



DÖNGÜSEL EKONOMİ KAPSAMINDA ATIK MİKTARLARININ BULANIK MANTIK İLE HESAPLANMASI: TÜRKİYE ÖRNEĞİ

Nuh OKUMUŞ*

Abdullah KARGIN**

Öz

Bu çalışmada, Türkiye'deki 81 ilin ayrı ayrı yıllık atık miktarlarını belirlemek amacıyla yapay zeka destekli bir uygulama yapıldı. Bu uygulama için bulanık mantık temelli Fuzzy Matlab ara yüzü kullanıldı. Uygulamanın kullanılabilirliğini görmek için TÜİK tarafından belirlenen 2020 yılı toplam atık verileri kullanıldı. Atıkların sınıflandırılmasında Sanayi, Maden-Termik, Sağlık Kuruluşu ve Nüfus kriterleri göz önünde bulunduruldu. Bu sınıflandırma, TÜİK verilerinin bu kategoriler altında sınıflandırılmış olması nedeniyle tercih edilmiştir. Bu uygulama ile 81 ilden 2020 yılında toplanması gereken atık miktarı belirlendi. Böylece illere göre atık miktarını tahmin etmek ve atık yönetimi süreçlerinde verimliliği artırma amaçlandı. Elde edilen bulgular, yerel yönetimlerin ve ilgili paydaşların atık yönetimi stratejilerini iyileştirmelerine yönelik somut veriler sunarak, sıfır atık hedeflerine ulaşma yolunda daha etkin politikalar geliştirmelerine yardımcı olabilir. Yapay zekâ destekli atık yönetimi sistemlerinin kullanımının artırılması, yalnızca çevresel sürdürülebilirliği artırmakla kalmayacak, aynı zamanda atıkların ekonomiye kazandırılmasına da olanak sağlayacaktır.



* Doktora Öğrencisi. Gaziantep Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, okumus27@gmail.com, Gaziantep/Türkiye.



** Dr. Öğr. Üyesi. Gaziantep Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Matematik Bölümü, kargin@gantep.edu.tr, Gaziantep/Türkiye.

Sonuç olarak, bu tür araştırmalar, Türkiye'nin atık yönetiminde verimliliği artırırken, aynı zamanda sıfır atık hedefine ulaşma yolunda bir adım daha atılmasına katkı sağlayacaktır.

Anahtar Kelimeler: Bulanık Mantık, Fuzzy Matlab Ara Yüzü, Yapay Zeka, Atık Miktarı, Sıfır Atık, Geri Dönüşüm.

CALCULATION OF WASTE QUANTITIES WITHIN THE SCOPE OF CIRCULAR ECONOMY WITH FUZZY LOGIC: THE CASE OF TURKEY

Abstract

In this study, an artificial intelligence-supported application was developed to determine the annual waste quantities of 81 provinces in Turkey. Fuzzy Matlab interface based on fuzzy logic was used for this application. In order to see the usability of the application, the total waste data for 2020 determined by TurkStat was used. Industrial, Mining-Thermal, Health Institution and Population criteria were taken into consideration in the classification of waste. This classification was preferred as TurkStat data is classified under these categories. With this application, the amount of waste to be collected from 81 provinces in 2020 was determined. Thus, it was aimed to estimate the amount of waste by province and increase efficiency in waste management processes. The findings obtained can help local governments and relevant stakeholders develop more effective policies towards achieving zero waste targets by providing concrete data to improve waste management strategies. Increasing the use of AI-supported waste management systems will not only increase environmental sustainability, but will also allow waste to be recycled into the economy. As a result, such research will not only increase efficiency in Turkey's waste management, but also contribute to taking another step towards achieving the zero waste target.

Keywords: Fuzzy Logic, Fuzzy Matlab Interface, Artificial Intelligence, Waste Amount, Zero Waste, Recycling.

1. GİRİŞ

Sıfır atık ve döngüsel ekonomi, atık ve kirliliği azaltmayı, kaynakların verimli kullanımını artırmayı ve sürdürülebilir ekonomik büyümeyi amaçlayan bir

yaklaşımdır. Geleneksel lineer ekonomi modelinin aksine, ürünleri, malzemeleri ve bileşenleri mümkün olduğunca uzun süre kullanımda tutmayı hedefler. Bu sistem, “al-yap-at” modelinin tersine "azalt, yeniden kullan ve geri dönüştür" prensiplerine dayanır. Bu sistem, atık miktarını ve kirliliği azaltırken kaynak verimliliğini artırır, yeni iş olanakları yaratarak ekonomik büyümeye ve sürdürülebilir bir geleceğe katkı sağlar (<https://sifiratik.gov.tr>, 2019). Tuğaç (2025) Türkiye'deki yeşil konutların, kentsel dönüşüm projelerinde insana yakışır yaşam alanları oluşturulmasına ve konut hakkının gerçekleştirilmesine katkı sağlayarak iklim ve afet direnciliğini artırmak ve küresel iklim değişikliğiyle mücadelede önemli bir rol oynayabileceğini vurguladı. Budak ve Keçeci (2024) temizlik ve kozmetik sektöründeki ürünlerin sıfır atık hareketindeki performansları, ekonomik ve sosyal boyutlarını ele almışlardır. Kutlu (2024) meyve ve sebze atıklarının sıfır atık yaklaşımıyla sirke ve turşu üretimi için kullanım potansiyelini artırarak, gıda israfını azaltmayı ve atık yönetimini iyileştirmeyi amaçlayarak bu yöntemlerin sürdürülebilir gıda üretimine katkı sağlama potansiyelini vurguladı. Ülgüdür vd. (2024) yılında sıfır atık yönetiminin bireysel, kurumsal ve toplumsal çabayı gerektirdiğini, doğru uygulamalarla sürdürülebilirlik ve döngüsel ekonomiye geçişin mümkün olduğunu, ancak hatalı uygulamaların başarıyı engelleyebileceğini elde ettiler.

Bulanık mantık ve kümeler 1965 yılında Zadeh tarafından tanımlandı (Zadeh, 2024). Bulanık mantık, klasik mantık sistemlerinden farklı olarak, belirsizlik ve karmaşıklığı modelleme amacı güden bir mantık sistemidir. Klasik mantıkta bir şey ya doğru (1) ya da yanlış (0) olarak değerlendirilirken, bulanık mantıkta bu durumlar arasındaki herhangi bir değeri alabilir. Yani, bir ifade 0 ile 1 arasında herhangi bir değerde olabilir, örneğin 0,85 doğru, 0,42 yanlış olabilir. Bu sayede, gerçek dünyadaki belirsiz, kesin olmayan verileri daha doğru bir şekilde modelleyebilir. Yapay zeka uygulamalarında, özellikle uzman sistemler, kontrol sistemleri ve makine öğrenimi gibi alanlarda, bulanık mantık insan benzeri karar

verme süreçlerini simüle etmek için kullanılır. Örneğin, otomatik iklimlendirme sistemleri, otonom araçlar ve dil işleme uygulamaları bulanık mantığın sağladığı esneklikten faydalanarak daha hassas ve uyarlanabilir çözümler üretebilir.

Sıfır atık, kaynakların etkin kullanımını ve atık üretiminin minimize edilmesini hedefleyen bir yaklaşım olarak, sürdürülebilirliğin sağlanmasında önemli bir rol oynamaktadır. Bu yaklaşım, çevresel kirliliği azaltırken ekonomik büyümeyi teşvik eden bir sistem olarak öne plana çıkmaktadır. Türkiye ve dünya genelinde gerçekleştirilen çeşitli araştırmalar, yapay zekâ teknolojilerinin atık yönetimi ve geri dönüşüm süreçlerini optimize ederek sıfır atık hedeflerine ulaşmada önemli bir katkı sağladığını ortaya koymaktadır. Yıllık atık miktarının doğru bir şekilde belirlenmesi, atık yönetim stratejilerinin belirlenmesinde büyük öneme sahiptir. Bu çalışmada, Türkiye'deki 81 ilin yıllık atık miktarlarını belirlemek ve sıfır atık hedefine yönelik veri temelli bir model sunmak amacıyla yapay zekâ kullanıldı. Çalışmada Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) tarafında belirlenen 2020 yılı verileri kullanılmıştır (TÜİK, 2020). Türkiye genelindeki atıklar dört ana kategoride sınıflandırılmıştır: belediyelerden elde edilen nüfus atıkları, sanayi kuruluşlarından çıkan endüstriyel atıklar, hastanelerden elde edilen tıbbi atıklar, madenlerden ve termik santrallerden elde edilen atıklar. Bu sınıflandırma, TÜİK verilerinin bu kategoriler altında sınıflandırılmış olması nedeniyle tercih edilmiştir. Çalışmada, Matlab programının Fuzzy Matlab ara yüzü kullanılarak bulanık mantık tabanlı bir yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntem, 81 ilden toplanması gereken atık miktarını tahmin etmeyi ve atık yönetimi süreçlerinde verimliliği artırmayı amaçlamaktadır. Bu yöntem ile 2020 yılı Türkiye geneli atık miktarı verileri ile her bir il için atık tahminleri yapılmıştır. Bu çalışma, Türkiye'nin sıfır atık hedeflerine ulaşmasına katkı sağlamak amacıyla önemli bir rehber sunmaktadır. Elde edilen bulgular, yerel yönetimlerin ve ilgili paydaşların atık yönetimi stratejilerini iyileştirmelerine yönelik somut veriler sunarak, sıfır atık hedeflerine ulaşma yolunda daha etkin politikalar geliştirmelerine yardımcı olabilir. Yapay

zekâ destekli atık yönetimi sistemlerinin kullanımının artırılması, yalnızca çevresel sürdürülebilirliği artırmakla kalmayacak, aynı zamanda atıkların ekonomiye kazandırılmasına da olanak sağlayacaktır. Sonuç olarak, bu tür araştırmalar, Türkiye'nin atık yönetiminde verimliliği artırırken, aynı zamanda sıfır atık hedefine ulaşma yolunda bir adım daha atılmasına katkı sağlayacaktır.

