






Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Sürdürülebilir Ekonomik Sipariş Miktarı Modeline Eleştirel Bir Bakış¹

 Nigar KARAGÜL^{a,*},  Abdullah EROĞLU^b,  Sezai TOKAT^c

^a Yönetim ve Organizasyon Bölümü, Honaz Meslek Yüksekokulu, Pamukkale Üniversitesi, Denizli, TÜRKİYE

^b Endüstri Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, TÜRKİYE

^c Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Pamukkale Üniversitesi, Denizli, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: ntokat@pau.edu.tr

DOI:10.29130/dubited.1016731

Öz

Harris tarafından 1913 yılında ilk önerildiği günden bugüne Ekonomik Sipariş Miktarı modeli temel ve etkin bir model olarak literatürde, endüstride ve ders kaynaklarında hak ettiği yeri edinmiştir. O günden bugüne çok farklı Ekonomik Sipariş Miktarı modelleri önerilmiştir. Dünya ekonomisi, endüstri ve bilimsel dünyanın son dönemdeki eğilimlerine bağlı olarak sürdürülebilir Ekonomik Sipariş Miktarı ve Ekonomik Üretim Miktarı modelleri önemli bir konu haline gelmiştir. Bu çalışmada sürdürülebilir bir Ekonomik Sipariş Miktarı modeli önerilmiş ve sipariş verme ve stokta tutma maliyeti, emisyon maliyeti, kusurlu ürünler, taşıma ve atık yok etme bileşenleri üzerinden bir model tasarlanmıştır. Modelin bileşenlerinin optimal çözüm üzerindeki etkileri analiz edilmiştir. Modelin çözümleri sembolik hesaplama ile elde edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Ekonomik sipariş miktarı modeli, Sürdürülebilirlik, Kusurlu ürün, Emisyon maliyeti, Sembolik hesaplama

A Critical Review at the Sustainable Economic Order Quantity Model

ABSTRACT

Since it was first introduced by Harris in 1913, the Economic Order Quantity model has gained its deserved place in the literature, industry and course resources as a basic and effective model. Since then, many different Economic Order Quantity models have been proposed. Depending on the recent trends of the world economy, industry and scientific world, sustainable Economic Order Quantity and Economic Production Quantity models have become an important research problem. In this study, a sustainable Economic Order Quantity model is proposed and a model is designed based on ordering and holding cost, emission cost, defective products, transportation and waste disposal components. The effects of the components of the model on the optimal solution were analyzed. The solutions of the model are obtained by symbolic computation.

Key words: Economic order quantity model, Sustainability, Defective product, Emission cost, Symbolic computation

¹ Bu çalışmanın belirli bir kısmı 3. Uluslararası Mühendislikte Yapay Zeka ve Uygulamalı Matematik Konferansında (UMYMK 2021) özet bildiri olarak sunulmuştur.

Geliş: 30/10/2021, Düzeltme: 13/12/2021, Kabul: 15/12/2021

I. GİRİŞ

İşletmelerde envanter yönetimi, finansal yönetimin önemli bileşenlerinden birisi olması nedeniyle maliyetlerin kontrolü açısından rekabet avantajı sağlar. İşletmelerin etkinliği ve verimliliği, üretim ve servis süreçlerinin aksamadan yürütülmesi ile optimal kontrol altında tutulan envanter düzeyi arasında önemli bir ilişki vardır. Bu ilişkinin işletme üzerindeki etkileri envanter yönetimi üzerine yapılan çalışmaların ve öneminin literatürde artmasına neden olmuştur [1].

Ekonomik Sipariş Miktarı (ESM) modeli, toplam stok maliyetini (sipariş verme/üretim hazırlık maliyeti, stok bulundurma maliyeti, stok bulundurmama maliyeti) minimum seviyede tutan sipariş miktarını belirlemek için kullanılan stok yönetim modelidir. 1913 yılında Harris tarafından ilk önerildiği günden bugüne Ekonomik Sipariş Miktarı (ESM) modeli temel ve etkin bir model olarak literatürde yerini almıştır.

