



**Araştırma Makalesi / Research Article**  
**AN INTEGRATED BULLWHIP EFFECT MEASUREMENT SYSTEM FOR  
FUZZY MULTI-ECHELON SUPPLY CHAINS**

**Alev TAŞKIN GÜMÜŞ\***, **Ali Fuat GÜNERİ**

*Yıldız Teknik Üniversitesi, Makine Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Yıldız-İSTANBUL*

**Geliş/Received: 01.04.2008 Kabul/Accepted: 09.01.2009**

---

**ABSTRACT**

In this paper, an integrated system is developed that is directed towards the calculation of bullwhip effect for multi-echelon supply chains under demand and lead time uncertainty. Hence, demand and lead times are calculated via neuro-fuzzy computations at a fuzzy supply chain system, and then the system is simulated via artificial neural networks to measure and evaluate bullwhip effect for various demand and lead time values. Thus, the behaviour of bullwhip effect against demand and lead time variability.

**Keywords:** Fuzzy supply chains, bullwhip effect, neuro-fuzzy networks.

**BULANIK ÇOK-AŞAMALI TEDARİK ZİNCİRLERİNDE BÜTÜNLEŞİK BİR KAMÇI ETKİSİ  
ÖLÇÜM SİSTEMİ**

**ÖZET**

Bu çalışmada, çok-aşamalı tedarik zincirlerinde, talep ve temin süresi belirsizliği altında kamçı etkisinin hesaplanmasına yönelik olarak bütünleşik bir sistem geliştirilmektedir. Bu bağlamda, bulanık bir tedarik sisteminde talep ve temin süreleri sinirsel-bulanık ağlarla hesaplanmakta; ardından sistem yapay sinir ağları ile simüle edilerek farklı talep ve temin süresi değerleri için kamçı etkisi ölçümü ve değerlendirilmesi yapılmaktadır. Böylece, talep ve temin süresi değişkenlikleri karşısında, kamçı etkisinin davranışı ortaya konmaktadır.

**Anahtar Sözcükler:** Bulanık tedarik zincirleri, kamçı etkisi, sinirsel-bulanık ağlar.

---

**1. GİRİŞ**

Tedarik Zinciri Yönetimi (TZY), bir firmanın farklı fonksiyonları veya tedarikçiler ve müşteriler arasındaki malzeme planlama ve kontrolü ile bilgi akışına yönelik bütünleşik bir yaklaşımdır [1]. Bu alan son yıllarda önemli ölçüde dikkat çekmektedir ve firmaların rekabet avantajı elde edebilecekleri bir araç olarak görülmektedir [2]. Tedarik zincirlerinde, geçmiş satışların ve hedeflere uygun olarak planlanan tahmin edilen satışların oluşturacağı üretim ve dağıtım yükü birçok belirsizlik ve birçok değişken içermektedir. Bu belirsizliklerin tanımlanabilmesi neticesinde programlanabilir, ölçülebilir ve yönetilebilir performans kriterleri ortaya çıkmakta ve bu performans kriterleri satınalma/üretim noktalarından başlayarak müşteriye dağıtım sürecine kadar olan tedarik zincirinin tüm noktalarında geçerli olmaktadır [3,4]. Müşterinin taleplerinin belirlenmesi kadar, bu taleplere cevap verebilme kabiliyeti de önem taşımaktadır.

---

\* Sorumlu Yazar/Corresponding Author: e-mail / e-ileti: ataskin@yildiz.edu.tr, tel: (212) 383 28 98

Bir tedarik zinciri, iş süreçlerinin son kullanıcıdan, son kullanıcıya değer ekleyen ürün, hizmet veya bilgi akışı sağlayan tedarikçilere kadar bütünleştirilmesidir [5-9]. Bir tedarik zincirinde, alttaki bir üyeden üstteki bir üyeye geriye doğru ilerlerken, verilen siparişlerin sipariş miktarlarının varyansları büyüme eğilimi gösterir. Bu durum tedarik zincirlerinde *kamçı etkisi (bullwhip effect)* olarak tanımlanır [10]. Kamçı etkisi ilk kez Forrester [11] tarafından tanımlanmış ve, nedenleri ve endüstriyel dinamikler bağlamında olası düzeltme yolları tartışılmıştır [12,13]. Ardından Blinder [14,15], Blanchard [16], Burbidge [17], Caplin [18], Kahn [19] ve Serman [20] gibi çeşitli araştırmacılar tedarik zincirlerinde kamçı etkisinin varlığının farkına varmışlardır. Bu doğrultuda Chen ve diğerleri [21], basit bir tedarik zincirinde kamçı etkisini hesaplamaya çalışmış, Zhang [22] ve Chandra ve Grabis [23] bir tedarik zincirinde çeşitli tahmin tekniklerinin kamçı etkisi üzerindeki etkilerini incelemişlerdir.

Her ne kadar birçok araştırmada kamçı etkisi hesaplanmaya çalışılmışsa da, bu doğrultuda hala ele alınacak çok fazla konu ve problem vardır. Bu çalışmada, talep ve temin süresi belirsizliği altında kamçı etkisinin hesaplanmasına yönelik olarak bütünleşik bir sistem geliştirilmektedir. Bu bağlamda, bulanık bir tedarik sisteminde talep ve temin süreleri sinirsel-bulanık ağlarla hesaplanmakta; ardından sistem yapay sinir ağları ile simüle edilerek farklı talep ve temin süresi durumları için kamçı etkisi ölçümü ve değerlendirilmesi yapılmaktadır. Böylece, talep ve temin süresi değişkenlikleri karşısında, kamçı etkisinin davranışı ortaya konmaktadır.

