

Dağıtım sistemlerinde kamçı etkisinin dinamik simülasyon ile analizi

Burak KANDEMİR*, M. Nahit SERARSLAN

İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Programı, 34367, Maçka, İstanbul

Özet

Kamçı etkisi, tedarik zincirlerine ilişkin en önemli performans göstergelerinden biri olarak görülmektedir. Literatürde kamçı etkisinin nedenleri, ölçümü ve sistem davranışına etkisinin incelendiği çok sayıda çalışma yer almaktadır. Ancak bu çalışmaların çoğu, talep tahminlerinin ya da ikmal yapılarının uygulandığı tedarik zincirlerinde gerçekleştirilmiş olup, sipariş için üretim sistemi, özetlenen sistemler kadar ilgi görmemektedir. Bu çalışmada, dinamik simülasyon ile sipariş için üretim ve ikmal yapılarına ilişkin kamçı etkisi uluslararası dağıtım sistemlerinde incelenmiştir. Sipariş için üretim sisteminde tersine kamçı etkisi gözlemlenmiş ve ilk giren siparişin ilk servis edildiği politika ile siparişlerin havuzlandığı politika mukayese edilmiştir. Deneyler sonucunda sevkiyat aşamasındaki belirsizliklerin sistemi domine ederek arz bazlı hale dönüştürdüğü ve bu belirsizlik durumunda siparişlerin havuzlandığı yapının daha iyi sonuçlar verdiği ortaya konmuştur. Sevkiyata ilişkin belirsizliklerin elimine edilmesi durumunda ise ilk gelen siparişin ilk servis edildiği yapı daha iyi sonuçlar vermektedir. Ayrıca talep tahminine dayalı stok için üretim yapan bir sistemde ikmal politikasının uygulanması durumunda ikmal kapsamına dahil olacak ürünlerin seçimi için bir algoritma geliştirilmiştir. Bu durumda sistemin kamçı etkisi davranışı göstereceği ortaya konmuş, ikmal ve sipariş için üretim yapılarını bütünleştiren yeni ve kompozit bir model önerilerek ikmal parametrelerinin kamçı ve elde bulundurulmuş stok miktarını doğrudan etkileyeceği sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: *Tedarik zinciri, kamçı etkisi, dinamik simülasyon.*

*Yazışmaların yapılacağı yazar: Burak KANDEMİR. Burak.kandemir@gmail.com; Tel: (216) 585 80 53.

Bu makale, birinci yazar tarafından İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Programında tamamlanmış olan "Uluslararası dağıtım sistemlerinde sipariş için üretim ve ikmal politikalarına ilişkin kamçı etkisinin dinamik simülasyon ile analizi" adlı doktora tezinden hazırlanmıştır. Makale metni 30.09.2009 tarihinde dergiye ulaştırılmış, 02.12.2009 tarihinde basım kararı alınmıştır. Makale ile ilgili tartışmalar 31.08.2011 tarihine kadar dergiye gönderilmelidir.

Bu makaleye "Kandemir B., Serarслан M. N., (2011) 'Dağıtım sistemlerinde kamçı etkisinin dinamik simülasyon ile analizi', İTÜ Dergisi/D Mühendislik, 10: 2, 49-57" şeklinde atıf yapabilirsiniz.

Analysis of the bullwhip effect in distribution systems by dynamic simulation

Extended abstract

The bullwhip effect has taken a widespread interest of research in the recent decade. It is seen as a natural outcome of order-to-delivery systems (Forrester, 1961). Most of the studies in the literature are focused on demand forecasts and replenishment policies (Lee et al., 1997a, Lee et al., 2006, Disney et al., 1997), while make-to-order systems have not taken same interest.

It is aimed to analyze the bullwhip effect in distribution systems of international supply chains in this study by using system dynamics simulation. Dynamic simulation has been considered as invaluable in analyzing supply chains as a very efficient tool (Towill et al., 2006).

In system dynamics, the system consists of feedback loops, levels and rates, and non-linear relationships between the system elements. The fundamental rule in system dynamics says that the structure affects the behavior (Sterman, 2000). The main behavior types are exponential growth, goal seeking, and oscillation; while s-shaped growth, s-shaped with overshoot, and overshoot and collapse are the behaviors resulting from the relationships between the basic behaviors (Sterman, 2000).

One of the milestones in supply chain history can be seen as the "beer game", a managerial simulator developed by M.I.T. which consists of four echelons of a beer supply chain. Regardless the education and qualification of the players, the beer game usually results with shortage and excess stock. Sterman (1989) comments this case as "misperceptions of feedback", while Senge (1990) comments his fifth discipline as the system perspective under the light of this game.