Dünya ekonomisi, endüstri ve bilimsel dünyanın son dönemdeki eğilimlerine bağlı olarak sürdürülebilir Ekonomik Sipariş Miktarı (ESM) ve sürdürülebilir Ekonomik Üretim Miktarı (EÜM) modelleri önemli bir konu haline gelmiştir. Sürdürülebilirlik konusunda giderek artan bilinç düzeyi, bilim dünyasında da çevreye duyarlı uygulamaların benimsenmesi doğal akışın bir parçası olmuştur. Klasik envanter modellerinin, çevresel maliyetleri göz ardı etmesinden dolayı sürdürülebilirlik boyutuyla eksik kaldığı söylenebilir.

Bu çalışmada Bonney ve Jaber [2] makalesinde ele alınan sürdürülebilir Ekonomik Sipariş Miktarı (ESM) modeline matematiksel boyutlarıyla farklı bir bakış açısı getirilmiştir. Yazarların çalışmasında ele alınan model, klasik Ekonomik Sipariş Miktarı (ESM) modelini bazı çevresel maliyetleri içerecek şekilde genişleten bir yapının önerilmesidir. Ele alınan model, çevresel Ekonomik Sipariş Miktarı (Çevresel-ESM) modeli olarak ifade edilmiştir. Çalışmanın ikinci bölümünde bilimsel literatür araştırması yer almaktadır. Üçüncü bölümde metodoloji ve modelin detayları verilmiştir. Dördüncü bölümde bulgular yer almaktadır. Beşinci bölümde sonuç ve öneriler bulunmaktadır.

II. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Sürdürülebilir envanter modelleri, ekolojik, ekonomik ve sosyal hayatta aldığı kritik rollerle kültürel dönüşümün önemli bir parçası haline gelmektedir. Bu bağlamda Ekonomik Sipariş Miktarı ve Ekonomik Üretim Miktarı modellerinin evrimsel süreçlerinde, sürdürülebilir Ekonomik Sipariş Miktarı modelleri temel yapıları oluşturacaktır. Bu nedenle sürdürülebilir Ekonomik Sipariş Miktarı konusunda yapılan çalışmalar önemli fikirlerin gelişmesinde kritik süreçlere zemin hazırlayacaktır.

Bonney ve Jaber [2] klasik ESM modeline ulaştırma, araç emisyonu, atık yok etme maliyetleri gibi çevresel maliyetleri de ekleyen yeni bir ESM modeli önermişlerdir. Makale, özellikle, geleneksel envanter analizi tarafından uygun şekilde kapsanmayan bir dizi envanter problemini tanımlamaktadır. Yazarlar daha sonra envanter planlamasının çevreye olan önemini daha ayrıntılı olarak incelemişler ve envanter politikalarının çevresel kaygılarıyla ilgili konuları tartışmışlardır. Hua vd. [3] karbon ticareti, karbon fiyatı ve karbon üst sınırının sipariş kararları, karbon emisyonları ve toplam maliyet üzerindeki etkilerini analitik ve sayısal olarak incelemişler ve optimum sipariş miktarını türetmişlerdir. Bu makalede, firmaların karbon emisyon ticareti mekanizması altında envanter yönetiminde karbon ayak izlerini nasıl yönettikleri araştırılmıştır. Chen vd. [4] ESM modelinde sipariş miktarlarını değiştirerek emisyonları azaltmanın mümkün olduğu bir koşul sağlamışlar ve emisyon azaltımı ile maliyet artışının büyüklüğündeki farkı etkileyen faktörleri tartışmışlardır. Sonuçların çeşitli çevresel düzenlemeler altındaki sistemlere uygulanabilirliğini tartışmışlardır. Hariga vd. [5] bir fabrika/depo, bir dağıtım merkezi ve bir perakendeciden oluşan çok aşamalı bir tedarik zinciri bağlamında, soğuk bir ürünün nakliye ve depolama faaliyetlerinden kaynaklanan karbon emisyonlarının muhasebeleştirilmesinin

