



T.C.

BARTIN ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

ORMAN ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**YAPAY ZEKÂYA DAYALI OLARAK İNSANLARIN KATI EVSEL
ATIKLARININ TAHMİNİ VE ORMAN ENDÜSTRİSİ'NİN
KULLANIMI İÇİN OPTİMİZASYON**

AYLY ACHYLOV

DANIŞMAN

DOÇ. DR. TİMUÇİN BARDAK

BARTIN-2023



T.C.

BARTIN ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

ORMAN ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**YAPAY ZEKÂYA DAYALI OLARAK İNSANLARIN KATI EVSEL
ATIKLARININ TAHMİNİ VE ORMAN ENDÜSTRİSİ'NİN KULLANIMI İÇİN
OPTİMİZASYONU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

AYLY ACHYLOV

BARTIN-2023

BEYANNAME

Bartın Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre Doç. Dr. Timuçin BARDAK danışmanlığında hazırlamış olduğum “YAPAY ZEKÂYA DAYALI OLARAK İNSANLARIN KATI EVSEL ATIKLARININ TAHMİNİ VE ORMAN ENDÜSTRİSİ’NİN KULLANIMI İÇİN OPTİMİZASYONU” başlıklı yüksek lisans tezimin bilimsel etik değerlere ve kurallara uygun, özgün bir çalışma olduğunu, aksinin tespit edilmesi halinde her türlü yasal yaptırımını kabul edeceğimi beyan ederim.

12.01.2023

Ayly ACHYLOV

ÖNSÖZ

Bu çalışma Bartın Üniversitesi Orman Fakültesi Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek lisansı tez çalışmamızda Yapay Zekâya Dayalı Olarak İnsanların Katı Evsel Atıklarının Tahmini ve Orman Endüstrisi'nin Kullanımı için Optimizasyonu geniş biçimde anlatılmıştır. Yaptığı akademik çalışmalarla büyük başarılarla sahip olan, bizleri destekleyen önerilerde bulunan, akademik bilgilerini bizlerle paylaşmaktan çekinmeyen, her koşulda desteğini esirgemeyen, bilgi ve yardımlarını sakınmayan iki yıl boyunca bizlere kıymetli bilgilerini paylaşan ve öğreten değerli hocalarım Doç. Dr. Timuçin BARDAK'a ve Doç. Dr. Selahattin BARDAK'a teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisansa başlamama sebep olan ve Yüksek lisansım devamında bana manevi yardımlarını esirgemeyen Bölüm Başkanımız Prof. Dr. Bülent KAYGIN hocama da teşekkür ederim.

Tezin yazım aşamasında daima yanımda olan sevgili eşim Orman Mühendisi ve Endüstri Mühendisliği Yüksek Lisans Öğrencisi Ayjeren CHARYYEVA şükranlarımı sunarım.

Tüm hayatım boyunca hep yanımda olan ve başarımın en büyük kaynağı olan kıymetli aileme sonsuz teşekkür ederim.

Ayly ACHYLOV

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

YAPAY ZEKÂYA DAYALI OLARAK İNSANLARIN KATI EVSEL ATIKLARININ TAHMİNİ VE ORMAN ENDÜSTRİSİ'NİN KULLANIMI İÇİN OPTİMİZASYONU

Ayly ACHYLOV

Bartın Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Timuçin BARDAK

İkinci Tez Danışmanı: Doç. Dr. Selahattin BARDAK

Bartın-2023, sayfa: 39

Günümüzde insanların evsel atıkları nüfus ile hızlı bir şekilde artmaktadır. Bu durum geri dönüşü zor çevresel sorunlara neden olmaktadır. Aynı zamanda atıklar insanlarda sağlık problemlerine de yol açmaktadır. Evsel atıklar ile ilgili etkili ve verimli çözümlerden biri geri dönüşümdür. Bu noktada hangi insanlardan hangi atıkların çıktığı ve hangi endüstrilerde bu atıklara ihtiyaç var sorusu önemli bir problemdir. Yapay zekâ karmaşık ve zor problemlerin çözümünde çok yararlı bir araçtır. Yapay zekâ veriye dayalı olarak insanlara doğru ve hızlı kararlar alma konusunda yardımcı olmaktadır. Bununla birlikte yapay zekâ, yeni çalışmalara ihtiyaç duyulan ve gelişmekte olan bir teknolojidir. Çevresel birçok problem yapay zekâ ile verimli bir şekilde çözülmektedir. Atık yönteminin yapay zekâ ile gerçekleştirilmesi durumunda geleneksel yöntemlere göre avantajlar sunmaktadır. Yapay zekâ yardımıyla gelecek yıllara ait planlar yapılabilmektedir.

Bu çalışmada, anket yöntemi ile insanların demografik bilgileri ve bıraktıkları katı evsel atıkların çoğunlukla hangi sınıfa girdiği verileri toplanmıştır. Toplanan veriler ve hazırlanan modeller ile çeşitli demografik özelliklere sahip insanlara ait atıkların

çoğunlukla hangi sınıfa girdiği tahmin edilmiştir. Aynı zamanda bireylerin bıraktığı atık miktarı tahmin edilmiş ve kümeleme algoritmaları ile atık bırakan bireyler kümeler ayrılmıştır. Çalışmada yapay zekâ araştırmalarında yaygın olarak kullanılan karar ağaçları, rastgele orman ve derin öğrenme ve k-means algoritmaları kullanılmıştır. Daha sonra tahmin algoritmaları ile simülasyonlar kurulmuş ve orman endüstrisinin ihtiyaç duyduğu kâğıt, karton, gibi atıkların en çok hangi özelliğe sahip insanlar tarafından bırakıldığı belirlenmiştir. Aynı zamanda kümeleme algoritmaları ile atık bırakan bireylerin profilleri çıkartılmıştır.

Çalışma sonucunda, yapay zekâ algoritmaları ile farklı katı bırakan bireylerin özelliklerini belirlenebileceği gösterilmiştir. Aynı zamanda, atık bırakan bireylerin profillerinin yapay zekâ kullanılarak çıkartılmasının mümkün olduğu bulunmuştur. Atık kağıtlar, kâğıt-karton fabrikaları ve ülke ekonomisi açısından kritik bir öneme sahiptir. Bununla birlikte ülkemizin ormanlarının korunması açısından da atık kâğıtların dönüşümü stratejiktir bir öneme sahiptir. Şehirlerde akıllı atık yönetim sistemleri için yapay zekâyâ dayalı çalışmalar ihtiyaç duyulmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Algoritma, Atık, Model, Orman Endüstri, Veri, Yapay Zekâ

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

PREDICTION OF HUMAN SOLID HOUSEHOLD WASTE BASED ON ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND OPTIMIZATION FOR FOREST INDUSTRY USE

Ayly ACHYLOV

Bartın University

Graduate School

Department of Forest Industry Engineering

Thesis Advisor: Assoc. Prof. Dr. Timuçin BARDAK

Second Advisor: Assoc. Dr. Selahattin BARDAK

Bartın-2023, pp: 39

Today, people's household waste is increasing rapidly with the population. This situation causes environmental problems that are difficult to return. At the same time, wastes cause health problems in humans. One of the effective and efficient solutions for household waste is recycling. At this point, the question of which wastes come from which people and which industries need these wastes is an important problem. Artificial intelligence is a very useful tool in solving complex and difficult problems. Artificial intelligence helps people make accurate and fast decisions based on data. However, artificial intelligence is an emerging technology that needs new studies. Many environmental problems are solved efficiently with artificial intelligence. In case the waste method is realized with artificial intelligence, it offers advantages over traditional methods. With the help of artificial intelligence, future plans can be made.

In this study, demographic information of people and data of which class of solid household waste they leave mostly fall into were collected by survey method. With the collected data and the models prepared, it was estimated which category of the wastes

belonging to people with various demographic characteristics mostly fall into. At the same time, the amount of waste left by individuals was estimated and individuals leaving waste were separated into clusters with clustering algorithms. In the study, decision trees, random forest and deep learning and k-means algorithms, which are widely used in artificial intelligence research, were used. Afterwards, simulations were established with estimation algorithms and it was determined that the people with the most characteristics of waste such as paper, cardboard, etc., left the need of the forest industry. At the same time, the profiles of individuals leaving waste were created with clustering algorithms.

As a result of the study, it has been shown that the characteristics of individuals leaving different solids can be determined with artificial intelligence algorithms. At the same time, it has been found that it is possible to profile individuals leaving waste using artificial intelligence. Waste paper has a critical importance in terms of paper-cardboard factories and the country's economy. However, the recycling of waste paper has a strategic importance in terms of protecting the forests of our country. Studies based on artificial intelligence are needed for smart waste management systems in cities.

Keywords: Waste, Model, Forest Industry, Data, Artificial Intelligence,

İÇİNDEKİLER

BEYANNAME	ii
ÖNSÖZ.....	iii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	ix
TABLolar DİZİNİ.....	xi
EKLER DİZİNİ	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xi
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Dünya ve Atık	1
1.1.1 Yapay Zekâ ve Katı Atık Yönetimi	2
1.1.2 Orman Endüstri ve Atık	3
1.1.3 Çalışmanın Amaç ve Hedefleri	3
1.1.4 Çalışmanın Özgün Değeri	4
2. LİTERATÜR ÖZETİ	6
3. MATERYAL VE METOT	8
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	18
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	32
KAYNAKLAR.....	34
EKLER.....	37

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil No	Sayfa No
Şekil 1.1: Plastik atıkların çevreye etkilerine bir örnek.....	1
Şekil 1.2: Kâğıt/ karton tüketimin artması ve geri dönüşümün olmaması sonucu ortaya çıkan etkilere bir örnek.....	2
Şekil 1.3: Organik atıklar çevreye etkilerine bir örnek	2
Şekil 2.4: Yapay zekâya dayalı optimize edilmiş atık toplama ve taşıma sistemine bir örnek.....	6
Şekil 3.5: Plastik atıklara örnekler	8
Şekil 3.6: Kâğıt/karton atıklarına örnekler	9
Şekil 3.7: Organik atıklara örnekler	9
Şekil 3.8: Rapidminer yazılımının ara yüzü	10
Şekil 3.9: Rapidminer yazılımında verilerin depolandığı panel	11
Şekil 3.10: Rapidminer yazılımında proseslerin tasarlandığı çalışma alanı	11
Şekil 3.11: Operatörlerin bulunduğu panel.....	12
Şekil 3.12: Parametre ayarlarının yapıldığı panel	13
Şekil 3.13: Rapidminer yazılımına ait yardım paneli.....	13
Şekil 3.14: Rapidminer yazılımını çalıştırmak için kullanılan panel	14
Şekil 3.15: Rapidminer yazılımda karar ağacı algoritması parametlerini optimize etmek için kullanılan proses	14
Şekil 3.16: Rapidminer yazılımda karar ağacı algoritması ile kurulan tahmin performanslarını ölçmek için hazırlanan proses	15
Şekil 3.17: Karar ağacı ile tahmin simülasyonları için kurulan proses	15
Şekil 3.18: En iyi küme sayısını belirlemek için kullanılan proses	16
Şekil 3.19: Farklı kümelerin temel ayrıntılarını elde etmek için kullanılan proses	17
Şekil 4.20: Test edilen üç yapay zekâ modelinin tahmin performansı karşılaştırılması gösterilmiştir.....	19
Şekil 4.21: Karar Ağacı Algoritması (KA) ile elde edilen her bir farklı evsel atık türü için karşılaştırmalı tahmin performansları	20
Şekil 4.22: Rastgele Orman Algoritması (RO) ile elde edilen her bir farklı evsel atık türü için karşılaştırmalı tahmin performansları.....	21

Şekil 4.23: Derin Öğrenme Algoritması (DÖ) ile elde edilen her bir farklı evsel atık türü için karşılaştırmalı tahmin performansları.....	22
Şekil 4.24: En çok plastik atık bırakan bireyler için demografik özellikler	23
Şekil 4.25: En çok organik atık bırakan bireyler için demografik özellikler	23
Şekil 4.26: En çok kâğıt/ karton atık bırakan bireyler için demografik özellikler	24
Şekil 4.27: Demografik özelliklerin önem derecesine göre sıralanması	26
Şekil 4.28: Kümelerde bulunan birey sayılarının grafiksel gösterimi	27

TABLULAR DİZİNİ

Tablo No	Sayfa No
Tablo 4.1: Algoritma parametrelerinin optimizasyon sonuçları.....	18
Tablo 4.2: Test edilen üç yapay zekâ modelinin tahmin performansı	18
Tablo 4.3: Karar Ağacı Algoritması (KA) ile elde edilen her bir farklı evsel atık türü için tahmin performansları	20
Tablo 4.4: Rastgele Orman Algoritması (RO) ile elde edilen her bir farklı evsel atık türü için tahmin performansları	21
Tablo 4.5: Derin Öğrenme Algoritması (DÖ) ile elde edilen her bir farklı evsel atık türü tahmin performansları	22
Tablo 4.6: Demografik özelliklerin önem derecesi.....	25
Tablo 4.7: Kümeler ve kümelerde bulanana birey sayıları	27
Tablo 4.8: En çok plastik atıkları bırakan bireylerin bulunduğu kümenin demografik özellikleri.....	28
Tablo 4.9: En çok Organik Atıkları bırakan bireylerin bulunduğu kümenin demografik özellikleri	29
Tablo 4.10: En çok Kâğıt/ Karton Atıkları bırakan bireylerin bulunduğu kümenin demografik özellikleri	30