The bullwhip effect mainly results from four reasons which are demand forecasting, order batching, rationing game and price fluctuations (Lee et al., 1997a). Forrester (1961), Sterman (1989), and Senge (1990) has handled the bullwhip phenomenon with system dynamics while Holt et al.(1960), Blinder (1982), and Blanchard (1983) has macro economical studies. Many approaches

like vendor managed inventory, jointly managed inventory, collaborative planning, forecasting and replenishment, collaborative transport management etc., have been started to be used in the recent years in order to maximize the coordination throughout the supply chain and reduce the bullwhip (Lee et al., 2006). Fransoo and Waters (2000) offered the ratio of variance of demands in and out of an echelon in a supply chain as a bullwhip measurement. A similar tool is also used in this study, in which the bullwhip parameter has been chosen as the ratio of variance of production over variance of sales.

Two case studies have been done about the analysis of the bullwhip effect by dynamic simulation. First, the distribution subsystem of a make-to-order system has been chosen and it is observed that the system has been transformed into a supply-driven form generating reverse bullwhip behavior. It is also concluded by the simulation results that, the main reason of this transformation is the uncertainties at the shipment stage. Two policies have been compared in this study and it is observed that order pooling outperforms first-come-first-served in the uncertainty. After elimination of uncertainty at the shipment stage, first-come-first-served policy generates better results than order pooling as well as the previous simulations.

In the second study, replenishment policy has been simulated in a system which currently runs on make-to-stock form, based on demand forecasts. An iterative model selection algorithm has been given for the models to be included in the replenishment policy. Several performance criteria has been chosen such as stock*days, inventory variance, lost sales percentage and the bullwhip. Simulation results indicate that the replenishment structure produces bullwhip, and more inventory carriage. A composite model of make-to-order and replenishment policies has been given afterwards. It demonstrates superior results in all performance criteria, producing greater bullwhip though. This bullwhip amplification mainly depends on the production time distribution.

Finally, potential future research areas are listed under the light of obtained results.

Keywords: Supply chains, bullwhip effect, dynamic simulation.

Giriş

Kamçı etkisi, kısaca bir tedarik zincirinde talep değişkenliğinin üst katmanlara çıkıldıkça artması olarak tanımlanmaktadır (Lee vd., 1997a). Forrester'ın (1961) çalışması sonucunda kamçı etkisi, teslimat için sipariş sistemlerinin kaçınılmaz sonucu olarak görülmüştür. Forrester bu dinamiklerin temelinde fiziksel ürünlerin, bilgilerin ve nakit akışının aksiyon, reaksiyon ve etkileşiminin olduğunu belirtmiştir. Daha sonra bira oyunu sonuçlarını yorumlayan Sterman (1989) ise, karar vericilerin, dinamik ilişkileri algılayamamaktan dolayı sistematik olarak hata yaptıklarını ortaya koymuştur. Buradaki dinamik ilişkiler, birden çok geri besleme döngüsü, gecikmeler ve doğrusal olmayan yapılardan oluşmaktadır. “Kamçı” kavramını ilk olarak kullanan çalışmada ise tedarik zinciri bütününde sadece talep değişkenliğinin artması değil, bilgi yapısının da değişmesi önemli bir etken olarak gösterilmiş ve “sizin gördükleriniz müşterilerin karşılaştıkları değildir” düşüncesi ortaya konmuştur (Lee vd., 1997a).

Özellikle globalleşmenin etkisiyle üretim merkezlerinin dünya çapında yaygınlaşması, kamçı etkisinin tedarik zinciri boyutu, zaman boyutu ve coğrafi boyut olmak üzere üç boyutlu bir incelemeye tabi tutulmasını gerekli kılmaktadır (McCullen ve Towill, 2002; Towill, 2005). Tedarik zinciri yönetimindeki verimlilik ve bu verimliliğin sayesinde ortaya çıkacak rekabet avantajlarının, tek tek tedarik zinciri elemanlarının davranışlarını ve diğer zincir elemanları ile etkileşimlerini şekillendiren etmenlerin dikkatlice tanımlanması ile sağlanabileceği; üstelik bu tanımlamanın bugünkü koşullarda daha da önemli olduğu, çünkü üretim lokasyonlarının dağınık konuma gelmesi, fonksiyonel ve dış üretimlerin çeşitlenmesi, ve müşterilerin artık global olmuş olması ilgili çalışmalarda belirtilmektedir (Lee vd., 2006).

Kamçı etkisini oluşturan 4 faktör ise; talep tahminleri güncellemesi, sipariş partileme, fiyat dalgalanmaları ve miktar belirleme olarak belirtilmektedir (Lee vd., 1997a). Fransoo ve Wouters (2000), bu nedenleri de göz önüne alarak, değişkenliğin ölçülmesine ilişkin bir çalışma

yapmışlardır. Kamçı etkisinin, tedarik zincirinin her aşamasında farklı değere sahip olacağı, bu değer de o aşamaya gelen ve o aşamadan bir üst aşamaya iletilen taleplerin değişkenliğinin oranına eşit olacağı belirtilmiştir. Bu değişkenlik aşağıdaki şekilde formüle edilebilir (Fransoo ve Wouters, 2000):

$$w = \frac{c_{out}}{c_{in}} \quad (1)$$

Kısacası kamçı, tedarik zincirinin bir aşamasından çıkan ile giren taleplerin değişkenliklerinin oranına eşit olacak, bu değişkenlikler de taleplerin ortalama ve varyanslarından hesaplanacaktır.