2. LİTERATÜR TARMASI

Dünya nüfusunun hızla artması ve sınırlı kaynakların üzerindeki baskının giderek artması, atık yönetimini ve çevresel sürdürülebilirliği kritik bir hale getirmiştir. Artan tüketim alışkanlıkları ve üretim süreçleri, çevreye ve ekosistemlere yönelik tehditleri artırırken, sıfır atık yaklaşımı bu sorunlara çözüm sunmaktadır. Sıfır atık, atıkların üretim aşamasından başlayarak azaltılması, yeniden kullanılması, geri dönüştürülmesi veya enerji olarak değerlendirilmesini amaçlayan, çevresel ve ekonomik faydaları olan bir stratejidir. Küresel ölçekte giderek daha fazla benimsenen bu yaklaşım, ülkeler, şehirler ve şirketler tarafından yenilikçi atık yönetimi çözümleri geliştirilerek desteklenmektedir. Bu çabalar, sadece çevresel sürdürülebilirliği teşvik etmekle kalmayıp, aynı zamanda ekonomik verimliliği de artırmaktadır (<https://sifiratik.gov.tr>, 2019). Bu çabalara en büyük destek ise yapay zekâdan gelmektedir. Yapay zekâ, atık yönetiminde devrim yaratabilecek potansiyele sahip bir teknoloji olarak dikkat çekmektedir. Yapay zekâ destekli sistemler, atık ayrıştırma, yönetim ve geri dönüşüm süreçlerini daha verimli ve etkili hale getirerek sıfır atık hedeflerine ulaşmayı kolaylaştırmaktadır. Sıfır atık yönetiminde yapay zekânın kullanımı ile ilgili literatürde birçok çalışma yer almaktadır. Lanzalonga vd. (2024) yapay zekanın kamu hizmetlerinde atık yönetimi ve döngüsel ekonomi modellerini iyileştirmedeki rolünü, Alia Servizi Ambientali Spa örneği üzerinden analiz ettiler. Alferra vd. (2024) atık biokütleinin gazlaştırılmasının modellenmesi için makine öğrenimi ve derin öğrenme yaklaşımlarının etkinliğini, avantajlarını, dezavantajlarını incelediler. Udupi vd.

(2024) akıllı şehirler için sürdürülebilir atık yönetimi uygulamaları ve akıllı teknolojiler aracılığıyla atık üretimi ve yönetim sistemi üzerine bir çalışma yapmıştır. Kuok vd. (2023) yapay zekanın küresel ısınma ile mücadelede net sıfır emisyon hedefine ulaşma potansiyelini, kirlilik azaltma ve atık yönetimi süreçlerindeki etkisini sistematik bir şekilde değerlendirmiş ve bu alanda karşılaşılan engelleri kapsamlı bir şekilde haritalandıran bir çalışma yaptılar. Kurniawan vd. (2023) yapay zeka tabanlı dijitalleşmenin dairesel ekonomi çerçevesinde atık geri dönüşüm endüstrisinde sürdürülebilirlik, operasyonel verimlilik ve çevresel etkilerin optimizasyonu üzerindeki potansiyelini sistematik bir şekilde inceleyen bir çalışma gerçekleştirdiler. Chen vd. (2021) yapay zekayı kullanarak elektronik atıkların (e-atık) içerdiği tehlikeli kirleticileri yaparak bu kirleticilerin iklim değişikliği ve insan sağlığı üzerindeki etkilerini değerlendiren kapsamlı bir çalışma yapmışlardır. Shennib ve Schmitt (2021) yapay zeka ve döngüsel ekonomiye yönelik teknolojilerin sürdürülebilir atık yönetimi ve mevcut uygulamalarını inceleyerek, açık ve iş birliğine dayalı veri paylaşımının önemini vurgulamakta ve bu alanda yeni araştırma ve geliştirme fırsatları önerdiler. Abdallah vd. (2020) yapay zeka tekniklerinin atık yönetiminde tahmin, optimizasyon ve planlama gibi alanlardaki mevcut uygulamaları analiz ettiler.

Geri dönüşüm, atıkların yeniden işlenerek ekonomiye kazandırılmasını sağlayan ve doğal kaynak tüketimini azaltarak çevresel sürdürülebilirliğe katkı sunan önemli bir yaklaşımdır. Bu yaklaşım, hem çevresel etkilerin minimize edilmesine hem de döngüsel ekonomiye geçişin hızlandırılmasına olanak tanımaktadır. Ergün ve Ener (2024) 2013-2022 yılları arasındaki verilerle Türkiye'de demir çelik sektörü ihracatı ile demirli atık, hurda ve gemi söküm ithalatı arasındaki ilişkiyi zaman serisi analizleri ve Toda-Yamamoto nedensellik testi ile inceleyerek sonuçlar ve öneriler sundular. Kaplan ve Soyluk (2024) deprem atıklarının etkin yönetimi, geri dönüşüm yöntemleriyle yapı sektöründe değerlendirilmesi ve sürdürülebilir atık yönetimi için afet atık mevzuatlarının düzenlenmesi gerektiğini

vurguladılar. Katrancioğlu vd. (2024) kiralık ürünlerin geri kazanımında farklı departmanların hedeflerini dikkate alarak bulanık ÇKKV yöntemleriyle en uygun geri kazanım opsiyonlarını belirlemek ve karar süreçlerini optimize etmek için bir model sundular.

Geri dönüşüm, atıkların çevreye zarar vermeden tekrar kullanılmasını veya değerlendirilmesini sağlayan kritik bir süreç olup, çevresel sürdürülebilirliğin sağlanması ve doğal kaynakların verimli bir şekilde kullanılması açısından önemlidir. Bu sürecin etkinliği, atıkların doğru bir şekilde ayrıştırılması ve işlenmesiyle doğrudan ilişkilidir (<https://sifiratik.gov.tr>, 2019). Yapay zekâ gibi yenilikçi teknolojiler, atık yönetimi süreçlerindeki karmaşıklığı azaltarak geri dönüşüm oranlarını artırır ve atık yönetim maliyetlerini düşürür. Bu teknolojiler, atık tesislerinde kullanılarak atıkların hızlı ve doğru bir şekilde sınıflandırılmasını ve işlenmesini sağlar, bu da geri dönüşüm sürecinin daha etkin bir şekilde gerçekleştirilmesine olanak tanır. Yapay zekâ algoritmaları, sürekli olarak iyileştirilerek ve optimize edilerek atık yönetimi süreçlerindeki verimliliği artırırken, çevresel sürdürülebilirliği destekler ve ekonomik faydalar sağlar. Bu nedenle, yapay zekâ tabanlı çözümlerin geri dönüşüm alanında yaygınlaşması, daha temiz ve sürdürülebilir bir gelecek için önemli bir adımı temsil etmektedir. Yapay zekânın geri dönüşümde kullanımı ile ilgili literatürde birçok çalışma yer almaktadır. Golafshani vd. (2024) geri dönüştürülmüş agrega betonun (RAC) basınç dayanımını tahmin etmek ve optimize etmek için makine öğrenme tekniklerini kullanarak, sürdürülebilir geri dönüşümü destekleyen bir yaklaşım geliştirdi. Qi vd. (2024) maden atıklarının güvenli yönetimini ve geri dönüştürülmesini destekleyen yeni bir yöntem geliştirdi. Qi (2024) otellerde enerji verimliliğini artırmak, atık yönetimini iyileştirmek ve karbon ayak izini azaltmak için yapay zeka teknolojilerinin kullanımının önemini vurgulayarak sürdürülebilir ve geri dönüşümü destekleyen yeni sürdürülebilir bir yaklaşım sundu. Arputharaj vd. (2024) gelişmiş atık yönetimi ve geri dönüşüm verimliliği

için akıllı sistemlerde, endüstriyel nesnelerin interneti ve yapay zekadan yararlanma üzerine bir çalışma yaptı. Erkinay vd. (2021) atık yönetimi ve geri dönüşüm süreçlerinde karşılaşılan zorlukları göz önünde bulundurarak makine öğrenimi algoritmalarının bu alanlardaki kullanımını analiz ederek bu alandaki son gelişmeleri incelediler. Yu vd. (2021) yapay zekâyı kullanarak atık yönetim sürecini optimize etmek ve geri dönüşümü artırmayı amaçlayan yeni bir yaklaşım sundular. Yu ve Grammenos (2021) geri dönüşüm süreçlerini iyileştiren ve gerçek zamanlı atık sınıflandırması yapabilen açık kaynaklı bir yapay zeka modeli sunmuştur. Wilts vd. (2021) yapay zeka kullanımı ile belediye atıklarının ayrıştırılmasını otomatizme eden, geri dönüşüm oranlarını ve malzeme saflığını artırmayı hedefleyen yeni bir yaklaşım sundular.

