



T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ-CERRAHPAŞA
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



DOKTORA TEZİ

**ENDÜSTRİYEL LİGNOSELÜLOZİK ATIKLARIN KARAKTERİZASYONU ve
SINIFLANDIRILMASINDA KEMOMETRİK YÖNTEMLERİN UYGULANMASI**

Mehtap ERDİL

**DANIŞMAN
Prof. Dr.Nural YILGÖR**

**II. DANIŞMAN
Prof. Dr.Ozan KOCADAĞLI**

Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Orman Endüstri Mühendisliği, Doktora Programı

Aralık, 2023

TEZ KABUL VE ONAYI

Mehtap ERDİL tarafından, **Prof. Dr. Nural YILGÖR** danışmanlığında hazırlanan "**Endüstriyel Lignoselülozik Atıkların Karakterizasyonu ve Sınıflandırılmasında Kemometrik Yöntemlerin Uygulanması**" başlıklı bu çalışma, jürimiz tarafından **17/01/2024** tarihinde yapılan sınav sonucunda **oy birliği** ile başarılı bulunarak **Doktora tezi** olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi		İmza	Sonuç
DANIŞMAN	Prof. Dr. Nural YILGÖR İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı		<input checked="" type="checkbox"/> Kabul <input type="checkbox"/> Ret
ÜYE	Prof. Dr. Bilgin İÇEL Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Tasarım Anabilim Dalı		<input checked="" type="checkbox"/> Kabul <input type="checkbox"/> Ret
ÜYE	Doç. Dr. Naim SEZGİN İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Çevre Mühendisliği, Çevre Mühendislik Anabilim Dalı		<input checked="" type="checkbox"/> Kabul <input type="checkbox"/> Ret
ÜYE	Prof. Dr. Ayşe Dilek DOĞU İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı		<input checked="" type="checkbox"/> Kabul <input type="checkbox"/> Ret
ÜYE	Doç. Dr. Gülder KEMALBAY Yıldız Teknik Üniversitesi İstatistik Anabilim Dalı		<input checked="" type="checkbox"/> Kabul <input type="checkbox"/> Ret

BEYAN

Bu tez çalışmasının kendi çalışmam olduğunu, tezin planlanmasından yazımına kadar bütün aşamalarda etik dışı davranışımın olmadığını, bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve bilimsel etik kuralları içinde elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve bu kaynakları da kaynaklar listesine aldığımı, yine bu tezin çalışılması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını ve her türlü hukuki sorumluluğu aldığımı kabul ederim.

Mehtap ERDİL

(İmza)



Aileme ithaf ediyorum...

BÜTÇE DESTEKLERİ

**ENDÜSTRİYEL LİGNOSELÜLOZİK ATIKLARIN KARAKTERİZASYONU ve
SINIFLANDIRILMASINDA KEMOMETRİK YÖNTEMLERİN UYGULANMASI**

Bu çalışma İstanbul Üniversitesi- Cerrahpaşa Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon
Birimi tarafından desteklenmiştir. Proje numarası: FDK-2021-36203

TEŞEKKÜR

“Endüstriyel Lignoselülozik Atıkların Karakterizasyonu ve Sınıflandırılmasında Kemometrik Yöntemlerin Uygulanması” adlı bu çalışma İ.Ü.-Cerrahpaşa Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Orman Endüstri Mühendisliği Programı’nda Doktora Tezi olarak sunulmuştur. Yapılan bu çalışma ile ahşap atıklarla ilgili bir sınıflandırma yapmayı ve bunu yaparken öncelikle tehlikeli ve tehlikesiz olarak ayırt edebilecek bir modelleme oluşturmak amaçlanmıştır.

Tez konumun belirlenmesinde yardımcı olan ve buna bağlı olarak bu önemli konuda çalışma imkânı sağlayan, beni yönlendiren, samimi ilgi ve yardımlarını esirgemeyen, öğrenimim boyunca derin tecrübelerinden, yapıcı değerlendirmelerinden istifade ettiğim saygı değer hocalarım İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Orman Endüstri Mühendisliği Orman Ürünleri Kimyası ve Teknolojisi Anabilim Dalından değerli danışman hocam Prof. Dr. Nural Yılgör’e ve Mimar Sinan Üniversitesi İstatistik anabilim dalında istatistik analizler konusunda beni yönlendiren eş değer danışmanım saygı değer hocam Prof. Dr. Ozan Kocadağlı hocama en içten dileklerle teşekkür ederim. Çalışmamın uygulama laboratuvar kısmında bana yardımcı olan araştırma görevlisi Kemal Parlak’a teşekkür ederim. İstanbul Üniversitesi Bap projesi kapsamında Orman Mühendisliği Toprak İlimi ve Ekoloji Anabilim dalındaki laboratuvarında ki hizmet alımında ICP-OES analizinde gerçekleştirilen ölçümlerde yardımını esirgemeyen Doç. Dr. Serdar Akburak hocama teşekkür ederim. Çalışmanın gerçekleşmesinde ahşap atık örneklerinin toplanmasında, temin edilmesinde katkılarını esirgemeyen ve destek olan Odun Mekaniği ve Teknoloji Anabilim Dalında fakültemizin dekanı olan Prof. Dr. Turgay Akbulut’a ve fakültemizin orman endüstri bölüm başkanı ve dekan yardımcısı Prof. Dr. Türker Dünder’a, Orman Biyolojisi ve Koruma Anabilim dalında Prof. Dr. S. Nami Kartal’a ve Araştırma görevlisi Ekim E. Soyürk’e, Odun Mekaniği ve Teknolojisi Ana Bilim Dalında Öğretim görevlisi Hüseyin Akkılıç’a ve Araştırma Görevlisi H. Volkan Görgün’e, Beykoz Belediyesi’ne, Samsun İli 19 Mayıs Belediyesi’ne, ahşaptan endüstriyel üretim yapan tüm firmalara ve empenyeli ahşap entegre firmalarına en içten teşekkürlerimi sunarım. Çalışmamdaki hesaplama ve değerlendirme aşamasında benimle fikirlerini paylaşan, tez izleme toplantılarında beni yönlendiren değerli jüri üyelerim Çanakkale On sekiz Mart Üniversitesinde Tasarım bölümünde görev yapan değerli hocam Prof. Dr. Bilgin İçel, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Çevre Mühendisi bölümünde görev yapan değerli hocam Doç. Dr. Naim Sezgin hocama gösterdikleri ilgi ve destekleri için şükranlarımı sunarım. Bu çalışmamda gerek maddi gerek manevi desteğini esirgemeyen, bana her zaman sabır ve anlayış gösteren, beni bugünlere getiren ve sonsuza kadar minnettar olduğum canım aileme özellikle de tezim için bana yol gösteren ablama en içten teşekkürlerimi sunarım.

Aralık 2023

Mehtap ERDİL

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
TEZ KABUL VE ONAYI	ii
BEYAN	iii
BÜTÇE DESTEKLERİ	v
TEŞEKKÜR	vi
ŞEKİL LİSTESİ	x
TABLO LİSTESİ	xiii
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ	xvi
ÖZET	xx
ABSTRACT	xxii
1. GİRİŞ	1
1.1. TEZİN AMAÇLARI.....	3
1.2. TEZ ÇALIŞMASININ KAPSAMI	4
1.3. LİTERATÜRDE YER ALAN ÇALIŞMALAR.....	7
2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE	22
2.1. ATIK KAVRAMI.....	22
2.2. ATIK YÖNETİMİ HİYERARŞİSİ	22
2.3. ATIKLARIN SINIFLANDIRILMASI.....	30
2.3.1. Katı Atıklar	30
2.3.1.1. Endüstriyel Lignoselülozik Atıkların Sınıflandırılması.....	34
2.3.1.1.1. Ülkelere göre Endüstriyel Lignoselülozik Atıkların Sınıflandırılması.....	34
2.3.1.1.2. Karakterizasyona göre Lignoselülozik Atık Olan Odun Atığının Sınıflandırılması	37
2.3.1.1.3. Kentsel Dönüşüm Odun Atıkları	41
2.3.1.2. Odun Atığının Oluşum Kaynakları	41
2.3.1.2.1. Ham Ağaç Ürünleri.....	41
2.3.1.2.2. Mobilya İmalatı	42
3. YÖNTEM	47
3.1. MALZEME.....	47

3.1.1.	Analizlerde Kullanılan Malzemeler ve Hazırlık Süreci	47
3.1.2.	Malzemelerin Analizler için Hazırlanması.....	48
3.1.3.	Endüstriyel Lignoselülozik Odun Atıkları	48
3.2.	YÖNTEM	50
3.2.1.	Kemometrik Yöntemler	50
3.2.1.1.	<i>Element İçerik Tayini</i>	51
3.2.1.2.	<i>Toplam Halojenür Tayini</i>	53
3.2.1.3.	<i>FTIR-ATR (Fourier Transform Infrared-FTIR Spektrometre) Analizi</i>	53
3.2.2.	Sınıflandırma Analizleri	55
3.2.3.	En İyi Modelin Belirlenmesi	57
3.2.3.1.	<i>Yapay Sinir Ağları (YSA)</i>	57
3.2.3.2.	<i>Rastgele Orman (RF)</i>	58
3.2.3.3.	<i>Çoklu Lojistik Regresyon (ÇLR)</i>	60
3.2.4.	Paket Program	62
4.	BULGULAR	64
4.1.	SINIFLANDIRMA ANALİZLERİ	64
4.2.	EN İYİ MODELİN BELİRLENMESİ	64
4.2.1.	Yapay Sinir Ağı (YSA) Analizi	64
4.2.1.1.	<i>İkili Kategorik Sınıflandırmaya göre YSA Analizi Uygulaması</i>	64
4.2.1.2.	<i>Dörtlü Kategorik Sınıflandırmaya göre YSA Analizi Uygulaması</i>	67
4.2.2.	Rasgele Orman (RF) Yöntemi	69
4.2.2.1.	<i>İkili Kategorik Sınıflandırmaya göre RF Analiz Uygulaması</i>	70
4.2.2.2.	<i>Dörtlü Kategorik Sınıflandırmaya göre RF Analiz Uygulaması</i>	72
4.2.3.	Çoklu Lojistik Regresyon (ÇLR) analizi.....	75
4.2.3.1.	<i>İkili Kategorik Sınıflandırmaya göre ÇLR Analiz Uygulaması</i>	75
4.2.3.2.	<i>Dörtlü Kategorik Sınıflandırmaya göre ÇLR Analiz Uygulaması</i>	76
4.3.	PAKET PROGRAM ÇIKTILARI.....	78
4.3.1.	İkili Kategorik Sınıflandırmaya Göre En Uygun Modelin Belirlenmesi	78
4.3.2.	Dörtlü Kategorik Sınıflandırmaya göre En Uygun Modelin Belirlenmesi.....	83
4.4.	ELEMENT İÇERİK TAYİNİ UYGULAMASI.....	89
5.	TARTIŞMA	94
5.1.	SINIFLANDIRMA ANALİZLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ.....	94
5.2.	EN İYİ MODELİN DEĞERLENDİRİLMESİ.....	94
5.2.1.	YSA Analizi Değerlendirmesi.....	94

5.2.1.1.	<i>İKili Kategorik Sınıflandırmaya göre YSA Analizi Değerlendirmesi</i>	94
5.2.1.2.	<i>Dörtlü Kategorik Sınıflandırmaya göre YSA Analizi Değerlendirmesi</i>	96
5.2.2.	RF Analizi Değerlendirmesi	98
5.2.2.1.	<i>İKili Kategorik Sınıflandırmaya göre RF Analizi Değerlendirmesi</i>	98
5.2.2.2.	<i>Dörtlü Kategorik Sınıflandırmaya göre RF Analizi Değerlendirmesi</i>	99
5.2.3.	ÇLR Analizi Değerlendirmesi	101
5.2.3.2.	<i>Dörtlü Kategorik Sınıflandırmaya göre ÇLR Analizi Değerlendirmesi</i>	103
5.3.	PAKET PROGRAM ÇIKTILARININ DEĞERLENDİRİLMESİ	105
5.3.1.	İKili Kategorik Sınıflandırmaya göre En Uygun Modelin Değerlendirmesi	105
5.3.2.	Dörtlü Kategorik Sınıflandırmaya göre En Uygun Modelin Değerlendirmesi	105
5.4.	ELEMENT İÇERİK TAYİNİ DEĞERLENDİRMEİ	109
6.	SONUÇ VE ÖNERİLER	110
	KAYNAKLAR	113
	EKLER	135
	EK-1	135
	EK-2	137
	EK-3	139
	ETİK KURUL İZİN YAZISI	142
	KURUM İZİN YAZILARI	143
	ÖZGEÇMİŞ	144

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa No
Şekil 2.1: Atık ve atık oluşumu (Mickey, 2014).	22
Şekil 2.2: Atık yönetim hiyerarşisi (Mickey, 2014).	22
Şekil 2.3: Atıkların sınıflandırılması (Avrupa Birliği Ambalaj Atıkları Kontrolü Yönetmeliği, 2008; Sayar, 2012; Karasu,2013; Gündüzalp ve Güven, 2014; Mickey,2014).....	30
Şekil 2.4: Katı atıklar (Avrupa Birliği Ambalaj Atıkları Kontrolü Yönetmeliği, 2008; Sayar, 2012).....	31
Şekil 2.5: Katı atıkların sınıflandırılması (Environmental Protection Agency (EPA), 2002).	32
Şekil 2.6: Atık odunun kategorileri (Alakangas , 2014).....	39
Şekil 2.7: Alakangas'a göre odun atığının sınıflandırmasında kullanılan atık şeması (Alakangas vd., 2015).....	40
Şekil 2.8: Kentsel dönüşüm atıkları (Sarah vd., 2017).....	41
Şekil 2.9: Ham Ağaç Ürünleri Proses Atıkları ve Üretim Noktaları (Çevre, Şehircilik ve İklim Bakanlığı Sektörel Atık Kılavuzları, 2016).....	41
Şekil 2.10: Ağaç Panel Ürünleri Proses Atıkları ve Üretim Noktaları (Çevre, Şehircilik ve İklim Bakanlığı Sektörel Atık Kılavuzları, 2016).	42
Şekil 2.11: Mobilya üretim tesislerinde proses atık üretim noktaları (Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Sektörel Atık Kılavuzları, 2016).	42
Şekil 3.1: Tedarik edilen endüstriyel lignoselülozik atıkları.....	47
Şekil 3.2: Yongalama.	48
Şekil 3.3: Öğütücü	48
Şekil 3.4: Endüstriyel lignoselülozik odun atıkları	49
Şekil 3.5: Kemometrinin ilişkili olduğu alanlar (Brereton, 2003).....	50
Şekil 3.6: Endüstriyel lignoselülozik odun atıklarının ICP analizi için örnek hazırlanması... ..	51
Şekil 3.7: ICP cihazı.	52
Şekil 3.8: UV Vis spektrofotometre.	53
Şekil 3.9: Elektromanyetik ışın spektrumunun yapısı (Davies, 2005; Baier, 2012).....	53
Şekil 3.10: FTIR-ATR cihazı	54

Şekil 3.11: Basit YSA yapısı (Url-2).....	57
Şekil 3.12: Karar ağacı ve random forest (Url-3).....	59
Şekil 3.13: Makine öğrenmesine göre kullanılan sınıflandırma analizleri.....	62
Şekil 4.1: İkili kategorik sınıflandırmaya göre başarı performansı iyi olan YSA analizine göre sınıflama değerleri.	66
Şekil 4.2: İkili kategorik sınıflandırmaya göre başarı performansı iyi olan YSA analizindeki (modelindeki) ROC eğrisi.	66
Şekil 4.3: Dörtlü kategorik sınıflandırmaya göre YSA analizindeki (modelindeki) sınıflama değerleri.	68
Şekil 4.4: Dörtlü kategorik sınıflandırmaya göre YSA analizindeki ROC eğrisi.	69
Şekil 4.5: İkili kategorik sınıflandırmaya göre RF analizindeki sınıflama değerleri (a-eğitim, b-test).	70
Şekil 4.6: İkili kategorik sınıflandırmaya göre RF analizindeki değişkenler.	70
Şekil 4.7: İkili kategorik sınıflandırmaya göre RF analizindeki ROC eğrisi.	71
Şekil 4.8: Dörtlü kategorik sınıflandırmaya göre RF analizindeki sınıflama değerleri (a-eğitim, b-test).	72
Şekil 4.9: Dörtlü kategorik sınıflandırmaya göre RF analizindeki değişkenler.	73
Şekil 4.10: Dörtlü kategorik sınıflandırmaya göre RF analizinin ROC eğrisi.	74
Şekil 4.11: İkili kategorik sınıflandırmaya göre en iyi ÇLR analizine ait sınıflama değerleri.	75
Şekil 4.12: Dörtlü kategorik sınıflandırmaya göre en iyi ÇLR analizine ait sınıflama değerleri.	76
Şekil 4.13: İkili kategorik sınıflandırmaya göre en uygun modelin test edilmesi (k-fold=5) 78	
Şekil 4.14: İkili kategorik sınıflandırmaya göre en uygun modelin test edilmesi (k-fold=10)79	
Şekil 4.15: İkili kategorik sınıflandırmaya göre optimal SVM modeline ait eğitim veri seti. .81	
Şekil 4.16: İkili kategorik sınıflandırmaya göre optimizable SVM'nin test veri seti.....	82
Şekil 4.17: İkili kategorik sınıflandırmaya göre optimizable SVM modeline ait ROC eğrileri (a-eğitim veri seti; b-test veri seti).....	82
Şekil 4.18: Dörtlü kategorik sınıflandırmaya göre en uygun modelin test edilmesi	83
Şekil 4.19: Dörtlü kategorik sınıflandırmaya göre en uygun modelin test edilmesi	84

Şekil 4.20: Dörtlü kategorik sınıflandırmaya göre optimizable SVM'e ait eğitim veri seti. ..86

Şekil 4.21: Dörtlü kategorik sınıflandırmaya göre optimizable SVM'e ait test veri seti 87

Şekil 4.22: Dörtlü kategorik sınıflandırmaya göre optimizable SVM modeline ait ROC eğrileri (a-eğitim; b-test)..... 88



TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 1.1: Orman ürünleri endüstrisinde çıkan atık miktarları (2016-2018) (TÜİK,2019; Gürel, 2020).....	6
Tablo 2.1: Malzeme cinsi bazlı yıllık hedef dönüşüm oranları (Ambalaj atıkları yönetmeliği, 2021).....	26
Tablo 2.2: Almanyadaki endüstriyel lignoselülozik atıkların sınıflandırması (FAO, 2021)...	35
Tablo 2.3: Finlandiyadaki endüstriyel lignoselülozik atıkların sınıflandırması (FAO, 2021).	35
Tablo 2.4: Odun Geri Dönüşüm Birliği'ne göre Birleşik Krallıktaki endüstriyel lignoselülozik atıkların sınıflandırması (Department of Environment Food and Rural Affairs, 2012; FAO, 2021).(İlgili tablonun notlar kısmı burada yer almamaktadır)	36
Tablo 2.5: Fransadaki endüstriyel lignoselülozik atıkların sınıflandırılması (Besserer vd., 2021; FAO, 2021).....	36
Tablo 2.6: Türkiyedeki endüstriyel lignoselülozik atıkların sınıflandırması (Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Sektörel Atık Klavuzları,2016; FAO, 2021).....	37
Tablo 2.7: Tehlikeli ve tehlikesiz odun atıklarının tanımlanması ve kaynakları (Eurostat, 2018).....	38
Tablo 2.8: Prosese özel atıklar (Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Sektörel Atık Klavuzları, 2016).....	43
Tablo 2.9: Prosese özel atıkların devamı (Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Sektörel Atık Klavuzları, 2016).	44
Tablo 2.10: Yan proseslerden kaynaklanan atıklar (Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Sektörel Atık Klavuzları, 2016).....	44
Tablo 2.11: Yan proseslerden kaynaklanan atıkların devamı (Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Sektörel Atık Klavuzları, 2016).....	45
Tablo 2.12: Proses dışı atıklar (Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Sektörel Atık Klavuzları, 2016).....	45
Tablo 2.13: Proses dışı atıklar devamı (Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Sektörel Atık Klavuzları, 2016).	46
Tablo 3.1: Endüstriyel lignoselülozik odun atıkları ve alınan örnek sayıları.....	48
Tablo 4.1: İkili kategorik sınıflandırmaya göre YSA analizi.	65
Tablo 4.2: Dörtlü kategorik sınıflandırmaya göre YSA analizi.	67

Tablo 4.3: RF analizinde ikili ve dörtlü kategorik sınıflar için belirlenen önemli değişkenler	74
Tablo 4.4: LR analizinde ikili ve dörtlü kategorik sınıflar için belirlenen önemli değişkenler	77
Tablo 4.5: İkililer kategorik sınıflandırmaya göre tespit edilen uygun modeller.	80
Tablo 4.6: Dörtlü kategorik sınıflandırmaya göre tespit edilen en uygun modeller.	85
Tablo 4.7: Masif odun atık numunelerine (MSF) ait element tayini sonuçları.	90
Tablo 4.8: Emprenyeli odun atık numunelerine (E) ait element tayini sonuçları.	91
Tablo 4.9: Mobilya odun atık numunelerine (M) ait element tayini sonuçları.	92
Tablo 4.10: Tutkal içerikli odun atık numunelerine (T) ait element tayini sonuçları.	93
Tablo 5.1: İkililer kategorik sınıflandırmaya göre YSA analizi	94
Tablo 5.2: İkililer kategorik sınıflandırmaya göre YSA analizindeki sınıflandırma rnekleri	94
Tablo 5.3: İkililer kategorik sınıflandırmaya göre YSA analizinde ataması hatalı yapılan örnekler ve hangi dalga boyunda (DB) bulduklarına dair veriler	95
Tablo 5.4: Dörtlü kategorik sınıflandırmaya göre YSA analizi	96
Tablo 5.5: Dörtlü kategorik sınıflandırmaya göre YSA uygulamasındaki sınıflandırma rnekleri	96
Tablo 5.6: Dörtlü kategorik sınıflandırmaya göre YSA uygulamasında ataması hatalı yapılan örnekler ve hangi dalga boyunda (DB) bulduklarına dair veriler	97
Tablo 5.7: İkililer kategorik sınıflandırmaya göre RF analizi (eğitim veri seti)	98
Tablo 5.8: İkililer kategorik sınıflandırmaya göre RF analizindeki eğitim veri setine göre sınıflandırma rnekleri	98
Tablo 5.9: İkililer kategorik sınıflandırmaya göre RF analizi (test verisi)	99
Tablo 5.10: İkililer kategorik sınıflandırmaya göre RF analizindeki test veri setine göre sınıflandırma rnekleri	99
Tablo 5.11: Dörtlü kategorik sınıflandırmaya göre RF analizi (eğitim veri seti)	99
Tablo 5.12: Dörtlü kategorik sınıflandırmaya göre RF uygulamasındaki eğitim veri setine göre sınıflandırma rnekleri	100
Tablo 5.13: Dörtlü kategorik sınıflandırmaya göre RF analizi (test verisi)	100
Tablo 5.14: Dörtlü kategorik sınıflandırmaya göre RF analizindeki test veri setine göre sınıflandırma rnekleri	101

Tablo 5.15: İkili kategorik sınıflandırmaya göre ÇLR analiz değerlendirilmesi.....	101
Tablo 5.16: İkili kategorik sınıflandırmaya göre ÇLR analizindeki sınıflandırma örnekleri.	102
Tablo 5.17: İkili kategorik sınıflandırmaya göre ÇLR analizinde ataması hatalı yapılan örnekler ve hangi dalga boyunda (DB) bulduklarına dair veriler.....	102
Tablo 5.18: Dörtlü kategorik sınıflandırmaya göre ÇLR analizi değerlendirilmesi.....	103
Tablo 5.19: Dörtlü kategorik sınıflandırmaya göre ÇLR uygulamasındaki sınıflandırma örnekleri.....	103
Tablo 5.20: Dörtlü kategorik sınıflandırmaya göre ÇLR analizinde ataması hatalı yapılan örnekler ve hangi dalga boyunda (DB) bulduklarına dair veriler.....	104
Tablo 6.1: Sınıflandırma analizinde kategorik sınıflara göre başarı yüzdeleri.....	111

SİMGE VE KISALTIMA LİSTESİ

Simgeler	Açıklama
ACQ	: Amonyak bakır kuarterner amonyum bileşiği (Ammonia Copper Quaterner amonium)
ACZA	: Amonyak bakır çinko arsenat (Ammonia Copper Zinc Arsenate)
Al	: Alüminyum
As	: Arsenik
CCA	: Bakır krom arsenik (Copper chrome arsenic)
Cd	: Kadmiyum
Cr	: Krom
Cu	: Bakır
Fe	: Demir
Hg	: Civa
Ni	: Nikel
Pb	: Kurşun
S	: Kükürt

Kısaltmalar	Açıklama
A	: Tehlikeli bileşenlerin konsantrasyonlarından bağımsız olarak tehlikeli
AB	: Avrupa Birliği
ATR	: Zayıflatılmış toplam yansıma (Attenuated Total Reflection)
AgNPs	: Nanogümüş parçacıkları
BAD	: Temel yoğunluk
BP	: Geri yayılım
BWCCF	: Bambu-ahşap kompozit konteyner zemini
C&DW	: İnşaat ve Yıkım Atık (Construction demolition wastes)
ÇLR	: Çoklu lojistik regresyon
DL-DA	: Diyagonal doğrusal diskriminant analizi
E	: Emprenye içerikli ahşap atığı
EC	: Avrupa Komisyonu (European Commision)

ED-XRF	: Enerji Dağılımlı X-ışını Floresan (Energy Dispersive X-ray Florescence)
EDX	: Enerji dağılımlı X-ışını spektroskopisi
EEA	: Avrupa Çevre Ajansı (European Environmental Agency)
EN	: Avrupa Normu (European Norm)
EPA	: Avrupa Koruma Ajansı (European Protection Agend)
ETS	: Emisyon ticaret sistemi (Emission Trading System)
FDR	: Yanlış bulgu oranları (False Discovery Rates)
FNR	: Yanlış negatif oranları (False Negative Rates)
FTIR-ATR	: Fourier dönüşümlü kızılötesi-zayıflatılmış toplam yansıma spektroskopisi (Fourier Transform Infrared Attenuated total reflectance Spektrofotometer)
FT-NIR	: Fourier dönüşümlü yakın kızılötesi spektroskopisi (Fourier Transform Near Infrared Reflectance Spektroskopy)
GA	: Genetik algoritma
GSYİH	: Gayri Safi Yurtiçi Hasıla
GYA	: Geniş yapraklı ağaç
IBS	: İç bağ mukavemeti
ICP	: Endüktif eşleşmiş plazma (Inductively Coupled Plasma)
ICP-MS	: Endüktif eşleşmiş plazma-Kütle Spektroskopisi (Inductively Coupled Plasma-Mass Spectroskopy)
ICP-OES	: Endüktif eşleşmiş plazma-Optik emisyon spektroskopisi (Inductively Coupled plasma-Mass Spectroskopy)
ISO	: Ulusal Standard Organizasyonu (International Organization for Standardization)
İYA	: İğne yapraklı ağaç
KNN	: K en yakın komşu algoritması (K-Near Neighbour)
lm	: Levenberg Marquardt algoritması
LR	: Lojistik regresyon
LS-SVM	: En küçük kareler destek vektör makinesi regresyonu (Least square-Supported vector machine)
MSF	: Masif ahşap atığı
M	: Mobilya atığı
M	: Tehlikeli bileşenlerin konsantrasyonlarına bağlı olarak tehlikeli ya da tehlikesiz
MAPE	: Ortalama mutlak yüzde hatası
MFI	: Eriyik akış indeksi
MDF	: Orta yoğunlukta lif levha

MDP	: Orta yoğunluklu yonga levha
MIR	: Orta kızılötesi spektroskopisi
MOE	: Elastikiyet modülü
MOR	: Kopma modülü
NIRS	: Yakın kızıl ötesi spektroskopileri (Near infrared spectroscopies)
O-PLS	: Ortogonal Kısmı En Az Kareler (Orthogonal Part Least Squares)
OSB	: Yönlendirilmiş yonga levha (Oriented Strand Board)
PCA	: Temel bileşenler analizi (Principle component analizi)
PCA2D	: Temel bileşen analizine dayalı iki boyutlu korelasyon spektroskopisi
PCB	: Poliklorobifenil
PCR	: Temel bileşen regresyonu (Principle component regression)
PCT	: Poliklorlu tertefenil
PLS	: Kısmi en küçük kareler (Part least squares)
P-LSA	: Olasılıklı gizli anlamsal analiz
PLS-DA	: Kısmi en küçük kareler diskriminant analiz (Part least squares-Discriminate analysis)
PLSR	: Kısmi en küçük kareler regresyonu (Part least squares regression)
PPV	: Pozitif tahmin değerleri (Positive predictive values)
R	: Kolerasyon katsayısı
R²	: Belirleme katsayısı
RBF	: Radyal temelli fonksiyon
RMSE	: Kök-ortalama-kare hatası
RF	: Rastgele orman (Random forest)
ROC	: Alıcı işlem karakteristiği (Receiver operating characteristic curve)
scg	: Ölçekli eşlenik gradyan algoritması (Scaled conjugated gradient algorithm)
SEM	: Taramalı elektron mikroskobu (Scanning electron microscopy)
SIMCA	: Yumuşak bağımsız sınıf analojisi modellemesi (Soft Independent Modelling of Class Analogy)
SPPCA	: Denetimli olasılıksal temel bileşen analizine dayalı kalibrasyon modeli
SVM	: Destek vektör makinesi (Supported vector machine)
SWS	: Vida çekme dayanımı
T	: Sadece tutkal içeren(panel) ahşap atığı
TGA	: Termo gravimetrik analiz (Thermo gravimetric analysis)
TPR	: Doğru pozitif oranları (True Positive Rates)

TS	: Türk Standartı
UNEP	: Birleşmiş Milletler Çevre Programı
VDP	: Dikey yoğunluk profili
XRF	: X-ışını floresanı (X-ray fluorescence)
WPC	: Odun plastik kompoziti (Wood Plastic Composite)
YEK	: Yenilenebilir enerji kaynağı
YSA	: Yapay sinir ağı



ÖZET**[DOKTORA TEZİ]****[Endüstriyel Lignoselülozik Atıkların Karakterizasyonu ve Sınıflandırılmasında
Kemometrik Yöntemlerin Uygulanması]****[Mehtap ERDİL]****İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa****Lisansüstü Eğitim Enstitüsü****Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı****Orman Endüstri Mühendisliği, Doktora Programı****[Danışman: Prof. Dr.Nural YILGÖR****II. Danışman:Prof. Dr.Ozan KOCADAĞLI]**

[Ahşap malzeme, insanlık tarihi boyunca kolay elde edilebilmesi, kolay işlenebilmesi, sıcak görünümü, sağlıklı bir malzeme olması ve en önemlisi çevre dostu olması nedeniyle önemini hiçbir zaman yitirmeyen bir malzemedir. Günümüzde hammadde kaynaklarının hızlı bir şekilde tüketilmesinden ötürü sürdürülebilir kaynaklardan elde edilmesi nedeniyle ahşabın ve elde edildiği odun hammaddesinin önemi daha da artmıştır. Ahşap (lignoselülozik) atıklar, gerek ahşap malzemelerin üretimleri sırasında gerekse kullanım amaç ve ömürlerini tamamlamaları sonucunda atık olarak ortaya çıkmaktadır. Ancak bu atıkların değerlendirilebilmesi için içeriklerinin bilinmesi ve sınıflandırmalarının doğru şekilde yapılması büyük önem arz etmektedir. Ormanlar, odun işleyen endüstrilerin giderek artan taleplerini karşılamakta gün geçtikçe zorlanmakta ve arz talep dengesi ormanlar aleyhine bozulmaktadır. Ahşap atıkların doğru sınıflandırılmaları, odun işleyen endüstriler için önemli ölçüde hammadde sağlayabilir ve bu şekilde sürdürülebilirliğe katkıda bulunabilir. Öte yandan enerji konusunun gündemdeki yerinin önemini koruması nedeniyle, ahşap endüstrisi için hammadde vasfına sahip olmayan atıkların enerji elde etme konusunda değerlendirilmesi

yine doğru bir sınıflandırma yapmak ile mümkün olacaktır. Bir şekilde oluşan ahşap atıkların tehlikelilik sınıflandırılmasının yapılabilmesi için kimyasal içeriklerinin bilinmesi gerekir. Çünkü ahşap malzemeler üretimleri sırasında ve kullanım yerlerinde çeşitli kimyasal ve fiziksel işlemlere maruz kalmaktadırlar. Ahşap atıkların içeriğinde bulunan ağır metaller ve halojenürler, TS EN ISO 17225-1 (2021) Katı biyo yakıtlar standardına göre değerlendirilir. Atık örneklerdeki değerler standartdaki değerlerden daha yüksek ise tehlikeli atık olarak tanımlanarak bertaraf edilmeleri yönünde karar verilir veya özel yöntemlerle yakılmaları gerekir.

Yapılan çalışma ile endüstriyel lignoselülozik atıkların kimyasal içeriğinin belirlenmesi amacı ile Endüktif eşleşmiş plazma-Kütle Spektroskopisi (ICP-MS) ve Endüktif eşleşmiş plazma-Optik Emisyon Spektroskopisi (ICP-OES) ve Fourier dönüşümlü kızılötesi-zayıflatılmış toplam yansıma spektroskopisi (FTIR-ATR) cihazları ile analizler gerçekleştirilmiştir. ICP analizleri ile atıkların ilgili standartta belirtilen değerlere uygunluğu incelenmiştir. Bu çalışmada 200 adet dört farklı kökenden gelen ahşap atık örneği, bu tür atıklarda uygulanan işlemler nedeniyle ilgili standarda göre üst limitleri aşma olasılığı yüksek olan 11 elementin (Pb (Kurşun), Cd (Kadmiyum), Al (Alüminyum), Fe (Demir), Zn (Çinko), Cu (Bakır), Cr (Krom), Ni (Nikel) ve S (Kükürt)) analizlerinin ICP-MS ve ICP-OES cihazlarında yapılması ile belirlenmiştir. Örneklerin FTIR-ATR spektrofotometre cihazı yardımı ile ölçümleri yapılarak elde edilen spektrumları, yapay sinir ağları (YSA), rasgele orman (RF), çoklu lojistik regresyon (ÇLR) gibi makine öğrenmesi yöntemleri kullanılarak atık içeriğini otomatik olarak sınıflandıracak hibrit yapay zekâ tabanlı bir karar destek sistemi geliştirilmeye çalışılmıştır. Bu çalışmanın amacı, ahşap atıkların kimyasal açıdan karakterizasyonunu ICP ve FTIR-ATR enstrümental analiz yöntemleri ile yaparak, FTIR-ATR spektrum verilerinin kullanımıyla makine öğrenmesi yöntemleri ile ahşap atıkların sınıflandırılmasına yönelik en uygun modelin tespit edilmesidir. Böylece, gerek insan ve çevre sağlığı açısından gerekse bu atıkların üretim döngüsüne girerek ülke ekonomisine ciddi bir katkı sağlayacak şekilde kullanılabilmelerinin sağlanması amacıyla tehlikeli ve tehlikesiz şeklinde sınıflandırılmaları hedeflenmiştir. Çalışmada RF analizi ile hem iki kategorik hem de dört kategorik sınıflar için % 100 sınıflandırma başarı düzeyine ulaşılmıştır.

[Aralık2023 ,168 |sayfa.

Anahtar kelimeler: Endüstriyel Lignoselülozik Atıklar, FTIR-ATR, ICP, Makine Öğrenmesi, İstatistiksel Modelleme.

ABSTRACT**|PhD Thesis|****|APPLICATION OF CHEMOMETRIC METHODS IN CHARACTERIZATION AND
CLASSIFICATION OF INDUSTRIAL LIGNOCELLULOSIC WASTES |****|Mehtap ERDİL|****İstanbul University-Cerrahpaşa****Institute of Graduate Studies****Forest Industrial Engineering****Forest Industrial Engineering****|Supervisor: Prof.Dr.Nural YILGOR****Co-Supervisor: Prof.Dr.Ozan KOCADAĞLI |**

[Wood material is a material that has never lost its importance throughout the history of mankind due to its easy availability, easy processing, warm appearance, being a healthy material and most importantly being environmentally friendly. Today, due to the rapid consumption of raw material resources, the importance of wood and the raw material from which it is obtained has increased even more due to the fact that it is obtained from sustainable sources. Wood (lignocellulosic) wastes arise as waste both during the production of wood materials and as a result of the completion of their intended use and life cycle. However, in order to utilize these wastes, it is of great importance to know their contents and to classify them correctly. Forests are having difficulty day by day in meeting the increasing demands of wood processing industries and the balance of supply and demand is deteriorating to the detriment of forests. The correct classification of wood waste can provide important raw materials for wood processing industries and thus contribute to sustainability. On the other hand, due to the continuing importance of the energy issue on the agenda, it will be possible to utilize wastes that do not qualify as raw materials for the wood industry in terms of energy generation by making a correct classification. In order to classify the hazardousness

of wood wastes in some way, their chemical contents should be known, because wood materials are exposed to various chemical and physical processes during their production and at their places of use. Heavy metals and halides contained in wood wastes are evaluated according to TS EN ISO 17225-1 (2021) Solid biofuels standard. If the values in the waste samples are higher than the values in the standard, they are defined as hazardous waste and should be disposed of, or incinerated by, special methods.

Inductively coupled plasma-Mass Spectroscopy (ICP-MS) and Inductively coupled plasma-Optical Emission Spectroscopy (ICP-OES) and Fourier transform infrared-attenuated total reflectance spectroscopy (FTIR-ATR) devices were used to determine the chemical content of industrial lignocellulosic wastes. The compliance of the wastes with the values specified in the relevant standard was examined by ICP analyses. In this study, 200 wood waste samples from four different origins were analyzed by ICP-MS and ICP-OES for 11 elements (Pb (Lead), Cd (Cadmium), Al (Aluminum), Fe (Iron), Zn (Zinc), Cu (Copper), Cr (Chromium), Ni (Nickel) and S (Sulphur)) which are likely to exceed the upper limits according to the relevant standard due to the processes in such wastes. An attempt was made to develop a hybrid artificial intelligence-based decision support system that will automatically classify the waste content by using machine learning methods such as artificial neural networks (ANN), random forest (RF), and multiple logistic regression (MLR) by using the spectra obtained by measuring the samples with the help of FTIR-ATR spectrophotometer device. The aim of this study is to perform chemical characterization of wood wastes by ICP and FTIR-ATR instrumental analysis methods and to determine the most appropriate model for the classification of wood wastes by machine learning methods using FTIR-ATR spectrum data. Thus, it is aimed to classify these wastes as hazardous and non-hazardous, both in terms of human and environmental health and in order to ensure that these wastes can be used in a way that will make a significant contribution to the national economy by entering the production cycle. In the study, 100% true classification achievement is reached for both two categorical and four categorical classes with RF analysis.]

[December 2023, 168 pages.

Keywords: Industrial Lignocellulosic Waste, Instrumental Analysis Methods, Machine Learning, Statistical Modeling.]

1. GİRİŞ

Doğal kaynakların günden güne tüketilmesinden dolayı günümüzde atık malzemelerin değerlendirilerek yeni ürünler olarak ekonomiye kazandırılması büyük önem arz etmektedir. Ülkemiz orman ürünleri sanayi, hem küçük, orta ve büyük ölçekli işletmelerin sayısı hem de üretim ve istihdam bakımından ülke ekonomisine katkısı ile önemli bir fonksiyona sahip güçlü bir sanayidir. Orman ürünleri endüstrisi; odunu hammadde olarak kullanan kereste, ahşap levha, mobilya, kâğıt gibi büyük ve önemli sektörleri içermektedir. Bu sektörlerden birisi odunu doğrudan işleyen kereste endüstrisidir. Levha endüstrisinde odun hammaddesi çeşitli tutkallarla ve sertleştiricilerle karıştırılarak basınç altında preslenmekte ve diğer sektörlerin kullanımına yönelik bir hammadde haline getirilmektedir. Mobilya endüstrisinde ise kereste ve/veya levha ürünleri kullanım amacı doğrultusunda hammadde olarak değerlendirilmekte ve ağaç malzemeye tutkal, boya, vernik, cila gibi çeşitli kimyasallar uygulanmaktadır. Ayrıca ağaç malzemenin biyolojik zararlılara karşı korunmasına yönelik özellikle dış ortamlarda uzun süre kullanım dayanıklılığını sağlamak amacıyla çeşitli kimyasal maddeler ile emprenye edilmesi mümkündür. Bu amaçla kullanılan kimyasal çoğunlukla insan sağlığına zarar vermektedir.

Orman ürünleri endüstrisinde; odun hammaddesi, bükme, yarma, kesme, soyma, biçme, yongalama, liflendirme, yapıştırma, presleme, buharlama, kurutma, emprenyeleme vb. işlemler yoluyla çeşitli ürünlere dönüştürülmektedir (Hisarlı, 1990; Orüs, 1991; Tutuş ve Tozluoğlu, 2008; Kılıç, 2014). Gerek bu ürünlerin üretim süreçlerinde gerekse bu ürünlerin kullanıldıktan sonra işlevlerini tamamladıkları için atılmaları nedeniyle ahşap atıklar ortaya çıkmaktadır. Ayrıca ülkemiz gibi kentsel dönüşümün yoğun olarak uygulandığı bir ülkede yıkılan binalardan geriye önemli miktarda atık ahşap çıkmaktadır. Orman ürünleri endüstrisinde üretim faaliyetleri sonucunda, prosese özel, yan prosesler ve proses dışı odun atıkları oluşmaktadır (Çevre, Şehircilik ve İklim Bakanlığı, 2016). Orman endüstrisi, artan hammadde fiyatları ve hammaddeye ulaşma sıkıntısının çözümüne katkı sağlama bakımından odunsu atıkların değerlendirilmesi potansiyeline sahiptir. Dolayısı ile bu atıkların değerlendirilmesi, sürdürülebilir üretime katkı sağlayacağı için milli servet olan ormanların yükünü azaltması açısından da önemlidir (Hisarlı, 1990; Demirkır ve Çolak, 2006).

Avrupa’da ormana dayalı atıkların biyokütle olarak kullanılması yaşayan ya da yakın zamanda yaşamış olan ve fosilleşmemiş tüm biyolojik malzemelerin yakılarak bir enerji kaynağı olarak değerlendirilmesi uzun yıllardan beri uygulanmaktadır ve yapılan tüm öngörüler bu durumun gelecekte de artacağı yönündedir. Bu nedenden dolayı fosil yakıtlara bağımlılığı azaltmak ve sera etkisine neden olan emisyonları sınırlandırarak iklim krizinin olumsuz sonuçlarını en aza indirmek ile birlikte karbon deposu bir malzemenin işlenerek fosil tabanlı malzemelerin yerine kullanılabilmesi için kalıcı ürünlere dönüştürülmesi ile karbonu tutma işlevinin sürdürülmesi konusu çok daha büyük önem arz edecektir (Pentti, vd.,2002; Kamm vd., 2006). Avrupa Birliği (AB)’ nin Yenilenebilir Enerji Kaynakları (YEK) politikası ve sera gazı salınımları için emisyon ticareti sistemi bu amaçla kullanılmaktadır. YEK Politikası, 2020 yılı itibariyle AB’de tüketilen toplam enerjinin en az %20’sinin yenilebilir enerji kaynaklarından elde edilmesini öngörmektedir. Bu durum, AB kapsamında karbon nötr olarak sınıflandırılan ahşap kullanımının daha da artacağını ortaya koymaktadır. Enerjide karbon deposu odun kullanımı yerine rüzgar, güneş vb. gibi emisyon oluşturmeyen, karbon nötr doğal kaynaklara yönelmenin ormanlar üzerindeki baskıyı azaltacağı da dikkat çekmektedir. Tomruk artıklarının ve geri dönüştürülmüş ahşap formlarının, pek çok Avrupa ülkesinde geniş ölçüde yeniden hammadde olarak kullanılması karbon tutma işlevlerini sürdürmesiyle orman kaynaklarının sürdürülebilirliğine katkı sağlamaktadır (Kamm vd.,2006; Davis, vd. 2013; Zheng vd.,2014; TOBB, 2015; TORID, 2017; Williams, 2005; Özertan ve Coşkun, 2021). Orman kaynaklarından elde edilen odun hammaddesinin üstünlüklerinin çok fazla olması ve yeni teknolojik gelişmelerle birlikte kullanım alanlarının her geçen gün artması orman alanlarından sağlanacak odun hammaddesinin miktarı üzerinde bir kuvvet oluşturmaktadır. Bu nedenle, masif ağaç malzeme yerine odun kökenli levhaların kullanılması, ağaç malzemenin yeniden kullanılması, atıklarının değerlendirilmesi ve ağaç atıklarından enerji üretilmesi gibi birçok geleneksel ve teknolojik alternatif yöntemler geliştirilmektedir. Bu süreçler içerisinde, özellikle orman ürünleri endüstrisinde üretim süreçleri sırasında ortaya çıkan ahşap atıkların değerlendirilmesi büyük önem kazanmaktadır. Orman ürünleri endüstrisi üretim aşamalarında oluşan atıkların türü ve hacmi çeşitli faktörlere bağlı olarak zaman içerisinde değişebilmektedir (Davis vd., 2013; TOBB, 2015; Özertan ve Coşkun, 2021). Günümüzde odun kökenli atıkların geri dönüşümü ve yeniden değerlendirilme seçeneklerini 4 ana grupta toplamak mümkündür (Hisarlı ,1990; Çolak vd., 2005; Demirkır ve Çolak, 2006). Bunlar:

1. Odun atıklarının yeniden kullanımı (büyük bir masadan küçük masa yapmak, yetişkin yatağından çocuk yatağı yapmak veyahut bir ofis masasından bilgisayar masası yapmak), atık ürünlerin yapısını bozmadan yine benzer malzemelerin üretimi;
2. Doğrudan geri dönüşüm, atığın bir ahşap ürün olarak kullanımı için yeniden işlenmesi (odun hammaddesi işleyen bir fabrikanın odunsu atık materyallerinin yongalanarak yongalevha üretiminde kullanılması);
3. Dolaylı geri kazanım, atık ürünün ahşap malzeme dışında çeşitli kullanım yerlerinde değerlendirilmesi (hayvan yatakları, odun-plastik kompozitleri);
4. Enerji üretiminde odun kökenli atıkların elektrik veya ısı üretimi elde etmek amacıyla kullanılması

Gerek odun işleyen endüstrilerde atık olarak ortaya çıkan ahşap atıklar gerekse tüketici ile buluştuktan sonra kullanım ömrünü tamamlayarak atılan ve atık haline gelen ürün formundaki ahşap atıklar değerlendirilerek en uygun şekilde yeniden kullanılmalıdır (Williams, 2005). Böyle bir geri dönüşüm ve yeniden kullanım bu atıkların içeriklerinin bilinmesi ve ona göre sınıflandırılması ile mümkün olabilir. Doğru bir sınıflandırmanın yapılması içeriğinde kimyasal madde barındırmayan atıkların tekrar üretim döngüsüne girerek hammadde olarak kullanılmasına olanak sağlarken, içerisinde çeşitli kimyasallar bulunan ama bu kimyasal bileşiklerin TS EN ISO 17225-1 (2021) standardındaki üst limitleri aşmayan değerlere sahip atıkların uygun yakma ünitelerinde yakılarak enerji üretilmesine olanak sağlayacaktır. Odun geri dönüşümünü anlamak ve en uygun teknikleri geliştirerek, bu kaynakları ekonomiye katkı sağlayacak şekilde kullanmak için odun atıklarını her yönüyle ele alabilecek şekilde doğru analiz etmek oldukça önemlidir. Bu bilgiler odunun geri dönüşümü ve geri kazanımı için en uygun endüstriyel planlamayı yapmaya yardımcı olacaktır (Demirkır ve Çolak, 2006).

1.1. TEZİN AMAÇLARI

Bu çalışmanın amacı, tehlikeli ve tehlikesiz ahşap atıkların kimyasal içeriğini ICP (Endüktif Eşleşmiş Plazma (Inductive Column Plasma)) ve FTIR-ATR (Fourier dönüşümlü kızılötesi-zayıflatılmış toplam yansıma spektroskopisi (Fourier Transform Infrared Attenuated total reflectance Spectrophotometer)) enstrümental analiz yöntemleri ile karakterize ederek, sadece FTIR spektrum verileri kullanılarak yapay sinir ağları (YSA), rasgele orman (RF), çoklu lojistik regresyon (ÇLR) gibi makine öğrenmesi yöntemleri ile ikili ve dörtlü kategorik

sınıflandırma modellerinin oluşturulması ve alternatif modeller içinden en iyisinin seçilmesidir. Bu amaçla öncelikle temin edilen örneklerde hem FTIR-ATR ile örneklerin spektrumları alınmış, hem de ICP ile TS EN ISO 17225-1 (2021) standardı doğrultusunda belirli elementler için standarda uygunluk değerlendirmesi yapılmıştır.

1.2. TEZ ÇALIŞMASININ KAPSAMI

Orman endüstri atıklarının ülke ekonomisine katkı sağlayacak ve insan ve çevre sağlığına zarar vermeyecek şekilde tekrar kullanılabilmesi için kimyasal yapılarının çeşitli enstrümental analiz yöntemleri ile karakterize edilmesi sonucu elde edilecek verilerin uygun istatistiksel yöntemlerle değerlendirilerek uygun modellemeler ile sınıflandırmasının yapılması, bu atıkların hammadde olarak veya biyokütle olarak doğru şekilde değerlendirilebilmesi için büyük bir önem taşımaktadır. Katı atıkların doğru şekilde sınıflandırılması doğaları gereği oldukça zordur. Çünkü gerek içerikleri gerekse kaynağında toplanmamaları durumunda farklı atıklar ile karışmaları ve kontamine olmaları nedeni ile sınıflandırılmaları istenen faydayı sağlayacak düzeyde olamamaktadır. Dünyada katı atıklar ve katı atıkların modellemesine yönelik çevresel amaçlı birçok çalışma bulunmaktadır. Akıllı katı atık yönetim uygulamasını yapan Los Angeles County de Geleneksel Atık Hiyerarşisini tersine çevirerek yeni bir atık yönetimi paradigması oluşturmuşlardır. Burada geliştirilen bir akıllı çöp kutusu kullanılarak yenilenebilir enerji desteği ile atığın azaltılması söz konusudur. Burada atıkların azaltılmasında atık hiyerarşisinde yer alan tekrar kullanma ve geri dönüştürme işlemleri etkin şekilde kullanılarak atıkların hacminin en aza indirilmesi hedeflenmektedir (County of Los Angeles Department of Public Works, 2014: 2; County of Los Angeles Department of Public Works, 2014: 21; Söylemez, 2018). Torontoda akıllı kent yönetiminde atık sihirbazı (Waste Wizard) uygulaması hayata geçirilmiştir. Bu uygulama ile kentte yaşayanların yaşam alanlarında oluşan atıkların ne şekilde ayrıştırılacağı belirlenmektedir. Bu atıkların bir kısmı geri dönüşümde değerlendirilmek üzere ayrılırken, iyi durumda olan malzemeler (kullanılan kıyafetleri, oyuncakları, kitapları ve daha fazlası) ihtiyaç sahiplerine ulaştırılmak üzere depolanmaktadır. Organik ürünler ise kompost yapmak üzere depolanmaktadır (City of Toronto, 2018; Söylemez, 2018).

Ekolojik farkındalık ve atık yönetimi konularında dünyada en önemli ülkelerden birisi olan İsveç'te evsel atıkların %99'u geri dönüştürmekte ve bu atıklardan enerji elde edilmektedir. 4 ton çöpün yakılması ile kazanılan enerji miktarı, 1 ton akaryakıtın sağladığı enerjiye eşittir. İsveçli yetkililere göre çöpler sürekli var ve ücretsiz ise, çöpleri değerlendirmek iyi bir

yatırımdır. Çöpler (evsel atıklar), belediyenin vermiş olduğu hizmetlerle henüz evlerden toplama aşamasında ayrıştırılmaktadır. Çöpler malzeme cinslerine göre ayrı çöp kutularında toplanmaktadır. Kaynağında ayrıştırma olarak adlandırılan bu yöntem ile katı atıklar herhangi bir kontaminasyona uğramaksızın en temiz ve doğru şekilde ayrıştırılmaktadır (Url-6; Tezel ve Yıldız, 2020). Tokyo'da 2013 yılı itibari ile 19 adet çöp yakma tesisi mevcuttur. Bu tesislerden elde edilen elektrik enerjisi miktarı 1.130 milyon kilovat saattir. Bu enerji kent de önemli miktarda yerleşim yerinin elektrik enerjisi ihtiyacını karşılamaktadır. Geri dönüştürülebilen atıklar, plastik, kâğıt, cam, teneke kutular olarak her ilçenin belirlemiş olduğu günlerde ayrı ayrı toplanmakta ve geri dönüşümde değerlendirilmektedir (Url-7; Tezel ve Yıldız, 2020). Yeni Zelanda Devleti'nde her yıl 60 kiloton cam, arazi dolgusunda kullanılmaktadır. DB Breweries isimli bira şirketi de kendi bira şişelerini toplayıp, topladığı şişlerden kumsallara kazandırılmak üzere doğal yöntemle kum elde etmektedir. (Url-8; Tezel ve Yıldız, 2020). Coca-Cola Geri Dönüşüm Kampanyası (Vietnam) Coca-Cola firması boş plastik kola şişelerini tekrar kullanıma kazandırmak amacıyla toplamaktadır. Firmanın Vietnam şehrinde başlattığı kampanya ile toplanan plastik şişeler farklı nesnelere dönüştürülmektedir. Söz konusu proje ile kola şişeleri ve aksesuarları tekrar işlenerek çeşitli sos şişeleri, su tabancası, boya fırçası, sabunluk ve spreyci şişelerine dönüştürülmektedir. Ayrıca, Coca-Cola firması geri dönüşüme olan ilginin artması amacı ile Bangladeş şehrinin 6 noktasına "Happiness Arcade" adı verilen oyun makineleri koymuştur. Bu oyun makineleri atık pet şişeler ile çalışmaktadır (Url-9; Tezel ve Yıldız, 2020). Hollanda'da bulunan Groningen şehrinde yeni nesil belediyecilik açısından şehirde akıllı atık yönetimi uygulaması benimsenmiştir. Şehirde bulunan çöp kutuları dolduklarında toplama merkezine mesaj göndermektedir. Böylece belediye, zaman, yakıt ve işgücünden tasarruf etmiştir. Zira, belediye çöp kamyonlarını yalnızca çöp kutuları dolduğunda boşaltmak üzere o bölgeye yönlendirmektedir. Groningen Belediye'si bu uygulama ile yılda 92.000 Euro tasarruf etmektedir (Url-10; Tezel ve Yıldız, 2020).

Son yıllarda levha endüstrisinin hızla büyümesi ve ülkemiz orman kaynaklarının istenen düzeyde hammadde temin edememesi nedeniyle, özellikle bu endüstri hammadde temini açısından ciddi bir çıkmaza girmiştir ve ihtiyacının bir kısmını ithalat yoluyla karşılamaya başlamıştır. Başta İtalya olmak üzere Avrupa Birliği üyesi ülkelerin çoğunda endüstri ve son tüketici ahşap atıklarının geri kazanılarak ilgili endüstrilerin hammadde temininde

kullanılması ülkemiz açısından da böyle bir değerlendirmenin yapılabilirliğini düşündürmüştür.

2016-2018 yılları arasında orman ürünleri endüstrisinde çıkan atık miktarları Tablo 1 de gösterilmiştir. Literatürden alınan (Sims, 2002; Yorulmaz, 2006) verilere göre endüstriyel odun üretimi $0,35 \text{ ton/m}^3$, atık miktarının üretime oranı ise 0,5'tir (TÜİK, 2019; Gürel, 2020).

Tablo 1.1: Orman ürünleri endüstrisinde çıkan atık miktarları (2016-2018) (TÜİK,2019; Gürel, 2020).

Yıl	Toplam Atık Kereste Miktarı (ton)	Endüstriyel odun atık miktarı (ton)	Ahşap Bazlı Panel Atıkları (ton)			Ahşap Bazlı Panel Atıkları [Kontrplak+Sunta+MDF] (ton)
			Kontrplak	Sunta	MDF	
2016	2549700	2976749	30000	504240	447264	981504
2017	2434800	2716283	26250	514320	417736	958306
2018	2461500	3339023	28000	522600	432080	982680

Tablo 1.1 de ilgili sektörlerden çıkan atığın oldukça fazla miktarlarda olduğu görülmektedir. Bu atıkların atık sahalarına ulaşmadan yani diğer atıklarla kontamine olmadan tekrar üretim döngüsüne sokulabilmesi, hammadde gereksiniminin karşılanmasında büyük önem arz edecektir. Ancak üretim sırasında çeşitli kimyasal ve fiziksel uygulamalara maruz kalan atıkların geri kazanılıp kazanılamayacağına yönelik içeriklerinin belirlenmesi ve sınıflandırma işlemlerinin yapılması üretim döngüsüne girecek materyalin izlenebilirliğini mümkün kılacaktır. Ayrıca bu atıkların bir kısmı ilgili sektörlerde yakılarak enerji üretiminde kullanılmaktadır. Temiz enerji elde edebilmek adına bu atıkların içeriklerinin TS EN ISO 17225-1 (2021) Katı biyo yakıtlar isimli standarttaki koşulları sağladığından da emin olmak gerekmektedir. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı ahşap atıkların elde edildiği kaynaktan dahi yakılarak biyoenerjiye dönüştürülmesi konusunda söz konusu standarda uygunluğunu şart koşmaktadır (Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Sektörel Atık Kılavuzları, 2016; TS EN ISO 17225-1, 2021). Atığın enerji elde etmek amacıyla değerlendirilmek istenmesi durumunda dahi yapısında bulunabilecek kimyasal maddelerin ilgili standarda göre belirlenmesi, uygun olmaması durumunda bertaraf edilmesi gerekmektedir.

Türkiye de orman ürünleri sektöründe faaliyette bulunan tüm endüstrilerde, odun esaslı atıkların sınıflandırılması konusunda kimyasal karakterizasyon yapılarak elde edilen verilerin değerlendirilmesine dayanan kapsamlı bir çalışma bulunmamaktadır.

Bu çalışmada ülkemizde yer alan kereste, levha, mobilya ve emprenye sektörlerinde ortaya çıkan ahşap bazlı atıkların sınıflandırılması amacıyla FTIR-ATR cihazından elde edilen veriler bir takım ön işlemden (normalizasyon işleminin yapılması, belirli dalga boylarının belirlenmesi gibi) geçirilerek düzenlendikten sonra sınıflandırma analiz yöntemleri olan yapay sinir ağı (YSA), rasgele orman (RF), çoklu lojistik regresyon (ÇLR) ile sınıflandırılmaya çalışılmıştır. Ayrıca sınıflandırma öğrenimi ile en uygun model(ler) belirlenmiştir. Ahşap atıkların bu kapsamda sınıflandırılmasına yönelik bir çalışma yalnızca ülkemizde değil dünyada da ilkler arasında yer alacaktır.

