

Doğrusal Bulanık Regresyon Modeli ile Türkiye'deki Belediye Atığı Miktarının Tahmini¹

Fatmanur ÖZER (<https://orcid.org/0000-0002-2087-9994>), *Kafkas University, Turkey;*
fatmanur.ozer@kafkas.edu.tr

Arzum BÜYÜKKEKLİK (<https://orcid.org/0000-0002-0077-8686>), *Niğde Ömer Halisdemir University, Turkey;*
abuyukkeklk@ohu.edu.tr

Estimating The Amount of Municipal Waste in Turkey with the Linear Fuzzy Regression Model²

Abstract

Waste management in both Turkey and the World has been of great importance in the 21st century. As a developing country, Turkey wants to reach an adequate waste management system like developed countries and tries to harmonize its laws on waste. This study aims to reveal the relationship between municipal waste generation and socioeconomic indicators and estimate the amount of municipal waste generated in Turkey between 2005 and 2019 by using Tanaka's linear fuzzy regression model. This study has revealed indicators affecting the municipal waste generation and generation projection between specific years. Population growth rate, GDP per capita, and literacy rate indicators that were thought to be more effective and easier to reach the data were used as independent variables. The total amount of municipal waste in Turkey was the dependent variable in the modelling. It is expected that the established projection model will benefit the development of forecasts about waste generation in the future and thus will contribute to the investments and planning for waste recovery and safe disposal.

Keywords : Municipal Wastes, Tanaka's Linear Fuzzy Regression Model, Estimation.

JEL Classification Codes : C53, Q53.

Öz

Atık yönetimi hem Türkiye'de hem de dünyada 21. yüzyıl itibari ile önem kazanan bir konudur. Türkiye gelişmekte olan bir ülke olarak, gelişmiş ülkeler gibi yeterli atık yönetimi sistemine ulaşmak istemekte ve atık konusunda yasalarını uyumlaştırmaya çalışmaktadır. Etkin bir atık yönetimi için atık miktarlarının tahmini önemlidir. Bu çalışmanın amacı, Türkiye'deki toplam belediye atığı miktarı ile sosyoekonomik göstergeler arasındaki ilişkinin varlığını ortaya koymak ve Tanaka'nın doğrusal bulanık regresyon modelini kullanarak Türkiye'nin 2005-2019 yılları arasındaki belediye atığı miktarını tahmin etmektir. Uygulamayla, belediye atıklarının miktarının belli yıllar arasındaki tahmini ve hangi göstergelere bağlı olduğu ortaya konmaya çalışılmıştır. Çok sayıda gösterge içinden daha fazla etkili olabileceği düşünülen ve verisine ulaşılabilen nüfus artışı hızı, kişi başına düşen

¹ Bu çalışma, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Uluslararası Ticaret ve Lojistik Anabilim Dalı'nda kabul edilen "Doğrusal Bulanık Regresyon Modeli ile Türkiye'deki Belediye Atığı Miktarının Tahmini" adlı yüksek lisans tezinden türetilmiştir.

² This study is derived from the master's thesis entitled "Projection of Municipal Waste Generation in Turkey with Linear Fuzzy Regression Model", Department of International Trade and Logistics Management, Institute of Social Sciences, Niğde Ömer Halisdemir University.

GSYİH ve okur-yazarlık oranı bağımsız değişken olarak, Türkiye'deki toplam belediye atığı miktarı ise bağımlı değişken olarak modelde kullanılmıştır. Kurulan tahmin modelinin gelecekteki atık miktarları hakkında öngörülerin geliştirilmesine fayda sağlaması ve böylece atık geri kazanımı ve güvenli bertarafına yönelik yatırım ve planlamalara katkı sağlaması beklenmektedir.

Anahtar Sözcükler : Belediye Atıkları, Tanaka'nın Doğrusal Bulanık Regresyon Modeli, Tahminleme.

1. Giriş

İnsanların ihtiyaçlarını karşılamak ve hayatlarını sürdürmek amacıyla kullandıkları kaynakların; kullanım sonunda işe yaramayan, atılan kısmı "atık" olarak adlandırılır. Atık istenmeyen, kullanılmış ve çevre için her türlü tehdit oluşturan maddelerdir (Öktem, 2016: 135). Oxford Sözlüğünde (1995: 1581) atık "artık bir amaca hizmet etmeyen", "reddedilen", "istenmeyen veya kullanılamayan kalıntılar veya yan ürünler" olarak tanımlanır.

Atık yönetimi hem Türkiye'de hem de dünyada 21. yüzyıl itibarı ile önem kazanan bir konudur. Buna rağmen Türkiye'nin de aralarında bulunduğu çoğu gelişmekte olan ülkede, atık yönetimi stratejileri geliştirmek için anahtar faktör olan atık miktarları hakkındaki veri sistematik olarak toplanamamaktadır. Oysa geri kazanımı sağlanan malzemeler ülke ekonomileri için maddi birer kaynak, geri kazanım süreci ise önemli bir gelir ve istihdam alanıdır.

Belediye atıkları da ekonomiler için adeta birer hazinedir. Belediye atıkları; hane halklarının evsel faaliyetlerinden kaynaklanan atıkları, küçük ticari faaliyetlerden, ofis binalarından, okul ve hükümet binaları gibi kurumlardan ve aynı tesislerde atıkları işleyen veya ortadan kaldıran küçük işletmeden kaynaklanan benzer atıkları içerir ve belediyeler tarafından veya belediyeler için toplanan ve işlenen atık olarak tanımlanmaktadır (OECD Indicators, 2015). Belediye atıkları üretilen toplam atıkların sadece bir parçası olmasına rağmen bu atıkların yönetimi, kamu sektöründe kirliliği azaltma ve kontrol çabaları açısından oldukça önemlidir. Belediye atıkları hakkında artan temel kaygılar; uygun olmayan atık yönetiminin insan sağlığı, toprak ve su kirliliği, hava kalitesi, iklim, arazi kullanımı ve peyzaj üzerindeki potansiyel etkisi ile ilgilidir (OECD Indicators, 2015). Belediye atıkları ile ilgili işlemler; düzenli depolama, kompostlama/parçalama, geri dönüşüm ve yakma (enerji geri kazanımı veya sadece yok etme amacıyla) işlemlerinden oluşur (Eurostat-2017, 2020). Bu işlemlerin yürütüldüğü tesislerin kapasitesinin belirlenebilmesi için atıkların miktarlarıyla ilgili bilgiler gerekmektedir. Bu kapsamda Türkiye'de belediye atık miktarının tahminlemesinin; geri dönüştürülebilecek atık miktarının belirlenmesinde, verimli kaynak kullanımı ve döngüsel ekonomi oluşturulmasında, yeşil büyüme ve sürdürülebilir kalkınma sağlanmasında önemli olduğu düşüncesi bu çalışmanın önemli bir motivasyonu olmuştur.

Çalışmanın amacı, Türkiye'deki toplam belediye atığı miktarı ile sosyoekonomik göstergeler arasındaki ilişkinin varlığını göstermek ve doğrusal bulanık regresyon modeli

kullanarak Türkiye'nin 2005-2019 yılları arasındaki belediye atığı miktarını tahmin eden bir model oluşturmaktır. Çalışmayla, belediye atıklarının miktarının belli yıllar arasındaki tahmini ve hangi göstergelere bağlı olduğunu ortaya konmaya çalışılacaktır. Atıkların geri kazanımı ve geri kazanılmayanların çevreye en az zararla yok edilmesinde özellikle "miktar" konusunda, tahminde bulunabilecek modeller önemli birer araçtır. Tahmin yöntemleri; uzman sistemler, bulanık sistemler, evrimsel programlama, yapay sinir ağları gibi teknikleri ve bunların çeşitli kombinasyonlarını içerir. Bulanık modeller klasik tahmin yöntemlerinden daha esneklerdir. Bu çalışmada kullanılan Tanaka'nın Doğrusal Bulanık Regresyon Modeli ise açık modeli, kolay uygulaması ve iyi performansı nedeniyle ilgi görmektedir. Türkçe literatürde enflasyon tahmini (Erilli vd., 2012), kayıt dışı ekonomi tahmini (Yücel, 2005), işsizlik oranı (İçen & Günay, 2015), ev fiyatları tahmini (Düzyurt, 2008; Aydoğdu, 2020) gibi çeşitli ekonomik faktörlerin tahminlenmesinde kullanılmış olsa da Türkiye'de atıklar kapsamında bu model kullanılarak yapılan bir tahminleme çalışmasına rastlanmamıştır. Önerilen modelin kullanımı ile yapılacak belediye atık miktarı tahminlerinin gelecekte atık geri kazanımı ve güvenli bertarafına yönelik yatırımlar ve planlamalar için ışık tutması beklenmektedir.

