itüdergisi/***d***
mühendislik
Cilt: 10, Sayı: 2, 15-26
Nisan 2011

Kapasitesi sınırlı çoklu tedarikçiden oluşan iki kademeli bir tedarik zincirinin koordinasyonu

Peral TOKTAŞ PALUT*, Füsun ÜLENGİN
İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Programı, 34469, Ayazağa, İstanbul

Özet

Bu çalışmanın amacı, rassal talebe sahip merkezkaç bir tedarik zincirindeki envanter politikalarını kontratlar aracılığıyla koordine etmektir. Ele alınan sistem, sınırlı üretim kapasitesine sahip çoklu bağımsız tedarikçi ve bir üreticiden oluşan iki kademeli merkezkaç bir tedarik zinciridir. Tedarikçiler stok için üretim yapmakta ve envanter yönetiminde temel stok yöntemini kullanmaktadır. Üretici ise sipariş için üretim prensibine göre çalışmaktadır. Tedarikçilerin kapasitesi sınırlı olduğu için, gerekli varsayımlar altında her tedarikçi bir $M/M/1$ *stok-için-üretim kuyruk sistemi olarak modellenmiştir. Ayrıca, her tedarikçinin ortalama bekleyen sipariş miktarı ve ortalama envanter seviyesi elde edilmiştir. Diğer yandan, üreticinin gelişlerarası sürelerinin yaklaşık dağılımı bulunmuş ve gerekli varsayımlar altında üretici bir* $GI/M/1$ *kuyruk sistemi olarak modellenmiştir. Bunun yanı sıra, üreticinin sistemindeki ortalama iş sayısı ve ortalama bekleyen sipariş miktarı hesaplanmıştır. Daha sonra, kuyruk modellerinden elde edilen performans ölçütleri kullanılarak merkezi ve merkezkaç modeller geliştirilmiştir. Bu modellerin eniyi çözümleri karşılaştırıldığında, sadece en düşük temel stok seviyesine sahip tedarikçinin koordine edilmesi gerektiği görülmektedir. Bu nedenle, sadece bu tedarikçi ve üretici arasında kontratlar hazırlanmıştır. Bu çalışmada transfer ödemesine dayalı üç farklı kontrat üzerine çalışılmıştır. Bu kontratlar, bekleyen sipariş maliyetini destekleme kontratı, Pareto iyileştirmeye dayalı transfer ödemesi kontratı ve maliyet paylaşımı kontratıdır. Her kontrat, koordinasyon yeteneği ve Pareto iyileştiren olup olmaması yönünden değerlendirilmiştir. Sonuç olarak, üç kontrat da tedarik zincirini koordine etmektedir. Pareto iyileştirme göz önüne alındığında ise, maliyet paylaşımı kontratının her iki üye tarafından da tercih edilmesi beklenebilir.*

Anahtar Kelimeler: *Tedarik zinciri koordinasyonu, çoklu tedarikçi, kontrat, envanter politikası.*

*Yazışmaların yapılacağı yazar: Peral TOKTAŞ PALUT. peralt@yeditepe.edu.tr; Tel: (216) 578 04 55.

Bu makale, birinci yazar tarafından İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Programında tamamlanmış olan "Coordination in a two-stage capacitated supply chain with multiple suppliers" adlı doktora tezinden hazırlanmıştır. Makale metni 29.12.2009 tarihinde dergiye ulaşmış, 28.01.2010 tarihinde basım kararı alınmıştır. Makale ile ilgili tartışmalar 31.08.2011 tarihine kadar dergiye gönderilmelidir.
Bu makaleye "Toktaş Palut, P., Ülengin, F., (2011) 'Kapasitesi sınırlı çoklu tedarikçiden oluşan iki kademeli bir tedarik zincirinin koordinasyonu', İTÜ Dergisi/D Mühendislik, 10: 2, 15-26" şeklinde atıf yapabilirsiniz.

Coordination in a two-stage capacitated supply chain with multiple suppliers

Extended abstract

The aim of this study is to coordinate the inventory policies in a decentralized supply chain with stochastic demand by means of contracts. The system considered is a decentralized two-stage supply chain consisting of multiple independent suppliers and a manufacturer with limited production capacities. The suppliers operate on a make-to-stock basis and apply base stock policy to manage their inventories. On the other hand, the manufacturer implies a make-to-order strategy.

Since the suppliers are capacitated, each supplier is modeled as an $M/M/1$ *make-to-stock queue under necessary assumptions. Furthermore, the average outstanding backorders and the average inventory level of each supplier are obtained. On the other hand, to model the manufacturer as a queuing system, first an approximate distribution is derived for the interarrival times of the manufacturer. The idea behind the approximation is the expectation that the supplier with the minimum base stock level affects the interarrival times of the manufacturer the most. Then, the manufacturer is modeled as a* $GI/M/1$ *queue under necessary assumptions. Moreover, the average number of jobs in the manufacturer's system and the average outstanding backorders at the manufacturer are obtained.*

After the supply chain has been modeled as a queuing system, the centralized and decentralized systems are taken into account. In the centralized system, there is a single decision maker who tries to optimize the overall supply chain. On the other hand, in the decentralized system, each member tries to optimize his own entity. The centralized system is also considered in this paper since the centralized solution is used as a reference point for the coordination of the decentralized system.

In the centralized model, the objective of the single decision maker is to minimize the average total backorder and holding costs per unit time for the overall system. The decision variables are the base stock levels of the suppliers. On the other hand, in the decentralized model, each supplier tries to minimize his average backorder and holding costs per unit time. Since the decision variables are the base stock levels of the suppliers, the manufacturer is not included in the decentralized model. However, the decision of the supplier with the minimum base stock level also affects the manufacturer.

When the optimal solutions to the centralized and decentralized models are compared, it is concluded that only the supplier with the minimum base stock level needs coordination. Also, it is found that a coordinating contract has to encourage the relevant supplier to choose a smaller base stock level than his decentralized solution. Therefore, the contracts are prepared accordingly between that supplier and the manufacturer.

Three different transfer payment contracts are studied in this paper. These are the backorder cost subsidy contract, the transfer payment contract based on Pareto improvement, and the cost sharing contract. In the backorder cost subsidy contract, the manufacturer covers some part of the supplier's average backorder cost per unit time after the transfer payment. In the transfer payment contract based on Pareto improvement, the manufacturer pays the supplier an amount that makes the manufacturer as well off after the transfer payment as before. Finally, in the cost sharing contract, the manufacturer pays the supplier an amount such that the supplier covers some part of their average total costs per unit time after the transfer payment.

Each contract is then evaluated according to its coordination ability and whether it is Pareto improving or not. If a contract is not Pareto improving even it coordinates the supply chain, then at least one of the members will not desire to participate in the contract. The analyses of the contracts point out that all three contracts have the ability to coordinate the supply chain. However, they differ in whether they are Pareto improving or not. It is found that only the backorder cost subsidy contract is not Pareto improving. Among the other two contracts, in the transfer payment contract based on Pareto improvement, only the supplier is better off after the contract and the manufacturer remains the same. On the other hand, in the cost sharing contract, both the supplier and the manufacturer can be better off after the transfer payment for an appropriately selected contract parameter. Therefore, the cost sharing contract seems to be the one that will be preferred by both members.

