

Gıda Tedarik Zincirinde Kamçı Etkisi Yaratan Kriterlerin Best-Worst Metodu ile Değerlendirilmesi

Assessment of the Criteria Creating the Bullwhip Effect in the Food Supply Chain Using the Best-Worst Method

Salih AKA¹

(Sorumlu Yazar-Corresponding Author)



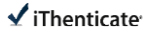
¹Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, İktisadi Ve İdari Bilimler Fakültesi, İşletme Bölümü, Erzincan, Türkiye.
salih.aka@erzincan.edu.tr

Geliş Tarihi/Received: 01.10.2024
Kabul Tarihi/Accepted: 27.01.2025

Atf /Cite this article:

Aka, S. (2025). Gıda Tedarik Zincirinde Kamçı Etkisi Yaratan Kriterlerin Best-Worst Metodu ile Değerlendirilmesi. *Erzurum Teknik Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi* (22), 40-51.

This article checked by



Content of this journal is licensed under a Creative Commons Attribution-Noncommercial 4.0 International License.

Öz

Gıda tedarik zincirleri ekonomik refah seviyesinin ve toplumsal düzenin korunması açısından önemli görevlere sahip sistemlerdir. Bu sistemler gıdanın bozulabilir yapısından kaynaklı olarak hassas envanter, üretim ve dağıtım kararlarına ihtiyaç duymaktadır. Arzın talepten büyük olması durumunda ortaya çıkan ürün fazlası, ekonomik bir kayıptan öte, oluşan atık nedeniyle çevresel ekonomik ve toplumsal yönü olan çok boyutlu bir problem hâline gelmektedir. Fakat arzın talebi karşılamaması durumunda görülebilecek yok satma hâli de atık kadar önem taşımaktadır. Gıda tedarik zincirleri için her bir kademede talep planlaması bu açıdan kritik öneme sahiptir. Çalışmada gıda tedarik zincirlerinde kamçı etkisi yaratan kriterler araştırılmış ve belirlenen 8 adet kriter birbirleri ile karşılaştırılarak bir önem sırası ortaya konmuştur. Analiz için çok kriterli karar verme yöntemleri içerisinde matematiksel model altyapısı ile ayrılarak tutarlı sonuçlar sunan BWM (Best-Worst Method) tekniği kullanılmıştır. Bulgular sonucunda bilgi paylaşımı kriterinin gıda tedarik zinciri içerisinde en öncelikli kamçı etkisi yaratma potansiyeli taşıyan unsur olarak ortaya çıktığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Gıda Tedarik Zinciri, Kamçı Etkisi, BWM, Çok Kriterli Karar Verme

Abstract

Food supply chains are systems that maintain economic welfare and social order. These systems require sensitive inventory, production, and distribution decisions due to the perishable nature of food. When supply exceeds demand, the resulting excess product becomes a multidimensional problem with environmental, economic, and social aspects, rather than an economic loss due to the waste generated. However, the absence seen when supply does not meet demand is as important as waste. Demand planning at each stage for food supply chains is critical in this respect. In the study, the criteria that create a bullwhip effect in food supply chains were investigated and 8 determined criteria were compared with each other to reveal an order of importance. The BWM (Best-Worst Method) technique, which provides consistent results by separating with a mathematical model infrastructure within multi-criteria decision-making methods, was used for the analysis. As a result of the findings, it was seen that the information sharing criterion emerged as the most important element with the potential to create a bullwhip effect in the food supply chain.

Keywords: Food Supply Chain, Bullwhip Effect, BWM, Multi-Criteria Decision Making

Giriş

Gıda tedarik zincirleri çoklu aktörlerden oluşan ve doğasında bu aktörlerin faaliyetlerinden kaynaklı birçok belirsizlik taşıyan bir sistemler bütünüdür. Bu sistem gıda ürünlerinin tarladan tüketicilere kadar verimli tedarik ve üretimini gerçekleştiren paydaşları organize etme ve müşterilerin miktar, kalite ve fiyat açısından üründen beklentilerini güvenilir ve ekonomik olarak karşılama amaçlarını taşımaktadır (Somashekhar, Raju ve Patil, 2013). Teknolojik gelişmeler ve tüketim alışkanlıkları gıda endüstrisinin hızla değişmesine sebep olmaktadır. Özellikle çevrimiçi yemek sipariş uygulamaları sayesinde gıda tedarik zincirindeki paydaş sayısında önemli artışlar görülmektedir (Jain, Verma ve Jaggi, 2021). Bu durum hem rekabeti artırmakta hem de gıda tedarik zincirindeki her bir paydaşın daha çevik hareket etmesini zorunlu kılmaktadır. Tedarikçiden müşteriye uzanan zincir içerisinde operasyonların kalitesinden kaynaklı olarak üretim ve dağıtım maliyetleri değişim göstermektedir (Durán Peña, Ortiz Bas ve Reyes Maldonado, 2021). Özellikle belirsiz talep ve yetersiz planlanmış tedarik aksiyomları tedarik zincirinin tüm paydaşlarının hissedeceği olumsuz etkiler yaratabilmektedir.

Tedarik zinciri paydaşları birbirine sipariş ve tedarik ağı ile bağlıdır. İkili aktörler arasında mal ve hizmet dağıtımının yanı sıra para ve bilgi akışı da gerçekleşmektedir. Zincirin paydaşları arasındaki koordinasyon ve iletişim eksikleri nedeniyle bilgi paylaşımı bozulabilmektedir. Bu durum özellikle talep tarafında ciddi dalgalanmalar oluşturmaktadır. Talep tarafından oluşturulan değişimin yarattığı varyans ile üretici tarafından algılanan değişimin varyansı birbirinden farklıdır ve tedarik zinciri genişledikçe bu değişimin yarattığı dalga giderek büyümektedir (Rahman, Rahman ve Talapatra, 2020).

