

Tedarik Zincirinde Stok Yönetimi Problemleri için Elektronik Tablolar Yardımı ile Simülasyon Uygulaması

Yrd. Doç. Dr. Bülent Sezen

Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, İşletme Fakültesi, GEBZE

ÖZET

Bu çalışmada, tedarik zinciri stok problemlerinin simülasyon yaklaşımı ve elektronik tablolar kullanılarak nasıl ele alınabileceğinin örnek uygulamalarla gösterilmesi amaçlanmıştır. İş hayatında benzer stok problemleri ile karşılaşabilecek üretim yöneticilerine pratik çözümler bulmada yol gösterici iki farklı örnek uygulama geliştirilerek, farklı senaryolar için elektronik tablo simülasyonlarının kolayca oluşturulabileceği vurgulanmış ve elektronik tablolar kullanılarak modellenebilecek daha karmaşık stok sistemlerine de örnekler verilerek gelecek araştırmalara konu olabilecek hususlara değinilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Tedarik Zincirleri, Stok Yönetimi, Simülasyon, Elektronik Tablolar

ABSTRACT

The aim of this study is to demonstrate how supply chain inventory problems can be handled by using the simulation approach and spreadsheets. Two different case studies are used to guide the operations managers in finding some practical solutions to the similar inventory problems that they may encounter. By this way, spreadsheet simulations are shown to be easily applicable to different operations scenarios. In the final section, future possibilities for applying the spreadsheet simulation to the more complex inventory systems are discussed.

Keywords: Supply Chains, Inventory Management, Simulation, Spreadsheets

I. Giriş

Tedarik zinciri, malzeme ve/veya ürünlerin son kullanıcıya (nihai müşteriye) ulaşana dek geçtikleri aşamaları ve birbirinden bağımsız olarak ürüne değer katan tüm zincir üyelerini içine alan bir sistemdir (Seppälä ve Holmström, 1995). Dünya çapında ticaretin yoğunlaşması ve uzak bölgelerdeki pazarlara ulaşmada tedarik zincirlerinin öneminin artması nedeniyle, tedarik zinciri yönetimi hem ticari çevrelerin hem de akademik çevrelerin artarak önem vermeye başladığı bir konu olmuştur. Son zamanlarda, üretim yönetimi alanındaki akademik çalışmaların büyük bir kısmı özellikle tedarik zinciri yönetiminde stok ve stok politikalarının rolü üzerinde odaklanmıştır (Ganeshan ve diğerleri, 2001).

Stok problemi, en basit anlamda ele alındığında, bir ürün/malzemenin tedarik zincirinde bir aşama geride olan zincir üyesinden (işletmeden) *ne zaman* ve *ne miktarda* sipariş edilmesi gerektiğine ilişkin problemi içermektedir. Fakat stok yönetimine ilişkin problemler, talepteki belirsizlikler, üretim aşamalarındaki varyasyonlar ve tedarik zincirindeki üyeler arasındaki sevkiyat sürelerindeki değişiklikler ve aksamalar nedeniyle oldukça karmaşık hale gelebilmektedir. Her ne kadar, farklı stok modelleri ve tedarik zinciri yapıları için çok sayıda matematiksel algoritma ve en iyi (optimum) çözüm yöntemleri öne sürülmüş olsa

da, ele alınan örnek modellerin büyüklüğü ve gerçek hayata yakınlığı arttıkça oluşturulan matematiksel yaklaşımların karmaşıklığı da o derece artmakta ve anlaşılması güçleşmektedir.

Pratik iş hayatında, tedarik zincirindeki her bir üye firmanın stoklarını yöneten ve karar verici konumunda olan stok yöneticilerinin bu tür karmaşık modelleri denemek ve uygulamak için vakti olmadığı gibi, kendi stok sistemlerini en etkin şekilde yönetebilmek için ellerindeki mevcut imkanları ve araçları en iyi şekilde kullanabilmesi gerekmektedir. Bu noktada, hemen hemen her işletmede kullanılan PC sistemlerinde bulunan ve ucuz elde edilebilen *elektronik tablo* (spreadsheet) programları birçok stok yöneticisi için vazgeçilmez bir yazılım aracı olmaktadır.