Keywords: *Supply chain coordination, multiple suppliers, contract, inventory policy.*

Giriş

Günümüz dünyasında yoğunlaşan rekabet, tedarik zinciri yönetimine verilen önemin artmasına neden olmuştur. Tedarik zincirinin koordinasyonu ise, etkin bir tedarik zinciri için gerekli olan kritik faktörler arasında yer almaktadır.

Bir tedarik zinciri genellikle, tedarikçiler, üreticiler, depolar ve dağıtım merkezleri gibi çeşitli üyelerden meydana gelir. Tedarik zincirinde eğer sistemin tümünü eniyilemeye çalışan tek bir karar verici varsa, bu yapı, *merkezi* olarak adlandırılır. Diğer yandan, eğer her bir üye sadece kendi sistemini eniyilemeye çalışıyorsa, bu yapıda bir tedarik zinciri ise *merkezkaç* olarak nitelendirilir.

Merkezi bir sistem global eniyilemeye yol açarken, merkezkaç bir sistem ise yerel eniyileme ile sonuçlanır. Bu nedenle, merkezkaç bir sistemde global eniyi çözüme ulaşmak için, üyelerin birbiriyle çelişen amaçlarının koordine edilmesi gerekir.

Tedarik zincirinin koordinasyonunu sağlamanın yollarından biri, üyeler arasında transfer ödemelerine dayalı kontratlar hazırlamaktır. Her bir üyenin rasyonel olarak tedarik zincirinin eniyi çözümüne göre hareket etmesi, diğer bir deyişle, merkezkaç çözümün merkezi çözüme eşit olması, söz konusu kontratın tedarik zincirini koordine ettiğini gösterir.

Bu çalışmanın amacı, rassal talebe sahip merkezkaç bir tedarik zincirindeki envanter politikalarını kontratlar aracılığıyla koordine etmektir. Ele alınan sistem, sınırlı üretim kapasitesine sahip çoklu bağımsız tedarikçi ve bir üreticiden oluşan iki kademeli merkezkaç bir tedarik zinciridir. Tedarikçiler stok için üretim yapmakta ve envanter yönetiminde temel stok yöntemini kullanmaktadır. Üretici ise sipariş için üretim prensibine göre çalışmaktadır. Üretici her parçayı belirli bir tedarikçiden almakta ve tüm parçalar gelmeden üretim başlamamaktadır. Tedarikçiler ve üretici arasındaki transfer süreleri ihmal edilebilir düzeydedir. Sistemde bekleyen siparişlere izin verilmektedir ve her bir tedarikçinin önündeki hizmet bekleyen işler kuyruğunun kapasitesi sınırsızdır. Nihai müşteri talepleri rassaldır ve birer birim halinde gelmektedir.

Literatürde, kapasitesi sınırlı merkezkaç bir tedarik zincirindeki envanter politikalarının koordinasyonunu inceleyen sınırlı sayıda çalışma vardır. Bu çalışmaların hepsinde iki kademeli bir tedarik zinciri ele alınmış olup her iki kademede de birer üye bulunmaktadır. Ele alınan çalışmaların bir başka ortak noktası ise envanter yönetiminde temel stok yönteminin kullanılmasıdır. Çalışmaların tümü stok tutan üye ya da üyelerin modellenmesinde kuyruk teorisini kullanmıştır. Aynı zamanda, tüm çalışmalarda oyun teorisi kavramlarından da yararlanılmıştır. Tablo 1'de bu çalışmalar ve çalışmaları birbirinden ayıran temel özellikler verilmiştir. Bu makaleyi literatürdeki diğer çalışmalardan ayıran en önemli özellik ise ele alınan sistemin çoklu tedarikçiden oluşmasıdır.

Çalışmanın organizasyonu şu şekildedir: İlk olarak, üreticinin gelişlerarası sürelerinin yaklaşık dağılımı bulunmuştur. Daha sonra ise, tedarik zinciri bir kuyruk sistemi olarak modellenmiş ve gerekli performans ölçütleri elde edilmiştir: Her bir tedarikçinin ortalama bekleyen sipariş miktarı ve ortalama envanter seviyesi, üreticinin sistemindeki ortalama iş sayısı ve ortalama bekleyen sipariş miktarı.

Ardından, merkezi ve merkezkaç modeller kurularak bu modellerin eniyi çözümleri bulunmuştur.

Modellerin eniyi çözümleri karşılaştırıldıktan sonra, tedarik zincirinin koordinasyonu için üç farklı kontrat üzerine çalışılmıştır. Bu kontratlar, bekleyen sipariş maliyetini destekleme kontratı, Pareto iyileştirmeye dayalı transfer ödemesi kontratı ve maliyet paylaşımı kontratıdır. Daha sonra, her kontrat koordinasyon yeteneği ve Pareto iyileştiren olup olmaması yönünden değerlendirilmiştir.

Son olarak ise çalışmada elde edilen sonuçlara yer verilmiştir.

Tablo 1. Literatürdeki çalışmaları birbirinden ayıran temel özellikler

Kaynak	Oyun teorisi yaklaşımı	Kuyruk modeli	Kontrat tipi	Diğer özellikler
Cachon (1999)	İşbirliksiz	$M/M/1/c$ stok-için-üretim	Yok satma transfer ödemesi ve elde tutma maliyeti paylaşımını içeren kontrat	Yok satma modeli Her iki üye de stok tutmakta ve temel stok seviyelerini seçmektedir.
Caldentey ve Wein (2003)	İşbirliksiz Stackelberg	$M/M/1$ stok-için-üretim (sürekli-durum yaklaşıklığı)	Doğrusal transfer ödemesi	Bekleyen siparişler modeli Sadece satıcı stok tutmakta ve temel stok seviyesini seçmektedir. Tedarikçi kapasite miktarını seçmektedir.
Jemaï ve Kara-esmen (2004)	İşbirliksiz Stackelberg	$M/M/1$ stok-için-üretim (ayrık-durum uzayı)	Doğrusal transfer ödemesi	Bekleyen siparişler modeli Her iki üye de stok tutmakta ve temel stok seviyelerini seçmektedir.
Gupta ve Wee-rawat (2006)	Stackelberg	Tedarikçi: $M/M/1$ stok-için-üretim Üretici: $M/M/1$	İki parçalı gelir payla-şımı kontratı	Bekleyen siparişler/Yok satma modelleri Sadece tedarikçi stok tutmakta ve temel stok seviyesini seçmektedir. Gelir, siparişi karşılama süresinin bir fonksiyonudur.

Kuyruk modeli

Bu çalışmada $n \geq 2$ olmak üzere *n* tane tedarikçi ve bir üreticiden oluşan bir tedarik zinciri ele alınmaktadır. Tedarikçiler envanter yönetiminde temel stok yöntemini kullanmakta olup S_i, $i = 1, \ldots, n$, *i*. tedarikçinin temel stok seviyesini göstermektedir.

