

ELEKTRONİK SEKTÖRÜNDE BULANIK ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YAKLAŞIMIYLA GERİ KAZANIM ALTERNATİFİ SEÇİMİ

*Hande ERDOĞAN AKTAN**
*İsmail KARAYÜN***

Alınma:27.07.2018; düzeltme: 10.12.2018; kabul:20.12.2018

Öz: Dünyadaki büyük elektronik üreticilerinin pek çoğu, rekabetçi üretim maliyetleri için Türk şirketleri ile işbirliği yapmaktadır. Elektrik, Elektronik ve Hizmetler İhracatçıları Birliği tarafından düzenlenen istatistiklere göre hem bu tarz işbirliklerinin hem de Türk üreticilerinin orijinal malzeme üretimlerinin sayesinde 2015 yılında elektronik ürün ihracatı ilk sırada yer almıştır. Ekonomik açıdan bakıldığında ihracatın özellikle elektronik sektöründe hayati bir role sahip olması, ulusal üretim kaynaklarının bilinçsizce kullanılmasını önlemek için geri kazanım alternatiflerinin değerlendirilmesini gerektirmektedir. Ürünlerin yaşam döngüleri sonunda üretime geri dönmelerinin sağlanması ile malzemelerin bir kısmının üretim sürecinde yeniden kullanılması mümkün olabilmektedir. Bu çalışmada tersine lojistik faaliyetlerine odaklanan ve geri kazanım bilincine sahip Antalya'da elektronik sektörde faaliyet gösteren işletmelerin farklı nedenlerle geri dönen ürünleri için geri kazanım alternatifleri arasında en uygun olanın belirlenmesi bulanık ortamda DEMATEL temelli ANP (DANP) ve VIKOR yöntemlerinin birlikte kullanılmasıyla gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma, bu alandaki öncü araştırmalardan biri olma niteliğine sahiptir.

Anahtar Kelimeler: Bulanık VIKOR, Çok Kriterli Karar Verme, DANP, Geri Kazanım, Tersine Lojistik

Recovery Alternatives Selection by Fuzzy Multi Criteria Decision Making Approach in Electronics Sector

Abstract: Many of world's largest electronic manufacturers are making cooperation with Turkish companies for competitive production costs. Either these production cooperations or original equipment manufacturing productions of Turkish companies, regarding to statistics are issued by Electrical, Electronics and Services Exporters' Association, in 2015 the export of electronics took place as the first. The fact that exports play a vital role in the economy, especially in the electronics sector, requires the evaluation of recovery alternatives to prevent the unconscious use of national production resources. It is possible that some of the materials can be reused during the production process by ensuring that the products return to the production at the end of their life cycle. In this study, determination of the most suitable recovery alternative for the products which are operating in the electronics sector in Antalya and which focuses on reverse logistics activities and for those who have returned these products for different reasons was carried out by using DEMATEL based ANP (DANP) and VIKOR methods in the fuzzy environment . This study is one of the leading researches in this area.

Keywords: DANP, Fuzzy VIKOR, Multi-Criteria Decision-Making, Recovery, Reverse Logistics

* Akdeniz Üniversitesi, Uygulamalı Bilimler Fakültesi, Yönetim Bilişim Sistemleri Bölümü, 07070, Antalya

** Öğretim Görevlisi, Akdeniz Üniversitesi, Uygulamalı Bilimler Fakültesi, Uluslararası Ticaret ve Lojistik Bölümü, 07070, Antalya

İletişim Yazarı: İsmail Karayün (ismailkarayun@akdeniz.edu.tr)

1. GİRİŞ

Son yıllarda yaşanan teknolojik ve ekonomik gelişmeler neticesinde elektrik ve elektronik sektörü, hızla gelişen ve büyüyen sektörlerden biri haline gelmiştir. Sektörde yaşanan bu büyüme, insanların yaşam tarzlarını ve tüketim alışkanlıklarını önemli ölçüde değiştirmektedir. Bir yandan tüketicilerin yaşamlarını daha iyi ve daha rahat hale getirebilmek için daha yenilikçi, iyi tasarlanmış ve çok fonksiyonlu elektronik ürünler cazip fiyatlarla pazara sunulurken diğer yandan da tüketicilerin daha iyi bir yaşam tarzı arayışı bu ürünlerin ömürlerini kısaltmakta bu durum da tüm dünyada elektrikli ve elektronik teçhizat atıkları (WEEE - Waste electrical and electronic equipment) konusuna olan ilginin artmasına neden olmaktadır. WEEE'nin etkin yönetimi ile ürünler ve malzemeler atık alanlarına gönderilmeden verimli bir şekilde yeniden değerlendirilebilmektedir. Böylece canlı sağlığının korunması, çevresel koşulların iyileştirilmesi ve finansal performansın artırılması da mümkün olabilmektedir (Flygansvaer ve diğ., 2018). Elektrikli ve elektronik ürünlerin yeniden değerlendirilmesi süreci karmaşık bir süreç olup sadece tersine lojistik kapsamında yeniden kullanma veya geri dönüştürme odaklı değil, aynı zamanda kurşun, civa vb. tehlikeli maddelerin insan sağlığına ve çevreye olan risklerini yok etme veya en aza indirme için uygun bir şekilde işleme tabi tutulmasına veya bu malzemelerin bertaraf edilmesine odaklanmaktadır (Yu ve Solvang, 2016).

Teknolojinin çok hızlı gelişmesi, inovasyonların sürekliliği, çok hızlı değişen talepler nedeniyle elektronik ürünlerin ömürleri kısalmaktadır. Bu nedenle hızlı bir şekilde eskiyen elektronik ürünler atılmakta veya elden çıkarılmaktadır. Bunun sonucunda da yüksek miktarda elektronik atık ortaya çıkmaktadır (Zhao ve diğ., 2018; Flygansvaer ve diğ., 2018). Artık kullanıl(a)mayan elektronik ürünlerin geri kazanımının insan sağlığına ve çevreye zarar vermeden gerçekleştirilmesi çok önemlidir. Yönetmelikler, kurumsal farkındalık ve bilinçli tüketicilerin sayısının artması gibi birçok faktör, elektronik üreticilerini tersine lojistik faaliyetlerine yönlendirmiştir. Dolayısıyla elektronik sektörü, kullanım ömrü biten ürünlerinin yeniden değerlendirilmesi ve uygun bir biçimde geri kazanımı sorumluluğunu WEEE, RoHS (Restriction on Hazardous Substances- Belirli Zararlı Maddelerin Kullanımını Kısıtlama) gibi yönetmelikler ile yerine getirmektedir (Ravi ve diğ., 2008).

Günümüzde sadece ileri lojistik; yani üreticiden tüketiciye doğru ilerleyen lojistik değil, ürünün geri kazanımı, yeniden değerlendirilmesi gibi konuları da dikkate alan tersine lojistik kavramı da öne çıkmaktadır. Her ne kadar ileri lojistiğin tam tersi olarak düşünülse de tersine lojistik birçok karar noktasında ileri lojistikten farklılık göstermektedir (Tuzkaya ve Gulsun, 2008). Etkin malzeme, bilgi ve para akışını planlayarak, işleterek, yöneterek ve ömrünün sonuna gelen veya artık kullanılmayan ürünlerden değer geri kazanımını, kullanılmayacak durumda olan ürünlerin de uygun bir biçimde atılmasını amaçlayan tersine lojistik, kullanım ömrü sona eren veya artık kullanılmayan ürünlerden değer elde etmek için tercih edilen en etkili çözümlerden biri olup tüketiciden hammadde tedarikçisine doğru ilerleyen bir süreçtir (Yu ve Solvang, 2016).

Çevresel ve atık bertarafı konularına, zorunlu mevzuatlara ve kurumsal sosyal endişelere önemin daha da artması nedeniyle yoğun rekabetin hakim olduğu günümüzde işletmeler tersine lojistik faaliyetlerine odaklanma bilinci ve/veya telaşı içindedir (Prakash ve Barua, 2016). İşte bu nedenle bu çalışmada tersine lojistik kapsamında Antalya'da elektronik sektörde faaliyet gösteren ve tersine lojistik faaliyetlerine odaklanan işletmelerin farklı nedenlerle geri dönen ürünler için geri kazanım alternatiflerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla öncelikle akademisyenlerden ve Antalya Organize Sanayi Bölgesi'nde elektronik sektörde faaliyet gösteren ve tersine lojistik faaliyetlerini etkin bir şekilde uygulayan tüm işletmelerin farklı bölümlerinde çalışmanın konusunu oluşturan alan hakkında bilgi sahibi uzmanlardan oluşan bir odak grubu oluşturularak, boyutları ve kriterleri belirlemek amacıyla Delphi yöntemi uygulanmıştır. Kriterlerin tespitinden sonra DEMATEL temelli ANP (DANP) yöntemi ile kriterlerin ağırlıkları hesaplanmış ve son olarak Bulanık VIKOR yöntemi kullanılarak

elektronik ürünler için yeniden üretim, yenileştirme, geri dönüşüm, yamyamlaştırma, tamir etme, doğrudan yeniden kullanım ve yakma/gömme alternatiflerinin içinden en uygun olanın seçimi gerçekleştirilmiştir.