etkisini değerlendirmişlerdir. Yazarlar çalışmalarında, operasyonel maliyet minimizasyon modeli, karbon ayak izi minimizasyon modeli ve hibrit ekonomik ve çevresel minimizasyon modeli sunmuşlardır. Üçünün optimal çözümü için yapısal özellikler tanımlanmış ve çözüm algoritmaları da önerilmiştir. Battini vd. [6] klasik ESM modelinde çevresel etkiyi etkileyen faktörlerin entegrasyonunu araştırmışlar ve bir “Sürdürülebilir ESM Modeli” önermişlerdir. Sipariş büyüklüğüne bağlı tüm sürdürülebilirlik faktörleri modele dahil edilmiş ve ekonomik bir bakış açısıyla incelenmiştir. Nakliye maliyetleri, satıcı ve tedarikçi konumu ve farklı yük aracı kullanım oranları dikkate alınmıştır. Yeni “Sürdürülebilir ESM Modelini” kullanmanın etkisinin bir örneği sunulmuştur. Tiwari vd. [7] karbon emisyonunu dikkate alan kusurlu kaliteye sahip bozulan kalemler için tek alıcı ve tek satıcıli entegre envanter modeli sunmuşlardır. Karbon emisyonu, bozulan ürünlerin taşınması, depolanması ve muhafaza edilmesinden kaynaklanır. Nakliye emisyonu, aracın yakıt tüketimine, yakıt emisyonuna ve kat edilen mesafeye bağlıdır. Depo emisyonu, toplam envantere ve birim kalem başına depo enerji tüketimine bağlıdır. Bozulan öğeden kaynaklanan emisyon, elden çıkarılmasıyla ilgilidir. Bir özüm prosedürü önerilmiş ve teoriyi açıklamak için sayısal bir örnek sunulmuştur. Entegre modelin hem maliyet hem de karbon emisyonu azaltımı açısından üstün olduğu ortaya konulmuştur. Liao ve Li [8] klasik ESM modelinin sınırlarını gevşetmiş ve uygulamayı kapalı döngü tedarik zinciri (CLSC) sistemlerine genişletmişlerdir. Piyasa belirsizliğinin yeniden imalat ve operasyon süreçleri üzerindeki etkileri ölçülmüş, tüm üretim endeksleri karbon eşdeğeri emisyonlara dönüştürülerek, farklı satın alma senaryoları altında çevresel verimliliğin karşılaştırılmalı bir analizi yapılmış ve optimal bir sipariş stratejisi tasarlanmıştır.

Aydemir vd. [9] grilik derecesi yaklaşımı kullanılarak bakır tel üretim sisteminde gri talep oranı, gri maliyet değerleri ile genişletilen ve kusurlu kalemler altında maksimum geri sipariş seviyesine izin verilen bir EÜM modeli geliştirmeyi hedeflemişlerdir. Yazarlar matematiksel model geliştirilmişler ve sonuçlar, bir bakır tel üretim sisteminin uygulamalı bir vaka çalışması ile sistemin belirsizlik altındaki davranışları ile birlikte ele alınmıştır. Aydemir [10] ulusal ve uluslararası indeksleri tarayarak elde edilen bilimsel yazın örnekleri ile envanter yönetimi ve EÜM modellerinde yaşanan değişim sürecini araştırmıştır. Aydemir vd. [11] kusurlu bir üretim süreci altındaki birimlerdeki iyi kaliteli ürünlerle izin verilen maksimum geri sipariş düzeyine sahip gri talep oranı ve maliyet değerlerine sahip bir EÜM modeli geliştirmişlerdir. Yazarlar önerdikleri modelin gösterimi için bir matematiksel model geliştirmişler ve ardından ahşap sunta üretim süreci üzerinde endüstriyel bir örnek sunmuşlardır. Eroğlu ve Aydemir [12] geri dönüşüm sürecinde toplanan ürünlerin yeniden üretim yoluyla geri kazanımı esnasında yeniden üretim sürecine dahil olan ürünlerin bir kısmının kusurlu olabileceği durum için yeni bir envanter modeli geliştirmişlerdir. Model örnek bir uygulama problemi ile desteklenerek özümlelenmiştir. Eroğlu ve Aydemir [13] geri dönüşüm süreci, kusursuz hale getirilmek için toplanan ürünlerin tamamının ya geri dönüşerek ya da kısmı geri dönüşerek işlendiği ve kalan kısmın ise tamir edildikten sonra geri dönüşüme verilmesi durumunu gösteren bir envanter modeli geliştirmişlerdir. Model örnek bir uygulama problemi ile özümlelenmiştir. Algburı vd. [14] stok yönetimiyle ilgili olarak ekonomik literatürü incelemişler ve farklı durumlar altında geliştirilen stok kontrol modelleri için kapsamlı bir yazın taraması yapmışlardır.

