

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KARARSIZ BİR SİSTEM OLARAK KAMÇI ETKİSİ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Erhan PETEK**

Anabilim Dalı : Endüstri Mühendisliği

Programı : Endüstri Mühendisliği

HAZİRAN 2010

KARARSIZ BİR SİSTEM OLARAK KAMÇI ETKİSİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Erhan PETEK

507071111

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 06 Mayıs 2010

Tezin Savunulduğu Tarih : 09 Haziran 2010

Tez Danışmanı : Y. Doç. Dr. Gülgün KAYAKUTLU (İTÜ)

Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Nahit SERARSLAN (İTÜ)

Prof. Dr. Mehmet TANYAŞ (OÜ)

HAZİRAN 2010

ÖNSÖZ

Elektronik mühendisi olmamın da etkisiyle, tez çalışmamda, tedarik zincirinde görülen kamçı etkisini bir kontrol mühendisliği yaklaşımı olan sistem teorisi içerisinde inceledim. Bu etkiyi kararsız bir sistem olarak ele alıp, sistem teorisi yardımıyla bu etkinin nedenleri ile sonuçlarını sunup, bu neden-sonuç ilişkileri standart hale getirmeye çalıştım. Sistem teorisinin kamçı etkisini incelemek için kullanışlı olduğu gösterdim. Aynı zamanda bu teorinin karmaşıklığından dolayı neden-sonuç ilişkilerine yeni yaklaşımlar getirilebileceğini örneklerle sundum ve kamçı etkisinden kurtulmak için nedenlerin irdelenmesi yerine tedarik zincirinin yapısının iyileştirilmesi gerektiği sonucunu gösterdim.

İlk olarak, tez çalışmam boyunca sınırsız desteği, ilgisi ve sevgisi ile her zaman yanımda olan ve beni yönlendiren tez danışmanım Sayın Yrd. Doç. Dr. Gülgün KAYAKUTLU'ya saygılarımı sunar ve teşekkür ederim. Ayrıca, her zaman yanımda olan, beni her zaman destekleyen ve cesaretlendiren sevgili aileme ve arkadaşlarıma, Tülay VAROL'a ve özellikle sevgili Can HOŞGÖR'e teşekkür ederim. Son olarak, yüksek lisans eğitimim boyunca verdiği maddi destekten ötürü TÜBİTAK'a teşekkürü bir borç bilirim.

Haziran 2010

Erhan Petek

İÇİNDEKİLER

Sayfa

İÇİNDEKİLER	v
ÇİZELGE LİSTESİ	ix
ŞEKİL LİSTESİ	xi
ÖZET	xiii
SUMMARY	xv
1. GİRİŞ	1
2. TEDARİK ZİNCİRİ	3
2.1. Tedarik Zincirinin Tanımı	3
2.2. Tedarik Zinciri Yönetimi	5
2.3. Tedarik Zinciri Kavramının Oluşumu	7
2.4. Tedarik Zincirinin Özellikleri	10
2.5. Tedarik Zincirinde Görülen Sorunlar	11
3. KAMÇI ETKİSİ	15
3.1. Kamçı Etkisinin Tanımı.....	15
3.2. Kamçı Etkisinin Ölçümü ve Deneysel Değerlendirmeler	16
3.3. Kamçı Etkisinin Sebepleri	17
3.4. Kamçı Etkisine Karşı Üretilen Çözümler	22
3.5. Bira Oyunu.....	23
3.6. Kamçı Etkisine Karşı Kullanılan Yaklaşımlar	26
4. KARARLILIK	33
4.1. Kontrol Sistemlerinde Kararlılık.....	33
4.2. Kararlılığın Formülizasyonu	34
4.3. Kararsız Bir Sistem Olarak Kamçı Etkisi	37
5. KARARSIZ KAMÇI ETKİSİ DURUMUNA YENİ YAKLAŞIMLAR	41
5.1. Kamçı Etkisine Nedensellik Yaklaşımının Karmaşıklığı	41
5.2. Kamçı Etkisinin Önlenmesinde Uyarı Cevabı Yaklaşımı	43
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	51
KAYNAKLAR	55

KISALTMALAR

APICS	: Amerikan Üretim ve Stok Kontrol Derneği
AR	: Otoresif
ARMA	: Otoresif Hareketli Ortalama
CAO	: Bilgisayar Destekli Siparişleme
EDI	: Elektronik Belge Değişimi
E-TZ	: Elektronik Tedarik Zinciri
EWMA	: Üstel Ağırlıklı Hareketli Ortalama
FLC	: Bulanık Lojik Kontrolörü
GA	: Genetik Algoritma
MIT	: Massachusetts Teknoloji Enstitüsü
MRP	: Malzeme Kaynak Planlama
VMI	: Satıcı Yönetimli Envanter

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 4.1 : Kamçı etkisine neden olan faktörler	39

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1 : Tedarik zinciri.	4
Şekil 2.2 : Tedarik zinciri yönetimi.	5
Şekil 2.3 : Tedarik zinciri hedefleri.....	6
Şekil 2.4 : Tedarik döngüsünün evrimi	8
Şekil 2.5 : Bir tedarik zincirinde kamçı etkisi.....	14
Şekil 5.1 : Bir sistem olarak tedarik zinciri.	43
Şekil 5.2 : Bir tetikleyici sonucu sisteme filtre eklenmesi.....	44
Şekil 5.3 : Bir bozucu faktör sonucu sistemin yeniden tasarlanması.	44
Şekil 5.4 : Değişen K ve kamçı etkisinde yüzdesel azalma.....	48

KARARSIZ BİR SİSTEM OLARAK KAMÇI ETKİSİ

ÖZET

Son yıllarda önem kazanan tedarik zinciri ve tedarik zinciri yönetimi kavramlarıyla beraber tedarik zincirinde görülen problemler de hızla çözülmeye çalışılmaktadır. Kamçı etkisi de tedarik zincirinde görülen ve çözülmek istenen en önemli problemlerden biridir. Kısaca, tedarik zinciri boyunca son tüketiciden üreticiye doğru giderken oluşan talep varyansının artışı olarak tanımlanan kamçı etkisi, üzerine yapılan pek çok çalışmaya rağmen henüz kesin ve standart bir çözüme kavuşmamıştır. Sonuçları tüm zincire kuvvetli bir şekilde yansıyan kamçı etkisinin bir an önce standart hale getirilip, bu etkiye karşı çözümlerin oluşturulması kaçınılmazdır. Aksi halde, tedarik zinciri bünyesindeki tüm elemanların bu etkiden olumsuz etkileneceği ve bu etkinin sonucunun ciddi maliyetler doğuracağı aşikardır.

Bu çalışmada öncelikle tedarik zinciri kavramından bahsedilmiş, bu kavramın gelişimi ve sonrasında da bu kavramda görülen problemler kısaca anlatılmıştır. Daha sonra, bir tedarik zinciri problemi olarak görülen kamçı etkisi ile ilgili bugüne kadar yapılmış çalışmalara yer verilmiş, literatür taraması sonucu durum analizi yapılmıştır. Ardından, kamçı etkisi bir kontrol mühendisliği yaklaşımı olan sistem teorisi içerisinde ele alınmıştır. Bunun sonucunda kamçı etkisinin nedenleri ve sonuçları sistematik bir şekilde anlatılmış ve bunların standart hale getirilmesinin öneminden bahsedilmiştir. Ayrıca sistem teorisinin karmaşıklığından dolayı, kurulan bu modelin zorluklarından bahsedilmiş ve modele yeni yaklaşımlar getirilmiştir. Bu yaklaşımlara göre kamçı etkisinin nedenleriyle uğraşmak yerine zincirin yapısının geliştirilmesinin, kamçı etkisini ortadan kaldırmak adına daha başarılı olacağı gösterilmiştir. Sonuç olarak, kamçı etkisinin karmaşık bir yaklaşım olan sistem teorisiyle ve tedarik zincirinin entegrasyonu sayesinde oluşacak düzenli bilgi akışı ile engellenebileceği ortaya koyulmuştur.

BULLWHIP EFFECT AS AN UNSTABLE SYSTEM

SUMMARY

Supply chain and supply chain management concepts have gained big importance in recent years. Therefore the common problems of supply chain are trying to be resolved quickly. The bullwhip effect is also a big problem for supply chain and is trying to be resolved as the other problems. In short, bullwhip effect is the amplification of the demand variation while moving upstream (from end customer to supplier) throughout a supply chain. Bullwhip effect has not been resolved or standardized despite the many studies on it. It is inevitable that bullwhip effect has to be standardized and resolved as soon as possible while the results of bullwhip effect reflect to the entire chain strongly. Otherwise, all the elements within the supply chain will be affected and the results of this effect will lead to considerable costs.

In this study, the concept of supply chain is mentioned firstly. After, the development of this concept and the problems that have been seen are briefly described. Then, the studies on bullwhip effect as a supply chain problem that have been conducted so far are given. By the help of literature review, the situation has been analyzed. Next, bullwhip effect has been evaluated within the systems theory which is a control engineering approach. As a result of that, the causes and the results of bullwhip effect have been described in a systematic manner, and the importance of standardizing has been emphasized. Moreover, because of the complexity of systems theory, the difficulties of that established model have been mentioned and new approaches for that model have been introduced. According to these approaches it is seen that optimizing the supply chain and trying to make its structure better is more efficient than struggling with the causes of the bullwhip effect. As a result, it is shown that bullwhip effect can be prevented by systems theory which is a complex approach and the information flow through the supply chain.

1. GİRİŞ

Çağımızda üretim aşamasında oluşan işletmeler içerisindeki avantajlı durumların belirlenmesinde üçüncü kişilerin rolü büyüktür. Burada üçüncü kişi olarak müşteriler, tedarikçiler ya da işletmeler arasındaki durumlardan söz edilebilir.

Gelişen teknoloji ve artan tüketici ihtiyaçları işletmelerin itme tipi üretim sistemlerinden, çekme tipi üretim sistemlerine uyumlu olmalarını gerektirmektedir. Bu nedenle işletmeler üretim sistemlerini ve tedarikçiler ile ilişkilerini, değişen müşteri taleplerini karşılayabilecek şekilde ve esnek bir biçimde tasarlamak zorundadırlar. İşletmeler bu sayede maliyet ve kalite ilişkilerini optimum seviyede tutarak müşteri memnuniyetini artırmalıdır (Türker ve diğ., 2005).

Küresel rekabet ortamında faaliyet gösteren üretim organizasyonlarının rekabet üstünlüklerini koruyabilmeleri; farklı mamullerin üretilmesine, kaliteyi düşürmeden maliyetlerin azaltılmasına, verimliliğin artırılmasına, satılabilir ürünlerden satılabilir miktarlarda üretilmesine, kalite seviyelerinin iyileştirilmesine ve talepteki değişimlere anında cevap verilmesine bağlıdır (Dursun, 2001). Bu yüzden işletmeler çalışmalarını gerçekleştirirken birbirlerini tamamlayacak şekilde bir tedarik zinciri oluşturma eğilimindedirler (Türker ve diğ., 2005).

Tedarik zinciri oluşturmaın işletmeler için önemi büyüktür. Bununla beraber kurulan tedarik zincirlerinde pek çok sorunla karşılaşabilmektedir. Bunlardan bazıları içsel olup tedarik zinciri üyelerinin sorunlarından kaynaklanmaktadır. Bazıları ise dışsal olup zincirin dışındaki çevresel etkenlerden kaynaklanmaktadır. Kamçı etkisi veya diğer adıyla kırbaç etkisi ise karşılaşılan en önemli içsel sorunlardan biridir.

Kamçı etkisi kısaca, tedarik zincirinde yukarı doğru yani son tüketiciden üreticilere doğru gidilirken talepte oluşan varyansın gitgide büyümesidir. Varyansta oluşan bu büyüme, zincirin geneline bakıldığında ciddi maliyetler oluşturmaktadır.

Uzun yıllar boyunca kamçı etkisi üzerine Forrester, Sterman, Lee gibi araştırmacılar başta olmak üzere pek çok araştırmacı tarafından makaleler yazılmış, bu etkiyi

ortadan kaldırmak üzere çözüm önerileri ortaya koyulmuştur. Ancak yapılan bu çalışmaların genel bir ortak noktası olmamakla beraber, karşılaşılan en büyük sorun kamçı etkisinin ortak karar yargıları ve standart haline getirilmiş yargılarla ele alınmayışıdır. Yapılan çalışmalarda ele alınan durumlar spesifik kalıp, genelleştirilememiş ve pek çok farklı çözüm yöntemi bu sorunun ortadan kaldırılması için kullanılmıştır.

Bu çalışmanın amacı, kamçı etkisini çözmek adına oluşan bu çokbaşlılık durumundan sıyrılarak, önce kamçı etkisi dahilindeki sebep-sonuç ilişkilerinin irdelenerek standart hale getirilmesi ve daha sonra kamçı etkisini, tedarik zincirinde oluşan kararsız bir durum olarak ele alıp, kararlılık felsefesi içerisinde incelemek ve daha sonra çözüm önerilerine yeni yaklaşımlar getirmektir.

İkinci bölümde, tedarik zinciri üzerinde durulmuş, kabaca tedarik zinciri kavramı ve tedarik zincirinde görülen sorunlardan bahsedilmiştir. Üçüncü bölümde kamçı etkisi ele alınmış ve literatür çalışması sonucu kamçı etkisinin günümüze kadar görülen sebepleri ve sonuçları ve bu soruna karşı olan yaklaşımlar irdelenmiştir. Dördüncü bölümde, öncelikle kararlılıktan bahsedilmiş ve kamçı etkisi kararsız bir durum olarak görülüp, kararlılığı bozan etkenler ele alınarak kamçı etkisini oluşturan etkenler tanımlanmaya çalışılmıştır. Beşinci bölümde, bir önceki bölümde elde edilen değerler doğrultusunda kamçı etkisi için yeni yaklaşımlar ortaya koyulmuştur. Son bölümde sonuçlar ve gelecek çalışmaları için öneriler ele alınmıştır.

2. TEDARİK ZİNCİRİ

2.1. Tedarik Zincirinin Tanımı

Ana sanayici açısından tedarik zinciri, müşteri ihtiyaçlarını doğru zamanda, yerde ve uygun bir fiyatla sunabilmek için tüm satın alma, satma, müşteri eğilimlerini belirleyebilme, üretme gibi tedarikçiden son müşteriye kadar olan tüm faaliyetlerdir. Bir şirketin tedarik zinciri; hammadde üreticileri, hammadde ve yarı mamulleri işlenmiş ürüne dönüştürmesi yani imalat işlemleri sırasında tedarik işleri ile uğraşanlar ve bunun ardından bitmiş ürünlerin dağıtım kanallarında nihai tüketiciye kadar ulaştırılması sırasında değer yaratan bütün unsurlardır. Veya bu tanımı tüketici açısından ifade ettiğimiz takdirde, tedarik zinciri bir ürün veya servis için talepleri yerine getirmek üzere gereken değeri meydana getiren aşamaların veya unsurların tamamıdır (ERP-Online, 2008).

Başka bir tanımla tedarik zinciri, herhangi bir ürünün hammadde halinden nihai ürün haline gelip müşteriye sunulana kadar geçirdiği tüm süreçlerdeki işletmeler topluluğu olarak tanımlanabilir (Sarı, 2006).

İşletme faaliyetlerinde tedarik faaliyeti; maddi girdilerin tedariki, finansman tedariki, personel tedariki ve hizmet tedariki şeklinde olmaktadır (Türker ve diğ., 2005). Tedarik, amaca erişmek için gerekli araç ve olanakların temin edilen emre hazır kılınması olarak tanımlanabilir (Tosun, 1971). Tedarik sıg düşünce sistemine göre yalnızca üretim girdisi olarak görülebilir. Ancak tedarik kavramı geniş anlamda ele alınırsa, üretimin çeşitli kademelerinde diğ er mal ve hizmetlerin üretime entegre edilmesinin sağlanabilmesidir.

Tedarik zinciri kavramı günümüzde çok sıkça duyulur ve kullanılır bir hale gelmiştir. Bundan dolayı farklı farklı tedarik zinciri tanımları literatürde yer almaktadır. APICS sözlüğünde tedarik zinciri için iki tanım yapılmaktadır. Bunlardan birincisi, tedarikçi ile firma arasındaki, ilk hammaddeleri ile tamamlanmış ürünlerin son tüketimi arasında yer alan süreçler şeklindedir. İkincisi ise ürün ve hizmetlerin müşterilere

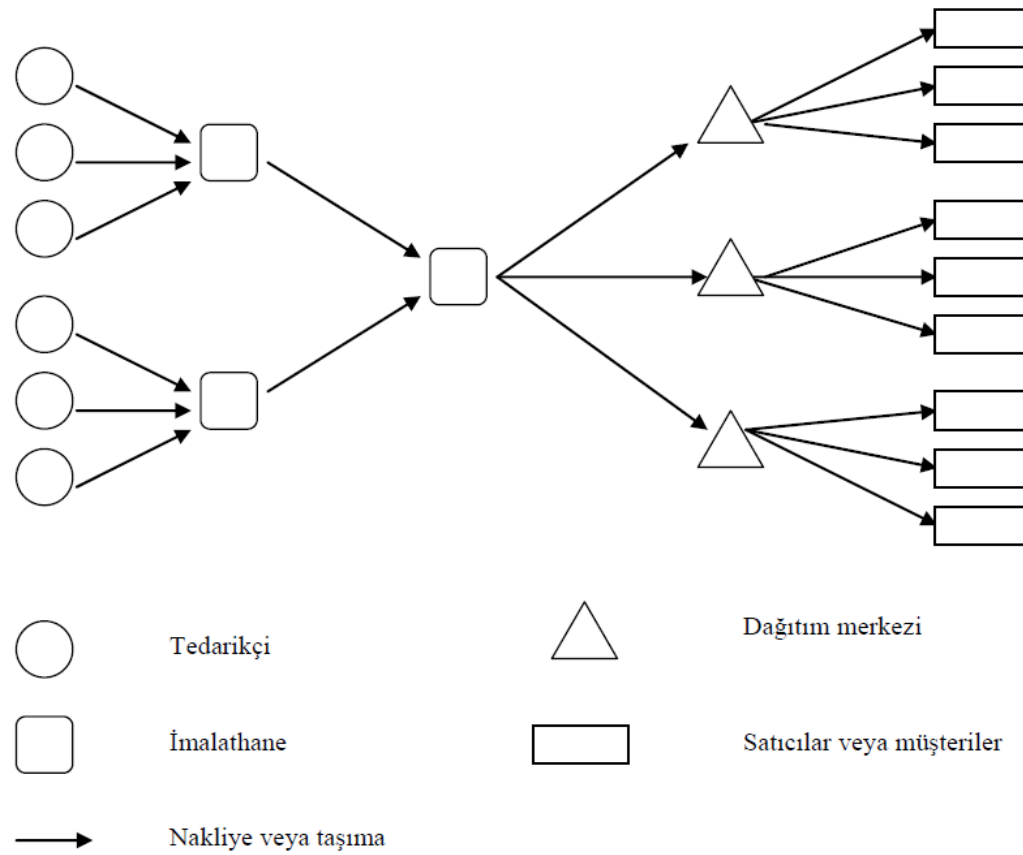
sunulması için değer zincirini harekete geçiren firma içi ve dışı fonksiyonlar şeklindedir (ERP-Online, 2008).

Bir başka tanıma göre tedarik zinciri, malzeme akışının gerçekleştiği işletmeler ağıdır. Bu işletmeler tedarikçiler, dağıtımıcılar, üretim tesisleri, dağıtım merkezleri, perakende satıcılar gibi diğer elemanları bünyesinde içermektedir.

Tedarik zinciri konseyi de tedarik zincirini için bir tanımda bulunmuştur. Bu tanıma göre tedarik zinciri, zincirdeki tüm aşamalar boyunca son ürünün üretimi ve teslimi için harcanan gayretlerin tamamıdır. Harcanan bu gayretler dört ana süreç olan plan, kaynak, üretim ve teslimdir.

Diğer bir tanımla tedarik zinciri tedarikçilerden son tüketicilere doğru olan mal ve hizmet akışının sistematik bir biçimde planlanması ve kontrol edilmesidir.

Şekil 2.1 klasik bir tedarik zinciri yapısını göstermektedir.

