



## **Geri Dönüşüm Süreci İçin Yeni Bir Bulanık Envanter Modeli** **A New Fuzzy Inventory Model for the Recycling Process**

**Şeyma Çelik Eroğlu<sup>1\*</sup>**, **Yusuf Şahin<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Burdur, TÜRKİYE

<sup>2</sup> Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi İşletme Bölümü, Burdur, TÜRKİYE

Sorumlu Yazar / Corresponding Author \*: [sseymacelik@gmail.com](mailto:sseymacelik@gmail.com)

Geliş Tarihi / Received: 19.12.2021

Araştırma Makalesi/Research Article

Kabul Tarihi / Accepted: 23.07.2022

DOI:10.21205/deufmd.2023257303

Atıf şekli/ How to cite: ÇELİK EROĞLU, Ş., ŞAHİN, Y. (2023). Geri Dönüşüm Süreci İçin Yeni Bir Bulanık Envanter Modeli. DEÜ FMD 25(7), 21-36.

### **Öz**

Kullanım ömrü sona eren ürünlerin çeşitli işlemlerden sonra yeniden kullanılabilir hale getirilmesi çevresel, ekonomik ve sosyal alanlarda insanlığa birçok fayda sağlar. Çevrenin korunması, hammadde ihtiyacının azalması, kaynakların ekonomik kullanımı ve kirliliğin azaltılması gibi faydaları nedeniyle de geri dönüşüm sektörünün önemi dünya çapında giderek artmaktadır. Bu çalışmada, geri dönüşüm sürecini içeren bulanık bir stok modeli önerilmiştir. İlk olarak, Dobos ve Richter (2003) tarafından geliştirilen sabit talep ve geri dönüş oranlarına sahip genişletilmiş bir üretim/geri dönüşüm modeli atıkların yok edilme süreci ve oluşacak stok düzeyi bakımından yeniden düzenlenmiştir. Ardından talep, marjinal geri alma ve marjinal kullanım oranı parametreleri yamuk bulanık sayı olarak kabul edilip model bulanıklaştırılmıştır. Durulaştırma işlemi için kademeli ortalama entegrasyon temsil yöntemi kullanılmıştır. Böylece birim zamandaki toplam maliyet ve optimal çevrim süresi deterministik değerler olarak ifade edilmiştir. Çözülen problemin sonuçları değerlendirildiğinde, önerilen bulanık stok modelinin temel alınan deterministik stok modeline kıyasla çevrim süresi bakımından daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Stok modeli, Geri Dönüşüm, Bulanık Mantık, GMIR Modeli

### **Abstract**

Making products that have reached the end of their lifespan reusable after several processes provide many benefits to human beings in environmental, economic, and social areas. The importance of the recycling industry is increasing worldwide due to its benefits such as environmental protection, reduction of raw material needs, economical use of resources, and reduction of pollution. In this study, a fuzzy inventory model including the recycling process is proposed. Firstly, an expanded production/recycling model with fixed demand and return rates developed by Dobos and Richter (2003) is rearranged in terms of the waste disposal process and the level of stock to be created. Then, the model is fuzzified by taking the demand, marginal recovery, and marginal utilization rate parameters as trapezoidal fuzzy numbers. The graded mean integration representation method was used for the defuzzification process. Thus, the total cost per unit time and the optimal cycle time are expressed as deterministic values. When the results of the solved problem are evaluated, it is observed that the proposed fuzzy stock model gives better results for cycle times compared to the deterministic stock model based on.

**Keywords:** Inventory Model, Recycling, Fuzzy Logic, GMIR Model

## 1. Giriş

İlk resmi stok kaydı 19. yy'a dayanıyor olsa da insanoğlu varoluşundan beri ihtiyacı olan veya olacağını düşündüğü her şeyi saklama eğilimindedir. Bu saklama alışkanlığı günümüz stok kavramı ve sistemlerinin temelini oluşturmuştur. Kavramsal olarak; ihtiyaç duyulana kadar saklanan malzemelerin depolanması "stok" olarak ifade edilmektedir. Sistem içinde yer alan bir diğer kavram olan "envanter" ise stokta tutulan kalemlerin listesine karşılık gelir [1]. Bu bağlamda stok kavramının daha kapsamlı bir ifade olduğu söylenebilir.

Stok kavramının temeli ihtiyaçlara dayanır. Aynı zamanda stok, üretim sürecindeki aksaklık/arızalara karşı alınan bir önlem olarak da ele alınmaktadır. Hem kapsamı hem de gerekliliği dikkate alındığında, stok kavramının insanoğlunun sürekli gelişen ve değişen yaşamı, yaşam koşulları ve ihtiyaçları için büyük önem arz ettiği görülmektedir. Günümüz işletmeleri ise sektörel faaliyetlerinin yanı sıra bir takım amaçlar nedeniyle stok bulundurur. Bu stoklar, çeşitli kalemleri içermekte ve oldukça geniş kapsamlı olarak ele alınmaktadır. Stok kontrolü için stok kontrol politikaları benimsenmekte ve bu durum stok kontrol sistemlerinin oluşumu ile sonuçlanmaktadır [2].

Ekonomik, çevresel, sosyal faydalar sağlayan ve birçok sektörü içinde barındıran, geri dönüşüm endüstrisi stok ve stok yönetimi kavramlarının oldukça önemli olduğu bir alandır. Geri dönüşüm, üretim ve tüketim faaliyetleri sonucunda oluşan ve yeniden değerlendirilme imkânı olan atıkların, çeşitli fiziksel ve/veya kimyasal işlemlerden geçirilip ikincil hammaddeye dönüştürülmesi ve tekrar üretim sürecine dâhil edilmesi olarak tanımlanır. Başlıca amacı ise kaynakların olabilecek en etkili şekilde kullanılmasını sağlamak ve kaynağında ayrıştırma ile birlikte hurdaya ayrılacak atık miktarının azaltılmasıdır [3]. Atıkların azalması doğal kaynakların korunmasını sağlarken, atıkların yeniden kullanılabilir hale dönüşmesi ise ürünlerin kullanım süreleri bakımından avantaj sağlar. Böylece bir sistem içerisinde yer alan girdi kaynakları için karşılaşılabilecek kıtlık durumunun ortaya çıkma olasılığı azaltılabilir. Bu sayede, bir taraftan enerji tasarrufu sağlanırken diğer taraftan depolama için ayrılan alanlar azaltılmaktadır. Bu durum atıklara bağlı olarak ortaya çıkabilecek çevresel sorunların en aza indirgenmesi ve ekonomik

verimliliğin artırılmasına yardımcı olmaktadır [4]. Burada sayılan faydaların ve daha fazlasının reel düzeyde elde edilebilmesi sürdürülebilir bir geri dönüşüm sistemi oluşturulmasına bağlıdır. Hiç kuşkusuz stok yönetimi de sürdürülebilir geri dönüşüm sistemi oluşturabilmenin temel bileşenlerinden birini oluşturur.

Stok kontrol problemlerinde amaç toplam maliyeti minimum veya toplam kârı maksimum yapacak sipariş ve üretim miktarını tespit etmektir. Stok yönetim sisteminin cevaplaması gereken temel sorular ne zaman ve ne kadar sipariş verileceği ya da üretim yapılacağıdır [5]. Sayılan faktörlerin belirlenmesi için basit kabul edilebilecek pek çok yöntem olmasının yanı sıra karmaşık problemlerin çözümünde daha çok matematiksel modeller tercih edilmektedir. Bu amaçla geliştirilmiş en temel ve stok kontrol modelleri içerisinde en çok kullanılan iki model "Ekonomik Sipariş Miktarı (ESM)" ve "Ekonomik Üretim Miktarı (EÜM)" modelleridir [6]. Deterministik stok modelleri olarak bilinen bu modeller talep ve diğer maliyet parametreleri için kesin ve net varsayımlara sahiptir. Aynı zamanda bu varsayımlar ışığında optimal miktarları belirlemek için geliştirilmiştir [7]. Fakat bu modellerin, sistemlerin içerdiği birçok belirsizlik dikkate alındığında gerçek hayattaki problemleri yansıtmakta yetersiz kaldığı görülmektedir. Dolayısıyla bir işletmenin kârlılığını etkilemeden çevresel ve sosyal etkileri azaltmayı amaçlayan sürdürülebilir bir stok yönetimi söz konusu değildir [8]. Çevresel sosyal faktörler bakımından eleştirilen, gerçek dünya problemlerinin çözülmesinde yetersiz kalan ve sürdürülebilir bir stok sistemini temsil etmede yetersiz kabul edilen bu modellerin geliştirilmesi gerekir [9]. Bu çalışmada, çevresel, ekonomik ve sosyal anlamda birçok fayda sağlayan geri dönüşüm sektörü için yeni bir stok modeli önerilmiştir. Çalışmanın ikinci bölümünde deterministik ve bulanık stok modelleri ile ilgili literatür araştırması yer almaktadır. Üçüncü bölümde kullanılan materyal ve metod açıklanmaktadır. Önerilen stok modelinin detayları dördüncü bölümde bulgular başlığı altında anlatılmaktadır. Beşinci bölümde deneysel çalışma, son kısımda ise sonuç ve öneriler yer almaktadır.

## 2. Literatür Araştırması

Literatürde, stok modellerinin eksik kalan yönlerinden yola çıkarak konu, sektör ve varsayım temelinde bir takım güncellemeler

yapılarak oluşturulan sayısız stok modeli bulunmaktadır. Değişken maliyet, değişken talep, tamir, stoksuzluk, enflasyon ve büyüme etkisi gibi durumlar yapılan bu güncellemelerden bazılarıdır [10].

Geri dönüşüm süreci incelendiğinde, özellikle atıkların elde edilmesi olmak üzere birçok aşamada yaşanan belirsizliklerin olduğu ve süreci olumsuz yönde etkilediği görülmektedir. Deterministik stok modelleri arasında özellikle geri dönüşüm sürecinin yer aldığı stok modellerinde, sektör içinde yaşanan veya yaşanabilecek belirsizliklerin etkisini azaltmak için bulanık mantık yaklaşımı yaygın olarak kullanılmaktadır.

