

Tedarik Zinciri Yönetiminde Kamçı Etkisinin İncelenmesi

(Analysis of Bullwhip Effect in Supply Chain Management)

Murat Yegengil, Veli Çelik, Hakan Arslan ve Ata Sevinç

Kırıkkale Üniversitesi, Makine Mühendisliği, 71451, Yahşihan, Kırıkkale, Türkiye

Kırıkkale Üniversitesi, Makine Mühendisliği, 71451, Yahşihan, Kırıkkale, Türkiye

Kırıkkale Üniversitesi, Makine Mühendisliği, 71451, Yahşihan, Kırıkkale, Türkiye

Kırıkkale Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği, 71451, Yahşihan, Kırıkkale, Türkiye

Phone: +90 (318) 357-4242 / 1079; Fax: +90 (318) 357-2459, myegengil@kku.edu.tr, vcelik@kku.edu.tr, arslan@kku.edu.tr, asevinc@kku.edu.tr

ÖZET-İşletmelerde stok yenileme veya sipariş verme sistemlerinin etkin bir şekilde kullanılabilmesi için bilgi paylaşımının önemi bilinmektedir. Ancak gelişen teknolojik şartlara rağmen bilgi paylaşımında aksaklıklar olabilmektedir. İletişimde yaşanan problemlere ilave olarak talep miktarındaki dalgalanmalara bağlı olarak çok kademeli Tedarik Zinciri sistemlerinde kademelerde stok havuzları oluşabilmektedir. Talep ve sipariş oranları arasındaki değişimler sonucunda oluşan “kamçı etkisi (BWE)” düzenli bir şekilde ölçülmediği ve önleyici tedbirler alınmadığı takdirde BWE neticesinde oluşan stok havuzları firmalar için hayati tehlikelere sebep olabilmektedir. İki kademeli olarak tasarlanan çok kademeli (multi-echelon) Tedarik Zinciri yapısı içerisinde PID, En küçük-En büyük (ENKENB) ve Ekonomik Sipariş Miktarı (ESM) sipariş verme politikaları kullanılarak elde edilen sonuçlardan hareketle BWE değişken değerleri hesaplanmıştır. Elde edilen değerler aynı zamanda Tedarik Zinciri Sisteminin işleyişi hakkında da önemli bilgiler sağlayacaktır. Kamçı etkisi değerleri PID, ENKENB ve ESM stok yöntemlerinden elde edilen sipariş miktarı değerleri kullanılarak her bir yöntem için ayrı olarak hesaplanmıştır. Elde edilen BWE değişken değerleri aynı zamanda stok kontrol yöntemlerinin performanslarının karşılaştırılmasında da kullanılabilirliğini göstermiştir. PID yöntemi ESM ve ENKENB yakın bir BWE değeri vermiştir ki kullanım süresi düşünüldüğünde oldukça başarılı bir sonuçtur. Çalışmanın alternatif araştırma alanlarına zemin hazırlayabilecek nitelikte olması ve sağladığı bilgiler ile işletme yöneticilerine yön gösterebilecek nitelikte olmasından dolayı özellikle orta ve büyük ölçekli firmalar için faydalı olacağı düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Kamçı Etkisi, Sistem Dinamikleri, Tedarik Zinciri Yönetimi, PID Kontrol.

ABSTRACT- The importance of information sharing for business companies to manage their stocks and orders is a commonly known fact. However, undesirable results are happening at information sharing despite of technological developments. In addition to information sharing related problems stocks get accumulated due to variations in demand. If “bull-whip effect (BWE)” is not measured and preventive actions are not employed properly the stock pools that are created as a result of bull-whip effect can play vital roles for companies. A

two echelon Supply Chain is designed as a multi-echelon Supply Chain System is run with PID, ENKENB (also known as s-S or Minimum Maximum model), and EOQ to generate order quantities that are used for calculation of BWE variables. The values generated will also provide information to better understand how Supply Chain system is performing. A BWE value is calculated for each of the PID, Min-Max and EOQ models. Bull-whip values will at the same time be used to compare the performances of these different stock control methods. PID has generated a BWE value close to EOQ and ENKENB methods that can be evaluated as a successful although this was its early use as a stock control method. The research is considered to be important for mid and big scale companies since it can constitute a useful platform for new research areas and has characteristics to provide a vision for business managers.

Key Words: Bullwhip Effect, System Dynamics, Supply Chain Management, PID Control.

I. GİRİŞ

Mühendislik Sistemlerinin modellenmesinde sisteme ait parametre ve değişkenlerin belirlenmesi büyük önem taşımaktadır [1].

Tedarik zinciri hammaddeden başlayıp bitmiş ürünlere ve müşteriye kadar olan işlemlerin oluşturduğu bir zincirdir. Tedarik Zincirinde stok birikmelerinin pek çok sebepleri vardır. Çalışma kapsamında stok birikmelerinin temel nedenlerinden bir tanesi olan BWE sebepleri ve hesaplama şekli incelenecektir. Çalışmada TZY kapsamında PID, ENKENB ve ESM yöntemleri kullanılarak sipariş miktarları belirlenmiş ve BWE değeri hesaplanmış ve böylece BWE değerini azaltacak alternatif yaklaşımların tasarımına da zemin hazırlanmış olmaktadır.

Tedarik Zinciri modeli tasarımında sistem dinamikleri yaklaşımı esas alınmıştır. Forrester sistemler üzerinde çalışanların sistemler arasındaki farklı elementlerden ziyade sistemlere ait ortak noktalara odaklanmasından dolayı ortak bir dilin oluştuğunu belirtmektedir [2]. Sistem Dinamikleri yaklaşımı Sağlık, Ulaşım, Enerji, Ekonomi gibi birbirinden oldukça farklı dinamik yapılara sahip sistemlerde kullanılabilir [3]. Tedarik Zinciri problemleri de dinamik bir yapıya sahiptirler. Sahip oldukları dinamik yapı sebebi ile sistem dinamikleri yaklaşımının Tedarik Zinciri yönetimi ile ilgili alanlarda kullanımı etkili bir seçenek haline gelmektedir [4,5].

