

ROUTE SELECTION WITH FUZZY LOGIC IN ELECTRONIC WASTE COLLECTION: ANKARA-MANISA CASE

Tuğba DEDE - Ceren AKGÜN - Şule HÜDAVERDİ
Yusuf Bera SANLI - Emel GÜVEN - Tamer EREN

Lisans Öğrencisi, Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi,
Endüstri Mühendisliği Bölümü
Mail: tugbadede.06@gmail.com

 <https://orcid.org/0009-0007-5030-8483>

Lisans Öğrencisi, Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi,
Endüstri Mühendisliği Bölümü
Mail: akgunipek4@gmail.com

 <https://orcid.org/0009-0003-5504-5935>

Lisans Öğrencisi, Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi,
Endüstri Mühendisliği Bölümü
Mail: sulehudaverdi8@gmail.com

 <https://orcid.org/0009-0001-4774-9671>

Yüksek Lisans Öğrencisi, Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi,
Endüstri Mühendisliği Bölümü
Mail: beraasanli@gmail.com

 <https://orcid.org/0009-0003-7577-6671>

Doktora Öğrencisi, Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi,
Endüstri Mühendisliği Bölümü
Mail: emel-gvn@hotmail.com

 <https://orcid.org/0000-0001-6106-9720>

Prof. Dr., Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi,
Endüstri Mühendisliği Bölümü
Mail: tamereren@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0001-5282-3138>

ABSTRACT

Electronic waste (e-waste) has become a global environmental issue due to the rapid development of technology and changes in consumption habits. When improperly disposed of, e-waste contains hazardous materials that pose threats to both the environment and human health. Proper collection, transportation, and processing of these wastes are essential. Logistics involves processes such as moving products from production sites to storage, and delivering them to required locations efficiently and timely. This study aims to determine the most optimal route for transporting e-waste from Ankara to a recycling facility in Manisa. Factors such as cost, distance, time, and environmental impact were considered in the route selection process. Similar route optimization studies in the literature were reviewed to highlight the differences and contributions of this study. The findings provide valuable insights for decision-makers to support environmental sustainability and improve logistics efficiency. The results indicate that the A4 (Ankara-Afyon-Uşak-Manisa) route carries the highest risk, while alternatives A1 and A2 offer lower risk and cost advantages.

Keywords: Multi- Criteria Decision Making, Route, E-Waste

Makale Atıf Bilgisi: DEDE, T. - AKGÜN, C. - HÜDAVERDİ, Ş. - SANLI, Y. B. - GÜVEN, E. - EREN, T. (2025). "Elektronik Atıkların Toplanması Bulanık Mantık ile Güzergâh Seçimi: Ankara-Manisa Örneği". *Çevre, Şehir ve İklim Dergisi*, Akıllı Şehirler Özel Sayısı, s. (205-225)

Makale Türü: Araştırma
Geliş Tarihi: 15.05.2025
Kabul Tarihi: 23.06.2025
Yayın Tarihi: 01.12.2025
Yayın Sezonu: Kasım 2025

ELEKTRONİK ATIKLARIN TOPLANMASINDA BULANIK MANTIK İLE GÜZERGÂH SEÇİMİ: ANKARA-MANİSA ÖRNEĞİ

Tuğba DEDE - Ceren AKGÜN - Şule HÜDAVERDİ
Yusuf Bera SANLI - Emel GÜVEN - Tamer EREN

Öz

Elektrikli ve elektronik atıklar (e-atık), teknolojinin hızla gelişmesi ve tüketim alışkanlıklarındaki değişimle birlikte küresel bir çevre sorunu haline gelmiştir. E-atıklar, yanlış bir şekilde bertaraf edildiğinde çevreyi ve insan sağlığını tehdit eden tehlikeli maddeler ortaya çıkabilir. Bu atıkların doğru bir şekilde toplanması, taşınması ve işlenmesi gerekmektedir. Lojistik, ürünlerin üretim yerinden alınarak ihtiyaç duyulan yerlere zamanında ve verimli bir şekilde teslim edilmesini sağlayan süreçleri kapsar. Bu çalışmada, Ankara'dan Manisa'daki bir e-atık geri dönüşüm tesisine yapılacak taşımada en uygun güzergâhın belirlenmesi hedeflenmiştir. Güzergâh belirlemede maliyet, mesafe, zaman ve çevresel etkiler gibi faktörler göz önünde bulundurulmuştur. Bu çalışmanın literatüre katkısını vurgulamak için benzer güzergâh optimizasyon çalışmalarına da yer verilecektir. Araştırmanın bulguları, çevresel sürdürülebilirliği desteklemek ve lojistik verimliliği artırmak açısından karar vericilere yol gösterici niteliktedir. Sonuç olarak, A4 (Ankara-Afyon-Uşak-Manisa) güzergâhının yüksek risk taşıdığı, A1 ve A2 alternatiflerinin ise daha düşük risk ve maliyet avantajı sunduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Çok Kriterli Karar Verme, Güzergâh, E-Atık

1. Giriş

Teknolojinin hızla gelişmesi, insanların tüketim alışkanlıklarını köklü biçimde değiştirmiş ve bunun sonucunda yeni atık türleri ortaya çıkmıştır. Elektrikli ve elektronik atıklar (e-atık) da bu dönüşümün önemli bir ürünüdür. Günümüzde teknolojik cihazlar; daha hızlı, verimli, estetik ve uygun maliyetli olma amacıyla sürekli yenilenmektedir. Bu durum, elektronik ürünlerin genellikle 1 ila 6 yıl gibi kısa sürelerde kullanım dışı kalmasına neden olmaktadır. Üstelik bu cihazların tamir maliyetleri genellikle yenisini satın almaktan daha yüksek olduğu için kullanıcılar eski ürünleri atmayı tercih etmektedir (Çiftlik ve diğerleri, 2009: 2). E-atıkların uygun yöntemlerle geri dönüştürülmesi; hem çevreye verilen zararın önlenmesini sağlar hem de içerdiği değerli malzemelerin ekonomiye yeniden kazandırılmasına olanak tanır (Salihoğlu ve Kahraman, 2016: 96). Ancak bu atıklar kurşun, cıva, kadmiyum ve krom gibi ağır metaller içeriyorsa, doğaya kontrolsüz bırakıldıklarında toprağa ve yer altı sularına karışarak içme suyu kaynaklarını kirletebilir. Nitekim yapılan tahminlere göre, katı atık depolama alanlarındaki kurşunun yaklaşık %40'ı e-atıklardan kaynaklanmaktadır (Yılmaz, 2016: 2). Artan insan nüfusu ve buna bağlı olarak atık miktarının çoğalması, çevre üzerindeki baskıyı artırmakta ve atık yönetimini her geçen gün daha kritik bir konu haline getirmektedir. Atık yönetiminin temel amacı; verimliliği artırmak, kaynakları etkin kullanmak ve çevre ile toplum sağlığını korumaktır (Alakaş ve diğerleri, 2018: 2). Elektrikli ve elektronik cihazlar, kullanım ömürlerini tamamladıklarında e-atık haline gelir ve içerdikleri zararlı maddeler nedeniyle insan sağlığı açısından ciddi riskler oluşturur. Elektrik ve elektronik sektöründeki hızlı gelişmeler, ürün ömrünü kısaltmakta ve bu da küresel ölçekte ciddi bir katı atık sorununa yol açmaktadır. E-atıkların kontrolsüz şekilde doğaya bırakılması, yakılması ya da geri dönüşüm sırasında hatalı yöntemlerin uygulanması, içerdikleri kimyasallar nedeniyle çevresel kirlilik ve sağlık sorunlarına neden olabilmektedir. Bu olumsuz etkileri azaltmak ve ekonomik kazanım elde etmek için e-atıkların doğru bir şekilde toplanması, taşınması ve işlenmesi büyük önem taşımaktadır (Keçeci ve diğerleri, 2014: 9). Özellikle e-atık miktarının hızla artması ve depolama alanlarının yetersizliği nedeniyle, katı atık yönetim sistemleri geri kazanım süreçlerine daha fazla odaklanmaya başlamıştır. Bu süreçte; geri kazanılan malzemelerin toplanması, depolanması ve geri dönüşüm tesislerine ulaştırılması gibi aşamaların etkin karar verme yapılarıyla planlanması gereklidir (Şengül, 2010: 76). Sonuç olarak, e-atıkların geri dönüşüm amacıyla toplanması ve içerdikleri değerli metallerin güvenli koşullarda geri kazanılması hem çevre hem de insan sağlığı açısından büyük bir önem taşımaktadır. Ayrıca bu metaller, yüksek maliyetli ve zorlaşan madencilik faaliyetlerine alternatif bir hammadde kaynağı sunmaktadır (Çiftlik ve diğerleri, 2009: 1).