Ele alınan sistemde nihai müşteri talepleri parametresi λ olan Poisson sürecine uygun olarak gelmektedir; *i*. tedarikçinin hizmet süresi ise parametresi μ_i, $i = 1, \ldots, n$, olan üstel dağılıma uymaktadır. Her bir tedarikçinin hizmet süreleri bağımsız ve özdeş dağılmıştır. Üretici de aynı şekilde bağımsız ve özdeş dağılmış, üstel dağılıma uyan ve parametresi μ_M olan hizmet sürelerine sahiptir. ρ_i ve ρ_M ise sırasıyla *i*. tedarikçi ve üreticinin trafik yoğunluğunu göstermektedir. Sistemin kararlılığı açısından tüm $i = 1, \ldots, n$ için $0 < \rho_i < 1$ ve $0 < \rho_M < 1$ olduğu varsayılmıştır.

Yukarıda tanımlanan koşullar altında, her tedarikçi bir $M/M/1$ stok-için-üretim kuyruk sistemi olarak modellenebilir. Bunun yanı sıra, üreticinin bir kuyruk sistemi olarak modellenebilmesi için, öncelikle gelişlerarası sürelerinin dağılımı bulunmalıdır.

Üreticinin gelişlerarası sürelerinin dağılımı

Buzacott ve diğerleri (1992), sistemde tek bir tedarikçi olması durumunda üreticinin gelişlerarası sürelerinin (*A*) olasılık yoğunluk fonksiyonunu aşağıdaki şekilde hesaplamıştır:

$$\begin{aligned} f_A(t) &= \lambda e^{-\lambda t}\left(1-\rho_1^{S_1+1}\right) + \mu_1 e^{-\mu_1 t}\rho_1^{S_1-1} \\ &\quad -\left(\lambda+\mu_1\right)e^{-(\lambda+\mu_1)t}\left(1-\rho_1^2\right)\rho_1^{S_1-1}. \end{aligned} \tag{1}$$

Oysaki tedarikçilerin sayısı arttıkça, üreticinin gelişlerarası sürelerinin dağılımını bulmak gittikçe zorlaşmaktadır. Bu durum, yaklaşık bir dağılımın gerekliliğini ortaya koymuştur.

Üretici, tüm parçalar gelmeden üretime başlayamaz. Bu durumda, en düşük temel stok seviyesine sahip tedarikçinin, üreticinin gelişlerarası sürelerini en çok etkilemesi beklenebilir. Bu beklentiden hareketle ve denklem (1)'den de esinlenerek, üreticinin gelişlerarası sürelerinin yaklaşık olasılık yoğunluk fonksiyonu

$$\begin{aligned} f_A(t) &\simeq \lambda e^{-\lambda t}\left(1-\rho_j^{S_j+1}\right) + \mu_j e^{-\mu_j t}\rho_j^{S_j-1} \\ &\quad -\left(\lambda+\mu_j\right)e^{-(\lambda+\mu_j)t}\left(1-\rho_j^2\right)\rho_j^{S_j-1} \end{aligned} \tag{2}$$

olarak verilmiştir.

Denklem (2)'de *j*. tedarikçi, tüm tedarikçiler arasında en düşük temel stok seviyesine sahip tedarikçiyi ifade etmektedir: $j = \arg\min_{i=1,\ldots,n} S_i$.

Eğer birden fazla tedarikçi en düşük temel stok seviyesine sahipse, bu durumda içlerinden trafik yoğunluğu en yüksek olan tedarikçi *j*. tedarikçi olarak tanımlanır.

Denklem (2)'ye göre, üreticinin gelişlerarası sürelerinin yaklaşık değişkenlik katsayısının karesi aşağıdaki şekilde bulunur. Değişkenlik katsayısının karesi, varyansın beklenen değerin karesine bölümünden elde edilir:

$$C_A^2 \simeq 1 - 2\rho_j^{S_j+1} \frac{1-\rho_j}{1+\rho_j}. \tag{3}$$

Denklem (2)'de verilen yaklaşık dağılımın kesinliğini test etmek için, iki, üç ve dört tedarikçinin bulunduğu benzetim modelleri geliştirilmiştir. Müşteri taleplerinin parametresi üç modelde de 1'e eşit alınmıştır. Tedarikçilerin ve üreticinin trafik yoğunlukları için 0.50, 0.67 ve 0.80; tedarikçilerin temel stok seviyeleri için ise 3, 5 ve 7 olmak üzere üçer farklı değer seçilmiştir. Ardından, Minitab 15 kullanılarak her biri 27 koşumdan oluşan Taguchi tasarımları oluşturulmuştur.

Benzetim modelleri Arena 9.0 kullanılarak geliştirilmiştir. Her bir koşumun yineleme uzunluğu 10000 zaman birimi ve yineleme sayısı ise 10 olarak alınmıştır.

Benzetim sonuçları, 0.01 anlamlılık seviyesinde, 81 vakadan 79 tanesinde yaklaşık dağılımın veriye uyduğunu göstermektedir. Buna bağlı olarak, yaklaşık dağılımın hata oranı %2.47'dir. Aynı zamanda, hataların üç model arasındaki dağılımının da dengeli olduğu görülmüştür. Hata oranının kabul edilebilir seviyede olması, üreticinin gelişlerarası sürelerinin dağılımının, denklem (2)'de verildiği şekilde alınabileceğini göstermektedir.

Model ve performans ölçütleri

Daha önce de belirtildiği gibi, ele alınan sistemde nihai müşteri talepleri Poisson sürecine uygun olarak gelmekte ve tedarikçilerin hizmet süreleri bağımsız ve özdeş dağılmış olup üstel dağılıma uymaktadır. Bu koşullar altında, her tedarikçi bir $M/M/1$ stok-için-üretim kuyruk sistemi olarak modellenmiştir. Bunun yanı sıra, elde edilmek istenen performans ölçütleri, her tedarikçinin ortalama bekleyen sipariş miktarı ve ortalama envanter seviyesidir.

B_i, *i*. tedarikçinin bekleyen sipariş miktarını; I_i ise *i*. tedarikçinin envanter seviyesini göstersin, $i=1,\ldots,n$. Buna göre, *i*. tedarikçinin ortalama bekleyen sipariş miktarı

$$E[B_i] = \frac{\rho_i^{S_i+1}}{1-\rho_i}, \quad i=1,\ldots,n, \tag{4}$$

ortalama envanter seviyesi ise

$$E[I_i] = S_i - \frac{\rho_i\left(1-\rho_i^{S_i}\right)}{1-\rho_i}, \quad i=1,\ldots,n \tag{5}$$

olarak hesaplanır (Buzacott ve Shanthikumar, 1993).