III. METODOLOJİ VE MODEL

Bonney ve Jaber [2] makalesindeki model, klasik Ekonomik Sipariş Miktarı (ESM) modelini bazı çevresel maliyetleri içerecek şekilde genişleten bir modeldir. Yazarlar bu modeli, evresel Ekonomik Sipariş Miktarı (evresel-ESM) modeli olarak adlandırmışlardır. Bu alışmada Bonney ve Jaber [2] makalesinde ele alınan sürdürülebilir Ekonomik Sipariş Miktarı (ESM) modeline matematiksel boyutlarıyla farklı bir bakış açısı getirilmiştir. Yeni bakış açısı ile önerilen sürdürülebilir ESM modeli adım adım geliştirilme süreci açıklanmıştır.

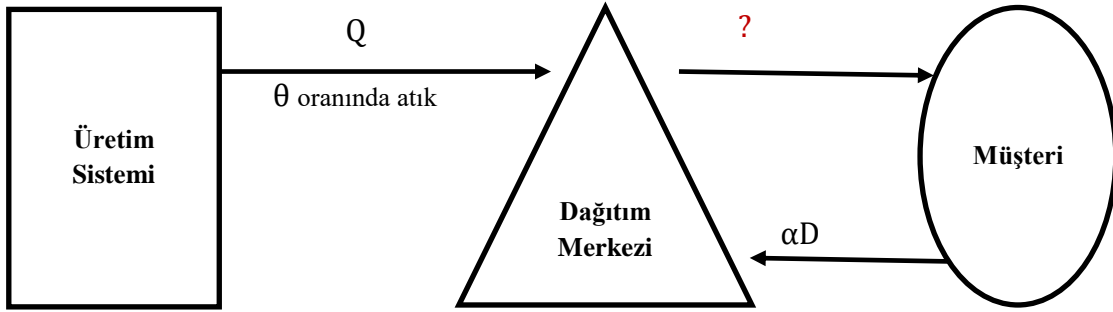
A. MATEMATİKSEL MODEL

Modele ilişkin terimler ve açıklamalar aşağıda verilmiştir.

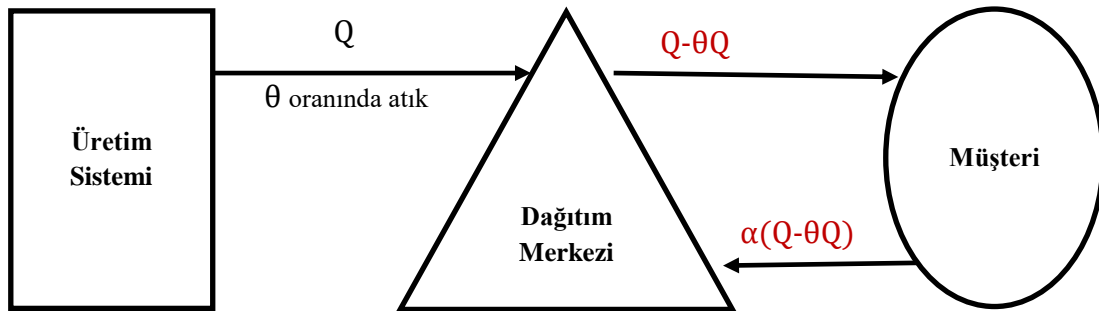
Notasyon

Değişken	Birim	Tanım
A	pb	Sipariş verme maliyeti
c	pb/birim	Birim başına satın alma maliyeti
h	pb/birim/yıl	Stokta tutma maliyeti
a	pb	Sefer başına sabit ulaştırma maliyeti
b	pb/birim/km	Bir birim ürünün bir birim uzaklığa ulaştırılması değişken maliyeti
d	km	Ulaştırma mesafesi (tedarikçi-müşteri arasındaki uzaklık)
α	oran	Talep iade oranı ($0 < \alpha < 1$)
D	birim/yıl	Talep hızı
β	pb/saat	Araç emisyonuna bağlı sosyal maliyet
v	km/saat	Aracın ortalama hızı
γ	pb/birim	Atık yok etme maliyeti
θ	oran	Parti büyüklüğü (lot) başına üretilen atık oranı ($0 < \theta < 1$)

Bonney ve Jaber [2] tarafından önerilen model Şekil 1’de ve tarafımızdan önerilen modelin işleyişi Şekil 2’de verilmiştir.