Bu kapsamda hazırlanan çalışmanın ikinci bölümünde tersine lojistik ve geri kazanım ile ilgili akademik literatürden bazı çalışmalar incelenmiştir. Üçüncü bölümde çalışmada kullanılan yöntemler kısaca anlatılmış, dördüncü bölümde ise uygulama aşamaları ve bulgular ortaya konmuştur. Son bölümde de çalışmanın sonuçlarının de yorumlandığı genel bir değerlendirme yapılmıştır.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Günümüzde teknolojik gelişmelerin hızla artması ve ürün ömürlerinin kısalması, müşterilerin sürekli yeni ürün talep etmesi ve tüm bunlara bağlı olarak henüz kullanım ömrünün tamamlanmadan dahi bir çok ürün ve malzemenin atık haline dönüşmesi, işletmeleri etkin bir tersine lojistik yönetimine zorlamaktadır. Tersine lojistik dar anlamda, kullanılan ürünlerin toplanması, geri kazanılması veya elden çıkarılması ile ilgili tüm faaliyetleri ifade ederken; geniş anlamda yenilenebilir enerji kaynaklarını arttırmak, sürdürülebilirlik ve döngüsel iktisat konularına katkıda bulunmak amacıyla artık kullanılmayan ürünlerin yeniden kullanımı, yeniden üretimi, geri dönüştürülmesi veya güvenli bir şekilde imha edilmesi yoluyla atık üretimini en aza indirmek amacıyla üretici ile tüketicinin müşterek işbirliği halinde bulunması olarak ifade edilmektedir (Bouzon ve diğ., 2016). Müşteri memnuniyetini artırması, malzeme ve hammadde kullanım miktarını düşürmesi gibi birçok faydası bulunan tersine lojistik yönetiminin, işletme performansının artırılması üzerinde de payı büyüktür (Jain ve Khan, 2016).

Üreticilere yüklenen sorumluluklar ve atıklarla ilgili mevzuatlar, üreticilerin ömürlerinin sonuna gelmiş ürünleri geri almaları ve aldıkları bu ürünleri uygun bir şekilde elden çıkarmaları konusunda baskı yapmaktadır. Yapılan çalışmalar özellikle elektronik eşyalar, bilgisayarlar, kameralar, cep telefonları, otomobil, kimyasal ve tıbbi ürünler için geri dönüş oranının yüksek olduğunu göstermektedir (Prakash ve Barua, 2016). İşletmeye geri dönen ürünlerin geri kazanımı için ürünlerin sınıflandırılarak değerlendirilmesi ve en uygun kazanım alternatifinin uygulanması önemlidir.

Demonte derecelerine bağlı olarak ürünlerin geri kazanım alternatifleri; yeniden üretim, yenileştirme, yamyamlaştırma, tamir etme, doğrudan yeniden kullanım, geri dönüşüm ve yakma/gömme olarak sıralanabilir. Yeniden üretim; kullanılan ürünlerin bileşen seviyelerine göre tamamen sökülerek yeni ürünler için geçerli olan kalite standartlarına getirilmesi, kapsamlı olarak denetlenmesi ve kırık/eski parçaların değiştirilmesidir. Yenileştirme; kullanılmış ürünlerin kalitesini ürünlerin demontaj yapılarak bir üst seviyeye yükseltilmesi, kontrol edilmesi ve kırılan bileşenlerin değiştirilmesidir. Yenileştirme, aynı zamanda modası geçen modül veya bileşenleri teknolojik olarak daha üstün olanlarla değiştirerek de gerçekleştirilebilmektedir. Yamyamlaştırma; yukarıda belirtilen geri kazanım alternatiflerinden herhangi birinde kullanılmak üzere iade edilen ürünlerden az sayıda parçanın yeniden kullanılabilmesi için geri kazanılmasıdır. Tamir etme; geri dönen ürünlerin yeniden çalışır vaziyete getirilmesidir. Tamir edilmiş ürünlerin kalitesi, yeni ürünlerin kalitesinden daha düşük olabilir. Geri dönüşüm; kullanılan ürün ve parçaların çeşitli ayırma işlemlerine tabi tutulması neticesinde, ürün ve parçaların orijinal özellik ve fonksiyonlarının yok edilerek elde edilen malzemenin yeniden kullanılmasını ifade etmektedir (Wadhwa ve diğ., 2009). Doğrudan yeniden kullanım; süreçte geri dönen palet, konteyner gibi malzemelerin üzerinde herhangi bir değişiklik yapılmadan veya temizleme vb. küçük işlemler yapılarak doğrudan kullanım sürecine dahil edilmesidir. Yakma/gömme alternatifi, işletmelerin artık başka seçenekleri kalmadığı zaman uyguladıkları, ürünü yok etme faaliyetidir (Nakıboğlu, 2007). Yukarıda belirtilen geri kazanım alternatiflerinden süreçler için en uygun olanını belirleyen işletme, geri dönen ürünleri atmak

yerine bu ürünlerden değerlendirilen malzemeleri kullanarak yeni malzeme tüketimini azaltmakta ve böylece başta ekonomik olmak üzere birçok ilave değer üretebilmektedir (Feito-Cespon ve diğ., 2017).

Bu çalışmada elektronik ürünler üreten bir işletme için en uygun geri kazanım alternatifi seçimi çok kriterli karar verme yaklaşımı kullanılarak ele alınmıştır. Öncelikle Delphi yöntemi kullanılarak belirlenen kriterlerin ağırlıklarının hesaplanması için DEMATEL temelli ANP yöntemi kullanılmış, sonraki aşamada ise Bulanık VIKOR yöntemi kullanılarak en uygun geri kazanım alternatifinin seçimi gerçekleştirilmiştir. Çalışmada kriterler arası bağımlılıkların, geri bildirimlerin belirlenmesinin ve bu ilişkilerin karar vericiler tarafından değerlendirilmesinin ANP yöntemiyle belirlenmesinin zor olması nedeniyle DANP yöntemi tercih edilmiştir. Çalışma kapsamında belirlenen alternatifler içerisinde en uygun olan alternatifin belirlenmesi için de Bulanık VIKOR yöntemi tercih edilmiştir. Bulanık VIKOR yöntemi, karar alma sürecindeki belirsizlikleri de dikkate alarak çoğunluk için maksimum grup faydası ve rakip için minimum bireysel pişmanlık sağlayan uzlaşmacı bir çözüm belirlemektedir (Tosun, 2017). Literatürde geri kazanım alternatiflerini değerlendirme amaçlı yapılan çalışmalardan bazıları şunlardır: Wang ve diğ. (2018) kentsel katı atıkların değerlendirilmesi için alternatifler arasından en iyi senaryonun belirlenmesi amacıyla aralık-değerli Bulanık DEMATEL ve aralık-değerli bulanık Gri İlişkisel Analiz yöntemlerini kullanmışlardır. Arıkan ve diğ. (2017), yine katı atıkların yok edilmesi alternatiflerini değerlendirme amaçlı çok kriterli karar verme yöntemlerini tercih etmişler ve çalışmalarında TOPSIS, PROMOTHEE ve Bulanık TOPSIS yöntemlerini ayrı ayrı kullanarak karşılaştırma yapmışlardır. Kızılkaya-Aydoğan ve Özmen (2016), SMAA-2 ve VIKOR yöntemlerini kullanarak tersine lojistik alternatiflerini değerlendirmişlerdir. Agrawal ve diğ. (2016) cep telefonları üreten Hintli bir elektronik firma için ürünü elden çıkarmak için en uygun alternatifi belirlemek amacıyla AHP ve Bulanık TOPSIS yöntemlerini birlikte kullanmayı tercih etmişlerdir. Jindal ve Sangwan (2016), ürünün geri kazanım süreçlerini değerlendirmek amacıyla bulanık ortamda AHP ve TOPSIS yöntemlerini kullanmışlardır. Özmen ve Kızılkaya-Aydoğan (2013), SMMA-2 yöntemiyle geri dönen çift kişilik yataklar için tersine lojistik opsiyonlarını incelemişlerdir. Samantra ve diğ. (2013), ürün için en uygun geri kazanım alternatifini belirlemek için aralık değerli bulanık küme ve VIKOR yöntemlerini birlikte kullanmışlardır. Mahapatara ve diğ. (2013), tersine üretim alternatiflerinin seçimini TOPSIS yöntemi ile gerçekleştirmişlerdir. Ravi ve Shankar (2012) otomobil endüstrisinde geri kazanım alternatiflerini değerlendirmek için ANP yönteminden yararlanmışlardır. Wadhwa ve diğ. (2009), geri dönen kahverengi malların geri kazanım alternatiflerini bulanık TOPSIS ile değerlendirmişlerdir. Ravi ve diğ. (2005) ANP ve dengeli karne (Balanced scorecard - BSC) yöntemlerini birlikte kullanarak ömrü biten bilgisayarların geri kazanım alternatiflerinin içinden en uygun olanın seçimini modellemişlerdir.