Tedarik zinciri içerisinde üretici ve tedarikçilerin gelen talebe göre hareket etmeleri gerekmektedir. Tedarik zincirinin son aşamasında görülen talepteki bir birim değişim sonraki her aşamada kademeli olarak artan talebin bir önceki paydaşa yansıtılmasına sebebiyet vermektedir. Her bir paydaş talep değişiminden etkilenmemek için kendisinden önceki dağıtıcıya var olan talepten daha fazla sipariş vermektedir. Bu durum tedarikçiye kadar uzanan zincir içerisinde gerçek talebin çok çok üstünde bir talep algısı yaratmaktadır. Gerçek talebin çok ötesindeki bu beklenti her kademedeki paydaşın fazladan stok tutması anlamı taşımaktadır. Dolayısıyla tedarik zincirinin toplam maliyeti ciddi anlamda artmaktadır (Özdağoglu, 2016).

Tedarik zincirlerinde özellikle son aktörden geriye doğru talepten kaynaklı olarak ortaya çıkan ve bir dalga hâlinde büyüyen bu değişkenliğe kamçı etkisi adı verilmektedir (Sucky, 2009; Fransoo ve Wouters, 2000). Kamçı etkisi talep belirsizliğinden beslendiğinden dolayı özellikle itme sistemine sahip üretim işletmelerinde talebin tahminine yönelik kullanılan yöntemler, tedarik zinciri boyunca bu fenomenin etkisini azaltmakta başarısız kalabilmektedir. Lee, Padmanabhan ve Whang (1997) yetersiz talep tahmini, sipariş parti büyüklüğünün yanlış belirlenmesi, ürün fiyatında yaşanan dalgalanmalar, tedarik sırasındaki aksaklıklar ve tutarsız teslim süresi gibi unsurların kamçı etkisinin ana sebepleri olduğunu belirtmektedir. Tedarik zinciri sistemi içerisinde yer alan küçük çaplı işletmelerin varlığı kamçı etkisini tespit edebilmeyi oldukça zorlaştırmaktadır (Vokhmyanina, Zhuravskaya ve Osmólski, 2018). Her bir işletmenin kendi tahmin modelini kullanması sonucu kamçı etkisinin değişkenliği artmaktadır.

Gıda tedarik zincirleri hızlı bozulabilen ve zamanla kalite kaybına uğrayabilen gıdaların üretim ve dağıtımını organize etmektedir. Raf ömrü parametresinden kaynaklı olarak gıda üretici ve dağıtıcılarının çevik hareket etmesi, olabildiğince esnek olması ve stok-yok satma dengesini iyi kurması gerekmektedir (Novitasari ve Damayanti, 2018). Bu durumda kamçı etkisi gıda tedarik zincirleri için çok daha stratejik bir çalışma alanı hâline gelmektedir. Kamçı etkisi ve gıda tedarik zinciri konulu çalışmalarda genellikle kamçı etkisinden kaynaklı değişkenliğin tespitine ya da bu değişkenliğin azaltılmasına yönelik analizler karşımıza çıkmaktadır (Wangphanich, Kara ve Kayis, 2010; Jain vd., 2021; Somashekhar vd., 2013). Gıda tedarik zincirine yönelik bazı derleme çalışmalarında ise kamçı etkisi yaratan unsurların tespitine odaklanılmaktadır (Novitasari ve Damayanti, 2018; Durán Peña vd., 2021). Fakat bu kriterlerin önemini değerlendirme ve öncelikle hangi unsurların kamçı etkisi için daha ön planda olduğunu anlama konusunda büyük bir boşluk bulunmaktadır. Bu çalışmada gıda tedarik zincirlerinde kamçı etkisi yaratan unsurlar derlenmiş ve bu unsurlar ikili karşılaştırmalara tabi tutulmuştur. Çalışmanın amacı bu unsurlar arasında bir ağırlık çalışması yapmak ve unsurların kamçı etkisi için önemi hakkında bir sıralama tespit edebilmektir. Çalışmanın birinci bölümünde ilgili literatür araştırması sunulmuş, ikinci bölümde ise çalışmada kullanılan yöntem tanıtılmıştır. Üçüncü bölümde veri toplama yöntemi ve analizler sonucu elde edilen bulgular ortaya konulmuş ve sonuç bölümünde çalışmanın pratik ve teorik katkıları ve gelecekte yapılabilecek devam çalışmaları tartışılmıştır.

1. Literatür Araştırması

Kamçı etkisi tedarik zinciri ilişkisi son dönemlerde araştırmacıların yoğunlaştığı konulardan biri hâline gelmektedir. Sucky (2009) kamçı etkisi konulu çalışmaların altı kategoride incelenebileceğini belirtmektedir. Bu kategoriler kamçı etkisinin

niceliğini bulmaya çalışan, kamçı etkisinin nedenlerini tespit eden, ürün ve şirket bazında kamçı etkisini analiz eden, kamçı etkisini azaltmaya çalışan, sistem davranışının benzetimine odaklanan ve kamçı etkisinin deneysel doğrulanmasına odaklanan çalışmalar olarak gruplandırılmıştır. Kamçı etkisi talep ve stok hareketliliği üzerinden yarattığı stok şişkinliği üzerinden değerlendirilebilmektedir. Novitasari ve Damayanti (2018) özellikle bozulabilir ürün konulu gıda tedarik zinciri alanındaki kamçı etkisi araştırmalarının %58,97'sinde analitik, %41,03'ünde ise simülasyon tekniklerinin kullanıldığını ve özellikle ürünün zamana bağlı yaşının sabit olmaması nedeniyle simülasyon tekniğinin gıda alanındaki çalışmalarda oldukça tercih edilir olduğunu belirtmektedir.

Kamçı etkisinin nedenleri hakkında çeşitli bakış açıları bulunmaktadır. Bhattacharya ve Bandyopadhyay (2011) yetersiz kapasite ve operasyonlar arası koordinasyonsuzluğun, teslimat ve envanter politikaları üzerinden kamçı etkisi yaratabileceğini vurgulamaktadır. Özellikle talebin tahmin edilmesindeki yanlış yöntem seçimi ve tutarsız geçmiş dönem verisi kamçı etkisinin en önemli sebepleri içerisinde (Zhang ve Burke, 2011). Promosyonlar ve sezonluk fiyat değişimleri ani ve suni talep dalgalanmaları yaratabilmektedir (Braz, De Mello, de Vasconcelos Gomes ve de Souza Nascimento, 2018). Paydaşlar arasındaki eksik bilgi ortamının getirdiği koordinasyon ve iletişim hataları, envanterlerin yenilenmesinde ve üretim programlarının planlanmasında zafiyet meydana getirmektedir (Park, 2020). Ayrıca üretim sırasında karşılaşılan arıza, plansız bakım ve ürünün yeniden işlenmesi gibi faaliyetler yine üretimde gecikmelerle birlikte kamçı etkisi meydana getirebilmektedir (Hull, 2005).