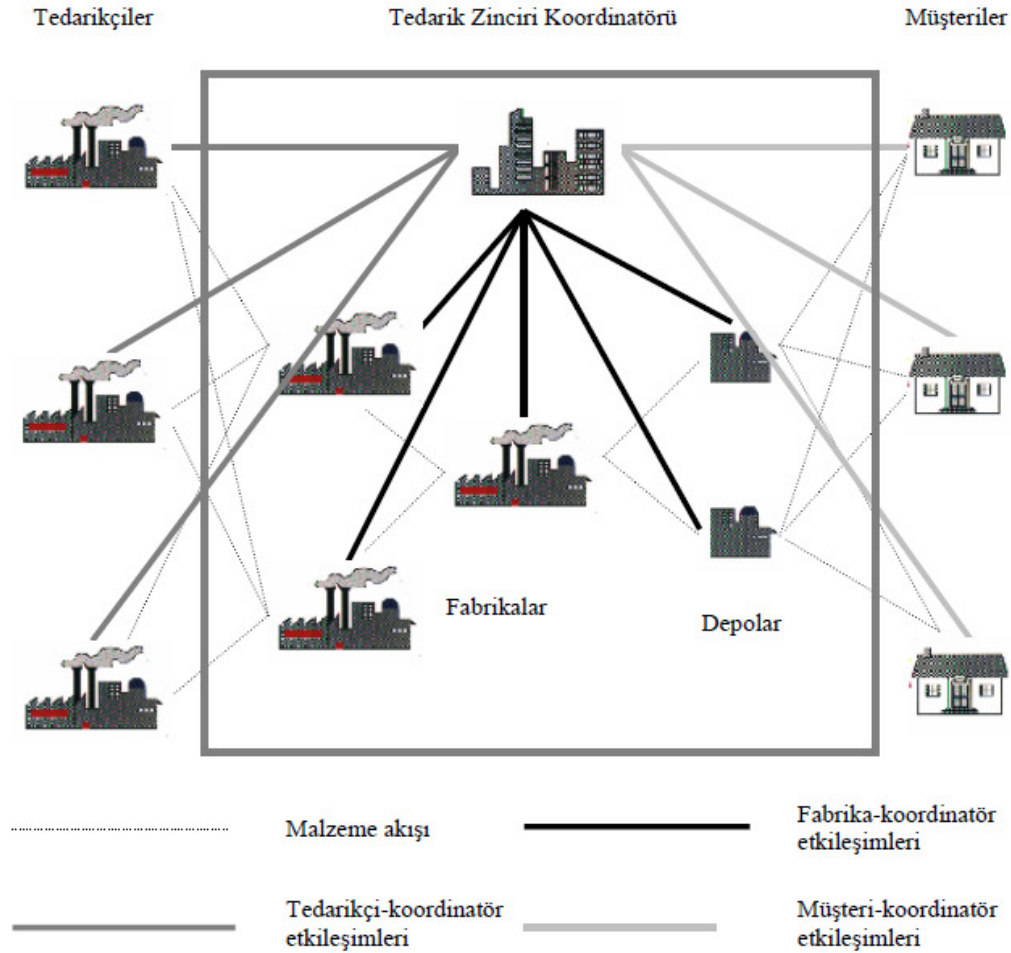


Şekil 2.1 : Tedarik zinciri (Teigen, 1997).

2.2. Tedarik Zinciri Yönetimi

Tedarik zinciri kavramı iş süreçleri olarak ele alınırsa bünyesinde satış, üretim, envanter yönetimi, malzeme tedarik edilmesi, üretilen ürünlerin dağıtımı vb. bir çok kavramı kapsar. Bu nedenle tedarik zincirinin iyi şekilde yönetilmesi gerekmektedir. Bu noktada tedarik zinciri yönetimi kavramı ortaya çıkar. Tedarik zinciri yönetimi genel olarak son müşteriye ulaşacak ürünün, doğru bir şekilde, gerektiği zamanda ve yerde ve arzulan fiyatla olmasını sağlar. Bunun için de malzeme, bilgi ya da para akışının mümkün olduğu kadar uygun bir maliyetle gerçekleşmesini sağlar.

Şekil 2.2 klasik bir tedarik zinciri yönetimindeki etkileşimleri göstermektedir.

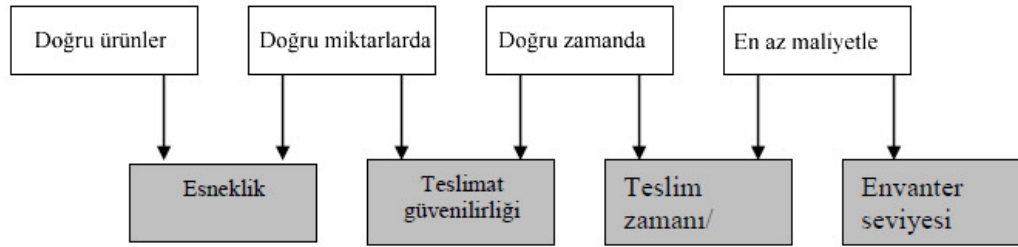


Şekil 2.2 : Tedarik zinciri yönetimi (Çizmeci, 2002).

Tedarik zinciri yönetimi; hammadde ve parça tedarik kaynakları, üretim ve montaj, depolama ve envanter dağıtımını, sipariş girişi ve sipariş yönetimi, tüm kanallarda

dağıtım, müşteri teslimi ve tüm bu aktivitelerin gözlenmesi için gereken bilgi sistemleri dahil olmak üzere, hammadde evresinde müşteriye kadar bir ürünün dağıtımında yer alan tüm bu aktiviteleri bütün bir süreç halinde koordine ve entegre etmektedir. Tedarik zinciri yönetimi, bir kurum içindeki bölümler ve ayrıca tedarikçiler, nakliyeciler, üçüncü-şahıs/taf firmaları ve bilgi sistem sağlayıcıları gibi harici ortakları içeren zincir içindeki tüm ortakları birleştirir (ERP-Online, 2008).

Şekil 2.3 bir tedarik zincirinde hedeflerin hiyerarşisini göstermektedir.



Şekil 2.3 : Tedarik zinciri hedefleri (Teigen, 1997).

TZY uygulanması ile kazanılabilecek faydaları da şu şekilde sıralayabiliriz:

- Toplam maliyette düşüş
- Envanter miktarlarında azalma
- Sipariş karşılama oranında artış
- Daha doğru talep tahminleri
- Daha kısa tedarik çevrim süresi
- Daha az maliyetli lojistik
- Artan müşteri memnuniyeti
- Verimlilikte artış
- Girdilerin teminini garanti altına alarak üretimde devamlılık
- Kalitede artış
- Teslimat performansında iyileşme
- Pazar değişikliklerine daha kısa zamanda cevap verebilme

2.3. Tedarik Zinciri Kavramının Oluşumu

İşletmelerde ekonomik faaliyetlerin tarihi gelişimine bakıldığında; ekonomik faaliyetler önce ticaret döngüsü süreci içinde ortaya çıkmışlardır (Türker ve diğ., 2005).

Ticaret döngüsü denilen kavram, para-mal-para ilişkisi içerisinde, para ya da bir değer ifade eden herhangi benzeri ödeme ya da ödemeyi teslim alma araçlarının farklılaşması sonucu ortaya çıkmıştır.

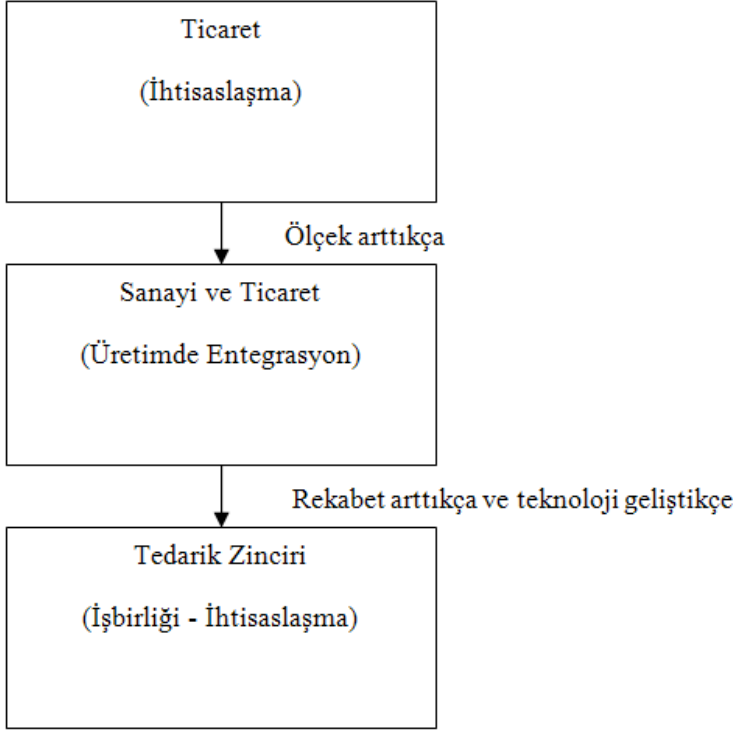
Ancak, zamanla ticaret döngüsünün temel taşı oluşturan mal akımı, üretim sürecinden sonra ortaya çıkmış ve işletmelerde ticaret döngüsü para-üretim girdileri-üretim-sürüm-para şeklinde daha geniş bir alana yayılmış ve üretimi kapsayan bir yapıya dönüşmüştür. Bu döngü, üretimin pazara hakim olduğu dönemlerde geçerli olmuş ve fiyatlar daha çok üretim maliyetlerinin oluşumuna göre ortaya çıkmıştır (Türker ve diğ., 2005).

Artan rekabet ve teknolojik gelişmeler sonucunda, üretimin tüketici ihtiyaçlarına göre belirlenir hale gelmesi ve sürümün müşteriye odaklanması ticaret döngüsünün farklı yapılmasını gerektirmiştir. Bu yapılanma bir taraftan işletmenin farklılığını korurken, diğer taraftan fiyatın pazar koşullarına ve müşterinin kalite taleplerine göre oluşması gerçeğinden hareketle, fiyatın maliyete değil maliyetin fiyata bağlı olarak oluşmasına yol açmıştır. Bu nedenle ticaret döngüsü, bu kez üretim yanısıra bazı üretim girdilerinin üretilme yerine satın alınmalarını ve stoklanma yerine lojistik ve ikmal yapılmasını kapsayan bir yapıya dönüşmeye başlamıştır (Türker ve diğ., 2005).

Ticaret döngüsünün bu tarihi gelişimini şu şekilde tanımlamak mümkündür (Türker ve diğ., 2005):

- Mal alım ve satımına dayalı ticaret (ihtisaslaşma)
- Sanayi ve ticaret (ticaretin ölçeği arttıkça, entegre üretim)
- Tedarik zinciri (rekabet arttıkça ve teknoloji geliştikçe, işbirliği ve ihtisaslaşma)

Şekil 2.4 bahsedilen ticaret döngüsü yapısını göstermektedir.



Şekil 2.4 : Tedarik döngüsünün evrimi (Türker ve diğ., 2005).

Yaşanan bu gelişmeler sonucunda tedarik zinciri kavramı doğmuştur. Bu kavrama bağlı olarak da işletmelerde, bünyelerindeki üretim ya da satış için verilen kararların önemi artmıştır. Aynı zamanda, bir şirketin kendi başına yaptığı işlerin diğer şirketler tarafından yaptırılması ve bu işin başka bir şirket tarafından yaptırılması gereği anlayışının gitgide yayılması sonucu dış kaynak kullanımı adı verilen durum ortaya çıkmıştır. Dış kaynak kullanımı, tedarik zincirinin oluşmasında çok önemlidir. Zaten dış kaynak kullanımı ile aslında bir tedarik zinciri kurulmuş olmaktadır.

Gelişen teknolojiyle birlikte ihtisaslaşma sonucu dış kaynak kullanımı neredeyse zorunlu hale gelmiştir. Bu zorunluluk da tedarik zinciri kavramını oluşturmaktadır. Tedarik zincirinin iyi anlaşılabilmesi için önce bu zincirin oluşmasına sebep olan dış kaynaklar ifadesinin iyi irdelenmesi gerekmektedir.

Bu zorunluluğa sebep olan dış kaynak kullanımının ortaya çıkma nedenlerini ve daha sonra da bu durumu yaygınlaştıracak faktörleri şu şekilde sıralayabiliriz;

Dış kaynak kullanımının nedenleri (Aktaş, 2005):

- Maliyetleri azaltma
- Temel (öz) yeteneklere odaklanma
- Süreç yenileme
- Küçülme
- Teknolojik yenilikleri takip etme
- Esnekliği artırma
- Riski azaltma
- Başarılı işletmeler arasına girebilme
- Kontrol dışı fonksiyonlar
- Kaynak transferi
- Yatırım harcamalarını azaltma
- Finansal kaynaklardan yararlanma
- Kaliteyi artırma
- Hız kazanma ve yeni projelere süratle geçiş
- Mali operasyonel riski yönetme

Dış kaynak kullanımının yaygınlaşmasını sağlayan faktörler (Aktaş, 2005);

- Küreselleşme
- Hızlı değişim
- Teknolojik gelişmeler
- Rekabetin artması

Tedarik zinciri bu durumdan dolayı dış kaynak kullanımını zinciri adıyla da anılabilir. Genel olarak tedarik zinciri mal ve hizmetlerin tedarik edilmesi, buna göre üretim yapılması, üretilen ürünlerin dağıtılması ve son kullanıcıya kadar ulaşması süreçlerinin tamamını içerir.

2.4. Tedarik Zincirinin Özellikleri

Tedarik zinciri bünyesinde bulunan işletmeler, tedarik zincirinde bulunan diğer işletmelerle ortak bir başarı anlayışına sahiptir. Zincirde bulunan işletmelerin başarıları, zincirin başarılı olmasını sağladığı için, zincirde bulunan diğer işletmelerde bu başarıdan faydalanır. Ayrıca zincir bünyesindeki işletmeler, zincirin genel olarak başarılı durumda olması için ortak hareket ederler. Tüm bu işletmeler bünyesinde buldukları tedarik zincirinin pazarda başarılı olmasını sağlamak için buldukları pazar, oluşturacakları rekabet ve zincirin diğer işletmeleri hakkında yeterli bilgi seviyesine sahip olmak isterler. Bunun sonucu tedarik zincirinde oluşan süreçler entegre edilebilir. Tedarik zincirinde bulunan işletmeler teknolojiyen faydalanarak oluşacak talepler hakkında zincirdeki işletmeler arasında gerekli bilgi akışını sağlarlar. Bir tedarik zincirinin başarılı olabilmesi için bu zincirin bütünleşik tek bir sistem gibi ele alınması, işletme bazlı başarı yaklaşımlarından kaçınılması gereklidir. Bu zincir boyunca oluşacak herhangi bir hata ya da hatalar, zincirin hatası olarak görülüp düzeltilmeye çalışılmalıdır. İşletme bazlı başarı ya da başarısızlık durumları zincir genelinde değerlendirilmelidir.

Tedarik zincirinin 4 temel özelliği vardır (ERP-Online, 2008).

- Tedarik zinciri özerk fonksiyonlar dizisi değil bütünleşiktir
- Stratejik karar verme ile doğrudan bağlantılıdır
- Tedarik zinciri üzerindeki envanterler arasındaki dengesizlikleri tespit etme ve uygun çözümler (düzeltme, elimine etme, ayıklama v.b.) getirme ana konulardır
- Zincir boyunca sistem entegre edilmiş durumdadır

Tedarik zinciri ilk olarak üretim için gerekli olan hammaddenin elde edilmesiyle başlar. Bu hammaddelerin işlenmesi, kullanılıp üretim yapılması, daha sonra üretilen bu ürünlerin son kullanıcıya kadar olan dağıtımını ve kontrolüyle devam eder.

Tedarik zincirine, satın alma ve tedarik, ulaştırma ve lojistik fonksiyonu perspektifinden bakılabilir (ERP-Online, 2008).

Tedarik zinciri yüksek mertebeden, çoklu çevrimli, doğrusal olmayan geri beslemeli yapılara sahip karmaşık sistemlerdir. Forrester, tedarik sisteminde, tedarik zincirinde üç bütünleşik davranış olduğu sonucuna varmıştır.

Bunlar (ERP-Online, 2008):

- Sipariş ve envanterlerde salınımlar
- Sipariş ve beklenmeyen envanterde yükselmeler
- Sipariş ve malzeme akışında gecikme

Tedarik zinciri ayrıca etkin bir değişim sistemidir. Burada değişimle kastedilen satın almalar ve dağıtımlardır. Tedarik zincirini oluşturan elemanlar aslında ticari ortaklar olarak görülebilir. Bu nedenle tedarik zinciri, işletmelerin dahil oldukları bu ticari örgütle uzun dönemde iyi ilişkilerde olmasını sağlar.

2.5. Tedarik Zincirinde Görülen Sorunlar

Günümüzde tedarik zincirlerinde teknik ve ticari pek çok belirsizlik yer almaktadır. Öncelikli olarak görülen bu belirsizliklerin kesin gözüyle kabullenilip buna göre hareket edilmesi doğru bir hareket değildir (Guillen ve diğ., 2005). Literatürde bulunan çalışmalarda tedarik zincirinde görülen belirsizlikler modellenmeye çalışılmıştır.

Mula ve diğ. (2006) belirsizliği, bir işi yapmak için elde olan mevcut bilgi ve olması gereken bilginin farkı olarak tanımlamıştır.

Zimmermann (2000) belirsizliği, belirli bir durumda bir kişinin sistemi, sisteme ait yapıyı ve sistemin özelliklerini tanımlama, belirleme veya tahmin etme eksikliği olarak tanımlamıştır.

Literatürde bulunan belirsizlik tanımlarından çıkan sonuç belirsizliğin nesnel olmadığıdır. Belirsizlik mevcut olmayan bilgi eksikliğinden kaynaklandığı için, edinilmesi gereken bilgi ne kadar fazla ise belirsizlik de o kadar çoktur. Gerekli olan edinilmesi gereken bu bilgilerin edinilememesi sebepleri, bu bilgiye ulaşmanın zorluğudur. Bu zorluk teknolojik yetersizliklerden, bu bilgiye ulaşma isteğinden ya da bu bilgiye ulaşmanın ekonomik boyutunun büyüklüğünden kaynaklanıyor olabilir. Herhangi bir sebeple gerekli olan bu bilgiye ulaşılması durumu, bilgiyi belirsizlik haline getirir.

Herhangi bir tedarik zincirinde pek çok belirsizlik türünden söz edilebilir. Bu belirsizlikler ya çevre koşullarından ya da sistemin doğasından kaynaklanıyor olabilir. Bu çerçevede belirsizlikler ikiye ayrılabilir. Çevre etkisiyle oluşan belirsizlikler adından da anlaşılacağı gibi sistemin doğasından değil çevre faktörlerinin işin içine girmesiyle görülürler. Örneğin taleplerde oluşan belirsizlikler çevresel belirsizliklerdir. Sistemin doğası sonucu oluşan belirsizlikler ise incelenen tedarik zincirine has ortaya çıkan belirsizliklerdir. Verimlilik, üretim hataları gibi belirsizlikler sistemden kaynaklanan belirsizliklerdir (Mula ve diğ., 2006).

Literatürde tedarik zincirindeki belirsizlikler ile ilgili üzerinde en fazla durulan konu talep belirsizliğidir. Talep, üretim planlama ve tedarik zinciri yönetiminde karşılaşılan belirsizliklerin ana kaynağıdır. İmalat sektöründe kapasitelerin planlanması, hammadde siparişlerin verilmesi ve oluşan talebe en kısa zamanda cevap verilebilmesi için taleplerin önceden tahmin edilmesi gerekir. Talep tahminleri geleceğe yönelik öngörüler içerdiği için her zaman belirsizlikleri içerisinde barındırır. Ayrıca taleplerin iyi planlanması firmaların kârlılığını doğrudan etkileyen faktörlerden bir tanesidir (Kabak ve Ülengin, 2009).

Talep tahminlerinde oluşan hatalar ya da belirsizlikler sonucu tahmin edilen ve ortaya çıkan talep miktarları arasında farklar oluşmaya başladığı zaman ya müşteri ihtiyaçları karşılanamayacak duruma gelir ya da stoklarda fazla miktarda mal birikerek elde bulundurma maliyeti ortaya çıkar. Bu durumların her ikisi için de işletmelerin toplam maliyetleri artar (Gupta ve Maranas, 2003).