Lojistik, geçmişteki taşımacılık anlayışının daha gelişmiş bir hali olarak, ürünlerin üretim yerinden alınıp depolarda saklanması, stoklanması ve ihtiyaç duyulan yerlere belirli koşullarda teslim edilmesi süreçlerini kapsar. Tüm bu işlemler, planlı, verimli ve hızlı bir şekilde gerçekleştirilmeye çalışılır (Erkan, 2014: 46). Artan tüketici farkındalığı, hükümetlerin uyguladığı yeşil yasalarla ürünlerin geri getirilmesini zorunlu hale getirmesi, üreticilerin daha düşük işletme maliyetleriyle faaliyetlerini sürdürebilme isteği, yeniden kullanılabilir konteynerlerin kullanımının yaygınlaşması ve hizmet talebindeki artış gibi faktörler, tersine lojistik uygulamalarını işletmeler için cazip hale getirmiştir. Günümüzde tersine lojistik faaliyetleri, firmalar için kârlı ve sürdürülebilir bir iş modeli olarak giderek daha fazla ön plana çıkmaktadır. Bu sebeple işletmeler, kullanılmış ürünlerin geri alınması, geri dönüştürülmesi ya da çevre dostu bir şekilde imha edilmesi için tersine lojistik sistemlerine katılmaktadır. Bu süreçte hedef, kullanılmış ürünlerin çevresel etkilerini en aza indirmek, üretim maliyetlerini azaltmak ve rekabet avantajı elde etmek gibi kazançlar sağlamaktır. Tersine lojistik, geleneksel tedarik zincirinin aksine, malzemelerin geri kazanılması ya da uygun bir şekilde bertaraf edilmesi amacıyla ikincil malzeme depoları, malzeme akışları ve bilgi yönetiminin etkin bir biçimde planlanmasını, uygulanmasını ve denetlenmesini kapsamaktadır. (Ayvaz, 2013: 1-6).

Bu çalışmanın amacı, e-atıkların geri dönüşüm sürecinde, Pisagor Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) ve Pisagor Bulanık İdeal Çözümüne Benzerliğine Göre Tercih Sıralama Tekniği (TOPSIS) yöntemlerini kullanarak, atık toplama ve taşınmasında en verimli güzergâhları belirlemektir. Bu amaç doğrultusunda, e-atıkların geri kazanımını optimize etmek, çevresel etkileri en aza indirmek ve ekonomik fayda sağlamak hedeflenmektedir. Ayrıca, bu çalışmada, farklı kriterlere dayalı olarak karar verme süreçlerine yardımcı olacak bir model geliştirilerek, e-atık yönetiminde daha etkili ve sürdürülebilir çözümler önerilmesi amaçlanmaktadır.

2. Literatür Araştırması

Zararlı maddeler içermeleri nedeniyle e-atıklar, dünya genelinde çevre açısından ciddi bir tehdit oluşturmaktadır. Ancak bu atıkların geri dönüştürülmesi hem çevreyi korumak hem de içerdikleri altın, gümüş ve bakır gibi değerli metaller sayesinde ekonomik kazanç sağlamak açısından önemlidir. Bu metallerin geri kazanılması aynı zamanda geleneksel madencilığe alternatif bir kaynak oluşturarak doğal kaynakların korunmasına da katkı sağlar (Çiftlik ve diğerleri, 2009: 7). Dünya genelinde nüfusun artması, şehirleşmenin hızlanması ve sanayi faaliyetlerinin çoğalması, ortaya çıkan atık miktarının da artmasına neden olmaktadır. Bu artış, çevrenin korunması ve insan sağlığının güvence altına alınabilmesi için etkili bir atık yönetimi sistemini zorunlu kılar. Atık yöneti-

minin önemli adımlarından biri olan toplama ve taşıma süreci, genellikle “araç rotalama problemi” olarak adlandırılır. Bu problem, atıkların en verimli şekilde toplanıp taşınabilmesi için araçların izlemesi gereken en uygun güzergâhların belirlenmesini hedefler (Alakaş ve diğerleri, 2018: 190).