## 2. SİNİRSEL-BULANIK AĞLAR

Yapay sinir ağları (YSA) ile model geliştirme, yoğun olarak araştırılan ve mühendislik ve bilim alanlarındaki uygulamalarda kontrol sistemlerinden yapay zekaya kadar değişen birçok amaçla kullanılan bir tekniktir [24,25]. Yapay sinir ağları ve bulanık modeller, kendi avantajlarını sergileyerek, birçok uygulamada kullanılmışlardır. Bu nedenle, bu yaklaşımları başarılı bir şekilde kombine etmenin bir yolu ileriki çalışmalar için oldukça uygun ve faydalı bir konudur [6,26,27]. Bu çalışmada, talep ve temin süresi belirsizliklerini gidermeye yönelik olarak ANFIS algoritması kullanılmıştır. ANFIS mimarisi beş katmandan oluşur ve modelin özet bir tanıtımı şu şekildedir [28-30]:

- *Katman 1: girdi düğümleri.* Bu katmanın her bir düğümü, üyelik fonksiyonlarını kullanarak ait oldukları uygun bulanık kümelerin herbirinin üyelik derecelerini üretir [29].

$$O_{1,i} = \mu_{A_i}(x) \quad \text{for } i=1, 2 \quad ; \quad O_{1,i} = \mu_{B_{i-2}}(y) \quad \text{for } i=3, 4 \quad (1)$$

burada  $x$  ve  $y$ ,  $i$  düğümünün normal girdileridir, ve  $A_i$  ve  $B_i$  linguistik etiketlerdir ki uygun üyelik fonksiyonları  $\mu_{A_i}$  ve  $\mu_{B_i}$  ile karakterize edilir.

- *Katman 2: kural düğümleri.* İkinci katmanda AND operatörü, bu kuralın öncül sonuçlarını temsil eden bir çıktının  $O_{2,k}$  elde edilmesi için uygulanır.

$$O_{2,k} = w_k = \mu_{A_i}(x) \times \mu_{B_j}(y) \quad k=1, \dots, 4; \quad i=1, 2; \quad j=1, 2 \quad (2)$$

- *Katman 3: orta düğümler.* Üçüncü katmanda temel amaç her bir  $i$ . kuralın ağırlık derecelerinin tüm kuralların ağırlık derecelerinin toplamına oranının hesaplanmasıdır.  $\bar{w}_i$  normalize ağırlık derecesidir,

$$O_{3,i} = \bar{w}_i = w_i / \sum_{k=1}^4 w_k \quad i=1, \dots, 4 \quad (3)$$

- *Katman 4: sonuç düğümleri.* Dördüncü katmanın düğüm fonksiyonu her bir  $i$ . kuralın, toplam çıktıya karşı katkısını hesaplar ve fonksiyon şu şekilde tanımlanır:

$$O_{4,i} = \bar{w}_i f_i = \bar{w}_i (p_i x + q_i y + r_i), i=1, \dots, 4 \quad (4)$$

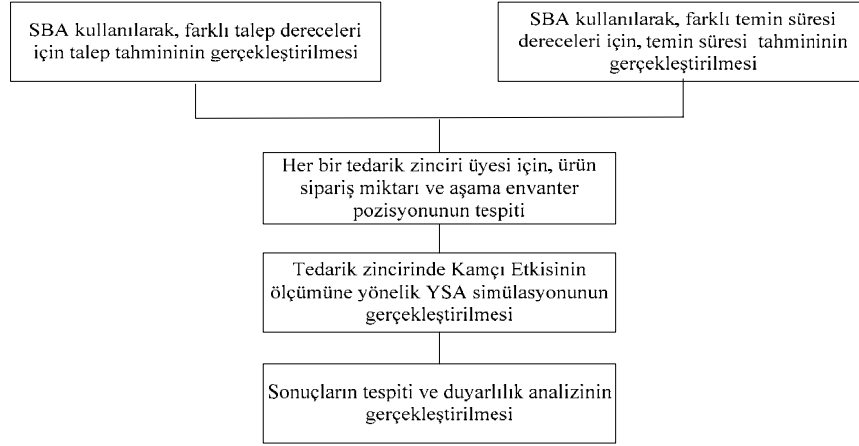
burada  $\{p_i, q_i, r_i\}$  parametreleri, bu lineer kombinasyonun katsayıları ve ayrıca Sugeno bulanık modelinin sonuç parçasındaki parametre kümesidir [29].

• *Katman 5: çıktı düğümleri.* Tek düğüm, gelen tüm işaretleri toplayarak toplam çıktıyı hesaplar. Dolayısıyla, bu katmanda durulaştırma süreci, her bir kuralın bulanık sonucunu normal bir çıktıya dönüştürür:

$$O_{5,i} = \sum_{i=1}^4 \bar{w}_i f_i = (\sum_{i=1}^4 w_i f_i) / (\sum_{i=1}^4 w_i) \quad (5)$$

### 3. GELİşTİRİLEN BÜTÜNLEşİK SİSTEM

Burada, sinirsel-bulanık ağ hesaplamaları, yapay sinir ağları ve doğrusal birtakım matematiksel hesaplamaları bünyesinde bütünleştirerek, bulanık bir tedarik sisteminde kamçı etkisi ölçümünü gerçekçi bir şekilde gerçekleştirmeye yardımcı olan bütünleşik bir sistem geliştirilmektedir. Sistemin ilk adımı olarak, farklı talep ve temin süresi dereceleri için, gerçekleşen değerler kullanılarak ileriye dönük tahminler yapılması gerekmektedir. Ardından, tedarik zincirinde kullanılan envanter sistemi temelinde, zincir üyelerinin sipariş miktarı ve aşama envanter pozisyonu hesaplanmalıdır. Bu veriler ışığında, kurulan sistem kamçı etkisini farklı talep ve temin süresi derece durumları için ayrı ayrı hesaplayacak şekilde yapay sinir ağları ile simüle edilir. Ardından, kamçı etkisi değişimi bazında birtakım irdelemeler yapılarak, tasarlanan genel sistem ve tahmin sistemi yapısı detaylandırılır (şekil 1).