Faklı endüstri kollarında yer alan tedarik zinciri organizasyonlarında, kamçı etkisi yaratan unsurlar farklılaşabilmektedir. Tursun (2024) konut tedarik zincirindeki kamçı etkisi yapısını, tedarik zincirindeki aktör sayısı, tedarik süresi ve ürün tipi üzerinden niteliksel olarak incelemiş ve diğer tedarik zincirleri ile karşılaştırmıştır. Çalışmada yer alan tespitlere göre konut tedarik zincirlerinde üretim süreleri uzun olduğundan müşteri ürüne dair kolayca bilgi edinebilir, ayrıca konut ürünü taşınmadığından pazara rakip ürün getirilmesi oldukça zordur ve böylece pazar-arz dengesi korunmaktadır. Bu iki durum kamçı etkisini azaltmaya etki edebilmektedir. Aytaç ve Öztekin (2024) hizmet tedarik zincirlerindeki kamçı etkisini telekomünikasyon sektörü üzerinden değerlendirmiş ve telekomünikasyon sektöründeki kamçı etkisini birikmiş işler, müşteri geri bildirim sıklığı, geri dönüş noktası, atık etkisi ve idari veri eksikliği üzerinden açıklamışlardır. Çalışmada içerik analizi yoluyla elde edilen veriler doğrultusunda söz konusu etkenler tartışılmıştır. Benzer bir çalışmada Koç (2021) hizmet tedarik zincirlerindeki kamçı etkisi araştırması için sektör yöneticileri ile yarı yapılandırılmış görüşmeler gerçekleştirmiş, nitel veri analizi sonucunda ana etkenlerden biri olarak personel yetersizliğinin ön plana çıktığını belirtmiştir.

Kamçı etkisinin imalatçıların stok ve sipariş düzeyi dengesi üzerinde rolü bulunmaktadır. Yegengil, Çelik, Arslan ve Sevinç (2012) stok ve sipariş düzeyi kontrolünde simulink temelli bir model önermektedir. Model fabrika ve dağıtım merkezlerindeki kamçı etkisini ortaya koymada oldukça kullanışlıdır. Bilgi ortamının tüm taraflarca güvenilir ve ulaşılabilir olmasının kamçı etkisini azaltmada etkisi bulunmaktadır. Özdağoğlu (2016) benzer bir metodolojik yaklaşım ile Stella simülasyon programı kullanarak üretici, dağıtıcı, toptancı ve perakendeciden oluşan tedarik zincirini modellemiş ve kamçı etkisine yol açan faktörlere model içerisinde yer vermiştir. Senaryolarda kamçı etkisi, zincirdeki malın siparişinden teslim alınmasına kadar geçen süreler, zincir üyelerinin stok politikaları ve müşteri siparişindeki değişim faktörleri üzerinden incelenmiş ve sipariş-teslimat arası sürelerin kısalması durumunda kamçı etkisinin azalacağı sonucu ortaya çıkmıştır. Ayrıca senaryo analizlerine göre stok ayarlama oranında gerçekleştirilecek iyileşmeler de kamçı etkisi üzerinde olumlu etki yaratmaktadır.

Bilgi çarpıtması etkeni kamçı etkisi yaratma potansiyeli taşıyan bir diğer önemli faktördür birçok çalışmada bu ve benzeri olumsuzlukları ortadan kaldırabilecek önlemler tartışılmaktadır (Paksoy ve Keskin, 2006). Tedarik zincirleri açısından kamçı etkisinin sebeplerini tespit etmek ve bu sebepleri ortadan kaldırabilecek stratejiler geliştirmek giderek daha önemli hâle gelmektedir. Etkin stratejilerin oluşturulabilmesi için kamçı etkisi sebepleri arasındaki ilişkinin araştırılması ve kaynakların etkin kullanımı açısından öncelikli alanların belirlenmesi gerekmektedir. Nitekim Lin (2022) kamçı etkisini azaltmaya yönelik stratejiler geliştirmek için TODIM ve TOPSIS yöntemlerinden oluşan bütünlük bir yöntem kullanmış ve çalışmasının bu tarz stratejilerin araştırıldığı ilk çalışma olduğunu belirtmiştir (Lin, 2022: 1519). Bu son dönemli tespit kamçı etkisi analizlerinde, çok kriterli karar verme yöntemlerinin farklı problem türleri için geniş bir kullanım alanı olduğunu işaret etmektedir.

Gıda tedarik zinciri diğer tedarik zincirlerinden farklı reflekslere sahiptir. Dolayısıyla gıda tedarik zincirleri içerisindeki kamçı etkisi oluşturan unsurlar diğer tedarik zincirlerinden farklı davranış tarzı sergileyebilmektedir. Bu çalışmada gıda tedarik zincirleri açısından farklılaşan kamçı etkisi sebeplerine yer verilmiş ve bu alana katkı sağlanmak amaçlanmıştır.

2. Yöntem

Gıda tedarik zincirinde kamçı etkisine neden olan faktörlerin önem sırasının tespitinde çok kriterli karar verme yöntemlerinden biri olan BWM (Best and Worst Method) tercih edilmiştir. BWM yöntemi matematiksel altyapısı ile güvenilir ve kolay hesaplama metodolojisi sunmaktadır. Ayrıca AHP gibi benzerlerine göre daha az karşılaştırmaya ihtiyaç duyduğundan oldukça ekonomik ve verimlidir (Karimi, Sadeghi-Dastaki ve Javan, 2020). Özellikle nitel kriterlerin karşılaştırılmasında uzmanların öznel görüşlerinin etkisi olabilmektedir. Fakat BWM tutarlılık oranı hesabı ile karşılaştırmalardaki yanlılığı tespit edebilmektedir (Rezaei, 2015).