Çalışma dört ana bölümden oluşmaktadır. Girişten sonraki bölümde belediye atıklarına ilişkin kavramsal çerçeve verilmiş, dünyadaki ve Türkiye'deki durum sayısal veriler ve şekillerle desteklenerek ortaya konmuştur. Üçüncü bölümde ampirik uygulamanın detaylarına yer verilmiştir. Tahmin yöntemi olarak kullanılan Tanaka'nın Doğrusal Bulanık Regresyon Modeli, tarihsel gelişimi ve literatürdeki kullanımını ile beraber anlatılmıştır. Arkasından tahmin modeli sunulmuştur. Modelleme ile elde edilenler ise dördüncü ve son bölüm olan sonuç ve öneriler kısmında değerlendirilmiştir.

2. Dünyada ve Türkiye'de Belediye Atıkları

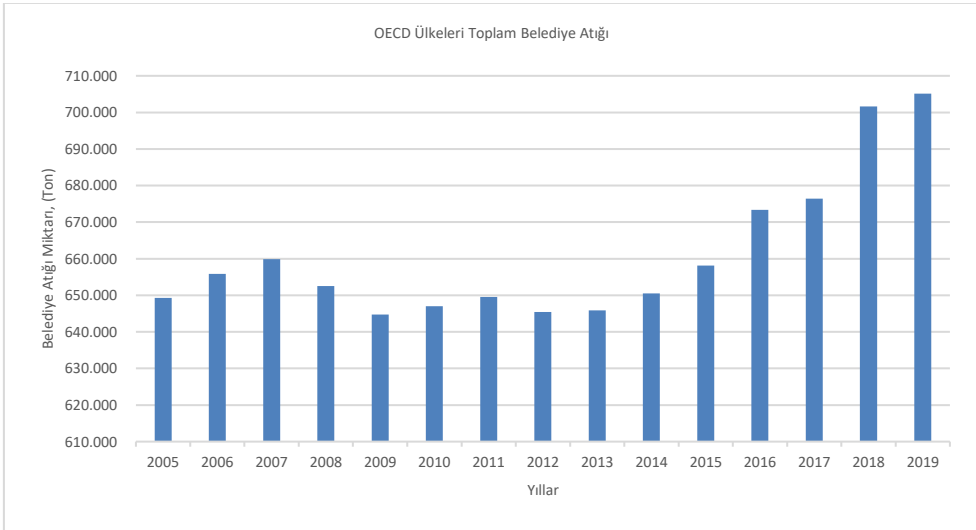
Belediye atıkları; ofis binaları, kurumlar ve küçük işletmelerden çıkan atıkları, bahçe ve açık alandaki atıkları, sokak süpürmelerini, çöp konteynerlerinin içeriğini (gıda atıkları, bahçe atıkları, ahşap, plastik, kağıtlar, metaller, kauçuklar, âtil malzemeler, tekstil atıkları vb.) ve tüm evsel atıkları kapsar (OECD, 2020). Değişken insan faaliyetlerinin sebep olduğu çok çeşitli kaynaklardan ve farklı sosyoekonomik alanlardan üretilen belediye atıkları oldukça heterojendir (Miezah vd., 2015: 15). Bu çeşitlilik nedeniyle de belediye atıkları değişken, kaynağa bağımlı ve hammadde olarak kullanımını zorlaştıran fiziksel özelliklere sahiptir.

Belediye atıklarının geri kazanım ve yok etme işlemleri düzenli depolama, kompostlama/parçalama, geri dönüşüm ve yakma şeklindedir (Eurostat-2017, 2020). Düzenli depolama atıkların toprağın altına düzenli bir biçimde gömülmesi olarak ifade edilebilir. Ekonomik olarak maliyetinin az olmasından dolayı çoğu zaman tercih edilen bir yöntemdir. Düzenli depolama sahaları oluşturularak düzensiz depolamanın yarattığı zararlı etkiler azaltılarak kontrollü olarak atık yönetimi sağlanabilmektedir. Kompostlama, katı haldeki atıkların organik bölümlerinin (sebze, meyve, yemek artıkları, selüloz, bahçe atıkları) mineral içerikli humusa benzer yapıdaki maddeye dönüştürülme işlemidir (Saraç,

2015). Organik temelli belediye atıkları kompostta dönüştürülerek toprağı ıslah edici olarak orman ve tarım alanlarının iyileştirilmesi amacıyla kullanılır. Yakma yöntemi, atıkları sağlıklı bir şekilde zararsız duruma getirmek, hacimlerini küçültmek ve eğer ekonomikse onlardan enerji üreten bir yöntemdir. Geri dönüşüm, atıkların fiziksel ve/veya kimyasal işlemlerden geçirilmesinden sonra ikinci bir hammadde olarak üretime kazandırılmasıdır (Çetin, 2019). Böylece üretim maliyetleri düşürülebilmektedir. Ekonomik olarak sağlanan bu faydanın yanı sıra geri dönüşüm; küresel iklim değişikliği sürecini yavaşlatmakta, enerji geri kazanımı sağlamakta, çevre kirliliğini azaltmakta, kıt kaynakları korumakta ve biyoçeşitlilik üstündeki baskıyı azaltmaktadır.

Dünyada ülkeler arasında belediye atığı miktarı ve bileşimi; tüketim seviyeleri ve kalıpları, kentleşme oranı, yaşam tarzları ve ulusal atık yönetimi uygulamalarıyla ilişkili olarak büyük farklılıklar bulunmaktadır. Avrupalılar ortalama olarak Amerika’da yaşayan insanlardan yaklaşık 130 kg daha az, ancak OECD Asya-Okyanusya Bölgesinde yaşayan insanlardan 80 kg daha fazla atık üretmektedir (OECD Indicators, 2015). OECD üyesi ülkelerin toplam belediye atıkları da yıllara göre artış göstermektedir (Grafik 1).

Grafik: 1
OECD Ülkeleri Toplam Belediye Atığı Miktarının Yıllara Göre Değişimi

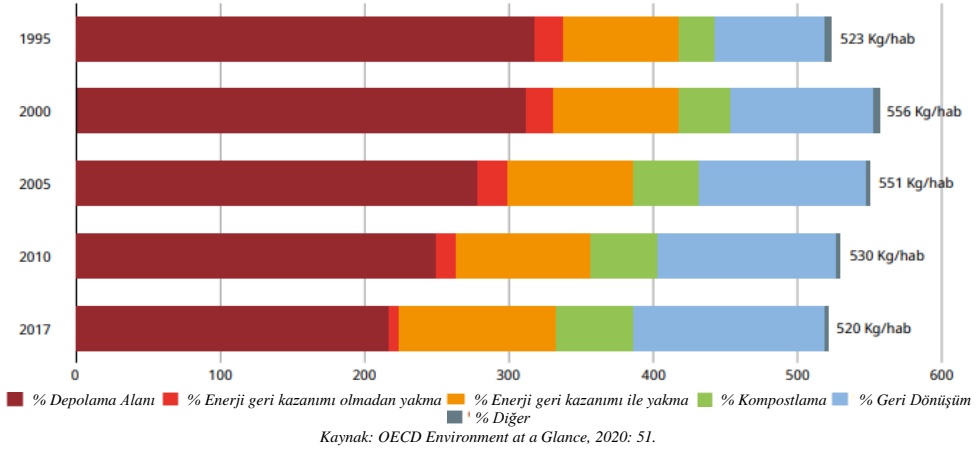


Kaynak: OECD Stad., 2021.

