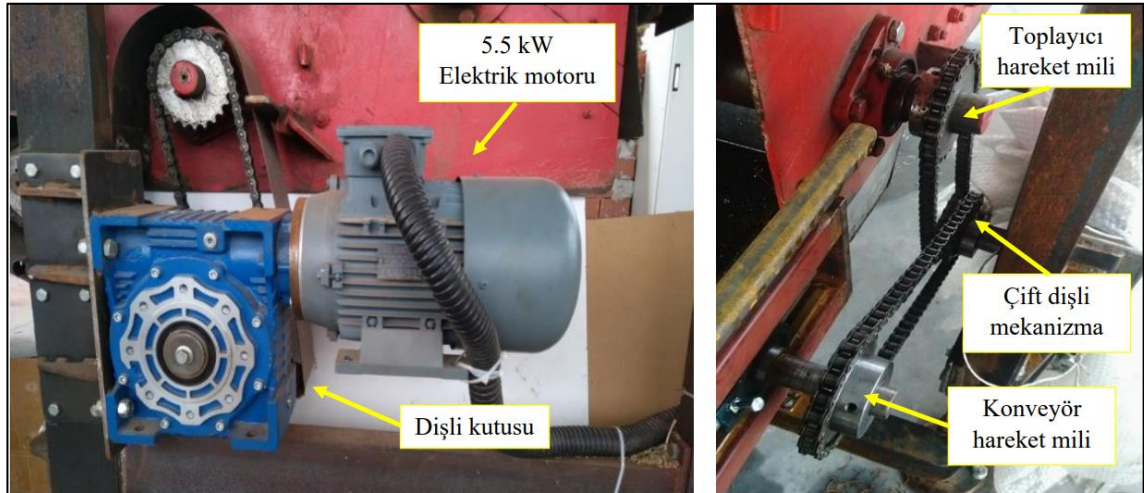
Parçalama makinası hareketli konveyörün önüne, yere sabitlenmiş 2180x1160 mm boyutlarında ve 1390 mm yüksekliğinde bir sehpa üzerine yerleştirilmiştir. Bu sayede sehpanın üzerine yerleştirilen parçalama makinası yerden 790 mm yüksekte konumlandırılmıştır (Şekil 3.6).



Şekil 3.6. Taşıyıcı sehpa

3.1.4. Bantlı götürücü (konveyör)

Test düzeneğinde artık materyalin toplama ünitesine kontrollü bir şekilde iletilmesi için bir götürücü bant (konveyör) kullanılmıştır. Konveyör üzerinde bulunan budama artıkları, toplama ünitesi yardımıyla parçalama ünitesini beslemektedir. Bandın genişliği 1.7 m, uzunluğu 10 m'dir. Test düzeneğinde konveyöre hareket, 5.5 kW (7.4 BG) gücündeki elektrik motoru tarafından verilmektedir. Belirtilen elektrik motoru aynı zamanda kullanılan çift dişli mekanizması ile parçalama makinasının toplayıcı ünitesine de hareket vermektedir. Konveyör bandının ve parçalama makinasının toplayıcı düzeneğinin aynı motordan hareket alması sayesinde toplayıcı milin devir sayısı ile ilerleme hızı eş zamanlı olacak şekilde çalışabilmektedir (Şekil 3.7).



Şekil 3.7. Toplama ünitesi ve götürücü bant hareket sistemi.

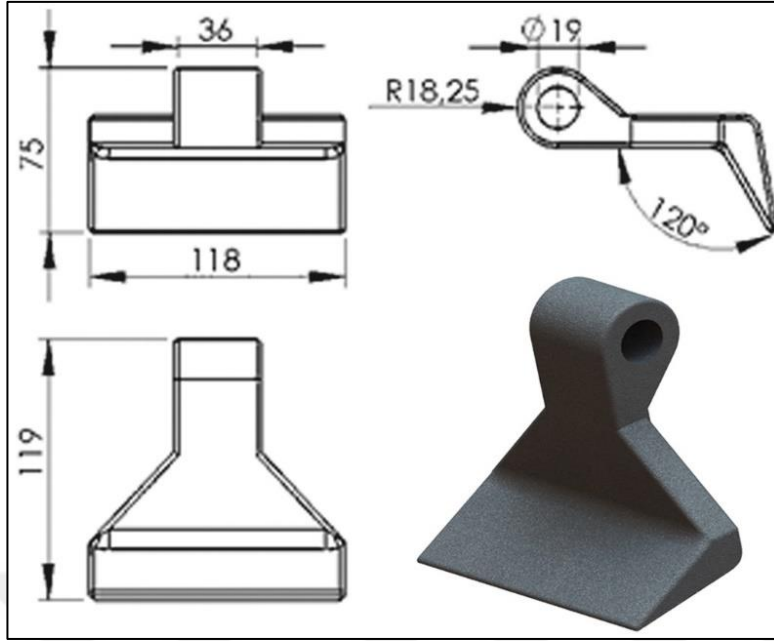
3.1.5. Parçalayıcı bıçaklar

Denemelerde iki farklı bıçak kullanılmıştır. Bu çalışmada B1 olarak adlandırılan bıçak, mevcut piyasa koşullarında yaygın olarak kullanılan, ülkemizde seri üretimi ve satışı yapılan çekiç bıçaktır. B2 olarak adlandırılan bıçak ise B1 bıçağının üzerinde şekil değişikliği yapılarak bu çalışma kapsamında tasarlanmış bir bıçaktır.

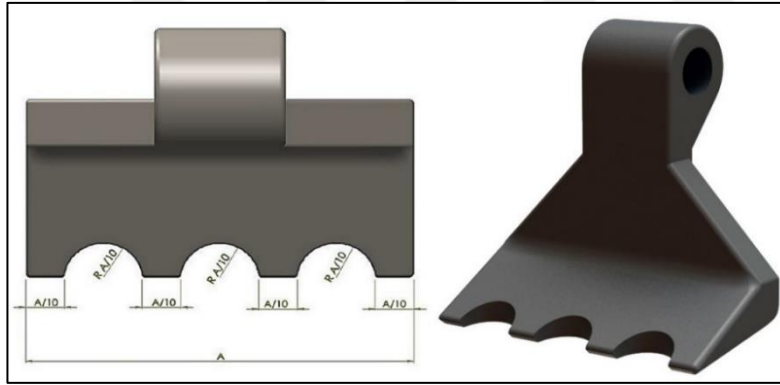
Çekiç bıçaklar rotora oynak (serbest) bağlantıyla bağlamakta ve iç bükey şekli yardımıyla materyali parçalama ünitesine almakta ve parçalamaktadır. Çekiç bıçakların dalları parçalama (boyut küçültme/size reduction) etkisi daha çok çarpma ve ovalama etkisi şeklindedir. Bir çekiç bıçak (B1) ağırlığı 1295 g'dır. Çekiç bıçak yapısal özellikleri nedeniyle taşlı ve kalın dalların yer aldığı ortamlarda çalışabilmektedirler. Bununla beraber bu tip bıçakların diğer tip (parçalı) bıçaklara göre artıkları daha küçük parçalara ayırdığı belirlenmiştir. Ancak çekiç bıçaklar artıkları daha küçük parçacıklara ayırmasına (yaklaşık %10-20) karşın diğer bıçaklara göre çok daha fazla güç harcadıkları (yaklaşık %55-70) saptanmıştır (Çanakçı vd., 2019). Bu durum dikkate alınarak B2 olarak adlandırılan yeni dişli çekiç bıçakta, çekiç tip bıçağın temel ölçülerine bağlı kalınmış, yalnızca keskin yüzey üzerinde şekil değişikliği yapılmıştır. Buna göre, keskin düz yüzeyde üç adet yarım daire kesitli boşluklar oluşturulmuş ve parçalanacak materyallerle temas edecek yüzeyleri artırılmaya çalışılmıştır. Yarım daire sayısı ve boyutların belirlenmesinde, bıçağın temel ölçülerinden uzaklaşılmasından prensibi dikkate alınmıştır. Bu özelliğin yeni bıçakların üretilmelerinde kolaylık sağlayacağı öngörülmüştür. Dişli çekiç (B2) bıçağın ağırlığı 1270 g'dır.

Bu çalışma kapsamında geliştirilen B2 bıçağı Türk Patent ve Marka Kurumu (TÜRKPATENT) tarafından Endüstriyel Tasarım olarak 2021 010165 numarası ile tescillenmiştir (Yiğit ve Çanakçı, 2021).

Parçalayıcı bıçaklar 5630 (30MgB5) kalite dövme çelik malzemeden yapılmıştır. Bıçakların malzeme sertliği 46-48 HRC'dir. Çalışmada kullanılan bıçaklara ait teknik çizimler ve ölçüler Şekil 3.8 ve 3.9' da gösterilmiştir.



Şekil 3.8. Çekiç bıçağın (B1) ölçüleri ve şematik görünümü



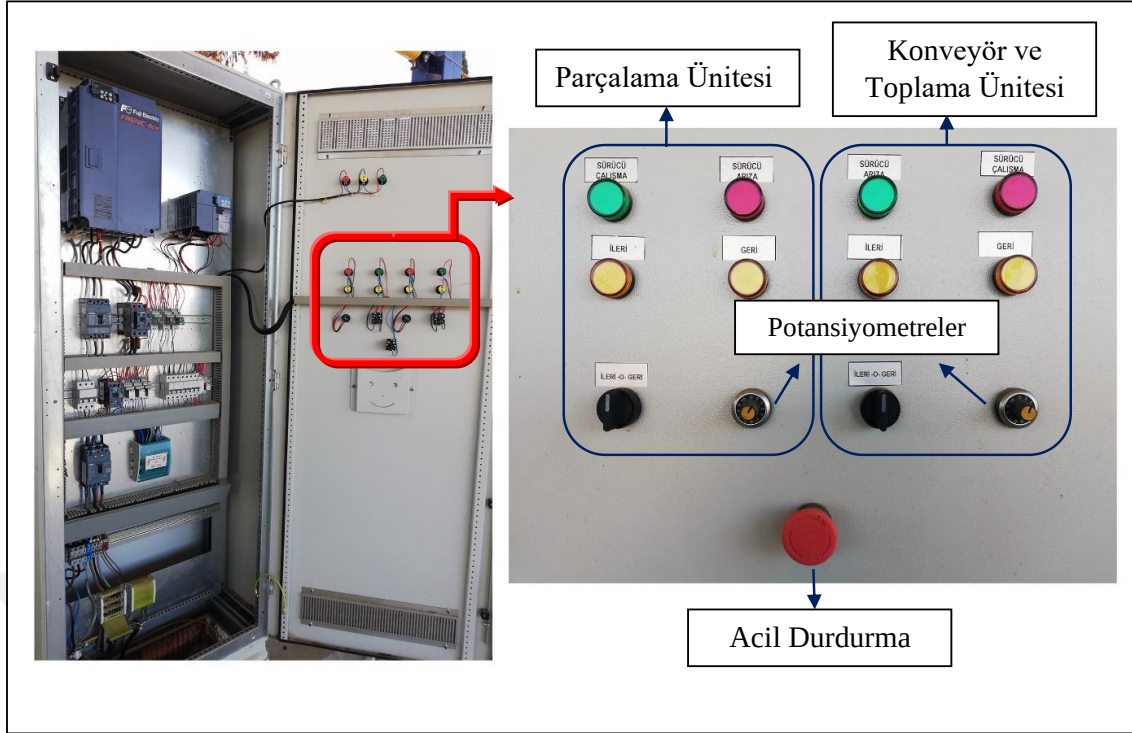
Şekil 3.9. Dişli çekiç bıçağın (B2) üzerinde yapılan şekil değişikliği ve şematik görünümü

Denemeler öncesinde her iki bıçağın bileme işlemleri yapılmıştır. Ayrıca, toplam 18 adet bıçağın bulunduğu parçalama ünitesindeki rotorun çalışma sırasındaki balansını sağlamak amacı ile parçalayıcı bıçakların ağırlıkları bıçak tiplerine göre sabitlenmiştir.

3.1.6. Elektrik ve kontrol panosu

Parçalama sisteminin çalıştırılması için AC motor hız kontrol sürücülerinin, potansiyometrelerin ve kontrol düğmelerinin bulunduğu bir elektrik panosu imal edilmiş ve kullanılmıştır (Şekil 3.10).

Elektrik panosunun içerisinde parçalama ünitesine hareketini veren 22 kW gücündeki elektrik motorunun devrini ayarlamak amacıyla Fuji Electric marka FRENIC-Ace serisi FRN0072E2E-4E model hız kontrol sürücüsü, toplayıcıya hareket veren 5.5 kW gücündeki elektrik motorunun devrini ayarlamak için ise Fuji Electric marka FRENIC-Ace serisi FRN0012E2E-4GA model hız kontrol sürücüsü kullanılmıştır. Hız kontrol sürücülerine ait bazı teknik özellikler Çizelge 3.2’de verilmiştir.



Şekil 3.10. Elektrik panosu ve ön panel

Çizelge 3.2. Hız kontrol ünitelerinin bazı özellikleri.

Üretici	Fuji Electric	
Seri Adı	Frenic Ace	
	FRN0072E2E-4E	FRN0012E2S-4GA
Model		
Kapasite, kW	37	5.5
Akım, A	72	12
Ana güç kaynağı, V	380-480	
Faz, adet	3	
Maksimum çıkış frekansı, Hz	500	
Çalışma sıcaklığı, °C	-10...+50	
Boyutlar, mm	250x400x195	140x140x199
Ağırlık, kg	11.2	1.9

3.1.7. Fotoğraflama kabini

Budama artıklarının parçalanmasından sonra oluşan parçacıkların boyutunu belirlemek amacı ile görüntü işleme yöntemleri kullanılmıştır. Bu çalışma kapsamında kullanılacak fotoğrafların dış ortam etkilerinden bağımsız olarak çekilebilmesi için 550x550x750 mm boyutlarında bir kabin tasarlanmış ve imal edilmiştir. Kabinin içerisinde ışık kaynağı olarak beyaz renkte LED lambalar kullanılmıştır. Kabin içerisindeki ışığın homojen bir şekilde yayılabilmesi için ışık difüzörü (ışık yumuşatıcı) tabakalar LED lambalardan 5 cm uzaklığa yerleştirilmiştir. Işık kaynaklarını oluşturan paneller, kabini alttan ve üstten aydınlatacak şekilde yerleştirilmiştir (Şekil 3.11). Kabinin en üst kısmında fotoğraf çekilebilmesini sağlayan dairesel bir açıklık bulunmaktadır. Bu açıklığın üzerine yerleştirilen akıllı cep telefonuna ait kamera ile kabin içerisindeki parçacıkların fotoğrafı çekilmiştir. Fotoğraf çekiminde kullanılan kamera 16 Megapiksel çözünürlüğe sahip ve diyafram açıklığı f/2.2'dir.



Şekil 3.11. Fotoğraflama kabininin genel görünümüleri

3.2. Bitkisel Materyal

Tez çalışması kapsamında parçalanmış budama artıkları Akdeniz Üniversitesi Kampüs alanı içerisinde bulunan bağ ve zeytin ağaçlarından elde edilmiştir. Denemelerde Zeytin budama artıkları Ziraat Fakültesi Döner Sermaye İşletmesi Çiftlik Müdürlüğü'ne ait 30° 38' 23.4"-30° 38' 22.6" doğu boylamları ve 36° 53' 54.1"-36° 53' 58.3" kuzey enlemleri arasında yer alan arazide bulunan zeytin ağaçlarından (*Olea europaea* L.cv Ayvalık) elde edilmiştir. Bağ budama artıkları ise yine Çiftlik Müdürlüğü bünyesindeki kampüs alanlarında 30° 38' 08.8"-30° 38' 07" doğu boylamları ve 36° 53' 53.1"-36° 53' 57.1" kuzey enlemleri arasında yer alan arazide bulunana bağlardan (*Vitis vinifera* L.cv. Sultana) elde edilmiştir (Şekil 3.12). Budama artıklarının ve temin edildiği meyve bahçelerinin bazı özellikleri Çizelge 3.3'de gösterilmiştir.



Şekil 3.12. Denemelerde kullanılan budama artıkları, **a)** zeytin artıkları **b)** bağ artıkları

Çizelge 3.3. Budama artıklarının ve elde edildiği bahçelerin bazı özellikleri.

Bitki türü	Zeytin	Bağ
Latince ismi	<i>Olea europaea</i> L.cv Ayvalık	<i>Vitis vinifera</i> L.cv Sultana
Bitki çeşidi	Ayvalık	Sultani
Bahçe tesis yılı	1986	1987
Sıra arası uzaklık, m	6	3
Sıra üzeri uzaklık, m	6	2
Ortalama dal uzunluğu, m	1.33±0.42	1.38±0.56
Ortalama dal kalınlığı, mm	5.4±1.2	8.8±1.4
Materyal (artık) şekli	Budaklı	Çubuk

3.3. Yöntem

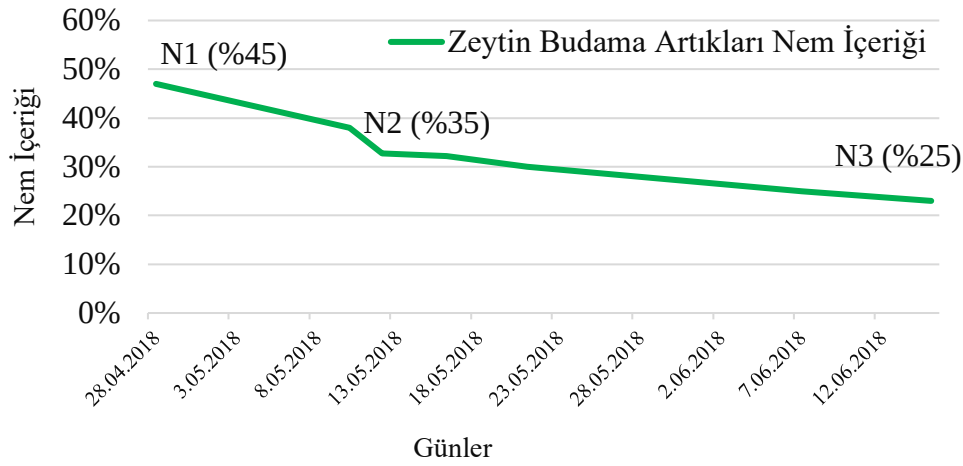
3.3.1. Bitkisel materyalin nem içeriği ve namlu yoğunluğunun belirlenmesi

Zeytin ve bağ budama artıklarının nem içeriğini belirlemek için budama artıklarından rastgele şekilde kesilen dallar kullanılmıştır. Alınan örnekler kurutulmadan önce hassas terazi ile tartılmış daha sonra 105°C sıcaklıkta 24 saat boyunca kurutma fırınında bekletilmiş ve tekrar tartılmıştır. Yaş baza göre hesaplanan nem değeri aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır (Yağcıoğlu,1999).

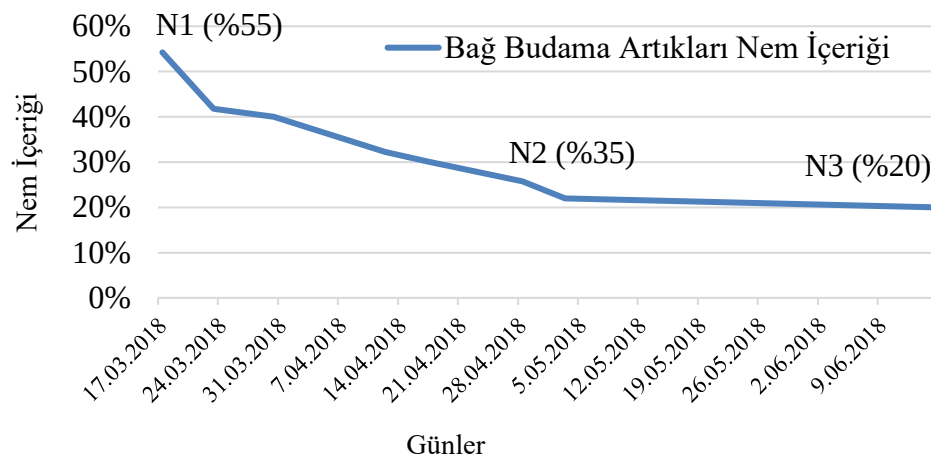
$$\% \text{ Nem İçeriği} = \frac{W_y - W_k}{W_y} \times 100 \quad (3.1)$$

Eşitlikte; W_y : Ürünün yaş ağırlığı (g), W_k : Ürünün kuru ağırlığı (g)

Araştırmada 3 farklı nem içeriğine sahip budama artıkları ile çalışılmıştır. Nem düzeyleri; budama işleminden hemen sonraki nem düzeyi (N1), kurumaya terkedilen artık materyalin nem düzeyinin azalma hızının yavaşlaması sırasındaki nem düzeyi (N3) ve her iki düzey arasında yaklaşık ortada bir değerdeki nem düzeyi (N2) düzeyleri dikkate alınarak belirlenmiştir. Her iki bitkisel materyal için ilk denemeler budamadan hemen sonra, en yüksek nem içeriğinde (N1) yapılmıştır. Daha düşük nem içeriği ile yapılacak sonraki denemeler için artıklar doğal kurutma yöntemi ile kurumaya bırakılmıştır. Kuruma işlemi süresince araştırma uygulama alanına serilen budama artıklarından 5 gün aralıklarla örnekler alınıp, nem içeriği azalışı takip edilmiştir. Budama sonrasındaki nem içeriğinden yaklaşık zeytin artıkları için %10, bağ artıkları için ise %20 azalma belirlenmesiyle ikinci denemeler (N2) gerçekleştirilmiştir. Materyal nem içeriğinde budamadan hemen sonraki nem içeriğine göre zeytin için yaklaşık %20, bağ için ise yaklaşık %35 azalma belirlenmesi ve azalma hızının yavaşlamasından sonra ise üçüncü denemeler (N3) yapılmıştır. Zeytin ve bağ budama artıklarının nem içeriklerinin değişimi Şekil 3.13 ve 3.14’de gösterilmiştir.



Şekil 3.13. Zeytin budama artıklarının nem içeriğinin zamanla değişimi



Şekil 3.14. Bağ budama artıklarının nem içeriğinin zamanla değişimi

Denemelerde kullanılan zeytin budama artıklarının ortalama nem içerikleri sırasıyla; %45±2, %35±1 ve %25±2'dir. Bağ budama artıklarının ortalama nem içerikleri ise N1, N2 ve N3 düzeyleri için sırasıyla; %55±2, %35±1 ve %20±1'dir.

Denemeler sırasında makinanın beslenmesinde, her bir deneme için artıkların aynı kuru madde miktarında beslenmesi esas alınmıştır. Farklı nem içeriklerinde gerçekleştirilen tüm denemelerde önceki çalışmalardaki deneyimler de dikkate alınarak namlu yoğunluğu değeri 1 kg (k.b.)/m olarak sabit tutulmuştur. Buna göre 1.70 iş genişliğine sahip parçalama makinası ile yapılan denemelerdeki yaş baza göre belirlenen namlu yoğunluğu miktarları Çizelge 3.4'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.4. Namlu yoğunluğu (y.b.)

Bitkisel Materyal	Zeytin			Bağ		
Nem Düzeyi	N1	N2	N3	N1	N2	N3
Nem içeriği, %	45	35	25	55	35	20
Namlu yoğunluğu, kg (k.b.)/m	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Namlu yoğunluğu, kg (y.b.)/m	1.83	1.54	1.34	2.23	1.54	1.25

Bağ budama artıklarının nem içeriği azalışının takibindeki birinci haftada gözlemlenen yaklaşık %15 oranındaki nem kaybı ile beraber, %35 nem içeriğine sahip (N2) bağ budama artıkları ile yürütülen denemeler sonrasında elde edilen verilerin değerlendirilmesiyle ilişkili olarak, bağ dallarındaki ani nem kaybı dikkat çekici bulunmuştur. Bu süreçte kabuklu ve çubuk şeklinde olan bağ artıklarından saatlik nem kaybını, materyalin yapısal özelliklerine göre belirlemek amacıyla, rastgele seçilen yaş bağ dallarının kabukları bıçak ile iç kısımdan ayrılmış ve elde edilen kısımlar ile kabuğu ayrılmamış dallar etüvde kurutulmuştur (Şekil 3.15). Etüvde kurutulan örneklerin ağırlıkları birer saat aralıklarla ölçülmüştür. Ölçümler arasındaki fark %1'den daha az olana kadar işlem tekrarlanmıştır (Dobooğlu ve Çınar 2012). Saatlik ölçümlerde Eşitlik 3.1'den yararlanılmıştır.



Şekil 3.15. Nem kaybı değişiminin belirlenmesinde kullanılan bağ artıkları **a)** işlem görmemiş dallar, **b)** kabuğu ayrılmış dallar **c)** kabuklar

3.3.2. Parçalayıcı rotor devrinin ve konveyör ilerleme hızının belirlenmesi

Denemelerde parçalama makinasının farklı değerlerdeki rotor devirleri, şebekeden elektrik motorlarına gelen elektrik enerjisinin AC motor hız kontrol sürücüleri ile frekansının (Hz) değiştirilmesi ile elde edilmiştir. Bunun için her iki sürücüye bağlı potansiyometreler kullanılmıştır. Değiştirilen frekans değerlerinin karşılığı olarak toplayıcı ve parçalayıcı rotor ile götürücü bant üzerinde takometre ile ölçümler yapılmıştır. Denemelerde çalışılacak ilerleme hızı toplayıcı rotor ve parçalayıcı rotor devirleri (S1, S2, S3) ile hız kontrol sürücülerinin frekans değerleri Çizelge 3.5’de gösterilmiştir. Denemelerde toplayıcı devri sabit (45 1/min), parçalama ünitesi rotor devri için ise üç farklı 1200, 1500 ve 1800 1/min değerlerinde çalışılmıştır. Denemelerdeki farklı rotor devir sayısı değerleri takometre kullanılarak parçalayıcı bıçakların bulunduğu rotor üzerinden ve ilerleme hızı ise götürücü bant üzerinden ölçülerek belirlenmiştir.

Çizelge 3.5. Hız kontrol ünitesinden elde edilen rotor devirleri ve konveyör hızı

Sürücü I	Frekans (Hz)	Toplayıcı Rotor Devri (1/min)	Konveyör hızı / İlerleme Hızı (km/h)
	10.0	19	0.6
	23.5	45	1.5
Sürücü II	Frekans (Hz)	Parçalayıcı Rotor Devri (1/min)	
	10	445	
	22.65	1000	
	27.00	1200 (S1)	
	33.70	1500 (S2)	
	40.53	1800 (S3)	

3.3.3. Enerji tüketiminin belirlenmesi

Parçalama makinasının birim materyal kütlesi için enerji tüketimi (özellik enerji), makinanın güç tüketiminin (kW), materyal kapasitesine oranlanması ile hesaplanmıştır. Bu hesaplama için aşağıdaki eşitlikten yararlanılmıştır (Çanakcı, 2005).

$$E_f = \frac{P_{Tort}}{M_e} \quad (3.2)$$

Eşitlikte, E_f : birim materyal kütlesi için enerji tüketimi (kWh/ton), P_{Tort} : ortalama güç değeri (kW), M_e : efektif materyal kapasitesi (ton/h)

3.3.3.1. Güç tüketiminin belirlenmesi

Parçalama makinasının güç tüketimi Chauvin Arnoux CA 8332B marka 3 fazlı portatif enerji analizörü kullanılarak [3xAmplifex 45 Akım Klambı (10-6500A) + 3xMN93 (0-200A) ile] belirlenmiştir (Şekil 3.16). Analizör, makinaya hareketini veren elektrik motorunun faz-faz arası gerilim (V), her fazdan çekilen aktif-reaktif (kapasitif ve endüktif) akım (A) ve görünür güç faktörü değerlerinin ($\cos\phi$ ve $\tan\phi$) ölçümünü yaparak güç (W) değerlerini, 1 saniye aralıklarla kaydetmiştir. Enerji analizörü güç tüketimini aşağıdaki eşitliği kullanarak hesaplamaktadır (Nilsson ve Riedel, 2008).

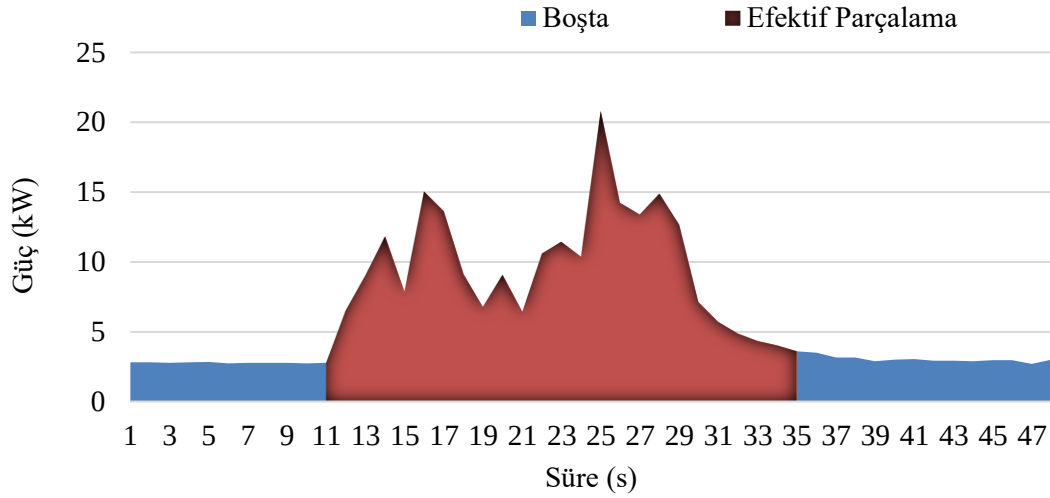
$$P_T = \frac{\sqrt{3} \times V_L \times I_L \times P_f}{1000} \quad (3.3)$$

Eşitlikte, P_T : Toplam güç (kW), V_L : Hat gerilimi (V), I_L : Hat akımı (A), P_f : Güç faktörü (ondalık), (Analizör tarafından ölçülen)



Şekil 3.16. Enerji analizörü

Denemeler sürecinde enerji analizörünün kayıt işlemi parçalama sisteminin çalıştırılması ile başlamış, budama artıklarının tamamının parçalama ünitesindeki eleklerden geçip zemine bırakılması ile sonlandırılmıştır. Bu süre içerisinde kaydedilen değerlerden “efektif parçalama” aralığındaki veriler değerlendirmeye alınmıştır (Şekil 3.17). Parçalama makinasını güç tüketimi değeri bu zaman aralığında elde edilen verilerin ortalaması alınarak belirlenmiştir (Savoie ve Gagnon, 2012).



Şekil 3.17. Denemelerde değerlendirmeye alınan güç değerleri aralığı, örnek deneme verisi: Bağ, B2, N3, S3, Tekerrür 3.

3.3.3.2. Efektif materyal kapasitesinin belirlenmesi

Efektif materyal kapasitesi, parçalama işlemi sonrasında parçalayıcının alt kısmına yerleştirilen toplayıcıda biriken budama artığı kütlesi değeri ile enerji analizörü verilerinin değerlendirilmesi sonucunda belirlenen efektif parçalama işlemi boyunca geçen sürenin oranlaması ile hesaplanmıştır.

$$Me = \frac{K}{t_e} \times 3.6 \quad (3.4)$$

Eşitlikte, Me : Efektif materyal kapasitesi (ton/h), K : Parçalama sonunda toplanan budama artığı (kg), t_e : efektif parçalama süresi (s)

3.3.3.3. Parçalanmış budama artıklarının toplanması

Çalışmada yapılan denemelerde budama artıkları sehpa üzerinde konumlandırılmış parçalama ünitesinde parçalandıktan sonra eleklerden geçerek zemine düşmektedir. Bu parçaların kayıp olmadan toplanması amacıyla parçalama ünitesinin altına 1700x1100 mm boyutlarında ve 700 mm yüksekliğinde bir toplama haznesi yerleştirilmiştir. Bu haznenin içerisine serilen plastik bir örtü malzeme yardımıyla, parçalanmış materyal toplanmıştır. Parçalama işleminden sonra biriktirilen parçacıklar tartılmış ve etiketlenmiş plastik poşetlere aktararak görüntü işleme analizlerinin yapılacağı laboratuvara taşınmıştır (Şekil. 3.18).