Elektronik tablolar (MS Excel, Quattro Pro, Lotus 123, vb.), nispeten daha kolay elde edilebilir ve kolay öğrenilebilir olmaları nedeniyle, genellikle pahalı entegre programlara (Enterprise Resource Planning, ya da kısaca ERP, yazılımlarına) yatırım yapmak istemeyen küçük ve orta ölçekli işletmelerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Ayrıca son versiyon elektronik tablolar oldukça fazla özelliği içinde barındırabilecek seviyelerde geliştirilmiş olup, birçok istatistik araçları sayesinde çok farklı amaçlar için kullanılabilir. Bu tablolarla hazırlanmış önceki çalışmaların işleyiş şekli ve kullanımı sonraki kullanıcılar tarafından kolayca öğrenilebilir ve her sistemin özel ihtiyaçlarına göre kısa sürede değiştirilebilir.

Bu çalışmada, tedarik zincirindeki stok problemlerinin *simülasyon* yaklaşımı ve elektronik tablolar kullanılarak nasıl ele alınabileceğinin örnek uygulamalarla gösterilmesi amaçlanmaktadır. Simülasyon yöntemi ile, bir stok sistemine ait girdi parametreleri (örneğin, eldeki stok, sipariş miktarı, sipariş geliş zamanı, vb.) verilmişken, bilgisayarda söz konusu stok sisteminin basit bir modeli canlandırılarak belirli bir dönem için yürütülmekte ve sonuçta da birtakım performans değerleri (örneğin, ortalama stok seviyesi, stoksuz kalma sıklığı, vb.) elde edilmektedir. Bu sayede, gerçek sistemin çeşitli senaryolarda nasıl davranabileceği önceden tespit edilebilmektedir.

Bunu izleyen kısımlarda, önce, literatürde konuyla ilgili geçmiş çalışmalara yer verilmiştir. Ardından, iki örnek uygulama ile elektronik tabloların tedarik zinciri stok sistemlerinin simülasyonunda nasıl kullanılabileceği gösterilmektedir. Son kısımda ise, elektronik tablolar kullanılarak modellenebilecek daha değişik ve karmaşık stok sistemlerine örnekler verilerek gelecek araştırmalara konu olabilecek bazı hususlara değinilmektedir.

II. Literatürde Tedarik Zinciri ve Stok Sistemlerine Yönelik Simülasyon ve Modelleme Çalışmaları

Tedarik zincirlerinde en iyi stok kararlarının verilebilmesi amacına yönelik (özellikle üretim yönetimi ve yöneylem araştırması alanlarında) çok sayıda matematiksel model önerilmiştir (örneğin, Chen ve diğerleri (2000), Chandra ve Kumar (2001), Herer ve diğerleri (2002), Khouja (2003) ve Lau ve Lau (2003)). Fakat, belirsizliğin yüksek olduğu ve gerçek hayatı yansıtmak

amacıyla çok sayıda değişken ve parametrenin hesaba katılması gerektiği durumlarda, matematiksel eniyileme (optimizasyon) modelleri karmaşık hale gelebileceğinden, bu tür belirsizlik ortamlarında simülasyon modelleme yaklaşımı tercih edilebilmektedir. Tedarik zinciri stok problemlerindeki talep belirsizlikleri ve kullanılması gereken stok parametrelerinin ve faktörlerin çok sayıda olduğu göz önünde bulundurulursa, bu sistemlerin modellenmesinde simülasyon yaklaşımının kullanımının neden bu kadar yaygın olduğu anlaşılabilir.

Örneğin, Zhao ve diğerleri (2002) tek bir üretici ve birden çok perakendecinin bulunduğu bir tedarik zinciri sistemini belirsiz talep durumunda simüle ederek, talep tahminindeki hatalar ile erken sipariş verme durumu arasındaki karmaşık ilişkileri incelemişlerdir. Benzer şekilde Bhaskaran (1998), bir otomobil üreticisi olan General Motors şirketinden temin edilen gerçek verilere dayalı bir üretim tedarik zinciri simülasyon modeli geliştirerek iki farklı üretim planlama sisteminin (Kanban ve MRP) stok performans kriterleri açısından bir karşılaştırmasını yapmıştır.