1.3. LİTERATÜRDE YER ALAN ÇALIŞMALAR

Yapılan literatür çalışmasında orman ürünleri endüstrisi (kereste, kağıt, odun vb.) konusunda FTIR ve NIR gibi cihazlarla yapılan çalışmalar ve elde edilen verilerin istatistiksel analiz yöntemleri kullanılarak modelleme uygulamalarının yapıldığı çeşitli çalışmalar görülmüştür.

Schimleck ve arkadaşları (1996), odun örneklerinin yakın kızıl ötesi (NIR) spektrumlarının PCA (Temel bileşenler Analizi- Principle Component Analysis) analizi yardımıyla çam ve okaliptüs odunları arasında, farklı okaliptüs türlerinden odunlar ve kaynaklar arasında ve farklı sahalardaki aynı okaliptüs türleri arasında ayırım yapmak için kullanılabilirliğini araştırmışlardır.

Atık ahşabın geri dönüşümü, kullanılan çeşitli toksik ahşap koruyucular, vernikler ve boyalar nedeniyle büyük sorunlara neden olmaktadır. Yıkım sahalarındaki işlem görmüş ve görmemiş ahşabın hızlı ve güvenilir bir şekilde ayrılması ve sınıflandırılması, örneğin yonga levha üretimi için ahşabın geri dönüşümünde yeni yollar açabilir. Bu amaçla, Feldhoff ve arkadaşları (1998) inorganik ahşap koruyucuları (arsenik, bor, bakır tuzları) ile işlem görmüş ahşap örneklerini yakın kızılötesi spektroskopisi ile incelemişlerdir. Çoğu durumda, işlem görmüş ahşap örnekleri işlem görmemiş olanlardan ayırt edilebilmiştir. Ayrıca ahşap koruyucunun türü de belirlenebilmiştir.

Michell ve Schimleck (1998), çeşitli okaliptüs türlerinden PCA modelleri arasındaki farklılıkları belirlemek için Sınıf Analojisinin Yumuşak Bağımsız Modeli (Soft Independent Modelling of Class Analogy (SIMCA)) modeli yaklaşımını kullanarak araştırmışlardır.

De Groot ve arkadaşları (1999; 2001; 2002) NIR sensörünün; ahşap, plastik ve taştan oluşan yıkım atıklarını birbirinden ayırmak için indirgenmiş yansıma spektrumlarını (mini spektrumlar olarak adlandırılır) ölçtüğünü göstermişlerdir. Bu spektrumların sınıflandırılması için doğrusal diskriminant analizi kullanmışlardır. Kennard-Stone algoritması ve bir istatistiksel test prosedürü olarak iki nesne seçim yöntemi ile incelemişlerdir. Ayrıca, yıkım atıkları için kuru/ıslak durumun ve konveyördeki konumlandırmanın etkisini de araştırmışlardır.

Schimleck ve arkadaşları (2000) da NIR spektroskopisi ve çok değişkenli analiz ile belirlenen okaliptüslerin odun özelliklerinin ağaç içi varyasyonu üzerinde ortamın etkisini araştırmışlardır. Burada çoklu değişken analiz yöntemlerinden SIMCA ve PCA yöntemlerini kullanmışlardır.

Thygesen ve Lundqvist (2000^a; 2000^b), değişken sıcaklık koşulları altında ahşapta nem içeriğini belirlemeye yönelik NIR cihazının uygulanabilirliğini denemişlerdir. Norveç ladininden elde edilen masif ahşap örneklerinin NIR spektrumlarındaki 220-258⁰C arasındaki termal etkiler sistematik olarak değerlendirilmiştir ve nem içeriğinin belirlenmesi için NIR spektrum verilerini kullanarak Kısmi En Küçük Kareler (Partial Least Square, PLS) regresyonu uygulanması durumunda yöntemin başarılı olduğunu ortaya koymuşlardır.

Rials ve arkadaşları (2002) bir dizi orta yoğunluklu lif levha (MDF) örneğini karakterize etmek için NIR spektroskopisini kullanmışlardır. Bu spektroskopik yöntem ile çok çeşitli fiziksel özelliklere sahip MDF numunelerinin mekanik mukavemetini etkili bir şekilde tahmin etmişlerdir. MDF numunelerinin sertliği, mukavemeti ve iç bağ özellikleri, MDF yüzeyinin NIR spektrumlarından tahmin edilebilmiştir. Bu teknik çok hızlıdır ve MDF panellerinin özelliklerindeki ayrıntı düzeyindeki değişiklikler hakkında moleküler düzeyde bilgi sağlamaktadır. Sonuçlar, proses izleme ve kalite kontrol uygulamaları için NIR spektroskopisinin potansiyel değerini vurgulamaktadır.

Tsuchikawa ve arkadaşları (2003^a) tahribatsız diskriminant analizini NIR spektroskopisi ve Mahaianobis'in genelleştirilmiş mesafesinin bir kombinasyonuna dayanarak hangi ahşabın sınıflandırılabilirliğini araştırmışlardır. NIR spektrumlarından elde edilen verilerin ikinci türevlerini alarak farklı rutubet değerlerinde 6 farklı ağaç türünü (*Cryptomeria japonica* D. Don, *Pseudotsuga menziesii* Franco, *Picea sitchensis* Carr., *Tectona grandis* Linn., *Quercus mongolica* Fisch var., *Paulownia tomentosa* Steud., *Quercus gilva* Blume, *Fagus crenata*

Blume) karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak lif doygunluğu noktasında 1720, 2232 ve 2248 nm dalga boylarında %100 doğru ayrımın yapılabildiğini tespit etmişlerdir. Doğruluğunu ve uygunluğunu, fırında kurutulmuştan tamamen doymuş serbest su durumuna kadar değişen çeşitli nem içeriğine sahip ahşap örneklerde incelemişlerdir (Tsuchikawa, 2003^b; Tsuchikawa, 2003^c). Ayrıca K-en yakın komşu (KNN) ve SIMCA'nın ahşap örneklerinin sınıflandırma yöntemleri olarak uygulanabilirliğini araştırmışlardır.

Via ve arkadaşları (2003), ÇLR ve temel bileşen regresyon (PCR) analizi ile olgun ve uzun ibrelili çam ağacının mukavemetini, sertliğini ve yoğunluğunu NIR spektrum verileri ile modellemeyi denemişlerdir. ÇLR, yoğunluk, kırılma-kopma (eğilme) modülü ve elastikiyet modülünü tahmin ederken neredeyse PCR kadar iyi performans göstermiştir. Ayrıca, iyi bir kalibrasyon denklemi elde etmek için olgun ve genç odun için ayrı olan bir modelin gerekliliğine işaret etmektedirler.

Cogdill ve arkadaşları (2004) PLS regresyonu ve çok değişkenli, doğrusal olmayan sistemleri modellemek için en küçük kareler destek vektör makinesi (LS-SVM) regresyonu kullanılarak geliştirilen kalibrasyonları karşılaştırmışlardır. LS-SVM regresyonunun tüm ahşap özellikleri için en güçlü kalibrasyon istatistik değerlerini sağladığını tespit etmişlerdir.

Flaete ve Haartveit (2004) NIR spektroskopisi ile öz odunun çürüme direncini tahmin etmeye çalışmışlardır. Çoklu test setiyle doğrulanan PLS regresyon modellerinden elde edilen sonuçlar, sarıçam öz odununda çürümeye karşı direncin NIR spektroskopisi kullanılarak tatmin edici bir hassasiyetle tahmin edilebileceğini göstermişlerdir.

Gierlinger ve arkadaşları (2004) yaptıkları çalışmada 3 farklı melez (*Larix spp.*) türünde aynı cins içerisindeki ağaç türlerinin ayrımında NIRS yöntemi ile başarılı ve güvenilir sonuçlara ulaşmışlardır. Elde edilen spektrumların ikinci türevinin detaylı incelenmesi, 6700 cm⁻¹ ile 6300 cm⁻¹ arasındaki küçük bölgede türlere göre küçük farklılıklar ortaya çıkmıştır. Uygulanan PCA, küme analizi ve SIMCA ile spektrumların türlere göre ayırt edilmesine izin verirken, tüm aralıktaki (10000 cm⁻¹ ile 5100 cm⁻¹) değiştirilmemiş spektrumlar bunu yapmamış olup PCA'daki birinci ve ikinci temel bileşenlerin skor çizelgelerinde ve küme analizlerinin dendrogramlarında türlere göre net kümelenme bulunmuştur. Uygulanan SIMCA analiz ile eksenel yüzeylerden alınan spektrumları kullanarak bilinmeyen spektrumların %100'ünü ve radyal yüzeylerden alınan spektrumları kullanarak %87'sini doğru türev alınarak sınıflandırmaya izin vermiştir.

So ve arkadaşları (2004), NIR spektroskopisinin çok değişkenli analiz ile ahşaba uygulanan koruyucuların türlerini ve retansiyonları ayırt etme kabiliyetini araştırmışlardır. Temel bileşen analizin bakır krom arsenik (CCA), amonyak bakır çinko arsenat (ACZA) veya amonyak bakır kuaterner amonyum bileşiği (ACQ) koruyucuları ile işlem görmüş keresteleri ayırt edebildiğini ve tutma seviyelerini tahmin etmişlerdir.

Henriksen ve arkadaşları (2005^a) NIR spektroskopisinin kağıt endüstrisinde kağıt hamuru özelliklerine etkisine yönelik modellenme ile kullanılma potansiyeline odaklanmışlardır. Yongaları ilgili NIR spektrumlarındaki değerlere göre kategorize etmek ve sülfid hamurundaki kappa sayısı için Anova modellerinde yonga kategorilerini bu değerlerle değiştirmek mümkün hale gelmiştir. Henriksen ve arkadaşları (2005^b) PLS tahminlerinin sağlamlığını daha fazla araştırmışlardır ve PLS'e ait skor grafiklerinin hamurlaştırma sürecinin başlarında yararlı bilgiler ortaya çıkarabileceğini bulmuşlardır.

Lestander ve Rhen (2005), gövde ve dal odununun öğütülmüş örneklerinde nem ve kül içeriğinin yanı sıra brüt kalorifik değeri modellemek için NIR spektroskopisi ve iki ortogonal kısmi en küçük kareler regresyonunu kullanmışlardır. Yapılan çalışma, biyoyakıtların ekonomik açıdan önemli özelliklerini tahmin etmek ve modelleri yorumlamak için NIR tekniğini çok değişkenli kalibrasyonla birlikte kullanma olasılığını göstermiştir.

Via ve arkadaşları (2005) iki NIR cihazı kullanarak mavileşme mantarının varlığında ve yokluğunda ahşabın mekanik ve kimyasal özelliklerinin tahminine yönelik çalışma yapmışlardır. Kalibrasyon aktarımı olmadan mavileşmenin bulunması durumunda PCR'nin MLR'den daha iyi performans gösterdiği bulunmuştur.

Çalışkan ve Acar (2006) yaptıkları çalışmada yapay zekâ tekniklerinden uzman sistemler, bulanık mantık, yapay sinir ağları ve genetik algoritma yöntemlerini tanıtarak, bu tekniklerin odun hammaddesi üretiminde kullanımları üzerine bir değerlendirme yapmışlardır. Sonuç olarak, yapay zekâ tekniklerinin odun hammaddesi üretimi için kullanımının sosyal, ekonomik ve ekolojik açıdan önemli faydalar sağladığı tespit edilmiştir.

Kent ve arkadaşları (2006), mantar çürümesinin kavak ağacından yapılan yönlendirilmiş yonga levhanın (OSB) özellikleri üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. NIR spektroskopisi verilerinin değerlendirilmesi ile yapılan tahmin modellerinin ağırlık kaybı, kesme mukavemeti, dübel taşıma mukavemeti gibi özellikler hakkında öngörülerde bulunmak için oldukça umut vaat ettiğini göstermişlerdir.

Taylor ve Lloyd (2007) boron ile işlem görmüş odunun malzeme karakterizasyonunu NIR spektroskopisi ile gerçekleştirmişlerdir. Elde edilen NIR spektrum verileri ile çoklu veri analizleri yapmışlardır.

Haartveit ve Flaete (2008) sarıçam ağacında diri odun öz odun ayrımı ile benzer görünüşe sahip ladin türlerinde kısmi en küçük kareler diskriminant analizleri (PLS-DA) yöntemini kullanarak yaklaşık % 90'ın üzerinde başarılı sınıflandırma yapmışlardır.

González-Peña ve Hale (2009) toplam renk farkının, ısı işlem görmüş ahşabın mekanik özelliklerinin çoğu için açıklıktan daha güvenilir bir belirleyici olduğunu belirtmişlerdir. Böylece ahşabın fiziksel ve mekanik özelliklerindeki değişiklikleri belirlemek için ısı işlem sırasında kütle kaybı ve eğilme mukavemeti, çok pahalı ve zaman alıcı olan çok sayıda deneysel testin yapılması gerektiğini söylemişlerdir. Bu çalışmada, üç ahşap türünün termal olarak modifiye edilmiş küçük numuneleri kullanılarak renk değişimlerinin analizinden 13 fiziksel parametrenin tahmin edilebileceği gösterilmiştir. Şişmeyi önleme etkinliği, nominal yoğunluk, ısı kaynaklı ağırlık kaybı ve 10 mukavemet parametresi için basit doğrusal regresyon modellerinin tümü çok veya yüksek derecede anlamlıdır ve en iyi tahmin edici için R^2 istatistikleri 0,24 ile 0,94 arasındadır. Renk ölçümü ve temas açısı tespit çalışmaları hızlı, hassas ve kullanımı basittir. Renk verileri, temas açısı ve kütle kaybı ile ısı işlem yoğunlukları arasındaki güçlü korelasyona dayanarak, ısı işlem görmüş ahşabın kalitesini kontrol etmek için kolayca gerçekleştirilebilir. Bu nedenle, ısı işlem görmüş ahşabın mekanik özelliklerini tahmin etmek için uygun modelleme yöntemlerinin bulunması gerekmektedir. Isıl işlem görmüş ahşabın mekanik özelliklerini tahmin etmek için uygun modelleme yöntemleri olarak istatistiksel regresyon ve yapay sinir ağı (YSA) modellerini incelemişlerdir.

Müller ve arkadaşları (2009) 10 Gökmar ve 10 Avrupa Kayınından hazırlanan odun örneklerinde bu türlerin lif ve yonga levha üretiminde kullanılabilirliğini test etmişlerdir ve üretim esnasında oluşan kimyasal değişimlerini araştırmışlardır. Referans olarak kendi ürettikleri levhaları, ladin ve çam odunları kullanılarak elde edilmiş olan endüstriyel referans levhalarıyla teknik özellikleri bakımından karşılaştırmışlardır. FTIR ölçümü ile kimyasal bileşenleri karakterize etmişlerdir. Temel bileşen analizi ile küçük spektrumlardaki değişiklikleri belirlemişlerdir ve kümeleme analizi ile homojenize odun ürünlerindeki değişimleri denetimsiz çoklu istatistiksel analiz yöntemlerle tespit etmişlerdir.

Russ ve arkadaşları (2009) 7 farklı geniş yapraklı ağaç türüne ait yongaları birbirinden ayırmak için NIRS ile elde edilen veriler ile PCA yapmışlardır. Yapılan çalışmanın sonucunda yongaların rutubet değerinin ayrımı için önemli bir parametre olduğunu ve NIRS 'ın yongaların birbirinden ayrılması konusunda başarılı sonuç verdiğini ortaya koymuşlardır.

Hobro ve arkadaşları (2010) iki ceviz ağacı türü arasındaki ayrımı sağlamak açısından kızıl ötesi spektroskopisi ile malzemeyi karakterize etmişlerdir. Ayrıca, her iki türün buharla işlenmiş ve işlenmemiş örneklerini ayırt etmek için de aynı analiz tekniğini kullanmışlardır. Elde edilen spektrum verileri ile PLS-DA ve PCA ile iki ceviz ağacı türünü başarı ile birbirinden ayırmışlardır.

Sandak ve arkadaşları (2010) aynı ağaç türü grupları arasında kökene bağlı olarak ortaya çıkan önemli farklılıkları FT-NIR ile tespit etmeye çalışmışlardır. Finlandiya'daki meşcerelerden toplanan ladin (*Picea abies* L. Karst.) örnekleri, Kuzey ve Güney Polonya ve İtalya için iki farklı yaklaşım kullanılarak analiz edilmeye çalışılmıştır. Çalışmanın ilk aşamasında örnekler Avrupa çapında geniş bir alandan dört farklı kaynaktan toplanmıştır. İkinci aşamada ise İtalya'da aynı bölge içinde dar bir alanda bulunan bölgeden örnekler toplanmıştır. İlk yaklaşımda, tüm numuneler istatistiksel yöntemler kullanılarak net bir şekilde gruplara ayrılmıştır. Dar yerel alandaki gruplar arasındaki ayrım, önceki duruma göre daha az anlamlı olsa da gerçektir. Çeşitli yerlerde yetişen ağaçların bir şekilde farklı kimyasal bileşime sahip olduğu ve NIR'in bu tür farklılıkları tespit etmek için yeterince hassas olduğu sonucuna varılmıştır. Sunulan yöntem, ağaç kaynaklarının izlenmesi ve korunan alanlardan yasadışı olarak hasat edilen tomrukların tespit edilmesi için teknik bir araç olarak kullanılabilir.

Gu ve arkadaşları (2010) ahşap kusurlarının otomatik olarak sınıflandırılması konusuna yönelik çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada kerestelerden çekilen görüntüleri kullanarak dört tip ahşap budaklarını sınıflandırmak için ağaç yapılı bir SVM modeli kullanmışlardır. SVM sınıflandırma modelinde 800 ahşap (budak) görüntüsü ile eğitilen mükemmel sonuçlar elde etmişlerdir. Performans değerlendirmesi, SVM sınıflandırıcısının 400 test budak görüntüsü üzerinde ortalama %96,5 doğru sınıflandırma oranı ve %2,25 hatalı sınıflandırma oranı ile oldukça başarılı sonuçlandığını tespit etmişlerdir.

Russ ve arkadaşları (2011) 7 farklı geniş yapraklı ağaç türüne ait yongaları birbirinden ayırmak için NIRS ile elde edilen veriler ile PCA yapmışlardır. Yapılan çalışmanın sonucunda

yongaların rutubet değerinin ayrımı için önemli bir parametre olduğunu ve NIRs 'ın yongaların birbirinden ayrılması konusunda başarılı sonuç verdiğini ortaya koymuşlardır.

Krasznai ve arkadaşları (2012) PLS regresyon modellerini, çok değişkenli model kalibrasyonu için selüloz, ksilan ve lignin karışımlarını kullanarak deneysel tasarım geliştirmişlerdir. Bu temsili numunelerin FTIR-ATR spektrumlarını elde etmişlerdir ve bu verileri PLS çok değişkenli teknikler kullanarak regresyon analizine tabi tutmuşlardır. Çeşitli veri ön işleme tekniklerinin PLS regresyon modellerinin nihai tahmin yeteneği üzerindeki etkisini de değerlendirmişlerdir. Bu çalışma, kızılötesi verilerin uygun şekilde ön işleme tabi tutulması halinde, karışım tasarımlarının lignoselülozik malzemelerin bileşimsel analizi için PLS regresyonunda kalibrasyon standartları olarak kullanılabilceğini göstermektedir.

Bouslamti ve arkadaşları (2013) 4 farklı boyutlardaki işlem görmemiş odun partikülleri ve bakır, bor gibi çözücülerle bor, krom, bakır ve kadmiyum ve organik koruyucu sipermetrin sodyum tetraborat, CuSO_4 (bakır (II) sulfat), krom (III) potasyum sulfat, $3\text{CdSO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ (kadmiyum (II) sulfat 8 hidrat) veya sipermetrin koruyucu madde ile işlem görmüş ve görmemiş olan odun unu partikülleri arasında farklılıkları belirlemek ve nem tutarlılığı ile birlikte belli sürelerde kimyasal analiz işlemler yapıp yapılmadığını araştırmak amacıyla yaptıkları çalışmada FTIR ile malzeme karakterizasyonunun sağlanabileceğini ve elde edilen verilerin SIMCA ve PCA analizleri gibi çok değişkenli veri yöntemleri ile değerlendirilebileceğini ortaya koymuşlardır.

Popescu ve arkadaşları (2013) hidro-termal olarak işlem görmüş (*Tilia cordata* Mill) odununu NIR ile karakterize etmişlerdir. Elde edilen veriler PCA ve 2D NIR korelasyon analizi ile değerlendirilmiştir. Bu işlem sonucunda yapısal modifikasyonlardan sıralı değişiklik sırasını incelemişlerdir. Kullanılan tekniklerin ahşabın hidro-termal işlemi altında ortaya çıkan yapısal farklılıklarını nasıl yansıttığını daha iyi anlamak için ikinci türev almışlardır. Bu türevi alınmış verilerle temel bileşen analizi ve iki boyutlu korelasyon analizi sonuçları belli dört farklı zamanda incelenerek değerlendirilmiştir.

Carballo-Meilan ve arkadaşları (2014) FTIR spektroskopisinden elde ettikleri verileri çok değişkenli istatistiksel yöntem ile değerlendirerek 9 farklı türdeki ahşap örneğini sınıflandırmışlardır. Yapılan bu taksonomik sınıflandırmada Gözetimli Örüntü Tanıma tekniklerini başarıyla gerçekleştirilmişlerdir. Hem diri odun hem de öz odun örnekleri kullanarak ahşap örnek ayrımı için yeni bir yöntem geliştirmişlerdir. FTIR verileri ile hemiselüloz, selüloz ve guayasildeki (lignin) önemli kimyasal farklılıkların ortaya

konulabileceğini vurgulamışlardır ve ahşap numune sınıflandırması için uygun bir yaklaşım getirmişlerdir.

Fellin (2014) Torinoda geri dönüşüm için odun materyalin kontrolüne yönelik yapmış olduğu çalışmada; masif ahşap ve ahşap esaslı malzemelerin izlenmesinde hızlı ve ucuz olan XRF ve FTIR-ATR spektroskopi yöntemlerini kullanmıştır. Burada alınan numuneler geri dönüşüm platformundan ya da ahşap işletmelerinden ve araştırma merkezlerinden gelen kullanım sonrası ahşap ve ahşap esaslı malzemelerden oluşan biyokütle numuneleridir. Bu analitik teknikleri ahşap matrislere uygulamak için, özellikle ED-XRF'nin kullanımına ilişkin ayrıntılı bir dizi ön testler yapılmıştır. İki ölçüm tekniği sonrasında elde edilen veriler ile PCA ve kümeleme analiz işlemleri uygulanmıştır.

Mauruschat ve arkadaşları (2015), geri dönüşüm açısından 4 farklı tip odun plastik kompozit (WPC) ile ilgili NIR cihazı ile elde edilen verileri PCA yöntemiyle sınıflandırmışlardır.

Köseoğlu (2015), odun esaslı levha endüstrisi atıklarının karakterizasyonunun ve sınıflandırmasının yapılması amacıyla bir çalışma gerçekleştirmiştir. Bu çalışma kapsamında kullanılan atık örneklerde FTIR analizi, TGA (Termogravimetrik analiz) analizi, kimyasal analizler, ICP-OES ile element analizi ve halojenür analizi işlemleri yapılmıştır. Bu çalışmada Marmara Bölgesinde bulunan bir firmadan yongalevha, MDF ve parke üretiminde oluşan atıklar incelenmiştir. Çalışma sonucunda odun esaslı levha endüstrisi atıklarının tamamen biyokütle özelliği gösterdiği ve biyoyakıt olarak kullanılabileceği ortaya konmuştur. Bu çalışma ahşap endüstrisinde sürdürülebilir çevre politikaları açısından önemli bir çalışmadır.

Wagner ve arkadaşları (2015), 5 farklı örnek için fiziksel mekanik özellikler ile kalite güvence sistemi geliştirmeye çalışmışlardır. Bunun için ilk başta 5 farklı örneğin FT-NIR ile yapıları karakterize edilmiştir. Daha sonra örneklere ait mekanik testler uygulanmıştır. Elde edilen veriler ile PLS regresyonu ve PCA uygulamasını yapmışlardır. Bu çalışmanın sonuçlarına dayanarak, NIR spektroskopisi ahşap liflerini farklı deri talaşı türlerinden (ıslak beyaz ve ıslak mavi) ayırt etmek için kullanılabilir. Bu sonuçlar, lif levha kompozitinin sınıflandırılmasının ve yoğunluğun yanı sıra eğilme mukavemeti özelliklerinin tahmin edilmesinin hızlı, yapıcı olmayan ölçüm yöntemleriyle mümkün olduğunu göstermektedir.

Duca ve arkadaşları (2016) yaptıkları çalışmada 29 geniş yapraklı ağaç (GYA) ve 32 iğne yapraklı ağaç (İYA) örnekleri kullanmışlardır. Örnekler FTIR cihazı ile karakterize edilmiştir. Elde edilen FTIR verileri ile İYA ve GYA arasında ayırım yapmaya çalışılmıştır. Ayrıca İYA

ve GYA içeriklerini doğru tahmin etmek için PLS analizini, bu örneklerden hazırladıkları 28 farklı karışımdaki konsantrasyon uygulaması ile incelemişlerdir. Sonuç olarak FTIR verileri kullanılarak İYA ve GYA arasında belirgin bir şekilde ayırım gerçekleşmiştir. Ayrıca karışım örneklerindeki İYA ve GYA içeriklerini tahmin etmek için PLS regresyon analizi iyi bir performans göstermiştir.

Bir başka araştırmada Traore, Kaal ve Cortizas (2016) adlı araştırmacılar arkeolojik odun örneklerinin karakterizasyonunda FTIR-ATR spektroskopisini kullanmışlar ve PCA yöntemi ile istatistiksel değerlendirmeler yapmışlardır. Temel bileşen analizi, 43 kayıtlı spektrumun (18'i gemi enkazında ve 25'i kiriş ağacında) transpoze edilmiş veri matrisine uygulanmıştır. Sonuçlar iki örnek arasında farklılıklar olduğunu göstermiştir; gemi enkazı ahşabına kıyasla kirişte daha büyük oranda karbonhidrat ve daha küçük oranda lignin bulunmaktadır. Kiriş odununda, lignin içeriği yeni ağaç halkalarında yaşlı ağaç halkalarına göre önemli ölçüde daha düşüktür ($P=0,005$). Bu farklılıklar, iki ahşap (sırasıyla meşe ve çam) arasındaki tür farklılıklarına bağlanabilir; yapraklı ağaç lignininde guayasil ve şiringil karışımı bulunurken, iğne yapraklı ağaç lignini neredeyse yalnızca guayasil kısımlarından oluşur. Her bir ahşap türünden seçilen örneklerin analitik piroliz yoluyla moleküler karakterizasyonu, FTIR-ATR ile elde edilen ahşap bileşimindeki değişkenliğin arkasındaki mekanizmaların yorumlanmasını doğrulamıştır.

Ahşap malzemelerin geri dönüşüm oranını artırmak için ahşap atıkların bertaraf yöntemi ve kullanımına göre sınıflandırılması gerekmektedir. Bu malzemelerin endüstriyel üretiminde, kimyasal ve fiziksel özelliklerinin hızlı ve doğru bir şekilde belirlenmesi, güvenilir kalitede ahşap ürünlerin istikrarlı bir şekilde tedarik edilmesi için kritik öneme sahiptir. Kobori ve arkadaşları (2017), yeni geliştirilen tekrarlı temel bileşen analizi ile hiperspektral görüntüleme kullanılarak atık ahşap ürünler için bir diskriminant analiz süreci araştırılmıştır. Dört farklı ahşap atığının (reçine ile kaplanmış kontrplak, koruyucu işlem görmüş ahşap, yapraklı ağaç ve iğne yapraklı ağaç) hiperspektral görüntüleri elde edilmiştir. Tekrarlı temel bileşen analizi olarak adlandırılan temel bileşen analizine dayalı yeni bir sınıflandırma yöntemi geliştirilmiştir. Dört farklı ahşap atığını sınıflandırmak için toplam üç temel bileşen analizi tekrarı gerçekleştirilmiştir. Tekrarlı temel bileşen analizinin çapraz doğrulamalı sonuçları, dört farklı ahşap atık örneklerinin herhangi biri için %85'ten daha yüksek sınıflandırmalarla sonuçlanmıştır.

Toscano ve arkadaşları (2017) enerjide pelet sektörünün en yaygın olarak kullandığı Avrupada yaygın olarak yetişen üç türe ait (gökmar, çam ve kayın) odun ve kabuk örneklerini incelemiştir. Toplanan örnekler FT-NIR çifti ile karakterize edilmiştir. Farklı konsantrasyon seviyelerinde hazırlanan örneklerin istenen düzeyde teşhis edilme performansı göstermelerine yönelik olarak PCA ve regresyon modeli uygulanmıştır.

Traore ve arkadaşları (2017) yaptıkları çalışma ile 120 Çam odunu örneği arasındaki tür farklılığını FTIR-ATR kullanarak karakterize etmeye çalışmışlardır. 2 farklı çam türü arasındaki farklılığı belirlemek için Anova, diskriminant ve PCA uygulamaları yapılmıştır. SPSS programını da kullanılarak Anova analizi ile farklı türler arasındaki ayrımın önem dereceleri değerlendirilmiştir. Bu çalışmada diskriminant analiz yardımıyla doğruluk testi yapılmıştır. Ayrıca ikinci türev alınarak PCA ve P-LSA işlemi uygulanmıştır.

Brezilya'da inşaatlarda ahşap kullanımı çoğunlukla geçicidir ve inşaat atıklarının büyük bir yüzdesini temsil etmektedir. Genellikle bu ahşap atıklar geri dönüşüme gönderilmektedir. Ahşabın düzenli depolama sahalarında bertaraf edilmesi metan emisyonlarına ve/veya suyu ya da toprağı kirleten tehlikeli bileşenlerin sızmasına neden olabileceğinden, geçici ahşap atık azaltma stratejilerinin uygulanması yerel inşaat şirketleri için kritik bir konudur. Bazı azaltma hedefleri belirlemek de dahil olmak üzere ahşap atık üretimini yönetmek ve kontrol etmek için, etkileyen faktörleri ve bunların göreceli katkılarına nicel olarak tahmin etmenin yollarını belirlemek gerektiği vurgulanmıştır. Kern ve arkadaşları (2018), tasarım/inşaat ile şantiye ve güvenlik tesisatlarına ilişkin faktörleri göz önünde bulundurarak, yüksek binaların inşasında ortaya çıkan geçici ahşap atık miktarını tahmin etmek için çoklu regresyon istatistiksel modeli kullanmışlardır. Bu çalışma 22 yüksek katlı konut binasını içermektedir. Regresyon modeli, benzer inşaatlarda ahşap atık oluşumunda rol oynayan faktörlerin yaklaşık %89'unu tahmin etmiştir. Ahşap atık miktarı üzerinde etkisi olan bağımlı değişkenler tasarım özellikleri (kat sayısı), yapısal inşaat sistemi (yerinde kalıplanmış beton hacmi) ve saha ve güvenlik tesisatları (saha ahşap çiti ve ahşap kullanım oranı) ile ilgilidir. Ahşap atık oluşumunu en aza indirmenin yolları ve her bir geçici ahşap kullanım türünün katkılarına tartışmışlardır.

Kurata (2018) iki farklı ağaç türü (*Chamaecyparis obtusa* ve *P.menziesii*) ile enine, radyal ve teğet kesitlerden alınan örnekleri NIR cihazı ile karakterize etmiştir. Bu çalışmada odun yüzeyinin her üç kesitinden alınan örneklerin NIR verileri regresyon ve PCR analizleri ile değerlendirilerek sonuçların tahmin doğrulukları saptanmıştır. Sonuç olarak PCR modelinde radyal ve teğet bölgeler için tahminde yüksek doğruluk tespit edilmiştir.

Miguel ve arkadaşları (2018) ahşap direncinin özelliklerini tahmin etmede YSAlarının potansiyelini değerlendirmişlerdir. Bu çalışmada 10 adet okalıptüs melezi (*Eucalyptus urograndis*) seçilmiş ve her ağaçtan dörder örnek olmak üzere toplam 40 örnek alınmıştır ve bu örnekler görünür yoğunluk, ultrasonik dalga yayılma hızı, ultrasonla elde edilen dinamik elastikiyet modülü ve Janka sertliği gibi tahribatsız testlere tabi tutulmuşlardır. Bu özellikler, liflere paralel direnç ve basınç dayanımı ile sertliğin tahmin edicileri olarak kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar YSA'ların kullanımının ahşap direncini tahmin etmek için etkili bir araç olduğunu göstermiştir.

Sandak ve arkadaşları (2018) yongalevha panellerinin üretim aşamasında kalite kontrolüne ve izlenebilirliğine yardımcı olacak bir uzman sistem proto tipi geliştirmek için laboratuvar ölçeğinde ve endüstriyel tesislerde üretilen dört farklı yonga levha türü ile çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada malzemeler panel tipi, bileşimi ve yapıştırıcı niteliği açısından farklılıklara sahiptir. NIR spektroskopisi ile karakterize edilen numunelerin sınıflandırılması ve izlenebilirliği için uygun iki seviyeli bir uzman sistemin geliştirilmesinde öncü bir araç olarak bu çalışmayı yapmışlardır. Bu çalışmada sistemin geliştirilmesi ve performansının değerlendirilmesi için her biri en az üç bağımsız kopya içeren yirmi beş parti yonga levha kullanılmıştır. Bu çalışmada spektroskopik veri sınıflandırması için dört alternatif kemometrik yöntem (PLS-DA, KNN, SIMCA ve SVM) kullanılmıştır. Modeller paneli tanıma açısından farklılık gösteren iki aşamada geliştirilmiştir. İlk aşamada, test edilen yirmi dört kombinasyondan dördü %100 doğru sınıflandırma ile sonuçlanmıştır. PLS-DA ve SVM ile ayırım hassasiyetinin, herhangi bir spektrum ön işleme olmadan bile yüksek (>%99) olduğunu tespit etmişlerdir. SNV ön işlemden geçirilmiş spektrumları ve SVMC algoritmasını panel parti sınıflandırması için ikinci aşamada kullanmışlardır. İki farklı üretilen paneller %100 doğru olarak sınıflandırılırken, farklı üretilen endüstriyel paneller %98,9 başarı ile sınıflandırılırken laboratuvar ortamında üretilen deneysel paneller ise %63,7 başarı ile sınıflandırılmışlardır. Ahşap bazlı ürün izlenebilirliği ve kalite kontrolü için NIR spektroskopisinin uygulanması, üretimin çok yönlülüğü ve yonga levhaların geniş kullanım yelpazesi nedeniyle büyük bir öneme sahiptir.

Mancini ve arkadaşları (2019) işlenmemiş ahşap ile işlenmiş ahşap arasında ayırım yapmak için NIRS kullanma olasılığını araştırmışlardır. Bu amaçla yüzden fazla örnek toplanmış ve daha sonra kemometri ile birleştirilmiş FT-NIR Spektroskopisi ile analiz etmişlerdir. Özellikle, PCA yöntemini spektral bilgiyi keşfetmek için denetimsiz bir teknik olarak uygulamışlardır ve PLS-DA bir sınıflandırma tekniği olarak kullanmışlardır.

Tuncer (2020) ağaç türü teşhisi için NIRS cihazını kullanmıştır. Teşhisdeki kullanım etkinliğini belirlemek için NIRS cihazı ile elde edilen verilere, PLS-DA, diyagonal doğrusal diskriminant analizi (DL-DA), karar ağaçları, YSA ve SVM gibi çok değişkenli veri analizleri uygulanmıştır. Uygulanan modellerin performansları kalibrasyona katılmayan test setleri ile denenerek elde edilen doğru tahmin oranları aracılığıyla bulunmuştur. Denenen modeller arasında ağaç türünü ayırmada doğrusal modellerden PLS-DA, doğrusal olmayan modellerden SVM en başarılı modeller olarak bulunmuştur. Yapılan çalışmanın sonucunda NIRS ile elde edilen verilerin çok değişkenli veri analizleri yöntemleri ile ağaç türlerinin sınıflandırılmasında yüksek başarı oranlarına ulaşılabildiği ortaya konmuştur.

İnşaat ve Yıkım Atıklarının (C&DW) yönetimi karmaşıktır ve projelerin genel yaşam döngüsü maliyetine önemli ölçüde katkıda bulunur. Farklı malzemeleri otomatik olarak tanımlayan teknolojiler kullanılarak sahada atık ayrıştırma, C&DW'nin sınıflandırılmasına yardımcı olma ve maliyetleri azaltma potansiyeline sahiptir. Davis ve arkadaşları (2021) bir şantiye kutusuna bırakılan atıkların dijital görüntülerini kullanarak 7 tipik C&DW sınıflandırmasını (hem tekli hem de karışık bertaraf) tanımlamak için derin bir evrimsel sinir ağını tasarlamak ve tanımlamak istemişlerdir. Bunun için yerinde sınıflandırmanın zor olduğu gerçek şantiye senaryolarını taklit etmişlerdir. Yeni bir tasarım bilimi metodolojisi kullanmışlardır. Deneyler hem tekli hem de karışık C&DW'yi sınıflandırarak %94 doğruluğa ulaşmıştır. Bu doğruluk, yerinde ayrıştırmanın denendiği projelerde önemlidir, çünkü uygulamada çöp kutusu kirliliği proje maliyetlerini artırır ve C&DW'nin düzenli depolama alanından saptırılmasını azaltır.

Hwang ve Sugiyama (2021) bilgisayarla görme ve makine öğrenimini kullanarak bilimsel disiplin metodolojisine yeni bir örnek eklemişlerdir. Bu araştırma ile ahşap tanımlama için bilgisayarla görme ve makine öğrenimi tekniklerini ahşap bilimindeki çalışma hedefleri için uygun teknikleri veya stratejileri seçmelerine yardımcı olmuştur. Böylece görüntü tabanlı bir ahşap tanımlama sistemi ile otomatik bir ahşap tanımlama sistemi oluşturularak ahşap endüstrisinin ve pazarının gelişmesine yardımcı olmuştur.

Pereira ve arkadaşları (2021) *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus ürophylla* melezinden ve *Corymbia torelliana* ve *Corymbia critriodora*'nın 12 klonundan elde edilen 6 adet odun ve 6 adet odun kömürüne ait özellikler arasındaki ilişkinin anlaşılması ve odun kömürünün üretimine yönelik iyileştirmeye yapabilmeyi mümkün hale getirme açısından randomforest ve çoklu doğrusal regresyon modeli ile doğruluk analiz çalışmaları yapmışlardır. *Eucalyptus*

grandis x Eucalyptus urophylla melezinden ve yedi yaşındaki on iki *Corymbia torelliana x Corymbia critriodora* klonundan elde edilen odunun altı özelliği ve odun kömürünün altı özelliği ölçülmüştür. Analizde, odun ve odun kömürü özellikleri arasındaki ilişkiyi değerlendirmek için RF ve kopula korelasyonu ile hesaplanan düğüm kirliliğindeki ortalama azalma ölçüsü (artık kareler toplamı) kullanılmıştır. RF yöntemi belirleme katsayısı, doğrusal korelasyon, ortalama mutlak hata ve kök ortalama karesel hata ölçütleri bakımından destek vektör regresyonu ve çoklu doğrusal regresyon ile karşılaştırılmıştır. RF doğruluğu, özellikle belirleme katsayısı ve doğrusal korelasyon açısından destek vektör regresyonu ve çoklu doğrusal regresyon ile elde edilenden daha yüksek bulunmuştur. Klonlardan üretilen odun kömürünün verimi ve kalitesi temel olarak holoselüloz içeriği, öz odun/diri odun oranı ve temel odun yoğunluğundan etkilenmiştir. Odun kömürünün görünür bağıl yoğunluğu, RF algoritmasının odun özelliklerinin bir fonksiyonu olarak değişkenliği en iyi açıklama düzeyine ulaştığı değişken olurken, sabit karbon içeriği için küçük bir hata gözlenmiştir. Bu çalışma da klonlardan üretilen kömürün verimi ve kalitesi esas olarak belirlenmeye çalışılmıştır. Gözlenen ve tahmin edilen değerler arasında doğrusal korelasyon açısından holoselüloz içeriği, özodun/diri odun oranı ve temel odun yoğunluğu gibi parametrelerden odun kömürü kalitesi ve verimliliğinin etkinliği belirlenmiştir.

Shugar ve arkadaşları (2021) ahşap türlerinin hızlı bir şekilde tanımlanmasında X-ışını floresans spektrometresi ile 48 farklı örneği birbirinden ayırmak için makine öğrenmesinde 2 boyutlu evrişimli sinir ağlarını (CNNs) kullanmışlardır. %99 düzeyinde doğrulama ile diğer alternatif seçeneklere göre hem zamandan tasarruf etmişler hem de maliyeti uygun bulunmuştur. Ağaç türlerinin tanımlanması, yasadışı olarak kesilen ve taşınan kerestelerin değerlendirilmesi için zorunludur. Tanımlama için alternatif seçenekler zaman alıcı olabilir ve bir miktar örnekleme gerektirebilir. Bu tahribatsız yöntem, çevre koruma yasalarını ve yönetmeliklerini destekleme çabalarında keresteyi hızlı ve doğru bir şekilde tanımlamak için uygun maliyetli bir alternatif sunmaktadır.

Avrupa'da atık ahşap hacmi giderek artmaktadır. Atık ahşap, dögüsel ekonomiyi teşvik ederek ve çöp sahalarından kaçınarak yeniden kullanılabilir. Fosil yakıtların kullanımını azaltan bir biyoenerji hammaddesi olarak kullanılabilir veya yeni kompozit ahşap malzeme üretmek için yeniden kullanılabilir. Sadece tehlikeli maddeler içeren ahşabın bertaraf edilmesi gerekmektedir. Bu amaçla, Mancini ve Rinnan (2022) bir panel levha şirketinden ve İtalya ve Danimarka'daki çeşitli geri dönüşüm merkezlerinden atık ahşap örnekleri toplamışlardır.

Örnekler niteliklerine göre kategorilere ayrılmışlardır ve NIR spektroskopisi ile analiz edilmişlerdir. Örnek değişkenliğini araştırmak için PCA ve örnekleri uygun yeniden kullanıma (enerji üretimi, panel levha üretimi veya düzenli depolamaya) göre sınıflandırmak için SIMCA kullanmışlardır. Yapılan çalışmanın sonuçları, işlem görmemiş ahşap malzeme için %90 ve işlem görmüş ahşap malzeme için %86.7 sınıflandırma oranı olarak bulunmuştur.

Masif ahşap zeminler iç dekorasyonda çok yaygın olarak kullanılır ve renkleri, renk tutarlılığını sağlamak için gereken genel estetiği elde etmek için seçilen ürün kalitesinin önemli bir göstergesi olmaktadır. Zhuang ve arkadaşları (2022) masif ahşap zeminlerin renk derinliğine göre sıralanmasını gerçekleştirmek ve buna bağlı olarak masif ahşap zeminlerin renklerinin serbestçe derecelendirilebilmesi için 108 masif ahşap zemin görüntüsü toplamak üzere bir görüntü alma sistemi oluşturmuşlardır ve masif ahşap zemin renk derinliği için bir dizi hızlı sıralama yöntemi geliştirilmişlerdir. Bunlar arasında, 10 masif ahşap zemin görüntüsünü test seti olarak kullanmışlardır ve 98 masif ahşap zemin görüntüsünü renk derinliğine göre sıralamışlardır. Bunlar arasından 80 orijinal görüntü, eğitim seti olarak kullanılmak üzere 13 kez genişletilerek 1040'a çıkarmışlardır ve 18 tanesi de doğrulama seti olarak kullanmışlardır. RGB, HSV ve Lab renk uzayında masif ahşap zeminlerin renk özellikleri çıkarmışlardır ve masif ahşap zeminlerin renk derinliği sıralamasını gerçekleştirmek için LightGBM kullanmışlardır. Ayrıca, iki derin öğrenme algoritması, Vision Transformer ve uyarlanabilir bir havuzlama katmanı aracılığıyla geliştirilmiş Densenet121, farklı boyutlardaki masif ahşap zemin görüntülerinin renk derinliği sıralamasını gerçekleştirmek için kullanmışlardır. Çalışmanın sıralama sonuçları, renk özelliklerini geriletmek için LightGBM kullanan renk sıralama yönteminin en uyumlu nihai sonuçları sergilediğini göstermiştir.

Sun ve arkadaşları (2023) kavak odununun piroliz davranışını incelemek için termogravimetrik analiz yapmışlar ve bunun sonucunda pirolizin kinetiğini ve termodinamiğini incelemişlerdir. Selüloz, hemiselüloz ve ligninin biyokütlenin gerçek durumunda enerji açısından nasıl etkileşime girdiğini de incelemişlerdir. Ayrıca bazı bileşenler çıkarıldıktan sonra biyokütle piroliz davranışını öğrenmek ve tahmin etmek için YSA modeli kullanılmış ve uygun YSA algoritmasını bulmak için Geri yayılım (BP) algoritması ve Radyal temelli fonksiyon ağı (RBF) algoritması karşılaştırılmıştır.

Yapılan geniş çaplı literatür taraması sonucunda son derece heterojen bir yapıya sahip olan odun hammaddesi ve bunun çeşitli şekillerde işlem görerek ahşap malzemeye dönüştürülmesi

sonrasında elde edilen malzemenin gerek karakterizasyonu gerekse mekanik ve fiziksel özelliklerinin incelenmesi amacıyla FTIR-ATR, NIR, XRD gibi gelişmiş spektroskopik tekniklerin kullanılması günümüzde oldukça yaygındır. Ancak bu teknikler ile elde edilen verilerin uygun istatistiksel analizlerle değerlendirilmesi en az bu tekniklerin kullanılması kadar önem taşımaktadır. Ağaç malzeme gerek ürüne dönüşümü esnasında uygulanan prosesler nedeniyle gerekse malzeme olarak kullanılması sırasında uygulanan işlemler (boya, vernik, cila vb.) nedeniyle yapısal olarak çok daha komplike bir hale gelmektedir. Böyle bir malzemenin karakterize edilmesi ve belli kriterlere göre sınıflandırılması işlevini görürken olduğu kadar atık haline geldiğinde de büyük önem taşımaktadır. Atık malzeme içeriği nedeniyle, çeşitli kontaminasyonlara maruz kalması nedeniyle zaten çalışılması oldukça zor olan bir özellik göstermektedir. Ancak sürdürülebilirliğin sağlanması atıkların tekrar değerlendirilebilmesi ile mümkündür. O nedenle etkin bir atık yönetimi yapabilmek için atık karakterizasyonu ve sınıflandırılması büyük önem taşımaktadır. Yapılan bu çalışma ile çeşitli ahşap atıklar karakterize edilerek belli sınırlar içerisinde sınıflandırılmaya çalışılmıştır. Bu amaçla FTIR-ATR spektroskopisi kullanılmıştır. Buradan alınan veriler çeşitli istatistiksel yöntemler ile analiz edilmiş ve sınıflandırma analizleri (YSA, RF, ÇLR vb. sınıflandırıcılar) ile uygun model belirlemeye yönelik değerlendirilmiştir. Gerek dünyada gerekse ülkemizde ahşap atıkların sınıflandırılması amacıyla bu kapsamda benzer bir çalışmaya literatürde rastlanmamıştır. Bu özelliği nedeniyle yapılan bu kapsamlı odun atıklarının sınıflandırması ve modellemesine yönelik çalışma Türkiye ve dünya çapında önemli bir çalışma olacaktır.

2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE

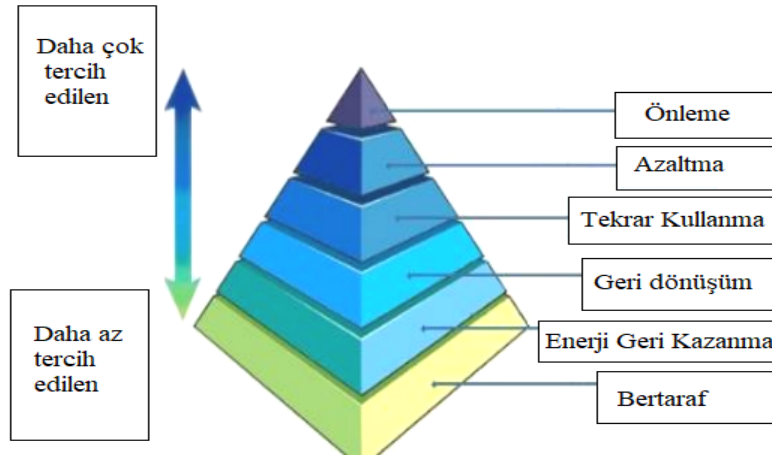
2.1. ATIK KAVRAMI



Şekil 2.1: Atık ve atık oluşumu (Mickey, 2014).

Üretim ve kullanım aktiviteleri sonucunda oluşan ve insan ve çevre sağlığına zarar verecek şekilde doğrudan veya dolaylı biçimde alıcı ortama verilmesi sonucunda ortaya çıkan tehlikeli ve tehlikesiz olan her türlü maddeye atık denilmektedir. Yaptığımız her türlü faaliyet (mobilyanın eskimesi, kentsel dönüşüm faaliyetleri, üretim esnasında çıkan atıklar vb.) sonucunda atık oluşmaktadır (Şekil 2.1). Bunun sonucunda atıkların en verimli şekilde yeniden değerlendirilmesi için karakterizasyonlarının belirlenmesi ve buna göre sınıflandırılması çok büyük önem taşımaktadır (Mickey, 2014).

2.2. ATIK YÖNETİMİ HİYERARŞİSİ



Şekil 2.2: Atık yönetim hiyerarşisi (Mickey, 2014).

Atıkların sınıflandırılmasında, atık türlerine bağlı olarak değerlendirme olanağını sağlamasına yönelik atık yönetmeliğinin uygulanması önemli olmaktadır. Bu konuda atık yönetim hiyerarşisinin bilinmesi gerekmektedir. Atık hiyerarşisi, ortaya çıkan her türlü atığın

toplanması, taşınması, geri kazanılması, bertaraf edilmesi, bertaraf sahalarının kapatılması sonrası bakım ve bu tür faaliyetlerin gözetim, denetim ve izlenmesi işlemlerini kapsayan bir faaliyetler bütünüdür. Önlemek, azaltmak, tekrar kullanma veya geri dönüşüm ve bertaraf atık yönetiminde yer alan genel prensiplerdir. Atık yönetim hiyerarşisine göre (Şekil 2.2), en öncelikli seçenek önleme iken; en son seçenek ise bertaraf. Önleme konusu kolay olmamasına rağmen en öncelikli seçenek olmalıdır. Bertaraf işlemi ise en rahat yapılacak faaliyettir. Ancak atıkların değerlendirilmesi hususunda bertaraf adımı en son çözüm olmalıdır (Peek, 2004; European Environmental Agency (EEA), 2011; Mickey, 2014; Bozkuş, 2018; Çelik, 2018).

Avrupa düzeyinde, ahşap atık miktarı 2007 yılında yaklaşık 33,2 milyon tondur. Doğu ve Güney ülkelerinde ahşap atık miktarı 55-60 kg/hanehalkı /yıl değişmekte iken; Batı ülkelerinde 75 kg/hanehalkı/yıl ve Kuzey ülkelerinde ise 110 kg/hanehalkı /yıldır (United Nations (UN), 2020; Sirico, vd. 2021). Avrupada odun atıklarının %37'si bertaraf olarak düzenli depolama ve yakmaya gitmekte iken çoğunluklu yonga levhalardan oluşan %33 oranındaki malzemenin geri kazanımı yapılmaktadır. Geri kalan %30'luk kısım ise ısı üretimi veya kojenerasyon şeklinde enerji geri kazanımı olarak değerlendirilmektedir. Doğu ve Güney Avrupa ülkeleri ile Birleşik Krallıktaki odun atıkları çoğunlukla gömülmektedir. Kuzey ve Batı Avrupa ülkeleri malzeme açısından odun atığını değerlendirirken Almanya, İsveç ve Finlandiya ise enerji açısından geri kazanıma önem vermektedir (Mantanu vd.,2010; Eurostat, 2018; Besserer vd., 2021).

Geri dönüştürülmüş ahşabın birincil olarak yeniden kullanımı yonga levha endüstrisinde yapılmaktadır. Azambuja ve arkadaşları bu konu üzerinde (2018) yaptıkları çalışmada, C&DW atık odununun yonga levha üretmek için fizibilitesini değerlendirmişlerdir. Hammadde bir atık geri dönüşüm şirketinden temin edilirken hammadde MDF(orta yoğunluklu lif levha), MDP (orta yoğunlukta yonga levha), kontrplak ve kereste olarak dört tür malzemeye ayrılmıştır. Bu ahşap ürün artıklarının parçacıklara indirgenmesinin ardından UFPR Laboratuvarında üre-formaldehit reçineli, hedef yoğunluğu 0,75 g/cm³ olan yonga levhalar üretilerek fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenmiştir. Endüstriyel *Pinus spp.*'den yapılmış yonga levha parçacıkları aynı zamanda kontrol numuneleri olarak da üretilmiştir. C&DW ahşap atığı, yonga levha için hammadde olarak kullanım potansiyeli göstermektedir. Geri dönüştürülmüş kereste, MDP, kontrplak ve dört malzeme kaynağının karışımından

üretilen yonga levhanın özellikleri, yonga levha endüstrilerinin bu atık kaynaklarını MDP ürünlerinin iç katmanının üretiminde kullanabileceğini göstermiştir.

Avrupa'da 2019 yılında yonga levha tüketimi 37,07 milyon m³'dür (United Nations Economic Commission for Europe, 2021). Yonga levhadaki geri dönüştürülmüş ahşap oranları ülkeye bağlı olarak çok çeşitlidir. İtalya'da %100; Belçika, Birleşik Krallık ve Danimarka'da %50; Almanya, Fransa ve İspanya'da %15-30; İsviçre'de ise %0 olarak değişmektedir (Vis, vd. 2016). Atık ahşabın kademeli kullanımına ilişkin hacim olarak çok daha küçük olan diğer gelişmeler, atık ahşap-plastik veya atık ahşap-beton kompozitlerin üretimiyle ilgilidir (Akinyemi, vd. 2019; Xu, vd. 2019; Boubekur, vd. 2020; Kaho, vd., 2020; Mrowka, vd., 2020). 28 AB ülkesinde yılda 50,2 milyon ton ahşap atığı üretilmektedir. Ancak bunların %70'i işlem görmüş ahşap atıklardır (Cocchi vd., 2018). Bu ahşap atıkları işlemenin en tipik yolu, enerji geri kazanımı ve geri dönüşüm için dönüştürmektir. Ancak, tüm ahşap atıklar geri dönüştürülemez. Yüksek kaliteli atık ahşap genellikle toplanmamaktadır veya ayrılmamaktadır ve bu nedenle yakılmaktadır veya düzenli depolama sahasına atılmaktadır. Bu yeterince kullanılmayan ahşap atıklar arasında ağaçların bakım işleminden kaynaklanan ahşap atıklar ile C& DW yer almaktadır. Ahşap atık bileşimi ve kalitesinin daha iyi bilinmesi kritik önem taşımaktadır. Safsızlıklar ve kirleticiler, ahşap atığın kökenine göre önemli ölçüde değişmektedir. Ahşap atıklar homojen bir malzeme olarak düşünülmemelidir. Karmaşık ve değişken bir malzeme akışı olarak yönetilmelidir. İnşaat/yıkım sektörü, ahşap atıklara en fazla katkıda bulunan sektördür. Aslında, Avrupa'da ahşap fraksiyonu inşaat/yıkım atıklarının %20-40'ını temsil etmektedir. Mobilya endüstrisi de önemli bir atık kaynağıdır. Daha küçük bir oran ise ahşap ambalaj atıklarından gelmektedir (Faraca, vd.2019). CDW, AB'de üretilen atığın üçte birinden fazlasına katkıda bulunmaktadır (Next City, 2022). AB genelinde CDW'nin geri dönüşümü ve malzeme geri kazanımı %10-90 arasında değişmektedir. Çünkü standardizasyon, atık işleme hizmetleri gibi karşılaşılan zorluklar ülkeden ülkeye farklılık göstermektedir. İnşaat sektörü Avrupa'daki toplam sera gazı emisyonunun %5-12'sine katkıda bulunmaktadır. İnşaat sektöründen kaynaklanan ahşap atık miktarı ülke genelindeki toplam atığın %35'ini oluşturmaktadır. AB, 2020 yılına kadar bu atık akışının %70 oranında geri dönüştürülmesini, yeniden kullanılmasını ve geri kazanılmasını ve yüksek kaliteli geri dönüşüm ve yeniden kullanımın teşvik edilmesini hedeflemiştir. Kuzey Avrupa'da, C&DW'den çıkan ahşap atıklar çoğunlukla biyokütle gibi enerji üretimi için kullanılmaktadır. Geri kalanı, masif ahşap gibi yüksek kalitede, yerel panel üretimi tarafından panel levhalar olarak kullanılmaktadır. Ancak yine de, özellikle düşük kaliteli ahşap atıkların büyük bir

kısmı etkin bir şekilde yeniden kullanılmamakta, yakılmakta ya da düzenli depolanmaktadır. Bu atıklardan biri de, hava kirliliğine katkıda bulunduğu için genellikle çevreye zararlı olduğu düşünülen talaşlardır. Burlington merkezli bir şirket olan Forust, 3D baskı teknolojisini kullanarak kalan talaş ve lignini geri dönüştürerek bu sorun ışığında yenilikçi bir yaklaşım getirmiştir. Bunları biyo-epoksi reçine ile kompozit ahşap parçacıklarına dönüştürmektedirler. Bu son teknoloji yaklaşım sayesinde elde edilen sonuçlar, küçük dekoratif işlerden büyük iç tasarım ürünlerine kadar geniş bir kapsam sunmaktadır. Centrinno projesinin pilot şehirlerinden biri olan Barselona şehrinde kentsel alanlardaki ahşap atık miktarının mahalle başına yılda 100-500 ton arasında olduğu tahmin edilmektedir. Bu ahşap atıkların çoğu inşaat ve imalat sektörlerinden kaynaklanmaktadır. Centrinno projesinin Barselona şehrindeki pilot merkezi olan eski sanayi bölgesi Poblenou, odun atıklarına en önemli katkıyı yapan bölgelerden biridir. Reflow şehirlerinden biri olan Paris'in Île-de-France bölgesi, inşaat için yılda 220.000 ton ahşap tüketmektedir. Şehir düzeyinde, yılda 920.000 ton ahşap atık üretilmektedir. Ancak bunun yarısı geri kazanılmaktadır. Geriye kalan 171.000 ton, yani %18,5'i çöp sahalarına ve yakma fırınlarına gitmektedir (Url-11).