Şekil 3.18. Parçalanmış artıkların toplanması ve etiketlenmesi

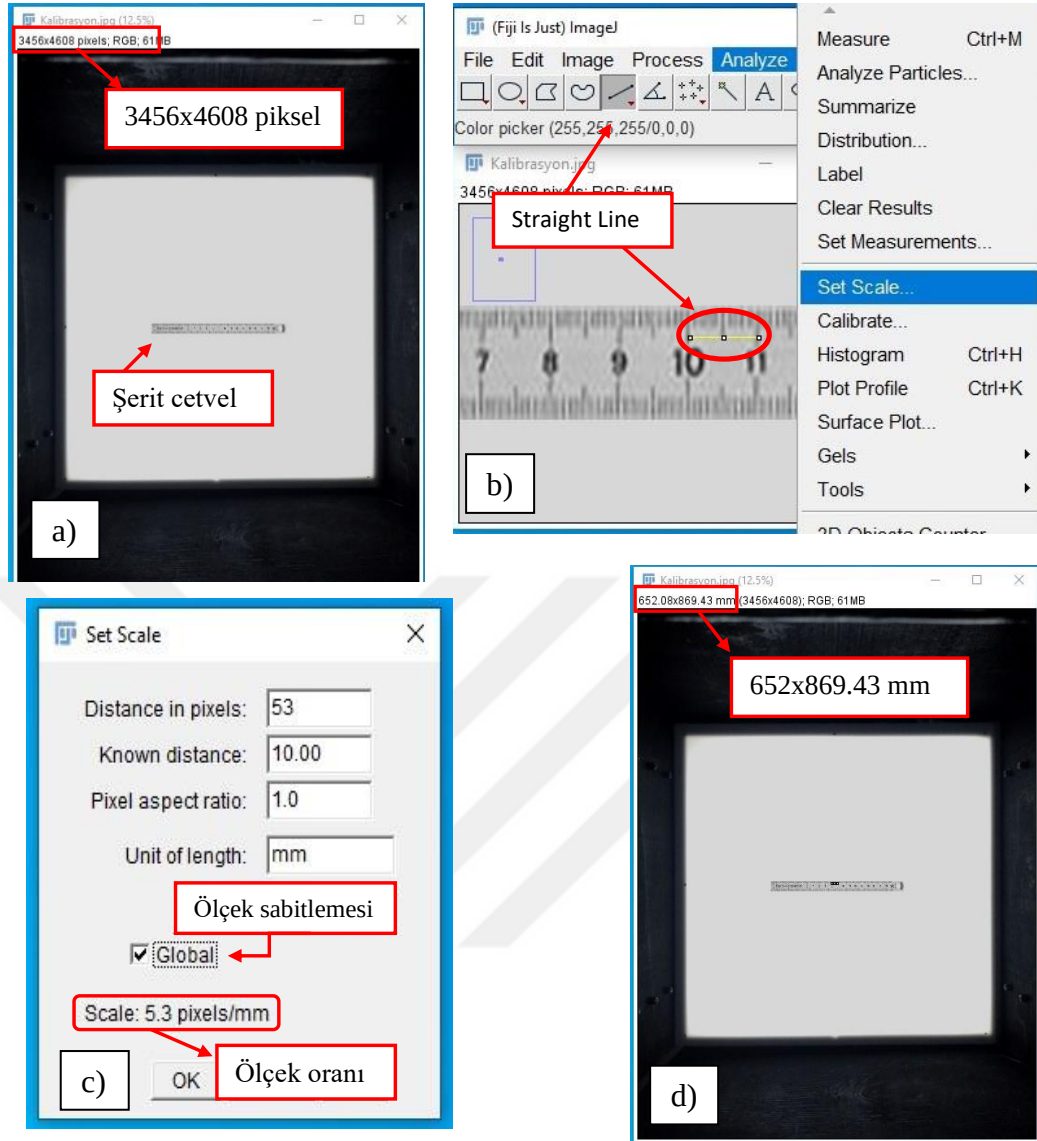
3.3.4. Görüntü işleme yöntemi

Çalışma kapsamında budama artıklarının parçalanmasından sonra oluşan parçacıkların boyutlarının belirlenmesinde görüntü işleme yöntemi kullanılmıştır. Bu amaçla 3456x4608 piksel çözünürlükte ve 24 bit renk derinliğinde fotoğraflar çekilmiştir. Flaş kullanılmadan yapılan çekimlerde tüm fotoğraflar için f/2.2 diyafram açıklığı, 1/175 saniye deklanşör hızı, 4 mm odak uzaklığı ve ISO 50 değerleri kullanılmıştır. JPEG formatındaki fotoğraflar daha sonra kablolu bağlantı kullanılarak akıllı cep telefonundan bilgisayar ortamına aktarılmıştır.

Fotoğrafların analiz edilmesinde ImageJ yazılımı kullanılmıştır. ImageJ, Java programlama dili temelli, bilimsel görüntüleri işlemek ve analiz etmek için kullanılan açık kaynaklı bir yazılımdır. Yazılımın birçok eklenti paketi içeren Fiji versiyonu internet üzerinden ücretsiz olarak indirilip kullanılmaktadır. Programın, kayıtlı komut dosyası oluşturması sayesinde otomatikleştirilmiş işlem akışları oluşturabilmektedir (Anonymous 2).

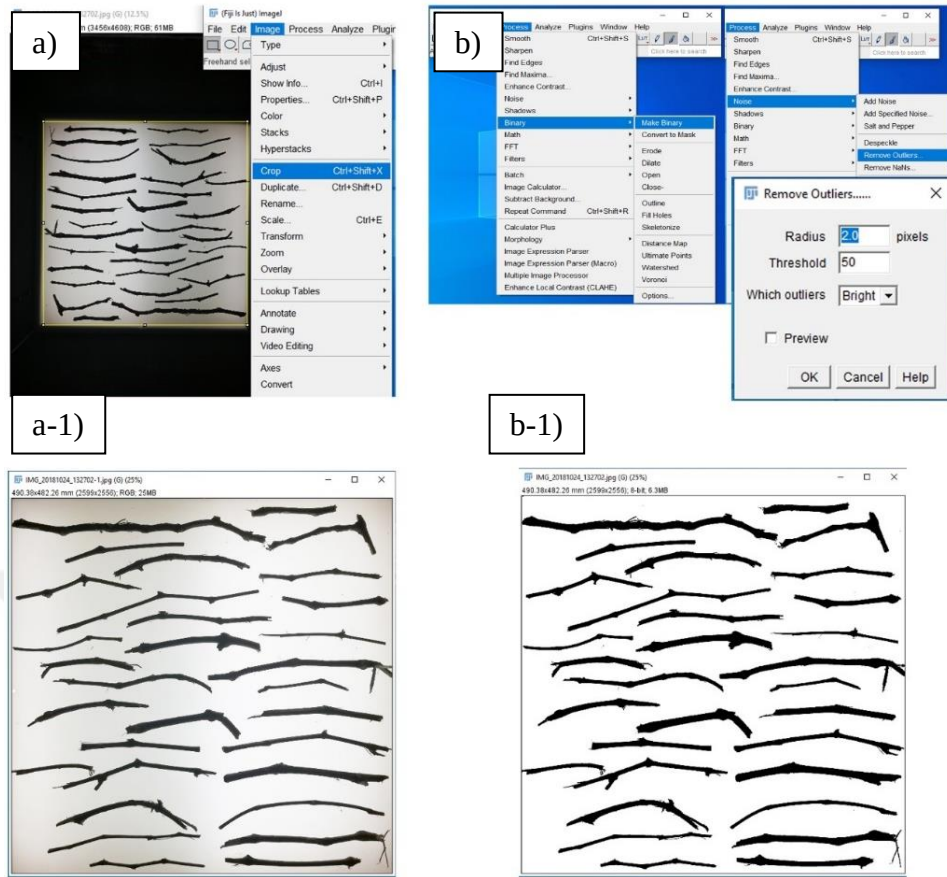
3.3.4.1. ImageJ yazılımının kullanılması

ImageJ programı fotoğraflarda görünen nesnelerin boyutlarını fotoğrafı oluşturan pikselleri kullanarak ölçmektedir. Bu sebeple fotoğrafların piksel ölçülerinin uzunluk birimine dönüştürülerek ölçekli bir şekilde tekrar boyutlandırılması gerekmektedir. Bunu sağlamak için, ölçüsü bilinen bir uzunluk biriminin piksel olarak karşılığı programa tanıtılmıştır. Bu işlem için bir şerit cetvelin fotoğraflama kabininden elde edilen görüntüsü kullanılmıştır. Bu fotoğraf üzerinde yakınlaşma işlemi yapılarak ve ImageJ programının menüsündeki “Straight Line” aracı seçilerek 10 mm uzunluğunda bir düz çizgi çizilmiştir. Daha sonra aynı menüde sırasıyla “Analyze>Set Scale” sekmesi seçilerek oluşturulan çizginin piksel karşılığı belirlenmiştir. Açılan pencerede “Global” kutucuğu işaretlenerek belirlenen ölçek oranının her yeni fotoğraf için sabit kalması sağlanmıştır. Buna sayede, analizlerde kullanılan tüm fotoğraflarda 5.3 piksel/mm oranlı ölçek kullanılmıştır (Şekil 3.19).



Şekil 3.19. Fotoğrafların boyutlandırılması, **a)** fotoğrafların piksel boyutları **b)** referans ölçünün piksel karşılığının belirlenmesi **c)** ölçek oranı **d)** fotoğrafların mm boyutları

Referans değere göre tekrar boyutlandırılan fotoğraflar, parçalanmış artıkların serili olduğu alan seçildikten sonra program arayüzündeki “Image>Crop” sekmeleri kullanılarak kırpılmıştır. Sonraki işlemde; RGB renk derinliğinde olan fotoğrafların analiz edilebilmesi için 8 bit renk derinliğine dönüştürülmüştür. Bu işlem için ImageJ programının arayüzünde sırasıyla “Process>Binary>Make Binary” sekmeleri seçilmiştir. Fotoğraflardaki 1 mm’den küçük toz vb. görüntüleri filtrelemek için 2 piksel çapındaki şekiller temizlenmiştir. Bunun için de arayüzde sırasıyla “Process>Noise>Remove Outliers” sekmelerdi kullanılmıştır (Şekil 3.20).



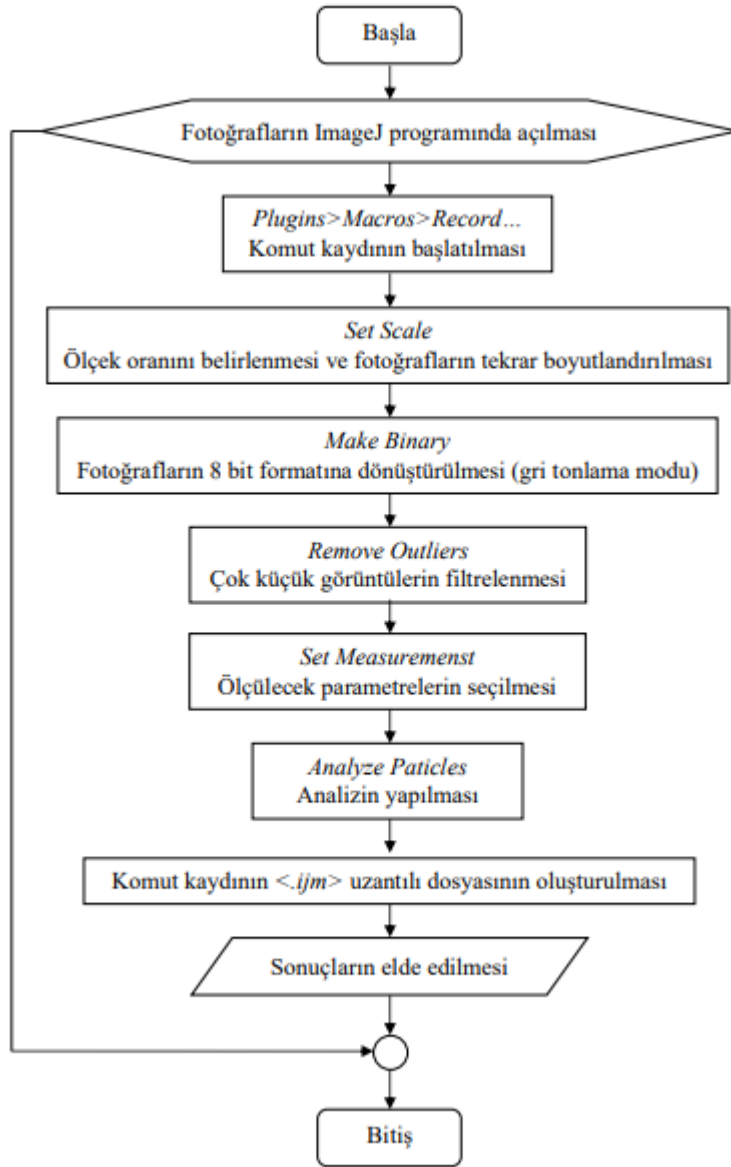
Şekil 3.20. Fotoğrafların görüntü analizi için hazırlanması, **a)** kırpma (crop), **b)** binary ve temizlik **a-1)** kırılmış fotoğraf, **b-1)** analiz için hazırlanmış fotoğraf

Görüntü analizini yapmak için ImageJ programının arayüzünde ilk olarak sırasıyla “Analyze>Set Measurement” sekmeleri kullanılmıştır. Burada açılan pencerede ölçülmek istenilen boyutlar belirlenmiştir. Buna göre parçacıkların alan ölçümünü yapmak için Alan (Area) kutucuğu, uzunluk ölçümü için ise Feret çapı (Feret’s diameter) kutucuğu işaretlenmiştir. Daha sonra, yine aynı menüde sırasıyla “Analyze>Analyze Particles” sekmeleri kullanılmıştır. Açılan pencerede analiz sonrasında ölçülen değerlerin ve her bir parçacığın nurlandırılmasıyla oluşturulan görselin gösterilmesi için ilgili alanlar işaretlenmiştir. Son olarak onay verildikten sonra ImageJ programı görüntü analizi işlemini gerçekleştirmiştir.

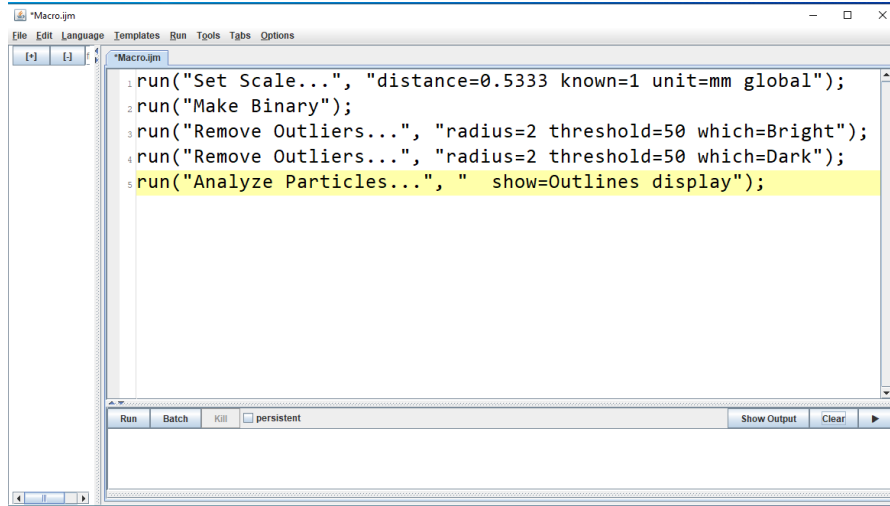
Görüntü işleme analizi sonunda elde edilen veriler, bu çalışma kapsamında belirlenen diğer verilerle birlikte değerlendirmek amacıyla Excel programına aktarılmıştır.

3.3.4.2. Görüntü analizinin işlem akış diyagramı

Çalışmada görüntü analiz için kullanılan ImageJ programı işlem komutlarını kaydetme özelliğine sahiptir. Bunun işlem program arayüzünde sırasıyla “Plugins>Macros>Record” sekmeleri kullanılarak yapılmıştır. Bu işlem yardımıyla farklı parametrelerde üç tekerrürlü olarak yapılan denemelere ait çok sayıda fotoğraf hızlı bir şekilde analiz edilmiştir. Bununla birlikte analizde kullanılan komutların kayıt altına alınıp tüm örnekler için kullanılması, yöntemin standart bir şekilde uygulanmasını sağlamaktadır. Bu amaçla oluşturulan görüntü analizinde kullanılan işlem akışı Şekil 3.21’de ve kaydedilen komutlar Şekil 3.22’de gösterilmiştir.



Şekil 3.21. İş akışı diyagramı



Şekil 3.22. Görüntü analizinde kullanılan komutlar

3.3.4.3. Parçacıkların boyut ve dağılımının belirlenmesi

Araştırmada parçacıkların uzunluklarını belirlemek için en yüksek Feret ölçüsü dikkate alınmıştır. Bu ölçü seçim sınırı boyunca herhangi iki nokta arasındaki en uzun mesafe, aynı zamanda maksimum pergel olarak da bilinmektedir (Dalen 2004; Yang 2007; An vd 2022).

An vd. 2022, benzer bir yöntem kullanarak kaya parçacıklarının boyutlarını ve dağılımını belirlemişlerdir. Çalışmada görüntü analizinde kullandıkları ölçüm parametrelerini açıklamışlardır (Çizelge 3.6).

Budama artıklarının parçalanması sonrasında oluşan parçacıkların boyutları parçacıkların yatay zeminde kapladıkları alan (cm^2) ve uzunluk (cm) ölçüleri dikkate alınarak belirlenmiştir. Parçacıkların dağılımını belirlemek için ise, görüntü analizi sonunda elde edilen parçacık projeksiyon alanı için cm^2 , uzunluk için cm birimine göre, parçacık boyutları, parçacık boyutlarının dikkate alınmasıyla 6 frekans aralığı ($x < 3$, $3 \leq x < 6$, $6 \leq x < 9$, $9 \leq x < 12$, $12 \leq x < 15$, $x \geq 15$) kullanılarak sınıflandırılmıştır

Çizelge 3.6. Görüntü analizinde kullanılan parçacık boyutu parametreleri

Parametre	Sembol	Tanımlama	Şematik Gösterim
En yüksek Feret	F_{max}	En uzun kumpas (Feret) uzunluğu	
En düşük Feret	F_{min}	En kısa kumpas (Feret) uzunluğu	
Eksen (majör)	Ax_{max}	Parça üzerindeki iki noktadan geçen elipsin en uzun mesafesi	
Eksen (minör)	Ax_{min}	Parça üzerindeki iki noktadan geçen elipsin en kısa mesafesi	
Çap en yüksek	D_{max}	Parçacığın ana hattındaki iki noktayı birleştiren ve ağırlık merkezinden geçen en uzun çizginin uzunluğu	
Çap en düşük	D_{min}	Parçacığın ana hattındaki iki noktayı birleştiren ve ağırlık merkezinden geçen en kısa çizginin uzunluğu	
Çevre	P	Parçacığın dış çizgisinin uzunluğu	
Alan	A	Parçacığın dış çizgisinin bitişik alanı	

*An vd. 2022

3.4. Makina Maliyetlerinin Belirlenmesi

Budama artıklarının parçalanmasında kullanılan makinaya ait maliyetlerin hesaplamalarında sabit ve değişken giderler dikkate alınmıştır. (Işık ve ark., 1988; Evcim, 1990; Sayın ve Özgüven, 1995; Sındır, 1999; ASABE, 2015).

3.4.1. Sabit giderler

Sabit giderler; işletmenin makinaya yalnızca sahip olmasıyla oluşan ve makina kullanımından bağımsız giderlerdir. Sabit giderleri amortisman, faiz, vergi, sigorta ve koruma giderleri oluşturmaktadır. Çalışmada sabit giderleri oluşturan değişkenlerin tümü "sabit gider yüzdesi" ile hesaplanmıştır (ASABE, 2015). Makinanın satın alma bedeli ile ondalık olarak hesaplanan sabit gider yüzdesinin çarpılmasıyla yıllık sabit gider değeri belirlenmiştir. Sabit gider hesaplamalarında kullanılan aşağıdaki eşitliklerden yararlanılmıştır.

$$YSG = SGY \times SAB \quad (3.5)$$

Eşitlikte; YSG: Yıllık sabit giderler (TL/yıl); SGY: Sabit gider yüzdesi (ondalık), SAB: Makinanın satın alma bedeli (TL)'dir.

$$SGY = \left(\frac{1-HD}{n} \right) + \left(\frac{1+HD}{2} \times i \right) + K_2 \quad (3.6)$$

Eşitlikte; HD: Hurda değeri (ondalık); n: Makinanın ekonomik ömrü (yıl); i: Yıllık faiz değeri (ondalık); K₂: Vergi-sigorta-koruma sabit giderlerini içeren katsayıdır, 0.02 olarak alınabilir (ASABE, 2015).

Çalışmada hurda değeri satın alma bedelinin % 20'si olarak alınmıştır (Miyata 1980). Parçalama makinasının ekonomik ömür için literatürdeki benzer çalışmalar dikkate alınmıştır. Buna göre ekonomik ömür için 10 yıl, yıllık kullanım süresi için ise 1200 h değeri kullanılmıştır (Sındır 1999, Yiğit, 2013, ASABE 2015).

Enflasyonlu koşullarda reel faiz değeri; nominal veya pazar faiz değeri ile genel enflasyon oranına bağlı olarak aşağıdaki eşitlik yardımı ile belirlenmiştir (Işık, 1988; Sındır, 1999).

$$I_r = i = \frac{i_n - i_e}{1 + i_e} \quad (3.7)$$

Eşitlikte; i: reel faiz değeri (ondalık); i_e: nominal- pazar faiz değeri (ondalık) ve i_n: genel enflasyon oranı (ondalık)'dır. Ülkemizdeki son yıllara ait ekonomik veriler değerlendirilerek reel faiz oranı %2.88 olarak hesaplanmıştır.

3.4.2. Değişken giderler

Değişken giderler; yıl içerisinde makinanın kullanımına bağlı olarak değişen giderlerin toplamıdır. Makinanın kullanım süresi (TL/h), kullanım alanı (TL/da, TL/ha) ya da işlenen birim materyal kütlesi başına (TL/ton, TL/kg) hesaplanmaktadır. Çalışmada, değişken giderler kapsamında parçalama makinasının çalıştırılmasında kullanılan elektrik motorlarına ait elektrik giderleri ile tamir-bakım ve işçilik giderleri olarak hesaplanmıştır.

Saatlik elektriksel iş' in belirlenmesinde enerji analizöründen elde edilen güç değerleri kullanılmıştır. Analizör tarafından kaydedilen veriler daha sonra bilgisayara aktarılıp, çalışma sırasında makina enerji tüketim değerleri dikkate alınarak ortalama değer kWh olarak hesaplanmıştır. Çalışmada elektrik birim fiyatı 2023 yılı 1 Nisan 2023 tarihinden itibaren uygulanan tarife göre 3.06 TL/kWh olarak belirlenmiştir (EPDK, 2023). Elektrik giderlerini belirlenmesinde aşağıdaki eşitlikten yararlanılmıştır.

$$EG = ET \times BEF \quad (3.8)$$

Eşitlikte; EG: Elektrik gideri (TL/h), ET: Saatlik elektriksel iş (kWh/h), BEF: Birim elektrik fiyatı (TL/kWh)'dir.

Tamir-Bakım Gideri; Tamir bakım gideri, aşınma, parça bozulması, doğal yıpranma ve kazalar nedeniyle oluşan arızaları gidermek ve makinaı çalışabilir durumda tutmak için gerekli harcamaları kapsamaktadır (Evcim, 1990). Çalışmada yıllık tamir bakım gideri satın alma bedelinin yüzdesi olarak belirlenmiştir. Bu değer belirli periyotlarda parça değişimi (bıçak, çekiç, kalıp vb.) gerektiren parçalama makinası için yıllık %10 olarak alınmıştır (Mani ve ark. 2006). Tamir-Bakım giderleri aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır (Işık, 1988).

$$TBG = \frac{SAB \times TBO}{N} \quad (3.9)$$

Eşitlikte; TGB: tamir-bakım gideri (TL/h), SAB: satın alma bedeli (TL); TBO: tamir-bakım oranı (ondalık), N: makinanın ekonomik ömrü (h)'dür.

Toplam işgücü gideri için makinalar ile bir işçinin çalıştığı kabul edilmiştir. Hesaplamalarda Mayıs 2023 için saatlik işgücü gideri 75 TL/h olarak dikkate alınmıştır.

Birim kullanım süresi başına hesaplanan toplam değişken giderler (TL/h), aynı zamanda makina materyal kapasitesi (ton/h) dikkate alınarak, birim materyal kütlesi başında düşen değişken giderlere (TL/ton) dönüştürülmüştür. Yıllık olarak hesaplanan sabit giderler, makinaları yıllık kullanım süreleri dikkate alınarak saatlik toplam giderlere dönüştürülmüştür. Sabit ve değişken giderler toplanarak, materyal kütlesi başına düşen makina toplam maliyetleri hesaplanmıştır.

3.5. Deneme Planı ve İstatistiksel Yöntem

Zeytin ve bağ budama artıklarıyla birbirinden bağımsız olarak yürütülen; üç farklı nem içeriği (N1, N2, N3), (zeytinde %45, %35, %20 ve bağda %55, %35, %25) üç farklı rotor devir sayısı (S1, S2, S3), (1200, 1500 ve 1800 1/min) ve iki farklı bıçak (B1 ve B2), (çekiç ve dişli çekiç bıçak) kullanılarak gerçekleştirilen parçalama işlemlerinin deneme planı Çizelge 3.7’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.7. Deneme planı

Materyal	Nem içeriği	Devir Hızı	Bıçak Tipi
Zeytin Bağ	N1	S1	B1 B2
	N2	S2	
	N3	S3	

Zeytin						
N1S1B1	N2S1B1	N3S1B1		N1S1B2	N2S1B2	N3S1B2
N1S2B1	N2S2B1	N3S2B1		N1S2B2	N2S2B2	N3S2B2
N1S3B1	N2S3B1	N3S3B1		N1S3B2	N2S3B2	N3S3B2
Bağ						
N1S1B1	N2S1B1	N3S1B1		N1S1B2	N2S1B2	N3S1B2
N1S2B1	N2S2B1	N3S2B1		N1S2B2	N2S2B2	N3S2B2
N1S3B1	N2S3B1	N3S3B1		N1S3B2	N2S3B2	N3S3B2

Denemelerde elde edilen verilerin değerlendirilmesinde çok değişkenli varyans analiz (MANOVA) yapılmıştır ($P < 0.05$). Etkileri önemi bulunan faktörlerin çoklu karşılaştırması için ise Tukey testi uygulanmıştır. İstatistiksel analizler yapılmasında ve grafiklerin oluşturulmasında GraphPad Prism 9 yazılımı kullanılmıştır. Oluşturulan grafiklerde incelenen parametrelerin ortalamaları arasındaki farklılıklar önem seviyesine göre işaretlenmiştir (Çizelge 3.8).

Çizelge 3.8. P değerinin simgesel olarak gösterilmesi (Anonymous 3)

P değeri	Simge	Önemlilik Seviyesi
> 0.05		Önemsiz
≤ 0.05	*	Önemli
≤ 0.01	**	Çok önemli
≤ 0.001	***	Son derece önemli

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

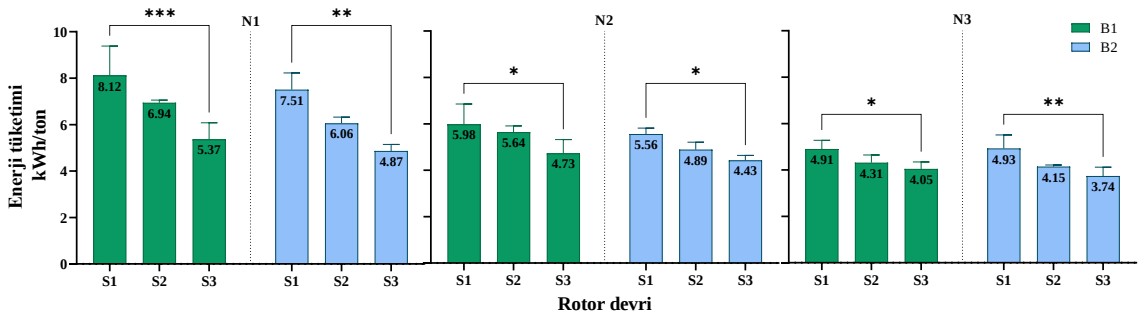
Araştırma kapsamında elde edilen bulgular, öncelikle kullanılan materyaller dikkate alınarak zeytin ve bağ budama artıklarına ait bulgular olmak üzere iki ana başlıkta değerlendirilmiştir. Bu ana başlıkların altında parçalayıcı rotor devir sayısı ve bitkisel materyalin nem içeriği ve bıçak tipi değişimine bağlı olarak elde edilen bulgulara yer verilmiştir. Son bölümde makina maliyetlerine ait bulgular yer almaktadır.

4.1. Zeytin Budama Artıklarının Parçalanmasına Ait Bulgular

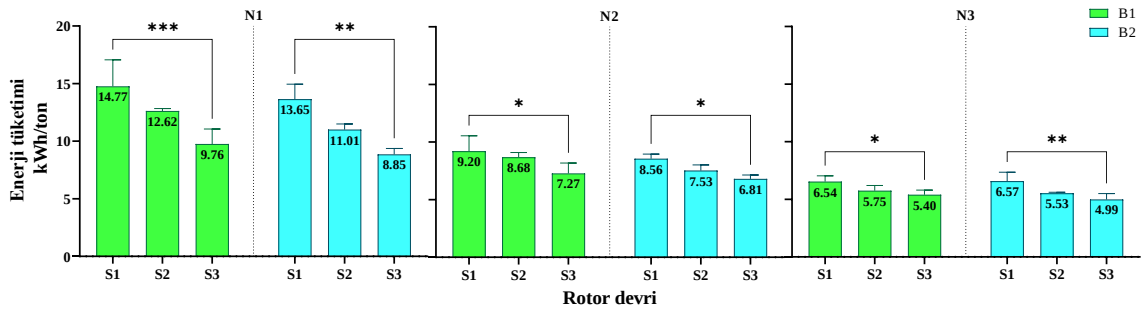
Zeytin budama artıkları ile yapılan denemelerde, varyans analizi sonuçlarına göre; parçalayıcı rotor devir sayısı ve nem içeriği değişiminin, özgül enerji ihtiyacı, makina kapasitesi ve parçacık boyutu üzerinde etkili olduğu belirlenmiştir. Parçalama işleminde bıçak tipinin değişiminin belirlenen parametreler üzerindeki etkileri ise istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır ($P < 0.05$).

4.1.1. Zeytin budama artıklarının parçalanmasında parçalayıcı rotor devir sayısı değişiminin enerji tüketimi üzerine etkisi

Farklı nem düzeylerinde birim kütle başına düşen enerji tüketimine ilişkin belirlenen yaş baza ait değerler Şekil 4.1’de, kuru baza ait değerler Şekil 4.2’de verilmiştir.



Şekil 4.1. Zeytin budama artığı denemelerinde rotor devir sayısı değişiminin özgül enerji tüketimi üzerine etkisi (y.b.)



Şekil 4.2. Zeytin budama artığı denemelerinde rotor devir sayısı değişiminin özgül enerji tüketimi üzerine etkisi (k.b.)

N1 nem içeriği seviyesinde artan parçalayıcı rotor devir sayılarına göre ölçülen enerji tüketimi değerleri; B1 bıçağı için sırasıyla yaş bazda 8.12, 6.94, 5.37 kWh/ton, kuru bazda 14.77, 12.62, 9.76 kWh/ton, B2 bıçağı için yaş baza göre 7.51, 6.06, 4.87 kWh/ton, kuru baza göre ise 13.65, 11.01, 8.85 kWh/ton 'dur. Devir sayısının artışı (S1-S3) her iki bıçak (B1 ve B2) için istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($P<0.001$).

N2 nem içeriğindeki parçalama işleminde devir sayısının artışına bağlı olarak birim kütle için gereksinim duyulan enerji değerleri azalmıştır. Buna göre devir sayısının değişimine göre özgül enerji tüketimi değerleri sırasıyla, B1 bıçağı için yaş bazda 5.98, 5.64, 4.73 kWh/ton, kuru bazda 9.20, 8.68, 7.27 kWh/ton 'dur. B2 bıçağı için bu değerler yaş bazda 5.56, 4.89, 4.43 kWh/ton, kuru bazda ise 8.56, 7.53, 6.81 kWh/ton olarak hesaplanmıştır. Devir sayısının S1'den S3'e yükselmesinin özgül enerji miktarı değişimine etkisi her iki bıçak için de istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($P<0.05$). S1-S3 devir artışında her iki bıçak için özgül enerji tüketimi yaklaşık %20 oranında azalmıştır.

Rotor devir sayısının artması N3 nem seviyesindeki zeytin budama artıklarının parçalanmasında özgül enerji tüketimini diğer nem içeriklerine benzer şekilde azaltmıştır. B1 bıçağı kullanılarak gerçekleştirilen parçalama işleminde devir sayısına göre belirlenen özgül enerji değerleri sırasıyla yaş bazda 4.91, 4.31 3.74 kWh/ton, kuru bazda 9.20, 8.68, 7.27 kWh/ton 'dur. Bu değerler B2 bıçağı için yaş bazda 4.93, 4.15, 3.74 kWh/ton, kuru bazda ise 6.57, 5.53, 4.99 kWh/ton olarak hesaplanmıştır. Her iki bıçak için de S1-S3 devir sayıları arasındaki özgül enerji değerleri arasındaki farklılıklar istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($P<0.01$). Rotor devrinin S1-S3 değişmesi ile özgül enerji tüketimi B1 Bıçağında %17.4, B2 bıçağında ise %24 oranında azalmıştır.