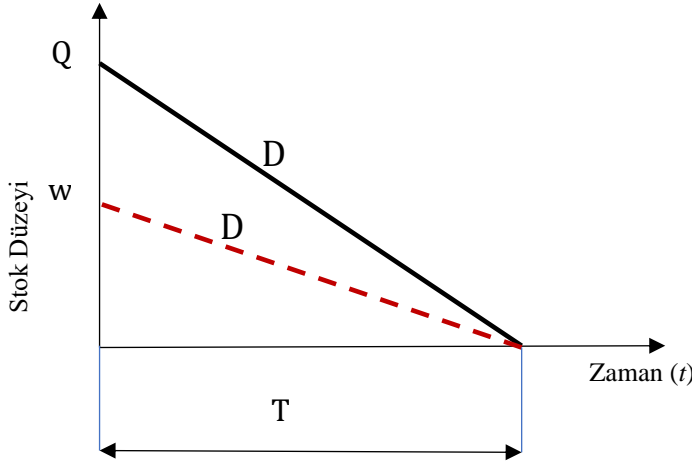


Şekil 1. Bonney-Jaber [2] ESM Modelinin İşleyiş Yapıları



Şekil 2. Önerilen Sürdürülebilir ESM Modelinin İşleyiş Yapıları

Şekil 3’te ise önerilen sürdürülebilir ESM modeli için envanter düzeylerinin nasıl değişebileceği ile ilgili bir grafik verilmiştir. Ancak bu modelde sadece ilk üretim sisteminden depoya sevk edilen kusurlu ürünlerin etkisi envanter düzeyleri ile ilgili değişim burada gösterilmiştir. Diğer sürdürülebilir ESM modeli üzerine etki eden olgular matematiksel olarak analiz edilmiştir.



Şekil 3. Önerilen modeldeki stok düzeyleri değişimi

Önerilen ESM modeli için aşağıdaki matematiksel ifadelerin geçerliliği varsayılmıştır.

Q	: Depoya gelen ürün miktarı
θQ	: Atık miktarı
$Q - \theta Q$: Müşteriye teslim edilen ürün miktarı
$\alpha(Q - \theta Q)$: Müşteri tarafından iade edilen ürün miktarı
$\theta Q + \alpha(Q - \theta Q)$: Toplam atık ürün miktarı

Matematiksel model aşağıdaki şekilde adım adım inşa edilmiştir.

Matematiksel Modelin Geliştirilmesi

İlk olarak modelde sipariş verme ve stokta tutma maliyeti klasik ESM modelinde var olduğu şekliyle oluşacaktır. Sipariş verme ve stokta tutma maliyeti denklem (1)'de verilmiştir.

$$C = A + cQ + h \frac{(Q - \theta Q)^2}{2D} \quad (1)$$

Ulaştırma maliyeti denklem (2)'de verilmiştir. Burada $2a$ terimi ile ifade edilen bileşen sabit maliyet, bdQ terimi ile ifade edilen bileşen depoya geliş maliyeti, $bd(Q - \theta Q)$ ifadesi ile gösterilen müşteriye teslim maliyeti ve son terim $bd\alpha(Q - \theta Q)$ ise iade edilen ürün maliyeti olarak tasarlanmıştır.

$$C_t = 2a + bdQ + bd(Q - \theta Q) + bd\alpha(Q - \theta Q) \quad (2)$$

Sürdürülebilir ESM modelinin kritik bileşeni olan emisyon gazı ortaya çıkarmanın maliyeti ise denklem (3) ile açıklanmıştır. Bu denklemde ele alınan yapıda emisyon maliyeti yük miktarına bağlı olarak hesaplanmıştır. Buradaki tanımlamada, β_0 sabit emisyon maliyeti, β_1 emisyon maliyeti (pb/kg/km), β_2 CO_2 miktarı (kg/km/birim) olarak ele alındığında Q terimine bağlı emisyon maliyeti aşağıdaki şekilde ortaya çıkacaktır.