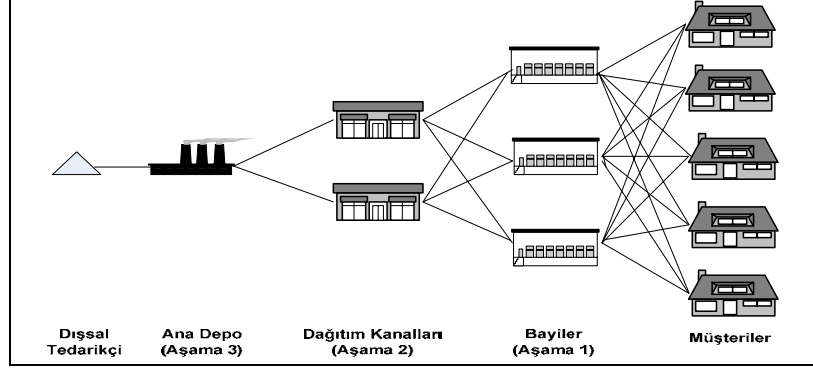


şekil 1. Kamçı etkisinin talep ve temin süresi duyarlılığı altında ölçümüne yönelik olarak geliştirilen hibrit yöntem

#### 3.1. Sistem Kabulleri

Bu bölümde, geliştirilen ölçüm sisteminin işletilmesine yönelik olarak sunulan uygulama örneği için birtakım kabuller yapılmaktadır. Geliştirilen yapı, üç bayi, iki dağıtıcı ve bir depodan oluşan üç-aşamalı bir tedarik zincirinde kamçı etkisinin ölçümü için değerlendirilmiştir (şekil 2). Burada bayiler dağıtıcılardan, daıtıcılar depodan, depo ise dışsal bir tedarikçiden beslenir, ve dışsal tedarikçinin limitsiz stoka sahip olduğu kabul edilir. Bayiler ve dağıtıcılar kendi aralarında özdeştirler. Ayrıca, sözkonusu tedarik sisteminin tek bir ürün için işletildiği kabul edilmektedir.

Bayi aşamasındaki pazar talebi ile sistemin temin süreleri belirsizdir ve SBA ile tahmin edilirler. Tahmin edilen temin süresi değerlerinin tüm bayiler ve sistemin diğer tüm elemanları için aynı olduğu kabul edilmektedir. Diğer yandan, bayilerdeki pazar talebi mevcut stoğu geçtiğinde, fark bekleyen sipariş olarak kabul edilir, ve beklenen bekleyen sipariş miktarının bayi talebinin %0,5'i olduğu kabul edilmektedir.



Şekil 2. Dikkate alınan üç-aşamalı tedarik zinciri yapısı

### 3.2. Sinirsel-Bulanık Ağlarla Talep ve Temin Süresi Tahmini

Söz konusu tedarik zincirine ait, 1997-2005 yılları arasındaki aylık veriler SBA'nın eğitiminde girdi ve çıktılar olarak kullanılmaktadır. Burada, talep ve temin süresi derecelerine ilişkin, 2006 yılına ait 12 aylık değerlerinin tahminine yönelik bir yapı geliştirilmektedir. SBA hesaplamaları için Matlab 7.0 Bulanık Mantık ve ANFIS modülleri kullanılmıştır. SBA'nın girdi ve çıktılarını oluşturan birtakım parametreler söz konusudur. Kullanılan girdi ve çıktılar ile, bu parametrelerin bulanık öncelikleri ve üyelik fonksiyonları Çizelge 1 ve 2'de gösterilmektedir.

Çizelge 1. Talep ve temin süresi değişkenleri için bulanık öncelikler ve veri parametreleri

Talep (adet/ay)	
Düşük	$T_A =$ yaklaşık 3500 = üçgen $[x, 2000, 3500, 4000]$ ; $T_B =$ yaklaşık 2500 = üçgen $[x, 1800, 2500, 3000]$ ; $T_C =$ yaklaşık 1800 = üçgen $[x, 1400, 1800, 2200]$
Normal	$T_A =$ yaklaşık 4500 = üçgen $[x, 4000, 4500, 5000]$ ; $T_B =$ yaklaşık 2500 = üçgen $[x, 1800, 2500, 3000]$ ; $T_C =$ yaklaşık 1700 = üçgen $[x, 1300, 1700, 2000]$
Yüksek	$T_A =$ yaklaşık 5500 = üçgen $[x, 5000, 5500, 6000]$ ; $T_B =$ yaklaşık 2500 = üçgen $[x, 1800, 2500, 3000]$ ; $T_C =$ yaklaşık 1500 = üçgen $[x, 1200, 1500, 2000]$
Temin Süresi (gün)	
Düşük	$TS_A =$ yaklaşık 7 = üçgen $[x, 5, 7, 10]$ ; $TS_B =$ yaklaşık 6 = üçgen $[x, 5, 6, 8]$ ; $TS_C =$ yaklaşık 3 = üçgen $[x, 2, 3, 5]$
Yüksek	$TS_A =$ yaklaşık 10 = üçgen $[x, 8, 10, 12]$ ; $TS_B =$ yaklaşık 5 = üçgen $[x, 3, 5, 8]$ ; $TS_C =$ yaklaşık 2 = üçgen $[x, 1, 2, 4]$