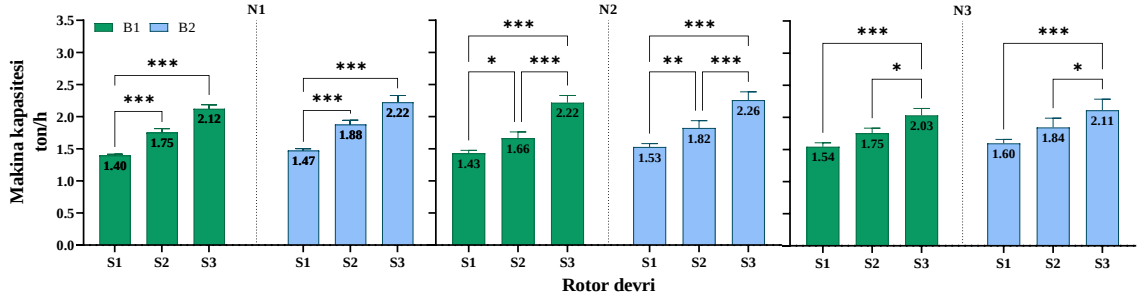
Zeytin budama artıklarının üç farklı nem içeriği ve rotor devri sayısında, iki farklı bıçak ile parçalanması sonucunda elde edilen özgül enerji değerleri literatürdeki benzer şekilde yürütülen çalışmalar ile benzerlik göstermektedir. Çanakçı vd. (2019), nem içeriği %36 ve %32 olan nar ve portakal budama artıklarını, benzer bir parçalama makinası ile üç farklı bıçak kullanarak parçalamalarının sonucunda özgül enerji tüketimi değerlerinin 4.24-8.57 kWh/ton arasında değiştiğini belirlemişlerdir.

Zeytin budama artıklarına ait tüm nem içeriği düzeylerinde rotor devir sayısının artmasıyla azalan özgül enerji tüketimi, makinanın parçalamasındaki efektif sürenin azalmasına bağlı olarak artan kapasite değerlerinden kaynaklanmaktadır. Devrin artması parçalama işlemini sabit namlu yoğunluğunda yürütülen denemelerde birim zamanda parçalanmış materyal miktarını arttırarak özgül enerji tüketimini azaltmıştır. Elde edilen sonuçlar literatürdeki benzer çalışmalar ile örtüşmektedir (Şeflek 2006; Çanakçı 2010).

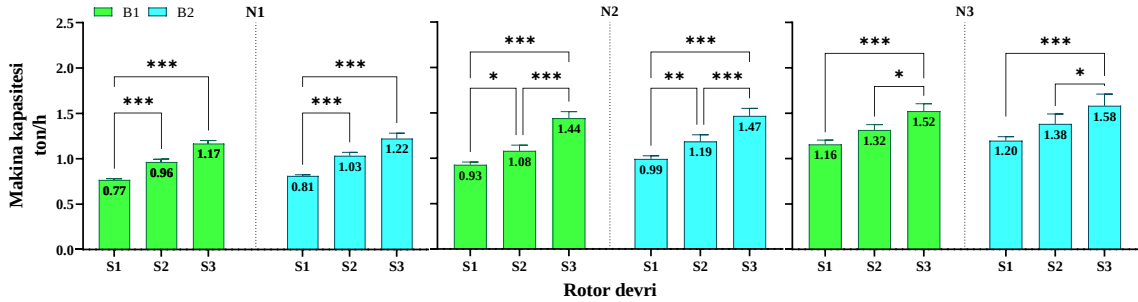
Artan rotor devir sayısına bağlı olarak azalan özgül enerji tüketimi dikkate alındığında düşük enerji tüketimi açısından materyal nem içeriğinden bağımsız olarak parçalayıcının yüksek devirlerde çalıştırılması gerektiği söylenebilir. Bununla beraber Şekil 4.1 ve Şekil 4.2 incelendiğinde özgül enerji tüketiminin nem içeriği azalmasına bağlı olarak da azaldığı görülmektedir. Bu sonuçlara göre zeytin budama artıklarının parçalanmasında en düşük enerji tüketimini sağlamak için parçalama işleminin yüksek rotor devrinde ve düşük materyal nem içeriğinde yapılması gerektiği söylenebilir.

4.1.2. Zeytin budama artıklarının parçalanmasında parçalayıcı rotor devir sayısı değişiminin makina kapasitesi üzerine etkisi

Rotor devir değişiminin makina kapasitesi üzerine etkisine ilişkin değerlere yaş baz için, Şekil 4.3’de, kuru baz için Şekil 4.4’de yer verilmiştir.



Şekil 4.3. Zeytin budama artığı denemelerinde rotor devir sayısı değişiminin makina kapasitesi üzerine etkisi (y.b.)



Şekil 4.4. Zeytin budama artığı denemelerinde rotor devir sayısı değişiminin makina kapasitesi üzerine etkisi (k.b.)

Varyans analizi sonucunda tüm nem seviyelerinde parçalayıcı rotor devri makina kapasitesi üzerinde etkili bulunmuştur ($P < 0.05$). B1 ve B2 bıçakları için belirlenen makina kapasitesi değerleri arasındaki fark istatistiksel olarak önemsizdir. Şekil 4.3 ve Şekil 4.4 incelendiğinde rotor devrinin artışına bağlı olarak makina kapasitesinin tüm nem içeriklerinde arttığı görülmektedir. N1 nem içeriğinde B1 bıçağı için makina kapasitesi değerleri devir sayısına göre sırasıyla yaş bazda 1.40, 1.75, 2.12 ton/h, kuru bazda 0.77, 0.96, 1.17 ton/h, B2 bıçağı için yaş bazda 1.47, 1.88, 2.22 ton/h, kuru bazda ise 0.81, 1.03, 1.22 ton/h olarak belirlenmiştir. Her iki bıçak için de devrin S1-S3 ve S1-S2 arasındaki değişim makina kapasitesini son derece önemli düzeyde etkilemiştir ($P < 0.001$).

N2 nem içeriğindeki zeytin budama artıklarının parçalanmasında rotor devrinin artışı makina kapasitesini her iki bıçak için de artırmıştır. Buna göre makina kapasitesi değerleri B1 bıçağı için devir artışına göre sırasıyla yaş bazda 1.43, 1.66, 2.22 ton/h, kuru bazda 0.93, 1.08, 1.44 ton/h olarak belirlenirken, B2 bıçağı için kapasite değerleri yaş baza göre 1.53, 1.82, 2.26 ton/h, kuru baza göre ise 0.99, 1.19, 1.47 ton/h olarak belirlenmiştir. Her iki bıçak için de tüm rotor devri (S1, S2 ve S3) artışlarında kapasitedeki artış istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($P < 0.001$).

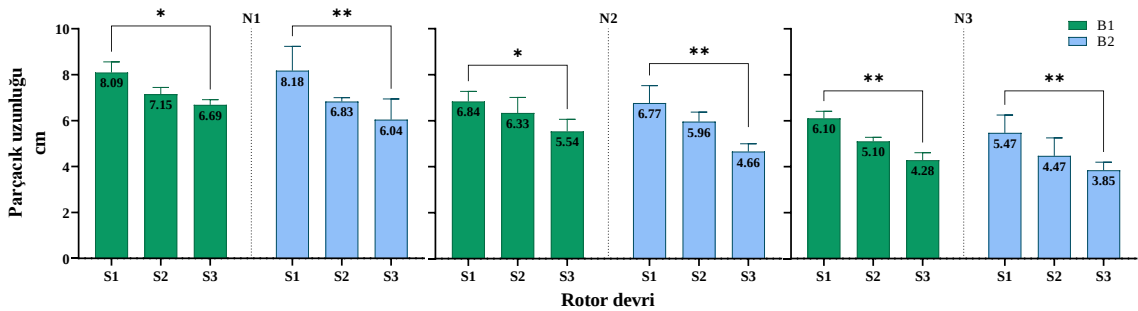
N3 nem içeriğindeki materyalin parçalanması ile en yüksek makina kapasitesi değerleri elde edilmiştir. Buna göre devir sayısının artmasına bağlı olarak B1 bıçağında makina kapasitesi; yaş bazda 1.54, 1.75, 2.03 ton/h, kuru bazda 1.16, 1.32, 1.52 ton/h, B2 bıçağında ise yaş baza göre 1.60, 1.84, 2.11 ton/h, kuru baza göre ise 1.20, 1.38, 1.58 ton/h olarak belirlenmiştir. Kapasite değerleri, rotor devrinin artmasıyla diğer nem içeriklerinde olduğu gibi N3 nem içeriğinde de artış göstermiştir. Bu artış devir sayısının S1-S3 değişiminde son derece önemli ve S2-S3 değişiminde önemli bulunmuştur ($P<0.001$).

Tüm nem içeriği düzeylerinde rotor devrinin artması ile aktif parçalama süreleri azalmıştır. Buna göre artan rotor devri sayısına göre B1 ve B2 bıçakları için ortalama aktif parçalama süreleri N1 için 37 ± 2 , 29 ± 1 , 24 ± 1 saniye, N2 için 29 ± 2 , 25 ± 1 , 20 ± 0.5 saniye ve N3 için 24 ± 1 , 22 ± 0.5 , 19 ± 0.5 saniye olarak belirlenmiştir. Denemeler sonucunda elde edilen makina kapasitesi değerleri literatürdeki ilgili çalışmalar ile benzerlik göstermektedir. Öngören (2021), çalışmasında üç farklı çeşit bağ budama artığı kullanarak üç farklı devirde parçalama işlemi gerçekleştirmiştir. Denemeler sonunda, her üç çeşit bağ budama artığı için de aynı süre ve miktarda beslenen parçalama makinasının kapasite değerleri, parçalama devrindeki artışa bağlı olarak artış göstermiştir. Bu artışın sebebi parçalama sürelerinin devir artışına ters orantılı olarak azalmasından kaynaklı olduğu belirtilmiştir.

Zeytin budama artıklarının parçalanmasında elde edilen sonuçlara göre, yüksek makina kapasitesi sağlamak için parçalama makinasının yüksek rotor devirlerinde çalıştırılması gerektiği söylenebilir. Bununla birlikte azalan nem içeriğinin de makina kapasitesini arttırdığı dikkate alındığında en yüksek kapasite değerinin S3 rotor devrinde ve N3 nem içeriğinde elde edileceği görülmektedir.

4.1.3. Zeytin budama artıklarının parçalanmasında parçalayıcı rotor devir sayısı değişiminin parçacık boyutları üzerine etkisi

Zeytin budama artıkları ile çalışmada, farklı parçalayıcı rotor devir sayılarında elde edilen parçacıklarının ortalama uzunluk değerleri Şekil 4.5’de gösterilmiştir.



Şekil 4.5. Zeytin budama artığı denemelerinde rotor devir sayısı değişiminin parçacık uzunluğuna etkisi

N1 nem içeriğine ait zeytin budama artıklarının parçalanması sonucunda devir sayısı değişimine bağlı olarak ortalama parçacık uzunluk değerleri sırasıyla, B1 bıçağında 8.09 ± 0.4 , 7.15 ± 0.2 , 6.69 ± 0.2 cm, B2 bıçağında ise 8.18 ± 0.9 , 6.83 ± 0.1 , 6.04 ± 0.7 cm olarak ölçülmüştür.

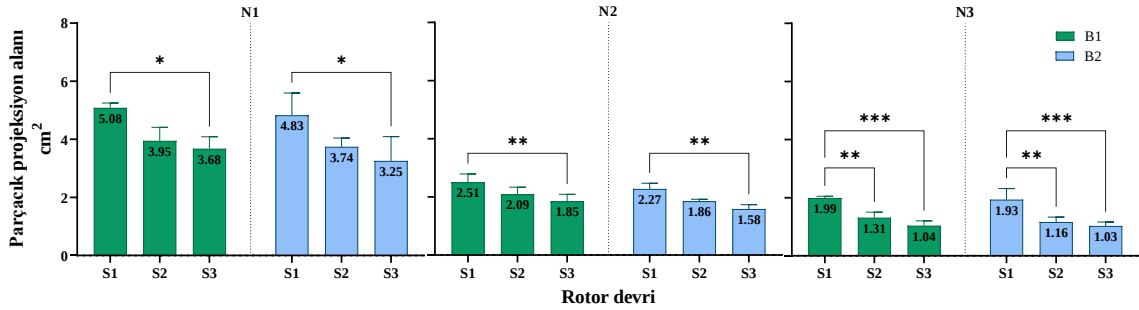
N2 nem içeriğinde yapılan denemelerde elde edilen ortalama parçacık uzunluğu artan devir sayılarına bağlı olarak sırasıyla B1 bıçağı için 6.84 ± 0.4 , 6.33 ± 0.6 , 5.54 ± 0.4 cm, B2 bıçağı için 6.77 ± 0.6 , 5.96 ± 0.3 , 4.66 ± 0.3 cm'dir.

N3 nem içeriğindeki ortalama parçacık uzunlukları devir sayılarındaki artışa göre sırasıyla B1 için 6.10 ± 0.3 , 5.10 ± 0.1 , 4.28 ± 0.3 cm, B2 için ise 5.47 ± 0.6 , 4.47 ± 0.6 , 3.85 ± 0.3 cm olarak ölçülmüştür.

Rotor devir sayısının artması ile elde edile zeytin budama artığı parçacıkların uzunlukları azalmıştır. İstatistiksel olarak bu azalma tüm nem içeriklerinde ve her iki bıçak için devrin S1'den S3'e yükselmesi ile önemli bulunmuştur ($P < 0.01$).

B1 ve B2 bıçakları için belirlenen parçacık uzunlukları arasındaki fark istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur.

Zeytin budama artıklarının parçalanmasında devir sayısı değişimi etkisiyle tüm nem içeriği düzeylerinde oluşan parçacıkların ortalama projeksiyon alanı değerleri de uzunluk değerlerine benzer şekilde azalmıştır. Elde edilen parçacıkların ortalama projeksiyon alanı değerleri Şekil 4.6'da yer almaktadır.



Şekil 4.6. Zeytin budama artığı denemelerinde rotor devir sayısı değişiminin parçacık projeksiyon alanına etkisi

N1 nem içeriğindeki B1 bıçağı ile parçalanmış zeytin budama artıklarının ortalama parçacık projeksiyon alanı değerleri devir sayısı azalışına göre sırasıyla, 5.08 ± 0.1 , 3.95 ± 0.4 , 3.68 ± 0.3 cm²'dir. Bu değerler B2 bıçağı için 4.83 ± 0.6 , 3.74 ± 0.2 , 3.25 ± 0.7 cm² olarak belirlenmiştir.

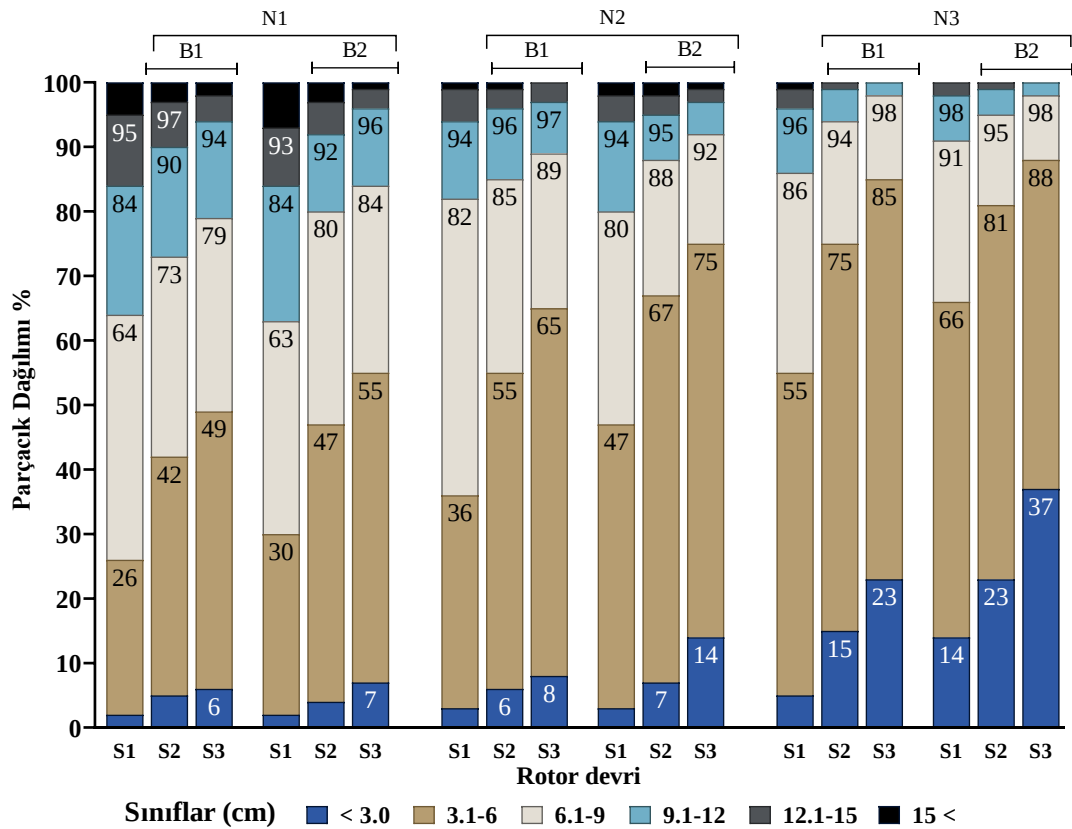
N2 nem içeriğine sahip zeytin budama artıklarının üç farklı rotor devrinde parçalanmasında B1 bıçağı kullanılarak 2.51 ± 0.2 , 2.09 ± 0.2 , 1.85 ± 0.2 cm², B2 bıçağı kullanılarak 2.27 ± 0.2 , 1.86 ± 0.2 , 1.58 ± 0.1 cm² ortalama parçacık projeksiyon alanı değerleri elde edilmiştir.

N3 nem içeriğindeki budama artıklarının kullanıldığı denemelerde ise B1 bıçağında rotor sayısı değişimine göre sırasıyla 1.99 ± 0.1 , 1.31 ± 0.2 , 1.04 ± 0.1 cm² ortalama parçacık projeksiyon alanı değeri belirlenmiştir. Bu değerler B2 bıçağı için 1.93 ± 0.3 , 1.16 ± 0.1 , 1.03 ± 0.1 cm²'dir.

N1 ve N2 nem içeriklerinde her iki bıçak için, S1-S3 devir sayılarında elde edilen parçacık projeksiyon alanı değerleri arasındaki fark istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($P < 0.01$). Bununla beraber N3 nem içeriğine sahip zeytin budama artıklarının S1-S2 ve S1-S3 devir sayılarında için belirlenen değerler arasındaki fark istatistiksel olarak çok önemli ve son derece önemli bulunmuştur ($P < 0.001$).

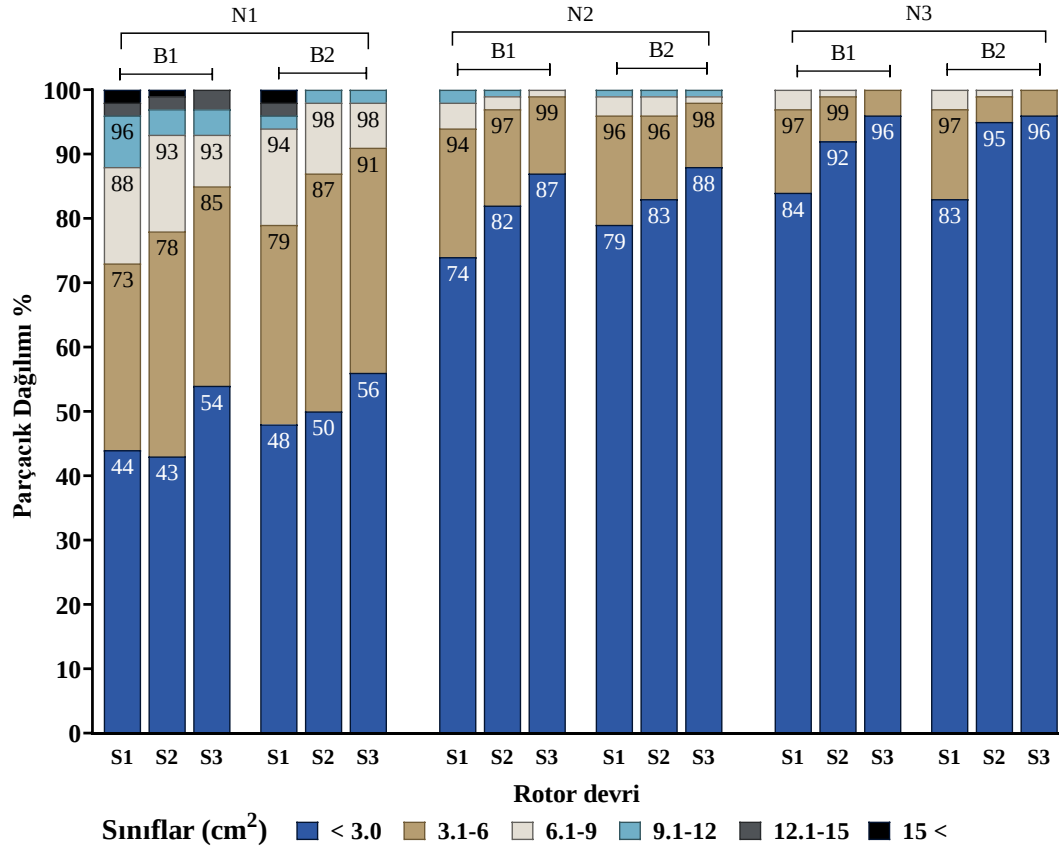
B1 ve B2 bıçakları için belirlenen parçacıkların projeksiyon alanları arasındaki fark istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur.

Farklı rotor devir sayılarında yürütülen denemelerde elde edilen zeytin budama artığı parçacıklarının uzunluk ve projeksiyon alanı değerlerine göre sınıflandırılması Şekil 4.7 ve Şekil 4.8'de verilmiştir.



Şekil 4.7. Zeytin budama artığı parçacıklarının rotor devir sayısı değişimindeki uzunluk dağılımı

Rotor devrinin artması ile zeytin budama artığı parçacıklarının tüm nem içeriklerinde büyük parçacıkların yer aldığı sınıfların paylarının azaldığı, küçük parçacıkların yer aldığı sınıflara ait oranın arttığı görülmektedir. N1 nem içeriğindeki parçacıkların değişen rotor devrinde parçalanması sonucunda 6 cm'den küçük parçacıkların yer aldığı sınıfların oranlarının toplamı B1 bıçağı için %26, %42, %49, B2 bıçağı için ise %30, %47, %55 olarak belirlenmiştir. Bu oranlar, N2 nem düzeyinde, devir değişimine bağlı olarak B1 ve B2 bıçağı için sırasıyla %36, %55, %65 ve %47, %67, %75'dir. N3 Nem düzeyinde ise devir artışına bağlı olarak B1 ve B2 bıçakları için sırasıyla %55, %75, %85 ve %66, %81, %88 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4.8. Zeytin budama artığı parçacıklarının rotor devir sayısı değişimindeki projeksiyon alanı dağılımı

Üç farklı nem içeriği ve rotor devir sayısında parçalanmış zeytin budama artıklarının ortalama projeksiyon alanı değerlerinin dağılımında, devrin artması ile küçük parçacıkların bulunduğu sınıfların yüzde oranlarının arttığı görülmektedir. N1 nem içeriğinde gerçekleştirilen denemelerde S1 Devrinde 6 cm²'den küçük parçacıkların bulunduğu sınıfların toplam oranı B1 ve B2 bıçakları için %73 ve %79'dur. S2 devrinde bu oranlar %78 ve %87'e, S3 rotor devrinde ise sırasıyla %85 ve %91'e yükselmiştir. N2 nem içeriğindeki parçacıkların ortalama projeksiyon alanı dağılımları incelendiğinde ise devrin artışına bağlı olarak 3 cm²'den küçük parçacıkların bulunduğu sınıfların oranlarının toplamı B1 ve B2 bıçaklarına göre sırasıyla %74, %82, %87 ve %79, %83,

%88 olarak hesaplanmıştır. N3 nem düzeyinde ise 3 cm²'den küçük parçaların bulunduğu sınıf oranları toplamı artan devir sayısına göre B1 bıçağında %84, %92 ve %96, B2 bıçağında ise %83, %95 ve %96 olarak belirlenmiştir.

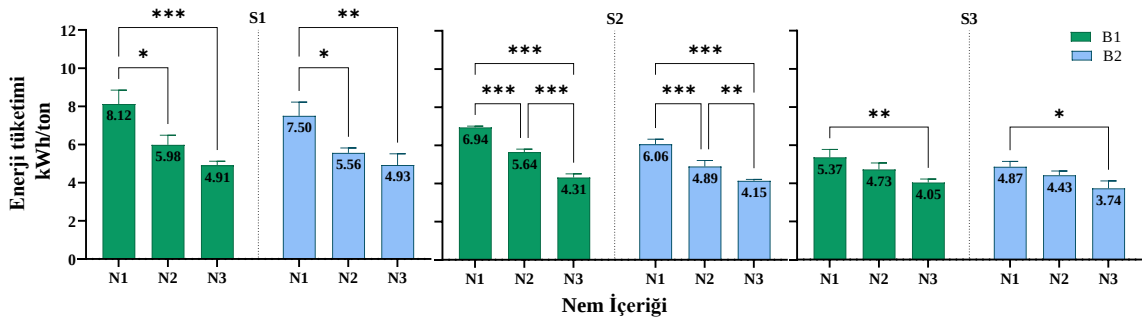
Rotor devrinin artması ile parçacık boyutları azalmış ve parçacıkların dağılımında devir artışına bağlı olarak küçük sınıflardaki parçacıkların oranı artmıştır (Şeflek vd 2006; Savoie ve Gagnon 2012; Öngören 2022).

Zeytin budama artığı parçacık grup dağılımları dikkate alındığında, bu çalışma kapsamında tasarlanan B2 bıçağına ait parçacıkların, B1 bıçağına göre küçük boyutlu gruplarda sayısal olarak daha fazla yer aldığı söylenebilir.

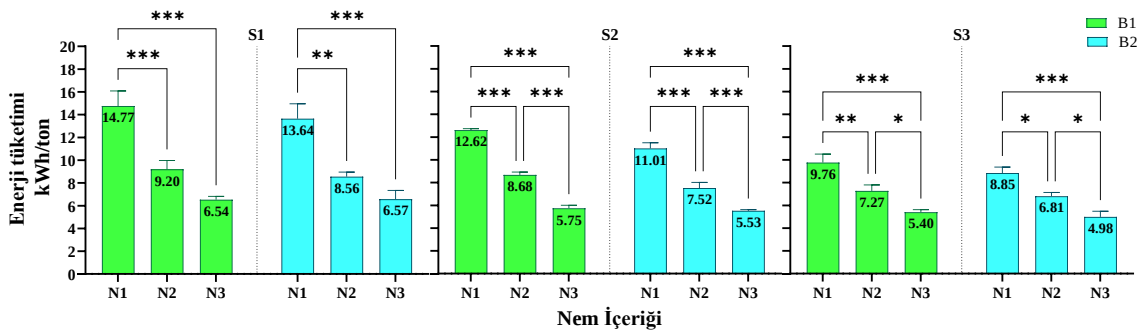
4.1.4. Zeytin budama artıklarının parçalanmasında nem içeriği değişiminin enerji tüketimi üzerine etkisi

Farklı nem içeriklerine sahip zeytin budama artıklarının parçalama işleminden elde edilen verilerin varyans analizi sonuçlarına göre materyal nem içeriği değişimi, farklı rotor devri sayılarının tümü için belirlenen parametreler üzerinde etkilidir ($P < 0.05$).

Zeytin budama artıkları ile gerçekleştirilen denemelerdeki değişen nem içeriğine göre belirlenen kapasite değerleri yaş baz için Şekil 4.19'da, kuru baz için Şekil 4.10'da yer almaktadır.



Şekil 4.9. Zeytin budama artığı denemelerinde nem içeriği değişiminin enerji tüketimi üzerine etkisi (y.b.)



Şekil 4.10. Zeytin budama artığı denemelerinde nem içeriği değişiminin enerji tüketimi üzerine etkisi (k.b.)

Zeytin budama artıklarının nem içeriklerinin azalması özgül enerji tüketimini tüm devirlerde azaltmıştır. S1 devrinde nem değişimine bağlı olarak sırasıyla B1 bıçağı için yaş bazda 8.12, 5.98, 4.91 kWh/ton, kuru bazda 14.77, 9.20, 6.54 kWh/ton, B2 bıçağı için yaş bazda 7.50, 5.56, 4.93 kWh/ton, kuru bazda 13.64, 8.56, 6.57 kWh/ton enerji tüketimi değeri belirlenmiştir. Her iki bıçak için de nem içeriğinin N1-N2 ve N1-N3 değişimindeki yaş ve kuru baza göre meydana gelen enerji tüketimindeki azalma istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($P<0.001$).

S2 rotor devir sayısında gerçekleştirilen denemelerden elde edilen verilere göre birim kütle başına ihtiyaç duyulan enerji değerleri B1 bıçağında nem seviyelerindeki azalışa göre sırasıyla yaş bazda 6.94, 5.64, 4.31 kWh/ton, kuru bazda 12.62, 8.68, 5.75 kWh/ton'dur. Bu değerler B2 bıçağı için sırasıyla, yaş baza göre 6.06, 4.89, 4.15 kWh/ton, kuru baza göre ise 11.01, 7.52, 5.53 kWh/ton olarak belirlenmiştir. Her iki bıçak için de tüm nem içerikleri arasındaki değişimlere bağlı olarak belirlenen özgül enerji değerleri arasındaki farklılıklar istatistiksel olarak önemlidir ($P<0.001$).

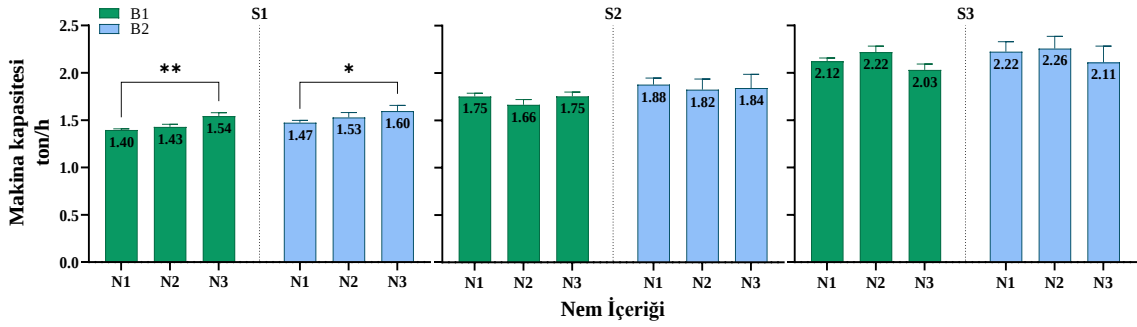
S3 devrinde de diğer devirlerdekine benzer olarak nem içeriğinin azalması özgül enerji tüketimini azaltmıştır. Buna göre parçalama işlemlerinde nem düzeylerine bağlı olarak özgül enerji tüketim değerleri sırasıyla B1 bıçağı için yaş bazda 5.37, 4.73, 4.05 kWh/ton, kuru bazda 9.76, 7.27, 5.40 kWh/ton, B2 bıçağı için yaşa baza göre 4.87, 4.43, 3.74 kWh/ton'dur. Nem içeriğinin N1'den N3 düzeyine düşmesi sonucunda oluşan yaş bazdaki enerji tüketimindeki azalış her iki bıçak için de istatistiksel olarak önemlidir ($P<0.01$). Bunun yanı sıra kuru bazdaki enerji tüketimi azalışı her iki bıçak için tüm nem içeriği değişimlerinde istatistiksel olarak önemli düzeyde gerçekleşmiştir ($P<0.001$).

Şekil 4.10 ve 4.11 incelendiğinde, nem içeriğinin azalmasının yanında, rotor devir sayısının artmasının da özgül enerji tüketimini azalttığı görülmektedir. Zeytin budama artıklarının parçalanmasında en düşük enerji tüketimi sağlamak amacıyla parçalama işleminin düşük nem içeriğinde ve yüksek devir sayısında yapılması gerektiği söylenebilir. Bununla beraber, düşük rotor devrinde yapılan parçalama işleminde nem içeriğinin N1-N3 değişimine bağlı olarak meydana gelen özgül enerji miktarı azalışı yüksek devir sayısında meydana gelen azalıştan oransal olarak daha fazladır. Öyle ki, kuru baza göre S1 devrinde N1-N3 nem içeriği değişiminde B1 bıçağında %55.7, B2 bıçağında ise %51.8 azalma görülürken, bu azalma S3 devrinde B1 ve B2 bıçağı için sırasıyla %44.7 ve %44.9 olarak belirlenmiştir. Buna göre, budama artıklarının bahçe sıra aralarında kurumaya bırakılıp bekletilmesinin oluşturacağı olumsuzluklar dikkate alınarak, parçalama işleminin materyal yüksek nem içeriğine sahip olsa bile yüksek rotor devrinde yapılması önerilebilir.