Ouyang vd. (2006), kamçı etkisini trafik sistemine benzeterek açıklamayı uygun görmüşlerdir. Bu açıklamaya göre; hem tedarik zincirlerinde hem de trafikte objeler bir yönde, bilgi ve kontrol kuralları aksi yönde akmakta olup her iki sistemde de objeler lokal bilgiye (alt aşama) dayalı bağımsız kararlar vermektedirler. Trafikte de, darboğazdan uzaklaştıkça değişkenlik (belirli bir zamanda bir noktadan geçen araba sayısı) artmaktadır, dur-kalklar sürücü davranışına (tepki zamanı) bağlıdır, gecikmeler vardır ve talebe bağlı olan stoktaki değişim de buna benzerdir. Envanter seviyesi, talep oranı, ve teslim zamanlarının kamçının temeli olması gerektiği belirtilmektedir (Ouyang vd., 2006). Bu noktada öne sürülen önerme de, hangi envanter yönetimi prensibi olursa olsun, teslimat için bir zaman gerekliliği mevcutsa kamçının oluşacağıdır (Daganzo, 2001, 2003). Kamçının oluşmasını açıklayan bir diğer terim ise “envanter kazanımı”dır. Envanter kazanımı kısaca, talebin bir birim arttığı durumda, stokta meydana gelen artış miktarı olarak tanımlanmakta ve zaman üzerinde ölçülmektedir (Ouyang vd., 2006).

Yukarıda özetlenen sistemlere ilave olarak, talep tahminlerinin uzun vadeli karar vermede önemli olmadığı, bilgi ve malzeme akışlarının arz tarafından domine edildiği sistemler de bulunmaktadır (Hull, 2005). “Arz bazlı” olarak adlandırılan bu zincirler; akışların talepler tarafından aktive edildiği sipariş için üretim yapılan (make-to-order) sistemlerden, veya akışların talep tahminine dayanan üretim programı tara-

findan aktive edildiği stok için üretim (make-to-stock) sistemlerinden farklılık gösterirler. Talep bazlı sistemlerdeki kamçı etkisi, talebe karşılık olarak tedarik tarafındaki dalgalanmalardan ortaya çıkarken, arz bazlı sistemlerdeki tersine kamçı etkisi yeterli talep oluşmayacağı endişesine dayanmaktadır (Hull, 2005). Yine kamçı etkisinde enformasyon paylaşımı prensibi, tedarik zinciri etkinliğini arttıracak önemli bir paradigma iken, tersine kamçı etkisinde ise gizlilik neredeyse zorunluluk halinde olmaktadır. Zira talep tarafına ait bir endişenin müşteriler tarafından bilinmesi, ciddi fiyat indirimi pazarlığına yol açabilecektir (Hull, 2005).

Teknik: Sistem dinamiği

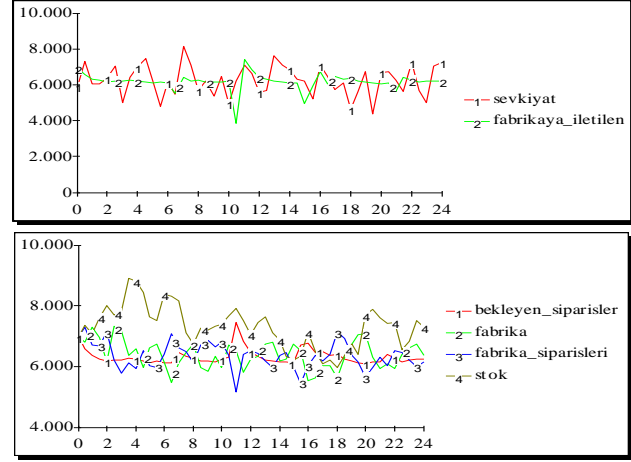
Sistem dinamiği, dinamik sistemlerin modellenmesi için kullanılan teknik olup, davranışlar üzerine odaklanmaktadır. Tüm dinamik sistemlerde geçerli olan bir evrensel kaide, sistemin yapısının davranışı oluşturduğudur. Bir sistemin yapısı ise geri besleme çevrimleri, seviyeler ve akışlar, ve sistemin elemanları arasındaki doğrusal olmayan ilişkiler öğelerinden oluşmaktadır (Sterman, 2000). Sistem dinamiğinde seviyeler, iç ve dış akışları olan, ve bu akışların net toplamından oluşan birikimlerdir. Sistem durumunu karakterize ederler, yani o sisteme ilişkin kararlar ve eylemler için bilgi üretirler. Akışlar ise bir seviyenin iç ya da dış akışı olabilirler ve seviyeler, yardımcı değişkenler ve sabitlerden etkilenirler (Sterman, 2000).