Geri dönüşüm sürecinin deterministik stok modellerine eklenmesi ilk olarak Koh vd. [11] tarafından ele alınmıştır. Bu çalışmada, talebin geri kazanılmış ürünler ve yeni satın alınan ürünlerle karşılanabileceği ortak bir ESM ve EÜM modeli önerilmiştir. Teunter [12], yeni ürünlerin üretimi/tedariki ve iade edilen ürünlerin geri kazanımı için en uygun parti büyüklüklerini belirleyen basit formüller türetmiştir. Dobos ve Richter [13] sabit talep ve getiri oranları ile yeni bir üretim/geri dönüşüm modeli geliştirmiştir. Yine Dobos ve Richter [14] iki tip modelin analizinin yapıldığı entegre bir üretim/geri dönüşüm modeli önermiştir. Choi ve Hwang [15], durağan kabul edilen talebin yeni ve geri dönüştürülmüş ürünler ile karşılanabileceği bir model geliştirmiştir. Konstantaras ve Skouri [16] üretim ve yeniden imalatla talebin karşılanabildiği yeni bir üretim/yeniden imalat stok sisteminin ortaya koymuştur. Hishamuddin vd. [17] ve Schulz ve Voigt [18] ise stok modellerini sezgisel yaklaşım ile birlikte değerlendirmeye almıştır. Kozlovskaya vd. [19] geri dönüşüm ürünleri üzerinden bir tedarikçi ve birden fazla alıcının olduğu bir tedarik zinciri yönetim modeli geliştirmiştir. Marshall ve Vierstra [20] iki ayrı model ortaya koymuştur. İlk model geri dönüşüm ile ürünlerin kazanılmasını ikinci model ise kazanılan ürünlerin birleştirilerek yeni ürünler ortaya çıkarılması sürecini işlemektedir. Rani vd. [21] var olan stokların sabit bir oranda doğada kütülebileceğini varsaymaktadır. Buna dayanarak üreticinin perakendeciye ödeme yapabilmesi için izin verilen bir gecikme süresi ve perakendecinin de müşteriye ticari kredi süresi sağladığı bir stok modeli önermiştir. Eroğlu ve Aydemir [22] kusursuz bir geri

dönüşüm süreci tasarımını içeren bir model geliştirmiştir. Bunun için toplanan tüm ürünlerin geri dönüşüm veya kısmi geri dönüşüm ile işlendiği kalan kısmının ise tamir edilebilir olduğu varsayılmıştır. Mohapatra vd. [23], alüminyum içecek kutularının üretim, geri dönüşüm ve yeniden kullanımının olduğu bir stok modeli ortaya koymuştur. Liao ve Li [24] kapalı döngü tedarik zinciri sistemi için yeniden üretim konulu bir ESM modeli geliştirmiştir. Çalışmanın odak noktası ise yeniden üretim sürecinin beraberinde getirdiği talep belirsizlikleri ile birlikte hem çevresel hem de ekonomik üretim verimliliğini elde etmek için en uygun satın alma stratejisinin belirlenebilmesidir.

Bulanık küme teorisinin 1965'te Zadeh tarafından tanımlanması ile bulanık yaklaşım literatüre girmiştir [25]. Fakat stok modellerine bulanık yaklaşımın uygulanması ile oluşturulan ilk bulanık stok modellerinin 1980'lerde ortaya çıktığı görülmektedir. Kacprzyk ve Staniweski [26], bulanık bir stok kontrol problemi için optimal çözüm sonuçlarını elde etmiştir. Petrovic ve Sweeney [27], talep, tedarik süresi ve stok seviyesinin üçgen sayılar ile bulanıklaştırıldığı bir stok modeli önermiştir. Chen vd. [28], yıllık talep miktarı, sipariş verme, stokta tutma ve maksimum stoksuzluk maliyetleri için yamuk bulanık sayıları kullanmıştır. Chang vd. [29], maksimum stoksuzluk miktarının üçgen bulanık sayılarla ifade edildiği bir model ortaya koymuştur. Yao vd. [30], stoksuzluğa izin vermeyen klasik ekonomik sipariş miktarı modelinde sipariş miktarı ve talebi parametrelerini üçgen bulanık sayı olarak tanımlamıştır. Kao ve Hsu [31] stoksuzluğa izin veren ve talep miktarının bulanık sayı olması varsayımları ile yeniden sipariş noktalarının farklı olduğu durumlar için bir stok kontrol modeli geliştirmiştir. Chang [32], talep ve kusurlu ürün oranının bulanıklaştırıldığı ve optimal sipariş miktarı işaretli uzaklık yönteminin kullanıldığı bir model geliştirmiştir. Björk [33] tarafından önerilen üretim miktarı modelinde ise çevrim süresi bulanıklaştırılmıştır. Kazemi vd. [34] stoksuzluk durumuna izin veren, sipariş miktarı ve stoksuzluk miktarlarının bulanıklaştırıldığı stok modelinde GMIR yöntemini durulaştırma için kullanmıştır. Jaggi vd. [35], geliştirdikleri bulanık ekonomik sipariş miktarı modelinde; talep, stokta tutma, satın alma, stoksuzluk maliyetleri ve bozulma oranını yamuk bulanık sayı olarak tanımlamıştır. Toplam maliyet

fonksiyonu ise GMIR, işaretli uzaklık ve merkezi yöntem olmak üzere farklı yöntem kullanılarak durulaştırılmıştır. Jana vd. [36], üretim, stokta tutma ve reklam maliyetlerinin bulanık kabul edildiği, depo ve yatırım kısıtlamaları varsayımları ile çok ürünlü çok amaçlı üretim modeli geliştirmiştir. Sahoo vd. [37] değişen talep, bozulma ve hurda varsayımları altında bulanık bir stok modeli ortaya koymuştur. Modelde, bozulma oranı, talep, stok tutma maliyeti, birim maliyet ve hurda değeri yamuk bulanık sayı olarak ele alınmıştır. Samanta vd. [38] bulanıklaştırma için altıgen bulanık sayıları ve durulaştırma için ise işaretli mesafe yöntemini kullanmıştır. Rani vd. [39], talebin tam olarak bilindiği, bozulma ve geri dönüş oranı parametrelerinin ise bulanık varsayıldığı yeni bir model geliştirmiştir. Modelde bulanıklaştırma işlemi için üçgen bulanık sayılar, durulaştırma için ise işaretli uzaklık yöntemi kullanılmıştır. Khatua vd. [40] tek bir üretim dönemi içeren stok kontrol modelini bulanık yaklaşım ile birlikte değerlendirmiştir. Jeyakumari vd. [41] ESM modelinin beşgen bulanık sayılar ile birlikte değerlendirildiği yeni bir stok modeli ortaya koymuştur. Modelde satın alma maliyeti, depolama maliyeti ve yıllık faiz gibi parametreler bulanık kabul edilmiştir. Durulaştırma yöntemi olarak GMIR tekniği kullanılmıştır.

Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde, geri dönüşüm sürecinin stok modelleri ile birlikte değerlendirildiği az sayıda stok modeli geliştirildiği gözlemlenmiştir. Bu çalışmada ise geri dönüşüm sürecinin dikkate alındığı yeni bir model ortaya konulmaktadır. Önerilen modelin sürdürülebilir geri dönüşüm sistemi kurulabilmesine katkı sağlaması ve sistem için bir basamak olma niteliği taşıması amaçlanmaktadır.

### 3. Materyal ve Metot

#### 3.1. Stok yönetimi

Her ne kadar stok bulundurma ekstra maliyet anlamına gelse de faaliyetlerde sürekliliğin sağlanabilmesi için işletmeler belirli miktarda güvenlik stoku bulundurmaları zorunda kalmaktadır. Ayrıca bulundurdukları stoklar işletmeler için olası nakit akışı, ürün teslim süresi, malzeme kalitesi, bölümler ve tedarikçiler arası bilgi aktarımı gibi konularda oluşabilecek krizleri önleme noktasında da önemli bir rol oynamaktadır [42].

Stok yönetimi veya sistemi; stok seviyelerinin sürdürülmesi, tutulan stokun ne zaman

yenilenmesi gerektiği ve sipariş büyüklüğünün belirlenmesi ile ilgili politikalar ve kontroller kümesidir [2]. Stok kontrolünde ise temel amaç toplam stok maliyetini minimize etmektir. Bu noktada geliştirilmiş ve halen geliştirilmekte olan birçok stok modeli bulunmaktadır. Stok modellerinin temelini ise "Klasik Stok Modelleri" oluşturur. Bu modeller satın alınan malzemeler için ESM ve EÜM modelleri olarak tanımlanmaktadır [43].

#### 3.2. Bulanık Mantık

Bulanık Mantık 1965 yılında, sistemler içerisindeki belirsizlikler ile başa çıkmak için matematiksel bir araç olarak Lotfi A. Zadeh tarafından geliştirilmiştir [44]. Bulanık küme kuramı temellerinin Zadeh tarafından oluşturulmasının ardından, bulanık mantık günümüze kadar sayısız çalışmaya konu olmuştur. Doğrusal programlama, çok amaçlı doğrusal programlama, ulaştırma problemleri, tamsayı programlama ve vaka analizi gibi birçok örnek çalışmaya konu olan bu kuram literatürde çok geniş ve oldukça önemli bir yere sahiptir [45].

Bulanık küme, sürekli üyelik derecelerine sahip bir nesne sınıfıdır. Böyle bir küme, her nesneye sıfır ile bir arasında değişen üyelik derecesi atayan bir üyelik (karakteristik) fonksiyonu ile karakterize edilir [25].  $\forall x \in E$  olmak üzere,  $x$ 'in klasik A veya bulanık küme  $\tilde{A}$ 'ya ait olma (üyelik) derecesini gösteren fonksiyon üyelik fonksiyonu olarak adlandırılmaktadır. Bazı kaynaklarda karakteristik fonksiyon olarak da adlandırılan bu fonksiyon, literatürde  $\mu(x)$  ile ifade edilmektedir.