Tedarik Zincirinin önemli bir kısmını teşkil eden PIC (Üretim-Stok Kontrol) sistemlerinde talep tahmininde yapılan hatalar ve bilgi akışında meydana gelen düzensizlikler stok miktarları üzerinde kamçı etkisine (BWE) sebep olmaktadır. BWE (VR_{OR} - sipariş verme hızı varyansı) σ_{OR}^2 , talep hızı varyansı σ_{DR}^2 .

$$VR_{OR} = \frac{\sigma_{OR}^2}{\sigma_D^2} \quad (1)$$

BWE tedarik zincirindeki kademelerde stok birikmesi ve üretim-stok kontrolüne yönelik olarak PID ve fuzzy-logic-kontrolörü BWE azaltılması için birlikte kullanılmıştır [6,7].

Çalışma kapsamında geliştirilen model Fabrika ve Dağıtım Merkezi olmak üzere iki ana birimden oluşmaktadır. Tek alıcı ve tek satıcı olması sebebi ile ve PID sistemi yeni stok değerinin bir geri besleme elamanı olması nedeni ile sistem “kapalı sistem” olarak nitelendirilmiştir. Kapalı sistemlerin açık sistemlere göre daha başarılı olduğu çalışmalarla da ispatlanmıştır [7]. TZY doğru ürün, doğru miktarda, doğru zamanda ve doğru yerde olacak şekilde üretilip dağıtılması için tedarikçiler, imalatçılar, depolar ve ambarların etkin olarak birleştirilmesini öngören işlemler bütünüdür. Tedarik Zinciri Yönetimine ait alt başlıklar altında: Depo Yer Seçimleri, Dağıtım Planları, Ortaklıklar, Satın Alma Stratejileri, Yeni Ürün Geliştirme, Bilgi Yönetim

Teknolojileri, Müşteri İlişkileri, Tedarikçi Seçimi ve İadeler/Garantiler Yönetimi sayılabilir [8].

II. MATERYAL VE YÖNTEM

A. Problem Tanımı

Çalışma kapsamında yapılan araştırmalar Sipariş ve Talep oranları arasındaki değişime bağlı olan kamçı etkisinin hesaplanması olarak ifade edilebilir. Alternatif stok kontrol yöntemlerinin kullanılması ve modellemede Matlab/Simulink kullanılması ve PID gibi yeni bir stok kontrol yönteminin kullanılması da çalışmanın orijinalliğine değer katmaktadır. Üretim şekillerini farklı şekillerde sınıflandırmak mümkün olduğu gibi en genel anlamda siparişe bağlı ve stok tipi üretim olmak üzere ikiye ayırmak en yaygın olan uygulamadır. Siparişe Göre Üretim talep’i esas alırken, Stok Tipi Üretim ise Talep Tahmini esas alır. Üretim biçimi satın alma politikasını belirleyen en önemli unsurlardan biridir ve kamçı etkisinin oluşmasındaki en önemli etkenlerden bir tanesi olduğu söylenilebilir. Tedarik Zincirinde kullanılan farklı yönetim anlayışları vardır: Yalın, atık ve karma. [9]. Tedarik Zinciri Yönetiminde geleneksel modellerin yanında stok kontrolünde yeni bir sipariş verme modeli olan PID yöntemi de kullanılmıştır [10]. Model talep’in stoklardan karşılanacağı esası üzerine tasarlanmıştır. BWE değerleri hesaplanırken talep-sipariş miktarı değerleri kullanılmıştır. Her bir stok kontrol yöntemi için elde edilen verilerden BWE değişkeninin değeri her bir yöntem için ayrı olarak hesaplanıp karşılaştırılacaktır.

III. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

B. Simulink Modeli

Modüler yaklaşım kullanılarak geliştirilen model Fabrika ve Dağıtım Merkezinden oluşan iki kademeli bir tedarik zinciri sistemi olarak tasarlanmıştır. Her kademede üç alt birim bulunmaktadır: Dağıtım Merkezi, Eldeki Stok Miktarının Hesaplanması ve Sipariş Miktarının Hesaplanması. İlgili yapı üç farklı stok kontrol yöntemi olan PID, ENKENB ve ESM için tekrarlanmıştır. Matlab/Simulink ortamında geliştirilen model **Şekil 3.27**’de gösterilmiştir. Modelin anlaşılabilmesi için orta düzey stok yenileme politika bilgisinin yanında orta/üst düzey Simulink program bilgisine ihtiyaç vardır.

C. Elde Edilen Çıktılar ve Analizleri

Örnek çıktılar için **Tablo 3.1**, **Tablo 3.2**, **Şekil 3.1-3.5**’deki grafiklerde sunulmuştur. Tez genelinde model aracılığı ile üretilen veriler genel olarak 100 dönem için üretilmişlerdir. Grafiklerden de görüleceği gibi sistem “kararlı durum” denilen noktaya 30’ncü dönemden sonra ulaşmaktadır. Elde edilen sonuçlar ve benzetim çalışmalarında kullanılan parametre değerleri bölüm sonunda **Tablo 3.3**’de özet olarak sunulmuştur. **Tablo 3.3**’den de görüleceği gibi PID ve ESM varyans değerleri sayısal olarak yakın olmakla beraber PID ve Enk Enb varyans değerleri büyük ölçüde farklılık göstermektedir.

Tablo 3.1 ve **Tablo 3.2** de modellerin analizleri gerekli grafik ve çizelge ilavesi ile daha detaylı bir şekilde açıklanmıştır. Parametre değerleri belirlenirken “ortalama talep miktarının karşılanıyor olması” esasları göz önünde bulundurulmuş ve talep fonksiyonu $U[10,100]$ ve $U[10,80]$ değerlerine göre ortalaması

yaklaşık olarak 40 ile 50 birim civarında olacak şekilde seçilmiştir. Bu parametreler doğrultusunda her modele ait sipariş miktarlarının belirlenmesi sureti ile aralarındaki performans farklarını gözlemleyebilmek için uygun bir zemin oluşmuş olmaktadır.