Amsterdam merkezli bir kereste fabrikası olan Stadshout, mahallelerdeki ağaç gövdelerini toplamaktadır ve bunları kullanılabilir ahşaba dönüştürmektedir. Zanaatkârlarla birlikte çalışarak benzersiz ürünler üretilmesine ve bu yerel kentsel ahşabın kullanımının teşvik edilmesine yönelik kamu projelerinin yapılmasına rahberlik etmektedir. Ayrıca yerel sanatçılara sürdürülebilir ahşap ürünlerini sergilemeleri için bir platform sağlamışlardır. Benzer bir yaklaşım Bay Area Redwood tarafından da benimsenmektedir. 2018 yılında Kaliforniya'da kurulan Bay Area Redwood'un misyonu, kentte kesilen ağaçları geri kazanmak ve yerel zanaatkârlarla birlikte ahşap ürünler üretmektir. Çoğu ahşap geri dönüştürülebilir, bu da onu işletmelerin geri dönüştürmesi için uygun bir malzeme haline getirir. Peletlerden kalaslara kadar, işletmeler tarafından oluşturulan ahşap atıklar geri dönüştürülebilir ve dönüştürülmelidir. SL Recycling'de işleme ve geri dönüşüm için tüm ahşap sınıflarını (A, B, C, D) kabul etmektedir. Ahşap, sınıfına bağlı olarak geri dönüştürülebilir veya farklı amaçlar için kullanılabilir. Genellikle, ahşap ne kadar temiz olursa, geri dönüştürülme olasılığı da o kadar yüksek olur. C sınıfı biyokütle yakıtı oluşturmak için kullanılır. Atık odunların ortalıkta bırakılması tehlikelidir. Ahşap atıklar uzmanlar tarafından uygun şekilde yönetilir ve uygun ekipmanlar kullanılarak geri dönüştürülürse yangın riskleri azalır (Url-12).

EPA, Belediye Katı Atıklarındaki ahşap malzemelerin üretimini, geri dönüşümünü, kompostlanmasını, enerji geri kazanımı ile yakılmasını ve düzenli depolanmasını sağlamaktadır. Peletlerin toplam ahşap ambalajın yüzde 90'ından fazlasını oluşturduğu tahmin edilmektedir. EPA, ahşap peletler için üretim ve geri dönüşüm metodolojilerini, Virginia Politeknik Enstitüsü'ndeki Orman Ürünleri Pazarlama ve Yönetim Merkezi'nden alınan verilerle birlikte pazar araştırma raporu verilerine dayandırmaktadır. 2018 yılında, Belediye Katı Atıklarında ahşap üretimi 18,1 milyon tondur. Bu, o yılki toplam katı atık üretiminin yüzde 6,2'sine eşittir. EPA, ahşap pelet geri dönüşümünün (genellikle malç veya yatak malzemesi gibi kullanımlar için yontularak, ancak yakıt olarak yakılan ahşap hariç) 2018 yılında yüzde 17,1 geri dönüşüm oranı ile 3,1 milyon ton olduğunu tahmin etmiştir. Belediye Katı Atıkları içinde 2018 yılında yakılan toplam ahşap miktarı 2,8 milyon tondur. Bu, 2018 yılındaki enerji geri kazanımı ile yakılan ABD'nin Belediye Katı Atıkları'nın yüzde 8,2'sini oluşturmaktadır (Url-13).

Resmi gazetede yer alan 26 Haziran 2021 Ambalaj Atıkları yönetmeliğine göre 2021 yılından itibaren ülkemiz genelinde en az aşağıda verilen malzeme cinsi bazlı yıllık geri dönüşüm oranlarına ulaşılması hedeflenmekte ve bu hedeflere ulaşılmaya çalışılmaktadır.

Tablo 2.1: Malzeme cinsi bazlı yıllık hedef dönüşüm oranları (Ambalaj atıkları yönetmeliği, 2021).

Yıllar	Malzeme cinsi bazlı yıllık hedef dönüşüm oranları (%)				
	(yeniden kullanıma hazırlama dahil)				
	Cam	Plastik	Metal	Kağıt/Karton	Ahşap
2026'a kadar	70	55	60	75	25
2031'e kadar	75	55	70	85	30
2031 ve sonrası	75	55	70	85	30

Orman ürünleri endüstrisinin atık yönetiminde atık kağıtın geri dönüşümü ve yeniden kullanımı en yaygın olarak yapılmaktadır. Ambalaj atıkları yönetmeliğinde (2021) yer alan yukarıdaki Tablo 2.1 de, kağıt-kartonun geri dönüşümü ve yeniden kullanım oranları fazla iken ahşapa yönelik geri dönüşüm ve yeniden kullanıma yönelik gerçekleşen çalışmalar sürdürülebilirliğin sağlanması açısından artması hedeflenmektedir (Ambalaj Atıkları Yönetmeliği, 2021). Bu şekilde ahşabın hedef dönüşüm oranının az olmasının nedeni ahşabın sınıflandırılmasındaki güçlüklerdir.

Günümüzde, orman endüstrisi atıkları birçok yerde kullanılmaktadır. Örneğin ağaç kabukları, Avrupa ve ABD’de uzun yıllardır bitki yetiştirme ortamında kullanılmakta iken ülkemizde ağaç kabukları genelde yakacak olarak kullanılmaktadır (Çıtak vd., 2006). Özmen ve arkadaşları (2014) tarafından orman endüstrisinin ve mobilya fabrikalarının üretim esnasında açığa çıkan lif levha atıklarının odun plastik kompozitlerin üretiminde odun unu yerine potansiyel olarak değerlendirilebileceğine yönelik çalışma yapılmıştır (Özmen vd., 2014). Son zamanlarda odun tozlarının sıkıştırılması ile elde edilen ve pelet adı verilen malzemenin yakıt olarak kullanılması önemli bir enerji alternatifi olarak karşımıza çıkmaktadır. Odun peletleri Avrupa’nın pek çok ülkesinde enerji eldesi ile evlerde ve endüstride kullanılmaktadır. Biyokütlenin pelet halinde kullanımı ile taşıma ve depolama gibi birçok yararları olduğu bilinmektedir (De Jong vd.,2003). Muğla ilinde işletmelerde ortaya çıkan odunsu atıklar toplanarak düşük bir yatırım maliyeti ile kurulan bir işletmede odun peleti haline dönüştürülmüş ve böylece işletmelere ek kaynak sağlanabileceği gösterilmiştir (Deveci vd., 2007; Türkoğlu, vd., 2015).

Ahşap atığının kompozit olarak değerlendirilmesine yönelik dünya çapında birçok araştırma yapılmıştır. Gurau ve Ayrılmış (2018) farklı miktarlarda odun unu, polimer matris, mineral dolgu ve diğer katkı maddelerinden üretilen enjeksiyon kalıplı ahşap plastik kompozitlerin (WPCler) yüzey pürüzlülüğünü kapsamlı bir şekilde araştırmışlardır. WPC numunelerinin kaplama kalitesini daha iyi anlamak için sağlam bir filtreleme yöntemi (sağlam Gauss regresyon filtresi) kullanılarak dokuz farklı WPC bileşiminden önceki literatürde kullanılan daha geniş bir pürüzlülük parametresi aralığı elde edilmiştir. Polimerin üç eriyik akış indeksi (MFI) 3,6, 12 ve 25 için test edilmiştir. MFI değeri 25 olan polipropilen ile üretilen WPC'lerin en pürüzsüz olduğu bulunmuştur. Sadece odun unu yüzdesinin değil, odun unu-mineral dolgu kombinasyonunun da önemli olduğu fark edilmiştir. Daha fazla odun unu ve mineral dolgu maddesi lehine daha düşük polimer miktarına sahip WPC bileşimleri daha pürüzlü yüzeylere yol açmıştır. Test edilen WPC bileşimleri arasında en pürüzsüz yüzey %50 odun unu, %0 mineral dolgu maddesi ve ağırlıkça yaklaşık %40 polimerden üretilen numunelerde elde edilmiştir. Sonuçlar, WPC kombinasyonlarının daha da geliştirilmesinde ahşap veya mineral dolgu, polimer matrisi ve katkı maddelerinin her bir miktarı için katılım yüzdesinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisini tahmin etmek için yararlı olacaktır. Lunguleasa ve arkadaşları (2019) odun talaşı biyokütlesinin kalorifik gücünü artırmak amacıyla, düşük oksijenli bir atmosferde talaşın torrefaksiyonu için en uygun termal parametreler ve koşullar altında incelemişlerdir. Dört farklı ahşap türünün etkisi

incelemişlerdir. Bu çalışmada kimyasal elementlerin (karbon, oksijen ve hidrojen) etkisi ve kimyasal bileşiklerinin (lignin, selüloz ve hemiselüloz) kalorifik değer üzerindeki etkisi dikkate alınmıştır. Spirchez ve arkadaşları (2019) 170-210 °C sıcaklıklarda 1, 2 ve 3 saat süreyle ısıtılma tabii tutulan ladin ve kayın talaşından yapılan peletlerin fiziksel özelliklerini (yoğunluk) ve kalorifik özelliklerini (kalorifik değer ve kül içeriği) belirlemeyi amaçlamaktadırlar. Talaşın ısıtılmasından sonra kütle kaybı elde edilmiş ve laboratuvar koşullarında sıkıştırılmış peletler elde edilmiştir. Talaş işleminde elde edilen sonuçlar, sıcaklığa ve ısıtılma sürelerine bağlı olarak kalorifik değerde zayıf bir artış olduğunu göstermiştir. Çalışmanın nihai sonucu, ısıtılma işleminin talaş peletlerinin kalorifik özelliklerini iyileştirdiği, kayın talaşının ladin talaşına göre daha yüksek bir torrefaksiyon ve sıkıştırma kapasitesine sahip olduğudur. Ayrılmış ve arkadaşları (2021^a) poli asetik asitten (PLA) üretilen biyokompozit filmlerin teknolojik, termal ve antimikrobiyal özellikleri ve yerinde üretilen nanogümüş parçacıkları (AgNPs) ile termal olarak işlenmiş dört ahşap bir biyo-indirgeme yöntemi kullanılarak incelemişlerdir. Fenolik bakımından zengin Anadolu sığla ağacının (*Liquidambar orientalis* Mill.) taze yapraklarının özütleri gümüş iyonları için indirgeyici ajan olarak kullanılmıştır. Karışık hammaddelerin altı farklı formülasyonu birlikte dönen çift vidalı ekstrüderde ekstrüde edilmiştir. Ağırlıkça %5 ve %10 ahşap dört yükleme seviyelerindeki PLA bikompozit filmleri aşağıdaki altı formülasyondan sıcak pres yöntemiyle üretilmiştir: (a) ısıtılma işlem görmüş ahşap+yaprak özütü+AgNO₃, (b) işlem görmemiş ahşap+yaprak özütü+AgNO₃, (c) ısıtılma işlem görmüş ahşap+AgNO₃, (d) işlem görmemiş ahşap+AgNO₃, (e) ısıtılma işlem görmüş ahşap, (f) işlem görmemiş ahşap ve (g) saf PLA. İşlem görmemiş/işlem görmüş ahşap ile ağırlıkça %5 ve %10 ahşap dört yükleme seviyelerinde üretilen tüm biyokompozit filmler, saf PLA numunelerinden daha iyi çekme modülü göstermiştir. Genel olarak, biyokompozitlerin gerilme mukavemeti, artan ahşap dört içeriğinden olumsuz etkilenmiştir. Enerji dağılımlı X-ışını spektroskopisi (EDX) ile donatılmış taramalı elektron mikroskopundan (SEM) elde edilen spektrumlar ahşap partiküllerindeki gümüş nanopartiküllerini göstermiştir. Sonuçlar, PLA ve gümüş nitrat ve yaprak özütü kullanılarak modifiye edilmiş ahşap dört ile üretilen biyokompozit filmlerin en yüksek gerilme modülüne sahip olduğunu göstermiştir. Yaprak ekstraktı uygulamasının, ağırlıkça %10 ahşap dört içeriğinde biyokompozit filmlerin gerilme özellikleri üzerinde olumlu bir etkiye sahip olduğu gözlemlenmiştir. Başka bir çalışmada da Ayrılmış ve arkadaşları (2021^b), 3D baskı yoluyla ticari ahşap/PLA filamentinden katkı olarak üretilen numunelerin mekanik özellikleri üzerinde çekirdek konfigürasyonunun etkilerini anlamayı

amaçlamışlardır. Farklı dolgu oranlarına sahip ahşap/PLA numuneleri ve kare, altıgen ve sekizgen gibi desen türleri 3D yazıcı kullanılarak üretilmiştir. Altıgen desenli numuneler en yüksek mekanik özelliklere sahip olmuş, bunu kare ve sekizgen çekirdek desenleri izlemiştir. Dolgu oranı açısından, mekanik özellikler artan dolgu oranı ile keskin bir şekilde artmıştır. Özellikle, dolgu oranı %20'den %50'ye çıktığında, mekanik özelliklerdeki artış oranı önemli ölçüde 50'den %80'e kadar görülenden daha yüksektir. Brinell sertlik testlerinden sonra en yüksek elastik iyileşme oranı altıgen çekirdekli numunelerde bulunmuş, bunu kare ve sekizgen şekilli çekirdekler izlenmiştir.

Düzce de bulunan Aktif Yonga Türkiye'nin ilk ahşap atıkları toplama ve geri kazanım lisansına sahip firmasıdır. Bu firmanın kapasite durumu yıllık bazda 150000 ton ağaç yonga (ağaç tozu (Kayın, Çam, Göknar)) , 25000 ton altlık talaş, 7500 ton peletdir. Bu firma yılda 250 bin ton ahşap atık işleyip ekonomiye kazandırmaktadır (Url-14).

Günümüzde mobilyaların üretiminde kullanılan odun esaslı levha ürünlerinin yaşam döngüsü modanın bir sonucu olarak gün geçtikçe kısalmaktadır. Dekoratif zeminler için kullanılan laminat levhaların kullanım süresi yaklaşık olarak 10-15 yıl olarak tahmin edilmektedir. Bu hızlı değişimden dolayı, kullanılabilir olan atılan ürünler bile yakın gelecekte büyük bir katı atık sorunu haline dönüşecektir. Bu sorunu çözebilmek için geri dönüşümü mümkün olan odun esaslı ürünleri doğru şekilde dönüştürerek çevreye bırakılacak atık miktarını azaltmada, artan hammadde fiyatları ve hammaddeye ulaşma sıkıntısını çözmek anlamında yardımcı olarak sürdürülebilirliğin sağlanması önemlidir. Böylece geri dönüşüm sektörüne önem verilmesi çevremiz ve milli sermayemize değer katacaktır.

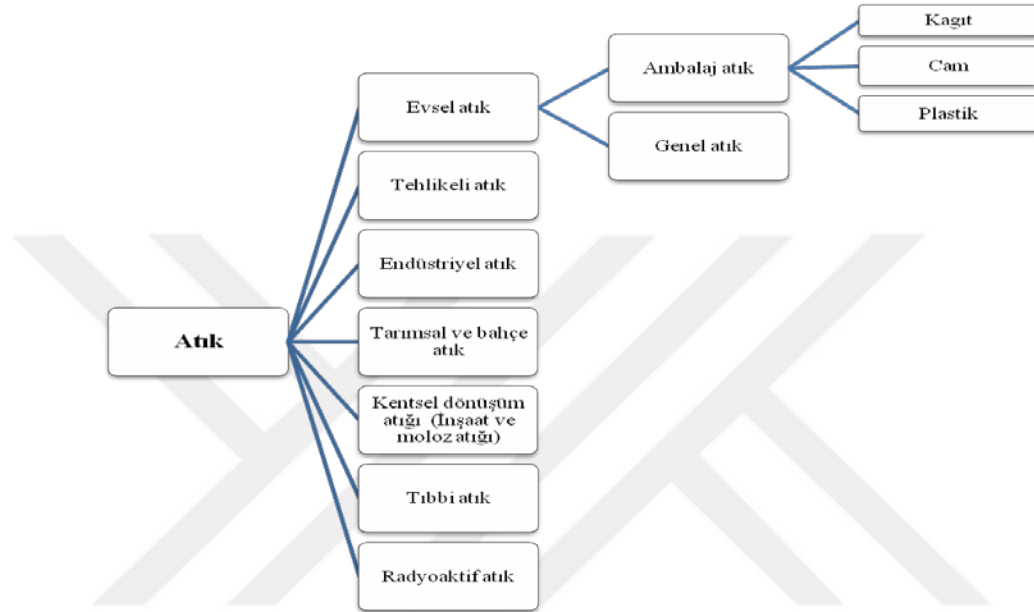
Atık Yönetmeliği kapsamında, Almanya'da odun koruma ve odun atıklarının bertarafı ile ilgili olarak bazı terimler kullanılmaktadır. Aynı terimler diğer ülkelerde farklı şekillerde kullanılabilir ve başka bir anlamı olabilir (Peek, 2004; Taşpınar, 2012; Bozkuş, 2018).

Atık odun: Endüstriden ve kullanılmış odunlardan kalan odun, bunlar kapalı madde döngüsü ve Atık Yönetimi Yasası anlamında atık teşkil ettiği sürece endüstriden ve kullanılmış odunlardan kalan oduna denilmektedir.

Endüstriden gelen atık odun: Ağaç işleme ve işleme tesislerinde biriken ahşap artıkları, elde edilen kereste ürünleri endüstrisinde biriken türetilmiş kereste artıkları ve ayrıca esas olarak ahşaptan oluşan kompozit ürünlere (kütlece %50'den fazla) denilmektedir.

Kullanılan odun: Masif ahşaptan, türetilmiş ahşap ürünlerden veya esas olarak ahşaptan oluşan kompozit malzemelerden (kütle olarak %50'den fazla) kullanılmış ürünlere denilmektedir.

2.3. ATIKLARIN SINIFLANDIRILMASI



Şekil 2.3: Atıkların sınıflandırılması (Avrupa Birliği Ambalaj Atıkları Kontrolü Yönetmeliği, 2008; Sayar, 2012; Karasu,2013; Gündüzalp ve Güven, 2014; Mickey,2014).

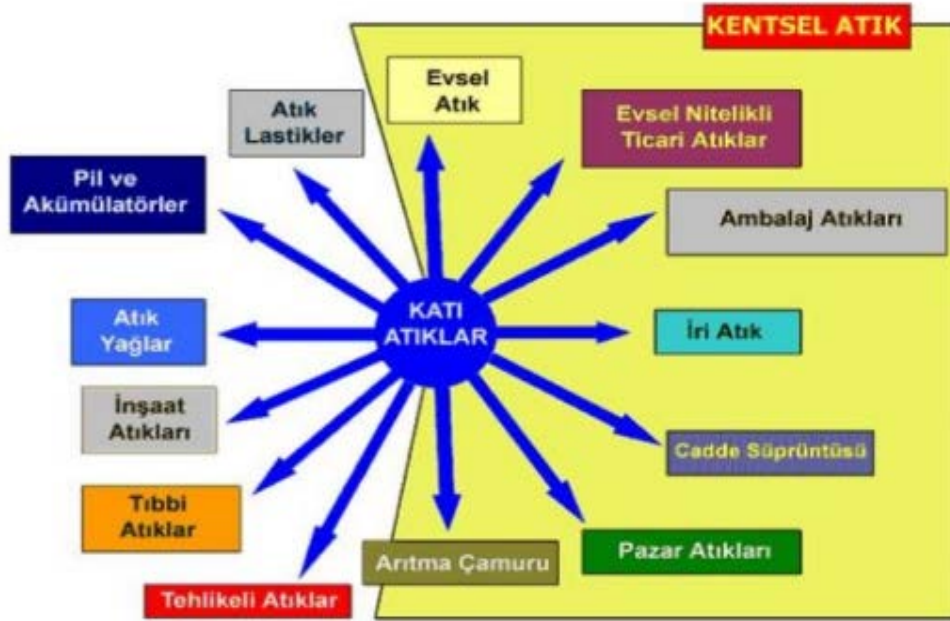
Atıklar; tüketim, üretim, kimyasal, fiziksel özellikler gibi çeşitli faktörlere bağlı olarak sınıflandırılabilir (Şekil 2.3).

2.3.1. Katı Atıklar

Çevre ve insan sorunu olarak katı atıklar; atık döngüsü içinde, üretildikleri aşamadan bertaraf aşamasına kadar çevre ve insanla doğrudan ya da dolaylı olarak etkileşim halindedir. Katı atıklar, hem içeriklerindeki hastalık yapıcı veya bulaştırıcı maddelerle doğrudan; hem de fare, sinek vb. diğer canlılar için beslenme ve üreme kaynağı olması nedeniyle dolaylı olarak çevre ve insan sağlığını olumsuz yönde etkilemektedir (Güler ve Çobanoğlu, 1996; Tokgöz ve Sarmaşık, 1982).

Katı atıklar endüstriyel üretim sırasında ortaya çıkabileceği gibi tüketiciler tarafından kullanım ömürlerini tamamladıkları veya vazgeçildikleri için ortaya çıkmaktadırlar. Bu

atıkların toplanması, taşınması, yok edilmesi ve yönetimi oldukça önemlidir. İçinde çok fazla çeşidi barındıran bu atıklar insanı, doğayı, sağlığı, çevreyi ve ekonomiyi etkilemektedirler (Avrupa Birliği Ambalaj Atıkları Kontrolü Yönetmeliği, 2008; Sayar, 2012; Karasu,2013; Gündüzalp ve Güven, 2014; Mickey, 2014). Bu atıkların yönetilmesi yerel yönetimlerin en önemli görevidir.



Şekil 2.4: Katı atıklar (Avrupa Birliği Ambalaj Atıkları Kontrolü Yönetmeliği, 2008; Sayar, 2012).

Katı atıklar, oluştukları yerlere göre yedi alt sınıfa ayrılmaktadır. Bunlar; evsel katı atıklar, endüstriyel atıklar, tehlikeli atıklar, özel atıklar, tıbbi atıklar, tarımsal ve bahçe atıkları, inşaat atıkları ve moloz atıkları (Şekil 2.4) olarak sınıflandırılır (Tıbbi Atıkların Kontrolü Yönetmeliği, 2005; Atık Yönetimi Genel Esasları Yönetmeliği, 2008; Avrupa Birliği Ambalaj Atıkları Kontrolü Yönetmeliği, 2008; Sayar, 2012). Ayrıca katı atıklar, bileşimine ve kaynaklarına göre ikiye ayrılmaktadır (Avrupa Birliği Ambalaj Atıkları Kontrolü Yönetmeliği, 2008; Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2015). Bunlar:

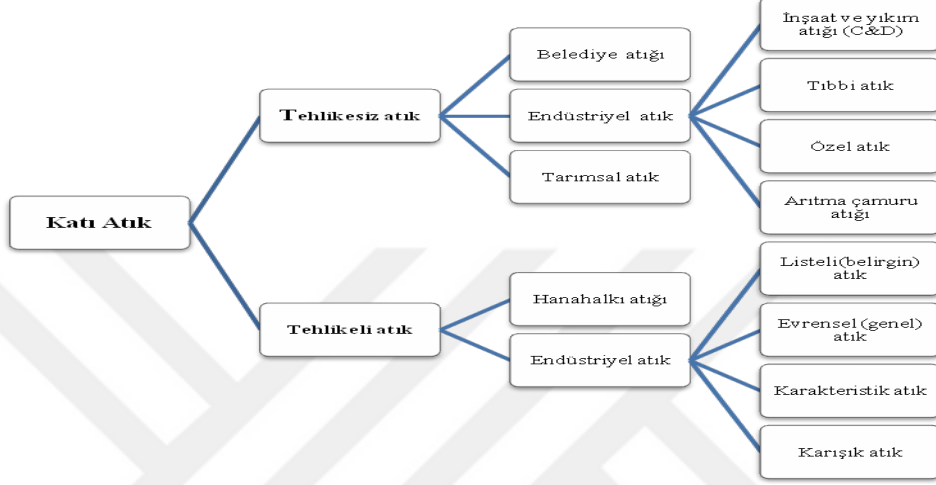
a) Bileşimine Göre Katı Atıklar

- Organik 1: Kompostlanabilir ve yanabilir organikler (bitkisel, hayvansal, kağıt, tekstil atıkları,...)
- Organik 2: Biyokimyasal ayrışması imkânsız ya da çok yavaş olan organikler (odun, kâğıt, deri, lastik, kemik, plastik atıklar)

- İneret maddeler: Yanmayan maddelerdir (cam, porselen, taş, kil atıkları).

b) Kaynaklarına göre Katı Atıklar

- Evsel nitelikli atık
- Endüstriyel atıklar
- Tehlikeli atıklar



Şekil 2.5: Katı atıkların sınıflandırılması (Environmental Protection Agency (EPA), 2002).

Katı atıkların tehlikeli ve tehlikesiz olarak sınıflandırılması Şekil 2.5 de gösterilmiştir (EPA, 2002). Katı atıklarda tehlikeli ve tehlikesiz ayrımının yapılabilmesi, özellikle depolama alanı sorununun olmasından dolayı ilk öncelik olmalıdır. Ülkemizde gerek endüstrinin yerleşim alanı olmaları nedeniyle gerekse ülke nüfusunun önemli bir bölümünü barındırmaları nedeniyle Marmara Bölgesindeki başta İstanbul olmak üzere Kocaeli, Bursa, Balıkesir gibi iller için katı atık yönetimi büyük önem taşımaktadır. Bu durum İzmir ve Ankara gibi şehirler için de önemlidir. Tüm bu şehirlerde arsa maliyetlerinin çok yüksek olması nedeniyle katı atık depolama alanlarının oluşturulması ve bu alanlarda etkin ayrıştırma yapılması pek mümkün olamamaktadır. Katı atıkların ayrıştırılması, sınıflandırılması ve en doğru şekilde değerlendirilmesi ülke ekonomisine sağlayacağı katkı kadar sağlıklı bir çevre oluşturması açısından da çok büyük önem arz etmektedir. Katı atıklar içerisinde yer alan lignoselülozik atıklar, ülkemizde ahşap endüstrisinin ciddi istihdam sağlayan, cari açığı kapatmada önemli bir yeri olan bir endüstri olması nedeniyle doğru karakterize edilmesi ve sınıflandırılması gereken önemli atıklar olarak karşımıza çıkmaktadır (Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2015).

Katı atıklar içerisinde yer alan lignoselülozik atıklar, ülkemizde ahşap endüstrisinin ciddi istihdam sağlayan, cari açığı kapatmada önemli bir yeri olan bir endüstri olması nedeniyle doğru karakterize edilmesi ve sınıflandırılması gerek önemli atıklar olarak karşımıza çıkmaktadır.

Lignoselülozik kelimesi, odundaki önemli bir polimer olan lignin kelimesi ile yine çok önemli bir polimer olan selüloz kelimesinin birleşmesi ile oluşmaktadır. Lignoselülozik hammadde; biyokütle gibi büyük oranda selüloz, hemiselüloz ve lignin içeren odun, tarımsal ve orman kaynaklarıdır (Bezerra ve Ragauskas, 2016). Bu kaynaklardan açığa çıkan atığa lignoselülozik atık denilmektedir. Bu atıklar yüksek karbon içerikleri nedeniyle temiz ve yüksek enerji üretimi için kullanılabilir kaynak olma özelliğine sahiptir (Borand, 2012; Url-1; Kapdan ve Kargı, 2006; Barışık ve Kapdan, 2016; Chandra ve Madakka, 2018; Borand, 2019).

Lignoselülozik doğal kaynakların temel bileşenleri selüloz, polyozlar ve lignin gibi doğal polimerler ile yan bileşenler olarak adlandırılan aromatik ve fenolik yapılardır. Ayrıca lignoselülozik maddeler ağacın yetiştirme yerine bağlı olarak ülkemizin de içinde yer aldığı ılıman bölgelerde miktarı % 0.1-0.5 arasında değişen, tropikal bölgelerde ise miktarı %5'lere kadar çıkan inorganik maddelerden oluşmaktadır (Fengel ve Weegener, 2003).

Atık yönetimi açısından maliyeti düşürmenin en önemli ve en kolay yolu ucuz ve yenilenebilir hammadde olan tarımsal atıklar, kâğıt atıkları ve odun talaşları gibi sürdürülebilir lignoselülozik malzemelerin kullanılmasıdır (Mc Millan James, 1994; Hadar, 2013). Lignoselülozik malzemelerin kullanılması sonucu lignoselülozik atıklar oluşmaktadır.

Bu lignoselülozik atıkların başlıca kaynakları şunlardır (Scotland, 2003):

- Orman kesim atıkları,
- Birincil işleme: Kereste işleme süreçleri,
- İkincil işleme: Mobilya, panel, karton, doğrama imalatı ve inşaatı,
- Atık akışları: Endüstriyel, ticari, yıkım ve evsel

Türkiye, karasal yüzölçümünün yaklaşık %27.7'sini oluşturan tarım alanları ile dünyada en fazla tarım alanına sahip olan 15 ülke arasından 4.sırada yer almaktadır. Toplam tarımsal alanın yaklaşık %38,4'ünü ekili alan, %44,1 'ini ormanlar, %10,4'ünü nadas alanları ve %7,1'ini meyve ve sebze ekili alanlar oluşturmaktadır. Tarımda üretim sırasında ve endüstriyel üretimde çok sayıda atıklar oluşmaktadır. Ülkemizde tarım ürünlerini üretirken ve

endüstriyel üretimde çıkan atıklar enerji üretiminde değerlendirilirken, bir bölümü ise depolama, taşıma ve işçilik maliyetleri nedeniyle değerlendirilmeye alınmadan olduğu yerde bırakılmaktadır. Ancak lignoselülozik atıklar yenilenebilir biyokütle kaynağıdır. Bu yüzden lignoselülozik bileşiklerce zengin olan bu atıkların değerlendirilmesi endüstriyel yönden, ülke ekonomisi açısından ve atıkların çevreye olan olumsuz etkilerinin azaltılması yönünden önemlidir (Baran, Çaycı ve İnal, 1995; Anonim, 2017; Bilek, Melikoğlu ve Cesur, 2019).

Ahşap malzeme, insanlık tarihi boyunca kolay elde edilebilmesi, kolay işlenebilmesi, sıcak görünümü, sağlıklı bir malzeme olması ve en önemlisi çevre dostu olması nedeniyle önemini hiçbir zaman yitirmediği gibi, günümüzde hammadde kaynaklarının hızla azalmasından ötürü sürdürülebilir kaynaklardan elde edilmesi nedeniyle de önemi daha da artmış olan bir malzemedir (Winter vd., 1999). Ahşap malzeme, elektrik ve telefon direkleri, ahşap bazlı paneller, mobilya ve yapı malzemesinin yanında yakıt olarak da kullanılmaktadır. Atık ahşapların büyük bir kısmını ise ahşap panellerin üretimi esnasında ortaya çıkan atıklar ve servis ömrünü tamamlayan ahşap bazlı ürünler oluşturmaktadır. Ahşap atıklar gerek ahşap malzemelerin üretimleri sırasında gerekse kullanım amaç ve ömürlerini tamamlamaları sonucunda atık olarak ortaya çıkmaktadır. Günümüzde kentsel dönüşüm sırasında da önemli miktarlarda atık ahşap ortaya çıkmaktadır. Ancak bu atıkların değerlendirilebilmesi için içeriklerinin bilinmesi ve sınıflandırmalarının yapılması önemlidir. Bir şekilde oluşan ahşap atıkların sınıflandırılmasının yapılabilmesi için, kimyasal olarak içeriklerinin belirlenmesi gerekir. Çünkü ahşap malzemeler üretimleri sırasında ve kullanım yerlerinde çeşitli kimyasal ve fiziksel işlemlere maruz kalmaktadırlar. Atık ahşap geri kazanılabilir ve yeniden üretim sürecine girerek yeni malzeme üretiminde kullanılabilir veya yakıt olarak değerlendirilebilir (Ragland vd., 1991; Müller-Hagedorn vd., 2003; Hadar, 2013; Sözen vd., 2017).

2.3.1.1. Endüstriyel Lignoselülozik Atıkların Sınıflandırılması

Endüstriyel lignoselülozik atıkların ülkelere göre sınıflandırılması ilgili tablolarda gösterilmiştir.

2.3.1.1.1. Ünelere göre Endüstriyel Lignoselülozik Atıkların Sınıflandırılması

Almanya, Finlandiya, Birleşik Krallık, Fransa ve Türkiye'ye göre endüstriyel lignoselülozik atıkların sınıflandırmaları Tablo 2.2, Tablo 2.3 Tablo 2.4, Tablo 2.5 ve Tablo 2.6 da gösterilmektedir (Department of Environment Food and Rural Affairs, 2012; Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Sektörel Atık Kılavuzları, 2016; Besserer vd., 2021; FAO, 2021).

Tablo 2.2: Almanyadaki endüstriyel lignoselülozik atıkların sınıflandırması (FAO, 2021).

Sınıf	Tanım	Atık odunların örneği
AI	Doğal haliyle veya sadece mekanik olarak işlem görmüş, kullanım sırasında ahşaba zararlı maddelerle önemsiz derecede kirlenmiş olan ahşap atığı	Doğal haldeki masif ahşaptan kesimler veya talaşlar; masif ahşaptan yapılmış paletler (ör. Europaletler); meyve ve sebzeler için kutular; masif ahşaptan kablo makaraları (1989'dan sonra yapılmıştır); şantiyelerden doğal haliyle ahşap atık; doğal halinde mobilya veya masif ahşap
AII	Kaplamada halojenli organik bileşikler ve ahşap koruyucular içermeyen, yapıştırılmış, boyanmış, kaplanmış, cilalanmış veya başka şekilde işlem görmüş olan ahşap atığı	Türetilmiş kereste ürünlerinden yapılmış paletler; inşaatta kullanılan yonga levha; kaplamada halojenli organik bileşikler içermeyen mobilyalar
AIII	Kaplamada halojenli organik bileşikler içeren, ahşap koruyucu içermeyen ahşap atığı	Halojenli organik bileşikler içeren yonga levhalar; halojenli kompozit malzemeli paletler; kaplamada halojenli organik bileşikler içeren mobilyalar; karışık hacimli ahşap atıkları
AIV	Ahşap koruyucularla işlem görmüş ahşap atığı ve diğer ahşap atıkları, kirlenmesi nedeniyle, poliklorobifenil (PCB) içeren ahşap atık hariç, AI, AII veya AIII atık kategorilerine atanamaz	Demiryolu traversleri; telefon direkleri; atlama direkleri; asma direkleri; masif ahşaptan kablo makaraları (1989'dan önce yapılmıştır); mühimmat kutuları; hasarlı yapılardan kaynaklanan atık ahşap (örn. yanmış ahşap)
Ahşap atığı	PCB/PCT (poliklorlu tertafenil) -Atık Yönetmeliği anlamında PCB içeren ahşap atığı	PCB içeren maddelerle işlem görmüş yalıtım levhaları ve ses yalıtım levhaları

Tablo 2.3: Finlandiyadaki endüstriyel lignoselülozik atıkların sınıflandırması (FAO, 2021).

Sınıf	Tanım	Standart ve gereksinimler	Atık odunların örneği
A	Sadece mekanik işlem görmüş ahşap atığı	ISO 17225-1 Katı Biyoyakıtlar; köken ve kaynak gereksiniminin kanıtı	Konstrüksiyondan oluşan odun atığı, odun işleyen endüstrilerde üretim ve ürünün oluşum esnasında oluşan atıklar
B	Kimyasal işlem görmüş tehlikesiz ahşap atıkları	ISO 17225-1 Katı Biyoyakıtlar; köken ve kaynak gereksiniminin kanıtı	Ahşap işleme endüstrisinden levhalar, kontrplak, paletler, yan ürünler ve artıklar
C	Organik halojen bileşiklerini içeren ahşap atığı veya eşik değerin üzerindeki ağır metaller (S 0.2 w-%; N 0.9 w-%, Cl 0.1 w-%; As+Cr+Cu 70 mg/kg; Cd 1 mg/kg; Hg 0.1 mg/kg; Pb 50 mg/kg; Zn 200 mg/kg.) (İşlem görmemiş ahşap referans alınmıştır)	DIN EN 15359-Katı Geri kazanılmış Yakıtlar	İnşaat (kentsel dönüşüm) ahşap
D	Koruyucu işlem görmüş tehlikeli ahşap atıkları	-	Demiryolu traversleri, iletim ve telefon hattı direkleri

Tablo 2.4: Odun Geri Dönüşüm Birliği'ne göre Birleşik Krallıktaki endüstriyel lignoselülozik atıkların sınıflandırılması (Department of Environment Food and Rural Affairs, 2012; FAO, 2021).(İlgili tablonun notlar kısmı burada yer almamaktadır)

Sınıf	Karakteristik kullanım yerleri	Geri dönüşüm için karakteristik hammadde kaynakları	Karakteristik malzemeler	İşlemeden önceki karakteristik ahşap olmayan içerik
Sınıf A- Hiçbir işlem görmemiş ahşap atığı	Hayvan yatakları, atlar ve çevre düzenlemesi yüzey kaplaması gibi profesyonel ve tüketici ürünlerinin üretimi için bir hammadde ve evsel-biyokütle tesislerinde pelet yakıtı olarak ve briket imalatında kullanılabilir.	Dağıtım, perakendecilik, ambajlama ve ikincil üretim vb. marangozluk ve paletin geri kazanımında.	Masif- iğne yapraklı ve yapraklı ağaç. Ambalajlama atığı, hurda paletler, ambalaj kutuları ve kablo makaraları , işlem görmemiş ürün üretimindeki işlem atıkları	Çiviler ve metal sabitleme elemanları. Küçük miktardaki yüzey kaplamaları ve boyalar
Sınıf B- Endüstriyel ahşap atığı	Panel levha ürünlerinin imalatı gibi ahşap endüstrileri için bir bir hammadde olarak kullanılabilir.	Sınıf A olarak inşaat ve yıkım işlemleri (kentsel dönüşüm), atık haznesi işlemleri, transfer istasyonları	Yukarıdaki gibi %60 A sınıfı malzeme artı inşaat ve yıkım malzemeleri ve masif ahşaptan yapılmış ev mobilyaları içerebilir.	Çiviler ve metal sabitlemeler. Bazı boyalar, plastikler, cam, kumtaşı, kaplamalar, bağlayıcılar ve yapışkanlar.Son kullanıcılar ve IED tarafından tanımlanan işlenmiş veya kaplanmış malzemeler üzerindeki limitler
Sınıf C- Belediye ahşap atığı	IED 4.bölüm kullanımı için biyokütle kurulumunda kontrol edilen hacimlerde panel levhada kullanılabilir.	Yukarıdakilerin tümü artı belediye tahsilatları, aktarma istasyonları ve HWRC'ler.	Yukarıdakilerin tümü artı çit ürünleri, tahta ürünlerden yapılmış düz paket mobilyalar ve DIY malzemeleri.	Çiviler ve metal sabitleyiciler. Boyalar, kaplamalar ve tutkallar, kağıt, plastik ve kauçuk, cam, kum Kaplanmış ve işlenmiş kereste (CCA veya kreozot olmayan).
Sınıf D- Tehlikeli ahşap atığı	Tehlikeli atık kabul etme lisansına sahip tesislerde bertaraf edilmesini gerektirir.	Yukarıdakilerin tümü artı tarımsal çit, ray çalışması ve iletim direği yüklenicileri.	Tarımsal çitler, iletim direkleri, demiryolu traversleri, soğutma kuleleri.	Bakır krom arsenik (CCA) empenyeleme işlemleri ve kreozot

Tablo 2.5: Fransadaki endüstriyel lignoselülozik atıkların sınıflandırılması (Besserer vd., 2021; FAO, 2021).

Sınıf	Tanım	Atık odunların örneği
A	İşlem görmemiş veya çok hafif işlem görmüş ahşap atıklar	Yonga blokları içeren paletler (kasalar, paletler) gibi ambalaj malzemeleri
B	A ve C sınıflarında yer almayan ahşap atıklar	Tutkallar, boyalar, kaplama ürünleri, kaplamalar vb. gibi katkı maddeleri içeren tüm ahşaplar
C	Bakır (Cu)-krom (Cr)-arsenik (As) gibi ağır metal yükü fazla olarak bilinen ve sınıflandırılan maddeleri içeren tehlikeli ahşap atıklar	CCA veya kreozot gibi koruyucu malzeme ile işlem görmüş ahşap atığı

Tablo 2.6: Türkiye'deki endüstriyel lignoselülozik atıkların sınıflandırması (Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Sektörel Atık Klavuzları,2016; FAO, 2021).

Sınıf	Tanım	Atık odunların örneği
A	Doğal veya mekanik işlem görmüş ahşap atığı	Paletler, nakliye kasaları, işlem görmemiş kablo makaraları, işlem görmemiş ahşaptan yapılmış mobilyalar, inşaatte kullanılan hiç işlem görmemiş ahşap
B	Ahşap koruyucular veya halojenli bileşikler içermeyen boyanmış, astarlanmış, yapıştırılmış ahşap atığı	İnşaat ve yıkım ahşap atıkları, zemin ve duvar panelleri, ahşap mobilyalar, karışık hacimli ahşap, kaplamalı ahşap ambalajlar
C	PCB veya diğer ahşap koruyucular dahil olmak üzere halojenli organik malzemelerle işlem görmüş ahşap atık	Emprenyeli inşaat ahşabı, emprenye edilmiş mobilyalar, endüstriyel zeminler ve çalışma tezgahları, demiryolu traversleri, işlenmiş kablo makaraları

2.3.1.1.2. Karakterizasyona göre Lignoselülozik Atık Olan Odun Atığının Sınıflandırılması

Öncelikle odun atıklarının ne şekilde değerlendirmeye alınacağına yönelik tehlikeli ve tehlikesiz atık olarak sınıflandırılabilmesi için odun atıklarının karakterize edilmesi büyük önem taşımaktadır. Esas Yönetmelik (EC) 2150/2002 EK III: Eşdeğerlik Tablosu Odun atıklarının sınıflandırılmasını şu şekilde yapmaktadır (European Commission (EC), 2012):

07.5 Odun atıkları

07.51 Ahşap ambalajlar

0 Tehlikesiz

15 01 03 tahta ambalaj

07.52 Talaş ve Rendeleme

0 Tehlikesiz

03 01 05 talaş, rende, kesme, ahşap, sunta ve kaplama

1 Tehlikeli

03 01 04 * Tehlikeli maddeler içeren talaş, rende, kesme, ahşap, sunta ve kaplama

07.53 Diğer odun atıkları

0 Tehlikesiz

03 01 01 atık kabuk ve tıkaç

03 03 01 atık kabuk ve odun

17 02 01 Ahşap

19 12 07 19 12 06'da belirtilenler dışındaki odun

20 01 38 20 01 37'de belirtilenler dışında odun

1 Tehlikeli

19 12 06 * Tehlikeli maddeler içeren odun

20 01 37 * Tehlikeli maddeler içeren odun

Tablo 2.7: Tehlikeli ve tehlikesiz odun atıklarının tanımlanması ve kaynakları (Eurostat, 2018).

Açıklama	Tanım	Kaynak dalları	Dışında kalanlar
Odun atıkları Tehlikeli/Tehlikesiz	<p><u>Atık türü:</u> Ahşap ambalaj Talaş,talaş,kesimler Kağıt hamuru, kağıt hamuru ve kağıt üretimi İnşaatlık ahşap ve binaların yıkımı Ayrı toplanan odun atıkları</p> <p><u>Menşei:</u> Ahşap ve kağıt işleme-üretim</p> <p><u>Tehlikeli:</u> Hg veya katran bazlı ahşap koruyucu gibi tehlikeli maddeler içerdiğinde tehlikeli</p>	<p>Genel olarak odun işleme, kağıt hamuru ve kağıt endüstrisi ve binaların yıkılması</p> <p><u>Detay:</u> *Ahşap işleme ve panel üretimi ve mobilya (16.1 biçilmesi ve planyalanması; 16.2 Odun ürünlerinin imalatı mantar, saman ve örtü malzemeleri; 31 imalatı mobilya) *Kağıt hamuru, kağıt ve karton üretimi ve işlenmesi (17.11 Kağıt hamuru imalatı;17.12 Kağıt imalatı ve karton) *İnşaat ve yıkım (41.20 İnşaat konut ve konut olmayan binalar; 42 Sivil mühendislik; 43 Özel inşaat) *Atığın mekanik olarak işlenmesi (38.3 Malzeme geri kazanımı) *Ayrı toplanan kesimler (38.1 Atık toplama)</p>	Odun içeren karışık atıklar Ahşap içeren PCB

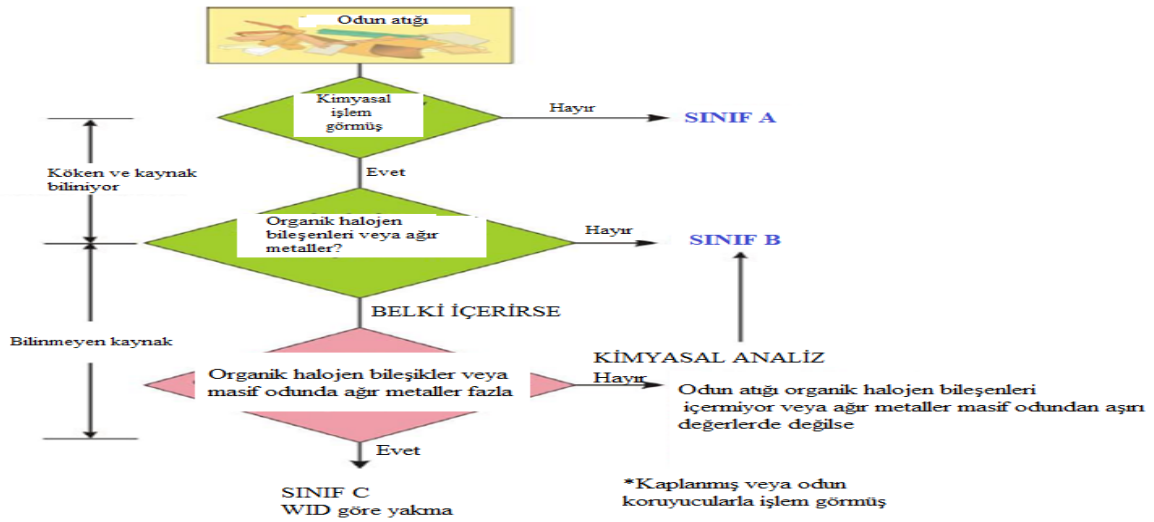
Çevresel istatistik temelli Avrupa atık kategorileri arasında odun atığı hem tehlikeli hem de tehlikesiz atık olarak kabul edilmektedir. Tehlikeli olmasının nedeni oduna uygulanan koruma amacıyla kullanılan kimyasallardır (EPA, 2002). Odun atıklarının tehlikeli ve tehlikesiz olma durumuna göre tanımlanması, kaynakları ve bunlar dışında kalanlar Tablo 2.7 de gösterilmektedir (Eurostat, 2018). Atık odunu sınıflandırmada kimyasal işlem uygulanıp uygulanmama durumuna göre atık odunun geri kazanımında kullanılacak olan standartlarda (EN 15359:2011-Katı geri kazanılmış yakıt ve EN ISO 17225-1:2014-Katı biyo yakıtlar) atık odunun değerlendirilmesi açısından önemlidir.



Şekil 2.6: Atık odunun kategorileri (Alakangas , 2014).

Alakangas (2014), atık odunun sınıflandırılmasında 4 çeşit atık kategorisi belirlemiştir. Bu kategoriler sırasıyla şunlardır (Şekil 2.6):

- Atık odun kategorisi A: Sadece mekanik işlem uygulanmış atık odun.
- Atık odun kategorisi B: Kaplamada halojenli organik bileşik içermeyen ve ahşap koruyucu madde içermeyen, yapıştırılmış, boyanmış, kaplanmış (PVC ile kaplanmış), lake veya başka şekilde işlem görmüş atık odun.
- Atık odun kategorisi C: Kaplamada halojenli organik bileşikler içeren ve odun koruyucusu olmayan atık odun veya yıkım atık odun.
- Atık odun kategorisi D: PCB içeren atık odun hariç demiryolu traversleri, telefon direkleri, atlama direkleri, asma direkleri ve diğer atık odunlar gibi ahşap koruyucu maddelerle işlenmiş atık odun, kirliliği nedeniyle A, B veya C atık kategorilerine girmeyenler.



Şekil 2.7: Alakangas'a göre odun atığının sınıflandırmasında kullanılan atık şeması (Alakangas vd., 2015).

Endüstriyel lignoselülozik atıkların sınıflandırılmasında kullanılan akış şeması Şekil 2.7 de gösterilmiştir (Alakangas vd., 2015).

Odun atığı sınıflandırmasında genel olarak 4 sınıf (A, B, C, D) mevcuttur. Ayrıca odun atığı sınıflandırması üretim ve üretim sonrası kullanımdan çıkan odun atıklarının yakıt olarak biyoyakıt değerlendirilmesine tabii olan standartlar; EN 1539:2011-Katı Geri Kazanım 42 Yakıtları ve TSE EN ISO 17225:2014 Katı Biyoyakıtlar-Yakıt Özellikleri ve Sınıflarıdır (Alakangas, 2014; Alakangas vd., 2015).

Odundan elde edilen biyokütle enerjisinin sahip olduğu özellikler şunlardır (EN ISO 17225-1:2014):

- Ahşap ve yenilenebilir
- Yerel ve güvenilir
- Sürdürülebilir ve uygun fiyatlı
- Düşük karbon emisyonu
- Asgari kül ve çok düşük metaller ve kükürt oluşma
- Okullar, hastaneler ve yüksek enerji maliyetleriyle karşı karşıya kalan diğer kurumlar için iyi seçenektir.

2.3.1.1.3. Kentsel Dönüşüm Odun Atıkları



Şekil 2.8: Kentsel dönüşüm atıkları (Sarah vd., 2017).

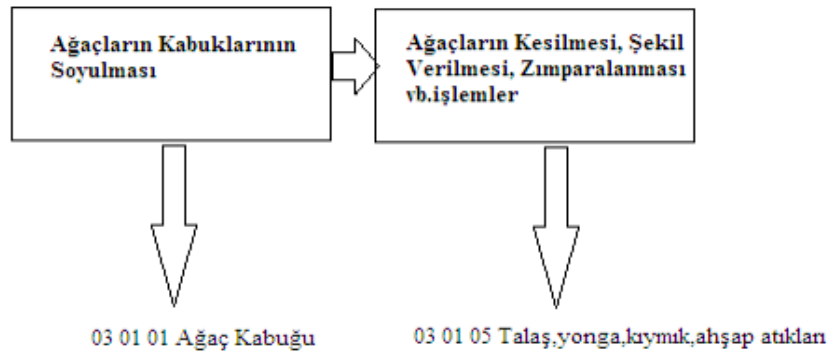
Sadece üretimde atık odun oluşmaz. Bir mobilyanın eskimesi sonucunda, kentsel dönüşüm sonucunda da atık odun ortaya çıkmaktadır (Şekil 2.8). Müteahhitler tarafından dönüşüme girecek evin yıkılması sonucu açığa çıkan moloz vb. maddeler oluşmaktadır. Bu atık maddelerin (karışık maddeler) gömme işlemi yapılması gerekir. Eğer odun atığı geri kazanılmak istenirse müteahhitlerle anlaşılıp odun örneklerinin dönüşüme girecek konutun yıkılmadan önce toplanması gerekir (Sarah vd.,2017).

2.3.1.2. Odun Atığının Oluşum Kaynakları

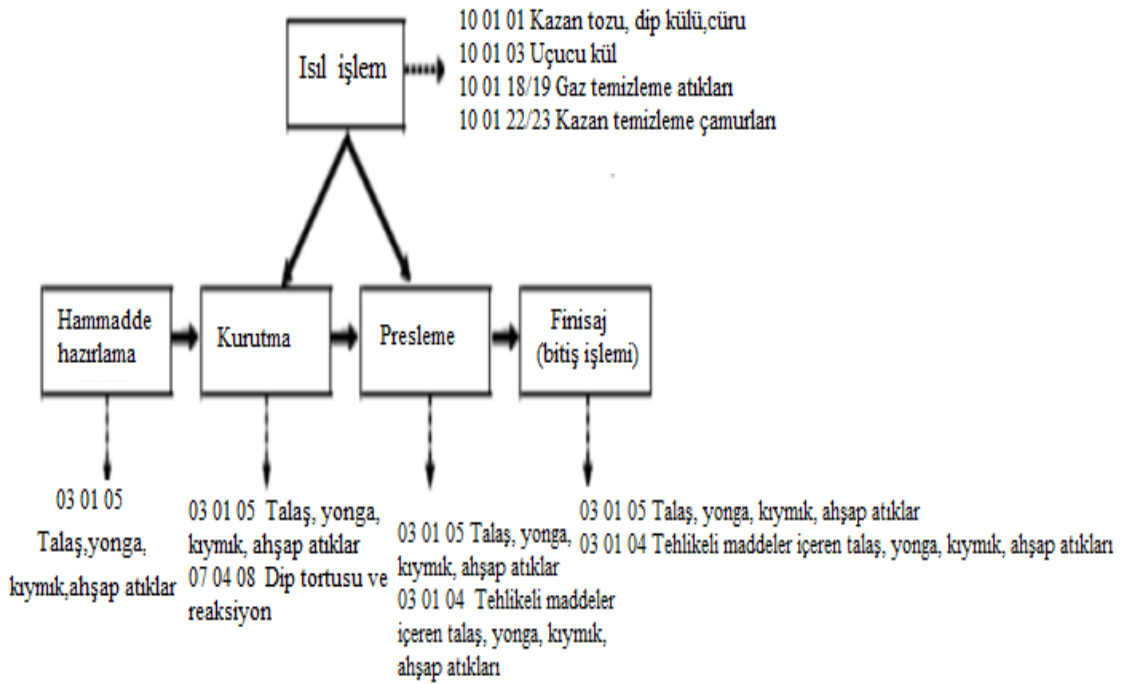
Ham ağaç ürünleri ve mobilya imalatı esnasında odun atıkları oluşmaktadır.

2.3.1.2.1. Ham Ağaç Ürünleri

Ham ağaç ürünleri proses atıkları ve üretim noktalarına göre ağaçların kabuklarının soyulması, ağaçların kesilmesi, şekil verilmesi, zımparalanması vb. işlemler sonucunda iki tür odun atığı oluşmaktadır (Şekil 2.9).



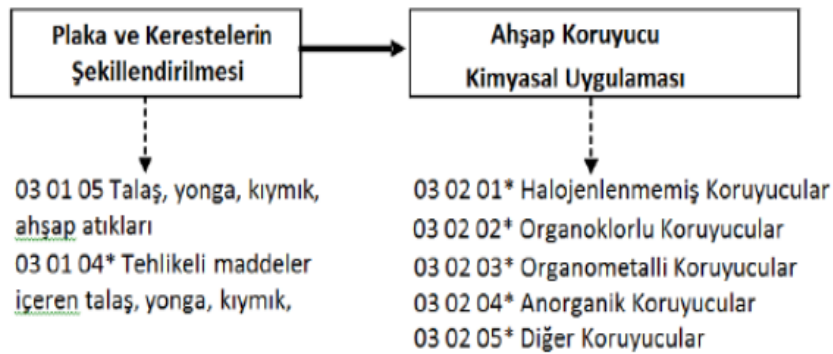
Şekil 2.9: Ham Ağaç Ürünleri Proses Atıkları ve Üretim Noktaları (Çevre, Şehircilik ve İklim Bakanlığı Sektörel Atık Kılavuzları, 2016).



Şekil 2.10: Ağaç Panel Ürünleri Proses Atıkları ve Üretim Noktaları (Çevre, Şehircilik ve İklim Bakanlığı Sektörel Atık Kılavuzları, 2016).

Ağaç Panel Ürünleri Proses Atıkları ve Üretim Noktalarına göre bütün üretime etki eden süreçlerde odun atıkları oluşmaktadır (Şekil 2.10).

2.3.1.2.2. Mobilya İmalatı



Şekil 2.11: Mobilya üretim tesislerinde proses atık üretim noktaları (Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Sektörel Atık Kılavuzları, 2016).

Mobilya üretim tesislerinde proses atık üretim noktaları Şekil 2.11 de gösterilmiştir. Tablo 2.8, Tablo 2.9, Tablo 2.10, Tablo 2.11, Tablo 2.12 ve Tablo 2.13’de sektörden kaynaklanan atıklar gösterilmiştir. Sektörden kaynaklanan atıklar tablolarda gösterilen “A” tehlikeli

bileşenlerin konsantrasyonlarından bağımsız olarak tehlikeli iken, “M” ise tehlikeli bileşenlerin konsantrasyonlarına bağlı olarak tehlikeli ya da tehlikesizdir (Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Sektörel Atık Kılavuzları, 2016). Ağaç ürünleri ve mobilya imalatında faaliyet yapan sektörden kaynaklanan atıklar 3’e ayrılmaktadır:

- a) Prosese özel atıklar (Tablo 2.8 ve Tablo 2.9)
- b) Yan proseslerden kaynaklanan atıkları (Tablo 2.10 ve Tablo 2.11)
- c) Proses dışı atıklar (Tablo 2.12 ve Tablo 2.13)

a) Prosese özel atıklar

Tablo 2.8: Prosese özel atıklar (Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Sektörel Atık Kılavuzları, 2016).

Atık kodu	Atığın Tanımı	A/M
03	Ahşap İşleme ve Kağıt, Karton, Kağıt Hamuru, Panel ve Mobilya Üretiminden Kaynaklanan Atıklar	
<i>03 01</i>	<i>Ağaç İşlemeden ve Panel ve Mobilya Üretiminden Kaynaklanan Atıklar</i>	
03 01 01	Ağaç kabuğu ve mantar atıkları	
03 01 04*	Tehlikeli maddeler içeren talaş, yonga, kıymık, ahşap, kontrplak ve kapmalar	M
03 01 05	03 01 04 dışındaki talaş, yonga, kıymık, ahşap, kontrplak ve kaplamalar	
<i>03 02</i>	<i>Ahşap Koruma Atıkları</i>	
03 02 01*	Halojenlenmemiş organik ahşap koruyucu maddeler	A
03 02 02*	Organoklorlu ahşap koruyucu maddeler	A
03 02 03*	Organometal içeren ahşap koruyucu maddeler	A
03 02 04*	Anorganik ahşap koruyucu maddeler	A
03 02 05*	Tehlikeli maddeler içeren diğer ahşap koruyucuları	M
07	Organik Kimyasal İşlemlerden Kaynaklanan Atıklar	
<i>0704</i>	<i>Organik Bitki Koruma Ürünlerinin (0201 08 ve 020109 hariç), Ahşap Korucu Olarak Kullanılan Maddelerin (Ajanlarının)(03 02 Hariç) ve Diğer Biyositlerin İmalat, Formülasyon, Tedarik ve Kullanımından (İFTK) Kaynaklanan Atıklar</i>	

Tablo 2.9: Prosese özel atıkların devamı (Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Sektörel Atık Kılavuzları, 2016).