Klasik ve bulanık küme üyelik fonksiyonları sırasıyla Denklem (1) ve Denklem (2)'de sunulmuştur [46].

$$\mu_A(x): E \rightarrow \{0,1\} \quad (1)$$

$$\mu_{\tilde{A}}(x): E \rightarrow [0,1] \quad (2)$$

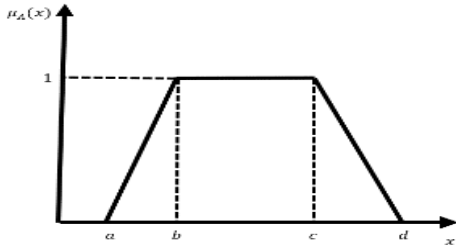
Klasik kümede eşsiz/tek bir üyelik fonksiyonu bulunurken bulanık küme kendisini temsil etmek için sonsuz sayıda üyelik fonksiyonuna sahiptir [47]. Yapılan araştırmalarda üçgen, yamuk, gaussian, sigmodal ve çan gibi birçok üyelik fonksiyon tipi kullanılmaktadır. Çalışmanın bu kısmında bu tiplerden sadece yamuk üyelik fonksiyonunun detaylarına yer verilmiştir.

### 3.2.1. Yamuk üyelik fonksiyonu

Yamuk üyelik fonksiyonu,  $\alpha$ ,  $b$ ,  $c$  ve  $d$  gibi dört adet parametreyi içerecek şekilde tanımlanmaktadır. Burada yer alan  $\alpha$  ve  $d$  parametreleri, fonksiyonun şekli gereği oluşan yamuğun sırasıyla sağ ve sol "minimum noktasını" temsil eder. Yamuk üyelik fonksiyonlarında iki ayrı tepe noktası oluşmaktadır. Fonksiyonda yer alan  $b$  ve  $c$  parametreleri bu tepe noktalarına karşılık gelir [48].

$$\mu_{\tilde{A}}(x; \alpha, b, c, d) = \begin{cases} 0 & x < \alpha \\ \frac{x - \alpha}{b - \alpha} & \alpha \leq x \leq b \\ 1 & b \leq x \leq c \\ \frac{c - x}{c - d} & c \leq x \leq d \\ 0 & x > d \end{cases} \quad (3)$$

Denklem 3'te matematiksel gösterimi verilen yamuk üyelik fonksiyonuna ait bulanık küme ise  $\tilde{A} = (\alpha, b, c, d)$  şeklinde ifade edilir [49]. Şekil 1'de bu fonksiyona ait grafik yer almaktadır [48].



**Şekil 1.** Yamuk üyelik fonksiyonu grafiği  
**Figure 1.** Graph of trapezoidal membership function

Grafikte daha net görüldüğü üzere;  $x$  ögesinin üyelik derecesi  $b$  ve  $c$  parametreleri gibi iki ayrı noktada 1'e eşitlenmektedir.

### 3.2.2. GMIR Yöntemi

GMIR yöntemi, Chen ve Hsieh [50] tarafından geliştirilmiştir. Yöntem cebirsel ifadesinde yer alan  $L^{-1}$  ve  $R^{-1}$  ifadeleri  $L$  ve  $R$  fonksiyonlarının tersini ifade etmektedir. Bulanık küme  $\tilde{A}$  ise genelleştirilmiş " $\alpha$  kesim" bulanık sayıların dereceli ortalama değerlerini göstermektedir [51].

$\tilde{A} = (\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4; w_A)_{LR}$  olmak üzere; yöntemin matematiksel denklemi Denklem (4)'te gösterilmiştir.

$$P(\tilde{A}) = \frac{\int_0^{w_A} \alpha(L^{-1}(\alpha) + R^{-1}(\alpha))}{\int_0^{w_A} \alpha d\alpha} \quad (4)$$

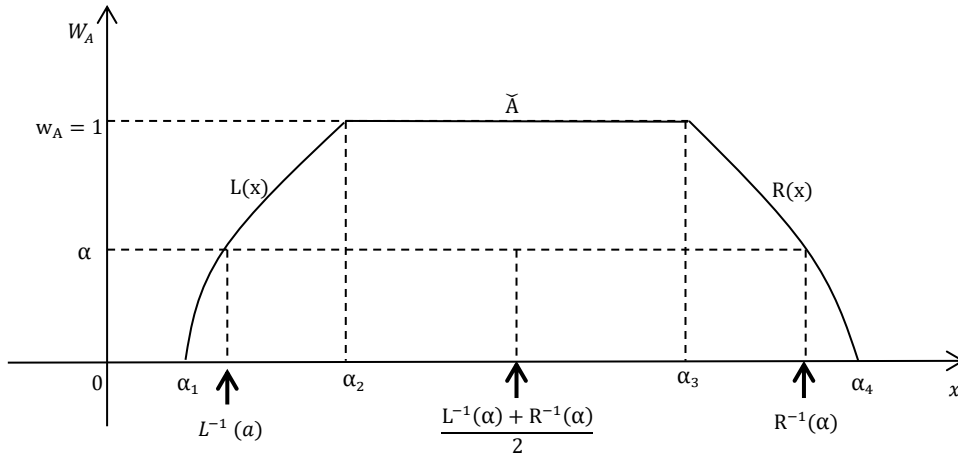
Burada  $0 < \alpha \leq w_A$  ve  $0 < w_A \leq 1$  kabul edilirken  $P(\tilde{A})$  bulanık  $\tilde{A}$  kümesinin dereceli ortalama entegrasyon temsilini ve  $w_A$  kademe-derece değerini göstermektedir. Denklem (5) ise yamuk bulanık sayılar için durulaştırma yönteminin hesaplanışını ifade etmektedir [51].

$$P(\tilde{A}) = \frac{\alpha_1 + 2\alpha_2 + 2\alpha_3 + \alpha_4}{6} \quad (5)$$

Üçgen bulanık sayıların kullanılması durumunda ise durulaştırma yöntemi hesaplanışı Denklem (6)'da gösterildiği şekilde hesaplanmaktadır [50].

$$P(\tilde{A}) = \frac{\alpha_1 + 4\alpha_2 + \alpha_3}{6} \quad (6)$$

Yönteme ait grafiksel gösterim (yamuk sayılar için) Şekil 2'de yer almaktadır.



**Şekil 2.** GMIR yöntemi grafiği [51]  
**Figure 2.** Graph of GMIR method [51]

#### 4. Bulgular

Çalışma kapsamında Dobos ve Richter [52] tarafından geliştirilen stok modeli temel alınmıştır. Bu bölümde model alt yapısı incelemeleri sonucunda yapılan güncelleme ve analizler ile elde edilen bulgulara yer verilmektedir. Elde edilen bulguların detayları, önerilen stok modeli ve bulanık stok modeli olmak üzere iki alt başlıkta sunulmaktadır.

##### 4.1. Geri Dönüşümlü Stok Modeli

Dobos ve Richter [52] geri dönüşümden maksimum kazanım elde edilmesi sonucunda geriye kalan servis edilemeyecek ürünlerin atık olarak nitelendirmiştir. Bu atıkların bertaraf edilme süreci ise zaman bertaraf aralığı (time disposal interval-TD) olarak sisteme dâhil edilmiştir. Ayrıca bu sürecin hiç geri dönüşüm stoku birikmeyecek şekilde ele alındığı görülmektedir. Fakat bertaraf sürecine paralel olarak talebin karşılanmaya devam edildiği göz ardı edilmemelidir. Bu nedenle, model altyapısı bertaraf sürecine paralel olarak geri dönüştürülecek ürün stok oluşumunu yansıtacak şekilde geliştirilerek modelin matematiksel ve grafiksel formunda güncellemeler yapılmıştır.

Önerilen modele ait notasyon bilgileri, grafiksel ve matematiksel form aşağıda gösterilmektedir.

#### Notasyonlar

$D$  : Talep oranı

$R = D/\gamma$  : Geri dönüşüm oranı

$P = D/\beta$  : Üretim oranı

$d = \alpha D$  : Geri alma oranı

Burada ( $\gamma < 1$ ), ( $\beta < 1$ ) ve ( $0 \leq \alpha \leq 1$ ) olduğu varsayılmaktadır.

$\alpha$  : Marjinal geri alma oranı

$\delta$  : Marjinal kullanım oranı

$T$  : Üretim ve geri dönüşüm döngüsünün uzunluğu

$X_R$  : Geri dönüşümden üretilen servis edilebilir ürün sayısı

$X_P$  : Üretimde üretilen servis edilebilir ürün sayısı

$T_R$  : Geri dönüşüm üretim süresi

$T_P$  : Üretim süresi

$S_R$  : Geri dönüşüm için hazırlık maliyeti

$S_P$  : Üretim için hazırlık maliyeti

$h_S$  : Servis edilebilir ürünler için stok maliyeti

$h_n$  : Servis edilemeyen ürünler için stok maliyeti

$c_w$  : Birim atık yok etme maliyeti

$c_P$  : Birim üretim maliyeti

$c_R$  : Birim geri dönüşüm maliyeti

$c_B$  : Birim geri alım maliyeti

Önerilen modelin grafik üzerinde gösterimi Şekil 3'te sunulmuştur. Şekildeki (a) ve (b) diyagramları, sırası ile çevrim süresi ( $T$ ) boyunca servis edilebilir ve servis edilemez stok döngüsünü göstermektedir. Stok döngüsü dört aşamada tamamlanmaktadır.

**$t_1$  dönemi:** Geri dönüştürülecek ürünlerin işlenmesi ile  $R-D$  hızında yeniden üretim sağlanmaktadır. Bu aşama maksimum geri dönüştürülebilir ürün miktarı ( $I_R$ ) seviyesine ulaşmaya kadar devam etmektedir. Buna paralel olarak  $R-d$  hızında servis edilemeyen ürün miktarı azalmaktadır. Maksimum geri dönüşüm sağlandıktan sonra kalan ürünler ise hurdaya ayrılmakta ve sistem dışına atılmaktadır.

**$t_2$  dönemi:** Bu aşamada üretim söz konusu değildir. Biriktirilen stok talep oranı ( $D$ ) hızında tüketilmektedir. Buna paralel olarak servis edilemeyen ürün miktarı  $d$  hızında artmaktadır.

**$t_3$  dönemi:** Hem üretim hem de gelen talep karşılanmaktadır. Bu nedenle maksimum stok seviyesine ( $I_P$ ) ulaşılınca kadar  $P-D$  hızında üretim yapılmaktadır.

**$t_4$  dönemi:** İkinci aşamaya benzer şekilde üretim söz konusu olmayıp sadece üretim süresi boyunca biriken stok,  $D$  hızında tüketilmektedir. İkinci aşamada biriktirilmeye başlanan servis edilemeyen ürün miktarında maksimum seviyeye ( $I_n$ ) ulaşılmaktadır.