$$C_e = \beta_0 + \beta_1\beta_2Q + \beta_1\beta_2(Q - \theta Q) + \beta_1\beta_2\alpha(Q - \theta Q) \quad (3)$$

γ_0 : Her bir atık yok etme faaliyeti başına oluşan sabit maliyet olmak üzere, sürdürülebilir ESM modelinin diğer önemli bileşeni olan atık yok etme maliyeti ise denklem (4) ile açıklanmıştır.

$$C_w = \gamma_0 + \gamma\theta Q + \gamma\alpha(Q - \theta Q) \quad (4)$$

Önerilen sürdürülebilir ESM modelinin toplam maliyet fonksiyonu (φ) bu durumda, sipariş verme ve stokta tutma maliyeti (C), ulaştırma maliyeti (C_t), emisyon maliyeti (C_e) ve atık yok etme (C_w) maliyetlerinin toplamı şeklinde denklem (5) ile gösterilebilir.

$$\varphi = C + C_t + C_e + C_w \quad (5)$$

Önerilen sürdürülebilir ESM modeline ilişkin toplam maliyet fonksiyonu çevrim zamanı (T)'ye bölünerek birim toplam maliyet fonksiyonu (φ_U) denklem (6)'da gösterildiği şekilde elde edilecektir.

$$\varphi_U = \frac{\varphi}{T} \quad (6)$$

IV. BULGULAR

Sürdürülebilir ve çevreci bir ESM modeli önerilmiştir. Önerilen modelin optimal çözümü araştırılmıştır.

Önerilen sürdürülebilir model sembolik hesaplama yazılımı SageMath ile çözümlerse optimal sipariş miktarı (Q_E^*) denklem (7)'deki şekliyle elde edilir.

$$Q_E^* = \frac{\sqrt{\frac{2AD}{h} + \frac{4Da}{h} + \frac{2D\beta_0}{h} + \frac{2D\gamma_0}{h}}}{\theta - 1} \quad (7)$$

Önerilen sürdürülebilir ESM modeli incelendiğinde, sürdürülebilirlik anlamında modele eklenen tüm bileşenlere ilişkin fonksiyonların sabit bileşenlerin optimal çözüm bir etki ürettiği görülmektedir. Eklenen bileşenlerin değişken olarak ifade edilebilecek parametrelerinin optimal çözüm değerini belirleme konusunda bir katkısının olmadığı görülmektedir.

Önerilen sürdürülebilir modelin klasik ESM ve Bonney-Jaber [2] modelleri ile ilişkilerinin analiz edilebilmesi için denklem (8) ve denklem (9)'da sırasıyla optimal sipariş miktarı çözümleri verilmektedir.

Klasik ESM modeli optimal sipariş miktarı:

$$Q^* = \sqrt{\frac{2AD}{h}} \quad (8)$$

Bonney-Jaber [2] çevreci ESM modeli optimal sipariş miktarı:

$$Q_{Enviro}^* = \sqrt{\frac{2AD}{h} + \frac{4Da}{h} + \frac{2D\beta d}{hv} + \frac{2D\gamma_0}{h}} \quad (9)$$

Sayısal Örnek: Bir işletme için, sipariş verme maliyeti (A) 50 \$, satın alma maliyeti (c) 3 \$/br, stokta tutma maliyeti (h) 0,2 \$, sefer başına sabit maliyet (a) 10 \$, birim başına değişken ulaştırma maliyeti (b) 0,01 \$/km, yük taşıma mesafesi (d) 100 km, talep iade oranı (α) 0,1, talep miktarı (D) 1200 br/yıl, araç emisyonuna bağlı sosyal maliyet (β) 0,05 \$/saat, ortalama hız (v) 60 km/saat, atık yok etme sabit maliyet (γ_0) 15 \$, atık yok etme birim maliyeti (γ) 1,5 \$/br, üretim sisteminin atık üretme oranı (θ) 0,15, sabit emisyon maliyeti (β_0) 10 \$, emisyon birim maliyeti (β_1) 0,1 \$/kg/km, CO_2 salınım miktarı birim ürün başına (β_2) 0,456 kg/km/br olarak verildiğinde Klasik ESM (Q^*), Bonney-Jabber (Q_{Enviro}^*)

ve önerilen ESM modeli (Q_E^*) için optimal ESM nedir ve önerilen ESM modeli için optimal sipariş miktarı ile maliyetler ($C, C_t, C_e, C_w, \varphi$) ne olur?