Türkiye, hızla gelişen ekonomisi ve artan nüfusuyla birlikte atık yönetimi konusunda önemli bir zorlukla karşı karşıyadır. Bu zorluk, atıkların etkin bir şekilde kontrol edilmesini ve işlenmesini gerektirirken, aynı zamanda sürdürülebilir bir atık yönetim stratejisinin geliştirilmesini de kaçınılmaz hale getirmektedir. Türkiye'nin farklı bölgelerinde atık yönetimi uygulamaları çeşitlilik gösterse de, genel anlamda atık yönetimi altyapısının güçlendirilmesi ve atıkların doğru bir şekilde işlenmesi gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Bu durum, çevresel sürdürülebilirlik ve kaynakların etkin kullanımı açısından stratejik bir öneme sahiptir. Atıkların etkin bir şekilde yönetilmesi, çevresel kirliliğin azaltılmasına, doğal kaynakların korunmasına ve ekonomik faydaların maksimize edilmesine yönelik kritik bir adımdır. Türkiye'deki atıklarla ilgili literatürde birçok çalışma yer almaktadır. Özbakır ve Nurtanış (2024) sosyal pazarlama programıyla Türkiye'de geri dönüşüm davranışını geliştirmek için bir çalışma yaptılar. Türkten ve Ceyhan (2024) Türkiye'de domates üretiminde oluşan organik atıkların seralarda topraksız tarım teknolojisiyle geri dönüştürülmesini çalıştılar. Kocak vd. (2024) Bandırma ve Balıkesir' deki bor atık yataklarının doğal radyoaktivite düzeyinin belirlenmesi üzerine çalıştılar. Erdebili ve Devrim (2022) tıbbi atıkların tahmin

edilmesinde makine öğrenimine dayalı topluluk oylama regresyonunu Türkiye için elde ettiler. Oğuz (2021) belediye katı atık üretimi tahmini için makine öğrenimi yaklaşımlarını elde etti. Özer ve Yay (2021) belediye atık yönetim sistemlerinin karşılaştırmalı yaşam döngüsü analizini Kırklareli için çalıştılar. Baki ve Ergun (2021) belediye katı atık yönetimini Türkiye’de döngüsel ekonominin değerlendirilmesi üzerine incelediler. Çakar vd. (2020) yılında Türkiye’de gıda atıklarının çevresel etkisinin değerlendirilmesi üzerine bir çalışma yaptılar.

3. YÖNTEM

Bu çalışmada Türkiye’deki 81 ilin yıllık atık miktarlarının belirlenmesi için Matlab programının bulanık mantık destekli Fuzzy Matlab ara yüzü kullanıldı. Çalışma, TÜİK’in 2020 yılı verileri doğrultusunda, Türkiye genelindeki atıkların dört ana kriter (Sanayi, Maden Termik, Sağlık Kuruluşu, Nüfus) sınıflandırılması ile bu kriterlere göre her ilin 2020 yılı için toplam atık miktarının belirlenmesi yapay zeka yöntemlerinden biri olan Fuzzy Matlab ara yüzü kullanılarak yapıldı. Böylece 2020 yılının Türkiye genelindeki toplam atık miktarına göre her ilde toplanması gereken atık miktarı belirlendi. Bu sayede, yerel yönetimler ve diğer paydaşlar için somut veriler sunarak sıfır atık hedefine ulaşmasına yönelik etkili politika geliştirilmesine yardımcı olunması amaçlanmaktadır. Tablo 1’de 2020 yılına göre illerin sanayi kuruluşu sayısı (Maliye ve Sosyal Politikalar, 2020), maden-termik sayısı (Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü, 2020), sağlık kuruluşu sayısı (Türkiye Cumhuriyeti Sağlık Bakanlığı, 2020) ve nüfus (TÜİK, 2020b) sayısı verildi. Bu verilere göre her ilde toplanması gereken atık miktarı belirlendi.

Tablo 1. 2020 yılı Türkiye’deki illerin kriterlere göre verileri

İLLER	SANAYİ	MADEN- TERMİK	SAĞLIK KURULUŞU	NÜFUS
Adana	1.657	166	32	2.258.718
Adıyaman	257	71	12	632.459
Afyonkarahisar	921	113	22	736.912
Ağrı	58	12	9	535.435
Amasya	198	61	7	335.494
Ankara	5.260	185	84	5.663.322
Antalya	1.444	68	46	2.548.308
Artvin	88	8	8	169.501
Aydın	788	89	23	1.119.084
Balıkesir	1.000	155	25	1.240.285
Bilecik	286	72	8	218.717
Bingöl	91	5	8	281.768
Bitlis	76	14	8	350.994
Bolu	289	59	11	314.802
Burdur	337	70	8	267.092
Bursa	5.096	129	42	3.101.833
Çanakkale	403	274	14	541.548
Çankırı	101	73	9	192.428
Çorum	386	44	16	530.126
Denizli	1.582	170	23	1.040.915
Diyarbakır	494	38	28	1.783.431
Edirne	270	19	11	407.763
Elazığ	287	57	13	587.960
Erzincan	118	34	10	234.431
Erzurum	133	24	21	758.279
Eskişehir	779	172	15	888.828
Gaziantep	2.705	1	32	2.101.157
Giresun	175	20	17	448.721
Gümüşhane	67	17	6	141.702
Hakkâri	37	11	4	280.514
Hatay	780	127	23	1.659.320
Isparta	332	33	15	440.304
Mersin	1.363	12	26	1.868.757
İstanbul	23.416	51	235	15.462.452
İzmir	4.984	119	61	4.394.694
Kars	83	14	8	284.923
Kastamonu	258	33	18	376.377
Kayseri	1.499	169	27	1.421.455
Kırklareli	347	38	10	361.737
Kırşehir	107	82	6	243.042
Kocaeli	2.924	89	29	1.997.258
Konya	3.121	436	45	2.250.020

Kütahya	421	267	13	576.688
Malatya	550	57	19	806.156
Manisa	1.676	228	28	1.450.616
Kahramanmaraş	774	196	18	1.168.163
Mardin	319	15	12	854.716
Muğla	650	205	22	1.000.773
Muş	81	9	7	411.117
Nevşehir	274	35	10	304.962
Niğde	191	69	8	362.071
Ordu	309	19	17	761.400
Rize	257	7	11	344.359
Sakarya	1.078	68	18	1.042.649
Samsun	637	27	26	1.356.079
Siirt	44	5	8	331.070
Sinop	127	7	7	216.460
Sivas	302	143	19	635.889
Tekirdağ	1.785	23	19	1.081.065
Tokat	218	80	15	597.861
Trabzon	464	22	22	811.901
Tunceli	31	17	6	83.443
Şanlıurfa	748	13	19	2.115.256
Uşak	593	47	8	369.433
Van	200	24	14	1.149.342
Yozgat	171	68	15	419.095
Zonguldak	271	114	12	591.204
Aksaray	300	15	10	423.011
Bayburt	19	4	5	81.910
Karaman	247	37	6	254.919
Kırıkkale	152	7	7	278.703
Batman	277	5	13	620.278
Şırnak	136	58	8	537.762
Bartın	115	18	3	198.979
Ardahan	36	0	3	96.161
Iğdır	51	3	4	201.314
Yalova	201	60	7	276.050
Karabük	159	75	6	243.614
Kilis	72	2	3	142.792
Osmaniye	248	0	10	548.556
Düzce	440	10	8	395.679

Tablo 2’de TÜİK verilerine göre 2020 yılında Türkiye genelinde sanayi, maden-termik, sağlık kuruluşu, nüfus kriterlerine göre toplam atık miktarı verildi. Tablo 2’deki toplam atık miktarları Şekil 1’deki verilere göre hesaplandı (TÜİK, 2020a).

Sanayi kriterinin toplam atık miktarı için Şekil 1’deki imalat sanayi işyerleri ve organize sanayi bölgelerine ait toplam atık miktarları alındı. Maden-termik kriterinin toplam atık miktarı için Şekil 1’deki termik santraller ve maden işletmelerine ait toplam atık miktarları alındı. Sağlık kuruluşu kriterinin toplam atık miktarı için Şekil 1’deki sağlık kuruluşlarına ait toplam atık miktarı alındı. Nüfus kriteri için Şekil 1’deki hane halkına ait toplam atık miktarı alındı.

Oluşan atık miktarı, 2018, 2020		(Ton)					
	Toplam atık miktar		Tehlikeli atık miktar		Tehlikesiz atık miktar		
	2018	2020	2018	2020	2018	2020	
Toplam	94 870 818	104 848 864	15 078 573	30 876 658	79 792 245	73 972 206	
İmalat sanayi işyerleri	22 881 144	23 867 866	3 677 320	4 597 274	19 203 824	19 270 593	
Termik santraller	26 127 134	24 375 356	13 805	10 012	26 113 329	24 365 343	
Maden işletmeleri ⁽¹⁾	17 387 029	27 581 875	11 176 581	26 044 730	6 210 448	1 537 144	
Organize sanayi bölgeleri	286 843	279 067	111 733	116 720	175 110	162 347	
Sağlık kuruluşları	89 454	109 683	86 916	106 570	2 538	3 113	
Hanehalkı ⁽²⁾	28 099 214	28 635 018	12 218	1 352	28 086 996	28 633 665	

Tablodaki rakamlar, yuvarlamadan dolayı toplamı vermeyebilir.