#### Matematiksel model

$$X_R = \delta\alpha DT \quad (7)$$

$$T'_R = X_R/R = \delta\gamma\alpha T \quad (8)$$

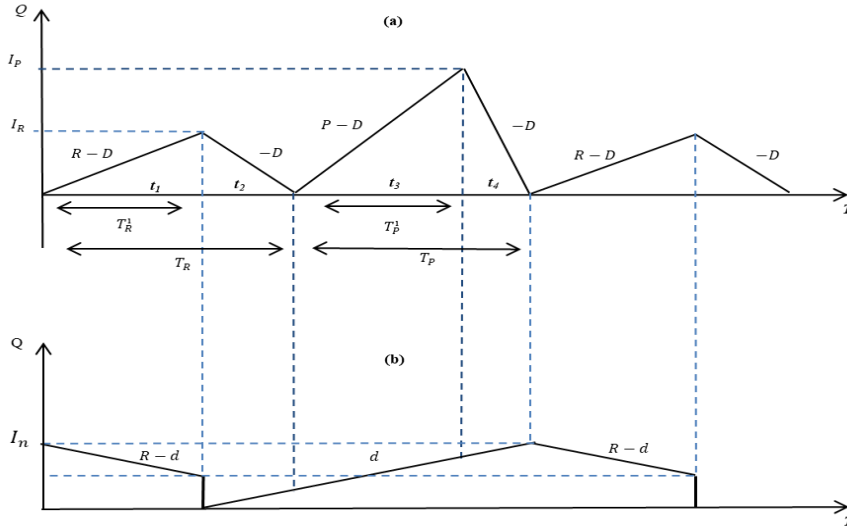
$$T_R = X_R/D = \delta\alpha T \quad (9)$$

$$X_P = (1 - \delta\alpha)DT \quad (10)$$

$$T'_P = X_P/P = (1 - \delta\alpha)\beta T \quad (11)$$

$$T_P = X_P/D = (1 - \delta\alpha)T \quad (12)$$

$$I_n = (1 - \delta)\alpha DT \quad (13)$$



Şekil 3. Önerilen modelin servis edilebilir (a) ve servis edilemez (b) stok döngü grafiği  
Figure 3. Stock cycle graph of the proposed model; (a) serviceable, (b) non-serviceable stock

Şekil göz önüne alındığında ise aşağıdaki eşitliklere ulaşılmaktadır.

$$T'_R = I_R/(R - D) \quad (14)$$

$$T'_R = (I_n - I_1)/(R - \alpha D) \quad (15)$$

$$T'_P = I_P/(P - D) \quad (16)$$

Denklem (8) ve Denklem (14)'ten hareketle geri dönüştürülebilir ürün miktarı ( $I_R$ ) Denklem (17) ile hesaplanır.

$$I_R = (1 - \gamma)\delta\alpha DT \quad (17)$$

Denklem (8) ve Denklem (15) birlikte ele alındığında servis edilemeyen ürün miktarının maksimum seviyeye ( $I_n$ ) Denklem (18) ile hesaplanır.

$$I_n = (1 - \delta\gamma\alpha)\alpha DT \quad (18)$$

Denklem (11) ve Denklem (16) birbirine eşitlendiğinde maksimum stok seviyesi ( $I_p$ ) Denklem (19) ile belirlenebilir.

$$I_p = (1 - \beta)(1 - \delta\alpha)DT \quad (19)$$

Böylece döngü başına toplam maliyet Denklem (20)'de gösterildiği gibi hesaplanır. Bu denklemdeki parametelerin matematiksel ifadelerinin yerine konması sonucu Denklem (21) elde edilir.

$$\begin{aligned} C_T &= c_w(1 - \delta)\alpha DT + c_B\alpha DT \\ C_T &= c_w(1 - \delta)\alpha DT + c_B\alpha DT \\ &\quad + c_p(1 - \delta\alpha)DT + c_R\delta\alpha DT \\ &\quad + s_R + s_P + h_s \left( \frac{I_R T_R}{2} + \frac{I_p T_p}{2} \right) + \\ &\quad h_n \left[ \frac{(I_1 + I_n)T'_R}{2} + \frac{(T - T'_R)I_n}{2} \right] \end{aligned} \quad (20)$$

$$\begin{aligned} C_T &= \left[ \begin{array}{l} c_w(1 - \delta) + c_B \\ + c_p(1/\alpha - \delta) \\ + c_R\delta \end{array} \right] \alpha DT + s_R + s_P \\ &\quad + \left\{ h_s \left[ \begin{array}{l} (1 - \gamma)(\delta\alpha)^2 + \\ (1 - \beta)(1 - \delta\alpha)^2 \end{array} \right] \right. \\ &\quad \left. + h_n[\alpha(1 - \delta^2\gamma\alpha)] \right\} DT^2/2 \end{aligned} \quad (21)$$

Birim zamandaki toplam maliyete ( $C_U$ ) değerine ise Denklem (22)'de gösterilen formül yardımıyla ulaşılabilir.

$$\begin{aligned} C_U &= \frac{C_T}{T} \\ &= \left[ \begin{array}{l} c_w(1 - \delta) + c_B \\ + c_p(1/\alpha - \delta) \\ + c_R\delta \end{array} \right] \alpha D + \frac{s_R + s_P}{T} \end{aligned} \quad (22)$$

$$+ \left\{ h_s \left[ \begin{array}{l} (1 - \gamma)(\delta\alpha)^2 + \\ (1 - \beta)(1 - \delta\alpha)^2 \end{array} \right] \right. \\ \left. + h_n[\alpha(1 - \delta^2\gamma\alpha)] \right\} DT/2$$

Birim zamandaki toplam maliyetin T'ye göre birinci türevi alınıp sıfıra eşitlendiğinde optimum çevrim süresi  $T^*$ ;

$$\begin{aligned} \frac{dC_U}{dT} &= -\frac{s_R + s_P}{T^2} \\ &\quad + \left\{ h_s \left[ \begin{array}{l} (1 - \gamma)(\delta\alpha)^2 + \\ (1 - \beta)(1 - \delta\alpha)^2 \end{array} \right] \right. \\ &\quad \left. + h_n[\alpha(1 - \delta^2\gamma\alpha)] \right\} D/2 \end{aligned} \quad (23)$$

$$T^* = \sqrt{\frac{2(s_R + s_P)}{\left\{ h_s \left[ \begin{array}{l} (1 - \gamma)(\delta\alpha)^2 + \\ (1 - \beta)(1 - \delta\alpha)^2 \end{array} \right] \right. \\ \left. + h_n[\alpha(1 - \delta^2\gamma\alpha)] \right\} D}} \quad (24)$$

$\frac{dC_U}{dT} = \frac{2(s_R + s_P)}{T^3} > 0$  olduğu için  $C_U$  maliyet fonksiyonu kesinlikle konveks (dışbükey) şeklindedir.

#### 4.2. Geri Dönüşümün Yer Aldığı Bulanık Stok Modeli

Modelde  $D$ ,  $\alpha$  ve  $\delta$  bulanık kabul edilip çevrim süresi net-klasik-deterministik (Crisp)  $T$  değeri üzerinden değerlendirilmektedir. Önerilen stok modeline ait bulanık notasyon bilgileri aşağıda verilmektedir.

$\tilde{D}$  : Bulanık Talep Oranı

$\tilde{\alpha}$  : Bulanık Marjinal Geri Alma Oranı

$\tilde{\delta}$  : Bulanık Marjinal Kullanım Oranı

Bulanık modelde kullanılmak üzere kabul gören ve negatif olmadığı varsayılan yamuk bulanık sayılara ait bulanık kümeler ise sırasıyla Denklem (25), Denklem (26) ve Denklem (27)'de ifade edilmektedir.

$$\tilde{D} = (\tilde{d}_l; \tilde{d}_m; \tilde{d}_n; \tilde{d}_u;) \quad (25)$$

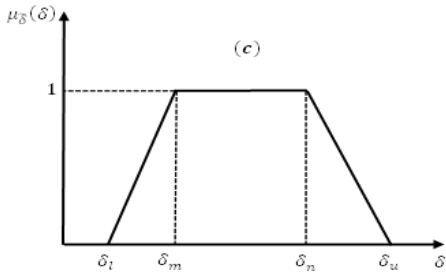
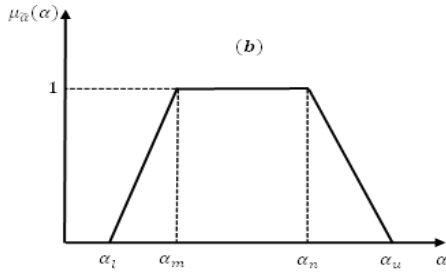
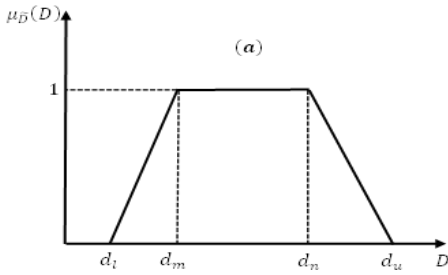
$$\tilde{\alpha} = (\tilde{\alpha}_l; \tilde{\alpha}_m; \tilde{\alpha}_n; \tilde{\alpha}_u;) \quad (26)$$

$$\tilde{\delta} = (\tilde{\delta}_l; \tilde{\delta}_m; \tilde{\delta}_n; \tilde{\delta}_u;) \quad (27)$$



Üyelik derecelerini ifade eden bulanık küme elemanları, subjektif olarak oluşturulan bir veya birden fazla "kural tabanı" baz alınarak belirlenmektedir. Kural tabanı ile ilgili detaylar, deneysel çalışma başlığı altında yer almaktadır.

Bulanık küme elemanlarının karakteristiğini ortaya koyan üyelik fonksiyon grafikleri Şekil 4.'te verilmektedir. Grafikte yer alan (a), (b) ve (c) diyagramları sırasıyla  $D$ ,  $\alpha$  ve  $\delta$  parametrelerine ait üyelik fonksiyon grafiklerini ifade ederken Denklem (28), Denklem (29) ve Denklem (30) ise üyelik fonksiyonlarını ifade etmektedir.