EKLER DİZİNİ

EK	Sayfa
No	No
EK 1. Çalışmada kullanılan anket.	37

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

KISALTMALAR

- KA : Karar Ağacı Algoritması
RO : Rastgele Orman Algoritması
DÖ : Derin Öğrenme Algoritması

1. GİRİŞ

1.1. Dünya ve Atık

Dünyanın sınırlı kaynaklarının olması ve hızla artan kıtlık nedeniyle geri dönüşüme dayalı toplum, kalkınmanın zorunlu bir hedefine dönüşmüştür (Lu, Tsai, ve Chang 2017). Atıkla başa çıkmanın en iyi yollarından bir tanesi hem ekonomik hem de çevresel açıdan, atıkların yeniden kullanımı ve geri dönüşüm ile verimli atık yönetimidir. Bu yöntem geleneksel atıkları yok etmekten çok daha fazla sürdürülebilirdir (Huang ve Koroteev 2021). Döngüsel ekonomi yaklaşımında, atık toplamayı destekleyen bilgi sistemlerini kullanmak verimli atık yönetimini açısından oldukça önemlidir. Birçok ülkede talep üzerine atıkların toplanması yoluna gidilmektedir ve atık toplama şirketleri desteklenmektedir. Bu şirketler için önemli olan, atık toplama maliyetlerini aynı anda azaltarak mümkün olan en büyük atık kütlelerini elde etmektir. (Nowakowski, Szwarc, ve Boryczka 2020) Atıkların uygun şekilde bertaraf edilmesi konusunda bireylerin katılımı ve bir toplama sisteminin varlığı önemli unsurlarından biridir. (Nowakowski, Szwarc, ve Boryczka 2018). Bu bağlamda hangi bireyden hangi atıklar daha çok bırakılmakta sorusu önemli bir konuya dönüşmüştür. Atık geri dönüşümünü artırmak için bu soruya çeşitli yöntemlerle cevaplar aranmaktadır. Bu çalışmada yapay zekânın yeteneklerinden faydalanarak hangi bireylerin hangi atıkları bıraktığı sorusuna etkili çözümler araştırılmıştır. Şekil 1.1'de plastik atıkların çevreye etkilerine bir örnek gösterilmiştir.



Şekil 1.1 : Plastik atıkların çevreye etkilerine bir örnek (URL-1, 2022).

Şekil 1.2'de Kâğıt/ karton tüketiminin artması ve geri dönüşümün olmaması sonucu ortaya çıkan etkilere bir örnek gösterilmiştir.



Şekil 1.2 : Kâğıt/ karton tüketimin artması ve geri dönüşümün olmaması sonucu ortaya çıkan etkilere bir örnek (URL-2, 2019).

Şekil 1.3’de organik atıklar çevreye etkilerine bir örnek gösterilmiştir.



Şekil 1.3 : Organik atıklar çevreye etkilerine bir örnek (URL-3, 2022).

1.1.1 Yapay Zekâ ve Katı Atık Yönetimi

Son zamanlarda, katı atık yönetimi problemlerini çözmek için yapay zekâ tekniklerine dayalı alternatif yaklaşımlar ivme kazanmıştır. Yapay zekâ teknolojisi, problem çözme, öğrenme, algılama, anlama, akıl yürütme ve çevrenin farkındalığı gibi insan özelliklerini taklit edebilen bilgisayar sistemleri ve programlarının tasarımıyla ilgilenir. Yapay zekâ modelleri, kötü tanımlanmış sorunları çözme ve sonuçları tahmin etme yeteneğine sahiptir. Gelişmiş yapay zekâ tahmin sistemleri, mühendislik problemlerinde olduğu kadar atık yönetimi araştırmalarında da geleneksel yöntemlere göre üstünlük göstermektedir. Atık yönetimi, birbiriyle bağlantılı çoklu süreçler ve sistemleri etkileyen oldukça değişken demografik faktörler nedeniyle karmaşık doğrusal olmayan parametreleri içerir. (Abdallah vd., 2020). Yapay zekâ bu tür karmaşık problemlerin çözümü için etkili çözümler

sunmaktadır. Yapay zekâya dayalı akıllı modellerin uzun, orta ve kısa vadeli ölçeklerde katı atık üretimini tahmin etme yeteneğine sahip olduğu gösterilmiştir (Abdallah vd., 2020). Yapay zekâ ile atık yönetimi sayesinde maliyetler düşürülebilir ve atık toplama verimliliği artırılabilir. Bunun sonucu olarak insan sağlığının ve çevrenin korunmasına katkı sağlanabilir. Bu çalışmada atık yönetimi için yapay zekâdan yararlanmaya örnek bir araştırma gösterilmiştir.

1.1.2 Orman Endüstri ve Atık

Tüm atıklar içinde orman endüstrisinde ihtiyaç duyduğu kâğıt ve karton atıkları önemli bir yere sahiptir. Çalışmalar Avrupa'daki atık kâğıdın geri kazanım oranındaki artışı inceleyerek, atık kâğıt geri dönüşümünün uzun vadede orman kaynaklarının korunmasına yardımcı olduğu sonucuna varılmıştır. (Liu vd., 2020). (Tatoutchoup 2016). Geri dönüştürülebilir bir kaynak olan atık kağıtlar, her yıl dünya çapında milyonlarca dolarla işlem görmektedir. Aynı zamanda dünyada her yıl milyonlarca ton atık kâğıt üretilmekte ve hızlı kentleşme, artan okuryazarlık oranları ile büyüme hızı artmaktadır. Kâğıdın, küresel atık kâğıt ticareti 21. yüzyıldan bu yana çarpıcı bir artış yaşamıştır. 2000-2018 döneminde, küresel atık kâğıt ticareti 2001'de 2.136,5 milyon dolardan 12.204,3 milyon dolara ulaşmıştır (Xu vd., 2021).

Kâğıt karton tüketimi kişiden kişiye coğrafyadan coğrafya tüketimi değişmektedir. Bu nedenle hangi bireylerin hangi atıkları bıraktığını tahmin etmek onlara ulaşmak açısından önem arz etmektedir. Atıkları bırakan bireylerin profiline ilişkin bilgiler sahip olmak atık endüstrinin doğru kararlar almasına yardımcı olmaktadır. Aynı zamanda yapay zekâya dayalı olarak atık bırakan bireylerin segmentasyonlara ayrılması en fazla değere ulaşmak ve maliyetleri düşürmek açısından da oldukça önemlidir. Yapılan literatür araştırmasında, yapay zekâya dayalı olarak orman endüstri için katı atık bırakan bireylerin demografik özelliklerinin optimize edildiği bir çalışmaya rastlanmamıştır.

1.1.3 Çalışmanın Amaç ve Hedefleri

Atık yönetimi demografi, sosyo-ekonomik durum ve iklim gibi birçok faktörden etkilenen zor bir süreçtir. Verimli bir atık yönetimi için hangi bireylerin hangi atıkları ne miktarda

bıraktığını doğru bir şekilde tahmin etmek oldukça önemlidir. Bu noktada yapay zekâ birçok karmaşık problemde hızlı ve doğru tahminlerde bulunabildiği için günümüzde hayati bir rol oynamaktadır. Endüstri ve biliminin birçok alanında yapay zekâ ile sorunlara verimli çözümler bulunmuş olmasına rağmen yapay zekâ gelişmeye devam etmektedir. Çalışmanın ana amacı, daha etkin atık yönetimi ve geri dönüşüm oranını artırmak için yapay zekâyâ dayalı modeller tasarlamaktır. Bu amacı gerçekleştirmek için anket yöntemi ile veriler toplanacak ve farklı algoritmaların tahmin performansları belirlenecek. Aynı zamanda kümeleme algoritmaları ile katı atık bırakan bireylerin profilleri çıkartılacaktır. Çalışmanın hipotezi anket verilerine dayalı olarak bireylerin bıraktığı atıkları yüksek doğruluk ile tahmin etmek ve orman endüstrisi için atık optimize edebilecek yapay zekâ modellerin oluşturulabileceğini göstermektir. H₀ hipotezi yapay zekânın orman endüstri için tahminlerinde etkili olmayacağı olarak tanımlanmaktadır. Birçok bilimsel çalışma göstermiştir ki yapay zekâyâ dayalı olarak yapılan planlamalar ile atık dönüşüm oranı artmaktadır. Çalışma ile atık yönetimi için yapay zekâyâ dayalı olarak geleneksel yöntemlere alternatif bir yöntem önerilmektedir.

Yapay zekâ ile orman endüstrinin ihtiyaç duyduğu kâğıt karton bırakan bireylerin tüm özellikleri optimize edilmiştir. Bu sayede kâğıt karton gibi katı atık bırakan bireylere ulaşmak daha kolay olacak ve hem bireyleri bilinçlendirme hem de atıkların geri dönüşüm oranı artırılabilir. Aynı zamanda kâğıt karton gibi atıkların geri dönüşüm oranlarını artırmak ülkemizin ormanlarının korunması açısından stratejik bir öneme sahiptir.

1.1.4 Çalışmanın Özgün Değeri

Atıkların geri dönüşümü çevre, sağlık ve ekonomik refahın artırılması açısından stratejik bir öneme sahiptir. Aynı zamanda tüm dünyada atıkların yönetimi çözülmesi gereken zor problemlerdir. Akıllı atık yönetim sistemlerinin geliştirilebilmesi için atıkları bırakan bireylerin özelliklerinin doğru bir şekilde tahmin edilmesi çok önemlidir. Bu sayede atıklara daha hızlı ulaşılabilir ve atıkların geri kazanım potansiyeli artırılabilir. Yapay zekâ yatırımları ile çevre dostu kalkınmayı mümkün kılıyor.

Çalışmanın gerçekleştirilmesi ile sunulmuş başlıca özgün değerler aşağıda belirtilmiştir:

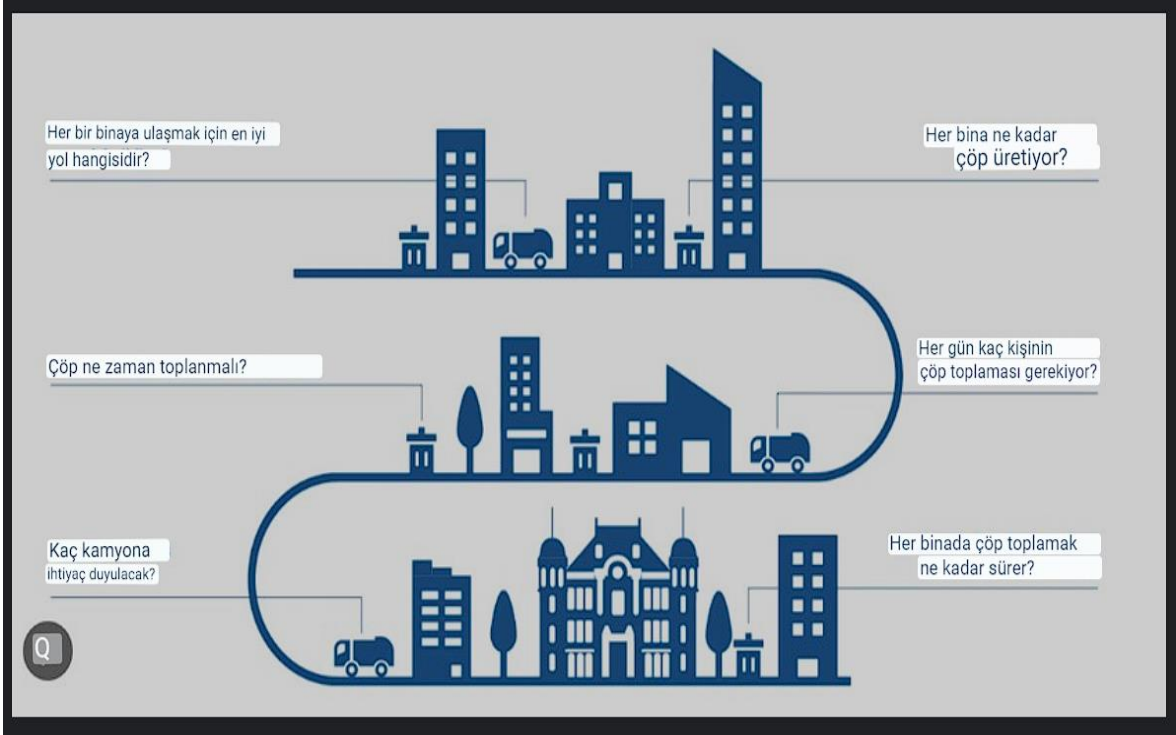
1. Ülkemizde yapay zekâyâ dayalı atık yönetimi üzerine yeterli araştırma

bulunmamaktadır. Bu çalışmada yapay zekâdan yararlanarak atık bırakan bireylerin profilleri çıkartılmıştır.