(1) Dekapaj malzemesi/ pasa hariç atık miktardır.

(2) Hanehalkından kaynaklı atık miktarı, Belediye Atık İstatistikleri Anketi sonuçları kullanılarak tahmin yöntemiyle hesaplanmıştır.

Şekil 1. Türkiye geneli 2018-2020 yılları atık miktarları

Kaynak: TÜİK, 2020a

Tablo 2. 2020 Yılı Türkiye Geneli Kriterlere Göre Toplam Atık Miktarı

	SANAYİ	MADEN TERMİK	SAĞLIK KURULUŞU	NÜFUS
Atık miktarı (Ton)	24.146.933	51.957.231	109.683	28.635.018

Bu bölümde, Fuzzy Matlab ara yüzünde kullanılan bulanık kümeler ve özel üyelik fonksiyonları, yapay zeka temelli Fuzzy Matlab ara yüzünün çalışma prensibi ve adımları ile Tablo 1’deki verilerin Fuzzy Matlab ara yüzünde kullanılması verildi.

3.1. Bulanık Kümeler ve Özel Üyelik Fonksiyonları

Bu bölümde, bulanık küme, üçgen bulanık sayı ve üçgen bulanık üyelik fonksiyonları verildi. Ayrıca, süreç değerlendirmesi için Fuzzy Matlab arayüzü kullanarak yeni bir yapay zeka uygulaması verildi.

Tanım 1: (Zadeh,1965) B bir evrensel küme olsun. B üzerinde bir A bulanık kümesi

$$A = \{ \langle a, \mu_A(x) \rangle : a \in B \}$$

şekilde tanımlanır.

Burada,

$$\mu_A: B \rightarrow [0,1]$$

olmak üzere

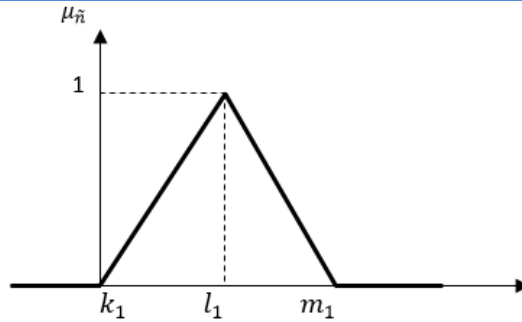
$\mu_A(x)$, A kümesinin üyelik fonksiyonudur.

Tanım 2: (Dubois & Prade,1980) Bir $\tilde{n} = [k_1, l_1, m_1]$ üçgen bulanık sayısı reel sayı üzerinde tanımlı özel bir bulanık kümedir ve

$$\mu_{\tilde{n}}(a) = \begin{cases} (a - k_1)/(l_1 - k_1), & k_1 \leq a < l_1 \text{ ise} \\ 1, & a = l_1 \text{ ise} \\ (m_1 - a)/(m_1 - l_1), & l_1 < a \leq m_1 \text{ ise} \\ 0, & a < k_1 \text{ veya } a > m_1 \text{ ise} \end{cases}$$

üyelik fonksiyonuna sahiptir.

Burada, $\mu_{\tilde{n}}$ özel olarak üçgen bulanık üyelik fonksiyonu olarak adlandırılır ve bu üyelik fonksiyonunun grafiği Şekil 2' de verildi.

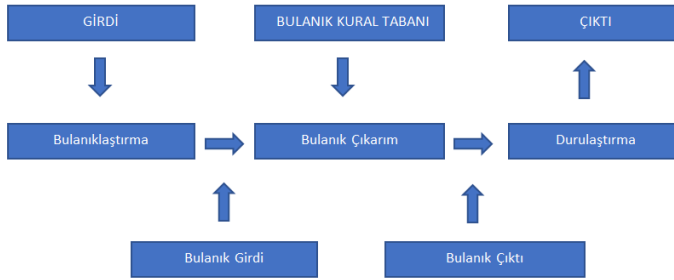


Şekil 2. $\tilde{n} = [k_1, l_1, m_1]$ Üçgen Bulanık Üyelik Fonksiyonu

3.2. Fuzzy Matlab Uygulaması

Fuzzy Matlab arayüzü, bir bulanık çıkarım sisteminin üyelik fonksiyonlarını ve kurallarını verilerden otomatik olarak ayarlamanıza olanak tanır. Tasarlanan bulanık mantık sistemleri bu ara yüz sayesinde değerlendirilebilir. Ayrıca, bulanık çıkarım sistemini yapay zeka tabanlı kara kutu modellerini açıklamak için bir destek sistemi olarak da kullanılabilir (Mathworks, 2021). Fuzzy Matlab ara yüzünün çalışma algoritması Şekil 3’de verildi. Bu uygulamada uzmanlar tarafından belirlenen problemin kriterleri girdi olarak ve istenilen sonuç çıktı olarak sisteme tanıtılır. Yine uzmanlar tarafından her bir girdi ve çıktı bulanık üyelik fonksiyonları kullanılarak derecelendirilir. Böylece bulanıklaştırma adımı da tamamlanmış olur. Fuzzy Matlab ara yüzünde iki adet bulanık çıkarım metodu bulunmaktadır. Bunlardan Sugeno çıkarım metodu tek bir durulaştırma yöntemine sahip iken Mamdani çıkarım metodu birden fazla durulaştırma metoduna sahip ve kullanıcılara daha fazla tercih sunmaktadır. Daha sonra her bir girdinin derecelerine ve çıktının derecelerine göre olası bütün durumlar bulanık kural olarak sisteme girilir. Böylece bulanık girdi elde edilir ve bulanık kural tabanı oluşturulur. Bu kurallar neticesinde girdiler ve çıktının bulanık üyelik fonksiyonlarının grafikleri bulanık çıktıları oluşturur. Durulaştırma adımı ise

bulanık çıktılarından elde edilen değer ve grafiklere göre sonuç (çıktı) elde edilir (Mathworks, 2021). Örneğin Mamdani çıkarım yöntemindeki Centroid durulaştırma yöntemi bulanık çıktılarından elde edilen grafiklerin kapsadığı kapalı alanın ağırlık merkezini sonuç olarak alırken Bisector durulaştırma yöntemi bulanık çıktılarından elde edilen grafiklerin kapsadığı kapalı alanı iki eşit parçaya ayıran değeri sonuç olarak hesaplar.



Şekil 3. Fuzzy Matlab Algoritması

Bu bölümde, TÜİK'in 2020 yılı verileri doğrultusunda, Türkiye genelindeki atıkların dört ana kriter (Sanayi, Maden Termik, Sağlık Kuruluşu, Nüfus) sınıflandırılması ile bu kriterlere göre her ilin 2020 yılı için toplam atık miktarının belirlenmesi için Matlab 2023a programının Fuzzy Matlab ara yüzü kullanıldı. Bu uygulama için atık miktarlarının sınıflandırılmasında kullanılan Sanayi, Maden Termik, Sağlık Kuruluşu, Nüfus kriterleri girdi olarak belirlendi ve kısaltmaları Tablo 3'de verildi.

Tablo 3. Fuzzy matlab Ara Yüzü Uygulaması için Girdiler ve Kısaltmaları

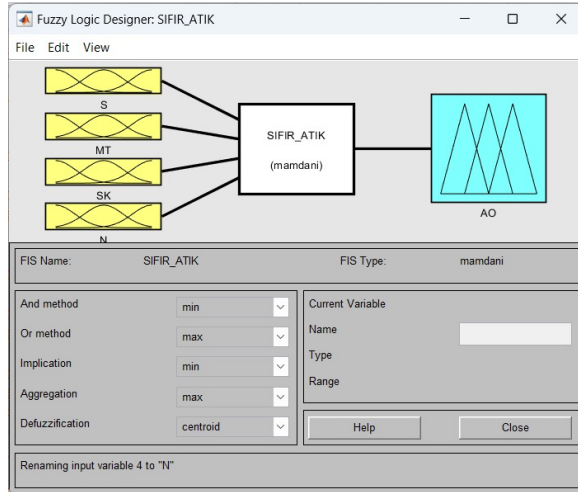
Girdiler	Kısaltmalar
Sanayi	S
Maden Termik	MT
Sağlık Kuruluşları	SK
Nüfus	N

Çıktı olarak ise her ilin atık oranı belirlendi ve Tablo 4’te kısaltması verildi.

Tablo 4. Fuzzy Matlab Ara Yüzü Uygulamasının Çıktısı

Çıktı	Kısaltma
Atık Oranı	AO

Ayrıca bu uygulamada Mamdani çıkarım yöntemi seçildi ve durulaştırma yöntemlerinden Centroid durulaştırma yöntemi kullanıldı. Şekil 4’te uygulamanın girdileri, çıktısı, bulanık çıkarım yöntemi ve durulaştırma yöntemi Fuzzy Matlab ara yüzünde görülmektedir.