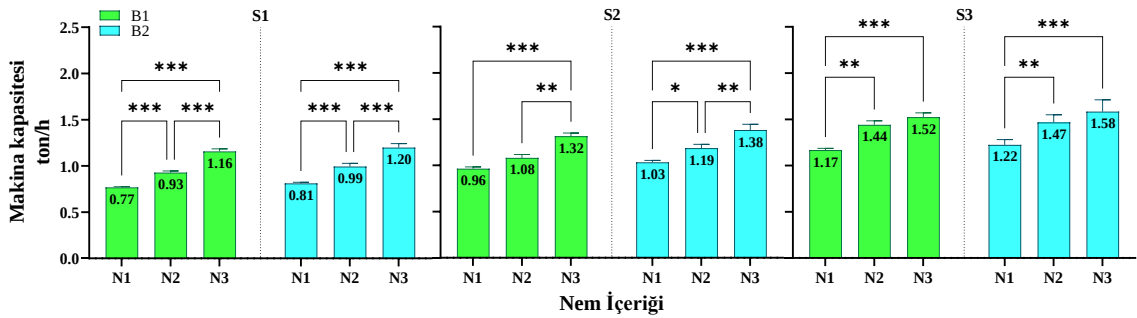
Zeytin budama artıklarının nem içeriklerinin azalmasıyla efektif parçalama süresi azalmıştır. Bu değerlerin azalması sonucunda birim kütle başına gereksinim duyulan enerji miktarı da azalmaktadır. Bu sonuç literatürdeki benzer çalışma ile örtüşmektedir. Savoie ve Gagnon (2012) çalışmalarında, aynı rotor devrinde (2390 d/dakika) %50 ve %40 nem içeriğine sahip söğüt dallarının parçalanmasında gereksinim duyulan toplam enerji tüketiminin sırasıyla kuru bazda 4.10 ve 3.51 kJ/kg olarak belirlemişlerdir.

4.1.5. Zeytin budama artıklarının parçalanmasında nem içeriği değişiminin makina kapasitesi üzerine etkisi

Zeytin budama artıkları ile üç farklı nem içeriğinde seviyesinde yapılan parçalama işlemi sonucunda elde edilen makina kapasitesi değerleri yaş baz için Şekil 4. 11’de, kuru baz için Şekil 4.12’de gösterilmiştir. Varyans analizi sonuçlarına göre nem içeriği değişimi makina kapasitesi üzerinde tüm devir hızlarında etkili bulunmuştur ($P<0.05$).



Şekil 4.11. Zeytin budama artığı denemelerinde nem içeriği değişiminin makina kapasitesi üzerine etkisi (y.b.)



Şekil 4.12. Zeytin budama artığı denemelerinde nem içeriği değişiminin makina kapasitesi üzerine etkisi (k.b.)

Şekil 4.11 ve Şekil 4.12’de görüldüğü üzere nem içeriğindeki azalma makina kapasitesini tüm devirlerde arttırmıştır. S1 devrinde yürütülen denemeler sonucunda nem içeriği değişimine göre makina kapasitesi değerleri sırasıyla, B1 bıçağı ile yaş bazda 1.40, 1.43, 1.54 ton/h, kuru bazda 0.77, 0.93, 1.16 ton/h, B2 bıçağı ile yaş bazda 1.47, 1.53, 1.60 kuru bazda ise 0.81, 0.99, 1.20 ton/h olarak belirlenmiştir. Yaş baza göre makina kapasitesindeki belirlenen artışlarda sadece N1-N3 nem içeriği değişiminin etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($P<0.01$) Makina kapasitesinin kuru bazda elde edilen değerleri incelendiğinde ise tüm nem değişimindeki artış son derece önemli bulunmuştur ($P<0.001$).

S2 devrinde B1 bıçağı ile yapılan parçalama işlemi sonucunda nem değişimine göre sırasıyla yaş bazda 1.75, 1.66, 1.75 kuru bazda 0.96, 1.08, 1.32 ton/h, B2 bıçağı kullanılarak gerçekleştirilen parçalama işleminde ise sırasıyla yaş bazda 1.88, 1.82, 1.84, kuru bazda ise 1.03, 1.19, 1.38 ton/h makina kapasitesi değerleri elde edilmiştir. Bu devirde yaş baza göre makina kapasitesinde anlamlı değişimler elde edilmemiştir. Kuru bazdaki makina kapasitelerindeki azalmada ise B1 bıçağında nem içeriğinin N1-N3 ve N2-N3 arasındaki değişimindeki kapasite değeri farklılığı istatistiksel olarak önemli bulunurken ($P<0.001$), B2 bıçağı için tüm nem içeriği değişimlerinde önemli farklılıklar belirlenmiştir ($P<0.001$).

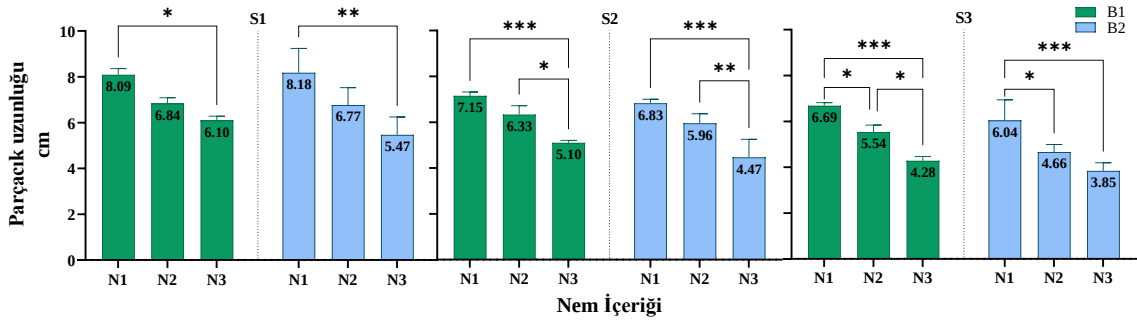
Parçalayıcı rotor devir sayısının S3 seviyesindeki denemelerde makina kapasitesi değerleri nem içeriğine değişimine bağlı olarak B1 bıçağında sırasıyla; yaş bazda 2.12, 2.22, 2.03 ton/h, kuru bazda 1.17, 1.44, 1.52 ton/h, B2 bıçağında ise yaş bazda 2.22, 2.26, 2.11 ton/h, kuru bazda 1.22, 1.47, 1.58 ton/h olarak belirlenmiştir. Bu devirde kuru bazda nem içeriğinin N1-N2 ve N1-N3 arasındaki değişiminde kapasite değeri artışı istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($P<0.001$).

Zeytin budama artıkları ile yürütülen denemelerde nem içeriğinin azalması ile parçalama işlemindeki efektif parçalama süreleri kısalmıştır. Buna göre değişen nem içeriğine göre tüm rotor devir sayılarında, iki bıçak için geçen ortalama efektif parçalama süresi N1, N2 ve N3 için sırasıyla 32 ± 6 , 25 ± 4 , 23 ± 3 saniye olarak belirlenmiştir. Denemelerde kuru madde miktarının sabit (1 kg/m) tutulması ve azalan efektif parçalama süreleri dikkate alındığında nem içeriğinin azarlamasına bağlı olarak makina kapasitesi değerleri artış göstermiştir.

Şekil 4.13 incelendiğinde, zeytin budama artıklarının S1 ve S2 rotor devirlerinde parçalanması sırasında, nem içeriğinin N2-N3 değişiminde iki bıçak için de meydana gelen kapasite artışlarının oranı S3 rotor devirindeki aynı nem içeriği sırasında meydana gelen kapasite artışından oransal olarak daha fazladır. Buna göre S1 devrinde N2-N3 nem azalmasına bağlı olarak B1 bıçağında %24.7, B2 bıçağında %21.2 kapasite artışı gerçekleşirken, bu oranlar S2 devrinde B1 ve B2 bıçağı için sırasıyla %22.2 ve 15.9 olarak belirlenmiştir. S3 rotor devrinde ise kapasite artışı her iki bıçak için ortalama %6.5 olarak hesaplanmıştır. Bununla birlikte S3 devirdeki parçalama işlemlerinde nem içeriğinin N2-N3 değişiminde oluşan kapasite artışı istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. Bu sonuçlar dikkate alındığında, uygulamada rotor devrinin 1800 1/min ve materyal neminin %25 olması koşullarında makina ilerleme hızının artırılabilceği ve bu sayede daha yüksek makina kapasitesi değerleri elde edilebileceği ifade edilebilir.

4.1.6. Zeytin budama artıklarının parçalanmasında nem içeriği değişiminin parçacık boyutu ve dağılımı üzerine etkisi

Zeytin budama artıklarının parçalanmasında varyans analizi sonuçlarına göre nem içeriği değişimi, üç farklı devir sayısının her biri için parçacıkların ortalama uzunluk değerleri üzerindeki etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($P<0.05$). Denemeler sonunda elde edilen ortalama parçacık uzunluk değerleri Şekil 4.13'de gösterilmiştir.



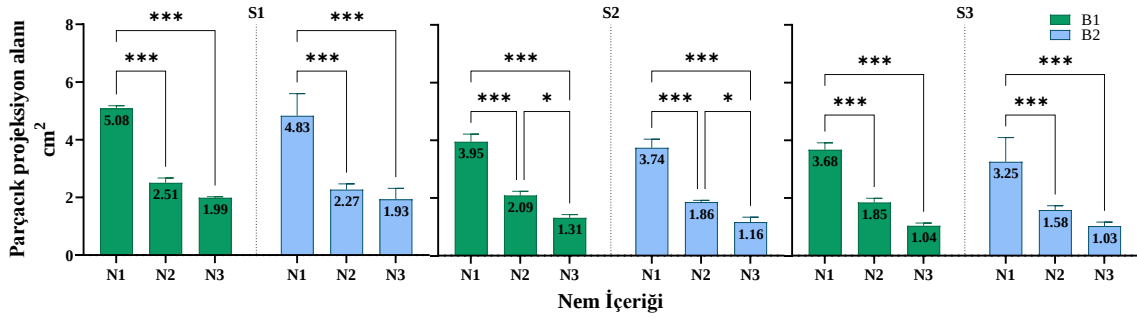
Şekil 4.13. Zeytin budama artığı denemelerinde nem içeriği değişiminin parçacık uzunluğuna etkisi

S1 rotor devrinde gerçekleştirilen denemeler sonucunda ortalama parçacık uzunluk değeri nem içeriği değişimine bağlı olarak sırasıyla B1 bıçağı için 8.09 ± 0.4 , 6.84 ± 0.4 , 6.10 ± 0.3 cm ve B2 bıçağı için sırasıyla, 8.18 ± 0.9 , 6.77 ± 0.6 , 5.47 ± 0.6 cm olarak belirlenmiştir. Nem içeriği değişimi kaynaklı azalan ortalama uzunluk değerine her iki bıçakta da S1-S3 değişimi istatistiksel olarak etkili olmuştur ($P < 0.01$).

S2 devrinde B1 bıçağı ile gerçekleştirilen parçalama işlemi sonunda, azalan nem içeriği düzeylerinde bağlı olarak ortalama parçacık uzunluğu değerleri, sırasıyla, 7.15 ± 0.2 , 6.33 ± 0.6 , 5.10 ± 0.1 cm'dir. Bu değerler B2 bıçağı sırasıyla, 6.83 ± 0.1 , 5.96 ± 0.3 , 4.47 ± 0.6 cm'dir. İstatistiksel olarak her iki bıçak için nem içeriğinin S1-S3 ve S2-S3 değişiminde elde edilen ortalama uzunluk değerleri arasındaki farklılıklar önemli bulunmuştur ($P < 0.001$).

S3 devrindeki parçalama işlemi sonrasında, nem içeriği değişimine bağlı olarak B1 bıçağı için ölçülen ortalama parçacık uzunluğu değerleri sırasıyla, 6.69 ± 0.2 , 5.54 ± 0.4 , 4.28 ± 0.3 cm, B2 bıçağı için 6.04 ± 0.7 , 4.66 ± 0.3 , 3.85 ± 0.3 cm'dir. İstatistiksel olarak B1 bıçağında her bir nem içeriğindeki değişimler parçacık boyutu üzerinde etkilidir. B2 bıçağı için ise nem içeriğinin S1-S2 ve S1-S3 düzeylerindeki değişimler, parçacık boyutlarında önemli farklılıklar oluşturmuştur ($P < 0.001$).

Nem içeriğinin değişimi tüm devirlerde zeytin budama artıklarının parçalanma sonrası oluşan parçacıkların projeksiyon alanı değerleri üzerinde etkili olmuştur ($P < 0.05$). Belirlenen ortalama parçacık alan değerlerine Şekil 4.14'de yer verilmiştir.



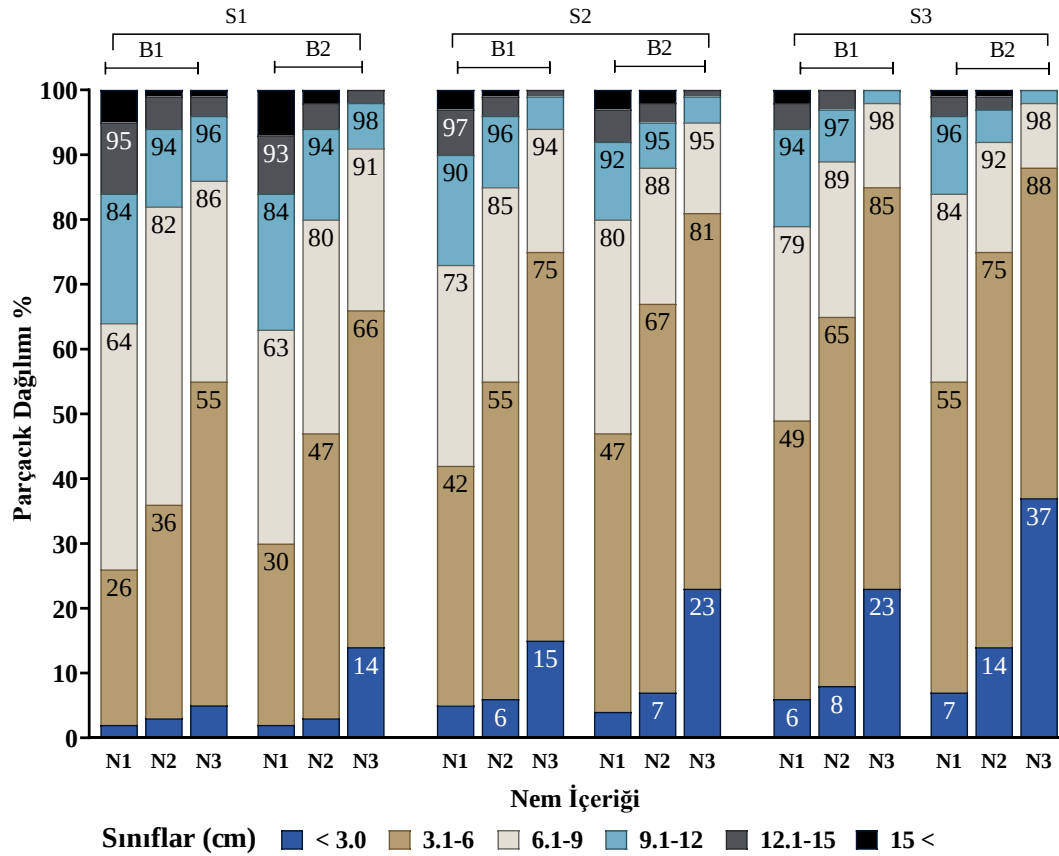
Şekil 4.14. Zeytin budama artığı denemelerinde nem içeriği değişiminin parçacık projeksiyon alanına etkisi

S1 devrinde B1 bıçağı ile parçalanmış zeytin budama artıklarının ortalama parçacık alan değeri devir sayısı artışına bağlı olarak sırasıyla, 5.08 ± 0.1 , 2.51 ± 0.2 , 1.99 ± 0.1 cm²'dir. Bu değerler B2 bıçağı için 4.83 ± 0.6 , 2.27 ± 0.2 , 1.93 ± 0.3 cm² olarak hesaplanmıştır. Her iki bıçak için de parçalayıcı rotor devrinin N1-N2 ve N1-N3 değişiminde oluşan parçacık boyutu farklılıkları istatistiksel olarak son derece önemli bulunmuştur ($P < 0.001$)

N2 nem içeriğine sahip zeytin budama artıklarının üç farklı rotor devrinde parçalanmasında B1 bıçağı kullanılarak 3.95 ± 0.4 , 2.09 ± 0.2 , 1.31 ± 0.2 cm², B2 bıçağı kullanılarak 3.74 ± 0.2 , 1.86 ± 0.2 , 1.16 ± 0.1 cm² ortalama parçacık alanı değerleri elde edilmiştir. İstatistiksel olarak her bir devir sayısı değişimi parçacık boyutunu önemli düzeyde etkilemiştir ($P < 0.001$).

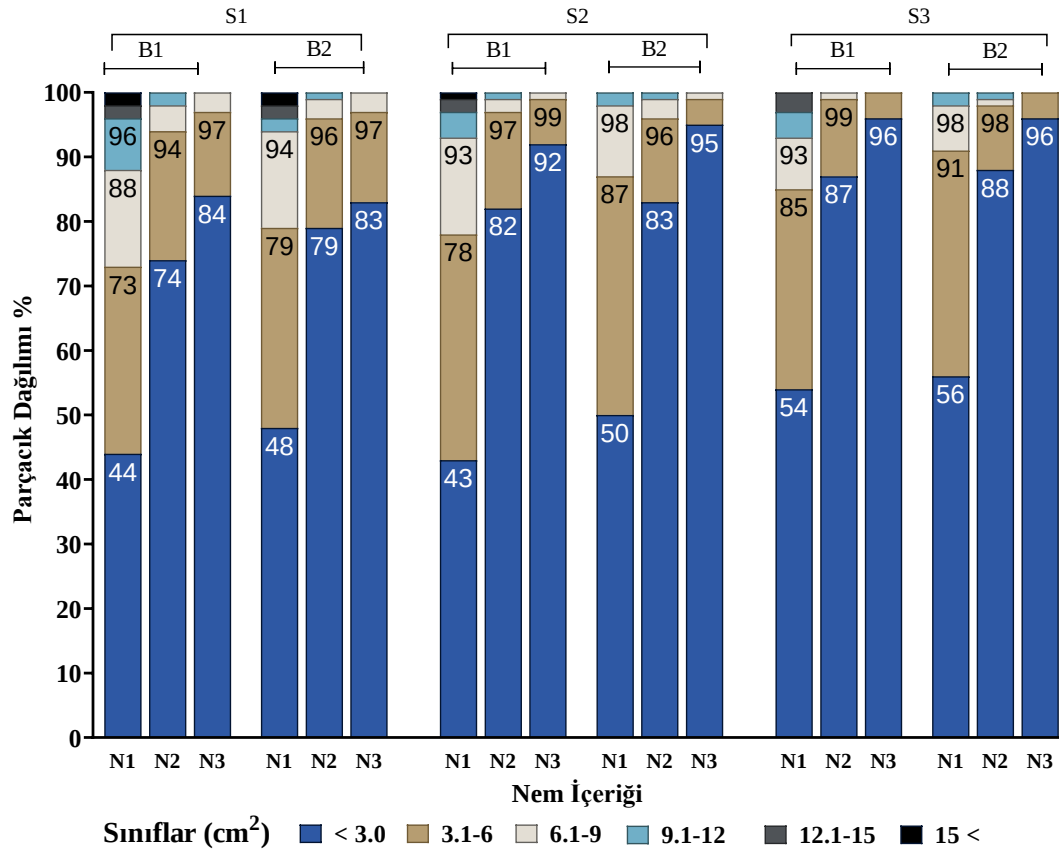
N3 nem içeriğindeki budama artıklarının kullanıldığı denemelerde ise B1 bıçağında rotor devir sayısı artışına bağlı olarak sırasıyla, 3.68 ± 0.3 , 1.85 ± 0.2 , 1.04 ± 0.1 cm² ortalama parçacık alan değerleri elde edilmiştir. Bu değerler B2 bıçağı için, 3.25 ± 0.7 , 1.58 ± 0.1 , 1.03 ± 0.1 cm²'dir. N1-N2 ve N1-N3 değişiminde oluşan parçacık boyutu farklılıkları her iki bıçak için de son derece önemli bulunmuştur ($P < 0.001$).

Şekil 4.15 ve Şekil 4.16'de değişen nem içeriğine göre oluşan ortalama parçacık uzunluk ve projeksiyon alan dağılımı gösterilmiştir.



Şekil 4.15. Zeytin budama artığı denemelerinde nem içeriği değişimindeki parçacık uzunluğu dağılımı

Şekil 4.15 incelendiğinde her bir rotor devir sayısında, küçük parçacık boyutu sınıflarındaki parçacıkların oranlarının nem içeriğinin azalmasına bağlı olarak arttığı görülmektedir. S1 rotor devrinde parçalanmış budama artıklarında 6 cm'den küçük parçacıkların oranları toplamı nem içeriği değişimine göre B1 ve B2 bıçakları için sırasıyla %26, %36, %55 ve %30, %47, %66 oranında belirlenmiştir. Aynı değerler S2 rotor devrinde, B1 ve B2 bıçaklarında sırası ile %42, %55, %75 ve %47, %67, %81 olarak belirlenmiştir. S3 devrindeki parçalama sonucunda ise 6 cm'den küçük parçacıkların oranları toplamı nem içeriği değişimine göre B1 ve B2 bıçakları için %49, %65, %85 ve %55, %75, %88 olarak hesaplanmıştır.



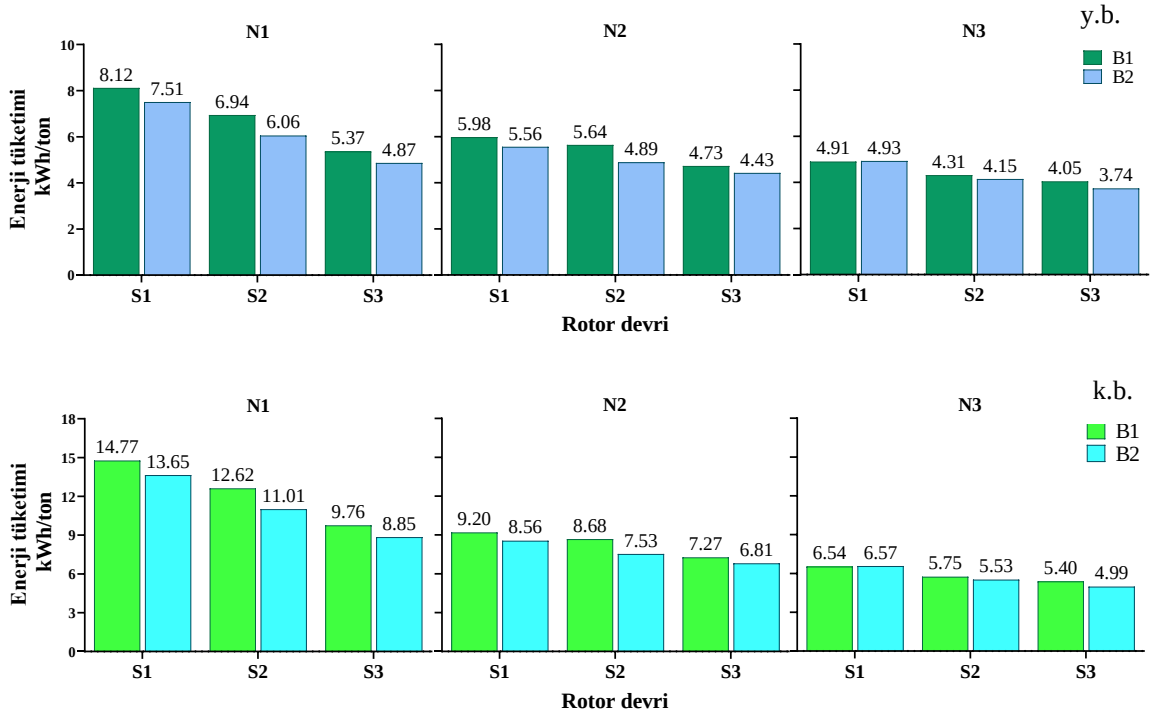
Şekil 4.16. Zeytin budama artığı denemelerinde nem içeriği değişiminde parçacık projeksiyon alanı dağılımı

Şekil 4.16'ya göre; üç farklı rotor devir sayısı ve nem içeriğinde parçalanmış zeytin budama artıklarının ortalama projeksiyon alanı değerlerinin dağılımında, nem içeriğinin azalması ile küçük parçacıkların bulunduğu sınıfların oranlarının arttığı görülmektedir. S1 devrinde değişen nem içeriğine göre 3 cm²'den küçük parçacıkların bulunduğu sınıfların toplam oranı B1 bıçağı için %44, %74, %84, B2 bıçağı için %48, %79, %83 olarak belirlenmiştir. S2 rotor devrinde bu değerler B1 ve B2 bıçakları için sırasıyla %43, %82, %92 ve %50, %83 ve %95'e yükselmiştir. S3 devir sayısında ise. 3 cm²'den küçük parçacıkların oranı B1 ve B2 bıçakları için nem içeriği değişimine göre sırasıyla toplam %54, %87, %96 ve %56, %88, %96 olarak hesaplanmıştır.

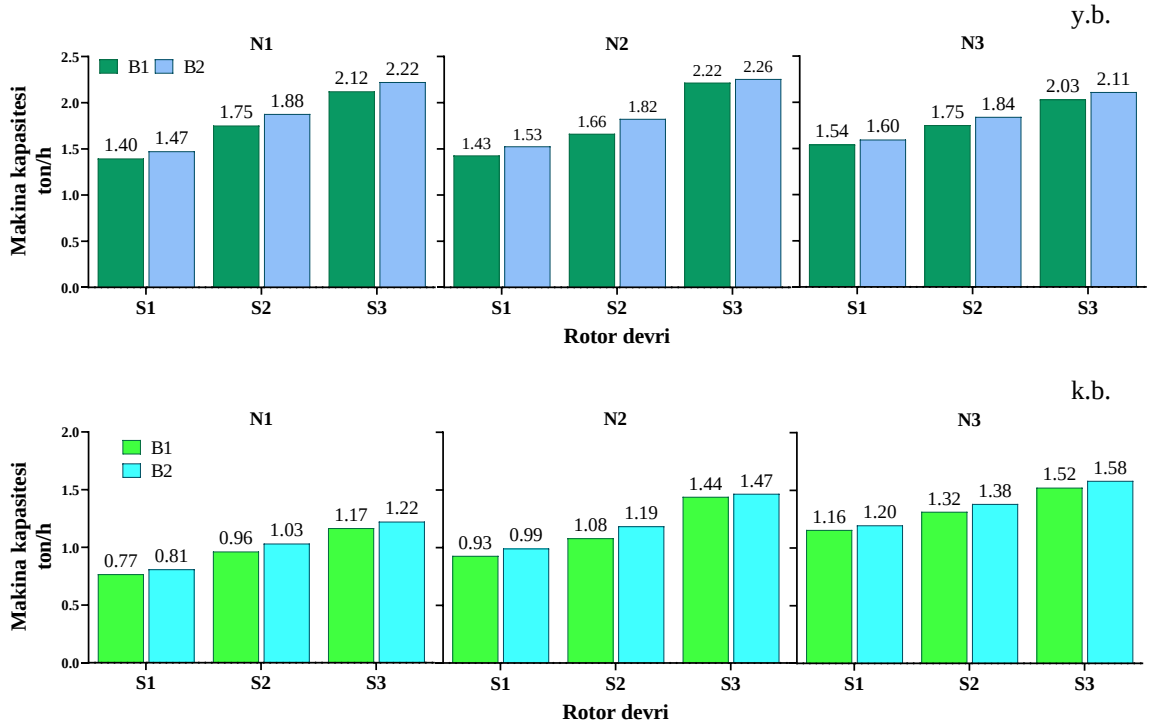
Zeytin budama artıklarının parçalanmasında elde edilen parçacık boyutu dağılımı literatürde yer alan çalışmalar ile benzerlik göstermektedir. Spinelli vd (2011)'e göre budama artıklarının parçalanmasında nem içeriğinin durumu, oluşan parçacıkların boyutu dağılımı üzerinde etkilidir. Denemelerde %34.9 ve %19.5 nem içeriğine sahip dallar kullanılarak yapılan parçalama işlemi sonucunda düşük nem içeriğinde küçük parçacıkların bulunduğu sınıfa ait parçacıkların ağırlık dağılımının %24.1'den %41.0'a yükseldiğini belirlemiştir.

4.1.7. Zeytin budama artıklarının parçalanmasında bıçak tipi değişiminin kıyaslanması

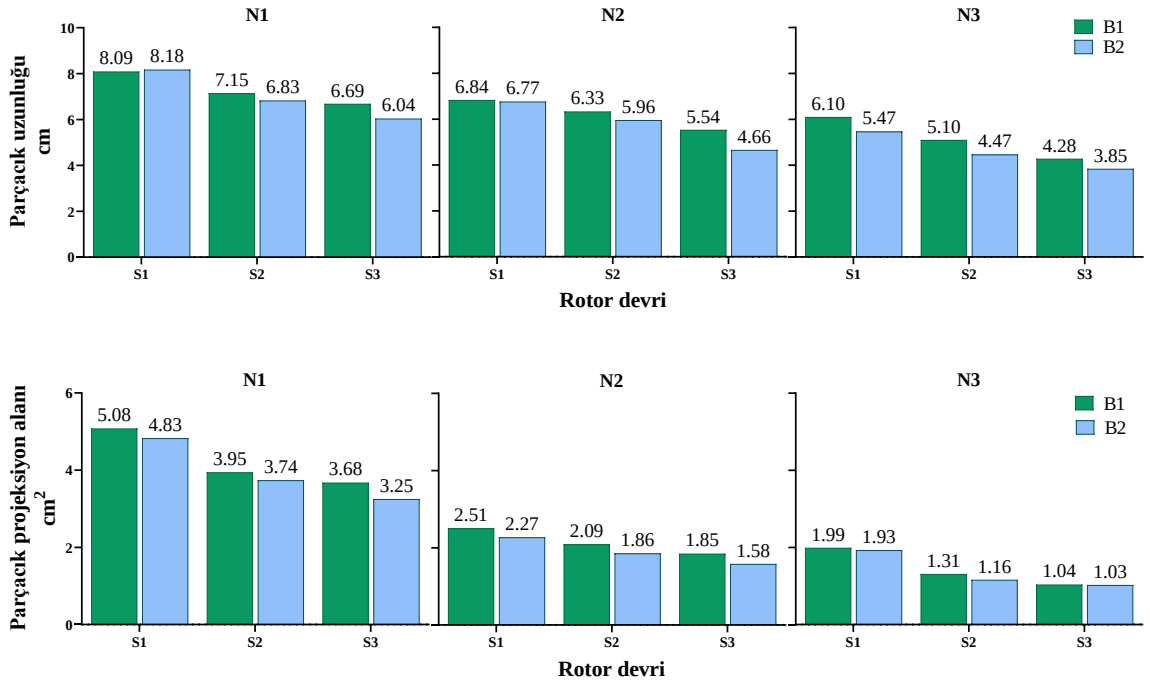
Zeytin budama artıklarının, üç farklı rotor devir sayısı ve materyal nem içeriği koşullarında, çalışma kapsamında B1 ve B2 olarak adlandırılan bıçaklar kullanılarak parçalanması sonucunda elde edilen özgül enerji tüketimi, makine kapasitesi ve parçacık boyutu değerleri sırasıyla Şekil 4.17, Şekil 4.18 ve Şekil 4.19’da gösterilmiştir.



Şekil 4.17. Zeytin budama artıklarının parçalanmasında bıçak tipi değişimine göre özgül enerji tüketimi değerleri



Şekil 4.18. Zeytin budama artıklarının parçalanmasında bıçak tipi değişimine göre makina kapasitesi değerleri



Şekil 4.19. Zeytin budama artıklarının parçalanmasında bıçak tipi değişimine göre parçacık boyutu değerleri

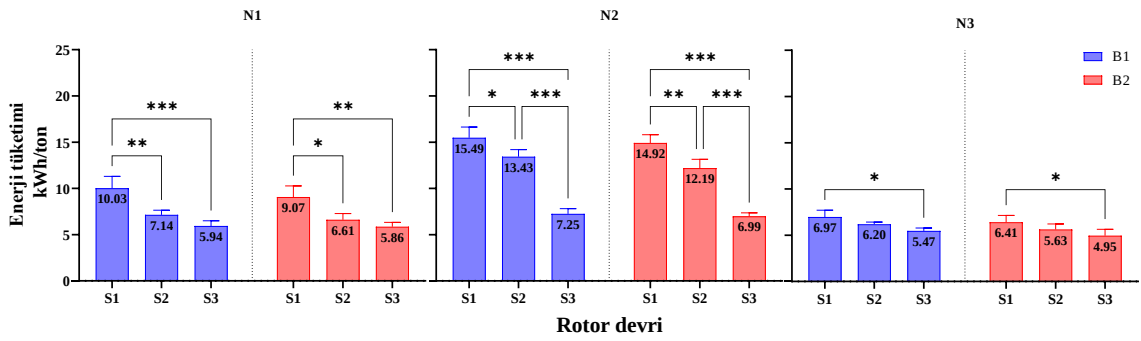
Araştırma denemelerinde yeni dişli bıçak ile elde edilen elde edilen, özgül enerji tüketimi, makine kapasitesi ve parçacık boyutu ile ilgili değerler, çekiç bıçakta elde edilen değerlere göre daha olumlu görünmekle birlikte, aradaki farklılık istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur (Şekil 4.17, Şekil 4.18, Şekil 4.19).