Elektronik atıkların geri kazanımı aşamasında dikkate alınması gereken en önemli konulardan birisi de, elektrikli ve elektronik ürünler içerisindeki değerli ve kıt kaynaklar olan altın, gümüş, zirkonyum ve paladyum gibi madenlerin yeniden kazanılması için gösterilen çabalar. Bu konuda Sun ve diğ. (2017) tarafından yapılan çalışmada, elektronik atıklar içerisindeki söz konusu metallerin ne kadarının geri kazanıma tabi olacağını belirlemek için matematiksel bir formülasyon geliştirilmiştir. Yine aynı çalışma içerisinde elektronik ürünler içerisindeki değerli metallerin kaynak bazında doğadaki kıtlık durumları da belirlenerek, hangi tür metallerin öncelikli geri kazanım alternatifleriyle değerlendirilmesi gerektiği açıkça ortaya konmuştur. Diğer yandan aynı konu çerçevesinde, Kara (2016) tarafından yapılan çalışmada cep telefonlarının ortalama yıllık kullanım süresi 1 yıl ve bilgisayarların 2 ila 5 yıl arasında olduğu belirtilmiştir. Bu çalışmada öncelikle cep telefonu ve bilgisayarlar başta olmak üzere daha sonra diğer tüm elektrikli ve elektronik ürünler içerisinde kullanılan ve cihazın tüm yönetsel fonksiyonlarını içerisinde barındıran ana kartların geri kazanımından elde edilen değerli metallerle yönelik fiziksel ve kimyasal geri dönüşüm süreçleri ortaya konmuştur. Cui ve Zang (2008) tarafından yayınlanan makalede ise, geri kazanım konusu farklı mühendislik disiplinleri

esas alınarak incelenmiş ve elektronik atıkların ısı işlemlerle, sıvısal metalbilim yöntemleriyle ve biyolojik olarak ayrıştırılması ve yeniden kazanımına ilişkin çevresel ve ekonomik etkiler bazında yapılan analizler ortaya konmuştur.

3. YÖNTEM

Bu çalışmada elektronik ürünler üreten bir işletme için en uygun geri kazanım alternatifi seçimi çok kriterli karar verme yaklaşımıyla incelenmiştir. Çalışmanın ilk aşamasında DANP yöntemi ile kriterlerin ağırlıkları bulunmuş, ikinci aşamada ise Bulanık VIKOR yöntemi kullanılarak geri kazanım alternatifleri sıralanmıştır. Çalışmada kullanılan yöntemler sırasıyla aşağıda anlatılmıştır. DEMATEL temelli ANP yöntemine geçmeden, öncelikli olarak bu yöntemin temelini oluşturan DEMATEL ve ANP yöntemleri hakkında kısa bir bilgilendirme yapılması amaçlanmıştır.

3.1. Bulanık DEMATEL Yöntemi

Çok kriterli karar verme yöntemlerinden biri olan DEMATEL yöntemi ile kriterlerin neden ve etkileri arasındaki ilişkileri yapısal bir modele çevirmek, nedensellik ilişkileri bir diyagram yardımı ile göstermek, kriter grubuna ait içsel bağımlılıkları sisteme dahil etmek ve kriterlerin etkinliklerini göstermek mümkündür (Tzeng ve diğ., 2007; Tseng ve Lin, 2009). Bu çalışmada karar vericilerin nesnel değerlendirmelerinde ortaya çıkabilecek belirsizliklerle baş edebilmek amacıyla tercih edilen bulanık DEMATEL yöntemi ile kriterler arası ilişkiler belirlenmiş ve bir sonraki aşamada kullanılacak DANP yöntemine girdi teşkil edecek T_c ve T_D matrisleri elde edilmiştir.

Karar vericiler, değerlendirmede kullanacakları kriterleri "neden" ve "etki" gruplarına ayırmak için Chang ve diğ.'nin (2011) çalışmalarında kullandıkları bulanık dilsel ölçeği tercih etmişlerdir. Bulanık Dematel yönteminin adımları detaylı olarak aşağıda belirtilmiştir (Wu ve Lee, 2007):

1. Değerlendirme kriterleri arasındaki ilişkiyi ölçmek için yapılan bulanık değerlendirmeler, daha büyük üyelik fonksiyonu ile daha büyük kesin değerler veren kesin değerlere dönüştürme (Converting fuzzy data into crisp scores-CFCS) yöntemi ile durulaştırılır (Opricovic ve Tzeng, 2003). Durulaştırma sonrasında, her bir karar vericinin yapmış oldukları değerlendirmelerin ortalamaları alınarak Z başlangıç direkt-ilişki matrisi (1) no'lu formül ile elde edilir.

$$a_{ij} = \frac{1}{H} \sum_{k=1}^H x_{ij}^k \quad (1)$$

2. Z matrisinin normalize edilmesiyle her bir elemanı 0-1 arasında değişen X matrisi (2) ve (3) no'lu formüller ile elde edilir (Tzeng ve diğ., 2007).

$$X = s \cdot Z \quad (2)$$

$$s = \frac{1}{\max_{1 \leq i \leq n} \sum_{j=1}^n z_{ij}} \quad i, j = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

3. Sadece direkt ilişkileri değil de endirekt etkileri de gösterebilmek amacıyla toplam ilişki matrisi olan T , $X(1-X)^{-1}$ formülü ile hesaplanır.

Dematel yönteminin bir diğer kullanım nedeni olan ağ ilişkileri haritası için kriterler arasındaki yapısal ilişkiyi açıklamak için kullanılacak T matrisi için hesaplanan p eşik değeri ile bazı etkilerin gözardı edilebilmesi mümkündür. Ancak bu çalışmada DEMATEL yöntemi DANP yönteminde kullanılacak T matrislerinin hesaplanması amaçlı kullanıldığı için bu konuya yer verilmemiştir.

Bulanık Dematel yöntemi ile boyutlar ve kriterlere ait toplam ilişki matrislerinin elde edilmesinin ardından bir sonraki adımda, kriter ağırlıklarının hesaplanması amaçlanmıştır. Bu çalışmada kriter ağırlıklarının hesaplanmasında Dematelli ANP (DANP) yöntemi tercih edilmiştir.

3.2.DEMATEL Temelli ANP (DANP)

Çalışmalar, ağırlıklandırılmamış süpermatrisin normalize edilmesinde DANP yönteminin, normalizasyon işleminde ANP'nin her bir kümenin eşit ağırlığa sahip olduğu varsayımına göre daha kabul edilebilir sonuçlar verdiği kabulünden yola çıkarak DANP yöntemi tercih edilmiştir. Ayrıca bu yöntemin ANP yöntemine göre daha kullanışlı olması da çalışmada kullanılmasını öne çıkarmıştır (Liu ve diğ., 2012; Yang ve diğ., 2013). Bu çalışmada geri kazanım alternatiflerini değerlendirmede etkisi olan kriterlerin ağırlıklarını hesaplamak için kullanılan DANP yönteminin adımları şu şekildedir (Liu ve diğ., 2018; Hung ve Lee, 2016):

1.adım: Ağırlıklandırılmamış süpermatrisin oluşturulması: Kriterler arası ilişkileri gösteren T_C matrisi, bulanık DEMATEL yönteminin uygulanması neticesinde elde edilen T matrisidir. T_C matrisinin normalize edilmesiyle yani her bir satırın toplamının o satırdaki değerlere bölünmesiyle T_C^α of matrisi elde edilir. (4) no'lu matris ile gösterilir.

$$T_C^\alpha = \begin{bmatrix} t_c^{\alpha 11} & \dots & t_c^{\alpha 1j} & \dots & t_c^{\alpha 1n} \\ \cdot & \dots & \cdot & \dots & \cdot \\ t_c^{\alpha i1} & \dots & t_c^{\alpha ij} & \dots & t_c^{\alpha in} \\ \cdot & \dots & \cdot & \dots & \cdot \\ t_c^{\alpha n1} & \dots & t_c^{\alpha nj} & \dots & t_c^{\alpha nn} \end{bmatrix} \quad (4)$$

$t_c^{\alpha 11}$ (5) ve (6) no'lu formüller kullanılarak normalize edilir. $t_c^{\alpha nn}$ elde edilene kadar normalize işlemine devam edilir.

$$d_i^{11} = \sum_{j=1}^{m_1} t_{c,ij}^{11}, i = 1, 2, \dots, m_1 \quad (5)$$

$$T_C^{\alpha 11} = \begin{bmatrix} t_{c,11}^{11}/d_1^{11} & \dots & t_{c,1j}^{11}/d_1^{11} & \dots & t_{c,1m_1}^{11}/d_1^{11} \\ \cdot & \dots & \cdot & \dots & \cdot \\ t_{c,i1}^{11}/d_i^{11} & \dots & t_{c,ij}^{11}/d_i^{11} & \dots & t_{c,im_1}^{11}/d_i^{11} \\ \cdot & \dots & \cdot & \dots & \cdot \\ t_{c,m_11}^{11}/d_{m_1}^{11} & \dots & t_{c,m_1j}^{11}/d_{m_1}^{11} & \dots & t_{c,m_1m_1}^{11}/d_{m_1}^{11} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} t_{c,11}^{\alpha 11} & \dots & t_{c,1j}^{\alpha 11} & \dots & t_{c,1m_1}^{\alpha 11} \\ \cdot & \dots & \cdot & \dots & \cdot \\ t_{c,i1}^{\alpha 11} & \dots & t_{c,ij}^{\alpha 11} & \dots & t_{c,im_1}^{\alpha 11} \\ \cdot & \dots & \cdot & \dots & \cdot \\ t_{c,m_11}^{\alpha 11} & \dots & t_{c,m_1j}^{\alpha 11} & \dots & t_{c,m_1m_1}^{\alpha 11} \end{bmatrix} \quad (6)$$

Ağırlıklandırılmamış süpermatris, (7) no'lu matriste gösterilmiştir. Oluşan bu yeni matris, T_C^α matrisinin transpozitesinin alınmasıyla elde edilir.