Tedarik zincirinde belirsizlik kavramından bahsettikten sonra, zincirde karşılaşılan problemleri şu şekilde sıralayabiliriz;

- Malzemelerde ve parçalarda görülen envanter fazlalığı
- Elde sınırlı sayıda bulunan malzemelerin ve kaynakların hızlı dağıtımını sonucu artan maliyetler
- İhtiyaç duyulmayan malzemelerin ve parçaların geri dönüşünün ya da elde tutulması sonucu artan maliyet
- Envanterde bulunan kullanılmayan parçaların ve malzemelerin oluşturduğu maliyet

Tedarik zinciri üyeleri arasında gerçekleşen bilgi akışı sırasında zaman zaman oluşan belirsizlikler sonucu oluşan bilgi çarpıtması zincirin verimliliğini düşürecek çeşitli durumlar ortaya çıkarır. Aşırı stok yatırımları, verimsiz müşteri servisi, gelir ve kar

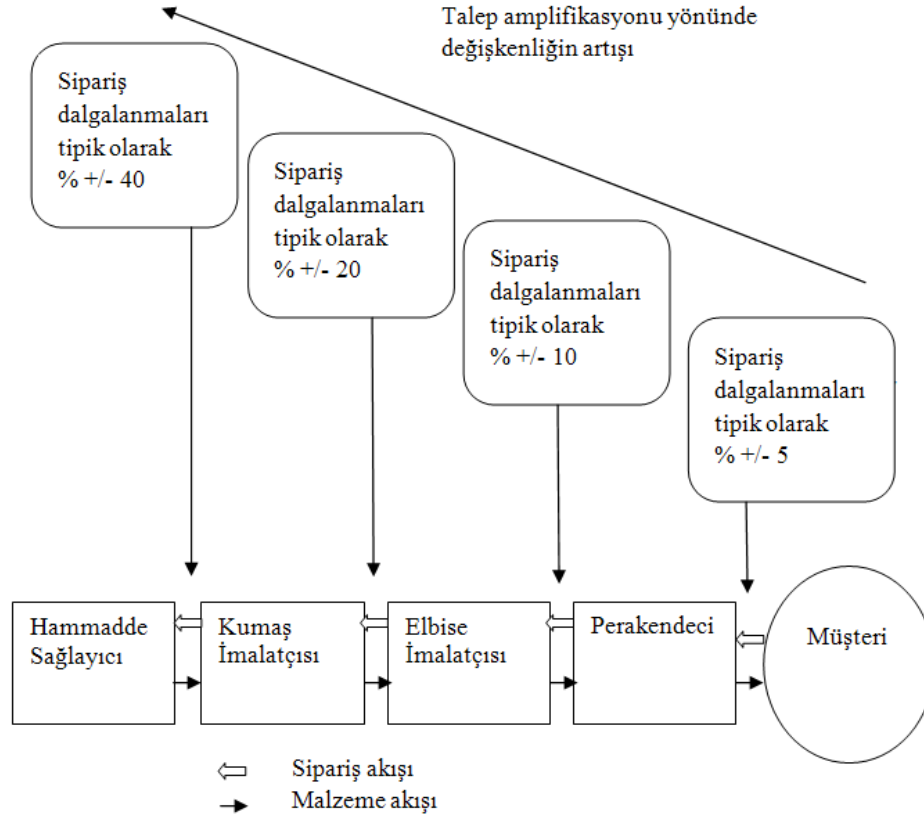
kayıpları, kapasite planı sapmaları, verimsiz taşıma ve uyulamayan üretim çizelgeleri gibi sıralanabilecek bu verimsizlikler hem zaman hem de enerji kayıplarına sebep olur (Lee ve diğ., 1997a).

Bilgi çarpıtması; fabrika deposu, ürün taşıma servislerinin depoları, üreticinin pazarlama deposu, dağıtıcının merkez deposu, dağıtımının bölgesel deposu ve perakende satıcının depolama alanı gibi tedarik zincirinin her aşamasında mal alıp stok etmeyi teşvik eder. Çünkü bu etki, talep tahminlerinde önemli sapmalara ve sonucunda taleplerin karşılanamamasına sebep olmaktadır (Paksoy ve Keskin, 2006).

Bahsedilen bilgi çarpıtmasının sonucu olarak oluşan duruma Kamçı Etkisi ya da Kırbaç Etkisi adı verilir. Litaratürde Bullwhip Effect, Whipsaw ya da Whiplash Effect olarak da bilinir. Kamçı etkisi durumu pek çok araştırmacı tarafından ele alınmıştır. Ancak bu durumu ilk inceleyen araştırmacı J.W. Forrester'dır (1961). Bu nedenle bu etkiye bazı çalışmalarda Forrester Etkisi adı da verilmektedir (Dejonckheere ve diğ., 2003). Forrester'ın yaptığı bu ilk çalışmadan sonra pek çok araştırmacı da bu çalışmalara yenilerini eklemiştir.

McCullen ve Towill (2001) kamçı etkisinin oluşumunu, tedarik zinciri boyunca her bir basamaktaki talepteki varyansın katlanarak artışına bağlı olarak göstermişlerdir.

Şekil 2.5 geleneksel bir tedarik zincirinde kamçı etkisini göstermektedir.



Şekil 2.5 : Bir tedarik zincirinde kamçı etkisi (Mc Cullen ve Towill, 2001).

Şekle göre son aşamada oluşan talep amplifikasyonunun büyüklüğü pazarın değişkenliğinin 8 katıdır.

3. KAMÇI ETKİSİ

3.1. Kamçı Etkisinin Tanımı

Kamçı etkisi işletme operasyonları yönetiminde iyi bilinen bir konu olmuştur. Bunda Simon (1952) ve Forrester (1961)'ın yaptığı çalışmaların payı büyüktür. Ancak kamçı etkisi, MIT tarafından geliştirilen bir simülasyon olan Bira Oyunu'ndan sonra çokça tanınmaya başlanmıştır (Miragliotta, 2006).

Pek çok araştırmacı gerçek yaşam işletme ortamlarında kamçı etkisi için sebepleri ve çözüm önerileri sunabilmek adına bu etkiyi ölçmeye ve buna gerçekçi deliller sunmaya çalışmıştır. Bu çalışmalar genel olarak başarılı sayılabilir. Ancak hala tam olarak belirlenmemiş olgular ve sistematik değerlendirme eksikliği vardır.

Kamçı etkisi üzerine yapılan çokça çalışmada, bu etki farklı şekillerde tanımlanmıştır.

Forrester (1961) kamçı etkisi hakkında ilk akademik tanımlamayı yapmıştır. Buna göre kamçı etkisi, tedarik zinciri üyeleri arasındaki bilgi değişimi eksikliği ve yönetsel birimleri kullanarak çözümlerin zor olduğu doğrusal olmayan ilişkilidir. Daha sonra Buffa ve Miller bu bilgilerden de faydalanarak klasik üretim planlama ve kontrol kitapçığını çıkarmışlardır. Burbidge (1961) üretim ve envanter kontrolü için bir metodoloji sunmuştur. Bu metodoloji doğrudan talep amplifikasyonu problemine bağlıdır. Burbidge (1984) daha sonra kamçı etkisiyle ilgili ilk eksiksiz tanımı yapmıştır. Bu tanıma göre eğer ürünler için olan talep, stok kontrol siparişlerine, kullanılan bir envanter serisi boyunca aktarılıyorsa her bir transfer hattında talep varyasyonları artar. Towill (1997) talep varyasyonlarının iki etkenden dolayı olabileceğini belirtmiştir. Bunlardan birincisi düz talep varyasyon amplifikasyonu etkisi, ikincisi de ani mevsimsel etkidir.

Kamçı etkisi, üreticilere tüketicilerden gelen taleplerin daha fazla şekilde yansımaları, yani talepteki bozulmadır. Bu bozulma, tedarik zincirinde alt basamaklardan üst basamaklara doğru gidildikçe giderek artar (Geary ve diğ., 2006).

Yenilemelerin gecikme süreleri uzun ve belirsiz olduğu zaman, geleceğe yönelik tahminlerdeki belirsizlik artar. Bunun sonucunda sipariş miktarlarında farklılıklar ortaya çıkar. Tedarik zincirindeki herhangi bir eleman, kendisinden bir alttaki elemandan ayrı olarak kendisi de bir sonraki basamağa olan siparişleri için kendi tahmin yöntemlerini kullanmalıdır. Bu da doğal olarak sipariş miktarlarını farklılaştırır. Kamçı etkisi denen bu olgu da son tüketiciden üreticiye giderken oluşan talep miktarlarındaki farklılıktır (Lee ve diğ., 97b).

Genel terimlerle kamçı etkisi perakendeciden üreticiye giderken talep işaretindeki bozulma olan bir tedarik zinciri olgusudur. Burada bozulma çeşitlilik amplifikasyonu ya da ani sezonsallıktır.

Kamçı etkisi ile ilgili literatür çalışmaları üç ana gruba ayrılabilir. Kamçı etkisi ölçümü ve deneysel değerlendirmeler, kamçı etkisinin nedenleri ve kamçı etkisine karşı öne sürülen çözümlerdir. Son 45 yıl boyunca pek çok farklı metodoloji ile kamçı etkisi hakkında pek çok çalışma yapılmıştır (Miragliotta, 2006).

Bu çalışmanın öncelikli amacı, literatürde bulunan diğer çalışmaları inceleyerek kamçı etkisinin şimdiye kadar hangi boyutlarda ve nasıl değerlendirildiğini göstermektir.

3.2. Kamçı Etkisinin Ölçümü ve Deneysel Değerlendirmeler

Kamçı etkisinin ölçümü hem teorik hem deneysel amaçlar için büyük önem taşımaktadır. Varyans oranı kamçı etkisinin farkedilebilmesi için en sık kullanılan ölçümdür. Varyans oranı, tedarik zincirinin alt ve üst basamaklarındaki talep varyansının oranıdır. Bu oran 1'den büyükse bu basamakta kamçı etkisi var denilebilir. Bazılarına göre standart sapma oranı da önemlidir. Ancak bu iki yöntem arasındaki farklar dikkate alınacak ölçüde önemli değildir.

Taylor (1999) hem talep verisinin (şirketten şirkete geçen) hem de aktivite verisinin (şirket içi veriler) kamçı etkisinin ne olduğunun daha iyi anlaşılması için önemli olduğunu belirtmiştir. Bahsedilen bu oranlar kamçı etkisini ölçümü için en çok kullanılan ölçütlerdir. Ancak alternatif ölçütler de tanımlanmıştır.

Edghill ve diğ. (1988) daha sonra da Towill (1992) sipariş süreciyle ilgili bir model sunmuşlardır. Bu model Forrester ve Burbidge etkilerini ortadan kaldırmak için kullanılmıştır. Benzer şekilde El-Beheiry ve diğ. (2004) gözlenen

amplifikasyonlardaki yığınlama etkisini ortadan kaldırmak için modifiye varyans adında bir ölçüt sunmuştur. Bunlar bazı ölçüm prosedürleri boyunca kamçı etkisine neden olan çeşitli faktörlerin ayrıştırılmasını sağlamıştır. Ayrıca Metters (1997) mevsimsellik katsayısı, Fransoo ve Wouters (2000) ve Dejonckheere ve diğ. (2003) varyans katsayısı gibi kuvvetli ölçütler kullanmıştır.

Yine de varyans veya standart sapma ölçütleri en çok tercih edilen ölçütler olmuşlardır. Çünkü bu ölçütler bu olguyu göstermekte daha başarılılardır.

Warburton (2004) perakendeciden üreticiye verilen sipariş ve son talep arasındaki oranı kullanmıştır. Böylece final talebindeki veri kümesini kullanmış olmuştur. Riddals ve Bennett (2001) tepe sipariş amplifikasyonu terimini kullanmıştır. Bu terim talep yanıtına karşı öne sürülmüştür. Disney ve Towill (2003) tepe sipariş oranı aşmasını kullanmıştır. Bu iki ölçüm talepteki izole edilmiş tepeleri düzleştirmek için faydalıdır ancak gerçek hayat tedarik zincirleri aksine ancak laboratuvar koşullarında uygulanabilir. Zhang (2004) kamçı etkisini ölçmek için talep varyansının büyütüldüğü durumların sayısını gözlemlemeyi düşünmüştür. Dejonckheere ve diğ. (2003) son olarak gürültü bant aralığı terimini kullanmıştır. Bu sayede kamçı etkisi ve artmış taleple mücadele etmek için gerekli kapasite gereksinimleri fark edilebilmektedir.

Kamçı etkisinin çözülmesinin karlılık üzerinde etkisi büyüktür. Lambrecht ve Dejonckheere (1999) *Bullwhip Explorer Package* adlı bir simülasyon aracı tasarlamıştır. Bu yazılım, verilen sipariş politikasının envanter, üretim ve kıtlık maliyetleri ve sağlanan bazı kamçı etkisine bağlı tedarik zincirinin maliyetlerinin tahminlerle verimliliğini test etmektedir.

Son olarak Rinks (2002) Bira Oyunu benzeri bir senaryo ve simülatif yaklaşımla kamçı etkisinin kaldırılmasıyla tedarik zinciri maliyetlerinin %50'ye kadar azaltılabileceğini göstermiştir.

3.3. Kamçı Etkisinin Sebepleri

Kamçı etkisine sebep olan durumlar iyi analiz edilip anlaşılabilirse, yöneticilerin bu etkiyi ortadan kaldırmak için uygulayacakları stratejiler daha doğru hale gelir. Kamçı etkisinin azaltılması için öncelikle bu etkiye neden olan karmaşık durumlar çok iyi

şekilde analiz edilmelidir. Bu amaç için şimdiye kadar pek çok araştırmacının çeşitli çalışmaları olmuştur.

Bu noktada iki farklı düşünce sisteminden bahsedilebilir. Bunlardan birincisi sistematik düşünce sistemi yani genelde akademisyenler tarafından kullanılan, arka planında sistemler teorisi olan ve tedarik zincirine sistematik yaklaşan sistemdir. İkinci düşünce sistemi ise kamçı etkisine sebep olabilecek faktörlerle doğrudan mücadeleyi düşünen yönetici ve uygulamacıların daha çok kullanabileceği işletmesel sistemdir (Miragliotta, 2006). Sistematik düşünce sistemine en çok katılan yazar J.W. Forrester'dır. Çalışmalarında kamçı etkisini temel sebepleri olarak karmaşıklık, geri beslemeler ve tedarik zincirinin doğrusal olmayan yapısına değinmiştir. Forrester (1980) bir doğrusal sebep-sonuç ilişkisinde semptomların, hareketlerin ve çözümlerin izole olmadığını belirtmiştir. Ancak bütün değişim, geri besleme döngüleri içerisinde ortaya çıkar demiştir. Buna göre geri besleme döngülerinin sonucu büyüme, hedef arama ve osilasyonlardır. Daha sonra Towill (1982) ve Sterman (1989) bu geri beslemelere değinmiştir. Sterman makalesinde Bira Oyunu'nu oynamış ve ne yeniden sipariş verme sürecini yöneten sezgiseller ne de zaman gecikmeleri, aksine geri besleme ve zaman gecikmelerinin yanlış anlaşılması kamçı etkisine neden oluyor demiştir. Bu görüşü Senge (1990) ile Senge ve Sterman (1992) tekrarlamıştır. Bunlara göre Bira Oyunu'nda görülen kamçı etkisi sistemsel düşünme eksikliğindedir.

Sistematik düşünce sistemine göre bir diğer kusur mantıksızlıktır. Yani karar vericiler tedarik zincirinin sistematik doğasını algılayamaz. Algılayamadığı için de akılcı yargılamalar yapamazlar.

Sistematik düşünce sistemi sezgisel anlayış terimleri olarak yüksek standartlar, sistematik bilgi ve bazı matematiksel modeller kurar. Bu sayede tedarik zincirinin dinamikleri anlaşılabilir, kamçı etkisi kontrol edilebilir ve engellenebilir.

Bunun aksine işletmesel düşünce okulu tek tek elemanlara konsantre olmaya çalışır ve kamçı etkisine sebep olabilecek tedarik zincirindeki hem yazılım hem donanım yapılarına bakar (Miragliotta, 2006).

Örneğin Blackburn (1991) zaman gecikmelerinin önlenmesi gereken bir faktör olarak görmüştür. Naish (1994) talep belirsizliği ve doğrusal olmayan tahminlere dikkat çekerek bunları olurlu bir açıklama olarak görmüştür.

Bu alanda çalışan yazarlara göre kamçı etkisinin 4 sebebi vardır (Miragliotta, 2006).

- Talep işleme (uzun gecikme sürelerinin sonucu olarak)
- Sipariş yığınlama
- Fiyat dalgalanmaları
- Oranlama ve kıtlık oyunu

Talep işleme sebebine göre, eğer belirsizlik durumunda karar verebilmek için lokal enformasyon kullanılırsa tedarik zincirinde bir bilgi eksikliği yayılmış olur. Uzun gecikme süreleri bu durumu artırır. Çünkü teslim süresi arttıkça yenileme modelinde kullanılan hedef envanter seviyesi artar. Bu olay Bira Oyunu'nda da gözlenmiştir.

Sipariş yığınlama sebebine göre, şirketler ekonomik menfaatlerini düşündükleri için ya da MRP sistemlerine başvurdukları için yaptıkları sipariş yığınlaması kamçı etkisine neden olur.

Fiyat dalgalanmaları sebebine göre, fiyat dalgalanmaları olduğu zaman tedarik zincirindeki üst basamak elemanları siparişlere konsantre olma ve stok kurma eğilimine girerler. Daha sonra envanterleri yüksek miktarlarda olduğu için takip eden dönemlerde sipariş vermezler. Sonuç olarak kararlı bir talep yapısı belirgin bir şekilde değişebilir ve kamçı etkisini artırabilir. Lummus ve diğ. (2003) tedarik zincirindeki fiyat promosyonları ve pazarlama girişimlerinin etkilerini incelemiştir. Rinks (2002) bira oyununa benzer bir simülasyon çalışması kurarak bir kere fiyat dalgalanması tetiklenirse, sistemin kararlı hale dönmesi için en az 20 zaman periyodu geçmesi gerektiğini göstermiştir. Eğer bu fiyat dalgalanmaları düzenli bir şekilde gerçekleşiyorsa, sistem hiçbir zaman kararlı hale gelemez ve böylece kaotik davranır.

Oranlama ve kıtlık oyunu sebebine göre, eğer talep üretim kapasitesinden fazlaysa üreticiler müşterilerine ürünleri sipariş büyüklüğüne bağlı olarak oranlayarak dağıtır. Ve eğer müşteriler bu oranlama kriterlerini farkedelerse istedikleri miktarları elde edebilmek için sipariş miktarlarını artırır. Daha sonra da fazla sipariş miktarlarını iptal ederler. Sonuç olarak üreticiler zayıf bir talep algısına sahip olurlar.

Bu dört sebep genel olarak kamçı etkisinin açıklaması olarak görülür. Bazı yazarlar bu sebeplere yenilerini eklemeye çalışmışlardır. Taylor (1999) makine güvenilirliği, çeşitli süreç yeteneği ve arz çeşitliliğini diğer olası sebepler olarak sunmuştur. Chen ve diğ. (2000) donanım (zaman gecikmeleri) ve yazılıma (çeşitli aktörlerin talepteki

negatif korelasyonu, talep tahmin modellerindeki kötü ayarlanma) verilen önemi dengelemeyi öne sürmüştür. Lee ve diğ. (1997b) ise bu dört sebebe göre hareket ederken iki rasyonel tedarik zinciri üyesinin stratejik etkileşiminden kamçı etkisinin doğabileceğini öne sürmüştür.

Öte yanda Lee ve diğ. (1997a) yaptıkları çalışmada kamçı etkisinin beş temel sebebini ortaya koymuşlardır. Bu sebebler; talep tahminlerindeki düzeltmeler, yığın siparişler, tedarik süreleri, fiyat dalgalanmaları ve tedarik kıtlığı olarak sıralanabilir. Metters (1997) ise kamçı etkisinin nedenlerinin başında tedarik zinciri boyunca varolan bilginin çarpıtılmasını sunmuştur. Yazar aynı çalışmasında işletmenin kendi içsel iletişim bozukluklarının bilginin aktarılması sırasında oluşan zaman kayıplarıyla birleşmesi sonucu kamçı etkisinin temel sebebini oluşturduğunu savunmuştur.

Bilgi aktarılması sırasında oluşan sorunlar gibi bilginin yorumlanması sırasında da oluşan sorunlar çeşitli verimsizliklere sebep olmaktadır. Eğer talep işareti doğru yorumlanamazsa, kamçı etkisi tetiklenmiş olur (Lee ve diğ., 1997b). Bu olaya talep işareti işleme adı verilir. Talep işareti işleme, talep işaretinde oluşan hataların düzeltilmesi sonucu stok bütünleme kurallarının parametrelerinin sıkça düzeltilmesi demektir (Dejonckheere ve diğ., 2002).

Çoğu işletmelerde talep tahminleri müşterilerden gelen talep verileri dikkate alınarak yapılmaktadır. Bu verilere göre oluşturulacak olan talep modelleme sürecinde bu talep modelini oluşturacak kişi, kişisel gözlemlerinden faydalanır. Bu yüzden bu modelleme süreci doğrudan öznedir ve bu modelin güvenilirliği de modeli hazırlayan kişiye göre değişebilir (Senge, 1990).

Herhangi bir ürün için sipariş verildiği anda, siparişi alan kişi kendisine gelen bu sipariştten yola çıkarak daha sonraki siparişler için öznel bir altyapı oluşturur.

Örneğin talep tahmini için üstel düzeltme yöntemi kullanan bir işletme bu yöntemle taleplerini sürekli günceller ve tedarikçiye yollanan sipariş işletmenin gelecek talep ihtiyacını karşılayacak stok miktarını ve emniyet stoğunu yansıtır. Eğer sipariş verme süresi uzunsa bu durumda daha fazla stok tutma isteğinden dolayı dalgalanmalar artmaktadır. Tedarikçi açısından bakıldığında ise bir önceki aşamadan gelecek siparişler talebini belirleyecektir. Eğer tedarikçi de üstel düzeltme yöntemini kullanıyorsa bu büyük dalgalanmalara sebep olacaktır (Paksoy ve Keskin, 2006).

Machuca ve diğ. (2004) talepte ortaya çıkan bir bilgi çarpıtması sonucu stoklarda da çeşitli dalgalanmalar meydana geleceğini ve bunun sonucunda tedarik zincirinin her bir basamağında stok fazlaları oluşacağını söylemiştir.