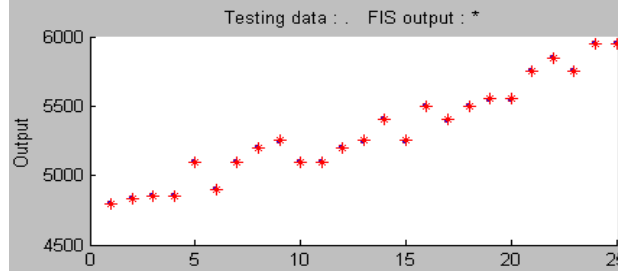
Talep ve temin süresi değişken dereceleri Çizelge 1’de sunulurken, aynı değişkenlerin veri parametreleri ve üyelik fonksiyonları Çizelge 2’den görülebilmektedir. Burada, yaklaşık  $c =$  üçgen  $[x, l, c, u]$  notasyonu eşitlik (6)’daki gibi açıklanabilir [5]:

$$\text{üçgen}[x, l, c, u] = \begin{cases} 0 & x \leq l \\ (x-l)/(c-l) & l \leq x \leq c \\ (u-x)/(u-c) & c \leq x \leq u \\ 0 & x \geq u \end{cases} \quad (6)$$

Kurulan SBA’lar 108 veri ve talep ve temin süresinin farklı derece değerleri ile eğitilir. Ardından, 25’er örnekle kontrol ve test edilir. Her bir iterasyonda eğitim verisinin eğitim hatası için en küçük kareler hata metodu kullanılır. Burada, talebin SBA’sı her bir derece için dört girdi ve bir çıktı nöronuna sahiptir, temin süresinin her bir dereceninki ise üç girdi ve bir çıktı nöronu içerir. Ayrıca ağlarda, kuralların ilişkilendirilmesinde “çarpım” fonksiyonu ve durulaştırmada “ortalama” metodu kullanılmaktadır. Ağlar 20 iterasyonda eğitilmiştir. Bunun yanısıra, talep dereceleri için 81 ve temin süresi dereceleri için 48 kural saptanmıştır. Parametrelerin eğitim hataları 0,76 ile 0,95 arasında değişmektedir. Örnek olarak, Yüksek talep derecesinin test veri uygunluğu Şekil 3’te gösterilmektedir. Başarılı bir tahmin mekanizması yapılandırmak için parametrelerin tüm dereceleri için benzer bir uygunluk sağlanmaktadır.

Çizelge 2. Veri parametrelerinin bulanık üyelik fonksiyonları

Parametreler	Üyelik Fonksiyonları
<b>Talep Parametreleri</b>	
Ürün Birim Fiyatı (YTL)	Düşük - yaklaşık 0.5 = üçgen $[x, 0, 0.5, 1]$ ; Normal - yaklaşık 1.25 = üçgen $[x, 0.95, 1.25, 1.30]$ ; Yüksek - yaklaşık 1.35 = üçgen $[x, 1.25, 1.35, 1.40]$
Ürüne Ulaşılabilirlik	Düşük - yaklaşık 2 = üçgen $[x, 0, 2, 4]$ ; Normal - yaklaşık 6 = üçgen $[x, 3, 6, 7]$ ; Yüksek - yaklaşık 8 = üçgen $[x, 6, 8, 10]$
Tamamlayıcı Ürün Talebi (Paket)	Düşük - yaklaşık 250 = üçgen $[x, 0, 250, 500]$ ; Normal - yaklaşık 1500 = üçgen $[x, 400, 1500, 2500]$ ; Yüksek - yaklaşık 3500 = üçgen $[x, 2400, 3500, 5000]$
Tazelik	Düşük - yaklaşık 2 = üçgen $[x, 0, 2, 4]$ ; Yüksek - yaklaşık 7 = üçgen $[x, 3, 7, 10]$
<b>Temin Süresi Parametreleri</b>	
Talebin Aciliyeti	Düşük - yaklaşık 2 = üçgen $[x, 0, 2, 4]$ ; Normal - yaklaşık 6 = üçgen $[x, 3, 6, 7]$ ; Yüksek - yaklaşık 8 = üçgen $[x, 6, 8, 10]$
Depodaki Ürün Miktarı	Düşük - yaklaşık 2 = üçgen $[x, 0, 2, 4]$ ; Yüksek - yaklaşık 7 = üçgen $[x, 3, 7, 10]$
Ürün Talep Düzeyi	Düşük - yaklaşık 2 = üçgen $[x, 0, 2, 4]$ ; Normal - yaklaşık 6 = üçgen $[x, 3, 6, 7]$ ; Yüksek - yaklaşık 8 = üçgen $[x, 6, 8, 10]$