$$W = (T_C^\alpha)' = \begin{bmatrix} W^{11} & \dots & W^{i1} & \dots & W^{n1} \\ \cdot & \dots & \cdot & \dots & \cdot \\ W^{1j} & \dots & W^{ij} & \dots & W^{nj} \\ \cdot & \dots & \cdot & \dots & \cdot \\ W^{1n} & \dots & W^{in} & \dots & W^{nn} \end{bmatrix} \quad (7)$$

2.adım: Ağırlıklandırılmış süpermatrisin elde edilmesi: Boyutlar arası ilişkileri gösteren toplam ilişki matrisi (T_D), DEMATEL yöntemiyle elde edilen bir matris olup bu matrisini normalize edilmesiyle T_D^α matrisine ulaşılır. (9) no'lu matris ile gösterilir.

$$T_D = \begin{bmatrix} t_D^{11} & \dots & t_D^{1j} & \dots & t_D^{1n} \\ \vdots & \dots & \vdots & \dots & \vdots \\ t_D^{i1} & \dots & t_D^{ij} & \dots & t_D^{in} \\ \vdots & \dots & \vdots & \dots & \vdots \\ t_D^{n1} & \dots & t_D^{nj} & \dots & t_D^{nn} \end{bmatrix} \quad (8)$$

$$\sum_{j=1}^n t^{ij} = d_i \quad i = 1, 2, \dots, n$$

$$T_D^\alpha = \begin{bmatrix} t_D^{11}/d_1 & \dots & t_D^{1j}/d_1 & \dots & t_D^{1n}/d_1 \\ \vdots & \dots & \vdots & \dots & \vdots \\ t_D^{i1}/d_i & \dots & t_D^{ij}/d_i & \dots & t_D^{in}/d_i \\ \vdots & \dots & \vdots & \dots & \vdots \\ t_D^{n1}/d_n & \dots & t_D^{nj}/d_n & \dots & t_D^{nn}/d_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} t_D^{\alpha 11} & \dots & t_D^{\alpha 1j} & \dots & t_D^{\alpha 1n} \\ \vdots & \dots & \vdots & \dots & \vdots \\ t_D^{\alpha i1} & \dots & t_D^{\alpha ij} & \dots & t_D^{\alpha in} \\ \vdots & \dots & \vdots & \dots & \vdots \\ t_D^{\alpha n1} & \dots & t_D^{\alpha nj} & \dots & t_D^{\alpha nn} \end{bmatrix} \quad (9)$$

Ağırlıklandırılmış süpermatrise (10) no'lu denklem kullanılarak ulaşılır.

$$W^\alpha = T_D^\alpha W = \begin{bmatrix} t_D^{\alpha 11} \times W^{11} & \dots & t_D^{\alpha i1} \times W^{i1} & \dots & t_D^{\alpha n1} \times W^{n1} \\ \vdots & \dots & \vdots & \dots & \vdots \\ t_D^{\alpha 1j} \times W^{1j} & \dots & t_D^{\alpha ij} \times W^{ij} & \dots & t_D^{\alpha nj} \times W^{nj} \\ \vdots & \dots & \vdots & \dots & \vdots \\ t_D^{\alpha 1n} \times W^{1n} & \dots & t_D^{\alpha in} \times W^{in} & \dots & t_D^{\alpha nn} \times W^{nn} \end{bmatrix} \quad (10)$$

3.adım: Limit süpermatrisin hesaplanması: Ağırlıklandırılmış süpermatrisin k. kuvveti alınarak yakınsanmasıyla bu matris elde edilir. Elde edilen bu matristeki değerler ile kriterlerin ağırlıkları hesaplanmış olur (Chuo ve diğ., 2017).

3.2. Bulanık VIKOR

Karar verme sürecinin çok karmaşık olduğu durumlarda kesin ifadeler kullanmak zor bir hal almaktadır. Fayed (1965) tarafından geliştirilen bulanık küme teorisi kapsamında, kesin olarak ifade edilemeyen değişkenler dilsel değişkenler yardımıyla ifade edilebilmektedir (Yıldız ve Deveci, 2013). Çok kriterli karar verme yöntemlerinden birisi olarak kullanılan VIKOR (VlseKriterijumsa Optimizacija I Kompromisno Resenje) yöntemi, 1998 yılında Opricovic tarafından önerilmiştir (Akyüz, 2012). VIKOR yöntemi, çok kriterli karar verme yöntemlerinden birisi olarak, aynı ölçüğe sahip olmayan ve birbiriyle çatışan kriterlerden oluşan problemlerin çözümü için geliştirilmiştir (Opricovic, 1998). Bu yöntem, birbiriyle çelişen kriterler çerçevesinde, alternatiflerin sıralanması ve en uygun alternatifin seçimine odaklanmaktadır (Opricovic ve Tzeng, 2004). Yöntemin amacı, sıralamada ve seçimde uzlaştırıcı çözümü bulabilmektir (Akyüz, 2012). Yöntemin adımları şu şekildedir (Chen ve Wang, 2009; Akyüz, 2012; Yıldız ve Deveci, 2013; Tosun, 2017):

1.Adım: Problemin çözümüne yönelik alternatiflerin, kriterlerin ve değerlendirmeyi yapacak olan karar verici grubunun belirlenmesi gerekmektedir. Çözümün yapılabilmesi için “n” sayıda karar verici, “m” tane alternatif ve “k” tane kriter belirlenmektedir.

2.Adım: Üçgensel bulanık sayılar halinde dilsel değişkenler ortaya konmalıdır. Dilsel değişkenler, kriter ağırlıklarının belirlenmesi ve çoklu kriter yapısı çerçevesinde en uygun alternatifin belirlenmesi için kullanılmaktadır. Tablo 1, kriter ve alternatiflerin değerlendirilmesi için kullanılan dilsel değişkenleri göstermektedir.

Tablo 1. Dilsel Değişkenler ve Bulanık Sayılar (Tosun,2017)

Kriter Ağırlıkları İçin Kullanılan Dilsel Değişkenler		Alternatiflerin Değerlendirilmesi İçin Kullanılan Dilsel Değişkenler	
Dilsel Değişkenler	Bulanık Sayılar	Dilsel Değişkenler	Bulanık Sayılar
Çok Düşük (ÇD)	(0.00, 0.00, 0.25)	Çok Kötü (ÇK)	(0.00, 0.00, 2.50)
Düşük (D)	(0.00, 0.25, 0.50)	Kötü (K)	(0.00, 2.50, 5.00)
Orta (O)	(0.25, 0.50, 0.75)	Orta (O)	(2.50, 5.00, 7.50)
Yüksek (Y)	(0.50, 0.75, 1.00)	İyi (İ)	(5.00, 7.50, 10.00)
Çok Yüksek (ÇY)	(0.75, 1.00, 1.00)	Çok İyi (Çİ)	(7.50, 10.00, 10.00)

3.Adım: Karar vericilerin tercih ve görüşlerinin birleştirilmesi gerekmektedir. Kararlar, “n” adet karar vericinin kriterlere vermiş olduğu bulanık ağırlıkları ve alternatiflerin bulanık dereceleri birleştirilerek verilmektedir. Her bir kriterin birleştirilmiş bulanık ağırlığı aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır:

$$\tilde{w}_j = \frac{1}{n} [\sum_{e=1}^n \tilde{w}_j^e], \quad j = 1, 2, \dots, k \quad (11)$$

i alternatifin j kriterine göre önem ağırlığı ise aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$\tilde{x}_{ij} = \frac{1}{n} [\sum_{e=1}^n \tilde{x}_{ij}^e], \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (12)$$

4.Adım: Bulanık ortalama ağırlıklar hesaplanır ve bulanık karar matrisi oluşturulmaktadır.

$$\tilde{W} = [\tilde{w}_1, \tilde{w}_2, \dots, \tilde{w}_k], \quad j = 1, 2, \dots, k \quad (13)$$

$$\tilde{D} = \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ \vdots \\ A_m \end{matrix} \begin{bmatrix} C_1 & C_2 & \dots & C_k \\ \tilde{x}_{11} & \tilde{x}_{12} & \dots & \tilde{x}_{1k} \\ \tilde{x}_{21} & \tilde{x}_{22} & \dots & \tilde{x}_{2k} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{x}_{m1} & \tilde{x}_{m2} & \dots & \tilde{x}_{mk} \end{bmatrix}, \quad i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, k \quad (14)$$

Burada \tilde{x}_{ij} , C_j kriterine göre A_i alternatifinin derecesi; w_j , j kriterinin önem ağırlığını ifade etmektedir.