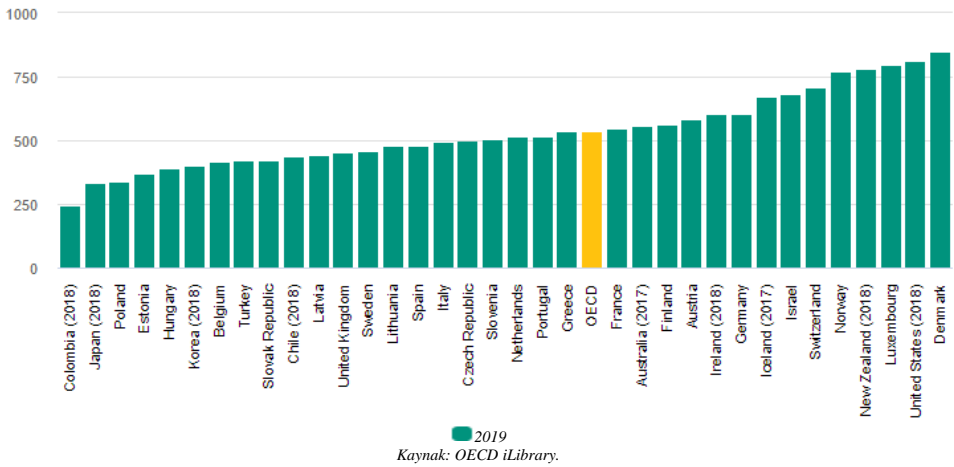
Son yirmi yılda Türkiye’nin de içinde olduğu OECD ülkeleri, belediye atık üretimini azaltmak ve atık yönetimini geliştirmek için önemli çaba sarf etmiştir. Bu çabalar sonuç vermeye başlamış, atık depolama alanlarında giderek daha fazla atık ayrıştırılmakta ve geri dönüşüm, kompostlama ve enerji geri kazanımı ile yakma yoluyla ekonomiye geri kazandırılmaktadır. AB Ülkeleri ve Japonya geri kazanım hedefleri belirlemiş ve göstergeler

yoluyla izleme yapmıştır. Avustralya, Belçika, Almanya, İrlanda, Kore, Slovenya gibi ülkeler ise yönettikleri belediye atıklarının üçte birinden fazlasını geri dönüştürmektedir. Bununla birlikte, Şekil 1'de görüldüğü gibi düzenli depolama bazı OECD ülkelerinde başlıca bertaraf yöntemi olmaya devam etmektedir.

Şekil: 1
Belediye Katı Atıklarının Bertarafı



Şekil: 2
OECD Ülkelerinde Kişi Başına Düşen Belediye Atığı Miktarı (kg)

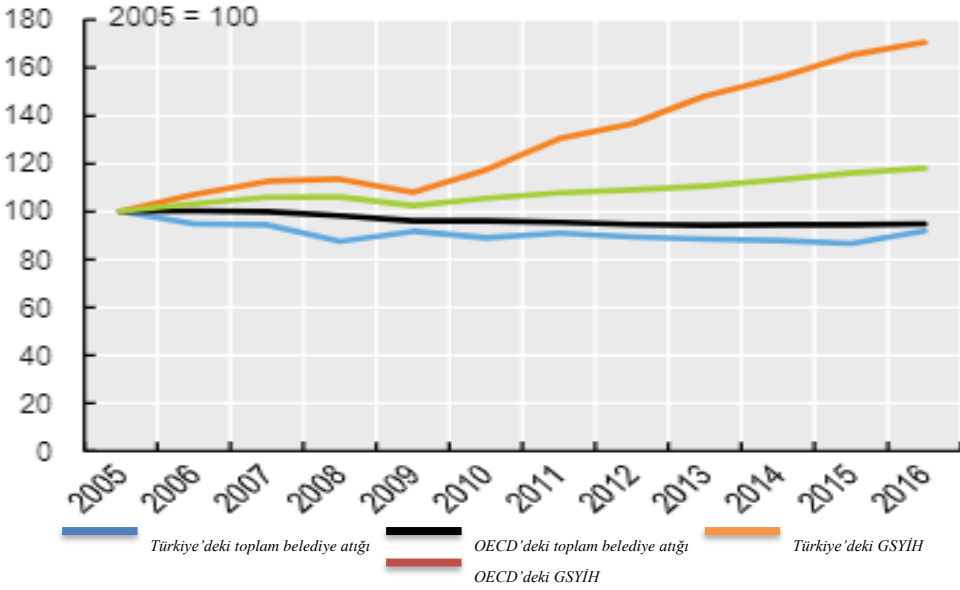


Belediye atıklarının miktarı ve bileşimi OECD ülkeleri arasında büyük farklılıklar göstermektedir. Şekil 2'de görüldüğü gibi 2019'da kişi başına en yüksek belediye atığı

miktarı Danimarka'da oluşmuştur. OECD bölgesinde yaşayan bir kişi yılda ortalama 538 kg atık üretmektedir.

Kişi başına düşen belediye atığı miktarı Şekil 3'te verildiği gibi Türkiye'de 425 kg olup, OECD ortalaması olan 538'ün altındadır. 2005'ten sonra OECD'de ortaya çıkan belediye atıklarında yaklaşık %5'lik bir düşüş oluşmuş, Türkiye'de ise GSYH'nin artışına rağmen %8 oranında daha yüksek seviyede bir düşüş sağlanmıştır.

Şekil: 3
Türkiye ve OECD'deki Toplam Belediye Atığı Miktarı ve GSYİH (2005-2016)



Türkiye'de Atık Yönetimi Yönetmeliği (02.4.2015-29314) atık üretiminden yok edilmelerine kadar atık yönetimi çerçevesinin belirleyicisidir. Uygulamada bazı eksiklikleri olmasına karşın, belediye atık yönetim sistemi yeni düzenlemelere dayanılarak iyileştirilmiş ve çalışmalarla desteklenmiştir. Türkiye'de belediye atık yönetimi gün geçtikçe iyileşmektedir. Lisanslı geri dönüşüm ve geri kazanım tesislerinin sayısı son on yılda hızla artmıştır. Düzenli depolama alanına gidecek olan belediye katı atığının payı 2001 ve 2014 yılları arasında %114 artmış, 2015 yılında lisanslı tesis sayısı 1226'ya ulaşmıştır (Municipal Waste Management in Turkey, 2016).

3. Ampirik Uygulama

Bu kısımda, önce çalışmada Türkiye'deki belediye atığı miktarının tahminini yapacak model için kullanılan yöntem ve modelde yer alan değişkenler hakkında bilgi

sunularak metodoloji ortaya konmuştur. Ayrıca, çalışma ile ilgili literatüre de bu kısımda yer verilmiştir. Daha sonra modelin çıktıkları olan tahmin değerleri sunulmuştur.

3.1. Model ve İlgili Literatür

Bu çalışmada tahminleme için Tanaka'nın Doğrusal Bulanık Regresyon Modeli kullanılmıştır. Bulanık Doğrusal Regresyon ilk kez Tanaka vd. (1982) tarafından çalışılmıştır. Bu çalışmada bağımsız değişkenlere göre bağımlı değişkeni tahmin etmek ve oluşturulan modelde parametreleri tahmin etmek amacıyla, klasik regresyon modelini esneterek Japonya'daki prefabrik evlerin fiyat mekanizmasının tahmini için bulanık doğrusal modeli kullanmıştır. Sonradan bu konu birçok araştırmacı tarafından incelenmiş ve Tanaka'nın Bulanık Regresyon Modeli geliştirilmiştir.

Bulanık regresyon modellerinin ikinci temel taşı Diamond (1988) ortaya koymuş, aralıksız (bulanık verilere dayalı) tip model önermiştir. Bulanık değerli verinin basit en küçük karelere uyması için çeşitli modeller geliştirilmiştir. Modellere bulanık veri setlerinin uyarlanabileceği ve normal denklemlerin analoglarının türetildiği kriterler verilmiştir. Moskowitz ve Kim (1993) H değeri arasındaki ilişki, üyelik fonksiyonu şekli ve bulanık doğrusal regresyonda bulanık parametrelerin yayılımlarını belirlemiş ve yayılımın H değeri ve üyelik fonksiyonu şekline duyarlılığını incelemiştir. Chang ve Lee (1996), en küçük kareler yaklaşımına dayanan genel bir bulanık regresyon modeli önermiş, bu yeni modelin adı "bulanık ağırlıklı en küçük kareler regresyonu yaklaşımı" olmuştur. Normal aralığın dışında kalan veri noktaları düzeltilip etkileri azaltılmıştır.