Şekil 3. Yüksek talep derecesi için test veri uygunluğu

### 3.3. Sipariş Miktarı ve Kamçı Etkisinin Tespiti

Burada, sözkonusu tedarik sistemindeki bayi ( $t, R$ ) sipariş politikasını kullanmaktadır. ( $t, R$ ) sipariş politikası, bir periyodik inceleme envanter politikasıdır ve envanter pozisyonu her dönem başlangıcında incelenir. Örneğin;  $t$  döneminin başında kontrol edilen envanter pozisyonu eğer yeniden sipariş noktası  $R_t$ 'nin altında ise,  $t$  döneminin başlangıcındaki envanter pozisyonu ile  $R_t$  arasındaki fark kadar sipariş verilir [6,31,32,33]. Her üç aşamadaki  $R_t$  değerlerini hesaplamak için aşağıdaki eşitlikler kullanılır [6]:

$$R_1 = T_1(TS_1 / 30) + k_1\sigma_1\sqrt{(TS_1 / 30)} \quad (7)$$

$$R_2 = T_2(TS_1 + TS_2) / 30 + k_2\sigma_2\sqrt{(TS_1 + TS_2) / 30} \quad (8)$$

$$R_3 = T_3(TS_1 + TS_2 + TS_3) / 30 + k_3\sigma_3\sqrt{(TS_1 + TS_2 + TS_3) / 30} \quad (9)$$

burada,  $TS$  temin süresini,  $T$  aylık talebi,  $k$  işletmenin müşterilerine vermeyi düşündüğü hizmetin seviyesine karşılık gelen standart normal dağılım rassal değişkenini, ve  $\sigma$  yıllık toplam talebin standart sapmasını ifade etmektedir. Ayrıca alt indis olarak kullanılan 1, 2 ve 3 rakamları (ör;  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$ , ...) aşamaları temsil etmek üzere kullanılmaktadır (Bkz. Şekil 2).

Zincirin her aşaması için bu aşamadaki üyeleri kapsayan aşama envanter pozisyonlarının hesaplanmasına yönelik olarak, birinci aşamadaki her bir bayideki bekleyen sipariş miktarının talebin %0,5'i kadar olduğunun kabul edildiği vurgulanmalıdır. Aşama envanter pozisyonları  $EP_1$ ,  $EP_2$  ve  $EP_3$  aşağıdaki gibi tanımlanabilir:

$$EP_1 = 3(SM_1 + ES_1 - BS) + BS_0 \quad (10)$$

$$EP_2 = 2(nSM_2 + ES_2) + EP_1 \quad (11)$$

$$EP_3 = nSM_3 + ES_3 + EP_2 \quad (12)$$

burada  $ES$  emniyet stokunu,  $n$  sipariş çevrim sayısını,  $SM$  sipariş miktarını,  $BS$  birinci aşamadaki bekleyen sipariş miktarını ve  $BS_0$  ise bir önceki çevrimden devreden bekleyen sipariş miktarını temsil etmektedir (Bu formüllerin çıkarılış hesaplamaları ve detayları için bkz. [6] ve [31]). Eşitlik (10), (11) ve (12) doğrultusunda her bir aşama için emniyet stokunun da tanımlanması gerekirse:

$$ES_1 = [(n-1)/n]k_1\sigma_1\sqrt{TS_1/30} + (1/n)k_1\sigma_1\sqrt{(TS_1 + TS_2)/30} + \quad (13)$$

$$(1/n)k_1\sigma_1\sqrt{(TS_1 + TS_2 + TS_3)/30}$$

$$ES_2 = k_2\sigma_2\sqrt{n(SM_2)/T_2} \quad (14)$$

$$ES_3 = k_3\sigma_3\sqrt{n(SM_3)/T_3} \quad (15)$$

Bölüm 3.1’de yapılan sistem kabulleri doğrultusunda model değişkenleri arasında birtakım dönüşümler söz konusudur. Üç bayi birbiriyle özdeş olup, iki dağıtıcı da benzer şekilde özdeşler. Yani, bayilere tek tek gelen talep eşittir ve Aşama 1’in talep miktarı bir bayiyeye gelenin üç katıdır. Bu çarpımın yarısı her bir dağıtıcıya düşen taleptir. Ve iki dağıtıcının talep toplamı da ana deponun talebini teşkil eder ( $3T_1=2T_2=T_3$ ). Sipariş miktarları arasında da taleptekine benzer bir ilişki vardır [34].

Kamçı etkisi hesaplanmak istendiğinde ise, bayinin vermiş olduğu sipariş varyansının, karşılıklı olduğu talep varyansına oranının kamçı etkisini ifade ettiği vurgulanmalıdır:

$$KE = Var(SM) / Var(T) \quad (16)$$

### 3.4. Yapay Sinir Ağları Simülasyon Modeli

Burada amaç, farklı talep ve temin süresi derece kombinasyonları için kamçı etkisinin yaklaşık-optimal değerlerini bulmaya yönelik olarak, YSA tabanlı bir simülasyon çalışması gerçekleştirmektir. Bunun için Matlab 7.0 YSA modülü kullanılmıştır. Ağ, bir bayi ve depodan oluşan iki aşamalı seri bir tedarik sistemi için eğitilmiştir. Ağın girdi ve çıktı değişkenleri aşağıdaki gibidir:

#### Girdiler:

Talep :  $T$   
Temin Süresi :  $TS$

#### Çıktılar:

Kamçı Etkisi :  $KE$   
Ortalama Sipariş Miktarı :  $OSM$

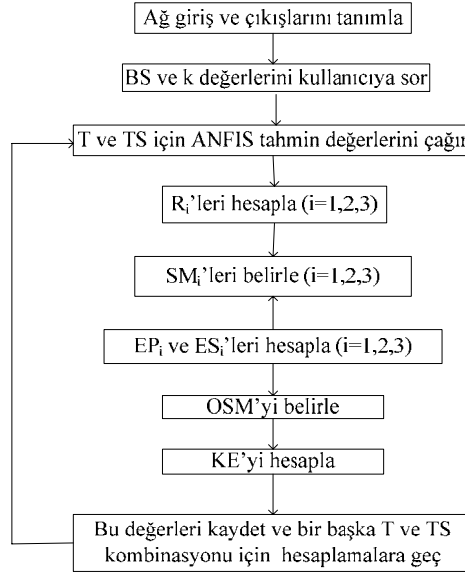
Emniyet Faktörü :  $k$   
Bekleyen Sipariş Miktarı :  $BS$