Ekstra stok tutma ekstra maliyet getireceği için işletmeler ellerinde stok oluşmasını istemezler. Ancak işletmeler sipariş maliyetlerine önem vererek stok maliyetlerini önemsemezlerse siparişler verilmeden önce daha önceki siparişler biriktirilir ve bu siparişlerin miktarı istenen seviyeye gelince yeni sipariş verilir. Bu sayede siparişler daha düşük frekansta verilir ve ilgili maliyetler azaltılmış olur. Malzeme Gereksinim Planlama'sı kullanan işletmeler genellikle aylık siparişler verirler. Bunun sonucunda tedarikçiler peşpeşe gelen tutarsız siparişlerle uğraşmak zorunda kalır. Eğer tedarikçiler bu yöntemi kullanan çok sayıda işletmeyle aynı anda çalışıyorsa siparişlerde çakışma görülebilir. Bunun neticesinde herhangi bir ayda siparişlerde oluşacak durgunluk daha sonraki aylarda oluşacak bir patlamaya sebep olabilir. Talep dalgalanmaları bu olay sonucunda artar (Lee ve diğ., 1997b).

Talep işaretinin doğru algılanmama nedenlerinden biri de fiyatlardaki dalgalanmalardır. Bu dalgalanmalar indirim, promosyon ya da iskontolar olarak sıralanabilir. Eğer tedarikçiler, üreticiler ya da dağıtıcılar fiyat dalgalanmalarına sebep olurlarsa müşteriler bu durumu kendilerine bir avantaj olarak görüp ihtiyaçlarından fazla tüketim yoluna giderler. Müşterilerin fazladan aldığı bu ürünler, fiyatlar normal seviyesine geri döndüğü zaman onların bir süre kendilerinde oluşturduğu stoktan faydalanmasına ve tüketimi kendi stoklarından yapmasına neden olur. Bundan sonraki dönemlerde üreticilerin talep tahmin modelleri kurma sürecinde, fiyat dalgalanmaları sonucu oluşan müşterilerin bu gerçekçi olmayan satın alma modeli yanlış veriler yansıtır. Satın alınan ve tüketilen ürün miktarları arasında tutarsızlık olur ve talep tahminleri bozulur. Bu da kamçı etkisine neden olur (Paksoy ve Keskin, 2006).

Eğer bir ürüne olan talep, müşteriye sunulandan fazla olursa üreticiler ellerinde bulunan ürünleri müşterilere oranlayarak dağıtırlar. Bira Oyunu'nda da olduğu gibi siparişi zamanında karşılanmayan müşteri diğer siparişte vereceği sipariş miktarını artırır. Tedarikçi istenilen miktarda siparişi karşılamaya başladığında ise aşırı stoklar ve siparişlerin iptal edilmesi gibi olumsuzluklar ortaya çıkar (Paksoy ve Keskin, 2006).

3.4. Kamçı Etkisine Karşı Üretilen Çözümler

Kamçı etkisi sebeplerinde de belirtildiği gibi literatürde iki ayrı düşünce sistemi bulunmasından dolayı çözümler de iki ana gruba ayrılabilir. Sistematik düşünce grubuna göre yöneticilerin tedarik zincirinin doğrusal olmayan, geribesleme yönelimli doğasını anlaması ve ona göre hareket etmesi için eğitim programlarına yatırım yapmaları gerekmektedir. İşletmesel düşünce sistemine göre ise çözümler daha etkili olmalıdır (Miragliotta, 2006).

Wikner ve diğ. (1991) bir simülasyon programına göre takip edilmesi gereken beş faktörü şu şekilde sıralamıştır:

- Her bir basmaktaki karar verme kurallarının geliştirilmesi
- Farklı basamaklar boyunca kuralların daha iyi ayarlanması
- Zaman gecikmelerinin azaltılması
- Bazı dağıtım basamaklarının kaldırılması
- Zincir boyunca daha iyi ve daha etkili bilgi akışı

Lee ve diğ. (1997a) daha önce belirtilen kamçı etkisinin dört sebebine göre olması gereken çareleri üç ana gruba ayırmıştır.

- Bilgi paylaşımı
- Kanal işbirliği
- İşlevsel verimlilik

Bilgi paylaşımı; tedarik zincirinde alt kademelerden üst kademelere olan bilgi akışını kolaylaştırıp hızlandıran etkinlikleri içerir. Bu alanda satışlar, kapasite ve envanter üzerinde bilgi paylaşımı tavsiye edilir.

Kanal işbirliği; zincir boyunca sürecin koordinasyonunu artırmak amacıyla hareket kollarının gruplanmasıdır.

İşlevsel verimlilikte temel amaç, zincir içerisindeki verimliliği artırmak ve zamanları kısaltmaktır. Gecikme zamanı azaltma programları, bilgisayar destekli siparişleme (CAO), geliştirilmiş kontrol sistemleri önerilir.

Kamçı etkisi için öngörülen bu çözümler mantıklı görülse de sayısal geçerliliklerini ortaya sunmak güçtür.

Literatür çalışmalarına göre en çok çalışılan alan bilgi paylaşımı alanıdır. Ancak bu alan en çok çalışılan alan olmasına karşın verimliliğinin yüksekliğinden söz edemeyiz. Bunun iki sebebinden bahsedilebilir. Birincisi bu yararlar iş ilişkisinin tek tarafına konsantredir. Bu yüzden bazı harekete geçiriciler tasarlanmalı ve kurulmalıdır. İkincisi bilgi paylaşımı için kullanılan teknoloji doğrudan olmasa da işlevsel verimliliğin faydalarını sağlar. Sonuç olarak kanal işbirliği ve işlevsel verimlilik, bilgi paylaşımından daha etkili kamçı etkisi çözümleri olarak görülebilir (Miragliotta, 2006).

Taylor (1999) kamçı etkisine karşı alınması gereken önlemleri; ortak kararlar verilebilmesi için şirket arası takımların kurulması, insanların kamçı etkisi ve sebepleri konusunda eğitilmesi, kısa süreli talep farklılıkları durumdan bu soruna üretimle değil stoklarla cevap aramak ve sipariş yığılmanın engellenmesi için fiyat parametrelerinin modifikasyonu olarak sıralamıştır.

3.5. Bira Oyunu

Kamçı etkisinin daha iyi anlaşılabilmesi için Bira Oyunu adı verilen simülasyon oyununun irdelenmesi faydalı olacaktır. Bira Oyunu adı verilen bu simülasyon gerçek tedarik zinciri yapılarının nasıl hareket ettiğini anlamak üzere 1960'lı yıllarda Massachusetts Teknoloji Enstitüsü (MIT) tarafından Serman başkanlığında laboratuvar koşullarında kurulmuştur (Paksoy ve Keskin, 2006).

Bu oyunda basit yapılı bir tedarik zinciri ele alınmıştır. Bu tedarik zincirinin üyeleri bir bira üreticisi ve üretilen biranın dağıtımıyla sorumlu diğer elemanlardır. Bu oyunun katılımcıları son müşteri, toptancı, perakendeci, ve bira üretim işletmesinin yöneticileri rollerini üstlenebilirler.

Oyunun her bir oyuncusu istedikleri zaman istedikleri kararları alabilme yetkisine sahiptir. Oyuncuların genel amacı karlılıkları eniyileyerek buldukları pozisyonları en uygun şekilde yönetmektir. Her bir oyuncunun, kendisine sipariş vereceği diğer tedarik zinciri üyesi elemanını oynayan oyuncu hariç diğer bütün üyelerle iletişim kurmaları yasaklanmıştır. Bunun nedeni, verilecek olan sipariş kararlarının yalnızca tedarik zincirinde bulunun iki eleman arasında alınmasının sağlanmasıdır.

Bira oyununda her zaman aynı marka birayı tercih eden bir müşteri topluluğu ele alınır. Perakendeci bahsedilen bu müşterilere her hafta düzenli bir şekilde bira satışı yapmaktadır. Perakendecinin görevi her hafta 4 kasa satış yapması ve bununla birlikte herhangi bir anda stoklarında 12 kasa bira bulundurabilmesidir. Bu yüzden perakendeci her hafta başı düzenli olarak 4 kasa bira sipariş etmektedir. Ancak perakendecinin satışları bir sıçrama göstererek bir anda 8 kasa biraya yükselince, perakendeci sipariş verenlerden birinin parti siparişi verdiğini düşünür ve olaya soğukkanlılıkla yaklaşır. Ayrıca perakendecinin stoklarında her zaman 8 kasa bira fazlası bulunmaktadır. Bira satışları belirli bir dönem boyunca haftada 8 kasa bira olarak devam eder ve bunun neticesinde perakendecinin daha önce tuttuğu stoklar erimeye başlar. Dağıtıcı gelip perakendeciye dört hafta öncesinden olan 4 kasa biralık siparişini teslim eder ve stokta o an kalan diğer 4 kasa ile birlikte toplam 8 kasalık biranın o hafta boyunca satılıp tüketileceği sonucu doğar. Bu sırada perakendeci müşterilerinin artan bira tüketimlerini araştırmaya başlar ve dört hafta içerisinde bu artışın, bir müzik grubunun konserleri sırasında müşterilerin bu birayı tüketmeleri olarak ortaya çıkarır.

Bu arada toptancı, perakendecinin kendisine verdiği siparişlerin bir anda artması sonucu şaşırmakta ve zor da olsa kendisine gelen talebi karşılamaya çalışmaktadır. Ancak yine de istenilen seviyede sipariş miktarına ulaşamamaktadır. Perakendeci yok satma denilen noktaya gelmiştir. Toptancının perakendeciye yolladığı haftalık bira sayısı sadece 5 kasaya kadar yükselebilmiştir. Bu miktardaki bira, müşteri taleplerine karşılık veremediği için toptancının ve perakendecinin itibarları zedelenmeye başlar. Toptancı, aynı zamanda fabrikaya karşı da kızgın bir hale gelmiştir çünkü fabrikadan sipariş ettiği miktarlarda bira kendisine ulaşmamaktadır. Bu noktadan itibaren, perakendecinin haftalık 4 kasalık her siparişinde toptancı da fabrikadan 4 kamyon bira ister. Siparişlerin dördüncü haftadan sonra birden artması ve toptancının, daha önce bahsedilen konserlerde bira içildiği bilgisini alması üzerine perakendecinin isteği olan talebi karşılamak için stoğundaki tüm biraları gönderir. Ancak bu durumda yeterli olmaz ve sipariş miktarını haftalık 20 kamyon biraya çıkarır. Toptancı sekizinci hafta sonrası sipariş miktarını 30 kamyon yani ilk sipariş miktarının altı katına çıkarmak ister. Bu sebeple ve aynı zamanda siparişlerin kendisine ulaşmasının daha hızlı bir şekilde olup olamayacağının öğrenmek için toptancı fabrikayla iletişim kurar. Bu görüşme daha önce kendisine teslimat

yapanlarla olan görüşmesi duşındaki ilk görüşmedir. Bu görüşme sonucunda toptancı fabrikanın üretimini iki hafta önce artırıldığı bilgisine ulaşır. Fabrikada siparişler yedinci hafta ile birlikte artırılmıştır ve biranın hazırlanma süreci de iki hafta sürmektedir. Stokta bulunan az süreli yetecek kadar biranın talebi karşılayamayacağı görülür. Aynı zamanda perakendeci de stoklarında bira kalmamasından dolayı devamlı sipariş vermektedir. Buna bağılı olarak toptancı da verdiği sipariş miktarlarını artırır. Bu durumda toptancı her bir hafta bir öncekinden fazla olarak yirmi kamyon sipariş veriyor olmuştur. Bira fabrikası kendisinden istenen siparişlerin yığılmasından ötürü bu talebe ancak onikinci hafta cevap verebilir duruma gelmiştir. Siparişler zincir boyunca zamanında karşılanamıyor olmasından dolayı hem perakendeci, hem toptancı hem de fabrika ciddi şekilde zarar etmeye başlamıştır. Perakendeci, vermiş olduğu siparişler karşılanamadığı için düzenli olarak sipariş miktarlarını artırır. En son olarak perakendeci yirmi dört kasalık sipariş verir. Perakendecinin bu siparişini toptancı ancak bir süre sonra değerlendirebilir. Ancak bu vakit de artık biraya olan talep eskisi kadar çok değildir. Siparişlerin bu şekilde düşmesi sonucu bira üreticisi stoklarında biriken biraları elden çıkarma yoluna gider. Bu yüzden üretici yapmış olduğu teslimatlarına aynen devam eder. Toptancı eline gelen fazla sayıda siparışı, perakendecilerin isteğine bakmaksızın kendilerine göndermeye devam eder. Son durumda yirmibirinci haftanın sonuna gelmiş, perakendecinin stoğunda 98 kasa, toptancının stoğunda 220 kamyon ve üretici firmanın stoğunda da 220 kamyon bira bulunmaktadır. Bu durumdan sonra siparişler durmuştur.

Sterman tarafından gerçekleştirilen bu deney stokların yanlış tutulması ve talep miktarlarının aktarılmasında insan davranışlarının kamçı etkisine neden olabileceğini göstermiştir ve bu deney pek çok farklı alanlarda tekrarlanmıştır (Paksoy ve Keskin, 2006).

Kamçı etkisi zincir boyunca her üyeyi etkilemektedir. Tedarik zincirindeki belirsizliğin azaltılması, bilgi akışını hızlandırarak tedarik zincirinin veriminin artırılması için kamçı etkisinin sebeplerinin bulunması ve analiz edilmesi gerekmektedir (Paksoy ve Keskin, 2006).

3.6. Kamçı Etkisine Karşı Kullanılan Yaklaşımlar

Bu bölümde bugüne kadar literatürde görülen kamçı etkisine karşı yapılan çalışmalar, kullanılan yaklaşımlar ve elde edilen sonuçlara yer verilmiştir.

Ouyang ve Li (2010) genel ağ topolojisi, genel doğrusal sipariş politikaları ve çeşitli müşteri talep durumlarına göre kamçı etkisini incelemek amacıyla bir model kurarak genel bir kontrol taslağı oluşturarak kamçı etkisinin gözlenip daha karmaşık durumlar için formülasyon elde edilebileceğini söylemişlerdir.

Balana ve diğ. (2009) yapay zeka ile incele yaklaşımıyla SISO sisteminde kamçı etkisini azaltmak amacıyla transfer fonksiyonu, bulanık mantık ve kontrolörler kullanarak P-only yerine FLC kullanımının kamçı etkisini azaltacağını ve NF sistemiyle daha başarılı olunabileceğini göstermişlerdir.

Haughton (2009) perakendecilerin talep bozma hareketlerinin onlara mal taşıyan taşıyıcılara olan etkisini incelemek ve bu etkinin azaltılmasını sağlamak amacıyla bir simülasyon modeli kullanarak son müşterideki talep seviyesinin tahmini yerine bozuklukların yönetilmesi için çaba harcanılmasının, taşıyıcılar için daha faydalı olduğunu göstermiştir.

Wang ve diğ. (2009) talep belirsizlik model fonksiyonlarını kullanarak kamçı etkisinin ölçülmesi amacıyla bir simülasyon geliştirerek doğru tahmin yöntemleriyle kamçı etkisinin ortadan kaldırılabilceğini, ancak bu yöntemlerin tedarik sürelerinin farklılığını artırabileceğini söylemişlerdir.

Sucky (2009) kamçı etkisini analitik olarak tedarik zinciri değil de tedarik ağında ölçmek amacıyla bir simülasyon geliştirerek sadece bir tedarik zinciri ele alınır ve tedarik ağlarında risk havuzu etkilerinden faydalanılırsa kamçı etkisinin fazla büyütülmüş olacağını söylemiştir.

Agrawal ve diğ. (2009) bilgi paylaşımı ve tedarik süresinin kamçı etkisi üzerindeki etkisini görmek amacıyla, seri tek ürünlü 4 kademeli bir tedarik zinciri kurup simülasyon yapmışlardır. Aynı zamanda tahmin yöntemleri de kullanmışlardır. Sonuç olarak tedarik süresinin kısaltılmasını kamçı etkisini azaltacak tek etken olarak yorumlamışlardır. Bilgi paylaşımı ile de eldeki mevcut envanter farklılığını azaltabileceklerini göstermişlerdir.

Zarandi ve diğ. (2008) bulanık vekil tabanlı model kullanarak kamçı etkisini azaltmak amacıyla simülasyon, GA, bulanık matematik ve NN kullanarak kamçı etkisinin neredeyse tamamen ortaya kaldırmayı başarmıştır. Kamçı etkisinin bulanık ortamda incelenmesi gerektiğini söylemiştir.

Ouyang ve Daganzo (2008) stokastik dinamikleri olan tedarik zincirlerinde kamçı etkisini azlatmak amacıyla MJLS kullanarak kamçı etkisini incelemek adına bir kontrol taslağı oluşturup, kamçı etkisini tesbit edebilen analitik durumlar ortaya koymuşlardır.

Wright ve Yuan (2008) kamçı etkisini azaltabilecek bir yapı elde etmek amacıyla gelişmiş tahmin yöntemlerinin etkilerini simüle ederek ve bunları olası sipariş politikalarıyla beraber kullanarak Holt ve Brown tahmin yöntemleri ve uygun sipariş politikalarıyla kamçı etkisinin tamamen olmasa bile %55'e kadar azaltabilmişlerdir.

Bayraktar (2008) E-TZ uygulamalarında üssel düzleştirme tahminlerinin kamçı etkisine olan etkisini incelemek amacıyla simülasyon kullanarak yüksek seviyeli mevsimselliklerin kamçı etkisini azaltmada etkili olabileceğini göstermiştir. Bazı talep yapıları için tedarik süresinin ve düzleştirme parametrelerinin de kamçı etkisinde rolü olduğunu söylemiştir.

Caloiero ve diğ. (2008) basit ve gerçekçi bir sipariş politikasının kamçı etkisi üzerindeki etkisini görmek ve bu sipariş politikasındaki süreksizliklerin önemini ölçmek amacıyla, seri tek ürünlü, 4 kademeli bir tedarik zinciri kurup simülasyon yapmışlardır. Sonuç olarak bir sipariş politikasının kamçı etkisini ve envanter kararsızlıklarını artırabileceği ya da azaltılabileceğini göstermişlerdir.

Kelepouris ve diğ. (2008) talep bilgi paylaşımı ve yenileme parametrelerinin kamçı etkisine olan etkisini görmek amacıyla gerçek talep verileriyle bir model kurarak kısa tedarik süreleri ve bilgi paylaşımının kamçı etkisinin azaltılmasında çok önemli olduklarını belirtmiştir.

Duc ve diğ. (2008) AR katsayısı, hareketli ortalama parametresi ve tedarik süresinin kamçı etkisine olan etkilerini incelemek amacıyla ARMA (1, 1) kullanarak kamçı etkisinin her zaman değil, AR ve MA katsayılarına göre oluştuğunu ve tedarik süresi artınca her zaman kamçı etkisinin artmayacağını ortaya koymuşlardır.

Kim ve Springer (2008) sistem çevrimselliğini ve içsel çevrimselliği analitik açıdan kullanarak bunların kamçı etkisi üzerine olan etkilerini incelemek amacıyla farklı

tedarik zinciri çevrimsellikleri ile analitik bir yaklaşım uygulayarak kamçı etkisinin azaltılmasında tedarik süresinin kısaltılmasının ve ardışık düzen duyarlılıklarının önemli olduğunu göstermişlerdir.

Carbonneau ve diğ. (2008) gelişmiş makine tekniklerinin kamçı etkisini ölçmede kullanılması ve geleneksel yöntemlerle kıyaslanması amacıyla, simülasyon ve gerçek yaşam verilerini kullanarak RNN ve SVM'nin gerçek verilerle çok iyi sonuçları verdiğini, ancak doğrusal regresyonun sonuçlarının en iyi sonuçlar olduğunu söylemişlerdir.

Jaksic ve Rusjan (2008) sipariş yenileme politikalarının kamçı etkisi üzerine olan etkilerini incelemek amacıyla transfer fonksiyonu kullanarak kamçı etkisini frekans düzleminde kolayca göstermişlerdir. Bazı sipariş yenileme modellerinin doğrudan kamçı etkisine sebep olduğunu sunmuşlardır.

Makui ve Madadi (2007) kamçı etkisini Lyapunov deneyi ile ölçerek bu etkiye en önemli sebebin tedarik süresi olduğunu göstermiştir.

Towill ve diğ. (2007) uygun objektiflerden bakarak kamçı etkisinin azaltmaya çalışmak amacıyla simülasyon kullanarak hangi objektiften bakılırsa o duruma göre bir sonuç çıkarılabileceğini göstermişlerdir.

Luong ve Phien (2007) yüksek sıralı AR talep modelleriyle ilgilenerken kamçı etkisini azaltmak amacıyla AR(p) modeli kullanarak otoregresif katsayılar ve tedarik süresinin kamçı etkisine olan etkisinin büyük olduğunu göstermişlerdir. AR(1) ve AR(2) katsayılarının pozitifken kamçı etkisinin olduğunu ve bu etkinin tedarik süresi arttıkça artacağını, ancak katsayılar başka aralıklardayken kamçı etkisinin hareketlerinin çok karmaşık olduğunu ve her zaman tedarik süresinin artmasıyla bu etkinin artmayacağını göstermişlerdir.