Taylor III (1999) üç farklı stok yönetim sisteminin (itme sistemleri, çekme sistemleri ve karma sistemler olmak üzere) potansiyel faydalarının ve yarı mamul stok tampon (buffer) özelliklerinin karşılaştırılması amacıyla SimFactory 6.1 programı ile bir simülasyon uygulaması gerçekleştirmiştir. Bu çalışmada, diğer çoğu simülasyon çalışmasında olduğu gibi Ayrık Olay (Discrete Event) simülasyon yaklaşımı kullanılmıştır. Bu yaklaşımda, gerçek hayatta gerçekleşen *sürekli* prosesler birtakım önemli (anahtar) *olaylara* ya da bu olayların gerçekleşme durumuna göre bölümlendirilir. Gerçek hayattaki işlemler burada bazı istatistiksel dağılımlara (normal dağılım ya da üstel (exponansiyel) dağılım gibi) dayandırıldığından, gerçekte olan tüm rastsal olaylar da bu tür istatistiksel dağılımlarla temsil edilir.

Banerjee ve diğerleri (2003), üçüncü nesil programlama dillerinden olan Pascal dilini kullanarak bir simülasyon modeli oluşturmuş ve tedarik zincirlerinde iki farklı yatay mal paylaşımı (transshipment) yaklaşımını (biri acil durumlarda gerçekleştirilen yatay mal paylaşımı, bir diğeri de stokların dengelenmesi amacıyla gerçekleştirilen yatay mal paylaşımı) birbirleriyle karşılaştırmıştır. Bu çalışmada, çeşitli seviyelerdeki perakendeci sayısı, sipariş miktarı ve talep belirsizliği gibi farklı senaryolar altında her iki yaklaşıma ait stok performans değerleri tespit edilmiştir. Benzer bir senaryo yaklaşımı ile, Hong-Minh ve diğerleri (2000) dört farklı tedarik zinciri stratejisini (1- elektronik satış noktası (EPOS) stratejisi, 2- excel stratejisi, 3- acil yatay mal paylaşımı (emergency transshipment) ve 4- bir zincir üyesini ortadan kaldırma stratejisi) birbirleriyle karşılaştırmak amacıyla bir simülasyon uygulaması geliştirmiştir. Bu tür senaryolar üretilerek, tedarik zinciri sistemlerinin farklı koşullar altında nasıl farklı davranışlar gösterebileceği görülebilmektedir.

Tedarik zincirlerinde stok sistemlerini ele alan benzer simülasyon uygulamalarının tamamına burada yer verilmemekle beraber, konunun ne kadar yaygın olduğunu göstermek açısından sadece yakın geçmişteki birkaç örneği daha şu şekilde sıralayabiliriz: Banerjee ve diğerleri, (2001), Chan ve diğerleri, (2002),

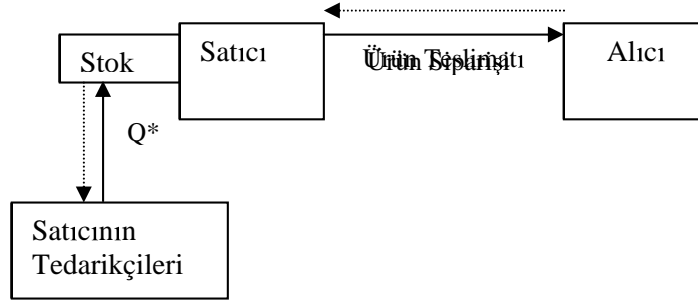
Ganeshan, ve diğerleri, (2001), Lau ve diğerleri, (2002), Persson ve Olhager, (2002). Fakat, tüm bu simülasyon çalışmalarının ortak bir noktası; bu uygulamaların geliştirilebilmesi için araştırmacı ya da uygulayıcının en azından bir simülasyon paketini ya da (C ya da Pascal gibi) programlama dilini öğrenmesi ve uygulama yazılımını geliştirmek için de zaman ve çaba harcaması gerektiğidir. Bu probleme bir alternatif olarak, çoğumuzun yaygın olarak kullandığı elektronik tabloların kullanımı öne sürülebilir. Nitekim, sayısı az da olsa, tedarik zincirlerinde stok yönetimine ilişkin birtakım çalışmalarda elektronik tablolar kullanılmaya başlanmıştır.