5.Adım: Bulanık en iyi değer (\tilde{f}_j^*) ve en kötü değer (\tilde{f}_j^-) belirlenir:

$$\tilde{f}_j^* = \max_i \tilde{x}_{ij} \quad \tilde{f}_j^- = \min_i \tilde{x}_{ij} \quad (15)$$

6.Adım: \tilde{S}_i ve \tilde{R}_i değerleri hesaplanır. \tilde{S}_i , A_i alternatifinin tüm kriterler açısından bulanık en iyi değere olan uzaklıklarının toplamıdır. \tilde{R}_i ise, j. kriterine göre A_i alternatifinin bulanık en iyi değere olan maksimum uzaklığıdır. Başka bir ifade ile \tilde{S}_i ve \tilde{R}_i değerleri, A_i alternatifinin ortalama ve en kötü puan değerlerini ifade etmektedir.

$$\tilde{S}_i = \sum_{j=1}^k \tilde{w}_j (\tilde{f}_j^* - \tilde{x}_{ij}) / (\tilde{f}_j^* - \tilde{f}_j^-) \quad (16)$$

$$\tilde{R}_i = \max_j [\tilde{w}_j (\tilde{f}_j^* - \tilde{x}_{ij}) / (\tilde{f}_j^* - \tilde{f}_j^-)] \quad (17)$$

7.Adım: \tilde{S}^* , \tilde{S}^- , \tilde{R}^* , \tilde{R}^- ve \tilde{Q}_i değerleri hesaplanır.

$$\tilde{S}^* = \min_i \tilde{S}_i, \quad \tilde{S}^- = \max_i \tilde{S}_i \quad (18)$$

$$\tilde{R}^* = \min_i \tilde{R}_i, \quad \tilde{R}^- = \max_i \tilde{R}_i \quad (19)$$

$$\tilde{Q}_i = v(\tilde{S}_i - \tilde{S}^*)/(\tilde{S}^- - \tilde{S}^*) + (1 - v)(\tilde{R}_i - \tilde{R}^*)/(\tilde{R}^- - \tilde{R}^*) \quad (20)$$

Yukarıdaki denklemlerde \tilde{S}^* , maksimum grup faydasını, \tilde{R}^* ise karşıt görüştekilerin minimum bireysel pişmanlığını ifade etmektedir. \tilde{Q}_i indisi ise grup faydası ile karşıt görüşün bireysel pişmanlığı bir arada değerlendirilerek elde edilir. v , maksimum grup faydası stratejisinin ağırlığıdır. $v > 0,5$ olduğunda karar maksimum grup faydası yönünde, $v < 0,5$ olduğunda ise karar, karşıt görüştekilerin minimum bireysel pişmanlığı yönünde eğilim gösterir.

8.Adım: Üçgensel bulanık sayı \tilde{Q}_i durulaştırılır ve elde edilen Q_i değerlerine göre alternatifler sıralanır. Bu çalışmada durulaştırma adımında Hsieh ve diğ. (2004) tarafından önerilen BNP (Best Nonfuzzy Performance Value) yöntemi kullanılmıştır. Burada u_i üçgen bulanık sayının üst değerini, m_i orta değerini, l_i ise alt değerini göstermektedir.

$$BNP_i = [(u_i - l_i) + (m_i - l_i)]/3 + l_i \quad \forall_i \quad (21)$$

Bu indeksin en küçük değeri en iyi alternatifi ifade etmektedir.

9.Adım: Uzlaşmacı çözüm belirlenir. Eğer aşağıdaki iki koşul sağlanırsa, Q_i indeksi kullanılarak belirlenen çözüm, uzlaştırıcı çözümdür (á).

1.Koşul: Kabul edilebilir avantaj:

$$Q(a'') - Q(a') \geq DQ \quad (22)$$

$$DQ = \frac{1}{m-1} \quad (\text{eğer } m \leq 4, DQ = 0,25) \quad (23)$$

Burada m alternatif sayısı, a'' değeri, Q değerine göre sıralamada ikinci sırayı alan alternatiftir.

2.Koşul: Karar vermede kabul edilebilir istikrar: a' alternatifi, S ve/veya R değerlerine göre yapılan sıralamada da en iyi alternatiftir. Bu uzlaştırıcı çözüm karar verme sürecinde istikrarlıdır.

Eğer 1. koşul sağlanıyorsa ve $Q(a^{(m)}) - Q(a') < DQ$ ise $a^{(m)}$ ve a' aynı uzlaşmacı sonuçlardır. Ancak, uzlaşmacı çözümler a' , a'' , ..., $a^{(m)}$ aynı olduğu için a' karşılaştırmalı bir üstünlüğe sahip değildir. Eğer 2. koşul sağlanmazsa, a' karşılaştırmalı üstünlüğe sahip olsa da karar vermedeki istikrar yetersizdir. Bu nedenle a' ve a'' nün uzlaşmacı çözümleri aynıdır.

10.Adım: $Q(a')$ minimum Q_i değeri ile en iyi çözüm olarak seçilir.

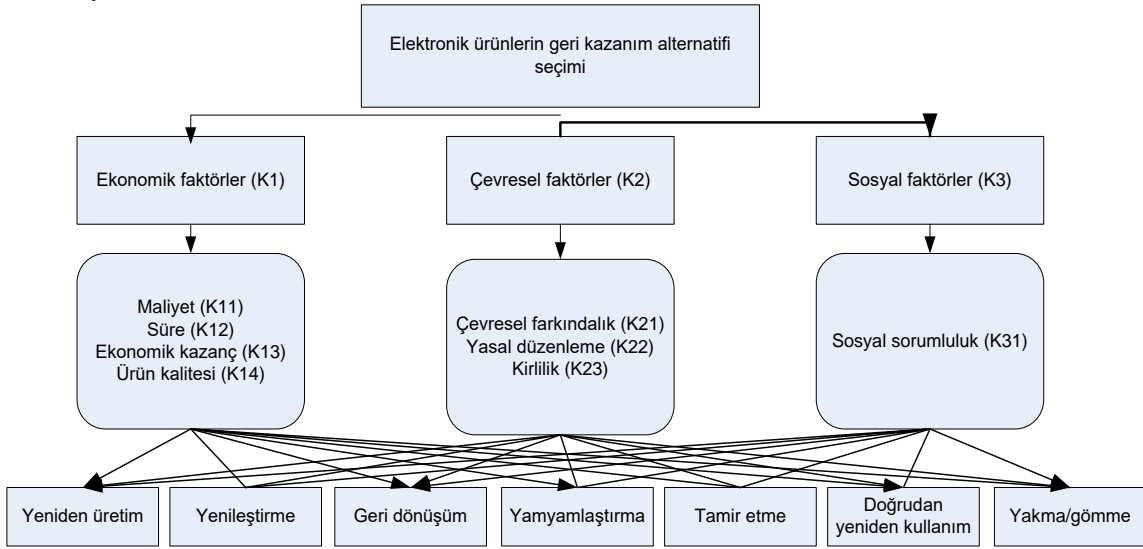
4. ÇÖZÜM/BULGULAR

Ürünlerin geri kazanım alternatifleri çevresel, sosyal, teknik, ekonomik vb. birçok faktörden etkilenmektedir. Bu faktörler belirlenirken paydaşların düşünceleri ve menfaatleri de dikkate alınmak durumundadır. Bir paydaş için çok gerekli olan bir faktör, başka bir paydaşın menfaatleri ile çatışabilmektedir. Bu nedenle süreçte yer alan tüm paydaşları kapsayan bir yöntemle ürünün geri kazanım seçeneğinin belirlenmesi gerekmektedir (Ziout ve diğ., 2014).

Bu çalışma ömrünü tamamlayan elektronik ürünlerin geri kazanım seçeneği üzerinde karar verme sürecini yönlendiren bir yöntem sunmaktadır.

Tersine lojistik kapsamında Antalya'da faaliyet gösteren elektronik üreticilerinin çeşitli nedenlerle işletmelere geri dönen ürünlerinin değerlendirme seçeneklerinin ele alındığı bu çalışmada, öncelikli olarak akademisyenlerden ve tersine lojistik sürecine hakim sektörde çalışan uzmanlardan oluşan 6 kişilik bir proje grubu oluşturulmuştur. Yapılan görüşmeler ve konuya ilişkin literatür incelemesi sonucu, Maliyet (K_{11}), Süre (K_{12}), Ekonomik Kazanç (K_{13}), Ürün Kalitesi (K_{14}), Çevresel Farkındalık (K_{21}), Yasal Düzenlemeler (K_{22}), Kirlilik (K_{23}) ve Sosyal Sorumluluk (K_{31}) çalışmanın kriterleri olarak seçilmiştir; Yeniden Üretim (A_1), Yenileştirme (A_2), Geri Dönüşüm (A_3), Yamyamlaştırma (A_4), Tamir Etme (A_5), Doğrudan Yeniden Kullanım (A_6) ve Yakma/Gömme (A_7) ise alternatifler olarak belirlenmiştir (Sharma, Mahapatra ve Parappagoudar, 2016; Lou ve Wang, 2009; Özdemir, 2010; Özmen ve Kızılkaya-Aydoğan, 2013).

Çalışmada kullanılması uygun olan boyutlar, kriterler ve bir nedenden işletmeye geri dönen elektronik ürünlerin geri kazanım alternatiflerinin bir arada gösterildiği model Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1.
Alternatif seçim modeli

4.1. DANP Modeli ile Kriter Ağırlıklarının Belirlenmesi

Bulanık DEMATEL yöntemi belirlenen ana ve alt kriterler için yapılan bulanık değerlendirmeler, daha büyük üyelik fonksiyonu ile daha büyük kesin değerler veren kesin değerlere dönüştürme (Converting fuzzy data into crisp scores-CFCS) yöntemi ile durulaştırılmıştır (Opricovic ve Tzeng, 2003). Bulanık Dematel yöntemi ile elde edilmiş ona boyut (Tablo 2) ve kriterlere (Tablo 3) ait T matrisleri, DANP yönteminde kullanılmışlardır.