Diğer yandan, üreticiye olan gelişlerin bir yenileme süreci oluşturduğu varsayımıyla üretici bir $GI/M/1$ kuyruk sistemi olarak modellenmiştir. Gelişlerarası sürelerin dağılımı ise denklem (2)'deki gibi alınmıştır. Bunun yanı sıra, ilgilenilen performans ölçütleri, üreticinin sistemindeki ortalama iş sayısı ve ortalama bekleyen sipariş miktarıdır.

Shanthikumar ve Buzacott (1980), bir $GI/G/1$ kuyruk sistemindeki ortalama iş sayısı için literatürde yer alan yaklaşıklıkları incelemiştir. Bu yaklaşıklıklar sadece gelişlerarası ve hizmet sürelerinin değişkenlik katsayılarının karelerine (sırasıyla C_A^2 ve C_S^2) ihtiyaç duymaktadır. Yazarlar, çeşitli C_A^2 ve C_S^2 değerleri için farklı yaklaşıklıklar önermiştir. Bunlar, Krämer ve Langenbach-Belz (1976), Marchal (1976) ve küçük bir değişiklik yaptıkları Page (1972)'in yaklaşıklıklarıdır. Bunların yanı sıra, Buzacott ve Shanthikumar (1993)'ın çalışmasında yer alan iki yaklaşıklık daha ele alınmıştır.

Söz konusu beş yaklaşıklık arasından üreticinin sistemindeki ortalama iş sayısına en uygun olanı belirlemek için daha önce geliştirilen benzetim modellerinden yararlanılmıştır. Daha sonra, yaklaşıklıklardan elde edilen değerler ile benzetim sonuçları karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, her üç modelde de Marchal (1976)'ın yaklaşık formülünün en düşük hata oranına sahip olduğunu göstermektedir. İki, üç ve dört tedarikçili modeller için ortalama hata oranları sırasıyla %2.74, %3.28 ve %4.09 olarak bulunmuştur. Tedarikçi sayısı arttıkça ortalama hata oranlarında bir artış olmakla beraber, bu artış kabul edilebilir seviyededir. Bu nedenle, N_M üreticinin sistemindeki iş sayısını göstermek üzere, denklem (6)'da verilen Marchal (1976)'ın yaklaşık formülü üreticinin sistemindeki ortalama iş sayısının bulunmasında kullanılmıştır:

$$E[N_M] \simeq \rho_M + \left(\frac{\rho_M^2\left(1+C_S^2\right)}{1+\rho_M^2 C_S^2}\right)\left(\frac{C_A^2+\rho_M^2 C_S^2}{2\left(1-\rho_M\right)}\right). \quad (6)$$

Üreticinin hizmet süreleri üstel dağılıma uyduğu için C_S^2 1'e eşittir. C_A^2 ise denklem (3)'e göre hesaplanır. Bu değerler denklem (6)'da yerine konulduğunda üreticinin sistemindeki ortalama iş sayısı şu şekilde bulunur:

$$E[N_M] \simeq \rho_M + \left(\frac{2\rho_M^2}{1+\rho_M^2}\right) \left(\frac{(1+\rho_j)(1+\rho_M^2)-2\rho_j^{S_j+1}(1-\rho_j)}{2(1+\rho_j)(1-\rho_M)}\right), \quad (7)$$

$$j = \arg\min_{i=1,\ldots,n} S_i.$$

Üretici için elde edilmek istenen bir diğer performans ölçütü ise üreticinin sisteminde bekleyen ortalama sipariş miktarıdır. Üretici stok tutmadığından dolayı, sistemindeki ortalama bekleyen sipariş miktarı, kuyruğundaki ortalama iş sayısına eşittir. N_{q_M}, üreticinin kuyruğundaki iş sayısını; B_M ise, üreticinin bekleyen sipariş miktarını göstermek üzere, üreticinin ortalama bekleyen sipariş miktarı Little'ın formülünü kullanarak aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$E\left[N_{q_M}\right] = E[B_M] \simeq \left(\frac{2\rho_M^2}{1+\rho_M^2}\right) \left(\frac{(1+\rho_j)(1+\rho_M^2)-2\rho_j^{S_j+1}(1-\rho_j)}{2(1+\rho_j)(1-\rho_M)}\right), \quad (8)$$

$$j = \arg\min_{i=1,\ldots,n} S_i.$$

Merkezi ve merkezkaç modeller

Merkezi sistemde sistemin tümünü eniyilemeye çalışan tek bir karar verici varken, merkezkaç sistemde ise tedarik zincirinin her bir üyesi sadece kendi sistemini eniyilemeye çalışır. Bu bölümde merkezi ve merkezkaç modeller geliştirilmiş ve modellerin eniyi çözümleri bulunmuştur. Bu makalede merkezi sistemin de ele alınmasının nedeni, merkezi çözümün merkezkaç sistemin koordinasyonu için bir referans noktası olarak alınmasıdır.

Merkezi model

Merkezi modelde karar vericinin amacı, sistemin tümü için birim zamandaki ortalama toplam bekleyen sipariş ve elde tutma maliyetlerini enküçüklemektir. Modeldeki karar değişkenleri ise tedarikçilerin temel stok seviyeleridir.

Tüm $i=1,\ldots,n$ için, b_i, i. tedarikçinin birim zamandaki birim bekleyen sipariş maliyetini; b_M, üreticinin birim zamandaki birim bekleyen sipariş maliyetini; h_i ise, i. tedarikçinin birim zamandaki birim elde tutma maliyetini göstersin. Bu makalede, tüm $i=1,\ldots,n$ için $b_i>0$, $h_i>0$ ve $b_M>0$ olduğu varsayılmıştır.
Ayrıca, tüm $i=1,\ldots,n$ için, C_{S_i}, i. tedarikçinin birim zamandaki ortalama maliyetini; C_M ise üreticinin birim zamandaki ortalama maliyetini göstersin. Bu durumda, C_{S_i} ve C_M sırasıyla şu şekilde hesaplanır:

$$C_{S_i} = b_i E[B_i] + h_i E[I_i], \quad i=1,\ldots,n \quad (9)$$

ve

$$C_M = b_M E[B_M]. \quad (10)$$

Denklem (10)'dan da görüleceği gibi, üretici stok tutmadığı için, üreticinin ortalama maliyeti sadece ortalama bekleyen sipariş maliyetine eşittir.