Atık kodu	Atığın Tanımı	A/M
07 04 08*	Diğer dip tortusu ve reaksiyon kalıntıları	A
10	Isıl İşlemlerden Kaynaklanan Atıklar	
<i>10 01</i>	<i>Enerji Santrallerinden ve Diğer Yakma Tesislerinden Kaynaklanan Atıklar (19 Hariç)</i>	
10 01 01	(10 01 04'ün altındaki kazan tozu hariç) dip külü, cüruf ve kazan tozu	
10 01 03	Turba ve işlenmemiş odundan kaynaklanan uçucu kül	
10 01 18*	Tehlikeli maddeler içeren gaz temizleme atıkları	M
10 01 19	10 01 05, 10 01 07 ve 10 01 18 dışındaki gaz temizleme atıkları	
10 01 22*	Kazan temizlemesi sonucu çıkan tehlikeli maddeler içeren sulu çamurlar	M
10 01 23	10 01 22 dışındaki kazan temizlemesi sonucu çıkan sulu çamurlar	

b) Yan proseslerden kaynaklanan atıklar

Tablo 2.10: Yan proseslerden kaynaklanan atıklar (Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Sektörel Atık Kılavuzları, 2016).

Atık kodu	Atığın Tanımı	A/M
06	Anorganik Kimyasal İşlemlerden Kaynaklanan Atıklar	
<i>06 08</i>	<i>Silikon ve Sikon Türevlerinin İmalat, Formülasyon, Tedarik ve Kullanımından (İFTK) Kaynaklanan Atıklar</i>	
06 08 02*	Zararlı silikonlar içeren atıklar	M
08	Astarlar (Boyalar, Vernikler ve Vitrifiye Emayeler), Yapışkanlar, Macunlar ve Baskı Mürekkeplerinin Üretim, Formülasyon, Tedarik ve Kullanımından (İFTK) Kaynaklanan Atıklar	
08 01 11*	Organik çözücüler ya da diğer tehlikeli maddeler içeren atık boya ve vernikler	M
08 01 12	08 01 11 dışındaki atık boya ve vernikler	
08 01 13*	Organik çözücüler ya da diğer tehlikeli maddeler içeren boya ve vernik çamurları	M
08 01 14	08 01 13 dışındaki boya ve vernik çamurları	
08 01 15*	Organik çözücüler ya da diğer tehlikeli maddeler içeren boya ve vernikli sulu çamurlar	M
0801 16	08 01 15 dışındaki boya ve vernik içeren sulu çamurlar	
08 01 17*	Organik çözücüler ya da diğer tehlikeli maddeler içeren boya ve verniğin sökülmesinden kaynaklanan atıklar	M
08 01 18	08 01 17 dışındaki boya ve vernik sökülmesinden kaynaklanan atıklar	
<i>08 04</i>	<i>Yapışkanlar ve Yalıtıcıların İmalat, Formülasyon, Tedarik ve Kullanımından (İFTK) Kaynaklanan Atıklar (Su Geçirmeyen Ürünler Dahil)</i>	
08 04 09*	Organik çözücüler ya da diğer tehlikeli maddeler içeren atık yapışkanlar ve dolgu macunları	M

Tablo 2.11: Yan proseslerden kaynaklanan atıkların devamı (Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Sektörel Atık Kılavuzları, 2016).

Atık kodu	Atığın Tanımı	A/M
08 04 10	080409 dışındaki atık yapışkanlar ve dolgu macunları	
08 04 11*	Organik çözücüler ya da diğer tehlikeli maddeler içeren yapışkan ve dolgu macunu çamurları	M
08 04 12	08 04 11 dışındaki yapışkan ve dolgu macunu çamurları	
08 04 13*	Organik çözücüler ya da diğer tehlikeli maddeler içeren sulu yapışkan veya dolgu macunu çamurları	M
08 04 14	08 04 13 dışındaki sulu organik yapışkan veya dolgu macunu çamurları	
08 04 15*	Organik çözücüler ya da diğer tehlikeli maddeler içeren sulu yapışkan veya dolgu macunlarının sıvı atıkları	M
08 04 16	08 04 15 dışındaki yapışkan veya dolgu macunlarının sulu atıkları	
	<i>08 05</i> <i>08'de Başka Şekilde Tanımlanmamış Atıklar</i>	
08 05 01*	Atık izosiyanatlar	A
20	Ayrı Toplanmış Fraksiyonlar Dahil Belediye Atıkları (Evlerden Kaynaklanan ve Benzer Ticari, Endüstriyel ve Kurumsal Atıklar)	
	<i>20 01</i> <i>Ayrı Toplanan Fraksiyonlar (15 01 Hariç)</i>	
20 01 02	Cam	
20 01 11	Tekstil ürünleri	
20 01 39	Plastikler	
20 01 40	Metaller	

c) Proses Dışı Atıklar

Tablo 2.12: Proses dışı atıklar (Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Sektörel Atık Kılavuzları, 2016).

Atık kodu	Atığın Tanımı	A/M
08	Astarlar (Boyalar, Vernikler ve Vitrikiye Emayeler), Yapışkanlar, Macunlar ve Baskı Mürekkeplerinin Üretim, Formülasyon, Tedarik ve Kullanımından (İFTK) Kaynaklanan Atıklar	
	<i>08 03</i> <i>Baskı Mürekkeplerinin İmalat, Formülasyon, Tedarik ve Kullanımından (İFTK) Kaynaklanan Atıklar</i>	
08 03 17*	Tehlikeli maddeler içeren atık baskı tonerleri	M
08 03 18	08 03 17 dışındaki atık baskı tonerleri	
13	Yağ Atıkları ve Sıvı Yakıt Atıkları (Yenilebilir Yağlar, 05 ve 12 Hariç)	
	<i>13 01</i> <i>Atık Hidrolik Yağlar</i>	
13 01 11*	Sentetik hidrolik yağlar	A
13 01 13*	Diğer hidrolik yağlar	A
	<i>13 02</i> <i>Atık Motor, Şanzıman ve Yağlama Yağları</i>	
13 02 06*	Sentetik motor, şanzıman ve yağlama yağları	A
13 02 08*	Diğer motor, şanzıman ve yağlama yağları	A
	<i>13 03</i> <i>Atık Yalıtım ve Isı İletim Yağları</i>	
13 03 08*	Sentetik yalıtım ve ısı iletim yağları	A
13 03 10*	Diğer yalıtım ve ısı iletim yağları	A
15	Atık Ambalajlar ile Başka Bir Şekilde Belirtilmemiş Emiciler, Silme Bezleri, Filtre Malzemeleri ve Koruyucu Giysiler	
	<i>15 01</i> <i>Ambalaj (Belediyenin Ayrı Toplanmış Ambalaj Atıkları Dahil)</i>	
15 01 01	Kağıt ve karton ambalaj	
15 01 02	Plastik ambalaj	
15 01 03	Ahşap ambalaj	
15 01 04	Metalik ambalaj	
15 01 10*	Tehlikeli maddelerin kalıntılarını içeren ya da tehlikeli maddelerle kontamine olmuş ambalajlar	A

Tablo 2.13: Proses dışı atıklar devamı (Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Sektörel Atık Kılavuzları, 2016).

Atık kodu	Atığın Tanımı	A/M
15 02	<i>Emiciler, Filtre Malzemeleri, Temizleme Bezleri ve Koruyuc Giysiler</i>	
15 02 02*	Tehlikeli maddelerle kirlenmiş emiciler, filtre malzemeleri (başka şekilde tanımlanmamış ise yağ filtreleri), temizleme bezleri, koruyucu giysiler	M
15 02 03	15 02 02 dışındaki emiciler, filtre malzemeleri, temizleme bezleri, koruyucu giysiler	
16	Listede Başka Bir Şekilde Belirtilmemiş Atıklar	
16 01	<i>Çeşitli Taşıma Türlerindeki (İş Makineleri Dahil) Ömrünü Tamamlamış Araçlar ve Ömrünü Tamamlamış Araçların Sökülmesi ile Araç Bakımından (13,14,16 06 ve 16 08 hariç) Kaynaklanan Atıklar</i>	
16 01 03	Ömrünü tamamlamış lastikler	
16 01 07*	Yağ filtreleri	A
16 02	<i>Elektrikli ve Elektronik Ekipman Atıkları</i>	
16 02 13*	16 02 09'dan 16 02 12'ye kadar olanların dışındaki tehlikeli parçalar (3) içeren ıskarta ekipmanlar	A
16 02 14	16 02 09'dan 16 02 13'e kadar olanların dışındaki ıskarta ekipmanlar	
16 02 15*	İskarta ekipmanlardan çıkartılmış tehlikeli parçalar	A
16 02 16	16 02 15 dışındaki ıskarta ekipmanlardan çıkartılmış parçalar	
16 03	<i>Standart Dışı Gruplar ve Kullanılmamış Ürünler</i>	
16 03 03*	Tehlikeli maddeler içeren anorganik atıklar	M
16 03 04	16 03 03 dışındaki anorganik atıklar	
16 03 05*	Tehlikeli maddeler içeren organik atıklar	M
16 03 06	16 03 05 dışındaki organik atıklar	
16 05	<i>Basınçlı Tank İçindeki Gazlar ve İskartaya Çıkmış Kimyasallar</i>	
16 05 06*	Laboratuvar kimyasalları karışımları dahil tehlikeli maddelerden oluşan ya da tehlikeli maddeler içeren laboratuvar kimyasalları	M
16 05 08*	Tehlikeli maddeler içeren ya da bunlardan oluşan ıskarta organik kimyasallar	M
16 05 09	16 05 06, 16 05 07 ya da 16 05 08 dışında tehlikeli maddeler içeren ıskarta organik kimyasallar	

3. YÖNTEM

3.1. MALZEME

3.1.1. Analizlerde Kullanılan Malzemeler ve Hazırlık Süreci



Şekil 3.1: Tedarik edilen endüstriyel lignoselülozik atıkları

Masif ve mobilya odun atık numuneleri masif odun kullanarak mobilya üretimi yapan çeşitli kuruluşlardan tedarik edilmiştir. Tutkal içeren levha (MDF, kontrplak, yongalevha, OSB) örnekleri ülkemizde levha sektöründe üretim yapan belli başlı firmalardan temin edilmiştir. Emprenyeli örnekler ise fakültemizin Orman Biyolojisi ve Odun Koruma Teknolojisi Anabilim dalında emprenye edilen örneklerden, Beykoz belediyesinden, Samsun ili 19 Mayıs ilçesi belediyesinden ve çeşitli emprenye işlemi yapan işletmelerden temin edilmiştir (Şekil 3.1).

Çalışmada kullanılan bu örneklerin karakterizasyonu amacıyla FTIR-ATR analizi ve element içerik tayini için ise ICP-MS ve ICP-OES cihazları kullanılmıştır.

3.1.2. Malzemelerin Analizler için Hazırlanması



Şekil 3.2: Yongalama.

Ahşap atıklar üzerinde bulunan metal aksamlardan ayrıldıktan sonra İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Orman Fakültesi ahşap atölyesindeki Vecoplan Hacker marka yongalama makinesinde yonga boyutlarına indirgenmiştir.



Şekil 3.3: Öğütücü

Yongalama sonrasında, kimyasal analizler için öğütme işlemi Orman Ürünleri Kimyası ve Teknolojisi Anabilim Dalı laboratuvarında bulunan Retsch marka öğütücü ile yapılmıştır. Öğütücü Şekil 3.3 de görülmektedir.

3.1.3. Endüstriyel Lignoselülozik Odun Atıkları

Tablo 3.1: Endüstriyel lignoselülozik odun atıkları ve alınan örnek sayıları

Endüstriyel lignoselülozik odun atıkları	Gözlem örneği	Kontrol (test) örneği
Masif odun atıkları	50	5
Emprenye içerikli odun atıkları	50	5
Mobilya (boya, vernik, tutkal içeren) odun atıkları	50	5
Levha içerikli (Sadece tutkal içeren) odun atıkları	50	5

Endüstriyel lignoselülozik odun atıklarından alınan gözlem ve test örnek sayıları Tablo 3.1 de görülmektedir. Yapılan istatistiksel analizlerde sınıf ayrımının olabilmesi için alınan örneklem sayısı (gözlem sayısı) 200 adettir. Güvenilirlik açısından alınan 20 adet test (kontrol) örneklerini ise toplam 200 adet örneğin içinden her bir dört grubu en iyi açıklayan 5 örnek olacak şekilde alınarak belirlenmiştir.

Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı'nın ülkemizdeki lignoselülozik atıklara yönelik FAO'ya bildirdiği sınıflandırmanın, Avrupa Birliği üyesi ülkelerdeki sınıflandırmalara göre daha kısıtlı bir içeriğe sahip olduğu görülmüştür. Buradan hareketle FAO'da yer alan Almanya, İngiltere, Finlandiya gibi ülkelerin sınıflandırmalarından yararlanılarak yapılacak olan sınıflandırma modeli kurulmaya çalışılmıştır (FAO, 2021; Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Sektörel Atık Kılavuzları, 2016). Çalışmada kullanılan lignoselülozik odun atıkları sınıflandırması Şekil 3.4 de görülmektedir.



Şekil 3.4: Endüstriyel lignoselülozik odun atıkları

Bu akış şeması baz alınarak FTIR-ATR'den elde edilen verilerin kullanımı ile yapılan istatistiksel analizlerle sınıflandırma yapılmaya çalışılmıştır. Bu amaçla yapılan sınıflandırmadaki her bir grup için başarı performans seviyeleri en üst noktaya taşınmak istenmiştir ve bunu gerçekleştirmek için pek çok denemeler yapılmıştır.

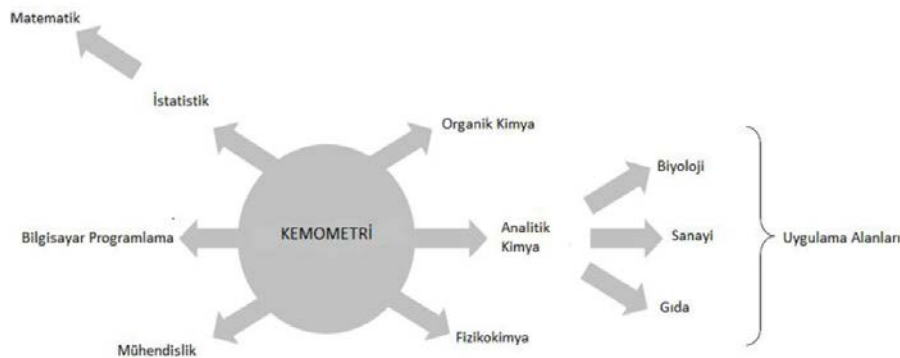
ICP cihazındaki analizler ile orman ürünleri endüstrisinde en sık kullanılan ve limitleri aşması durumunda atığın tehlikeli olma sonucunu doğuracak 11 element tarafımızca belirlenmiştir. Bu elementlerin TS EN ISO 17225-1 (2021) standardına bağlı olarak değerlendirmesi ICP cihazının sonuçlarına göre yapılmıştır. Standartdaki bu içerikler ANNEX B de yer alan Tablo B-1 hiçbir işlem görmemiş ağaç malzeme (hiç ya da göz ardı edilecek derecede az miktarda kabuk, yaprak ve iğne yaprak içeren) için tipik değerler, Tablo B-2 doğal ağaç kabuğu için tipik değerler ve Tablo B-3 orman atıkları ve doğal odun için tipik değerler tablolarındaki üst limitler baz alınarak analiz sonuçları her bir element için bu üst limitler ile karşılaştırılmış ve

aşması durumunda örneğin tehlikeli olduğu sonucuna varılmıştır. Yapılan karşılaştırmada standartdaki üst limiti aşmayan değerlere sahip elementlerin olduğu örnekler tehlikesiz atık olarak nitelendirilmiştir.

3.2. YÖNTEM

3.2.1. Kemometrik Yöntemler

Kemometrik yöntemleri açıklamadan önce kemometriğin nasıl ortaya çıktığının ve ne anlama geldiğinin açıklanması faydalı olacaktır. Kemometri, İngilizcede (chemometre) “chemo” (kemo) ile kimya ve “metre” ile ölçme kelimelerinin bir araya gelmesi ile gelişmekte olan bilgisayar teknolojisi ile birlikte ortaya çıkmış bir teknik terimdir. Kimyada uygulanan çeşitli ölçme ve değerlendirme işlemlerine yönelik istatistik ve matematiğin bilgisayar yardımı ile kimyasal verilerin işlenmesini sağlayan bir yöntemdir. Bu yöntem 1970’li yıllarda kullanılmaya başlanmıştır. 1974’te kurulan Uluslararası Kemometri Topluluğu’na göre kemometri şöyle tanımlanmaktadır: Uygun ölçme yöntemlerin ve deneylerin uygulanması veya tasarımı için matematik ve istatistik yöntemlerin kullanımını ve kimyasal verilerin analizinden maksimum bilgi sağlayan kimyasal içerikli bir yöntemdir (Dinç, 2007; Santos vd., 2012). Kimyada deneysel verilerin değerlendirilmesi işleminde neden sonuç ilişkilerinin belirlenmesi yönünde istatistiğin temel ilkelerine bağlı kalarak, veri gruplarının oluşturulmasında ve anlamlandırılma işleminin yapılabilmesi için veri madenciliği yöntemlerine, kabul edilebilir deney tasarımlarının gerçekleştirilebilmesi açısından modelleme ve optimizasyon tekniklerine uygun şekilde davranan bir bilimdir. Kemometri tüm bu temel metot ve yöntemlerin uygulanabilirliğini sağlamak yönünden bilgisayar donanımı, yazılımı, algoritma ve programlama tekniklerine ya da hazır olarak kullanılabilen paket programlarına ihtiyaç duymaktadır (Akpolat, vd.,2013).



Şekil 3.5: Kemometrinin ilişkili olduğu alanlar (Brereton, 2003).

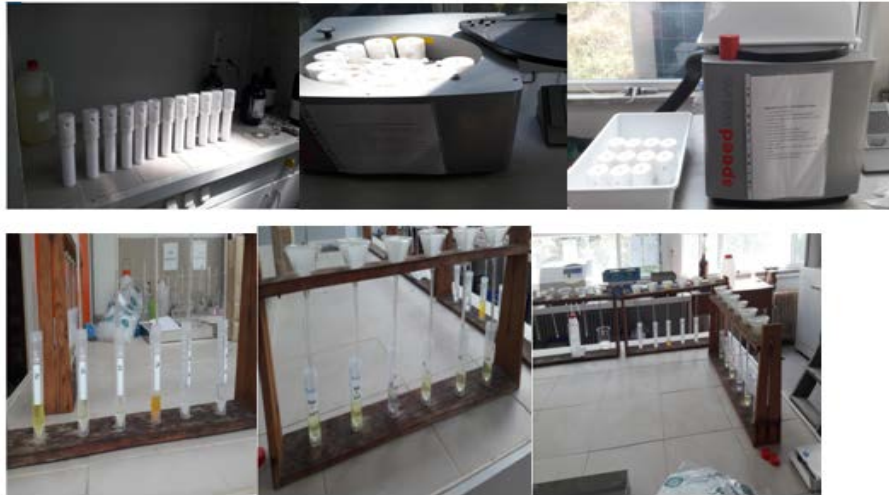
Kemometrik hesaplama yöntemleri spektrofotometrik, elektrokimyasal ve kromatografik ölçüm aletlerinde yapılan ölçümler sonucunda elde edilen verilere uygulanmaktadır. Kemometrik hesaplamalarda genellikle Excel, Matlab, R ve diğer paket programlar kullanılmaktadır (Şekil 3.5). Kemometri günümüzde analitik kimya, adli tıp, biyoloji, gıda kimyası, çevre kimyası, arkeoloji gibi farklı alanlarda kullanılmaktadır (Brereton, 2003; Dinç, 2007).

3.2.1.1. *Element İçerik Tayini*

Bu çalışmada element tayini analizi, atık örneklerin tehlikeli olup olmadığının belirlenmesi amacıyla yapılan önemli bir analiz yöntemidir. Elementlerin tayini tamamen FTIR-ATR verilerinin istatistik yöntemler ile yapılan modelleme çalışmalarının kontrol edilmesine yönelik olarak yapılmıştır.

ICP'nin (Inductively Coupled Plasma) kelime anlamı endüktif eşleşmiş plazma şeklinde dilimize geçmiştir. ICP analizinde argon akımına güçlü bir radyo frekansı uygulanmaktadır. Bu analiz; kaynak, hassasiyet ve girişimsizlik açısından en üstün yöntemdir (Skoog ve West, 1981; Yıldız, vd., 1993; Yeşil, 2007).

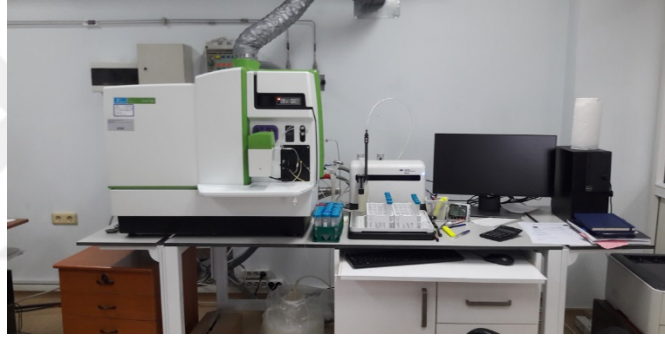
ICP spektrofotometreleri, ICP-OES (Endüktif Eşleşmiş Plazma - Optik Emisyon Spektrometresi) ve ICP-MS (Endüktif Eşleşmiş Plazma-Kütle Spektrometresi) olarak hassasiyetleri farklı iki cihaz olarak kullanılmıştır.



Şekil 3.6: Endüstriyel lignoselülozik odun atıklarının ICP analizi için örnek hazırlanması.

ICP -MS ve ICP-OES ile çalışmada yer alan odun atıklarında bulunan seçilen elementlerin tayini gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla örnekler analiz için hazırlanmıştır (Şekil 3.6).

Öğütme işlemi sonrasında örnekler 55-60°C sıcaklıkta 24 saat boyunca kurutulmuştur. Kuruyan bu atık örneklerden 0,5 g örnek tartılarak mikrodalga cihazda işlem yapmaya uygun teflon tüplere konulmuştur. Daha sonra bu örnekler üzerine 5 ml derişik nitrik asit (HNO_3) eklenmiştir. Bu şekilde 10 dakika bekletildikten sonra 1 ml hidrojen peroksit (H_2O_2) ilavesi yapılmıştır. Referans ölçüm yapmak amacıyla aynı şekilde içerisinde örnek olmayan teflon tüplere sadece nitrik asit ve hidrojen peroksit eklenerek mikrodalgada örnekler ile birlikte işleme tabi tutulmuştur. Bu referans örneklerin hazırlanmasının amacı nitrik asit ve hidrojen peroksitten gelebilecek safsızlıkların, analizi yapılan örneklerdeki elementlere olacak etkisini ortadan kaldırmaktır. Daha sonra bu örnekler Berghof Speedway 4 mikrodalga parçalayıcıda homojen halde çözelti haline getirilmiştir. Çözeltiler mavi bant süzme kâğıdından süzülerek 50 ml'lik balon jojeye alınmış ve ultra saf su eklenerek hacmine tamamlanmıştır.



Şekil 3.7: ICP cihazı.

Tez kapsamında çalışılan 200 örnekte bulunan Pb (Kurşun), Cd (Kadmiyum), Al (Alüminyum), Fe (Demir), Zn (Çinko), Cu (Bakır), Cr (Krom), Ni (Nikel) ve S (Kükürt) elementlerine ait tayinler İÜC Orman Fakültesi bünyesinde bulunan ICP-OES (Perkin Elmer Optima 7000 DV) cihazında gerçekleştirilmiştir. Numunelerdeki konsantrasyonları çok daha düşük olan Hg (civa) ve As (arsenik) elementlerinin analizi hassasiyeti daha yüksek olan ve İÜC Avcılar yerleşkesinde Proje Teknolojisi Ofisi, Merkez Laboratuvarında (MERLAB) bulunan ICP-MS cihazında (Perkin Elmer, Nexion 1000) yapılmıştır (Şekil 3.7).

Örneklerin ICP cihazındaki analizleri sırasında bir adet sertifikalı örnek de (NIST 1575a Pine needle) analiz edilmiştir. Sertifikalı örneğin sertifika değerleri ile cihazın okuduğu değerler kıyaslanarak cihazın ölçüm hassasiyeti ortaya konmuştur. Elde edilen sonuçlar TS EN ISO17225-1(2021) standardına göre değerlendirilerek tehlikesiz ve tehlikeli tespiti

yapılmıştır. ICP analizlerinin yapılma amacı tamamen FTIR-ATR verilerinin tehlikeli ve tehlikesiz ayrımını ne ölçüde sağlıklı yapıp yapmadığını belirlemek içindir.

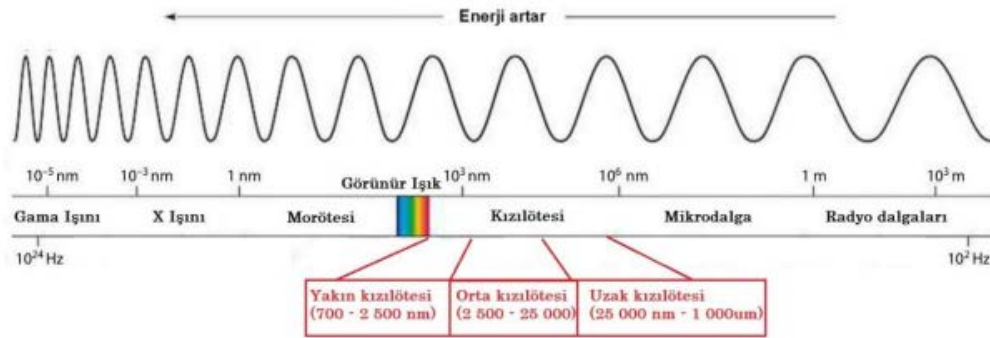
3.2.1.2. *Toplam Halojenür Tayini*



Şekil 3.8: UV Vis spektrofotometre.

İÜC Avcılar yerleşkesinde Proje Teknolojisi Ofisi, Merkez Laboratuvarında (MERLAB) bulunan UV Vis spektrofotometre cihazı yardımı ile odun atıklarında toplam halojenür tayini analizi yapılmış ve örneklerde halojenür tespit edilmemiştir (Şekil 3.8).

3.2.1.3. *FTIR-ATR (Fourier Transform Infrared-FTIR Spektrometre) Analizi*



Şekil 3.9: Elektromanyetik ışın spektrumunun yapısı (Davies, 2005; Baier, 2012).

Spektroskopik yöntemler, elektromanyetik ışınım ile malzeme arasındaki ilişkiyi inceler. Herhangi bir malzemeye bir ışık kaynağından ışın gönderildiğinde malzeme, gönderilen ışının enerji seviyesi ve yapısında bulunan bağlara bağlı olarak; ışını absorbe edebilir, geçirebilir, yansıtabilir, dağıtabilir veya fotonlarla etkileşerek elektronların uyarılması şeklinde tepki verebilir (Burns ve Ciurczak, 2008; Workman ve Weyer, 2012). Spektroskopik veriler genel olarak materyale gönderilen ışının dalga boyu veya frekansına bağlı olarak verdiği tepkiyi koordinat düzleminde göstermektedir (Şekil 3.9). Katı, sıvı veya gaz halindeki örnekler, gelen IR radyasyonunu belirli dalga boylarını emerek titreşime bağlı spektrum oluşturabilmektedir. Titreşim spektroskopisine dayanan bu yöntemler, Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi

(FT-IR), orta kızılötesi spektroskopisi (MIR), yakın kızılötesi spektroskopisi (NIR), nükleer manyetik rezonans ve Raman spektroskopisi gibi bir dizi teknik ve yöntemi kapsamaktadır (Stuart, 2004; Poli vd., 2011; Köseoğlu, 2015; Tuncer, 2020).

FTIR, 'Fourier-transform infrared' spektroskopisi anlamına gelir ve bir sıvı, katı veya gaz numunesinin emisyon veya absorpsiyonunun kızılötesi spektrumunu elde etmek için kullanılan bir tekniktir. FTIR spektroskopisi, kullanım kolaylığı, tecrübeye ihtiyaç duymaması, örneğe zarar vermeden küçük miktar örnek ile bile hızlı ve hassas olarak sonuç verebilmesi, boyama-işaretleme gibi ek madde veya kimyasal kullanımına gerek duymaması, maliyet ve zaman tasarrufu yönünden diğer yöntemlere göre büyük üstünlük sağlaması gibi avantajları nedeniyle tercih edilmektedir. Zayıflatılmış toplam yansıma (ATR), geleneksel kızılötesi spektroskopinin yanı sıra kullanılan bir örnekleme tekniğidir ve sonuçta numunelerin ek bir hazırlık yapılmadan doğrudan katı veya sıvı halde gözlemlenmesini sağlar. FTIR (Fourier-transform infrared) spektroskopisi, ham verileri spektrumlara dönüştürmek için matematiksel Fourier dönüşümü ile ışığın kızılötesi yoğunluğuna karşı dalga sayısının ölçümünü esas alan bir analitik ölçümdür ve geniş bir aralıkta yüksek spektral çözünürlüklü verileri eşzamanlı olarak toplar. (Stuart, 2004; Çırak, 2017). FTIR-ATR spektroskopisinin ana avantajı hem kalitatif hem de kantitatif analizin, minimum veya hiçbir ön işleme gerek duymaksızın inceleme olanağı sunmasıdır (Köseoğlu, 2015; Cu, vd.2016; Doyle, 2017).



Şekil 3.10: FTIR-ATR cihazı

FTIR-ATR analizi, çalışmada kullanılan 200 adet endüstriyel lignoselülozik odun atığının kimyasal karakterizasyonunu belirlemek için İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Orman Fakültesi Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü Orman Ürünleri Kimyası ve Teknolojisi Anabilim dalında bulunan FTIR-ATR cihazla gerçekleştirilmiştir. FTIR absorpsiyon verileri, 650 ile 4000 cm^{-1} spektral aralığında 32 tarama için 4 cm^{-1} çözünürlükte bir ATR ünitesi ile birleştirilmiş bir Perkin Elmer 100 FT-IR Spektrometresi kullanılarak elde edilmiştir (Şekil 3.10). FTIR-ATR cihazı ile, ışık kaynağından çıkan kızılötesi dalga boyundaki ışının

malzeme yüzeyine yansımaları sonucunda malzemenin içeriğinde bulunan fonksiyonel gruplara ve bileşenlere göre belli başlı dalga boylarının içerdiği absorpsiyon bantlarından malzemenin tanımlanarak karakterizasyonu sağlanmaktadır (Smidt ve Schwanninger, 2005; Smidt ve Meissl, 2007; Smidt, vd., 2008).

Analizlerde FTIR-ATR cihazından alınan spektrum verilerinden parmak izi bölgesi olarak bilinen $1750-650\text{ cm}^{-1}$ arasında spesifik olarak belirlenen 52 adet dalga boyu (1720-1715, 1693-1692, 1645-1643, 1595-1594, 1547-1546, 1511-1509, 1462-1461, 1452-1451, 1424-1423, 1370-1369, 1318-1317, 1264-1263, 1241-1240, 1236-1235, 1157-1156, 1106-1105, 1048-1047, 1028-1027, 897-896, 808-807, 770-769, 720-719, 696-695) kullanılmıştır.

3.2.2. Sınıflandırma Analizleri

Model, bir olgunun veya sistemin yapı ve işleyişinin, ilgili olduğu bilim alanında (fizik, kimya, biyoloji, jeoloji, astronomi, ekonomi, sosyoloji, vb.) yer alan kavram ve kanunlara bağlı olarak ortaya çıkmasıdır. Burada ortaya çıkan model; sözle, çizimle, belli bir ölçekte fiziki benzerlik oluşturmakta veya başka bir şekilde yapılmakla birlikte, en geçerli anlatım, bilimin ortak dili olan matematik ile gerçekleşmektedir. Modeli kurabilmek ve uygun modeli seçebilmek için söz konusu olgu-sistemin temel özelliklerini, birimleri arasındaki-iç bağlantıları ve çevre ile olan dış bağlantıların bilinmesi gerekmektedir. Modelin başarısı, pratik ve bilimsel yararlılığı, olgu veya sistemin temelini soyutlamadaki doğruluğun derecesine ve göz önüne alınan özelliklerin ne denli gösterdikleri nitelikte olup olmadıklarına bağlıdır. Matematiksel modellerde matematik ve istatistik en fazla ve en geçerli olarak kullanılan modellerdir. Belli bir sistemin matematiksel modelinde kullanılan girdi, ölçümler sonucu elde edilen sayısal verilerdir. Bir modelin yararlı olmasında olgu veya sistem ile ilgili bazı girdiler verildiğinde bunların sonuçlarını ortaya çıkaran bir çözüm yönteminin bilinip bu yöntemin uygulanması gerekir. Örneğin belli bir olgu bir diferansiyel denklem ile modellendiğinde bu denklemin çözüm yolunun da bilinmesi gerekir. Verilerin nasıl elde edileceği ve ortaya atılan bir modelin test edilmesinin nasıl yapılacağı istatistik biliminin sorunudur. Modeldeki çözüm yöntemi analitik veya nümerik olabildiği gibi belli veriler altında gerçek dünyadakine benzer şekilde modeli işletip karşılık gelen sonuçları incelemek biçiminde de gerçekleştirilebilir. Kurulan modelin test edilmesi genellikle istatistiksel paket programları ile gerçekleştirilmektedir. Bir modelin geçerliliğini test etmeden önce, model yapısındaki algoritma ve bilgisayar programlarında hatanın olup olmadığının araştırılması gerekir. Bu tür işlemlere doğrulama işlemleri denilmektedir. Modelin doğrulama işleminin

yapılması modeldeki başarının doğru tespit edilmesi açısından önemlidir (Öztürk ve Özbek, 2016; Özbek, 2017).

Makine öğrenimi, her türlü veriler analiz edilmesi, özelliklerin tanımlanması, doğrulama şemalarının (yapılan sınıflandırmaların) oluşturulmasını ve kurulan modeller eğitilerek elde edilen sonuçların daha kolay analiz edilmesini sağlamaktadır (Zhou ve Li, 2005; Konenko ve Kukar, 2007). En iyi sınıflandırma modelini belirlemek için makine öğrenimine göre sınıflandırma denetimli, denetimsiz ve takviyeli olarak gerçekleştirilmektedir. Bu çalışmada Matlab programında yer alan YSA, RF ve Lojistik Regresyon (LR) sınıflandırıcıları için var olan hazır fonksiyonlar, bilgi kriterleri ve değişken seçim teknikleri ile modifiye edilerek özel model eğitim prosedürleri geliştirilmiştir. Bunun yanısıra MATLAB Classification Learner uygulaması kullanılmıştır. Uygulama da yer alan sınıflandırıcılar kullanarak denetimli makine öğrenimi yardımı ile belirlenen girdi verileri ve kategorik çıktılar ile yapılan sınıflandırma için birçok denemeler yapıp en uygun sınıflandırma modelinin tespit edilmesine çalışılmıştır.

FTIR-ATR cihazında $650-4000 \text{ cm}^{-1}$ aralığındaki dalga boyunda malzemenin karakterizasyonu gerçekleştirilmektedir. Bir malzemeye ait temel karakteristik absorpsiyon değerlerinin elde edildiği dalga boyu aralığı o malzeme için parmak izi bölgesi olarak adlandırılır. Ahşap malzeme için karakteristik parmak izi bölgesi $650-1750 \text{ cm}^{-1}$ aralığıdır. Çalışmaya esas teşkil edecek değişkenler parmak izi bölgesinin 4 farklı grubu (bağımsız değişken) en iyi temsil eden ve örneklerde kümelemeyi oluşturan 52 dalga boyuna ait absorpsiyon değerleri (bağımlı değişken) alınmıştır. Bu dalga boylarına karşılık gelen absorpsiyon değerleri baz alınarak sınıflandırma analizleri yapılmıştır. Spesifik olarak belirlenen 52 dalga boyuna bağlı absorpsiyon değerleri girdi olarak alınırken, çıktı verisi olarak da hem ikili (tehlikesiz ve tehlikeli) hem de dördü (masif, emprenye, mobilya ve tutkal) kategorik sınıflar alınmış, istatistiksel sınıflandırma analizleri (Şekil 3.13) uygulanmıştır. Tehlikesiz atık grubu 0 olarak kodlanırken tehlikeli atık grubu ise 1 olarak kodlanmıştır. Alt gruplarda yer alan masif 1, emprenye 2, mobilya 3 ve tutkal ise 4 olarak dördü kategorik gruplar halinde kodlanmıştır. İki ve dört kategorik sınıf olarak yapılan sınıflandırma analizlerine göre en uygun modeli (analizi) belirlemek için hem kendi aralarındaki gruplara göre hem de birbirlerine göre YSA, RF ve ÇLR analizleri yapılarak elde edilen sonuçlara göre değerlendirme yapılmıştır. Model kestirimleri için Matlab programı içindeki Classification Learner aracı üzerinden gerçekleştirilmiştir. 200 gözlem (örneklem) ve

gözlem (örneklem) içinde dörtlü grubu en iyi açıklayan 20 kontrol (test) örneğine ait 52 dalga boyuna ait veriler girdi olarak kullanılarak, örnekler ikili ve dörtlü sınıflandırmaya göre sınıflandırma analizleri yapılmıştır.

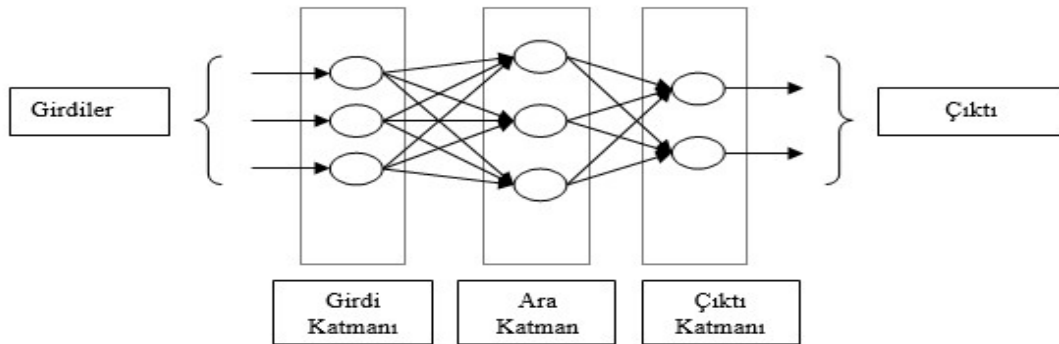
3.2.3. En İyi Modelin Belirlenmesi

3.2.3.1. Yapay Sinir Ağları (YSA)

Yapay sinir ağları (YSA), insan beyninden (biyolojik sinir ağlarından) esinlenerek geliştirilmiş, ağırlıklı bağlantılar aracılığı ile birbirine bağlanan ve her biri kendi belleğine sahip (biyolojik sinir ağlarına benzeyen) işlem elemanlarından oluşan paralel ve dağıtılmış bazı performans özellikleri olan bilgi işleme sistemi veya modelidir (Fausett, 1994; Elmas, 2003; Elmas, 2021).

YSA'lar doğrusal olmayan sistemlerde kullanılmaları, belirsiz bilgileri işleyebilen güçlü bir problem çözme tekniğine sahip olmalarının yanı sıra insan beyninin fonksiyonel özelliklerine benzer şekilde öğrenme, ilişkilendirme, sınıflandırma, genelleme, özellik belirleme ve optimizasyon gibi konularda da başarılı bir şekilde çok değişik problemlerin çözümünde kullanılmaktadır. YSA, bir girdi setini (örnekleri) alarak onları çıktı setine çevirir. Bunun için ağın, kendisine gösterilen girdilere doğru çıktılar üretebilmesi yani eğitilmesi gerekir (Öztemel,2006).

Başlıca uygulama alanları sınıflama, tahmin ve modellemede mevcut özellik çıkarımı ve sınıflama algoritmalarının kullanımında etkili bir uygulamadır. Denetim, ses tanıma, el yazısı tanıma, parmak izi tanıma, otomatik araç denetimi, fizyolojik işaretleri izleme, tanıma ve yorumlama gibi alanlarda da YSA'dan faydalanılır (Elmas, 2003; Özer, 2015; Elmas, 2021).



Şekil 3.11: Basit YSA yapısı (Url-2).

YSA'lar, birbirlerine bağılı çok sayıda işlem elemanlarından (basit sınırlardan) oluşan, genelde paralel işleyen yapılardır. Şekil 3.11 de basit bir YSA yapısı görülmektedir. YSA'lar, tek katmanlı (sadece girdi ve çıktı katmanından oluşan) ve çok katmanlı (girdi katmanı, en az bir gizli katmanı ve çıktı katmanı) olmak üzere iki yapıda incelenir (Url-2).

3.2.3.2. *Rastgele Orman (RF)*

RF, Amit ve Geman'ın önceki çalışmalarından ilham alan Leo Breiman tarafından geliştirilmiş algoritmadır (Amit ve German, 1997; Breiman, 2001^a). RF, "sınıflandırma" olarak adlandırılan kategorik bir yanıt değişkeni veya "gerileme" olarak adlandırılan sürekli bir yanıt için kullanılabilir (Breiman, 2001^a, Breima, 2001^b). Benzer şekilde, tahmin edici değişkenler kategorik veya sürekli olabilir. Hesaplamalı yönü açısından RF aşağıdaki özelliklerden dolayı caziptir (Cutler, vd., 2011):

- Hem regresyon hem de çok sınıflı sınıflandırmayı doğal olarak ele almaktadır.
- Eğitilmesi ve tahmin edilmesi nispeten hızlıdır.
- Yalnızca bir veya iki parametreye bağlıdır.
- Yerleşik bir genelleme hatası tahminine sahiptir.
- Yüksek boyutlu problemler için doğrudan kullanılabilir.
- Paralel olarak kolayca uygulanabilir.

RF, adından da anlaşılacağı gibi, p boyutlu bir rastgele vektör için her ağacın bir dizi rastgele faktöre bağılı olduğu ağaç tabanlı bir topluluktur.

Gerçek değerli girdi veya öngörücü değişkenleri temsil eden X,

$$X = (X_1, \dots, X_p)^T \quad (1)$$

ve gerçek değerli yanıtı temsil eden bir rastgele değişken Y olmak üzere, iki değişkenin bileşik dağılımı PXY (X,Y) olsun. Y'yi tahmin etmek için bir tahmin fonksiyonu f(X), bir kayıp fonksiyonu L(Y, f(X)) göz önünde bulundurularak belirlenebilir. ve kaybın beklenen değerini en aza indirmek için tanımlanır. L(Y, f(X))'nin beklenen değeri ise aşağıdaki tanımlanabilir:

$$E_{XY}(L(Y, f(X))) \quad (2)$$

Sezgisel olarak L(Y, f(X)) kayıp fonksiyonu değeri f(X)'in Y'ye ne kadar yakın olduğunun bir ölçüsüdür. Bu bağlamda, Y'den sapan f(X) değerlerinin kayıp fonksiyonu tarafından

cezalandırılması beklenir. Regresyon problemleri için T hedef değerler olmak üzere kayıp fonksiyonu L^2 norm formatında aşağıdaki gibi,

$$L(T, f(X)) = (T - f(X))^2 \quad (3)$$

L kare hatası kaybı:

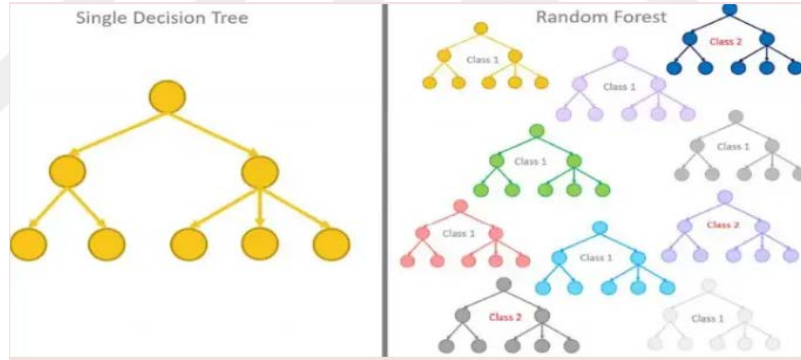
$$L(T, f(X)) = 1(T \neq f(X)) = \text{if } T = f(X) = 0 \text{ veya başka } 1 \quad (4)$$

Hata kaybının karesi için EXY'yi ($L(Y, f(X))$) en aza indirmenin koşullu beklentiyi vermektedir.

$$f(x) = E(Y|X=x) \quad (5)$$

veya başka regresyon fonksiyonu olarak bilinmektedir. Sıfır kayıp için sınıflandırma durumunda imkanı değerinde Bayes kuramında Y atanmaktadır (Hastie, vd., 2009).

$$f(x) = \arg \max_{y \in Y} P(Y=y|X=x) \quad (6)$$



Şekil 3.12: Karar ağacı ve random forest (Url-3).

RF, birden çok karar ağacı üzerinden her bir karar ağacını farklı bir gözlem örneği üzerinden eğiterek değişik modeller üreterek sınıflandırma sağlayan ve değişkenlerin önem derecesine imkân veren bir algoritma tekniği ve modelidir. Bu teknik hem sınıflandırma hem de regresyon problemlerini ele almasından dolayı kolay ve esnektir. RF yöntemi hem kategorik hem sürekli hem de her ikisinin yer aldığı veri setlerinde; aynı zamanda büyük veya küçük boyutlu veri setlerinde rahatlıkla kullanılabilir. Yöntemin dezavantajı olarak, karar ağacı yönteminin tersine çıktı olarak (Şekil 3.12 de görüldüğü gibi) bir ağaç vermemesidir (Akman vd., 2011; Url-3; Url-4).

3.2.3.3. Çoklu Lojistik Regresyon (ÇLR)

Lojistik regresyon (LR) bağımlı değişkenin kategorik olduğu durumda kullanılabilir. Burada analizin kullanılma amaçlarından biri sınıflandırma, diğeri ise bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki ilişkileri belirleyerek açıklayabilen kabul görebilecek bir modeli kurmaktır (Atasoy, 2001; Mertler ve Vannatta, 2005).

Doğrusal regresyon analizinde kullanılan teknikler, lojistik regresyona modifiye edilebilir. LR formülü genel olarak aşağıdaki gibidir (Hosmer ve Lemeshov, 2000):

$$\pi(x) = E(Y|x) = \frac{e^{\beta}}{1+e}$$

$$0 \leq E(Y|x) \leq 1 \quad (7)$$

(7) eşitliğine aşağıdaki (8) eşitliindeki logit dönüşüm uygulandığında

$$g(x) = \ln \frac{\pi(x)}{1-\pi(x)} \quad (8)$$

aşağıdaki eşitliğe ulaşılır :

$$g(x) = \ln \left[\frac{\pi(x)}{1-\pi(x)} \right] = \beta_0 \quad (9)$$

Burada $\pi/(1-\pi)$ oranı odds adını almaktadır (Montgomery vd., 2012). LR analizi veya modeli ismini bağımlı değişkene uygulanan logit dönüştürme işleminden almaktadır (Hair, vd., 2006; Hair vd., 2009). Çoklu kategorik lojistik regresyon (ÇLR) ise, bağımlı değişkenin ikiden çok kategorinin (düzeyle) içerdiği ve değerlerinin sınıflandırıcı ölçekle elde edildiği durumlarda bağımlı değişken ile bağımsız değişkenler arasındaki neden sonuç ilişkilerini açıklamaya yönelik bir analiz veya modeldir (Hosmer ve Lemeshov, 2000). Bu analiz veya modelde, bağımlı değişkene ilişkin gerçek değerler ile kestirilen değerler arasındaki farkın kareler toplamını en az yapabilmek için, en küçük kareler yöntemi kullanılmaktadır. LR ise, lojistik dönüştürme gerektiren doğrusal olmayan (nonlinear) doğasından dolayı en çok olabilirlik yöntemini kullanır. Bu model katsayıların en çok olabilirlik kestirimini bulmak amacıyla kullanılır (Hair vd., 2006; Hair vd., 2009). ÇLR modelinde, modeldeki bağımlı ve bağımsız değişkenler farklı ölçüm düzeylerinde olabilirler. Bağımsız değişken vektörü, $x=(x_1, x_2, \dots, x_p)$ olmak üzere değişkenlerin her birinin en az aralık ölçeğinde olduğu varsayılmaktadır. Bu durumda bağımlı değişkenin koşullu olasılığı, aşağıdaki eşitlik (10) da verilmiştir:

$$P(Y=I_x) = \pi(x) \quad (10)$$

ÇLR'nun lojit modeli, ikili modele benzer şekilde eşitlik 11 de görülmektedir:

$$g(x) = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n \quad (11)$$

LR modeli ise aşağıdaki gibi eşitlik 12 de yer almaktadır:

$$\pi(x) = \frac{e^{g(x)}}{1+e^{g(x)}} \quad (12)$$

Bağımsız değişkenler cinsiyet, meslek gibi farklı nominal ölçüm düzeyinde olabilirler. Bu durumda çalışmadaki bağımsız değişken endüstriyel lignoselülozik atık türüdür. Bağımlı değişkenler ise dalga boylarıdır. ÇLR modelinde, modeldeki bağımlı ve bağımsız değişkenler farklı ölçüm düzeylerinde olabilirler (Hosmer ve Lemeshov, 2000). Bu modelde, çıktı değişkeni vektörü $Y = (0, 1, \dots, c-1)$, bağımsız değişken vektörü $x = (x_1, x_2, \dots, x_p)$ olmak üzere bağımsız değişkenlerin her birinin en az aralık ölçeğinde olduğu varsayılır. Herbir çıktı değerinin çok terimli olasılıkları bağımsız değişken x verildiği koşulu altında eşitlik 13 ve 14 de gösterilmektedir:

$$P(Y = 0/x) = \frac{1}{1+e^{g^1(x)}+\dots+e^{g^{c-1}(x)}} \quad (13)$$

$$P(Y = 1/x) = \frac{e^{g^1(x)}}{1+e^{g^1(x)}+\dots+e^{g^{c-1}(x)}} \quad (14)$$

Burada aşağıdaki gibi logit dönüşüm uygulanırsa eşitlik 15 elde edilir (Fagerland vd. , 2008):

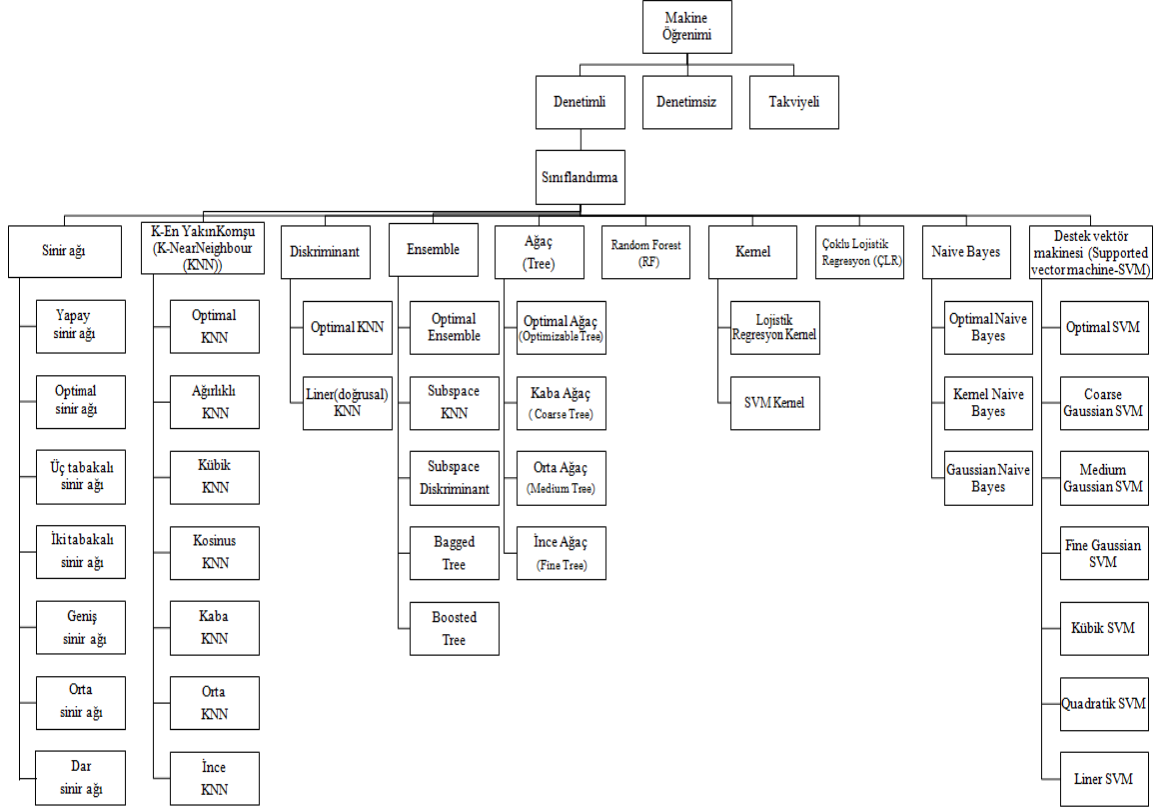
$$g_j(x) = \ln \left[\frac{P(Y=j/x)}{P(Y=0/x)} \right], i=1,\dots,p, j=1,\dots,c-1$$

$$g_j(x) = \ln \left[\frac{P(Y=j/x)}{P(Y=0/x)} \right], i=1,\dots,p, j=1,\dots,c-1 \quad (15)$$

Eğer bağımsız değişkenler cinsiyet, meslek gibi farklı nominal ölçüm düzeyinde ise, o zaman nominal ölçümlerin seviyelerini gösteren ve sayısal olarak anlamlılığı olmayan sayılar verilir (1,2,.. gibi) ve dummy değişkenleri kullanılmaktadır (Hosmer ve Lemeshov, 2000). MLR da, kullanılan model kestirim yöntemleri iki kategorili LR durumunda uygulanan yöntemlerin genellemesi olmaktadır (Tatlıdil, 2002). ÇLR modeli eşitlik 16 gibi yazılabilir:

$$\log\left(\frac{p}{1-p}\right) = \beta_0 + \beta_1 X + \dots + \beta_p X_p \quad (16)$$

3.2.4. Paket Program



Şekil 3.13: Makine öğrenmesine göre kullanılan sınıflandırma analizleri.

Bu çalışmada makine öğreniminde denetimli öğrenmeye göre sinir ağı, KNN (K-en yakın komşu (K-Near Neighbor)), Discriminant, Ensemble, Tree, RF, Kernel, MLR, Naive Bayes ve SVM sınıflandırma yöntemleri kullanılmıştır (Şekil 3.13). Denetimli makine öğrenimi, girdi verisi ve bunlara karşılık gelen hedef değerler (yanıtlar, etiketler veya sınıflar, vb.) üzerinden gerçekleşen model eğitimi ile gerçekleştirilebilir. Elde edilen modellerin başarısı, test veya kontrol verisine karşı verilen doğru tahmin performansına göre değerlendirilir (Wolpert, 1992; Chawla vd., 2002; Zhou ve Li, 2005; Kononenko ve Kukar, 2007).

Bu çalışmadaki amaç Şekil 3.4 de kurulan modele göre makine öğrenmesinde yer alan istatistiksel sınıflandırma analizleriyle odun atıklarının doğru bir şekilde sınıflandırmasının yapıp yapılmadığını yani kurulan modelin doğruluğunu elde edilen başarı düzeyleri ile anlamaya çalışmaktır. Sınıflandırmanın doğru yapılması ile odun atıklarının geri kazanılması veya geri kullanımı öngörülen modelin doğru olmasını sağlayacak ve böylelikle atık yönetim hiyerarşisine göre atık azalımı ve sürdürülebilirliği sağlanmış olacaktır. Şekil 3.4 de kurulan

modele göre ilk olarak odun atıkları tehlikesiz ve tehlikeli atık olarak ikiye gruba ayrılmıştır. Daha sonra da tehlikeli ve tehlikesiz atıklar yapılan işlemlere göre alt sınıflara ayrılmıştır. Tehlikeli atık grubu; emprenyeli odun atıkları ve boya, vernik ve cila içeren mobilya odun atıkları olarak iki sınıfa ayrılmıştır. Tehlikesiz atık grubu ise masif ve sadece tutkal içeren panel levha şeklindeki odun atıklar olarak iki sınıfa ayrılmıştır. Bu çalışmada yapılan ilk sınıflandırmada iki kategorik sınıf var iken alt sınıflandırma ile malzeme tipine göre dört kategorik sınıf (masif, emprenyeli, mobilya ve tutkal) yer almaktadır. Sınıflandırma, Tablo 3.1’de gösterilen örneklere ait ölçülen FTIR-ATR verileri ile makine öğrenmesinde yer alan denetimli öğrenmedeki kullanılan sınıflandırma analizleri (Şekil 3.13) ile yapılmıştır.

Analizlerde Classification Learner paket programının içindeki sınıflandırıcılar kullanılarak oluşturulan modeller doğru pozitifler, yanlış pozitifler, doğru negatifler ve yanlış negatifler gibi doğru veya yanlış sınıflandırmayı ifade eden niceliklerin yanı sıra, ROC (alıcı işlem karakteristiği) eğrisi ve hata fonksiyonu üzerinden değerlendirilmiştir (Url-15). 200 adetlik gözlem verisinde gruplar eşit sayıda gözlem içermektedir. Paket programdaki sınıflandırıcılar, 200 adet gözlem ile çapraz geçerlilik yöntemleri (k-Bölüntü (fold) = 1, 5, 10, 20) kullanılarak eğitilmiştir. Bölüntü sayısı “1” olarak alındığında test verisi oranı %10 (20 adet) olarak belirlenmiştir.

4. BULGULAR

4.1. SINIFLANDIRMA ANALİZLERİ

Analizlerde dört grubu en iyi açıklayan FTIR-ATR cihazı ile belirlenen parmak izi bölgesinde yer alan 52 dalga boyuna ait verilerden 200 gözlem kullanılmıştır. İkili ve dörtlü kategorik sınıflandırmaya göre en uygun modeller MATLAB’da yer alan “Classification Learner” aracı ve geliştirilen yazılımlar üzerinden kestirilmiştir.

Çalışmada öncelikle literatürde sıklıkla kullanılan YSA, RF ve ÇLR sınıflandırıcıları kullanılmıştır. Bunların yanısıra “Classification Learner” üzerindeki bulunan diğer sınıflandırıcılar da kullanılarak model sonuçları karşılaştırılmıştır. Böylece, yukarıda bahsedilen YSA, RF ve ÇLR modellerinin ikili ve dörtlü kategorik gruplar için elde edilen başarı düzeylerinin tesadüfi olup olmadığı da kontrol amaçlı olarak paket programda yer alan diğer sınıflandırma analizlerinden elde edilen sonuçlar üzerinden teyit edilmiştir.