Örneğin, Lebel ve Carruth (1997) Quattro Pro for Windows 5.0 programı ile, ağaç ürünleri alıp satan tüccarların çeşitli stok senaryolarının ve farklı stok seviyelerinin karşılaştırmasına yönelik bir simülasyon için elektronik tabloları nasıl kullanabileceklerini basit örneklerle göstermişlerdir. Diğer bir örnek olarak, Seppälä ve Holmström (1995) tedarik zinciri sistemleri için basit bir modelleme yaklaşımı öne sürmüş ve çok basit hesaplamalar ile birlikte değişim ve varyasyonlar ile baş etmede senaryolar üretme yaklaşımını kullanmışlardır. Eniyileme (optimizasyon) tekniklerinin kullanılmadığı problemlerde bunun gibi bir senaryo yaklaşımı daha uygun olmaktadır. Burada, kullanıcı farklı senaryolar üreterek mevcut tedarik zinciri sistemine alternatifler geliştirir ve birtakım performans kriterleri açısından bu farklı senaryoları birbirleriyle karşılaştırır. Seppälä ve Holmström'un (1995) yaklaşımı aynı zamanda elektronik tabloların kullanılmasına da uygundur.

Mevcut çalışmamızda ise, elektronik tabloların basitliğinin ve tedarik zinciri stok problemlerine uygulanabilirliğinin gösterilmesi amacıyla, hemen hemen herkesin kolayca temin edebileceği Microsoft EXCEL elektronik tablo programı kullanılarak iki örnek simülasyon uygulaması geliştirilmiştir. Bu örneklerden ilki, tek alıcı ve tek satıcıdan oluşan basit bir ikili tedarik zincirinden oluşmakta, ikincisi ise birden çok alıcı (perakendeci) ve tek bir satıcıdan oluşan biraz daha karmaşık bir modeli temsil etmektedir.

III. Örnek Bir Elektronik Tablo Uygulaması

Tedarik zinciri üyeleri içinde birbirini izleyen (ardışık) iki üye arasındaki alış veriş ilişkilerine ve özellikle de satıcı konumundaki üyenin stok bulundurmaya ilişkin çeşitli politikalarına odaklanan bir örnek ele alalım. Basit olması açısından sadece tek bir ürün için alım satım ilişkilerini göz önünde tutarsak, canlandıracağımız senaryo kısaca alıcının belirli bir dağılıma uygun olarak ya da rastsal zaman aralıklarında ve belirli miktarlarda vereceği siparişlerinden ve satıcının da bu siparişleri elindeki stoklardan ya da geriye doğru (kendi tedarikçilerine) vereceği siparişler yoluyla karşılayacağı durumdan ibarettir. Yine basitlik için, alıcı ile satıcının birbirlerine çok yakın bölgelerde olduklarını ve aralarındaki sevkiyat süresinin ihmal edilebileceğini varsayalım. Şekil 1 örnek olarak seçtiğimiz bu ikili ilişkiyi göstermektedir.



Şekil 1- Örnek Tedarik Zinciri Modeli

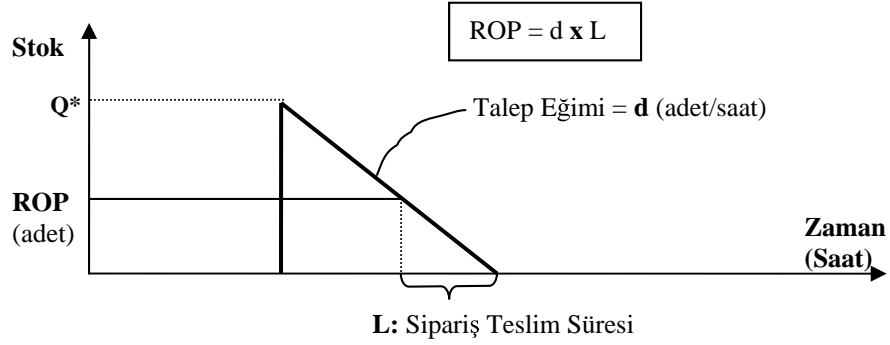
Burada satıcı yeniden sipariş noktası (ReOrder Point, ROP) stok politikasını izlemektedir. Stok seviyesi belirli bir seviyenin ya da diğer bir deyişle yeniden sipariş noktasının (ROP) altına düştüğü anda satıcı kendi tedarikçilerine sipariş vermektedir. Bu politikada bir de ekonomik sipariş miktarı (Q^*) belirlenmektedir ki, her defasında bu miktar kadar sipariş verilmektedir. Bu stok politikası ile satıcı ne zaman sipariş vermesi gerektiğini tespit edebilir. Bu zamanın belirlenebilmesi için satıcının tedarikçilerine siparişi verdiği andan itibaren ne kadar sürede siparişin kendisine teslim edileceğini (Lead Time, ya da kısaca "L") ve söz konusu ürüne olan talebin erime hızını (d) bilmesi gereklidir:

$$\text{ROP (adet)} = (\text{Birim zamandaki talep}) \times (\text{Sipariş Teslim Süresi})$$

Örnek olarak zaman dilimini "saat" alırsak, $\text{ROP} = d \text{ (adet/saat)} \times L \text{ (saat)}$ olacaktır.