Sistem dinamiğinde seviyeler ayrıca sistemin çabuk ve kolayca değişimini engelleyecek eylemsizliği sağlayıp sistem hafızasını oluşturarak sistemlerdeki gecikmelerin nedenini teşkil ederler. Bunun yanında seviyeler eşitsizlik dinamiği yaratırlar. Bunun nedeni, her seviyenin iç ve dış akış arasında bir ara stok yaratmasıdır. Seviyelere ya da seviyelerden akan bilgi ve fiziksel materyaller korunur, sistem durumu hakkındaki bilgi yayılabilir (Sterman, 2000).

Bir sipariş için üretim sisteminde kamçı etkisinin analizi

Dağıtım alanında kamçı etkisinin ilk uygulaması, Çerkezköy'deki fabrikasında sipariş için üretim yapan bir elektrik motoru üreticisi firmada

gerçekleştirilmiştir. Sistem dinamiği modellemesinde, sisteme uygun bir temel model baz alınmış ve incelenen politikalara ilişkin model varyantları oluşturulmuştur. İncelenecek politikalar, ilk gelen siparişin ilk servis edildiği FCFS yapısı ile siparişlerin havuzda toplanarak servis edildiği yapılarıdır.



Şekil 1. Sipariş için üretim sisteminin örnek simülasyon sonuçları

Simülasyon modelinde; bekleyen siparişler, fabrika, fabrika siparişleri, ve stok olmak üzere dört seviye bulunmaktadır. Sistemin performans kriterleri ise (tersine) kamçı etkisi ve envanter değişkenlikleridir (Disney ve Towill, 2006). Simülasyon sonuçları için örnek bir grafik Şekil 1'de verilmiştir. Bu performans kriterlerine göre sistemlerin her üç durumda (mevcut durum, üretim belirsizliğinin azaltılması, ve sevkiyat belirsizliğinin azaltılması) almış oldukları değerler Tablo 1'de, istatistiksel olarak anlamlı olan iyileştirmeler ise Tablo 2'de özetlenmiştir.

Tablo 1. Simülasyon sonuç özetleri

Yapı	Mevcut Durum		Üretim Belirsizliğinin Azaltıldığı Durum		Sevkiyat Belirsizliğinin Azaltıldığı Durum	
	RBW	ED	RBW	ED	RBW	ED
FCFS	2.38	2016	1.86	2204	2.53	804
Havuz	1.76	1561	2.31	1067	0.22 (!)	713
Havuz ve FCFS farkı	%35	-	-	%106	-	-

Tablo 2. Parametre analizinde sağlanan sistem bazlı iyileştirmeler

Yapı	Mevcut Duruma Göre Üretim Belirsizliğinin Azaltılması		Mevcut Duruma Göre Sevkiyat Belirsizliğinin Azaltılması	
	RBW	ED	RBW	ED
FCFS	%22	-	-	%60
Havuz	-	-	Kamçı	-

Mevcut durumda, siparişlerin havuzlandığı yapı, FCFS yapısına göre daha etkindir. Zira, sistemlerin envanter değişkenlikleri arasında anlamlı bir fark olmamasına rağmen, tersine kamçı değerleri açısından havuz sistemi %35'lik bir iyileştirme sağlamaktadır.

Üretim belirsizliğinin azaltılması durumunda ise, tersine kamçı değerleri anlamlı bir fark göstermemekte, ancak envanter değişkenliği ele alındığında havuz sistemi %106'lık bir iyileştirme göstereceğinden yine tercih edilmesi gereken sistem olmaktadır.

Sevkiyat belirsizliğinin azaltıldığı durumda ise; havuz sistemi, kamçı davranışı göstermeye başlamaktadır. Üstelik elde edilen kamçı değeri, literatürde yer alan ortalamalara göre oldukça büyük olmaktadır (Disney ve Towill, 2006). Bu durumda, FCFS yapısı tercih edilmesi gereken yapı olarak ortaya çıkmaktadır.

FCFS yapısında ise, sevkiyat belirsizliğinin azaltılması ile birlikte, tersine kamçı değerinde anlamlı bir iyileştirme gözlemlenmemekle birlikte, envanter değişkenliğinde ortalama %60'lık bir iyileştirme sağlandığı saptanmaktadır.

İncelenen zincir, bir sipariş için üretim sistemi olmasına rağmen, üretim ve sevkiyatlardaki belirsizliklerin sistemi domine etmesi neticesinde arz bazlı bir sisteme dönüşmekte, ve tersine kamçı davranışı göstermektedir. Sistem, çekme sistemi iken, üretimden çıkanların sevk edildiği ya da ekonomik sevkiyat miktarına ulaşıncaya sevkiyat gerçekleştirilen bir itme sistemine dönüşmektedir. Bu koşullarda sipariş verme yapıları mukayese edildiğinde, havuz yapısının

FCFS yapısına göre daha iyi performans sergilediği gözlemlenmektedir. Üretim belirsizliğinde azalma sağlandığında dahi, havuz yapısının tercih edilmesi gerektiği ortaya çıkmaktadır. Sevkiyat belirsizliği azaltıldığında havuz yapısı kamçı davranışı göstermeye başlamaktadır. Bu noktadan hareketle, sipariş için üretim sisteminin arz bazlı hale gelmesini sağlayan temel etkenin sevkiyatlara ilişkin belirsizlik olduğu söylenebilir. Sevkiyat belirsizliğinde azalma olması durumunda FCFS yapısının tersine kamçı değerinde bir fark olmamakla birlikte, envanter değişkenliğinde önemli iyileştirmeler sağlanmaktadır.