İlerleyen zamanlarda yapılan çalışmaların bazılarında bulanık doğrusal regresyon modelleri farklı yöntemlerle bütünleştirilerek kullanılmış, bazılarında ise yöntemi geliştirmeye yönelik yeni açılımlar geliştirilmiştir. Örneğin Bell ve Wang (1997), bulanık doğrusal regresyon modeli ile Analitik Hiyerarşi Prosesinin (AHP) ikili karşılaştırılmalarını kullanarak nihai bulanık doğrusal model oluşturmuşlardır. Wang ve Tsaur (2000), Tanaka tarafından net girdi ve bulanık çıktı kullanılarak modellenen bulanık en küçük kare yöntemini önermişlerdir. Bu yaklaşımla yeni modeldeki öngörülebilirliğin Tanaka'dan daha iyi olduğu ve hesaplama verimliliğinin ise geleneksel en küçük kare yönteminden daha iyi olduğu gösterilmiştir. Chang ve Ayyub (2001), bulanık regresyon ve normal regresyon arasındaki temel farklılıkları araştırmışlardır. Çalışmada bulanıklığın üç yaklaşımını özetlemişler ve hem rastgelelik hem de belirsizlik türlerini bir regresyon modeline entegre etmek için, melez bulanık en küçük kareler regresyon analizini önermişlerdir. Tran ve Duckstein (2002) ise çok amaçlı bir bulanık regresyon modeli geliştirmişlerdir. Bu çalışmalardan hareketle yabancı literatürdeki araştırmaların çoğunlukla Tanaka'nın modelini geliştiren, yeni model önerileri şeklinde teorik çerçevede olduğu söylenebilir.

Türkiye'deki araştırmacılar ise uygulamaya dönük olarak bulanık regresyon modelini kullanarak çeşitli tahminler yapmıştır. Örneğin, Yücel (2005) Türkiye'de 1980-2004 yılları arasındaki kayıt dışı ekonominin bulanık yöntemlerle tahminini gerçekleştirmiştir. Başaran (2007) çok değişkenli bulanık regresyonda parametre tahmininde bulunmuştur. Düzyurt

(2008) klasik ve bulanık regresyon modellerini incelenmiş, ev fiyatları tahminini bu modellerle yapmıştır. Kaya (2010) bulanık regresyon ve lojistik regresyon modelini bütünleştirerek kullanmıştır. Erilli vd. (2012) bulanık regresyon modelini kriz dönemlerindeki enflasyon tahminleri yapmak için; İçen ve Günay (2015) ise Türkiye'deki işsizlik oranını tahmin etmek için kullanmışlardır.

Literatürdeki çalışmalara bakıldığında bulanık regresyon modellerinin pek çok farklı alanda tahmin yapmak için kullanıldığı görülmektedir. Ancak, Türkiye'de ve dünyada atıklar kapsamında bu model kullanılarak yapılan bir tahminleme çalışmasına rastlanmamıştır. Bu kapsamda çalışmada, belediye atığı miktarının belirlenmesinde kullanılan kriterlerin yeterli düzeyde tanımlanmamış olması sebebiyle ortaya çıkan belirsizlik durumu da göz önüne alınarak Tanaka'nın Doğrusal Bulanık Regresyon Modeli ile Türkiye'de toplanan belediye atığı miktarını tahmin eden bir model oluşturulmuştur. Ayrıca, belediye atığı miktarı sadece belirtilen kriter ve göstergelere bağlı bulunmayabilir ve bu miktarı etkileyen birçok bağımsız değişken olabilir. Belediye atığı miktarının belirlenmesi için kriterlerin kesin tanımlanmamış olması sebebiyle ortaya çıkan belirsizlik, yöntemde bulanıklığa neden olmaktadır.

3.2. Değişkenler ve Veri Seti

Atık miktarlarının doğru tahmini atık yönetimi açısından kritik önemdedir. Ancak, atık miktarını etkileyen çok çeşitli faktör söz konusudur. Literatürdeki çalışmalar, belediye atık miktarı ile çok sayıda sosyoekonomik gösterge (gelir seviyesi, eğitim seviyesi, yaş, cinsiyet, çalışma oranları vb.) arasında ilişki bulunduğunu göstermektedir (Batinić vd., 2011: 513-518). Örneğin Ghinea vd. (2016), katı atık miktarı ve çeşitliliğini tahmin etmek için nüfusun sayısı ve yaşı, kentsel yaşam beklentisi, toplam belediye katı atığı gibi göstergeleri kullanmıştır. Younes vd. (2016) katı atık üretiminin genellikle ekonomik, demografik ve sosyal faktörlerle ilişkili olduğunu ancak, bu faktörlerin nüfus ve ekonomik büyüme nedeniyle sabit olmadığını ifade etmiştir.

Bu çalışmada literatürde belirtilen çok sayıda gösterge içinden daha fazla etkili olabileceği düşünülen ve Türkiye için verisine ulaşılabilen göstergeler kullanılmıştır. Bunlar modelin bağımlı değişkeni olan belediye atığı miktarını etkileyen; Türkiye'de nüfus artış hızı, kişi başına düşen GSYİH ve okur-yazarlık oranıdır. Nüfus ile ilgili temel parametreler, üretilen atık miktarı üzerinde etkili olan önemli faktörlerdir (Batinić vd., 2011: 513). Çalışmada nüfus artış hızı ilk bağımsız değişken olarak kabul edilmiştir. Çalışmanın başlangıcında nüfus artış hızı yerine toplam nüfus kullanılmış, fakat model anlamlı çıkmadığı için değişkende farklılığa gidilmiştir. Modelde ikinci bağımsız değişken olarak kişi başına düşen GSYİH kullanılmıştır. Farklı GSYİH'ye sahip ülkeler, atık çeşitliliği ve miktarlarında da farklı paya sahiptir. Türkiye gelişmekte olan bir ülke olarak, her yıl artan bir gelire sahiptir. Ortalama gelir ile atık miktarı arasında bağımlılık bilindiğinden, diğer bir bağımsız değişken olarak reel ekonomik gösterge olan kişi başına düşen GSYİH alınmıştır. Üçüncü bağımsız değişken ise eğitim yapısı olarak alınmıştır. Bilgi, eğitim ve kültür kalıplarının seviyesi, üretilen atığın miktarını önemli ölçüde etkilemektedir ve yapılan

araştırmalara göre, yüksek eğitilmiş kişilerin atık miktarındaki payı daha düşüktür (Batinic vd., 2011: 518). Buradan hareketle üçüncü değişken olarak okuryazarlık oranı alınmıştır.

Verinin toplanmasına ilişkin yapılan ön incelemede belediye atıklarıyla ilgili Türkiye'de 2005 yılından önceki yıllara ait sistematik verinin internet ortamında olmaması ulaşılabilirliği engellemiştir. İnternet ortamında 2005-2019 yılları arasındaki verinin ulaşılabilir olması nedeniyle bu aralıktaki 15 yıla ait veri kullanılmıştır. Ayrıca, atık miktarları mevsimsel olarak değişse de Türkiye'de yeterli verinin bulunamaması nedeniyle sadece yıllık ortalama değerleri hesaplanarak modelde kullanılmıştır. İlgili veri Eurostat, OECD ve TÜİK veri tabanlarından Nisan 2020-Mayıs 2020 tarihleri arasında toplanmıştır.

3.3. Tanaka'nın Doğrusal Bulanık Regresyon Modeli ile Türkiye'deki Belediye Atığı Miktarının Tahmin Uygulaması

Modelde kullanılan bağımlı değişken ve bağımsız değişkenler:

$i = 1, 2, \dots, 15$ (2005-2019 yılları için)

$Y_i = i$. yıldaki belediye atığı miktarı (bin ton)

$X_{i1} = i$. yıldaki nüfus artış hızı (%)

$X_{i2} = i$. yıldaki GSYİH (bin TL)

$X_{i3} = i$. yıldaki 6 yaş ve üzeri okuryazarlık oranı (%)

OECD, Eurostat ve TÜİK veri tabanlarından elde edilen veri seti Tablo 1'de gösterilmiştir. Tabloda, farklı yıllarda ortaya çıkan toplam belediye atığı miktarı Y_i ve bu miktarı etkileyen değişkenler X_{i1} , X_{i2} , X_{i3} olarak gösterilmiştir.

Tablo: 1
Türkiye'deki Farklı Yıllarda Ortaya Çıkan Belediye Atığı Miktarları ve Bu Miktarları Etkileyen Değişkenler Çizelgesi (Veri Seti)

i	Y_i	X_{i1}	X_{i2}	X_{i3}
1 (2005)	25147	1,3	9	88,1
2 (2006)	25280	1,2	11	88,2
3 (2007)	24820	1,2	12	88,7
4 (2008)	24361	1,2	14	91,8
5 (2009)	24819	1,3	13	92,5
6 (2010)	25277	1,4	15	94,0
7 (2011)	25561	1,5	18	95,1
8 (2012)	25845	1,6	20	95,8
9 (2013)	26928	1,7	23	96,0
10 (2014)	28011	1,7	26	96,1
11 (2015)	29797	1,7	29	96,2
12 (2016)	31584	1,6	32	96,5
13 (2017)	31896	1,6	38	96,7
14 (2018)	32209	1,5	45	97,0
15 (2019)	32500	1,4	51	98,0

Önerilen model için her veri ikişer kısıta dönüştürülmüştür. Buna göre, Tablo 1'deki 15 yıla ait veri seti kullanılarak 30 kısıt oluşturulmuştur.