Şekil 4. Parametrelere ait üyelik fonksiyonu grafikleri

Figure 4. Membership function graphs of parameters

$$\mu_D(D) = \begin{cases} 0 & D < d_l \\ \frac{D - d_l}{d_m - d_l} & d_l \leq D \leq d_m \\ 1 & d_m \leq D \leq d_n \\ \frac{d_u - D}{d_u - d_n} & d_n \leq D \leq d_u \\ 0 & d_u < D \end{cases} \quad (28)$$

$$\mu_\alpha(\alpha) = \begin{cases} 0 & \alpha < \alpha_l \\ \frac{\alpha - \alpha_l}{\alpha_m - \alpha_l} & \alpha_l \leq \alpha \leq \alpha_m \\ 1 & \alpha_m \leq \alpha \leq \alpha_n \\ \frac{\alpha_u - \alpha}{\alpha_u - \alpha_n} & \alpha_n \leq \alpha \leq \alpha_u \\ 0 & \alpha_u < \alpha \end{cases} \quad (29)$$

$$\mu_\delta(\delta) = \begin{cases} 0 & \delta < \delta_l \\ \frac{\delta - \delta_l}{\delta_m - \delta_l} & \delta_l \leq \delta \leq \delta_m \\ 1 & \delta_m \leq \delta \leq \delta_n \\ \frac{\delta_u - \delta}{\delta_u - \delta_n} & \delta_n \leq \delta \leq \delta_u \\ 0 & \delta_u < \delta \end{cases} \quad (30)$$

Deterministik modelde de Deklem (22) ile ifade edilen;  $C_U$  denklemleri gerekli bulanık değişkenler ile ifade edildiğinde Denklem (31) elde edilmektedir. Aritmetik işlemler ile yapılan bulanıklaştırma işlemi sonucunda ise Denklem (33)'te yer alan birim zamanda bulanık toplam maliyet denklemleri elde edilmektedir. Burada yer alan  $\tilde{+}$ ,  $\tilde{-}$ ,  $\tilde{\times}$  ve  $\tilde{\div}$  simgeleri sırasıyla toplama, çıkarma, çarpma ve bölme olmak üzere bulanık aritmetik işlemleri temsil etmektedir.

$$\tilde{C}_U = \left[ \begin{array}{l} c_w \tilde{\alpha} (1 \approx \tilde{\delta}) \tilde{c}_B \\ \tilde{c}_P \tilde{\alpha} \left( \begin{array}{l} (1 \approx \tilde{\alpha}) \\ \approx \tilde{\delta} \end{array} \right) \\ \tilde{c}_R \tilde{\alpha} \tilde{\delta} \end{array} \right] \tilde{\alpha} \tilde{\alpha} \tilde{D} \tilde{c} \left( \frac{S_R + S_P}{T} \right) \tilde{c} \left\{ \begin{array}{l} h_s \tilde{\alpha} \left[ \begin{array}{l} (1 - \gamma) \tilde{\alpha} (\tilde{\delta} \tilde{\alpha})^2 \tilde{c} \\ (1 - \beta) \tilde{\alpha} \\ (1 \approx (\tilde{\delta} \tilde{\alpha}))^2 \end{array} \right] \\ \tilde{c} h_n \tilde{\alpha} [\tilde{\alpha} \tilde{\alpha} (1 \approx \tilde{\delta}^2 \tilde{\alpha} \tilde{\gamma} \tilde{\alpha})] \end{array} \right\} \tilde{\alpha} \tilde{D} \tilde{\alpha} T \approx 2 \quad (31)$$

$$\tilde{C}_U = \left[ \begin{array}{l} c_w \tilde{\alpha} (1 \approx (\delta_i; \delta_m; \delta_n; \delta_u)) \tilde{c}_B \\ \tilde{c}_P \tilde{\alpha} \left( \begin{array}{l} (1 \approx (\alpha_i; \alpha_m; \alpha_n; \alpha_u)) \\ \approx (\delta_i; \delta_m; \delta_n; \delta_u) \end{array} \right) \\ \tilde{c}_R \tilde{\alpha} (\delta_i; \delta_m; \delta_n; \delta_u) \end{array} \right] \tilde{\alpha} (\alpha_i; \alpha_m; \alpha_n; \alpha_u) \tilde{c} \left( \frac{S_R + S_P}{T} \right) \tilde{c} \left\{ \begin{array}{l} h_s \tilde{\alpha} \left[ \begin{array}{l} (1 - \gamma) \tilde{\alpha} ((\delta_i; \delta_m; \delta_n; \delta_u) \tilde{\alpha} (\alpha_i; \alpha_m; \alpha_n; \alpha_u))^2 \tilde{c} \\ (1 - \beta) \tilde{\alpha} \left( 1 \approx \left( \begin{array}{l} (\delta_i; \delta_m; \delta_n; \delta_u) \tilde{\alpha} \\ (\alpha_i; \alpha_m; \alpha_n; \alpha_u) \end{array} \right) \right)^2 \end{array} \right] \\ \tilde{c} h_n \tilde{\alpha} [(\alpha_i; \alpha_m; \alpha_n; \alpha_u) \tilde{\alpha} \left( \begin{array}{l} 1 \approx (\delta_i; \delta_m; \delta_n; \delta_u)^2 \\ \tilde{\alpha} \tilde{\gamma} \tilde{\alpha} (\alpha_i; \alpha_m; \alpha_n; \alpha_u) \end{array} \right)] \end{array} \right\} \tilde{\alpha} (d_i; d_m; d_n; d_u) \tilde{\alpha} T \approx 2 \quad (32)$$

$$\tilde{C}_U = \left[ \begin{array}{l} \left\langle \begin{array}{l} ([c_w(1 - \delta_u) + c_B + (c_P(1/\alpha_u - \delta_u)) + (c_R \delta_i)] \alpha_i d_i) + \left( \frac{S_R + S_P}{T} \right) + \\ \{ [h_s [(1 - \gamma)(\delta_i \alpha_i)^2 + (1 - \beta)(1 - (\delta_u \alpha_u)^2)] + h_n \alpha_i (1 - \delta_u^2 \gamma \alpha_u)] d_i T \} / 2 \end{array} \right\rangle; \\ \left\langle \begin{array}{l} ([c_w(1 - \delta_n) + c_B + (c_P(1/\alpha_n - \delta_n)) + (c_R \delta_m)] \alpha_m d_m) + \left( \frac{S_R + S_P}{T} \right) + \\ \{ [h_s [(1 - \gamma)(\delta_m \alpha_m)^2 + (1 - \beta)(1 - (\delta_n \alpha_n)^2)] + h_n \alpha_m (1 - \delta_n^2 \gamma \alpha_n)] d_m T \} / 2 \end{array} \right\rangle; \\ \left\langle \begin{array}{l} ([c_w(1 - \delta_m) + c_B + (c_P(1/\alpha_m - \delta_m)) + (c_R \delta_n)] \alpha_n d_n) + \left( \frac{S_R + S_P}{T} \right) + \\ \{ [h_s [(1 - \gamma)(\delta_n \alpha_n)^2 + (1 - \beta)(1 - (\delta_m \alpha_m)^2)] + h_n \alpha_n (1 - \delta_m^2 \gamma \alpha_m)] d_n T \} / 2 \end{array} \right\rangle; \\ \left\langle \begin{array}{l} ([c_w(1 - \delta_i) + c_B + (c_P(1/\alpha_i - \delta_i)) + (c_R \delta_u)] \alpha_u d_u) + \left( \frac{S_R + S_P}{T} \right) + \\ \{ [h_s [(1 - \gamma)(\delta_u \alpha_u)^2 + (1 - \beta)(1 - (\delta_i \alpha_i)^2)] + h_n \alpha_u (1 - \delta_i^2 \gamma \alpha_i)] d_u T \} / 2 \end{array} \right\rangle \end{array} \right] \quad (33)$$

Elde edilen Denklem (33) GMIR yöntemi ile durulaştırılır. Durulaştırma sonucunda elde edilen toplam maliyet değerini veren formül ise Denklem (34)'te verilmiştir. Nihai aşamada ise optimal çevrim süresi T\* elde edilecektir. Bunun

için birim zamanda bulanık toplam maliyet denkleminin çevrim süresine (T) göre türevi alınarak sıfıra eşitlenir. Bu aşamalara ilişkin detaylar Denklem (35) ve Denklem (36)'da gösterilmektedir.

$$P(\tilde{C}_U) = \frac{1}{6} \left[ \begin{array}{l} \left( \left[ \begin{array}{l} c_w(1 - \delta_u) + c_B \\ (c_P(1/\alpha_u - \delta_u)) \\ + (c_R \delta_i) \end{array} \right] \alpha_i d_i \right) + \left( \frac{S_R + S_P}{T} \right) + \left\{ \begin{array}{l} h_s \left[ \begin{array}{l} (1 - \gamma)(\delta_i \alpha_i)^2 + \\ (1 - \beta)(1 - (\delta_u \alpha_u)^2) \end{array} \right] d_i T \\ + h_n \alpha_i (1 - \delta_u^2 \gamma \alpha_u) \end{array} \right\} / 2 + \\ \left( \left[ \begin{array}{l} c_w(1 - \delta_n) + c_B + \\ (c_P(1/\alpha_n - \delta_n)) \\ + (c_R \delta_m) \end{array} \right] 2 \alpha_m d_m \right) + 2 \left( \frac{S_R + S_P}{T} \right) + \left\{ \begin{array}{l} h_s \left[ \begin{array}{l} (1 - \gamma)(\delta_m \alpha_m)^2 + \\ (1 - \beta)(1 - (\delta_n \alpha_n)^2) \end{array} \right] d_m T \\ + h_n \alpha_m (1 - \delta_n^2 \gamma \alpha_n) \end{array} \right\} + \\ \left( \left[ \begin{array}{l} c_w(1 - \delta_m) + c_B + \\ (c_P(1/\alpha_m - \delta_m)) \\ + (c_R \delta_n) \end{array} \right] 2 \alpha_n d_n \right) + 2 \left( \frac{S_R + S_P}{T} \right) + \left\{ \begin{array}{l} h_s \left[ \begin{array}{l} (1 - \gamma)(\delta_n \alpha_n)^2 + \\ (1 - \beta)(1 - (\delta_m \alpha_m)^2) \end{array} \right] d_n T \\ + h_n \alpha_n (1 - \delta_m^2 \gamma \alpha_m) \end{array} \right\} + \\ \left( \left[ \begin{array}{l} c_w(1 - \delta_i) + c_B + \\ (c_P(1/\alpha_i - \delta_i)) \\ + (c_R \delta_u) \end{array} \right] \alpha_u d_u \right) + \left( \frac{S_R + S_P}{T} \right) + \left\{ \begin{array}{l} h_s \left[ \begin{array}{l} (1 - \gamma)(\delta_u \alpha_u)^2 + \\ (1 - \beta)(1 - (\delta_i \alpha_i)^2) \end{array} \right] d_u T \\ + h_n \alpha_u (1 - \delta_i^2 \gamma \alpha_i) \end{array} \right\} / 2 \end{array} \right] \quad (34)$$