Denklem (4) ve (5), denklem (9)'da yerine konulduğunda, C_{S_i}, S_i'nin bir fonksiyonu olarak şu şekilde yazılabilir:

$$C_{S_i}\left(S_i\right)=b_i\left(\frac{\rho_i^{S_i+1}}{1-\rho_i}\right)+h_i\left(S_i-\frac{\rho_i\left(1-\rho_i^{S_i}\right)}{1-\rho_i}\right), \quad (11)$$

$i=1,\ldots,n.$

Aynı şekilde, denklem (8), denklem (10)'da yerine konulduğunda ise, C_M, S_j'nin bir fonksiyonu olarak aşağıdaki şekilde yazılır:

$$C_M\left(S_j\right)\simeq \tilde{C}_M\left(S_j\right)=b_M\left(\frac{2\rho_M^2}{1+\rho_M^2}\right)\left(\frac{\left(1+\rho_j\right)\left(1+\rho_M^2\right)-2\rho_j^{S_j+1}\left(1-\rho_j\right)}{2\left(1+\rho_j\right)\left(1-\rho_M\right)}\right), \quad (12)$$

$$j=\arg\min_{i=1,\ldots,n} S_i.$$

C_T, sistemin tümü için birim zamandaki ortalama toplam bekleyen sipariş ve elde tutma maliyetlerini göstermek üzere, denklem (11) ve (12) kullanılarak oluşturulan merkezi model aşağıda verilmiştir:

enküçükle

$$\tilde{C}_T\left(S_1,\ldots,S_n\right)=\sum_{i=1}^{n} C_{S_i}\left(S_i\right)+\tilde{C}_M\left(S_j\right) \quad (13)$$

öyle ki

$S_i \geq 0, \quad i=1,\ldots,n,$

$$j=\arg\min_{i=1,\ldots,n} S_i.$$

Denklem (13)'te verilen model, sistemin tümü için birim zamandaki yaklaşık ortalama toplam maliyetleri enküçükleme üzerine kurulduğu için, merkezi modelin eniyi çözümü, aslında merkezi sistem için yaklaşık eniyi çözümdür. Fakat, makalenin geri kalan kısmında sadelik açısından *merkezi çözüm* olarak adlandırılacaktır.

Denklem (13)'te verilen merkezi modelin global eniyi çözümü aşağıda verilmiştir:

$$S_j^*=\frac{\ln\left(\dfrac{-h_j}{\left(\dfrac{b_j+h_j}{1-\rho_j}-B\left(\dfrac{1-\rho_j}{1+\rho_j}\right)\right)\left(\ln\rho_j\right)\rho_j}\right)}{\ln\rho_j}, \quad j=j^*, \quad (14)$$

$$S_i^*=\frac{\ln\left(\dfrac{-h_i\left(1-\rho_i\right)}{\left(b_i+h_i\right)\left(\ln\rho_i\right)\rho_i}\right)}{\ln\rho_i}, \quad i=1,\ldots,n, \quad i\neq j^*. \quad (15)$$

Denklem (14) ve (15)'de,

$$B=b_M\left(\frac{2\rho_M^2}{\left(1+\rho_M^2\right)\left(1-\rho_M\right)}\right),$$

$j^*=\arg\min_{j\in J}\tilde{C}_T\left(S_1,\ldots,S_j,\ldots,S_n\right), \quad j\in J$ ancak ve ancak tüm $j=1,\ldots,n$ için $S_j=\min_{i=1,\ldots,n} S_i$.

Merkezi modelin eniyi çözümünü bulurken, Cachon (1999) ve Gupta ve Weerawat (2006) ile benzer şekilde, tedarikçilerin eniyi temel stok seviyelerinin sıfıra eşit olmadığı varsayılmıştır. Buna göre,

$$h_j+\left(b_j+h_j\right)\left(\frac{\ln\rho_j}{1-\rho_j}\right)\rho_j-b_M\left(\frac{2\rho_M^2}{\left(1+\rho_M^2\right)\left(1-\rho_M\right)}\right)\left(\frac{\left(1-\rho_j\right)\left(\ln\rho_j\right)}{1+\rho_j}\right)\rho_j<0 \quad (16)$$

ve

$$h_i+\left(b_i+h_i\right)\left(\frac{\ln\rho_i}{1-\rho_i}\right)\rho_i<0, \quad i=1,\ldots,n, \quad i\neq j \quad (17)$$

varsayımları makale boyunca kullanılmıştır.

Merkezi modelin eniyi çözümünü bulmak için öncelikle $j=\arg\min_{i=1,\ldots,n} S_i$ koşulu göz ardı edilir ve *j*, sırasıyla $1,\ldots,n$'e eşit alınarak model *n* defa çözülür.

Her bir *j* için ayrı bir model çözüldüğünde, sırasıyla denklem (14) ve (15)'den bulunan S_j ve S_i değerleri, Karush-Kuhn-Tucker (KKT) koşullarını sağlamakta olup söz konusu modelin eniyi çözümünü vermektedir.

Bunun yanı sıra, merkezi modelin amaç fonksiyonu olan $\tilde{C}_T\left(S_1,\ldots,S_n\right)$, belirli bir *j* için $\mathbb{R}^n$ üzerinde kesin dışbükey bir fonksiyondur. Bu nedenle, her bir modelin eniyi çözümü, aynı zamanda o modelin tek global eniyi çözümüdür.

Oysa modelleri çözerken $j = \arg\min_{i=1,\ldots,n} S_i$ koşulu göz ardı edildiği için, elde edilen çözümlerden bazıları merkezi model için olurlu olmayabilir. Ancak, çözümlerden en az birinin olurluluğunu ispatlamak zor değildir.

Her bir $j = 1,\ldots,n$ için ayrı çözümler bulunduktan sonra, merkezi modelin eniyi çözümünü bulmak için $j = \arg\min_{i=1,\ldots,n} S_i$ koşulu göz önüne alınır. Sonuç olarak, $S_j = \min_{i=1,\ldots,n} S_i$ şartını sağlayan çözümler arasından, denklem (13)'teki amaç fonksiyonunu enküçükleyen çözüm, merkezi modelin global eniyi çözümüdür.

Denklem (14) ve (15)'de verilen eniyi çözüm temel stok seviyelerinin tamsayı olma şartını sağlamasa da, bu çözüm kullanılarak eniyi tamsayı çözüm bulunabilir. Bunun için, *j*, sırasıyla $1,\ldots,n$'e eşit alınarak model *n* defa çözülür. Daha sonra her modelde, S_j, $\lfloor S_j \rfloor$ ve $\lceil S_j \rceil$'ye; tüm $i \neq j$ için ise, S_i, $\lfloor S_i \rfloor$ ve $\lceil S_i \rceil$'ye yuvarlanır ve $\operatorname{int} S_j = \min_{i=1,\ldots,n} \operatorname{int} S_i$ olan tüm olurlu kombinasyonlar için amaç fonksiyonunun değeri hesaplanır. Burada, $\lfloor x \rfloor$, *x*'den küçük ya da eşit olan en büyük tamsayıyı; $\lceil x \rceil$, *x*'den büyük ya da eşit olan en küçük tamsayıyı; $\operatorname{int} x$ ise, *x*'in yuvarlanmış tamsayı değerini göstermektedir. Eğer bazı $i \neq j$ için $\operatorname{int} S_j = \operatorname{int} S_i$ ise, bir kombinasyonun olurlu olması için $\rho_j \geq \rho_i$ olmalıdır. Son olarak, tüm olurlu kombinasyonlar arasından, denklem (13)'teki amaç fonksiyonunu enküçükleyen çözüm, merkezi modelin eniyi tamsayı çözümünü verir.