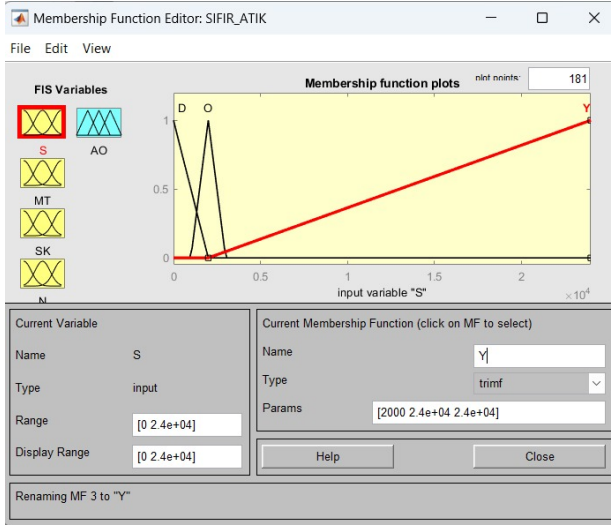
Şekil 4. Fuzzy Matlab Ara Yüzü Algoritması

Sanayi girdisini bulanıklaştırmak için düşük, orta ve yüksek dereceleri belirlendi, bunlara ait kısaltmalar ve bulanık üyelik fonksiyonları Tablo 5’de verildi. Sanayi girdisindeki değerler o ildeki sanayi kuruluşlarının sayısını temsil etmektedir. Türkiye’de 2020 yılında bir ile ait en yüksek sanayi kuruluşu sayısı 23.416 (İstanbul ili) olduğundan bu girdinin değer aralığı 0-24.000 olarak belirlendi.

Tablo 5. Sanayi Girdisi için Bulanık Üçgen Üyelik Fonksiyonları

Bulanık Üyelik Fonksiyonları	Kısaltmalar	Bulanık Sayı
Düşük	D	[0, 0, 2.000]
Orta	O	[1.000, 2.000, 3.000]
Yüksek	Y	[2.000, 24.000, 24.000]

Sanayi girdisinin bilgilerinin Fuzzy Matlab ara yüzündeki görüntüsü Şekil 5'te verildi.

**Şekil 5. Sanayi Girdisi için Fuzzy Matlab Ara Yüzünde Bulanık Üçgen Üyelik Fonksiyonları**

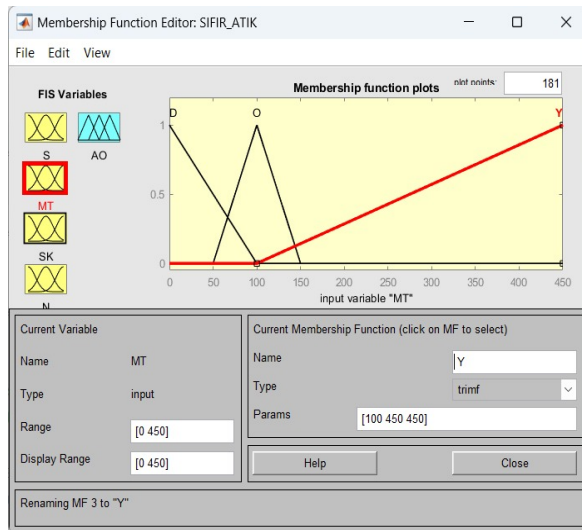
Maden-Termik girdisini bulanıklaştırmak için düşük, orta ve yüksek dereceleri belirlendi, bunlara ait kısaltmalar ve bulanık üyelik fonksiyonları Tablo 6'da verildi. Maden-Termik girdisindeki değerler o ildeki Maden sayısı ve Termik santral sayısı göz önünde bulundurularak hesaplandı. Bu hesaplama yapılırken Maden ve Termik santrallerin atık miktarları göz önünde bulundurularak bir termik santralin bir madene göre 48 kat daha fazla atık verebileceği görüldü. Bu

çıkartıma istinaden Türkiye’de 2020 yılında bir ile ait en yüksek Maden-Termik değeri 436 (Konya ili) olduğundan bu girdinin değeri 0-450 olarak belirlendi.

Tablo 6. Maden-Termik Girdisi için Bulanık Üçgen Üyelik Fonksiyonları

Bulanık Üyelik Fonksiyonları	Kısaltmalar	Bulanık Sayı
Düşük	D	[0, 0, 10]
Orta	O	[50, 100, 150]
Yüksek	Y	[100, 450, 450]

Maden-Termik girdisinin bilgilerinin Fuzzy Matlab ara yüzündeki görüntüsü Şekil 6’da verildi.



Şekil 6. Maden-Termik Girdisi için Fuzzy Matlab Ara Yüzünde Bulanık Üçgen Üyelik Fonksiyonları

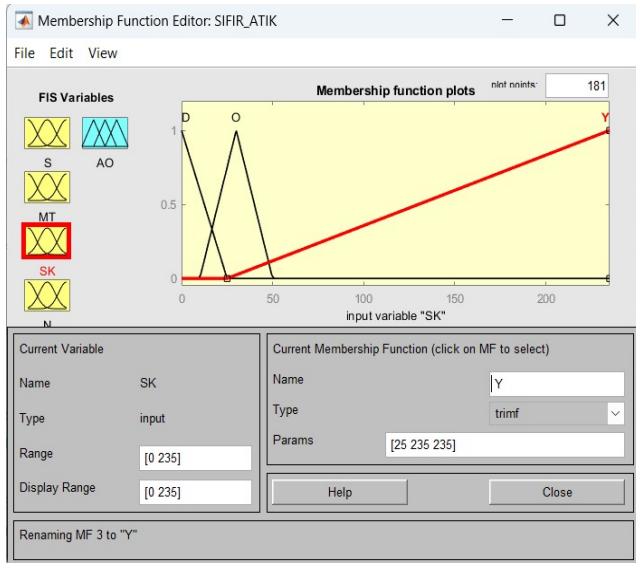
Sağlık Kuruluşu girdisini bulanıklaştırmak için düşük, orta ve yüksek dereceleri belirlendi, bunlara ait kısaltmalar ve bulanık üyelik fonksiyonları Tablo 7’de verildi. Sağlık Kuruluşu girdisindeki değerler o ildeki sanayi kuruluşlarının sayısını

temsil etmektedir. Türkiye’de 2020 yılında bir ile ait en yüksek Sağlık Kuruluşu sayısı 235 (İstanbul ili) olduğundan bu girdinin değer aralığı 0-235 olarak belirlendi.

Tablo 7. Sağlık Kuruluşu Girdisi için Bulanık Üçgen Üyelik Fonksiyonları

Bulanık Üyelik Fonksiyonları	Kısaltmalar	Bulanık Sayı
Düşük	D	[0, 0, 25]
Orta	O	[10, 30, 50]
Yüksek	Y	[25, 235, 235]

Sağlık Kuruluşu girdisinin bilgilerinin Fuzzy Matlab ara yüzündeki görüntüsü Şekil 7’de verildi.



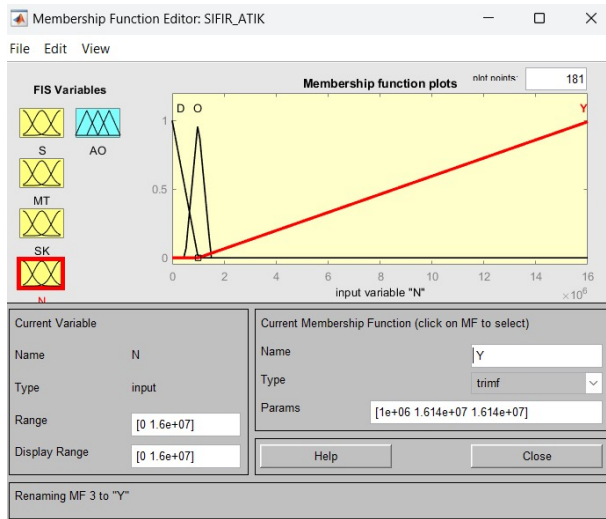
Şekil 7. Sağlık Kuruluşu Girdisi için Fuzzy Matlab Ara Yüzünde Bulanık Üçgen Üyelik Fonksiyonları

Nüfus girdisini bulanıklaştırmak için düşük, orta ve yüksek dereceleri belirlendi, bunlara ait kısaltmalar ve bulanık üyelik fonksiyonları Tablo 8’de verildi. Nüfus girdisindeki değerler o ildeki nüfus sayısını temsil etmektedir. Türkiye’de 2020 yılında bir ile ait en yüksek Nüfus sayısı 15.462.452 (İstanbul ili) olduğundan bu girdinin değer aralığı 0-16.000.000 olarak belirlendi.

Tablo 8. Nüfus Girdisi için Bulanık Üçgen Üyelik Fonksiyonları

Bulanık Üyelik Fonksiyonları	Kısaltmalar	Bulanık Sayı
Düşük	D	[0, 0, 1.000.000]
Orta	O	[500.000, 1000.000, 1500.000]
Yüksek	Y	[1.000.000, 16.000.000, 16.000.000]

Nüfus girdisinin bilgilerinin Fuzzy Matlab ara yüzündeki görüntüsü Şekil 8’de verildi.