Şekil 2'de görüldüğü gibi, stok seviyesi ROP noktasına geldiğinde satıcı yeni bir sipariş verecektir. Siparişin gelme süresi (L) hesaba katıldığı için, satıcı stoksuz kalma riskini azaltacaktır.

Burada, saatlik talep erimesinin (d) kabaca hesaplanabilmesi için aşağıdaki formül öne sürülebilir: ($d = \text{Ürünün toplam dönemlik talebi} \div \text{Bir dönemdeki toplam süre}$). Örneğin simülasyonun uygulanacağı toplam süre 300 saat ise ve bu dönem boyunca ürünüme olan toplam talep 1500 adet ise saatlik talep erimesi (d) = $1500/300 = 5$ adet/saat olacaktır. Tedarikçiden siparişin geliş süresi (L) ortalama olarak 6 saat sürmekte ise, bu erime değerine göre satıcının yeniden sipariş noktası ($\text{ROP} = d \times L = 5 \times 6 = 30$ adet olmalıdır. Yani, ne zaman satıcının stok seviyesi 30 adet altına düşse, yeni bir sipariş vererek stoklarını yeniden doldurmalıdır.



Şekil 2- Yeniden Sipariş Noktası Stok Modeli

Basit örneğimizde, $L=6$ saat, $ROP=30$ adet ve Ekonomik Sipariş Miktarı(Q^*)= 100 adet olarak seçilmiştir. Bu parametrelere ilaveten, alıcının satıcıya ne zaman ve ne kadar sipariş vereceği ve tedarikçinin ilk başlangıçta elinde ne kadar stok bulunduğuna ilişkin bilgileri de simülasyona başlayabilmek için belirlememiz gereklidir. Alıcıdan satıcıya gelen ardışık iki sipariş arasındaki sürenin Poisson dağılımına uygun bir model izlediğini ve Lambda (λ) değerinin 10 saat olduğunu varsayalım. Benzer şekilde, alıcıdan gelen siparişlerin miktarlarının da Normal dağıldığını ve parametrelerinin *ortalama* (μ) = 50 adet ve *standart sapma* (σ) = 20 adet olduğunu varsayalım. Yine bizim tarafımızdan belirlenecek olan bir diğer parametre olarak, simülasyon başlangıcında satıcının elinde bulunan stoklarının 50 adet olduğunu düşünelim.

Elektronik tablolar (MS EXCEL) kullanılarak yukarıda detaylandırmış olduğumuz iki üyeli basit tedarik zincirine ait ürün akışları, *ayrık olay (discrete event) simülasyon* yöntemi ile canlandırılmıştır (Bakınız Şekil-3). Excel'in "Veri Çözümleme" modülünün "Rastsal Sayı Üretme" seçeneği kullanılarak, alıcının siparişleri arası süre için Poisson dağılımına uygun ve sipariş miktarları için de Normal dağılıma uygun rastsal veriler oluşturulmuştur. Bu veriler Şekil 3'ün B1 ve F1 hücrelerinde bulunan başlıkların altında görülebilmektedir.

İlk satırdan başlayarak simülasyonun ilerleyişine bakacak olursak, başlangıçta satıcının elindeki stok miktarı 50 adettir. Alıcıdan ilk sipariş 8. saatte gelmiştir ve miktarı 46 adettir. İlk başta elimizde bulunan 50 adet stoktan 46 adet alıcıya gönderildiğinde geriye 4 adet kalır (Satıcının Kalan Stoku başlıklı sütuna bakınız). Bu siparişin sağlanmasından sonra stokta 30 adetten (ROP) az ürün kaldığı için satıcı kendi tedarikçisine 100 adetlik yeni bir sipariş verir. Bu siparişin satıcıya ulaşma süresi (Lead Time) 6 saattir. Ardından, alıcıdan ikinci sipariş 4 saat sonra (yani 12. saatte) gelir ve sipariş miktarı 47 adettir. Fakat, satıcı stoklarını yeniden doldurmak için simülasyonun 8. saatinde (bir önceki işlemde) kendi tedarikçisine sipariş verdiği için ve bu sipariş ($8+6=$) ancak 14. saatte satıcıya ulaşacağı için 12. saatte gelen alıcı siparişi beklemeye alınacaktır. Bu nedenle H1 hücresindeki "Bekleme Oldu mu?" başlıklı sütuna bakıldığında bu siparişe karşılık gelen hücrede "evet" yazılıdır. Bunun anlamı, söz konusu sipariş