2. Çalışmanın gerçekleşmesi ile hangi bireylerin hangi atıkları bıraktığı yapay zekâya dayalı olarak tahmin edilebilmiştir.
3. Yapay zekânın sağladığı üstün yararlar nedeniyle dünya da yoğun bir şekilde farklı alanlarda çalışmalar yapılmaktadır. Ancak literatürde yapay zekâya dayalı olarak bırakılan atıkların orman endüstri için optimize edilmesi üzerine bir çalışmaya rastlanmamaktadır. Bu çalışmada yapay zekâ ve orman endüstrisinde katı atıkların değerlendirilmesi üzerine güncel bilimsel bilgi sunulmuştur.
4. . Katı atık bırakmanın hangi faktörlere bağlı olduğu konusunda bilgi sahibi olmak oldukça önemlidir. Çalışma sayesinde ülkemizde ilk kez yapay zekâ yöntemleri kullanılarak yüksek hassasiyetli ölçümlerle bu konuda güncel bilgi üretilmiştir.
5. Bu çalışmada ülkemizde atıkların geri dönüşüm oranını artırmak için yapay zekânın uygulanabilirliği araştırılmış ve analiz edilmiştir. Çalışmadan elde edilen bilgilerin endüstriye ve yerel yönetimlere aktarılması hedeflenmiştir.

2. LİTERATÜR ÖZETİ

Bu bölümde çeşitli alanlarda katı atıklar ve yapay zekâ üzerine gerçekleştirilmiş çalışmalar ve sonuçları sunulmuştur. Yapılan bir çalışmada yapay zekâ algoritmaları, gerçek zamanlı olarak elektronik atık miktarını ve bunun tehlike düzeyini tahmin etmek için kullanılmıştır. Yapay zekâyâ dayalı önerilen yöntem tahminlerde başarılı olmuş ve güvenli atık geri dönüşümü için önerilmiştir. (Chen vd., 2021). Başka bir çalışmada, Litvanya belediyelerindeki katı atık üretim oranlarını ve kompozisyonunu tahmin etmek için yapay zekâ dayalı bir yaklaşımı önerilmiştir. Yapay zekâ yaklaşımında, mekânsal bilgileri ve sosyoekonomik faktörleri dahil ederek daha yüksek tahmin başarımın sağlanabileceği gösterilmiştir. (Paulauskaite-Taraseviciene, Raudonis ve Sutiene 2022). Çin'de yapılan bir çalışmada, makine öğrenimi algoritmalarından faydalanarak 2020'den 2060'a kadar ulusal ve bölgesel belediye katı atık üretimini farklı sosyoekonomik kriterler ile tahmin edilmiştir. Çalışma sonucunda nüfus ve kişi başına düşen millî gelirin tahminlerde en etkili iki baskın gösterge olduğunu gösterilmiştir. (Zhang vd., 2022) Şehirler için yapay zekâyâ dayalı atık toplama ve taşıma sistemlerini kurmak mümkündür. Şekil 2.4'de yapay zekâyâ dayalı optimize edilmiş atık toplama ve taşıma sistemine bir örnek gösterilmiştir.



Şekil 2.4: Yapay zekâyâ dayalı optimize edilmiş atık toplama ve taşıma sistemine bir örnek (URL-4, 2020).

Katı atıkla ilgili sorunları çözmek için yapay zekâ uygulamalarının araştırıldığı bir başka çalışmada, 2010–2020 yılları arasında yayınlanan 177 tane ilgili makale incelenmiştir. Çalışmada yapay zekânın atık üretiminin tahmininde yaygın olarak kullanıldığı gösterilmiştir. Aynı zamanda yapay zekânın atık dönüşümü, emisyonlar, mikrobiyal ve dinamik süreçlerde dahil olmak üzere mikro ölçekli sorunların çözümünde etkili olduğu değerlendirilmiştir (A. Xu vd., 2021). Gerçekleştirilen bir başka çalışmada, yapay zekânın beslenme talebi, kaynak tükenmesi, iklim değişikliği, insan nüfusunun artışı ve kirlilik gibi mücadele edilmesi gereken zorlu konularının üstesinden gelmek için günümüzde kullanılan tarım ve gıda tedarik zinciri sistemlerinin alternatifi olabileceği belirtilmiştir. Aynı zamanda yapay zekânın atık azaltma ve gıda güvenliğinde önemli ölçüde yardımcı olabileceği vurgulanmıştır. Ek olarak yapay zekânın, tüketiciler arasında ürünün talebini ve faydasını belirlemede katkı sağlayacağına çalışmada belirtilmiştir.(Sharma vd., 2022). Yapılan bir başka çalışmada, başta belediyeler olmak üzere katı atık ile ilgili kuruluşların daha iyi tahminler yapabilmesi için yapay zekâdan faydalanılması önerilmiştir. Sonuçlar belediye katı atık miktarlarının başarılı bir şekilde tahmin etmek için yapay zekânın kullanılabilirliği gösterilmiştir. Ek olarak, zaman serisi algoritmaları kullanılarak hangi aylarda en yüksek atık miktarının bırakıldığı da belirlenebileceği gösterilmiştir. Aynı zamanda, çalışmada atıklar ile ilgili yönetim amaçlarının planlanması ve tasarımı için elde edilen sonuçların umut verici olduğu vurgulanmıştır.(Abbasi ve El Hanandeh 2016). Özetle birçok çalışmada yapay zekânın atık toplamada ve geri dönüşüm oranının artırma konusunda kullanılabilirliği vurgulanmıştır. Çalışmalar geleneksel yöntemlere göre yapay zekâyâ dayalı atık yöntemini birçok avantaj sunduğunu bize göstermektedir.

3. MATERYAL ve METOT

Bu çalışmada, yapay zekâ algoritmaları uygulanarak farklı demografik özelliklere sahip insanlara ait atıkların çoğunlukla hangi sınıfa girdiği tahmin edilmiş ve orman endüstrisi için en uygun demografik özellikler belirlenmiştir. Aynı zamanda kümeleme analizi ile veriler arasındaki temel farklılıklar bulunmuştur. Araştırmada temel amaç, yapay zekâyâ dayalı olarak hangi özelliklere sahip insanların orman endüstri için en çok atık bıraktığı problemini çözmektir. Problemi çözmek için ihtiyaç duyulan veriler anket yöntemi ile edilmiştir. EK 1’de çalışmada kullanılan anket gösterilmiştir.

Anketten toplanacak veri sayısı belirlenirken %95 güven düzeyi ve %5 hata payı baz alınmıştır. Belirli bir evrenin bilinen örneklem formülü kullanılarak, %95 güven düzeyi ve %5 hata payı kriterleri göz önünde bulundurularak anket yapılacak kişi sayısı hesaplanmıştır. Bu nedenle eksik ve yanlış veriler elendikten sonra 392 kişiden oluşan bir veri seti hazırlanmıştır. Çalışmada anketten elde edilen veriler ile yapay zekâyâ dayalı olarak orman endüstrisinde ihtiyaç duyulan kâğıt/ karton ve organik atıklara ulaşmak için en uygun demografik özelliklere sahip insanların özellikleri belirlenmiştir. Bu amaçla farklı algoritmalar ile tahmin modelleri kurulmuş ve performansları karşılaştırılmıştır. Daha sonra tahmin modellerine dayalı olarak simülasyonlar oluşturulmuştur. Simülasyonda amaç, orman endüstrisinde ihtiyaç duyulan katı evsel atıklar için en iyi demografik özellikleri keşfetmektir. Aynı zamanda simülasyon ile demografik özelliklerin katı atık bırakma türleri üzerine etki dereceleri belirlenmiştir. Şekil 3.5’de Plastik atıklara örnekler gösterilmiştir.



Şekil 3.5: Plastik atıklara örnekler (URL-5, 2022).

Şekil 3.6’da Kâğıt/ karton atıklarına örnekler gösterilmiştir.



Şekil 3.6 : Kâğıt/karton atıklarına örnekler (URL-6, 2019).

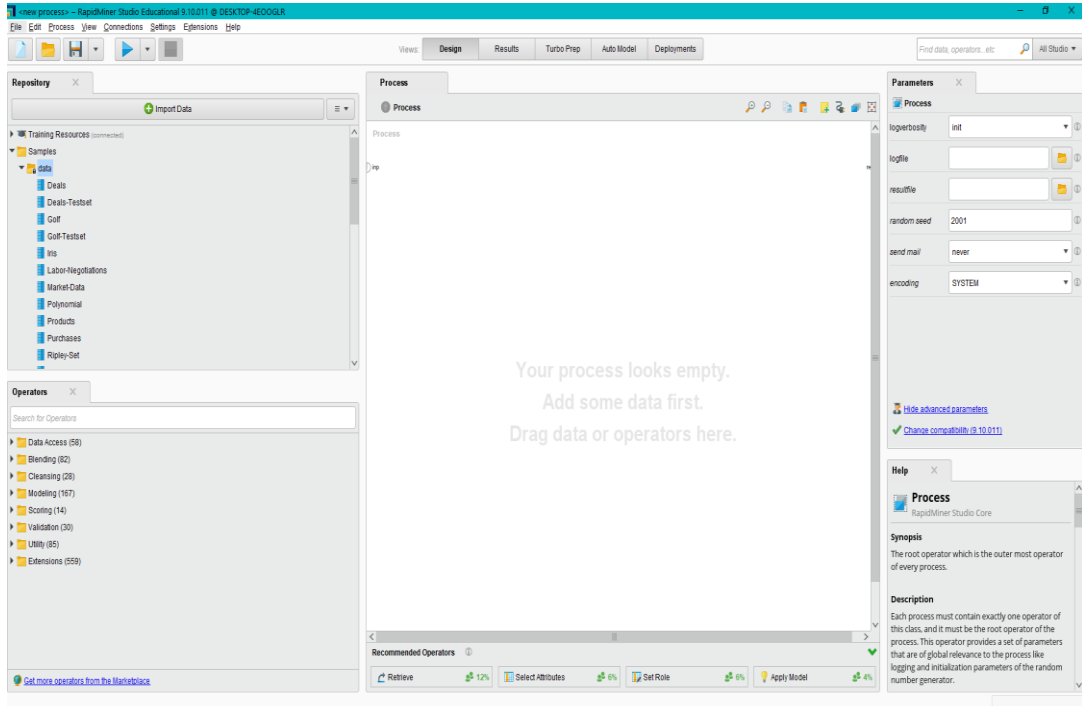
Şekil 3.7’de Organik atıklara örnekler gösterilmiştir.



Şekil 3.7: Organik atıklara örnekler (URL-3, 2019).

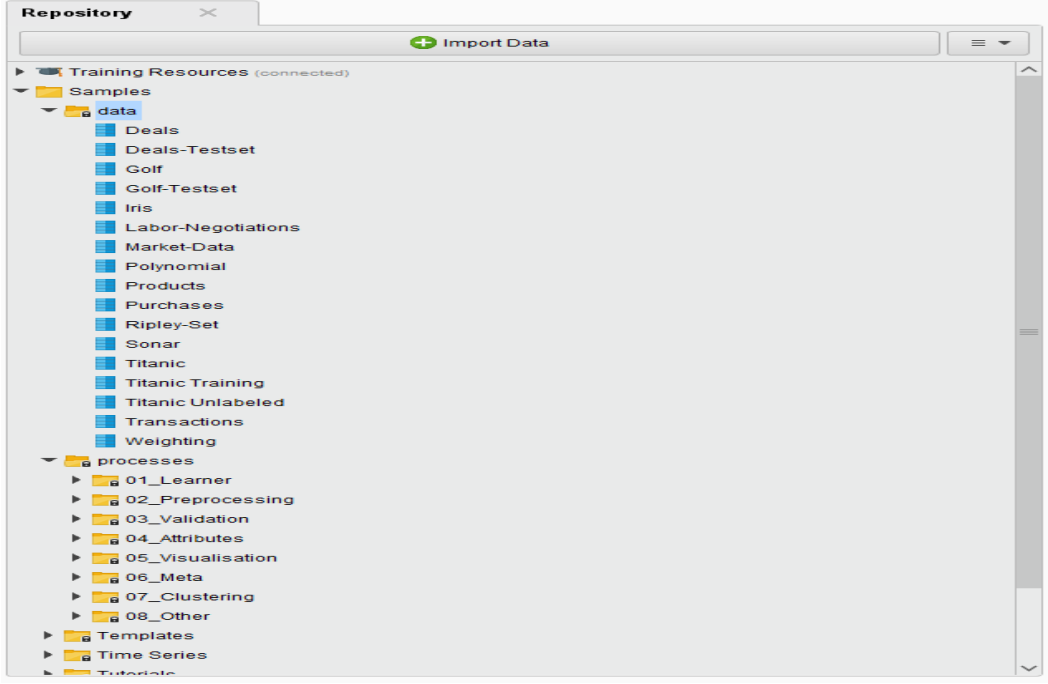
Tahmin için karar ağaçları, rastgele orman ve derin öğrenme algoritmaları kullanılmıştır. Bu algoritmalar veri madenciliğinde gözetimli öğrenme sınıfına girmekte olup tahmin problemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Bou-Hamad ve Jamali 2020). Aynı zamanda seçilen tahmin algoritmalarının yorumlanması kolay ve hesaplanması hızlıdır (Höppner vd., 2018). Karar ağacı algoritmalarında ağaçtaki her dalda tanımlanan bir dizi teste dayalı olarak bir veri setini yinelemeli olarak daha küçük alt bölümlere ayırır (Pu, Apel, ve Lingga 2018). Rastgele orman algoritmaları, rastgele karar ağaçları kavramına dayanan bir grup öğrenme algoritmasıdır (Ao vd., 2019). Derin öğrenme algoritmaları daha karmaşık ve daha fazla katman sayısı bulunan bir yapay sinir ağı olarak düşünülebilir (Liao vd., 2021). Tahmin modellerinin girdileri (cinsiyet, yaş, medeni durum, çocuk sayısı, eğitim durumu, meslek, aylık gelir, yaşanılan bölge, evde yaşayan kişi sayısı) ve çıktı (anket uygulanan kişinin en çok bıraktığı evsel atık türü, bırakılan çöp miktarı) olarak belirlenmiştir.