Denklem (3.1) tipik bir bulanık doğrusal regresyon modelini göstermektedir (Ross, 2004: 556):

$$\tilde{Y} = f(x, \tilde{A}) = \tilde{A}_0 + \tilde{A}_1 X_1 + \tilde{A}_2 X_2 + \dots + \tilde{A}_n X_n \quad (3.1)$$

Burada \tilde{A}_i , i ' nin bulanık katsayısıdır. Bulanık fonksiyon \tilde{A} , merkezi değer p ve yayılım olarak bilinen c olmak üzere iki parametrenin bir fonksiyonudur. Bulanık parametreler, $\tilde{A} = \{\tilde{A}_1, \dots, \tilde{A}_n\}$ vektör formunda gösterilebilir. $\tilde{A} = \{p, c\}$ koşuluyla $p = (p_0, \dots, p_n)$ ve $c = (c_0, \dots, c_n)$. Bu nedenle, çıktı Denklem 3.1' in revize versiyonu (Ross, 2004: 557):

$$\tilde{Y} = (p_0, c_0) + (p_1, c_1) x_1 + (p_2, c_2) x_2 + \dots + (p_n, c_n) x_n \quad (3.2)$$

Tanaka vd. (1982), doğrusal bir programlama problemine dönüştürerek regresyon modelinin çözümünü belirlemiştir. Bulanık olmayan veriler için regresyon modelinin amacı, y_i içeren bulanık çıktı setinin h 'den büyük bir üyelik değeri ile ilişkili olacağı şekilde optimum parametreler \tilde{A} belirlemektir (Ross, 2004: 557).

Veri seti ve regresyon modeli arasındaki uyumun ölçüsü h terimidir. h derecesi kullanıcı tarafından belirlenir ve h arttıkça çıktının bulanıklığı artar (Ross, 2004: 557). h terimi $[0,1]$ aralığında değer alır (Yücel, 2005). h değeri 0'a yaklaştıkça, üyelik değerinin düşmesine ve inanç derecesinin azalmasına sebebiyet vermektedir. h inanç derecesi o kümeye ait üyelik derecesini belirlemektedir. Ortalama inanç derecesi ise (\bar{h}) ortalama üyelik derecesini bildirmektedir ve ortalamaları alınarak hesaplanır (Erilli vd., 2012). Bu hesaplama (Denklem 3.3):

$$h_{\text{inanç}} = h_i = 1 - \frac{|p_i - y_i|}{c_i} \quad (3.3)$$

Klasik doğrusal regresyon modelinde yapılması olası hatalar hata teriminde toplanırken, bulanık doğrusal regresyonda tüm model katsayılarına hata dağıtılır. Böylece parametrelerin her birinin tahmini belli bir bulanık seviyesinde olmaktadır. Bulanık katsayı $\tilde{A}_i = (c_i, s_i)$ 'yi hesaplamak için Tanaka vd. (1982) geliştirdiği doğrusal bulanık regresyon modeli aşağıdaki gibidir:

Amaç fonksiyonu: $(0 = \min \{ mc_0 + \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n c_i x_{ij} \})$ bulanık çıktının yayılımını minimize eden bulanık katsayıların bulunması içindir. Kısıtlar ise (Denklem 3.4):

$$\begin{aligned} [y_j \geq \sum_{i=1}^n p_i x_{ij} - (1 - h) \sum_{i=1}^n c_i x_{ij}] \text{ ve} \\ [y_j \leq \sum_{i=1}^n p_i x_{ij} + (1 - h) \sum_{i=1}^n c_i x_{ij}] \end{aligned} \quad (3.4)$$

regresyon katsayılarının merkezi değerini ve yayılımlarını oluşturmak içindir.

İncelenen diğer uygulamalara bakılarak minimum bulanıklık kriteri $H=0.00$, $H=0.50$ ve $H=0.70$ olarak 3 durum için elde edilen doğrusal programlama modelleri kurulmuştur.

Kurulan bulanık doğrusal regresyon modelleri LINGO 11.0 paket programı kullanılarak çözülmüştür. Her bir farklı minimum bulanıklık kriteri için elde edilen bulanık regresyon modelleri aşağıda açıklanmıştır.

H=0.00 Seviyesinde Minimum Bulanıklık Analizi

Tanaka'nın Bulanık Regresyon Modelinde H=0.00 için:

$$\text{MIN} = 15*c_0+21.9*c_1+356*c_2+1410.7*c_3;$$

$$p_0+1.3*p_1+9*p_2+88.1*p_3-c_0-1.3*c_1-9*c_2-88.1*c_3 \leq 25147;$$

$$p_0+1.3*p_1+9*p_2+88.1*p_3+c_0+1.3*c_1+9*c_2+88.1*c_3 \geq 25147;$$

...

$$p_0+1.4*p_1+51*p_2+98*p_3+c_0+1.4*c_1+51*c_2+98*c_3 \geq 32500;$$

$$p_0+1.4*p_1+51*p_2+98*p_3-c_0-1.4*c_1-51*c_2-98*c_3 \leq 32500;$$

LINGO 11.0 paket programındaki bu sonuçlar doğrultusunda bulanık katsayı parametrelerinin en küçük bulanıklığa bağlı tahmin değerleri aşağıdaki gibidir (Tablo 2).

Tablo: 2
H=0.00 Bulanıklık Seviyesinde Hesaplanan Modele Ait Katsayı Değerlerinin Merkez ve Yayılım Değerleri

Değişkenler	Katsayılar	Merkez değeri (μ_n)	Yayılım (c_n)
Sabit	\tilde{A}_0	60862,03	0,00
X_1	\tilde{A}_1	5331,67	0,00
X_2	\tilde{A}_2	337,04	43,90
X_3	\tilde{A}_3	-518,12	0,00

$$\tilde{Y}_i = \tilde{A}_0 + \tilde{A}_1 X_{i1} + \tilde{A}_2 X_{i2} + \tilde{A}_3 X_{i3}$$

$$= (60862,03 ; 0) + (5331,67 ; 0) X_{i1} + (337,04 ; 43,90) X_{i2} + (-518,12 ; 0) X_{i3}$$

(60862,03 ; 0) merkezi değeri 60862,03 ve yayılım değeri 0 olan bulanık eğimdir. Diğerlerinin bulanık eğimlerinin gösterimi bu şekildedir. Buna göre tahmin edilen belediye atığı değerleri Tablo 3'te gösterilmiştir.

Tablo: 3
H=0.00 için Tanaka'nın Bulanık Regresyon Modeli Kullanılarak Tahmin Edilen \tilde{Y} (Belediye Atığı) Değerleri

i	Gerçek Y Değerleri	H=0.00 için				İnanç Derecesi
		Tahmin Edilen \tilde{Y}_i Alt Sınır ve Üst Sınır Değerleri		Tahmin Edilen $\tilde{Y}_i = (p_i, c_i)$ Merkezi Değerleri ve Yayılımı		
		Alt Sınır	Üst Sınır	p_i	c_i	
1	25147	24785,08	25575,28	25180,18	395,10	0,91
2	25280	24786,39	25752,19	25269,29	482,90	0,97
3	24820	24820,47	25874,07	25347,27	526,80	0,00
4	24361	23800,57	25029,77	24415,17	614,60	0,91
5	24819	23677,92	24819,32	24248,62	570,70	0,00
6	25277	24020,18	25337,18	24678,68	658,50	0,09
7	25561	24862,84	26443,24	25653,04	790,20	0,88
8	25845	25619,60	27375,60	26497,60	878,00	0,25
9	26928	26928,56	28947,96	27938,26	1009,70	0,00
10	28011	27756,17	30038,97	28897,57	1141,40	0,22
11	29797	28583,73	31129,98	29856,88	1273,10	0,95
12	31584	28774,60	31584,20	30179,40	1404,80	0,00
13	31896	30429,81	33766,21	32098,01	1668,20	0,87
14	32209	31793,19	35744,19	33768,69	1975,50	0,21
15	32500	32500,74	36978,54	34739,64	2238,90	0,00

Belediye atığı miktarının bulanık ortalama değeri $Y_i = (p_i, c_i)$ şeklindedir. Belediye atığı miktarının belirsizliği \tilde{A}_2 kişi başına düşen GSYİH'nın belirsizliği ile ifade edilebilir. H değerinin 0 olması sistem için bir inanç seviyesi düşüklüğüne ve üyelik değerinin düşmesine sebep olmaktadır.