Merkezkaç model

Merkezkaç modelde tedarik zincirinin her bir üyesinin amacı, kendi sistemi için birim zamandaki ortalama maliyeti enküçüklemektir. Bu nedenle $i = 1,\ldots,n$ olmak üzere, *i*. tedarikçi, denklem (11)'de verilen birim zamandaki ortalama bekleyen sipariş ve elde tutma maliyetlerini enküçüklemeye çalışır. Karar değişkenleri tedarikçilerin temel stok seviyeleri olduğu için, *i*. tedarikçiye ait merkezkaç model şu şekildedir:

enküçükle

$$C_{S_i}(S_i) = b_i\left(\frac{\rho_i^{S_i+1}}{1-\rho_i}\right) + h_i\left(S_i - \frac{\rho_i\left(1-\rho_i^{S_i}\right)}{1-\rho_i}\right) \quad (18)$$

öyle ki

$S_i \geq 0, \quad i \in \{1,\ldots,n\}$.

Olaya üreticinin tarafından bakacak olursak, üretici stok tutmadığı için, denklem (12)'de verilen birim zamandaki ortalama bekleyen sipariş maliyetini enküçüklemeye çalışır. Ancak, karar değişkenleri tedarikçilerin temel stok seviyeleri olduğu için, üretici merkezkaç modele dahil edilmemiştir. Bununla birlikte, denklem (12)'den de görüleceği gibi, *j*. tedarikçinin kararı üreticiyi de etkilemektedir.

Denklem (12)'den, $\tilde{C}_M\left(S_j\right)$ değerinin $S_j = 0$ için enküçüklendiği görülür. Bu durum şu şekilde açıklanabilir: S_j sıfıra yaklaştıkça, *j*. parçanın üreticiye ulaşması ortalama daha fazla zaman alır. Bu nedenle, üreticinin kuyruğundaki ortalama iş sayısı, diğer bir deyişle, üreticinin kendi sisteminden kaynaklanan ortalama bekleyen sipariş miktarı azalır. Bu da, üreticinin birim zamandaki ortalama bekleyen sipariş maliyetinin azalmasına neden olur.

Denklem (18)'de *i*. tedarikçi için verilen merkezkaç modelin tek global eniyi çözümü aşağıda verilmiştir:

$$S_i^{\circ} = \frac{\ln\left(\dfrac{-h_i\left(1-\rho_i\right)}{\left(b_i+h_i\right)\left(\ln\rho_i\right)\rho_i}\right)}{\ln\rho_i}, \quad i \in \{1,\ldots,n\}. \quad (19)$$

Denklem (19)'daki çözüm, denklem (18)'de verilen merkezkaç modele ait KKT koşullarını sağlamaktadır. Aynı zamanda, merkezkaç modelin amaç fonksiyonu $\mathbb{R}$ üzerinde kesin dışbükey bir fonksiyondur. Bu nedenle, denklem (19)'da verilen çözüm merkezkaç modelin tek global eniyi çözümüdür. Makalenin geri kalan kısmında ise kısaca *merkezkaç çözüm* olarak adlandırılacaktır.

Merkezi modelde olduğu gibi, denklem (19)'da verilen eniyi çözümü kullanarak *i*. tedarikçiye ait merkezkaç modelin eniyi tamsayı çözümü şu şekilde bulunabilir: Tüm $i = 1, \ldots, n$ için, S_i'nin eniyi tamsayı değeri, $\lfloor S_i^{o} \rfloor$ ve $\lceil S_i^{o} \rceil$ arasından denklem (18)'de verilen amaç fonksiyonunu enküçükleyendir.

Merkezkaç sistemin koordinasyonu

Bir tedarik zincirinin koordineli çalışması için her bir üyenin rasyonel olarak tedarik zincirinin eniyi çözümüne göre hareket etmesi, diğer bir deyişle, merkezkaç çözümün merkezi çözüme eşit olması gerekir.

Denklem (14) ve (15)'de verilen merkezi çözüm ile denklem (19)'da verilen merkezkaç çözüm karşılaştırıldığında, $S_j^* \neq S_j^{o}$ olduğu, tüm $i \neq j$ için ise $S_i^* = S_i^{o}$ olduğu görülmüştür. Burada, $j = j^*$ olup j^* önceki bölümde tanımlanmıştır. Dolayısıyla, *j*. tedarikçi ve üretici arasında bir koordinasyon mekanizmasının araştırılması gerekmektedir.

j. tedarikçinin merkezi ve merkezkaç çözümleri kıyaslandığında, $S_j^* < S_j^{o}$ olduğu görülür. Bu nedenle, koordinasyonu sağlayan bir kontratın *j*. tedarikçinin temel stok seviyesini azaltması gerekmektedir. S_j'nin azalması, *j*. tedarikçinin birim zamandaki ortalama elde tutma maliyetini düşürürken, ortalama bekleyen sipariş maliyetini ise arttırır. Bu nedenle üreticinin, *j*. tedarikçiyi daha düşük bir temel stok seviyesi seçmeye teşvik edecek bir kontrat hazırlaması gerekmektedir.

Denklem (11)'den de görüleceği gibi, her bir tedarikçinin birim zamandaki ortalama maliyeti sadece kendi temel stok seviyesine bağlıdır. Bu nedenle, *j*. tedarikçinin birim zamandaki ortalama maliyet fonksiyonundaki değişiklik, diğer tedarikçilerin eniyi stratejilerini etkilemez. Dolayısıyla, $i \neq j$ için $S_i^* = S_i^{o}$ olma durumu kontrattan sonra da aynı kalır.

Bu bölümde, tedarik zincirinin koordinasyonu için transfer ödemesine dayalı üç farklı kontrat üzerine çalışılmıştır. Bu kontratlar, bekleyen sipariş maliyetini destekleme kontratı, Pareto iyileştirmeye dayalı transfer ödemesi kontratı ve maliyet paylaşımı kontratıdır.

Bir kontrat koordine etme yeteneğinin yanı sıra, aynı zamanda Pareto iyileştiren de olmalıdır. Diğer bir deyişle, transfer ödemesinden sonra üyelerden en az birinin durumu daha iyi hale gelmeli; aynı zamanda diğer hiç bir üyenin durumunda kötüleşme olmamalıdır. Bu makalede ele alınan kontratlar bu açıdan da değerlendirilmiştir.

Transfer ödemelerinden sonra üreticinin (aynı zamanda maliyet paylaşımı kontratında *j*. tedarikçinin) birim zamandaki ortalama maliyet fonksiyonları denklem (12)'de verilen $\tilde{C}_M(S_j)$'ye bağlı olup yaklaşık fonksiyonlardır. Ayrıca, denklem (13)'te verilen merkezi model de $\tilde{C}_M(S_j)$'ye dayalı olarak kurulmuştur. Bu nedenle kontratlar, *j*. tedarikçinin birim zamandaki ortalama maliyet fonksiyonları ve üreticinin (aynı zamanda maliyet paylaşımı kontratında *j*. tedarikçinin) birim zamandaki yaklaşık ortalama maliyet fonksiyonlarına dayanmaktadır. Kontratların ayrıca Pareto iyileştiren olup olmadıkları da bu maliyet fonksiyonlarına göre değerlendirilmiştir.