Modeller kurulduktan sonra modellerin optimizasyonu ve performansları ölçülmüştür. Çalışmada tüm verilerin %70'i eğitim, %30'u test amaçlı kullanılmıştır. Eğitim verileri, modellerin öğrenmesi ve doğru sonuçlar vermesi açısından oldukça önemlidir. Test verileri ise modellerin performansını ölçmek ve ne kadar doğru sonuçlar verdiğini görmek için gereklidir. Verileri kullanmadan önce hazırlanması modellerin performansını artırmaktadır. Modellerin performansını bulmak için doğru sınıflandırılan örneklerin nispi sayısı veya diğer bir deyişle doğru tahminlerin yüzdesi her bir model için ayrı ayrı belirlenmiştir. Çalışmada bilimsel alanda ve endüstriyel problemlerin çözümde yaygın olarak kullanılan popüler bir veri analiz platformu olan Rapidminer yazılımından faydalanılmıştır (Chou, Ho, ve Hoang 2018; Udayakumar vd., 2018). Rapidminer yazılımının ara yüzü şekil 3.8'de gösterilmiştir.



Şekil 3.8: Rapidminer yazılımının ara yüzü.

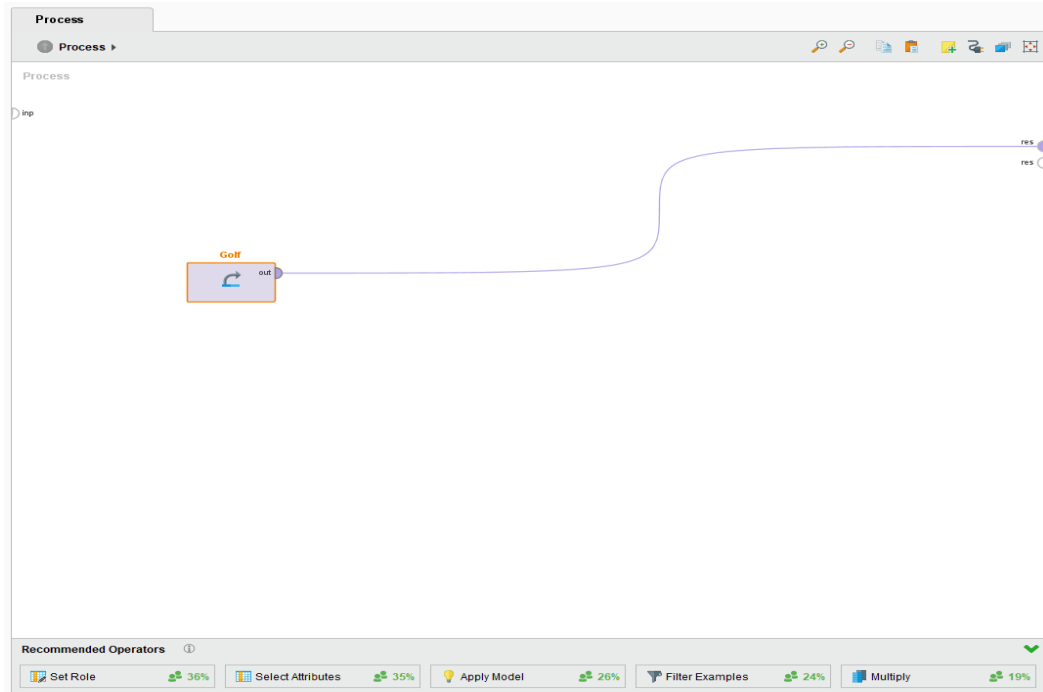
Rapidminer yazılımının kısımları bu bölümde anlatılmıştır. Rapidminer yazılımının önemli kısımlarından bir tanesi verilerin depolandığı havuz bölümüdür. Şekil 3.9'da Rapidminer yazılımında verilerin depolandığı bölüm gösterilmiştir. Bu panelde veriler ve prosesler saklanmaktadır.



Şekil 3.9: Rapidminer yazılımında verilerin depolandığı panel.

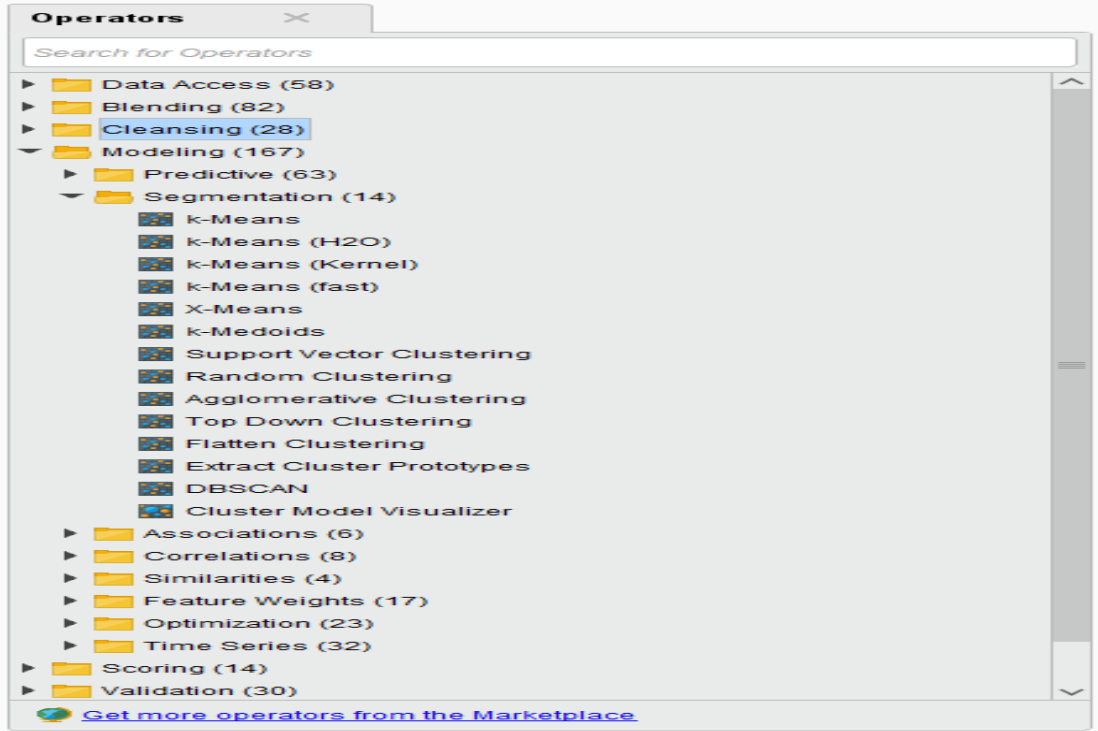
Rapidminer yazılımında proseslerin tasarlandığı bir çalışma alanı bulunmaktadır. Bu alanda operatörler yardımı ile modeller kurulabilir veya performans testleri yapılabilir.

Şekil 3.10'da Rapidminer yazılımında proseslerin tasarlandığı çalışma alanı gösterilmiştir.



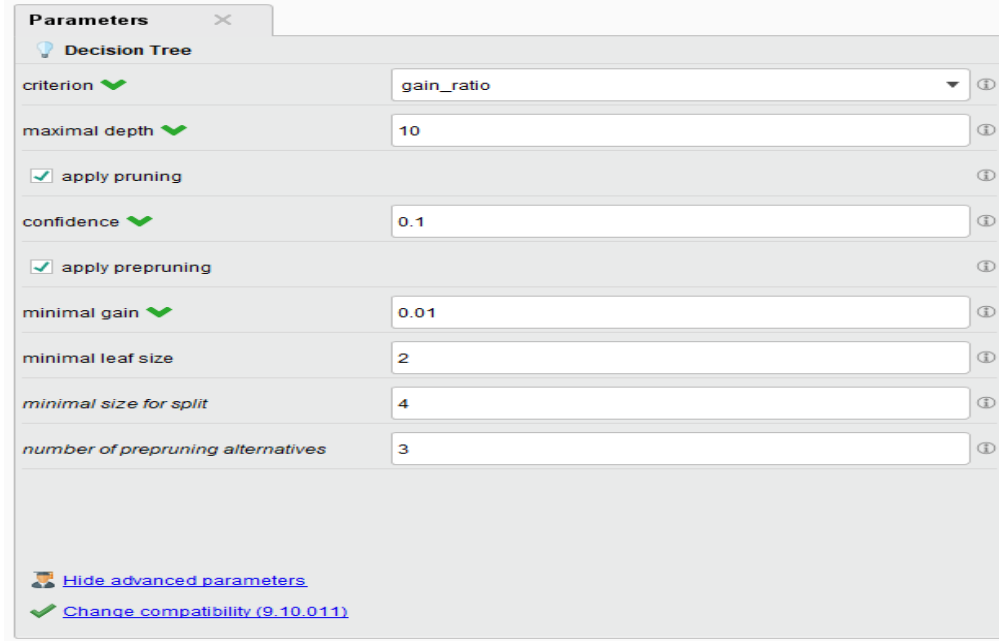
Şekil 3.10: Rapidminer yazılımında proseslerin tasarlandığı çalışma alanı.

Rapidminer yazılımında operatörler proseslerin elemanlarıdır ve her operatörün görevi farklıdır. Bazı operatörler verileri okumak için kullanılırken bazıları model oluşturmak için kullanılabilir. Operatörlerin giriş ve çıkış bölümleri bulunmaktadır. Operatörler uç uca bağlanarak amaca uygun olarak prosesler oluşturulur. Şekil 3.11’de Operatörlerin bulunduğu panel gösterilmiştir. RapidMiner yazılımını etkili bir şekilde kullanmak için operatör hakkında bilgi sahibi olunması gereklidir.



Şekil 3.11: Operatörlerin bulunduğu panel.

Rapidminer yazılımında diğer bir önemli kısmı ise operatörlerin parametre ayarlarının yapıldığı bölümdür. Parametre değerleri bir operatörün özelliklerini veya davranışını belirleyen ayarlardır. Şekil 3.12’de parametre ayarlarının yapıldığı panel gösterilmiştir.

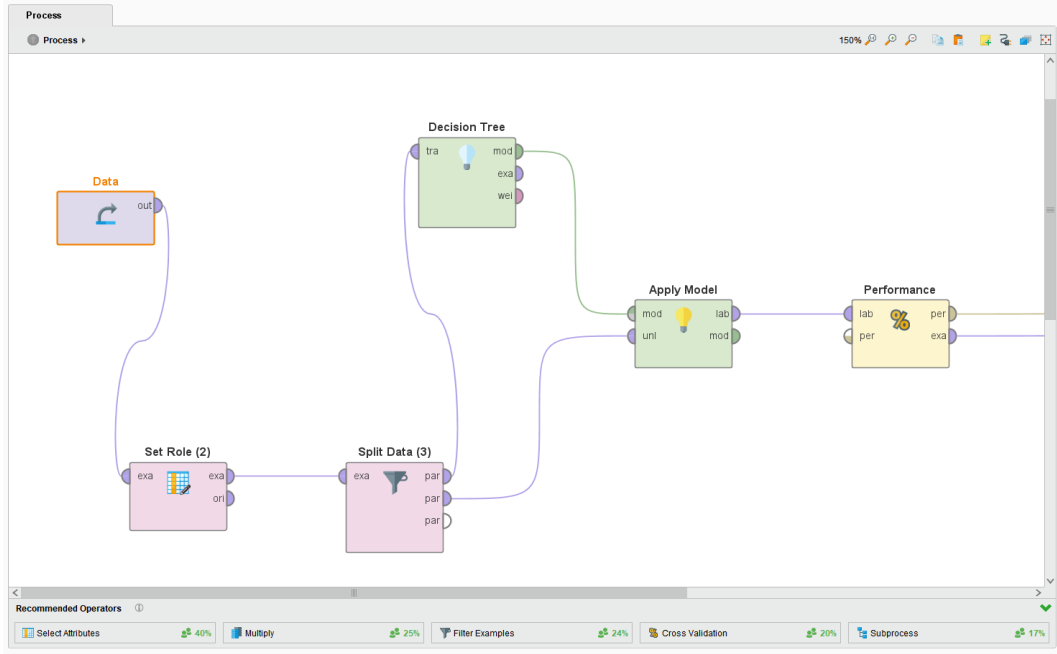


Şekil 3.12: Parametre ayarlarının yapıldığı panel.

Rapidminer yazılımında diğer bir önemli kısım ise yardım bölümüdür. Yardım panelinde seçilen operatör için bir metin görüntülenir. Bu yardım metninde operatör amacı ve işlevselliğine ait genel bilgiler bulunur. Şekil 3.13'de Rapidminer yazılımına ait yardım paneli gösterilmiştir.