Literatürde yer alan çalışmalar incelendiğinde Keçeci ve diğerleri (2014), Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) Çankaya Belediyesi’nde gerçekleştirilen destekli e-atık yönetimi çalışmasında, toplama noktalarının belirlenmesi, taşımada kullanılacak araç sayısı, taşıma sıklığı ve yöntemlerin göz önünde bulundurulması gibi faktörleri dikkate almıştır. Bu kapsamda, CBS destekli bir karar destek sistemi önerilmiştir. Tiren ve diğerleri (2022), e-atıkların oluşturduğu tehdit çalışmasında *Waste Electrical and Electronic Equipment* (Atık Elektrikli ve Elektronik Aletler) (WEEE) ve *Restriction of Hazardous Substances Directive* (Tehlikeli Maddelerin Kısıtlanması Direktifi) (RoHS)’un amaç ve kapsamı üzerinde bir literatür araştırması yapmıştır. Çalışma, elektrikli ve elektronik cihazların birer e-atık haline geldiğinde nasıl sonuçlar doğurduğu ve e-atıklarda bulunan zararlı maddelerin neler olduğunu araştırarak elektroteknik, makine sanayisi üreticisi olan Emas’ın ürünleri için yaptırmış olduğu bir RoHS testi sonucunu göstermiştir. Salihoğlu ve diğerleri (2016), Türkiye’de elektrikli ve e-atık üretimi çalışmasında Bursa’da evlerde kullanılan elektrikli ve elektronik ürünlerin miktarını, niteliğini ve kişi başına düşen e-atık üretim miktarını araştırmıştır. Çalışmada, seçilmiş elektrikli ve elektronik cihazların atık oluşturma potansiyelinin kişi başına miktarı belirlenmiştir. Çiftlik ve diğerleri (2009), çalışmasında e-atıkların oluşumu, potansiyeli, metal içerikleri, bertaraf ve ilgili yasal düzenlemeler ulusal ve uluslararası ölçekte incelemiş ve e-atıkların yönetimi, ekonomisi ve içindeki değerli metallerin geri kazanımına yönelik çeşitli öneriler sunulmuştur. Alakaş ve diğerleri (2018), çoklu araç rotalama problemlerinde, geri dönüştürülebilir atıklar olan kâğıt, cam, plastik ve metal için talep tahminleri yapılmış ve ardından en düşük maliyetli atık toplama rotaları belirlenerek bir uygulama gerçekleştirilmiştir. Keskintürk ve diğerleri (2016), araç rotalama ve problemleri ve çözüm yöntemleri çalışmasında 1957 ile 2015 yılları arasında yayımlanan, kapasite ve mesafe sınırlamaları, zaman pencereleri, ayırık teslimatlar, geri toplama, periyodik teslimatlar ve topla-dağıtma gibi özelliklere sahip araç rotalama problemleri ile bu problemler için sunulan çözüm yöntemleri çeşitlendirilmiştir. Bu yöntemleri ele alıp aynı zamanda Araç Rotalama Problemini (ARP) farklı parametre ve değişkenlere göre kategorize ederek incelemiştir. Atmaca (2012), bir kargo şirketinde ARP çalışması yapmıştır. Bu çalışmada, bir kargo firması için eş zamanlı dağıtım ve toplama sorununa odaklanılmıştır. Problemi çözmek için bir matematiksel model geliştirilmiş ve çözüm elde edilmiştir. Ayrıca, araç sayısı, araç kapasiteleri ve takip edilen rotaların uzunlukları bakımından karşılaştırmalar yapılmıştır. Şahin ve diğerleri (2014), kapasite kısıtlı ARP için meta sezgisel yöntemler ile bir çalışma gerçekleştirmiştir. Çalışmada meta sezgisel yöntemler ve bu yöntemlerin kapasiteli ARP’nin uygu-

lanışı hakkında bir literatür araştırması da yapılmıştır. Akın'ın (2024:12) çalışması e-atıkların geri dönüşümü ile ilgili yapılan çalışmaların bibliyometrik bir analizi üzerinedir. Çalışmada öncelikle *Web of Science* veri tabanından 20 yıllık süreci kapsayacak şekilde e-atıkların geri dönüşümü üzerine 2003-2022 yılları arasında yapılan çalışmalar belirlenmiştir. Sonrasında bu çalışmalar filtrelenerek ve detaylı incelemeye tabii tutularak ilgisiz olanlar elenmiştir. Kalan 3182 çalışma kaydedilerek ve VOSviewer programı kullanılarak ortak yazar, atıf-kaynak, yazar-atıf, anahtar sözcük, kurum ve ülkeler açısından detaylı analizler gerçekleştirilmiştir. Hüdaverdi ve diğerleri (2025:8) "e-atık" anahtar kelimesiyle gerçekleştirilen bibliyometrik analiz sonuçlarını sunmaktadır. Yüksek Öğretim Kurumu Ulusal Tez Merkezi (YÖKTEZ) arşivindeki 88 lisansüstü tez üzerine yapılan karşılaştırmalı veriler analiz edilerek yorumlanmıştır. Araştırma yöntemi olarak ise daha ziyade nicel yöntemlerin kullanıldığı görülmüştür. Bu çalışma, elektronik atık konusundaki gelecekteki lisansüstü tezlere rehberlik etmeyi amaçlamaktadır.

3. Materyal ve Yöntem

3.1. Materyal

E-atık bu çalışmanın ana materyalini oluşturmaktadır. Elektrikli ve elektronik aletler (bilgisayarlar, telefonlar, televizyonlar, buzdolapları, aydınlatma lambaları ve diğer tüketici elektronikleri) kullanım ömrünü doldurup atık haline geldiğinde aynı zamanda birer e-atık haline de gelirler. Bu atıkların taşınması hususunda Ankara'dan Manisa'ya taşımanın mümkün olabileceği 6 ana karayolu güzergâhı (A1, A2, A3, A4, A5, A6) belirlenerek değerlendirmeye alınmıştır. Bununla birlikte, taşıma sürecinde karar vermede etkili olan kriterler atık türleri, erişebilirlik, maliyet, yasal düzenlemeler ve izinler, zaman, geri dönüşüm tesis lokasyonu, ulaşım kolaylığı, güvenilirlik, nüfus, çevresel etki, acil durum olarak belirlenmiştir. Veriler, akademik kaynaklar, uzman görüşleri üzerinden elde edilmiştir.

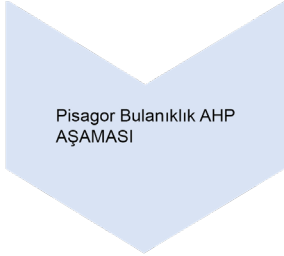
3.2. Yöntem



Problem Tanımı: Bu aşamada, e-atık taşıma sürecinde en uygun güzergâhın belirlenmesi hedeflenmiştir.

Veri Toplama: Geri dönüşüm tesisinin yeri, taşımanın başlayacağı nokta (Ankara), taşıma güzergâhı mesafesi, yakıt tüketimi, taşımanın geçtiği yolların kalitesi ve nüfus yoğunluğu gibi bilgiler sahada ve resmi kurumlardan toplanmıştır.

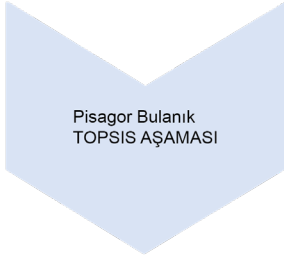
Materyaller: Bu süreçte haritalar, karayolu ulaşım bilgileri, nüfus istatistikleri ve taşımanın operasyonel özellikleri (mesafe, yakıt, zaman) ve tehlike sınıflandırması gibi e-atık türleri belirlenmiştir.



Kriterlerin Belirlenmesi: Literatür taraması ve uzman görüşleri doğrultusunda; atık türleri, çevresel etkiler, maliyet, mesafe, yol kalitesi, nüfus yoğunluğu gibi ana ve alt kriterler oluşturulmuştur.