Bekleyen sipariş maliyetini destekleme kontratı

Daha önce de belirtildiği gibi, koordinasyonu sağlayan bir kontratın *j*. tedarikçiyi daha düşük bir temel stok seviyesi seçmeye teşvik etmesi gerekmektedir. Bu nedenle, üreticinin *j*. tedarikçiye ait bekleyen sipariş maliyetlerinin bir kısmını karşıladığı bir kontratın, tedarik zincirini koordine etmesi beklenebilir.

Bekleyen sipariş maliyetini destekleme kontratında, $0 < \alpha_B < 1$ olmak üzere, üretici *j*. tedarikçiye, birim zamanda j. tedarikçide bekleyen sipariş başına $\alpha_B b_j$ kadar bir ödeme yapar. Dolayısıyla transfer ödemesinden sonra, sırasıyla denklem (11) ve (12)'de verilen j. tedarikçinin birim zamandaki ortalama maliyet fonksiyonu ve üreticinin birim zamandaki yaklaşık ortalama maliyet fonksiyonu aşağıdaki şekilde değişir:

$$C_{S_j}^{B}\left(S_j\right)=C_{S_j}\left(S_j\right)-\alpha_B b_j\left(\frac{\rho_j^{S_j+1}}{1-\rho_j}\right), \qquad (20)$$

$$\tilde{C}_M^{B}\left(S_j\right)=\tilde{C}_M\left(S_j\right)+\alpha_B b_j\left(\frac{\rho_j^{S_j+1}}{1-\rho_j}\right). \qquad (21)$$

Bekleyen sipariş maliyetini destekleme kontratı,

$$\alpha_B=b_M\left(\frac{2\rho_M^2}{\left(1+\rho_M^2\right)\left(1-\rho_M\right)}\right)\left(\frac{\left(1-\rho_j\right)^2}{b_j\left(1+\rho_j\right)}\right) \qquad (22)$$

için tedarik zincirini koordine etmektedir.

Söz konusu kontratta, transfer ödemesinden önce j. tedarikçinin birim zamandaki ortalama maliyeti $C_{S_j}\left(S_j^{o}\right)$; transfer ödemesinden sonra ise $C_{S_j}^{B}\left(S_j^{*}\right)$ olarak hesaplanır. Bu maliyetler kıyaslandığında, kontrattan sonra j. tedarikçinin birim zamandaki ortalama maliyetinin azaldığı sonucu çıkmaktadır: $C_{S_j}^{B}\left(S_j^{*}\right)<C_{S_j}\left(S_j^{o}\right)$.

Benzer şekilde, transfer ödemesinden önce üreticinin birim zamandaki yaklaşık ortalama maliyeti $\tilde{C}_M\left(S_j^{o}\right)$; transfer ödemesinden sonra ise $\tilde{C}_M^{B}\left(S_j^{*}\right)$ olarak hesaplanır. Bu maliyetler karşılaştırıldığında, kontrattan sonra üreticinin birim zamandaki yaklaşık ortalama maliyetinin arttığı görülmektedir: $\tilde{C}_M^{B}\left(S_j^{*}\right)>\tilde{C}_M\left(S_j^{o}\right)$.

Sonuç olarak, transfer ödemesinden sonra j. tedarikçinin birim zamandaki ortalama maliyeti azalırken, üreticinin yaklaşık ortalama maliyeti ise artmaktadır. Bu nedenle, söz konusu kontrat Pareto iyileştiren değildir.

Pareto iyileştirmeye dayalı transfer ödemesi kontratı

Pareto iyileştirmeye dayalı transfer ödemesi kontratında, üretici j. tedarikçiye, üreticinin durumu transfer ödemesinden sonra da aynı kalacak şekilde bir ödeme yapar. Bu koşulu sağlayan transfer ödemesi aşağıda verilmiştir:

$$T^P\left(S_j\right)=b_M\left(\frac{2\rho_M^2}{\left(1+\rho_M^2\right)\left(1-\rho_M\right)}\right)\left(\frac{1-\rho_j}{1+\rho_j}\right)\left(\rho_j^{S_j+1}+\frac{h_j\left(1-\rho_j\right)}{\left(b_j+h_j\right)\left(\ln\rho_j\right)}\right). \qquad (23)$$

Denklem (23)'teki transfer ödemesinden sonra, sırasıyla denklem (11) ve (12)'de verilen j. tedarikçinin birim zamandaki ortalama maliyet fonksiyonu ve üreticinin birim zamandaki yaklaşık ortalama maliyet fonksiyonu aşağıdaki şekilde değişir:

$$C_{S_j}^{P}\left(S_j\right)=C_{S_j}\left(S_j\right)-T^P\left(S_j\right), \qquad (24)$$

$$\tilde{C}_M^{P}\left(S_j\right)=\tilde{C}_M\left(S_j\right)+T^P\left(S_j\right). \qquad (25)$$

Denklem (24)'ün tek global eniyi çözümünün S_j^{*} olması, Pareto iyileştirmeye dayalı transfer ödemesi kontratının tedarik zincirini koordine ettiğini göstermektedir.

Söz konusu kontrat Pareto iyileştiren olup olmaması açısından değerlendirildiğinde ise, transfer ödemesinden sonra j. tedarikçinin birim zamandaki ortalama maliyetinin azaldığı görülmektedir: $C_{S_j}^{P}\left(S_j^{*}\right)<C_{S_j}\left(S_j^{o}\right)$. Öte yandan, üreticinin transfer ödemesinden önce ve sonra birim zamandaki yaklaşık ortalama maliyetleri aynı kalmaktadır: $\tilde{C}_M^{P}\left(S_j^{*}\right)=\tilde{C}_M\left(S_j^{o}\right)$. Sonuç olarak, söz konusu kontrat Pareto iyileştirendir.

Maliyet paylaşımı kontratı

Maliyet paylaşımı kontratında, Caldentey ve Wein (2003)'ın çalışmasına benzer şekilde, üretici j. tedarikçiye, j. tedarikçi transfer ödemesinden sonra ikisinin yaklaşık ortalama toplam maliyetlerinin α_C kadarını karşılayacak şekilde bir ödeme yapar:

$$\tilde{C}_{S_j}^{C}\left(S_j\right)=\alpha_C\tilde{C}\left(S_j\right). \quad (26)$$

Dolayısıyla, transfer ödemesinden sonra üreticinin birim zamandaki yaklaşık ortalama maliyet fonksiyonu şu şekildedir:

$$\tilde{C}_{M}^{C}\left(S_j\right)=\left(1-\alpha_C\right)\tilde{C}\left(S_j\right). \quad (27)$$

Denklem (26) ve (27)'de, $0<\alpha_C<1$ ve

$$\tilde{C}\left(S_j\right)=C_{S_j}\left(S_j\right)+\tilde{C}_M\left(S_j\right) \quad (28)$$

olup $C_{S_j}\left(S_j\right)$ ve $\tilde{C}_M\left(S_j\right)$ sırasıyla denklem (11) ve (12)'de verilmiştir.