Tablo 2. Boyutlara ait Toplam Etki Matrisi (T_D)

	K_1	K_2	K_3
K_1	0,898	1,243	1,227
K_2	1,593	1,403	1,687
K_3	1,267	1,575	1,179

Tablo 3. Kriterlere ait Toplam Etki Matrisi (T_c)

	K_{11}	K_{12}	K_{13}	K_{14}	K_{21}	K_{22}	K_{23}	K_{31}
K_{11}	0,367	0,207	0,486	0,351	0,307	0,223	0,342	0,327
K_{12}	0,539	0,153	0,462	0,341	0,291	0,217	0,293	0,266
K_{13}	0,602	0,243	0,388	0,394	0,446	0,304	0,429	0,392
K_{14}	0,688	0,308	0,618	0,348	0,496	0,353	0,530	0,470
K_{21}	0,795	0,364	0,678	0,542	0,556	0,537	0,779	0,641
K_{22}	0,773	0,362	0,649	0,474	0,653	0,370	0,676	0,570
K_{23}	0,743	0,320	0,607	0,502	0,693	0,542	0,554	0,631
K_{31}	0,743	0,304	0,624	0,456	0,726	0,482	0,743	0,475

Karar vericilerin yaptıkları değerlendirmeler neticesinde DANP modelinin ilk adımında (4)-(5)-(6) ve (7) no'lu eşitlikler kullanılarak ağırlıklandırılmamış süpermatris (W) elde edilmiştir (Tablo 4).

Tablo 4. Ağırlıklandırılmamış Süpermatris (W)

	K_{11}	K_{12}	K_{13}	K_{14}	K_{21}	K_{22}	K_{23}	K_{31}
K_{11}	0,260	0,361	0,370	0,351	0,334	0,342	0,342	0,349
K_{12}	0,147	0,102	0,149	0,157	0,153	0,160	0,147	0,143
K_{13}	0,345	0,309	0,239	0,315	0,285	0,287	0,279	0,293
K_{14}	0,249	0,228	0,242	0,177	0,228	0,210	0,231	0,214
K_{21}	0,352	0,363	0,378	0,360	0,297	0,384	0,387	0,372
K_{22}	0,256	0,271	0,258	0,256	0,287	0,218	0,303	0,247
K_{23}	0,392	0,366	0,363	0,385	0,416	0,398	0,310	0,381
K_{31}	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

Devamında ağırlıklandırılmış süpermatris (8), (9) ve (10) no'lu eşitlikler kullanılarak hesaplanmıştır (Tablo 5).

Tablo 5. Ağırlıklandırılmış Süpermatris (W^a)

	K_{11}	K_{12}	K_{13}	K_{14}	K_{21}	K_{22}	K_{23}	K_{31}
K_{11}	0,069	0,096	0,099	0,093	0,114	0,116	0,116	0,110
K_{12}	0,039	0,027	0,040	0,042	0,052	0,055	0,050	0,045
K_{13}	0,092	0,082	0,064	0,084	0,097	0,098	0,095	0,092
K_{14}	0,066	0,061	0,065	0,047	0,077	0,071	0,079	0,068
K_{21}	0,130	0,134	0,140	0,133	0,089	0,115	0,116	0,146
K_{22}	0,094	0,100	0,095	0,094	0,086	0,065	0,091	0,097
K_{23}	0,145	0,135	0,134	0,142	0,125	0,119	0,093	0,149
K_{31}	0,364	0,364	0,364	0,364	0,360	0,360	0,360	0,293

Son olarak kriterlerin birbirleri üzerindeki etkilerini belirlemek amacıyla ağırlıklandırılmış matrisin 10. kuvveti alınarak limit süpermatris (Tablo 6) elde edilmiştir.

Tablo 6. Limit Süpermatris (W^{α})

	K_{11}	K_{12}	K_{13}	K_{14}	K_{21}	K_{22}	K_{23}	K_{31}
K_{11}	0,105	0,105	0,105	0,105	0,105	0,105	0,105	0,105
K_{12}	0,045	0,045	0,045	0,045	0,045	0,045	0,045	0,045
K_{13}	0,090	0,090	0,090	0,090	0,090	0,090	0,090	0,090
K_{14}	0,069	0,069	0,069	0,069	0,069	0,069	0,069	0,069
K_{21}	0,128	0,128	0,128	0,128	0,128	0,128	0,128	0,128
K_{22}	0,091	0,091	0,091	0,091	0,091	0,091	0,091	0,091
K_{23}	0,133	0,133	0,133	0,133	0,133	0,133	0,133	0,133
K_{31}	0,339	0,339	0,339	0,339	0,339	0,339	0,339	0,339

Limit süpermatris neticesinde elde edilen kriterlerin ağırlıkları Tablo 7'de gösterilmiştir.

Tablo 7. DANP ile elde edilen kriter ağırlıkları

Kriter (i)	Kriter Tanımı	Ağırlık (W_i)
K_{11}	Maliyet	0,105
K_{12}	Süre	0,045
K_{13}	Ekonomik kazanç	0,090
K_{14}	Ürün kalitesi	0,069
K_{21}	Çevresel farkındalık	0,128
K_{22}	Yasal düzenleme	0,091
K_{23}	Kirlilik	0,133
K_{31}	Sosyal sorumluluk	0,339

Kriterlerin ağırlıklarına bakıldığında karar vericiler için % 33,9 ile birinci sırada sosyal faktörler boyutunun altında yer alan *sosyal sorumluluk* kriteri yer almaktadır. Bu kriterin birinci sırada çıkmasının altında, artık işletmelerin tersine lojistik faaliyetlerini öncelikli sosyal faaliyet olarak görmeleri ve toplumun sosyal sorumluluk beklentilerine verdikleri önemin artması yatmaktadır. İkinci en önemli kriter olarak çevresel faktörler boyutunda %13,3 lük öneme sahip olan *kirlilik* kriteri yer almaktadır. Karar vericilere göre ağırlıklarına bakılarak 3. sıraya yerleştirilen kriter, yine çevresel faktörler boyutunun altında yer alan *çevresel farkındalık* kriteridir. Kriterler içinde en düşük ağırlığa sahip olan kriter ise ekonomik faktörler boyutunda yer alan *süre* kriteridir. Tüm bu kriter ağırlıklarına bakılarak karar vericilerin tersine lojistik faaliyetleri kapsamında bir nedenden fabrikaya dönen ürünlerin yeniden değerlendirilmesinin temelinde çevresel ve sosyal önceliklerin ekonomiklikten daha önce geldiği söylenebilir.

4.2. Bulanık VIKOR Metodu ile Alternatiflerin Değerlendirilmesi:

Oluşturulan 6 kişilik proje grubu ve literatürden elde edilen bilgiler doğrultusunda, elektronik atıkların geri kazanımı için belirlenen sekiz alternatif, yedi kriter çerçevesinde uzman grubu tarafından değerlendirilmiştir. Karar vericiler tarafından kriterlerin önem düzeyi ile her bir alternatifin bu kriterlere göre değerlendirmeleri yapılmıştır. (13) ve (14) no'lu eşitlikler yardımıyla elde edilen Bulanık Karar Matrisi Tablo 8'de gösterilmiştir.

Tablo 8. Bulanık Karar Matrisi

KRİTERLER	ALTERNATİFLER																				
	A ₁			A ₂			A ₃			A ₄			A ₅			A ₆			A ₇		
Maliyet	1,2 5	2,9 2	5,42	2,0 8	4,5 8	7,08	1,2 5	2,9 2	5,42	4,1 7	6,6 7	8,7 5	3,3 3	5,8 3	8,33	5,0 0	7,5 0	9,17	2,5 0	3,7 5	5,4 2
Süreç Uzunluğu	0,8 3	1,6 7	4,17	1,6 7	4,1 7	6,67	2,5 0	5,0 0	7,50	4,1 7	6,6 7	9,1 7	2,9 2	5,4 2	7,92	5,4 2	7,9 2	9,17	5,4 2	7,9 2	9,1 7
Ekonomik Kazanç	5,0 0	7,5 0	8,75	5,4 2	7,9 2	9,58	4,5 8	7,0 8	9,17	4,5 8	7,0 8	9,1 7	5,4 2	7,9 2	9,58	5,8 3	8,3 3	10,0 0	0,4 2	1,2 5	3,7 5
Ürün Kalitesi	4,5 8	7,0 8	9,17	5,0 0	7,5 0	10,0	4,1 7	6,6 7	8,75	2,9 2	5,4 2	7,9 2	3,7 5	6,2 5	8,75	4,1 7	6,6 7	8,75	0,4 2	0,8 3	3,3 3
Çevresel Farkındalık	6,2 5	8,7 5	10,0 0	4,1 7	6,6 7	9,17	5,8 3	8,3 3	9,17	4,1 7	6,6 7	8,7 5	5,4 2	7,9 2	10,0 0	5,0 0	7,5 0	9,58	0,8 3	1,2 5	3,7 5
Yasal Düzenleme	3,7 5	6,2 5	8,75	3,7 5	6,2 5	8,75	5,0 0	7,5 0	8,75	2,5 0	5,0 0	7,5 0	1,6 7	4,1 7	6,67	2,9 2	5,4 2	7,92	1,6 7	4,1 7	6,6 7
Kirlilik	4,5 8	7,0 8	8,75	5,0 0	7,5 0	9,17	4,5 8	7,0 8	8,75	4,5 8	7,0 7	9,1 5	3,7 5	6,2 5	8,33	5,0 0	7,5 0	9,17	0,8 3	1,2 5	3,7 5
Sosyal Sorumluluk	6,2 5	8,7 5	10,0 0	5,0 0	7,5 0	9,58	7,0 8	9,5 8	10,0 0	4,1 7	6,6 7	8,3 3	5,0 0	7,5 0	9,58	5,4 2	7,9 2	9,58	2,5 0	3,7 5	5,4 2

(16) ve (17) no'lu eşitlikler yardımıyla elde edilen \tilde{S}_i ve \tilde{R}_i değerleri Tablo 9'da gösterilmiştir.