Bulanık Karar Matrisi: 5 uzmanın görüşleri toplanıp dilsel ifadeler (ör. "çok önemli", "orta") Pisagor bulanık sayılara dönüştürülmüştür.

Ağırlıkların Hesaplanması: Bu matris üzerinden Pisagor Bulanık AHP yöntemi uygulanarak her kriterin göreceli ağırlığı belirlenir.



Karar Matrisi Oluşturulması: AHP ile elde edilen ağırlıklar ve belirlenen 6 taşıma güzergâhının özellikleri doğrultusunda bir karar matrisi oluşturulur.

Bulanık TOPSIS: Bu yöntemle, her güzergâhın "ideal çözüm" ve "negatif ideal çözüm" noktalarına uzaklığı belirlenir.

Sıralama:

Bu uzaklıklar, göreceli yakınlık (C^*) değerine göre sıralanarak en uygun ve en riskli güzergâh belirlenir.

Şekil 1: Uygulama Yöntemi

(Yukarıdaki şekilde 'güzergâh' yazımı hatalı olduğu gibi altı kırmızı ve mavi çizili olacak şekilde bazı kelimelerin kalmış olması da görünüm açısından pek de hoş bir durum değil - editör notu)

E-atık geri dönüşümü lojistiğinde güzergâh belirleme kriterlerinin ağırlıklandırılması gerekmektedir. Ağırlıklandırma, her bir kriterin karar sürecindeki önem derecesini sayısal olarak ifade etme işlemidir. Karar vericilerin tercihleri sistematik şekilde modele aktarılır ve daha tutarlı sonuçlar elde edilir. Güzergâh planlamasında, tüm kriterlerin eşit öneme sahip olmadığı dikkate alındığında, ağırlıklandırma süreci kritik bir rol oynar. Bu bağlamda e-atık geri dönüşümü lojistiğinde güzergâh belirleme kriterlerinin ağırlıklandırılması için Pisagor Bulanık

AHP yöntemi, güzergâh seçimi için ise Pisagor Bulanık TOPSIS tercih edilmiştir. Bu yöntemlerin seçilmesinin temel nedeni, kriterlerin birbirinden bağımsız olması ve çok sayıda kriterin değerlendirilmesi gerekliliğidir.

3.3. Pisagor Bulanık AHP

AHP yöntemi, çok kriterli karar verme süreçlerinde yaygın ve etkili bir şekilde kullanılan bir tekniktir. Ancak, kararların öznel ve dilsel ifadelerle dayandığı durumlarda bu yöntem yetersiz kalabilmektedir. Bu tür eksiklikleri gidermek amacıyla bulanık mantığa dayalı yöntemler geliştirilmiştir. Pisagor setleri de bu yöntemlerden biridir. Bu yöntem, dilsel ifadeleri daha kapsamlı bir perspektiften ele alarak değerlendirmektedir. Karar vericilere daha esnek ve kapsamlı bir analiz yapma imkânı sunmaktadır. (Güven, 2024: 17).

Pisagor Bulanık AHP yönteminin adımları aşağıdaki gibidir (Erol, 2021: 618).

Adım 1: Dilsel değişkenlere bağlı ikili karşılaştırma matrisi oluşturulur.

Adım 2: Eşitlik 1 ve 2 kullanılarak farklar matrisi oluşturulur.

$$d_{ik_L} = M_{ik_L}^2 - V_{ik_u}^2 \quad (1)$$

$$d_{ik_u} = M_{ik_u}^2 - V_{ik_L}^2 \quad (2)$$

Adım 3: $(s_{ik})_{mxm}$ matrisi eşitlik 3 ve 4 kullanılarak hesaplanır.

$$s_{ik_L} = \sqrt{1000^{d_L}} \quad (3)$$

$$s_{ik_u} = \sqrt{1000^{d_u}} \quad (4)$$

Adım 4: Tereddüt dereceleri $H=(h_{ik})_{mxm}$ eşitlik 5 kullanılarak belirlenir

$$h_{ik} = 1 - (M_{ik_u}^2 - M_{ik_L}^2) - (V_{ik_u}^2 - V_{ik_L}^2) \quad (5)$$

Adım 5: Eşitlik 6 ile normalize edilmemiş ağırlıklar $T=(t_{ik})_{mxm}$ hesaplanır

$$t_{ik} = \left(\frac{s_{ik_L} + s_{ik_u}}{2} \right) h_{ik} \quad (6)$$

Adım 6: Kriter ağırlıkları w_i eşitlik 7 kullanılarak elde edilir.

$$w_i = \frac{\sum_{j=1}^m w_i}{\sum_{j=1}^m \sum_{j=1}^m w_i} \quad (7)$$

3.4. Pisagor Bulanık TOPSIS

TOPSIS yöntemi, 1981 yılında Hwang ve Yoon tarafından geliştirilen ve birden fazla kriterin dikkate alındığı karar verme süreçlerinde kullanılan etkili bir yöntemdir. Yöntem, karar probleminde konu olan alternatiflerin, pozitif ideal çözüme olan mesafeleri ve negatif ideal çözümle olan uzaklıkları dikkate alınarak sıralanmasına dayanır. Pisagor Bulanık TOPSIS yöntemi ise, karar alternatiflerinin değerlendirilmesinde Pisagor bulanık kümelerden yararlanılarak, pozitif ideal çözümle en fazla yakınlık ve negatif ideal çözümle en büyük uzaklığa sahip olan alternatifin en uygun seçenek olarak belirlenmesine dayanan bir yaklaşımdır. Pisagor Bulanık TOPSIS yönteminin adımları aşağıdaki gibidir (Erol ve diğerleri, 2021: 618-619)

Adım 1: Karar vericiler tarafından kriterlerin ve alternatiflerin değerlendirilmesi.

Adım 2: Karar matrisinin oluşturulması süreci, Eşitlik 8 kullanılarak standart hale getirilir

$$.R = \left(C_j(x_i) \right)_{m \times n} = (P_{u11,v11} \ P_{u12,v12} \ \dots \ P_{u1n,v1n}) \quad (8)$$

Adım 3: Pisagor bulanık pozitif ve negatif ideal çözümler, Eşitlik 9 ve 10 aracılığıyla hesaplanmaktadır.

$$x^+ = \left\{ C_j, \max_i \left\{ s \left(C_j(x_i) \right) \right\} \mid j = 1, 2, \dots, n \right\} = \{ \langle C_1, P(u_1^+, v_1^+) \rangle, \langle C_2, P(u_2^+, v_2^+) \rangle, \dots, \langle C_n, P(u_n^+, v_n^+) \rangle \} \quad (9)$$

$$x^- = \left\{ C_j, \min_i \left\{ s \left(C_j(x_i) \right) \right\} \mid j = 1, 2, \dots, n \right\} = \{ \langle C_1, P(u_1^-, v_1^-) \rangle, \langle C_2, P(u_2^-, v_2^-) \rangle, \dots, \langle C_n, P(u_n^-, v_n^-) \rangle \} \quad (10)$$