İkmal yapısında dağıtımaya yönelik kamçı etkisinin incelenmesi

Tedarik zincirlerinin dağıtım alanında kamçı etkisinin incelenmesi amaçlı ikinci bir uygulama, ev yaşamına yönelik dayanıklı tüketim malları ve komponentleri üretimi, pazarlama ve satış sonrası servis hizmeti yapan bir şirkette gerçekleştirilmiştir. Firmanın uluslararası dağıtım sistemi, bölgesel ayrıma dayanmakta olup, ihracatların %60'ı Avrupa'da bulunan satış şirketleri vasıtası ile gerçekleşmektedir.

Firma mevcut durumda, satış tahminlerine dayalı stok için üretim politikası ile çalışmaktadır. Özellikle satış hacmi yüksek ürün ve pazarlarda ikmal politikasına geçiş amaçlanmış, ve bu çalışmada özetlenen ikmal geçiş adımları gerçekleştirilmiştir. Pazar olarak, satış hacminin en yüksek olduğu 3 Avrupa pazarı baz alınmıştır.

İkmal politikası model seçimi

İkmal kapsamına dahil olacak modellerin seçimi için dört aşamalı iteratif bir sezgisel algoritma oluşturulmuştur. Bu algorithmada ürünlerin; çok satılmaları (adet ve ciro bazında), sık satılmaları, gelecek 3 aya ilişkin satış tahminleri ve yaşam eğrilerinin sonunda olmamaları kriterleri göz önüne alınmıştır.

- Adım 1

1.1 Her pazar (müşteri) için 4 ürün grubunu da içerecek şekilde stok kodu (*stock keeping unit* - SKU) bazında son 12 aylık satış adetlerinin listelenmesi (nihai müşteriye ya/ya da dağıtım kanalına satış).

1.2 Her SKU için indeks değeri λ 'nın hesaplanması, öyle ki;

$$\lambda_{i,j} = n_{i,j} \cdot \frac{\mu_{i,j}}{\sigma_{i,j}} \cdot p_{i,j}; \quad i=1,\dots,m \quad ; \quad (2)$$

$$j=1,2,3,4$$

n : son 12 ayda satışın gerçekleştiği ay sayısı (adet > 0)

μ : son 12 aya ilişkin aylık ortalama satış

σ : son 12 aylık satışların standart sapması

p : adet bazında i 'nin j ürün grubu içerisindeki yüzdesi

1.3

$$\lambda_{i,j} > \lambda_{i-1,j} > \dots > \lambda_{1,j}; \lambda_{i,j-1} > \lambda_{i-1,j-1} > \dots > \lambda_{1,j-1}; \dots; \lambda_{i,4} > \lambda_{i-1,4} > \dots > \lambda_{1,4}$$

olacak şekilde, her ürün grubuna ait SKU'ların o ürün grubu içerisinde, sahip oldukları indeks değerine göre sıralanması.

1.4 Her SKU'nun ait olduğu ürün grubu içerisinde ciro bazlı yüzdesel oranının $\xi_{i,j}$ hesaplanması.

1.5 İndeks değerine göre sıralı SKU'lar için birikimli yüzdesel ciro oranının hesaplanması

$$\sum_{\lambda_{i,j}} \xi_{i,j}; \quad i=1,\dots,m; \quad j=1,2,3,4 \quad (3)$$

1.6 $\sum_{\lambda_{i,j}} \xi_{i,j} > \%80$ 'i oluşturan SKU'lar ile *Altküme1*'in (ϕ_1) oluşturulması.

- Adım 2

2.1 $\forall x_{i,j} \in \phi_1$ için; her SKU'nun son 12 ayda kaç defa A grubu ürünler sınıfına dahil olduğunun ($\alpha_{i,j}$) bulunması.

2.2 $\forall x_{i,j} \in \phi_1$ için; her SKU'nun son 9 ayda kaç defa A grubu ürünler sınıfına dahil olduğunun ($\beta_{i,j}$) bulunması.

2.3 $\beta_{i,j} = 3$ ya da;

$\alpha_{i,j} \geq 9$ ve $\beta_{i,j} \geq 2$ durumlarını gerçekleyen $x_{i,j} \in \phi_1$ 'lerin seçilerek *Altküme2*'nin (ϕ_2) oluşturulması.