4.2. Bağ Budama Artıklarının Parçalanmasına Ait Bulgular

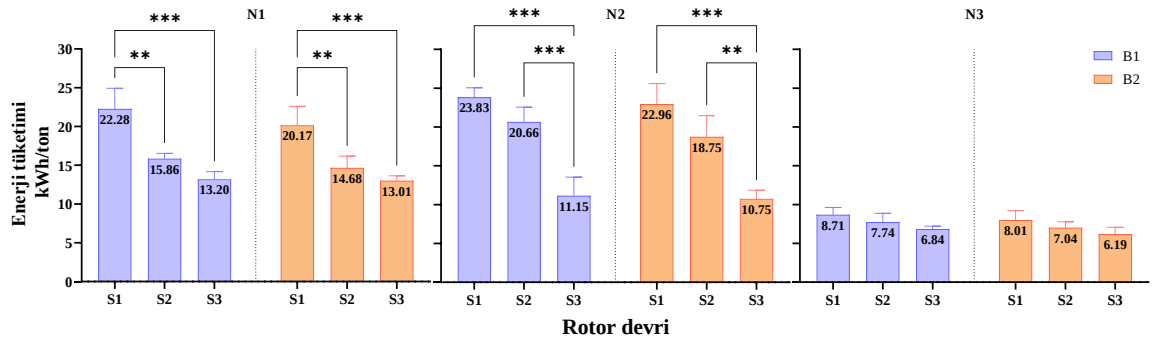
Bağ budama artıkları ile yapılan denemelerde, varyans analizi sonuçlarına göre; parçalayıcı rotor devir sayısı ve nem içeriği değişiminin, özgül enerji ihtiyacı, makina kapasitesi ve parçacık boyutu üzerinde etkili olduğu belirlenmiştir Parçalama işleminde bıçak tipinin değişiminin belirlenen parametreler üzerindeki etkileri ise istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır ($P < 0.05$).

4.2.1. Bağ budama artıklarının parçalanmasında parçalayıcı rotor devir sayısı değişiminin özgül enerji tüketimi üzerine etkisi

Parçalama makinasının bağ budama artıkları ile iki farklı bıçak tipinde çalışmada, üç farklı nem içeriğinde ve üç farklı rotor devir sayısında elde edilen birim parçalanmış materyal başına düşen özgül enerji değerleri yaş baza göre Şekil 4.20’de, kuru baza göre Şekil 4.21’de verilmiştir.



Şekil 4.20. Bağ budama artığı denemelerinde rotor devir sayısı değişiminin özgül enerji tüketimi üzerine etkisi (y.b.)



Şekil 4.21. Bağ budama artığı denemelerinde rotor devir sayısı değişiminin özgül enerji tüketimi üzerine etkisi (k.b.)

Denemeler sırasında dikkate alınan N1 (%55), N2 (%35) ve N3 (%20) nem içeriğindeki bağ budama artıkları için her iki bıçak tipinde devir sayısının artması ile birim kütle başına düşen enerji tüketimi değerlerinin yaş ve kuru bazda azalma gösterdiği görülmektedir. Devir sayısının artmasına bağlı olarak azalan birim enerji tüketimi değerleri arasındaki farklar kuru bazda N3 nem içeriğindeki farklılıklar hariç istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($P<0.05$).

N1 nem düzeyinde B1 bıçağı ile yapılan parçalama işleminde özgül enerji tüketimi; devir değişimine göre sırasıyla yaş bazda 10.03, 7.14, 5.94 kWh/ton, kuru bazda ise 22.28, 15.86, 13.20 kWh/ton olarak belirlenmiştir. Bu değerler B2 bıçağı ile parçalama işlemlerinde daha düşük düzeylerde sırasıyla yaş bazda 9.07, 6.61, 5.86 kWh/ton, kuru bazda ise 20.17, 14.68, 13.01 kWh/ton 'dur. Devir artışına bağlı olarak enerji tüketimindeki azalış her iki bıçak için de yaş ve kuru bazda S1-S2 ve S1-S3 devirlerinde istatistiksel olarak önemlidir ($P<0.001$). S2-S3 devirleri arasındaki azalma ise istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır.

N2 nem içeriğinde B1 bıçağı için özgül enerji tüketimi sırasıyla, yaş baz için 15.49, 13.43, 7.25 kWh/ton, kuru bazda 23.83, 20.66, 11.15 kWh/ton, B2 bıçağı için yaş bazda 14.92, 12.19, 6.99 kWh/ ton, kuru bazda ise 22.96, 18.75, 10.75 kWh/ton olarak belirlenmiştir. Yaş bazda her iki bıçak için de devir artışı enerji tüketimi değerlerini düşürmüştür. Enerji tüketimindeki azalış tüm devirler için önemli bulunmuştur ($P<0.05$, $P<0.01$, $P<0.001$). Devrin S1'den S3' yükselmesi, her iki bıçak için de enerji tüketimini yaklaşık %53 oranında azaltmıştır. Yine devrin S2'den S3'e yükselmesi B1 bıçağı için yaklaşık %46, B2 bıçağı için yaklaşık %43 oranında enerji tüketimini düşürmüştür. S1-S3 ve S2-S3 devirlerindeki bu azalışlar istatistiksel olarak son derece önemli bulunmuştur ($P<0.001$). N2 nem içeriğinde kuru baz için elde edilen özgül enerji tüketimi değerleri ise S1-S3 ve S2-S3 devir değişimlerinde istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($P<0.01$, $P<0.001$). Buna göre, B1 ve B2 bıçağında kuru bazda devrin S1-S3 değişimi özgül enerji tüketimini yaklaşık %46.8, S2-S3 değişimi ise yaklaşık %55.6 oranında azaltmıştır.

N3 nem içeriğinde enerji tüketimi devir değişimine bağlı olarak B1 ve B2 bıçakları için sırasıyla yaş bazda 6.97, 6.20, 5.47 kWh/ton ve 6.41, 5.63, 4.95 kWh/ton, kuru bazda ise 8.71, 7.74, 6.84 kWh/ton ve 8.01, 7.04, 6.19 kWh/ton olarak belirlenmiştir. Bu değerler N1 ve N2 uygulamalarına göre daha düşük düzeylerde gerçekleşmiştir. Yaş bazda devrin S1-S3 değişiminde her iki bıçak için enerji tüketimi azalışı önemlidir ($P<0.05$). Kuru bazda ise devri sayısının artışını özgül enerji tüketimi üzerinde etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır.

Denemelerde belirlenen birim kütle başına gereksinim duyulan enerji değerlerinin literatürdeki budama artıklarının parçalanmasında kullanılan benzer makinelerle yapılan çalışmalarda belirlenen değerler arasında kaldığı görülmektedir. Çanakçı vd. (2010), %37.7 nem içeriğindeki bağ budama artıklarının parçalama makinası ile parçalanması sonucunda özgül enerji tüketiminin farklı besleme yoğunluklarına göre 4-6 kWh/ton arasında değiştiğini belirlemişlerdir. Çanakçı vd. (2019) tarafından yapılan bir başka çalışmada, %36.3 nem içeriğine sahip nar ve %32.7 nem içeriğine sahip portakal artıklarının 1827 1/min rotor devrinde çekiç tip bıçak kullanarak gerçekleştirdikleri parçalama işlemi sonucunda özgül enerji tüketimini nar için 7.07 kWh/ton, portakal için 8.57 kWh/ton olarak belirlenmiştir. Ayrıca, Yiğit ve Çanakçı (2020), 1827 1/min rotor devrinde çalışan iki farklı parçalama makinası ile üç farklı besleme yoğunluğunda ve

%28.5 nem içeriğindeki nar artıkları yaptıkları çalışmada, elek ünitesine sahip makinede özgül enerji tüketimi değerinin kuru baz için 7.80-9.62 kWh/ton arasında değiştiğini belirlemişlerdir.

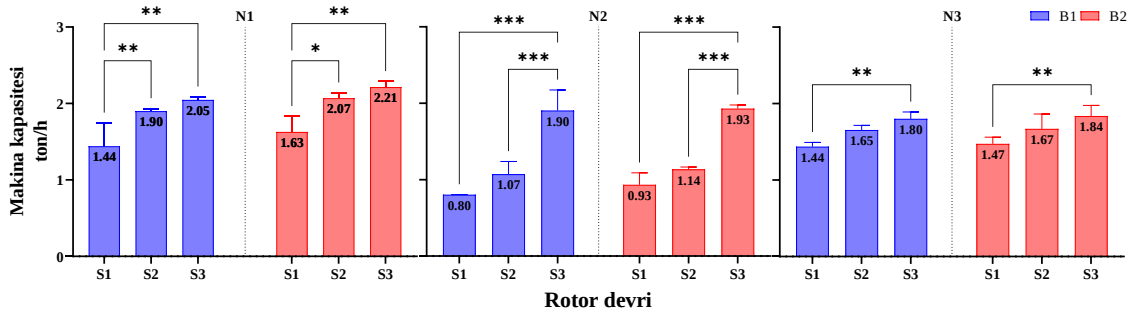
Şeflek vd. (2006) çekiçli tip parçalayıcı düzeneğine sahip bir parçalama makinası kullanarak söğüt artıklarını parçaladığı çalışmada artan parçalayıcı çevre hızına bağlı olarak parçalanmış materyalin özgül yüzey alanının arttığını belirlemiştir. Çalışmada bıçak çevre hızının artmasının yanında, parçalayıcı ile elek açıklığının artmasının da parçacık boyutunun azalmasında etkili olduğu ve parçacık boyutundaki azalışın materyalin makina içerisinde kalma süresiyle açıklanabileceği ifade edilmiştir. Çalışmada güç tüketiminin parçalayıcının artan çevre hızıyla artış göstermesine rağmen, özgül enerji tüketimindeki azalmanın parçalanmış materyalin özgül yüzey alanındaki artışın güç tüketimi artışından daha fazla olmasından kaynaklandığı ortaya konulmuştur. Ayrıca bu durumun literatürdeki çekiçli değirmenlerde mısırın parçalanması üzerine yapılan çalışmalarda da benzer şekilde olduğu bildirilmiştir.

Bağ budama artıkları ile gerçekleştirilen tüm denemelerde parçalayıcı rotor devir sayısı artışının birim kütle başına gereksinim duyulan enerji miktarını azaltması, parçalanmış materyalin parçalama ünitesinde kalma süresi ile açıklanabilir. Rotor devir sayısının artması budama artıklarının makinanın parçalama ünitesinde kalma sürelerini azaltmıştır. Bir başka ifade ile rotor devir sayısındaki artışın budama artıklarının daha rahat şekilde parçalanmasını sağladığı söylenebilir. Buna göre, tüm denemelerde namlu yoğunluğu değerinin 1 kg (k.b.)/m ve konveyör ilerleme hızının sabit olduğu dikkate alındığında, devrin artmasıyla birim zamanda parçalanmış materyal miktarı artmıştır. Bu sayede ve güç tüketiminin rotor devriyle birlikte artmasına karşın, kapasite değerlerinin de artması birim kütle başına gereksinim duyulan enerji miktarını azaltmıştır.

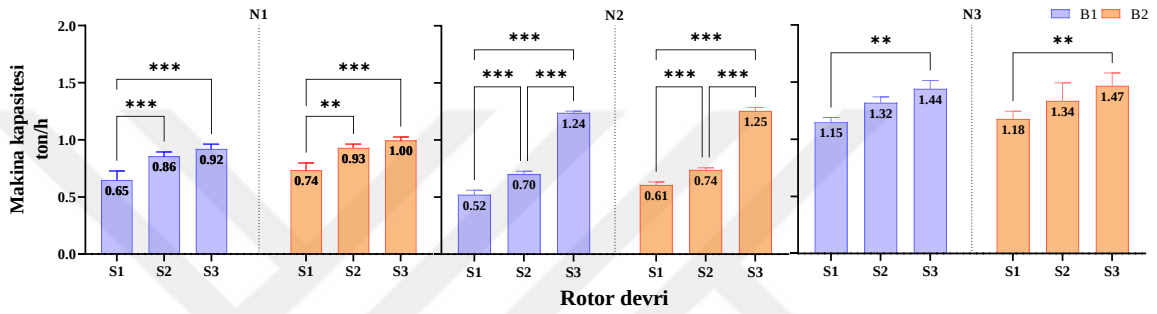
Çanakçı vd (2010)'ne göre ürün veya materyal ile çalışan tarım makinalarında besleme yoğunluğunun artışının uygun çalışma koşullarında birim enerji tüketimlerini azalttığı söylenebilir. Denemelerde bağ ve nar budama artıklarının parçalanmasında düşük besleme yoğunluğunda her iki tür için yaklaşık 6 kWh/ton enerji tüketimi belirlenmişken yüksek yoğunluklarda bu değerin yaklaşık 4 kWh/ton olduğu belirlenmiştir. Çalışmada ayrıca, literatürde silaj makinaları ve diskli değirmenler gibi makinalarda benzer sonuçlara ulaşıldığı bildirilmiştir. Yine aynı çalışmada portakal ve avokado budama artıklarının parçalanmasında besleme yoğunluğunun artmasıyla birim materyal kütlesi başına düşen enerji tüketimi önce azalan, makina optimum kapasitesini aşan sonraki yoğunluk artışlarında ise artan değerlere ulaşmıştır.

4.2.2. Bağ budama artıklarının parçalanmasında parçalayıcı rotor devir sayısı değişiminin makina kapasitesi üzerine etkisi

Parçalama makinasının bağ budama artıkları ile iki farklı bıçak tipinde çalışmada, üç farklı nem içeriğinde ve üç farklı rotor devir sayısında elde edilen makina kapasitesi değerleri yaş ve kuru baz için sırasıyla Şekil 4.22 ve Şekil 4.23'de verilmiştir.



Şekil 4.22. Bağ budama artığı denemelerinde rotor devir sayısı değişiminin makina kapasitesi üzerine etkisi (y.b.)



Şekil 4.23. Bağ budama artığı denemelerinde rotor devir sayısı değişiminin makina kapasitesi üzerine etkisi (k.b.)

Şekil 4.22 ve 4.23’de görüldüğü üzere parçalayıcı rotor devir sayısının artışı makina kapasitesini tüm nem düzeylerinde arttırmıştır. Denemelerde tüm nem içeriklerinde rotor devir sayısı artışının makina kapasitesi üzerindeki etkisinin istatistiksel olarak önemli olduğu görülmektedir ($P<0.05$). En yüksek nem içeriği olan N1’de rotor devrinin artışına bağlı olarak, B1 ve B2 bıçakları ile yapılan denemelerde makina kapasitesi değerleri sırasıyla yaş baz için 1.44, 1.90, 2.05 ton/h ve 1.63, 2.07, 2.21 ton/h, kuru baz için ise 0.65, 0.86, 0.92 ve 0.74, 0.93, 1.00 ton/h olarak belirlenmiştir. Her iki bıçakta da devir hızının S1-S2 ve S1-S3 arasındaki değişim yaş ve kuru bazda makina kapasitesindeki artışı istatistiksel olarak anlamlıdır ($P<0.001$).

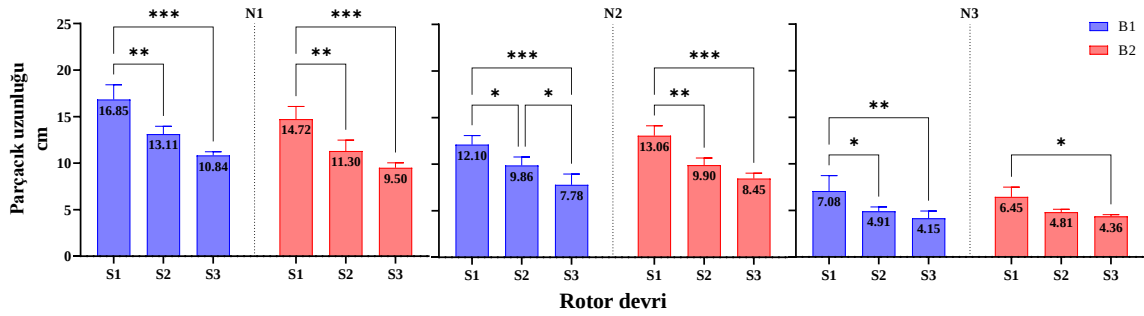
N2 nem düzeyindeki bağ budama artıkları ile yapılan denemelerin sonuçlarına göre rotor sayısının artışı makina kapasitesini artırmıştır. B1 bıçağına ait makina kapasitesi değerleri S1, S2 ve S3 devir hızlarında sırasıyla yaş baz için 0.80, 1.07, 1.90, kuru baz için, kuru baz için ise 0.52, 0.70 ve 1.24 ton/h olarak belirlenmiştir. Bu değerler B2 bıçağı için sırasıyla yaş bazda 0.93, 1.14, 1.93 ton/h, kuru bazda ise 0.61, 0.74 ve 1.25 ton/h olarak hesaplanmıştır. N2 devrindeki rotor devir sayılarına bağlı olarak kapasite değerleri arasındaki değişim N1 düzeyine göre daha geniş sınırlar arasında gerçekleşmiştir. Yaş baza göre makina kapasitesi değeri S1-S3 devir değişiminde B1 bıçağı için %137.5, B2 bıçağında %107.5 oranında artmıştır. S2-S3 devir artışında ise bu artış B1 bıçağı için %77.6, B2 bıçağında ise %69.3 oranındadır. Bu artışlar istatistiksel olarak son derece önemli bulunmuştur ($P<0.001$). Kuru bazda her iki bıçak için S1-S3 devir sayısı değişiminde makina kapasitesi değeri B1 bıçağı için yaklaşık %77, B2 bıçağı için yaklaşık %70 oranında artış göstermiştir. Kuru baza göre makina kapasitesinin tüm devir değişimlerindeki artış son derece önemlidir ($P<0.001$).

N3 nem düzeyinde en yüksek makina kapasitesi değerleri elde edilmiştir. Buna göre B1 için artan rotor devri hızına göre makina kapasitesi değerleri sırasıyla yaş baz için 1.44, 1.65, 1.80 ton/h, kuru baz için ise, 1.15, 1.32, ve 1.44 ton/h, B2 için ise yaş bazda 1.47, 1.67, 1.84 ton/h, kuru bazda ise 1.18, 1.34 ve 1.47 ton/h olarak belirlenmiştir. B1 ve B2 bıçakları için rotor devrinin S1'den S3'e yükselmesindeki makina kapasitesi artışı yaş ve kuru baz için istatistiksel olarak önemli bulunmuştur.

Sabit namlu yoğunluğu ve sabit ilerleme hızı koşullarında yapılan denemelerde makina kapasitesi değeri, parçalayıcı rotor devir sayısının artışı ile değişen efektif parçalama süresi kaynaklı değişiklik göstermiştir (Öngören 2020). Bağ budama artıkları ile yürütülen denemelerde parçalayıcı rotor devrinin artması efektif parçalama sürelerini azaltmıştır. Buna göre artan rotor devri hızına göre B1 ve B2 bıçakları için ortalama aktif parçalama süreleri; N1 için 40 ± 6 , 32 ± 2 , 30 ± 1 saniye, N2 için 52 ± 5 , 42 ± 3 , 24 ± 1 saniye ve N3 için 25 ± 1 , 22 ± 2 , 20 ± 1 saniye olarak belirlenmiştir.

4.2.3. Bağ budama artıklarının parçalanmasında parçalayıcı rotor devir sayısı değişiminin parçacık boyutu ve dağılımı üzerine etkisi

Bağ budama artıklarıyla yürütülen denemelerde rotor devri hızına bağlı olarak oluşan parçacıkların ortalama uzunlukları Şekil 4.24'de gösterilmiştir.



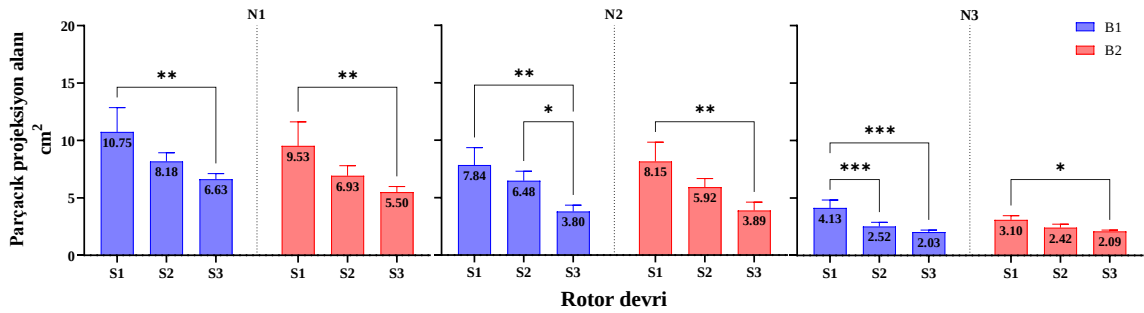
Şekil 4.24. Bağ budama artığı denemelerinde rotor devri değişiminin parçacık uzunluğuna etkisi

Bağ budama artıklarının parçalanmasında parçalayıcı rotorun devir sayısının artması ile tüm nem düzeylerinde oluşan bağ budama artıklarının parçacık boyu azalmıştır (Şekil 4.22). N1 nem içeriğinde B1 bıçağı kullanılarak yapılan parçalama işlemi sonucunda nem içeriği değişimine göre sırasıyla ortalama 16.85 ± 1.3 , 13.11 ± 0.7 , 9.50 ± 0.3 cm, B2 bıçağı kullanılarak yapılan parçalama işleminde daha küçük boyutlarda belirlenen değerler ise 14.72 ± 1.1 , 11.30 ± 1.0 , 9.50 ± 0.4 cm olarak belirlenmiştir. Her iki bıçak için rotor devrinin S1-S2 ve S1-S3 artışı ile oluşan uzunluk değişimleri istatistiksel olarak önemlidir ($P < 0.001$).

N2 içeriğindeki bağ budama artıklarının parçalanmasında rotor devrinin artışına bağlı olarak ortalama parçacık uzunluğu B1 bıçağı için sırasıyla 12.10 ± 0.8 , 9.86 ± 0.7 , 7.78 ± 0.9 cm, B2 bıçağı için 13.06 ± 0.9 , 9.90 ± 0.6 , 8.45 ± 0.5 cm'dir. B1 bıçağı için nem içeriği değişimi tüm devrilerde anlamlı değişimler sağlamışken ($P < 0.001$), B2 bıçağında istatistiksel olarak devrin S1-S2 ve S1-S3 değişimlerinde anlamlı değişimler belirlenmiştir ($P < 0.001$).

N3 nem içeriğinde, B1 bıçağı için ortalama parçacık uzunluğu artan devir hızlarına bağlı olarak sırasıyla 7.08 ± 1.3 , 4.91 ± 0.4 , 4.15 ± 0.6 cm'dir. Bu değer B2 bıçağı için 6.45 ± 0.9 , 4.81 ± 0.3 , 4.36 ± 0.2 cm olarak belirlenmiştir. Devrin S1-S3 değişimi B1 bıçağı için de parçacık boyutunu çok önemli düzeyde etkilemiştir ($P < 0.01$). Bununla beraber B1 bıçağında devrin S1'den S2'ye yükselmesiyle parçacık boyutunun düşmesi istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($P < 0.05$). B2 bıçağında ise rotor devrinin S1-S2 değişimi ortalama parçacık uzunluğunu önemli şekilde azaltmıştır ($P < 0.05$).

Parçacıkların düşey düzlemde kapladıkları ortalama alanlar Şekil 4.25'de gösterilmiştir.



Şekil 4.25. Bağ budama artığı denemelerinde rotor devri değişiminin parçacık projeksiyon alanına etkisi

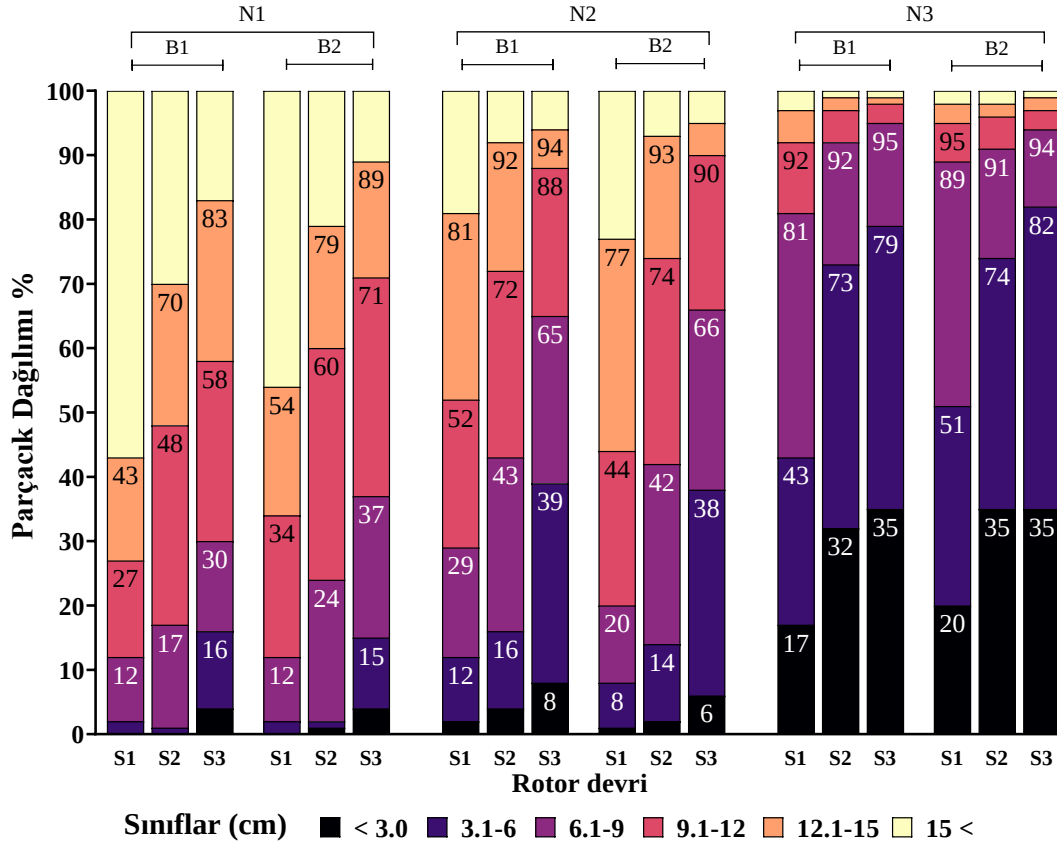
Varyans analizi sonucuna göre rotor devri sayısının değişimi parçacıkların kapladıkları ortalama projeksiyon alanı değerlerini etkilemiştir ($P < 0.05$). Nem içeriğinin azalmasıyla parçacıkların ortalama projeksiyon alanı değerleri de azalmaktadır (Şekil 4.23).

N1 nem içeriğinde B1 bıçağıyla parçalanmış bağ budama artıklarının ortalama alan değerleri 10.75 ± 1.7 , 8.18 ± 0.6 , 6.63 ± 0.4 cm²'dir. Bu değerler B2 bıçağında 9.53 ± 1.7 , 6.93 ± 0.7 , 5.50 ± 0.4 cm² olarak ölçülmüştür. Rotor devrinin S1-S3 değişimi her iki bıçak için ortalama parçacık alan değerini çok önemli düzeyde etkilemiştir ($P < 0.01$).

N2 nem içeriğinde yapılan denemelerde B1 için rotor devrinin artışına bağlı olarak 7.84 ± 1.2 , 6.48 ± 0.7 , 3.80 ± 0.4 cm², B2 bıçağı için 8.15 ± 1.4 , 5.92 ± 0.6 , 3.89 ± 0.6 cm² parçacık alanı ölçülmüştür. Her iki bıçak için de S1-S3 devir sayısı değişiminde ve ayrıca B1 bıçağı için S2-S3 devir sayısı değişiminde elde edilen parçacık alan değerleri arasındaki fark istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($P < 0.01$).

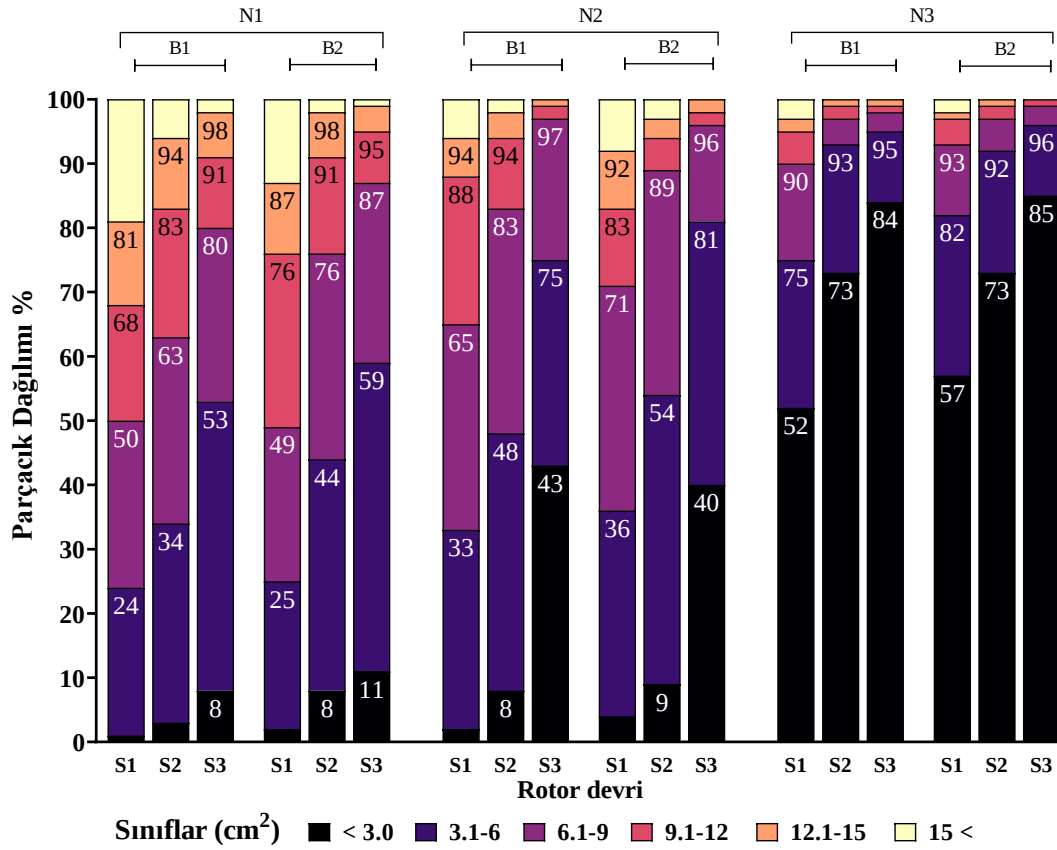
En küçük ortalama parçacık alan değerleri N3 nem içeriğine sahip artıkların parçalanmasında elde edilmiştir. Buna göre B1 bıçağı için artan devir hızına göre sırasıyla 4.13 ± 0.6 , 2.52 ± 0.3 , 2.03 ± 0.1 cm², B2 bıçağında ise 3.10 ± 0.3 , 2.42 ± 0.3 , 2.09 ± 0.1 cm² ortalama alan değeri belirlenmiştir. İstatistiksel olarak, B1 bıçağında devrin S1'den S3'e artması ile parçacıkların ortalama alanı son derece önemli düzeyde etkilenmiştir ($P < 0.001$). Bununla beraber devrin S1-S2 arasındaki değişimi de ortalama projeksiyon alan değerini son derece önemli şekilde azaltmıştır ($P < 0.001$). B2 bıçağında ise sadece S1-S3 devir sayısı değişimi ortalama alan değerini istatistiksel olarak etkilemiştir ($P < 0.05$).

Üç farklı nem içeriğine sahip bağ budama artıklarının parçalanması sonrasında oluşan parçacıkların, farklı rotor devir sayılarındaki oransal dağılımları ortalama uzunluk değerine göre Şekil 4.26'da, ortalama projeksiyon alanı değerlerine göre Şekil 4.27'de verilmiştir.



Şekil 4.26. Bağ budama artığı parçacıklarının rotor devir değişimindeki parçacık uzunluğu dağılımı

Şekil 4.26 incelendiğinde, rotor devrinin artması ile tüm nem içeriklerinde büyük parçacıkların yer aldığı sınıfların azaldığı, küçük parçacıkların yer aldığı sınıfların oranının arttığı görülmektedir. N1 nem içeriğindeki parçacıkların S1 devrinde parçalanması sonucunda 9 cm'den küçük parçacıkların yere aldığı sınıfların oranları toplamı B1 bıçağında %12 iken bu oran S2 devrinde %17'ye, S3 devrinde ise %30'a yükselmektedir. Aynı değerler B2 bıçağı için devir artışına göre sırasıyla %12, %24 ve %37 olarak belirlenmiştir. Nem içeriği N2 düzeyinde iken, 9 cm'den kısa parçacıkların bulunduğu sınıfların oranları toplamı devir değişimine bağlı olarak B1 bıçağı için %29, %43, %65, B2 bıçağı için %20, %42, %65 olarak belirlenmiştir. N3 Nem düzeyinde ise 9 cm'den küçük parçacıkların bulunduğu sınıf oranları toplamı devir artışıyla sırasıyla B1 bıçağında %81,%92, %95, B2 bıçağında %89, %91, %94 olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.27. Bağ budama artığı parçacıklarının rotor devir değişimindeki parçacık projeksiyon alanı dağılımı

Şekil 4.27’de göre; üç farklı nem içeriği ve rotor devir hızında parçalanmış bağ budama artıklarının ortalama projeksiyon alanı değerlerinin dağılımında, devrin artması ile küçük parçacıkların bulunduğu sınıfların yüzde oranlarının arttığı görülmektedir. N1 nem içeriğinde gerçekleştirilen denemelerde S1 Devrinde 6 cm²’den küçük parçacıkların bulunduğu sınıfların toplam oranı B1 ve B2 bıçakları için %24 ve %25’dir. S2 devrinde bu oranlar %34 ve %44’e, S3 rotor devrinde ise sırasıyla %53 ve %59’a yükselmiştir. N2 nem içeriğindeki parçacıkların ortalama projeksiyon alanı dağılımları incelendiğinde ise devrin artışına bağlı olarak 6 cm²’den küçük parçacıkların bulunduğu sınıfların oranlarının toplamı B1 ve B2 bıçaklarına göre sırasıyla %32, %48, %75 ve %36, %54, %81 olarak hesaplanmıştır. N3 nem düzeyinde ise 6 cm²’den küçük parçaların bulunduğu sınıf oranları toplamı artan devir sayısına göre B1 bıçağında %75, %93 ve %95, B2 bıçağında ise %82, %92 ve %96 olarak belirlenmiştir.