Adım 4: Alternatiflerin Pisagor bulanık pozitif ve negatif ideal çözümlerine olan mesafeleri, Eşitlik 11 ve 12 doğrultusunda hesaplanmaktadır.

$$D_{(x_i, x^+)} = \sum_{j=1}^n w_j d \left(C_j(x_i), C_j(x^+) \right) = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^n w_j \left(|(u_{ij})^2 - (u_j^+)^2| + |(v_{ij})^2 - (v_j^+)^2| + |(\pi_{ij})^2 - (\pi_j^+)^2| \right) \quad (11)$$

$$D_{(x_i, x^-)} = \sum_{j=1}^n w_j d(C_j(x_i), C_j(x^-)) = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^n w_j (|(u_{ij})^2 - (u_j^-)^2| + |(v_{ij})^2 - (v_j^-)^2| + |(\pi_{ij})^2 - (\pi_j^-)^2|) \quad (12)$$

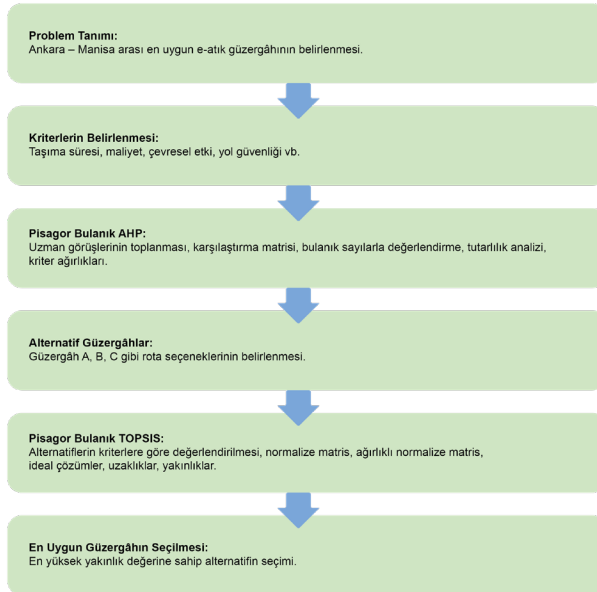
Adım 5: Her alternatifin göreceli yakınlık dereceleri, Eşitlik 13'e dayanarak hesaplanmaktadır.

$$\xi(x_i) = \frac{D_{(x_i, x^-)}}{D_{(maks)}(x_i, x^-)} - \frac{D_{(x_i, x^+)}}{D_{(min)}(x_i, x^+)} \quad (13)$$

Adım 6: Algoritma, alternatiflerin en doğru sıralamasını belirleyerek tamamlanır.

4. Bulgular

E-atık geri dönüşüm projeleri açısından risk taşıyan alanlardan biri de güzergâh belirleme sürecidir. Bu kapsamda yapılan çalışmada, Ankara ilinden başlayarak Manisa iline ulaşacak şekilde planlanan e-atık taşıma güzergâhları uygulama konusu olarak seçilmiştir. Çalışma, özellikle beyaz eşya fabrikalarından kaynaklanan e-atıkların taşınması ve geri dönüşümü sürecinde güvenli, etkin ve sürdürülebilir güzergâhların belirlenmesini amaçlamaktadır. Uygulama aşamaları şu şekildedir.



Şekil 2: Uygulama Aşamaları Akış Şeması

(Eğer mümkünse şekildeki 'güzergâh' kelimesi doğru şekilde düzeltilmeli - editör notu)

4.1. Kriterlerin Belirlenmesi

Yapılan literatür incelemeleri neticesinde e-atık güzergâhı belirlenmesinde 11 kriter öne çıkmaktadır. Yapılan araştırma Tablo 1'de verilmiştir. Oluşturulan 11 adet kriter ve açıklamaları ise Tablo 2'de sunulmuştur.

Tablo 1: Literatür Taraması

Yazarlar	Yıl	Amaç	Güvenilirlik	Ulaşım kolaylığı	Maliyet	Geri dönüşüm tesisi lokasyonu	Yasal düzenlemeler ve izinler	Zaman	Acil durum	Çevresel etki	Nüfus
Alkubisi	2014	Güzergâh planlama	x							x	x
Hamurcu ve Eren	2016	Güzergâh seçimi			x					x	
Doğan	2023	Toplanma alanı	x	x			x		x		
Taş vd.,	2017	Hat tipi seçimi	x		x						
Sarımeahmet vd.,	2019	Güzergâh planlama		x							
Şengül vd.,	2012	Toplu taşıma seçimi			x						
Küçük ve Bali	2016	Risk analizi						x			x
Görçün	2020	Gemi seçimi	x							x	
Ballı vd.,	2014	Oyuncu seçimi						x			x
Kaysi vd.	2007	Güzergâh belirleme			x					x	

PiantanakulChai ve Saengkhaio	2003	Ulaşım planlama		x	x					x	
Yeşilkaya	2018	Kuruluş yer seçimi		x	x		x			x	

Bu çalışmada kullanılan kriterler, e-atık taşımacılığı sürecinde oluşabilecek riskleri ve operasyonel engelleri azaltmaya yönelik olarak belirlenmiştir. Özellikle afet gibi beklenmedik durumlarda, taşımacılığın güvenli, hızlı ve çevreye en az zarar verecek şekilde yürütülmesi kritik bir öneme sahiptir.

Tablo 2: Kriterler

Kriterler	Açıklama
Güvenilirlik (K1)	Güzergâhın güvenli yapıda olması, afet sonrası risklerin (kazalar, yıkımlar) azaltılması açısından kritiktir.
Ulaşım Kolaylığı (K2)	Afet sonrasında ulaşımın zorlaşabileceği düşünüldüğünde, alternatif ve kolay erişilebilir yollar riski azaltır.
Maliyet (K3)	Afet sonrası ekonomik kayıpların artmaması için düşük maliyetli ve sürdürülebilir güzergâhlar tercih edilmelidir.
Geri Dönüşüm Tesisi Lokasyonu (K4)	Tesise olan yakınlık, acil durumlarda müdahale ve hızlı taşıma için önemlidir. Afet sonrası ulaşım kısıtlandığında kritik hale gelir.
Erişilebilirlik (K5)	Güzergâhın her türlü hava ve afet koşulunda erişilebilir olması, teknolojik kazaların önlenmesinde avantaj sağlar.
Atık Türleri (K6)	Taşıyacak e-atıkların niteliği (yanıcı, patlayıcı, toksik gibi) afet sırasında oluşabilecek ikincil kazaların şiddetini etkiler.
Yasal Düzenlemeler ve İzinler (K7)	Afet durumunda yasal sorumlulukların net olması ve uygunluk belgelerinin önceden alınmış olması, müdahale sürecini hızlandırır.
Zaman (K8)	Taşımacılık süresinin kısa olması, afet sonrası oluşabilecek gecikmelerde risklerin minimize edilmesine katkı sağlar.
Acil Durum (K9)	Güzergâh boyunca acil müdahale ekipmanlarına ve tesislerine erişim, olası kazaların büyümesini önler.
Çevresel Etki (K10)	Afet sonrası çevreye sızabilecek tehlikeli maddelerin etkilerini azaltmak için düşük çevresel risk taşıyan güzergâhlar seçilmelidir.
Nüfus (K11)	Yoğun nüfuslu bölgelerde meydana gelebilecek teknolojik kazalar daha fazla can kaybına yol açabileceğinden, düşük nüfus yoğunluklu alanlar tercih edilmelidir.