Hong ve Ping (2007) farklı talep tahmin yöntemlerinin kamçı etkisi üzerine etkilerini incelemek amacıyla bir simülasyon geliştirerek MA ve MSE ile EWMA ve MSE arasında tedarik süresine bağlı bir orana göre avantaj durumunun söz konusu olduğunu söylemişlerdir.

Luong (2007) kamçı etkisinin sayısal olarak ölçülmesi amacıyla 2 kademeli bir tedarik zinciri kurup tahmin yöntemleri ve FOAM'dan faydalanmıştır. Sonuç olarak talep yapısındaki korelasyon katsayısının negatif ve 0 olduğundaki gibi, 1 olduğunda da kamçı etkisini gözlemlememiştir. Tedarik süresi arttıkça kamçı etkisinin arttığını

bunun otoregresif korelasyon katsayısına bağlı bir üst sınırı olduğunu göstermişlerdir.

Ouyang (2007) bilgi paylaşımı stratejilerinin kamçı etkisi üzerindeki etkisini analiz ederek genel sonuçlar çıkarmak amacıyla talep yapısının belli olduğu durumlar için sipariş akış formülüzasyonu kullanarak talebin bilinmemesi durumunda kamçı etkisinin artıp artmayacağını tahmin edebilecek analitik durumlar üretmiştir. Müşteri talep sürecinin yalnızca spektrumunu bilerek tedarik zincirinin herhangi bir yerinde kullanılabilir sipariş akış varyans formülünü sunmuştur. Envanter kazancının negatif olması durumunda kamçı etkisinin azaltılabileceğini öne sürmüştür.

Hsieh ve diğ. (2007) kamçı etkisi güven aralığının araştırılması amacıyla Bootstrap prensibini kullanarak otokorelasyon katsayısının düşük ve tedarik süresinin kısa olması durumunda kamçı etkisinin azaltılabileceğini göstermişlerdir.

Gaalman (2006) FSF ve oransal OUT politikalarının karşılaştırılarak ARMA talep modeli için kamçı etkisini azaltmak amacıyla bir model kurarak oransal politikanın OUT'a nazaran kamçı etkisini engellemede daha etkili olduğunu söylemiştir.

Potter ve Disney (2006) bir üretim kontrol sisteminde sipariş yığılmanın kamçı etkisine etkisini görebilmek amacıyla bir simülasyon geliştirerek eğer yığın miktarı ortalama telebin herhangi bir katıysa yığılma sırasındaki kamçı etkisinin azaltılabileceğini göstermişlerdir.

Waller ve diğ. (2006) merkezi olmayan bir perakende tedarik zincirinde çarpaz yüklemenin envanter üzerindeki etkisini görmek amacıyla model kurarak çarpaz yükleme durumunda tedarikçinin kamçı etkisinden doğrudan etkilenmediği için kamçı etkisinin çarpaz yüklemenin bağlı yararını artırdığını söylemişlerdir. Yani çarpaz yükleme durumunda kamçı etkisinin ortadan kalkacağını ileri sürmüşlerdir.

Hosoda ve Disney (2006) tedarik zinciri basamak seviyesinin değil tedarik süresinin kamçı etkisine sebep olduğunu göstermek amacıyla istatistiksel yaklaşımlar, ayrık kontrol teorisi ve simülasyon kullanarak yerel yenileme ve müşteri gecikme sürelerinin kamçı etkisinde belirgin sebepler olduğunu göstermişlerdir.

Geary ve diğ. (2006) kamçı etkisinin ve gelecek sorunlarının genel olarak incelenmesi amacıyla literatür çalışması yaparak belli sayıdaki kamçı etkisi sebeplerinin tedarik zincirinin yeniden düzenlenmesiyle ortadan kaldırılabilirliğini,

bu sayede gerçek hayattaki kamçı etkisinin en az %50 oranında azaltılabileceğini göstermişlerdir.

Wu ve Katok (2006) organizasyonel öğrenme perspektifinden kamçı etkisi problemini inceleyerek, Bira Oyunu'ndan da faydalanarak tedarik zinciri kararsızlığını tedarik zinciri yeleri arasındaki etkin olmayan koordinasyona bağlamıştır. Eğitim ve öğrenimin iletişimdeki önemini sunmuştur.

Gaalman ve Disney (2006) envanter ve talep tahmini arasındaki kovaryansın rolünü belirlemek amacıyla ARMA (1,1) talep modeli için durum uzayı yaklaşımını kullanarak oransal kontrolör kullanımı ile kamçı etkisinin azaltılabileceğini göstermişlerdir.

Kim ve diğ. (2006) istatistiksel metodlarla kamçı etkisinin IS'li ve IS'siz durumlarda ölçülmesi amacıyla bir model kurarak kamçı etkisinin tedarik zincirindeki bilgi akışındaki bozukluk ve insan faktörlerinden ortaya çıktığını söylemiştir. Tedarik süresini kamçı etkisine olan etkenlerden biri olarak gösterip, bilgi paylaşımı olmayınca üssel olan kamçı etkisinin bilgi paylaşımı durumdan doğrusal olduğunu öne srmştir.

Chandra ve Grabis (2005) kamçı etkisinin azaltılmasının envanter performansı üzerine olan etkileri ve kamçı etkisiyle ilgili olarak talep ve tahmin yöntemlerini analiz etmek amacıyla MRP kullanarak seri korelasyonlu talep yapıları, otoregresif model ve çok basamaklı tahmin yöntemleri kullanıldığı durumda diğer tahmin yöntemlerine oranla daha küçük bir sipariş varyansı elde etmişlerdir. Bu sayede envanter performansının da artacağını söylemişlerdir.

Sheu (2005) ok katmanlı talep uyumlu lojistik kontrol yaklaşımıyla talepteki bilgi kaybının engellenmesi ve tedarik zinciri koordinasyonunun artırılması amacıyla 5 katmanlı bir tedarik zinciri ve stokastik model kullanarak çok kademeli talep uyumlu kontrol yaklaşımının etkili ve verimli bir şekilde kamçı etkisini gösterebildiğini söylemiştir.

Hull (2005) esnekliğin tedarik zincirindeki önemini inceleyerek kamçı etkisi ve tedarik zinciri performansını tahmin etmek amacıyla bir model kurarak esneklik temelli geliştirilen dört performans ölçütü ile tedarik zincirinin performansının ölçülebileceğini ve bu ölçütlerden ikisinin kamçı etkisinde de etkili olduğunu söylenmiştir.

Zhang (2005) talep tahmininde enformasyon gecikmelerinin kamçı etkisini azaltışını incelemek amacıyla MMSE talep tahmin yöntemi kullanarak iyileştirmelerin olabileceğini göstermiştir. Talep enformasyon gecikmelerinin talep tahminlerini kararlı hale getirip sipariş çeşitliliği ve kamçı etkisinin azaltacağını söylemiştir. Bu gecikmeler sonucu tahminlerin sapabileceğini ancak rassal olarak kamçı etkisinin de azalabileceğini dile getirmiştir.

Lin ve diğ. (2004) bir tedarik zincirini analiz etmek ve kontrolör tasarlayarak kamçı etkisini azaltmak amacıyla, z-dönüşümü kullanarak standart sezgisel sipariş politikalarının talep tahminleriyle beraber kullanılması durumunda kamçı etkisinin kaçınılmaz olduğunu göstermişlerdir. Sipariş politikalarının değiştirilmesiyle kamçı etkisinin azaltılabileceğini öne sürmüşlerdir.

Zhang (2004) tahmin yöntemlerinin kamçı etkisi üzerine etkilerini görmek amacıyla MA ve ES tahmin yöntemlerinden ayrı bir yöntem olan MMSE ile basit envanter sistemine sahip bir AR talep modeli kullanmıştır. Sonuç olarak tahmin yöntemi seçiminin kamçı etkisine sebep olan tedarik süresi ve talep otokorelasyonu üzerinde büyük rol aldığını göstermiştir. MMSE kullanılması durumunda tedarik süresini azaltmanın kamçı etkisine olan etkisinin en büyük olacağı vurgulanmıştır. Kamçı etkisi üzerindeki en belirgin etkinin talep otokorelasyonu negatifken ES kullanılması durumunda azaltılan tedarik süresiyle ortaya çıkacağını savunmuştur. Eğer talep yapısı belirli değilse MMSE daha etkili bir yöntem olarak sunulmuştur.

Machuca ve Barajas (2004) EDI'nin tedarik zinciri üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla simülasyon kullanarak EDI ile başarılı ölçümler yapılabileceğini, kaliteli bilgi ve iletişim ile kamçı etkisinin azaltılabileceğini göstermişlerdir.

Dejonckheere ve diğ. (2004) kontrol mühendisliği perspektifinden OUT sipariş politikasının uygulandığı siparişlerin varyans artışının ölçülmesi amacıyla kontrol mühendisliği yaklaşımı kullanarak kamçı etkisini azaltan yeni bir sipariş yenileme kuralı modellemişlerdir. OUT sipariş sistemlerinde hangi tahmin yöntemi kullanılırsa kullanılsın kamçı etkisi oluşacağını savunmuşlardır.

Disney ve Towill (2003) seri bağlı ve VMI tedarik zincirlerinin performanslarını karşılaştırmak amacıyla 2 kademeli bir tedarik zinciri ve simülasyon kullanarak talep dalgalanmasının stok kayıtlarına olan etkisinin VMI durumunda daha az olduğunu göstermişlerdir.

Lin ve diğ. (2003) dinamik bir model kullanarak sipariş verme politikası ve talep tahminlerini sistematik olarak incelemek amacıyla z-dönüşümü kullanarak talep tahminlerinde standart sezgisel sipariş politikaları uygulanması durumunda kamçı etkisinin kaçınılmaz olduğunu göstermişlerdir. PI gibi çeşitli kontrolörler kullanarak kamçı etkisinin kısa vadede azaltılabileceğini öne sürmüşlerdir.

Dejonckheere ve diğ. (2003) çok kademeli bir tedarik zincirinde müşteri talep bilgisinin tedarik zinciri basamakları arasında paylaşılması ile kamçı etkisini azaltmak amacıyla kontrol sistemleri mühendisliği yaklaşımları kullanarak OUT ve düzleştirme politikalarının ikisinde de bilgi paylaşımının kamçı etkisini azaltıp doğrusal boyutlara getirdiğini ancak sıfırlayamadığını göstermişlerdir.

Kimbrough ve diğ. (2002) yapay olarak kurulan bir E-TZ'nin kamçı etkisine karşı daha başarılı olup olmadığını görmek amacıyla model kurarak ve Bira Oyunu'ndan da faydalanarak analitik sonuçlara ulaşmanın zor olduğu durumlarda yapay faktörlerle daha olumlu sonuçlar alınabileceğini göstermişlerdir. Bu şekilde oluşturulan bir modelin daha büyük ve gerçek sistemlerde de kullanılabileceğini söylemişlerdir.

Dejonckheere ve diğ. (2002) doğrusal veya kuadratik üssel düzleştirme fonksiyonlarıyla kamçı etkisini ortadan kaldırmak amacıyla tahmin algoritmalarını tedarik zinciri modellerinde kontrol mühendisliği perspektifiyle kullanmışlardır. Sonuç olarak uygun filtre konsepti kullanılması durumunda özel tahmin algoritmalarının işe yarayabileceğini göstermişlerdir.

Kelle ve Millne (1999) (s, S) sipariş politikalarının sipariş farklılığı üzerine etkisi ve bu farklılığın sayısal ölçümünü görmek amacıyla bir tedarik zinciri modeli kurarak yüksek çeşitliliğin ve belirsizliğin negatif etkisinin düşük frekanslı siparişlerle azaltılabileceğini, eğer bu siparişler tedarik zinciri üyeleri için sipariş maliyetleri elde bulundurma maliyetlerinden küçükse ekonomik olduğunu söylemişlerdir.

Metters (1997) kamçı etkisini parasal terimlerle ifade etmenin önemini göstererek buna sebep olan etkilerin ve bu duruma uygun çözümlerin açıklamalarını kullanarak dinamik programlama ile kamçı etkisinin talep farklılığı ve mevsimselliğin bir sonucu olduğunu göstermiştir. Kamçı etkisini gidermenin, karlılığı %15 ila %30 oranlarında artırabileceğini söylemiştir.

4. KARARLILIK

4.1. Kontrol Sistemlerinde Kararlılık

Kontrol teorisine göre kararlılık, giriş verilerinin belirli sınırlar arasında olduğu sistemlerde çıkış verilerinin de belirli sınırlar arasında kalmasını belirten ifadedir. Eğer sistemin çıktıları sonsuza ıraksıyorsa ya da çıktılar salınım yapıyor haldeyseler bu sistem kararlı değildir (Nise, 2004).

Eğer bir kontrol sistemi kararlıysa, sistemin çıktılarının yeterli bir süre geçtikten sonra arzu edilen bir değere ulaşması gerekmektedir. Eğer sistemin çıktıları arzu edilen değere ulaşmayıp, aksine bu değerden gitgide uzaklaşıyorsa bu sistem kararsızdır. Eğer sistemin çıktıları arzu edilen değer belirlenen komşuluklarında salınım hareketi gösteriyorsa bu sistem osilasyondadır.

Eğer kararlı bir sistem herhangi bir etkenden dolayı kararlı yapısını bozuyorsa, artık sistem kararsız ya da osilasyondadır. Sistemin kararlılık yapısını bozabilecek bu etkenler ikiye ayrılır. Bunlardan birincisi tetikleyicilerdir.

Tetikleyiciler genel olarak, kararlı bir sistemi kararlılık durumundan uzaklaştıran ikincil etkenlerdir. Yani tetikleyiciler, herhangi bir etkeni aktif hale getirerek sistemin kararlı halinden uzaklaşmasına sebep olurlar (Nise, 2004). Tetikleyiciler iki gruba ayrılır. Bunlardan birincisi içsel tetikleyiciler, ikincisi ise dışsal tetikleyicilerdir.

Eğer tetikleyici görevi olan etken, sistemin yapısında bulunmayıp çevre sistemlerden dolayı ortaya çıkmışsa bu dışsal bir tetikleyicidir. Eğer tetikleyici görevi olan etken sistemin yapısında bulunuyorsa bu içsel bir tetikleyicidir.

Sistemin kararlılık yapısını bozabilecek diğer etken bozucu faktörlerdir. Bozucu faktörler kararlı bir sistemi kararlılık durumundan uzaklaştıran birincil yani doğrudan olan etkenlerdir. Bunlar herhangi başka bir etkeni aktif hale getirmeksizin doğrudan sistemin kararlılığına son verebilirler (Nise, 2004).

Kararlılık terimini gerçek hayatla kolayca bağdaştırabilecek bir örnekle açıklayabiliriz. Elimizde bir kap ve bu kabın içerisinde bir bilye olduğunu varsayalım. Bilye kabın içerisinde duruyorken kararlı haldedir ve eğer bir nedenden dolayı bilyenin kap içerisinde hareket etmesi sağlanmışsa, artık sistemin kararsız olduğundan bahsedilir. Eğer bilye harekete geçtikten sonra salınım yapmaya başlarsa bu sistem osilasyondadır.

Bilyeyi harekete geçirecek etken sistemin bir elemanıysa, bu etken içsel bir tetikleyicidir. Örneğin, bilyeyi parmağımızla oynatmamız sonucu bilyenin hareketlenip kararlı yapıyı bozması, bizim bilyeyle oynamamız durumunun bir içsel tetikleyici olduğunu gösterir. Eğer dışsal bir sebepten dolayı bu hareket oluştuysa, bu tetikleyici dışsal tetikleyicidir. Örneğin, rüzgardan dolayı bu bilyenin yer değiştirmesi durumu, rüzgarın dışsal bir tetikleyici olduğunu gösterir. Eğer bilyeyi harekete geçiren etken, sistemin yapısından kaynaklanıyorsa, bu etken bozucu faktördür. Örneğin, kabın iç yapısının eğik ya da pürüzlü oluşu sonucu bilyenin sabit bir noktada duramaması, kabın yapısının sistemin bozucu faktörü olduğunu gösterir.

Aynı kap ve bilyeyle bu sefer de kabı ters çevirerek ve bilyeyi kabın üstüne koyarak bir sistem kuralım. Bu, sistemin yeniden tasarlanması olarak algılanabilir. Eğer sistem yeniden tasarlandıysa, daha önceki etkenlerin bu sisteme olan etkileri de değişir. Örneğin, yeni durumda bilyenin kabın üstünden hareket ederek sistemi terketmesi için gereken durum, bilye kabın içerisindeyken kabın dışına çıkması durumuna göre çok daha kolaydır. Yani, sistemlerin aynı elemanlarla bile olsa yeniden tasarlanması sonucu, kararlılığı bozan tetikleyici ve bozucu faktörlerin etkileri azaltılıp, çoğaltılabilir.

4.2. Kararlılığın Formülizasyonu

Eğer sonlu bir $B > 0$ değeri için bir işaretin genliği hiçbir zaman B değerini aşmıyorsa, bu işaret sınırlıdır (Oppenheim ve diğ., 1997).

$h[n]$ ayrık zamanlı işaretler için uyarı cevabını, $h(t)$ de sürekli zamanlı işaretler için uyarı cevabını temsil eder. Uyarı cevabı, bir sistemin herhangi bir uyarana karşı verdiği tepki olarak açıklanabilir.

Sınırlı sistemler için uyarı cevapları şu şekilde gösterilebilir:

$$|h[n]| \leq B \quad \forall n \in Z \quad (3.1)$$

Yani ayrık zamanlı sistemlerde, karmaşık sayı olan her n değeri için sistemin uyarı cevabının mutlak değeri B değerinden büyük değildir ve sistem sınırlıdır.

$$|h(t)| \leq B \quad \forall t \in R \quad (3.2)$$

Yani sürekli zamanlı sistemlerde, reel sayı olan her t değeri için sistemin uyarı cevabının mutlak değeri B değerinden büyük değildir ve sistem sınırlıdır.

Doğrusal ve zamanla değişmeyen sistemler için zaman boyutundaki koşullara bakacak olursak; sürekli zamanlı, doğrusal ve zamanla değişmeyen bir sistem için kararlılık koşulu, sistemin uyarı cevabının mutlak integrallenebilir olmasıdır. Sürekli zamandaki gerek yeter koşul şu şekilde formülize edilir (Oppenheim ve diğ., 1997):

$$\int_{-\infty}^{\infty} |h(t)| dt = \|h\|_1 < \infty \quad (3.3)$$

Ayrık zamanlı, doğrusal ve zamanla değişmeyen bir sistem için kararlılık koşulu, sistemin uyarı cevabının mutlak toplanabilir olmasıdır. Ayrık zamandaki yeter koşul şu şekilde formülize edilir (Oppenheim ve diğ., 1997):

$$\sum_{n=-\infty}^{\infty} |h[n]| = \|h\|_1 < \infty \quad (3.4)$$

Bu yeterliliğin ispatı da açıklanmalıdır.

Ayrık zamanlı, doğrusal ve zamanla değişmeyen, girdisi $x[n]$, çıktısı $y[n]$ ve uyarı cevabı da $h[n]$ olan bir sistemde sistemin çıktısı, uyarı cevabının girdiyle konvolüsyonudur.

Yani:

$$y[n] = h[n] * x[n] \quad (3.5)$$

Burada * konvolüsyon operatörüdür. Konvolüsyon, istenilen çıkış indekse ulaştıran tüm giriş kombinasyonlarının değerler toplamıdır. Konvolüsyon operatörü şu şekilde tanımlanabilir:

$$y[n] = \sum_{k=-\infty}^{\infty} h[k]x[n-k] \quad (3.6)$$

Giriş işaretinin mutlak değerinin ($|x[n]|$) en büyük değeri $\|x\|_{\infty}$ olsun. Bu durumda

$$|y[n]| = \left| \sum_{k=-\infty}^{\infty} h[n-k]x[k] \right| \quad (3.7)$$

$$\leq \sum_{k=-\infty}^{\infty} |h[n-k]| |x[k]| \quad (\text{üçgen eşitsizliğinden})$$

$$\leq \sum_{k=-\infty}^{\infty} |h[n-k]| \|x\|_{\infty}$$

$$= \|x\|_{\infty} \sum_{k=-\infty}^{\infty} |h[n-k]|$$

$$= \|x\|_{\infty} \sum_{k=-\infty}^{\infty} |h[k]| \text{ olacaktır.}$$

Eğer $h[n]$ mutlak toplanabilirse, o halde $\sum_{k=-\infty}^{\infty} |h[k]| = \|h\|_1 < \infty$ ve

$\|x\|_{\infty} \sum_{k=-\infty}^{\infty} |h[k]| = \|x\|_{\infty} \|h\|_1$ olacaktır. Bu yüzden, eğer sistemin uyarı cevabı olan $h[n]$

mutlak toplanabilirse ve sistemin giriş işaretinin mutlak değeri olan $|x[n]|$ sınırlıysa, çıkış işareti olan $y[n]$ de sınırlıdır. Çünkü $\|x\|_{\infty} \|h\|_1 < \infty$ 'dur (Oppenheim ve diğ., 1997).