Tablo 3.1 Fabrika Stok ve Sipariş Değerleri

Dönem Sayısı: 100			STOK		SİPARİŞ MİKTARI	
YÖNTEM	PARAMETRE	Ortalama	St. Sapma	Ortalama	St. Sapma	
PID	1	$K_p=1.7; K_i=1.7; K_d=1.7$	Fabrika biriminde kullanılmamıştır.			
	2	$K_p=1; K_i=0.2; K_d=0.1$	18,94	17,99	67,66	36,5
	3	$K_p=0.1; K_i=0.2; K_d=1$	12,91	22,17	54,69	41,05
	4	$K_p=0.1; K_i=1; K_d=0.1$	31,15	45,58	53,66	60,64
	5	$K_p=0.1; K_i=1.5; K_d=0.1$	42,35	53,98	48,33	66,92
	6	$K_p=0.5; K_i=0.5; K_d=0.5$	29,94	32,12	52,59	52,87
PID		27,06	36,98	55,39	52,85	
TALEP		37,48	7,95	-	-	
ENKENB	1	$s=40, S=S2=100$	30,18	29,17	49,94	49,05
	2	$s=60, S=S2=100$	29,96	29,43	62,64	39,77
	3	$s=40, S=S2=80$	19,64	20,45	53,12	31,32
	4	$s=40, S=S2=120$	27,94	25,24	72,47	51,87
	5	$s=40, S=S2=160$	44,19	48,82	110,10	95,75
ENKENB		30,38	32,11	69,65	58,01	
TALEP		37,48	7,95	-	-	
ESM	1	$A:15, h=i*c=0,2$	42,92	41,83	61,74	63,11
	2	$A:30, h=i*c=0,2$	46,36	37,17	59,81	69,92
	3	$A:15, h=i*c=0,3$	25,53	20,86	61,67	36,29
ESM		38,27	34,48	61,08	58,28	
TALEP		37,48	7,95	-	-	

Siparişin Talebi karşılama oranı yeterli olmasından dolayı Fabrika PID birimi parametre değerleri için yeniden düzenleme yapılmasına gerek kalmamıştır. PID parametreleri ile ortalama stok ve ortalama sipariş değerleri arasındaki “değişim oranı” ayrı bir inceleme konusu olacak niteliktedir.

Talep’in stok’tan karşılanıyor olmasından dolayı Ortalama Stok değerlerinin “0” a olabildiğince yaklaştırılması esasına göre hareket edilmesidir. Çünkü YS değeri hesaplanırken Talep değeri düşülerek bir net stok hesabı yapılıyor ve dolayısıyla $Ortalama\ Stok = Ortalama\ Talep$ dengesini aramak doğru olmamaktadır. Yeni stok değeri $YS = ES + GS - T - F \geq 0$ ile hesaplanmaktadır, ifade biraz farklı şekilde yeniden yazıldığında $ES + GS \geq T + F$ olacağı görülecektir. Elde edilen değerlerde Eldeki Stok Miktarı değerinin veya Sipariş Miktarı değerinin tek başına Talep değerinden büyük olması beklenilmemelidir. Doğru bakış açısı ise; $Ortalama\ Stok + Ortalama\ Sipariş \geq Talep + Fire$ şeklinde olmalıdır. Aynı bakış açısı ile $\left(\frac{Ortalama\ Stok}{Ortalama\ Talep}\right) + \left(\frac{Ortalama\ Sipariş}{Ortalama\ Talep}\right) \leq 1$ olduğu görülecektir.

Araştırma kapsamında bakılabilecek bir başka araştırma konusu ise Talep’in yüzde kaçının stoklardan yüzde kaçının da siparişlerden karşılanıyor sorusunun cevabını bulmaktır.

Yani $(\% Stok\ tan\ Karşılama\ Oranı) + (\% Siparişlerden\ Karşılama\ Oranı) \leq 1$ olacak

şekilde yüzdeler belirlenmesidir. Bu sorunun pratik uygulamalara göre cevabı modelin tasarımına bakılarak %100 stoklardan karşılandığı olacaktır. Yüzdelerin belirlenmesi ile birlikte pratikte bütün talep miktarının stoklardan karşılanmasının mümkün olmadığı da ispat edilmiş olacaktır, “0” stok politikasının teorik bir ideal olduğu gerçeği gibi.

İkincisi ise “ortalaması küçük demek, toplamda da küçük demek değildir”. İki modele ait sipariş ortalamaları karşılaştırılabilir. Sipariş ortalaması büyük olan modelin toplam sipariş miktarı da büyük demek değildir doğal olarak sipariş sayısı az olduğu için ortalama sipariş değeri de yüksek çıkacaktır. Sipariş ortalaması küçük olan da sipariş sayısı yüksek olduğundan ortalama sipariş değeri küçük olacaktır. Özellikle “sıfır sipariş miktarı” olabilmesinden dolayı ortalamalar arasındaki karşılaştırmalar bazen yanıltıcı olabiliyor. “0” siparişlere

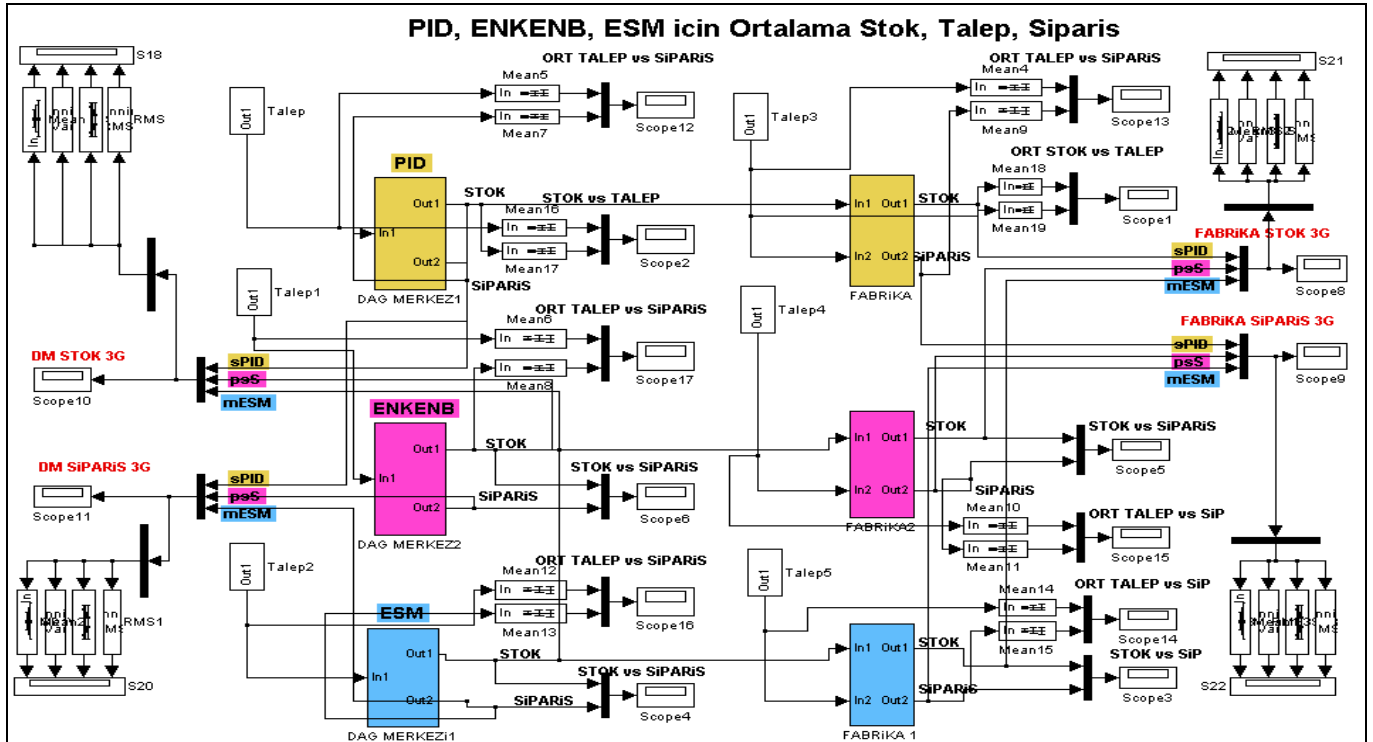
ait dönemlerde ortalama hesaplamasında kullanılan bölün hanesine eklenirse ancak o takdirde yanlış ortadan kalkar ve ifade "ortalama küçük demek, toplamda da küçük demektir" şeklinde olabilir.