Yöntem uyarınca karar vericiler öncelikli olarak en önemli ve en az önemde gördüğü kriterleri belirlemekte ve bu kriterler üzerinden ikili karşılaştırmalar yapmaktadır. Rezaei (2016) tarafından ortaya konulan bu yöntem doğrusal olmayan bir minimaks modeli kullanmakta ve değişkenler arasındaki farkın minimizasyonuna odaklanmaktadır. Modelde yer alan değişken ve parametreler Tablo 1’de görülmektedir

Tablo 1. Notasyon Tablosu

Sembol	Açıklama
a_{ij}	i . kriterin j . kritere göre göreceli önceliği
a_{Bj}	En iyi kriterin j . kritere göre önceliği
a_{jw}	j . kriterin en az önemdeki kritere göre önceliği
w_j	j . kriterin ağırlığı
ξ^*	Denge değeri
CI	Tutarlılık indeksi
CR	Tutarlılık oranı

Modelin çözüm safhasında çoklu optimizasyon durumu ortaya çıkabilmektedir, fakat aralık analizi ile bu sorunun üstesinden gelinebilmektedir. BWM işlem adımları aşağıda sunulmuştur (Rezaei, 2016):

- *Adım 1.* Yöntemin ilk adımında birbirleri ile karşılaştırılacak n adet kriter belirlenmektedir.
- *Adım 2.* Karar verici kriterler arasında bir başlangıç karşılaştırması yaparak en önemli ve en az önemde gördüğü iki temel karşılaştırma kriterini seçmektedir.
- *Adım 3.* En önemli kriter diğer kriterlerle karşılaştırılır ve diğer kriterler üzerindeki üstünlük seviyesi 1’den 9’a kadar ölçeklendirilmiş değer aralığı gözetilerek belirlenir. a_{ij} karşılaştırma değerini ifade eder. Eğer a_{Bj} kriteri en iyi kriter ile eşdeğer ise $a_{Bj} = 1$ kabul edilir.

$$A_B = (a_{B1}, a_{B2}, \dots, a_{Bn})$$

- *Adım 4.* En az önemdeki kriter diğer kriterlerle karşılaştırılır ve diğer kriterlerin en az önemdeki kriter üzerindeki üstünlük seviyesi 1’den 9’a kadar ölçeklendirilmiş değer aralığı gözetilerek belirlenir. Eğer a_{jw} kriteri en az önemdeki kriter ile eşdeğer öneme sahipse $a_{jw} = 1$ olarak derecelendirilmelidir.

$$A_w = (a_{1w}, a_{2w}, \dots, a_{nw})^T$$

- *Adım 5.* Minimax modelinin kullanımıyla değişkenler arasındaki fark $\left| \frac{w_B}{w_j} - a_{Bj} \right|$ ve $\left| \frac{w_j}{w_w} - a_{jw} \right|$ en aza indirilmektedir:

$$\min \max_j \left\{ \left| \frac{w_B}{w_j} - a_{Bj} \right|, \left| \frac{w_j}{w_w} - a_{jw} \right| \right\}$$

s.t.

$$\sum_j w_j = 1$$

$$w_j \geq 0, \forall j \text{ için}$$

(1)

Model (1) düzenlemesi aşağıdaki gibidir:

$$\begin{aligned}
 & \min \xi \\
 & \text{s.t.} \\
 & \left| \frac{w_B}{w_j} - a_{Bj} \right| \leq \xi, \forall j \text{ için} \\
 & \left| \frac{w_j}{w_w} - a_{jw} \right| \leq \xi, \forall j \text{ için} \\
 & \sum_j w_j = 1, w_j \geq 0, \forall j \text{ için}
 \end{aligned} \tag{2}$$

Model (3) ve Model (4) ile kriterlerin ağırlıklarına dair alt ve üst sınırlar belirlenmektedir. Kriter sayısı arttıkça birden çoklu optimallik ihtimali artmaktadır. Bu durumda Denklem 5’de görüleceği üzere optimal kriter ağırlıklarının merkez değeri tercih edilmektedir (Rezaei, Wang ve Tavasszy, 2015).

$$\begin{aligned}
 & \min w_j \\
 & \text{s.t.} \\
 & \left| \frac{w_B}{w_j} - a_{Bj} \right| \leq \xi^*, \forall j \text{ için} \\
 & \left| \frac{w_j}{w_w} - a_{jw} \right| \leq \xi^*, \forall j \text{ için} \\
 & \sum_j w_j = 1, w_j \geq 0, \forall j \text{ için}
 \end{aligned} \tag{3}$$

$$\begin{aligned}
 & \max w_j \\
 & \text{s.t.} \\
 & \left| \frac{w_B}{w_j} - a_{Bj} \right| \leq \xi^*, \forall j \text{ için} \\
 & \left| \frac{w_j}{w_w} - a_{jw} \right| \leq \xi^*, \forall j \text{ için} \\
 & \sum_j w_j = 1, w_j \geq 0 \forall j \text{ için}
 \end{aligned} \tag{4}$$

$$w_j^* = (\min w_j + \max w_j) / 2 \tag{5}$$

• *Adım 6.* İkili karşılaştırmalar tutarlılık oranı ile kontrol edilmektedir. Eğer $a_{Bj} \times a_{jw} = a_{BW}$ ise bu durumda tutarlılık sağlanmış kabul edilmektedir. Fakat tam tutarlılık ortamının sağlanamadığı durumlar ortaya çıkabilmektedir. Bu durumda tutarlılık oranı için Tablo 2’de yer alan tutarlılık indekslerine ihtiyaç duyulmaktadır. (Rezaei, Wang ve Tavasszy, 2015).

Tablo 2. Tutarlılık indeksi (CI)

a_{BW}	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Tutarlılık indeksi	0.00	0.44	1.00	1.63	2.30	3.00	3.73	4.47	5.23

Tutarlılık oranı (CR), ξ^* ve tutarlılık indeksinin Denklem 6’daki gibi işleme tabi tutulması sonucu hesaplanmaktadır.

$$\text{Tutarlılık oranı (CR)} = (\xi^*) / (\text{CI}) \tag{6}$$

Hesaplama sonucunda 0’a yakınlık yüksek tutarlılığı, 1’e yakınlık ise düşük tutarlılığı işaret etmektedir (Rezaei, 2016).