Tablo 9. \tilde{S}_i ve \tilde{R}_i değerleri

ALTERNATİFLER	\tilde{S}_i			\tilde{R}_i		
	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>
Yeniden Üretim (A ₁)	0,236	0,222	0,149	1,938	0,124	2,649
Yenileştirme (A ₂)	0,409	0,385	0,256	0,120	0,124	0,123
Geri Dönüşüm (A ₃)	0,179	0,180	0,195	0,120	0,124	0,123
Yamyamlaştırma (A ₄)	0,619	0,557	0,508	2,092	0,169	0,133
Tamir Etme (A ₅)	0,463	0,445	0,369	2,030	0,121	0,112
Doğrudan Yeniden Kullanım (A ₆)	0,505	0,467	0,372	0,133	0,133	0,133
Yakma/Gömme (A ₇)	0,797	0,781	0,762	0,339	0,339	0,339

(20) no'lu eşitlik aracılığıyla \tilde{Q}_i değeri bulunmuştur. Denklemde yer alan *v* değeri konsensusu sağlamak için 0,5 olarak alınmıştır. Elde edilen bulanık sayıları durulaştırmak amacıyla (21) no'lu eşitlikten yararlanılmış ve Q_i , S_i ve R_i indeksleri hesaplanmıştır. Bu indeks değerlerine göre alternatifler Tablo 10 yardımıyla sıralanmıştır.

Tablo 10: Q_i , S_i ve R_i değerleri ve alternatiflerin bu değerlere göre sıralamaları

ALTERNATİFLER	\tilde{Q}_i			Q		S_i		R_i	
	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>	İndeks	Sıra	İndeks	Sıra	İndeks	Sıra
Yeniden Üretim (A ₁)	0,507	0,042	0,500	0,3494	4	0,2021	2	1,5702	7
Yenileştirme (A ₂)	0,186	0,178	0,089	0,1509	2	0,3501	3	0,1221	2
Geri Dönüşüm (A ₃)	0,000	0,007	0,039	0,0154	1	0,1846	1	0,1221	1
Yamyamlaştırma (A ₄)	0,856	0,425	0,297	0,5259	6	0,5616	6	0,7980	6
Tamir Etme (A ₅)	0,714	0,220	0,179	0,3711	5	0,4255	4	0,7545	5
Doğrudan Yeniden Kullanım (A ₆)	0,267	0,266	0,186	0,2396	3	0,4480	5	0,1329	3
Yakma/Gömme (A ₇)	0,846	1,299	0,788	0,9775	7	0,7803	7	0,3388	4

Uzlaşmacı çözüm belirleme aşamasında 1. ve 2. koşulların sağlanıp sağlanmadığı araştırılmıştır.

1.Koşul: Kabul Edilebilir Avantaj: (22) ve (23) no'lu eşitlikler yardımıyla kabul edilebilir avantaj değerleri belirlenmiştir. $Q(a'') - Q(a') = 0,150 - 0,015 = 0,135 < 0,17$; ($DQ=1/(7-1)=0,17$) Geri dönüşüm alternatifi ile yenileştirme alternatifi aynı uzlaşık çözümlerdir.

2.Koşul: Karar Vermede Kabul Edilebilir İstikrar: Q_i, S_i ve R_i indekslerine göre yapılan sıralamalar Tablo 11'de gösterilmiştir.

Tablo 11: Karar vermede kabul edilebilir istikrar

Q_i	A3>A2>A6>A1>A5>A4>A7
S_i	A3>A1>A2>A5>A6>A4>A7
R_i	A2=A3>A6>A7>A5>A4>A1

Karar: Geri Dönüşüm S_i indeksine göre 1.sıradadır. Dolayısıyla alternatif kabul edilebilir istikrar koşulunu sağlamaktadır. Tek bir alternatif seçilecekse, *Geri Dönüşüm* alternatifi seçilmelidir. Ancak eğer iki alternatif seçilecekse, *Geri Dönüşüm* ve *Yenileştirme* alternatifleri aynı uzlaşık çözümlerdir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Faydalı ömrünü tamamlamış ürünlerin yeniden değer yaratılması ve etkin kaynak kullanımı amacıyla geri kazanım faaliyetlerine konu olması günümüzde giderek önem kazanmıştır. Geri kazanım faaliyetleri bir çok ülkenin kalkınma politikası içerisinde, üzerinde projeler hazırlanan önemli bir alanı temsil etmektedir. Geri kazanım işlemleri, mikro ölçekte firma, makro ölçekte ülke ekonomisine olan ekonomik katkısının yanı sıra; sosyal sorumluluk bilincinin gelişmesi ve üretim sistemlerinin de daha çevreci bir hal almasına destek olmaktadır. Çalışma kapsamında, ülkemizde yeni yeni gelişmeye başlayan geri kazanım alternatiflerinin seçimi konusunda verilecek olan kararların kesin bir şekilde ortaya konması zor olacağı için, bulanık yaklaşım çerçevesinde DANP yöntemi ile kriterlerin, bulanık VIKOR yöntemi ile de alternatiflerin değerlendirilmesi yapılmıştır. Alternatiflerin değerlendirilmesi aşamasında kullanılan VIKOR yöntemi, en iyi alternatifi sunmasının yanı sıra çoklu alternatif seçimi aşamasında uzlaşık diğer alternatifler hakkında da bilgi vermesi açısından tercih edilmiştir.

Karar verici uzman grubuyla yapılan görüşmeler neticesinde geri kazanım alternatiflerinin tercihi hususunda en önemli kriterin sosyal sorumluluk olması ve maliyet kriterinin daha alt sıralarda yer alması; bu konuda oluşan/oluşacak olan bilincin bir yansımasıdır. Yapılan analizler sonucunda alternatifler içerisinde geri dönüşümün ilk sırada yer alması ise hali hazırda ülke çapında bazı büyük illerde ve sanayi merkezlerinde geri dönüşümle ilgili tesislerin kurulması ve Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından 2012 yılında yayınlanan "Atık Elektrikli ve Elektronik Eşyaların Kontrolü Yönetmeliği" kapsamında, ömrünü tamamlamış elektronik eşyaların öncelikli olarak geri dönüşümünü teşvik edici maddeler oluşturmasıdır. Diğer yandan yenileştirme alternatifinin uzlaşık çözümü vermesi de karar vericiler açısından iki alternatifin seçilmesinin gerekli olduğu durumlarda önemli bir karar noktasını ifade etmektedir. Gelecek çalışmalarda elektronik ürün gruplarının tam olarak belirlenerek, her bir ürün grubu için ayrı ayrı değerlendirmeler yapılarak, ürün bazında daha özel araştırma sonuçları oluşturulmalıdır.

TEŞEKKÜR

Yazarlar, Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi'nde yayınlanmasına karar verilen çalışmalarının inceleme aşamasını yürüten dergi editörleri ve eleştirileriyle çalışmalarına katkı sağlayan hakemlere teşekkür ederler.

KAYNAKLAR

1. Agrawal, S., Singh, R.K. ve Murtaza, Q. (2016) Disposition Decisions in Reverse Logistics by Using AHP-Fuzzy TOPSIS Approach, *Journal of Modelling in Management*, 11(4), 932-948. doi: 10.1108/JM2-12-2014-0091.
2. Akyüz, G. (2012) Bulanık VİKOR Yöntemi ile Tedarikçi Seçimi, *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, Cilt: 26, Sayı: 1, 197-215.
3. Arıkan, E., Şimşit-Kalender, Z.T. ve Vayvay, Ö. (2017) Solid Waste Disposal Methodology Selection Using Multi-Criteria Decision Making Methods and An Application in Turkey, *Journal of Cleaner Production*, 142, Bölüm 1, 403-412. Doi: 10.1016/j.jclepro.2015.10.054
4. Bouzon, M., Govindan, K., Rodriguez, C.M.T. ve Campos, L.M.S. (2016) Identification and Analysis of Reverse Logistics Barriers Using Fuzzy Delphi Method and AHP, *Resources, Conservation and Recycling*, 108, 182-197. Doi: 10.1016/j.resconrec.2015.05.021.
5. Chang, B., Chang, C.W. ve Wu, C.H. (2011) Fuzzy Dematel Method for Developing Supplier Selection Criteria, *Expert Systems with Applications*, 38(3), 1850-1858. doi: 10.1016/j.eswa.2010.07.114.
6. Chen, L.Y. ve Wang, T.C. (2009) Optimizing Partners' Choice in IS/IT Outsourcing Projects: The Strategic Decision Of Fuzzy VIKOR, *International Journal of Production Economics*, 120(1), 233-242. doi: 10.1016/j.ijpe.2008.07.022.
7. Chuo, Y.C., Yang, C.-H., Lu, C.-H., Dang, V.T. ve Yang, P.A. (2017) Building Criteria for Evaluating Green Project Management: An Integrated Approach of Dematel and ANP, *Sustainability*, 9(5), 1-17. doi: 10.3390/su9050740
8. Cui, J. ve Zhang, L. (2008) Metallurgical recovery of metals from electronic waste: a review. *Journal of hazardous materials*, 158(2-3), 228-256. doi: 10.1016/j.jhazmat.2008.02.001
9. Feito-Cespon, M., Sarache, W., Piedra-Jimenez, F. Ve Cespon-Castro, R. (2017) Redesign of A Sustainable Reverse Supply Chain under Uncertainty: A Case Study, *Journal of Cleaner Production*, 151, 206-217. doi: 10.1016/j.jclepro.2017.03.057
10. Flylgansvaer, B., Dahlstrom, R. Ve Nygaard, A. (2018) Exploring the Pursuit of Sustainability in Reverse Supply Chains for Electronics, *Journal of Cleaner Production*, 189, 472-484. doi: 10.1016/j.jclepro.2018.04.014
11. Hsieh, T.-Y., Lu, S.-T. ve Tzeng, G.-H. (2004) Fuzzy MCDM approach for planning and design tenders selection in public office buildings, *International Journal of Project Management*, 22(7), 573-584. doi: 10.1016/j.ijproman.2004.01.002
12. Hung, C-H. Ve Lee, W-Y. (2016) A Proactive Technology Selection Model for New Technology: The Case of 3D IC TSV, *Technological Forecasting and Social Change*, 103, 191-202. doi: 10.1016/j.techfore.2015.11.009
13. Jain, V. ve Khan, S.A. (2016) Reverse Logistics Service Provider Selection: A TOPSIS-QFD Approach, *Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM)*, 2016 IEEE International Conference , Bali, 803-806.
14. Jindal, A. ve Sangwan, K.S. (2016) A Fuzzy Based Decision Support Framework for Product Recovery Process Selection in Reverse Logistics, *International Journal of Services and Operations Management*, 25(4), 413-439. doi: 10.1504/IJSOM.2016.080274