4.2. EN İYİ MODELİN BELİRLENMESİ

4.2.1. Yapay Sinir Ağı (YSA) Analizi

Çalışmadaki akış şemasına göre ilk başta tehlikesiz ve tehlikeli olarak ikili kategorik sınıflandırmaya göre farklı algoritmalar kullanılarak sınıflandırmada başarı performanslarını belirlemeye yönelik YSA analizi denemeleri yapılmıştır.

Daha sonra akış şemasında iki kategorik sınıflandırmadan sonraki sınıflandırmada yer alan dörtlü kategorik sınıflandırmaya (masif, emprenye, mobilya ve tutkal sınıflarına) göre farklı algoritmalar kullanılarak sınıflandırma da başarı performanslarını belirlemeye yönelik YSA analizi denemeleri yapılmıştır. YSA analizinde eğitim (training), validasyon (validation), test ve toplam (all) veri seti şeklinde 4 farklı matris oluşmaktadır.

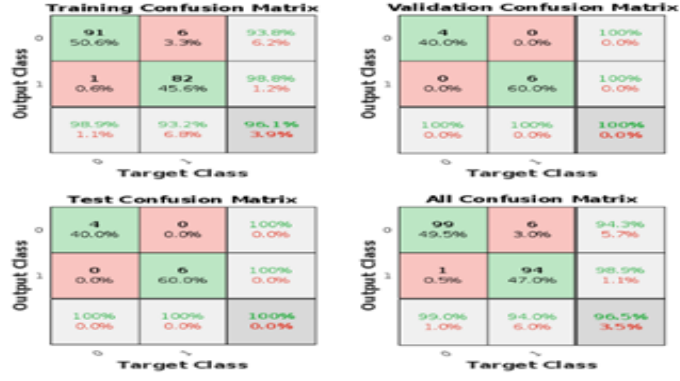
4.2.1.1. *İkili Kategorik Sınıflandırmaya göre YSA Analizi Uygulaması*

Tehlikesiz ve tehlikeli olarak ikili kategorik sınıflandırmaya göre Levenberg Marquardt (lm), Ölçekli eşlenik gradyan (scg) gibi farklı algoritmalarla 200 gözlem verisi için başarı performanslarını belirlemeye yönelik 10000 iterasyonla YSA analizi denemeleri yapılmıştır. Başta toplam sınıflandırma yüzdesi baz alınarak eğitim ve test sınıflandırma başarı yüzdelere bakılarak en iyi YSA analizi tespit edilmiştir. Analiz sonuçları bilgi kriterleri, eğitim ve test verisi üzerinden hata değeri (MSE) ve doğru sınıflandırma oranları üzerinden aşağıda Tablo 4.1 de verilmiştir.

Tablo 4.1: İkili kategorik sınıflandırmaya göre YSA analizi.

Nöron	Algoritma Veri parçalama Tabaka sayısı	MSE	Eğitim verisi MSE	Test verisi MSE	AIC	AICc	BIC	Zaman (sn)	Eğiti m (%)	Test (%)	Topla m (%)
30	lm 0.7-0.15-0.15 Tek katmanlı	0.061	0.05	0.094	2822	-729	9211	00:00:0 3	94.3	90	93
50	lm 0.6-0.2-0.2 Tek katmanlı	0.063	0.05	0.081	5043	-612	15273	00:00:1 1	95	90	93
50	lm 0.9-0.05-0.05 Tek katmanlı	0.03	0.031	0.016	4778	-1012	16103	00:01:0 2	96.1	100	96.5
50	lm 0.6-0.2-0.2 Üç katmanlı	0.064	0.025	0.146	1516	-689	44705	00:01:1 9	97.5	85	92.5
50	scg 0.7-0.15-0.15 Tek katmanlı	0.109	0.115	0.110	5099	-599	15746	00:00:0 0	85.7	90	87.5
50	scg 0.6-0.2-0.2 Tek katmanlı	0.086	0.057	0.135	5059	-596	15289	00:00:0 3	93.3	82.5	89

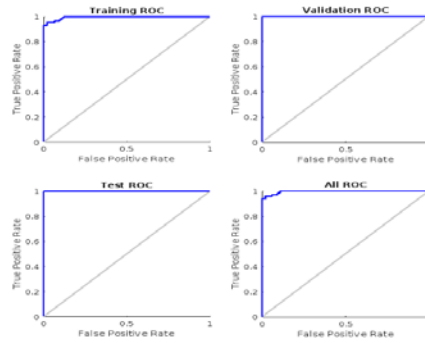
İkili (tehlikesiz ve tehlikeli) kategorik sınıflandırmaya göre farklı algoritmalarda (scg, lm vb.) YSA analizi (modeli) gerçekleştirilmiştir (Tablo 4.1). Buna göre yapılan bu analizde (model) tek katmanda 50 nöronla eğitim (training), validasyon ve test verisini sırasıyla 0,9-0,05-0,05 algoritması oranlarında parçalanarak test verisi üzerinden %96,5 sınıflandırma başarısı ile lm algoritması vermektedir. Ayrıca AIC, AICC ve BIC değerlerinin tek katmanlı olarak yapılan YSA sonuçlarındaki değerlere göre küçük olması bu analizin (modelin) sınıflandırmadaki başarısını desteklediği görülmektedir.



*Matrisde yer alan satır sütunların anlamları (0-tehlikesiz atık;1-tehlikeli atık)

Şekil 4.1: İkili kategorik sınıflandırmaya göre başarı performansı iyi olan YSA analizine göre sınıflama değerleri.

Şekil 4.1 den görüldüğü gibi doğru sınıflandırma oranları eğitim, validasyon, test ve toplam olarak 4 farklı veri seti üzerinden verilmiştir. Eğitim veri seti grubunda ikili kategorik sınıflandırmada ilk sınıf olan tehlikesiz sınıfta başarı düzeyi % 98,9 olup, 91 adet tehlikesiz ve 1 adet de tehlikeli atık sınıfına girmektedir. Bu eğitim veri setinin ikinci sınıfı olan tehlikeli atık sınıfında başarı oranı % 93,2 olup, 6 adet tehlikesiz ve 82 adet tehlikeli atık sınıfa girmektedir. Test veri seti grubunda ikili kategorik sınıflandırmada ilk sınıfta 4 adet tehlikesiz atık bulunurken ikinci sınıfta ise 6 adet tehlikeli atık sınıfa girmekte olup test veri setine ait başarı düzeyi %100'dür. Toplam sınıflandırma değerlerini gösteren veri seti matrisinde ilk grupta başarı düzeyi % 99 olup, 99 adet tehlikesiz ve 1 adet tehlikeli atık sınıfına girmektedir. Bu toplam veri seti matrisinin ikinci sınıfı olan tehlikeli atık sınıfında başarı oranı %94 olup, 6 adet tehlikesiz ve 94 adet tehlikeli atık sınıfa girmektedir. İkili kategorik sınıflandırma için toplam sınıflandırma başarı düzeyi %96,5'dir.



Şekil 4.2: İkili kategorik sınıflandırmaya göre başarı performansı iyi olan YSA analizindeki (modelindeki) ROC eğrisi.

İkili kategorik sınıflandırmaya göre başarı performansı iyi olan YSA analizinde ki (modelinde ki) ROC eğrisi Şekil 4.2 de görülmektedir.

4.2.1.2. Dörtlü Kategorik Sınıflandırmaya göre YSA Analizi Uygulaması

Masif, empenye, mobilya ve tutkal içerikli olan dört kategorik sınıf için Levenberg Marquardt, Ölçekli eşlenik gradyan gibi farklı algoritmalarla 200 örneklem için başarı performanslarını belirlemeye yönelik YSA analiz denemeleri yapılmıştır. Başta toplam sınıflandırma yüzdesi baz alınarak eğitim ve test sınıflandırma başarı yüzdelere bakılarak en iyi YSA analizi (modeli) tespit edilmiştir.

Tablo 4.2: Dörtlü kategorik sınıflandırmaya göre YSA analizi.

Nöron	Algoritma, Veri parçalama, Tabaka sayısı	MSE	Eğitim seti MSE	Test MSE	AIC	AICc	BIC	Zaman (dk)	Eğitim (%)	Test (%)	Toplam (%)
30	lm 0.8-0.1-0.1 Tek katmanlı	0.03	6.48	6.1	3727	-55.6	10712	00:00:15	92	95	93
50	lm 0.6-0.2-0.2 Tek katmanlı	0.04	6.05	6.4	5924	-36.49	16734	00:00:18	93	90	91
50	scg 0.8-0.1-0.1 Tek katmanlı	0.05	6.68	5.5	6012	-37.08	17642	00:00:00	85	95	87
50	scg 0.8-0.1-0.1 Üç katmanlı	0.04	6.39	6.6	16205	-31.80	48619	00:00:01	89	90	89
50	scg 0.7-0.15-0.15 Tek katmanlı	0.05	6.39	6.53	5968	-36.65	17217	00:00:00	88.6	93.3	88.5
50	scg 0.8-0.1-0.1 Tek katmanlı	0.049	6.37	4.74	6004	-44.63	17635	00:00:00	86.9	80	86

Dörtlü kategorik sınıflandırmaya göre farklı algoritmalarda (scg, lm vb.) YSA analizi (modeli) gerçekleştirilmiştir Burada da en iyi sınıflandırma başarı performans düzeyini Levenberg Marquardt (lm) algoritmasının verdiği görülmektedir. Buna göre yapılan bu analizde tek katmanda 30 nöronla eğitim, validasyon ve test verisini sırasıyla 0.8-0.1-0.1 olarak veri parçalayarak sınıflandırmada en iyi test başarı düzeyi olarak % 95 olarak bulunmuştur (Tablo 4.2). Ayrıca AIC, AICC ve BIC değerlerinin diğer yapılan YSA sonuçlarındaki değerlere göre küçük olması bu analizin sınıflandırmadaki başarısını belirtmektedir.



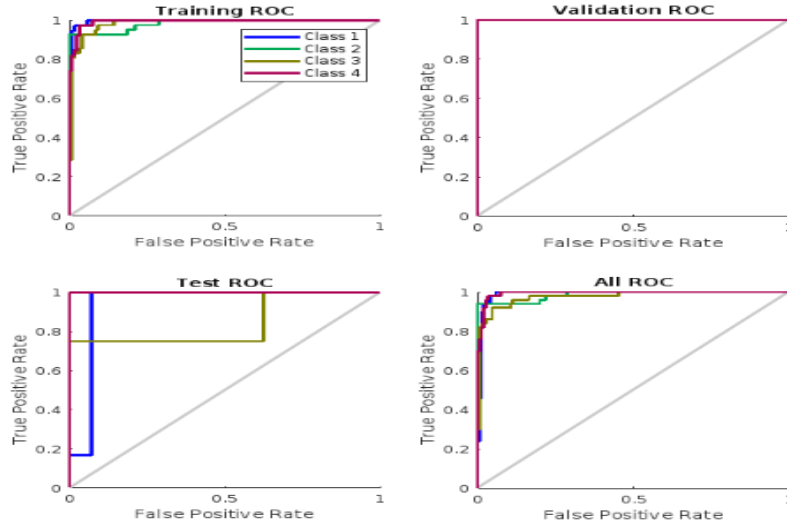
*Matrisde yer alan satır sütunların anlamları (1-masif ahşap atık; 2-emprenyeli ahşap atık; 3-mobilya atığı; 4-tutkal içerikli (panel levha) ahşap atığı

Şekil 4.3: Dörtlü kategorik sınıflandırmaya göre YSA analizindeki (modelindeki) sınıflama değerleri.

En başarılı sınıflandırmayı sağlayan model 30 nöron ile tek tabakalı Levenberg-Marquardt'tır. Eğitim verisinin 0.8, validasyon verisinin 0.1 ve test verisinin de 0.1 olacak şekilde parçalandığı ve eğitim veri setinin başarı düzeyinin %91.9, test veri setinin başarı düzeyinin %95 olduğu Şekil 4.3 de görülmektedir. Burada, sınıflandırmadaki genel toplam performans başarı oranı % 92.5'dur.

Şekil 4.3 deki eğitim seti verisinde ilk sınıfı olan masif odun atıkları sınıfında 36 adet masif odun atığı ve 1 mobilya atığı yer almaktadır. İlk sınıftaki sınıflandırmadaki başarı düzeyi % 97.3'dür. Aynı şekilde eğitim veri setinin ikinci sınıfı olarak bilinen emprenye içerikli odun atıkları sınıfında 2 adet masif odun atığı, 39 adet emprenyeli odun atığı ve 1 adet mobilya atığı bulunmaktadır. İkinci sınıfa (emprenyeli odun atığı) ait sınıflandırma başarı düzeyi % 92.9'dur. Üçüncü sınıf olarak bilinen mobilya odun atıkları sınıfında 3 adet masif odun atığı, 34 adet mobilya atığı ve 5 adet sadece tutkal içerikli odun atığı yer almaktadır. Üçüncü sınıftaki sınıflandırma başarı düzeyi % 81'dir. Bu veri setinin dördüncü sınıfı olarak bilinen sadece tutkal içerikli odun atıkları sınıfında 1 adet mobilya atığı ve 38 adet tutkal içerikli odun atığı bulunmaktadır. Dördüncü sınıfına ait sınıflandırma başarı düzeyi %97.4'dür. Test veri

setinin birinci ve ikinci sınıfında her örnek kendi sınıfına atanmaktadır ve sorun oluşturmamaktadır. Test veri setinin üçüncü sınıfında 1 adet masif odun atığı ve 3 adet mobilya atığı yer almaktadır. Toplam veri seti matrisinde ilk sınıftaki başarı düzeyi %96 olup, 48 adet masif odun atığı, 1 adet emprenyeli odun atığı ve 1 adet mobilya atığı bulunmaktadır. Toplam veri seti matrisinin ikinci sınıfındaki başarı düzeyi %94 olup, 2 adet masif odun atığı, 47 adet emprenyeli odun atığı ve 1 adet mobilya atığı yer almaktadır. Toplam veri setinin üçüncü sınıfındaki başarı düzeyi %82 olup, 4 adet masif odun atığı, 41 adet mobilya atığı ve 5 adet tutkal içerikli odun atığı bulunmaktadır. Toplam veri setinin dördüncü sınıfındaki başarı düzeyi %98 olup, 1 adet masif odun atığı ve 49 adet tutkal içerikli odun atığı yer almaktadır. Dörtlü kategorik sınıflandırma için toplam sınıflandırma başarı düzeyi %92.5'dir.



Şekil 4.4: Dörtlü kategorik sınıflandırmaya göre YSA analizindeki ROC eğrisi.

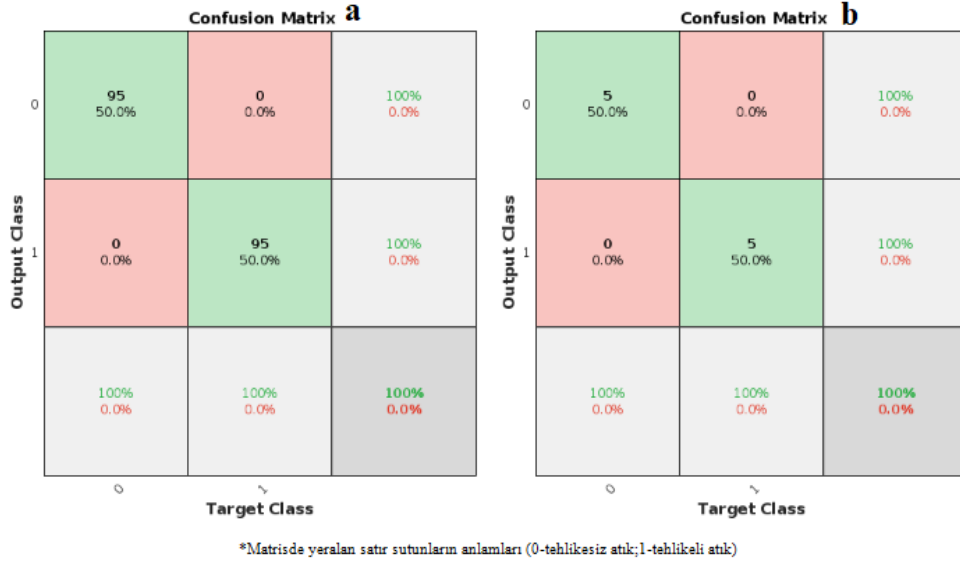
Masif, emprenye, mobilya ve tutkal içerikli dörtlü kategorik sınıflandırmaya göre YSA analizindeki ROC eğrisi Şekil 4.4 de görülmektedir.

4.2.2. Rasgele Orman (RF) Yöntemi

200 örneklem için RF analizinde en iyi başarı düzeyine ulaşmak için hem ikili kategorik sınıflandırma için hem de dört kategorik sınıflandırma için k-fold 5 ve k-fold 10 olarak birçok denemeler yapılmıştır.

Hem ikili kategorik sınıflandırma hem de dörtlü kategorik sınıflandırma için RF uygulamasında, eğitim ve test olmak üzere iki farklı veri seti oluşturulmuştur.

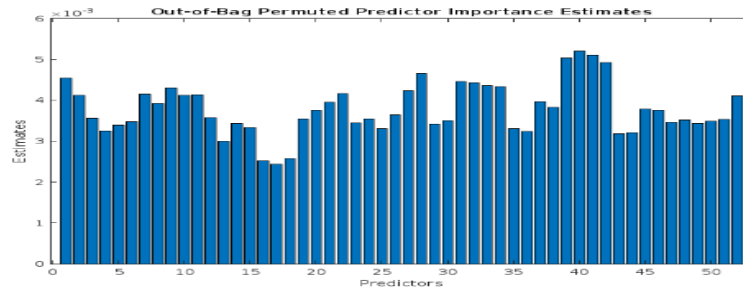
4.2.2.1. İkili Kategorik Sınıflandırmaya göre RF Analiz Uygulaması



Şekil 4.5: İkili kategorik sınıflandırmaya göre RF analizindeki sınıflama değerleri (a-eğitim, b-test).

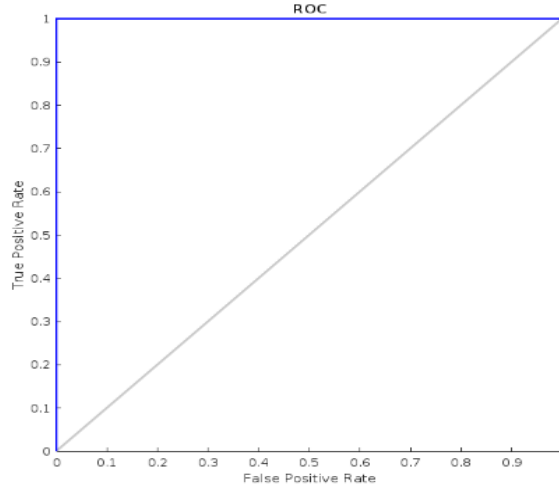
İkili kategorik sınıflandırmaya (tehlikesiz ve tehlikeli) göre yapılan RF analizindeki eğitim ve test verilerine ait sınıflama değerleri Şekil 4.5 a ve Şekil 4.5 b de görülmektedir. Maksimum split değeri 300 olarak alınmıştır. RF analizinde veri öncelikle 0.90 (eğitim) ve 0.10 (test) olmak üzere ikiye parçalanmış, sonrasında eğitim verisi tekrardan (k-fold = 10) 10 parçaya bölünerek 10 defa eğitilmiştir. Eğitim veri setindeki sınıflandırma başarı düzeyi %100 iken test verisi için başarı düzeyi ise %100 olarak bulunmuştur.

RF analizinin eğitim veri seti grubundaki ilk sınıfında 95 adet tehlikesiz odun atığından oluşmaktadır. Bu eğitim veri setinin ikinci sınıfında ise 95 adet tehlikeli odun atığından oluşmaktadır. RF analizinin test veri seti grubunda yer alan ilk sınıfa ait başarı düzeyi %100 olup, 5 adet tehlikesiz odun atık ayrımı yapılmıştır. İkinci sınıfa ait başarı düzeyi %100 olup, 5 adet tehlikeli atık oluşumu gerçekleşmiştir.



Şekil 4.6: İkili kategorik sınıflandırmaya göre RF analizindeki değişkenler.

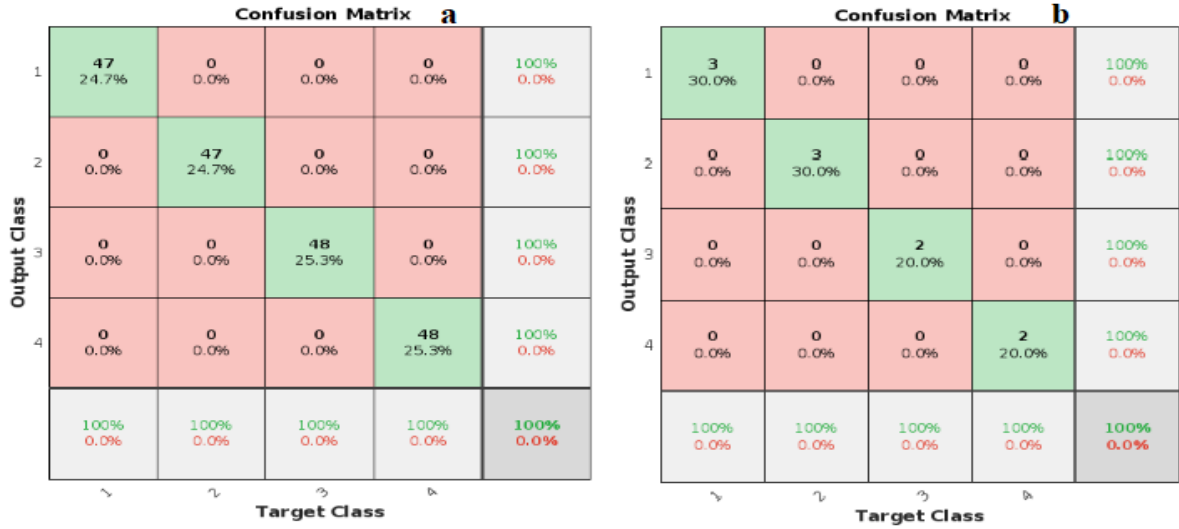
RF analizinin YSAdan farkı, değişkenleri veren grafiği vermesidir (Şekil 4.6). Buna göre değişkenlerden önemli olan ilk on beş değişken sırasıyla 40. değişken olan dalga boyu (DB) 1047 deki absorbans, 41. değişken olan DB 1028 deki absorbans, 39. değişken olan dalga boyu (DB) 1048 deki absorbans, 42.değişken olan DB 1027deki absorbans, 28.değişken olan DB 1317 deki absorbans, 31.değişken olan DB 1241 deki absorbans, 32.değişken DB 1240 deki absorbans, 33.değişken olan DB 1236 deki absorbans, 34.değişken olan DB 1235 deki absorbans, 1.değişken olan DB 1720 deki absorbans, 9.değişken olan DB 1645 deki absorbans, 52.değişken olan DB 695 deki absorbans,7.değişken olan DB 1693 deki absorbans, 2.değişken olan DB 1719 daki absorbans ve 37.değişken olan DB 1106 daki aborbanslardır. İkili kategorik sınıflandırmaya göre on beş değişkenden 1.değişken olan DB 1720 ve 2.değişken olan DB 1719 hariç on üç değişken tüm odunların kimyasal yapısında bulunan dalga boylarını vermektedir. Literatürde yer alan emprenyeye yönelik çalışmada 1745-1710 dalga boyu aralığı karbonil grubunda tüm yüzeye yapılan kimyasal işlem metodu ve 1735-1716 dalga boyu aralığı ise bakırın karbonil grupları ve odun polimerlerinin degradasyon ürünlerinden oluşmakta ve bakır amin bazlı koruyucularla işlem görmüş ahşabın spesifik özelliğini vermektedir (Temiz, vd.,2003; Temiz vd.,2007). Bu değişkenlerle tehlikesiz (kimyasal işlem uygulanmamış) atık örnekleri ile tehlikeli (kimyasal işlem uygulanmış) atık örnekleri birbirinden ayrılmaktadır.



Şekil 4.7: İkili kategorik sınıflandırmaya göre RF analizindeki ROC eğrisi.

İkili kategorik sınıflandırmaya göre RF analizindeki ROC eğrisi Şekil 4.7 de görülmektedir.

4.2.2.2. Dörtlü Kategorik Sınıflandırmaya göre RF Analiz Uygulaması



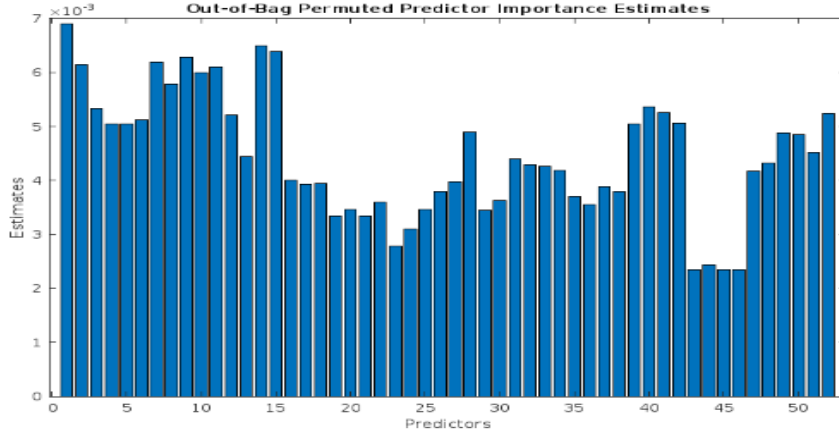
*Matrisde yer alan satır sütunların anlamları (1-masif ahşap atığı; 2-emprenyeli ahşap atığı; 3-mobilya atığı; 4-tutkal içerikli (panel levha) ahşap atığı

Şekil 4.8: Dörtlü kategorik sınıflandırmaya göre RF analizindeki sınıflama değerleri (a- eğitim, b-test).

Dörtlü kategorik sınıflandırmaya göre RF analizindeki eğitim ve test sınıflama değerleri Şekil 4.8-a ve 4.8-b de görülmektedir. Yapılan dört kategorik sınıflandırmaya göre RF analizinde maksimum split değeri 500 olarak alınmıştır. RF analizinde veri öncelikle 0.95 (eğitim =190) ve 0.10 (test = 10) olmak üzere ikiye parçalanmış, sonrasında eğitim verisi tekrardan (k-fold = 10) 10 parçaya bölünerek 10 defa eğitilmiştir. Analiz sonuçlarına göre eğitim ve test başarı düzeyleri %100 olarak bulunmuştur.

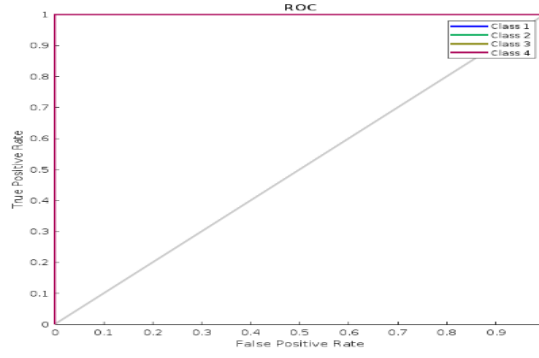
Eğitim ve test verisi olarak yapılmış birçok RF algoritması denemeleri arasından en iyi RF analizini veren sınıflandırma Şekil 4.8 de gösterilmiştir. Burada kfold değeri 10 alınmış ve maksimum bölme değeri 500 den 300 e düşürülmüştür. Bu sınıflandırmadaki ilk dört sınıf sırasıyla masif, emprenye, mobilya ve tutkaldır.

RF uygulamasında eğitim veri setinde ilk sınıfında 47 adet masif odun atığı, ikinci sınıfında 47 adet emprenyeli odun atığı, üçüncü sınıfında 48 adet mobilya atığı ve dördüncü sınıfında 48 adet tutkal içerikli odun atığı bulunmaktadır. Eğitim veri setinin dört sınıfına ait toplam başarı düzeyi %100'dür. Bu dört sınıfa ait RF uygulamasındaki sınıflandırmada test başarı düzeyleri ve toplam başarı düzeyi %100 dür. Test veri setinin ilk sınıfında 3 adet masif odun atığı, ikinci sınıfında 3 adet emprenye içerikli odun atığı, üçüncü sınıfında 2 adet mobilya atığı ve dördüncü sınıfında 2 adet tutkal içerikli(panel) odun atığı yer almaktadır.



Şekil 4.9: Dörtlü kategorik sınıflandırmaya göre RF analizindeki değişkenler.

Dörtlü kategorik sınıflandırmaya göre RF analizindeki değişkenler Şekil 4.9 da görülmektedir. Buna göre dörtlü kategorik sınıflandırmaya göre yapılan analizdeki önemli ilk on beş değişken sırasıyla 1.değişken olarak DB 1720 , 14. değişken olarak DB 1547,15.değişken olarak DB 1546, 9.değişken olarak DB 1645, 7.değişken olarak DB 1693, 2.değişken olarak DB 1719, 11.değişken olarak DB 1643,10.değişken olarak DB 1644 , 40.değişken olarak DB 1047, 41.değişken olarak DB 1028, 52.değişken olarak DB 695, 3.değişken olarak DB 1718, 42.değişken olarak DB 1027,12.değişken olarak DB 1595 ve 48.değişken olarak DB769'dur. Bu değişkenlerden 14, 15, 9, 11 ve 10 nolu değişkenler sırasıyla DB 1547, DB1546, DB 1645,DB 1643 ve DB 1644'ün absorpsiyonlarına karşılık gelen değişkenlerdir. Bu değişkenler, 1650-1609 arası dalga boyları birincil amidlerde C=O gerilmesini açıklar iken 1543-1623 dalga boyları arası ise amide(I) ve amide(II) bileşiklerinden kaynaklı pikleri içermesi levha ürünlerinde kullanılan formaldehit kökenli tutkalların varlığını göstermektedir (Zorba vd. 2008 ; Dorieh vd.2018; Marchessault,1962; Naumann vd.,2005; Köseoğlu,2015). Yukarıda belirtilen beş dalga boyu bu aralıklarda olup hem mobilya hem de levha gruplarında yer almaktadır. Ayrıca literatürde yer alan emprenyeye yönelik çalışmada 1745-1710 dalga boyu aralığı karbonil grubunda tüm yüzeye yapılan kimyasal işlem metodu ve 1735-1716 dalga boyu aralığı ise bakırın karbonil grupları ve tüm önemli odun polimerlerinin degradasyon ürünlerinden oluşmakta ve bakır amin bazlı koruyucularla işlem görmüş ahşap için spesifik pik özelliğini taşımaktadır (Temiz,vd.,2003; Temiz vd.,2007). Böylece çalışmada tespit edilen 3.değişken olan DB 1718'in absorpsiyonuna karşılık gelen değişken emprenyeli malzemeye ait önemli bir değişkendir. Diğer değişkenlerin pikleri odunun kimyasal yapısında bulunan piklere aittir. Böylece bu değişkenler RF modeline ait dört kategorik sınıf için ayırteci özelliği vermektedir.



Şekil 4.10: Dörtlü kategorik sınıflandırmaya göre RF analizinin ROC eğrisi.

Dörtlü kategorik sınıflandırmaya göre RF analizinin ROC eğrisi Şekil 4.10 da görülmektedir.

İkili ve dörtlü kategorik sınıflandırma için RF analizi ile belirlenen değişkenlerin ortak ve ortak olmayanları önem sırasına göre Şekil 4.6 ve Şekil 4.9 dan yararlanılarak Tablo 4.3 de gösterilmiştir. Tabloda koyu renk ile gösterilen dalga boyları her iki sınıflandırma (ikili ve dörtlü kategorik) için ortak olan değişkenlerdir.

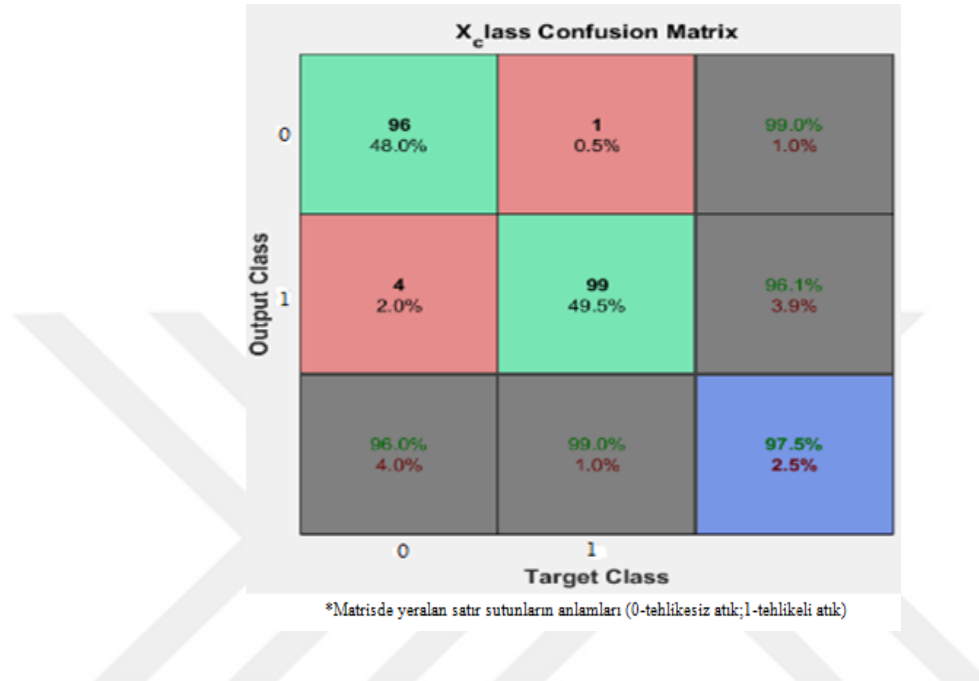
Tablo 4.3: RF analizinde ikili ve dörtlü kategorik sınıflar için belirlenen önemli değişkenler

İki kategorik		Dört kategorik	
Değişken no	Değişken	Değişken no	Değişken
40	DB1047	1	DB1720
41	DB1028	14	DB1547
39	DB1048	15	DB1546
42	DB1027	9	DB1645
28	DB1317	7	DB1693
31	DB1241	2	DB1719
32	DB1240	11	DB1643
33	DB1236	10	DB1644
34	DB1235	40	DB1047
1	DB1720	41	DB1028
9	DB1645	52	DB695
52	DB695	3	DB1718
7	DB1693	42	DB1027
2	DB1719	12	DB1595
37	DB1106	48	DB769

4.2.3. Çoklu Lojistik Regresyon (ÇLR) analizi

Çalışmadaki ÇLR analizi ise yapılan sınıflandırma analizlerinde sınıflandırma değerlerini veren tek bir matris veri setinden oluşmaktadır.

4.2.3.1. İkili Kategorik Sınıflandırmaya göre ÇLR Analiz Uygulaması



Şekil 4.11: İkili kategorik sınıflandırmaya göre en iyi ÇLR analizine ait sınıflama değerleri.

İlk sınıfa ait sınıflandırma başarı düzeyi %96 iken ikinci sınıfa ait sınıflandırma başarı düzeyi %99'dur. Bu veri setinin toplam sınıflandırmadaki başarı düzeyi %97.5'dur. ÇLR modelindeki veri setinin ilk sınıfında 96 adet tehlikesiz (49 adet tutkal içerikli odun atığı ve 47 adet masif odun atığı (Şekil 4.12)) ve 4 adet tehlikeli atık yer almaktadır. İkinci sınıfında 1 adet tehlikesiz atık ve 99 adet tehlikeli atık sınıfa ayrılmaktadır (Şekil 4.11).

ÇLR da RF gibi önemli parametreleri grafik üzerinde değil sayısal metin olarak vermektedir. Bu analizde modeli en iyi şekilde açıklayan 18 adet değişken (dalga boyu(DB)) bulunmaktadır. Bunlar sırasıyla 7.değişken olan DB 1693, 10.değişken olan DB 1644, 14.değişken olan DB 1547, 15.değişken olan DB 1546, 16.değişken olan DB 1511, 17.değişken olan DB 1510, 18.değişken olan DB 1509, 19.değişken olan DB 1462, 20.değişken olan DB 1461, 25.değişken olan DB 1370, 26.değişken olan DB 1369, 29.değişken olan DB1264, 30.değişken olan DB 1263, 31.değişken olan DB 1241, 32.değişken olan DB 1240, 33.değişken olan DB 1236, 34.değişken olan DB1235 ve 42.değişken olan DB 1027 dir.

İkili kategorik sınıflandırmaya göre ÇLR analizinde yer alan 14 ve 15 nolu değişkenler sırasıyla DB1547 ve DB1546'da görülen absorbansın yüksek olduğu piklerde yer almaktadır. Bu pikler daha önce de belirtildiği gibi ahşap malzemede bulunan formaldehit kökenli tutkalın varlığını işaret etmektedir (Zorba vd. 2008 ; Dorieh vd.2018 Marchessault,1962; Naumann vd.,2005; Köseoğlu,2015). Bu değişkenler tehlikeli ve tehlikesiz ayırımında önemlidir.

4.2.3.2. Dörtlü Kategorik Sınıflandırmaya göre ÇLR Analiz Uygulaması

	1	2	3	4	
1	47 23.5%	2 1.0%	2 1.0%	1 0.5%	90.4% 9.6%
2	1 0.5%	45 22.5%	2 1.0%	0 0.0%	93.8% 6.3%
3	2 1.0%	3 1.5%	42 21.0%	0 0.0%	89.4% 10.6%
4	0 0.0%	0 0.0%	4 2.0%	49 24.5%	92.5% 7.5%
	94.0% 6.0%	90.0% 10.0%	84.0% 16.0%	98.0% 2.0%	91.5% 8.5%
	1	2	3	4	

*Matrisde yer alan satır sütunların anlamları (1-masif ahşap atığı; 2-emprenyeli ahşap atığı; 3-mobilya atığı; 4-tutkal içerikli (panel levha) ahşap atığı

Şekil 4.12: Dörtlü kategorik sınıflandırmaya göre en iyi ÇLR analizine ait sınıflama değerleri.

Dörtlü kategorik sınıflandırmaya göre en iyi ÇLR analizinin ilk sınıfında 47 adet masif odun atığı, 1 adet emprenyeli odun atığı, 2 adet mobilya atığı yer almaktadır. İlk sınıftaki sınıflandırma başarı düzeyi %94' dür. Bu veri setinin ikinci sınıfta 2 adet masif odun atığı , 45 adet emprenyeli odun atığı , 3 adet mobilya atığı yer almaktadır. İkinci sınıfın sınıflandırma başarı düzeyi %90'dır. Üçüncü sınıfta 2 adet masif odun atığı, 2 adet emprenyeli odun atığı, 42 adet mobilya atığı ve 4 adet tutkal içerikli odun atığı şeklinde sınıflandırma yapmaktadır. Üçüncü sınıfın sınıflandırma başarı düzeyi %84'dür. Dördüncü sınıfta 1 adet masif odun atığı ve 49 adet tutkal içerikli odun atığı yer almaktadır. Dördüncü sınıfın sınıflandırma başarı düzeyi % 98'dir. Dört kategorik sınıfa göre yapılan ÇLR analizinin toplam sınıflandırma başarı düzeyi %91.5'dur (Şekil 4.12).

ÇLRda RF gibi önemli parametreleri grafik üzerinde değil değişkenleri büyükten küçüğe değişken numarası ile vermektedir. Bu analizde ait 8 tane en belirleyici değişkenler sırasıyla 2.değişken olan DB 1719, 3.değişken olan DB 1718, 4.değişken olan DB 1717, 12.değişken

olan DB 1595, 13.değişken olan DB 1594, 15.değişken olan DB 1546, 43.değişken olan DB 897 ve 48.değişken olan DB 769 dir.

Dörtlü kategorik sınıflandırma için yapılan ÇLR analizinde DB 1546 değişkeni tutkala etki eden pik (Zorba vd. 2008 ; Dorieh vd.2018 Marchessault,1962; Naumann vd.,2005; Köseoğlu,2015) olması nedeniyle hem mobilya grubunda hem de sadece tutkal içerikli levha grubunda önemli bir değişkendir. DB 1718 ve DB1717 değişkenleri ise empenyenin varlığına işaret eden pikler olması (Temiz, vd.,2003; Temiz vd.,2007) nedeniyle empenyeli odun atığını işaret etmektedir. Diğer dalga boyları ise (DB 1595, DB 1594, DB 897, DB 769) odunun kimyasal yapısında bulunan doğal pikler olup masif ve masif olmayan tüm odun atıklarında mevcudiyet göstermektedir.

Tablo 4.4: ÇLR analizinde ikili ve dörtlü kategorik sınıflar için belirlenen önemli değişkenler

İkili kategorik		Dörtlü kategorik	
Değişken no	Değişken	Değişken no	Değişken
7	DB1693	2	DB1719
10	DB1644	3	DB1718
14	DB1547	4	DB1717
15	DB1546	12	DB1595
16	DB1511	13	DB1594
17	DB1510	15	DB1546
18	DB1509	43	DB897
19	DB1462	48	DB769
20	DB1461		
25	DB1370		
26	DB1369		
29	DB1264		
30	DB1263		
31	DB1241		
32	DB1240		
33	DB1236		
34	DB1235		
42	DB1027		

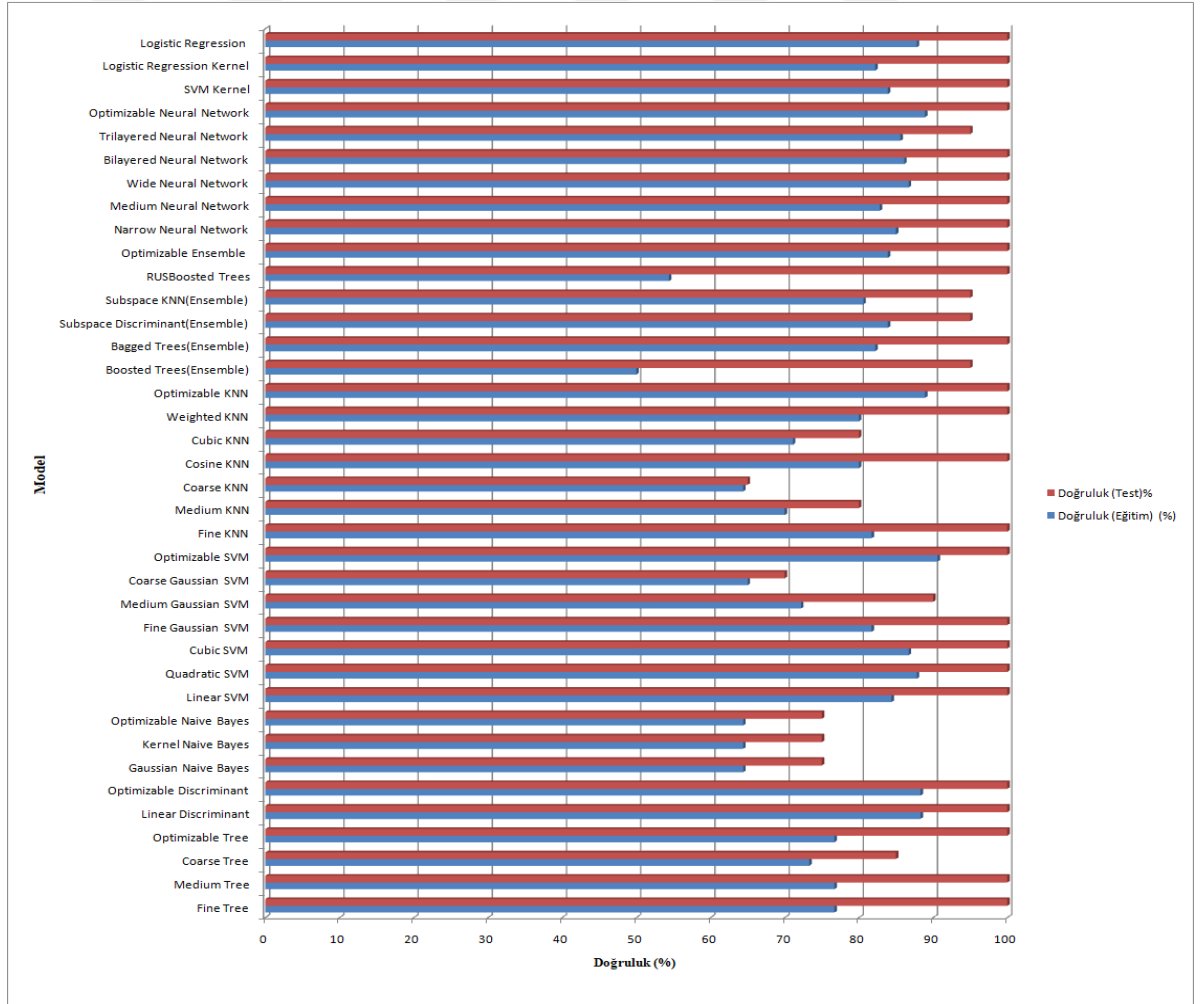
Ayrıca ikili ve dörtlü kategorik sınıflar için ÇLR analizi ile belirlenen değişkenlerin ortak ve ortak olmayan değişkenler, değişkenlerin önem sırasına göre Tablo 4.4 de gösterilmiştir. ÇLR analiz uygulamasının ikili ve dörtlü kategorik sınıflandırma için ortak olan değişken 15.değişken olan DB 1546'dır.

4.3. PAKET PROGRAM ÇIKTILARI

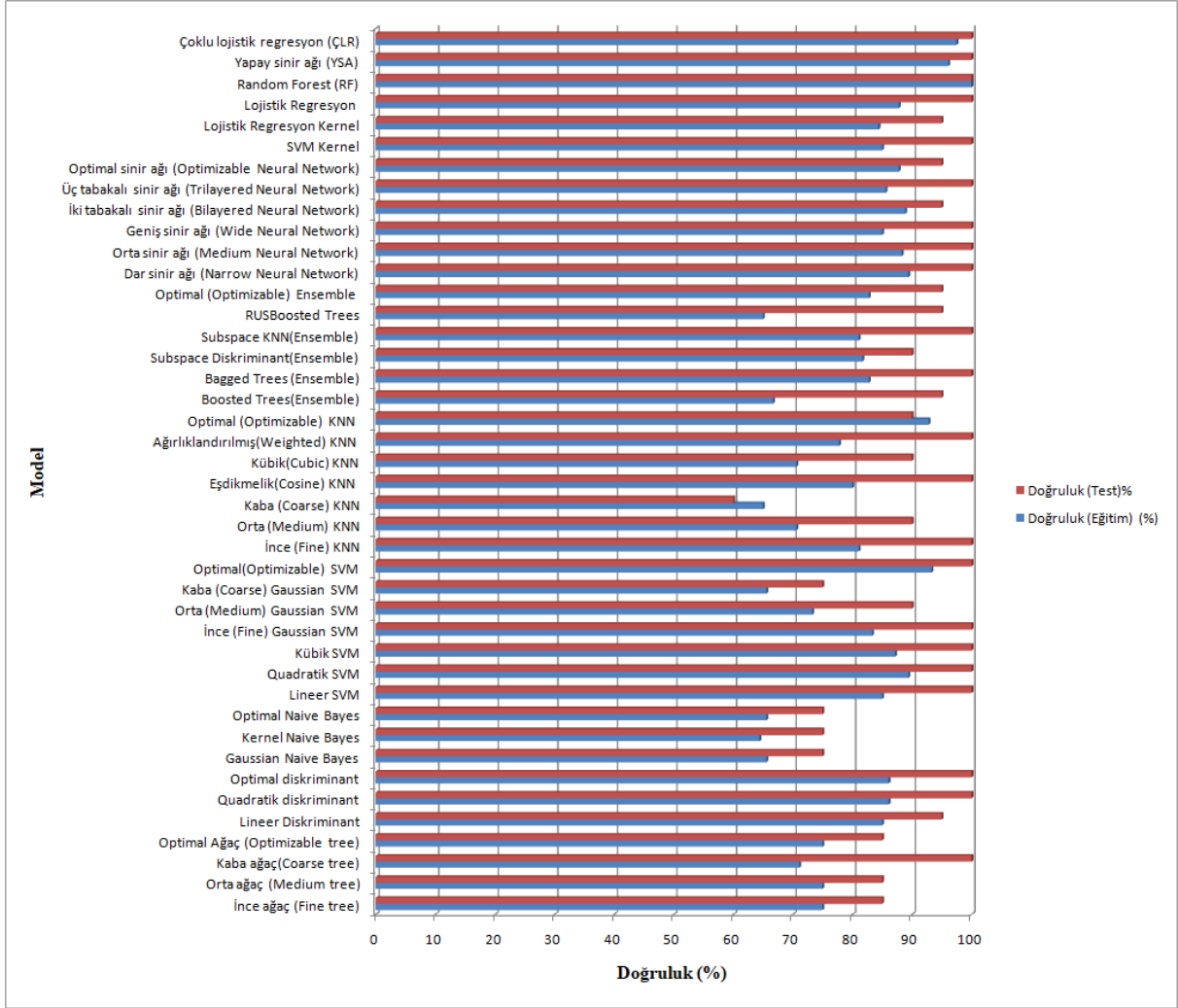
Çalışmada guruplardaki veri sayısı eşit olacak şekilde 200 adet odun atık örneği Classification Learner üzerindeki sınıflandırıcılar kullanılarak k-fold 5 ve k-fold 10 alınarak hem ikili kategorik sınıf hem de dördü kategorik sınıflar için en uygun modeller kestirilmiştir. Sınıflandırma analizleri kullanılıp elde edilen başarı düzeylerinin tesadüfi olup olmadığına yönelik Matlabda yer alan sınıflandırma öğrenimi sayesinde diğer sınıflandırma analizlerinin kullanılarak başarı düzeylerinin tesadüfi olup olmadığına bakılmıştır.

4.3.1. İkili Kategorik Sınıflandırmaya Göre En Uygun Modelin Belirlenmesi

İkili kategorik sınıflandırmaya göre sınıflandırma öğreniminde yer alan diğer sınıflandırma analizleri ile k-fold 5 ve k-fold 10 alınarak en uygun model tespit edilmeye çalışılmıştır.



Şekil 4.13: İkili kategorik sınıflandırmaya göre en uygun modelin test edilmesi (k-fold=5)



Şekil 4.14: İkili kategorik sınıflandırmaya göre en uygun modelin test edilmesi (k-fold=10)

Sınıflandırma öğrenimi ile ikili kategorik sınıflandırma için k-fold 5 (Şekil 4.13) ve k-fold 10 (Şekil 4.14) alınarak 10000 iterasyon uygulamasıyla uygulanan tüm modellerin doğruluk (eğitim) ve doğruluk (test) yüzdeleri gösterilmektedir. Şekil 4.14 de çalışmada yer alan ilk üç analiz ile paket programda yer alan sınıflandırma öğreniminde bulunan diğer analizlerin sınıflandırma başarı düzeyleri beraber gösterilmiştir.

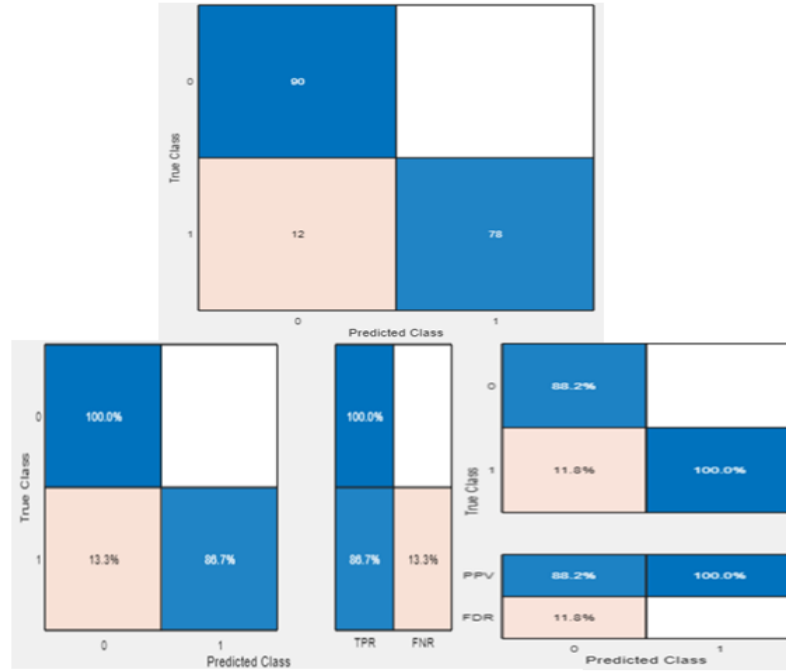
Yapılan ikili kategorik sınıflandırmaya göre sıklıkla kullanılan diğer sınıflandırma analizlerinin (modellerinin) başarı düzeyi sonuçları ile yukarıda uygulanan üç analizin (modelin) başarı düzeyi sonuçlarının tesadüfi sonuçlar vermediği, sınıflandırma başarı düzeylerinde benzer sonuçlar verdiği görülmektedir (Tablo 4.5).

Tablo 4.5: İkili kategorik sınıflandırmaya göre tespit edilen uygun modeller.

k fold	Model	Doğruluk eğitim (%)	Doğruluk test (%)	Doğruluk eğitim (ROC eğrisi)		Doğruluk test (ROC eğrisi)	
				AUC [0]	AUC [1]	AUC [0]	AUC [1]
				-	Yapay sinir ağı (YSA)	96.1	100
10	Random Forest (RF)	100	100	1	1	1	1
10	Çoklu Lojistik regresyon (ÇLR)	97.5	100	0.96	0.99	1	1
5	Optimal destek vektör makinesi (Optimizable SVM)	90.6	100	0.9416	0.6416	1	1
	Optimal K-En yakın Komşu (Optimizable KNN)	88.90	100	0.8889	0.8889	1	1
	Optimal sinir ağı (Optimizable neural network)	88.90	100	0.8841	0.8841	1	1
	Lojistik regresyon (LR)	87.80	100	0.9018	0.9018	1	1
10	Optimal destek vektör makinesi (Optimizable SVM)	93.30	100	0.953	0.953	1	1
	Quadratic SVM	89.40	100	0.9288	0.9288	1	1
	Lojistik regresyon (LR)	87.80	100	0.9016	0.9016	1	1

İkili kategorik sınıflandırma için Şekil 4.13 ve Şekil 14'e göre doğruluk (eğitim) yönünden en uygun modeller Tablo 4.5 de verilmektedir. Tablo 4.5 de çalışmada yapılan ilk üç analiz sınıflandırma performansları ile Matlab paket programında yer alan diğer sınıflandırma analizlerinden en uygun olanların sınıflandırma başarı düzeyleri birbirleri ile karşılaştırılmıştır.

İkili kategorik sınıflandırmaya göre çalışmada yer alan ilk üç analizde ki (YSA, RF ve ÇLR) en uygun model k-fold 10 alındığında tespit edilen RF analizidir. Çalışmada yer alan ilk üç analizden sonra paket programla yapılan diğer analizlerden optimal SVM (supported vector machine [destekleyici vektör makinesi]) modelinin 93.3% doğruluk eğitim ile uygun model olduğu Tablo 4.5 de görülmüştür.

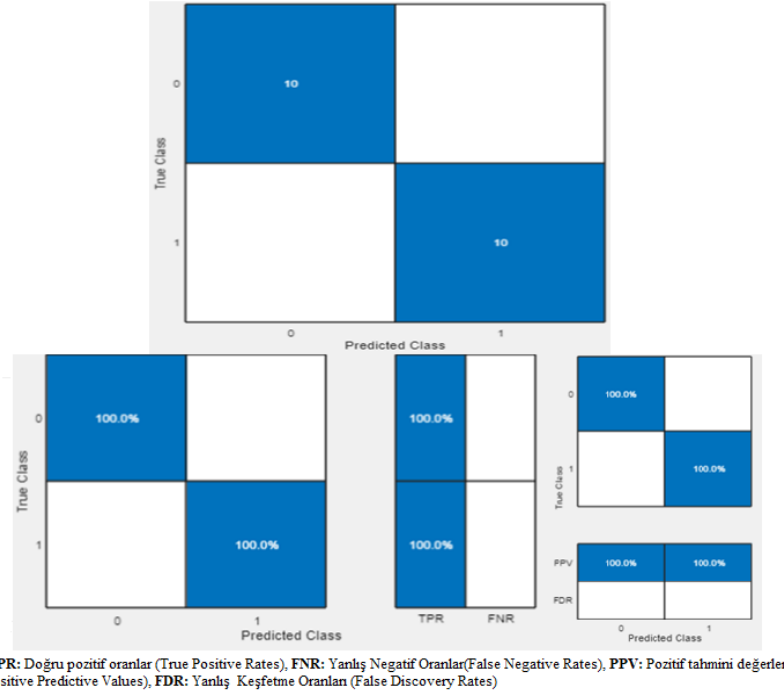


*TPR: Doğru pozitif oranlar (True Positive Rates), FNR: Yanlış Negatif Oranlar(False Negative Rates), PPV: Pozitif tahmini değerler (Positive Predictive Values), FDR: Yanlış Keşfetme Oranları (False Discovery Rates)

Şekil 4.15: İkili kategorik sınıflandırmaya göre optimal SVM modeline ait eğitim veri seti. İkili kategorik sınıflandırmaya göre kullandığımız üç analizden sonra (YSA, RF ve ÇLR) diğer analizlerden uygun olan optimal SVM (Supported vector machine-Destek vektör makinesi) modelidir. Destek vektör makinesi (SVM) modelindeki matrisin her sütunu her sınıfın tahmin sayısını (0: tehlikesiz, 1: tehlikeli) tanımlarken, her satır gerçek sınıftaki örnekleri temsil eder, başka bir deyişle bu analiz, tahmin sistemimizin iki sınıfa göre ne tür başarı ve hatalara sahip olduğunun görülmesini sağlamaktadır. Tehlikesiz ve tehlikeli olarak yapılan ikili kategorik sınıflandırmaya göre en uygun model optimize SVM olarak tespit edilmiştir. Bu modelde 200 örneklem alınarak eğitim veri setindeki modele ait sınıflama değerleri Şekil 4.15 de verilmektedir.