Doğrusal ve zamanla değişmeyen sistemler için frekans boyutundaki koşullara bakacak olursak; nedensel, rasyonel bir sürekli zamanlı sistem için kararlılık koşulu, laplace dönüşümün yakınsama bölgesinin karmaşık sayıların bulunduğu imajiner eksenini içermesidir.

Daha önce belirtilen zaman boyutundaki denklemlerden, frekans boyutu için olan kararlılık koşulu şu şekilde türetilir (Oppenheim ve diğ., 1997):

$$\begin{aligned}
\int_{-\infty}^{\infty} |h(t)| dt &= \int_{-\infty}^{\infty} |h(t)| |e^{-j\omega t}| dt & (3.8) \\
&= \int_{-\infty}^{\infty} |h(t)(1.e)^{j\omega t}| dt \\
&= \int_{-\infty}^{\infty} |h(t)(e^{\sigma + j\omega})^{-t}| dt \\
&= \int_{-\infty}^{\infty} |h(t)e^{-st}| dt
\end{aligned}$$

Burada $s = \sigma + j\omega$ ve $\text{Re}(s) = \sigma = 0$, yani s reel kısmı sıfır olan bir karmaşık sayıdır.

Nedensel, rasyonel bir ayrık zamanlı sistem için kararlılık koşulu, z -dönüşümünün yakınsama bölgesinin birim çemberi içermesidir. Ayrık zamanlı sistem için frekans boyutunda olan kararlılık koşulu sürekli zamanlı sistemdekine benzer bir şekilde türetilir (Oppenheim ve diğ., 1997):

$$\begin{aligned}
\sum_{n=-\infty}^{\infty} |h[n]| &= \sum_{n=-\infty}^{\infty} |h[n]| |e^{-j\omega n}| & (3.9) \\
&= \sum_{n=-\infty}^{\infty} |h[n](1.e)^{-j\omega n}| \\
&= \sum_{n=-\infty}^{\infty} |h[n](r.e^{j\omega})^{-n}| \\
&= \sum_{n=-\infty}^{\infty} |h[n]z^{-n}|
\end{aligned}$$

Burada $z = re^{j\omega}$ ve $r = |z| = 1$ 'dir. Yakınsama bölgesi bundan dolayı birim çemberi içerir.

4.3. Kararsız Bir Sistem Olarak Kamçı Etkisi

Kamçı etkisi daha önceki bölümde üreticiden son tüketiciye doğru giderken tedarik zinciri boyunca talep varyanslarındaki artış olarak tanımlanmıştı. Tedarik zinciri boyunca talep varyansının bu şekilde giderek artması ve olması arzulanan değerden uzaklaşması durumunu göze alırsak, kamçı etkisi gözlenen bir tedarik zincirinin

kararsız bir sistem oluşturduğundan söz edebiliriz. Eğer kamçı etkisi kararsız bir sistemi ifade ediyorsa, bu kararsız sistemi tekrar kararlı hale getirme çabaları da kamçı etkisini ortadan kaldırma çabalarına eşdeğer olacaktır. Bununla beraber bu sistemi kararsız yapıya sevkeden faktörlerin sistem teorisi içerisinde düzenli bir şekilde elde edilmesi sonucu da kamçı etkisine sebep olan etkenler sistematik bir biçimde gösterilmiş olacaktır.

Buna göre kamçı etkisinin tetikleyicileri, doğal talep çeşitliliğine bağlı olarak talep işaretini buna ek bir değişim katarak bozan faktörlerdir. Kamçı etkisinin bozucu faktörleri ise talep işareti tedarik zinciri boyunca ilerlerken, talep varyansını doğrudan artıran faktörlerdir.

Kamçı etkisinde yapılan bu tetikleyici ve bozucu faktör tanımları en son müşterinin talebinde bulunan talep varyansına bağlıdır. Buna göre hiç kamçı etkisi olmayan bir tedarik zinciri, pazar talebinde hiç dalgalanmaların olmaması sonucu değil, tedarik zinciri boyunca aynı talep çeşitliliğinin aktarılması sonucu oluşur. Ayrıca bu tanımların ayırt edilebilmesi sistem teorisi kullanılarak yapılabilir. Eğer kamçı etkisi bir sistem olarak ele alındıysa bu sisteme ait olan tanımları yapabilmek için de bu sisteme hakim olup bu sistemin içindeki ve dışındaki elemanları bilmek ve ayırmak gerekir. Bu sistemin denklemleri ve transfer fonksiyonu sistemin içindeki elemanlar için, giriş verisi de sistemin dışındaki elemanlar için kullanılabilir. Bu yüzden bozucu faktörler sadece transfer fonksiyonu üzerine yoğunlaşmıştır. Tetikleyicilerse dışarıdan olan girişlere bağlıdır.

Son olarak bu yapıda tanımlanan terimler bütün bir tedarik zincirini kapsamaktadır. Eğer bir tedarik zinciri yerine tek bir işletmeyi inceleyecek olursak, analiz edilen sistemin sınırları değişmiş olur. Örneğin, bir tedarik zinciri inceleniyorsa, zincirin bir basamağında makinelerin bozulması içsel bir tetikleyicidir. Ancak tek bir işletme inceleniyorsa aynı olay dışsal bir tetikleyicidir. Tetikleyiciler her zaman tetikleyici olarak kalırlar. Ancak bunların içsel veya dışsal olması yapılan analiz çeşidine göre değişmektedir.

Literatür incelemesi sonucu 6 tetikleyici ve 4 bozucu faktörden söz edilebilir (Miragliotta, 2006). Çizelge 4.1 bu faktörlerin neler olduğunu göstermektedir.

Çizelge 4.1 : Kamçı etkisine neden olan faktörler (Miragliotta, 2006).

İçsel tetikleyiciler	Dışsal tetikleyiciler	Bozucu faktörler
Süreç belirsizlikleri	Arz güvenilirliği	Gecikmeler ve geribeslemeler
Ölçüm hataları	Fiyat promosyonları	Akılcı olmayan karar verme
	Kıtlık oyunu	Sipariş yığınlama
	Finansal zaman sınırları	Modelleme hataları

Birinci içsel tetikleyici olan süreç belirsizlikleri analiz biriminin işlevsel süreci içerisinde meydana gelen stokastik olaylara bağlıdır. Taylor (1999) bu tarz tetikleyicileri ilk kez otomotiv tedarik zincirinde gözlemlemiştir. Gözlenen bu çeşitlilik amplifikasyonu makine güvenilirliği, kararsız süreç yeteneği ve arz güvenilirliği yüzündendir. Bu ilk iki faktör tipik birer süreç belirsizliğidir.

İkinci içsel tetikleyici olan ölçüm hataları muhasebe, tahmin ve performans ölçümleri gibi ölçümlerde görülen hatalardır. Örneğin, performans ölçüm sisteminde olan bir hatanın yanlış bir alarma neden olması sonucu ekstra üretim emrini tetikleyebilir. Ayrıca envanter seviyesinin yanlış ölçülmesi de dağıtım sürecinde bir gecikmeye sebep olabilir. Ancak bu noktada modelleme ve ölçüm hatalarını karıştırmamak gerekir. Ölçüm hataları, sistemin gücünü kontrol etme aşaması sırasında algılamalarda yapılan hatalardır. Modelleme hataları ise sistemin kendisinde bulunan ve bu sistemi doğrudan etkileyen hatalardır.

Dışsal tetikleyiciler yukarı yönde ve aşağı yönde dışsal tetikleyiciler olarak ikiye ayrılır. Taylor (1999) arz güvenilirliğini yukarı yönde dışsal tetikleyici olarak göstermiştir. Bunun işlevsel seviyedeki etkisi makine arızalarınınkine benzerdir.

Aşağı yönde dışsal tetikleyiciler doğal talep çeşitliliğini bozabilecek olaylara bağlıdır. En çok bilinenleri fiyat promosyonları ve kıtlık oyunudur.(Lee ve diğ., 1997a). Reklam kampanyaları fiyat promosyonlarına çok benzer olduğu için bu iki faktör beraber gösterilebilir. Finansal zaman sınırları da yapay olarak yönetim tarafından oluşturulan sınırlardır.

Tetikleyiciler arasında arz güvenilirliği ve zaman sınırlarına olan önem diğerlerine olandan çok az görünmektedir.

İlk iki bozucu faktör olan gecikmeler ve geribeslemeler ile akılcı olmayan karar verme, birbirleriyle en çok içiçe geçmiş olan faktörlerdir. Bu iki faktör sistematik düşünce sisteminden gelmektedirler. Sterman (1989) hizalama ve sabitleme sezgisellerinin, Bira Oyunu'nu karakterize eden gecikmeler ve geribeslemeleri yanlış anladığı için akıldışı olduğunu savunmuştur.

Üçüncü bozucu faktör yığınlamadır. Yığınlama kelimesine iki ayrı anlam yüklenebilir. Bunlardan birincisi analiz edilen sürecin eşik değerleri, süreksizlikleri ve kapasite kısıtları gibi etkenler tarafından tetiklenen doğrusal olmayan durumlardır. İkinci anlama göre, yığınlama için yapılan gruplama yalnızca miktarsal olarak değil zamansal olarak da yapılabilir. Bu durumda buna frekans yığınlaması, aksi halde miktar yığınlaması adı verilir (Miragliotta, 2006).

Dördüncü bozucu faktör modelleme hatalarıdır ve kontrol sistemleri tasarımcıları tarafından iyi bilinen bir konudur. Tipik modelleme hataları olarak yanlış yapılan muhasebe, tahmin ya da performans ölçümlerini verebiliriz.

Tetikleyiciler ve bozucu faktörlerin kamçı etkisini yaratma süreci farklı olduğu gibi, eğer kamçı etkisi oluşursa bu durumda yapılması gerekenler de tetikleyiciler ve bozucu faktörler durumlarında farklıdır.

Eğer kamçı etkisi tetikleyiciler tarafından oluşturulmuşsa, filtreleme hareketleri yapılmalıdır. Tetikleyiciler sisteme zarar vermeden ve kamçı etkisini başlatmadan önce onların filtrelenmeleri gerekmektedir. Bunun için özel yönetsel faaliyetler gereklidir. Süreç belirsizlikleri ve arz güvenilmezliği durumları stoklarla filtrelenebilir Ölçüm hataları üçgenleme ile fiyat promosyonları da her gün düşük fiyat politikalarıyla filtrelenip engellenebilir (Taylor, 1999).

Eğer kamçı etkisi bozucu faktörler tarafından oluşturulmuşsa yeniden tasarım hareketlerine ihtiyaç vardır. Bozucu bir faktörün elenmesi için kapsamlı bir yeniden tasarıma ihtiyaç vardır. Aslında gecikmeleri ve geribeslemeleri engellemek, kontrol modellerini gözden geçirmek, yığınlamadan kaçınmak için sistemin iç yapısı analiz edilmeli ve yeniden yapılandırılmalıdır. Bu yüzden bozucu faktörlerin elenmesi, sistemin transfer fonksiyonunu kararlı hale getirmek için zincir içerisinde geniş çapta hareketler içeren karmaşık bir durumdur.

5. KARARSIZ KAMÇI ETKİSİ DURUMUNA YENİ YAKLAŞIMLAR

5.1. Kamçı Etkisine Nedensellik Yaklaşımının Karmaşıklığı

Literatürde bulunan bu yaklaşım ile kamçı etkisi, kararsız bir sistem gibi görülüp, sistem teorisi içerisinde incelenmiştir. Bu sayede bu etkinin nedenleri açıkça gösterilebilip standart hale getirilmiş, bu nedenlerin kategorize edilmesi sonucu hangi nedenlerin hangi şekilde bu etkiye neden olduğu gösterilmiş, nedenlerden hangilerinin üzerinde daha çok durulduğu, hangilerine yeterince önem verilmediği öğrenilmiş, bu nedenlerin ne tarz yaklaşımlarla ortadan kaldırılabileceği sistem teorisi içerisinde daha anlaşılır bir ifadeyle ortaya koyulmuştur.

Ancak sistem teorisi içerisinde incelenen kamçı etkisine dair, sistem teorisi altında daha söylenecek çok şey vardır. Bu duruma ait çeşitli örnekler verecek olursak: Örneğin zaman faktörünün bu sistemle olan ilişkisi hiç irdelenmemiştir. Eğer bu etkiyi zaman ölçeğini de kullanarak inceleyecek olursak daha farklı bir tablo elde edebiliriz.

Süreç belirsizlikleri kısa vadede büyük sorun teşkil etmezler. Zamanın artmasıyla beraber, süreç belirsizliklerinin oluşturacağı sorunların şiddeti de artar. Eğer bu belirsizlikler sonucu oluşan maliyetler ciddi boyutlara gelirse önceden filtreleme ile çözülebilecek bu tetikleyiciden kaynaklanan sorun için belki de süreçlerin yeniden tasarlanması gerekli hale gelir. Bu durumda da önceden sistemde içsel tetikleyici faktör olan bu durum, bozucu faktör haline dönüşebilir.

Ölçüm hataları uzun ya da kısa vadeli zaman kavramından çok, yapılacak hata bünyesinde incelenmelidir. Örneğin hiç tahmin edilemeyen bir durumdan dolayı tedarik zincirinde bulunan üreticinin talep tahminlerinde hata yaptığını varsayalım. Ve eş zamanlı olarak toptancının Bira Oyunu'nda olduğu gibi ani bir kararla kendisinden bir anda fazla miktarda sipariş talep ettiğini varsayalım. Bu durumda sistemde içsel tetikleyici faktör olarak görülen bu durum, bu süre boyunca talep varyasyonunu artıracak bir etki olmaktan çıkıp, aksine bir filtre görevi görerek bu varyasyonu sabit tutma eğilimine girebilir. Zhang (2004) daha önce böyle bir

yapıdan söz ederek “no news is good news” adını verdiği felsefesiyle, bilgi eksiklikleri ya da yanlışlıkların zaman zaman olumlu sonuçlar doğurabileceğini dile getirmiştir. Ancak bu olayların olma ihtimalinin küçük olduğu tahmin edilebilir.

Arz güvenilirliği uzun vadede, tedarik zinciri elemanları arasında güven kaybına neden olacağı için sistemde tetikleyici faktör olarak görülür. Ancak bu durum sistemin yapısının değişmesine neden olabilir. Tedarik zincirinin küçülmesi, ya da zincir elemanlarının bir ya da birkaçının değişimi söz konusu olabilir. Bu durumda yeni bir sistem yaratılacağından bahsedilebilir. Yani arz güvenilirliğine tedarik zinciri elemanlarınca yeterli önem verilmezse oluşabilecek sorunların maliyeti, filtreleme yöntemiyle bu güvenilirliği sağlama maliyetinden çok daha fazla olabilir.

Fiyat promosyonları ve reklam kampanyaları kısa vadede sistemin kararlılığını bozmazlar. Ancak uzun vadede bu durumlar taleplerde önce ani bir artışa ve daha sonra da ani bir düşüşe neden olurlar. Daha önceki bölümlerde anlatıldığı gibi, fiyatı düşen ürün önce çokça talep edilir. Daha sonra müşterilerin ellerinde fazla miktarlarda olan stoklarını tüketmeye başlamasıyla talep bir anda normal halinden daha düşük bir seviyeye gelir. Her ne kadar bir kere fiyat dalgalanması gerçekleştiğinde en az 20 zaman periyodunda talep varyasyonunun eski haline geldiğinden söz edilmiş olsa da, bu noktada sistemin öğrenilebilirliği konusu çok önemlidir. Eğer üreticiler bu durumu doğru algılayıp fiyat promosyonlarını belirli aralıklarla gerçekleştirirlerse, talep varyasyonunun artmasını engelleyip, sistemi kararsızlıktan kurtarıp en azından osilasyonda hale getirebilirler. Bu durumda da karlılık bir artıp bir azalacağı için, o döneme ait diğer maliyetler bu durumun nasıl değerlendirilmesi gerektiğini ortaya koymakta yardımcı olurlar. Kıtık oyununun da fiyat dalgalanmaları gibi benzer bir duruma yol açacağı tahmin edilebilir.

Bozucu faktörler olan gecikmeler ile geribeslemeler ve akılcı olmayan karar verme doğrudan sistematik düşünce sisteminden geldiği için, bu faktörler sistemin kararlı haline her zaman engel teşkil ederler. Ancak rassal durumlarda, bu faktörler kararlılığı tehdit etmezler. Örneğin tedarik zincirinin bir basamağında oluşacak bir gecikme, ani bir talep düşüşü durumunu tolere edip, bozucu faktör konumundan sıyrılabilir.

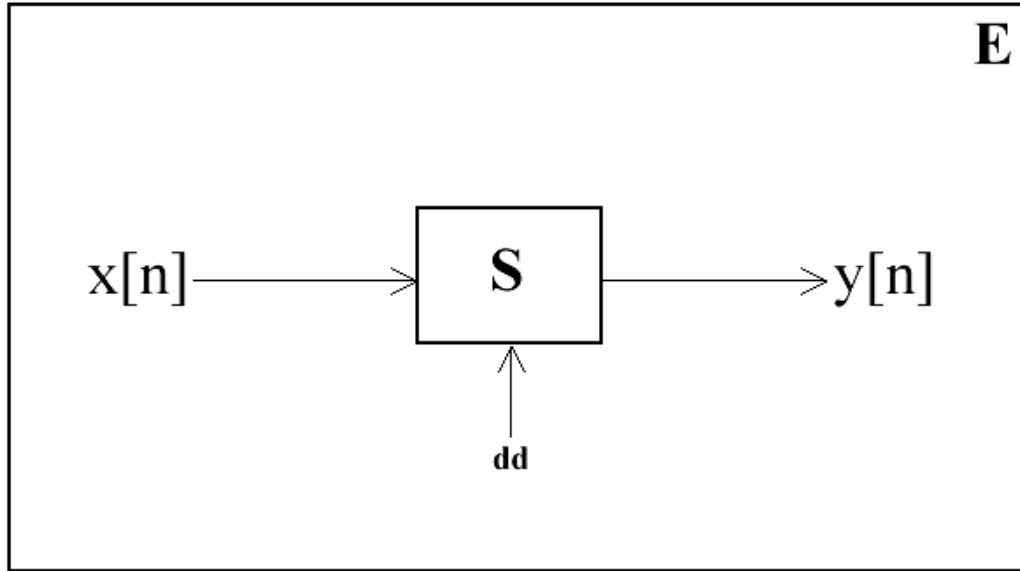
Sipariş yığılmala faktörü de sistemin öğrenilebilirliğiyle çok alakalıdır. Eğer uzun vadede devamlı sipariş yığınlama yapılıyorsa ve bu durum öğrenilirse, bozucu faktör olan bu etkenin kararsızlığa sebep olması ortadan kaldırılabilir.

Modelleme hataları sistemin içsel hatalarıdır. Kurulan modellerin yanlış veya eksik oluşu sistemi her zaman kararsız yapıya sokma eğilimindedir.

5.2. Kamçı Etkisinin Önlenmesinde Uyarı Cevabı Yaklaşımı

Yukarıda anlatıldığı gibi, kamçı etkisini engellemek ya da azaltmak amacıyla bu etkinin nedenlerinin incelenmesi karmaşık bir durumdur. Bu şekilde yapılan bir analizde her bir özel durum için nedenlerin tek tek ele alınması ve çok boyutta incelenmesi gereklidir.

Bir tedarik zincirini ele alalım. Tedarik zincirini sistem teorisi içerisinde Şekil 5.1'deki gibi gösterebiliriz:

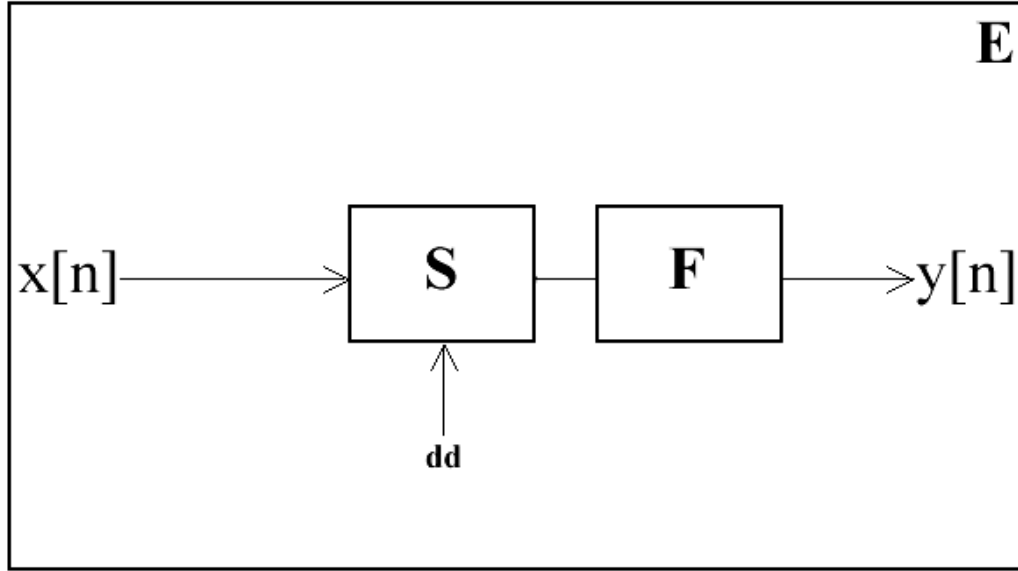


Şekil 5.1 : Bir sistem olarak tedarik zinciri.