Parametreler için alternatif değerlerin belirlenmesi süreci oldukça kritik bir süreçtir. Parametreler üzerinde artırma veya azaltma yönünde değişiklikler yapılması ortalama değerler üzerinde doğrudan etkilidir. Farklı parametre değerlerinin denenmesi yoluyla modelin çalıştırılması için gerekli ideal parametreler belirlenebilir. Yapılan denemeler sırasında ortalama veya varyans değerleri üzerinde en yüksek düzeyde etkili olacak şekilde parametrelere değer atayabilmek deneme sürecini kısaltmak açısından daha fazla dikkat gerektirmektedir. İhtiyaç duyulduğu takdirde farklı parametre değerleri modelde kullanılmak yoluyla yeni sonuçlar elde edilecektir. PID, ENKENB ve ESM yöntemlerinin birinci parametrelerle çalıştırılmaları sonucu elde edilen değerler **Tablo 3.1**'de sunulmuştur. İkinci ve üçüncü parametre değerleri kullanılarak modeller tekrar çalıştırılmış ve birinci ile ikinci çalışmalarda elde edilen sonuçlar ile karşılaştırması yapılmıştır. Bununla beraber her model için parametrelere bağlı genel ortalama sonuçlarda çıkartılmıştır. Dikkat çeken ve aynı zamanda bir araştırma bulgusu sayılabilecek bir nokta ise aynı model Fabrika ve DM birimlerinde farklı parametrelerle çalıştırılarak test edildiğinde aynı parametreler için farklı ortalama ve varyans değerleri üretebilmektedir. Yani stok kontrol modelinin sadece tedarik zincirindeki yerinin değişmesinden dolayı modele ait parametrelerde de değişiklik yapmak gerekebilir. **Tablo 3.1**'de yer alan toplam satırında parametre farkı gözetmeksizin değerlerin genel ortalama ve standart sapma değerleri hesaplanmıştır. **Tablo 3.1**'de parametrelerin

sonundaki toplamların hesaplandığı satırda yer alan değerler ile modelden Talep fonksiyonunun Fabrika ve DM için hesaplanan ortalama ve standart sapma $F_{Talep} = (Ortalama, Standart Sapma) = (37, 48; 7, 95)$

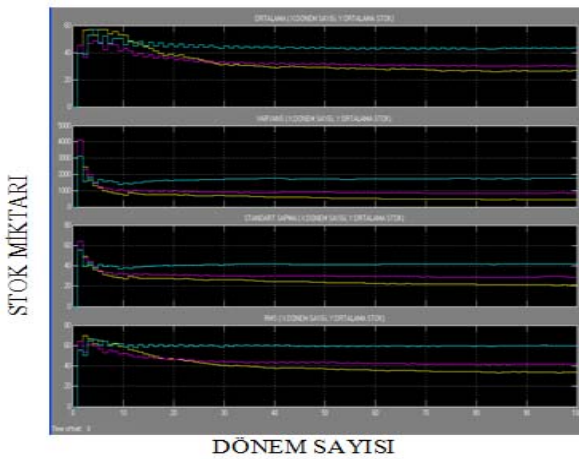
$DM_{Talep} = (Ortalama, Standart Sapma) = (29, 98; 6, 36)$ ile karşılaştırıldığında değerlerin yaklaşık olması her üç modelin de etkili olduğunu göstermektedir. Bir başka deyişle PID yönteminin etkili bir stok kontrol mekanizması olarak kullanılmasını (ilave olarak etkili bir Sipariş Verme politikası olarak da kullanılabilmesi) tezini de ispatlamış olmaktadır. PID mekanizmasının ihtiyaçlara uygun olarak tasarlanması da göstereceği performans açısından önemlidir. Grafiklerde özellikle ortalama stok ortalama talep dengesi aranmış ve sipariş miktarlarının da ortalamalardan çok uzak olmamasına özen gösterilmiştir. Bu şartlar altında elde edilen değerlerde model farkı gözetmeksizin ortalama talep kadar bir stok miktarının sürekli olarak elde bulundurulduğu görülmektedir.

$(Ortalama Stok + Ortalama Sipariş) \sim \geq (2 * Ortalama Talep)$ olduğu söylenilebilir. Yeri gelmişken ifade etmekte fayda olduğu düşünülen bir diğer nokta ise etkili stok yönetimi için önemli karar problemlerinden bir tanesi de talep'in yüzde kaçının stoklardan yüzde kaçının da siparişlerden karşılanması gerektiğinin belirlenmesidir. Yüzdelerin ayarlanması hem yok satma riskini hem de elde bulundurma maliyetlerini azaltacaktır. Deneme yanılma yoluyla ayarlanması oldukça riskli ve maliyetli olacaktır. Maliyet unsurları modele ilave edilmek sureti ile yüzdeler konusunda araştırma yapılabilecektir. Stok ve Sipariş yüzdelerinin ayarlanması ayrı bir inceleme konusu olarak düşünüldüğünden şimdilik daha fazla açıklamaya ihtiyaç görülmemiştir.