- Adım 3

3.1 $\forall x_{i,j} \in \phi_2$ için gelecek 3 aya ilişkin satış tahminlerinin $\delta_{i,j}$ alınması

$$3.2 \quad \delta_{i,j} = 0 \Rightarrow x_{i,j} \notin \phi_3; \quad \delta_{i,j} > 0 \Rightarrow x_{i,j} \in \phi_3;$$

$$\forall x_{i,j} \in \phi_2$$

olacak şekilde, gelecek 3 aylık satış tahmini olan SKU'ların seçilerek *Altküme3*'ün (ϕ_3) oluşturulması.

- Adım 4

4.1 $\forall x_{i,j} \in \phi_3$ için ürün yönetimi tarafından demode olarak işaretlenen varsa *Altküme3*'ten çıkarılması ve *Altküme4*'ün (ϕ_4) oluşturulması.

İkmal parametreleri hesabı

Model seçimini takiben firmanın gerek yurtiçi gerekse yurtdışı depolarında tutması gereken ikmal parametreleri hesaplanmıştır. Yurtiçi stoklar, toplam talep ortalamalarını temel almakta olup, hesaba ilişkin formül aşağıda verilmiştir (Tanyaş ve Baskak, 2006):

$$s_2 = \left(\sigma_D \cdot \bar{L}_p \right) + \left(\sigma_{L_p} \cdot \bar{D} \right) \quad (4)$$

s : güvenlik stoğu, σ_D : talep standart sapması,

\bar{L}_p : ortalama tedarik (üretim) süresi, σ_{L_p} : tedarik (üretim) süresinin standart sapması.

Yurtdışındaki depolar için güvenlik stok seviyesi ise şu şekilde hesaplanmaktadır (Tanyaş ve Baskak, 2006):

$$s_1 = z \cdot \sigma_D \cdot (1-p) \cdot \sqrt{L_s} \quad (5)$$

σ_D : talebin standart sapması, p : direkt sevkiyat oranı, $\sqrt{L_s}$: tedarik (nakliye) süresinin karekökü, z : müşteri hizmet seviyesine ilişkin z değeri.

Parametrelere ilişkin önemli bir husus da, firmanın sürekli değil, periyodik stok kontrol sistemi ile çalıştığı, dolayısıyla hedef stok değerlerinin (S), güvenlik stoğu değerleri ile (s) aylık ortalama taleplerin (Q) toplamından oluşacağıdır. Ayrıca, pazarlara göre değişen bir parametre olarak firma, satışların bir kısmını direkt olarak müşterilere sevk etmekte, bir kısmı ise yurtdışındaki depolar üzerinden satılmaktadır. İncelenen pazarlara göre bu oranlar Tablo 3'te görülmektedir.

Tablo 3. Pazarlara göre direkt sevkiyat oranları

Pazar	Direkt Sevkiyat Oranı
Pazar A	0.65
Pazar B	0.90
Pazar C	0.50

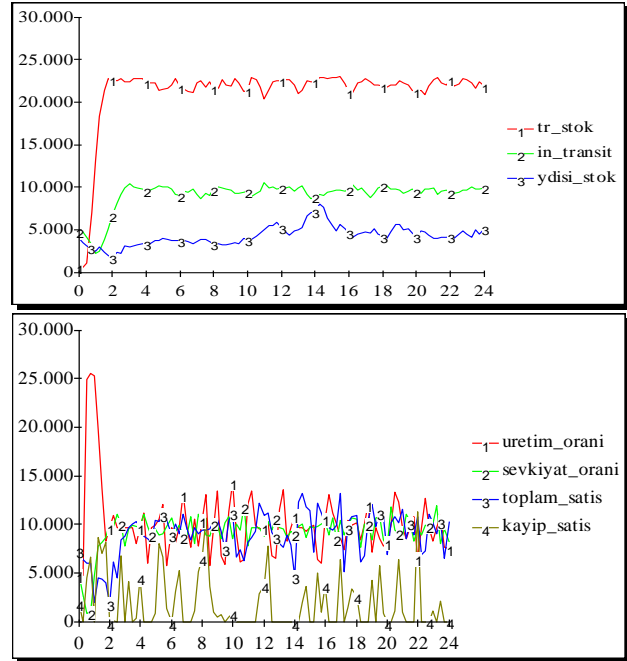
Tablo 4. Pazarlara göre sevkiyat süreleri

Pazar	Sevkiyat süresi (gün)
Pazar A	23
Pazar B	25
Pazar C	24

Ayrıca yine pazarlara göre sevkiyat süreleri Tablo 4'te görülmektedir. Tüm pazar ve ürün grupları için üretim zamanının 5 ile 25 gün arasında uniform dağılıma, tüm talepler ve sevkiyat sürelerinin ise hesaplanan ortalama ve standart sapmalara sahip normal dağılıma uyduğu varsayılmıştır.