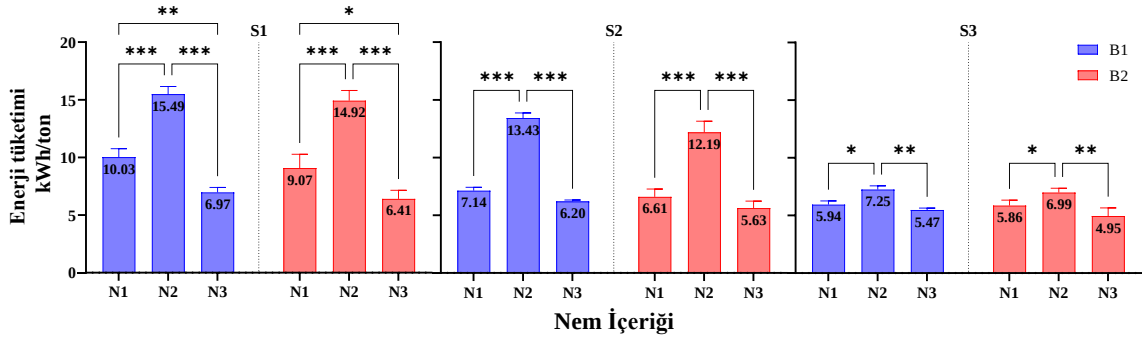
Parçalayıcı rotor devir sayısının bir başka ifade ile parçalayıcı bıçakların çevre hızının artması, literatürde birçok çok benzer çalışmada belirtildiği gibi bu çalışmada da parçacık boyutlarını azaltmaktadır. Bununla beraber devrin artması parçacık dağılımında küçük sınıfta yer alan parçacıkların oranını da artırmıştır (Şeflek vd. 2006; Demir, 2007; Öngören, 2022). Savoie ve Gagnon (2012), laboratuvar koşullarında benzer bir parçalama sistemi kullanarak gerçekleştirdikleri denemeler sonucunda en yüksek rotor devir hızında en etkin parçalama işleminin elde edildiğini belirtmiştir. Buna göre; düşük devirlerde

25 cm'den küçük parçacıkların oranı yaklaşık olarak %20 iken en yüksek rotor devrinde (2390 d/dakika) parçacıkların %58'i 25 cm'den küçük parçacıklar ve %5.4'ü 100 cm'den uzun parçacıklardır. Aynı devir de 50 cm'den kısa parçacıkların dağılımdaki oranı ise %85'e yaklaşmaktadır. Suardi vd. (2021) benzer bir çalışmada parçalayıcı rotor devrinin artmasıyla parçacık dağılımındaki 8 mm'den küçük parçacıkların oranının %38.7 azaldığını belirlemiştir.

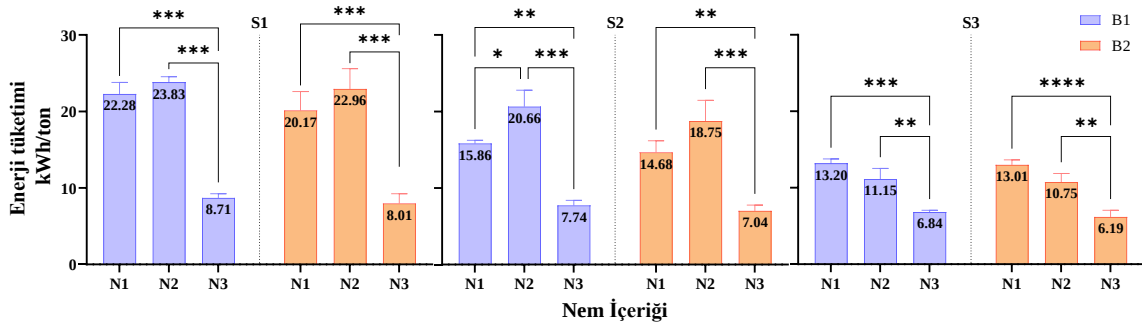
Şekil 4.26 ve Şekil 4.27 incelendiğinde bu çalışma kapsamında tasarlanan B2 bıçağına ait parçacıkların, B1 bıçağında göre küçük boyutlu gruplarda sayısal olarak daha fazla yer aldığı görülmektedir.

4.2.4. Bağ budama artıklarının parçalanmasında materyal nem içeriği değişiminin özgül enerji tüketimi üzerine etkisi

Bağ budama artıkları ile çalışmada nem içeriği değişimine bağlı olarak hesaplanan özgül enerji tüketimi değerleri yaş baz için Şekil 4.28'de, kuru baz için Şekil 4.29'da görülmektedir. Bağ budama artıkları ile çalışmada, tüm devir sayılarında nem içeriklerinin N1'den N2'ye düşmesi özgül enerji tüketimi değerlerini artırmış, N2'den N3'e düşmesi ise belirtilen değerleri azaltmıştır.



Şekil 4.28. Bağ budama artığı denemelerinde nem içeriği değişiminin özgül enerji tüketimi üzerine etkisi (y.b.)



Şekil 4.29. Bağ budama artığı denemelerinde nem içeriği değişiminin özgül enerji tüketimi üzerine etkisi (k.b.)

Birim kütile başına ihtiyaç duyulan enerji değeri, S1 devir sayısında B1 bıçağı için azalan nem içeriğine bağlı olarak sırasıyla yaş bazda 10.03, 15.49, 6.97 kWh/ton, kuru bazda ise 22.28, 23.83, 8.71 kWh/ton olarak hesaplanmıştır. Bu değerler B2 bıçağı ile yapılan denemelerde yaş bazda 9.07, 14.92 ve 6.41 kWh/ton, kuru bazda ise 20.17, 22.96, 8.01 kWh/ton'dur. Nem içeriğinin N1-N2 değişimi yaş baza göre enerji tüketimini B1 bıçağında yaklaşık %54, B2 bıçağında ise yaklaşık %64 oranında arttırmış ve bu değişim istatistiksel olarak oldukça önemli bulunmuştur ($P<0.001$). Nem içeriğinin N2-N3 değişiminde yaş baza göre enerji tüketimi değeri B1 bıçağında yaklaşık %45, B2 bıçağında yaklaşık %43 oranında azalmış ve bu değişim de istatistiksel olarak oldukça önemli bulunmuştur ($P<0.001$). Bununla birlikte nem içeriğinin N1-N3 arasındaki değişimi her iki bıçak için de istatistiksel olarak önemlidir ($P<0.01$). S1 devir sayısında nem içeriğinin N1-N3 ve N2-N3 değişimi kuru baza göre özgül enerji tüketimini son derece önemli olarak azaltmıştır ($P<0.001$). Bu azalış N1-N3 değişiminde B1 bıçağı için %60.9, B2 bıçağı için ise %60.3 oranında belirlenmiştir. N2-N3 nem içeriği değişiminde ise bu azalışlar B1 ve B2 bıçağı için sırasıyla %63.5 ve 65.1 oranında hesaplanmıştır. S1 devrindeki N1-N2 değişimi dikkate alındığında, enerji tüketimindeki artışların kuru bazda, yaş baza göre daha düşük düzeyde gerçekleştiği görülmektedir.

S2 rotor devrinde değişen nem içeriklerine göre birim kütile başına harcanan enerji değeri B1 bıçağı için yaş bazda 7.14, 13.43, 6.20 kWh/ton, kuru bazda ise 15.86, 20.66, 7.74 kWh/ton'dur. Bu değerler, B2 bıçağı için yaş bazda 6.61, 12.19, 5.63 kWh/ ton iken kuru bazda 14.68, 18.75, 7.04 kWh/ton'dur. Bu devir için de yaş baza göre, S1 devrindeki değişimlere benzer şekilde enerji tüketimi nem düzeyinin azalmasıyla önce artmış, daha sonra azalmıştır. Yaş baza göre enerji tüketimindeki değişimler N1-N2 ve N2-N3 nem düzeylerinde her iki bıçak için de istatistiksel olarak son derece önemli bulunmuştur ($P<0.001$). B1 bıçağında N1-N2 nem içeriğindeki değişim ile özgül enerji tüketiminde %88.1, B2 bıçağında ise %84.4 artış belirlenmiştir. N2-N3 nem içeriği değişiminde ise B1 ve B2 bıçaklarında yaklaşık %46.2 oranında özgül enerji tüketimi azalmıştır. Bununla birlikte, S2 devrinde, N1-N3 nem içeriği değişiminin yaş baza göre özgül enerji tüketimi üzerindeki etkisi her iki bıçak için de istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. S2 devrinde kuru baza göre özgül enerji tüketimi ise N1-N2 nem içeriği değişimiyle B1 bıçağı için %30.3, B2 bıçağı için %27.7 artmıştır. Buradaki artış sadece B1 bıçağı için istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($P<0.05$). N1-N3 nem içeriğindeki değişim kuru baza göre özgül enerji tüketimini B1 bıçağı için %48.8, B2 bıçağı için %48 oranında azaltmıştır. N2-N3 nem içeriğindeki değişim kuru baza göre özgül enerji tüketimini B1 ve B2 bıçağı için %62.5 oranında azaltmıştır. Bu azalışlar istatistiksel olarak sırasıyla çok önemli ve son derece önemli bulunmuştur ($P<0.01$ ve $P<0.001$).

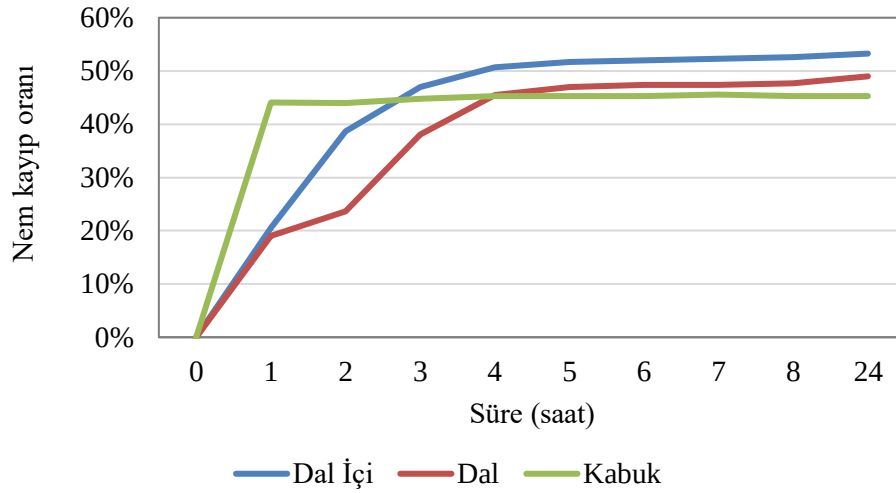
S3 rotor devrinde nem içeriğin azalması yaş baza göre enerji tüketimini S1 ve S2 devirlerindeki benzer şekilde etkilemiştir. Farklı olarak nem seviyesinin azalışı, S3 devrindeki enerji ihtiyacının değişimini oransal olarak daha az etkilemiştir. Buna göre B1 bıçağında nem içeriği seviyesine göre sırasıyla yaş baza göre 5.94, 7.25, 5.47 kWh/ton, B2 bıçağında 5.86, 6.99, 4.95 kWh/ton enerji tüketimi belirlenmiştir. Bu devirde N1-N2 ve N2-N3 nem düzeyindeki değişimin etkisi her iki bıçak için önemli ve çok önemli bulunmuştur ($P<0.05$ ve $P<0.01$). Yine S3 devrinde, kuru baza göre özgül enerji tüketimi ise azalan nem içeriğine göre azalış göstermektedir. Bu azalmada N1-N3 arasındaki değişim istatistiksel olarak son derece önemli iken N2-N3 arasındaki değişim çok önemli bulunmuştur ($P<0.001$ ve $P<0.01$).

Özgül enerji tüketiminin N1-N2 nem içeriği arasındaki azalışına göre değişimi dikkat çekmektedir. Bağ budama artıklarıyla 3 farklı nem düzeyinde gerçekleştirilen denemelerde nem içeriği azalmasının özgül enerji miktarını yaş bazda N1-N2 değişiminde arttırdığı, N2-N3 değişiminde ise azalttığı belirlenmiştir.

Şekil 4.29 incelendiğinde kuru baza göre özgül enerji miktarının, rotor devrinin S3'e yükselmesi ile tüm nem içeriği değişimlerinde azalmakta olduğu görülmektedir. Düşük rotor devirlerinde (S1, S2) ise nem içeriğindeki düşüşün enerji tüketimini önce arttırdığı sonra ise azalttığı görülmektedir. Bu sonuçlara göre rotor devrinin 1800 1/min olması durumunda nem içeriğinin N1-N2 değişimde enerji tüketimini arttıran olumsuz durumun etkilerini ortadan kalktığı görülmektedir. Bu sebeple enerji tüketimi açısından en uygun parçalama işleminin N3 nem içeriğindeki budama artıklarının S3 devrinde parçalanması sonucu elde edileceği söylenebilir.

Pekitkan vd. (2022), 7 farklı bitki türü ve 2 farklı nem düzeyinde ve kesme ekseninde; kesme kuvveti, gerilme, enerji ve özgül enerji tüketimine etkileri incelenmiştir. Çalışma sonunda çalı, çam, iğde ve şeftali türlerine ait materyallerin nem oranları düşürülmüş olsalar bile, bu nem oranlarının kesme kuvveti, gerilme, enerji ve özgül enerji tüketimine istatistiksel açıdan önemli bir etkisi olmadığı, andız, ateşdikeni ve zakkum türlerinde ise, ele alınan parametreler üzerinde önemli derecede etkili olduğu belirlenmiştir. Denemeler sonunda andız budama artıkları ile yapılan analizle sonucunda nem içeriğinin %48'den %26'ya düşmesiyle özgül enerji tüketimi değeri yatay ekseninde artmış, dikey ekseninde ise azalmıştır. Bu sonuçları dikkate alarak nem içeriği değişiminin bitki türüne göre farklı sonuçları ortaya çıkarabileceği söylenebilir.

Materyal bölümünde bağ budama artıklarının nem içeriğinin zamanla değişiminin gösterildiği Şekil 3.13 incelendiğinde, nem içeriği oranının N1'den N3 seviyesine düşmesi yaklaşık 10 haftalık bir sürede gerçekleşmiştir. Bunun yanında nem içeriğinin N1-N2 değişimi sürecinde yaklaşık 1 hafta sonrasında yaklaşık %15 oranında nem kaybetmesi dikkat çekicidir. Bu ani nem içeriği değişikliğinin bağ dallarının kabuk kısımlarından kaybedilen nemden kaynaklandığı düşünülmektedir (Şekil 4.30). Bu sebeple budanmış bağ dallarının (çubuklarının) dış yüzeyi daha kuru iken iç kısmının daha fazla nem içerdiği söylenebilir. Bir başka ifade ile bağ dallarının/çubuklarının kabuk kısmındaki ani nem kaybından dolayı bu kısım daha gevrek bir durumda iken dalın içi kısmının sünekliliğinin arttığı ve bu artışın da parçalanma işlemi için gerekli enerji miktarını arttırdığı söylenebilir.



Şekil 4.30. Bağ budama artıklarının zamana bağlı nem kaybetme oranları

Bağ budama artıklarında nem kaybı oranlarının 1 saat sonunda dalların kabuk kısmından ortalama 44.03 ± 2 oranında gerçekleştiği belirlenmiştir. Bu oran 4 saatin sonunda ortalama 45.30 ± 2 olarak artmıştır ve 24 saat sonunda 45.44 ± 2 olarak belirlenmiştir. Kabuklarından ayrılmış dal içi kısmında nem kaybı oranı 1, 2 ve 3 saat sonrasında sırasıyla 20.53 , 38.62 ve 46.99 olarak belirlenmiştir. Kabuk ayrılma işlemi yapılmamış dalların nem kaybı ise 1 ve 5 saat sonunda 19.01 ve 46.98 olarak belirlenmiştir. Sonuçlara göre bağ budama artıklarında nem kaybının dalların kabuk kısmından daha hızlı gerçekleştiği görülmektedir.

Araştırmada N1 ve N2 nem içeriğindeki bağ budama artıkları ile S1 rotor devrinde gerçekleştirilen denemelerin birer tekrerründe parçalama makinasında sıkışma meydana gelmiştir (Şekil 4.31). Bu tekrerrler yeniden yapılmış ve elde edilen veriler değerlendirmeye dahil edilmiştir. N1 ve N2 nem içeriklerinde belirlenen en yüksek güç gereksinimi ve özgül enerji tüketimi değerleri de dikkate alındığında yüksek nem içeriğine sahip bağ budama artıklarının parçalanmasında parçama makinasının yüksek rotor devrilerinde çalıştırılması gerektiği söylenebilir.



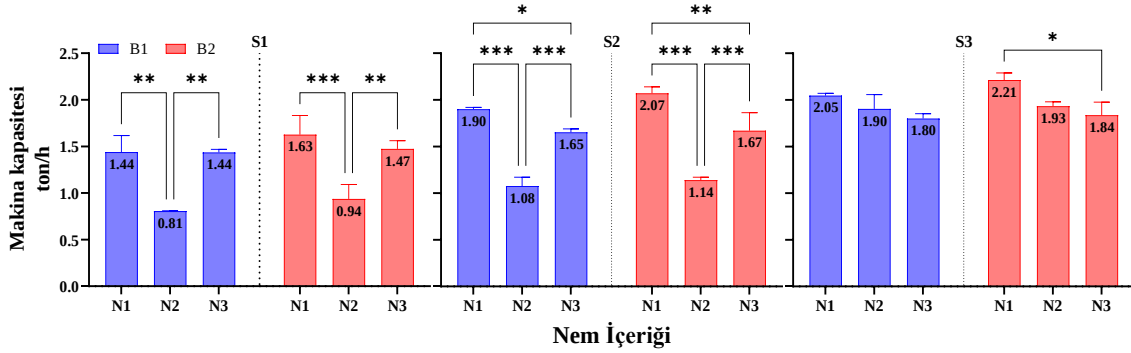
Şekil 4.31. Yüksek nem içeriğindeki bağ artıklarının parçalamasındaki sıkışma

Nem içeriğinin N2'den N3'e değişiminde, bağ artıklarının kabuk altındaki iç kısmında nem miktarının zamanla azalması ile materyalin daha kırılğan hale geldiği söylenebilir. Bu nedenle parçalama için gerekli özgül enerji miktarının azaldığı düşünülmektedir.

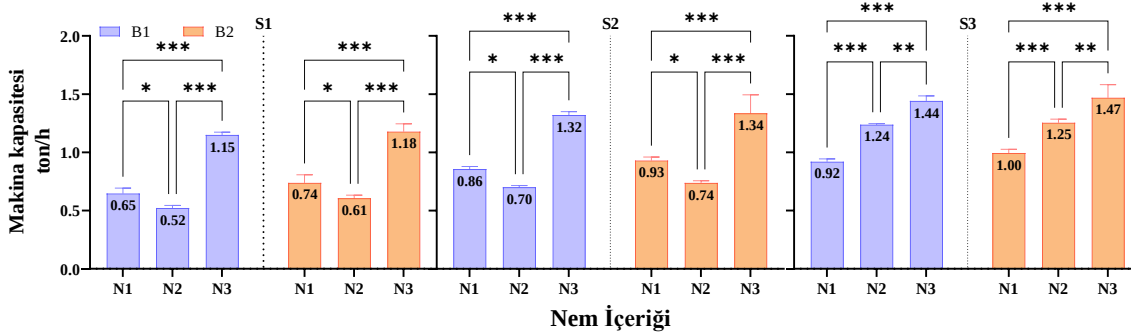
Literatürde arazi koşullarında budama artıklarını bahçe sıra arasında parçalayan makinalar ile, aynı materyalin farklı nem içeriğine sahip varyasyonlarının kullanıldığı az sayıda çalışmaya rastlanılmıştır. Bununla birlikte, Savoie ve Gagnon (2012) laboratuvar koşullarında özel bir parçalama sistemi kullanılarak gerçekleştirdikleri çalışmasında aynı rotor devrinde (1760 1/min) %51 nem içeriğine sahip söğüt dallarının parçalanmasında toplam enerji ihtiyacını kuru bazda 4.41 kJ/kg, %38 nem içeriğine sahip dalların parçalanmasında ise 9.46 kJ/kg olarak belirlemişlerdir.

4.2.5. Bağ budama artıklarının parçalanmasında materyal nem içeriği değişiminin kapasite üzerine etkisi

Materyal nem içeriği değişimine bağlı olarak değişen makina kapasitesi değerleri yaş ve kuru baz için Şekil 4.32’de ve Şekil 4.33’de verilmiştir.



Şekil 4.32. Bağ budama artıkları denemelerinde nem içeriği değişiminin makina kapasitesi üzerine etkisi (y.b.)



Şekil 4.33. Bağ budama artıkları denemelerinde nem içeriği değişiminin makina kapasitesi üzerine etkisi (k.b.)

Şekil 4.32 incelendiğinde kurumaya bırakılan bağ budama artıklarının zamanla nem içeriğindeki azalmaya bağlı olarak yaş baza göre makina kapasitesinin S3 devrinde azaldığı, fakat S1 ve S2 devirlerinde N2-N3 nem içeriği değişiminde arttığı görülmektedir. Bu durum düşük devirlerde N2 nem içeriğine sahip bağ artıklarının parçalama işlemi sırasında yarattığı olumsuz durumun makina kapasitesini doğal kuruma ile oluşan azalmadan daha fazla etkilediğini göstermektedir. Rotor devir sayısının S3’e yükselmesi ile düşük devir ve N2 nem içeriğinden kaynaklanan makina kapasitesindeki azalma etkisi ortadan kalkmış ve yaş bazdaki makina kapasitesi daha az oranda etkilenmiştir. Şekil 4.31 incelendiğinde ise nem içeriğindeki azalış, S1 ve S2 rotor devir sayılarında kuru baz için makina kapasitesini önce azaltıp sonra arttırmış, S3 devrinde ise kapasite değerleri tüm nem içerikleri için artış göstermiştir.

S1 devrinde makina kapasitesi değerleri nem içeriği değişimine bağlı olarak B1 bıçağı için sırasıyla yaş baza göre 1.44, 0.81 1.44 ton/h, kuru baza göre 0.65, 0.52, 1.15 ton/h, B2 bıçağı için ise yaş bazda 1.63, 0.94, 1.47 ton/h, kuru bazda ise 0.74, 0.61, 1.18 ton/h olarak belirlenmiştir. Makina kapasitesi değerleri yaş baza göre nem içeriği azalışına göre B1 ve B2 bıçakları için önce yaklaşık %56 oranında azalmış, daha sonra ise her iki bıçak için ortalama %66 oranında artmıştır. Bu değişimlerde her iki bıçak için de nem içeriğinin N1-N2 ve N2-N3 arasındaki değişimi istatistiksel olarak çok önemli bulunmuştur ($P<0.01$). S1 rotor devrinde makina kapasitesinin kuru baza göre değerlendirildiğinde ise her iki bıçak için de nem içeriğinin N1-N3 ve N2-N3 arasındaki değişimi istatistiksel olarak son derece önemli ($P<0.001$), N1-N2 arasındaki değişim ise önemli bulunmuştur ($P<0.05$). B1 bıçağında nem içeriğinin N1-N3 düşmesi ile kapasite değeri %76.9 artarken, bu artık B2 bıçağı için %59.5 olarak belirlenmiştir. N2-N3 nem içeriği değişiminde ise kapasite değeri kuru baza göre B1 ve B2 bıçakları için sırasıyla %121.1 ve %93.5 oranında artış göstermiştir.

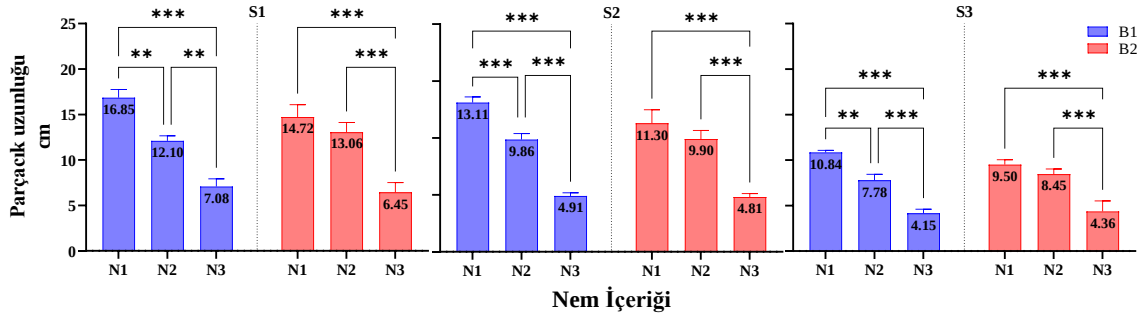
S2 devrinde materyal nem içeriğinin azalmasına bağlı olarak makina kapasitesi değerleri N1-N2 değişiminde azalmış, N2-N3 değişiminde ise artış göstermiştir. Buna göre nem içeriği seviyelerine göre sırasıyla B1 bıçağı için yaş bazda 1.90, 1.08, 1.65 ton/h, kuru bazda ise 0.86, 0.70, 1.32 ton/h, B2 bıçağı için yaş bazda 2.07, 1.14, 1.67 ton/h, kuru bazda ise 0.93, 0.74, 1.34 ton/h kapasite değeri belirlenmiştir. Yaş baza göre makina kapasitesi nem içeriğinin N1-N2 değişiminde B1 bıçağında %43.2, B2 bıçağında ise %45 oranında azalmış, N2-N3 değişiminde ise B1 bıçağında %47.2, B2 bıçağında %46.5 oranında artmıştır. Bu değişimler istatistiksel olarak son derece önemli bulunmuştur ($P<0.001$). Nem içeriği değişiminin N1-N3 değişiminde ise kapasite değeri yaş baza göre B1 ve B2 bıçakları için sırasıyla %13.2 ve %19.3 oranında azalmıştır ($P<0.05$). Makina kapasitesi kuru baza göre değerlendirildiğinde nem içeriği N1-N3 ve N2-N3 değişimlerinde B1 bıçağı için sırasıyla %53.5 ve %85.5, B2 bıçağı için %44.1 ve %81.1 oranında artmıştır. Bu artışlar istatistiksel olarak son derece önemli bulunmuştur ($P<0.001$). N1-N2 nem içeriği değişimindeki azalış ise her iki bıçak için önemlidir ($P<0.05$).

Parçalayıcı rotor devrinin S3 hızında çalıştırılması ile yürütülen denemeler sonucunda, diğer devirlerde gözlemlenen etkilerden farklı olarak makina kapasitesinin tüm devirlerde nem içeriğinin azalmasıyla arttığı belirlenmiştir. Buna göre B1 bıçağı için sırasıyla 0.92, 1.24, 1.44 ton/h, B2 bıçağı için 1.00, 1.25, 1.47 ton/h makina kapasitesi değeri belirlenmiştir. Kuru baza göre kapasite değerindeki bu artışlar istatistiksel olarak N1-N2 ve N1-N3 değişimlerinde son derece önemli, N2-N3 değişiminde ise çok önemli bulunmuştur ($P<0.001$). Bu değerlere göre bağ budama artıkları ile çalışmada, rotor devir sayısının N3 devrinde 1800 1/min değerine çıkmasının, önceki devir sayıları için belirlenen N2 nem düzeyinin kapasite değerlerini azaltıcı etkisini ortadan kaldırdığı söylenebilir.

Nem içeriğinin azalması ile artan makina kapasitesi sonucu literatürdeki benzer koşullarda yapılan çalışmalar ile örtüşmektedir. Spinelli vd (2011) Avrupa karaçam ağaçlarından elde edilen artıklar ile yürüttüğü denemeler sonucunda taze ve kuru olacak şekilde sınıflandırılmış materyallerin parçalanması sırasındaki makina kapasitesi değerlerini sırasıyla 21.3 ve 27.4 ton/h olarak belirlemişlerdir.

4.2.6. Bağ budama artıklarının parçalanmasında materyal nem içeriği değişiminin parçacık boyutu ve dağılımı üzerine etkisi

Şekil 4.34’de üç farklı devir hızında nem içeriği değişimine göre parçalanmış artıkların uzunluk değerlerine yer verilmiştir.



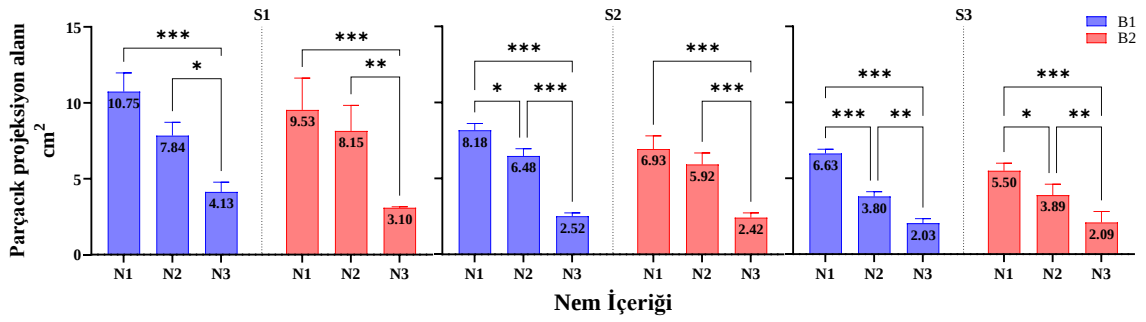
Şekil 4.34. Bağ budama artıkları denemelerinde nem içeriği değişiminin parçacık uzunluğuna etkisi

Şekil 4.34 incelendiğinde nem içeriğinin azalmasıyla ortalama parçacık uzunluğunun azalmakta olduğu görülmektedir. Ortalama parçacık uzunluğu değerleri, S1 devrinde gerçekleştirilen denemelerin sonunda B1 bıçağı için 16.85 ± 1.3 , 12.10 ± 0.8 , 7.08 ± 1.2 cm, B2 bıçağı için ise 14.72 ± 1.1 , 13.06 ± 0.9 , 6.45 ± 0.9 cm’dir. İstatistiksel olarak N1-N3 nem değişiminin B1 ve B2 bıçağında ortalama parçacık boyu üzerine etkisi son derece önemli bulunmuştur ($P < 0.001$). Bununla birlikte B1 bıçağında tüm nem içeriği değişimleri ortalama parçacık uzunluğu üzerinde etkilidir ($P < 0.01$) ve B2 bıçağında N2-N3 nem içeriği değişimindeki azalma da son derece önemli bulunmuştur ($P < 0.001$).

Rotor devir sayısının S2 olduğu parçalama işleminde nem içeriğine bağlı olarak parçacık boyutları, B1 bıçağı için sırasıyla 13.11 ± 0.7 , 9.86 ± 0.7 , 4.91 ± 0.4 cm B2 için 11.30 ± 1.0 , 9.90 ± 0.6 , 4.81 ± 0.3 cm olarak belirlenmiştir. İstatistiksel olarak B1 bıçağı için N1-N2-N3 nem değişimlerinin tümü ortalama parçacık boyunu etkilerken, B2 bıçağında N1-N3 ve N2-N3 nem içeriği değişimi ile önemli farklılıklar oluşmuştur ($P < 0.001$).

Ortalama parçacık uzunluğu değerleri, S3 devrinde B1 bıçağıyla nem içeriği değişimine göre sırasıyla 10.84 ± 0.3 , 7.78 ± 0.9 , 4.15 ± 0.6 cm, B2 bıçağıyla ise 9.50 ± 0.4 , 8.45 ± 0.5 , 4.36 ± 0.9 cm olarak belirlenmiştir. İstatistiksel olarak B2 bıçağı için N1-N2 değişimi hariç her iki bıçak için de tüm düzeylerde nem içeriğinin azalması önemli farklılıklar oluşturmıştır ($P < 0.001$).

Nem içeriğinin değişimi tüm devirlerde parçalama sonrası oluşan parçacıkların yatay zeminde kapladıkları alan değerleri üzerinde etkili olmuştur ($P < 0.05$). Belirlenen ortalama parçacık projeksiyon alanı değerleri Şekil 4.35’de gösterilmiştir.