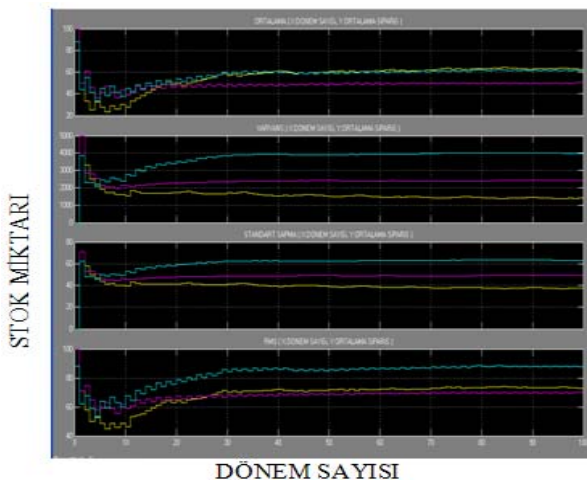


Şekil 3.1 Simulink Model Ekranı: İkili ve Üçlü Grafikler

Şekil 3.1 aynı zamanda **Tablo 3.3'** de kademelerde yapılacak model değişikliklerinin test edilmesinde de yoğun bir biçimde kullanılacağı düşünülmüş geliştirilmiştir. Ayrıca sonuçların daha kolay bir şekilde görülebilmesine de olanak sağlamaktadır. **Şekil 3.1'**deki modelin çalıştırılması ile elde edilen üçlü grafikler **Şekil 3.2-3.5'**de sunulmuştur. Grafiklerden net olarak belirlenemeyen durumlar için ilgili sayısal istatistiklere müracaat edilecektir. **Şekil 3.2** İstatistiksel değerlerden görüleceği üzere her model için elde edilen Fabrika Ortalama Stok değerlerinin sıralaması "PID<ENKENB<ESM" şeklinde olmaktadır. İlk 10 dönemde PID yöntemi diğer yöntemlere kıyasla yüksek bir ortalama değeri ile başlamasına rağmen 10'ncü dönemin sonunda hızlı bir şekilde ortalama stok miktarını düşürmüş ve diğer yöntemlerden daha iyi bir performans sergilemiştir. Deney ortamında varyans ayarının yapılması talep fonksiyonundaki en küçük ile en büyük arasındaki değerlerin azaltılması yoluyla kolaylıkla tesis edilebilir. Gerçek hayatta ise bu zaman alıcı bir süreç olacaktır, satın alma alışkanlıklarından, üretimde kullanılan parti büyüklüklerine kadar pek çok alanda düzenlemeler yapılması gerekecektir.



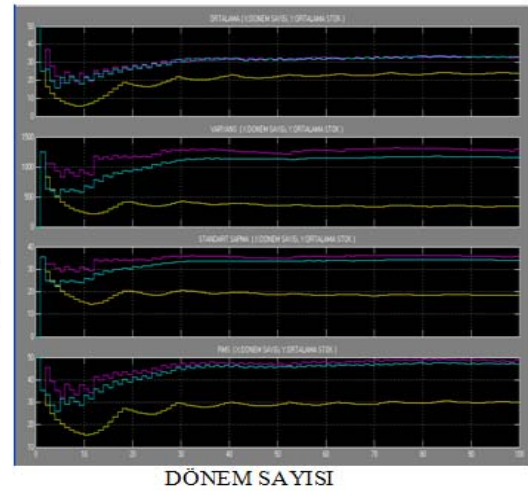
Şekil 3.2 Fabrika 3'lü Stok
Sarı (PID)-Pembe (ENKENB)-Mavi(ESM)



Şekil 3.3 Fabrika 3'lü Sipariş

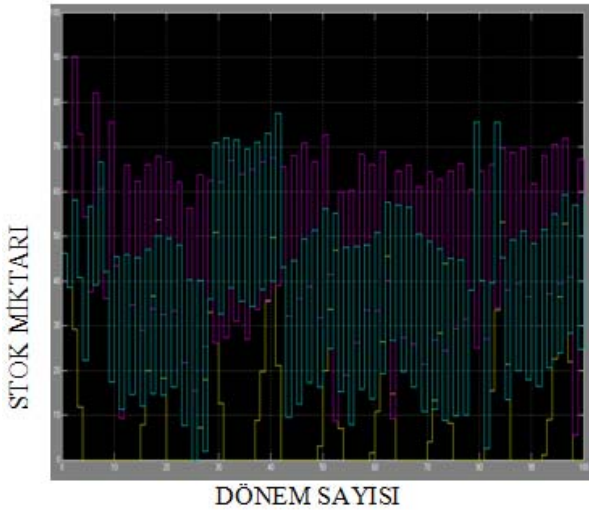
Sarı (PID)-Pembe (ENKENB)-Mavi(ESM)

Şekil 3.3' den de görüleceği üzere her model için elde edilen Fabrika Ortalama Sipariş değerlerinin sıralaması "ENKENB<PID=ESM" şeklinde olmaktadır. Ancak varyans değerlerine bakıldığı zaman PID yönteminin farklı bir şekilde diğer yöntemlerden üstün performans gösterdiği görülmektedir. PID yönteminin kararsız durumdan kararlı duruma geçmesi ENKENB yöntemi ile aynı zamanda gerçekleşirken ESM' ye göre daha üstün olduğu görülmektedir. ENBENK yönteminin de iyi bir performans sergilediği söylenebilir. Farklı parametreler kullanıldığında farklı sıralamaların ortaya çıkması muhtemel olmakla beraber PID yönteminin gösterdiği performans oldukça iyi olarak ifade edilebilir. Modelde gerçek iş dünyasında elde edilen veriler kullanılsaydı, o takdirde varyans değerlerinin azaltılması yönünde acilen iyileştirici çalışmaların yapılması gerektiği ifade edilecekti.



Şekil 3.4 DM 3'lü Stok
Sarı (PID)-Pembe (ENKENB)-Mavi(ESM)

Şekil 3.4' den de görüleceği üzere her model için elde edilen DM Ortalama Stok değerlerinin sıralaması "PID<ESM<ENKENB" şeklinde olmaktadır. PID değerleri net bir şekilde diğer model değerlerinin altında Ortalama ve Varyans değerleri göstererek oldukça iyi bir performans göstermiştir. Gerektiği durumlarda grafiklerle vasıtası ile yapılan karşılaştırmalar sayısal olarak çizelgelerle de ifade edilecektir. Burada yer alan yorumların özetleri çizelge halinde **Tablo 3.4'** de sunulmuştur. ESM yönteminin ilk defa DM Ortalama Stok biriminde Fabrika Ortalama Stok değerine nazaran daha iyi Ortalama Stok değeri göstermesi dikkat çekicidir. Üçlü model karşılaştırmaları sonucunda elde edilen sonuçlar ve sonuçların elde edilmesi sırasında kullanılan model parametrelerine ait değerler bir arada **Tablo 3.4'** de gösterilmiştir. Farklı model parametreleri için farklı sonuçlar elde edilmesi mümkün olmasından dolayı benzer analizler farklı parametreler kullanılarak yürütülebilir. Ancak **Tablo 3.4'**de seçilen değerler ilgili modelin Ortalama Stok değerinin Ortalama Talep değeri olan (40-50) arasında çıkacak şekilde seçilmiş değerlerdir.