Sistem Bulanıklığı = 15630,76

$$\bar{h} = \sum_{i=1}^{15} h_i / 15 = 0,41$$

Sistemin ortalama inanç derecesi (\bar{h}) seçilen H değerinden büyük olması gerekmektedir. H=0.00 için ortalama inanç derecesi 0,41 çıkmıştır. Bu durum uygulamanın H= 0.00 için doğru tahmin yaptığını göstermektedir.

H=0.50 Seviyesinde Minimum Bulanıklık Analizi

Tanaka'nın Bulanık Regresyon Modelinde H=0.50 için:

$$MIN = 15*c_0 + 21.9*c_1 + 356*c_2 + 1410.7*c_3;$$

$$p_0 + 1.3*p_1 + 9*p_2 + 88.1*p_3 - 0.5*c_0 - 1.3*0.5*c_1 - 9*0.5*c_2 - 88.1*0.5*c_3 \leq 25147;$$

$$p_0 + 1.3*p_1 + 9*p_2 + 88.1*p_3 + 0.5*c_0 + 1.3*0.5*c_1 + 9*0.5*c_2 + 88.1*0.5*c_3 \geq 25147;$$

...

$$p_0 + 1.4*p_1 + 51*p_2 + 98*p_3 + 0.5*c_0 + 1.4*0.5*c_1 + 51*0.5*c_2 + 98*0.5*c_3 \geq 32500;$$

$$p_0 + 1.4*p_1 + 51*p_2 + 98*p_3 - 0.5*c_0 - 1.4*0.5*c_1 - 51*0.5*c_2 - 98*0.5*c_3 \leq 32500;$$

LINGO 11.0 paket programındaki bu sonuçlar doğrultusunda bulanık katsayı parametrelerinin en küçük bulanıklığa bağlı tahmin değerleri aşağıdaki gibidir (Tablo 4).

Tablo: 4
H=0.50 Bulanıklık Seviyesinde Hesaplanan Modele Ait Katsayı Değerlerinin Merkez ve Yayılım Değerleri

Değişkenler	Katsayılar	Merkez değeri (p_n)	Yayılım (c_n)
Sabit	\tilde{A}_0	60862,03	0,00
X_1	\tilde{A}_1	5331,67	0,00
X_2	\tilde{A}_2	337,04	87,81
X_3	\tilde{A}_3	-518,12	0,00

$$\tilde{Y}_i = \tilde{A}_0 + \tilde{A}_1 X_{i1} + \tilde{A}_2 X_{i2} + \tilde{A}_3 X_{i3}$$

$$= (60862,03 ; 0) + (5331,67 ; 0) X_{i1} + (337,04 ; 87,81) X_{i2} + (-518,12 ; 0) X_{i3}$$

(60862,03 ; 0) merkezi değeri 60862,03 ve yayılım değeri 0 olan bulanık eğimdir. Diğerlerinin bulanık eğimlerinin gösterimi bu şekildedir.

Tahmin edilen belediye atığı değerleri Tablo 5' te gösterilmiştir.

Tablo: 5
H=0.50 için Tanaka'nın Bulanık Regresyon Modeli Kullanılarak Tahmin Edilen \tilde{Y} (Belediye Atığı Miktarı) Değerleri

H=0.50 için						
i	Gerçek Y Değerleri	Tahmin Edilen \tilde{Y}_i Alt Sınır ve Üst Sınır Değerleri		Tahmin Edilen $Y_i = (p_i, c_i)$ Merkezi Değerleri ve Yayılımı		İnanç Derecesi h_i
		Alt Sınır	Üst Sınır	p_i	c_i	
1	25147	24389,79	25970,47	25180,18	790,79	0,95
2	25280	24303,38	26235,20	25269,29	965,91	0,98
3	24820	24293,55	26400,99	25347,27	1053,72	0,49
4	24361	23185,83	25644,51	24415,17	1229,34	0,95
5	24819	23107,09	25390,15	24248,62	1141,53	0,50
6	25277	23361,53	25995,83	24678,68	1317,15	0,54
7	25561	24072,46	27233,62	25653,04	1580,58	0,94
8	25845	24741,40	28235,80	26497,60	1756,20	0,62
9	26928	25918,63	29957,89	27938,26	2019,63	0,49
10	28011	26614,51	31180,63	28897,57	2283,06	0,61
11	29797	27310,39	32403,37	29856,88	2546,49	0,97
12	31584	27369,48	32989,32	30179,40	2809,92	0,50
13	31896	28761,23	35434,79	32098,01	3336,78	0,93
14	32209	29817,24	37720,14	33768,69	3951,45	0,60
15	32500	30261,33	39217,95	34739,64	4478,31	0,49

Belediye atığı miktarının bulanık ortalama değeri $Y_i = (p_i, c_i)$ şeklindedir. Belediye atığı miktarının belirsizliği \tilde{A}_2 kişi başına düşen GSYİH'nın belirsizliği ile ifade edilebilir.

Sistem Bulanıklığı = 31261,52

$$\bar{h} = \sum_{i=1}^{15} h_i / 15 = 0,70$$

Sistemin ortalama inanç derecesi (\bar{h}) seçilen H değerinden büyük olması gerekmektedir. H=0.50 için ortalama inanç derecesi 0,70 çıkmıştır. Bu durum uygulamanın H=0.50 için doğru tahmin yaptığını göstermektedir.

H=0.70 Seviyesinde Minimum Bulanıklık Analizi

Tanaka'nın Bulanık Regresyon Modelinde H=0.70 için:

$$\text{MIN} = 15 \cdot c_0 + 21.9 \cdot c_1 + 356 \cdot c_2 + 1410.7 \cdot c_3;$$

$$p_0 + 1.3 \cdot p_1 + 9 \cdot p_2 + 88.1 \cdot p_3 - 0.3 \cdot c_0 - 1.3 \cdot 0.3 \cdot c_1 - 9 \cdot 0.3 \cdot c_2 - 88.1 \cdot 0.3 \cdot c_3 \leq 25147;$$

$$p_0 + 1.3 \cdot p_1 + 9 \cdot p_2 + 88.1 \cdot p_3 + 0.3 \cdot c_0 + 1.3 \cdot 0.3 \cdot c_1 + 9 \cdot 0.3 \cdot c_2 + 88.1 \cdot 0.3 \cdot c_3 \geq 25147;$$

...

$$p_0 + 1.4 \cdot p_1 + 51 \cdot p_2 + 98 \cdot p_3 + 0.3 \cdot c_0 + 1.4 \cdot 0.3 \cdot c_1 + 51 \cdot 0.3 \cdot c_2 + 98 \cdot 0.3 \cdot c_3 \geq 32500;$$

$$p_0 + 1.4 \cdot p_1 + 51 \cdot p_2 + 98 \cdot p_3 - 0.3 \cdot c_0 - 1.4 \cdot 0.3 \cdot c_1 - 51 \cdot 0.3 \cdot c_2 - 98 \cdot 0.3 \cdot c_3 \leq 32500;$$

LINGO 11.0 paket programındaki bu sonuçlar doğrultusunda bulanık katsayı parametrelerinin en küçük bulanıklığa bağlı tahmin değerleri aşağıdaki gibidir (Tablo 6).

Tablo: 6
H=0.70 Bulanıklık Seviyesinde Hesaplanan Modele Ait Katsayı Değerlerinin Merkez ve Yayılım Değerleri

Değişkenler	Katsayılar	Merkez değeri (p_n)	Yayılım (c_n)
Sabit	\tilde{A}_0	60862,03	0,00
X_1	\tilde{A}_1	5331,67	0,00
X_2	\tilde{A}_2	337,04	146,35
X_3	\tilde{A}_3	-518,12	0,00

$$\tilde{Y}_i = \tilde{A}_0 + \tilde{A}_1 X_{i1} + \tilde{A}_2 X_{i2} + \tilde{A}_3 X_{i3}$$

$$= (60862,03 ; 0) + (5331,67 ; 0) X_{i1} + (337,04 ; 146,35) X_{i2} + (-518,12 ; 0) X_{i3}$$

(60862,03 ; 0) merkezi değeri 60862,03 ve yayılım değeri 0 olan bulanık eğimdir. Değerlerinin bulanık eğimlerinin gösterimi bu şekildedir.