Bu yöntemin uygulanmasında, karar matrisi oluşturulurken kullanılan dilsel değişkenler ile bunlara karşılık gelen Pisagor bulanık sayılar Tablo 3'te sunulmuştur. (Güven, 2024: 22).

Tablo 3: Pisagor Bulanık Ölçekleri ve Dilsel Değişkenler

Pisagor Bulanık Sayılar					
Değerlendirmeye katılan uzmanların tamamı endüstri mühendisi olup, her biri farklı alanlarda uzmanlaşmıştır Dilsel Değişkenler		uL (En Düşük Üye Olma Derecesi)	uU (En Yüksek Üye Olma Derecesi)	vL (En Düşük Üye Olmama Derecesi)	vU (En Yüksek Üye Olmama Derecesi)
Kesinlikle Düşük	KD	-	-	0,900	1,000
Çok Düşük	ÇD	0,100	0,200	0,800	0,900
Düşük	D	0,200	0,350	0,650	0,800
Ortalamanın Altı	OA	0,350	0,450	0,550	0,650
Eşit	E	0,196	0,196	0,196	0,196
Ortalama	O	0,450	0,550	0,450	0,550
Ortalamanın Üstü	OÜ	0,550	0,650	0,350	0,450
Yüksek	Y	0,650	0,800	0,200	0,350
Çok Yüksek	ÇY	0,800	0,900	0,100	0,200
Kesinlikle Yüksek	KY	0,900	1,000	-	-

Tablo 4'te sunulan karar matrisi, Tablo 3'te tanımlanan dilsel değişkenler esas alınarak oluşturulmuştur. Bu matrisin verileri, dört uzmanın bir araya gelerek yürüttüğü grup değerlendirmesi sonucunda ortaklaşa belirlenmiştir. Değerlendirmeye katılan uzmanların tamamı endüstri mühendisi olup, her biri farklı alanlarda uzmanlaşmıştır.

Tablo 4: Pisagor Bulanık AHP Dilsel Değişkenleri ile Oluşturulan Karar Matrisi

Kriterler	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10	K11
K1	E	ÇD	ÇD	D	ÇD	KD	Y	ÇD	ÇY	OÜ	OA
K2	ÇY	E	OA	E	E	D	Y	E	ÇY	E	OÜ
K3	ÇY	OÜ	E	OÜ	OÜ	D	ÇY	E	ÇY	ÇY	Y
K4	Y	E	OA	E	E	KD	OÜ	OA	KY	Y	OÜ
K5	ÇY	E	OA	E	E	OÜ	KY	OÜ	ÇY	ÇY	Y
K6	KY	Y	Y	KY	OA	E	KY	OA	KY	Y	Y
K7	D	D	ÇD	OA	KD	KD	E	KY	E	ÇY	ÇY
K8	ÇY	E	E	OÜ	OA	OÜ	KD	E	KY	Y	OÜ
K9	ÇD	ÇD	ÇD	KD	ÇD	KD	E	KD	E	ÇD	OA
K10	OA	E	ÇD	D	ÇD	D	ÇD	D	ÇY	E	ÇD
K11	OÜ	OA	D	OA	D	D	ÇD	OA	OÜ	ÇY	E

Karar matrisinde yer alan dilsel değişkenler, Tablo 3'te tanımlanan Pisagor bulanık sayılara dönüştürülerek yöntemin çözüm süreci başlatılmıştır. Bu süreç sonucunda belirlenen kriter ağırlıkları, Tablo 5'te yer almaktadır.

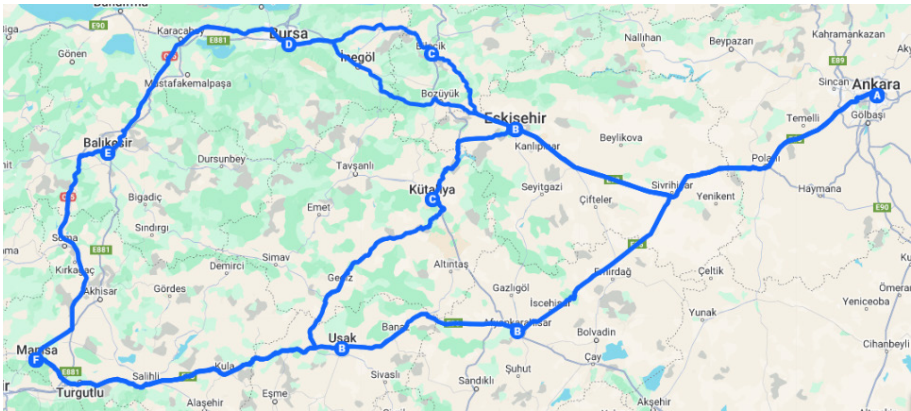
Tablo 5: Pisagor Bulanık AHP ile Elde Edilen Kriter Ağırlıkları

Sıralama	Kriter	Ağırlık
K6	Atık Türleri	0,238
K5	Erişilebilirlik	0,147
K3	Maliyet	0,123
K7	Yasal düzenlemeler ve izinler	0,104
K8	Zaman	0,103
K4	Geri dönüşüm Tesis lokasyonu	0,086
K2	Ulaşım Kolaylığı	0,075
K1	Güvenirlilik	0,042
K11	Nüfus	0,038
K10	Çevresel etki	0,032
K9	Acil durum	0,007

Tablo 5'te elde edilen sonuçlara göre, en yüksek kriter ağırlığı 0,238 ile "Atık Türleri" kriterine ait olmuştur. Bu durum, e-atık taşımacılığında atık türlerinin taşıdığı önemin diğer kriterlere göre daha yüksek olduğunu göstermektedir. İkinci sırada 0,147 ağırlıkla "Erişilebilirlik" kriteri yer almakta, üçüncü sırada ise 0,123 ağırlıkla "Maliyet" kriteri bulunmaktadır.

4.2. Alternatiflerin Belirlenmesi

Ankara-Manisa arası güzergâhlar Şekil 2’de harita üzerinde verildiği gibidir. Ankara-Manisa arası değerlendirilen güzergâhlar Tablo 6’da verilmiştir.