için elde bulunan 4 adet ürünün hemen gönderileceği ve geri kalan kısmın ise tedarikçiden malın geliş zamanına kadar (yani 14. saate kadar) bekletileceğidir. Bu durumda alıcı siparişinin (47-4=) 43 adetlik kısmını (14-12=) 2 saat sonra alabilecektir. Dolayısıyla, “Stoksuz Kalınan Miktar” sütununda **43**, “Stoksuz Kalınan Süre” sütununda **2**, “Stoksuz Kalma Vakası Oldu mu?” sütununda ise **“evet”** yazdırılmıştır. Tüm bu mantık ve hesaplamalar MS Excel’in içinde bulunan matematik ve mantık işlevleri kullanılarak otomatik olarak yapılabilmektedir.

“Stoksuz Kalınan Miktar”, “Stoksuz Kalınan Süre” ve “Stoksuz Kalma Vakası” başlıklı sütunların alt kısımlarında toplamları alındığında, bu ikili tedarik zincirinde satıcının stok performansı hakkında anlamlı bilgilere ulaşmak mümkün olmaktadır:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Tek Alıcı - Tek Satıcı - Lead time = 6 saat								
2	Sipariş No	Alıcıdan Gelen Siparişin Saati	Satıcının Elindeki Stok	Alıcıdan Gelen Sipariş Miktarı	Satıcının Kalan Stoku	Bekleme Oldu mu?	Stoksuz Kalınan Miktar	Stoksuz Kalınan Süre	Stoksuz Kalma Vakası Oldu mu?
3	1	8	50	46	4	hayır			
4	2	12	4	47	-43	evet	43	2	evet
5	3	26	57	76	-19	hayır	19	6	evet
6	4	35	81	37	44	hayır			
7	5	41	44	46	-2	hayır	2	6	evet
8	6	50	98	34	64	hayır			
9	7	53	64	47	17	hayır			
10	8	78	17	16	1	evet			
11	9	83	101	66	35	hayır			
12	10	100	35	26	9	hayır			
13	11	114	109	54	55	hayır			
14	12	127	55	88	-33	hayır	33	6	evet
15	13	143	67	62	5	hayır			

Şekil 3- İki Üyeli Tedarik Zinciri için Excel’de Oluşturulan Simülasyon Sayfası

Toplam 30 sipariş için bakıldığında, siparişlerin karşılanamadığı (stoksuz kalınan) miktar toplamda 210 adet olup, bunu toplam sipariş miktarı olan 1342 adete oranladığımızda siparişlerin yaklaşık %16’sının ilk anda karşılanamadığını görebiliriz. Diğer yandan, aynı simülasyon sonuçlarına göre, stoksuz kalınan toplam süre 87 saat ve stoksuz kalma vakalarının sayısı 8 olup, bunları toplam süreye ve sipariş sayılarına oranladığımızda da siparişlerin (87/310=) %28 oranında süreyle bekletildiği ve alıcının her sipariş verişinde (8/30=) %27 olasılıkla bekleyeceği sonucuna varılır. Son olarak, satıcının ortalama stok seviyesini hesaplamak için “Satıcının Elindeki Stok” başlıklı sütundaki tüm değerler alt alta toplanıp, toplam sipariş sayısı olan 30’a bölüldüğünde, satıcının ortalama olarak 70 adet stok bulundurduğu ortaya çıkar. Görüldüğü gibi elektronik tablolar yardımı ile herhangi bir simülasyon paketinden beklediğimiz tüm istatistik bilgileri kolayca elde edilebilmektedir.