• *Adım 7.* Çoklu optimallik durumunun görüldüğü çözümlerde eğer $\xi^* = 0$ ise, çözümün tutarlı olduğu kabul edilmektedir. Bu durum çözümün 0’dan uzaklaşması ile bozulabilmekte ve optimal çözüm sayısı artabilmektedir. Rezaei (2016) aralık analizi ile bu sorunu ortadan kaldırmaktadır. Model (2) doğrusal formatta yenilendiğinde tek çözüm elde edilmektedir. Maximum değerinin minimizasyonuna ait setler $\left\{ \left| \frac{w_B}{w_j} - a_{Bj} \right|, \left| \frac{w_j}{w_w} - a_{jw} \right| \right\}$, düzenlenerek $\{|w_B - a_{Bj}w_j|, |w_j - a_{Bj}w_w|\}$ şeklinde düzenlenmektedir.

Buna göre:

$$\min \max_j \{|w_B - a_{Bj}w_j|, |w_j - a_{Bj}w_w|\}$$

s.t.

$$\sum_j w_j = 1 \quad w_j \geq 0, \quad \forall j \text{ için}$$

(7)

Model (7) doğrusal programlama formatına dönüşerek aşağıdaki gibi kurgulanmaktadır:

$$\min \xi^L$$

s.t.

$$|w_B - a_{Bj}w_j| \leq \xi^L, \quad \forall j \text{ için}$$

$$|w_j - a_{Bj}w_w| \leq \xi^L, \quad \forall j \text{ için}$$

$$\sum_j w_j = 1 \quad w_j \geq 0, \quad \forall j \text{ için}$$

(8)

Model (8), tutarlılık indeksi olmaksızın ξ^{L*} yüksek tutarlılığı garanti etmekte ve bu durumda optimum $(w_1^*, w_2^*, \dots, w_n^*)$ ağırlıkları elde edilmektedir (Rezaei, 2016).

3. Uygulama

Tedarik zincirinde ortaya çıkan kamçı etkisi yaygın araştırılrsa da gıda tedarik zincirindeki bu fenomenin varlığı hakkında hâlâ büyük boşluklar bulunmaktadır. Gıda tedarik zincirlerinde kamçı etkisi yaratan unsurların tespiti hakkında çeşitli çalışmalarda sınıflandırmalar bulunmaktadır (Novitasari ve Damayanti, 2018; Durán Peña vd., 2021). İlgili literatür derlendikten ve karar vericilerle yapılan ikili görüşmeler sonrasında gıda tedarik zincirinde kamçı etkisi yaratan unsurlar için Tablo 3’de yer alan 8 adet kriter belirlenmiştir.

Tablo 3. Kriterler ve Açıklamaları

Kod	Kriter	Açıklama
K ₁	Fiyat hareketleri	Ürünün fiyatında yaşanan dalgalanmalar, iskonto faaliyetleri veya ani düşük fiyatlı satış kampanyaları
K ₂	Raf ömrü	Gıda ürününün çabuk bozulabilir yapısından kaynaklı olarak farklı satın alma eğilimleri
K ₃	Talep tahmini	Talebin değişkenliği, parti büyüklüğünün doğru belirlenememesi
K ₄	Temin süresi	Siparişlerin temin edilme süresindeki gecikmeler
K ₅	Bilgi paylaşımı	Gıda tedarik zinciri paydaşları arasında envanter ve üretim programlarına dair bilgi paylaşımındaki kısıtlamalar
K ₆	Envanter ve dağıtım kararları	Envanter çevriminin küçüklüğü, yok satma ile karşılaşma korkusu, kapasite ve depolama yetersizlikleri
K ₇	Arıza ve plansız bakım faaliyetleri	Tedarik, üretim veya dağıtım sırasında makine ve araçların arızalanması ya da rastgele zamanlarda bakım faaliyetleri
K ₈	İletişim ve koordinasyon eksiklikleri	İç ve dış paydaşlar arasında organizasyonun durumu ve izlenmesine yönelik iş birliğinin yetersizliği

Karar vericiler kriterlerin ön değerlendirmesinde aktif katkı sağlamaktadır. Geçmiş çalışmaların tespitleri ve karar vericilerin tecrübeleri kriterlerin ortaya konulmasında ve ilişkili kriterlerin gruplandırılmasında önem taşımaktadır. Bu açıdan bakıldığında karar verici grubu akademik ya da sektör deneyimi doğrultusunda seçilmektedir. Çok kriterli karar verme problemlerinde ihtiyaç duyulan karar verici sayısının belirlenmesi konusunda herhangi bir istatistiki analiz ya da belirlenmiş bir eşik değeri bulunmamaktadır. Okorie vd. (2022) karar verici ekibinde 6 uzmana yer verdiği çalışmada benzer bir tartışmayı gündeme getirmiş ve çok kriterli karar verme yöntemlerinde az sayıda karar vericinin yeterli olabileceğini belirterek Yıldızbası (2021)’in 3 karar verici kullandığı ve Singh, Kumar, Garza-Reyes ve de Sá (2020) ise 7 karar vericiden faydalandığı çalışmalarını örnek olarak göstermiştir.

Bu çalışmada akademi ve özel sektörden 8 kişilik bir karar verici ekibi oluşturulmuştur. Karar verici seçiminde uzman ve

akademisyen nicel dengesine dikkat edilmiştir. Karar vericiler birbirinden bağımsız değerlendirmelerde bulunmuştur. Tablo 4'te karar vericilere dair bilgiler yer almaktadır.