Şekil 3: Harita Üzerinde Güzergahlar

Tablo 6: Güzergâhlar

Alternatifler	Güzergâhlar
A1	Ankara-Eskişehir-Bilecik-Bursa-Balıkesir-Manisa (A-B-C-D-E-F)
A2	Ankara-Eskişehir-Bursa-Balıkesir-Manisa (A-B-D-E-F)
A3	Ankara-Kütahya-Manisa (A-C-F)
A4	Ankara-Afyon-Uşak-Manisa (A-B-B-F)
A5	Ankara-Uşak-Manisa (A-B-F)
A6	Ankara-Eskişehir-Kütahya-Manisa (A-B-C-F)

Kriter ağırlıkları belirlendikten sonra, 6 güzergâh alternatifi arasındaki sıralama Pisagor Bulanık TOPSIS yöntemiyle yapılmıştır. Yöntemde kullanılan dilsel değişkenler ve Pisagor bulanık sayılar, Tablo 7’de gösterilmiştir. (Güven, 2024: 23).

Tablo 7: Pisagor Bulanık TOPSIS ile Elde Edilen Kriter Ağırlıkları

Dilsel Değişkenler	Pisagor Bulanık Sayılar	
	u	v
Aşırı Düşük (AD)	0,10	0,99
Çok Az (CA)	0,10	0,97
Küçük (K)	0,25	0,92
Orta Küçük (OK)	0,40	0,87
Orta (O)	0,50	0,80
Orta Yüksek (OY)	0,60	0,71
Yüksek (Y)	0,70	0,60
Çok Yüksek (ÇY)	0,80	0,44
Son Derece Yüksek (SDY)	0,10	0,00

Tablo 7’de yer alan Pisagor bulanık sayılar temel alınarak, karar vericiler tarafından oluşturulan karar matrisi Tablo 8’de sunulmaktadır. Bu tabloda kullanılan dilsel değişkenler ise, e-atık yönetimi, lojistik ve çok kriterli karar verme konularında bilgi ve deneyim sahibi beş endüstri mühendisi uzmanın katılımıyla gerçekleştirilen grup karar alma süreci sonucunda belirlenmiştir.

Tablo 8: Pisagor Bulanık TOPSIS Dilsel Değişkenler ile Oluşturulan Karar Matrisi

Karar Matrisi	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10	K11
A1	Y	ÇY	AD	SDY	ÇY	OY	ÇY	AD	OY	Y	OY
A2	OY	Y	ÇA	Y	OY	O	Y	ÇA	O	O	OK
A3	O	O	OK	O	O	O	OY	OK	OK	OK	O
A4	O	OK	O	O	OK	OK	O	OK	OK	K	O
A5	OK	OK	OY	OK	OK	OK	OY	OK	K	OK	OK
A6	OK	K	Y	OK	K	K	OY	Y	K	ÇA	OK

Tablo 8’de, satırlarda 6 farklı güzergâh alternatifi ve sütunlarda kriterler bulunmaktadır. Karar matrisinde ise her alternatif için, belirlenen kriterlere karşılık gelen Pisagor bulanık kümeler kullanılarak dilsel değişkenler belirlenmiştir. Yöntemin uygulanmasının ardından, elde edilen alternatif sıralamala Tablo 9’da sunulmaktadır.

Tablo 9: Alternatif Güzergâhların Sıralanması

Sıralama	
A4	-0,487
A6	-0,524
A3	-0,535
A5	-0,538
A2	-0,582
A1	-0,949

Yöntem uygulandığında, en fazla riske sahip olan güzergâh “A4” olarak belirlenmiştir. İkinci sırada ise “A6” güzergâhı bulunmaktadır. Bu durumun nedeni, zaman kriterinin ağırlığının yüksek olmasından kaynaklanıyor olabilir. “A4” ve “A6” güzergâhlarını takiben, sıralamada bir sonraki konumda yer alan güzergâhlar “A3” ve “A5” olmuştur. Son sıralarda ise “A2” ve “A1” güzergâhları yer almakta olup, bu güzergâhların diğer alternatiflere göre daha düşük risk taşıması, onları en düşük sıralarda konumlandırmıştır.

5.Sonuç ve Tartışma

Bu çalışma, e-atık taşınmasında güzergâh seçimi sorununu ele alarak, karar verme sürecinde Pisagor Bulanık AHP ve Pisagor Bulanık TOPSIS yöntemlerini kullanarak en uygun rotayı belirlemeyi amaçlamıştır. Ankara’dan Manisa’daki geri dönüşüm tesisine yapılacak taşıma sürecinde, çevresel, ekonomik ve operasyonel kriterler bütüncül bir yaklaşımla değerlendirilmiştir.

Pisagor Bulanık AHP yöntemiyle yapılan analizler sonucunda, “Atık Türleri”, “Erişilebilirlik” ve “Maliyet” kriterlerinin, güzergâh seçiminde en belirleyici faktörler olduğu görülmüştür. Bu bulgular, taşıma sırasında atıkların tehlike düzeyinin, güzergâhların ulaşım altyapısıyla birlikte değerlendirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır. Özellikle e-atıkların kimyasal ve toksik yapısı, taşıma sürecinde ciddi çevresel ve halk sağlığı riskleri doğurabileceğinden, bu kriterlerin öncelikli olarak ele alınması önemlidir. Pisagor Bulanık TOPSIS yöntemi ile altı farklı güzergâh alternatifi değerlendirilmiş ve risk düzeylerine göre sıralanmıştır. Sonuçlara göre, A4 (Ankara-Afyon-Uşak-Manisa) güzergâhı en yüksek risk puanına sahip güzergâh olarak belirlenmiştir. Bu durum, söz konusu rotada çevresel

ve operasyonel risklerin daha yüksek olduğunu göstermektedir. En düşük riskli rotalar ise A1 ve A2 güzergâhları olarak tespit edilmiştir. Bu güzergâhlar, daha az nüfus yoğunluğu, daha uygun maliyet ve erişilebilirlik gibi avantajlarıyla öne çıkmaktadır. Bu çalışma, karar vericilere sürdürülebilir ve güvenli e-atık taşımacılığı için çok kriterli bir yaklaşım sunmakta, farklı güzergâhların çevresel, ekonomik ve lojistik açıdan nasıl değerlendirilmesi gerektiğine dair kapsamlı bir yöntem önermektedir. Aynı zamanda geliştirilen model, başka bölgeler veya atık türleri için de uyarlanabilir bir yapı sunmakta olup, e-atık yönetiminin sistematik hale getirilmesine katkı sağlamaktadır. Böylece, bu yaklaşımla elde edilen sonuçlar, ilgili karar alıcılara daha etkili ve veri temelli stratejiler oluşturma olanağı sunmaktadır. Bu durum, e-atık taşıma süreçlerinde ortaya çıkabilecek belirsizlikleri ve riskleri en aza indirirken, operasyonel verimliliği artırmayı hedefleyen çalışmalar için de önemli bir rehber niteliğindedir. Elde edilen bulgular ve oluşturulan model, e-atık taşıma planlarının daha etkili, çevreci ve ekonomik bir yaklaşımla belirlenmesinde önemli katkılar sağlayabilir.