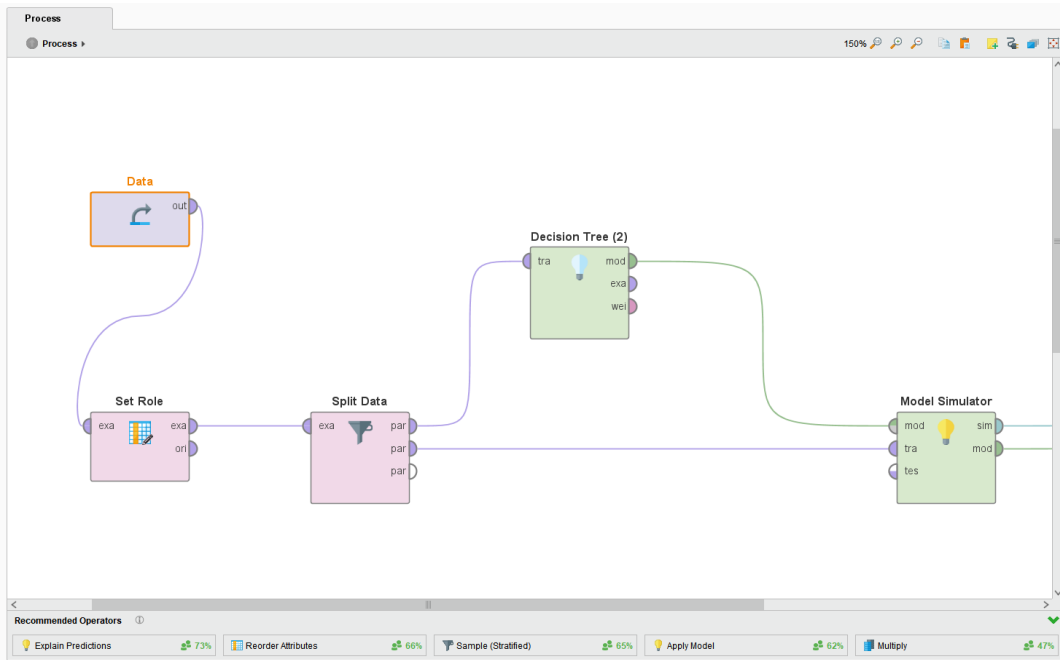


Şekil 3.13: Rapidminer yazılımına ait yardım paneli.



Şekil 3.16: Rapidminer yazılımında karar ağacı algoritması ile kurulan tahmin performanslarını ölçmek için hazırlanan proses.

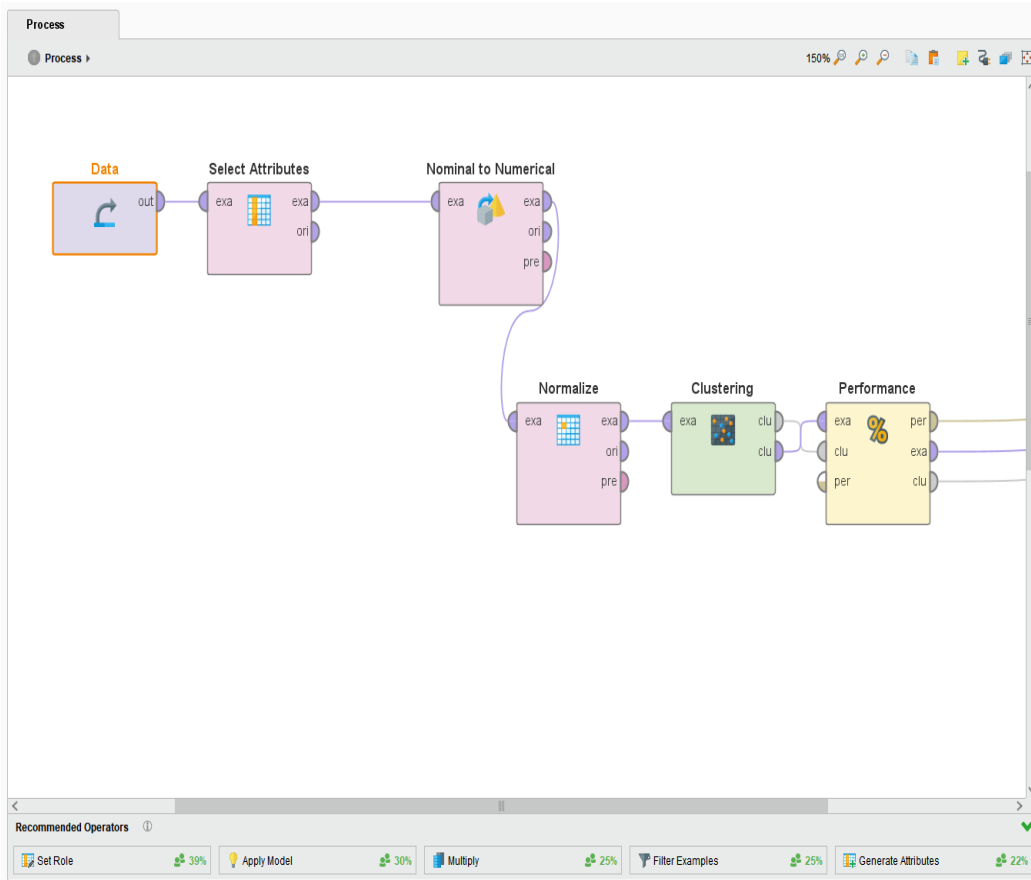
Modellerin tahmin performansları değerlendirildikten sonra simülasyonlar kurulmuştur. Bu sayede orman endüstrisinin ihtiyaç duyduğu organik ve kâğıt/ karton atıkları için ne uygun demografik özellikler belirlenmiştir. Aynı zamanda demografik faktörler önem derecelerine göre sıralanmıştır. Şekil 3.17’de karar ağacı ile tahmin simülasyonları için kurulan proses gösterilmiştir.



Şekil 3.17: Karar ağacı ile tahmin simülasyonları için kurulan proses.

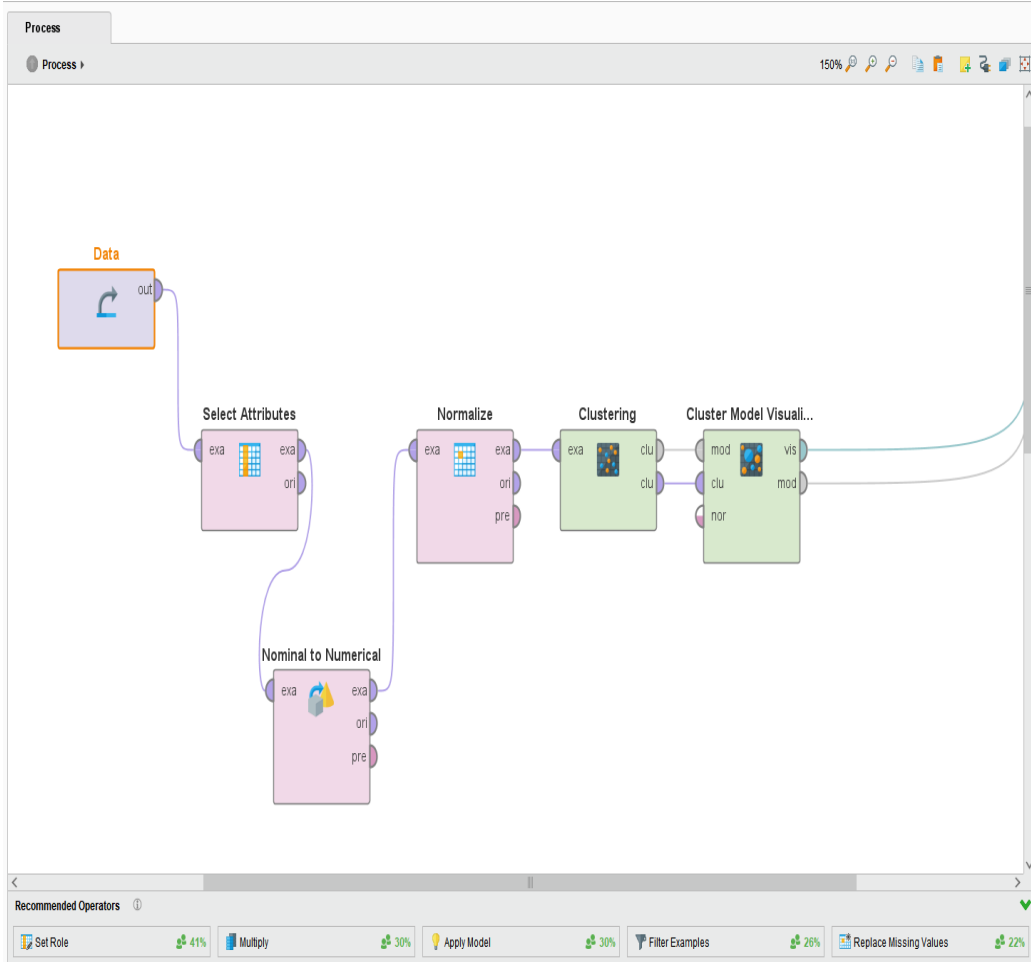
Çalışmada parametre optimizasyonu, tahmin performans ölçümü ve simülasyonlar her bir algoritma. (Karar Ağacı, Rastgele Orman, Derin Öğrenme) için ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir.

Tahmin modelleri kurulduktan ve model performansları ölçüldükten sonra kümele analizleri yapılmıştır. K-means kümeleme algoritması ile atık bırakan bireyler küçük kümelere ayrılmış ve profilleri çıkartılmıştır. Kümeleme algoritmaları verileri otomatik olarak "kümeleyen" denetimsiz makine öğrenme sınıfına girmektedir. Kümeleme analizi benzer olan verileri birlikte kümeleneşinden kullanılmaktadır (Weber vd., 2022). Kümeleme işleminden önce küme sayısının belirlenmesi gerekmektedir. Bu amaçla küme mesafe performansı ölçümü yapılarak en iyi küme sayısı belirlenmiştir. Performans ölçümünde Davies-Bouldin indeksi kullanılmıştır. Davies-Bouldin değerinin düşük olması iyi bir kümelemeye işaretler. Farklı küme sayıları için ayrı ayrı Davies-Bouldin değerleri belirlenmiştir. Şekil 3.18'de en iyi küme sayısını belirlemek için kullanılan proses gösterilmiştir.



Şekil 3.18: En iyi küme sayısını belirlemek için kullanılan proses.

En uygun küme sayısı belirlendikten sonra her kümenin temel ayrıntılarını yakalamak için küme modeli görselleştirilmiştir. Şekil 3.19’da farklı kümelerin temel ayrıntılarını elde etmek için kullanılan proses gösterilmiştir.



Şekil 3.19: Farklı kümelerin temel ayrıntılarını elde etmek için kullanılan proses.

Kümeleme sonuçlarının görselleştirilmesi ile verilerin yorumlanması kolaylaşmaktadır. Görsel sonuçlar kümelerin boyutları ve kümeler arasındaki farklar konusunda bilgi vermektedir.

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

Bu çalışmada, karar ağaçları, rastgele orman, derin öğrenme algoritmaları ve anket verilerine dayalı olarak modeller kurulmuş ve performansları ölçülmüştür.

Modeller kurulmadan önce en çok bırakılan evsel atık türünün tahmin performansını artırmak için algoritma parametreleri optimize edilmiştir. Algoritma parametrelerinin optimizasyon sonuçları tablo 4.1’de sunulmuştur.

Tablo 4.1: Algoritma parametrelerinin optimizasyon sonuçları.

Karar Ağaçları Algoritması (KA)		Rastgele Orman Algoritması (RO)		Derin Öğrenme Algoritması (DÖ)	
Kriter	En küçük kare	Kriter	En küçük kare	Aktivasyon	Doğrultucu
Maksimum Derinlik	25	Ağaç Sayısı	140	Gizli Katman Boyutları	60
		Maksimum Derinlik	7		

Optimizasyon işleminden sonra modeller test edilmiştir. Test edilen üç yapay zekâ modelinin tahmin performansı tablo 4.2’de sunulmuştur.

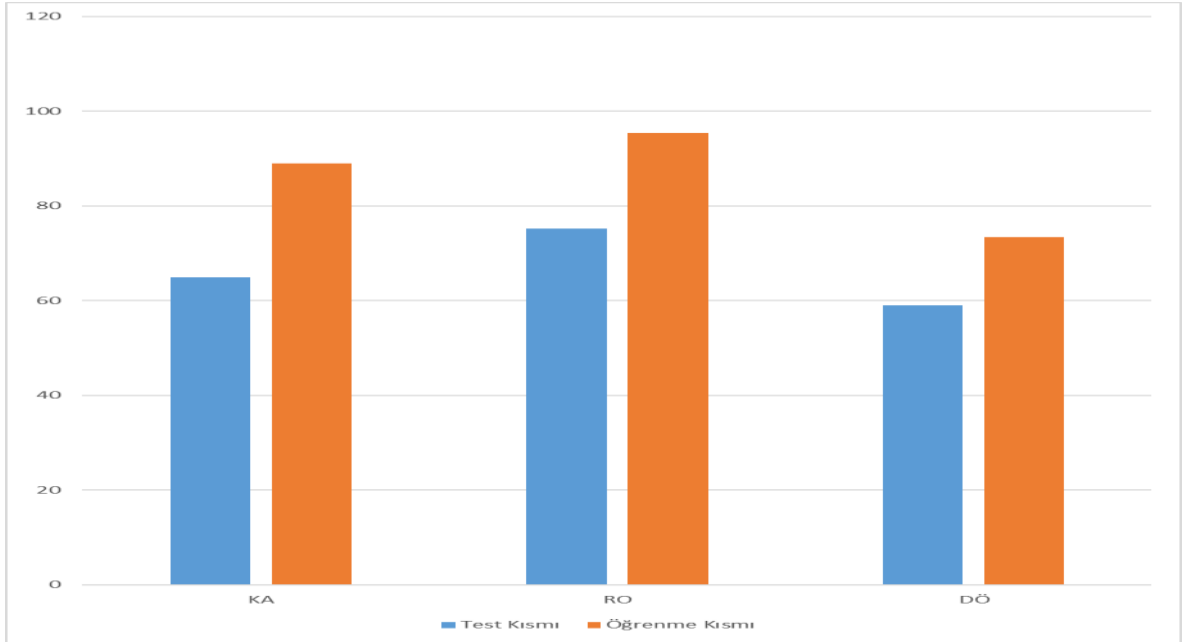
Tablo 4.2: Test edilen üç yapay zekâ modelinin tahmin performansı.