Şekil 3.5 DM 3'lü Sipariş
Sarı (PID)-Pembe (ENKENB)-Mavi(ESM)

Şekil 3.5' den de görüleceği üzere her model için elde edilen DM Ortalama Sipariş değerlerinin sıralaması "PID<ESM<ENKENB" şeklinde olmaktadır. ESM ve

ENKENB yöntemlerinin performansları yakınlık göstermektedir. DM ESM Ortalama Sipariş değerinin Fabrika Ortalama Sipariş değerine nazaran daha iyi Ortalama Sipariş değeri göstermesi dikkat çekmektedir. Üçlü model karşılaştırmaları sonucunda elde edilen sonuçlar ve sonuçların elde edilmesi sırasında kullanılan model parametrelerine **Tablo 3.3** tez çalışması kapsamında yapılan analiz çalışmalarının özeti olarak bakılabilir. Parametre ve sıralama seçeneklerine bakarak olası test olasılıkları düşünüldüğünde çok fazla sayıda test yapılması gerekeceğinden dolayı hangi modellerin hangi parametrelerle hangi sırada teste alınacağı ek çalışma gerektirmektedir. Test seçeneklerinin çok olması durumunda "Deney Tasarımı" gibi bazı kolaylaştırıcı yaklaşımlar kullanmak yoluyla gerekli test yükü sayısı büyük ölçüde azaltılabilir. Ancak bu araştırma ile PID veya diğer yöntemlerin en iyileştirilmesinden ziyade PID yönteminin kabul edilebilir bir sipariş verme modeli olduğu üzerinde tezimizi yoğunlaştırdığımız için şu ana kadar yapılmış olan test çalışmalarında Ortalama Stok ve Ortalama Talep değerlerine yakın olanları seçmek ve onları karşılaştırmak yoluyla sonuçlara ulaşılması sağlanmıştır.

Tablo 3.2 Sipariş Modellerinin Standart Kullanımı

FABRİKA				
Fabrika	Stok Ortalama	Stok St Sapma	Sipariş Ortalama	Sipariş St Sapma
PID	31,15	45,58	53,66	60,64
ENKENB	30,18	29,17	49,94	49,05
ESM	42,92	41,83	61,74	63,11
DM (DAĞITIM MERKEZİ)				
DM	Stok Ortalama	Stok St Sapma	Sipariş Ortalama	Sipariş St Sapma
PID	34,38	29,04	32,22	44,22
ENKENB	47,9	19,63	32,97	35,99
ESM	37,34	20,09	32,56	34,12
KULLANILAN MODEL PARAMETRELERİ				
PID		ENKENB		ESM
F : $K_p=0.1;K_i=1;K_d=0.1$ DM: $K_p=1.7;K_i=1.7;K_d=1.7$		s=40;S=100;S2=100		A=15;h=0.2

Tablo 3.3 için modellere ait parametre değerleri, gerek ikili grafik gerekse üçlü grafik analizlerinde gösterdikleri en iyi performanslar esas alınarak seçilecektir. Hangi modellerin bir arada daha etkili çalıştıklarının ortaya çıkması açısından ve tedarik zinciri yapısında hangi Sipariş Verme Modeli'nin önce yer almasına kadar birçok konuda sorulara cevap verebilecek bir analiz olmasından dolayı çalışmanın bütününe bakan bir yönü bulunmaktadır.

Model de DM verileri Fabrika sonuçlarını etkileyebilecek durumda ancak Fabrika'dan DM'yi etkileyebilecek herhangi bir bilgi akışı yoktur. Bu yüzden modeller vasıtası ile yapılan "kademelerdeki değişikliklerinin" sonuçları üzerindeki etkilerini DM'den görmek mümkün olmamaktadır. Yapılan değişiklikler DM'nin Sipariş miktarını etkilediği için doğal olarak Fabrika'nın sipariş

miktarlarını ve stok miktarlarını etkilemektedir. Ancak sistemde DM siparişlerinin bir dönem sonra mutlaka karşılanıyor olmasından dolayı DM için zincirin üst halkasında hangi modelin kullanılıyor olması DM verilerini etkilememektedir. Bu sebepten dolayı değişiklikler Fabrika verilerinde görülebilmekte iken DM verilerinde görülmemektedir. Model tasarımında yapılacak ek bir çalışma ile, mesela müşteri talebinin karşılanmadığı durumda siparişin bekletilmesi gibi, yer değişikliğinin DM üzerindeki etkisinin ölçülebilmesi için fırsat sağlanabilir. Simulink program olarak benzer modelleme kolaylıklarını sunmaktadır. Ancak mevcut tasarımıyla model DM için kademelerdeki model değişikliğinin etkisini ölçemez. Sonuç olarak ESM ve ENKENB PID ile çalışınca daha iyi sonuç veriyorlar.

D. BWE (Bullwhip Effect-Kamçı Etkisi)
Varyans Oranları Kıyaslaması

BWE katsayı karşılaştırması ile varyanslar ile kademelere göre davranışları karşılaştırılacaktır. Siparişlerin Varyansının Talep Varyansına Oranına kamçı etkisi denilmektedir [11, 12, 13, 14]. Fabrika ve DM birimleri için BWE değeri araştırılacak ve bu sayede çalışma kapsamında elde edilen verilerin endüstri standartları ile olan yakınlığını karşılaştırma fırsatı doğacaktır. BWE kıyaslamasının çalışmaya gerek modelin çalışmasına gerekse tasarımına yönelik olarak doğrulayıcı nitelikte bir katkısı olacaktır. BWE karşılaştırması her üç model verileri ve karma model verileri için ayrı yapılmak sureti ile modellerin BWE etkisine karşı dayanıklılıkları da kıyaslanmış olacaktır. BWE hesaplamalarında **Tablo 3.1** ve **3.2**' deki veriler kullanılmıştır. BWE ölçümü bir kademedeki talep varyasyonunun katsayı çarpanının sipariş varyasyonunun katsayı çarpanına oranı olarak tanımlanmaktadır. "c" varyasyon katsayısı, D_{out} : Zincirdeki diğer halkalara gönderilen talep (verilen siparişler), D_{in} : Zincirdeki diğer halkalardan gelen talep ve "w" kamçı etkisi olmak üzere ilgili denklemler **Eşitlik 2** ve **Eşitlik 3**' de BWE değerinin nasıl hesaplanması gerektiği gösterilmektedir [14, 15, 16].