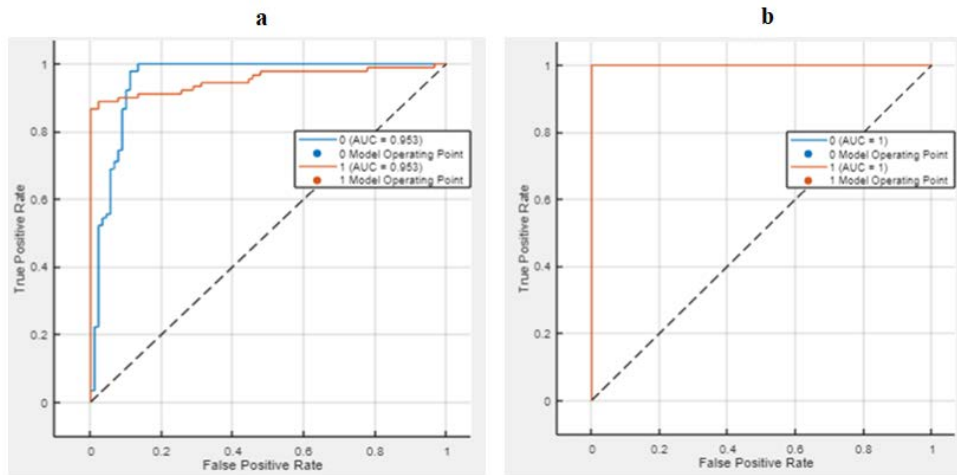
Şekil 4.15’de, yanlış negatif test yüzdesinin (FNR) gösterildiği matris görülmektedir ve bu ifade hata oranı olarak da adlandırılmaktadır. Şekilde görülebileceği gibi, tahmin modelinin üzerinde çalıştığı 2 sınıftan sınıf 1 (tehlikesiz sınıf) %100 hassasiyet ve iki sınıfa göre %0 yanlış negatif göstermektedir, bu da tahmin modelinin gerçek pozitif (TP) ile yanlış negatif (FN) arasında ayrım yapabilme yeteneğine sahip olduğu anlamına gelmektedir. Yani atıkları tehlikesiz ve tehlikeli atıklar olarak doğru bir şekilde sınıflandırabilmek için %100 ayırında bulunmaktadır. Öte yandan, sınıf 2 (tehlikeli sınıf) %13,3'lük yanlış negatif yüzdesiyle %86,7'ye eşit daha düşük bir duyarlılık yüzdesi göstermektedir. Ayrıca şekilde pozitif tahmin değeri (PPV) ve yanlış keşif oranının (FDR) gösterildiği ilişki matrisi

sunulmaktadır. Kesinlik metriğinin sınıflandırma atamasında makine öğrenimi modelinin kalitesini ölçtüğü, dağılım değeri ne kadar düşüğe modelin kesinliğinin o kadar yüksek olduğu göz önünde bulundurulmalıdır. Şekilde gösterildiği gibi, sınıf 1 için tahmin modeli en yüksek kesinlik değerini göstermektedir. Bu durumda % 100 ve FDR yüzdesi % 0'dır, yani tehlikeli atıkların sadece % 100'ü ahsap atıklarla gerçekten ilişkili olacak, örneklerin % 0'ı ise tahminde yanlış olacaktır.



Şekil 4.16: İkili kategorik sınıflandırmaya göre optimizable SVM'nin test veri seti

Bu modelde kontrol veri setine ait sınıflama değerleri Şekil 4.16 da gösterilmiştir.

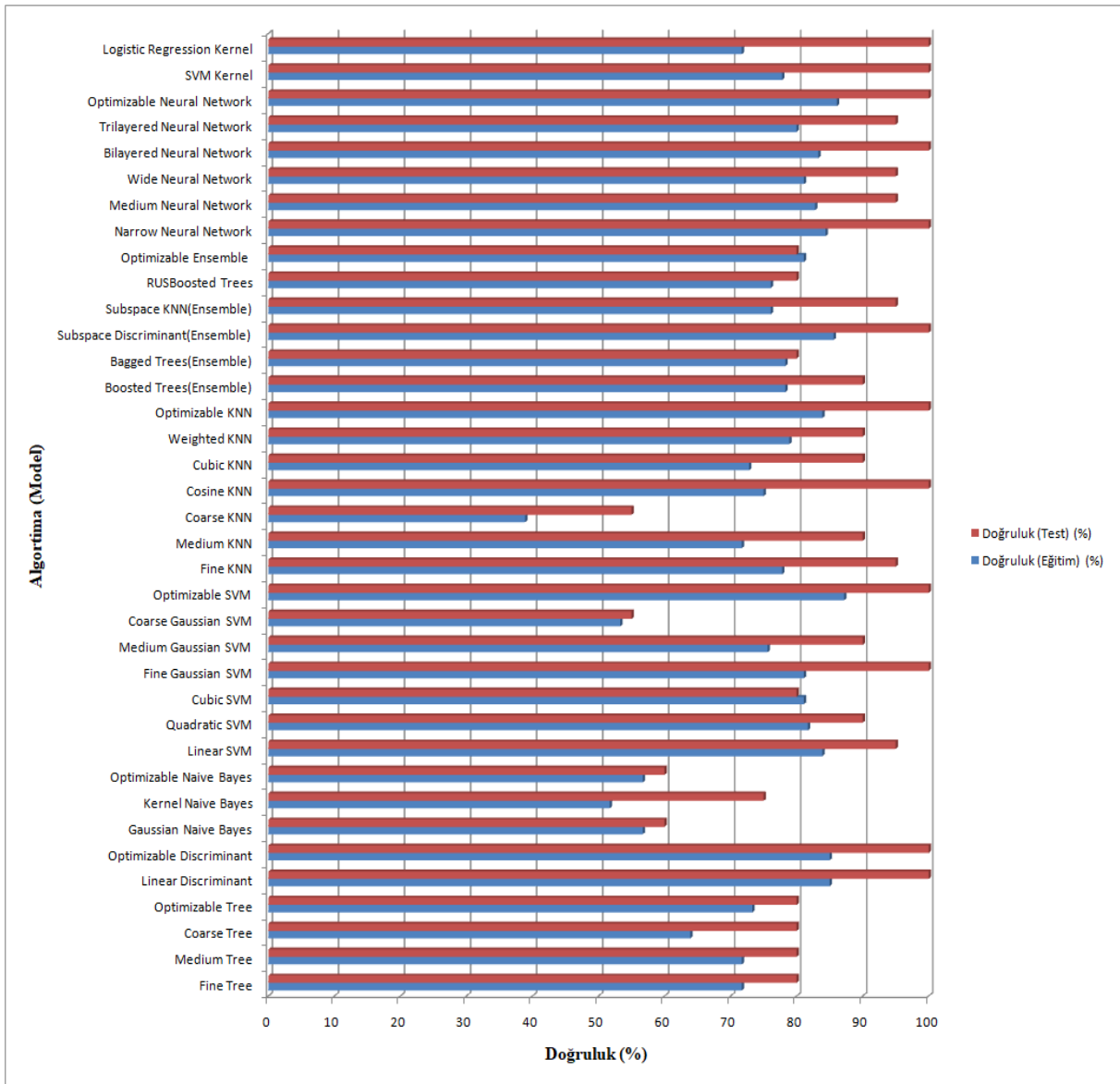


Şekil 4.17: İkili kategorik sınıflandırmaya göre optimizable SVM modeline ait ROC eğrileri (a-eğitim veri seti; b-test veri seti).

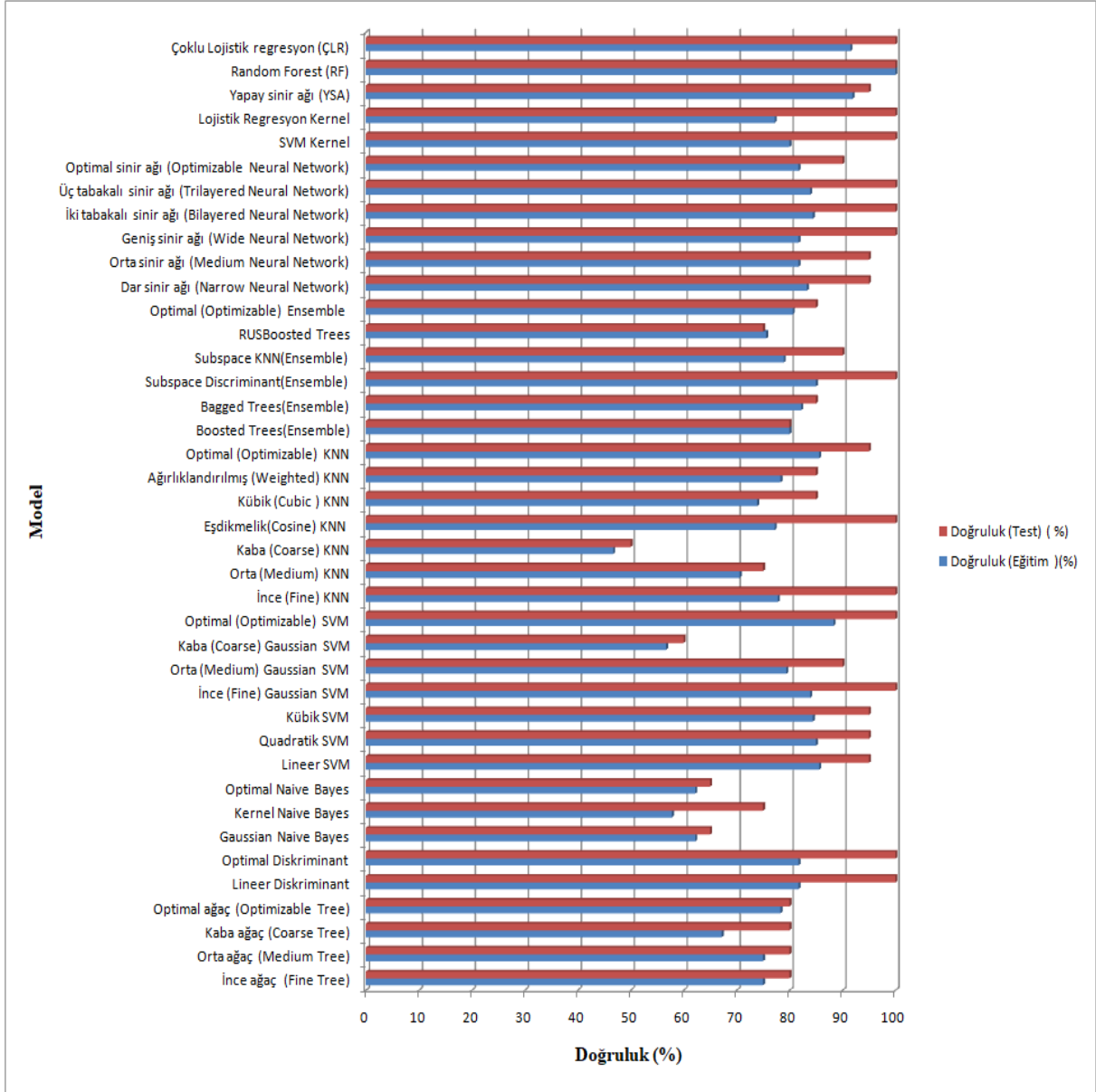
Şekil 4.17-a ve b de modelin alıcı işlem karakteristiği (ROC) eğrileri görülmektedir. Şekil 4.17-a da 200 ahşap atığın tehlikesiz ve tehlikeli olmak üzere iki sınıfa ayrılmasıyla iki sınıfa göre AUC değerinin 0,953 olduğu görülmektedir. Şekil 4.17-b de 20 adet ahşap atığı kontrol grubuna ait ROC eğrisinde iki kategorik sınıfa ait AUC değerinin 1 olduğu görülmektedir.

4.3.2. Dörtlü Kategorik Sınıflandırmaya göre En Uygun Modelin Belirlenmesi

Dörtlü kategorik sınıflandırmaya göre k-fold 5 ve k-fold 10 alınarak en uygun model tespit edilmeye çalışılmıştır.



Şekil 4.18: Dörtlü kategorik sınıflandırmaya göre en uygun modelin test edilmesi (k-fold=5).



Şekil 4.19: Dörtlü kategorik sınıflandırmaya göre en uygun modelin test edilmesi (k-fold=10).

Dörtlü kategorik sınıflandırma için k-fold 5 ve k-fold 10 alınarak 10000 iterasyon uygulamasıyla uygulanan tüm modellerin doğruluk (eğitim) ve doğruluk(test) yüzdeleri Şekil 4.18 ve Şekil 4.19 da gösterilmektedir. Şekil 4.19 da çalışmada yapılan dörtlü kategorik sınıflandırma için ilk üç analiz (YSA, RF ve ÇLR) ile diğer sınıflandırma analizlerinin sınıflandırma başarı düzeyleri gösterilmiştir.

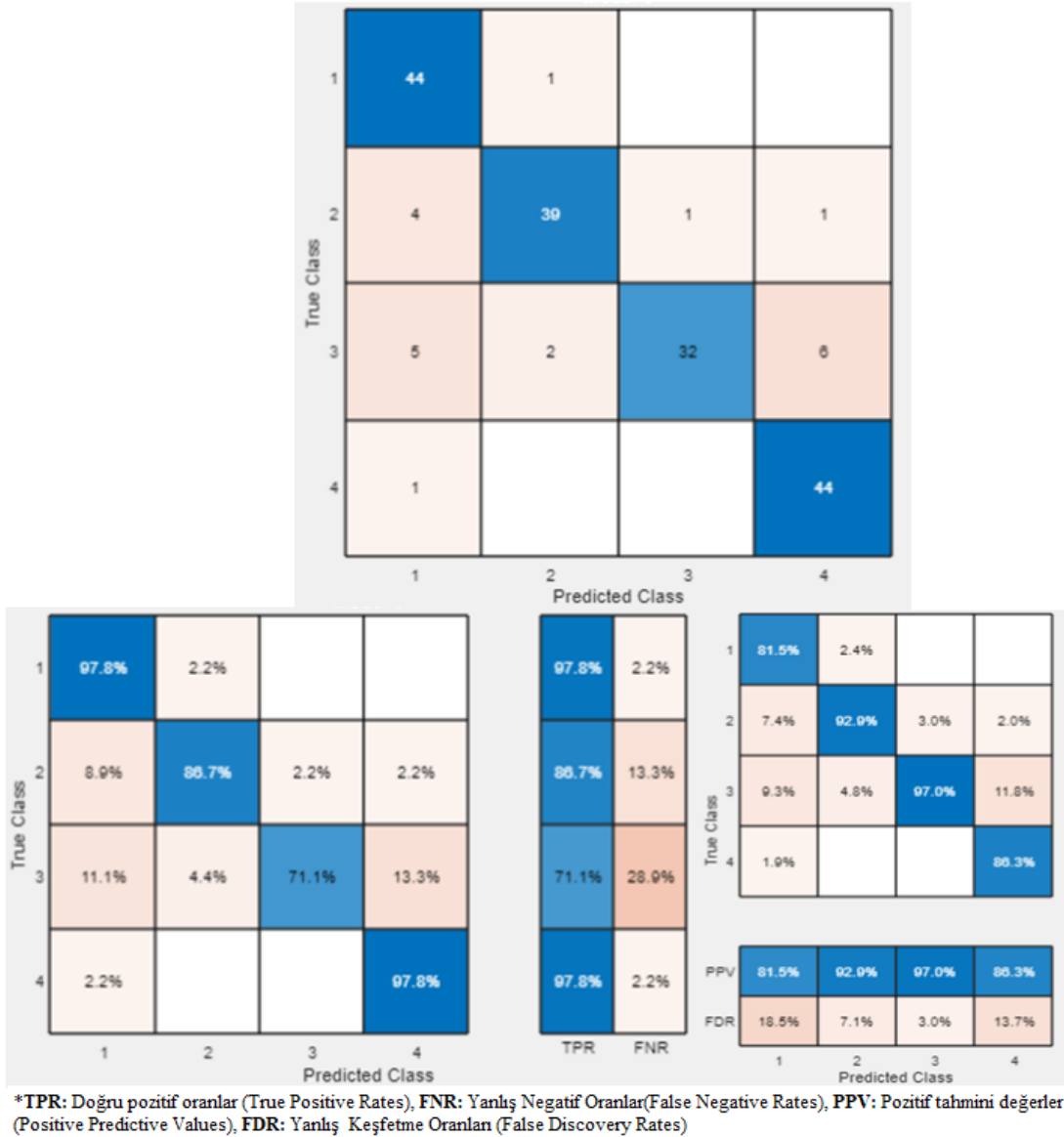
Yapılan dörtlü kategorik sınıflandırmaya göre sıklıkla kullanılan diğer sınıflandırma analizlerinin (modellerinin) başarı düzeyi sonuçları ile yukarıda uygulanmış olan YSA, RF ve ÇLR analizlerinin (modelin) sınıflandırma başarı düzeyi sonuçlarının tesadüfi sonuçlar

vermediği, sınıflandırma başarı düzeylerinde benzer sonuçlar elde edildiği görülmektedir (Tablo 4.6).

Tablo 4.6: Dörtlü kategorik sınıflandırmaya göre tespit edilen en uygun modeller.

k fold	Model	Doğruluk eğitim (%)	Doğruluk test (%)	Doğruluk eğitim (ROC eğrisi)				Doğruluk test (ROC eğrisi)			
				AUC	AUC	AUC	AUC	AUC	AUC	AUC	AUC
				(1)	(2)	(3)	(4)	(1)	(2)	(3)	(4)
-	Yapay sinir ağı (YSA)	91.9	95	0.973	0.929	0.81	0.974	1	1	1	1
10	Random forest (RF)	100	100	1	1	1	1	1	1	1	1
10	Çoklu lojistik regresyon(ÇLR)	91.5	100	0.94	0.90	0.84	0.98	1	1	1	1
5	Optimizable SVM	87.2	100	0.96	0.9628	0.895	0.972	1	1	1	1
5	Optimal sinir ağı (Optimizable neuralnetwork)	86.10	100	0.957	0.9559	0.9348	0.987	1	1	1	1
	Ensemble subspace diskriminant	85.60	100	0.975	0.9722	0.9483	0.980	1	1	1	1
	Optimal KNN (Optimizable KNN)	83.90	100	0.911	0.8444	0.8667	0.948	1	1	1	1
	Kernel	71.70	100	0.912	0.9198	0.8737	0.924	1	1	1	1
10	Optimal destek vektör makinesi (Optimizable SVM)	88.30	100	0.977	0.9826	0.9366	0.988	1	1	1	1
	Optimal diskriminant (Optimizable discriminant)	81.70	100	0.943	0.8331	0.9439	0.986	1	1	1	1

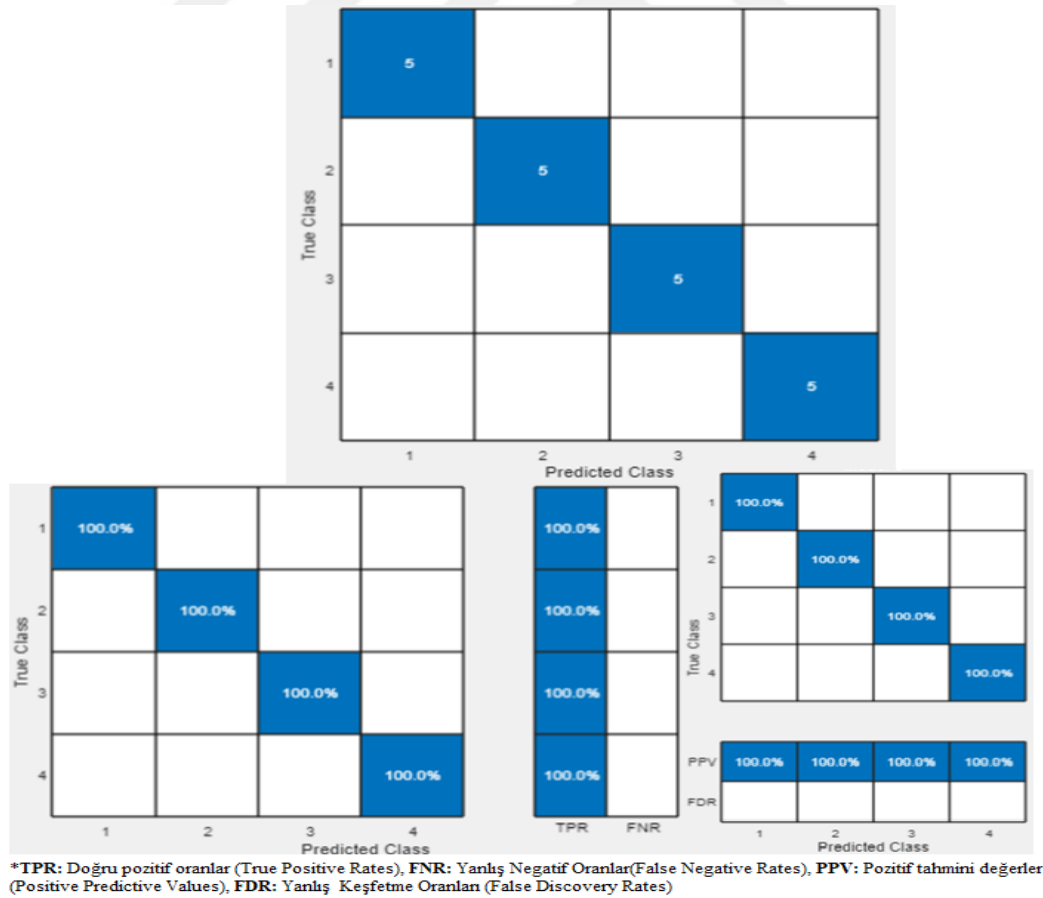
Şekil 4.18 ve Şekil 19'a göre doğruluk (eğitim) yönünden en uygun modeller Tablo 4.6 da gösterilmektedir. Dörtlü kategorik sınıflandırma için yapılan ilk üç analizden RF analizi % 100' lük başarı düzeyi ile en başarılı model olarak ortaya konmuştur. Dörtlü kategorik sınıflandırmaya göre yapılan diğer sınıflandırma analizlerinden en uygun olan optimizeable SVM modelinin %88.3 doğruluk eğitim ile en yüksek değeri sağladığı Tablo 4.6'da görülmüştür.



Şekil 4.20: Dörtlü kategorik sınıflandırmaya göre optimize edilebilir SVM'e ait eğitim veri seti.

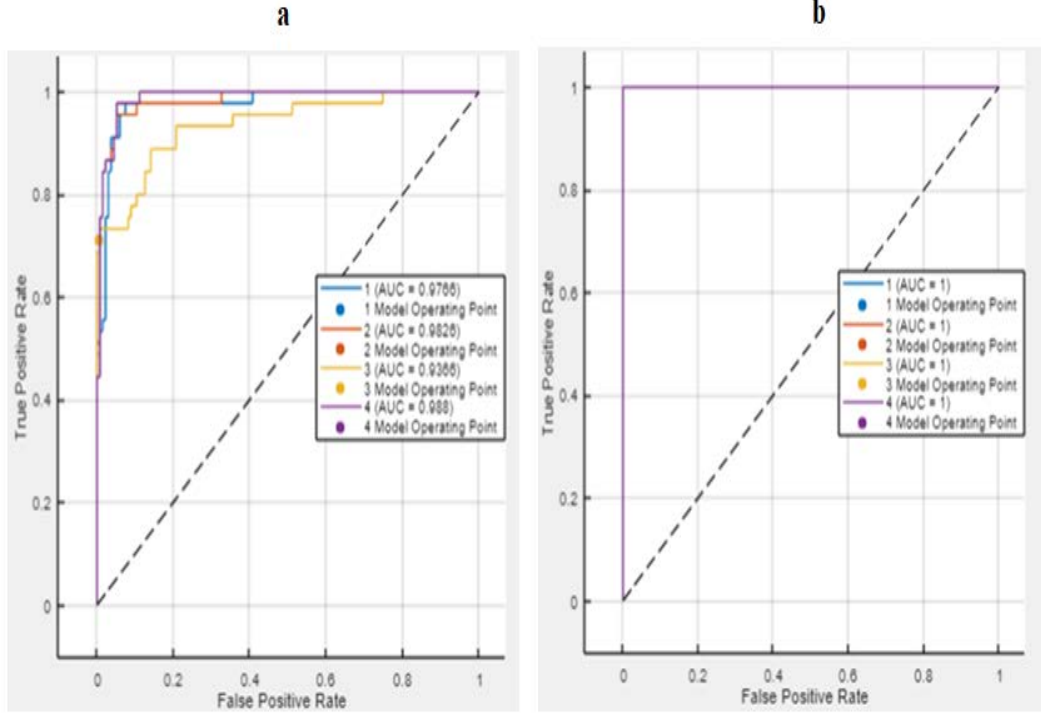
Dörtlü kategorik sınıflandırmaya göre yapılan diğer sınıflandırma analizlerinden uygun olan model optimal SVM modelidir. Bu modelde 200 gözlem örneği (örneklem) için uygun olan modele ait eğitim veri seti Şekil 4.20 de görülmektedir. Performans ölçümlerinin analizinin bir parçası olarak, en uygun model Destek vektör makinesi (SVM) algoritmasının ilişki matrisini sunmaktadır. İlişki matrisi denetimli bir öğrenme algoritmasının performansını görmemizi sağlar ve matrisin her sütunu her sınıfın tahmin sayısını (1:masif, 2: empenye, 3: mobilya, 4: tutkal) tanımlamakta iken, her satır gerçek sınıftaki örnekleri temsil eder, başka bir deyişle bu analiz, tahmin sistemimizin dört kategoriye göre ne tür başarı ve hatalara sahip olduğunu sunar.Şekil 4.16'da ilişki matrisi görülmektedir, burada yanlış negatif test yüzdesi (FNR) gösterilmektedir, hata oranı olarak da adlandırılır. Gerçek bir pozitif (TPR) sonucun

pozitif olma olasılığını ortaya çıkarır. Tahmin modelinin üzerinde çalıştığı dört sınıftan Şekil 4.23 de görülebileceği gibi, sınıf 1 ve 4, dört sınıfa göre %97,8 duyarlılık ve %2,2 yanlış negatif göstermektedir, bu da tahmin modelinin gerçek pozitif (TP) ile yanlış negatif (FN) arasında ayırım yapma yeteneğine sahip olduğu, yani ahşap atıkları doğru bir şekilde sınıflandırabilmek için %97,8'lik bir kapasiteye sahip olduğu anlamına gelmektedir. Öte yandan, sınıf 3 %28,9'luk yanlış negatif yüzdesiyle %71,1'e eşit daha düşük bir duyarlılık yüzdesi göstermektedir, yani mobilya atıklarının %71,1'lik kısmı doğru sınıfa atılmaktadır. Şekilde pozitif tahmin değeri (PPV) ve yanlış keşif oranının (FDR) gösterildiği ilişki matrisi sunulmaktadır. Kesinlik metriğinin sınıflandırma atamasında makine öğrenimi modelinin kalitesini ölçtüğü, dağılım değeri ne kadar düşüğe modelin kesinliğinin o kadar yüksek olduğu göz önünde bulundurulmalıdır. Şekilde gösterilebileceği gibi, sınıf 3 için tahmin modeli en yüksek kesinlik değerini göstermektedir, bu durumda %97 ve %3 FDR yüzdesi, yani mobilya ahşap atıklarının dahil edilmesinin sadece %97'si ahşap atıklarla gerçekten ilişkili olacak, örneklerin %3'ü ise tahminde yanlış olacaktır.



Şekil 4.21: Dörtlü kategorik sınıflandırmaya göre optimizable SVM'e ait test veri seti

Dörtlü kategorik sınıflandırmaya göre yapılan diğer sınıflandırma analizlerine göre optimizable SVM modeline ait test veri seti Şekil 4.21 de görülmektedir.



Şekil 4.22: Dörtlü kategorik sınıflandırmaya göre optimizable SVM modeline ait ROC eğrileri (a-eğitim; b-test)

Şekil 4.22-a ve 4.22-b de modelin ROC eğrileri görülmektedir. Şekil 4.22-a'da, dört sınıf kategorisi olarak sırasıyla masif, emprenyeli, mobilya ve tutkal içerikli odun atıklarına göre 200 ahşap atık alınarak dört kategoriye göre AUC değerlerinin sırasıyla 0.9766, 0.9826, 0.9366 ve 0.988 olduğu görülmektedir. Şekil 4.22-b de masif, emprenye, mobilya ve tutkal sınıflarına ait 20 ahşap atıkların test verisine ait AUC değerleri 1 olarak görülmektedir. Sonuç olarak çalışmadaki amaca göre model akış şemasında yer alan iki farklı sınıflandırmaya göre sınıflandırmada ki başarı düzeyi yüksektir. Yani istenilen amaca göre sınıflandırma için gerekli örnek alımı (gözlem ve test örnekleri olarak) yapılmış ve sınıflandırmalar için yapılmış olan analizlerde yüksek başarı performanslarına ulaşılmıştır. Böylece model akış şemasına göre yapılan analizler ile doğru model kestiriminde sınıflandırmalarda model akış şemasının sınıflandırmalardaki başarı düzeyini yapılan birçok modelde arttırdığı tespit edilmiştir.

4.4. ELEMENT İÇERİK TAYİNİ UYGULAMASI

Çalışmada kullanılan 200 odun atığı örneğinde bulunan 11 adet (Pb, Cd, Fe, Zn, Cu, Cr, Ni, Al, Hg, As ve S) element için içerik tayini ICP-MS ve ICP-OES cihazlarında hizmet alımı yolu ile gerçekleştirilmiştir. Örneklerde belirlenen elementler için içerik tayini modelin akış şemasını desteklemesi amacıyla gerçekleştirilmiştir. Elementler orman ürünleri işleyen endüstrilerde kullanılan çeşitli kimyasallar nedeniyle ahşabın içeriğinde olması gerekenden daha yüksek bulunma ihtimali olan elementler arasından seçilmiştir. Bu içerikler TS EN ISO 17225-1 (2021) standardındaki ANNEX B de yer alan Tablo B-1 Hiçbir işlem görmemiş ağaç malzeme (hiç ya da göz ardı edilecek derecede az miktarda kabuk, yaprak ve iğne yaprak içeren) için tipik değerler, Tablo B-2 Doğal ağaç kabuğu için tipik değerler ve Tablo B-3 Orman atıkları ve doğal odun için tipik değerlerdir. Standartta yer alan bu üç tabloda ki üst limitler baz alınarak analiz sonuçları her bir element için bu üst limitler ile karşılaştırılmış ve aşması durumunda örneğin tehlikeli olduğu sonucuna varılmıştır. TS EN ISO 17225-1 (2021) standardı baz alınarak ahşap atıklar standarttaki değerlerden \leq ise tehlikesiz (orman endüstrisinde ve biyo enerji olarak olası kullanılabilir) ahşap atıklar ve standarttaki değerlerden $>$ ise tehlikeli ahşap atıklar olarak sınıflandırılmıştır. ICP ile yapılan ölçümler sadece kurulan modelin doğruluğu kontrol etmek amaçlıdır. Model akış şemasına göre FTIR-ATR ile yapılan ikili sınıflandırma analizlerini desteklemesi için odun atık numunelerinde yapılmış olan element tayini sonuçları Tablo 4.7-4.10 arasında gösterilmiştir.

Tablo 4.7: Masif odun atık numunelerine (MSF) ait element tayini sonuçları.

*En yüksek değer	10	0.5	400	100	100	10	10	1	10	0.05	0.05
Örnek\ Element	Pb	Cd	Al	Fe	Zn	Cu	Cr	As	Ni	Hg	S
MSF-1	0.53	0	38.48	43.43	4.004	0.564	0.147	0.004	**	**	0.018
MSF-2	1.23	0.04	10.04	10.37	4.398	0.418	0.851	0.042	**	**	0.015
MSF-3	0.66	0.03	27	10.36	5.397	0.751	0.239	0.05	**	**	0.022
MSF-4	0.89	0.006	4.637	9.465	0.917	0.606	0.145	0.05	**	**	0.016
MSF-5	0.36	0.03	19.68	4.78	3.874	0.708	0.247	0.0273	0.129	**	0.011
MSF-6	**	**	6.216	13.94	2.609	0.238	0.459	0.0202	**	**	0.013
MSF-7	0.23	**	7.88	5.92	3.23	0.523	0.082	0.01	0.198	**	0.012
MSF-8	0.5	0.024	10	16.33	3.222	2.558	0.685	0.033	**	**	0.015
MSF-9	0.66	0.032	27	10.36	5.4	0.751	0.239	0.029	**	**	0.034
MSF-10	1.23	0.036	10.04	10.37	4.4	0.418	0.851	0.042	**	**	0.033
MSF-11	0.5	0.111	10	10.55	4.667	1.432	0.769	0.038	**	**	0.023
MSF-12	0.5	0.019	10	4.609	2.986	0.622	0.154	0.041	**	**	0.016
MSF-13	0.5	0.082	107.2	10.84	3.63	0.853	0.763	0.043	**	**	0.024
MSF-14	0.5	0.026	1.918	6.598	3.783	1.179	0.4	0.03	**	**	0.022
MSF-15	0.18	0.146	4.384	60.85	3.442	0.808	0.233	0.016	**	**	0.035
MSF-16	0.5	0.066	10	1.78	5.212	1.329	0.276	0.05	**	**	0.030
MSF-17	0.5	0.027	10	2.236	2.383	0.521	0.452	0.043	**	**	0.042
MSF-18	0.23	0.097	7.643	8.034	4.971	0.791	0.151	0.021	**	**	0.045
MSF-19	0.16	**	12	10	2.231	1.297	**	0.016	**	**	0.017
MSF-20	0.26	0.068	10	1.117	3.575	0.48	0.393	0.032	**	**	0.025
MSF-21	0.66	0.093	122	100	10.74	2.327	1.484	0.008	0.01	**	0.032
MSF-22	0.18	0.053	80.9	68.37	3.56	1.47	1.958	0.012	0.161	0.011	0.011
MSF-23	0.26	0.088	138.1	98.8	7.62	1.2	0.711	0.013	**	0.012	0.012
MSF-24	0.19	0.082	256.6	100	3.36	1.42	0.57	0.024	0.024	**	0.019
MSF-25	0.23	0.361	28.36	25.62	6.27	0.88	0.279	0.042	0.26	**	0.01
MSF-26	0.18	0.053	80.9	68.37	3.56	1.47	1.958	0.012	0.161	0.011	0.011
MSF-27	0.5	0.023	1.905	6.459	3.695	1.169	0.3	0.033	**	**	0.016
MSF-28	0.5	0.025	19.115	65.285	3.739	1.17	0.35	0.035	**	**	0.015
MSF-29	0.34	0.106	14.505	31.315	4.327	1.069	0.2545	0.033	**	**	0.012
MSF-30	0.5	0.047	10	2.008	37.975	0.925	0.364	0.045	**	**	0.013
MSF-31	0.36	0.062	4.892	5.135	3.677	0.656	0.302	0.031	**	**	0.028
MSF-32	0.23	0.085	197.35	99	5.49	1.31	0.6405	0.0183	**	**	0.023
MSF-33	0.42	0.073	101.45	97.685	7.15	18.985	1.721	0.01	0.085	**	0.025
MSF-34	0.339	0.038	41.403	37.415	3.628	1.320	1.129	0.022	**	**	0.032
MSF-35	0.5	0.065	10	7.580	3.827	1.027	0.462	0.039	**	**	0.024
MSF-36	0.62	0.018	12.159	7.123	2.396	0.657	0.196	0.048	**	**	0.033
MSF-37	0.58	0.028	18.5	13.345	4.311	16.545	0.462	0.038	**	**	0.025
MSF-38	0.46	0.080	60.412	640.59	71.575	14.035	0.939	0.022	**	**	0.016
MSF-39	0.5	0.050	52.922	77.245	3.308	0.7375	0.459	0.02	**	**	0.013
MSF-40	0.21	0.065	5.412	55.585	2.903	0.8885	**	0.024	**	**	0.020
MSF-41	0.34	0.039	41.406	37.449	3.650	1.322	1.154	0.023	0.081	0.006	0.006
MSF-42	0.58	0.059	61.956	53.264	7.240	1.749	0.917	0.022	0.005	**	0.022
MSF-43	0.44	0.089	159.68	99.500	8.115	1.819	1.062	0.013	0.005	**	0.040
MSF-44	0.26	0.046	61.151	52.892	3.594	1.395	1.544	0.017	0.081	0.006	0.006
MSF-45	0.21	0.084	226.98	99.5	4.425	1.365	0.605	0.021	0.012	**	0.004
MSF-46	0.46	0.048	51.678	52.072	5.423	1.534	1.011	0.021	0.043	**	0.009
MSF-47	0.295	0.074	101.12	52.068	4.584	0.983	0.471	0.025	**	**	0.013
MSF-48	0.337	0.073	32.912	34.809	5.030	1.146	0.469	0.023	**	**	0.029
MSF-49	0.245	0.087	167.73	98.9	6.555	1.255	0.676	0.015	**	0.006	0.006
MSF-50	0.206	0.084	226.98	99.5	4.425	1.365	0.605	0.021	0.012	**	0.021

(*TS EN ISO 17225-1'deki ilgili elementin en yüksek değeri **Analiz edilen cihazlarla ölçülemeyecek kadar küçük değerler)

Tablo 4.8: Emprenyeli odun atık numunelerine (E) ait element tayini sonuçları.

*En yüksek değer	30	3	3000	2000	200	200	40	4	80	2	0.2
Örnek\ Element	Pb	Cd	Al	Fe	Zn	Cu	Cr	As	Ni	Hg	S
E-1	6.45	0.003	19.5	75.94	5.33	0.76	1.47	16.5	0.54	0.04	0.01
E-2	0.05	0.09	17.1	45.89	91.26	2508	7.06	7.61	0.256	0.03	0.02
E-3	1.5	0.05	39.8	69.28	13.03	1633	10.88	5.24	1.079	0.03	0.02
E-4	0.05	0.01	5.3	10.8	5.97	1116	3.18	**	0.1	0.04	0.02
E-5	1.25	0.05	35.8	101.3	20.72	36.36	49.8	27.41	1.171	1.07	0.15
E-6	0.05	0.05	14.9	37.33	3.45	418	864	5.38	0.79	0.02	0.09
E-7	0.05	0.05	13.7	28.72	5	1579	2862	**	2.680	0.02	0.32
E-8	1.47	**	339	918	15.46	64.44	8.93	4.54	3.914	0.04	0.22
E-9	2.82	0.12	3.7	15.3	8.31	5.71	0.98	28.97	0.068	0.05	0.01
E-10	0.05	0.05	57	264	13.57	2436	137	31.821	0.036	0.02	0.1
E-11	0.05	0.05	6.7	11.16	5	1151	2126	1590	0.412	0.03	0.03
E-12	0.05	0.05	10	7.88	2.88	139	277	204	0.1	**	0.03
E-13	0.05	0.03	9.3	15.02	5.24	1547	2.28	**	0.1	**	0.04
E-14	0.05	0.09	13.6	18.54	17.3	1166	8.23	8.94	0.1	0.02	0.05
E-15	0.05	0.05	15.3	21.76	5	1691	3529	105	0.172	0.01	0.04
E-16	0.05	0.05	63	87.46	12.79	1718	12.76	6.506	0.1	0.01	0.075
E-17	0.05	0.05	5.3	7.93	5	1441	2605	5.9	0.011	0.01	0.04
E-18	0.05	0.1	40.3	46.57	15.57	1788	2.95	16.83	0.1	0.01	0.07
E-19	0.05	0.05	4.7	12.17	5	4831	8375	18.54	0.183	0.01	0.05
E-20	0.05	0.05	10.1	12.88	5	1531	3099	8.69	0.1	0.03	0.05
E-21	0.05	0.05	8.9	13.06	16.98	1174	1.21	8.94	0.1	0.02	0.05
E-22	0.5	0.05	4.6	8.41	5	348	639	1854	0.1	0.03	0.03
E-23	0.05	0.05	12.4	14.42	5	4478	8663	**	0.559	**	0.05
E-24	0.05	0.05	8.09	14.59	5	3998	7570	**	0.583	**	0.07
E-25	0.05	0.05	15.8	23.95	4.43	1902	3.94	16.83	0.1	0.01	0.05
E-26	0.05	0.05	54.2	36.79	36.76	5279	12460	13104	0.337	0.02	0.02
E-27	0.05	0.05	74.9	149.4	5	4526	11130	5172	2.161	0.68	0.21
E-28	0.05	0.05	3.1	25.75	5	1227	329	287	0.1	0.03	0.06
E-29	0.05	0.05	13.4	29.36	12.25	1555	1.9	**	0.1	0.04	0.04
E-30	0.05	0.05	12.4	34.89	5	4286	7427	5948	0.47	0.29	0.06
E-31	0.05	0.03	186.2	384	5	1156	1358	**	1.998	**	0.15
E-32	0.05	0.05	6.05	33.97	5.55	1222	201	**	0.1	**	0.05
E-33	0.05	0.05	8.7	36.27	320	427	27.45	102	0.129	0.07	0.02
E-34	0.05	0.05	43	63.01	5	6761	17520	10919	1.834	1.36	0.14
E-35	0.05	0.05	69.4	90.82	10.98	1708	14.48	**	0.1	0	0.06
E-36	0.05	0.11	5.04	9.46	5	439	1245	**	0.414	0.02	0.09
E-37	0.05	0.05	23.02	40.27	10.8	1661	7.59	**	0.1	**	0.05
E-38	4.08	0.05	7.9	26.71	8.32	799	0.78	**	0.034	0.02	0.16
E-39	0.05	0.05	8.3	17.26	5	3216	6370	4634	0.293	**	0.05
E-40	0.05	0.05	20.5	59.16	5	3270	5347	**	0.337	**	0.06
E-41	0.77	0.07	28.4	57.59	52.15	2070.5	8.97	**	0.668	**	0.02
E-42	1.36	0.03	187.5	509.65	18.09	50.4	29.37	15.98	2.543	**	0.18
E-43	2.04	0.08	19.8	58.3	14.51	21.04	25.39	28.19	0.62	**	0.08
E-44	3.25	0.027	36.8	56.37	21.05	2639.88	6230.73	**	0.439	**	0.02
E-45	5.26	0.026	13.7	51.33	6.82	399.9	1.12	8.25	0.287	**	0.09
E-46	2.06	0.05	31.01	31.75	22.54	3039	6230	**	0.186	**	0.09
E-47	5.26	0.026	13.69	51.33	6.82	399.9	1.12	**	0.29	**	0.09
E-48	0.05	0.071	12.72	31.58	48.13	2862	3188.53	**	0.27	**	0.03
E-49	0.774	0.05	30.15	64.22	9.015	2451.5	2678.94	**	0.71	**	0.04
E-50	0.05	0.05	14.42	38.21	5	3243	5858.5	**	0.32	**	0.06

(*TS EN ISO 17225-1'deki ilgili elementin en yüksek değeri **Analiz edilen cihazlarla ölçülemeyecek kadar küçük değerler)

Tablo 4.9: Mobilya odun atık numunelerine (M) ait element tayini sonuçları.

*En yüksek değer	30	3	3000	2000	200	200	40	4	80	2	0.2
Örnek\ Element	Pb	Cd	Al	Fe	Zn	Cu	Cr	As	Ni	Hg	S
M-1	0.5	0.02	18.6	2100	6.04	4.57	2.9	0.67	0.5	**	0.11
M-2	0.5	0.09	125.8	67.5	8.11	1.55	2.7	**	1.27	**	0.22
M-3	0.5	0.08	43.5	46.36	26.04	0.54	0.6	0.002	0.1	0.013	0.21
M-4	0.5	0.05	120.7	107.2	9.46	2.21	1.5	1.096	4.61	**	0.22
M-5	0.5	0.02	62.6	82.64	5.02	1.13	1.3	1.032	0.49	**	0.23
M-6	15.5	0.22	53.4	63.72	47	5.57	2	3.205	0.32	0.004	0.99
M-7	0.18	0.1	863.3	1885	12.98	5.86	3.8	**	1.1	**	0.85
M-8	0.5	0.02	70.3	116	12.59	5.47	7	7.930	2.23	**	0.2
M-9	7.76	0.03	51.9	578	30.94	1.09	2.4	0.1	0.69	**	0.21
M-10	0.17	0.19	121.9	623	15.09	3.86	5.1	0.16	4.65	**	0.57
M-11	0.5	0.04	52.5	37	3.48	1.95	2.6	3.439	0.1	**	0.21
M-12	0.06	0.17	167.8	738	13.12	4.5	6.3	1.504	4.79	**	0.72
M-13	0.4	0.12	613.2	1460	15.81	2.1	2.8	0.12	1.21	**	0.53
M-14	0.67	0.13	355.9	1275	10.08	1.86	2.05	**	1.07	**	0.77
M-15	0.5	0.11	265.3	337	5.33	0.59	0.7	**	7.27	**	0.25
M-16	2.4	0.09	514.7	181	10.79	2.34	1.02	**	0.91	**	0.3
M-17	0.5	0.03	123.2	28	3.86	0.49	0.402	0.05	0.1	**	0.34
M-18	1.17	0.05	63	91	13.32	1.26	4.103	**	0.1	**	0.24
M-19	0.12	0.09	87	104	15.98	1.38	2.003	**	0.1	**	0.28
M-20	0.5	0.08	68	37	4.44	0.88	0.997	**	0.24	**	0.21
M-21	0.5	0.09	59	874	6.31	1.47	1.09	**	0.63	**	0.22
M-22	0.5	0.05	184	402	4.24	1.64	1.53	**	0.41	**	0.21
M-23	0.27	0.1	96.4	54.77	14	1.22	0.13	**	0.79	**	0.5
M-24	0.33	0.03	40.7	29.25	4.86	0.96	0.05	0.23	0.45	**	0.22
M-25	0.56	0.05	16.1	106.3	12.73	1.34	0.098	**	1.503	**	0.89
M-26	0.5	0.06	466.8	1000.5	12.79	5.66	5.42	**	1.67	**	0.52
M-27	0.5	0.04	276.3	62.74	5.78	1.24	1.01	**	0.29	**	0.21
M-28	0.5	0.04	24.3	31.59	6.03	1.41	0.57	**	0.42	**	0.25
M-29	0.5	0.05	72.5	69.4	7.75	1.81	1.01	**	2.52	**	0.22
M-30	0.03	0.06	72.9	6103	629	17.9	14.7	0.03	0.4	**	4.55
M-31	0.02	0.03	102.7	1469	2239	1.26	20.3	**	0.18	**	0.12
M-32	0.5	0.06	82.1	76.78	17.75	1.38	1.04	0.55	2.36	**	0.21
M-33	0.5	0.05	72.5	69.4	7.75	1.81	1.01	**	2.52	**	0.22
M-34	0.5	0.03	43.4	57.12	5.52	1.27	0.92	**	0.46	**	0.24
M-35	8.02	0.12	58	73.18	26.16	3.35	1.6	**	0.41	**	0.61
M-36	8.02	0.12	61.8	89.86	29.94	5.52	4.5	**	1.28	**	0.59
M-37	0.5	0.03	95.5	111.6	11.03	3.84	4.2	**	3.42	**	0.21
M-38	0.03	0.05	87.8	3786	1434	9.58	17.5	**	0.29	**	2.34
M-39	0.5	0.03	91.7	94.92	7.24	1.67	1.36	**	2.55	**	0.21
M-40	8.02	0.14	87	85.46	28.38	3.89	1.72	2.15	2.47	**	0.57
M-41	0.5	0.05	72.22	1084	7.08	3.06	2.81	0.34	0.89	**	0.21
M-42	0.5	0.06	82.12	76.78	17.75	1.38	1.04	0.55	2.36	0.007	0.22
M-43	3.96	0.11	86.88	600.5	23.02	2.48	3.78	0.13	2.67	**	0.39
M-44	0.03	0.05	87.78	3786	1434	9.58	17.53	0.02	0.29	**	2.34
M-45	0.02	0.04	95.24	2627.5	1837	5.42	18.93	**	0.24	**	1.23
M-46	0.53	0.12	484.55	1367.5	12.95	1.98	2.43	0.06	1.14	**	0.65
M-47	1.4	0.1	563.95	820.4	13.3	2.22	1.91	0.06	1.06	**	0.42
M-48	1.54	0.11	435.3	727.9	10.44	2.1	1.53	**	0.99	**	0.54
M-49	0.5	0.07	121.7	638.05	5.28	1.55	1.31	**	0.52	**	0.22
M-50	0.5	0.05	371.6	531.62	9.28	3.45	3.22	**	0.98	**	0.37

(*TS EN ISO 17225-1'deki ilgili elementin en yüksek değeri **Analiz edilen cihazlarla ölçülemeyecek kadar

küçük değerler)

Tablo 4.10: Tutkal içerikli odun atık numunelerine (T) ait element tayini sonuçları.

*En yüksek değer	30	3	3000	2000	200	200	40	4	80	2	0.2
Örnek\ Element	Pb	Cd	Al	Fe	Zn	Cu	Cr	As	Ni	Hg	S
T-1	0.43	0.03	48.3	65.02	5.82	1.15	2.01	**	0.157	**	0.13
T-2	1.52	0.06	57.79	86.01	7.07	1.21	1.42	**	0.471	**	0.13
T-3	0.5	0.05	43.95	37.39	4.51	0.81	0.65	**	0.1	**	0.18
T-4	0.5	0.03	66.19	85.75	6.48	1.63	2.15	**	0.401	**	0.15
T-5	0.5	0.02	7.04	20.7	5.98	0.7	0.64	**	0.1	**	0.09
T-6	0.5	0.06	312.7	303.7	9.55	2.37	2.74	**	1.007	**	0.2
T-7	0.5	0.04	19.5	31.22	6.73	1.38	2.37	**	0.27	**	0.2
T-8	0.5	0.14	81	106.9	15.72	1.56	4.33	**	0.149	**	0.16
T-9	0.5	0.07	43.7	49.1	7.8	1.03	0.91	**	0.429	**	0.16
T-10	0.18	0.04	91.4	14.15	5.47	0.51	0.29	0.13	0.417	**	0.03
T-11	0.23	0	71.4	62.72	4.44	0.94	0.88	**	0.606	**	0.16
T-12	0.37	0.04	65.1	78.74	5.52	1.57	1.15	0.029	0.734	**	0.02
T-13	0.34	0.05	17.1	42.39	6.8	1.14	0.48	0.103	0.53	**	0.06
T-14	0.66	0.09	121.5	126.7	10.74	2.33	1.48	**	0.307	**	0.2
T-15	0.44	0.06	18.8	23.69	6.03	1.35	0.25	0.151	0.19	**	0.18
T-16	0.5	0.05	42.8	35.81	4.7	0.77	0.44	**	0.1	**	0.15
T-17	0.2	0.09	49.4	67.95	6.8	0.7	0.52	**	0.778	**	0.2
T-18	0.14	**	27.7	36.17	4.2	0.76	1.14	**	1.261	**	0.2
T-19	0.12	0.07	57.1	71.28	3.91	0.8	2.7	**	1.829	**	0.2
T-20	0.53	0.06	102.6	65.29	5.33	0.78	28.5	**	0.496	**	0.02
T-21	0.5	0.05	37.1	45.6	4.54	0.99	0.68	**	0.087	**	0.13
T-22	0.5	0.08	131.2	146.7	6.8	1.29	0.79	**	0.497	**	0.18
T-23	0.5	0.05	662.7	62.58	31.14	1.06	1.08	**	0.1	**	0.19
T-24	0.5	0.05	599.9	70.43	33.38	1.09	0.9	**	0.295	**	0.2
T-25	0.5	0.15	57	63.92	8.65	1.04	0.46	**	0.1	**	0.16
T-26	0.5	0.05	166.1	167.46	8.14	1.88	2.55	**	0.639	**	0.2
T-27	0.5	0.03	13.3	25.96	6.35	1.04	1.5	**	0.1	**	0.14
T-28	0.5	0.11	62.3	78	11.76	1.3	2.62	**	0.289	**	0.16
T-29	0.5	0.06	31.6	40.16	7.26	1.2	1.64	**	0.35	**	0.18
T-30	0.21	**	81.4	38.44	4.95	0.72	0.58	**	0.512	**	0.1
T-31	0.02	**	57.5	55.91	6.12	0.99	0.89	**	0.518	**	0.16
T-32	0.26	0.04	54.3	28.27	6.13	0.82	0.39	0.117	0.474	**	0.05
T-33	0.3	**	68.2	70.73	4.98	1.26	1.01	**	0.67	**	0.09
T-34	0.55	0.08	70.2	75.2	8.38	1.84	0.87	**	0.249	**	0.2
T-35	0.5	0.07	69.3	84.55	8.77	1.73	0.98	**	0.419	**	0.17
T-36	0.5	0.07	46.1	51.88	5.75	0.73	0.48	**	0.3	**	0.2
T-37	0.32	0.07	34.1	45.82	6.41	1.02	0.38	**	0.484	**	0.2
T-38	0.16	0.08	53.3	69.62	5.35	0.75	1.62	**	1.304	**	0.2
T-39	0.5	0.07	55.3	59.71	6.62	0.85	2.3	**	0.747	**	0.2
T-40	0.33	0.07	79.9	68.29	4.62	0.79	15.61	**	1.163	**	0.2
T-41	0.97	0.05	53.05	75.52	6.45	1.18	1.71	**	0.314	**	0.13
T-42	0.5	0.04	55.07	61.57	5.5	1.22	1.4	**	0.251	**	0.16
T-43	0.5	0.04	159.87	162.2	7.76	1.54	1.69	**	0.554	**	0.14
T-44	0.34	0.06	67.57	31.63	6.64	0.77	0.6	0.065	0.423	**	0.09
T-45	0.5	0.05	43.36	36.6	4.6	0.79	0.54	**	0.1	**	0.16
T-46	0.5	0.06	84.15	96.15	5.67	1.14	0.73	**	0.292	**	0.16
T-47	0.5	0.05	349.9	54.09	17.84	1.02	0.88	**	0.094	**	0.16
T-48	0.5	0.05	318.5	58.02	18.96	1.04	0.79	**	0.19	**	0.17
T-49	0.5	0.1	47.02	54.76	6.6	1.02	0.57	**	0.09	**	0.15
T-50	0.5	0.06	396.95	104.64	18.97	1.17	0.93	**	0.3	**	0.19

(*TSEISOEN17225-1'deki ilgili elementin en yüksek değeri **Analiz edilen cihazlarla ölçülemeyecek kadar küçük değerler)

5. TARTIŞMA

5.1. SINIFLANDIRMA ANALİZLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

200 örneklem için sadece FTIR-ATR verileri kullanılarak makine öğrenmesinde sınıflandırma analizleri yapılmıştır. Çalışmada parmak izi bölgesi olan 650-1750 cm^{-1} arasındaki spektral değerlerden örneği en iyi karakterize eden 52 dalga boyuna (DB) ait absorpsiyon değerleri alınarak sınıflandırma analizleri yapılmıştır.

5.2. EN İYİ MODELİN DEĞERLENDİRİLMESİ

5.2.1. YSA Analizi Değerlendirmesi

5.2.1.1. İkili Kategorik Sınıflandırmaya göre YSA Analizi Değerlendirmesi

Tablo 5.1: İkili kategorik sınıflandırmaya göre YSA analizi

Sınıf	1.sınıf Tehlikesiz (Adet)	2.sınıf Tehlikeli (Adet)
1.sınıf	99	6
2.sınıf	1	94

Bulgular bölümünde yer alan ikili kategorik sınıfa göre yapılan YSA analizine göre eğitim, validasyon, test ve toplam olarak 4 farklı veri seti matrisi Şekil 4.1’ de gösterilmiştir. Bu veri matrisinde yer alan kaç adet örnek olduğu toplam veri matrisinden faydalanılarak Tablo 5.1’ de gösterilmiştir. İkili sınıfta YSA’nın tehlikesiz atık ayırım düzeyi (%99), tehlikeli atık ayırım düzeyine (%94) göre daha yüksektir. İkili kategorik sınıflandırma için toplam sınıflandırma başarı düzeyi %96.5’dir (Şekil 4.1).

Tablo 5.2: İkili kategorik sınıflandırmaya göre YSA analizindeki sınıflandırma örnekleri

Sınıf	1.sınıf	2.sınıf
1.sınıf	MSF-1,...,MSF-23, MSF-25, ..., MSF-50, T-1,...,T-50	E-12,E-25,M-1,M-8,M-12,M-36
2.sınıf	MSF-24	E-1,...,E-11,E-13,...,E-24, E-26, ..., E-50,M-2,...,M-7,M-9,...,M- 11,M-13, ...,M-35,M-37,...,M- 50

İkili kategorik sınıflandırmaya göre YSA analizindeki sınıflandırma örnekleri Tablo 5.2’de gösterilmiştir.

Tablo 5.3: İkili kategorik sınıflandırmaya göre YSA analizinde ataması hatalı yapılan örnekler ve hangi dalga boyunda (DB) bulduklarına dair veriler

Ataması hatalı yapılan örnek	Modelde atanan sınıf	Sınıfa atanmasına neden olan yüksek absorpsiyon değerinde olan DB	Referans
MSF-24	Tehlikeli	1717	Temiz, vd.2007
E-12	Tehlikesiz	1594	Pandey ve Pitman,2003; Pandey,2005; Pandey ve Vuorinen, 2008; Colom vd., 2005; Popescu vd.,2007; Doğu vd., 2017; Chen vd., 2010; Zhao vd., 2010; Yılgör vd.,2013; Traore vd.2016; Sharma vd., 2020
E-25	Tehlikesiz	1264	Pandey ve Pitman, 2003; Pandey,2005; Pandey ve Vuorienn,2008; Sharma vd., 2020
M-1	Tehlikesiz	1509	Pandey ve Pitman,2003; Colom vd.,2003; Schwanninger, vd.2004; Pandey,2005; Pandey ve Vuorinen, 2008; Popescu vd.,2007; Chen vd., 2010; Rosu vd.,2010; Emandi vd.,2011; Chen vd.,2012; Chen vd.,2014; Zhou vd.,2015; Traore, vd.2016; Doğu vd.,2017; Gönültas ve Candan,2018; Salamat vd.,2018; Sharma vd.,2021
M-8	Tehlikesiz	896	Colom vd.,2003; Pandey ve Pitman,2003;Pandey,2005; Pandey ve Vuorinen,2008; Schwanninger, vd., 2004; Nauman vd., 2005; Rosu vd.,2010; Gönültas ve Candan,2018
M-12	Tehlikesiz	1594	Colom vd., 2003; Pandey ve Pitman,2003;Pandey,2005; Pandey ve Vuorinen, 2008; Popescu vd., 2007; Emandi vd., 2011; Doğu vd., 2017; Chen vd.,2010; Yılgör vd., 2013; Zhou vd., 2015; Traore vd., 2016; Sharma vd., 2021
M-36	Tehlikesiz	695	Derry, 2012; Zhou vd., 2015; Giachet, vd. 2021; Sharma vd., 2021

İkili kategorik sınıflandırmaya göre YSA analizinde hatalı atanan örnekler ve hangi dalga boyunda bulduklarına dair veriler Tablo 5. 3’de gösterilmiştir.