Model	Yüzde Doğruluk (%)	
	Test Kısmı	Öğrenme Kısmı
KA	64.96	89.03

RO	75.21	95.41
DÖ	58.97	73.47

Sonuçlar incelendiğinde en yüksek tahmin başarısını Rastgele Orman Algoritması (RA) ile en düşük performans ise Derin Öğrenme algoritması (DÖ) ile elde edilmiştir.

Literatürde tahmin oranının %70 üzerinde olmasının kabul edebilir olduğu vurgulanmaktadır. (Wadie vd., 2006). Bu nedenle en iyi demografik özelliklerini belirlemek için Rastgele Orman Algoritması seçilmiştir. Şekil 4.20’de test edilen üç yapay zekâ modelinin tahmin performansı karşılaştırılması gösterilmiştir.



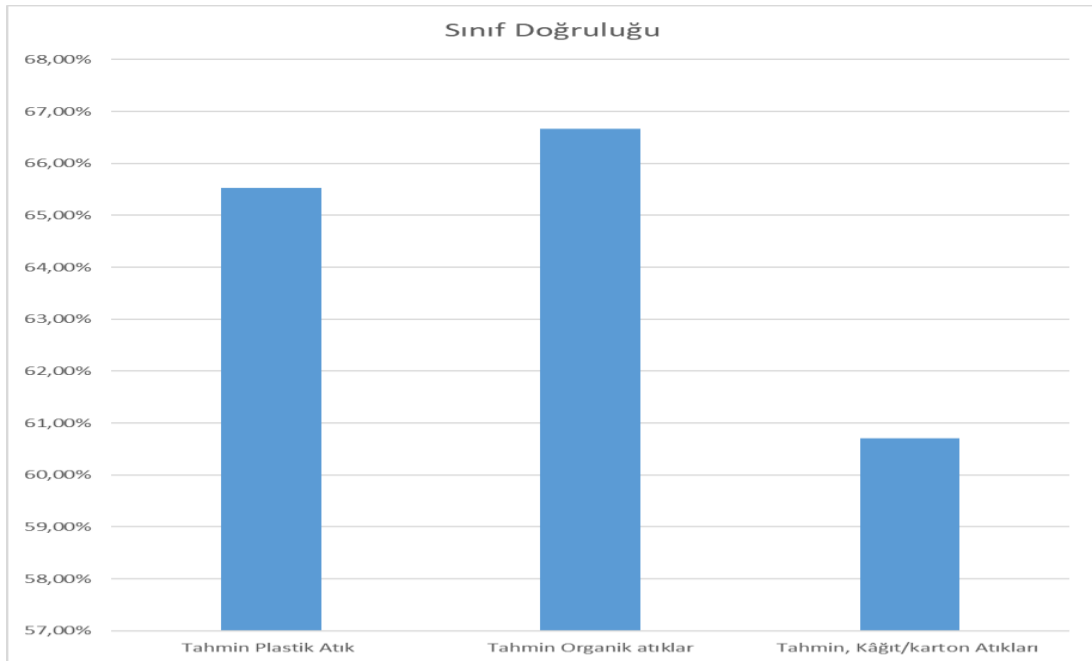
Şekil 4.20: Test edilen üç yapay zekâ modelinin tahmin performansı karşılaştırılması gösterilmiştir.

Tablo 4.3’te Karar Ağacı Algoritması (KA) ile elde edilen her bir farklı evsel atık türü için tahmin performansları gösterilmiştir.

Tablo 4.3: Karar Ağacı Algoritması (KA) ile elde edilen her bir farklı evsel atık türü için tahmin performansları.

	Doğru Plastik Atıklar	Doğru Organik Atıklar	Doğru Kâğıt/ Karton Atıkları	Sınıf Doğruluğu
Tahmin Plastik Atıklar	19	4	6	65.52%
Tahmin Organik Atıklar	8	40	12	66.67%
Tahmin. Kâğıt/ Karton Atıkları	4	7	17	60.71%
	61.29%	78.43%	48.57%	

Şekil 4.21’de Karar Ağacı Algoritması (KA) ile elde edilen her bir farklı evsel atık türü için karşılaştırmalı tahmin performansları gösterilmiştir.



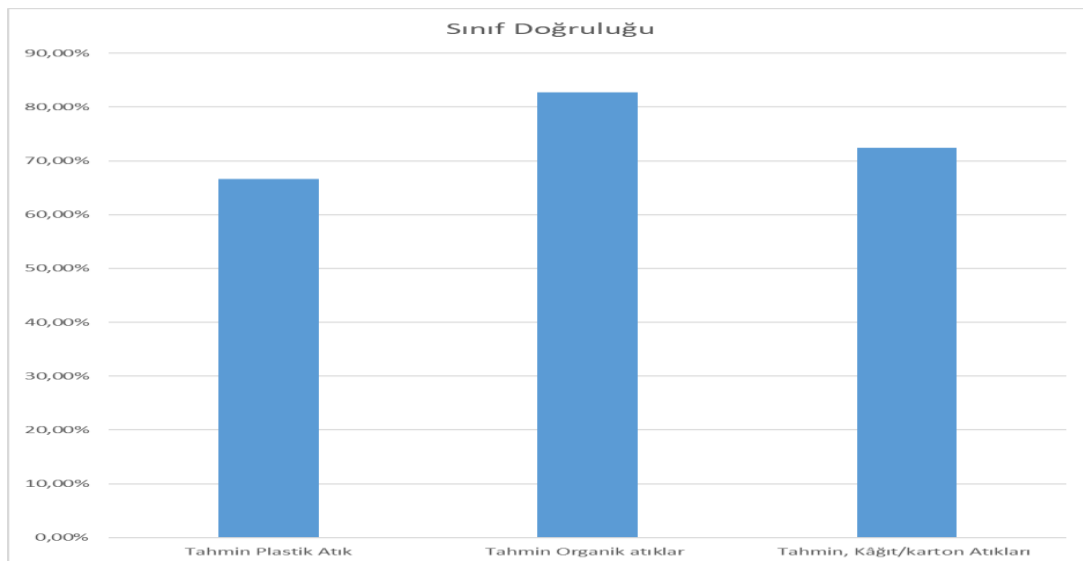
Şekil 4.21: Karar Ağacı Algoritması (KA) ile elde edilen her bir farklı evsel atık türü için karşılaştırmalı tahmin performansları.

Tablo 4.4'te Rastgele Orman Algoritması (RO) ile elde edilen her bir farklı evsel atık türü için tahmin performansları gösterilmiştir.

Tablo 4.4: Rastgele Orman Algoritması (RO) ile elde edilen her bir farklı evsel atık türü için tahmin performansları.

	Doğru Plastik Atıklar	Doğru Organik Atıklar	Doğru Kâğıt/ Karton Atıkları	Sınıf Doğruluğu
Tahmin Plastik Atıklar	24	5	7	66.67%
Tahmin Organik Atıklar	2	43	7	82.69%
Tahmin. Kâğıt/ Karton Atıkları	5	3	21	72.41%
	77.42%	84.31%	60.00%	

Şekil 4.22'de Rastgele Orman Algoritması (RO) ile elde edilen her bir farklı evsel atık türü için karşılaştırmalı tahmin performansları gösterilmiştir.



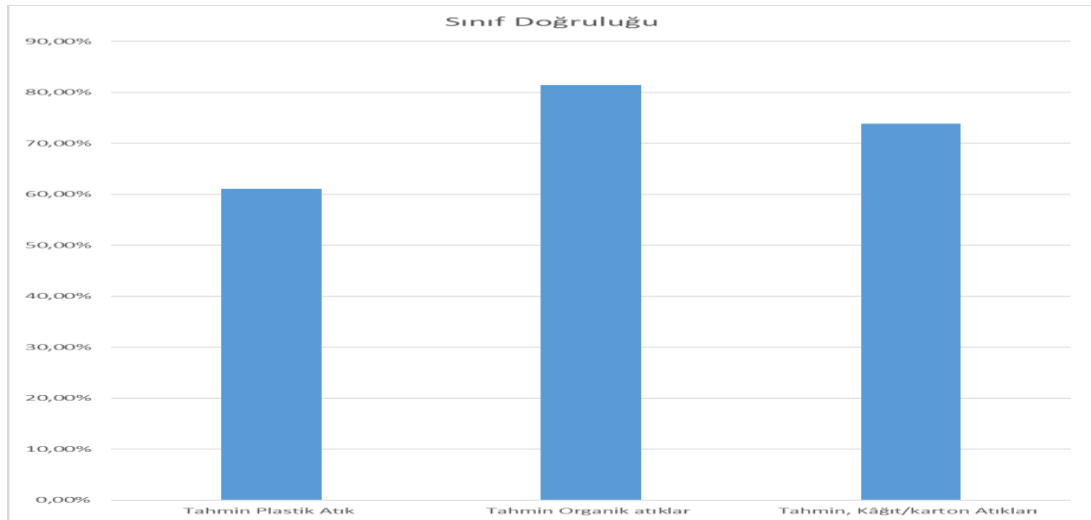
Şekil 4.22: Rastgele Orman Algoritması (RO) ile elde edilen her bir farklı evsel atık türü için karşılaştırmalı tahmin performansları.

Tablo 4.5’da Derin Öğrenme Algoritması (DÖ ile elde edilen her bir farklı evsel atık türü için tahmin performansları gösterilmiştir.

Tablo 4.5: Derin Öğrenme Algoritması (DÖ ile elde edilen her bir farklı evsel atık türü için tahmin performansları .

	Doğru Plastik Atıklar	Doğru Organik Atıklar	Doğru Kâğıt/ Karton Atıkları	Sınıf Doğruluğu
Tahmin Plastik Atıklar	69	21	23	61.06%
Tahmin Organik Atıklar	16	140	16	81.40%
Tahmin. Kâğıt/ Karton Atıkları	18	10	79	73.83%
	66.99%	81.87%	66.95%	

Şekil 4.23’de Derin Öğrenme Algoritması (DÖ) ile elde edilen her bir farklı evsel atık türü için karşılaştırmalı tahmin performansları gösterilmiştir.



Şekil 4.23: Derin Öğrenme Algoritması (DÖ) ile elde edilen her bir farklı evsel atık türü için karşılaştırmalı tahmin performansları.

Performans testlerinden sonra Rastgele Orman algoritması ile oluşturulan simülasyonlar sayesinde en çok plastik atıklar, en çok organik atıklar ve en çok kâğıt/ karton atıklarını bırakan bireylerin demografik özellikler belirlenmiştir. Şekil 4.24’de en çok plastik atık bırakan bireyler için demografik özellikler gösterilmiştir.

The screenshot shows a web form titled "Input for Model" with the following fields and values:

Field	Value
Aylık Geliriniz:	1501-7000 TL arası
Cinsiyet:	Erkek
Evde yaşayan kişi sayısı:	3
Eğitim durumu:	Üniversite
Hafta kaç kez çöp bırakıyorsunuz:	4
Haftada bıraktığınız ortalama çöp miktarı:	2501- 12500 gram arası
Medeni Durumunuz:	Evlü
Meslek:	İşçi
Yaşadığınız alan:	Şehir (il, ilçe)
Yaşadığınız Bölge:	İç Anadolu
Yaşınız:	18-30 yaş arası
Çocuk sayısı:	1

At the bottom of the form, there is an "Optimize" button and a link "What is this?"

Şekil 4.24: En çok plastik atık bırakan bireyler için demografik özellikler.

Şekil 4.25’de En çok organik atık bırakan bireyler için demografik özellikler gösterilmiştir.

The screenshot shows a web form titled "Input for Model" with the following fields and values:

Field	Value
Aylık Geliriniz:	7001 TL ve üzeri
Cinsiyet:	Erkek
Evde yaşayan kişi sayısı:	3
Eğitim durumu:	İlköğretim
Hafta kaç kez çöp bırakıyorsunuz:	6
Haftada bıraktığınız ortalama çöp miktarı:	12500 gram ve üzeri
Medeni Durumunuz:	Evlü
Meslek:	Emekli
Yaşadığınız alan:	Köy
Yaşadığınız Bölge:	Karadeniz
Yaşınız:	57 ve üzeri
Çocuk sayısı:	2

At the bottom of the form, there is an "Optimize" button and a link "What is this?"

Şekil 4.25: En çok organik atık bırakan bireyler için demografik özellikler.

Şekil 4.26’da en çok kâğıt/ karton atık bırakan bireyler için demografik özellikler gösterilmiştir.