D_{in}

$$w = \frac{C_{out}}{C_{in}}$$

$$C_{out} = \frac{\sigma(D_{out}(t,t+T))}{\mu(D_{out}(t,t+T))}$$

$$C_{in} = \frac{\sigma(D_{in}(t,t+T))}{\mu(D_{in}(t,t+T))}$$

"gelen müşteri talebi" ve D_{out} "verilen siparişler" olarak algılanmalıdır. Modellerde farklı parametre kullanımlarında ve modellerin kademelerinde yapılan değişikliklerin neticesinde elde edilen sonuçların karşılaştırılmasında "w" değişkeninin kullanılabilmesi söylenilebilir.

Tablo 3.1 Stok Miktarı için de oluşturulmak sureti ile Talep-Stok arasındaki BWE oluşumuna bakılabilir özellikle Talep'in stoklardan karşılandığı sistemlerde Talep-Stok etkisinin araştırılması daha anlamlı olacaktır. Kaynaklarda böyle bir çalışmaya rastlanmadığı için yeni bir çalışma konusu olarak görünmektedir. BWE' nin mekanik sistemlerdeki mantıksal karşılığı benzer şekilde Makine Mühendisleri için bir araştırma konusu olacaktır.

Tablo 3.3 FABRİKA İÇİN BWE KIYASLAMASI

FABRİKA							
	Talep (D_{in})			Sipariş (D_{out})			w
	σ	μ	C_{in}	σ	μ	C_{out}	
PID	7,95	37,48	0,21	52,87	52,59	1,01	4,81
ENKENB	7,95	37,48	0,21	49,05	49,94	0,98	4,67
ESM	7,95	37,48	0,21	61,74	63,11	0,98	4,67

Modellerden elde edilen ortalama değerler 100 döneme ait olduğundan $(t, t+T)=(0,100)$ şeklinde düşünülebilir.

Modellere göre BWE ya da "w" değerleri kabul edilebilir sınırlar içinde görünmekle beraber kontrol edilmesi ve PID' nin karşılaştırma sonucunda gösterdiği performansı destekler niteliktedir. **Tablo 3.3**' deki değerler yakından incelendiğinde Ortalama ve Varyans değerleri arasındaki farkın BWE etkisini arttırdığını söylemek mümkün görünmektedir.

Tahmini talebe göre stok yönetiminin yapıldığı TZ sistemlerinde BWE bilinen bir problemdir. Tam Zamanında Üretim (TZÜ), stratejik ortaklık, yalın üretim teknikleri

veya tedarikçi tarafından yönetilen stok yönetim modelleri ve bilgi paylaşımı benzeri çalışmaların BWE etkisini azaltıcı yönde etkili olduğu bilinen uygulamalara örnek olarak gösterilebilir [19]. PID yöntemi diğer yöntemlere oldukça yakın bir değer üretmiştir. Fabrika biriminde ENKENB ve ESM aynı DM biriminde ise ESM daha başarılı sonuçlar üretmişlerdir. Ancak model genelinde Varyans değerlerinin yüksek olması Varyans etkisinin azaltılması yönünde ek çalışmalar yapılması için önemli ipuçları vermektedir. Çalışma kapsamında müşteri talebi stok'tan karşılandığından dolayı sipariş miktarları ile talep değerleri arasında farklılıklar olabilmektedir. DM için BWE hesaplamaları **Tablo 3.4**' de sunulmuştur.

Tablo 3.4 DM İçin BWE Kıyaslaması

	DM						w
	Talep (D _{in})			Sipariş (D _{out})			
	σ	μ	C_{in}	σ	μ	C_{out}	
PID	6,36	29,27	0,217	44,22	32,22	1,37	6,31
ENKENB	6,36	29,27	0,217	35,99	32,97	1,09	5,02
ESM	6,36	29,27	0,217	34,12	32,56	1,05	4,84

DM için yapılan karşılaştırmalar da Fabrika değerlerine nazaran kısmen daha yüksek değerler elde edilmiştir. Zincirde aşağıya doğru ilerledikçe BWE değerlerinin arttığı bilinen bir sonuç olmasından dolayı DM için BWE değerlerinin yüksek çıkması normal bir durum olarak değerlendirilebilir. Ancak **Tablo 3.4'** da yer alan sonuçların çalışma açısından oldukça kabul edilebilir sonuçlar olduğunu söylemek mümkündür. PID yöntemi diğer yöntemlerden elde edilen sonuçlar ile karşılaştırıldığında DM birimi içinde diğer modellerle örtüşen bir performans sergilemiş olması PID' nin stok kontrolünde etkin bir yöntem olduğunu destekler niteliktedir. BWE formüllerinin gereği olarak talep ve sipariş değerleri ve aralarındaki oranlar kullanılmıştır. Ancak tez çalışması kapsamında sipariş değerlerinden ziyade stok değerleri referans olarak kullanılmıştır dolayısıyla BWE' nin talebin stoktan karşılandığı yönetim modelleri için kullanılabilir şekilde geliştirilmesi gerekmektedir. Varyans etkisi firmaların her zaman maruz kalabilecekleri potansiyel ve çok etkili bir tehdit unsuru olması sebebi ile PID-Simulink kullanılarak sistemdeki varyans etkisini azaltmaya yönelik ilave birimler geliştirilebilir. Tedarik Zincirindeki her bir birim veya kademe için BWE değışkeni hesaplanabildiği gibi sistemin bütünü içinde bir BWE değeri hesaplamak mümkündür. Firmalar arası karşılaştırma yaparken kullanılan 6 Sigma ölçütü gibi bir BWE değeri hesaplanmak sureti ile farklı firmaların stok yönetim performanslarının karşılaştırmasında bir ölçüt olarak kullanılabilir. Tez çalışması kapsamında yapılan çalışmalar farklı TZ tipleri (karma, yalın, vb.) için farklı uygulanabilir. Aynı bir araştırma konusudur. PP, IID gibi tekrar eden bileşenlerinin seri olarak bağlanmaları sureti ile farklı PID sistem tasarımları yapmak mümkündür. Paralel tasarımdan farklı olarak seri tasarımlarda "I" ve "D" bir arada kullanılmaz. Benzer bileşenlerden oluşan PID yapılarının BWE gibi etkilere karşı nasıl tepki verdiklerini araştırmak da mümkün olacaktır. Ziegler-Nichols sonucunda elde edilen parametrelerle kurulan sürekli zaman PID modeline

$$G_{PID(s)} = 3,4 \left(1 + \frac{1}{3,6s} + 2,8s \right)$$

Transfer fonksiyonundan $(K_p; K_i; K_d) = (3,4; 3,6; 2,8)$ olduğu anlaşılmaktadır [50].