Simülasyon model ve sonuçları

İkmal yapısına ilişkin çeşitli politikalar sistem dinamiği kullanılarak simüle edilmiştir. Sistemdeki stok seviyelerine ilişkin ilk değerler yılsonu fiili stok rakamları olarak alınmıştır. Malzeme ve bilgi gecikmelerini içeren akış ve değişkenlere ilişkin ilk değerler ise aylık ortalama talep olan ikmal adedi parametresinin yarı değeri olarak seçilmiştir. Pazar A – ürün grubu 1'e yönelik örnek bir simülasyonun sonuç grafikleri Şekil 2'de verilmektedir.



Şekil 2. İkmal yapısının örnek simülasyon sonuçları

Hesaplanan parametreler baz alınarak ikmal yapısı, yurtdışı ve yurtiçi stokların ayrı ayrı baz alındığı, toplam stoğun düzeltilmesinin yapıldığı ve doğrudan müşterilere gönderilen siparişlerin kesin siparişe bağlandığı kompozit bir modelin önerildiği senaryolarda simüle edilmiştir. Simülasyonlar 24 aylık zaman diliminde gerçekleştirilmiş olup, sistemin dengeye ulaşması için son 12 aylık sonuçlar baz alınmıştır. Belirlenen performans ölçülerine göre simülasyon sonuçları sırasıyla Tablo 5, 6, 7 ve 8'de görülmektedir.

Tablo 5. Stok*gün sayıları

Pa-zar	Ürün Gr.	Mev-cut	İk-mal	İkmal (T.Stok)	Kompozit
A	1	44	56	58	43
	2	38	58	56	44
	3	38	87	54	49
	4	50	64	88	60
B	1	50	48	52	58
	2	44	52	56	64
	3	47	46	48	54
	4	42	52	52	64
C	2	55	78	88	51
	3	72	101	105	46
	4	68	72	76	59

Tablo 6. Envanter değişkenliği

Pazar	Ürün Gr.	Mevcut	İkmal	İkmal (T.Stok)	Kompozit
A	1	4823	867	931	1136
	2	3579	189	277	423
	3	9519	1133	1185	2490
	4	10316	742	1182	2246
B	1	1466	111	157	244
	2	2402	129	183	383
	3	6443	628	698	1198
	4	7773	263	260	613
C	2	1955	240	207	430
	3	4084	467	293	340
	4	5565	295	351	490

Tablo 7. Kamçı

Pazar	Ü.Grubu	İkmal	İkmal (T.Stok)	Kompozit
A	1	9.92	8.16	30.90
	2	5.30	5.83	62.65
	3	1.23	2.81	20.95
	4	4.30	0.44	16.50
B	1	6.81	7.38	26.00
	2	8.10	11.86	18.66
	3	14.51	1.67	52.67
	4	11.58	6.81	6.17
C	2	2.16	3.59	46.34
	3	1.06	1.85	328.69
	4	6.41	0.45	3.00

Tablo 8. Kayıp satışlar

Pazar	Ü.Grubu	İkmal	İkmal (T.Stok)	Kompozit
A	1	%1	%2	%2
	2	%6	%3	%2
	3	%0	%0	%1
	4	%18	%15	%1
B	1	%7	%4	%0
	2	%10	%10	%0
	3	%3	%5	%0
	4	%6	%11	%0
C	2	%3	%3	%0
	3	%0	%0	%4
	4	%8	%3	%0

Sonuçlardan görüldüğü üzere, müşterilere doğrudan yapılan satışlar da ikmal kapsamına dahil edildiği durumda elde bulundurulacak stok miktarı önemli ölçüde artmakla birlikte, zaman zaman kayıp satış oranı, müşteri hizmet düzeyi olarak kritik görülen %5'i geçmemektedir.

Stok düzeltme olarak yurtiçi ve yurtdışı ayrımı yapılmadan toplam stoğun dikkate alınması durumunda ise, sistemin performansında önemli bir değişim gözlemlenmemektedir.

Buna mukabil, önerilen kompozit modelde, kamçı haricindeki tüm performans kriterleri için çok daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Kompozit modelde kamçı değerindeki artış, üretim miktarına kesin siparişlerin bağlanması ve üretim zamanının değişkenliğinin üretimi hassas hale getirmesi olarak görülmektedir. Dolayısıyla etkin bir ikmal politikası için kompozit model tercih edilmesi gereken yapı olarak görülmekle birlikte, tedarik zinciri kapsamında zaman sıkıştırmaları (Towill, 1996) uygulamaları ile kamçı değerinde de önemli iyileştirmeler sağlanabileceği düşünülmektedir.

Sonuçlar

Her iki uygulama sonrasında elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- İlk uygulamada analiz edilen yapı, bir sipariş için üretim sistemi olmasına rağmen, özellikle sevkiyatlardaki belirsizliklerin sistemi domine etmesi neticesinde arz bazlı bir sisteme dönüşmekte, ve tersine kamçı davranışı göstermektedir.
- Sipariş için üretim sistemini arz bazlı hale getiren görünen sebep sevkiyat belirsizliği olmakla beraber, başka sebeplerin varlığının araştırılması faydalı olacaktır.
- Sevkiyat belirsizliğinde azalma olması durumunda FCFS yapısının tersine kamçı değerinde bir fark olmamakla birlikte, envanter değişkenliğinde önemli iyileştirmeler sağlanmaktadır.
- Sipariş için üretim sistemi analiz edilmesine karşın, bazı spesifik ürünlerde yer alan özel hammaddelerin tedarik zamanlaması açısından talep tahminlerinin de önemli rol oynadığı durumlar olabilmektedir. Bu tahminleri içeren genişletilmiş bir model oluşturulabilir.