Modellenen sinir ağının gizli katmanlarında tanjant hiperbolik fonksiyonu kullanılmıştır. Çıktı katmanı lineer aktivasyon fonksiyonuna sahiptir. Ağın dört girdisi, üç nöronlu bir gizli katmanı ve iki çıktısı vardır. Ağ, 500 iterasyon boyunca eğitilmiş, eğitim katsayısı 0.1 olarak saptanmıştır. YSA ağ topolojilerinden Çok Katmanlı Perceptron Ağı kullanılmıştır. Ulaşılan eğitim hatası  $1,5509e^{-18}$ ’dir. Simülasyonla elde edilen kamçı etkisi ve ortalama sipariş miktarı değerleri Çizelge 3’te sunulmaktadır. YSA ile simülasyonun gerçekleştirilmesinin ardından, talep ve temin süresi belirsizliği durumunda ve farklı talep ve temin süresi derece kombinasyonları için, kamçı etkisi ve ortalama sipariş miktarı değerleri elde edilmiş olur. Simülasyon çalışmasının algoritmik akış diyagramı, ANFIS’in ele alınan modelde ne şekilde çalıştığını da kapsayacak şekilde Şekil 4’te gösterilmiştir.

Çizelge 3’ten, temin süresi derecesinin Düşük ve Yüksek olması durumları için, Düşük, Normal ve Yüksek talep derece değişimleri karşısında gözlenen kamçı etkisi ve sipariş miktarı değerleri görülmektedir. Her iki temin süresi derecesi durumunda da, Düşük talep derecesinden Yüksek artan kamçı etkisi ve sipariş miktarı değerleri söz konusudur. Ancak, Düşük talep derecesinden Normal talep derecesine geçildiğinde gerçekleşen kamçı etkisi ve sipariş miktarı artışı, Normalden Yüksek gerçekleşen artış miktarından daha yüksektir.

Çizelge 3. YSA simülasyon sonuçları özet çizelgesi

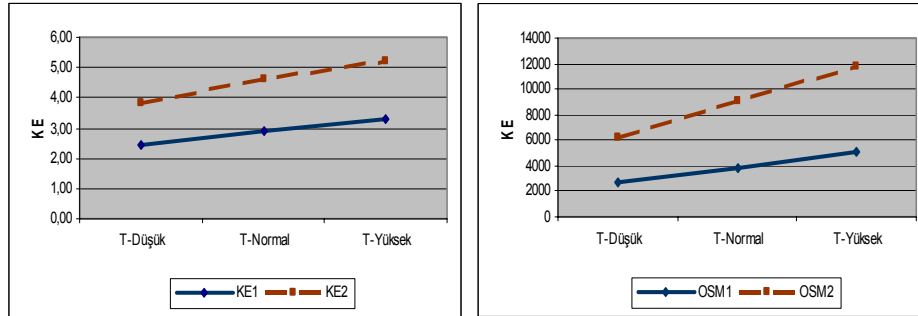
Temin Süresi Derecesi ( $TS$ )	Kamçı Etkisi ( $KE$ ), Ortalama Sipariş Miktarı ( $OSM$ )	Talep Derecesi ( $T$ )		
		Düşük	Normal	Yüksek
Düşük	$KE$	2,42	2,92	3,32
	$OSM$	2667,40	3871,97	5032,02
Yüksek	$KE$	3,81	4,59	5,24
	$OSM$	6275,11	9108,89	11837,25



Şekil 4. YSA simülasyon algoritması

### 3.5. Uygulama Sonuçları ve Değerlendirmeler

Daha önce de belirtildiği gibi, talep ve temin süresinin belirsizlik altındaki değişimleri kamçı etkisini önemli ölçüde etkilemektedir. Bu değişimlerin kamçı etkisi üzerindeki etkilerinin ve bu bağlamda gerçekleşen sipariş miktarı değişimlerinin detaylıca incelenmesi ve dolayısıyla burada geliştirilen hibrit yöntemin yapısının ve sonuçlarının biraz daha irdelenmesi amacıyla, bu bölümde bir duyarlılık analizi çalışması gerçekleştirilmiştir.



Şekil 5. Düşük ve yüksek temin süresi dereceleri için, farklı talep dereceleri durumunda kamçı etkisi ve ortalama sipariş miktarı değişimleri