Tablo 4. Karar verici özellikleri

Karar verici (KV)	Tecrübe (yıl)	Pozisyon	Akademik/ Uzman	Sektör/Bölüm
KV ₁	16	Kalite Müdürü	Uzman	Alkolsüz İçecek Sektörü
KV ₂	15	Satın Alma Uzmanı	Uzman	Süt Ürünleri Sektörü
KV ₃	15	Doç. Dr.	Akademisyen	Pazarlama
KV ₄	13	Dr. Öğr. Üyesi	Akademisyen	Endüstri Mühendisliği
KV ₅	13	Dr. Öğr. Üyesi	Akademisyen	İşletme
KV ₆	10	Genel Müdür Yardımcısı	Uzman	Kanath Eti Sektörü
KV ₇	9	Araştırma görevlisi	Akademisyen	Uluslararası Ticaret ve Lojistik
KV ₈	14	Genel Müdür Yardımcısı	Uzman	Gıda Yağları Sektörü

Karar vericiler öncelikli olarak en iyi kriteri seçmekte ve en iyi kriteri diğer kriterler ile karşılaştırmaktadır. Karşılaştırma sırasında 9 dereceli bir ölçekten faydalanılmaktadır. Tablo 5'te KV₂'nin en önemli kritere göre değerlendirmesi örnek olarak sunulmaktadır.

Tablo 5. KV₂ en iyi kritere göre değerlendirmesi

Kriterler	Fiyat hareketleri (K ₁)	Raf ömrü (K ₂)	Talep tahmini (K ₃)	Temin süresi (K ₄)	Bilgi paylaşımı (K ₅)
Best Kriter	1	7	4	6	3
Fiyat Hareketleri (K ₁)	Envanter ve dağıtım kararları (K ₆)	Arıza ve plansız bakım faaliyetleri (K ₇)		İletişim ve koordinasyon eksiklikleri (K ₈)	
	5	9		8	

Burada fiyat hareketleri kendi ile karşılaştırıldığında 1 değeri almıştır. Eğer herhangi farklı bir kriter kamçı etkisi üzerinde fiyat hareketleri ile aynı seviyede öneme sahip olursa bu durumda karar vericinin söz konusu karşılaştırmada da önem derecesini 1 olarak belirlemesi gerekmektedir. Bir başka değerlendirmede karar verici fiyat hareketlerinin kamçı etkisi yaratmada arıza ve plansız bakım faaliyetlerine göre aşırı önemde etkisinin olduğunu düşünmektedir. İkinci aşamada karar verici en az önemde kriteri seçmekte ve diğer kriterlerin bu kriterden ne kadar daha fazla öneme sahip olduğunu belirlemektedir. Tablo 6 'da karar vericilerin en iyi kriter üzerinden yaptıkları değerlendirmeler yer almaktadır. Tablo 7'de karar vericilerin en az önemdeki kriter üzerinden değerlendirmeleri görülmektedir.

Tablo 6. En iyi kritere göre değerlendirme matrisi

KV	En iyi kriter	Kriterler							
		K ₁	K ₂	K ₃	K ₄	K ₅	K ₆	K ₇	K ₈
KV ₁	K ₃	2	3	1	2	7	6	8	5
KV ₂	K ₁	1	7	4	6	3	5	9	8
KV ₃	K ₃	4	4	1	7	8	3	9	3
KV ₄	K ₁	1	8	2	3	2	2	5	2

KV ₅	K ₅	2	5	3	6	1	3	8	4
KV ₆	K ₅	7	5	8	7	1	4	2	6
KV ₇	K ₅	6	9	3	4	1	5	8	2
KV ₈	K ₅	2	4	2	4	1	5	8	6

Tablo 7. En az önemdeki kritere göre değerlendirme matrisi

	KV ₁	KV ₂	KV ₃	KV ₄	KV ₅	KV ₆	KV ₇	KV ₈
	En az önemdeki kriter							
Kriterler	K ₇	K ₇	K ₇	K ₂	K ₄	K ₇	K ₂	K ₇
K ₁	8	9	6	8	8	7	3	7
K ₂	7	7	5	1	4	6	1	3
K ₃	9	4	9	7	9	8	7	7
K ₄	8	6	5	6	1	7	5	3
K ₅	3	3	4	6	6	9	9	8
K ₆	4	5	5	6	6	8	4	2
K ₇	1	1	1	5	2	1	2	1
K ₈	2	8	9	6	5	8	8	3

Karar vericilerin kriter karşılaştırmaları sonrası, matematiksel modelin çözümü ile kriterlerin ağırlıkları hesaplanmaktadır. Çalışmada Denklem 8’de gösterilen model GAMS yazılımı yardımıyla çözüldükten sonra elde edilen değerler Tablo 8’de sunulmaktadır.

Analiz sonuçlarına bakıldığında karar vericilerin değerlendirmeleri doğrultusunda ortaya çıkan ξ^L değerlerinin 0’a yakın olduğu görülmektedir. Bu durum değerlendirmelerin tutarlılığına işaret etmektedir. Gıda tedarik zincirinde kamçı etkisi gözlenirken en çok bilgi paylaşımına (K₅) dikkat edilmesi gerekmektedir. Gıda tedarik zincirleri paydaşlarının stratejik ortaklar olarak hareket etmesi ve tedarik, operasyon ve dağıtım planları hakkında tam bilgi ortamını sağlamaları büyük önem taşımaktadır. Paydaşlar arasında bilgi paylaşımı sağlıklı ve güvenilir olunca talebin suni olarak şişmesinin önüne geçilebileceği düşünülmektedir. Talep tahmini (K₃) ise bilgi paylaşımından sonraki ikinci önemli kriterdir. Özellikle itme sistemine uygun işletmelerin kullandıkları talep tahmin yöntemleri geçmiş verilere endeksli ve statik yapıda olabilmektedir. Günümüz talebi ise çok değişken yapıda, esnek ve tahmin edilmesi zor olduğundan dinamik programlamaya ihtiyaç duymaktadır. Talep tahmini bu açıdan gıda tedarik zincirlerindeki kamçı etkisinin başlıca sorumluları arasında değerlendirilmiştir. Üçüncü önemli kriter olarak fiyat hareketleri (K₁) belirlenmiştir. Özellikle fiyat değişimleri satıcının uyguladığı iskontolar ve fiyat indirimleri veya ani satış hedefindeki düşük fiyat kampanyaları suni talep büyümesi yaratarak gıda tedarik zincirlerindeki talep dalgalanmasının başlıca sorumlusu olarak ortaya çıkmaktadır.