- İkmal yapısında ise, elde bulundurulacak stok değerlerinde normal olarak bir artış olacak, ancak zaman zaman müşteri hizmet düzeyini aşan kayıp satışlara rastlanacaktır.
- Modelin stok düzeltme oranlarının konsolide stok rakamını baz alması durumunda ise ikmal politikasına uyum ve performans kriterlerinin değerleri genellikle daha iyi sonuçlar vermektedir. Her iki yapıda da hem stok*gün, hem de kayıp satışlarda arzulan iyileştirmenin yaşanmadığı pazar ve ürün gruplarına ilişkin ayrıntılı parametre analizi, ileri çalışmalar için bir başka önemli alanı teşkil etmektedir.
- Önerilen kompozit model, kamçı değerleri dışındaki tüm performans göstergelerinde diğer senaryolara göre üstün sonuçlar vermekte, hatta mevcut durumun da iyileştirilmesini beraberinde getirmektedir. Kamçı değerinin yüksek olması ise kompozit modelin devreye alınması durumunda firmanın, satışlara göre yüksek bir üretim değişkenliğine katlanması gerektiğini, bu değişkenliğin ise temelde, üretim zamanına karşı aşırı hassasiyetten kaynaklandığını ortaya koymaktadır.
- Toplam satışların direkt müşteriye sevk edilen oranının çeşitli değerlerine ilişkin duyarlılık analizi yapılmasının da ileri çalışmalar açısından faydalı olacağı düşünülmektedir

Kaynaklar

Blanchard. O. J., (1983). The production and inventory behavior of the American automobile industry, *J. Political Economy*, 91, 365-400.

Blinder. A. S., (1982). Inventories and sticky prices, *American Econom. Rev.*, 72, 334-349.

Disney, S.M., Naim, M.M., ve Towill, Denis R., (1997). Dynamic simulation modelling for lean logistics, *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 27, 3-4, 0960-0035.

Disney, S.M., Towill, D.R., (2006). A methodology for benchmarking replenishment-induced bullwhip, *Supply Chain Management: An International Journal*, 11, 2, 160-168.

Forrester, J.W., (1961). *Industrial dynamics*, MIT Press, Cambridge, MA.

Fransoo, J.C., ve Wouters, M.J.F., (2000). Measuring the bullwhip effect in the supply chain, *Supply Chain Management: An International Journal*, 5, 2, 78-89.

Holt, C.C., Modigliani, F., Muth, J., Simon, H, (1960). *Planning production, inventories and the work force*, Prentice-Hall, NJ.

Hull, B.Z., (2005). Are supply (driven) chains forgotten? *The International Journal of Logistics Management*, 16, 2, 218-236.

Lee, H., Padmanabhan, V., ve Whang, S., (1997a). Information distortion in a supply chain: the bullwhip effect, *Management Science*, 43, 4, 546-58.

Lee, H., Padmanabhan, V., ve Whang, S., (1997b). The bullwhip effect in supply chains, *Sloan Management Review*, 38, 3, 93-102.

Lee, H.T., ve Wu, J.C., (2006). A study on inventory replenishment policies in a two-echelon supply chain system, *Computers & Industrial Engineering*, 51, 257-263.

McCullen, P., ve Towill, D., (2002). Diagnosis and reduction of bullwhip in supply chains, *Supply Chain Management: An International Journal*, 7, 3, 164-179.

Senge, P.M., (1990). *Beşinci disiplin*, Yapı Kredi Yayınları, İstanbul.

Sterman, J.D., Forrester J.W., Graham, A.K., ve Senge P.M., (1983). An integrated approach to the economic long wave, *Proceedings, Depression, Innovation, Siena-Florence, Italy*.

Sterman, J.D., (1989). Modeling managerial behavior: misperceptions of feedback in a dynamic decision making experiment, *Management Science*, 35, 3, 321-339.

Sterman, J.D., (2000). *Business dynamics – systems thinking and modeling for a complex world*, McGraw-Hill Higher Education, New York.

Tanyaş, M., ve Baskak, M., (2006). *Üretim planlama ve kontrol*, İrfan Yayıncılık, İstanbul.

Torres, O.A. Carranza, M., Felipe A.V., (2006). The bullwhip effect in supply chains – a review of methods, components and cases, *Palgrave MacMillan*, New York.

Towill, Denis R., (1996). Time compression and supply chain management – A guided tour, *Logistics Information Management*, 9, 6, 41-53.

Towill, Denis R., (2005). The impact of business policies on bullwhip induced risk in supply chain management, *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 35, 8, 555-575.