Tablo: 7
H=0.70 için Tanaka'nın Bulanık Regresyon Modeli Kullanılarak Tahmin Edilen \tilde{Y} (Belediye Atığı Miktarı) Değerleri

H=0.70 için						
i	Gerçek Y Değerleri	Tahmin Edilen \tilde{Y}_i Alt Sınır ve Üst Sınır Değerleri		Tahmin Edilen $\tilde{Y}_i = (p_i, c_i)$ Merkezi Değerleri ve Yayılımı		İnanç Derecesi h_i
		Alt Sınır	Üst Sınır	p_i	c_i	
1	25147	23863,03	26497,33	25180,18	1317,15	0,97
2	25280	23659,44	26879,14	25269,29	1609,85	0,99
3	24820	23591,07	27103,47	25347,27	1756,20	0,69
4	24361	22366,27	26464,07	24415,17	2048,90	0,97
5	24819	22346,07	26151,17	24248,62	1902,55	0,70
6	25277	22483,43	26873,93	24678,68	2195,25	0,72
7	25561	23018,74	28287,34	25653,04	2634,30	0,96
8	25845	23570,60	29424,60	26497,60	2927,00	0,77
9	26928	24572,21	31304,31	27938,26	3366,05	0,69
10	28011	25092,47	32702,67	28897,57	3805,10	0,76
11	29797	25612,73	34101,03	29856,88	4244,15	0,98
12	31584	25496,20	34862,60	32098,01	5561,30	0,70
13	31896	26536,71	37659,31	32098,01	5561,30	0,96
14	32209	27182,94	40354,44	33768,69	6585,75	0,76
15	32500	27275,79	42203,49	34739,64	7463,85	0,69

Tahmin edilen belediye atığı değerleri Tablo 7' de görülmektedir.

Belediye atığı miktarının bulanık ortalama değeri $Y_i = (p_i, c_i)$ şeklindedir. Belediye atığı miktarının belirsizliği \tilde{A}_2 kişi başına düşen GSYİH'nın belirsizliği ile ifade edilebilir.

Sistem Bulanıklığı = 52102,53

$$\bar{h} = \sum_i^{15} h_i / 15 = 0,82$$

Sistemin ortalama inanç derecesi (\bar{h}) seçilen H değerinden büyük olması gerekmektedir. H=0.70 için ortalama inanç derecesi 0,82 çıkmıştır. Bu durum uygulamanın H=0.70 için doğru tahmin yaptığını göstermektedir.

Tanaka'nın Bulanık Regresyon Modelleri kullanılarak farklı minimum bulanıklık kriteri değerleri H=0.00, H=0.50 ve H=0.70 için elde edilen bulanık modellerin orta çizgi denklemi aynı olmuştur ve denklem aşağıdaki gibidir:

$$\hat{Y}_i = 60862,03 + 5331,67 X_{i1} + 337,04 X_{i2} - 518,12 X_{i3}$$

Modelin çözümü sonucunda görüldüğü gibi, her bir verinin inanç derecesi (h), H değerine göre H ile 1 arasında yayılım göstermektedir. H'in derecesi arttıkça modelin bulanıklığı artmaktadır. H=0.00 olduğunda en düşük inanç derecesine sahip olur ve h'lar en dar bulanık büyüklüğe 0 ile 1 arasında sahip olurlar. Kısacası; ortalama inanç derecesi (\bar{h}) artışı H değerinin ve sistem bulanıklığının artmasına bağlıdır. Model, kullanılan her bir verinin h inanç derecesinin kullanıcının seçtiği H derecesinden büyük veya H derecesine eşit olmasına neden olur (Düzyurt, 2008: 47).

OECD, Eurostat ve TÜİK'den alınarak hazırlanan gerçek Y değerleri (toplam belediye atık miktarları) ile tahmin edilen \hat{Y} toplam belediye atık miktarı hesaplamaları arasında büyük ölçüde bir farklılık bulunmamaktadır. h inanç derecesi bunu doğrular bir şekilde göstermiştir. Seçilen 3 farklı H değerine göre model 3 farklı sonuç üretmiştir. H derecesi ne kadar artarsa, yani tahmin edilen \hat{Y} değerinin gerçek Y değerine ne kadar yakın olması istenirse o bağlamda tahmin edilen \hat{Y} yayılımı ve sistemin bulanıklığı artmaktadır.

4. Sonuç ve Öneriler

Belediye atık yönetimi, yöneticiler için insan sağlığını, çevreyi ve doğal kaynakları koruma açısından büyük bir endişe kaynağıdır. Etkili bir atık yönetim sisteminin tasarımı ve işletimi için atık üretim miktarlarının doğru tahmin edilmesi gerekmektedir. Atıklarının miktarlarıyla ilgili tahminler, atık yönetiminin sürdürülebilirliği için çok önemlidir.

Bu çalışmada, tahmin edilen toplam belediye atık miktarı ile uygulamada belirtilen göstergeler arasındaki ilişkinin varlığını ve doğruluğunu göstermek, gelecekte Türkiye'de belediye atıklarının miktarına ilişkin çıkarımlar yapmak için Tanaka'nın Bulanık Regresyon Modeli kullanılmıştır. Bu model, Türkiye'de 2005-2019 yılları arasındaki belediye atık

miktarının tahmini için kullanılmıştır. Tanaka'nın modeline dayalı olarak net girdi kullanılarak bulanık çıktı ile oluşturulan bulanık doğrusal regresyon modeli ile belediye atık miktarı tahmin edilmiştir. Daha önce Türkiye'de belediye atıklarının tahminine yönelik bir çalışma bulunmamaktadır. Atık yönetimi konusunda özellikle de atıkların miktarı hakkında belirsizlik durumlarının çözümlenmesi için Tanaka'nın Bulanık Regresyon Modeli uygulamasının sonucunda modelin minimum sapmayla hesapladığı tahmin değerleri başarılı olmuştur. Gerçek toplam belediye atık miktarları ile tahmin edilen toplam belediye atık miktarı hesaplamaları arasında büyük ölçüde bir farklılık bulunmamaktadır. h inanç derecesi bunu doğrular bir şekilde göstermiştir. Model üç farklı durum için ele alınmış olup H düzeyleri farklılaştıkça sistem bulanıklığı da farklılaşmıştır. Kullanıcı tarafından belirlenen H ne kadar büyük alınırsa tahmin edilen belediye atığı oranı yayılımı ve sistem bulanıklığı da aynı doğrultuda artar. H derecesi ne kadar artarsa, yani tahmin edilen değer gerçek değere ne kadar yakın olması istenirse o bağlamda tahmin edilen belediye atık miktarı yayılımı ve sistemin bulanıklığı artmaktadır. Bu model, gelecekteki atık miktarını da öngörülen girdiler kullanarak tahmin edebilir.

Yapılan araştırmaların anlamlı bir şekilde sonuç vermesi için uygulanan analiz yöntemi ve modelinin doğru bir şekilde seçilmesinin oldukça önemli olduğu bu çalışma yürütülürken bir kez daha görülmüştür. Bu modelde; Türkiye'deki nüfus artış hızı, kişi başına düşen GSYİH tutarı ve okur-yazarlık oranı 3 bağımsız değişken olarak ele alınmış ve sonuç olarak modeldeki belediye atığı miktarının belirsizliğinin GSYİH'nin belirsizliği ile ifade edilebileceği görülmüştür. Ayrıca, bulanık regresyon analizi, veri kaynaklarına güvenin azaldığı ya da değişkenler arası ilişkilerin net sınırlarla çizilemediği durumlarda kullanılan bir yöntem (İçen & Günay, 2015) olması nedeniyle klasik regresyon modelinden farklı olarak esnek düşünme sağlamıştır.