Denklem (26) ve (27)'yi sağlayan transfer ödemesi ise aşağıda gösterilmiştir:

$$T^{C}\left(S_j\right)=\left(1-\alpha_C\right)C_{S_j}\left(S_j\right)-\alpha_C\tilde{C}_M\left(S_j\right). \quad (29)$$

Buna göre, denklem (26)'nın tek global eniyi çözümü S_j^* olarak bulunur. Dolayısıyla, maliyet paylaşımı kontratı tedarik zincirini koordine etmektedir.
Söz konusu kontrat Pareto iyileştiren olup olmaması açısından değerlendirildiğinde ise, maliyet paylaşımı kontratının

$$\alpha_C\in\left[1-\frac{\tilde{C}_M\left(S_j^{o}\right)}{\tilde{C}\left(S_j^{*}\right)},\frac{C_{S_j}\left(S_j^{o}\right)}{\tilde{C}\left(S_j^{*}\right)}\right]\cap\left(0,1\right) \quad (30)$$

için Pareto iyileştiren olduğu bulunmuştur. Ayrıca, denklem (30)'u sağlayan bir α_C değeri de her zaman mevcuttur.

Kontratların karşılaştırılması
Bu çalışmada merkezkaç sistemi koordine etmek için transfer ödemesine dayalı üç farklı kontrat üzerine çalışılmıştır. Bu kontratlar, bekleyen sipariş maliyetini destekleme kontratı, Pareto iyileştirmeye dayalı transfer ödemesi kontratı ve maliyet paylaşımı kontratıdır. Bu kontratların üçü de tedarik zincirinin koordinasyonunu sağlamaktadır.

Bir kontrat koordine etme yeteneğinin yanı sıra, aynı zamanda Pareto iyileştiren de olmalıdır. Aksi halde, üyelerden en az biri kontrata istekli olmayacaktır. Ele alınan kontratlar bu açıdan değerlendirildiğinde, bekleyen sipariş maliyetini destekleme kontratının bu koşulu sağlamadığı görülmektedir. Diğer iki kontrat ise Pareto iyileştirendir.

Pareto iyileştirmeye dayalı transfer ödemesi kontratında, tedarikçi transfer ödemesinden sonra daha iyi bir duruma gelirken üreticinin durumu ise aynı kalmaktadır. Maliyet paylaşımı kontratında ise uygun bir kontrat parametresi ile her iki üyenin durumu da transfer ödemesinden sonra iyileşmektedir. Dolayısıyla, maliyet paylaşımı kontratının seçilmesi her iki üyeye de avantaj sağlayacaktır.

Sonuçlar
Bu çalışmada sınırlı üretim kapasitesine sahip çoklu bağımsız tedarikçi ve bir üreticiden oluşan iki kademeli merkezkaç bir tedarik zinciri ele alınmıştır.

Tedarikçilerin kapasitesi sınırlı olduğu için, gerekli varsayımlar altında her tedarikçi bir $M/M/1$ stok-için-üretim kuyruk sistemi olarak modellenmiştir. Ayrıca, her tedarikçinin ortalama bekleyen sipariş miktarı ve ortalama envanter seviyesi elde edilmiştir.

Diğer yandan, öncelikle üreticinin gelişlerarası sürelerinin yaklaşık dağılımı bulunmuş ve gerekli varsayımlar altında üretici bir $GI/M/1$ kuyruk sistemi olarak modellenmiştir. Bunun yanı sıra, üreticinin sistemindeki ortalama iş sayısı ve ortalama bekleyen sipariş miktarı hesaplanmıştır.

Tedarik zincirinin bir kuyruk sistemi olarak modellenmesinden sonra, merkezi ve merkezkaç modeller geliştirilmiş ve bu modellerin eniyi çözümleri elde edilmiştir. Bu makalede merkezi sistemin de ele alınmasının nedeni, merkezi çözümün merkezkaç sistemin koordinasyonu için bir referans noktası oluşturmasıdır.

Merkezi ve merkezkaç modellerin eniyi çözümleri karşılaştırıldığında, sadece en düşük temel stok seviyesine sahip tedarikçinin koordine edilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır. Bu nedenle, sadece bu tedarikçi ve üretici arasında kontratlar hazırlanmıştır.

Bu çalışmada transfer ödemesine dayalı üç farklı kontrat üzerine çalışılmıştır. Bu kontratlar, bekleyen sipariş maliyetini destekleme kontratı, Pareto iyileştirmeye dayalı transfer ödemesi kontratı ve maliyet paylaşımı kontratıdır. Her kontrat, koordinasyon yeteneği ve Pareto iyileştiren olup olmaması yönünden değerlendirilmiştir. Sonuç olarak, üç kontratın da tedarik zincirinin koordinasyonunu sağladığı bulunmuştur. Pareto iyileştirme göz önüne alındığında ise, her iki üyenin de maliyet paylaşımı kontratını tercih etmesi beklenebilir.

Kaynaklar

Buzacott, J.A., Price, S.M. ve Shanthikumar, J.G., (1992). Service Level in Multistage MRP and Base Stock Controlled Production Systems, in *New Directions for Operations Research in Manufacturing*, G. Fandel, T. Gulledge, and A. Jones, *eds*., Springer, Berlin, 445-463.

Buzacott, J.A. ve Shanthikumar, J.G., (1993). *Stochastic Models of Manufacturing Systems*, Prentice-Hall, New Jersey.

Cachon, G.P., (1999). Competitive and Cooperative Inventory Management in a Two-Echelon Supply Chain with Lost Sales, *University of Pennsylvania Working Paper*, Philadelphia.

Caldentey, R. ve Wein, L.M., (2003). Analysis of a Decentralized Production-Inventory System, *Manufacturing & Service Operations Management*, **5**,1, 1-17.

Gupta, D. ve Weerawat, W., (2006). Supplier-Manufacturer Coordination in Capacitated Two-Stage Supply Chains, *European Journal of Operational Research*, **175**, 1, 67-89.

Jemaï, Z. ve Karaesmen, F., (2004). Decentralized Inventory Control in a Two-Stage Capacitated Supply Chain, *Koç University Technical Report*, İstanbul.

Krämer, W. ve Langenbach-Belz, M., (1976). Approximate Formulae for the Delay in the Queueing System $GI/G/1$, *Congressbook*, Eighth International Teletraffic Congress, Melbourne, 235.1-235.8.

Marchal, W.G., (1976). An Approximate Formula for Waiting Time in Single Server Queues, *AIIE Transactions*, **8**, 4, 473-474.

Page, E., (1972). Queueing Theory in OR, *Operational Research Series*, Crane Russak, New York.

Shanthikumar, J.G. ve Buzacott, J.A., (1980). On the Approximations to the Single Server Queue, *International Journal of Production Research*, **18**, 6, 761-773.