$$\frac{dP(\tilde{C}_U)}{dT} = \frac{1}{6} \begin{pmatrix} -\frac{(s_R + s_P)}{T^2} + \left\{ \left[ h_s \left[ \frac{(1-\gamma)(\delta_1\alpha_1)^2 +}{(1-\beta)(1-(\delta_u\alpha_u))^2} \right] + h_n\alpha_1(1-\delta_u^2\gamma\alpha_u) \right] d_1 \right\} / 2 \\ -2\frac{(s_R + s_P)}{T^2} + \left\{ \left[ h_s \left[ \frac{(1-\gamma)(\delta_m\alpha_m)^2 +}{(1-\beta)(1-(\delta_n\alpha_n))^2} \right] + h_n\alpha_m(1-\delta_n^2\gamma\alpha_n) \right] d_m \right\} \\ -2\frac{(s_R + s_P)}{T^2} + \left\{ \left[ h_s \left[ \frac{(1-\gamma)(\delta_n\alpha_n)^2 +}{(1-\beta)(1-(\delta_m\alpha_m))^2} \right] + h_n\alpha_n(1-\delta_m^2\gamma\alpha_m) \right] d_n \right\} \\ -\frac{(s_R + s_P)}{T^2} + \left\{ \left[ h_s \left[ \frac{(1-\gamma)(\delta_u\alpha_u)^2 +}{(1-\beta)(1-(\delta_1\alpha_1))^2} \right] + h_n\alpha_u(1-\delta_1^2\gamma\alpha_1) \right] d_u \right\} / 2 \end{pmatrix} \quad (35)$$

$$T^* = \sqrt{6(s_R + s_P) \left[ \begin{matrix} \left\{ \left[ h_s \left[ \frac{(1-\gamma)(\delta_1\alpha_1)^2 +}{(1-\beta)(1-(\delta_u\alpha_u))^2} \right] + h_n\alpha_1(1-\delta_u^2\gamma\alpha_u) \right] d_1 \right\} / 2 \\ + \left\{ \left[ h_s \left[ \frac{(1-\gamma)(\delta_m\alpha_m)^2 +}{(1-\beta)(1-(\delta_n\alpha_n))^2} \right] + h_n\alpha_m(1-\delta_n^2\gamma\alpha_n) \right] d_m \right\} \\ + \left\{ \left[ h_s \left[ \frac{(1-\gamma)(\delta_n\alpha_n)^2 +}{(1-\beta)(1-(\delta_m\alpha_m))^2} \right] + h_n\alpha_n(1-\delta_m^2\gamma\alpha_m) \right] d_n \right\} \\ + \left\{ \left[ h_s \left[ \frac{(1-\gamma)(\delta_u\alpha_u)^2 +}{(1-\beta)(1-(\delta_1\alpha_1))^2} \right] + h_n\alpha_u(1-\delta_1^2\gamma\alpha_1) \right] d_u \right\} / 2 \end{matrix} \right]} \quad (36)$$

### 5. Deneysel Çalışma

Bu kısımda elde edilen sonuçlar ve değerlendirmeler önerilen bulanık stok modeli üzerinden çözülen bir örnek ile açıklanmaktadır.

**Örnek:** Örneğe ait veriler Dobos ve Richter [52] çalışmasında yer alan Örnek 5'ten uyarlanmıştır.

D=1200      α=0,6      δ=2/3      S<sub>R</sub>=72  
 B=γ=2/3    h<sub>s</sub>=12      h<sub>n</sub>=3      C<sub>R</sub>=30  
 S<sub>P</sub>=144      C<sub>B</sub>=60      C<sub>w</sub>=5      C<sub>P</sub>=120

Bulanık mantık yaklaşımında uygulanacak ilk adım bulanıklaştırmadır. Bulanıklaştırma işleminin temeli ise bulanık kümelere dayanmaktadır. Çalışmada, önerilen bulanık modelde yer alan D, α ve δ parametreleri için sübjektif olarak belirlenen kurallar dikkate alınarak yamuk bulanık küme değerleri oluşturulmuştur. Belirlenen kuralların mantığını açıklayan kural tabanı Tablo 1'de gösterilmektedir.

**Tablo 1.** Bulanık model kural tabanları

**Table 1.** Rule fundamentals for fuzzy model

Kural 1	EĞER (IF)	(Δ <sub>1</sub> ; Δ <sub>2</sub> ; Δ <sub>3</sub> )=(0,05; 0,10; 0,05)	O ZAMAN (THEN)	$\tilde{X} = (0,9X; 0,95X; 1,05X; 1,1X)$
Kural 2		(Δ <sub>1</sub> ; Δ <sub>2</sub> ; Δ <sub>3</sub> )=(0,05; 0,10; 0,20)		$\tilde{X} = (0,8X; 0,85X; 0,95X; 1,15X)$
Kural 3		(Δ <sub>1</sub> ; Δ <sub>2</sub> ; Δ <sub>3</sub> )=(0,25; 0,25; 0,25)		$\tilde{X} = (0,5X; 0,75X; 1X; 1,25X)$

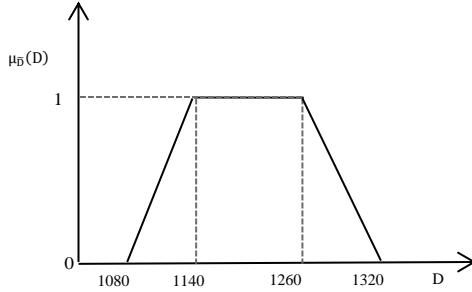
Tablo 1'de yer alan kural tabanları "Eğer" ve "O Zaman" mantığına dayanır. Burada yer alan Δ<sub>1</sub>, Δ<sub>2</sub> ve Δ<sub>3</sub> sırasıyla yamuk üyelik fonksiyonu için sol minimum, tepe ve sağ minimum değerleri arasındaki değişimi ifade etmektedir. Bulanık kabul edilen her bir parametrenin Kural 1 tabanına göre oluşturulmuş olan üyelik fonksiyonları Denklem (37), Denklem (38) ve Denklem (39)'da yer almaktadır.

$$\mu_{\tilde{D}}(D) = \begin{cases} 0 & D < 1080 \\ \frac{D-1080}{60} & 1080 \leq D \leq 1140 \\ 1 & 1140 \leq D \leq 1260 \\ \frac{1320-D}{60} & 1260 \leq D \leq 1320 \\ 0 & D > 1320 \end{cases} \quad (37)$$

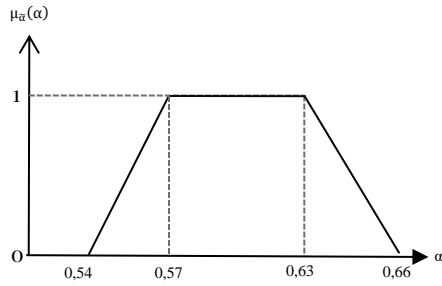
$$\mu_{\alpha}(\alpha) = \begin{cases} 0 & \alpha < 0,54 \\ \frac{\alpha - 0,54}{0,03} & 0,54 \leq \alpha \leq 0,57 \\ 1 & 0,57 \leq \alpha \leq 0,63 \\ \frac{0,66 - \alpha}{0,03} & 0,63 \leq \alpha \leq 0,66 \\ 0 & \alpha > 0,66 \end{cases} \quad (38)$$

$$\mu_{\delta}(\delta) = \begin{cases} 0 & \delta < 0,6 \\ \frac{\delta - 0,6}{0,03} & 0,6 \leq \delta \leq 0,63 \\ 1 & 0,63 \leq \delta \leq 0,7 \\ \frac{0,73 - \delta}{0,03} & 0,7 \leq \delta \leq 0,73 \\ 0 & \delta > 0,73 \end{cases} \quad (39)$$

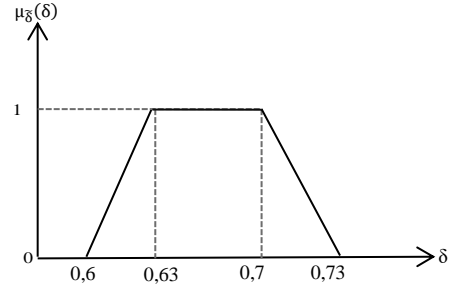
Örnek niteliğindeki üyelik fonksiyonlarının grafikleri sırasıyla Şekil 5, Şekil 6 ve Şekil 7' de gösterilmiştir.



**Şekil 5.** Talep oranı için Kural 1'e göre yamuk üyelik fonksiyonu grafiği  
**Figure 5.** Graph of trapezoidal membership function according to Rule 1 for demand rate



**Şekil 6.** Marjinal geri alma oranı için Kural 1'e göre yamuk üyelik fonksiyonu grafiği  
**Figure 6.** Graph of trapezoidal membership function according to Rule 1 for marginal recovery rate



**Şekil 7.** Marjinal kullanım oranı için Kural 1'e göre yamuk üyelik fonksiyonu grafiği  
**Figure 7.** Graph of trapezoidal membership function according to Rule 1 for marginal utilization rate

Örneğin, bulanık parametrelerine ait üyelik değişimlerini gösteren tüm bulanık küme değerleri Tablo 2'de yer almaktadır.