IV. SONUÇ

Tedarik Zinciri yönetimindeki temel araştırma konularından bir tanesi olarak stok miktarının azaltılması ve buna bağlı olarak Tedarik Zinciri yapılarında kademe sayısının

azaltılması gösterilebilir. Tedarik Zinciri üzerinde yapılacak iyileştirmeler gerek zaman gerekse maliyetlerin düşürülmesi üzerinde oldukça etkili olmaktadır. Dolayısıyla Tedarik Zincirine uygun stok kontrol politikalarının seçilebilmesi ve kolay olarak gözlem ve kontrol olanakları sağlaması büyük önem taşımaktadır. Tedarik Zinciri kapsamında yapılabilecek çalışmalara Tedarik Zincirinde kademe azaltılması, ürün ağacının sadeleştirilmesi ve paketleme ve paketlerdeki ürün sayılarının üretime uygun hale getirilmesi örnek olarak verilebilir. Yüksek BWE görüldüğü sistemlerde benzer iyileştirme çalışmalarının yapılması gerekmektedir. Tedarik Zinciri üzerinde yapılan iyileştirme çalışmalar e-ticaret, yerinden satış, tam zamanında üretim gibi kavramların gelişmesini de tetiklemiştir.

- Farklı stok kontrol yöntemleri ve modellerde kullanılan parametre değerlerinin değıştirilmesi BWE değerlerini değıştireceğinden parametrik analiz bu çalışmaya ilave olarak ayrı bir çalışma kapsamında yapılmalıdır.

- Çalışma sırasında dikkat çeken ve gelişmeye açık olan bir başka konu ise BWE hesaplanması için BWE formüllerinin gereği olarak talep ve sipariş değerleri ve aralarındaki oranlar kullanılmıştır. Tez çalışması kapsamında sipariş değerleri yerine stok değerleri kullanılmıştır. Dolayısıyla BWE' nin talebin stoktan karşılandığı yönetim modelleri için kullanılabilir şekilde geliştirilmiş bir modelinin kullanılması karşılaştırma açısından daha faydalı olacaktır. Varyans etkisi firmaların her zaman maruz kalabilecekleri potansiyel ve çok etkili bir tehdit unsuru olması sebebi ile PID-Simulink kullanılarak sistemdeki varyans etkisini azaltıcı ilave birimler geliştirilebilir. Çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar doğrultusunda PID yönteminin stok yenileme politikası olarak etkili bir yöntem olduğu ve özellikle talep dalgalanmasının yüksek olduğu ortamlarda Kamçı Etkisi olarak bilinen etkinin azaltılmasında kullanılabileceği söylenilebilir.

KAYNAKLAR

- [1] Ercan, Y., Mühendislik Sistemlerinin Modellenmesi ve Dinamiği, 2.Basım, 2003, Literatür Yayıncılık
- [2] Forrester, J.W., “Learning through System Dynamics as Preparation for the 21st Century, Keynote Address for Systems Thinking and Dynamic Modeling Conference for K-12 Education, June 27-29, 1994 at Concord Academy Concord MA USA.
- [3] System Dynamics Society: <http://www.systemdynamics.org/DL-IntroSysDyn/start.htm>, son erişim 14 Haziran 2010.
- [4] Venkateswaran, J., Hasti, C., “Stability of Production-Inventory Control Systems Considering Inventory Shortages”, Industrial Engineering & Operations Research Indian Institute of Technology Bombay, Powai, Mumbai 400076, Extended Abstract]
- [5] Khalid, S., “Trend forecasting for stability in supply chains”, Journal of Business Research 61 (2008) 1113–1124
- [6] Balan, S., Vrat, P., Kumar, P., Information distortion in a supply chain and its mitigation using soft computing approach”, Omega 37 (2009) 282 – 299.
- [7] Disney, S.M., Lambrecht, M., Towill, D.R. and Van de Velde, W., “The Value of Coordination in a Two Echelon Supply Chain: Sharing information, policies and parameters”, Faculty of Economics and Applied Economics, Katholieke Universiteit
- [8] Narahariseti, P.K., Adhitya, A., Karimi, I.A., Srinivasan, R., “From PSE to PSE², Decision Support for Resilient Facilities”, Computers and Chemical Engineering, xxx (2009) xxx–xxx, Accepted 1 June 2009.
- [9] Mark, A. Vonderembse, Mohit Uppal, Samuel H. Huang, John P. Dismukes, “Designing supply chains: Towards theory development”, Int. J. Production Economics 100 (2006) 223–238.
- [10] Yegengil, M., Arslan, H., Sevinç, A., “Örnek Bir Tedarik Zincirinin Sistem Dinamikleri Yaklaşımı İle Modellenmesi”, International Journal of Research and Development, Vol.3, No.1, January 2011.
- [11] Warburton, R.B.H., Disney, S.M. “Order and inventory variance amplification: The equivalence of discrete and continuous time analyses”, Int. J. Production Economics 110 (2007) 128–137.
- [12] Warburton, R.D.H., Disney, S.M., “Order and inventory variance amplification: The equivalence of discrete and continuous time analyses”, Int. J. Production Economics 110 (2007) 128–137.
- [13] Fransoo, Jan C., Wouters, Marc J.F. “Measuring the bullwhip effect in the supply chain”, Supply Chain Management: An International Journal Volume 5 Number 2 . 2000. pp. 78±89, MCB University Press. ISSN 1359-8546.
- [14] Kim, Jeon G., Chatfield, D., Harrison, Terry P., Hayya, Jack C., “Quantifying the bullwhip effect in a supply chain with stochastic lead time”, European Journal of Operational Research 173 (2006) 617–636.