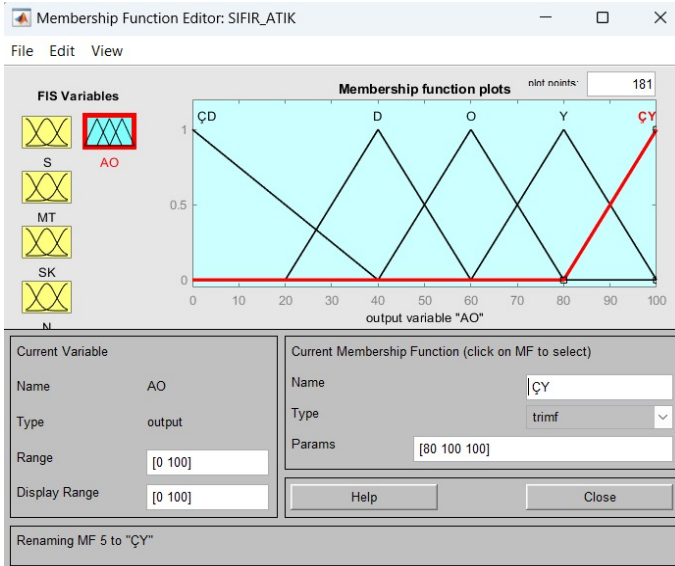
Şekil 8. Nüfus Girdisi için Fuzzy Matlab Ara Yüzünde Bulanık Üçgen Üyelik Fonksiyonları

Atık oranı çıktısını bulanıklaştırmak için çok düşük, düşük, orta, yüksek ve çok yüksek dereceleri belirlendi, bunlara ait kısaltmalar ve bulanık üyelik fonksiyonları Tablo 9'da verildi. Atık oranı çıktısındaki değerler yüzdelik olarak hesaplanmak istendiğinden çıktının aralığı 0-100 olarak belirlendi.

Tablo 9. Atık Oranı Çıktısının Bulanık Üyelik Fonksiyonları

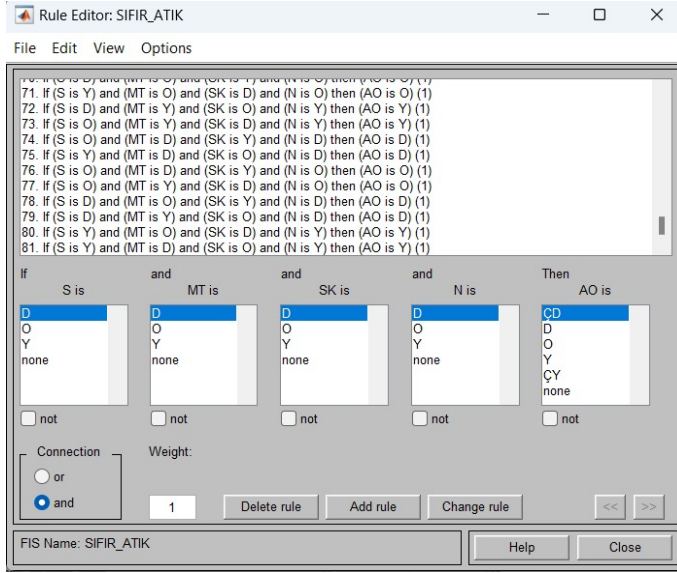
Bulanık Üyelik Fonksiyonları	Kısaltma	Bulanık Sayı
Çok Düşük	ÇD	[0, 0, 40]
Düşük	D	[20, 40, 60]
Orta	O	[40, 60, 80]
Yüksek	Y	[60, 80, 100]
Çok Yüksek	ÇY	[80, 100, 100]

Atık oranı çıktısının bilgilerinin Fuzzy Matlab ara yüzündeki görüntüsü Şekil 9'da verildi.



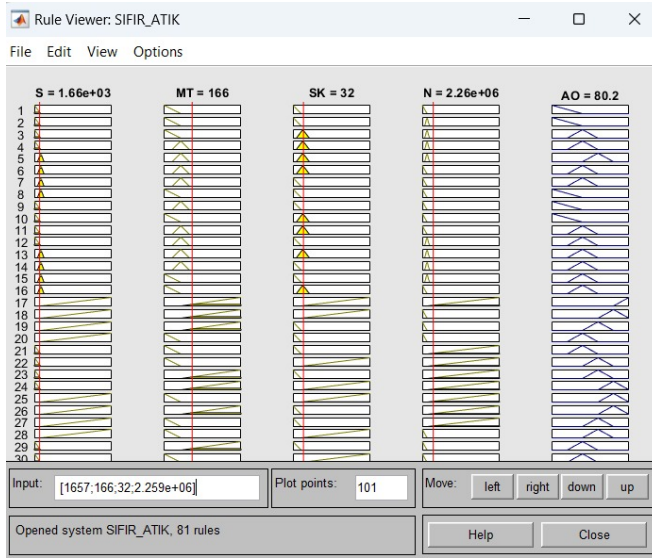
Şekil 9. Atık Oranı Çıktısının Fuzzy Matlab Ara Yüzündeki Görüntüsü

Bu uygulamada Sanayi, Maden-Termik, Sağlık Kuruluşu ve Nüfus girdilerinin her birinin düşük, orta ve yüksek olmak üzere 3 derecesi olduğundan bulanık kural tabanı için toplam 81 kural belirlenip Fuzzy Matlab ara yüzüne girildi. Bu kurallardan bazıları Fuzzy Matlab ara yüzündeki görüntüsü Şekil 10'da verildi.



Şekil 10. Fuzzy Matlab Uygulamasında Bulanık Kurallar

Adana ilinin girdileri olan sanayi kuruluşu sayısı 1.657, Maden- termik Kuruluşu sayısı 166, Sağlık kuruluşu sayısı 32 ve Nüfus sayısı 2.258.718 değerleri Fuzzy Matlab ara yüzüne girilerek Atık oranı çıktısı 80,2 olarak belirlenmiştir. Adana ilinin Atık Oranı çıktısının Fuzzy Matlab ara yüzündeki görüntüsü Şekil 11'de verildi.



Şekil 11. Adana İli' nin Fuzzy Matlab Ara Yüzünde Atık Oranı

Benzer şekilde her bir ilin Sanayi, Maden-Termik, Sağlık Kuruluşu ve Nüfus girdileri Fuzzy Matlab ara yüzüne girilerek her bir ilin Atık oranı çıktısı belirlendi. Her bir ilin Fuzzy Matlab ara yüzündeki Atık Oranı değeri Tablo 10'da verildi.

Tablo 10. Türkiye'deki illerin Fuzzy Matlab Ara Yüzünde Atık Oranları

İl	Atık Oranı	İl	Atık Oranı
Adana	80,2	Konya	90,5
Adıyaman	26,1	Kütahya	45,2
Afyonkarahisar	36,9	Malatya	31,6
Ağrı	15,6	Manisa	64,2
Amasya	16,2	Kahramanmaraş	50,6
Ankara	91	Mardin	19,1
Antalya	70	Muğla	54,5
Artvin	14,1	Muş	14,7
Aydın	37,5	Nevşehir	14,6
Balıkesir	61,5	Niğde	16,2
Bilecik	15,8	Ordu	28,7
Bingöl	14,1	Rize	14,9
Bitlis	14,3	Sakarya	33
Bolu	18,4	Samsun	41,4

Burdur	16,1	Siirt	14,2
Bursa	80,4	Sinop	13,9
Çanakkale	43,1	Sivas	38,1
Çankırı	15,6	Tekirdağ	48,2
Çorum	19,5	Tokat	25,1
Denizli	54,9	Trabzon	34,1
Diyarbakır	60	Tunceli	13,7
Edirne	14,9	Şanlıurfa	50
Elazığ	22,2	Uşak	15,1
Erzincan	14,6	Van	23,7
Erzurum	32,3	Yozgat	25,9
Eskişehir	50	Zonguldak	25,3
Gaziantep	65,7	Aksaray	14,7
Giresun	16,5	Bayburt	13,5
Gümüşhane	13,7	Karaman	14,4
Hakkari	13,9	Kırıkkale	13,9
Hatay	60	Batman	22,7
Isparta	16,1	Şırnak	19,3
Mersin	61,2	Bartın	13,5
İstanbul	80	Ardahan	13,2
İzmir	90,9	Iğdır	13,5
Kars	14,1	Yalova	16,1
Kastamonu	16,1	Karabük	15,3
Kayseri	62,6	Kilis	13,3
Kırklareli	14,6	Osmaniye	15,7
Kırşehir	14,3	Düzce	14,6
Kocaeli	70,1		

Tablo 10'daki atık oranları ve 2020 yılı toplam atık miktarları dikkate alınarak her bir il için atık miktarı belirlendi ve elde edilen atık miktarları Tablo 11'de verildi.