Bu model, gelecekteki atık miktarını benzer girdiler kullanarak tahmin edebilir. Türkiye'deki resmi istatistik sitelerinde modelde kullanılan girdilere yönelik tahminlemelere yer verilmemiştir. Türkiye gibi gelişmekte olan ülkelerde geleceğe dair hem tahminleme çalışmalarında önemli eksikler hem de bu tip çalışmalara araştırmacıların erişiminde çeşitli sıkıntılar bulunmaktadır. Bu çalışma kapsamında yapılan ön araştırmalarda Türkiye'de geleceğe dair nüfus artış hızı, GSYİH, okur-yazarlık oranına ilişkin herhangi bir projeksiyon geliştirilmediği görülmüştür. Dolayısıyla, bu çalışmada sadece elde bulunan veri kullanılarak 2005-2019 yılları arasında yönelik tahminlerde bulunulmuş ve küçük bir veri seti ele alınabilmektedir. Ancak, gelişmiş ülkelerde pek çok parametreyle ilgili tahmin verileri geliştirilmekte ve bu parametreler de girdi parametresi olarak kullanılarak farklı alanlardaki tahminlemelere zemin oluşturabilmektedir.

Türkiye'deki belediyeler ve bakanlıklar gibi ilgili kurumlardaki yöneticiler için bu çalışmayla elde edilen bilgiler, çevre koruma ilkelerine uygun olarak gelecekteki kararlar ve atık yönetimi geliştirme çabaları açısından bir temel oluşturabilir. Çalışmada belediye atık miktarı belirsizliğinin GSYİH'nin belirsizliğe bağlı olduğu görüldüğünden, ekonomik gelişme ile birlikte gelecekte atık miktarlarının artacağı düşünülerek belediyelerin atık yönetimi konusu ciddiye almaları önerilebilir. Gelecekteki çalışmalar her bir il için

belediyeler özelinde de yapılabilir, temsili belediyeler seçilerek sahadan elde edilen verinin tüm ülkeye projeksiyonu da sağlanabilir. Yapılan atık analizi ve modellemesiyle, olası finansal yatırımların yönlendirilmesine destek olunabilir. Bu kapsamda, atık miktarlarının analizi ve tahminine yönelik yapılacak yeni çalışmalarla hem literatürdeki sınırlı bilginin gelişmesine katkı sağlanabilecek hem de karar vericilerin oluşturacakları atık politikaları için sağlam bir zemin oluşturulabilecektir.

Diğer yandan, çevre ve atık yönetimi çalışmaları yapan analistlere Tanaka'nın Bulanık Regresyon Analizi belirsizlik teşkil eden durumlar için açık modeli, kolay uygulaması ve iyi performansı nedeniyle önerilebilir. Aynı veri seti kullanılarak bulanık regresyonun diğer modelleri de kullanılabilir. Veri seti çoğaltılarak ve model geliştirilerek yapay sinir ağları ya da makine öğrenmesi algoritmaları kullanılarak gelecekteki atık miktarları ve atıkların bileşimlerinin değerlendirilmesi de mümkündür.

Kaynaklar

- Anonymous (1995), *The Concise Oxford Dictionary of Current English*, (9), Oxford: Clarendon Press.
- Aydoğdu, N. (2020), "Bulanık Regresyon Analizi ile Aydın İli Konut Fiyatlarını Etkileyen Değişkenlerin Belirlenmesi", *Yüksek Lisans Tezi*, Aydın Adnan Menderes Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Aydın.
- Batinic, B. et al. (2011), "Using ANN Model to Determinate Future Waste Characteristics in Order to Achieve Specific Waste Management Targets-Case Study of Serbia", *Journal of Scientific and Industrial Research*, (70), 513-518.
- Başaran, M.A. (2007), "Çok Değişkenli Bulanık Regresyonda Parametre Tahmini", *Doktora Tezi*, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Bell, P.M. & H. Wang (1997), "Fuzzy Linear Regression Models for Assessing Risks of Cumulative Trauma Disorders", *Fuzzy Sets and Systems*, 92(3), 317-340.
- Chang, Y. & B.M. Ayyub (2001), "Fuzzy Regression Methods a Comparative Assessment", *Fuzzy Sets and Systems*, 119(2), 187-203.
- Chang, P.T. et al. (1996), "Applying Fuzzy Linear Regression to VDT Legibility", *Fuzzy Sets and Systems*, 80, 197-204.
- Çetin, H. (2019), "Türkiye'de Geri Dönüşümü Yapılan Evsel Katı Atıkların Çevresel, Toplumsal ve Ekonomik Faydalarının İncelenmesi: Eskişehir Örneđi", *Yüksek Lisans Tezi*, Bitlis Eren Üniversitesi ve Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bitlis.
- Diamond, P. (1988), "Fuzzy Least Squares", *Information Sciences*, 46, 141-157.
- Düzyurt, S. (2008), "Bulanık Regresyon ile Tahmin ve Bir Uygulama", *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Erilli, N.A. vd. (2012), "Kritik (Kriz) Dönem Enflasyon Hesaplamalarında Bulanık Regresyon Tahminlemesi", *Doğuş Üniversitesi Dergisi*, 13(2), 239-253.
- Eurostat (2017), *Guidance on Municipal Waste Data Collection May 2017*, <<https://ec.europa.eu/eurostat/documents/342366/351811/Municipal+Waste+guidance/bd38a449-7d30-44b6-a39f-8a20a9e67af2>>, 25.05.2020.

- Ghinea, C. et al. (2016), "Forecasting Municipal Solid Waste Generation Using Prognostic Tools and Regression Analysis", *National Library of Medicine*, 182(1), 80-93.
- İçen, D. & S. Günay (2015), "Türkiye'deki İşsizlik Oranının Bulanık Doğrusal Regresyon Analiziyle Tahmini", *İstatistikçiler Dergisi: İstatistik & Aktüerya*, 8, 10-26.
- Kaya, H.S. (2010), "Bulanık Regresyon ve Bir Uygulama", *Yüksek Lisans Tezi*, Süleyman Demirel Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Isparta.
- Miezah, K. et al. (2015), "Municipal Solid Waste Characterization and Quantification as a Measure Towards Effective Waste Management in Ghana", *Waste Management*, 46, 15-27.
- Moskowitz, H. & K. Kim (1993), "On Assessing the H Value in Fuzzy Linear Regression", *Fuzzy Sets and Systems*, 58, 303-327.
- Sayıştay (2016), "Municipal Waste Management in Turkey", *Sayıştay Raporu*, Ankara: November.
- OECD (2019), *OECD Environmental Performance Reviews: Turkey 2019*, <https://read.oecd-ilibrary.org/environment/oecd-environmental-performance-reviews-turkey-2019_9789264309753-en#page204>, 04.04.2021.
- OECD (2020), *Environment at a Glance 2020*, <https://read.oecd-ilibrary.org/environment/environment-at-a-glance/volume-/issue-_4ea7d35f-en#page65>, 04.04.2021.
- OECD (2020), *Municipal Waste 2020*, <<https://data.oecd.org/waste/municipal-waste.htm>>, 01.04.2020.
- OECD Indicators (2015), *Municipal Waste in Environment at a Glance 2015*, Paris: OECD Publishing.
- OECD iLibrary (N/A), <<https://www.oecd-ilibrary.org/>>, 24.05.2022.
- OECD.Stat. (N/A), <<https://stats.oecd.org/>>, 10.04.2021.
- Öktem, B. (2016), "Atık Yönetiminde Entegre Uygulama", *Batman Üniversitesi Yaşam Bilimleri Dergisi*, 6(2/1), 135-147.
- Ross, T.J. (2004), *Fuzzy Logic with Engineering Applications*, İkinci Baskı, John Wiley & Sons Ltd, USA.
- Saraç, A.O. (2015), "Evsel Atık Değerlendirme Tesisi Enerji-Ekonomi Analizi ve Kocaeli İli için Uygulama", *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü, İstanbul.
- Tanaka, H. et al. (1982), "Linear Regression Analysis with Fuzzy Model", *IEEE Trans. on Syst.*, 12, 903-907.
- Tran, L. & L. Duckstein (2002), "Comparison of Fuzzy Numbers Using a Fuzzy Distance Measure", *Fuzzy Sets and Systems*, 130(3), 331-341.
- Wang, H. & R. Tsaur (2000), "of a Fuzzy Regression Model", *Fuzzy Sets and Systems*, 112, 355-369.
- Younes, M.K. et al. (2015), "Use of a Combination of MRSS-ANP for Making an Innovative Landfill Siting Decision Model", *Mathematical Problems in Engineering*, 381926.
- Yücel, L.İ. (2005), "Bulanık Regresyon: Türkiye'de 1980-2004 Döneminde Kayıt Dışı Ekonominin Bulanık Yöntemlerle Tahminine İlişkin Bir Uygulama", *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.