5.2.1.2. Dörtlü Kategorik Sınıflandırmaya göre YSA Analizi Değerlendirmesi

Tablo 5.4: Dörtlü kategorik sınıflandırmaya göre YSA analizi

Sınıf	1.sınıf Masif (adet)	2.sınıf Emprenyeli (adet)	3.sınıf Mobilya (adet)	4.sınıf Tutkallı (adet)
1.sınıf	48	2	4	1
2.sınıf	1	47	0	0
3.sınıf	1	1	41	0
4.sınıf	0	0	5	49

Bulgular bölümünde yer alan dörtlü kategorik sınıflandırmaya göre yapılan YSA uygulamasına göre eğitim, validasyon, test ve toplam olarak 4 farklı veri seti matrisi Şekil 4.3’de verilmiştir. Bu veri matrisinde yer alan kaç adet örnek olduğu toplam veri matrisinden faydalanılarak Tablo 5.4’de gösterilmiştir. Dörtlü kategorik sınıfta en yüksek ayırım düzeyi tutkal içeren levha atıkları (%98) için belirlenmiştir. Bunu sırasıyla masif odun atıkları (%96), emprenyeli odun atıkları (%94) ve mobilya atıkları (%82) izlemektedir. Dörtlü sınıf için toplam sınıflandırma başarı düzeyi %92,5’dir (Şekil 4.3). Mobilya atıklarının ayırım düzeyinin düşük olma nedeni bu örneklerin aynı zamanda tutkal içermeleri nedeniyle levha atıkları grubuna dahil olmalarından kaynaklanmaktadır. Ayrıca bu örnekler boya, vernik, cila gibi çok farklı içerikteki kimyasal maddeleri içermeleri nedeniyle emprenyeli odun atıkları grubuna da kolaylıkla kayabilmektedir.

Tablo 5.5: Dörtlü kategorik sınıflandırmaya göre YSA uygulamasındaki sınıflandırma örnekleri

Sınıf	1.sınıf	2.sınıf	3.sınıf	4.sınıf
1.sınıf	MSF-1, ..., MSF-23, MSF-25, MSF-27, ..., MSF-50	E-12, E-25	M-1, M-8, M-12, M-36	T-23
2.sınıf	MSF-24	E-1, ..., E-11, E-13, ..., E-20, E-22, E-23, E-24, E-26, ..., E-50	-	-
3.sınıf	MSF-26	E-21	M-3, ..., M-5, M-7, M-9, M-10, M-13, ..., M-20, M-22, ..., M-28, M-30, M-31, ..., M-35, M-37, ..., M-50	-
4.sınıf	-	-	M-2, M-6, M-11, M-21, M-29	T-1, ..., T-22, T-24, ..., T-50

Dörtlü kategorik sınıflandırmaya göre YSA uygulamasındaki sınıflandırma örnekleri Tablo 5.5’de gösterilmiştir.

Tablo 5.6: Dörtlü kategorik sınıflandırmaya göre YSA uygulamasında ataması hatalı yapılan örnekler ve hangi dalga boyunda (DB) bulduklarına dair veriler

Ataması hatalı yapılan örnek	Modelde Atanan sınıf	Sınıfa atanmasına neden olan yüksek absorpsiyon değerinde olan dalga boyu (DB) (cm ⁻¹)	Referans
MSF-24	Emprenyeli odun atık	1717	Temiz vd.,2007; Stirling ve Morris, 2009
MSF-26	Mobilya atık	1451	Doménech-Carbó vd., 2001; Liu vd., 2015; Hu vd., 2016; Ford vd., 2019
E-12	Masif odun atık	1594	Colom vd., 2003; Pandey ve Pitman, 2003; Pandey, 2005; Popescu vd.,2007; Pandey, vd., 2008; Emandi vd.,2011; Doğu vd.,2017; Chen, vd., 2010; Kartal vd., 2013; Zhou, vd., 2015; Traore vd., 2016; Gonultas ve Candan,2018; Enstrümental Analiz Laboratuvarı Deney Föyü, 2019; Sharma vd., 2021
E-21	Mobilya atık	1451	Doménech-Carbó vd.,2001; Liu vd., 2015; Hu vd.,2016; Ford et al., 2019
E-25	Masif odun atık	1264	Colom vd.,2003; Pandey ve Pitman, 2003; Pandey, 2005; Pandey vd.,2008; Rosu vd.,2010;Kartal vd., 2013; Enstrümental Analiz Laboratuvarı Deney Föyü,2019
M-1	Masif odun atık	1509	Colom vd.,2003; Pandey ve Pitman, 2003;
M-8	Masif odun atık	896	Colom vd., 2005; Pandey,2005; Popescu vd.,2007; Pandey vd., 2008; Chen, vd.,2010;
M-12	Masif odun atık	1594	Rosu vd.,2010; Emandi vd.,2011; Kartal vd.,2013; Yılgör, vd.,2013; Zhou vd.,2015; Hu vd.,2016; Traore, vd.2016; Doğu vd., 2017; Gonultas ve Candan, 2018; Salamat vd., 2018; Enstrümental Analiz Laboratuvarı Deney Föyü,2019; Sharma vd.,2021
M-36	Masif odun atık	695	Marchessault,1962; Colom vd.,2005; Naumann vd., 2005; Zorba vd. 2008 ; Dorieh vd.2018
M-2	Tutkal içerikli odun atık	1546	Colom vd.,2003; Colom vd.,2005; Schwanninger, vd.2004; Chen vd., 2010; Sahoo vd.,2011; Liying ve Li, 2012; Zhang vd,2013;
M-6	Tutkal içerikli odun atık	1644	Chen vd.,2014; Moreno ve Font, 2015; Liu vd.,2015; Zhou vd.,2015; Traore vd. 2016;
M-11	Tutkal içerikli odun atık	1645	Doğu vd.,2017; Liu, vd.,2017
M-21	Tutkal içerikli odun atık	1643	Marchessault,1962; Colom vd., 2003; Yılgör vd., 2013; Köseoğlu, 2015; Enstrümental Analiz Laboratuvarı Deney Föyü,2019; Gomez-Martin, vd.2019
M-29	Tutkal içerikli odun atık	807	Pandey ve Pitman,2003; Schwanninger vd. , 2004; Colom vd.,2005; Popescu vd., 2007; Rosu vd.,2010; Emandi vd.,2011; Kartal vd.,2013; Gonultas ve Candan, 2018; Wang vd.,2018; Enstrümental Analiz Laboratuvarı Deney Föyü,2019
T-23	Masif odun atık	1028	

Dörtlü kategorik sınıflandırmaya göre YSA analizinde ataması hatalı yapılan örnekler ve hangi dalga boyunda bulduklarına dair veriler Tablo 5.6’da gösterilmiştir.

5.2.2. RF Analizi Değerlendirmesi

5.2.2.1. İkili Kategorik Sınıflandırmaya göre RF Analizi Değerlendirmesi

Tablo 5.7: İkili kategorik sınıflandırmaya göre RF analizi (eğitim veri seti)

Sınıf	1.sınıf Tehlikesiz (adet)	2.sınıf Tehlikeli (adet)
1.sınıf	95	0
2.sınıf	0	95

Bulgular bölümünde yer alan ikili kategorik sınıflandırmaya göre yapılan RF uygulamasına göre eğitim, ve test veri seti matrisleri Şekil 4.5 de verilmiştir. Bu veri matrislerindeki Şekil 4.5-a’da ki eğitim veri matrisinden faydalanılarak her bir sınıfta kaç adet örnek olduğu Tablo 5.7’de gösterilmiştir.

Tablo 5.8: İkili kategorik sınıflandırmaya göre RF analizindeki eğitim veri setine göre sınıflandırma örnekleri

Sınıf	1.sınıf	2.sınıf
1.sınıf	MSF-1,.....,MSF-50, T-1,....,T-45	-
2.sınıf	-	E-1,,E-50, M-1,,M-45

İkili kategorik sınıflandırmaya göre RF analizindeki eğitim veri setine göre sınıflandırma örnekleri Tablo 5.8’de gösterilmiştir. Eğitim ve test veri setine ait ikili kategorik sınıflandırmaya göre her bir sınıf kendi içinde hatasız ve doğru bir şekilde sınıflandırma gerçekleştirmektedir.

Tablo 5.9: İkili kategorik sınıflandırmaya göre RF analizi (test verisi)

Sınıf	1.sınıf Tehlikesiz (adet)	2.sınıf Tehlikeli (adet)
1.sınıf	5	0
2.sınıf	0	5

Bulgular bölümünde yer alan RF uygulamasındaki Şekil 4.5-b’de ki test veri matrisinden faydalanılarak her bir sınıfta kaç adet örnek olduğu Tablo 5.9’da gösterilmiştir.

İkili kategorik sınıftaki RF analizinin eğitim ve test veri setinde %100lük sınıflandırma analiz başarı düzeyi ile en iyi sınıflandırma başarı düzeyine ulaşılmıştır (Şekil 4.5).

Tablo 5.10: İkili kategorik sınıflandırmaya göre RF analizindeki test veri setine göre sınıflandırma örnekleri

Sınıf	1.sınıf	2.sınıf
1.sınıf	T-46,...T-50	-
2.sınıf	-	M-46,.....,M-50

İkili kategorik sınıflandırmaya göre RF uygulamasındaki test veri setine göre sınıflandırma örnekleri Tablo 5.10’da gösterilmiştir.

5.2.2.2. *Dörtlü Kategorik Sınıflandırmaya göre RF Analizi Değerlendirmesi*

Tablo 5.11: Dörtlü kategorik sınıflandırmaya göre RF analizi (eğitim veri seti)

Sınıf	1.sınıf Masif (adet)	2.sınıf Emprenyeli (adet)	3.sınıf Mobilya (adet)	4.sınıf Tutkallı (adet)
1.sınıf	47	-	-	-
2.sınıf	-	47	-	-
3.sınıf	-	-	48	-
4.sınıf	-	-	-	48

Bulgular bölümünde yer alan dörtlü kategorik sınıflandırmaya göre yapılan RF uygulamasına göre eğitim, ve test veri seti matrisleri Şekil 4.8 de verilmiştir. Bu veri matrislerindeki Şekil

4.8-a'da ki eğitim veri matrisinden faydalanılarak her bir sınıfta kaç tane örnek olduğu Tablo 5.11'de gösterilmiştir. Eğitim veri setinin dört sınıfına ait toplam başarı düzeyi % 100'dür.

Tablo 5.12: Dörtlü kategorik sınıflandırmaya göre RF uygulamasındaki eğitim veri setine göre sınıflandırma örnekleri

Sınıf	1.sınıf	2.sınıf	3.sınıf	4.sınıf
1.sınıf	MSF-1,...,MSF-47	-	-	-
2.sınıf	-	E-1,...,E-47	-	-
3.sınıf	-	-	M-1,...,M-48	-
4.sınıf	-	-	-	T-1,...,T-48

Dörtlü kategorik sınıflandırmaya göre RF analizinin eğitim veri setine göre sınıflandırma örnekleri Tablo 5.12'de gösterilmiştir.

Tablo 5.13: Dörtlü kategorik sınıflandırmaya göre RF analizi (test verisi)

Sınıf	1.sınıf Masif (adet)	2.sınıf Emprenyeli (adet)	3.sınıf Mobilya (adet)	4.sınıf Tutkallı (adet)
1.sınıf	3	-	-	-
2.sınıf	-	3	-	-
3.sınıf	-	-	2	-
4.sınıf	-	-	-	2

Bulgular bölümünde yer alan dörtlü kategorik sınıflandırmaya göre yapılan RF analiz uygulamasına göre eğitim ve test veri seti matrisleri Şekil 4.8'de verilmiştir. Bu veri matrislerindeki Şekil 4.8-b'de ki test veri matrisinden faydalanılarak her bir sınıfta kaç adet örnek olduğu Tablo 5.13' de gösterilmiştir.

Dörtlü sınıfta RF analizinin test veri setine göre sınıflandırma başarı düzeyleri %100'dür. RF'a ait toplam test başarı düzeyi %100 dır (Şekil 4.8).

Tablo 5.14: Dörtlü kategorik sınıflandırmaya göre RF analizindeki test veri setine göre sınıflandırma örnekleri

Sınıf	1.sınıf	2.sınıf	3.sınıf	4.sınıf
1.sınıf	MSF-48, MSF-49, MSF-50	-	-	-
2.sınıf	-	E-48, E-49, E-50	-	-
3.sınıf	-	-	M-49, M-50	-
4.sınıf	-	-	-	T-49,T-50

Dörtlü kategorik sınıflandırma için RF analizindeki test veri setine göre sınıflandırma örnekleri Tablo 5.14’de gösterilmiştir.

5.2.3. ÇLR Analizi Değerlendirmesi

5.2.3.1. İkili Kategorik Sınıflandırmaya göre ÇLR Analizi Değerlendirmesi

Tablo 5.15: İkili kategorik sınıflandırmaya göre ÇLR analiz değerlendirme

Sınıf	1.sınıf Tehlikesiz (adet)	2.sınıf Tehlikeli (adet)
1.sınıf	96	1
2.sınıf	4	99

Bulgular bölümünde yer alan ikili kategorik sınıflandırma için yapılan ÇLR analizine göre eğitim, validasyon, test ve toplam olarak 4 farklı veri seti matrisi Şekil 4.11’de görülmüştür. Bu veri matrisinde yer alan kaç adet örnek olduğu toplam veri matrisinden faydalanılarak Tablo 5.15’ de gösterilmiştir.

İkili kategorik sınıfta ÇLR’ nın tehlikeli atık ayırım düzeyi (%99), tehlikesiz atık ayırım düzeyine (%96) göre daha yüksektir. İkili sınıf için toplam sınıflandırma başarı düzeyi %97.5’ dur (Şekil 4.11).

Tablo 5.16: İkili kategorik sınıflandırmaya göre ÇLR analizindeki sınıflandırma örnekleri

Sınıf	1.sınıf	2.sınıf
1.sınıf	MSF-1, ..., MSF-13, MSF-15, ..., MSF-23, MSF-25, MSF-27, ..., MSF-50, T-1, ..., T-22, T-24, ..., T-50	MSF-24
2.sınıf	E-12, E-25, M-8, M-36	MSF-14, MSF-26, E-1, ..., E-10, E-11, E-13, ..., E-24, E-26, ..., E-35, ..., E-50, M-1, ..., M-7, M-9, M-10, M-11, M-12, M-13, ..., M-28, M-29, M-30, M-31, M-32, ..., M-35, M-37, ..., M-50, T-23

İkili kategorik sınıflandırmaya göre ÇLR analizindeki sınıflandırma örnekleri Tablo 5.16'da gösterilmiştir.

Tablo 5.17: İkili kategorik sınıflandırmaya göre ÇLR analizinde ataması hatalı yapılan örnekler ve hangi dalga boyunda (DB) bulduklarına dair veriler

Ataması hatalı yapılan örnek	Modelde Atanan sınıf	Gruba atanmasına neden olan yüksek absorpsiyon değerinde olan DB (cm ⁻¹)	Referans
E-12	Tehlikesiz atık	1594	Colom vd.,2003; Pandey ve Pitman,2003; Pandey, 2005; Popescu vd.,2007; Pandey vd.,2008; Rosu vd.,2010; Emandi vd., 2011; Chen vd., 2010; Chen vd., 2012; Kartal vd., 2013; Zhou vd.,2015; Traore vd.2016; Doğu vd.,2017; Gonultas ve Candan,2018; Enstrümental Analiz Laboratuvarı Deney Föyü, 2019; Sharma vd.,2020
E-25	Tehlikesiz atık	1264	
M-8	Tehlikesiz atık	896	
M-36	Tehlikesiz atık	695	
MSF-24	Tehlikeli atık	1717	

İkili kategorik sınıflandırmaya göre ÇLR analizinde ataması hatalı yapılan örnekler ve hangi dalga boyunda bulduklarına dair veriler Tablo 5.17'de gösterilmiştir.

5.2.3.2. Dörtlü Kategorik Sınıflandırmaya göre ÇLR Analizi Değerlendirmesi

Tablo 5.18: Dörtlü kategorik sınıflandırmaya göre ÇLR analizi değerlendirilmesi

Sınıf	1.sınıf Masif (adet)	2.sınıf Emprenyeli (adet)	3.sınıf Mobilya (adet)	4.sınıf Tutkallı (adet)
1.sınıf	47	2	2	1
2.sınıf	1	45	2	-
3.sınıf	2	3	42	-
4.sınıf	-	-	4	49

Bulgular bölümünde yer alan dörtlü kategorik sınıflandırma için ÇLR analizine göre eğitim, validasyon, test ve toplam olarak 4 farklı veri seti matrisi Şekil 4.12’de verilmiştir. Bu veri matrisinde yer alan kaç adet örnek olduğu toplam veri matrisinden faydalanılarak Tablo 5.18’de gösterilmektedir. Dörtlü kategorik sınıfta en yüksek ayırım düzeyi tutkal içerikli (panel levha) atıkları (%98) için belirlenmiştir. Bunu sırasıyla masif odun atıkları (%96), emprenyeli odun atıkları (%90) ve mobilya atıkları (%84) izlemektedir. Dört kategorik sınıf için toplam sınıflandırma başarı düzeyi %91,5’dur (Şekil 4.12). Mobilya atıklarının ayırım düzeyinin düşük olma nedeni daha önce de belirtildiği gibi bu örneklerin aynı zamanda tutkal içermeleri nedeniyle levha atıkları grubuna dahil olmalarından kaynaklanmaktadır. Aynı zamanda mobilya atıkları tutkalın yanı sıra boya, vernik, cila gibi farklı içerikteki kimyasalları da içeren örnekler olabileceği için emprenyeli odun atıkları grubuna da aitmiş gibi algılanabilmektedir.

Tablo 5.19: Dörtlü kategorik sınıflandırmaya göre ÇLR uygulamasındaki sınıflandırma örnekleri

Sınıf	1.sınıf	2.sınıf	3.sınıf	4.sınıf
1.sınıf	MSF-1,..., MSF-13,MSF-15,.....,MSF-23, MSF-25, MSF-27,.....,MSF-50	E12 , E-25	M-8 , M-36	T-23
2.sınıf	MSF-24	E-1,.....,E-9, E-11, E-13,,E-24, E-27,E-35, E-37,....., E-50	M-30 ve M-31	-
3.sınıf	MSF-14, MSF-26	E-26, E-10 ve E-36	M-1,M-3,.....,M-10, M-13,.....,M-28, M-32,...., M-35,M-37,.....M-50	-
4.sınıf	-	-	M-12, M-11, M-2 ve M-29	T-1,...., T-22, T-24,...., T-50

Dörtlü kategorik sınıflandırmaya göre ÇLR analizindeki sınıflandırma örnekleri Tablo 5.19’da gösterilmiştir.

Tablo 5.20: Dörtlü kategorik sınıflandırmaya göre ÇLR analizinde ataması hatalı yapılan örnekler ve hangi dalga boyunda (DB) bulduklarına dair veriler

Ataması hatalı yapılan örnek	Modelde Atanan sınıf	Gruba atanmasına neden olan yüksek absorpsiyon değerinde olan DB (cm ⁻¹)	Referans
MSF-24	Emprenye içerikli odun atığı	1717	Temiz vd., 2007; Stirling ve Morris,2009
MSF-14	Mobilya atığı	1452	Doménech-Carbó vd.,2001; Liu vd.,2015;Ford vd.,2019
MSF-26	Mobilya atığı	1451	
E-12	Masif odun atığı	1594	Colom vd.,2003; Pandey ve Pitman,2003; Pandey, 2005; Popescu vd.,2007; Pandey vd.,2008; Doğu vd.,2017; Chen, vd.,2010; Emandi vd., 2011; Chen vd.,2012; Kartal vd., 2013; Zhou vd.,2015; Traore, vd.2016; Gonultas ve Candan,2018; Salamat vd.,2018; Enstrümental Analiz Laboratuvarı Deney Föyü,2019; Sharma vd.,2020
E-25	Masif odun atığı	1264	Colom vd.,2003; Pandey ve Pitman, 2003; Rosu vd., 2010; Kartal vd.,2013
E-26	Mobilya atığı	1547	Marchessault, 1962;Colom vd.,2005; Naumann vd.,2005;Zorba vd. 2008 ; Dorieh vd.2018; Enstrümental Analiz Laboratuvarı Deney Föyü,2019
E-10	Mobilya atığı	1452	Doménech-Carbó vd. ,2001; Liu vd.,2015; Enstrümental Analiz Laboratuvarı Deney Föyü,2019; Ford vd.,2019
E-36	Mobilya atığı	1451	Doménech-Carbó vd.,2001; Liu vd.,2015;Ford vd.,2019
M-8	Masif odun atığı	896	Pandey ve Pitman,2003; Pandey, 2005; Schwanninger, vd.2004;Nauman, vd. 2005; Rosu vd.,2010;Kartal vd., 2013; Gonultas ve Candan, 2018; Enstrümental Analiz Laboratuvarı Deney Föyü,2019
M-36	Masif odun atığı	695	Colom vd.,2003; Derry, 2012; Kartal vd.,2013; Enstrümental Analiz Laboratuvarı Deney Föyü,2019; Sharma vd.,2021
M-31	Emprenye içerikli odun atığı	1716	Temiz vd., 2007; Stirling ve Morris,2009
M-30	Emprenye içerikli odun atığı	1715	Temiz vd., 2007; Stirling ve Morris, 2009
M-12	Tutkal içerikli odun atığı	1645	Schwanninger, vd.2004; Chen, vd.,2010; Zhao, vd.,2010; Sahoo vd.,2011; Chen vd.,2012; Liying ve Li, 2012; Zhang vd.2013; Chen vd.,2014; Moreno ve Font, 2015; Liu vd.,2015; Traore, vd.2016; Doğu vd.,2017; Liu vd., 2017
M-11	Tutkal içerikli odun atığı	1643	
M-2	Tutkal içerikli odun atığı	1546	Zorba vd. 2008 ; Dorieh vd.2018
M-29	Tutkal içerikli	807	Marchessault,1962; Colom vd.,2003; Kartal vd.,2013; Köseoğlu, 2015; Enstrümental Analiz Laboratuvarı Deney Föyü,2019; Gomez-Martin, vd.2019
T-23	Masif odun atığı	1028	Pandey ve Pitman,2003; Schwanninger, vd.2004; Pandey, 2005; Popescu vd.,2007; Pandey, vd.,2008; Rosu vd.,2010; Emandi vd.,2011; Kartal vd.,2013; Gonultas ve Candan,2018; Wang vd., 2018; Enstrümental Analiz Laboratuvarı Deney Föyü,2019

Dörtlü kategorik sınıflandırmaya göre ÇLR analizinde ataması hatalı yapılan örnekler ve hangi dalga boyunda bulduklarına dair veriler Tablo 5.20’de gösterilmiştir.

5.3. PAKET PROGRAM ÇIKTILARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

5.3.1. İkili Kategorik Sınıflandırmaya göre En Uygun Modelin Değerlendirmesi

Çalışmada yapılan YSA, RF ve ÇLR analiz sonuçları kapsamında ikili ve dörtlü kategorik sınıflandırma için bulunan sonuçların doğrulanması ve en uygun modelin test edilmesi açısından istatistiksel programda yer alan Sınıflandırma Öğrenimindeki tüm modeller çalıştırılmıştır.

Çalışmada yapılmış olan ilk üç analizde (YSA, RF, MLR) ikili kategorik sınıflandırma için en uygun model %100 sınıflandırma düzeyinde olan RF'dir. Matlabda Sınıflandırma öğrenimi (Classification Learner) kullanılarak yapılan 40 modelde kfold 10 alındığında ikili kategorik sınıflandırma için en uygun model RF analizidir. İkinci en iyi sınıflandırıcı eğitim verisinde % 93.3 ve test verisinde %100 başarı düzeyi sağlayan Optimize edilen SVM modelidir (Şekil 4.14). İkili kategorik sınıflandırma için yapılmış olan YSA, ÇLR, RF analizleri ve modelin başarı düzeyinde doğruluğunun test edilmesine yönelik Matlab programında yer alan Sınıflandırma Öğrenimindeki tüm modeller çalıştırılıp en uygun modeller test edilmiştir. Tüm sonuçlar incelendiğinde ikili kategorik sınıflandırma için en uygun modelin sınıflandırma başarı düzeyi %100 olan RF analizi (Şekil 4.5) olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

5.3.2. Dörtlü Kategorik Sınıflandırmaya göre En Uygun Modelin Değerlendirmesi

Çalışmada dört kategorik sınıflandırma için yapılmış olan sınıflandırma analizlerinde (YSA, RF, ÇLR) en uygun modelin % 100 sınıflandırma başarı düzeyini veren RF modelinin olduğu belirlenmiştir.

Matlabda Sınıflandırma öğrenimi (Classification Learner) kullanılarak yapılan 38 modelde kfold 10 alındığında dörtlü kategorik sınıflandırma için en uygun modelin RF analizidir. Diğer sınıflandırma analizlerinden en iyi olanın sınıflandırma başarı düzeyi eğitim verisinde % 88.3 ve test verisinde %100 olan optimize edilen SVM modelidir (Şekil 4.19).

Dörtlü kategorik sınıflandırma için Sınıflandırma Öğrenimi ile en uygun model test edilmiştir. Buna göre dörtlü kategorik sınıflandırma için en uygun modelin sınıflandırmadaki başarı düzeyi %100 olan RF analizi modelidir (Şekil 4.8).

Yapılan tüm sınıflandırma analiz (model)leri (YSA, RF, ÇLR) ve uygun olan modeli(analizi) test amacıyla doğrulamak açısından yapılan sınıflandırma öğreniminde uygun olan modellerin (diğer analizlerin) başarı yüzdelerini literatürde yer alan benzer çalışmaların sonuçları ile

karşılaştırmak modelin tutarlılığı ve gelecekte odun atığının sürdürülebilirlik açısından değerlendirilebilmesi için doğru şekilde ayrıştırılması yönünden önemlidir.

Tsuchikawa ve arkadaşları (2003^{a,b,c}), 6 farklı ağaç türünü birbirinden ayırt etmek için NIR spektroskopisi ile ağaç türlerini karakterize etmişlerdir. Karakterize edilmesini sağlayan yüksek absorpsiyonları veren önemli dalga boyları 1720, 2232 ve 2248 nm' dir. Elde edilen spektral verilerinin istatistiksel sınıflandırma modelleri olarak KNN ve SIMCA modelleri kullanılarak ağaç türleri birbirinden ayrılmıştır. Sınıflandırmada yaklaşık 100'e yakın(>%98) başarı düzeyine ulaşmışlardır. Bizim yaptığımız çalışmada ise 200 odun atık örneklerinin karakterizasyonunda FTIR-ATR cihazı kullanılmıştır. Karakterize edilmesini sağlayan yüksek absorpsiyonları veren dalga boyları 52 adet olarak belirlenmiştir. Bu belirlenen dalga boyuna ait spektra verileri ile odun atıklarının sınıflandırılması için kullanılan programdaki sınıflandırma öğrenimi içinde yer alan Optimizable KNN modelinde hem ikili kategorik (tehlakesiz ve tehlikeli) hem de dördü kategorik (masif, emprenye, mobilya ve tutkal) sınıflandırma için eğitimde sırasıyla % 88.90 ve % 83.90 başarı düzeylerine ulaşılmış iken testte ise her iki kategorik sınıf için %100 sınıflandırma başarı düzeyine ulaşılmıştır.

Haartveit ve Flaete (2008) sarıçam ağacındaki diri odun öz odun ayrımı ile benzer görünüşe sahip ladin türlerini birbirinden ayırmak için NIR cihazı ile çalışmışlardır. Cihazdan elde edilen spektra verileri ile kısmi en küçük kareler diskriminant analizleri (PLS-DA) yöntemini kullanarak iki farklı iğne yapraklı ağaç türündeki diri-öz odun ayrımında yaklaşık % 90'nın üzerinde başarı düzeyine erişmişlerdir. Bizim yaptığımız odun atık sınıflandırmasında dördü kategorik sınıflandırma için sınıflandırma öğreniminde yer alan Ensemble subspace diskriminant modelinde %85.6 başarı düzeyine ulaşılırken, Optimizable diskriminant modelinde ise eğitimde % 81.70 başarı düzeylerine erişilmiş iken test de her iki kategorik sınıflandırma için % 100 başarı düzeylerine erişilmiştir.

Gu ve arkadaşları (2010) ahşapta olan kusurların otomatik olarak sınıflandırmasına 800 gözlem ve 400 test görüntüsü üzerinde SVM modeli uygulayarak %96.5 başarı düzeyine ulaşmışlardır. Yaptığımız çalışmada 200 gözlem ve gözlem örneğinden dört grubun her birini eşit sayıda en iyi açıklayan toplam 20 test odun atığına ait belirlenen spektra verilerinin odun atıklarının iki ve dört kategorik olarak sınıflandırmasında kullandığımız Optimizable SVM modelinde eğitimde sırasıyla % 93.30 ve % 88.3 başarı düzeylerine erişilmiş iken test de sırasıyla her iki kategorik sınıflandırma için %100 başarı düzeylerine erişilmiştir.

Özdağ ve arkadaşları (2017) Almanya ve Türkiye'deki mobilya dış ticaretini tahmin etmek için elde edilen 16 yıllık verileri test ve eğitim olarak ayırmışlardır ve tahmin için kullanılan YSA modelinde 5000 iterasyonla en iyi tahminler yapılmıştır. Bizim yaptığımız çalışmada ise odun atıklarının sınıflandırılmasına yönelik 10000 iterasyonla sınıflandırma analizlerinden YSA, RF, ÇLR ve programda yer alan sınıflandırma öğrenimi içinde yer alan tüm modeller karşılaştırılarak en iyi modelin doğrulanması yapılmıştır.

Kern ve arkadaşları (2018), tasarım/inşaat ile şantiye ve güvenlik tesisatlarına ilişkin faktörleri göz önünde bulundurarak, yüksek binaların inşasında ortaya çıkan geçici ahşap atık miktarını tahmin etmek için çoklu regresyon modeli kullanmışlardır. Bu çalışma 22 yüksek katlı konut binasını içermektedir. Çoklu regresyon modeli, benzer inşaatlarda ahşap atık oluşumunda rol oynayan faktörlerin yaklaşık %89'unu doğru tahmin etmiştir. Bizim yaptığımız ÇLR modeli ile odun atık sınıflandırmasında eğitimde sırasıyla ikili ve dörtlü kategorik sınıflandırmalar için %97.5 ve % 91.5 başarı düzeylerine ulaşılmıştır.

Sandak ve arkadaşları (2018) yonga levha panellerinin üretim aşamasında kalite kontrolüne ve izlenebilirliğine yardımcı olacak bir uzman sistem proto tipi geliştirmek için laboratuvar ölçeğinde ve endüstriyel tesislerde üretilen dört farklı yonga levha türü ile çalışma yapmışlardır. NIR spektroskopisi ile karakterize edilen numunelerin sınıflandırılması ve izlenebilirliği için uygun iki seviyeli bir uzman sistemin geliştirilmesinde öncü bir araç olarak bu çalışmayı yapmışlardır. Bu çalışmada sistemin geliştirilmesi ve performansının değerlendirilmesi için her biri en az üç bağımsız kopya içeren yirmi beş parti yonga levha kullanılmıştır. Bu çalışmada spektroskopik veri sınıflandırması için dört alternatif kemometrik yöntem (PLS-DA, KNN, SIMCA ve SVM) kullanılmıştır. Modeller paneli tanıma açısından farklılık gösteren iki aşamada geliştirilmiştir. İlk aşamada, test edilen yirmi dört kombinasyondan dördü %100 doğru sınıflandırma ile sonuçlanmıştır. PLS-DA ve SVM ile ayırım hassasiyetinin, herhangi bir spektrum ön işleme olmadan bile yüksek (>%99) olduğunu tespit etmişlerdir. İki farklı şekilde üretilen paneller %100 doğru olarak sınıflandırılırken, farklı üretilen endüstriyel paneller %98,9 başarı ile sınıflandırılmış, laboratuvar ortamında üretilen deneysel paneller ise %63,7 başarı ile sınıflandırılmıştır. Yapılan odun atık sınıflandırılması çalışmasında programda yer alan sınıflandırma öğrenimi ile kullanılan Optimizable KNN modelinde ikili kategorik sınıflandırma için eğitim de % 88.90 sınıflandırma başarı düzeyine ulaşılırken test de %100 ulaşılmıştır. Dörtlü kategorik

sınıflandırma için eğitimde % 83.90 sınıflandırma başarı düzeyine ulaşılmış iken testde % 100 sınıflandırma başarı düzeylerine ulaşılmıştır.

Kılınçarslan ve diğerleri (2020) ısıtma işlemi görmüş sedir odunu daralma ve genişleme değerlerini YSA ve RF analizleri ile tahmin etmeye çalışmışlardır. Bu çalışmada ilk olarak Sedir odununun temas açısı değerleri, ahşap malzeme yüzeyine damlatma ile teğet ve radyal yönde belirlenmiştir. Sonra aynı numunelerin genişleme ve daralma miktarları belirlenmiştir. Bu miktarların belirlenmesinde TS 4084 standardı kullanılmıştır. Deneysel çalışma sonucunda, YSA ve RF analizleri kullanılarak örneklerin daralma ve genişleme miktarları tahmin edilmiştir. YSA algoritmasında tahmin başarı düzeyi %91 iken RF analizinde tahmin başarı düzeyi %97'dir. Bizim yaptığımız odun atıkları sınıflandırmasında ise YSA analizinde ikili kategorik sınıflandırma için % 96.5 başarı düzeyine ulaşılmışken dördü kategorik sınıflandırma için %92.5 sınıflandırma başarı düzeyine ulaşılmıştır. Yapılan RF analiz uygulamasında ikili ve dördü kategorik sınıflandırmalar için ise toplamda % 100 sınıflandırma başarı düzeyine ulaşılmıştır. Programda yer alan modelin doğruluk düzeyi ve testi için kullanılan sınıflandırma öğreniminde yer alan Optimizable Neural Network modeli ile ikili kategorik sınıflandırma için eğitimde %88.90 başarı düzeyi gösterirken dördü kategorik sınıflandırma için %86.10 sınıflandırma başarı düzeyi göstermekte olup her iki kategorik sınıflandırma için test de %100 sınıflandırma başarı düzeyi göstermektedir.

Shugar ve arkadaşları (2021) ağaç türlerinin hızlı bir şekilde tanımlanmasında X-ışını floresans spektrometresi ile 48 farklı örneği birbirinden ayırmak için makine öğrenmesinde 2 boyutlu evrişimli sinir ağlarını (CNNs) kullanmışlardır. %99 düzeyinde doğrulama ile diğer alternatif seçeneklere göre hem zamandan tasarruf etmişler hem de maliyeti uygun bulunmuştur. Başka bir çalışmada Socha ve diğerleri (2020) farklı çevresel parametrelerde ağaç gövde çaplarının tahmini için YSA ve regresyon modellerini kullanmışlardır. Veriler, Polonya ormanlarındaki 2856 ağaç türünden bilgi alınarak tahmin edilmiştir. Sonuç olarak YSA modeli (>%95) regresyon modelinden (>%93) daha başarılı sonuçlar vermiştir. Ayrıca, YSA modelinde iğne yapraklı ağaçlar ve kayın ağacı için en doğru tahmin sonucuna ulaşılmıştır. Burada, YSA'nın esnekliği ve tahmin performansı regresyondan daha iyidir. Bizim yaptığımız çalışmada kullanılan denetimli sınıflandırma analizi olan YSA modelinin ikili kategorik sınıflandırma için % 100 başarı düzeyine ulaşılmışken, dördü kategorik sınıflandırma için ise %95 sınıflandırma başarı düzeyine ulaşılmıştır. Ayrıca en uygun modelin doğrulanması ve test edilmesi için kullanılan programdaki sınıflandırma öğreniminde

yer alan Optimizable Neural Network modeli ile ikili kategorik sınıflandırma için eğitimde %88.90 başarı düzeyi elde edilirken, dörtlü kategorik sınıflandırma için ise %86.10 sınıflandırma başarı düzeyi elde edilmiş olup testde her iki kategorik sınıflandırma için %100 başarı düzeyine erişilmiştir.

Amazon ormanlarından elde edilen kereste türlerinin tanımlanması, büyük çeşitlilikleri nedeniyle karmaşık bir sorundur ve hasat sonrası incelemede materyalin eksikliği genellikle ahşap türlerinin doğru bir şekilde tanınmasına engeldir. Bu bağlamda, De Souza Vieira GL ve arkadaşları (2022) mevcut tanımlama yöntemlerinin doğruluğunu ve verimliliğini artırmak amacıyla, yaygın olarak ticareti yapılan türleri tanımlamak için ahşap görüntülerinden oluşan bir görüntü tanıma sistemi geliştirmişlerdir. Üç cilalama işlemi ile on farklı tür ve her ahşap türü için yirmi görüntü kullanılmıştır. Görüntü tanıma sistemi olarak, Haralick özellikleriyle ilişkilendirilen ve YSA'ları tarafından sınıflandırılan dokusal segmentasyon kullanılmıştır. Zımpara kağıdı granülometrisinin iyileştirilmesinin tür tanıma doğruluğunu artırdığı doğrulanmıştır. Doğrusal regresyona dayalı geliştirilen model, eğitim aşamasında %94'lük bir tanıma oranı ve zımpara kağıdı ağıyla işlenmiş ahşap için %65'lik bir eğitim sonrası tanıma oranı elde edilmiştir. Sunulan ahşap desen tanıma modelinin çalışılan ahşap türlerini doğru bir şekilde tanımlama potansiyeline sahip olduğu sonucuna varılmıştır. Bizim tarafımızdan yapılan ÇLR modeli ile odun atık sınıflandırmasında sırasıyla ikili ve dörtlü kategorik sınıflandırmalar için toplam sınıflandırma başarı düzeyleri %97.5 ve % 91.5 olarak bulunmuştur.

5.4. ELEMENT İÇERİK TAYİNİ DEĞERLENDİRMESİ

Masif (MSF) ve tutkal içerikli (T) odun atık numunelerine ait ölçülen element içerik değerleri standartta ki üst limitlerden küçük olduğundan tehlikesiz atık olarak değerlendirilmiştir.

Emprenye (E) içerikli odun atık numunelerinde Cu, Cr, As ve S elementlerinin içerik değerleri standartdaki değerden yüksek olduğundan tehlikeli atıklardır.

Mobilya atık numunelerinde (M) ise Fe, Zn, As ve S elementlerinin içerik değerleri standartdaki değerden yüksek olduğundan tehlikeli atıklardır.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

200 adet odun atığının FTIR-ATR spektroskopisinden elde edilen verilerinin kullanılması ile YSA, RF ve ÇLR gibi sınıflandırıcılar yardımı ile ikili kategorik (tehlakesiz ve tehlikeli) ve dörtlü kategorik (masif, emprenyeli, mobilya ve tutkallı) sınıflar oluşturacak şekilde sınıflandırılmaları gerçekleştirilmiştir. Yapılan ikili ve dörtlü sınıflandırma analizlerinde %95'in üzerinde sınıflandırma başarı düzeylerine ulaşılmıştır. İkili kategorik sınıflandırmaya göre RF, YSA ve ÇLR analizlerindeki başarı oranı %100'dür. Dörtlü kategorik sınıflandırmaya göre sınıflandırma analizi başarı oranları sırasıyla RF (%100), ÇLR (%100) ve YSA (%95) şeklinde sıralanmaktadır.

Kurulan modelin tutarlılığını ve yapılan sınıflandırma analizlerinden elde edilen sınıflandırma başarı düzeylerinin doğruluğunu test etmek amacıyla sınıflandırma öğreniminde yer alan sınıflandırıcılar kullanılarak başarı düzeylerinin doğruluğu ve tutarlılığı kontrol edilmiştir. Sınıflandırma öğreniminde yer alan sınıflandırıcılardan YSA, RF ve ÇLR analizlerinden sonra en iyi başarı düzeyine sahip analiz Optimizable SVM'dir. Bu analizde ikili ve dörtlü kategorik sınıflandırma için başarı düzeyleri % 100 olarak elde edilmiştir. Bu çalışma ile zaman alıcı ve ekonomik olarak daha yüksek maliyetli olan ICP analizlerine gerek duyulmaksızın ikili kategorik sınıflandırmanın sadece FTIR verileri kullanılarak odun atıklarının tehlikeli ve tehlakesiz olarak sınıflandırılabilceği ortaya konmuştur.

İkili ve dörtlü kategorik sınıflandırmaya ait sınıflandırma analizlerine göre başarı yüzdeleri Tablo 6.1 de gösterilmektedir.

Tablo 6.1: Sınıflandırma analizinde kategorik sınıflara göre başarı yüzdeleri

Kategorik sınıf(%)	Analizler (modeller)					
	YSA		RF		ÇLR	
	Eğitim	Test	Eğitim	Test	Eğitim	Test
Tehlikesiz	98.9	100	100	100	96	100
<i>Masif</i>	97.3	100	100	100	94	100
<i>Tutkal</i>	97.4	100	100	100	98	100
Tehlikeli	93.2	100	100	100	99	100
Emprenyeli	92.9	100	100	100	90	100
Mobilya	81	75	100	100	84	100
İkili kategorinin genel toplamı	96.1	100	100	100	97.5	100
Dörtlü kategorinin genel toplamı	91.9	95	100	100	91.5	100

İkili ve dörtlü kategorik sınıflandırmada hatalı sınıfa atanan örneklerin bulunma nedenleri olarak aşağıda belirtilen hususlar düşünülmüştür:

- 1- Oduna ait doğal piklerin bütün örneklerde yer alması nedeniyle bu piklere çok yakın olan ve ayırt edici niteliği bulunan bazı piklerin gözden kaçması
- 2- Mobilya örneklerinin büyük bir kısmında levha örneklerinin içerdiği tutkal pikinin bulunması
- 3- Mobilya atıklarının büyük bir kısmının çok farklı çeşitlilikte boya, vernik, cila gibi farklı kimyasal maddeler içermesi
- 4- FTIR cihazı ile $650-4000\text{ cm}^{-1}$ dalga boyu aralığı taranmaktadır. NIR cihazı kullanılması durumunda $4000-12500\text{ cm}^{-1}$ dalga boyu aralığı taranabilir (Url-5). Bu durumda, FTIR cihazı ile yapılan taramada, aslında farklı olan yapıların birbirlerine yakın piklerinin üst üste binerek verdikleri aynı yapıya aitmiş görüntüsü, daha geniş bir spektrumda tarama yapan NIR cihazında farklı veriler vereceğinden çok daha sağlıklı bir ayırma sağlayacaktır. Bu durumda çakışan piklerin ayrımı daha net olacaktır.

Sınıflandırma analizinin daha güvenilir olması için istatistiksel modellemenin daha fazla örnek sayısı ile yapılması başarı düzeyini muhakkak arttıracaktır. Ancak tez çalışması için sürenin belirli olması ve belli bir bütçenin bulunması gibi kısıtlayıcı faktörler çalışmanın 200 örnek ile sınırlandırılmasını zorunlu kılmıştır. Ayrıca çalışmanın pandemi dönemine denk

gelmesi, firmalarla iletişim kurma, örnekleri temin etme gibi süreçleri olumsuz etkilemiş ve zamanlama hatalarına yol açmıştır.

Sonuç olarak literatür taramasından da anlaşılacağı üzere sınıflandırma analizlerinde iki grup olacak şekilde sınıflandırmaların yaygın olarak yapıldığı görülmektedir. Yapılan bu çalışmanın dört farklı grup olacak şekilde bir sınıflandırma yapabilmesi ve atık gibi çoklu bileşen içeren heterojen gruplarda sınıflandırma yapılabileceğini ortaya koyması önemli bir başarı olarak görülebilir. Bu yönüyle çalışma, bu alanda yapılan öncü bir çalışma niteliği taşımaktadır.



KAYNAKLAR

- Akinyemi, B.A., Okonkwo, C.E., Alhassan, E.A., Ajiboye, M., 2019. Durability and Strength Properties of Particle Boards from Polystyrene–Wood Wastes. *J. Mater. Cycles Waste Management* 21: 1541–1549.
- Akman, M., Genç, Y., Ankaralı, H., 2011. Random forests yöntemi ve sağlık alanında bir uygulama, *Türkiye Klinikleri Journal of Biostatistics* 3 (1): 36-48.
- Amit, Y., Geman, D., 1997. Shape quantization and recognition with randomized trees. *Neural Computation* 9(7): pp. 1545-1588.
- Akpolat, O., Odabaş Çağlar, S., Özevci, G., İpteş, N. , 2013. Kümeleme Tekniklerinin Temel Bilimlerde Kullanımı. Akademik Bilişim Konferansı, Türkiye, Bildiri Kitabı, s 551-555, Antalya.
- Alakangas, E. 2014, Käytöstä Poistetun Puun Luokittelu Soveltaminen Käytäntöön [Classification Of Used Wood And Implementation Into Practise], VTT-M-01931, 29 P.+ App. 22 P. (In Finnish).
- Alakangas, E., Koponen, K. Sokka, L., Keränen, J., 2015. Classification of Used Wood To Biomass Fuel or Solid Recycled Fuel And Cascading Use In Finland, Book of Proceeding Bioenergy pp. 79 – 86, For Boost For Entire Bioenergy Business, 2 – 4.9.2015, Jyväskylä, Finland.
- Ambalaj Atıkları Yönetmeliği, 26 Haziran 2021 <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2021/06/20210626-18.html>.
- Anonim. 2017. Biyokütle Potansiyeli Olarak Tarımsal Atıklar. http://biyoder.org.tr/?page_num=4589 (Son erişim tarihi; 11.02.2018).
- Atasoy, D., 2001. Lojistik regresyon analizinin incelenmesi ve bir uygulaması., *Yüksek lisans tezi*, Cumhuriyet Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Sivas.
- Atık Yönetimi Genel Esasları Yönetmeliği, 2008, Erişim linki: <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2008/07/20080705-7.html>
- Avrupa Birliği Ambalaj Atıkları Kontrolü Yönetmeliği, 2008.
- Ayrılmis, N., Kariz, M. ,Sernek, M. , Kuzman, M.K., 2021^a. Effects of sandwich core structure and infill rate on mechanical properties of 3D-printed wood/PLA composites,

- The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, DOI: <https://doi.org/10.1007/s00170-021-07382-y>, 6 June.
- Ayrilmis, N., Yurttaş, E., Durmuş, A., Özdemir, F., Nagarajan, R., Kalimuthu, M., Kuzman, M.K., 2021^b. Properties of Biocomposite Films From PLA and Thermally Treated Wood Modified with Silver Nanoparticles Using Leaf Extracts of Oriental Sweetgum, Journal of Polymers and the Environment, DOI: <https://doi.org/10.1007/s10924-021-02065-x>.
- Azambuja, R.d.R., de Castro, V.G., Trianoski, R., Iwakiri, S., 2018. Recycling Wood Waste from Construction and Demolition to Produce Particleboards. Maderas. Cienc. Tecnología, <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-221X2018005041401>.
- Baier, S., 2012, What is Full Spectrum Lighting?, <http://lumenistics.com/what-is-full-spectrum-lighting/>, [Ziyaret tarihi: 21 Haziran 2018].
- Baran, A., Çaycı, G. ve İnal, A. 1995. Farklı tarımsal atıkların bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi* 1(2-3): 169-172.
- Barışık, O.B., Kapdan, K., 2016. Lignoselülozik Atıklardan Biyolojik Hidrojen Gazı Üretiminde Hidroliz Şartlarının Optimizasyonu, *Çevre ve Bilim Teknolojisi Teknik Dergisi* Cilt:1, Sayı:1, sayfa 58-72, Ağustos, ISSN:1302-5627, TMMOB Çevre Mühendisleri Odası Erişim linki: http://www.cmo.org.tr/resimler/ekler/0a58b8f70363e8d_ek.pdf?dergi=842.
- Besserer, A., Troilo, S., Girods, P., Rogaume, Y., Brosse, N., 2021. Cascading Recycling of Wood Waste: A Review. *Polymers* 13: 1752.
- Bezerra, T.L., Ragauskas, A.J., 2016. A review of Sugarcane Bagasse for Second-Generation Bioethanol and Biopower Production., *J. Biofuels Bioproduction* 10: 634-647, DOI:10.1002/bbb.1662.
- Bilek, S., Melikoğlu, A., Y., Cesur, S., 2019. Tarımsal Atıklardan Selüloz Nanokristallerinin Eldesi, Karakteristik Özellikleri ve Uygulama Alanları, *Akademik Gıda* 17(1) (2019) 140-148, DOI: 10.24323/akademik-gida.544980, Derleme Makale, İzmir, ISSN Online: 2148-015X.
- Borand, E., M.N., 2012. Lignoselülozik Biyoetanol Üretiminde Önışlemlerin Etkisi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Lisansüstü Programı, Yüksek Lisans Tezi, January. İnternet Erişim sitesi: <https://polen.itu.edu.tr/bitstream/11527/2598/1/12240.pdf>

- Borand.E.,M.N.,2019.The Global Warming Potential of Wood and Fossil-based Fuel Production and Electricity Generation, *International Conference on Climate Change and Forestry*, 12-15 November, sayfa164-170, Antalya.
- Boubekeur, B., Belhaneche Bensemra, N., Massardier, V., 2020. Low Density Polyethylene/ Poly (Lactic Acid) Blends Reinforced by Waste Wood Flour. *J. Vinyl Addit. Technology* 26: 443–451.
- Bouslamti, M.A. , Irle, M.A., Belloncle, C., Salvador, V., Hulot,S., Qannari, E. M., 2013. Classification of treated wood using Fourier transform near infrared spectroscopy and multivariate data analysis, *International Wood Products Journal* (4)2 :116-121, DOI:10.1179/ 2042645312Y.0000000026.
- Bozkuş, M., U.2018.Atıkların ayrıştırılması ve geri dönüşüme kazandırma, 19 Kasım. Erişilebilir link:<https://www.youtube.com/watch?v=1YvOmx0Rwvy>.
- Breiman, L., 2001^a . Random Forests. *Machine Learning* 45 (1) : pp. 5–32.
- Breiman, L., 2001^b . Bagging Predictors. *Machine Learning* 24 (2) : pp. 123–140.
- Brereton, R.G. , 2003. Chemometrics Data Analysis for the Laboratory and Chemical Plant, John Wiley & Sons Ltd UK, 479p.
- Burns, D. A. , Ciurczak, E. W., 2008, Handbook of Near Infrared Analysis, Taylor & Francis, Boca Raton, ISBN: 978-0-8493-7393-0.
- Carballo-Meilan, A., Goodman,A., Baron, M., Gonzalez-Rodriguez,J.,2014. An specific case in the classification of woods by FTIR and chemometrics: Discrimination of Fagales from Malpighiales,*Cellulose* 21(1):261-273, UK.
- Chandra, M.,R.G.S, Madakka,M., 2018. Chapter 11 - Comparative Biochemistry and Kinetics of Microbial Lignocellulolytic Enzymes, *Recent Developments in Applied Microbiology and Biochemistry* 2019, Pages 147-159, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816328-3.00011-8>.
- Chawla, N. V., Bowyer, K. W., Hall, L. O.,andKegelmeyer, W. P., 2002. SMOTE: synthetic minority over-sampling technique. *Journal of Artificial Intelligence Research* 16: 321-357.
- Chen,F.,Xu,M.,Wang,L.,Li,J.,2010. Preparation and characterization of organic aerogel from a lignin-resorcinol-formaldehyde copolymer, *Bioresources* 6(2):1262-1272.
- Chen,Y., Gao, J., Fan, Y., Tshabalala, M.A., Stark, N.M., 2012. Heat-induced chemical and color changes of extractive-free black locust (*Robinia pseudoaccacia*) wood. *BioResources* 7(2):2236–2248.

- Chen, Y., Tshabalala, M. A., Gao, J., Stark, N., M., Fan, Y., 2014. Color and surface chemistry changes of extracted wood flour after heating at 120°C. *Wood Science Technology* 48:137–150.
- City of Toronto, 2018. Solid Waste Management Services, “<https://www.toronto.ca/city-government/accountability-operations-customer-service/city-administration/staff-directory-divisions-and-customer-service/solid-waste-management-services/>”, Erişim Tarihi: 14.03.2018.
- Cocchi, M., Vargas, M., Tokacova, K. 2018. BioReg:D1.2: State of the art Technical Report. BioReg., <https://www.bioreg.eu/asswts/delivrables/BIOREG%20D1.2%20State%20of%20the%20art%20technical%20report.pdf>
- Cogdill, R.P., Schimleck, L.R., Jones, P.D., Peter, G.F., Daniels, R.F., and Clark, A., 2004. Estimation of the physical wood properties of *Pinus taeda* L. radial strips using least squares support vector machines. *Journal of Near Infrared Spectroscopy*, 12: 263–269.
- Colom X, Carrillo F, Nogue´s F, Garriga P., 2003. Structural analysis of photodegraded wood by means of FTIR spectroscopy. *Polym Degrad Stab* 80: 543–549.
- Colom, X., Carrillo, F., 2005. Comparative study of wood samples of the northern area of Catalonia by FTIR. *J. Wood Chem. Technology* 25:1-11.
- County of Los Angeles Department of Public Works, 2014:2. Roadmap to a Sustainable Waste Management Future, Alhambra, CA.
- County of Los Angeles Department of Public Works, 2014: 21, Statistics “<https://www.lacounty.gov/government/geography-statistics/statistics/#1481130319359-d19956e6-ad46>”, (Erişim Tarihi: 16.04.2018).
- Cu, L., Butler, H.J., Martin-Hirsch, P.L., Martin, F.L., 2016. Aluminum foil as a potential substrate for ATR-FTIR, transfection FTIR or Raman spectrochemical analysis of biological specimens. <https://pubs.rsc.org/en/content/articlehtml/2015/ay/c5ay02638e>.
- Cutler, A., Stevens, J., Cutler, D.R., 2011. Random Forests, Machine Learning, January 2011, Ensemble Machine Learning: Methods and Applications (pp.157-176), DOI:10.1007/978-1-4419-9326-7_5, Chapter 5, Springer Editors: Cha Zhang, Yunqian Ma.

- Çalışkan, E., Acar, H.,H., 2006. Yapay Zeka Tekniklerinin Odun Hammaddesi Üretiminde Kullanılması Üzerine Bir Değerlendirme, Kafkas Üniversitesi, *Artvin Orman Fakültesi Dergisi* 7(1):51-59.
- Çelik, S., Ö., 2018. Atıktan Türetilmiş Yakıt: Yasal Çerçeve, Avrupa'daki ve Türkiye'deki Durum, *European Journal of Engineering and Applied Sciences* 1(2):63-71, Tekirdağ.
- Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2015. Atık Yönetimi Yönetmeliği, Resmi Gazete No: 29314, 02.04.2015.
- Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Sektörel Atık Kılavuzları, 2016. Ağaç, Ağaç Ürünleri ve Mobilya İmalatı, ODTÜ, Çevre Mühendisliği Bölümü, Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü, Erişim linki: <https://cevresehiriklimkutuphanesi.csb.gov.tr/SourcePDF/a2cb3e07-2a3a-4c24-894f-fcfffbae9eabc>.
- Çırak, O., 2017. Fourier Transform Infrared (FT -IR) ile sütte tür tayini yapılması, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Çıtak S, Sönmez S, Öktüren F. 2006. Bitkisel kökenli atıkların tarımda kullanılabilme olanakları, *Derim* 23(1): 40-53.
- Çolak S., Demirkır, C., Çolakoğlu, G., 2005. Odun kökenli atıkların hammadde ve enerji kaynağı olarak değerlendirilmesi, 1. Çevre ve Ormancılık Sürası, 21-25 Mart, Antalya, 3, Cilt:1009-1017.
- Davis, C., Williams, L., Lupberger, S., Daviet, F. , 2013. Assessing Forest Governance, The Governance of Forests Initiative Indicator Framework, World Resources Institute.
- Davies, A.M.C., 2005, An introduction to near infrared spectroscopy, *NIR news* 16(7): 9- 11
- Davis, P., Aziz, F., Newaz, M.T., Sher, W., and Simon, L. 2021. The classification of construction waste material using a deep convolutional neural network, *Automation in Construction* 122 : 103481, February 2021, <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103481>.
- De Groot, P.J., Postma, G.J., Melssen, W.J., and Buydens, L.M.C., 1999. Selecting a representative training set for the classification of demolition waste using remote NIR sensing. *Analytica Chimica Acta* 392: 67 – 75.
- De Groot, P.J., Postma, G.J., Melssen, W.J., and Buydens, L.M.C. 2001. Influence of wavelength selection and data preprocessing on near-infrared based classification of demolition waste. *Applied Spectroscopy* 55: 173– 181.

- De Groot, P.J., Postma, G.J., Melssen, W.J., and Buydens, L.M.C. 2002. Validation of remote, on-line, near-infrared measurements for the classification of demolition waste. *Analytica Chimica Acta* 453: 117– 124.
- De Jong W, Pirone A, Wojtowicz MA , 2003. Pyrolysis of Miscanthus Giganteus and wood pellets: TG-FTIR analysis and reaction kinetics. *Fuel* 82(9):1139-1147.
- De Souza Vieira GL, Moutinho Da Ponte MJ, Pereira Moutinho VH, Jardim-Gonçalves R, Pantoja Lima C, De Albuquerque Vinagre MV, 2022. Identification of wood from the Amazon by characteristics of Haralick and Neural Network: image segmentation and polishing of the surface. *iForest* 15: 234-239. – doi: 10.3832/ifor3906-015 [online 2022-07-14] .
- Demirkır, C. ve Çolak, S., 2006. Odun Kökenli Atıkların Levha Endüstrisinde Yeniden Kullanım İmkanları, Kafkas Üniversitesi, *Artvin Orman Fakültesi Dergisi* 7(1) :41-50.
- Department of Environment Food and Rural Affairs, 2012. UK (Birleşmiş Krallık)’a odun atık kaynağı.
- Derry, J.,2012. Investigating Shellac: Documenting the Process, Defining the Product. A Study on the Processing Methods of Shellac, and the Analysis of Selected Physical and Chemical Characteristics. *Master’s Thesis, University of Oslo, Oslo, Norway, 2012.*
- Deveci, D. N, Yılgin M, Pehlivan D., 2007. “ Mobilya Fabrikası Artığının Yakıt Olarak Değerlendirilmesi, IV. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, 16- 17 Ekim 2007, Gaziantep Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Gaziantep.
- Diñç, E. , 2007. Kemometri çok değişkenli kalibrasyon yöntemleri. *Hacettepe Üniversitesi Eczacılık Fakültesi Dergisi* 27(1): 61-92.
- Dogu, D.,Yilgor, N., Mantanis, G., and Tuncer, F. D., 2017. “Evaluation of a historical wood.”*BioResources* 12(2):2433-2451.
- Doménech-Carbó MT, Doménech-Carbó A, Gimeno-Adelantado JV, Bosch-Reig F., 2001. Identification of synthetic resins used in works of art by fourier transform infrared spectroscopy. *Appl Spectrosc.* 55(12):1590–602, DOI:10.1366/0003702011954152.
- Dorieh A, Mahmoodi N, Mamaghani M, Pizzi A, Mohammadi Zeydi M., 2018. Comparison of the properties of urea–formaldehyde resins by the use of formalin or urea formaldehyde condensates. *J Adhes Sci Technol* 32:2537–2551, DOI:10.1080/01694243.2018.1492780.