Tablo 8. Kriterlerin önem ağırlıkları

KV	K ₁	K ₂	K ₃	K ₄	K ₅	K ₆	K ₇	K ₈	ξ^L
KV ₁	0,184	0,122	0,295	0,184	0,052	0,061	0,028	0,073	0,072
KV ₂	0,364	0,072	0,125	0,084	0,167	0,100	0,025	0,063	0,138
KV ₃	0,110	0,110	0,342	0,063	0,055	0,147	0,027	0,147	0,098
KV ₄	0,237	0,023	0,146	0,097	0,146	0,146	0,058	0,146	0,055
KV ₅	0,198	0,079	0,132	0,028	0,281	0,132	0,050	0,099	0,116
KV ₆	0,086	0,120	0,075	0,085	0,342	0,150	0,042	0,100	0,259

KV ₇	0,067	0,029	0,135	0,101	0,334	0,081	0,051	0,202	0,070
KV ₈	0,177	0,089	0,177	0,089	0,306	0,071	0,032	0,059	0,048
Ortalama	0,177	0,081	0,178	0,091	0,210	0,111	0,039	0,111	
Sıra	3	7	2	6	1	5	8	4	

Analiz gıda tedarik zinciri açısından en az dikkat edilmesi gereken kriterleri de işaret etmektedir. Buna göre arıza ve plansız bakım faaliyetleri (K₇) her ne kadar kamçı etkisinin sebeplerinden biriye de diğer kriterler arasında en az öneme sahiptir. Çalışmada gıda sektörü için büyük önem taşıyan raf ömrü (K₂) kriterinin ise önem olarak alt sıralarda kalması dikkat çekicidir. İşlenmiş ve paketlenmiş gıda ürünlerinin raf ömrünün taze gıdaya göre daha uzun olması böylesi bir değerlendirmenin sebebi olabilir.

Sonuç

Gıda tedarik zincirinde kamçı etkisi yaratan unsurların karşılaştırılması ve önem sıralamasının yapılması bu alandaki ihtiyaç duyulabilecek bir boşluğu doldurmaktadır. Kamçı etkisi farklı sektörlerde faaliyet gösteren tedarik zincirleri için ortak bir problemdir. Nitekim genelleştirilmiş bir bakış açısıyla tedarik zincirlerinde görülen kamçı etkisinin sebeplerini tespit etmeyi amaçlayan çeşitli çalışmalar bulunmaktadır (Novitasari ve Damayanti, 2018; Durán Peña vd., 2021). Bu çalışmada özellikle tedarik zincirinin özelleşmiş bir alt dalı olan gıda tedarik zinciri seçilmiştir. Gıdanın hızlı bozulabilir yapısı ve kısa raf ömrünün kamçı etkisinin sebeplerinden biri olabileceği yaklaşımı bu çalışmanın önemli ve kendine has araştırma sorularından biridir. Ayrıca tedarik zincirlerinin faaliyet kollarının kendine has özellikleri doğrultusunda kamçı etkisi farklı unsurlardan etkilenebilmekte veya benzer unsurlara farklı tepkiler gösterebilmektedir. Çalışmada kamçı etkisi unsurlarının tespitinden öte olarak bu unsurlar arasındaki önem dereceleri ortaya konulmuştur. Kamçı etkisi sebeplerinin değerlendirilmesi konusu yeterince çalışılmadığından (Lin, 2022), çalışma özellikle gıda tedarik zincirinde görülen kamçı etkisi unsurları hakkında daha ayrıntılı bilgi sunmaktadır.

Çalışmada kamçı etkisi yaratan unsurlar gruplandırılmış ve belirlenen 8 kriter, uzman karar vericilerin görüşleri doğrultusunda karşılaştırılmıştır. Değerlendirme ve karşılaştırma metodolojisi için çok kriterli karar verme yöntemlerinden biri olan BWM tekniği kullanılmıştır. BWM matematiksel model altyapısına sahip olduğundan dolayı analiz için GAMS yazılımından faydalanılmıştır. Sıralamada en fazla öneme sahip kriter olarak bilgi paylaşımı belirlenmiş, en az önemde kriter olarak ise arıza ve plansız bakım faaliyetleri tespit edilmiştir. BWM yöntemi bu tarz nitel değerlendirme kriterlerinin kullanıldığı çok kriterli karar verme problemleri için tutarlı sonuçlar sunmaktadır. Bu açıdan çalışma, bu konuda kullanılacak benzer çok kriterli karar verme yöntemleri için bir performans karşılaştırma aracı olabileceği gibi gıda tedarik zinciri alanında kamçı etkisini araştırarak profesyoneller için ön araştırma niteliği taşımaktadır.

BWM yöntemi kamçı etkisi unsurlarının önem önceliğini belirlemede güvenilir bir araçtır. Fakat unsurlar arasındaki ilişki düzeyinin araştırılması, sebep-etki mekanizmasının kurulabilmesi için farklı çözüm yöntemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Ayrıca bu tarz ilişki araştırmaları için farklı veri toplama araçları kullanılmaktadır. Kamçı etkisi unsurları arasındaki ilişkileri tespit etmeyi amaçlayan devam çalışmasının gıda tedarik zincirinde kamçı etkisi yaratan kriterleri daha iyi anlamaya ve öncelik ilişkilerini daha geniş perspektifte ortaya koymaya yardımcı olacağı düşünülmektedir.