15. Kaya, M. (2016) Recovery of metals from electronic waste by physical and chemical recycling processes. *International Journal of Chemical, Molecular, Nuclear, Materials and Metallurgical Engineering*, 10(2), 232-243.
16. Kızılkaya-Aydoğan, E. ve Özmen, M. (2016) The Stochastic VIKOR and Its Use in Reverse Logistic Option Selection Problem, *Rairo-Operations Research*, 1(1), 1-10.
17. Liu, K-M., Lin, S-H., Hsieh, J-C. ve Tzeng, G-H. (2018) Improving the Food Waste Composting Facilities Site Selection for Sustainable Development Using a Hybrid Modified MADM Model, *Waste Management*, 75, 44-59. doi: 10.1016/j.wasman.2018.02.017.
18. Liu, C.H., Tzeng G.H. ve Lee M.H. (2012) Improving Tourism Policy Implementation - The Use of Hybrid MCDM Models, *Tourism Management*, 33(2), 413-426. doi: 10.1016/j.tourman.2011.05.002.
19. Lou, K.H. ve Wang, Y. (2009) Reverse Logistics in the Electronic Industry of China: A Case Study, *Supply Chain Management: An International Journal*, 14(6), 447-465. doi: 10.1108/13598540910995228
18. Mahapatara, S.S., Sharma, S.K. ve Parappagoudar, M.B. (2013) A Novel Multi-Criteria Decision Making Approach for Selection of Reverse Manufacturing Alternatives, *International Journal of Services and Operations Management*, 15(2), 176-195. doi: 10.1504/IJSOM.2013.053644
20. Nakıboğlu, G. (2007) Tersine Lojistik: Önemi ve Dünyada Uygulamaları, *Gazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 9(2), 181-196.
21. Opricovic, S. (1998) Multi-criteria optimization of civil engineering systems. Belgrade: Faculty of Civil Engineering.
22. Opricovic, S. (2011) Fuzzy VIKOR With An Application To Water Resources Planning, *Expert Systems with Applications*, 38, 12983-12990. doi: 10.1016/j.eswa.2011.04.097
23. Opricovic, S. ve Tzeng, G.H. (2004) Compromise Solution By MCDM Methods: A Comparative Analysis of VIKOR and TOPSIS, *European Journal of Operational Research*, 156(2), 445-455. doi: 10.1016/S0377-2217(03)00020-1
24. Opricovic, S. ve Tzeng, G.-H. (2003) Defuzzification within A Multicriteria Decision Model, *International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems*, 11(5), 635-652. doi:10.1142/S0218488503002387.
25. Özdemir, Ö. (2010), Product Recovery Systems: A Review Of The Current Literature And Research Opportunities, *ODÜ Sosyal Bilimler Enstitüsü Sosyal Bilimler Araştırmaları Dergisi*, 1(2), 111-134.
26. Özmen, M. ve Kızılkaya-Aydoğan, E. (2013) Reverse Logistics Options Selection Problem: An Application of SMAA-2, *IX. International Logistics Supply Chain Congress*, Nevşehir, 673-680.
27. Prakash, C. ve Barua, M.K. (2016) An Analysis of Integrated Robust Hybrid Model for Third-Party Reverse Logistics Partner Selection under Fuzzy Environment, *Resources, Conservation and Recycling*, 108, 63-81. doi: 10.1016/j.resconrec.2015.12.011
28. Ravi, V. ve Shankar, R. (2012) Evaluating Alternatives in Reverse Logistics for Automobile Organisations, *International Journal of Logistics Systems and Management*, 12(1), 32-51. doi: 10.1504/IJLSM.2012.047057

29. Ravi, V., Shankar, R. ve Tiwari, M.K. (2005) Analyzing Alternatives in Reverse Logistics for End-of-Life Computers: ANP and Balanced Scorecard Approach, *Computers & Industrial Engineering*, 48, 327-356. doi: 10.1016/j.cie.2005.01.017
30. Ravi, V., Shankar, R. ve Tiwari, M.K. (2008) Selection of A Reverse Logistics Project For End-of-Life Computers: ANP and Goal Programming, *International Journal Of Production Research*, 46(17), 4849-4870.
31. Sharma, S. K., Mahapatra, S.S. ve Parappagoudar, M.B. (2016) Benchmarking of Product Recovery Alternatives in Reverse Logistics, *Benchmarking: An International Journal*, 23(2), 406-424. doi: 10.1108/BIJ-01-2014-0002
32. Samantra, C., Sahu, N.K., Datta, S. ve Mahapatara, S.S. (2013) Decision-making in selecting reverse logistics alternative using interval-valued fuzzy sets combined with VIKOR approach, *International Journal of Services and Operations Management*, 14(2), 175-196. doi: 10.1504/IJSOM.2013.051828
33. Sun, Z., Cao, H., Xiao, Y., Sietsma, J., Jin, W., Agterhuis, H., ve Yang, Y. (2016) Toward sustainability for recovery of critical metals from electronic waste: the hydrochemistry processes. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 5(1), 21-40. doi: 10.1021/acssuschemeng.6b00841
34. Tosun, N., (2017) Target Market Selection in Fresh Fruit-Vegetable Sector Using Fuzzy VIKOR Method. *Journal of Management, Marketing and Logistics (JMML)*, 4(4), 465-471. doi: 10.17261/Pressacademia.2017.734
35. Tuzkaya, G. ve Gulsun, B. (2008) Evaluating Centralized Return Centers in a Reverse Logistics Network: An Integrated Fuzzy Multi-Criteria Decision Approach, *International Journal of Environmental Science and Technology*, 5(3), 339-352. doi: 10.1007/BF03326029
36. Tzeng, G.H., Chiang, C.H. ve Li, C.W. (2007) "Evaluating Intertwined Effects in E-Learning Programs: A Novel Hybrid MCDM Model Based on Factor Analysis and Dematel", *Expert Systems with Applications*, 32(4), 1028-1044. doi: 10.1016/j.eswa.2006.02.004
37. Wang, Z., Ren, J., Goodsite, M.E. ve Xu, G. (2018) Waste-to-energy, Municipal Solid Waste Treatment, and Best Available Technology: Comprehensive Evaluation by an Interval-Valued Fuzzy Multi-Criteria Decision Making Method, *Journal of Cleaner Production*, 172, 887-899. doi: 10.1016/j.jclepro.2017.10.184
38. Yang, Y.P.O., Shieh H.M. ve Tzeng, G.H. (2013) A VIKOR Technique Based on Dematel and ANP for Information Security Risk Control Assessment, *Information Sciences*, 232, 482-500. doi: 10.1016/j.ins.2011.09.012.
39. Yıldız, A. ve Deveci, M. (2013) Bulanık VIKOR Yöntemine Dayalı Personel Seçim Süreci", *Ege Akademik Bakış*, 13(4), 427-436.
40. Yu, H. ve Solvang, W.D. (2016) A Stochastic Programming Approach with Improved Multi-Criteria Scenario-Based Solution Method for Sustainable Reverse Logistics Design of Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE), *Sustainability*, 8(12), 1-28. doi: 10.3390/su8121331
41. Zhao, Y., Cao, Y., Li, H., Wang, S., Liu, Y., Li, Y. ve Zhang, Y. (2018) Bullwhip Effect Mitigation of Green Supply Chain Optimization in Electronics Industry, *Journal of Cleaner Production*, 180, 888-912. doi: 10.1016/j.jclepro.2018.01.134

42. Ziout, A., Azab, A. ve Atwan, M. (2014) A Holistic Approach for Decision on Selection of End-of-Life Products Recovery Options, *Journal of Cleaner Production*, 65, 497-516. doi: 10.1016/j.jclepro.2013.10.001.