**Tablo 2.** Bulanık parametreler için üyelik değişim değerleri  
**Table 2.** Variation of membership values for fuzzy parameters

		Bulanık Parametre Değerleri		
		D	α	δ
Kural 1	l	1080	0,54	0,60
	m	1140	0,57	0,63
	n	1260	0,63	0,70
	u	1320	0,66	0,73
Kural 2	l	960	0,48	0,53
	m	1020	0,51	0,57
	n	1140	0,57	0,63
	u	1380	0,69	0,77
Kural 3	l	600	0,3	0,33
	m	900	0,45	0,50
	n	1200	0,6	0,67
	u	1500	0,75	0,83

Üyelik değişim değerlerinin Denklem (34) ve Denklem (36)'da yerine konularak gerekli aritmetik işlemlerin yapılması sonucu 3 ayrı bulanık model için çözüm değerleri elde edilmiştir.

Deterministik ve bulanık modeller için elde edilen çözüm değerleri Tablo 3'te özetlenmiştir.

**Tablo 3.** Deterministik ve bulanık model çözüm değerleri.**Table 3.** Solution values for deterministic and fuzzy model

	Deterministik Model	Bulanık Model 1	Bulanık Model 2	Bulanık Model 3
T*(yıl)	0,320	0,315	0,320	0,307
C <sub>0</sub> (\$)	146347	150222	147439	185343

Elde edilen bulgular bulanık model değerlerinin çevrim süresi bakımından avantaj sağladığını göstermektedir. Sonuçlar maliyet değerleri bakımından incelendiğinde çevrim süresi azaldıkça toplam maliyet değerinin arttığı belirlenmiştir. Bu durum bulanık yaklaşımın stok modeline uygulanabilirliğinin başarılı olduğunu fakat bulanıklaştırma değerlerinin modele hem pozitif hem de negatif yönde etki edebileceğini göstermektedir.

## 6. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada, geri dönüşüm sektörü için hem deterministik hem de bulanık model olmak üzere iki adet yeni stok modeli önerilmiştir. Modellerin her ikisi de hem üretim hem de geri dönüşüm sürecini birlikte işleyen entegre model niteliğindedir. Önerilen modellerin başlıca amaçları sürdürülebilir geri dönüşüm sistemi kurulabilmesine katkı sağlanması ve daha komplike sistemler için bir basamak oluşturabilmesidir. Bu amaçlar doğrultusunda, sistemde meydana gelebilecek belirsizlik ve karmaşayı bertaraf edebilecek veya sistemin temel işleyişi ile ilgili aksilikler konusunda esneklik sağlayabilecek olan bulanık mantık yaklaşımı modelleme aşamasında tercih edilmiştir. Böylece geri dönüşüm sektörünün temel amacı olan maksimum kazanım/minimum atık stratejisine katkı sağlayabilecek bir model ortaya konabilmiştir. Ayrıca önerilen modelin bulanık yapısı stok modellerinin en temel amacı olan minimum maliyet politikasına hizmet ederek literatüre katkı sağlamaktadır.

Önerilen bulanık stok modeli üç ayrı kural tabanı üzerinden çözümlenmiş ve farklı bulanık model alternatifleri oluşturulmuştur. Bu sayede çalışma, model yapısı ve model çözüm değerleri bakımından zenginleştirilmiştir. Kural tabanlarının mantıksal bir çıkarım sürecini ortaya koyduğu düşünüldüğünde, farklı kural tabanlarının benimsenmesi ile çalışmanın duyarlılık analizi ihtiyacı duyurulmaktadır.

Özetle; bu çalışma, birden fazla model önerisini ve örnek çözümünü barındırmaktadır. Bulanık modeller bakımından elde edilen sonuçlar incelendiğinde; bulanık yaklaşım stok modellerine başarılı bir şekilde uygulanmıştır. Özellikle çevrim süresi bakımından önemli derecede avantaj sağlanmaktadır. Fakat maliyet değerleri bakımından aynı başarının yakalanamadığı gözlemlenmektedir. Bu durum, bulanıklaştırılmak üzere seçilen parametrelerin maliyet parametreleri üzerindeki hassasiyetinin yüksek ve alternatif modellerin kural veya bulanık parametre seçimleri bakımından gelişime açık olduğunu göstermektedir. Ayrıca bulanık model kurgusunda kural tabanı geliştirmenin ve bulanık parametre değerlerini belirlemenin kritik öneme sahip olduğunu göstermektedir.

Gelecekte yapılacak çalışmalarda, farklı ve daha geniş bir aralığı kapsayan kural tabanlarının kullanılabilmesi düşünülmektedir. Ayrıca belirsizlikleri ortadan kaldırmak için bulanık yaklaşım ile benzer amaçlara hizmet eden Gri Sistem Teorisi çözüm yaklaşımı çalışmaya ilave edilebilir. Çalışmalarda farklı durulaştırma yöntemleri kullanılarak yeni araştırmalar ortaya konulabilir. Böylece bulanık yaklaşımın stok modelleri üzerindeki etkisi ve elde edilen sonuçlara katkısı daha net ve kapsamlı şekilde gösterilebilir.

## 7. Discussion and Conclusion

In this study, two new stock models, both deterministic and fuzzy, are proposed for the recycling industry. These are integrated models that process both the production and recycling process together. The main purposes of the proposed models are to contribute to the establishment of a sustainable recycling system and to be a stepping stone for more complex systems. In line with these purposes, the fuzzy logic approach, which can eliminate the uncertainty and confusion that may occur in the system or provide flexibility about the mishaps related to the basic functioning of the system, has been preferred in the modeling phase. Thus, a model has been developed that can contribute to the maximum recovery/minimum waste strategy, which is the main objective of the recycling industry. In addition, the fuzzy structure of the proposed model contributes to the literature by serving the minimum cost

policy, which is the main purpose of inventory models.

The proposed fuzzy inventory model was analyzed over three different rule bases and different fuzzy model alternatives were created. In this way, the study is enriched in terms of model structure and model solution values. Considering that the rule bases reveal a logical inference process, the need for sensitivity analysis of the study is satisfied by adopting different rule bases.

In summary; This study contains multiple model proposals and sample solutions. When the results obtained in terms of fuzzy models are examined, the fuzzy approach has been successfully applied to inventory models. Especially, a significant advantage has been achieved in terms of cycle time. However, it is observed that the same success cannot be achieved in terms of cost values. This shows that the sensitivity of the parameters selected to be fuzzy on the cost parameters is high and that alternative models are open to improvement in terms of rule or fuzzy parameter selections. It also shows that developing a rule base and determining the fuzzy parameter values are of critical importance in fuzzy model setup.

It is thought that rule bases covering a different and wider range can be used in future studies. In addition, the Grey System Theory (GST) solution approach, which serves similar purposes with the fuzzy approach, can be added to the study in order to eliminate the uncertainties. New researches can be revealed by using different clarification methods in studies. In this way, the effect of the fuzzy approach on the inventory models and its contribution to the results obtained can be shown more clearly and comprehensively.

#### **8. Etik kurul onayı ve çıkar çatışması beyanı**

Gerçekleştirilen çalışmada insan ya da hayvanlar üzerinde deneysel veya bilimsel teknikler kullanılarak herhangi bir klinik araştırma yapılmamıştır. Ayrıca çalışma anket, mülakat, odak grup çalışması, gözlem, deney ve görüşme teknikleri kullanılarak katılımcılardan veri toplanmasını gerektiren nitel ya da nicel yaklaşımlarla yürütülmemiştir. Bu durumda çalışma, kişisel verilerin korunması kanunu kapsamında bir hassasiyet oluşturmamaktadır.

Sonuç olarak çalışmada kullanılan verilerin, etik kurul izin belgesi gerektiren türde olmadığından;

“Hazırlanan makalede etik kurul izni alınmasına gerek yoktur.”

Hazırlanan makale herhangi bir kişi ya da kurum ile doğrudan ilişkili olmadığından;

“Hazırlanan makalede herhangi bir kişi/kurum ile çıkar çatışması bulunmamaktadır.”

#### **Kaynakça**

- [1] Waters, D. 2003. Inventory Control of Management, 2nd, WILEY, England, 407s.
- [2] Chandrasiri, A. M. P. 2016, Fuzzy Inventory Model without Shortages Using Triangular Fuzzy Numbers and Signed Distance Method, International Journal of Science and Research (IJSR), Cilt. 5, s. 187-190. DOI:10.21275/v5i7.ART2016144
- [3] TÜDAM 2016, Geri Dönüşüm Sektörü Teşvik Raporu, <http://www.tudam.org.tr/geri-donusum-sektoru-tesvik-raporu.pdf> (Erişim Tarihi: 01.11.2021).
- [4] Eroğlu, R., Aydemir, E. 2021, Geri Dönüşüm Sürecinde Kusurlu Yeniden Üretim Durumu için Yeni Bir Envanter Modeli, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, Cilt. 23, s. 381-397. DOI:10.21205/deufmd.2021236804
- [5] Aydemir, E. ed. 2015, An EPQ Model With Imperfect Items Using Interval Grey Numbers, An International Journal of Optimization and Control: Theories & Applications (IJOCTA), Cilt 5(1), s. 21-32. DOI: 10.11121/ijocta.01.2015.00204
- [6] Sulak, H. ed. 2019, Ekonomik Sipariş Miktarı Modellerinde Talebin Kısmen Erteleme ve Bir Uygulama, Yönetim ve Ekonomi Dergisi, Cilt. 26, s. 11-32. DOI:10.18657/yonveek.508931
- [7] Aydemir, E., Bedir, F., Ozdemir, G., 2015, Degree of Greyness Approach for an EPQ Model with Imperfect Items in Copper Wire Industry, Journal of Grey System, 27(2), 13-26.
- [8] Tiwari, S., Daryanto, Y., Wee, H. M. 2018, Sustainable Inventory Management with Deteriorating and Imperfect Quality Items Considering Carbon Emission, Journal of Cleaner Production, Cilt 192, 281-292. DOI: 10.1016/j.jclepro.2018.04.261
- [9] Battini, D., Persona, A., Sgarbossa, F. 2014, A Sustainable EOQ Model: Theoretical Formulation and Applications, International Journal of Production Economics, Cilt 149, 145-153. DOI:10.1016/j.ijpe.2013.06.026
- [10] Aydemir, E. 2015, Envanter Yönetimi Ve Uzantıları: Ekonomik Üretim Miktarı Modelleri Üzerine Bir Bilimsel Yazın Araştırması, Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, Cilt 15(3), 97-112. DOI:10.18037/ausbd.95553
- [11] Koh, S. G. ed. 2002, An Optimal Ordering and Recovery Policy for Reusable Items, Computers and Industrial Engineering, Cilt. 43, s. 59-73. DOI:10.1016/S0360-8352(02)00062-1
- [12] Teunter, R. 2003, Lot-Sizing for Inventory Systems with Product Recovery, Computers & Industrial