The screenshot shows a web form titled "Input for Model" with the following fields and values:

Field	Value
Aylık Geliriniz:	1501-7000 TL arası
Cinsiyet:	Erkek
Evde yaşayan kişi sayısı:	3
Eğitim durumu:	Lisansüstü (Yüksek Lisans-Doktora)
Hafta kaç kez çöp bırakıyorsunuz:	4
Haftada bıraktığınız ortalama çöp miktarı:	501-2500 gram arası
Medeni Durumunuz:	Bekar
Meslek:	Çalışmıyor
Yaşadığınız alan:	Köy
Yaşadığınız Bölge:	Marmara
Yaşınız:	18-30 yaş arası
Çocuk sayısı:	0

At the bottom of the form, there is an "Optimize" button and a link "What is this?"

Şekil 4.26: En çok kâğıt/ karton atık bırakan bireyler için demografik özellikler.

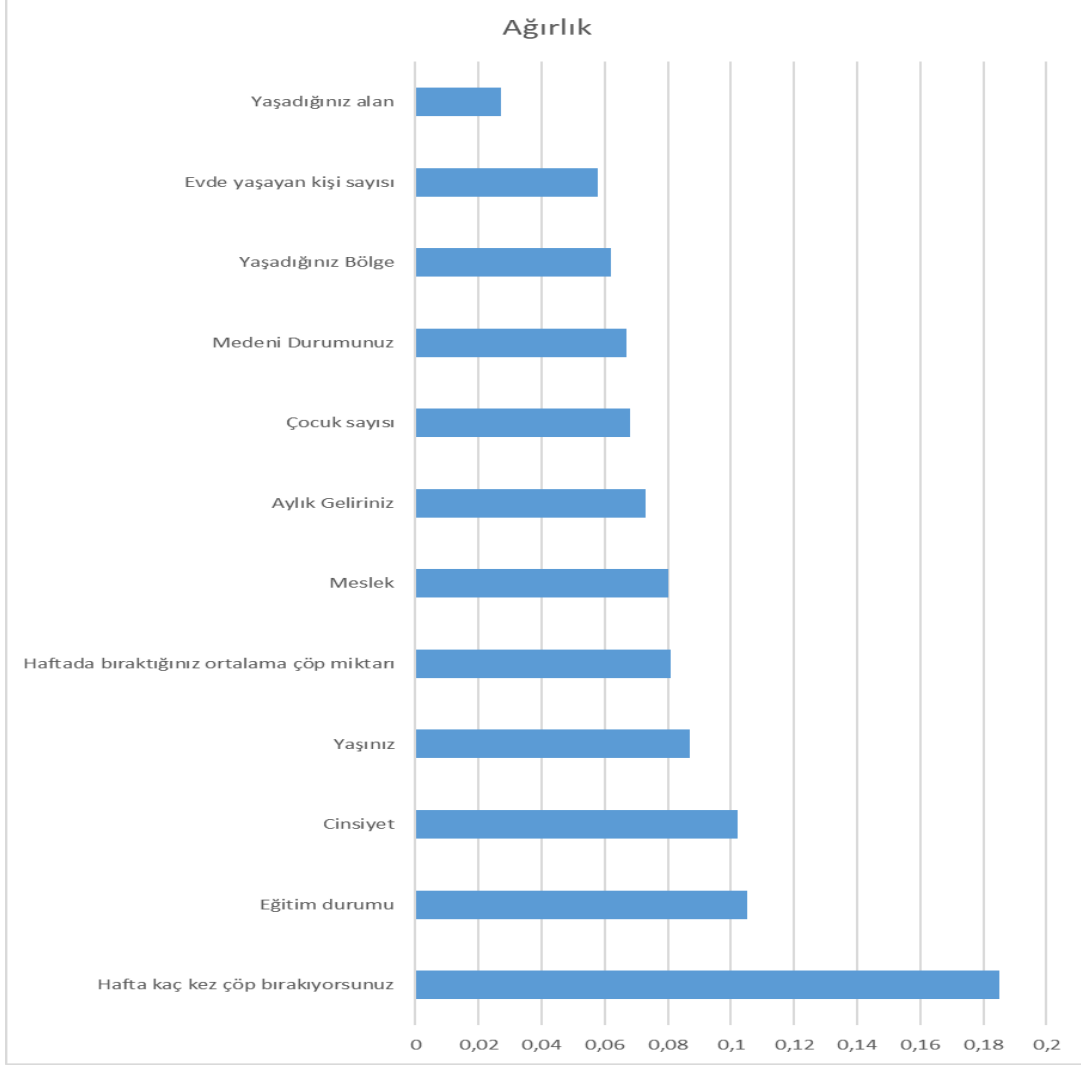
En çok kâğıt/ karton atık bırakan bireylerin demografik özellikleri değerlendirildiğinde, Aylık Geliri 1501-7000 TL olan, Erkek, Evde 3 Kişi Yaşayan, Lisansüstü Eğitime Sahip, Haftada 4 kez Çöp Çıkartan, Haftada Ortalama 501-2500 Gram Arası Çöp Bırakan, Bekâr Olan, Çalışmayan, Marmara Bölgesinde Köyde Yaşayan, Yaşı 18-30 Arası Olan ve Çocuğu bulunmayan kimseler olduğu belirlenmiştir. En az kâğıt/ karton atık bırakan bireylerin demografik özellikleri değerlendirildiğinde, Aylık Geliri 1501-7000 TL olan, Kadın, Evde 4 Kişi Yaşayan, Lisans Eğitime Sahip, Haftada 5 kez Çöp Çıkartan, Haftada Ortalama 501-2500 Gram Arası Çöp Bırakan, Evli Olan, Memur, Ege Bölgesinde Köyde Yaşayan, Yaşı 44-56 Arası Olan ve 2 çocuk sahibi kimseler olduğu belirlenmiştir.

Her bir atık türü için en çok atık bırakan bireylerin demografik özellikleri belirlendikten sonra rastgele orman algoritması ile faktörler önem derecesine göre sıralanmıştır. Tablo 4.6’de Demografik özellikler önem derecesine göre sıralanmıştır.

Tablo 4.6: Demografik özelliklerin önem derecesi.

Özellikler	Ağırlık
Hafta kaç kez çöp bırakıyorsunuz	0.185
Eğitim durumu	0.105
Cinsiyet	0.102
Yaşınız	0.087
Haftada bıraktığınız ortalama çöp miktarı	0.081
Meslek	0.080
Aylık Geliriniz	0.073
Çocuk sayısı	0.068
Medeni Durumunuz	0.067
Yaşadığınız Bölge	0.062
Evde yaşayan kişi sayısı	0.058
Yaşadığınız alan	0.027

Şekil 4.27’de demografik özelliklerin önem derecesine göre sıralanması gösterilmiştir.



Şekil 4.27: Demografik özelliklerin önem derecesine göre sıralanması.

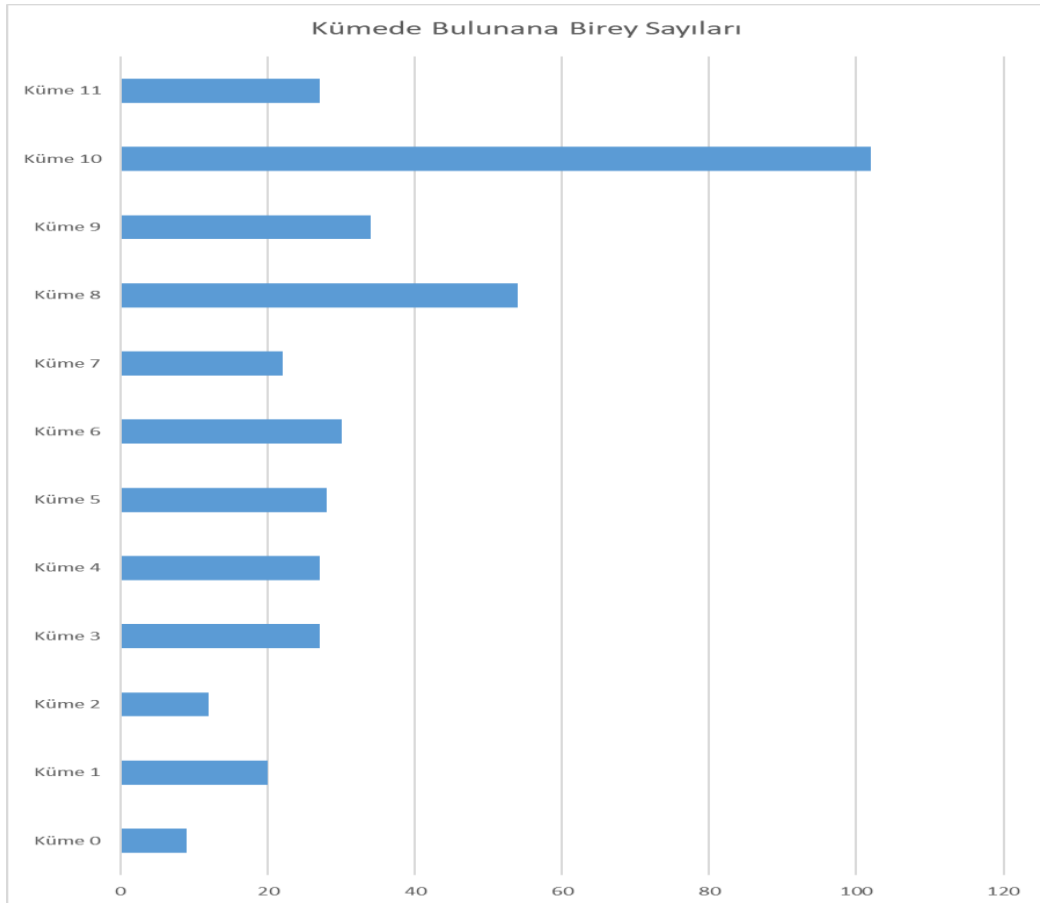
Tablo incelendiğinde hafta kaç kez çöp bırakıldığı, eğitim durumu, cinsiyet en önemli üç faktör olduğu belirlenmiştir. En az önemli faktörler ise evde yaşayan kişi sayısı ve yaşanılan alandır.

Tahmin simülasyonları gerçekleştirildikten sonra k-means algoritmasına dayalı kümeleme analizleri yapılmıştır. Çalışmada küme analizinin amacı birbirine benzer özelliklere sahip bireylerin bir araya getirilmesidir. Bu sayede en çok plastik, organik ve kâğıt/karton atıkları bırakan bireylerin profilleri çıkartılmıştır. Kümeleme analizini yapmadan önce küme sayısını belirlemek için performans testlerinin yapılması gerekmektedir. Davies-Bouldin indeksine dayalı olarak belirlenen performans testlerine göre en uygun küme sayısı 12 olarak tespit edilmiştir. Kümeler ve kümelerde bulunan birey sayıları tablo 4.7’de gösterilmiştir.

Tablo 4.7: Kümeler ve kümelerde bulunan birey sayıları.

Kümeler	Kümede Bulunan Birey Sayıları	Kümeler	Kümede Bulunan Birey Sayıları
Küme 0	9	Küme 6	30
Küme 1	20	Küme 7	22
Küme 2	12	Küme 8	54
Küme 3	27	Küme 9	34
Küme 4	27	Küme 10	102
Küme 5	28	Küme 11	27

Kümelerde bulunan birey sayılarının grafiksel gösterimi şekil 4.28’de gösterilmiştir.



Şekil 4.28: Kümelerde bulunan birey sayılarının grafiksel gösterimi.

Kümelerden 6 numaralı küme en çok plastik atıkları bırakan bireylerin bulunduğu kümedir.

Bu kümenin demografik özellikleri tablo 4.8’de gösterilmiştir.

Tablo 4.8: En çok plastik atıkları bırakan bireylerin bulunduğu kümenin demografik özellikleri.

Özellikler	Ağırlık
Hafta kaç kez çöp bırakıyorsunuz	3
Eğitim durumu	Üniversite
Cinsiyet	Erkek
Yaşınız	18-30 yaş arası
Haftada bıraktığınız ortalama çöp miktarı	100-500 gram
Meslek	Öğrenci
Aylık Geliriniz	1500 TL' den az
Çocuk sayısı	0
Medeni Durumunuz	Bekâr
Yaşadığınız Bölge	Güney Doğu
Evde yaşayan kişi sayısı	2
Yaşadığınız alan	Şehir
En çok bıraktığınız evsel atık türü	Plastik Atık (Örnek: şampuan şişeleri, torbalar kaplar)

Kümelerden 7 numaralı küme en çok organik atıkları bırakan bireylerin bulunduğu kümedir. Bu kümenin demografik özellikleri tablo 4.9’da gösterilmiştir.

Tablo 4.9: En çok Organik Atıkları bırakan bireylerin bulunduğu kümenin demografik özellikleri.

Özellikler	Ağırlık
Hafta kaç kez çöp bırakıyorsunuz	3
Eğitim durumu	Lise
Cinsiyet	Kadın
Yaşınız	18-30 yaş arası
Haftada bıraktığınız ortalama çöp miktarı	501-2500 gram
Meslek	Öğrenci
Aylık Geliriniz	1500 TL' den az
Çocuk sayısı	0
Medeni Durumunuz	Bekâr
Yaşadığınız Bölge	İç Anadolu
Evde yaşayan kişi sayısı	4
Yaşadığınız alan	Köy
En çok bıraktığınız evsel atık türü	Organik atıklar (Örnek: Ketan, buğday, Mısır, Meyve)

Kümelerden 11 numaralı küme en çok kâğıt/karton Atıkları bırakan bireylerin bulunduğu kümedir. Bu kümenin demografik özellikleri tablo 4.10'da gösterilmiştir.