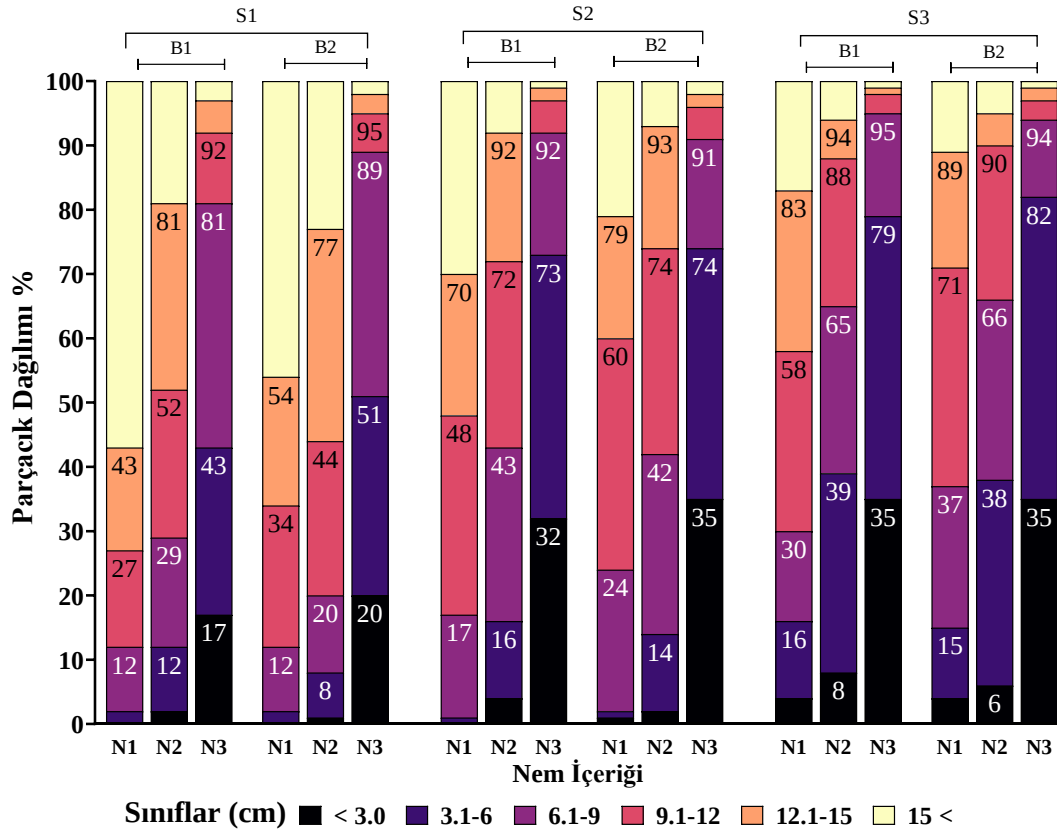
Şekil 4.35. Bağ budama artıkları denemelerinde nem içeriği değişiminin parçacık projeksiyon alanına etkisi

Tüm rotor devirlerinde, bağ budama artıklarının nem düzeylerinin azalması ile ortalama parçacık projeksiyon alanı değerleri azalmıştır. Bu değerler, S1 rotor devrinde nem içeriğine bağlı olarak B1 bıçağı için 10.75 ± 1.7 , 7.84 ± 1.2 , 4.13 ± 0.9 cm², B2 bıçağında 9.53 ± 1.7 , 8.15 ± 1.4 , 3.10 ± 0.3 cm² olarak ölçülmüştür. Nem içeriğinin N1-N3 ve N2-N3 değişimlerinde her iki bıçak içinde ortalama parçacık alan değerindeki farklar önemli ($P < 0.001$), N1-N2 düzeyleri arasındaki fark önemsiz bulunmuştur.

S2 rotor devir sayısında B1 bıçağı ile gerçekleştirilen parçalama işleminde azalan materyal nem düzeyi değerlerine göre belirlenen ortalama parçacık alanı değerleri sırasıyla 8.18 ± 0.6 , 6.48 ± 0.7 , 2.52 ± 0.3 cm²'dir. Bu değerler B2 için 6.93 ± 0.7 , 5.92 ± 0.6 , 2.42 ± 0.3 cm²'dir. Çalışmada, B1 bıçağı ile farklı nem içeriklerinde ölçülen ortalama alan değerleri arasındaki fark istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($P < 0.001$). B2 bıçağında ise nemin N1-N3 ve N2-N3 seviyelerindeki değişim istatistiksel olarak son derece önemli bulunmuştur ($P < 0.001$).

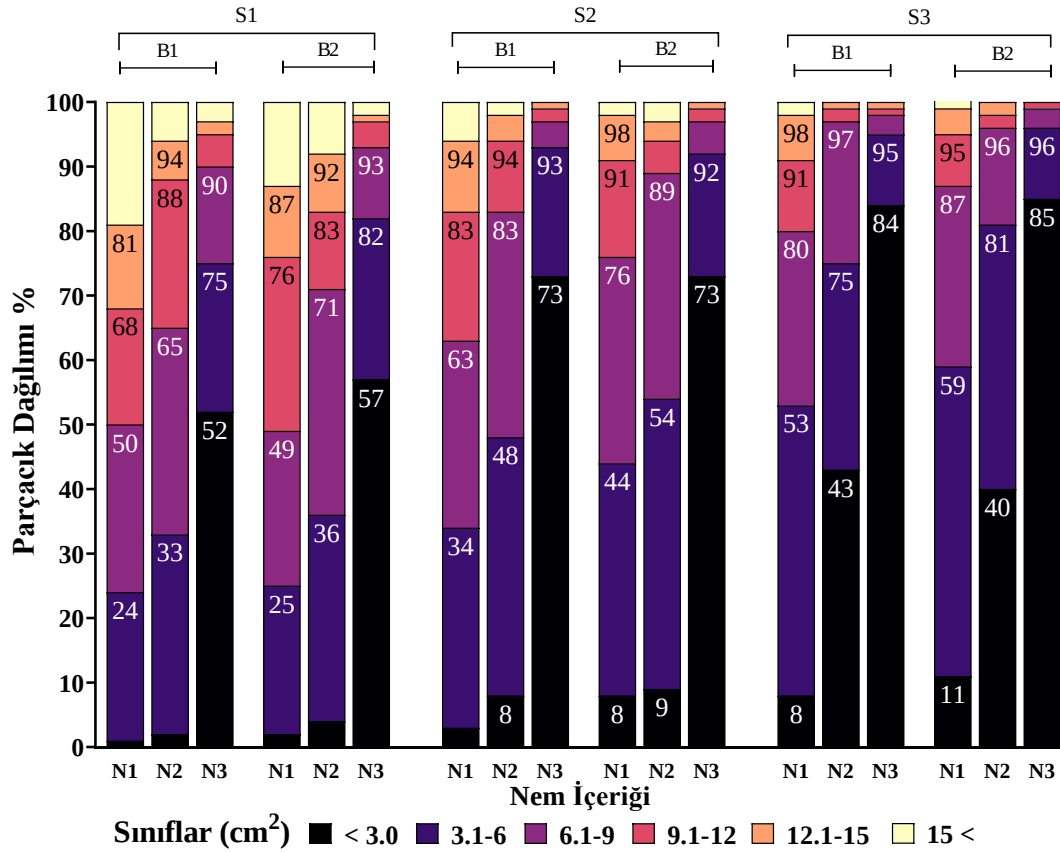
S3 devrinde de benzer şekilde nem içeriğinin azalması ortalama parçacık alanının azalmasını sağlamıştır. Ortalama parçacık alanı değerleri S3 devrinde, azalan nem içeriklerine göre sırasıyla B1 bıçağında 6.63 ± 0.4 , 3.80 ± 0.4 , 2.03 ± 0.4 cm², B2 bıçağında 5.50 ± 0.4 , 3.89 ± 0.6 , 2.09 ± 0.6 cm² değerlerinde belirlenmiştir. Her iki bıçak için de tüm düzeylerde nem içeriğinin azalması ile azalan parçacık alan büyüklükleri arasındaki farklar istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($P < 0.001$).

Üç farklı rotor devri ve nem içeriğinde gerçekleştirilen parçalama işlemi sonucu ile oluşan parçacıkların ortalama uzunluk ve projeksiyon alanı değerlerine göre oransal dağılımı Şekil 4.36 ve 4.37'de gösterilmiştir.



Şekil 4.36. Bağ budama artığı parçacıklarının nem içeriği değişimindeki uzunluk dağılım

Şekil 4.36 incelendiğinde her bir rotor devir sayısında, küçük parçacık boyutu sınıflarındaki parçacıkların oranlarının nem içeriğinin azalmasına bağlı olarak arttığı görülmektedir. S1 rotor devrinde parçalanan budama artıklarında 9 cm'den küçük parçacıkların oranları toplamı nem içeriği değişimine göre B1 ve B2 bıçakları için sırasıyla %12, %29, %81 ve %12, %20, %89 oranında belirlenmiştir. Aynı değerler S2 rotor devrinde, B1 ve B2 bıçaklarında sıra ile %17, %43, %91 ve %24, %42, %91 olarak belirlenmiştir. S3 devrindeki parçalama sonucunda ise 9 cm'den küçük parçacıkların oranları toplamı nem içeriği değişimine göre B1 ve B2 bıçakları için %30, %65, %95 ve %37, %66, %94 olarak hesaplanmıştır.



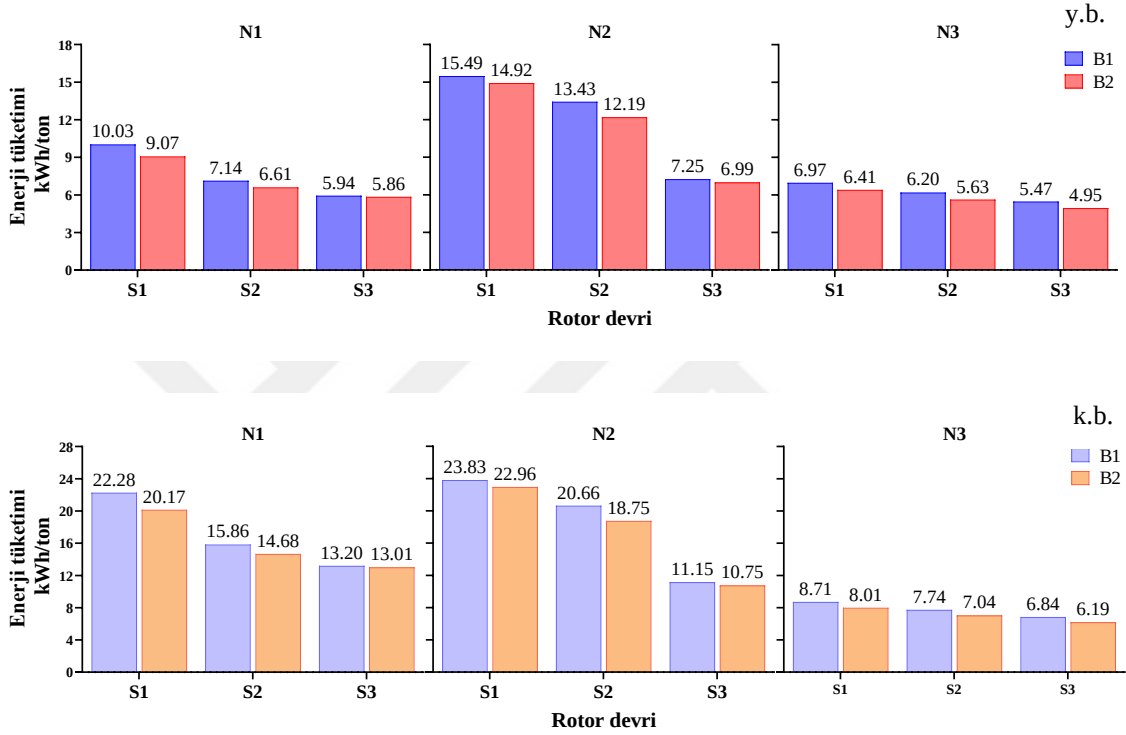
Şekil 4.37. Bağ budama artığı parçacıklarının nem içeriği değişimindeki projeksiyon alanı dağılımı

Şekil 4.37'ye göre; üç farklı rotor devir sayısı ve nem içeriğinde parçalanmış budama artıklarının ortalama projeksiyon alanı değerlerinin dağılımında, nem içeriğinin azalması ile küçük parçacıkların bulunduğu sınıfların oranlarının arttığı görülmektedir. S1 devrinde değişen nem içeriğine göre 6 cm²'den küçük parçacıkların bulunduğu sınıfların toplam oranı B1 bıçağı için %24, %33, %75, B2 bıçağı için %25, %36, %82 olarak belirlenmiştir. S2 rotor devrinde bu değerler B1 ve B2 bıçakları için sırasıyla %34, %48, %93 ve %44, %54 ve %92'ye yükselmiştir. S3 devir sayısında ise 6 cm²'den küçük parçacıkların oranı B1 ve B2 bıçakları için nem içeriği değişimine göre sırasıyla toplam %53, %75, %95 ve %59, %81, %96 olarak hesaplanmıştır.

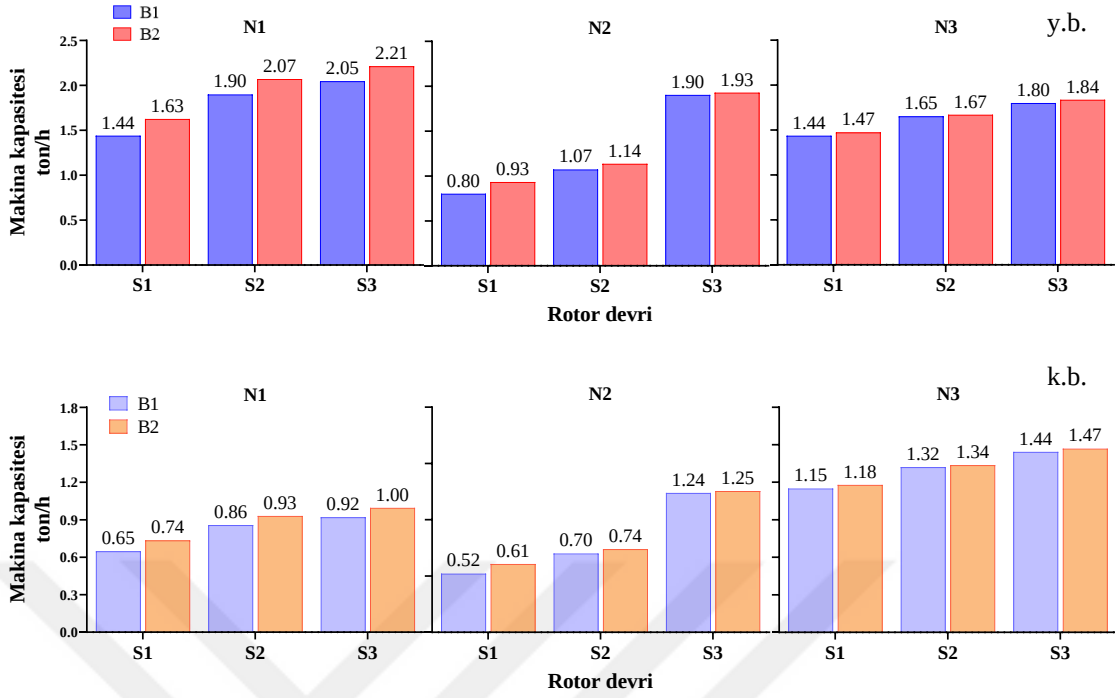
Farklı nem içeriklerine sahip bağ budama artıklarının parçalanmasında elde edilen parçacık boyutu dağılımı literatürde yer alan çalışmalar ile benzerlik göstermektedir. Benzer bir çalışmada %34.9 ve %19.5 nem içeriğine sahip karaçam dallar kullanılarak yapılan parçalama işlemi sonucunda düşük nem içeriğinde küçük parçacıkların bulunduğu sınıfa ait parçacıkların ağırlık dağılımının %24.1'den %41.0'a yükseldiğini belirlemiştir (Spinelli vd 2011).

4.2.7. Bağ budama artıklarının parçalanmasında bıçak tipi değişiminin kıyaslanması

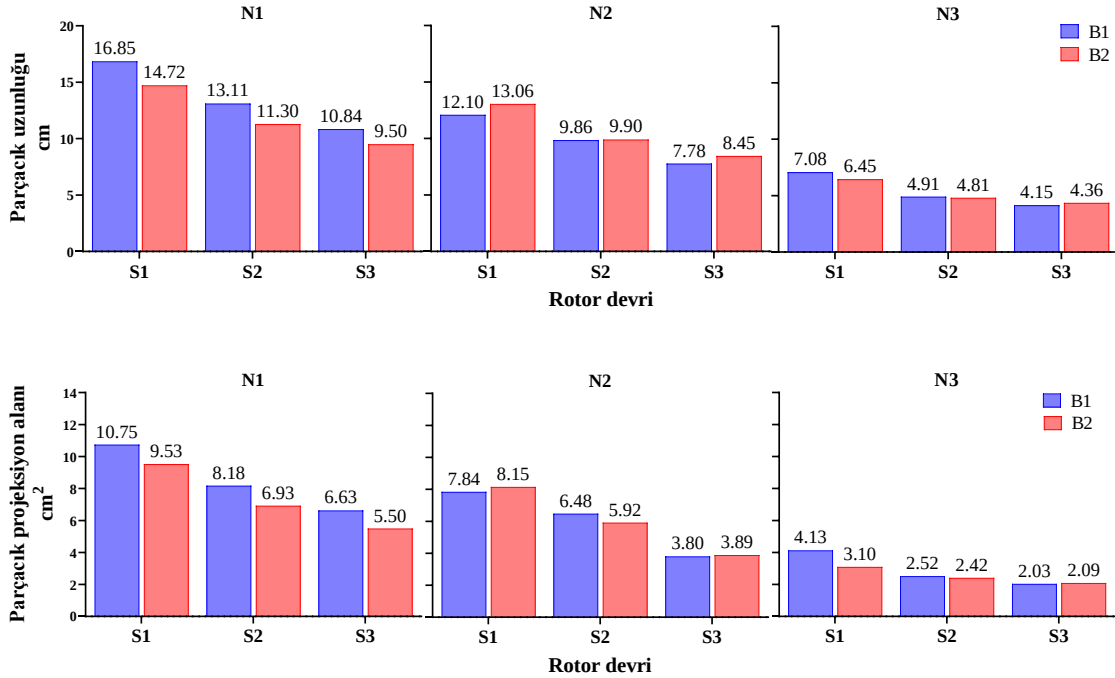
Bağ budama artıklarının, üç farklı rotor devir sayısı ve materyal nem içeriği koşullarında, çalışma kapsamında B1 ve B2 olarak adlandırılan bıçaklar kullanılarak parçalanması sonucunda elde edilen özgül enerji tüketimi, makine kapasitesi ve parçacık boyutu değerlerine sırasıyla Şekil 4.38, Şekil 4.39 ve Şekil 4.40’da yer verilmiştir.



Şekil 4.38. Bağ budama artıklarının parçalanmasında bıçak tipi değişimine göre özgül enerji tüketimi değerleri



Şekil 4.39. Bağ budama artıklarının parçalanmasında bıçak tipi değişimine göre makina kapasitesi değerleri



Şekil 4.40. Bağ budama artıklarının parçalanmasında bıçak tipi değişimine göre parçacık boyutu değerleri

Araştırma bağ budama artıkları ile yürütülen denemelerde yeni dişli bıçak ile elde edilen elde edilen, özgül enerji tüketimi, makine kapasitesi ve parçacık boyutu ile ilgili değerler, çoğunlukla çekiç bıçakta elde edilen değerlere göre daha olumlu görünmekle birlikte, aradaki farklılık istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur (Şekil 4.38, Şekil 4 39, Şekil 4.40).

4.3. Makina Maliyetleri

Araştırmada kullanılan parçalama makinasının satın alma bedeli 2023 yılı piyasa koşulları dikkate alınarak 85000 TL olarak belirlenmiştir. Parçalama makinası ile bir işçinin çalıştırılması durumunda saatlik işçi maliyeti 75 TL, elektrik enerjisinin saatlik maliyeti ise 3.06 TL/kWh'dir. Yıllık sabit gider ve tamir-bakım değeri makinanın yıllık kullanım süresine (120 h) oranlanarak saatlik giderler (TL/h) olarak hesaplanmıştır. Hesaplamaların yapıldığı 2023 yılı Mayıs ayında dolar kuru yaklaşık 19.5 TL'dir. Parçalama makinasına ait yıllık ve saatlik giderler Çizelge 4.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.1. Parçalama makinasına ait yıllık ve saatlik giderler

SAB	SGY	Yıllık giderler		Saatlik giderler			
		TL/yıl		TL/h			
TL	ond.	Sabit gider	Tamir-Bakım	Sabit gider	Tamir-Bakım	Elektrik	İş gücü
85000	0.12	9968.9	8500	83.1	70.8	3.06	75.00

Zeytin budama artılarının parçalanmasındaki saatlik maliyetler Çizelge 4.2'de, yaş baza göre birim kütle başına düşen maliyetler Çizelge 4.3'de ve kuru bazda birim kütle başına düşen maliyetler Çizelge 4.4'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.2. Zeytin denemelerinde saatlik makina maliyetleri

Zeytin		Sabit Gider TL/h	Değişken Giderler TL/h					Toplam Değişken Gider TL/h		
			Tamir- Bakım	İş Gücü	Elektrik					
					N1	N2	N3	N1	N2	N3
B1	S1	83.1	70.8	75	34.8	26.2	23.2	180.5	172.0	169.0
	S2				37.2	28.7	23.1	183.1	174.6	169.0
	S3				34.8	32.1	25.2	180.7	177.9	171.0
B2	S1				33.9	26.0	24.1	179.7	171.9	169.9
	S2				34.8	27.3	23.4	180.6	173.2	169.2
	S3				33.1	30.6	24.2	179.0	176.4	170.0

Çizelge 4.3. Zeytin denemelerinde birim kütle başına makina maliyetleri (y.b.)

Zeytin		Sabit Gider TL/ton			Değişken giderler TL/ton									Toplam Değişken Gider TL/ton		
					Elektrik			Tamir-Bakım			İş gücü					
		N1	N2	N3	N1	N2	N3	N1	N2	N3	N1	N2	N3	N1	N2	N3
B1	S1	59.3	58.1	53.9	24.9	18.3	15.0	50.6	49.5	46.0	53.6	52.4	48.7	129.0	120.3	109.7
	S2	47.5	50.0	47.5	21.2	17.3	13.2	40.5	42.7	40.5	42.9	45.2	42.9	104.6	105.1	96.5
	S3	39.2	37.4	40.9	16.4	14.5	12.4	33.4	31.9	34.9	35.4	33.8	36.9	85.2	80.2	84.2
B2	S1	56.5	54.3	51.9	23.0	17.0	15.1	48.2	46.3	44.3	51.0	49.0	46.9	122.2	112.3	106.2
	S2	44.2	45.6	45.1	18.5	15.0	12.7	37.7	38.9	38.5	39.9	41.2	40.8	96.1	95.1	91.9
	S3	37.4	36.8	39.4	14.9	13.5	11.4	31.9	31.3	33.6	33.8	33.2	35.5	80.6	78.1	80.6

Çizelge 4.4. Zeytin denemelerinde birim kütle başına makina maliyetleri (k.b.)

Zeytin		Sabit Gider TL/ton			Değişken giderler TL/ton									Toplam Değişken Gider TL/ton		
					Elektrik			Tamir-Bakım			İş gücü					
		N1	N2	N3	N1	N2	N3	N1	N2	N3	N1	N2	N3	N1	N2	N3
B1	S1	108.2	89.4	71.8	45.2	28.2	20.0	92.3	76.2	61.2	97.7	80.7	64.8	235.2	185.1	146.1
	S2	86.1	76.8	63.2	38.6	26.6	17.6	73.5	65.5	53.9	77.8	69.3	57.0	189.8	161.4	128.5
	S3	71.1	57.6	54.5	29.9	22.2	16.5	60.7	49.1	46.5	64.2	52.0	49.2	154.8	123.4	112.3
B2	S1	102.5	83.6	69.4	41.8	26.2	20.1	87.4	71.3	59.2	92.5	75.5	62.6	221.7	173.0	141.9
	S2	80.4	70.1	60.1	33.7	23.0	16.9	68.6	59.7	51.3	72.6	63.2	54.3	174.8	146.0	122.5
	S3	67.9	56.6	52.5	27.1	20.8	15.3	57.9	48.3	44.7	61.3	51.1	47.4	146.3	120.3	107.4

Zeytin budama artılarının parçalanmasındaki saatlik ve birim kütle başına düşen toplam makina maliyetlerine Çizelge 4.5’de yer verilmiştir.

Çizelge 4.5. Zeytin denemelerindeki toplam makina maliyetleri

Toplam Giderler										
Zeytin		TL/h			TL/ton					
					y.b.			k.b.		
		N1	N2	N3	N1	N2	N3	N1	N2	N3
B1	S1	263.7	255.1	252.0	188.4	178.4	163.7	343.4	274.5	217.9
	S2	266.1	257.6	252.0	152.0	155.2	144.0	276.0	238.2	191.7
	S3	263.7	261.0	254.0	124.4	117.6	125.1	225.9	181.0	166.8
B2	S1	262.7	255.0	253.0	178.7	166.6	158.2	324.1	256.7	211.3
	S2	263.7	256.1	252.2	140.3	140.7	137.1	255.2	216.1	182.6
	S3	262.0	259.5	253.0	118.0	114.8	119.9	214.2	176.9	159.9

Zeytin budama artıkları ile yapılan denemelerde toplam saatlik makina gideri 252.0-263.7 TL/h değerleri arasında belirlenmiştir. Birim parçalanmış materyal başına düşen makina maliyetleri ise yaş bazda 114.8-188.4 TL/ton, kuru bazda ise 159.9-343.4 TL/ton arasında değişmektedir.

Birim parçalanmış kütle başına en düşük maliyet, her iki bıçak için, yaş bazda S3 rotor devrinde, N2 nem içeriğinde hesaplanmıştır. Kuru baza göre ise, birim parçalanmış kütle başına maliyetler, artan rotor devir sayısına ve azalan nem içeriğine göre düşüş göstermektedir. Buna göre en düşük birim kütle maliyet değerleri her iki bıçak için, S3 rotor devrinde ve N3 nem içeriğinde artıkların parçalanmasında hesaplanmıştır. Bununla beraber, B2 bıçağının B1 bıçağına göre yaş bazda ortalama %5.8, kuru bazda ise ortalama %5.9 daha düşük maliyet oluşturduğu belirlenmiştir.

Bağ budama artılarının parçalanmasındaki saatlik maliyetler Çizelge 4.6'da, yaş baza göre birim kütle başına düşen maliyetler Çizelge 4.7'de ve kuru bazda birim kütle başına düşen maliyetler Çizelge 4.8'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.6. Bağ denemelerinde saatlik makina maliyetleri

Bağ		Sabit Gider TL/h	Değişken Giderler TL/h					Toplam Değişken Gider TL/h		
			Tamir- Bakım	İş Gücü	Elektrik					
					N1	N2	N3	N1	N2	N3
B1	S1	83.1	70.8	75	44.2	37.9	30.7	190.0	183.7	176.5
	S2				41.5	44.0	31.3	187.3	189.8	177.1
	S3				37.3	42.1	30.1	183.1	188.0	176.0
B2	S1				45.3	42.5	28.8	191.1	188.3	174.7
	S2				41.8	42.5	28.8	187.7	188.4	174.6
	S3				39.6	41.3	27.9	185.4	187.1	173.7

Çizelge 4.7. Bağ denemelerinde birim kütle başına makina maliyetleri (y.b.)

Bağ		Sabit Gider TL/ton			Değişken giderler TL/ton									Toplam Değişken Gider TL/ton		
					Elektrik			Tamir-Bakım			İş gücü					
		N1	N2	N3	N1	N2	N3	N1	N2	N3	N1	N2	N3	N1	N2	N3
B1	S1	57.7	103.8	57.7	30.7	47.4	21.3	49.2	88.5	49.2	52.1	93.8	52.1	132.0	229.7	122.6
	S2	43.7	77.6	50.3	21.8	41.1	19.0	37.3	66.2	42.9	39.5	70.1	45.5	98.6	177.4	107.3
	S3	40.5	43.7	46.2	18.2	22.2	16.7	34.6	37.3	39.4	36.6	39.5	41.7	89.3	98.9	97.8
B2	S1	51.0	89.3	56.5	27.8	45.7	19.6	43.5	76.2	48.2	46.0	80.6	51.0	117.2	202.5	118.8
	S2	40.1	72.9	49.7	20.2	37.3	17.2	34.2	62.1	42.4	36.2	65.8	44.9	90.7	165.2	104.5
	S3	37.6	43.0	45.1	17.9	21.4	15.1	32.1	36.7	38.5	33.9	38.9	40.8	83.9	96.9	94.4

Çizelge 4.8. Bağ denemelerinde birim kütle başına makina maliyetleri (k.b.)

Bağ		Sabit Gider TL/ton			Değişken giderler TL/ton									Toplam Değişken Gider TL/ton		
					Elektrik			Tamir-Bakım			İş gücü					
		N1	N2	N3	N1	N2	N3	N1	N2	N3	N1	N2	N3	N1	N2	N3
B1	S1	128.3	158.7	72.3	68.2	72.9	26.7	109.4	135.4	61.6	115.8	143.3	65.2	293.4	351.6	153.5
	S2	97.0	119.2	62.9	48.5	63.2	23.7	82.7	101.6	53.7	87.5	107.6	56.8	218.8	272.4	134.1
	S3	90.2	67.1	57.6	40.4	34.1	20.9	77.0	57.2	49.1	81.5	60.6	52.0	198.8	151.9	122.0
B2	S1	113.4	137.0	70.5	61.7	70.3	24.5	96.7	116.9	60.1	102.4	123.7	63.6	260.9	310.8	148.3
	S2	89.2	112.5	62.2	44.9	57.4	21.5	76.1	95.9	53.0	80.6	101.6	56.1	201.6	254.9	130.7
	S3	83.5	66.2	56.6	39.8	32.9	18.9	71.2	56.5	48.2	75.4	59.8	51.1	186.4	149.2	118.2

Bağ budama artılarının parçalanmasındaki saatlik ve birim kütle başına düşen toplam makina maliyetlerine Çizelge 4.9’da yer verilmiştir.

Çizelge 4.9. Bağ denemelerindeki toplam makina maliyetleri

Toplam Giderler										
Bağ		TL/h			TL/ton					
					y.b.			k.b.		
		N1	N2	N3	N1	N2	N3	N1	N2	N3
B1	S1	273.1	266.8	259.6	189.6	333.5	180.3	421.7	510.3	225.7
	S2	270.4	272.9	260.2	142.3	255.0	157.7	315.7	391.6	197.1
	S3	266.2	271.0	259.0	129.8	142.7	143.9	289.1	219.0	179.6
B2	S1	274.2	271.4	257.7	168.2	291.8	175.3	374.3	447.9	218.8
	S2	270.7	271.4	257.7	130.8	238.1	154.3	290.8	367.4	192.8
	S3	268.5	270.2	256.8	121.5	140.0	139.6	269.8	215.4	174.8

Bağ budama artıklarının parçalanmasında rotor devrinin artmasına bağlı olarak ortalama toplam saatlik ve birim materyal kütlesi başına düşen giderler her iki bıçak için azalmaktadır. Saatlik maliyetler 256.8-273.1 TL/h, birim kütle başına düşen maliyetler yaş baz için 121.5-333.5 TL/ton, kuru baz için ise 174.8-510.3 TL/ton arasında değişmektedir. En düşük maliyet, saatlik giderlerde N3 nem içeriğinde S3 rotor devir sayısında, B2 bıçağında hesaplanmıştır. Birim kütle başına en düşük maliyetler her iki bıçak için de tüm nem içeriklerinde S3 rotor devir sayısında belirlenmiştir.

Toplam makina maliyeti açısından en uygun parçalamanın en yüksek rotor devri (S3) ile en düşük materyal nem içeriği (N3) koşullarında sağlanacağı belirlenmiştir. Birim kütle başına düşen maliyetler açısından B2 bıçağı B1 bıçağına göre yaş bazda ortalama %7.4, kuru bazda ise ortalama %7.7 daha düşüktür.

4.4. Zeytin ve Bağ Denemelerindeki En Uygun Çalışma Koşulları

Çalışma kapsamında üç farklı rotor devri ve üç farklı nem içeriğinde, iki farklı bıçak kullanılarak gerçekleştirilen denemeler sonucunda elde edilen en uygun çalışma koşulları, zeytin budama artıkları ile yapılan denemeler için Çizelge 4.10'da, bağ budama artıkları ile yapılan denemeler için Çizelge 4.11'de yer almaktadır.