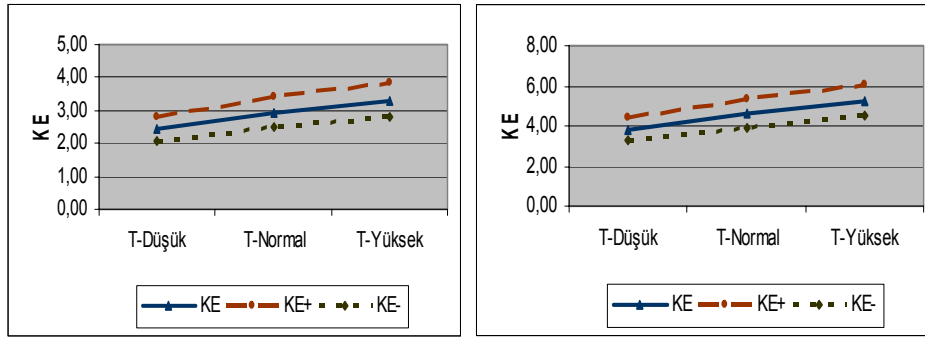
Şekil 5'ten, Düşük ve Yüksek temin süresi dereceleri için, talebin Düşük, Normal ve Yüksek olması durumlarında kamçı etkisi ve ortalama sipariş miktarındaki değişimler görülebilir. Kamçı etkisi, Düşük temin süresi derecesi durumunda KE1 ve yüksek temin süresi derecesi durumunda KE2 gibi değişmektedir. Düşük temin süresi derecesi dikkate alındığında, kamçı etkisi Düşük talep durumundan Normal talebe %20,6 artmakta, Normal talepten Yüksek talep durumuna geçerken ise yaklaşık %13,2 artmaktadır, ki bu artış Düşük talepten Yüksek talebe



geçme durumu için değerlendirildiğinde %37,2 olarak değerlendirilmektedir. Yani Düşük temin süresi derecesi için değerlendirildiğinde, en Yüksek kamçı etkisi Yüksek talep durumu için, en düşük kamçı etkisi ise Düşük talep durumu için sözkonusudur. Yine Düşük temin süresi derecesi için ortalama sipariş miktarı değişimi de benzer bir eğilim gösterir, ve en yüksek sipariş miktarı Yüksek talep derecesi durumunda gözlemlenir.

Yüksek temin derecesi durumunda kamçı etkisinde ve ortalama sipariş miktarlarında her bir talep derecesi için, Düşük temin süresi derecesi ile kıyaslandığında, belirgin artışlar gözlenmektedir. Ancak kendi içlerinde değerlendirildiğinde bu değişkenler yine Düşük talep derecesinden Yüksek artış eğilimi göstermektedirler ve en yüksek kamçı etkisi ve ortalama sipariş miktarı değerleri yine Yüksek talep derecesi durumunda gözlenmektedir.

Burada şu sonuca varılabilir ki; dikkate alınan üç-aşamalı tedarik zinciri için temin süresi ve talep artışı ile kamçı etkisi ve ortalama sipariş miktarı yükselme eğilimi göstermektedir. Şekil 6'da her iki temin süresi derecesi için (Düşük ve Yüksek), %10'luk artış ve azalışlar gerçekleştiğinde kamçı etkisindeki değişim görülmektedir. Her iki temin süresi derecesindeki artış ve azalışlara paralel olarak kamçı etkisi de artış ve azalış göstermektedir. Düşük ve Yüksek temin süresi dereceleri için %10'luk bir artış gerçekleştiğinde, kamçı etkisi her iki durumda %15.3-16.4 arasında değişen oranlarda artmaktadır. Eğer temin süresi derecelerinde %10'luk bir azalış gerçekleştirilirse, kamçı etkisi değerleri %16.9-17.5 arasında azalmaktadır.



Şekil 6. Düşük ve Yüksek temin süresi derece artış ve azalışları temelinde kamçı etkisi değişiminin gözlenmesine yönelik duyarlılık analizi

#### 4. SONUÇ

Kamçı etkisi, tedarik zinciri karlılığını önemli ölçüde düşüren talep bilgi akışındaki bozulmaları ifade eder. Bu çalışmanın amacı, çok-aşamalı bulanık tedarik sistemlerinde talep ve temin süresi değişkenlikleri karşısında ortaya çıkan kamçı etkisinin davranışını incelemek, ve bu inceleme bulguları doğrultusunda kamçı etkisini düşürmeye yönelik stratejiler belirlemeye yardımcı olmaktır.

Bu bağlamda çalışma kapsamında, sinirsel bulanık ağları ve yapay sinir ağlarını beraber kullanarak üç-aşamalı bir tedarik zincirindeki talep ve temin süresi belirsizliklerini gerçekçi olarak değerlendiren ve buna bağlı olarak kamçı etkisi değişimlerini ortaya koyan hibrit bir yöntem geliştirilmektedir. Yöntemin işletilmesi neticesinde, talep ve temin süresi değişimlerinin ve farklı kombinasyonlarının kamçı etkisi üzerinde oynadığı önemli rol ortaya konmaktadır. İleriye dönük olarak, talep ve temin süresinin yanısıra, diğer başka tedarik zinciri unsurlarının da belirsiz olduğu kabulü altında buradaki yöntem geliştirilebilir. Ayrıca, tedarik zincirinde birden fazla ürünün dikkate alınması durumlarında kamçı etkisi hesaplamalarının ne yönde değişeceği incelenebilir.