Kaynaklar

- Aytaç, M. A., & Öztekin, M. Y. (2024). "The Importance of the Bullwhip Effect in Services Supply Chain and a Research in the Telecommunication Sector". *Econharran Harran Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 8 (2), 1-14.
- Bhattacharya, R., & Bandyopadhyay, S. (2011). "A review of the causes of bullwhip effect in a supply chain". *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 54, 1245-1261.
- Braz, A. C., De Mello, A. M., de Vasconcelos Gomes, L. A., & de Souza Nascimento, P. T. (2018). "The bullwhip effect in closed-loop supply chains: A systematic literature review". *Journal of cleaner production*, 202, 376-389.
- Durán Peña, J. A., Ortiz Bas, Á., & Reyes Maldonado, N. M. (2021). "Impact of bullwhip effect in quality and waste in perishable supply chain". *Processes*, 9 (7), 1232.
- Fransoo, J. C., & Wouters, M. J. (2000). "Measuring the bullwhip effect in the supply chain". *Supply Chain Management: An International Journal*, 5 (2), 78-89.
- Hull, B. Z. (2005). "Are supply (driven) chains forgotten?". *The International Journal of Logistics Management*, 16 (2), 218-236.
- Jain, R., Verma, M., & Jaggi, C. K. (2021). "Impact on bullwhip effect in food industry due to food delivery apps". *Opsearch*, 58 (1), 148-159.
- Karimi, H., Sadeghi-Dastaki, M., & Javan, M. (2020). "A fully fuzzy best-worst multi attribute decision making method with triangular fuzzy number: A case study of maintenance assessment in the hospitals". *Applied Soft Computing*, 86, 105882.
- Koc, E. (2021). "Hizmet Tedarik Zincirlerinde Kamçı Etkisine Neden Olan Faktörlerin Belirlenmesi". *Gaziantep Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 3 (1), 30-45.
- Lee, H. L., Padmanabhan, V., & Whang, S. (1997). "Information distortion in a supply chain: The bullwhip effect". *Management science*, 43 (4), 546-558.
- Lin, S. M. (2022). "Using TODIM Approach with TOPSIS and Pythagorean Fuzzy Sets for MCDM Problems in the Bullwhip Effect". *Open Journal of Business and Management*, 10 (3), 1497-1523.
- Novitasari, N., & Damayanti, D. D. (2018, April). "Systematic literature review and improved model for mitigating bullwhip effect in low shelf life food supply chain". In *2018 5th International Conference on Industrial Engineering and Applications (ICIEA)* (pp. 531-535). IEEE.
- Okorie, O., Russell, J., Jin, Y., Turner, C., Wang, Y., & Charnley, F. (2022). "Removing Barriers to Blockchain use in Circular Food Supply Chains: Practitioner Views on Achieving Operational Effectiveness". *Cleaner Logistics and Supply Chain*, 100087.
- Özdağoğlu, A. (2016). "Tedarik Zincirinde Kamçı Etkisini Oluşturan Faktörlerin Simülasyon Programı ile Analizi". *Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 16 (Özel Sayı), 161-178.
- Paksoy, T., & Keskin, E. (2006). "Tedarik Zincirinde Bilgi Çarpıtmasının Etkisi: Kırbaç Etkisi". *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, (15), 483-496.
- Park, K. (2020). "A heuristic simulation-optimization approach to information sharing in supply chains". *Symmetry*, 12 (8), 1319.
- Rahman, M. H., Rahman, M. A., & Talapatra, S. (2020). "The bullwhip effect: causes, intensity, and mitigation". *Production & Manufacturing Research*, 8 (1), 406-426.
- Rezaei, J. (2015). "Best-worst multi-criteria decision-making method". *Omega*, 53, 49-57.
- Rezaei, J., Wang, J. and Tavasszy, L. (2015). "Linking supplier development to supplier segmentation using Best Worst Method". *Expert Systems with Applications*, 42, 9152-9164.
- Rezaei, J. (2016). "Best-worst multi-criteria decision-making method: Some properties and a linear model". *Omega*, 64, 126-130.
- Singh, R. K., Kumar, A., Garza-Reyes, J. A., & de Sá, M. M. (2020). "Managing operations for circular economy in the mining sector: An analysis of barriers intensity". *Resources Policy*, 69, 101752.
- Somashekhar, I. C., Raju, J. K., & Patil, H. (2013). "Reducing bullwhip effect in fresh food vegetable supply chain management: A strategic approach for inclusive growth". *International Journal of Supply Chain Management*, 2 (3), 53-64.
- Sucky, E. (2009). "The bullwhip effect in supply chains—An overestimated problem?". *International Journal of Production Economics*, 118 (1), 311-322.
- Tursun, A. (2024). "Konut Tedarik Zincirinde Kamçı Etkisinin Araştırılması". *Bulletin of Economic Theory and Analysis*, 9 (2), 475-492.
- Vokhmyanina, A., Zhuravskaya, M., & Osmólski, W. (2018). "The issue of bullwhip-effect evaluating in supply chain management". *LogForum*, 14 (2), 163-170.
- Wangphanich, P., Kara, S., & Kayis, B. (2010). "Analysis of the bullwhip effect in multi-product, multi-stage supply chain systems—a simulation approach". *International journal of production Research*, 48 (15), 4501-4517.
- Yegengil, M., Çelik, V., Arslan, H., & Sevinç, A. (2012). "Tedarik Zinciri Yönetiminde Kamçı Etkisinin İncelenmesi". *International Journal of Engineering Research and Development*, 4 (1), 7-15.

- Yildizbasi, A. (2021). “Blockchain and renewable energy: Integration challenges in circular economy era”. *Renewable Energy*, 176, 183-197.
- Zhang, X., & Burke, G. J. (2011). “Analysis of compound bullwhip effect causes”. *European journal of operational research*, 210 (3), 514-526.

Yazar Katkıları: **Tek Yazar** Fikir - Tasarım Denetleme- ; Kaynaklar- ; Veri Toplanması ve/veya İşlemesi ; Analiz ve/ veya Yorum -; Literatür Taraması ; Yazıyı Yazan ; Eleştirel İnceleme

Hakem Değerlendirmesi: Dış bağımsız.

Çıkar Çatışması: Yazar, çıkar çatışması olmadığını beyan etmiştir.

Finansal Destek: Yazar, bu çalışma için finansal destek almadığını beyan etmiştir.

Etik Kurul Belgesi: -

Author Contributions: **Sole Author** Concept -; Design-; Supervision-Resources; Data Collection and/or Processing; Analysis and/or Interpretation ; Literature Search-; Writing Manuscript-; Critical Review

Peer-review: Externally peer-reviewed.

Conflict of Interest: The author has no conflicts of interest to declare.

Financial Disclosure: The author declared that this study has received no financial support.

Ethical Committee Approval: -