Tablo 11. Türkiye'deki illerin Atık Miktarı

İl	Atık Miktarı (Ton)	İl	Atık Miktarı (Ton)
Adana	3.227.939,399	Konya	3.642.500,195
Adıyaman	1.050.489,006	Kütahya	1.819.237,666
Afyonkarahisar	1.485.174,113	Malatya	1.271.856,422
Ağrı	627.878,4866	Manisa	2.583.961,464
Amasya	652.027,6592	Kahramanmaraş	2.036.580,219
Ankara	3.662.624,505	Mardin	768.748,6599
Antalya	2.817.403,466	Muğla	2.193.549,841
Artvin	567.505,5552	Muş	591.654,7278

Aydın	1.509.323,285	Nevşehir	587.629,8657
Balıkesir	2.475.290,188	Niğde	652.027,6592
Bilecik	635.928,2108	Ordu	1.155.135,421
Bingöl	567.505,5552	Rize	599.704,452
Bitlis	575.555,2794	Sakarya	1328.204,491
Bolu	740.574,6252	Samsun	1.666.292,907
Burdur	648.002,7971	Siirt	571.530,4173
Bursa	3.235.989,123	Sinop	559.455,831
Çanakkale	1.734.715,562	Sivas	1.533.472,458
Çankırı	627.878,4866	Tekirdağ	1.939.983,529
Çorum	784.848,1083	Tokat	1.010.240,386
Denizli	2.209.649,289	Trabzon	1.372.477,974
Diyarbakır	2.414.917,256	Tunceli	551.406,1068
Edirne	599.704,452	Şanlıurfa	2.012.431,047
Elazığ	893.519,3848	Uşak	607.754,1762
Erzincan	587.629,8657	Van	953.892,3162
Erzurum	1.300.030,456	Yozgat	1.042.439,282
Eskişehir	2.012.431,047	Zonguldak	1.018.290,11
Gaziantep	2.644.334,396	Aksaray	591.654,7278
Giresun	664.102,2455	Bayburt	543.356,3827
Gümüşhane	551.406,1068	Karaman	579.580,1415
Hakkari	559.455,831	Kırıkkale	559.455,831
Hatay	2.414.917,256	Batman	913.643,6953
Isparta	648.002,7971	Şırnak	776.798,3841
Mersin	2.463.215,601	Bartın	543.356,3827
İstanbul	3.219.889,675	Ardahan	531281,7964
İzmir	3.658.599,643	İğdır	543.356,3827
Kars	567.505,5552	Yalova	648.002,7971
Kastamonu	648.002,7971	Karabük	615.803,9003
Kayseri	2.519.563,671	Kilis	535.306,6585
Kırklareli	587.629,8657	Osmaniye	631.903,3487
Kırşehir	575.555,2794	Düzce	587.629,8657
Kocaeli	2.821.428,328		

4. TARTIŞMA ve SONUÇ

Bu çalışmada, Türkiye'deki 81 ilin yıllık atık miktarlarını belirlemek ve sıfır atık hedefine yönelik veri temelli bir yöntem sunmak amacıyla bulanık mantık temelli Fuzzy Matlab ara yüzü kullanarak bir yapay zekâ uygulaması kullanıldı. Bu uygulamada sanayi, maden-termik, sağlık kuruluşu ve nüfus kriterlerine göre her ilin 2020 yılı verileri kullanıldı. Uygulamanın sonucunda her ilden 2020 yılında toplanılması gereken atık miktarı belirlendi, Tablo 10'da atık oranları ve Tablo

11’de atık miktarları verildi. Tablo 10 ve Tablo 11 incelendiğinde İstanbul İli en yüksek Sanayi, Sağlık Kuruluşu ve Nüfus değerlerine sahip olmasına rağmen Maden- Termik değeri diğer illere göre düşük olduğundan toplam atık miktarında 2020 yılı için 6. sıradadır. Konya İli diğer kriterlerde yüksek değerlere sahip olmamasına rağmen en fazla Maden-Termik değerine sahip olduğunda atık miktarı sıralamasında Türkiye genelinde 2. sıradadır. Bu sonuç toplam atık miktarında Maden-Termiklerden kaynaklanan atık miktarının toplam atık miktarına ne kadar fazla etkilediğini göstermektedir. Bununla birlikte atık miktarının en yüksek olduğu 6 il arasında Ankara, İstanbul, İzmir ve Adana illeri bulunmaktadır. Ayrıca en yüksek atık oranına sahip il Ankara olurken 2020 yılında Ankara’dan toplanılması gereken atık miktarı 3.662.624,505 tondur. En düşük atık oranına sahip il Ardahan olurken 2020 yılında Ardahan’dan toplanması gereken atık miktarı 531.281,7964 tondur. Böylece bu çalışmadaki uygulamadan faydalanılarak Türkiye genelinde her ilin yıllık toplanan atık miktarı ile toplanması gereken atık miktarları karşılaştırılabilir. Bu karşılaştırma sonucunda geri dönüşüme gitmeyen atık miktarı belirlenebilir ya da ne kadar atığın toplanılamadığı belirlenebilir. Dolayısıyla bu çalışma yerel yönetimlerin ve ilgili paydaşların atık yönetimi stratejilerini iyileştirmelerine yönelik somut veriler sunarak, sıfır atık hedeflerine ulaşma yolunda daha etkin politikalar geliştirmelerine yardımcı olabilir. Ayrıca bu çalışmadaki yapay zekâ destekli atık yönetimi uygulamasının ve benzer uygulamaların kullanımının artırılması, yalnızca çevresel sürdürülebilirliği artırmakla kalmayacak, aynı zamanda atıkların ekonomiye kazandırılmasına da olanak sağlayacaktır. Bu çalışmadan faydalanılarak araştırmacılar toplam atık miktarı belirlemek yerine özel olarak her bir kriterin (sanayi, maden-termik, sağlık kuruluşu ve nüfus) atık miktarını ayrı ayrı belirleyebilir. Ayrıca gelecek her bir yıl için toplanılması gereken atık miktarı önceden belirlenebilir.

Çıkar Çatışması Bildirimi:

Bu makalenin araştırılması, yazarlığı ve yayınlanmasına ilişkin herhangi bir potansiyel çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Destek/Finansman Bilgileri:

Yazarlar, bu makalenin araştırılması, yazarlığı ve yayınlanması için herhangi bir finansal destek almamıştır.

Etik Kurul Kararı:

Bu araştırma için etik kurul kararına ihtiyaç yoktur.

KAYNAKÇA

- Abdallah, M., Talib, M. A., Feroz, S., Nasir, Q., Abdalla, H., & Mahfood, B. (2020). Artificial intelligence applications in solid waste management: A systematic research review. *Waste Management*, 109, 231-246.
- Alfarra, F., Ozcan, H. K., Cihan, P., Ongen, A., Guvenc, S. Y., & Ciner, M. N. (2024). Artificial intelligence methods for modeling gasification of waste biomass: a review. *Environmental Monitoring and Assessment*, 196(3), 309.
- Arputharaj, J. V., Varkey, J. M., Vagadia, R., & Ayyasamy, R. K. (2024). Leveraging Intelligent Systems and the AIoT/IIoT for Enhanced Waste Management and Recycling Efficiency. In *Intelligent Systems and Industrial Internet of Things for Sustainable Development* (pp. 266-291). Chapman and Hall/CRC.
- Baki, O. G., & Ergun, O. N. (2021). Municipal Solid Waste Management: Circular Economy Evaluation in Turkey. *Environmental Management and Sustainable Development*, 10(2), 79-92.

- Budak, Y., & Keçeci, M. (2024). Sıfır Atık ile Yeşil Dönüşüm: Türkiye'nin Geleceği İçin Çevre Dostu Kozmetik ve Temizlik Ürünleri. *Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi*, 13(3), 145-155.
- Cakar, B., Aydin, S., Varank, G., & Ozcan, H. K. (2020). Assessment of environmental impact of FOOD waste in Turkey. *Journal of Cleaner Production*, 244, 118846.
- Chen, J., Huang, S., BalaMurugan, S., & Tamizharasi, G. S. (2021). Artificial intelligence based e-waste management for environmental planning. *Environmental Impact Assessment Review*, 87, 106498.
- Erdebilli, B., & Devrim-İçtenbaş, B. (2022). Ensemble voting regression based on machine learning for predicting medical waste: a case from Turkey. *Mathematics*, 10(14), 2466.
- Ergün, Ü. R., & Ener, M. (2024). Demir Çelik Sektöründe Geri Dönüşüm Ekonometrisi: Türkiye Örneği. *TroyAcademy*, 9(2), 119-142.
- Erkinay Ozdemir, M., Ali, Z., Subeshan, B., & Asmatulu, E. (2021). Applying machine learning approach in recycling. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 23, 855-871.
- Dubois D, Prade H (1980) Fuzzy sets and systems: Theory and applications. Academic Press, New York
- Golafshani, E. M., Kim, T., Behnood, A., Ngo, T., & Kashani, A. (2024). Sustainable mix design of recycled aggregate concrete using artificial intelligence. *Journal of Cleaner Production*, 140994.
- Kaplan, E., & Soyluk, A. (2024). Deprem Sonrası Atık Yönetimi: Atık Betonun Geri Dönüşümü ve Mimaride Kullanımı için Öneriler. *Journal of Architectural Sciences and Applications*, 9(Special Issue), 140-162.
- Katrancıoğlu, S., Kılıç, H. S., Kalender, Z. T., & Uslu, Ç. (2024). Farklı kurumsal amaçlar altında bulanık ÇKKV tekniklerine dayalı en iyi geri kazanım