Optimal çözüm denklemleri yukarıda elde edildiği şekilde çalıştırılırsa:

Klasik ESM modeli için optimal miktar $Q^* = 774,6$ br, Bonney ve Jaber ESM modeli için optimal miktar $Q_{Enviro}^* = 885,1$ br ve Karagül-Eroğlu-Tokat ESM modeli için optimal miktar, $Q_E^* = 1256,1$ br olarak elde edilir. Elde edilen Karagül-Eroğlu-Tokat modeli optimal miktarı, maliyet denklemlerinde yerine konursa; sipariş verme ve stokta tutma maliyeti $C = 3193,3$ \$, ulaştırma maliyetleri $C_t = 2450,6$ \$, emisyon maliyetleri toplamı $C_e = 120,8$ \$, atık yok etme maliyetleri toplamı $C_w = 457,8$ \$ ve toplam maliyet fonksiyonu değeri $\varphi = 6942,5$ \$ olarak elde edilmektedir.

Önerilen model için yapılan sayısal analiz, Bonney ve Jaber ESM modeli için optimal miktarının, klasik ESM modeli optimal miktarından daha büyük, önerilen modelin optimal miktarının ise her ikisinden daha büyük olduğunu açıkça ortaya koymuştur. Dolayısıyla önerilen modelin maliyetlerinin daha fazla olması sonucunu ortaya çıkarmaktadır. Toplam maliyet içindeki maliyet bileşenlerinin dağılımı incelendiğinde; sipariş verme ve stokta tutma maliyeti %56, ulaştırma maliyetleri %35, emisyon maliyetleri %2, atık yok etme maliyetlerinin %7 olduğu görülmektedir. Model maliyetleri incelendiğinde görece olarak atık yok etme ve CO_2 salınım maliyetlerinin hala daha düşük olarak ortaya çıktığı söylenebilir. Ancak günümüz koşullarında görece olarak düşük olan bu maliyetlerin zaman içinde artmaya devam edebileceği söylenebilir. Bu artışın kaynağını zaman içinde yapılacak sosyal, kültürel, çevresel, ekonomik ve yasal düzenlemelerin meydana getireceği söylenebilir.

V. SONUÇ VE ÖNERİLER

Gün geçtikçe insanoğlunu üretim ve sınır tanımayan tüketim yaklaşımları nedeniyle dünya yaşanamaz bir hale gelebilecek korkusu almaya başlamış ve bu nedenle belirli ölçülerde insanoğlu için çevre duyarlılığı artma eğilimi göstermeye başlamıştır. Bu bağlamda düşünüldüğünde bilim dünyası da kendi çalıştığı alanlar üzerinde bu duyarlılığın artmasına katkı sağlamalı ve çalışmalarını ile hem üretim hem tüketim ilişkileri açısından çevreci yaklaşımlar ortaya konulmasında etkin roller üstlenmelidir. Bu çerçevede Ekonomik Sipariş Miktarı (ESM) modelleri için çevreci bir ESM modeli insanoğlunun sürdürülebilir bir çevrede yaşamasına katkı sağlamak üzere tasarlanmış ve tartışmaya açılmıştır.

Bu çalışmada, Bonney-Jaber [2] çevresel Ekonomik Sipariş Miktarı (Çevresel-ESM) modeline matematiksel boyutlarıyla eleştirel bir bakış açısı getirilmiştir. Sürdürülebilir bir ESM modeli önerilmiş ve sipariş verme ve stokta tutma maliyeti, emisyon maliyeti, kusurlu ürünler, taşıma ve atık yok etme bileşenleri üzerinden bir model tasarlanmıştır. Bu bakış açısında optimal sipariş miktarının sürdürülebilirlik varsayımları altında nasıl etkilendiği analiz edilmiştir. Modelin çözümleri sembolik hesaplama ile elde edilmiştir.