**KAYNAKLAR**

- [1] Minner S., "Multiple-Supplier Inventory Models in Supply Chain Management: A Review", *Int. J. Production Economics*, 81–82, 265–279, 2003.
- [2] Routroy S., Kodali R., "Differential Evolution Algorithm for Supply Chain Inventory Planning", *Journal of Manufacturing Technology Management*, 16, 1, 7-17, 2005.
- [3] Simchi-Lev D., Kaminsky P., Simchi-Lev E., "Designing and Managing the Supply Chain", Irwin McGraw-Hill, Boston, MA, 2000.
- [4] Seferlis P., Giannelos G.F., "A Two-Layered Optimisation-Based Control Strategy for Multi-Echelon Supply Chain Networks", *Computers and Chemical Engineering*, 28, 799–809, 2004.
- [5] Giannoccaro I., Pontrandolfo P., Scozzi B., "A Fuzzy Echelon Approach for Inventory Management in Supply Chains", *European Journal of Operational Research*, 149, 185–196, 2003.
- [6] Taşkın Gümüş, A., "Tedarik Zincirlerinde Talep ve Temin Sürelerine Duyarlı Çok Aşamalı Envanter Kararlarının İncelenmesi ve Endüstriyel Bir Uygulama", Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yıldız Teknik Üniversitesi, 2007.
- [7] Sherman R.J., "Collaborative Planning Forecasting & Replenishment (CPFR): Realizing the Promise of Efficient Consumer Response through Collaborative Technology", *Journal of Marketing Theory and Practice*, 6, 6–9, 1998.
- [8] Power D., "Supply Chain Management Integration and Implementation: A Literature Review", *Supply Chain Management: An International Journal*, 10, 4, 252-263, 2005.
- [9] Lambert D.M., Cooper M.C., Pagh J.D., "Supply chain management: Implementation issues and research opportunities", *International Journal of Logistics Management*, 9, 2, 1–19, 1998.
- [10] Lee H.L., Padmanabhan V., Whang S., "Information distortion in a supply chain: The bullwhip effect", *Management Science*, 43, 3, 546–558, 1997.
- [11] Forrester J.W., "Industrial dynamics – a major break-through for decision making", *Harvard Business Review*, 36, 4, 37–66, 1958.
- [12] Duc T.T.H., Luong H.T., Kim Y.-D., "A measure of bullwhip effect in supply chains with a mixed autoregressive-moving average demand process", *European Journal of Operational Research*, 187, 243–256, 2008.
- [13] Luong H.T., Phien N.H., "Measure of bullwhip effect in supply chains: The case of high order autoregressive demand process", *European Journal of Operational Research*, 183, 197–209, 2007.
- [14] Blinder A.S., "Inventories and sticky prices: More on the microfoundations of macroeconomics", *American Economic Review*, 72, 334–348, 1982.
- [15] Blinder A.S., "Can the production smoothing model of inventory behavior be saved?", *Quarterly Journal of Economics*, 1001, 431–454, 1986.
- [16] Blanchard O.J., "The production and inventory behavior of American automobile industry", *Journal of Political Economy*, 91, 365–400, 1983.
- [17] Burbidge J.L., "Automated production control with a simulation capability", IFIP Working Paper, WG 5(7), Copenhagen, 1984.
- [18] Caplin A.S., "The variability of aggregate demand with (S,s) inventory policies", *Econometrica*, 53, 1396–1409, 1985.
- [19] Kahn J., "Inventories and the volatility of production", *American Economics Review*, 77, 667–679, 1987.
- [20] Sterman J., "Modeling managerial behavior: Misperceptions of feedback in a dynamic decision-making experiment", *Management Science*, 35, 3, 321–339, 1989.
- [21] Chen F., Drezner Z., Ryan J.K., ve diğerleri, "Quantifying the bullwhip effect in a simple supply chain", *Management Science*, 46, 3, 436–443, 2000.

- [22] Zhang X., "The impact of forecasting methods on the bullwhip effect", *International Journal of Production Economics*, 88, 15–27, 2004.
- [23] Chandra C., Grabis J., "Application of multi-steps forecasting for restraining the bullwhip effect and improving inventory performance under autoregressive demand", *European Journal of Operational Research*, 166, 2, 337–350, 2005.
- [24] Taskin A., Guneri A.F., "Economic Analysis of Risky Projects by ANNs", *Applied Mathematics and Computation*, 175, 1, 171-181, 2006.
- [25] Guneri A.F., Taskin Gumus A. "The usage of artificial neural networks for finite capacity planning", *International Journal of Industrial Engineering – Theory, Applications and Practice*, 15, 1, 21-30, 2008.
- [26] Kuo R.J., "A Sales Forecasting System Based on Fuzzy Neural Network with Initial Weights Generated by Genetic Algorithm", *European Journal of Operational Research*, 129, 496-517, 2001.
- [27] Zadeh L.A., "Fuzzy Sets", *Information and Control*, 8, 338-353, 1965.
- [28] Özçalık H.R., Uygur A.F., "Dinamik Sistemlerin Uyumlu Sinirsel-Bulanık Ağ Yapısına Dayalı Etkin Modellenmesi", *KSU Fen ve Mühendislik Dergisi*, 6, 1, 36-46, 2003.
- [29] Chang F.J., Chang Y.T., "Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System for Prediction of Water Level in Reservoir", *Advances in Water Resources*, 29, 1, 1-10, 2006.
- [30] Escoda I., Ortega A., Sanz A., ve diğerleri, "Demand Forecast by Neuro-Fuzzy Techniques", *IEEE International Conference on Fuzzy Systems*, 3, 1381-1386, 1997.
- [31] De Bodt M.A., Graves S.C., "Continuous-Review Policies for A Multi-Echelon Inventory Problem with Stochastic Demand", *Management Science*, 31, 1286–1299, 1985.
- [32] Mitra S., Chatterjee A.K., "Echelon Stock Based Continuous Review (R;Q) Policy for Fast Moving Items", *Omega*, 32, 161–166, 2004.
- [33] Mitra S., "Analysis of A Two-Echelon Inventory System with Returns", *Omega*, In Press, Corrected Proof.
- [34] Taskin Gumus, A., Guneri, A.F., "A multi-echelon inventory management framework for stochastic and fuzzy supply chains", *Expert Systems with Applications*, In Press, Corrected Proof, 2008.