- opsiyonunun belirlenmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 39(3), 1849-1864.
- Kocak, I., Eke, C. A. N. E. L., Buyuk, B., Kamislioglu, M., & Ozaydin Ozkara, R. (2024). Determination of natural radioactivity level of boron waste deposits in Bandirma, Balikesir, Turkey. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 21(1), 845-856.
- Kuok, F., Monyrath, B., & Promentilla, M. A. B. (2023). AI Application to Pollution Reduction and Waste Management Toward Net Zero: A Systematic Review. *Chemical Engineering Transactions*, 103, 499-504.
- Kurniawan, T. A., Othman, M. H. D., Liang, X., Goh, H. H., Gikas, P., Kusworo, T. D., ... & Chew, K. W. (2023). Decarbonization in waste recycling industry using digitalization to promote net-zero emissions and its implications on sustainability. *Journal of environmental management*, 338, 117765.
- Kutlu, G. (2024). Mutfakta Sıfır Atık Yaklaşımıyla Sirke ve Turşu Üretimi Üzerine Bir Derleme. *Gastro-World*, (4), 10-25.
- Lanzalonga, F., Marseglia, R., Irace, A., & Biancone, P. P. (2024). The application of artificial intelligence in waste management: understanding the potential of data-driven approaches for the circular economy paradigm. *Management Decision*.
- Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü, İl Maden Potansiyelleri. (<https://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/il-maden-potansiyelleri> : Erişim: 03.06.2024)
- Maliye ve Sosyal Politikalar Müdürlüğü, Ekonomik Rapor 2020. (<https://tobb.org.tr/MaliveSosyalPolitikalar/Sayfalar/EkonomikRapor.php> : Erişim:03.06.2021)
- Mathworks, 2021. (<https://www.mathworks.com/> : Erişim 03.06.2021)

- Oğuz, P. (2021). Machine learning approaches for municipal solid waste generation forecasting. *Environmental Engineering Science*, 38(6), 489-499.
- Özbakır Umut, M., & Nurtanış Velioglu, M. (2024). A recycling story: Developing recycling behavior in Turkey with social marketing program. *Journal of Public Affairs*, 24(1), e2900.
- Özer, B., & Yay, A. S. E. (2021). Comparative life cycle analysis of municipal waste management systems: Kırklareli/Turkey case study. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(45), 63867-63877.
- Qi, C., Hu, T., Zheng, J., Li, K., Zhou, N., Zhou, M., & Chen, Q. (2024). Artificial intelligence-based prediction model for the elemental occurrence form of tailings and mine wastes. *Environmental Research*, 118378.
- Qi, Y. (2024). Incorporation of artificial intelligence toward carbon footprint management in hotels to create sustainable, green hotel: Mini review. *Tourism Management and Technology Economy*, 7(1), 51-55.
- Shennib, F., & Schmitt, K. (2021, October). Data-driven technologies and artificial intelligence in circular economy and waste management systems: a review. In *2021 IEEE International Symposium on Technology and Society (ISTAS)* (pp. 1-5). IEEE.
- Sıfır Atık, 2019. (<https://sifiratik.gov.tr/> :Erişim: 27.01.2025)
- Tuğaç, Ç. (2025). Türkiye’de Konut Hakkının Gerçekleştirilmesinde Yenilikçi Bir Çözüm: Yeşil Konutlar. *İnsan ve İnsan*, 12(39), 91-110.
- Türkten, H., & Ceyhan, V. (2024). Trade-off recycling the organic wastes generated in tomatoes production under greenhouses with soilless agricultural technology in Turkey. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 1-14.
- TÜİK, Atık İstatistikleri 2020a. (<https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Atik-Istatistikleri-2020-37198> : Erişim: 03.06.2021)

- TÜİK, Yıllara Göre İl Nüfusları 2020b. (<https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Adrese-Dayali-Nufus-Kayit-Sistemi-Sonuclari-2020-37210> : Erişim: 03.06.2021)
- Türkiye Cumhuriyeti Sağlık Bakanlığı, Sağlık İstatistikleri Yıllığı 2020. (<https://www.saglik.gov.tr/TR-84930/saglik-istatistikleri-yilliklari.html> : Erişim: 03.06.2021)
- Udupi, P. K., Jose, M., & Ullah, A. (2024). AI-Enabled Smart City Waste Management System. In *Handbook of Artificial Intelligence for Smart City Development* (pp. 76-99). CRC Press.
- Ülgüdür, N., Aydemir, M., & Malkoç, E. (2024). Bir Kamu Kurumunda Sıfır Atık Yönetim Sistemi Uygulamasının Değerlendirilmesi. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 14(1), 125-139.
- Wilts, H., Garcia, B. R., Garlito, R. G., Gómez, L. S., & Prieto, E. G. (2021). Artificial intelligence in the sorting of municipal waste as an enabler of the circular economy. *Resources*, 10(4), 28.
- Yu, K. H., Zhang, Y., Li, D., Montenegro-Marin, C. E., & Kumar, P. M. (2021). Environmental planning based on reduce, reuse, recycle and recover using artificial intelligence. *Environmental Impact Assessment Review*, 86, 106492.
- Yu, Y., & Grammenos, R. (2021). Towards artificially intelligent recycling Improving image processing for waste classification. *arXiv preprint arXiv:2108.06274*.
- Zadeh, L., 1965, Fuzzy Sets, *Inform and Control*, 8, 338-353

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

Zero waste plays an important role in ensuring sustainability as an approach that aims to ensure efficient use of resources and minimize waste generation. This approach stands out as a system that encourages economic growth while reducing environmental pollution. Various studies conducted in Turkey and around the world reveal that artificial intelligence technologies make a significant contribution to achieving zero waste targets by optimizing waste management and recycling processes. Accurately determining the annual amount of waste is of great importance in determining waste management strategies. In this study, artificial intelligence was used to determine the annual waste quantities of 81 provinces in Turkey and to present a data-driven model for zero waste targets. In the study, data for the year 2020 determined by the Turkish Statistical Institute (TurkStat) was used. Waste in Turkey is classified into four main categories: population waste from municipalities, industrial waste from industrial enterprises, medical waste from hospitals, and waste from mines and thermal power plants. This classification is preferred because TurkStat data are classified under these categories. In the study, a fuzzy logic based model was developed using the Fuzzy Logic Toolbox interface of Matlab program. This model aims to estimate the amount of waste to be collected from 81 provinces and increase efficiency in waste management processes. With the model, waste forecasts were made for each province with Turkey-wide waste amount data for 2020. This study provides an important guide to contribute to Turkey's achievement of zero waste targets. The findings can help local governments and relevant stakeholders develop more effective policies towards achieving zero waste targets by providing concrete data to improve waste management strategies. Increasing the use of AI-supported waste management systems will not only increase environmental sustainability, but will also allow waste to be recycled into the economy. As a result, such research will contribute to improving efficiency in Turkey's waste management while at the same time taking another step towards achieving the zero waste targets.

Method

In this study, the fuzzy logic supported Fuzzy Matlab interface of the Matlab program was used to determine the annual waste quantities of 81 provinces in Turkey. The study was carried out by using the Fuzzy Matlab interface, which is one of the artificial intelligence methods, to classify the wastes across Turkey according to four main criteria (Industry, Mining-Thermal, Health Institution, and Population) and to determine the total amount of waste of each province for

2020 according to these criteria, in line with TURKSTAT's 2020 data. Thus, the amount of waste to be collected in each province was determined according to the total amount of waste in Turkey in 2020. In this way, it is aimed to provide concrete data for local governments and other stakeholders to help develop effective policies to achieve the zero waste targets. Table 1 shows the number of industrial establishments, number of mining and thermal power plants, number of health institutions and population of provinces according to 2020. According to this data, the amount of waste to be collected in each province was determined.

Conclusion and Discussion

In this study, an artificial intelligence application using a fuzzy logic based Fuzzy Matlab interface was used to determine the annual waste amounts of 81 provinces in Turkey and to present a data-based method for zero waste target. In this application, 2020 data of each province was used according to the criteria of industry, mining-thermal, health institution and population. As a result of the application, the amount of waste to be collected from each province in 2020 was determined, waste rates are given in Table 6 and waste amounts are given in Table 7. When Table 6 and Table 7 are analyzed, it is seen that although Istanbul province has the highest Industrial, Health Institution and Population values, it ranks 6th in the total amount of waste for 2020 since its Mining-Thermal value is low compared to other provinces. Although Konya province does not have high values in other criteria, it ranks 2nd in Turkey in terms of waste amount when it has the highest Mining-Thermal value. This result shows how much the amount of waste from Mines-Thermic affects the total amount of waste. However, Ankara, Istanbul, Izmir and Adana are among the 6 provinces with the highest amount of waste.

Thus, by utilizing the application in this study, the amount of waste collected annually and the amount of waste that should be collected can be compared for each province in Turkey. As a result of this comparison, the amount of waste that is not recycled or how much waste is not collected can be determined. Therefore, this study can provide concrete data for local governments and relevant stakeholders to improve their waste management strategies and help them develop more effective policies towards achieving zero waste targets. In addition, increasing the use of the AI-supported waste management application in this study and similar applications will not only increase environmental sustainability, but will also allow waste to be recycled into the economy. Using this study, researchers can determine the amount of waste specifically for each criterion (industrial, mining-thermal, health institution and population) separately instead of determining the total amount of waste. Also, the amount of waste to be collected for each future year can be determined in advance.