Çalışmada önerilen modelin optimal çözümü ile klasik ESM ve Bonney-Jaber [2] modelleri karşılaştırılmıştır. Eleştiri üzerinden inşa edilen model, hem klasik hem Bonney-Jaber [2] modeline göre daha büyük parti büyüklüğünde sipariş verilmesi gerektiğini ortaya koymuştur. Yeni inşa edilen modelde atık geri dönüşüne bağlı değişken α parametresinin ve diğer parametreler olan β_1, β_2 ve γ 'nın optimal parti büyüklüğünün hesaplanmasında bir etki üretmediği, ancak tanımlamalarda yer a, β_0 ve γ_0 sabit parametrelerinin optimal parti büyüklüğünün belirlenmesinde rol oynadığı ortaya çıkmıştır.

ESM modelleri karşılaştırılarak literatüre bir katkı sağlanması hedeflenmiştir. Bundan sonra önerilen sürdürülebilir ESM modellerinin geliştirilmesinde teşvik edici rol oynaması beklenmektedir. Yeni sürdürülebilir modeller üretmek için hatalı ürün oranı rassal değişken olarak, emisyon ve atık ürün maliyetleri de farklı bakış açıları altında yeni fonksiyonlarla ifade edilebilir.

VI. KAYNAKLAR

- [1] A. Eroğlu, *Deterministik Envanter Modelleri*, Isparta, Türkiye: Fakülte Kitabevi, 2002.
- [2] M. Bonney and M. Y. Jaber, “Environmentally Responsible Inventory Models: Non-Classical Models For A Non-Classicalera,” *Int. J. Production Economics*, vol. 133, pp. 43–53, 2011.
- [3] G. Hua, T.C.E. Cheng and S. Wang, “Managing Carbon Footprints In Inventory Management,” *Int. J. Production Economics*, vol. 132, pp. 178–185, 2011.
- [4] X. Chen, S. Benjaafar and A. Elomri, “The Carbon-Constrained EOQ,” *Operations Research Letters*, vol. 41, pp. 172–179, 2013.
- [5] M. Hariga, R. As'ad and A. Shamayleh, “Integrated Economic And Environmental Models For A Multi Stage Cold Cupply Chain Under Carbon Tax Regulation,” *Journal of Cleaner Production*, vol. 166, pp. 1357-1371, 2017.
- [6] D. Battini, A. Persona and F. Sgarbossa, “A sustainable EOQ model: theoretical formulation and applications,” *Int. J. Production Economics*, vol. 149, pp. 145–153, 2014.
- [7] S. Tiwari, Y. Daryanto and H. M. Wee, “Sustainable inventory management with deteriorating and imperfect quality items considering carbon emission,” *Journal of Cleaner Production*, vol. 192, pp. 281–292, 2018.
- [8] H. Liao and L. Li, “Environmental sustainability EOQ model for closed-loop supply chain under market uncertainty: a case study of printer remanufacturing,” *Computers & Industrial Engineering*, vol. 151, 106525, 2021.
- [9] E. Aydemir, F. Bedir and G. Özdemir, “Degree of greyness approach for an EPQ model with imperfect items in copper wire industry,” *Journal of Grey System*, vol. 27, no. 2, pp. 13-26, 2015.
- [10] E. Aydemir, “Envanter yönetimi ve uzantıları: ekonomik üretim miktarı modelleri üzerine bir bilimsel yazın araştırması,” *Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, c. 15, s. 3, ss. 97-112, 2015.
- [11] E. Aydemir, F. Bedir, G. Özdemir and A. Eroğlu, “An EPQ model with imperfect items using interval grey numbers,” *An International Journal of Optimization and Control: Theories & Applications (IJOCTA)*, vol. 5, no. 1, pp. 21-32, 2015.
- [12] R. Eroğlu ve E. Aydemir, “geri dönüşüm sürecinde kusurlu yeniden üretim durumu için yeni bir envanter modeli,” *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, c. 23, s. 68, ss. 381-397, 2021.
- [13] R. Eroğlu ve E. Aydemir, “Tamir sürecini içeren geri dönüşüm süreci için yeni bir envanter modeli geliştirilmesi,” *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, c. 8, s. 4, ss. 1086-1098, 2020.
- [14] A. A. H. Algburı, A. Eroğlu ve H. Sulak, “Farklı durumlar altında geliştirilen stok kontrol modelleri yazın taraması,” *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, c. 24, s. 1, ss. 19-31, 2019.