Bu tedarik zincirinin girdisi $x[n]$, çıktısı $y[n]$ olsun. Bu durumda transfer fonksiyonu da $\frac{y[n]}{x[n]}$ olur. dd de durum değişkenlerini ifade etsin.

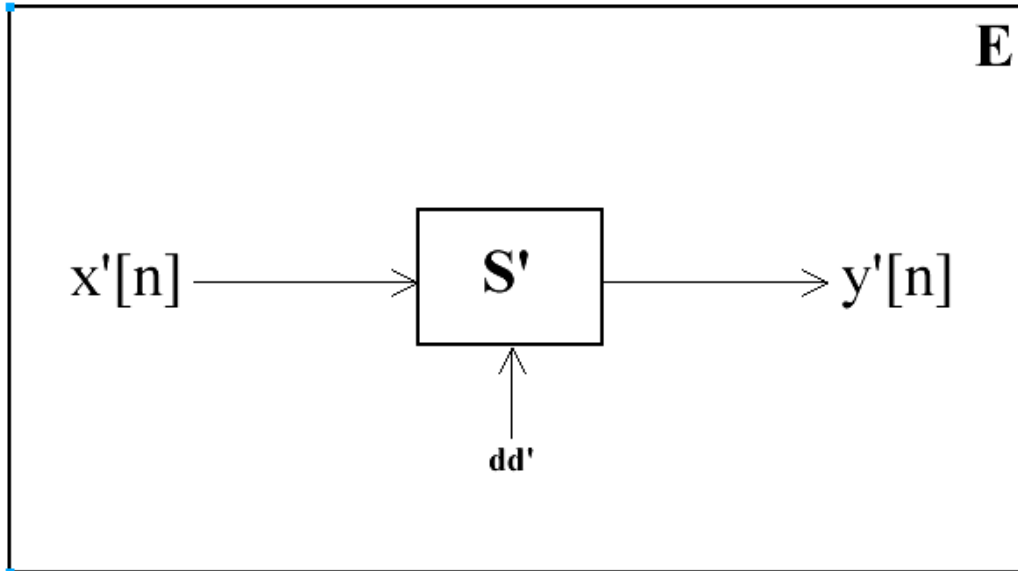
Eğer bu sistem kararsızsa yani bu sistemde kamçı etkisi gözlemlenmişse ve bu etkiden kurtulmak için kamçı etkisinin nedenlerine karşı önlemler almamız gerekiyorsa yeni sistemimizin görüntüsü farklı olacaktır.

Eğer kamçı etkisine neden olan bir tetikleyiciyse, sisteme uygun bir filtre koyulmalı ve tetikleyicinin bu etkisi ortadan kaldırılmaya çalışılmalıdır. Bu durum Şekil 5.2' de gösterilmiştir.



Şekil 5.2 : Bir tetikleyici sonucu sisteme filtre eklenmesi.

Eğer sistemin kararsız olmasının sebebi bir bozucu faktörse sistemin yeniden tasarlanması gerekmektedir. Bu durum Şekil 5.3'te gösterilmiştir.



Şekil 5.3 : Bir bozucu faktör sonucu sistemin yeniden tasarlanması.

Bozucu bir faktörün olması durumunda, transfer fonksiyonunun değişmesi amaçlanır ve tamamıyla yeni bir sistem tasarlanmış olur.

Görülebileceği gibi kamçı etkisi durumunda, bu etkiyi ortadan kaldırmak için buna neden olan unsurların incelenmesi durumu karmaşık ve dolayısıyla da maliyetlidir. Eğer bu etki henüz ortaya çıkmadan engellenebilirse daha etkili bir çözüm elde edilmiş olur.

Eğer kamçı etkisini formülle gösterecek olursak:

$$\frac{VarT(k)}{VarT(k-1)} > 1 \Rightarrow \text{kamçı etkisi var} \quad (5.1)$$

$$\frac{VarT(k)}{VarT(k-1)} \leq 1 \Rightarrow \text{kamçı etkisi yok}$$

yani talep varyanslarının oranı 1'den büyükse kamçı etkisi var demektir.

İçsel tetikleyiciler $t_{iç}$, dışsal tetikleyiciler $t_{dış}$, bozucu faktörler de bf olarak tanımlansın. Bu durumda kamçı etkisi içsel tetikleyicilerin, dışsal tetikleyicilerin ve bozucu faktörlerin bir fonksiyonudur:

$$KE = f(t_{iç}, t_{dış}, bf) \text{ olur.}$$

Kamçı etkisi aynı zamanda sistemin kendi karakteristiklerinin de bir fonksiyonudur:

$$KE = f(H)$$

Burada H , sistemin karakterinden dolayı oluşacak bir faktördür. Eğer $H = 0$ ise, sistem etkilere karşı vereceği tepkilere çok hakimdir ve kamçı etkisine engel olur.

Kamçı etkisi bir de sisteme ait diğer faktörlerin fonksiyonudur:

$$KE = f(\gamma)$$

γ diğer belirsiz ifadeleri belirten bir faktördür. Tesadüfi durumlar ve tanımlanmayan diğer etkenler bu faktörün içine dahildir.

Toparlayacak olursak kamçı etkisini şu şekilde formülize edebiliriz:

$$KE = f(t_{iç}, t_{dış}, bf, H, \gamma)$$

Bu durumu lojik ile göstermeye çalışalım. Kamçı etkisinin olması durumu 1, olmaması durumuna 0, tetikleyiciler ve bozucu faktörlerin tedarik zincirinde görülme

durumu 1, görülmeme durumu 0, sistemin karakteristik özelliklerinin kamçı etkisi oluşumuna izin verecek durumda olması 1, kamçı etkisine izin vermeyecek durumda olması 0, diğer faktörlerin kamçı etkisi oluşumuna izin verecek durumda olması 1, kamçı etkisine izin vermeyecek durumda olması 0 olsun.

Buradan yola çıkarak:

$$\left((t_{iç} \vee t_{dış} \vee bf) \wedge H \right) \vee \gamma = 1 \Rightarrow KE = 1 \quad (5.2)$$

$$\left((t_{iç} \vee t_{dış} \vee bf) \wedge H \right) \vee \gamma = 0 \Rightarrow KE = 0$$

H sistemin karakteristik özelliklerini yansıttığı için, kamçı etkisine karşı alınan önlemler olan bilgi paylaşımı, kanal işbirliği ve işlevsel verimlilik değerlerinin bir fonksiyonudur. Eğer bilgi paylaşımı, kanal işbirliği ve işlevsel verimliliğe dikkat edilerek H değeri değiştirilebiliyorsa, kamçı etkisini azaltmak ya da ortadan kaldırmak mümkündür denebilir.

Bu durumda $H = f(BP, KI, IV)$ diye belirtebiliriz.

Hatırlanacağı gibi ayrık zamanlı bir sistemde sistemin çıktısı $y[n] = h[n] * x[n]$ idi. Burada $h[n]$ sistemin uyarı cevabına karşılık geliyordu. Bir tedarik zinciri sistemini ele aldığımız zaman $h[n]$ uyarı cevabı, bu tedarik zincirinin herhangi bir parçasında oluşan bir etkiye, zincirin vereceği tepki olarak yorumlanır. Yani $h[n]$ tedarik zincirinin karakteristik özelliklerine bağlı bir yapıdır. Sistemin çıktısı olan $y[n]$ 'nin $h[n]$ 'ye bağlı değiştiği açıkça görüldüğü için, istenmeyen bir $y[n]$ çıktısını engellemek için $h[n]$ 'de değişiklikler yapmak gerekir.

Yani $h[n]$, H 'yi etkileyen faktördür.

Buradan da açıkça görülebileceği gibi sistemin uyarı cevabı olan $h[n]$, sisteme ait karakteristik özellikleri barındırır. Tedarik zinciri $h[n]$ 'e bağlı olarak kamçı etkisinin oluşmasını engelleyebilir. Bir sistemin yani burada tedarik zinciri sisteminin karakteristiklerini ne kadar çok değiştirebilirsek, $h[n]$ 'e o kadar çok hakim olunabilir. Bu da çıktı olan $y[n]$ 'i kontrol edebileceğimiz anlamına gelir.

Taylor (1999) tarafından da belirtildiği gibi, kamçı etkisine karşı alınması gereken önlemler olan ortak kararlar verilebilmesi için şirket arası takımların kurulması, insanların kamçı etkisi ve sebepleri konusunda eğitilmesi, kısa süreli talep farklılıkları durumdan bu soruna üretimle değil stoklarla cevap aramak ve sipariş yığılmasının engellenmesi için fiyat parametrelerinin modifikasyonu gibi işlemlerle sistemin uyarı cevabı olan $h[n]$ iyileştirilebilir ve bu da kamçı etkisinin kaldırılması için kullanılabilir.

Son olarak, kamçı etkisiyle mücadelede uyarı cevabının iyileştirilmesi gereği, daha önce bahsedilen düşünce sistemleri içerisinde işletmesel sistemin sistematik sisteme göre daha etkili olacağını göstermektedir.

Sistem dinamikleri sistemlerdeki problemlerin çözülmesinde etkilidir. Eğer olası nedensel faktörler tanımlanır ve onların sisteme olan etkisi miktarsal olarak ölçülüp değerlendirilirse, bu faktörlerin ortadan kaldırılması ya da azaltılmasıyla sistemin performansı geliştirilebilir. Tedarik zincirinin tasarlanması sırasında da sistem dinamiklerinden faydalanılması, sistemin davranışını ve bunun altında yatan nedenleri anlamak için yeni bir bakış açısı kazanılmasını sağlar. Bununla birlikte sistemin verimliliği, sağlamlığı ve yeniden tasarımı güçlendirilebilir (Fiala, 2005).

Bir tedarik zincirinde alt basamaklardan üst basamaklara doğru giderken oluşan varyasyon olarak tanımlanan kamçı etkisi de sistem dinamiklerinin tedarik zincirlerindeki en belirgin kanıtıdır.

Tedarik zinciri içerisindeki eğitim ve haberleşmenin karar verme sürecinde etkisi büyüktür. Eğer eğitim, zincir içerisinde bilgi paylaşımı ve haberleşme ile beraber yürütülüyorsa sipariş dalgalanmaları azalır ve performans artar. Bu nedenle bir tedarik zincirinin kararsızlığı, tedarik zinciri üyeleri arasındaki yetersiz koordinasyon sonucu oluşur denebilir. Eğitim ile bireylerin bilgisi artar ve verilen kararların kaliteleri gelişir. Haberleşme ile de bireysel öğrenme kolaylıkla koordine organizasyonel işlere aktarılır. Bu da sistem performansını artırır (Wu ve Katok, 2006).

Agrawal ve diğ. (2009) ele aldıkları çalışmalarında, arz miktarı sonsuz olan bir üretici, bir toptancı, bir perakendeci ve bir son müşterinin bulunduğu bir tedarik zincirini incelemiştir. Bu zincire ait diğer bilgiler şöyledir:

Toptancıya ait gecikme süresi K , perakendeciye ait gecikme süresi L , gözlemlenen talep miktarı z , perakendecinin sipariş miktarı q , toptancının sipariş miktarı r ve kullanılan modeller için korelasyon katsayısı ϕ 'dir. Bu değerlere göre toptancı ve perakendecide oluşan kamçı etkisi ifade edilmiştir.

Perakendecide görülen kamçı etkisi:

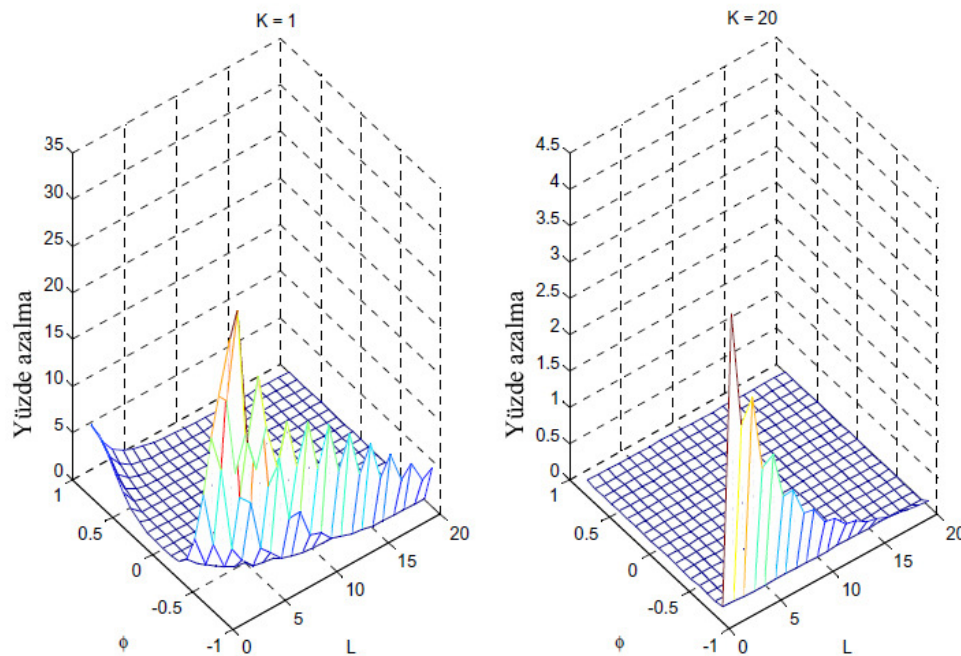
$$KE = \frac{Var(q)}{Var(z)} = \left[\frac{(1-\phi^2)(1-\phi^{L+1})^2 + (\phi^{L+1})^2(1-\phi)^2}{(1-\phi)^2} \right] \quad (5.3)$$

Toptancıda görülen kamçı etkisi:

$$KE = \frac{Var(r)}{Var(z)} = \left[\frac{(1-\phi^2)(1-\phi^{L+K+1})^2 + (\phi^{L+K+1})^2(1-\phi)^2}{(1-\phi)^2} \right] \quad (5.4)$$

İki denklemin farklı noktası, toptancı için olan kamçı etkisinde kullanılan gecikme süresinin, toplam gecikme sürelerinin toplamı, yani $K + L$ olarak alınmasıdır.

Bu çalışmada, kullanılan tedarik zincirinde bilgi paylaşımı olması ve olmaması durumlarında kamçı etkisindeki yüzdesel azalma Şekil 5.4'te şu şekilde gösterilmiştir:



Şekil 5.4 : Değişen K ve kamçı etkisinde yüzdesel azalma (Agrawal ve diğ., 2009).

Kamçı etkisinin değişen K ve L değerleri için azalma oranı yüzde olarak gösterilmiştir. Buna göre K değeri ne kadar azaltılırsa, kamçı etkisi de o kadar azalacaktır. Kamçı etkisinin tamamen ortadan kaldırılabilmesi için ya gecikme sürelerinin 0 olması ya da korelasyon katsayısının 0 olması gerekmektedir (Agrawal ve diğ., 2009).

Tedarik zincirinde bilgi paylaşımı, sistemi iyileştirmeye yönelik bir çabadır ve uyarı cevabını da iyileştirir. Ancak sadece sistemin eniyileştirilmesi durumunda uyarı cevabı da eniyileşecek ve H değeri 0 olacaktır. Yukarıda verilen örneği tekrar inceleyecek olursak, gecikme sürelerinin oluşumu sistemde bozucu faktörler olarak ele alınır. Sadece bilgi paylaşımı kullanılması, sistemin iyileştiğini ancak eniyileşmediğini gösterir. Bu durumda kamçı etkisi azalacak ancak H değeri 0 olmayacaktır.

Yani:

$$bf = 1$$

$$H \neq 0 \Rightarrow H = 1$$

Tesadüfi etkenlerin de kamçı etkisine neden olmayacağını varsayarak:

$$\gamma = 0$$

$$KE = ((t_{iç} \vee t_{dış} \vee bf) \wedge H) \vee \gamma = (1 \wedge 1) \vee 0 = 1 \text{ 'dir. Yani kamçı etkisi vardır.}$$

Bilgi paylaşımı durumunda bile kamçı etkisinin görülmesi bu şekilde açıklanabilir.

Yukarıdaki örnekte bahsedilen, kamçı etkisini 0 olma koşullarından bir diğeri, kullanılan korelasyon katsayısının 0 olmasıydı. Agrawal ve diğ. (2009) korelasyon katsayısının 0 olmasının ancak sistemdeki tüm rassal değişkenlerin bağımsız ve özdeş dağılımlı olması durumunda ortaya çıkacağını belirtmiştir. Bu durum yalnızca sistemin eniyileştirilmesi sonucu elde edilir. Sistemin eniyileşmesi sonucu zaten H değeri de sıfırlanacaktır.

Eğer sistem eniyileştirilirse:

sistemin eniyileştirilmesi \Rightarrow rassal değişkenlerin bağımsız ve özdeş dağılımlı olması

rassal değişkenlerin bağımsız ve özdeş dağılımlı olması $\Rightarrow \phi = 0$

Aynı sonuca şu şekilde de ulaşabiliriz:

sistemin eniyileştirilmesi $\Rightarrow H = 0$

$bf = 1$

$H = 0$

Tesadüfi etkenlerin de kamçı etkisine neden olmayacağını varsayarak:

$\gamma = 0$

$KE = ((t_{iç} \vee t_{dış} \vee bf) \wedge H) \vee \gamma = (1 \wedge 0) \vee 0 = 0$ 'dır. Yani kamçı etkisi yoktur.

Özetleyecek olursak, sistemin iyileştirilmesi, uyarı cevabının iyileştirilmesidir. Bu iyileştirme kamçı etkisinin azalmasını sağlayacaktır. Ancak kamçı etkisinin tamamen ortadan kaldırılması ve 0 değerini alması için iyileştirme değil eniyileştirme gereklidir. Bu yaklaşım teoride gerçekleşebilir. Ancak pratikte de kamçı etkisini iyileştirme çabalarının yoğunluğu arttıkça, iyileştirme çabaları eniyileştirme çabalarına yakınsayacaktır.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Tedarik zinciri ve tedarik zinciri yönetiminin her geçen gün değer kazandığı günümüzde, şüphesiz ki tedarik zinciri elemanları zincirde oluşan belirsizliklere ve sorunlara karşı kayıtsız kalamazlar. Tedarik zincirinde görülen en büyük sorunlardan bir tanesi olan kamçı etkisine karşı da sergilenen durum bu şekildedir. Zaten bu etkinin ne kadar ciddiye alınıp ivedilikle halledilmesi gereken bir problem olarak algılandığı, bugüne kadar kamçı etkisi üzerine yapılan çalışmalardan da anlaşılabilir.

Kamçı etkisi hakkında günümüze dek yapılan pek çok çalışma bulunmaktadır. Yapılan bu çalışmalar belirli ortak noktalarından dolayı kabaca gruplandırılabilse de bu çalışmalarda kullanılan modeller, kamçı etkisine olan yaklaşımlar, ele alınan tedarik zincirlerinin yapısı gibi pek çok etken aslında birbirlerinden çok farklıdır. Kamçı etkisinin azaltılması ya da yok edilmesi çabalarıyla yapılan bu çalışmalarda pek çok farklı etkenin bulunmasından dolayı, bu çalışmaların sonuçları da birbirlerinden çokça farklılık göstermektedir. Elde edilen sonuçlar ancak ele alınan modele, yaklaşıma ve tedarik zincirine has çareler getirmektedir. Bu nedenle, kamçı etkisini incelerken ilk yapılması gereken şeylerden biri de, bu etkiye ait tüm olguların standart hale getirilmesidir. Yalnız bu olguların standart hale getirilmesi durumunda, daha önce yapılan çalışmalar birbirlerinin eksikliklerini giderebilecek, yapılacak yeni çalışmalar da bu doğrultuda daha sağlıklı olacaktır. Bu alanda çalışan araştırmacıların, ortak bir dilde konuşmadıkları bir duruma çözüm getirmeleri bir hayli zordur.

Bahsedilen sebeplerden dolayı bu tez çalışmasında ilk olarak, tedarik zinciri ve kamçı etkisi üzerine pek çok tanımlama yapılmış, kamçı etkisinin farklı bakış açılara göre farklı şekilde değerlendirilişi incelenmiştir. Daha sonra literatür taraması yapılarak, kamçı etkisine karşı yapılan çalışmalarda hangi amaçların güdüldüğü, hangi veri kaynakları ve metodların kullanıldığı ve ne sonuçlar elde edildiği belirtilmiştir. Literatür taraması sonucu elde edilen geçmiş bilgilerden faydalanarak kamçı etkisi olgularının hangi tarz bir yaklaşımla standart hale getirilebileceği düşünülüp, ona göre bir yaklaşım yöntemi seçilmiştir.

Kamçı etkisi kısaca tedarik zinciri boyunca oluşan talep varyansının amplifikasyonudur. Bu etki, zincir boyunca büyüyerek ilerlediği için tahmin edilemeyecek kadar çok büyük maddi zararlara yol açmaktadır. Kamçı etkisinin bu denli yüksek maliyetlere sebep oluşundan ortaya çıkacağı üzere, bu etkinin sebep olduğu çözümleri güç problemler, etkinin kendisinin karmaşık yapısından kaynaklanmaktadır. Bu nedenle, kamçı etkisini azaltmak ya da ortadan kaldırmak için yapılan çalışmalarda, araştırmacılar kamçı etkisini sistematik bir problem olarak ele alıp ona göre çözüm önerileri geliştirmelilerdir.