- Doyle, W.M.2017. Principles and Applications of Fourier Transform Infra-red (FTIR) ProcessAnalysis. www.semanticscholar.org/.8b9108726fe76043badeecd1c75ed6e72352b8a1.
- Duca, D., Pizzi, A., Rossini, G., Mengarelli, C., Pedretti, E., F., 2016. Prediction of Hardwood and Softwood Contents in Blends of Wood Powders Using Mid-Infrared Spectroscopy, American Chemistry Society Publications 2016, *Energy&Fuels* 30: 3038-3044, DOI: 10.1021/acs.energyfuels.5b02994.
- Elmas, Ç., 2003.Yapay Sinir Ağları (Kuram, Mimari, Eğitim, Uygulama). Ankara: Seçkin Yayıncılık, 1. Baskı, Nisan 2003, ISBN:9789753476126.
- Elmas, Ç., 2021. Yapay Zeka Uygulamaları, YapaySinirAğları-Bulanık Mantık Genetik Algoritma, Seçkin Yayıncılık, 5.Baskı, Şubat 2021,Ankara, ISBN:9789750266577.
- Emandi, A., Vasiliu CI, Budrugaec P., Stamatin,I. , 2011. Quantitative investigation of wood composition by integrated FT-IR and thermogravimetric methods. *Cell Chemical Technology* 45: 579–584.
- EN 15359:2011, Solid Recovered Fuels.Quality Management Systems. Particular Requirements for Their Applications to The Production of Solid Recovered Fuels.
- EN ISO 17225-1:2014. Solid Biofuels-Fuel Specification and Classes, Part 1-General Requirements.
- Enstrümental Analiz Laboratuvarı Deney Föyü,2019, KATÜ, Fen Fakültesi Kimya Bölümü.
- European Commission (EC), 2012. “The History Behind The Strategy:EU Waste Policy”, (draft) http://ec.europa.eu/environment/waste/pdf/story_book.pdf, 05.03.2012.
- Eurostat, 2018. Absorbing the Potential of Wood Waste in EU Regions and Industrial Bio-Based Ecosystems—BioReg; Eurostat: Luxembourg, 2018.
- Environmental Protection Agency (EPA), 2002. European Waste Catalogue and Hazardous Waste List, Ireland, 1 January 2002 .
- European Environmental Agency (EEA), 2011. “Earnings, Jobs,and Innovation: The Role of Recycling in a Green Economy”,ISSN 1725-9177.
- Eurostat.2018. *Absorbing the Potential of Wood Waste in EU Regions and Industrial Bio-Based Ecosystems—BioReg*; Eurostat: Luxembourg, 2018.
- Fagerland, M.W., David, W.H., Bofin, A.M., 2008. Multinomial Goodness-ofFit Tests for Logistic Regression Models, *Statistics in Medicine*, 17 January, 27, 4238-4253.
- FAO, 2021. Economic Commission for Europe Food and Agriculture Organization (Committee on Forests and the Forest Industry European Forestry Commission-,Joint

- ECE/FAO Working Party on Forest Statistics, Economics and Management Forty-second session, Geneva, 22-24 March 2021, Item 4 of the provisional agenda Forests and the Circular Economy Agenda Item, Draft Catalogue of wood waste classifications in the UNECE Region, Draft 1 March 2021, Unedited Version, ECE/TIM/EFC/WP.2/2021/Inf.5.
- Faraca, G., Boldrin, A., Astrup, T., 2019. Resource Quality of Wood Waste: The Importance of Physical and Chemical Impurities in Wood Waste for Recycling. *Waste Management* 87: 135–147, <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.02.005>.
- Fausett, L., 1994. *Fundamentals of Neural Networks: Architectures, Algorithms and Applications*, Prentice Hall International, New Jersey.
- Feldhoff, R., Huth-Fehre, T. and Cammann, K., 1998. Detection of inorganic wood preservatives on timber by near infrared spectroscopy, *Near Infrared Spectrosc.* 6, A171–A173, ISSN 0967- 0335, Germany.
- Fellin, M., 2014. Monitoring wooden material for recycling, [https://doi.org/10.1186/s40494-019-0327-1](https://www.researchgate.net/publication/27088082_Monitoring_wooden_materials_for_recycling?enrichId=rgreq-58723244b2e89963e0f1dd5ab6eda422-XXX&enrichSource=Y292ZXJQYWdlOzI3MDg4MDQ4MjtBUzoxODU1NDAwMDc3MDI1MjI1MTQyMTI0NzU5MzQ5NQ%3D%3D&el=1_x_2&_esc=publicationCoverPdf,Università Degli Studi Di Torino, ISBN 978889 0927317 PhD dissertation held on 12/02 in Grugliasco (TO), Italy, DOI: 10.13140/2.1.1460.5128.</p>
<p>Fengel, D., Wegener, G., 2003. <i>Wood - Chemistry, Ultrastructure Reactions</i>, Kessel Verlag, Remagen.</p>
<p>Flaete, P.O., Haartveit, E.Y., 2004. Non-destructive prediction of decay resistance of <i>Pinus sylvestris</i> heartwood by near infrared spectroscopy. <i>Scandinavian Journal of Forest Research</i> 5: 55 –63.</p>
<p>Ford, T., Rizzo, A., Hendriks, E., Frøysaker, T., Caruso, F., 2019. A non-invasive screening study of varnishes applied to three paintings by Edvard Munch using portable diffuse reflectance infrared Fourier transform spectroscopy (DRIFTS), <i>Ford et al. Herit Sci</i> 7:84, <a href=).
- Giachet, M. T., Schröter, J. and Brambilla, L., 2021. Characterization and Identification of Varnishes on Copper Alloys by Means of UV Imaging and FTIR, *Coatings* 2021, 11, 298. <https://doi.org/10.3390/coatings11030298>.

- Gierlinger, N., Schwanninger, M. ve Wimmer, R., 2004, Characteristics and classification of Fourier- transform near infrared spectra of the heartwood of different larch species (*Larix* sp.), *Journal of Near Infrared Spectroscopy* 12:113–119, <https://doi.org/10.1255/jnirs.415>.
- Gomez-Martin,A.,Martinez-Fernandez-Fernandez,J.,Rutttert,M.,Winter,M.,Ramirez-Rico,J., Placke, T., and Ramirez-Rico,J.,2019. Porous Graphene-like Carbon from Fast Catalytic Decomposition of Biomass for Energy Storage Applications, XXXX *American Chemical Society(ACS Omega)*, DOI: 10.1021/acsomega.9b03142.
- González-Peña, M.M. Hale, M.D. ,2009. Colour in thermally modified wood of beech, Norway spruce and Scots pine. Part 2: Property predictions from colour changes, *Holzforschung* 63(4):394-401, DOI:10.1515/HF.2009.077.
- Gönültas, O., Candan, Z. 2018. Chemical Characterization and FTIR Spectroscopy of Thermally Compressed Eucalyptus Wood Panels, *Maderas. Ciencia y tecnología* 20(3): 431 - 442, DOI: 10.4067/S0718 221X20180050 31301, ISSN impresa 0717-3644 , ISSN online 0718-221X.
- Gu, I. Y. H., Andersson, H., Vicen, R., 2010. Wood defect classification based on image analysis and support vector machines, *Wood science and technology* 44(4): 693-704, DOI:10.1007/s00226-009-0287-9.
- Gurau, L., Ayrilmis,N., 2018. Effect of raw material composition of wood plastic composites on surface roughness parameters evaluated with a robust filtering method, *Journal of Thermoplastic Composite Materials* XX(X): 1–15, DOI: 10.1177/0892705718759391.
- Güler, Ç., Çobanoğlu, Z (1994). Katı Atıklar. Sağlık Bakanlığı Sağlık Projeleri Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Gündüzalp, A., A., Güven, S., 2014. Atık, Çeşitleri, Atık Yönetimi, Geri Dönüşüm ve Tüketici: Çankaya Belediyesi ve Semt Tüketicileri Örneği.
- Gürel, B., 2020.Türkiye'deki Güncel Biyokütle Potansiyelinin Belirlenmesi ve Yakılmasıyla Enerji Üretimi İyi Bir Alternatif Olan Biyokütle Atıklar İçin Sektörel Açıdan ve Toplam Yanma Enerji Değerlerinin Hesaplanması,*Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi* 8(2): 407-416, eISSN:1308-6693, DOI: 10.21923/jesd.671767,Süleymen Demirel Üniversitesi, Isparta.

- Haartveit, Y. E., Flæte, P. O., 2008, Near Infrared Spectroscopy (NIRS) as a Tool for Effective Classification of Wood. Proceedings of the 51st International Convention of Society of Wood Science and Technology, Concepcion, Chile, 10–12.
- Hadar, Y. , 2013. Sources for Lignocellulosic Raw Materials for the Production of Ethanol. In V. Faraco (Ed.), *Lignocellulose Conversion: Enzymatic and Microbial Tools for Bioethanol Production* (pp. 21–38). https://doi.org/10.1007/978-3-642-37861-4_2.
- Hair, J. F., Black, W. C., Babin, B., Anderson, R. E., & Tatham, R. L. , 2006. *Multivariate data analysis* (6th ed). Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall.
- Hair, J. F., Black, W.C., Babin, B.J., Anderson, R.E. 2009. “Multivariate Data Analysis”, Pearson Prentice Hall.
- Hastie, T., Tibshirani, R., Friedman, J., 2009. *The Elements of Statistical Learning: Data Mining, Inference, and Prediction*, Second Edition. Springer Series in Statistics, Springer, New York.
- Henriksen, H.C., Naes, T., Rodbotten, R., and Aastveit, A. , 2005^a. Simultaneous modelling of process variables and raw material properties as measured by NIR. A case study from cellulose production. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems* 77: 238– 246, <https://doi.org/10.1016/j.chemolab.2005.04.002>.
- Henriksen, H., Naes, T., Segtnan, V., and Aastveit, A. 2005^b .Using near infrared spectroscopy for predicting process conditions. A laboratory study from pulp production. *Journal of Near Infrared Spectroscopy* 13: 265–276, DOI:10.1255/jnirs.557.
- Hisarlı, A.,1990. Ormancılık ve Orman Ürünleri Sanayinin ekonomik gelişmeye etkileri Türkiye uygulaması, Eskişehir, Anadolu Üniversitesi ,Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Hobro, A. J., Kuligowski, J., Döll, M., & Lendl, B. , 2010. Differentiation of walnut wood species and steam treatment using ATR-FTIR and partial least squares discriminant analysis (PLS-DA). *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 398(6) : 2713–2722. DOI:10.1007/s00216-010-4199-1.
- Hosmer, D.W., Lemeshov, S., 2000. *Applied Logistic Regression*, John Wiley & Sons, New York.
- Hu,J.,Li,Y.,Yi,L.,Guo,H., Li,L., 2016.Evaluation of the Dyeing Properties of Basswood Veneer Treated by Dichlorotriazine Reactive Dye Based on Gray Correlation Analysis, *BioResources* 11(1):466-481, DOI:10.15376/biores.11.1.466-481.

- Hwang, S. W., & Sugiyama, J. 2021. Computer vision-based wood identification and its expansion and contribution potentials in wood science: A review. *Plant Methods* 17(1): 1-21, DOI:10.1186/s13007-021-00746-1.
- Kaho, S.P., Kouadio, K.C., Kouakou, C.H., Eméruwa, E., 2020. Development of a Composite Material Based on Wood Waste Stabilized with Recycled Expanded Polystyrene. *OJCM* 10: 66–76, DOI:10.4236/ojcm.2020.103005.
- Kamm, B., Kamm, M., Schmidt, M., Hirth, T., Schulze, M., 2006. Biorefiners-industrial processes and products, Weinheim: Wiley-VCH, Volume:1, ISBN: 3-527-31027-4.
- Kapdan, I.K., Kargı, F., 2006. Biohydrogen production from waste materials, *Enzyme Microbial Technology* 38: 569-582, <https://doi.org/10.1016/j.enzmictec.2005.09.015>.
- Karasu, A., 2013. Çevresel Atıklar ve Nedenleri, Çevresel Atıkların Geri Dönüştürülmesi ve Yenilenebilir Enerji Olanaklarının Araştırılması. Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya A.B.D. Yüksek Lisans Tezi. Bilecik.
- Kartal, N., Aysal, S., Terzi, E., Yılgör, N., Yoshimura, T., and Tsunoda, K., 2013. Wood and Bambo-PP Composites: Fungal and Termite Resistance, Water Absorption, and FT-IR analyses, *BioResources* 8(1):1222-1224, DOI:10.15376/biores.8.1.1222-1244.
- Kent, S.M., Leichti, R.J., Morrell, J.J., Rosowsky, D.V., Kelley, S.S. 2006. Analytical tools to predict changes in properties of oriented strandboard exposed to the fungus *Postia placenta*. *Holzforschung* 60: 332– 338, DOI:10.1515/HF.2006.053.
- Kern, A.P., Amor, L.V., Angulo, S.C., Montelongo, A., 2018. Factors influencing temporary wood waste generation in high-rise building construction, *Waste Management* 78, DOI:10.1016/j.wasman.2018.05.057.
- Kılıç, N., 2014. Orman Ürünleri Sanayi. İzmir Ticaret Odası Ar&Ge Bülten.
- Kılınçarslan, Ş., Türker, Y., Ş., İnce, M., 2020. Prediction of Heat-Treated Cedar Wood Swelling and Shrinkage With Artificial Neural Networks and Random Forest Algorithm, *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi* 8(5): 200-205, Journal of Engineering Sciences and Design, DOI: 10.21923/jesd. 825442, International Conference on Artificial Intelligence and Applied Mathematics in Engineering (ICAIAME 2020).
- Kobori, H., Higa, S., Tsuchikawa, S., Kojima, Y., Suzuki, S., 2017. Segregating wood wastes by repetitive principal component analysis of near infrared spectra, *Journal of Near Infrared Spectroscopy* 2017, Vol. 25(3) 180–187, DOI: 10.1177/0967033517714344.
- Kononenko, I., Kukar. M., 2007. Machine Learning and Data Mining. Horwood Publishing.

- Köseoğlu, Y. 2015. Türkiye’deki Odun Bazlı Levha Endüstrisinde Atıkların Tanımı, Sınıflandırılması Ve Analiz Yöntemleri, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, *Yüksek Lisans Tezi*.
- Krasznai, D.J., Champagne, P., Cunningham, M.F., 2012. Quantitative characterization of lignocellulosic biomass using surrogate mixtures and multivariate techniques, *Bioresource Technology* 110: 652–661, DOI:10.1016/j.biortech.2012.01.089.
- Kurata, Y., 2018. Accuracy of Predicting the moisture content of three types of wood sections using mean infrared spectroscopy, "Wood moisture content by NIR", *Bioresources* 13(4):8444-8454.
- Lestander, T.A. and Rhen, C. 2005. Multivariate NIR spectroscopy models for moisture; ash and calorific content in biofuels using bi-orthogonal partial least square regression. *Analyst* 130: 1182– 1189.
- Liu,Y., Hu,J., Gao,J., Guo,H., 2015. Wood Veneer Dyeing Enhancement by Ultrasonic-assisted Treatment, *BioResources* 10(1): 1198-1212, DOI:10.15376/biores.10.1.1198-1212.
- Liu,X.,Y., Timar, M., C., Varodi, A., M., Sawyer,G., 2017. An investigation of accelerated temperature-induced ageing of four wood species: colour and FTIR, *Wood Sci Technol* 51:357–378, DOI 10.1007/s00226-016-0867-4.
- Liyang, L.W., Li, G. J., 2012. 2nd International Conference on Electronic & Mechanical Engineering and Information Technology, Atlantis Press, Paris, France, Shenyang, Liaoning, China.
- Lunguleasa, A., Ayrılmış, N., Spirchez, C., and Croitoru, C., 2019. "Sawdust waste torrefaction," *BioResources* 14(4):7821-7839.
- Mancini, M., Rinnan, A., Pizzi, A., Toscano, G., 2019. Use of Fourier transform near infrared spectroscopy for the detection of residues from wood processing industry in the pellet sector, in Proc. 18th Int. Conf. Near Infrared Spectrosc., Ed by S.B. Engelsen, K.M. Sørensen and F. van den Berg. IM Publications Open, Chichester, pp. 77–84, <https://doi.org/10.1255/nir2017.077>.
- Mancini,M., Rinnan,A.2022. Classification of Waste Wood Categories according to the Best Reuse Using FT-NIR Spectroscopy and Chemometrics, SSRN , pp 1-31, <https://ssrn.com/abstract=4096971> or <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4096971>.
- Mantau, U., Saal, U., Prins, K., Steierer, F., Lindner, M., Verkerk, H., Eggers, J., Leek, N., Oldenburger, J., Asikainen, A., 2010. *Real Potential for Changes in Growth and Use of*

- EU Forests*; Final Report for EU Food Project; University of Hamburg: Hamburg, Germany, 160p.
- Marchessault, R.H.,1962. Application of infra-red spectroscopy to cellulose and wood polysaccharides. *Pure and Applied Chemistry* 5:107-129.
- Mauruschat, D, Plinke, B., Aderhold,J., Gunschera, J., Meinschmidt, P., Salthammer, T., 2015. Application of near-infrared spectroscopy for the fast detection and sorting of wood–plastic composites and waste wood treated with wood preservatives, *Wood Sci Technol* DOI 10.1007/s00226-015-0785-x.
- Mc Millan James, D, 1994. Pretreatment of Lignocellulosic Biomass“, Washington,DC, 1994.
- Mertler, C. A., Vannatta, R. A., 2005. Advanced and multivariate statistical methods: Practical application and interpretation (3rd ed.). Glendale, CA: Pyczak Publishing.
- Michell, A.J.,Schimleck, L.R. 1998. Further classification of eucalypt pulpwoods using principal components analysis of near-infrared spectra. *Appita Journal* 51: 127–131.
- Mickey, 2014. Atıkların Sınıflandırması,14 Eylül.Erişilebilir link: <http://www.slideserve.com/mickey/atiklarin-siniflandirmasi>.
- Miguel, E.P.,Melo,R.R., and Menezzi,C.H.S.D., 2018. Using Artificial Neural Networks in Estimating Wood Resistance, *Maderas.Ciencia y tecnologia* 20(4): 531-542,DOI:10.4067/S0718-221X2018005004101.
- Montgomery, D.C., Peck, E.A.,Vining, G.G., 2012. Introduction to Linear Regression Analysis, Fifth Edition, Wiley Series In Probability And Statistics, Published by John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.
- Moreno,A.,I., Font,R., 2015.Pyrolysis of furniture wood waste: Decomposition and gases evolved, *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* xxx (2015) xxx–xxx,), <http://dx.doi.org/10.1016/j.jaap.2015.03.008>.
- Mrówka, M., Szymiczek, M., Skonieczna, M., 2020. The Impact of Wood Waste on the Properties of Silicone-Based Composites. *Polymers* 13: 7.
- Müller-Hagedorn M, Bockhorn H, Krebs L, Müller U , 2003. A comparative kinetic study on the pyrolysis of three different wood species. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 6, 231-249, [https://doi.org/10.1016/S0165-2370\(03\)00065-2](https://doi.org/10.1016/S0165-2370(03)00065-2).
- Müller, G., Schöpfer,C., Vos,H., Kharazipour,A., and Polle,A., 2009. FTIR-ATR Spectroscopic Analyses Of Changes In Wood Properties During Particle- and Fibreboard Production Of Hard- And Softwood Trees, *BioResources* 4(1):49-71.

- Naumann, A., Gonzales, M.N., Peddireddi, S., Kues, U., Polle, A., 2005. Fourier transform infrared microscopy and imaging: Detection of fungi in wood. *Fungal Genetics and Biology* 42:829-835, DOI:10.1016/j.fgb.2005.06.003.
- Nexcity, 2022. "Reforestration Hubs" Are Saving Urban Trees From Heading to Landfills, Geraadpleegd op 14 July 2022, van <https://nnextcity.org/urbanist-news/reforestation-hubs-are-saving-urban-trees-from-heading-to-landfills>.
- Örüs, 1991. Orman Ürünleri Sanayi Genel Müdürlüğü, Orman Ürünleri Sanayi Kurumu Genel Müdürlüğü, 1980-1990 Faaliyetleri, s:133, Ankara, 1991.
- Özbek, L. 2017. Olasılık ve Algoritma Tasarımına Giriş, Akademisyen Yay. 2017.
- Özdağ, M. E., Yeşilkaya, M. & Çabuk, Y. 2017. Estimation of Turkey and Germany's Furniture Foreign Trade Using Artificial Neural Networks. *Journal of Bartın Faculty of Forestry* 19(2): 136-143, DOI: 10.24011/barofd.354497.
- Özer, E., 2015. *Epilepsi Hastalığının Dalgacık Dönüşümleri ve Yapay Sinir Ağları ile Tanımlanması*, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Fen Bilimler Fakültesi, İstatistik Bölümü, Yüksek Lisans Tezi.
- Özertan, G. (Prof.), Çoşkun, A.(Doç.), 2021. Masif Ahşap Sektör Raporu, Boğaziçi Üniversitesi, 15 Aralık 2021.
- Özmen N, Çetin NS, Narlıoğlu N, Çavuş V, Altuntaş E., 2014. MDF atıklarının odun plastik kompozitlerin üretiminde değerlendirilmesi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi* 15: 65-71.
- Öztemel, E., 2006. Yapay Sinir Ağları (2. Baskı). İstanbul: Papatya Yayıncılık.
- Öztürk, F. , Özbek. L., Matematiksel Modelleme ve Simülasyon, Pigeon Yay. 2016.
- Pandey, K. K., Pitman, A. J. , 2003. FTIR studies of the changes in wood chemistry following decay by brown-rot and white-rot fungi, *International Biodeterioration and Biodegradation* 52(3):151-160, [https://doi.org/10.1016/S0964-8305\(03\)00052-0](https://doi.org/10.1016/S0964-8305(03)00052-0).
- Pandey K.K., 2005. Study of the effect of photo-irradiation on the surface chemistry of wood. *Polym Degrad Stab* 90:9, <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2005.02.009>.
- Pandey KK, Vuorinen T., 2008. Comparative study of photodegradation of wood by a UV laser and a xenon light source. *Polym Degrad Stab* 93:2138–2146, DOI:10.1016/j.polymdegradstab.2008.08.013.
- Peek, R.-D., 2004. Atık Odunun Atılımı ve Geri Kazanımı için Avrupa Direktifleri ve Uluslararası Yönetmelikler, Environmental Impacts of Preservative-Treated Wood Feb

- 8-11, Orlando, FL, USA, Federal Research Center for Forestry and Forest Products (BFH) Leuschnerstr,91, D-21031 Hamburg, Germany.
- Pentti H, Anssi N, Andreas O, Markku T, Johanna V.,2002. Forest Related Perspectives for Regional Development in Europa. Leiden: Brill Academic Publishers.
- Pereira, K., D.,Carneiro, A., P.,S., Santow, G.,R.,d., Carneiro, A.,d.,C.,O., Leite,H., G.,Borges, F.,P., 2021. Study Of The Influence Of Wood Properties On The Charcoal Production: Applying The Random Forest Algorithm, *Revista Árvore* 45:e4502, <http://dx.doi.org/10.1590/1806-908820210000002>, pp.1-9.
- Poli, T. Chiantore, O. Nervo, M. Piccirillo, A., 2011. Mid-IR fiber-optic reflectance spectroscopy for identifying the finish on wooden furniture, *Anal. Bioanal. Chem.* 400 :1161–1171, DOI:10.1007/s00216-011-4834-5.
- Popescu,C.M.,Popescu,M.C.,Singurel,G.,Vasile,C.,Argyropoulos,D.S.,Willfor,S.,2007.Spectral characterization of eucalyptus wood,*Apply Spectroscopy* 61:1168-1177, DOI:10.1366/000370207782597076.
- Popescu,C-M.,Popescu,M.-C.,2013. A near infrared spectroscopic study of the structural modifications of lime (*Tilia cordata* Mill.) wood during hydro-thermal treatment, *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy* 115 : 227–233, Romania,DOI: 10.1016/j.saa.2013.06.002.
- Ragland KW, Aerts DJ, Baker AJ, 1991. Properties of wood for combustion analysis. *Bioresource Technology* 37(2): 161-168, [https://doi.org/10.1016/0960-8524\(91\)90205-X](https://doi.org/10.1016/0960-8524(91)90205-X).
- Rials, T., Kelley, S., and So, C.-L., 2002. Use of Advanced Spectroscopic Techniques for Predicting The Mechanical Properties of Wood Composites',*Wood and Fiber Science* 34 (3): 398-407.
- Rosu D, Teacă CA, Bodîrlău R, Rosu L.,2010. FTIR and colour change of the modified wood as a result of artificial light irradiation. *J Photochem Photobiol B* 99(3):144–149, DOI:10.1016/j.jphotobiol.2010.03.010.
- Russ,A., Fiserova,M.,Gigac,J.,2009.Preliminary study of wood species identification by NIR spectroscopy,*Wood Research* 54(4):23-32.
- Sahoo , S., Chakraborti , C. K. ,Mishra , S. C., Naik, S., and Nanda, U. N., 2011. FTIR and Raman spectroscopy as a tool for analyzing sustained release hydrogel of ciprofloxacin/ carbopol polymer, *International Journal of Pharmaceutical Sciences and Research (IJPSR 2011)* 2(2):268-277,ISSN:0975-8232,India.

- Salamat, A., Ainane , A, Dahbi ,L., Khammour ,F., Adib ,M., Kenz, Abdelkbir, Talbi , M., Abba ,E.A., Elkouali ,M., Amane,T.,2018. Valorization the waste of the wood industry (sawdust) and their use as adsorbent material: physicochemical characterization and modeling of optimization sorption using statistical approach, *J. Material Environmental Science* 9 (1): 201-211, <https://doi.org/10.26872/jmes.2018.9.1.23>, <http://www.jmaterenvironsci.com>.
- Sandak, A., Sandak, J., Negri, M. 2010. *Relationship between near-infrared (NIR) spectra and the geographical provenance of timber. Wood Science and Technology* 45(1): 35–48. doi:10.1007/s00226-010-0313-y.
- Sandak , A., Sandak J., Janiszewska,D., Hiziroglu,S.,Petrillo, M. , Grossi, P.,2018. Prototype of the Near-Infrared Spectroscopy Expert System for Particleboard Identification, *Hindawi Journal of Spectroscopy* Volume 2018, Article ID 6025163, 11 pages, <https://doi.org/10.1155/2018/6025163>.
- Santos, H. T. L, Oliveira, A.M., Melo, P.G., Freitas, W., Freitas, A.P. , 2012. Chemometrics: Theory and Application, In: *Multivariate Analysis in Management, Engineering and the Science*, Edited by, Freitas L, InTech Press, UK, 264 p.
- Sarah, M.,Stai,S.,M.,Wiseman,P.,E.,Fernholz,K.,2017.Urban Wood Utilization in Virginia, North Carolina, and Georina:A comparison of Industry Practices and Perceptions,Dovetail Partners,Inc.,October 2017.
- Sayar, Ş., 2012. Sakarya İli Entegre Atık Yönetimi ve Ambalaj Atıklarının Geri Dönüşümü. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, *Yüksek Lisans Tezi*. Sakarya.
- Schimleck, L.R., Michell, A.J., Vinden, P. 1996. Eucalypt wood classification by NIR spectroscopy and principal components analysis. *Appita Journal* 49: 319– 324.
- Schimleck, L.R., Michell, A.J., Raymond, C.A.2000. Effect of site on the within-tree variation of wood properties of eucalypts as determined by NIR spectroscopy and multivariate analysis. *Appita Journal* 53: 318– 322.
- Schwanninger,M.,Rodrigues,J.C.,Peraira,H.,and Hinterstoisser,B.,2004. “Effects of short-time vibratory ball minning on the shape of FT-IR spectra of wood and cellulose,” *Vibrational Spectroscopy* 36(1): 23-40.DOI:10.1016/j.vibspec.2004.02.003.
- Scotland R., 2003. The Recycling of waste wood by thermal conversion, A Report to identify the feasibility of utilizing waste wood as a feedstock for use in Bioenergy Technologies, Glasgow.

- Sharma,S.,Chophi,R.,Kaur,C.,Singh,R.,2021. Chemometric analysis on ATR-FT-IR spectra of spray paint samples for forensic purposes, *J Forensic Sci.* 2021;00:1–11, DOI: 10.1111/1556-4029.14806.
- Shugar, A. N., Drake, B. L., Kelley, G. 2021. Rapid identification of wood species using XRF and neural network machine learning. *Scientific reports* 11(1): 1-10.
- Sims R.E.H., 2002. The brilliance of Bioenergy: In business and practice, James and James Ltd, London
- Sirico, A., Bernardi, P., Sciancalepore, C., Vecchi, F., Malcevschi, A., Belletti, B., Milanese, D., 2021. Biochar from wood waste as additive for structural concrete. *Constr. Build. Mater* 303: 124500, DOI:10.1016/j.conbuildmat.2021.124500.
- Skoog, D. A., West, D. M., 1981. Principles of instrumental analysis. II. ed. Tokyo: HoltSaunders International.
- Smidt, E. and Schwanninger, M., 2005. Characterization of Waste Materials Using FTIR Spectroscopy: Process Monitoring and Quality Assessment, *Spectroscopy Letters* 38: 247–270, ISSN 0038-7010 print/1532-2289, DOI: 10.1081/SL-200042310.
- Smidt, E. and Meissl, K., 2007. The applicability of Fourier transform infrared (FT-IR) spectroscopy in waste management, *Waste Management* 27 : 268-276, DOI: 10.1016/j.wasman.2006.01.016.
- Smidt, E., Meissl, K., Schwanninger, M., and Lechner, 2008. Classification of waste materials using Fourier transform infrared spectroscopy and soft independent modeling of class analogy, *Waste Management* 28 : 1699–1710, DOI:10.1016/j.wasman.2007.08.003.
- So, C.L., Lebow, S.T., Groom, L.H., Rials, T.G. 2004. The application of near infrared (NIR) spectroscopy to inorganic preservative-treated wood. *Wood and Fiber Science* 36: 329– 336.
- Söylemez, A., 2018. Akıllı Kentlerde Atık Yönetimi ve Dünya'dan Akıllı Atık Yönetimi Üzerine Örnekler, *Yasama Dergisi* 37:87-100, 20 June 2018.
- Sözen,E., Gündüz,G.,Aydemir,D.,Güngör,E., 2017. Biyokütle Kullanımının Enerji, Çevre, Sağlık ve Ekonomi Açısından Değerlendirilmesi, *Bartın Orman Fakültesi Dergisi* 19(1): 148-160,Araştırma Makalesi, Journal of Bartın Faculty of Forestry p-ISSN:1302-0943,e-ISSN:1308-5875, Bartın.
- Spirchez ,C., Ayrilmis, N., Lunguleasa, A. , Croitoru , C., Pruna, M., 2019. Some properties of pellets made of spruce and beech torrefied sawdust, *Environmental Research &*

- Technology 2* (1):26-33, ISSN: 2636-8498, EurAsia Waste Management Symposium 2018, Istanbul, Turkey.
- Stirling, R., Morris, P. 2009. Discolorization of blue stain in lodgepole pine sapwood by hypochlorite bleaching and light exposure. *Forest Prod. J.* 59: 47 – 52.
- Stuart, B.,2004. Infrared Spectroscopy: Fundamentals and applications, John Wiley and Sons, 2004.
- Sun, C.,Tan,H., Zhang, Y., 2023. Simulating the pyrolysis interactions among hemicellulose, cellulose and lignin in wood waste under real conditions to find the proper way to prepare bio-oil, *Renewable Energy* 205:851-863, March 2023, <https://doi.org/10.1016/j.renene.2023.02.015>.
- Taşpınar, F., 2012.Entegre Katı Atık Yönetimi, Düzce'nin çevre sorunları ve çözüm önerileri çalıştayı, 4 Aralık,Düzce Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü, Konuralp-Düzce, Erişilebilir link:<http://docplayer.biz.tr/4494307-Entegre-kati-atik-yonetimi.html>.
- Tatlıdil, H., 2002. Uygulamalı Çok Değişkenli İstatistiksel Analiz, Ziraat Matbaacılık, Ankara.
- Taylor A, Lloyd J.2007. Potential of near infrared spectroscopy to quantify boron concentration in treated wood. *Forest Production Journal* 57:116–117.
- Temiz, A. Eikenes, M., Yıldız, U.C., Evans, F.G., Jacøbsen, B., 2003. IRG/WP 03- 20262, Brisbane, Australia, May 14–18.
- Temiz ,A., Terziev ,N., Eikenes ,M., Hafren,J. 2007. Effect of accelerated weathering on surface chemistry of modified wood, *Applied Surface Science* 253 : 5355-5362, <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2006.12.005>.
- Tezel, Ö., Yıldız, E. 2020. Sürdürülebilir Atık Yönetimi Uygulamalarında Dünya Ve Türkiye Karşılaştırması: Edikab Örneği. *Social Sciences Research Journal*, 9 (2): 35-48, Trakya.
- Thygesen, L.G., Lundqvist, S.O. 2000^a.NIR measurement of moisture content in wood under unstable temperature conditions. Part 1. Thermal effects in near infrared spectra of wood. *Journal of Near Infrared Spectroscopy*, 8: 183–189.
- Thygesen, L.G., Lundqvist, S.O. 2000^b. NIR measurement of moisture content in wood under unstable temperature conditions. Part 2. Handling temperature fluctuations. *Journal of Near Infrared Spectroscopy*, 8: 191– 199.
- Tıbbi Atıkların Kontrolü Yönetmeliği, 2005. RG.22.07.2005 tarih ve 27555 sayı.Erişim linki: <https://www.resmigazete.gov.tr/ eskiler/2005/07/20050722-16.htm>

- TOBB, 2015. Türkiye Orman Ürünleri Meclisi Sektör Raporu. Türkiye Odalar ve Borsalar Birliği.
- Tokgöz, M., Sarmaşık, N. M., 1982. “Çöp Sorunu ve Sağlık”, Çevre 82Sempozyumu, İzmir.
- TORID, 2017. Eylem Planı 1-2-3. <https://www.torid.org.tr>, 2017 Türkiye Ormancılığı (2019). Türkiye Ormancılar Derneği.
- Toscano, G., Rinnan, A., Pizzi, A., ve Mancini, M., 2017. The Use of Near Infrared (NIR) Spectroscopy and Principal Component Analysis (PCA) To Discriminate Bark and Wood of The Most Common Species of The Pellet Sector, *Energy Fuels* 31:2814-2821, American Chemical Society, DOI 10.1021/csenergyfuels.6b02421, Italy.
- Traore, M., Kaal, J., Cortizas, A., M., 2016. Application of FTIR spectroscopy to the characterization of archeological wood, *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy* 153 : 63–70, Spain, DOI:10.1016/j.saa.2015.07.108.
- Traoré, M., Kaal, J., & Martínez Cortizas, A. (2017). *Differentiation between pine woods according to species and growing location using FTIR-ATR. Wood Science and Technology*, 52(2), 487–504. doi:10.1007/s00226-017-0967-9
- TS EN ISO 17225-1, 2021. Katı biyoyakıtlar - Yakıt özellikleri ve sınıfları - Bölüm 1: Genel gerekler standardı , Eylül 2021, ICS 27.190; 75.160.40.
- Tsuchikawa, S., Inoue, K., Noma, J. ve Hayashi, K., 2003^a. Application of near-infrared spectroscopy to wood discrimination, *Journal of Wood Science* 49(1): 29–35. <https://doi.org/10.1007/s100860300005>.
- Tsuchikawa, S., Yamato, K., and Inoue, K. , 2003^b . Discriminant analysis of wood-based materials using near-infrared spectroscopy. *Journal of Wood Science* 49: 275– 280.
- Tsuchikawa, S. and Yamato, K. 2003^c Discriminant analysis of wood-based materials with weathering damage by near infrared spectroscopy. *Journal of Near Infrared Spectroscopy* 11: 391– 399.
- Tuncer, F., D. 2020. Yakın Kızılötesi Spektroskopisinin Odun Teşhisinde Kullanımı, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Doktora tezi.
- Tutuş, A., Tozluoğlu, A., 2008. Orman Endüstrilerinde Hava Kirliliği ve Çözüm Önerileri, Hava Kirliliği ve Kontrolü Ulusal Sempozyumu-2008, 22-25 Ekim 2008, Hatay.
- TÜİK, 2019. Türkiye İstatistik Kurumu (Son erişim tarihi: 05.01.2020) .

- Türkoğlu, T., Baysal, E., Ergun, M.E., Toker, H., Yüksel, M., Özçifci, A., 2015. Orman Ürünleri İşletmelerinde Odunsu Atık Yönetimi Uygulamalarının Değerlendirilmesi, December 2015, <https://www.researchgate.net/publication/313164241>.
- United Nations (UN). 2020. *The Sustainable Development Goals Report*; United Nations: New York, NY, USA.
- United Nations Economic Commission for Europe, 2021. *Forest Products Annual Market Review 2019–2020*: United Nations Publication: Geneva, Switzerland, 2021, ISBN 978-92-1-117257-7.
- Url-1 www.neokur.com > abc > lignoselulozik-atik-nedir Erişim tarihi: 15.03.2020
- Url-2 [https://www.hostingdergi.com.tr/yapay-zeka-ve-sinir-aglari/ZaferAgvar/2022/Erişim tarihi:10.12.2022](https://www.hostingdergi.com.tr/yapay-zeka-ve-sinir-aglari/ZaferAgvar/2022/Erisim-tarihi:10.12.2022).
- Url-3 [https://ece-akdagli.medium.com/makine-%C3%B6%C4%9Frenmesinde-random-forest-algoritmas%C4%B1-a79b044bbb31/Marc 4, 2021/Erişim tarihi:02.12.2022](https://ece-akdagli.medium.com/makine-%C3%B6%C4%9Frenmesinde-random-forest-algoritmas%C4%B1-a79b044bbb31/Marc-4,-2021/Erişim-tarihi:02.12.2022).
- Url-4 [https://miracozturk.com/python-ile-siniflandirma-analizleri-rastgele-orman-random-forest-algoritmasi/2018-2022/Erişim tarihi=05.12.2022](https://miracozturk.com/python-ile-siniflandirma-analizleri-rastgele-orman-random-forest-algoritmasi/2018-2022/Erişim-tarihi=05.12.2022)
- Url-5 <https://www.shimadzu.com/an/service-support/technical-support/analysis-basics/tipsftir/nir1.html> Erişim tarihi: 23.05.2023.
- Url-6 <http://t24.com.tr/haber/isvec-atiklarin-yuzde-99unu-nasil-geri-donusturuyor,610201>, E.T.: 14.03.2020.
- Url-7 <http://www.union.tokyo23seisou.lg.jp.e.de.hp.transer.com/somu/somu/kumiai/gaiyo/setsurit-su.html>, E.T.: 22.03.2020
- Url-8 <https://www.db.co.nz/Our-Company-Heritage/About-Us>, E.T.: 22.03.2020
- Url-9 <http://atiksahasi.com>, E.T.: 14.03.2020
- Url-10 <http://www.ebelediye.info/dosya/akilli-sehir-cozumlerinde-dunya-ornekleri>, E. T.: 17.03.2020.
- Url-11 <https://centrinno.eu/blog/recycling-wood-waste/2023/> Erişim tarihi=05.12.2022.
- Url-12 [https://www.slrecyclingltd.co.uk/benefits-of-recycling-wood/7 June 2023/](https://www.slrecyclingltd.co.uk/benefits-of-recycling-wood/7-June-2023/) Erişim tarihi=05.12.2022.
- Url-13 [https://www.epa.gov/facts-and-figures-about-materials-waste-and-recycling/wood-material-specific-data/3 December 2022/](https://www.epa.gov/facts-and-figures-about-materials-waste-and-recycling/wood-material-specific-data/3-December-2022/) Erişim tarihi=10.12.2022.
- Url-14 <https://aktifyonga.com/sayfa-1-hakkimizda.html/2020/> Erişim tarihi=22.12.2022
- Url-15 <https://www.mathworks.com/help/stats/classificationlearner-app.html/> Erişim tarihi: 10.03.2023.

- Via, B.K., Shupe, T.F., Groom, L.H., Stine, M., So, C.L. 2003. Multivariate modelling of density; strength and stiffness from near infrared spectra for mature, juvenile and pith wood of longleaf pine (*Pinus palustris*). *Journal of Near Infrared Spectroscopy* 11: 365– 378, DOI:10.1255/jnirs.388.
- Via, B.K., So, C.L., Shupe, T.F., Eckhardt, L.G., Stine, M., Groom, L.H. 2005. Prediction of wood mechanical and chemical properties in the presence and absence of blue stain using two near infrared instruments. *Journal of Near Infrared Spectroscopy* 13: 201– 212.
- Wagner, K., Schnabel, T., Barbu, M.C., and Petutschnig, A., 2015. Analysis of selected properties of fiberboard panels manufactured from wood and leather using the FTIR Spectroscopy Near Infrared Spectroscopy, DOI:10.1155/2015/691796.
- Wang, X., Yu, Z., Zhang, Y., Qi, C., Chang, W., 2018. Evaluation of ultrasonic-assisted dyeing properties of fast-growing poplar wood treated by reactive dye based on grey system theory analysis, *Journal of Wood Science* (2018) 64:861–871 <https://doi.org/10.1007/s10086-018-1768-y>.
- Williams, R.S., 2005. Weathering of wood, *Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites*, R.M. Rowell (ed.), CRC Press, Boca Raton, 139-185.
- Winter F, Wartha C, Hofbauer H., 1999. NO and N₂O formation during the combustion of wood, straw, malt waste and peat. *Bioresource Technology* 70(1): 39-49, [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(99\)00019-X](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(99)00019-X).
- Wolpert, D. H. 1992. Stacked generalization. *Neural networks* 5(2) :241-259.
- Workman, J. J., Weyer, L., 2012. *Practical Guide and Spectral Atlas for Interpretive Near Infrared Spectroscopy*, Taylor & Francis, Boca Raton, 2nd Edition, 6 April 2012, <https://doi.org/10.1201/b11894>.
- Xu, R., He, T., Da, Y., Liu, Y., Li, J., Chen, C., 2019. Utilizing Wood Fiber Produced with Wood Waste to Reinforce Autoclaved Aerated Concrete. *Constr. Build. Material* 208: 242–249.
- Yeşil, E. 2007. Alümit Cevherinin ICP-OES Çalışması, Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi.
- Yıldız, A., Genç, Ö., Bektaş, S., 1993. *Enstürümental analiz yöntemleri*. Ankara: Hacettepe Üniversitesi.

- Yilgor N, Dogu D, Moore R, Terzi E, Kartal SN 2013. Evaluation of fungal deterioration in Liquidambar orientalis Mill. heartwood by FT-IR and light microscopy. *BioResources* 8(2): 2805-2826.
- Yorulmaz, S. Y., 2006. Investigation of Emissions and Combustion Kinetics of Waste Wood Samples with Thermal and Spectral Methods (Doctoral dissertation, MSc Thesis: 70-127. Available online Available online <https://etd.lib.metu.edu.tr/upload/12607570/index.pdf> (access 30/08/2018)).
- Zhang, J. Wang, X. Zhang, S. Gao, Q., Li, J., 2013. Effects of Melamine Addition Stage on the Performance and Curing Behavior of Melamine-Urea-Formaldehyde (MUF) Resin, (2013), DOI:10.15376/biores.8.4.5500-5514.
- Zheng, Y., Zhao, J., Xu, F. Ve Li, Y., 2014. Pretreatment of lignocellulosic biomass for enhanced biogas production, *Progress in Energy and Combustion Sciences* 42:35-53, DOI:10.1016/j.pecs.2014.01.001.
- Zhou, Z. H., Li, M. 2005. Tri-training: Exploiting unlabeled data using three classifiers. *IEEE Transactions on knowledge and Data Engineering* 17(11): 1529-1541.
- Zhou, C., Jiang, W., Cheng, Q., Via, B. K., 2015. Multivariate calibration and model integrity for wood chemistry using Fourier transform infrared spectroscopy, *J. Anal Methods Chem.* 2015:1-9, DOI:10.1155/2015/429846.
- Zhuang, Z. Liu, Y., Ynag, Y., Shen, Y., and Gou, B., 2022. Color Regression and Sorting System of Solid Wood Floor, *Forests* 13(9):1454, <http://doi.org/10.3390/f13091454>.
- Zorba T, Papadopoulou E, Hatjiissaak A, Paraskevopoulos K, Chris- safis K, 2008. Urea-formaldehyde resins characterized by thermal analysis and FTIR method. *J Therm Anal Calorim* 92:29-33, DOI:10.1007/s10973-007-8731-2.

EKLER

EK-1

TS EN ISO 17225-1 (2021)

Annex B (informative)

Typical values of solid biomass fuels

Table B.1 — Typical values for virgin wood materials, without or with insignificant amounts of bark, leaves and needles

Parameter	Unit	Coniferous wood (1.1.3.4 and 1.2.1.4)		Broad-leaf wood (1.1.3.3 and 1.2.1.3)	
		Typical value	Typical variation	Typical value	Typical variation
Ash	% in mass d	0,3	0,1 to 1,0	0,3	0,2 to 1,0
Gross calorific value $Q_{\text{gross,d}}$	MJ/kg d	20,5	20,0 to 20,8	20,1	19,4 to 20,4
Net calorific value $Q_{\text{net,d}}$	MJ/kg d	19,1	18,5 to 19,8	18,9	18,4 to 19,2
Carbon, C	% in mass d	51	47 to 54	49	48 to 52
Hydrogen, H	% in mass d	6,3	5,6 to 7,0	6,2	5,9 to 6,5
Oxygen, O	% in mass d	42	40 to 44	44	41 to 45
Nitrogen, N	% in mass d	0,1	< 0,1 to 0,5	0,1	< 0,1 to 0,5
Sulfur, S	% in mass d	< 0,02	< 0,01 to 0,02	0,02	< 0,01 to 0,05
Chlorine, Cl	% in mass d	0,01	< 0,01 to 0,03	0,01	< 0,01 to 0,03
Fluorine, F	% in mass d	< 0,000 5	< 0,000 5	< 0,000 5	< 0,000 5
Aluminium, Al	mg/kg d	100	30 to 400	20	< 10 to 50
Calcium, Ca	mg/kg d	900	500 to 1 000	1 200	800 to 20 000
Iron, Fe	mg/kg d	25	10 to 100	25	10 to 100
Potassium, K	mg/kg d	400	200 to 500	800	500 to 1 500
Magnesium, Mg	mg/kg d	150	100 to 200	200	100 to 400
Manganese, Mn	mg/kg d	100	40 to 200	83	not specified
Sodium, Na	mg/kg d	20	10 to 50	50	10 to 200
Phosphorus, P	mg/kg d	60	50 to 100	100	50 to 200
Silicon, Si	mg/kg d	150	100 to 200	150	100 to 200
Titanium, Ti	mg/kg d	< 20	< 20	< 20	< 20
Arsenic, As	mg/kg d	< 0,1	< 0,1 to 1,0	< 0,1	< 0,1 to 1,0
Cadmium, Cd	mg/kg d	0,10	< 0,05 to 0,50	0,10	< 0,05 to 0,50
Chromium, Cr	mg/kg d	1,0	0,2 to 10,0	1,0	0,2 to 10,0
Copper, Cu	mg/kg d	2,0	0,5 to 10,0	2,0	0,5 to 10,0
Mercury, Hg	mg/kg d	0,02	< 0,02 to 0,05	0,02	< 0,02 to 0,05
Nickel, Ni	mg/kg d	0,5	< 0,1 to 10,0	0,5	< 0,1 to 10,0
Lead, Pb	mg/kg d	2,0	< 0,5 to 10,0	2,0	< 0,5 to 10,0

Table B.1 (continued)

Parameter	Unit	Coniferous wood (1.1.3.4 and 1.2.1.4)		Broad-leaf wood (1.1.3.3 and 1.2.1.3)	
		Typical value	Typical variation	Typical value	Typical variation
Vanadium, V	mg/kg d	< 2	< 2	< 2	< 2
Zinc, Zn	mg/kg d	10	5 to 50	10	5 to 100

^a Data are obtained from a combination of mainly Swedish, Finnish, Danish, Dutch and German research. Formulas how to calculate different bases are given in ISO 16993

EK-2

TS EN ISO 17225-1 (2021)

Table B.2: Typical values for virgin bark materials.

Parameter	Unit	Bark from coniferous wood (1.1.6 and 1.2.1.5)		Bark from broad-leaf wood (1.1.6 and 1.2.1.5)	
		Typical value	Typical variation	Typical value	Typical variation
Ash	w-% d	1,5	< 1 to 5	1,5	0,8 to 3,0
Gross calorific value	MJ/kg d	20,4	18,0 to 21,4	20	18,0 to 22,7
Net calorific value	MJ/kg d	19,2	17,5 to 20,5	19	17,1 to 21,3
Carbon, C	w-% d	52	48 to 55	52	47 to 55
Hydrogen, H	w-% d	5,9	5,5 to 6,4	5,8	5,3 to 6,4
Oxygen, O	w-% d	38	34 to 42	38	32 to 42
Nitrogen, N	w-% d	0,5	0,3 to 0,9	0,3	0,1 to 0,8
Sulfur, S	w-% d	0,03	< 0,02 to 0,05	0,03	< 0,02 to 0,20
Chlorine, Cl	w-% d	0,02	< 0,01 to 0,05	0,02	< 0,01 to 0,05
Fluorine, F	w-% d	0,001	< 0,000 5 to 0,002	not specified	not specified
Aluminium, Al	mg/kg d	800	400 to 1 200	50	30 to 100
Calcium, Ca	mg/kg d	5 000	1 000 to 15 000	15 000	10 000 to 20 000
Iron, Fe	mg/kg d	500	100 to 800	100	50 to 200
Potassium, K	mg/kg d	2 000	1 000 to 3 000	2 000	1 000 to 3 200
Magnesium, Mg	mg/kg d	1 000	400 to 1 500	500	400 to 1 000
Manganese, Mn	mg/kg d	500	9 to 840	190	not specified
Sodium, Na	mg/kg d	300	70 to 2 000	100	20 to 1 000
Phosphorus, P	mg/kg d	400	20 to 600	400	300 to 700
Silicon, Si	mg/kg d	2 000	500 to 5 000	2 500	2 000 to 20 000
Arsenic, As	mg/kg d	1,0	0,1 to 4,0	0,4	0,1 to 4
Cadmium, Cd	mg/kg d	0,5	0,2 to 1,0	0,5	0,2 to 1,2
Chromium, Cr	mg/kg d	5	1 to 10	5	1 to 30
Copper, Cu	mg/kg d	5	3 to 30	5	2 to 20
Mercury, Hg	mg/kg d	0,05	0,01 to 0,1,	< 0,05	not specified
Nickel, Ni	mg/kg d	10	2 to 20	10	2 to 10
Lead, Pb	mg/kg d	4	1 to 30	15	2 to 30
Vanadium, V	mg/kg d	1,0	0,7 to 2,0	2	1 to 4
Zinc, Zn	mg/kg d	100	70 to 200	50	7 to 200

^a Data are obtained from a combination of mainly Swedish, Finnish, Danish, Dutch and German research. Formulas how to calculate different bases are given in ISO 16993.

Table B.2 (continued)

Parameter	Unit	Bark from coniferous wood (1.1.6 and 1.2.1.5)		Bark from broad-leaf wood (1.1.6 and 1.2.1.5)	
		Typical value	Typical variation	Typical value	Typical variation
Zinc, Zn	mg/kg d	100	70 to 200	50	7 to 200

^a Data are obtained from a combination of mainly Swedish, Finnish, Danish, Dutch and German research. Formulas how to calculate different bases are given in ISO 16993.



EK-3

TS EN ISO 17225-1 (2021)

Table B.3 — Typical values for virgin wood materials, logging residues

Parameter	Unit	Coniferous wood (1.1.4.2 and 1.1.4.4)		Broad-leaf wood (1.1.4.1 and 1.1.4.3)	
		Typical value	Typical variation	Typical value	Typical variation
Ash	% in mass d	3,0	< 1 to 10	5,0	2 to 10
Gross calorific value $Q_{VGR,d}$	MJ/kg d	20,5	19,5 to 21,5	19,7	19,5 to 20,0
Net calorific value $Q_{N,d}$	MJ/kg d	19,2	18,5 to 20,5	18,7	18,3 to 18,5
Carbon, C	% in mass d	51	48 to 52	51	50 to 51
Hydrogen, H	% in mass d	6,0	5,7 to 6,2	6,0	5,8 to 6,1
Oxygen, O	% in mass d	40	38 to 44	40	40 to 43
Nitrogen, N	% in mass d	0,5	0,3 to 0,8	0,5	0,3 to 0,8
Sulfur, S	% in mass d	< 0,02	< 0,02 to 0,06	0,04	0,01 to 0,08
Chlorine, Cl	% in mass d	0,01	< 0,01 to 0,04	0,01	< 0,01 to 0,02
Fluorine, F	% in mass d	0,001	not specified	0,002	0,0 to 0,001
Aluminium, Al	mg/kg d	not specified	not specified	250	1 to 3 000
Calcium, Ca	mg/kg d	5 000	2 000 to 8 000	4 000	3 000 to 5 000
Iron, Fe	mg/kg d	1 500	500 to 2 000	150	10 to 1 500
Potassium, K	mg/kg d	2 000	1 000 to 4 000	1 500	1 000 to 4 000
Magnesium, Mg	mg/kg d	800	400 to 2 000	250	100 to 400
Manganese, Mn	mg/kg d	130	80 to 170	120	10 to 800
Sodium, Na	mg/kg d	200	75 to 300	100	20 to 200
Phosphorus, P	mg/kg d	500	not specified	300	30 to 1 000
Silicon, Si	mg/kg d	3 000	200 to 10 000	150	75 to 250
Titanium, Ti	mg/kg d	not specified	not specified	7	1 to 40
Arsenic, As	mg/kg d	0,6	0,2 to 1	1	0 to 2
Cadmium, Cd	mg/kg d	0,2	0,1 to 0,8	0,5	0 to 3
Chromium, Cr	mg/kg d	1	0,7 to 1,2	8	1 to 40
Copper, Cu	mg/kg d	10	10 to 200	10	1 to 100
Mercury, Hg	mg/kg d	0,03	not specified	0,02	0 to 2
Nickel, Ni	mg/kg d	1,6	0,4 to 3	10	1 to 80
Lead, Pb	mg/kg d	1,3	0,4 to 4	1,5	0,5 to 5
Vanadium, V	mg/kg d	0,6	0,1 to 1	0,5	0,1 to 3
Zinc, Zn	mg/kg d	20	8 to 30	50	2 to 100

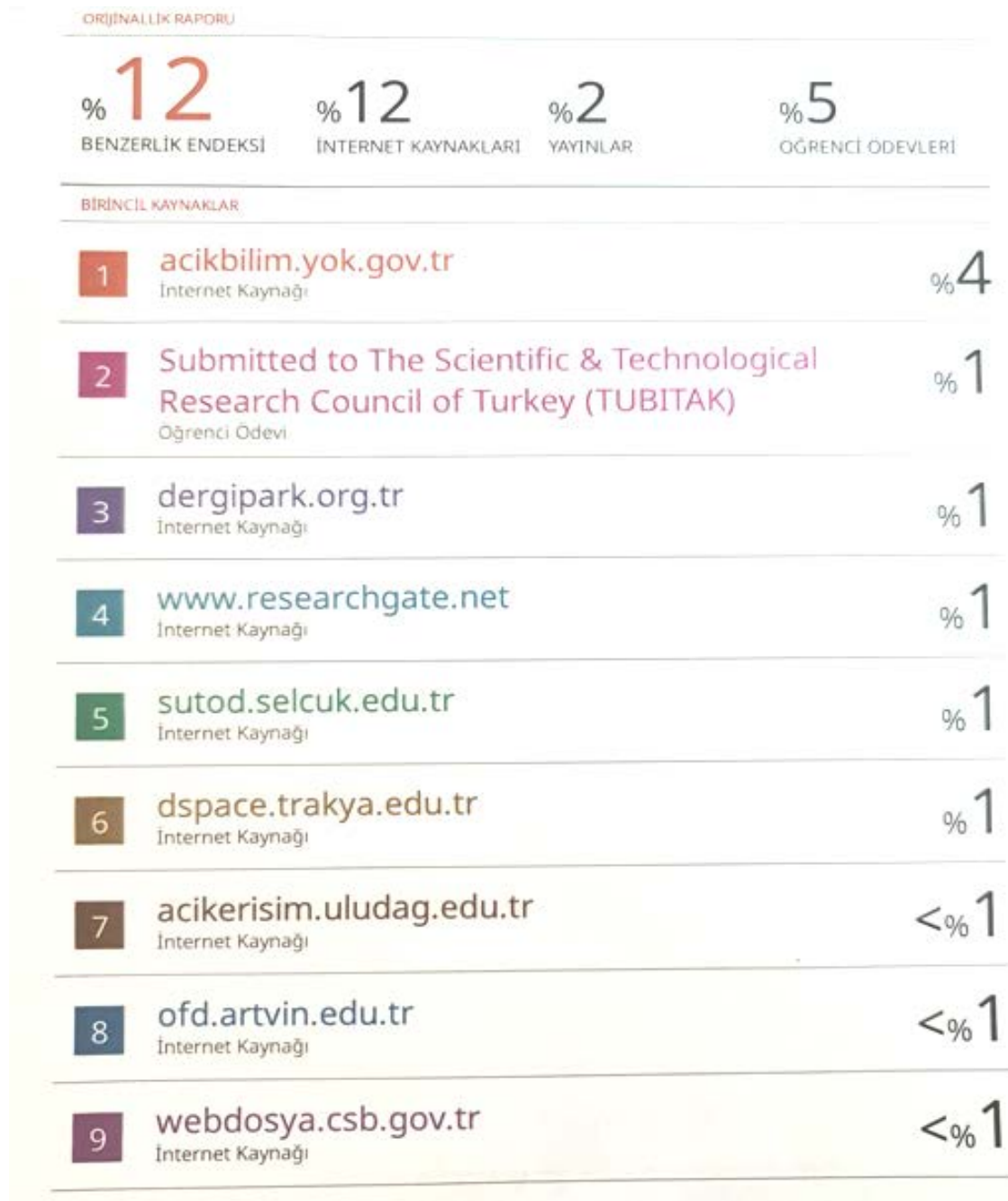
Table B.3 (continued)

Parameter	Unit	Coniferous wood (1.1.4.2 and 1.1.4.4)		Broad-leaf wood (1.1.4.1 and 1.1.4.3)	
		Typical value	Typical variation	Typical value	Typical variation
^a Data are obtained from a combination of mainly Swedish, Finnish, Danish, Dutch, Spanish and German research. Formulas how to calculate different bases are given in ISO 16993.					



İNTİHAL RAPORU İLK SAYFASI

ENDÜSTRİYEL LİGNOSELÜLOZİK ATIKLARIN KARAKTERİZASYONU VE SINIFLANDIRILMASINDA KEMOMETRİK YÖNTEMLERİN UYGULANMASI



KURUM İZİNİ YAZILARI

Uyarı: Canlı ve cansız deneklerle yapılan tüm çalışmalar için kurum izin belgelerinin eklenmesi zorunludur. Gizlilik ve mahremiyet içeren durumlarda kurum adı kapatılmalıdır.

- Kurum izni gerekmektedir.
- Kurum izni gerekmemektedir.



Mehtap ERDİL
(İmza)