Kaynakça

- Alakaş, H. M., Kızıldaş, Ş., Eren, T., & Özcan, E. (2018). "Sıfır Atık Projesi Kapsamında Atıkların Toplanması: Kırıkkale İlinde Homojen Çok Araçlı Araç Rotalama Uygulaması." *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 3(3), 190-196.
- Alkubaisi, M.I.T., (2014), "Predefined Evaluating Criteria to Select The Best Tramway Route." *Journal of Traffic And Logistics Engineering*, cilt: 2.3. 211-217
- Atmaca, E. (2012). "Bir Kargo Şirketinde Araç Rotalama Problemi." *Tünav Bilim Dergisi*, 5(2), 12-27.
- Ayvaz, B. (2013). Miktar ve Kalite Belirsizliği Altında Tersine Lojistik Ağ Tasarımı İçin Bir Stokastik Programlama Modeli Önerisi: Elektronik Atık Sektöründe Bir Uygulama. Doktora Tezi, İşletme Mühendisliği, İstanbul.
- Ballı, S., & Korukoğlu, S. (2014). "Development of A Fuzzy Decision Support Framework for Complex Multi-Attribute Decision Problems: A Case Study for The Selection of Skilful Basketball Players." *Expert Systems*, 31(1), 56-69.
- Çiftlik, S., Handırı, İ., Beyhan, M., Akçıl, A. U., Ilgar, M., & Gönüllü, M. T. (2009). "Elektrikli ve Elektronik Atıkların (e-atık) Yönetimi, Ekonomisi ve Metal Geri Kazanım Potansiyeli Bakımından Değerlendirilmesi." *Türkiye'de Katı Atık Yönetim Sempozyumu* (Türkey 2009), YTÜ, 15-17.
- Doğan, O. (2023). "İş Güvenliği Uzmanlarının Bakış Açısıyla Acil Durum Toplanma Alan Özelliklerinin AHP Yöntemi ile Değerlendirilmesi." *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 9(1), 112-124.

- Erkan, B. (2014). "Türkiye'de Lojistik Sektörü ve Rekabet Gücü." *Assam Uluslararası Hakemli Dergi*, 1(1), 44-65.
- Erol, E., Özcan, E., & Eren, T. (2021). "Elektrik Üretim Santrallerinde İş Güvenliği Uzmanı Seçiminde Hibrit Bir Karar Modeli." *Journal of Turkish Operations Management*, 1(5), 615-629.
- Görçün, Ö. F. (2020). "Gemi Türü Seçimini Etkileyen Faktörlerin Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) Yöntemi Kullanılarak Değerlendirilmesi." *Celal Bayar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 18(02), 36-50.
- Güven, E., Pınarbaşı, M., Alakaş, H. M., & Eren, T. (2024). "Organize Sanayi Bölgeleri'nin Natech Riskine Göre Değerlendirilmesi: Kocaeli İli İçin Bir Örnek." *Resilience*, 8(1), 13-30.
- Hamurcu, M., & Eren, T. (2017). "Monoray Araç Seçimi İçin Bulanık AHP ve TOPSIS Uygulaması." *Transist*, 10, 81-88.
- Hüdaverdi, Ş., Dede, T., Sanlı, B., Güven, E., vd. (2025). "Lisansüstü Tezlerin Bibliyometrik Analizi: Elektronik Atık." *Çevre İklim ve Sürdürülebilirlik*, 26(1), 17-24.
- Kaysi, I., Sadek, S., & Al-Naghi, H. (2007, June). "A GIS-Based Framework for Multi-Criteria Evaluation and Ranking of Transportation Corridor Alternatives." *In Proceedings of the 11th World Conference on Transport Research*, Berkeley, CA, USA (s. 24-28).
- Keçeci, B., Sümer, E., Kılıç, A., Çiçek, S., İnan, B., & Çeki, E. (2014). "Cbs Destekli E-Atık Yönetimi: Çankaya Belediyesi İçin Bir Uygulama" 8-14.
- Keskintürk, T., Topuk, N., & Özyeşil, O. (2015). "Araç Rotalama Problemleri ve Çözüm Yöntemleri." *İşletme Bilimi Dergisi*, 3(2), 77-107.
- Kırlı Akın, H. (2024). "E-Atık Geri Dönüşümü: Bibliyometrik Analiz ve VOSviewer ile Haritalama." *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 7(5), 2114-2125. <https://doi.org/10.47495/okufbed.1424292>
- Küçük, Ö., & Bali, Ö. (2016). "Tehlikeli Maddelerin Çok Modlu Taşınması İçin Bir Model Önerisi." *Journal of Defense Sciences/Savunma Bilimleri Dergisi*, 15(2), 73-105
- Piantanakulchai, M., & Saengkhao, N., (2003), "Evaluation of Alternatives İn Transportation Planning Using Multistakeholders Multi-Objectives AHP Modeling", *In Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, cilt: 4, s. 1613-1628.
- Salihoğlu, G., & Kahraman, A. E. (2016). "Türkiye'de Elektrikli ve Elektronik Atık Üretimi: Bursa Örneği." *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 21(2), 95-106.
- Sarı Mehmet, B., Hamurcu, M., & Eren, T. (2020). "Çok Kriterli Karar Verme: Kırıkkale YHT İstasyonu-Şehir Bağlantısının Sağlanması." *Demiryolu Mühendisliği*, (11), 26-40.

- Şahin, Y., & Eroğlu, P. D. A. (2014). "Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Problemi İçin Meta sezgisel Yöntemler: Bilimsel Yazın Taraması." *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 19(4), 337-355.
- Şengül, Ü. (2010). "Atıkların Geri Dönüşümü ve Tersine Lojistik." *Paradoks Ekonomi, Sosyoloji ve Politika Dergisi*, 6(1), 73-86.
- Şengül, Ü., Eren, M., & Şiraz, S. E. (2012). "Bulanık AHP ile Belediyelerin Toplu Taşıma Araç Seçimi." *Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, (40), 143-165.
- Taş, M., Özlemiş, Ş. N., Hamurcu, M., & Eren, T. (2017). "Ankara'da AHP ve PROMETHEE Yaklaşımıyla Monoray Hat Tipinin Belirlenmesi." *Ekonomi İşletme Siyaset ve Uluslararası İlişkiler Dergisi*, 3(1), 65-89.
- Tiren, Y., Solmaz, A. H., & Feyzioğlu, A. (2022). "Elektronik Atıkların Oluşturduğu Tehdit ve WEEE-Rohs Yönetmeliklerine Genel Bir Bakış." *AINTELIA Science Notes Journal*, 1(2), 64-70.
- Yeşilkaya, M. (2018). "Çok Ölçütlü Karar Verme Yöntemleri ile Kâğıt Fabrikası Kuruluş Yeri Seçimi." *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 33(4), 31-44.
- Yılmaz, E. (2006). Elektrikli ve Elektronik Atıkların Geri Kazanımı ve Muğla İli Pilot Proje Uygulaması. Yüksek Lisans Tezi, Çevre Mühendisliği, Sakarya.