Bu kapsamda kamçı etkisinin, kararlılığı bozulmuş bir sisteme benzetilerek irdelenmesi başarılı sonuçlar doğurabilecek bir yaklaşım tarzıdır. Eğer bu etki bir sisteme benzeterek ele alınabilirse, bu etkiye ait neden, sonuç, kendisine karşı kullanılacak çözümler gibi olguları, sistem olgularıyla örtüştürülebilir ve sistem kararlılığı bozulunca yapılan yeniden kararlı hale getirme ya da kararsızlığa ulaşmadan önce yapılan önleyici hareketler, kamçı etkisi durumunda da uygulanabilir.

Bundan dolayı bu tez çalışmasında kamçı etkisi, kararsız ya da kararlılığı bozulmuş bir sistem olarak ele alınıp incelenmiştir. Daha sonra, sistem teorisinde bulunan kararlılığı bozan faktörlerin sınıflandırılması işlemi, kamçı etkisi üzerinde denenmiş, kamçı etkisine neden olan faktörler bu kapsamda gruplara ayrılmıştır. Bu durum, kamçı etkisi bir sistem olarak ele alındığı zaman, kendisine ait olguların standart hale getirilebilmesi anlamına gelmektedir.

Sistem yapısı ele alındığı zaman, sisteme ait olguların belirtilmesi gayet kolaydır. Çünkü sistemlerde bu olgular standart haldedir. Ancak sistem yapısının karmaşık tarafı, sistemin dinamiklerindedir. Örneğin, bir sistemin zaman boyutu olmaksızın incelenmesi yeterli değildir. Çünkü sistemler, zaman boyutunun birer fonksiyonudur. Ayrıca sistemlerin iç yapıları da bu sistemlerin karmaşıklığında etkilidir. Örneğin, bir sistemin öğrenme yetisi daha önceki durumlardan yola çıkarak aynı durumlarla tekrar karşılaştığı zaman daha kolay hareket edebilmesine imkan sağlar. Eğer sistemler bu yetiye sahipse, sistemlerin önceden karşılaştığı güçlükler ve sorunlar, belirli bir zaman geçtikten sonra daha etkisiz kalabilir veya tamamen ortadan kalkabilir.

Bu nedenle bu tez çalışmasının son kısmında, sistem teorisi altında incelenen kamçı etkisi üzerine yeni yaklaşımlar getirilmiş, aslında bu etkinin ne kadar karmaşık olduğu ve getirilebilecek yeni yaklaşımlarla, basit bir sistem modelinin aksine zaman boyutunun da dahil olduğu karmaşık bir sistem modeli kurulması gerektiği gösterilmiştir.

Son bölümde ayrıca, tedarik zincirinin karakteristiklerinin zincirde oluşabilecek kamçı etkisinin ortaya çıkmasında ne kadar önemli olduğu gösterilmiş, bu karakteristik özelliklerin zincirin uyarı cevabı olan yani zincirde oluşabilecek etkilere zincirin vereceği tepki olan $h[n]$ ile bağlantılı olduğu, $h[n]$ 'nin ne kadar çok geliştirilirse kamçı etkisi olma durumunun da o kadar azaltılabileceği anlatılmıştır. Bu nedenle $h[n]$ 'nin geliştirilmesi adına faydalı olan bilgi paylaşımı, kanal işbirliği ve işlevsel verimliliğin ne denli önemli olduğu açıklanmıştır. Kamçı etkisinin nedenlerinin bulunup bunların giderilmeye çalışılmasının, zincirin karakteristik özelliklerinin iyileştirilerek kamçı etkisini ortadan kaldırma çalışmasına göre daha karmaşık olduğu ve bu yüzden bu etkiyle mücadelede önceliğin tedarik zincirinin yapısını geliştirmek olduğu vurgulanmıştır.

Kamçı etkisi üzerine yapılan diğer çalışmalarda başarılı olan bir modelleme bulanık mantıktır. Bu modelleme ile yapılan çalışmalarda, karmaşık bir yapısı olan kamçı etkisinin karmaşık bir ortamda incelenmesi gereğinden bahsedilmiş ve bu çalışmalar neticesinde genellikle kamçı etkisini ciddi oranda azaltabilecek başarılı sonuçlar elde edilmiştir.

Gelecek çalışmaları için kamçı etkisinin benzer bir şekilde kontrol mühendisliği yaklaşımı ile ele alınıp, sistem teorisi altında incelenmesinin, bu etkiyle mücadele için öncelikli olarak tedarik zincirinin yapısının geliştirilmesinin ve kullanılacak verilerin bulanık mantık çerçevesinde olmasının çok başarılı sonuçlar ortaya çıkaracağını düşünmekteyim.

KAYNAKLAR

- Agrawal, S., Sengupta, R.N., Shanker, K.,** 2009. Impact of information sharing and lead time on bullwhip effect and on-hand inventory, *European Journal of Operational Research*, **192**, 576–593.
- Aktas,** 2005. Muhasebe ve Finansman Alanında Dış Kaynak Kullanımı, T.C. İstanbul Ticaret Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Muhasebe ve Denetim Yüksek Lisans Programı, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Bitirme Projesi, İstanbul: Temmuz.
- Balana,S., Vrat, P., Kumarc, P.,** 2009. Information distortion in a supply chain and its mitigation using soft computing approach, *Omega*, **37**, 282 – 299
- Bayraktar, E., Koh, S.C.L., Gunasekaran, A., Sari, K., Tatoglu, E.,** 2008. The role of forecasting on bullwhip effect for E-SCM applications, *International Journal of Production Economics*, **113**, 193-204.
- Blackburn, J.D. (Ed.),** 1991. Time-Based Competition, *Business One Irwin*, Homewood.
- Burbidge, J.L.,** 1961. The new approach to production, *Production Engineer*, **40**, 769–784.
- Burbidge, J.L.,** 1984. Automated production control with a simulation capability, *Proceedings of IFIP Conference*, Copenhagen, 1–14.
- Caloiero, G., Strozzi, F., Comenges, J.Z.,** 2008. A supply chain as a series of filters or amplifiers of the bullwhip effect, *International Journal of Production Economics*, **114** , 631– 645.
- Carbonneau, R., Laframboise, K., Vahidov, R.,** 2008. Application of machine learning techniques for supply chain demand forecasting, *European Journal of Operational Research*, **184**, 1140–1154.
- Chandra, C., Grabis, J.,** 2005. Application of multi-steps forecasting for restraining the bullwhip effect and improving inventory performance under autoregressive demand, *European Journal of Operational Research*, **166**, 337–350.
- Chen, F., Drezner, Z., Ryan, J.K., Simchi-Levi, D.,** 2000. Quantifying the Bullwhip Effect in a simple supply chain: The impact of forecasting, lead times and information. *Management Science*, **46**, 436–443.
- Dejonckheere, J., Disney, S.M., Farasyn, I., Jenssen, F., Lambrecht M., Towill, D.R., van de Velde, W.,** 2002. Production and inventory control: *The variability tradeoff*, *Proceedings of the 2002 Euroma Conference*, Vol. 1, 379–390.

- Dejonckheere, J., Disney, S.M., Lambrecht, M. R., Towill, D.R.,** 2003, Measuring the Bullwhip effect: A control theoretic approach to analyse forecasting induced Bullwhip in order-up-to policies, *European Journal of Operational Research* **147**, 567-590.
- Dejonckheere, J., Disney, S.M., Lambrecht, M.R., Towill, D.R.,** 2002. Transfer function analysis of forecasting induced bullwhip in supply chains, *Int. J. Production Economics*, **78**, 133-144.
- Dejonckheere, J., Disney, S.M., Lambrecht, M.R., Towill, D.R.,** 2004. The impact of information enrichment on the Bullwhip effect in supply chains: A control engineering perspective, *European Journal of Operational Research*, **153**, 727–750.
- Disney, S.M., Towill, D.R.,** 2003. The effect of Vendor Managed Inventory dynamics on the Bullwhip Effect in supply chains, *International Journal of Production Economics*, **85**, 199–215.
- Duc, T.T.H., Luong, H.T., Kim, Y.,** 2008. A measure of bullwhip effect in supply chains with a mixed autoregressive-moving average demand process, *European Journal of Operational Research*, **187**, 243–256.
- Dursun, A.,** 2001, Tam Zamanında Üretim (TZÜ) Sisteminde Standart Maliyet Fark Analizleri, *Muhasebe ve Denetim Bakış*, Yıl: 1, Sayı:2, Ocak.
- Edghill, J.S., Olsmats, C.M.G., Towill, D.R.,** 1988. Industrial case study on the sensitivity of a close-coupled production distribution system, *International Journal of Production Research*, **26**, 1681–1693.
- El-Beheiry, M., Wong, C. Y., El-Kharbotly, A.,** 2004. Empirical quantification of the Bullwhip Effect, *Proceedings of the 13th Working Seminar on Production Economics*, Vol. **3**, 259–274.
- ERP-ONLINE** <<http://erp.karmabilgi.net/tedarik-zinciri-nedir/>>, alındığı tarih 29.05.2010.
- Fiala, P.,** 2005. Information sharing in supply chains, *Omega*, **33**, 419-423.
- Forrester, J.W.,** 1961. *Industrial Dynamics*, MIT Press, Cambridge.
- Forrester, J.W.,** 1980. System Dynamics—Future Opportunities, *TIMS Studies in the Management Sciences*, **14**, 7–21.
- Fransoo, J.C., Wouters, M.J.F.,** 2000. Measuring the Bullwhip Effect in the supply chain, *Supply Chain Management: An International Journal*, **5**, 78–89.
- Gaalman, G.,** 2006. Bullwhip reduction for ARMA demand: The proportional order-up-to policy versus the full-state-feedback policy, *Automatica*, **42**, 1283 – 1290.
- Gaalman, G., Disney, S.M.,** 2006. State space investigation of the bullwhip problem with ARMA(1,1) demand processes, *Int. J. Production Economics*, **104**, 327–339.
- Geary, S., Disney, S.M., Towill, D.R.,** 2006. On bullwhip in supply chains—historical review, present practice and expected future impact, *International Journal of Production Economics*, **101**, 2–18.

- Gullien, G., Mele, F.,D., Bagajewicz M.J., Espuna A. ve Puigjaner, L., 2005.** Multiobjective supply chain design under uncertainty, *Chemical Engineering Science*, **60**, 1535-1553.
- Gupta, A. ve Maranas, C.D., 2003.** Managing demand uncertainty in supply chain planning, *Computer an Chemical Engineering*, **27**, 1219- 1227.
- Haughton. M.A., 2009.** Distortional Bullwhip Effects on carriers, *Transportation Research Part E*, **45**, 172–185.
- Hosoda, T., Disney, S.M., 2006.** On variance amplification in a three-echelon supply chain with minimum mean square error forecasting, *Omega*, **34**, 344 – 358.
- Hsieh, K., Chen, Y.K., Shen, C.C., 2007.** Bootstrap confidence interval estimates of the bullwhip effect, *Simulation Modelling Practice and Theory*, **15**, 908–917.
- Hull B., 2005.** The role of elasticity in supply chain performance, *International Journal of Production Economics*, **98**, 301–314.
- Jaksic, M., Rusjan, B., 2008.** The effect of replenishment policies on the bullwhip effect: A transfer function approach, *European Journal of Operational Research*, **184**, 946–961.
- Kabak, Ö., Ülengin, F., 2009.** Tedarik Zinciri Planlamaya olabirsel doğrusal programlama yaklaşımı, *İtü Dergisi*, **4**, 127-136.
- Kelepouris, T., Miliotis, P., Pramadari, K., 2008.** The impact of replenishment parameters and information sharing on the bullwhip effect: A computational study, *Computers & Operations Research*, **35**, 3657–3670.
- Kelle, P., Millne, A., 1999.** The effect of (*s*, *S*) ordering policy on the supply chain, *International Journal of Production Economics*, **59**, 113-122.
- Kim, I., Springer, M., 2008.** Measuring endogenous supply chain volatility: Beyond the bullwhip effect, *European Journal of Operational Research*, **189**, 172–193.
- Kim, J.G., Chatfield, D., Harrison, T.P., Hayya, J.C., 2006.** Quantifying the bullwhip effect in a supply chain with stochastic lead time, *European Journal of Operational Research*, **173**, 617–636.
- Kimbrough, S.O., Wu, D.J., Zhong, F., 2002.** Computers play the beer game: can artificial agents manage supply chains?, *Decision Support Systems*, **33**, 323– 333.
- Lambrecht, M.R., Dejonckheere, J., 1999.** A Bullwhip Effect explorer, *Research Report 9919*, Department of Applied Economics, Katholieke Universiteit, Leuven, Belgium.
- Lee, H.L., Padmanabhan, V., Whan, S., 1997b.** Information distortion in a supply chain: The Bullwhip Effect, *Management Science*, **43**, 546–558.

- Lee, H.L., Padmanabhan, V., Whang, S.,** 1997a. The Bullwhip Effect in Supply Chains, *Sloan Management Review*, **38**, 93–102.
- Lin, P., Jang, S., Wong, D.S.,** 2003. Dynamical Suplly Chains Analysis Via a Linear Discrete model-A Study of z-Transform Modeling and Bullwhip Effects Simulation, *Process Systems Engineering*.
- Lin, P., Wong, D.S., Jang, S., Shieh, S.S., Chu, J.,** 2004. Controller design and reduction of bullwhip for a model supply chain system using z-transform analysis, *Journal of Process Control*, **14**, 487–499.
- Lummus, R.R., Duclos, L.K., Vokurka, R.J.,** 2003. The impact of marketing initiatives on the supply chain, *Supply Chain Management*, **8**, 317–323.
- Luong, H.T.,** 2007. Measure of bullwhip effect in supply chains with autoregressive demand process, *European Journal of Operational Research*, **180**, 1086–1097.
- Luong, H.T., Phien, N.H.,** 2007. Measure of bullwhip effect in supply chains: The case of high order autoregressive demand process, *European Journal of Operational Research*, **183**, 197–209.
- Machuca, J. A. D., Barajas, R. P.,** 2004, The impact of electronic data interchange on reducing bullwhip effect and supply chain inventory costs, *Transportation Research, Part E* **40**, 209-228.
- Makui, A., Madadi, A.,** 2007. The bullwhip effect and Lyapunov exponent, *Applied Mathematics and Computation*, **189**, 35–40.
- McCullen, P, Towill, D.R.,** 2001. Practical Ways of Reducing the Bullwhip: The Case of the Glosuch Global Supply Chain. <http://www.littoralis.info/iom/assets/2000120124.pdf> (2004, Oct. 10).
- Metters, R.,** 1997. Quantifying the bullwhip effect in supply chains, *Journal of Operations Management*, **15**, 89-100.
- Miragliotta, G.,** 2006. Layers and mechanisms: A new taxonomy for the Bullwhip Effect, *Inernational Journal of Production Economics*, **104**, 365–381.
- Mula, J., Poler, R., Garcia-Sabater, J.P. ve Lario F.C.,** 2006. Models for production planning under uncertainty: A review. *International Journal of Production Economics*, **103**, 271-285.
- Naish, H.F.,** 1994. Production smoothing in the linear quadratic inventory model, *Quarterly Journal of Economics*, **104**, 864–875
- Nise, N.,** 2004. *Control Systems Engineering*, Wiley & Sons, 324-351
- Oppenheim, A.V. ve Willsky, A.S.,** 1997. *Signals and Systems*, Second Edition., Prentice Hall India, 423-465
- Ouyang, Y.,** 2007. The effect of information sharing on supply chain stability and the bullwhip effect, *European Journal of Operational Research*, **182**, 1107–1121.

- Ouyang, Y., Daganzo, C.,** 2008. Robust tests for the bullwhip effect in supply chains with stochastic dynamics, *European Journal of Operational Research*, **185**, 340–353.
- Ouyang, Y., Li, X.,** 2010. The bullwhip effect in supply chain networks, *European Journal of Operational Research*, **201**, 799–810.
- Paksoy, T. Ve Keskin, E.,** 2006. Tedarik Zincirinde Bilgi Çarpıtmasının Etkisi: Kırbaç Etkisi, *selçuk üniversitesi sosyal bilimler enstitüsü dergisi*.
- Potter, A., Disney, S.M.,** 2006. Bullwhip and batching: An exploration, *International Journal of Production Economics*, **104**, 408–418.
- Riddalls, C.E., Bennett, S.,** 2001. Optimal control of batched production and its effect on demand amplification, *International Journal of Production Economics*, **72**, 159–168.
- Rinks, D.B.,** 2002. System dynamics in supply chains, *Proceedings of the 2002 Euroma Conference*, Copenhagen, 443–457.
- Sarı, K.,** 2006, Ortaklaşa planlama, tahmin ve ikmal yönteminin tedarik zinciri performansına etkileri, *Doktora Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Senge, P.M.,** 1990. *The Fifth Discipline*, Doubleday, New York.
- Senge, P.M., Sterman, J.D.,** 1992. System thinking and organisational learning: Acting locally and thinking globally in the organisation of the future, *European Journal of Operational Research*, **59**, 137–145.
- Sheu, J.B.,** 2005. A multi-layer demand-responsive logistics control methodology for alleviating the bullwhip effect of supply chains, *European Journal of Operational Research*, **161**, 797–811.
- Sterman, J.D.,** 1989. Modelling managerial behaviour: Misperception of feedback in a dynamic decision making experiment, *Management Science*, **35**, 321–339.
- Sucky, E.,** 2009. The bullwhip effect in supply chains—An overestimated problem?, *Int. J. Production Economics*, **118**, 311–322
- Taylor, D.H.,** 1999. Measurement and analysis of demand amplification across the supply chain, *International Journal of Logistics Management*, **10**, 55–70.
- Teigen, R.,** 1997, *Intelligent Agents*,
<<http://www.eil.utoronto.ca/profiles/rune/node6.html>>, alındığı tarih: 12.04.2010
- Tosun, K.,** 1971, *İşletme Yönetimi*, Fakülteler Matbaası, İstanbul, 28.
- Towill, D.R.,** 1982. Dynamic analysis of an inventory and order based production control system, *International Journal of Production Research*, **20**, 671–687.

- Towill, D.R.**, 1992. Supply chain dynamics—the change engineering challenge of the mid-90’s, *Proceedings of Institute of Mechanical Engineers on Engineering Manufacture*, **206**, 233–245.
- Towill, D.R.**, 1997. FORRIDGE—Principles of good practice in material flow, *Production Planning and Control*, **8**, 622–632.
- Towill, D.R., Zhou, L., Disney, S.M.**, 2007. Reducing the bullwhip effect: Looking through the appropriate lens, *International Journal of Production Economics*, **108**, 444–453.
- Türker, M., Balyemez, F., Biçer, A.A.**, 2005, Üretim sürecinde tedarik zincirinin önemi ve maliyet yönetimi, *V. Ulusal Üretim Araştırmaları Sempozyumu*, İstanbul Ticaret Üniversitesi, İstanbul.
- Waller, M.A., Cassady, C.R., Ozment, J.**, 2006. Impact of cross-docking on inventory in a decentralized retail supply chain, *Transportation Research, Part E* **42**, 359–282.
- Wang, J.L., Kuo, J.H., Chou, S., Wang, S.**, 2009. A comparison of bullwhip effect in a single-stage supply chain for 3 autocorrelated demands when using Correct, MA, and EWMA methods, *Expert Systems with Applications*, 20 October 2009.
- Warburton, R.D.**, 2004. An analytical investigation of the Bullwhip Effect, *Production and Operations Management Society*, **13**, 150–160.
- Wikner, J., Towill, D.R., Naim, M.**, 1991. Smoothing supply chain dynamics, *International Journal of Production Economics*, **22**, 231–248.
- Wright, D., Yuan, X.**, 2008. Mitigating the bullwhip effect by ordering policies and forecasting methods, *International Journal of Production Economics*, **113**, 587–597.
- Wu, D.Y., Katok, E.**, 2006. Learning, communication, and the bullwhip effect, *Journal of Operations Management*, **24**, 839–850.
- Zarandi, M.H.F., Pourakbar, M., Turksen, I.B.**, 2008. A Fuzzy agent-based model for reduction of bullwhip effect in supply chain systems, *Expert Systems with Applications*, **34**, 1680–1691.
- Zhang, X.**, 2004. The impact of forecasting methods on the Bullwhip Effect, *International Journal of Production Economics*, **88**, 15–27.
- Zhang, X.**, 2005. Delayed demand information and dampened bullwhip effect, *Operations Research Letters*, **33**, 289 – 294.
- Zimmermann, H.J.**, 2000. An application-oriented view of modeling uncertainty, *European Journal of Operational Research*, **122**, 190–198.

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Erhan Petek

Doğum Yeri ve Tarihi: Karamanlı, 25/12/1984

Lisans Üniversite: İstanbul Teknik Üniversitesi, Elektronik Mühendisliği