- Engineering, *Cilt.* 46, s. 431-441. DOI:10.1016/j.cie.2004.01.006
- [13] Dobos, I, Richter, K. 2004, An Extended Production/Recycling Model with Stationary Demand and Return Rates, *International Journal of Production Economics*, *Cilt.* 90, s. 311-323. DOI: 10.1016/j.ijpe.2003.09.007
- [14] Dobos, I, Richter, K. 2006, A Production/Recycling Model with Quality Consideration, *International Journal of Production Economics*, *Cilt.* 104, s. 571-579. DOI: 10.1016/j.ijpe.2005.09.006
- [15] Choi, D. W. Ed. 2007, A Generalized Ordering and Recovery Policy for Reusable Items, *European Journal of Operational Research*, *Cilt.* 182, s. 764-774. DOI: 10.1016/j.ejor.2006.08.048
- [16] Konstantaras, I, Skouri, K. 2010, Lot Sizing for a Single Product Recovery System with Variable Setup Numbers, *European Journal of Operational Research*, *Cilt.* 203, s. 326-335. DOI: 10.1016/j.ejor.2009.07.018
- [17] Hishamuddin, H. ed. 2012, A Disruption Recovery Model for a Single Stage Production-Inventory System, *European Journal of Operational Research*, *Cilt.* 222, s. 464-473. DOI: 10.1016/j.ejor.2012.05.033
- [18] Schulz, T., Voigt, G. 2014, A Flexibly Structured Lot Sizing Heuristic for a Static Remanufacturing System, *Omega*, *Cilt.* 44, s. 21-31. DOI: 10.1016/j.omega.2013.09.003.
- [19] Kozlovskaya, N. ed. 2016, A General Production And Recovery EOQ Model With Stationary Demand And Return Rates, *Sayı.* 378.
- [20] Marshall, R. S., Vierstra, R. D. 2018, Autophagy: The Master of Bulk and Selective Recycling, *Annual Review of Plant Biology*, *Cilt.* 69, s. 173-208. DOI: 10.1146/annurev-arplant-042817-040606
- [21] Rani, S. ed. 2020, Inventory Model for Deteriorating Items in Green Supply Chain with Credit Period Dependent Demand. *International Journal of Applied Engineering Research*, *Cilt.* 15, s. 157-172.
- [22] Eroğlu, R., Aydemir, E. 2020, Tamir Sürecini İçeren Geri Dönüşüm Süreci İçin Yeni bir Envanter Modeli Geliştirilmesi, *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 8(4), 1086-1098. DOI:10.21923/jesd.776390
- [23] Mohapatra, S. ed. 2021, A Deterministic Inventory Model of Aluminium Refreshment Cans in Reverse Supply Chain, *International Journal of Services and Operations Management*, *Cilt.* 39, s. 151-180. DOI:
- [24] Liao, H., Li, L. 2021, Environmental Sustainability EOQ Model for Closed-Loop Supply Chain Under Market Uncertainty: A Case Study of Printer Remanufacturing, *Computers & Industrial Engineering*, 151. DOI:10.1016/j.cie.2020.106525.
- [25] Zadeh, L. A. 1965, Fuzzy Sets, *Information and Control*, *Cilt.* 8, s.338-353.
- [26] Kacprzyk, J., Staniński, P. 1982, Long-term Inventory Policy-Making Through Fuzzy Decision-Making Models. *Fuzzy Sets and Systems*, *Cilt.* 8, s. 117-132. DOI: 10.1016/0165-0114(82)90002-1
- [27] Petrovic, D., Sweeney, E. 1994, Fuzzy Knowledge-Based Approach to Treating Uncertainty in Inventory Control, *Computer Integrated Manufacturing Systems*, *Cilt.* 7, s. 147-152. DOI: 10.1016/0951-5240(94)90033-7
- [28] Chen, S. H. ed. 1996, Backorder Fuzzy Inventory Model Under Function Principle. *Information Sciences*, *Cilt.* 95, s. 71-79. DOI: 10.1016/S0020-0255(96)00085-0
- [29] Chang, S. C. ed. 1998, Economic Reorder Point for Fuzzy Backorder Quantity, *European Journal of Operational Research*, *Cilt.* 109, s. 183-202. DOI: 10.1016/S0377-2217(97)00069-6
- [30] Yao, J. S. 2000, Fuzzy Inventory without Backorder for Fuzzy Order Quantity and Fuzzy Total Demand Quantity, *Computers & Operations Research*, *Cilt.* 27, s. 935-962. DOI: 10.1016/S0305-0548(99)00068-4
- [31] Kao, C., Hsu, W. K. 2002, Lot Size-Reorder Point Inventory Model with Fuzzy Demands, *Computers & Mathematics with Applications*, *Cilt.* 43, s. 1291-1302. DOI: 10.1016/S0898-1221(02)00101-3
- [32] Chang, H. C. 2004, An Application of Fuzzy Sets Theory to the EOQ Model with Imperfect Quality Items. *Computers & Operations Research*, *Cilt.* 31, s. 2079-2092. DOI: 10.1016/S0305-0548(03)00166-7
- [33] Björk, K. M. 2008, The Economic Production Quantity Problem with a Finite Production Rate and Fuzzy Cycle Time, In *Proceedings of the 41st Annual Hawaii International Conference on System Sciences*, January, 68-68. IEEE. DOI: 10.1109/HICSS.2008.433
- [34] Kazemi, N. ed. (2010), An Inventory Model with Backorders with Fuzzy Parameters and Decision Variables, *International Journal Of Approximate Reasoning*, *Cilt.* 51, s. 964-972. DOI: 10.1016/j.ijar.2010.07.001
- [35] Jaggi, C. K. ed. 2012, Fuzzy Inventory Model for Deteriorating Items with Time-Varying Demand and Shortages, *American Journal of Operational Research*, *Cilt.* 2, s. 81-92. DOI: 10.5923/j.ajor.20120206.01
- [36] Jana, D. K. ed. 2014, A Multiobjective Multi-Item Inventory Control Problem in Fuzzy-Rough Environment using Soft Computing Techniques, *Advances in Decision Sciences*. DOI: 10.1155/2014/617989
- [37] Sahoo, N. K. ed. 2016, Fuzzy Inventory Model with Exponential Demand and Time-Varying Deterioration, *Global Journal of Pure and Applied Mathematics*, *Cilt.* 12, s. 2573-2589.
- [38] Samanta, P. N. ed. 2017, Fuzzy Inventory Model For Two Parameter Weibull Deteriorating Items, *Transactions on Mathematics*, *Cilt.* 3, s. 27-36.
- [39] Rani, S. ed. 2019, Fuzzy Inventory Model for Deteriorating Items in a Green Supply Chain with Carbon Concerned Demand. *Opsearch*, *Cilt.* 56, s. 91-122. DOI: 10.1007/s12597-019-00361-8.
- [40] Khatua, D. ed. 2021, A Fuzzy Production Inventory Control Model Using Granular Differentiability Approach. *Soft Computing*, *Cilt.* 25, s. 2687-2701. DOI: 10.1007/s00500-020-05329-1
- [41] Jeyakumari, S. R. ed. 2021, Optimization of Fuzzy Inventory Model without Shortages, *European Journal of Molecular & Clinical Medicine*, *Cilt.* 7, s. 3116-3124.
- [42] Muller, M. 2003, *Essentials of Inventory Management*, 1. Inventory control. I. Title, American Management Association, USA. 255s.

- [43] Alfares, H. K., Ghaithan, A. M. 2019, EOQ and EPQ Production-Inventory Models with Variable Holding Cost: State-of-the-Art Review, *Arabian Journal for Science and Engineering*, Cilt. 44, s. 1737-1755. DOI: 10.1007/s13369-018-3593-4
- [44] S. N. Sivanandam, S. Sumathi and S. N. Deepa, 2007, *Introduction to Fuzzy Logic Using MATLAB*, Cill. 1, Berlin: Springer, 430s.
- [45] Paksoy, T. ed. 2013, *Bulanık Küme Teorisi*, 1. Basım, Nobel Yayın: Ankara.
- [46] Bolayır, B. 2016, *Bulanık Doğrusal Programlamanın Gıda ve Tarım Ürünleri Atıklarının Geri Dönüşümünde Faaliyet Gösteren Bir İşletmede Uygulaması*, Cumhuriyet Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Doktora Tezi, 274s, Sivas.
- [47] Timothy J. R. 2010, *Fuzzy Logic with Engineering Applications*, Third Edition, John Wiley & Sons, USA, 577s.
- [48] Zhao, J., Bose, B. K. 2002, Evaluation of Membership Functions for Fuzzy Logic Controlled Induction Motor Drive, In *IEEE 2002 28th Annual Conference of the Industrial Electronics Society. IECON*, 229-234, IEEE. DOI: 10.1109/IECON.2002.1187512
- [49] İsen, E. 2017, *Anfıs ve Bulanık C-Ortalamalar Yöntemleri Tabanlı Çok Kriterli Envanter Sınıflandırma Modeli*, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 70s, Sakarya.
- [50] Mahata, G. C., Goswami, A. 2013, Fuzzy Inventory Models for Items with Imperfect Quality and Shortage Backordering Under Crisp and Fuzzy Decision Variables, *Computers & Industrial Engineering*, Cilt. 64, s. 190-199. DOI: 10.1016/j.cie.2012.09.003
- [51] Deb, M., De, P. K. 2015, Optimal Solution of a Fully Fuzzy Linear Fractional Programming Problem By Using Graded Mean Integration Representation Method, *Applications and Applied Mathematics*, Cilt. 10, s. 571-587.
- [52] Dobos, I., Richter, K. 2003, A Production/ Recycling Model with Stationary Demand and Return Rate, *Central European Journal of Operations Research*, Cilt. 11, s. 35- 46.