Çizelge 4.10. Zeytin budama artıklarının en uygun parçalanma koşulları

Zeytin		Değişkenler					Değer	
		Rotor devri		Nem İçeriği		Bıçak Tipi		
Parametreler	Birim	y.b	k.b.	y.b	k.b.			y.b
Özgül enerji tüketimi	kWh/ton	S3	S3	N3	N3	B2	3.74	4.99
Makina kapasitesi	ton/h	S3	S3	N2	N3	B2	2.26	1.58
Parçalama etkinliği	cm	S3		N3		B2	3.85	
	cm ²	S3		N3		B2	1.03	
Maliyet	TL/h	S1	S3	N3	N3	B1	252.0	
	TL/ton	S3	S3	N2	N3	B2	114.8	159.9

Çizelge 4.11. Bağ budama artıklarının en uygun parçalanma koşulları

Bağ		Değişkenler					Değer	
		Rotor devri		Nem İçeriği		Bıçak Tipi		
							Parametreler	Birim
Özgül enerji tüketimi	kWh/ton	S3	S3	N3	N3	B2	4.95	6.19
Makina kapasitesi	ton/h	S3	S3	N1	N3	B2	2.21	1.47
Parçalama etkinliği	cm	S3		N3		B1	4.15	
	cm²	S3		N3		B1	2.03	
Maliyet	TL/h	S3	S3	N3	N3	B2	256.8	
	TL/ton	S3	S3	N1	N3	B2	121.5	174.8

Çizelge 4.10 ve Çizelge 4.11 incelendiğinde her iki bitkisel materyalin parçalanmasında belirlenen parametrelere göre en uygun çalışma koşulları, çoğunlukla en yüksek rotor devri (S3), en düşük materyal nem içeriği (S3) koşullarında, dişli çekiç bıçağın (B2) kullanılmasıyla sağlanmaktadır. Bu genel durumdan farklı olarak, zeytin denemelerinde yaş baza göre en yüksek makina kapasitesi ve yaş baza göre en düşük birim kütle başına maliyet N2 nem içeriğine sahip budama artıklarının parçalanmasında elde edilmiştir. Bağ denemelerinde de yaş baza göre en uygun makina kapasitesi ve maliyet değerleri genel durumdan farklı olarak N1 nem içeriğindeki artıkların parçalanması sonucunda hesaplanmıştır.

Zeytin ve bağ budama artıkları kullanılarak gerçekleştirilen parçalama işlemleri sonunda en etkin parçalama etkinliği zeytinde B2 bıçağı, bağ da ise B1 bıçağı kullanılarak elde edilmiştir.

5. SONUÇ

Bu çalışmada, meyve bahçelerinde budama işleminden sonra ortaya çıkan budama artıklarını yerinde (sıra aralarında) parçalayan bir makinaı temel olarak tasarlanan parçalama test düzeneğinde, parçalama makinasının performans değerleri belirlenmiştir. Yürütülen denemelerde zeytin ve bağ budama artıkları, üç farklı parçalayıcı rotor devri, üç farklı materyal nem içeriği koşulları altında ve iki farklı bıçak tipi kullanılarak parçalanmıştır. Denemeler sonunda değişen rotor devri sayısı, materyal nem içeriği ve bıçak tipinin parçalama makinasının performans değerleri üzerine etkisi incelenmiştir. Bununla beraber elde edilen birim kütle başına enerji tüketimi (kWh/ton) ve makina kapasitesi (ton/h) değerlerinden yararlanılarak makina maliyetleri hesaplanmıştır.

Değişen rotor devri sayısı ve materyal nem içeriği, zeytin ve bağ budama artıklarının her ikisi için de parçalama performansı üzerinde etkili bulunmuştur. Bıçak tipleri dikkate alındığında bu çalışma kapsamında tasarlanan yeni bıçak tipinde (B2) elde edilen değerlerin çoğunlukla performans olarak daha olumlu değerler içermesine rağmen B1 bıçağı ile aralarındaki fark istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır.

Araştırmada zeytin budama artıkları ile gerçekleştirilen parçalama işlemi sonucunda elde edilen sonuç ve önerilere aşağıda yer verilmiştir.

Zeytin budama artıklarının parçalanmasında artan rotor devir sayısına bağlı olarak özgül enerji tüketimi ve parçacık boyutları azalmış, makina kapasitesi değerleri artmıştır. S3 rotor devrinde tüm materyal nem içeriklerinde en düşük özgül enerji tüketimi elde edilmiştir. En yüksek makina kapasitesi değerleri ise yine S3 rotor devrinde elde edilmiştir. Parçalama işlemleri sonucunda oluşan parçacıkların ortalama uzunluk ve projeksiyon alanı değeri ile beraber parçacıkların dağılımı incelendiğinde S3 rotor devrinde en başarılı parçalama etkinliğinin sağlandığı belirlenmiştir.

Zeytin budama artıkları ile yürütülen denemelerde, azalan nem içeriğine bağlı olarak özgül enerji tüketimi ve parçacık boyutları azalmış, makina kapasitesi artmıştır. En düşük özgül enerji tüketimi, en yüksek makina kapasitesi değerleri ile birlikte en yüksek parçalama etkinliği değerlerine N3 nem içeriğine sahip zeytin budama artıklarının parçalanmasıyla elde edilmiştir.

Zeytin budama artıklarının parçalanmasında elde edilen sonuçlara göre, düşük enerji tüketimi, yüksek makina kapasitesi ve yüksek parçalama etkinliği açısından parçalama makinasının yüksek rotor devirlerinde çalıştırılması gerektiği söylenebilir. Bununla birlikte azalan materyal nem içeriğinin makina performansını etkileyen parametreler üzerindeki olumlu etkisi dikkate alındığında en başarılı parçalama işleminin S3 rotor devrinde (1800 1/min) ve N3 nem içeriğinde (%25) elde edildiği görülmektedir. Sonuçlar değerlendirildiğinde rotor devrinin 1800 1/min ve daha yüksek olması durumunda düşük materyal nem içeriğine sahip zeytin budama artıklarının parçalanmasında makina ilerleme hızının 1.5 km/h'den daha yüksek değerlere arttırılabileceği ve bu sayede daha yüksek makina kapasitesi değerleri elde edilebileceği ifade edilebilir.

Zeytin budama artıkları ile yürütülen denemelerde kuru bazda en düşük toplam birim kütle başına makina maliyeti en yüksek (S3) rotor devrinde ve en düşük (N3) nem içeriğinde yapılan parçalanma işleminde belirlenmiştir. Buna göre B1 bıçağı için 166.8 TL/ton, B2 bıçağı için 159.9 TL/ton toplam makina gideri belirlenmiştir. Ayrıca zeytin budama artıkları ile yürütülen tüm denemeler için B2 bıçağının B1 bıçağına göre yaş bazda ortalama %5.8, kuru bazda ise ortalama %5.9 daha düşük maliyet oluşturduğu belirlenmiştir.

Zeytin budama artıkları ile yürütülen tüm denemeler sonunda elde edilen sonuçlara göre çalışma kapsamında şekil değişikliği yapılarak tasarlanan B2 bıçağının belirlenen tüm parametreler için B1 bıçağına göre istatistiksel olarak önemli olmasa da daha başarılı sonuçlar verdiği söylenebilir.

Araştırma kapsamında bağ budama artıkları ile gerçekleştirilen parçalama işlemi sonucunda elde edilen sonuç ve önerilere aşağıda yer verilmiştir.

Bağ budama artıklarının parçalanmasında rotor devir sayısının artmasıyla özgül enerji tüketimi ve parçacık boyutları azalmış, makina kapasitesi değeri artmıştır. Tüm materyal nem içeriği için en düşük özgül enerji tüketimi S3 rotor devrinde elde edilmiştir. Artan rotor devir sayısına bağlı olarak en yüksek makina kapasitesi değerleri tüm materyal nem içerikleri için yine S3 rotor devrinde elde edilmiştir. S3 rotor devrinde parçacıkların ortalama uzunluk ve projeksiyon alanı değeri ile oluşan parçacıkların dağılımı incelendiğinde en yüksek parçalama etkinliği değerleri belirlenmiştir.

Bağ denemelerinde azalan materyal nem içeriği dikkate alındığında, her iki bıçak için birim kütle başına düşen enerji tüketimi kuru baza göre S3 rotor devrinde elde edilen sonuçlar dışında, N1-N2 değişimi sırasında artmış, N2-N3 değişimi sırasında ise azalmıştır. En düşük özgül enerji tüketimi tüm rotor devirlerinde N3 nem içeriğinde belirlenmiştir. Makina kapasitesi ise yaş ve kuru bazda düşük rotor devirlerinde (S1 ve S2) nem içeriğinin azalmasıyla önce azalmış, bir sonraki nem içeriği azalışı ile artış göstermiştir. S3 devrinde yapılan parçalama işleminde ise yaş bazda makina kapasitesi değerleri nem içeriği değişimine göre azalmış, kuru bazda ise artış göstermiştir. Parçalama sonrası oluşan parçacık boyutları ise uzunluk ve projeksiyon alanı olarak nem içeriği azalışına bağlı olarak azalmış ve parçacıkların dağılımında küçük sınıflarda ye alan parçacıkların oranı artmıştır.

Bağ budama artıkları kullanılarak yürütülen denemeler sonunda elde edilen sonuçlara göre parçalama işleminin düşük enerji tüketimi, yüksek makina kapasitesi ve parçalama etkinliği bakımından yüksek rotor devirlerinde yapılması önerilmektedir. En uygun makina performans değerleri 1800 1/min rotor devri (S3) ile beraber %20 (y.b.) nem içeriği (N3) koşullarında elde edilmiştir. Bu koşulların arazi ortamında sağlanması için bahçe sıra aralarında kuruması için bekletilecek budama artıklarının sebep olacağı olumsuzluklar dikkate alınır sa parçalama işleminin budamadan hemen sonra yüksek rotor devrinde yapılması da önerilebilir. Bunun yanında budamadan hemen sonra yapılacak parçalama işlemi, düşük rotor devirlerinde yapılması durumunda (S1, S2) artıkların 1-2 haftalık kurutulmaya bırakılması ile yapılacak parçalama işlemine göre özgül enerji tüketimi ve makina kapasitesi açısından daha uygundur. N1 nem içeriğindeki (%55) bağ budama artıklarının düşük rotor devir sayısında (1200 1/min) gerçekleştirilecek

parçalanma işleminde makinanın tıkanma/sıkışma gibi sorunların oluşmaması için ilerleme hızının 1.5 km/h'den düşük değerlerde olması gerektiği söylenebilir.

Denemelerde kullanılan bağ budama artıklarının nem içeriğinin %35 (N2) oranına düşmesiyle elde edilen verilere göre özgül enerji tüketimi ve makina kapasitesi değeri diğer nem içeriklerinde gerçekleştirilen denemelerden farklı şekilde etkilemiştir. Bu farklı değişimin bağ budama artıklarının yapısal özelliklerinden kaynaklandığı düşünülmüştür. Öyle ki, nem kaybının zamanla değişimini belirlemek için yapılan analizlerde nem kaybının dalların kabuk kısımlarından daha hızlı uzaklaştığı belirlenmiştir. Yine de değişen nem içeriğinin parçalama performansına etkisinin belirlenmesinde materyal lignoselulozik özelliklerini ele alan detaylı bilimsel çalışmaların yapılması gerektiği düşünülmektedir.

Bağ budama artıklarının parçalanmasında kuru baza göre en düşük toplam birim kütle başına makina maliyeti, en yüksek rotor devri (S3) ile en düşük materyal nem içeriği (N3) koşullarında belirlenmiştir. Bu koşullarda B1 bıçağı için 179.6 TL/ton, B2 bıçağı için 174.8 TL/ton toplam makina gideri belirlenmiştir. Hesaplamalara göre, tüm denemeler için, B2 bıçağı B1 bıçağına göre yaş bazda ortalama %7.4, kuru bazda ise ortalama %7.7 daha düşük maliyettedir.

Bağ ve zeytin budama artıkları ile parçalama işlemlerinde elde edilen bulgular dikkate alındığında biyolojik malzeme özellikleri nedeniyle artıkların makinanın performansına yönelik farklı davranış sergiledikleri söylenebilir. Örneğin bağ artıklarında orta nem düzeyindeki bazı performans değerlerinin zeytinden farklı olarak en düşük değerlere sahip olduğu belirlenmiştir. Bu nedenle benzer çalışmaların farklı ürünler için de yapılmasının gerekli olduğu düşünülmektedir. Ancak yapılacak çalışmalarda bu çalışmada kullanılan en yüksek devir sayısından (1800 1/min) daha yüksek devir sayılarının da dikkate alınması önerilir.

Araştırma kapsamında budama artıklarının laboratuvar ortamında parçalanmasını sağlayan, parçalama performansını etkileyen değişken koşulların kontrol edilebildiği bir parçalama sistemi oluşturulmuştur. Parçalama sisteminin konu ile ilgili yapılacak çalışmalara katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Araştırma kapsamında mevcut piyasa koşullarında sıklıkla kullanılan, seri üretimi ve satışı yapılan çekiç tip parçalama bıçağının üzerinde kesici yüzey mesafesinin artırılması ve ağırlığının azaltılması amacıyla şekil değişikliği yapılmıştır. Yeni kalıp veya ayrı bir teknolojik uygulamaya gerek kalmadan mevcut çekiç bıçaklar basit imkânlar ile yeni tip bıçak şekline dönüştürülmüştür. Denemelerde farklı bıçak tiplerinin belirlenen parametreler üzerinde istatistiksel bir farklılık oluşturmamasına rağmen ekonomik açıdan tüm denemeler genelinde şekil değişikliği yapılan bıçağın makina maliyetlerini düşürdüğü belirlenmiştir.

6. KAYNAKLAR

- Adamchuk, V., Bulgakov, V., Skorikov, N., Yezekyan, T., Olt, J. 2016. Developing a new design of wood chopper for grape vine and fruit tree pruning and the results of field testing. *Agronomy Research*, 14 (5) pp. 1519-1529.
- An, P., Tang, H., Li, C., Fang, K., Lu, S., & Zhang, J. 2022. A fast and practical method for determining particle size and shape by using smartphone photogrammetry. *Measurement*, 193, 110943.
- Anonymous 1: Vavilov center of orj. <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Vavilov-center.jpg> [Son erişim tarihi: 22.02.2023].
- Anonymous 2: ImageJ, <https://en.wikipedia.org/wiki/ImageJ> [Son erişim tarihi: 22.02.2023].
- Anonymous 3: <https://www.graphpad.com/support/faq/what-is-the-meaning-of-ororin-reports-of-statistical-significance-from-prism-or-instat/> [Son erişim tarihi: 02.01.2023].
- ASABE, 2015. Agricultural machinery management data. American Society of Agricultural and Biological Engineers Standarts. ASAE D497.7.
- Avcioğlu, A. O., Dayıoğlu, M. A., Türker, U. 2019. Assessment of the energy potential of agricultural biomass residues in Turkey. *Renewable Energy*, 138, 610-619.
- Aydın, M., Kurnaz T.F. 2023. An alternative method for the particle size distribution: Image processing. *Turkish Journal of Engineering*. 7(2), 108-115.
- Beyaz, A., 2012. Advanced Topics in Measurements. Chapter 7: Machine Vision Measurement Technology and Agricultural Applications., ISBN:978-953-51-0128-4.
- Beyaz, A., Özgüven, M., Öztürk, R., Acar, A.İ., 2009. Volume Determination of Kahrmanmaras Red Pepper (*Capsicum annuum* L.) by Using Image Analysis Technique. *Tarım Makinaları Bilim Dergisi (Journal of Agricultural Machinery Science)*. 5 (1), 103-108.
- Beyaz, A., Öztürk, R. 2016. Identification of olive cultivars using image processing techniques. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*. 40: 671-683.
- Bilandzija N., Voca N., Kricka T., Matin A., Jurisic V., 2012. Energy potential of fruit tree pruned biomass in Croatia. *Spanish Journal of Agricultural Research* 10(2):292-298.
- Calatrava, J., & Franco, J. A. 2011. Using pruning residues as mulch: Analysis of its adoption and process of diffusion in Southern Spain olive orchards. *Journal of Environmental Management*, 92(3), 620-629.

- CEC, 2015. California Energy Commission. An Assessment of Biomass Resources in California. University of California, Davis, Consultant Report. March 2015, CEC-500-11-020.
- Çanakcı M. 2014. Budama atıklarının parçalanması ve mekanizasyonu. *Hasad Dergisi-Bitkisel Üretim*, 29(344):70-78.
- Çanakcı, M., Topakcı, M., Karayel, D. ve Ağsaran, B. 2010. Kuyruk Milinden Hareketli Budama Artığı Parçalama Makinasının Temel İşletmecilik Verilerinin Belirlenmesi, *Tarım Bilimleri Dergisi*, 16, 46-54.
- Çanakcı, M., Topakcı, M., Karayel, D., Ağsaran, B., Kabas, O., Yigit, M., 2019. The effect of different blades on the performance values of a pruning chopper used to improve soil properties. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 25(5): 1052–1059.
- Çanakçı, M., Çakır, M., Ünal, İ., Karayel, D., Topakcı, M. 2018b. Kendi Yürür Bir Budama Artığı Parçalama Makinası Prototipinin Geliştirilmesi. TÜBİTAK TOVAG Proje, sf: 89, Proje No: 214O260.
- Çanakçı, M., Topakcı, M., Karayel, D., Ünal, İ., Çakır, M., Yiğit, M., Özdemir, E. 2018a. Kendi Yürür Bir Budama Artığı Parçalama Makinası İşletme Giderlerinin Belirlenmesi. *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 14 (2), 127-134.
- Çıtak S., Sönmez, S., Öktüren F. 2006. Bitkisel kökenli atıkların tarımda kullanılabilme olanakları. *Derim*, 3(1):41-53.
- Çolakoglu, B. 2018. Tarımsal Atıkların Alternatif Kullanım Alanları Konusunda Üretici Eğilimleri. Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarım Ekonomisi Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi.
- Dalen G. Van. 2004. Determination of the size distribution and percentage of broken kernels of rice using flatbed scanning and image analysis. *Food Research International* 37:51-58.
- Dedeoğlu, İ., Altın, N. Ceribaş, E., Özdingiş, N., Bekin, E. ve Ayaz, B. 2017. Kent Ağaçları, Süs Bitkileri ve Meyve Ağaçlarında Bakım ve Budama Esasları-Bahçivanlık EL Kitabı.
- Demir, O. 2007. Anız Parçalama Makinasının Performans Değerlerinin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Tarım Makinaları A.B.D., Konya.
- Dereli, İ. 2009. Bağ Çubuklarını Parçalama Makinalarında Kullanılan Farklı Bıçak Tiplerinin Parçalama Performansına Etkileri. Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Tarım Makinaları A.B.D., İzmir.
- Dobooğlu, H., Çınar, İ. 2012. Liyofilizasyonun Karadut *Morus nigra* Kurutmadaki Potansiyelinin Belirlenmesi. *Akademik Gıda*, 10 (2), 40-47.

- Dursun, İ., Dursun, E., & Beyaz, A. 2017. Bitki Yüzey Artığı Kaplama Yüzdesinin Belirlenmesinde Kullanılan Farklı Yöntemlerin Karşılaştırılması. *Yüzyüncü Yıl Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi*, 550-557.
- Dyjakon K., Boer J. D., Bukowski P., Adamczyk F., Frackowiak P. 2016. Wooden biomass potential from apple orchards in Poland. *Drewno*, 59(198):73-86.
- El-Juhany L. I. 2001. Surveying of lignocellulosic agricultural residues in some major cities of Saudi Arabia. *Research Bulletin* No. 100:5-23 (In Arabic).
- EPDK, 2023. Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu. <https://www.epdk.gov.tr/> [Son erişim tarihi: 11.06.2023]
- Evcim, H.Ü. 1990. Tarımsal Mekanizasyon İşletmeciliği ve Planlaması Veri Tabanı. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, No: 495, İzmir. 44 ss.
- Fedrizzi M., Sperandio G., Pagano M., Pochi D., Fanigliulo R., Recchi P. 2012. A prototype machine for harvesting and chipping of pruning residues: first test on hazelnut plantation (*Corylus avellana* L.). *International Conference of Agricultural Engineering*, CIGR-Ageng, July 8-12 2012. Valencia, Spain.
- Fernlund, J.M.R.. 2005. Image analysis method for determining 3-D size distribution of coarse aggregates. *Cement and Concrete Research* 35(8)1629-1637.
- Gilanipoor, N., Spinelli, R., Naghdi, R., Najafi, A. 2020. Utilization of woody pruning residues of apple trees. *Forest Science and Technology*, 16:4, 216-223.
- Giorio, C., Pizzini, S., Marchiori, E., Piazza, R., Grigolato, S., Zanetti, M., Cavalli, R., Simoncin, M., Soldà, L., Badocco, D., & Tapparo, A. 2019. Sustainability of using vineyard pruning residues as an energy source: Combustion performances and environmental impact. *Fuel*, 243, 371-380.
- Holtz BA., Caesar-TonThat T., McKenry MV. 2005. Wood chipping almond bruch and its effect on soil and petiole nutrients, soil aggregation, water infiltration, and nematode and basidiomycete population. 247-254, *Options Méditerranéennes*, Série A, Numéro 63.
- Işık, A., 1988. Sulu Tarımda Kullanılan Mekanizasyon Araçlarının Optimum Makina ve Güç Seçimine Yönelik İşletme Değerlerinin Belirlenmesi ve Uygun Seçim Modellerinin Oluşturulması Üzerinde Bir Araştırma (Doktora Tezi). Ç.Ü. Fen Bilimleri Enst., Tarımsal Mekanizasyon Anabilim Dalı, Adana.
- Işık, A., Sabancı, A. Ve Ağanoğlu, V. 1988. Tarımsal Mekanizasyonda Satınalma ve Kiralamaya Etkili Faktörlerin Çukurova Koşullarında Değerlendirilmesi. Tarımsal Mekanizasyon 11. Ulusal Kongresi Bildiri Kitabı, 114-123, Erzurum.
- İlhan, D. 2017. Bitki Biyoteknolojisinde Genetik Kaynakların Önemi. Kafkas Üniversitesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*. Cilt 10, Sayı 2 , 134-144.

- Jiménez-Jiménez, F., Blanco-Roldán, G. L., Márquez-García, F., Castro-García, S., & Agüera-Vega, J. 2013. Estimation of soil coverage of chopped pruning residues in olive orchards by image analysis. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 11(3), 626.
- Kallestad J.F., Mexal J.G., Sammis T.W. 2008. Mesilla Valley Pecan Orchard Pruning Residues: Biomass Estimates and Value-Added Opportunities. NM state University, Agricultural Experiment Station, College of Agriculture and Home Economics. Research Report 764.
- Kıraç, Ç. 2005. İlaç Damlacık Dağılımının Görüntü Analiziyle Değerlendirilmesi” Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Tarım Makinaları A.B.D., Ankara.
- KKYDP, 2013. Kırsal Kalkınma Yatırımlarının Desteklenmesi Programı Kapsamında Makina ve Ekipman Alımlarının Desteklenmesi Hakkında Tebliğ. Tebliğ No: 2013/27, Resmi Gazete Sayı: 28689., 26.06.2013, Çarşamba. http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2013/06/20130626_31.htm , Erişim: Mayıs 2014.
- Korucu, T. ve Yurdağül F. C., 2013. Toprak Yüzeyindeki Anız Miktarının Belirlenmesinde Yeni Bir Yaklaşım Olarak Görüntü İşleme Yönteminin Kullanılması. *Journal of Agricultural Faculty of Gaziosmanpaşa University*, 30(2013-2), 6-17.
- Mani S., Sokhansanj S., Bi X., Turhollow A. 2006. Economics of producing fuel pellets from biomass. *Applied Engineering in Agriculture*. 22(3):421-426.
- Manzanares P., Ruiz E., Ballesteros, M., Negro M.J., Gallego F.J., López-Linares J.C., Castro E. 2017. Residual biomass potential in olive tree cultivation and olive oil industry in Spain: valorization proposal in a biorefinery context. *Spanish Journal of Agricultural Research*. 15(3),e0206, 12 pages.
- Margaritis, N., Grammelis, P., Karampinis, E., Kanaveli, I-P. 2020. Impact of Torrefaction on Vine Pruning’s Fuel Characteristics. *J. Energy Eng*, 146(3): 04020006.
- Miyata E.S. 1980. Determining Fixed and Operating Cost Of Logging Equipment. USDA Forest Service, General Technical Report NC-55. North Central Forest Experiment Station, St. Paul-Minnesota, USA, 16 page.
- Naimi L J., Sokhansanj S., Mani S., Hoque M., Bi T., Womac AR., Narayan S. 2006. Cost and performance of woody biomass size reduction for energy production. *CSBE/SCGAB 2006 Annual Conference*, Paper No:06-107, Edmonton Alberta.
- Nasser RN., Al-Mefarrej AA. 2011. Evaluation of using midribs of date palm fronds as a raw material for woodcement composite panels industry in Saudi Arabia. *Agricultural Engineering Research Journal*, 1(3):43-50.

- Nilsson, J. W., ve Riedel, S. A. 2008. Electric Circuits: Student Study Pack. Pearson Education, Limited.
- Öngören, N. & Sessiz, A. 2022. Bağ ve Bahçe Atıklarının Değerlendirilmesinde Kullanılan Mekanik Yöntemler. *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 18(2): 58-67.
- Öngören, N. 2021. Bağ budama atıklarının parçalanmasında kullanılacak bir makinanın modifikasyonu ve performansının değerlendirilmesi. Yüksek lisans tezi, Dicle Üniversitesi, Diyarbakır, 56 s.
- Özlü, R., Güner, M. 2016. Farklı Nem Düzeylerinde Kanola Tohumlarının Fiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi. *Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*. 33 (Ek Sayı), 10-24.
- Özüpek, O., Bakoğlu, N., Güneş, N. T. 2013. Türkiye’de Meyvecilik İhracatının Durumu ve Beklentileri. *Tarım Türk Dergisi* 4(3): 11-15.
- Pekitkan, F. G., Çanakci, M., Sessiz, A., Esgici, R. 2022. Parçalama Makinalarının Tasarımında Kullanılmak Üzere Farklı Budama Artıklarının Bazı Kesme Özelliklerinin Belirlenmesi. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*. 19(2), 390-403.
- Repullo M.A., Carbonell R., Hidalgo J., Rodrı’guez-Lizana A., Ordo’ñez R. 2012. Using olive pruning residues to cover soil and improve fertility. *Soil & Tillage Research*, 124:36–46.
- Savoie, P. Gagnon-Bouchard, M. 2012. High-Speed Processing of Woody Stems with a Flail Hammer Shredder. *Applied Engineering in Agriculture*. 27, (1): 5-12.
- Savoie, P., Audy-Dubé, M.-A., Pilon, G., Morissette, R. 2013a. Chopped forage particle size analysis in one, two and three dimensions. ASABE Annual International Meeting, Paper number 131620148, Kansas City, Missouri, July 21 - July 24.
- Savoie, P., Pilon, G., Mani, S. 2013b. Particle size measurement by static and dynamic image analysis for processed woody biomass crops. ASABE Annual International Meeting, Paper number 131578073, Kansas City, Missouri, July 21 - July 24.
- Sayın, S. Ve Özgüven, F. 1995. Ülkemizde Yaygın Kullanılan Tarım Makinalarının Yapımı ve Kullanım Maliyetlerinin Hesaplanması Üzerine Bir Araştırma. Tarımsal Mekanizasyon 16. Ulusal Kongresi Bildiri Kitabı, 585-594, Bursa.
- Sındır, K.O. 1999. Tarımda Makina Seçimi ve Ortak Kullanım Modelleri. T.C. Başbakanlık Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü Yayınları: 110, Ankara.
- Spinelli R., Magagnotti N. and Nati C., 2010. Harvesting Vineyard Pruning Residues for Energy Use. *Biosystems Engineering* 105, 316–322.

- Spinelli R., Nati C., Pari L., Mescalchin E., Magagnotti N. 2012. Production and quality of biomass fuels from mechanized collection and processing of vineyard pruning residues. *Applied Energy*, 89:374–379.
- Spinelli, R., Magagnotti, N., Paletto, G., & Preti, C. 2011. Determining the impact of some wood characteristics on the performance of a mobile chipper. *Silva Fennica*, 45(1).
- Sterrett K., Sheldon WM., 1963. Evaluating and Selecting Chemical Equipment – Design and Uses of Choppers and Shredders. *Industrial And Engineering Chemistry*. 55(2):45-50.
- Suardi, A., Latterini, F., Alfano, V., Palmieri, N., Bergonzoli, S., Karampinis, E., Kougioumtzis, M.A., Grammelis, P., Pari, L. 2020. Machine Performance and Hog Fuel Quality Evaluation in Olive Tree Pruning Harvesting Conducted Using a Towed Shredder on Flat and Hilly Fields. *Energies*, 13, 1713–1728.
- Suardi, A., Saia, S., Alfano, V., Rezaei, N., Cetera, P., Bergonzoli, S., & Pari, L. 2021. Pruning harvesting with modular towed chipper: Little effect of the machine setting and configuration on performance despite strong impact on wood chip quality. *Plos One*, 16(12), e0261810.
- Sümer, S. K., Kavdir, Y., Çiçek, G. 2016. Türkiye’de Tarımsal ve Hayvansal Atıklardan Biyokömür Üretim Potansiyelinin Belirlenmesi. *KSÜ Doğa Bil. Derg.*, 19(4), 379-387.
- Şeflek Y, Çarman K., Özbek O. 2006. Budama atıklarının parçalanmasında kullanılan makinanın performans değerlerinin irdelenmesi. Ege Üniversitesi Basımevi, *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 2(3):219-224.
- TÜİK, 2023. Türkiye İstatistik Kurumu. <http://www.tuik.gov.tr> [Son erişim tarihi: 11.06.2023]
- Velázquez-Martí, B., Fernández-González, E. 2009. Analysis of the process of biomass harvesting with collectingchippers fed by pick up headers in plantations of olive trees. *Biosystems Engineering* 104: 184–190.
- Yağcıoğlu, A. 1999. Tarım Ürünleri Kurutma Tekniği. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, No: 536, İzmir
- Yang, Y., 2007. Image and Sieve Analysis of Biomass Particle Sizes and Separation After Size Reduction. Unpublished MS Dissertation, The University of Tennessee, Knoxville, TN.
- Yeniocak M., 2008. Bağ Budama Atıklarının Yonga Levha Üretiminde Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Muğla Üniversitesi Mobilya ve Dekorasyon A.B.D., Muğla, 76 s.

- Yiğit, M. 2013. İki Farklı Budama Atığı Parçalama Makinasının Performans Değerlerinin Karşılaştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları Ana Bilim Dalı, Antalya, 63 s.
- Yiğit, M. ve Çanakcı, M. 2020. Comparison of the technical and economic performances of two different shredders on pomegranate pruning residues. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 18(1), e0202.
- Yiğit, M., Çanakcı, M. 2021. *Budama Makinası Bıçağı*. Tasarım Tescili. Türk Patent ve Marka Kurumu, No: 2021 010165, Tarih 25.10.2021



ÖZGEÇMİŞ

Mete YİĞİT

ÖĞRENİM BİLGİLERİ

Doktora 2013-2023	Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği A.B.D., Antalya
Yüksek Lisans 2010-2013	Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği A.B.D., Antalya
Lisans 2004-2009	Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Ekonomisi Bölümü, Antalya

MESLEKİ ve İDARİ GÖREVLER

Araştırma Görevlisi 2009-2019	Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü, Antalya
----------------------------------	--

ESERLER

Uluslararası hakemli dergilerde yayımlanan makaleler

1. Yilmaz, H., Çanakci, M., Topakci, M., Karayel, D., Yiğit, M., Ortaçşme, D. "In-situ pelletization of campus biomass residues: Case study for Akdeniz University", Renewable Energy, Volume 212, 2023, Pages 972-983, ISSN 0960-1481.
2. Yiğit M., Çanakci M., "Comparison of the technical and economic performances of two different shredders on pomegranate pruning residues", Spanish Journal of Agricultural Research, Vol.18, no.1, pp. e0202-e0202, 2020.
3. Çanakci M., Topakci M., Karayel D., Ağsaran B., Kabaş Ö., Yiğit M., "The effect of different blades on the performance values of a pruning chopper used to improve soil properties", Bulgarian Journal of Agricultural Science, vol.25, no.5, pp.1052-1059, 2019.
4. Ünal İ., Topakci M., Çanakci M., Karayel D., Yiğit M., "Linearity Comparison Of Single And Dual Frequency Gps Receivers Under Dynamic Conditions", Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, no.2, ss.85-92, 2012.
5. Topakci M., Ünal İ., Çanakci M., Yiğit M., Karayel D., "Improvement of field efficiency measurement system based on GPS for precision agriculture applications", Journal of Food Agriculture, vol.8, pp.288-292, 2010.

Ulusal bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitaplarında basılan bildiriler

1. Çanakci M., Topakci M., Karayel D., Ünal İ., Çakir M., Yiğit M., et al., "Kendi Yürür Bir Budama Artığı Parçalama Makinası İşletme Giderlerinin Belirlenmesi", 31. Ulusal Tarımsal Mekanizasyon ve Enerji Kongresi, Bursa, Türkiye, 5-7 Eylül 2018, ss.77-77
2. Topakci N., Adak N., Çanakci M., Yiğit M., "Bitkisel Artıkların Değerlendirilmesine Yönelik Farkındalık Oluşturma Çalışmaları/Create Awareness Studies on the Evaluation of Plant Based Wastes. ", XIII. Congress of Ecology and Environment, Edirne, Türkiye, 12-15 Eylül 2017, pp.1-1
3. Çanakci M., Yiğit M., "Türkiye’de Meyve Yetiştiriciliği Mekanizasyonuna Yönelik Yapılan Bilimsel Araştırmalar: Literatür Çalışması", 27. Tarımsal Mekanizasyon Ulusal Kongresi, Samsun, Türkiye, 5-7 Eylül 2012, ss.82-92