Tablo 4.10: En çok Kâğıt/ Karton Atıkları bırakan bireylerin bulunduğu kümenin demografik özellikleri.

Özellikler	Ağırlık
Hafta kaç kez çöp bırakıyorsunuz	4
Eğitim durumu	Üniversite
Cinsiyet	Erkek
Yaşınız	18-30 yaş arası
Haftada bıraktığınız ortalama çöp miktarı	501-2500 gram
Meslek	Öğrenci
Aylık Geliriniz	1500 TL' den az
Çocuk sayısı	0
Medeni Durumunuz	Bekâr
Yaşadığınız Bölge	Güney Doğu
Evde yaşayan kişi sayısı	2
Yaşadığınız alan	Şehir
En çok bıraktığınız evsel atık türü	Kâğıt/ Karton Atıkları (Örnek: Kâğıtlar, ambalaj malzemesi, gazeteler.)

Kümeleme analizi sayesinde en çok plastik, organik ve kâğıt/ karton atıkları bırakan bireylerin profilleri çıkartılmıştır. Kümeler incelendiğinde temel farkın eğitim, cinsiyet ve yaşanan alan özelliklerinde olduğu görülmüştür. Kâğıt ve plastik atık bırakan bireylerin eğitim durumu üniversite iken organik atık bırakan bireylerin eğitimi durumu lise olarak bulunmuştur.

Cinsiyet özelliği bakımından kümeler incelendiğinde, kâğıt ve plastik atık bırakan bireylerin cinsiyeti erkek iken organik atık bırakan bireylerin cinsiyeti kadındır.

En çok organik atık bırakan bireylerin kümesinden yaşanan alan köy iken kâğıt ve plastik atık bırakan bireylerde şehir alanıdır.

Şehrin atık miktarının tahmin edilmesi, çöp yönetim sisteminin etkili bir şekilde tasarlanması için önemli adımlardan biridir. Atık hacminin önceden belirlenmesi, düzenli depolama sahalarının oluşması, geri dönüşüm ünitelerinin uygun şekilde planlanması, çöp toplama altyapısının geliştirilmesi ve işletilmesine fayda sağlayacaktır (Soni vd., 2019). Benzer şekilde hangi bireylerin hangi atıkları ne miktarda bıraktığını belirlemede çöp yönetim sistemlerinin gelişmesine fayda sağlayacaktır. Bu çalışmada atık bırakan bireylerin profillerini belirlemek için yapay zekâ tekniklerinin başarılı bir şekilde kullanılabileceği gösterilmiştir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada son zamanlarda tüm dünyanın konusu olan atıkları ele alınmıştır. Evsel atıklar yaşamı tehdit ettikleri için onlara karşı mücadele her insanın görevi hale gelmiştir. Yapay zekâya dayalı olarak atık bırakan bireylerin profillerinin belirlenmesi atıkların geri dönüşümde yardımcı olmaktadır. Aynı zamanda orman endüstrisinde verimliliği artırmak için yapay zekâ kullanımını büyük bir potansiyele sahiptir. Yapay zekâ ile beraber atık toplama, geri dönüşüm maliyetinin azalmasını ve atık toplama verimliliğini arttırabiliriz. Sonuç olarak, yapay zekâ teknolojisi atık toplamada insanlığa kolaylık sağlayarak bize temiz bir gelecek vaat etmektedir.

Hayatımızın her alanında yazım, çizim işlerimizde bizim ihtiyaçlarımızı karşılayan kâğıtların üretimi çok zahmetli ve maliyetlidir. 1 ton kâğıt üretmek için 2 ton ağaç harcanmaktadır. Buda ortalama 20 ağacın kesimi anlamında gelmektedir. Türkiye de kâğıt üretimi için yılda 2 milyar ağaç kesilmektedir. Kâğıt üretimi nedeni ile her yıl tahmini 18 milyon dönümlük ağaç kesilmektedir. Bu alan genel olarak 20 futbol sahasına eşittir. Bu kadar ağacın kesilmesi bize büyük miktarda hava kirliliğine maruz kalmamıza sebep olur. Bu nedenle yapay zekâ teknolojisi ile kâğıt atıkların kullanımı ve toplanması için çözüm odaklı çalışmaların gerçekleştirilmesi oldukça önemlidir. Yapay zekâ teknolojisinin yardımını alarak daha az kâğıt kullanımı ile ağaçların katledilmesinin önüne geçebiliriz.

Çalışma sonucunda, yapay zekâ kullanımı ile farklı katı atık bırakan bireylerin özelliklerinin belirlenmesinin mümkün olduğu tespit edilmiştir. Aynı zamanda, yapay zekânın atık bırakan bireylerin profillerinin çıkartılmasına imkân sağladığı bulunmuştur. En çok kâğıt/ karton atık bırakan bireylerin demografik özellikleri Aylık Geliri 1501-7000 TL olan, Erkek, Evde 3 Kişi Yaşayan, Lisansüstü Eğitime Sahip, Haftada 4 kez Çöp Çıkartan, Haftada Ortalama 501-2500 Gram Arası Çöp Bırakan, Bekâr Olan, Çalışmayan, Marmara Bölgesinde Köyde Yaşayan, Yaşı 18-30 Arası Olan ve Çocuğu bulunmayan kimseler olduğu belirlenmiştir. En az kâğıt/ karton atık bırakan bireylerin demografik özellikleri, Aylık Geliri 1501-7000 TL olan, Kadın, Evde 4 Kişi Yaşayan, Lisans Eğitime Sahip, Haftada 5 kez Çöp Çıkartan, Haftada Ortalama 501-2500 Gram Arası Çöp Bırakan, Evli Olan, Memur, Ege Bölgesinde Köyde Yaşayan, Yaşı 44-56 Arası Olan ve 2 çocuk sahibi kimseler olduğu belirlenmiştir.

Atık geri dönüşümü için yapay zekâ teknolojisi çalışmalarının sayısını artırarak ve toplumu bilgilendirerek bu sistemler hakkında farkındalık sağlayabiliriz. Tez çalışmamız sonucunda elde etmiş olduğumuz verilere göre yapay zekâ, çevre sorunlarının verimli bir şekilde çözülmesinde oldukça etkili bir araçtır. Çalışmada, şehirler için yapay zekâdan faydalanılarak akıllı atık yönetim sistemlerine dayalı ekonomik çözümlerin bulunması önerilmektedir.

KAYNAKLAR

- Abdallah, M., Talib, M. A., Feroz, S., Nasir, Q., Abdalla, H., ve Mahfood, B (2020). Artificial Intelligence Applications in Solid Waste Management: A Systematic Research Review. *Waste Management* 109: 231–46.
- Ao, Y., Li, H., Zhu, L., Ali, S. ve Yang, Z. (2019). Identifying Channel Sand-Body from Multiple Seismic Attributes with an Improved Random Forest Algorithm. *Journal of Petroleum Science ve Engineering* 173: 781–92.
- Bou-Hamad, I., ve Jamali, I. (2020). Forecasting Financial Time-Series Using Data Mining Models: A Simulation Study. *Research in International Business ve Finance* 51: 101072.
- Chen, J., Huang, S., BalaMurugan, S., ve Tamizharasi, G. S.. (2021). Artificial Intelligence Based E-Waste Management for Environmental Planning. *Environmental Impact Assessment Review* 87: 106498.
- Chou, J. S., Ho, C. C., ve Hoang, H. S. (2018). Determining Quality of Water in Reservoir Using Machine Learning. *Ecological Informatics* 44: 57–75.
- Höppner, S., Stripling, E., Baesens, B., vanden Broucke, S., ve Verdonck, T. (2018). Profit Driven Decision Trees for Churn Prediction. *European Journal of Operational Research*. 284(3), 920-933.
- Huang, J., ve Koroteev, D. D. (2021). Artificial Intelligence for Planning of Energy ve Waste Management. *Sustainable Energy Technologies ve Assessments* 47: 101426.
- Kim, S., Pan, S., ve Mase, H.. (2019). Artificial Neural Network-Based Storm Surge Forecast Model: Practical Application to Sakai Minato, Japan. *Applied Ocean Research* 91: 101871.
- Liao, Z., Lan, P., Fan, X., Kelly, B., Innes, A., ve Liao, Z.. (2021). SIRVD-DL: A COVID-19 Deep Learning Prediction Model Based on Time-Dependent SIRVD. *Computers in Biology ve Medicine* 138: 104868.
- Liu, M., Tan, S., Zhang, M., He, G., Chen, Z., Fu, Z., & Luan, C. (2020). Waste Paper Recycling Decision System Based on Material Flow Analysis ve Life Cycle Assessment: A Case Study of Waste Paper Recycling from China. *Journal of Environmental Management* 255: 109859.
- Lu, Y. J., Tsai, M. J., ve Chang, F. C. (2017). Forest Waste Derived Fuel with Waste Cooking Oil. *Energy Procedia* 105: 1250–54.
- Nowakowski, P., Szwarc, K., ve Boryczka, U. (2020). Combining an Artificial Intelligence Algorithm ve a Novel Vehicle for Sustainable E-Waste Collection. *Science of The Total Environment* 730: 138726.
- Nowakowski, P., Szwarc, K., ve Boryczka, U.. (2018). Vehicle Route Planning in E-Waste

Mobile Collection on Demand Supported by Artificial Intelligence Algorithms. *Transportation Research Part D: Transport ve Environment* 63: 1–22.

Pu, Y., Apel, D. B., ve Lingga, B. (2018). Rockburst Prediction in Kimberlite Using Decision Tree with Incomplete Data. *Journal of Sustainable Mining* 17(3): 158–65.

Soni, U., Roy, A., Verma, A., & Jain, V. (2019). Forecasting municipal solid waste generation using artificial intelligence models—a case study in India. *SN Applied Sciences*, 1(2), 162.

Udayakumar, S., Senadeera, D. C., Yamunarani, S., ve Cheon, N. J. (2018). Demographics Analysis of Twitter Users Who Tweeted on Psychological Articles ve Tweets Analysis. *Procedia Computer Science* 144: 96–104.

Tatoutchoup, F. D. (2016). Optimal Rate of Paper Recycling. *Forest Policy ve Economics* 73: 264–69.

URL-1 (2022) <https://www.thebalancemoney.com/pollution-facts-economic-effect-4161042>

URL-2 (2019) <https://www.hrw.org/report/2019/09/17/rainforest-mafias/how-violence-and-impunity-fuel-deforestation-brazils-amazon>, (17.09.2017)

URL-3 (2022) <https://www.usda.gov/media/blog/2022/01/24/food-waste-and-its-links-greenhouse-gases-and-climate-change>, (24.01.2022)

URL-4 (2020) <https://www.magellanic-clouds.com/blocks/en/2020/03/30/mec/>, (30.03.2020)

URL-5 (2022) <https://thanam.com.my/recycle-center-plastic-recycling-company-in-malaysia/>, (17.08.2022)

URL-6 (2019) <https://iwma.com/guide/cardboard/> , (12.01.2019).

URL-7 (2019) <https://www.wastetodaymagazine.com/article/harvard-toolkit-provides-guidance-organic-waste-bans/> , (17.07.2019).

Wadie, B.S., Badawi, A.M., Abdelwahed, M., Elemabay, S.M., 2006. Application of artificial neural network in prediction of bladder outlet obstruction: A model based on objective, noninvasive parameters. *Urology*, 68(6): 1211-1214.

Weber, C. M., Ray, D., Valverde, A. A., Clark, J. A., ve Sharma, K. S. (2022). Gaussian Mixture Model Clustering Algorithms for the Analysis of High-Precision Mass Measurements. *Nuclear Instruments ve Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors ve Associated Equipment*: 166299.

Xu, H., Feng, L., Wu, G., & Zhang, Q. (2021). “Evolution of Structural Properties and Its Determinants of Global Waste Paper Trade Network Based on Temporal Exponential Random Graph Models. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 149: 111402.

EKLER

EK 1. Çalışmada kullanılan anket.

Anket	
Cinsiyet	Kadın
	Erkek
Yaşınız	18-30 yaş arası
	31-43 yaş arası
	44-56 yaş arası
	57 ve üzeri
Medeni durumunuz	Bekâr
	Evli
Çocuk sayısı	0
	1
	2
	3
	4 ve üzeri
Eğitim durumu	İlköğretim
	Lise
	Üniversite
	Lisansüstü (Yüksek Lisans-Doktora)
Meslek	Çalışmıyor

	İşçi
	Memur
	Emekli
	Öğrenci
Aylık Geliriniz	1500 TL' den az
	1501-7000 TL arası
	7000 TL ve üzeri
Yaşadığınız Bölge	İç Anadolu
	Doğu Anadolu
	Karadeniz
	Güney Doğu
	Ege
	Marmara
	Akdeniz
Evde yaşayan kişi sayısı	1
	2
	3
	4
	5 ve üzeri
Hafta kaç kez çöp	1

bırakıyorsunuz	2
	3
	4
	5
	6
	7
	Haftada bıraktığınız ortalama Çöp miktarı
501-2500 gram	
2501-12500 gram	
12501 gram ve üzeri	
Yaşadığınız	Şehir
	Köy
En çok bıraktığınız evsel atık türü	Plastik Atık (Örnek: şampuan şişeleri, torbalar kaplar)
	Kâğıt/ Karton Atıkları (Örnek: Kâğıtlar, ambalaj malzemesi, gazeteler,)
	Organik atıklar (Örnek: Keten, buğday, Mısır, Meyve)