Aynı örnek biraz daha uzun vadeli bir sipariş dönemine yayılarak bu defa da 300 sipariş için tekrar çalıştırılmıştır. Bütün işlemler aynı elektronik tablo üzerinde gerçekleştirilmiş olup sadece parametre değerleri değiştirilmiştir. Excel içerisinde üç ayrı çalışma tablosu oluşturulmuş olup, bunlardan ilki girdi parametreleri için, ikincisi yukarıdaki şekilde görülen ana simülasyon tablosu için, sonuncusu da istatistik çıktıları içindir. 300 sipariş için simülasyonu tekrar çalıştırdığımızda, 2978 saat boyunca alıcıdan toplam olarak 14665 adetlik sipariş alınmıştır. Talep erime değerini (d) hesapladığımızda yine yaklaşık olarak ($14665 / 2978 = 5$) 5 adet/saat çıkmaktadır ki, bu da yeniden sipariş verme noktasının yine ($ROP = 5 \times 6 = 30$) adet olduğu anlamına gelmektedir. Bu yeni durumda, simülasyon istatistikleri aşağıdaki gibi çıkmıştır:

- a) Siparişlerin yaklaşık %14'ü ilk anda karşılanamamıştır.
- b) Genel olarak bakıldığında siparişler %28 oranında süreyle bekletilmiştir.
- c) Alıcı her sipariş verişinde %28 olasılıkla beklemektedir.
- d) Satıcının ortalama stok seviyesi 74 adettir.

Simülasyon daha uzun süre ile çalıştırıldığı için bu ikinci bulduğumuz istatistikler daha doğru sonuçlardır diyebiliriz çünkü sistemin durgun haline (steady-state) geçmesi için gerekli süre ikinci örnekte daha fazla olasılıkla aşılmıştır. Daha da kesin oranlar elde edebilmek için elektronik tablo simülasyonu birer kere de 1000 ve 3000 sipariş için denenmiştir. Bu denemede elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibidir:

1000 sipariş için deneme sonuçları:

- a) Siparişlerin yaklaşık %11'i ilk anda karşılanamamıştır.
- b) Genel olarak bakıldığında siparişler %27 oranında süreyle bekletilmiştir.
- c) Alıcı her sipariş verişinde %24 olasılıkla beklemektedir.
- d) Satıcının ortalama stok seviyesi 75 adettir.

3000 sipariş için deneme sonuçları:

- a) Siparişlerin yaklaşık %11'i ilk anda karşılanamamıştır.
- b) Genel olarak bakıldığında siparişler %26 oranında süreyle bekletilmiştir.
- c) Alıcı her sipariş verişinde %24 olasılıkla beklemektedir.
- d) Satıcının ortalama stok seviyesi 75 adettir.

Sonuçlara bakılırsa, 1000 sipariş ve 3000 sipariş durumları arasında pek fark görülmemektedir. Diğer bir değişle, 1000 siparişin üzerindeki sipariş sayıları ile yapılan denemelerde hemen hemen yakın sonuçlar elde edilecektir.

IV. Birden Çok Alıcı (Perakendeci) ve Tek Üretici Örneği

Elektronik tablolar ile daha karmaşık stok sistemlerinin de modellenebileceğini gösterebilmek amacıyla yukarıdaki örneği biraz daha genişleterek 3 alıcı ve tek bir üreticinin bulunduğu bir tedarik zinciri örneğini ele alalım. Gerçek hayat ile bağdaştırmak açısından da, bu örneğin bir evrak çantası üreticisinin 3 farklı perakendeci ile birlikte çalıştığı ve her sipariş döneminde

(örneğin haftada bir) bu perakendecilerin çanta taleplerini karşıladığı durumdan ibaret olduğunu düşünelim.

Çanta üreticisinin dönemlik üretim kapasitesi sınırlı olup sadece 40 çanta üretebilmektedir. Her sipariş dönemi başında perakendecileri ziyaret eden çanta imalatçısı perakendecilerin siparişlerini almakta ve bir sonraki dönem bu siparişleri kendilerine ulaştırmaktadır. Herhangi bir dönemde karşılanamayan siparişler bir sonraki dönemde temin edilmektedir. 3 perakendeci içerisinde 1. perakendeci en önemli müşteri olup, perakendecilerin taleplerini karşılama hususunda ortaya çıkabilecek herhangi bir arz eksikliği durumunda 1. müşterinin siparişi öncelikli olarak karşılanmaktadır. Benzer şekilde 2. ve 3. perakendeciler de 2. ve 3. önceliğe sahiptir.

Perakendecilerin her birinin dönemlik taleplerinin 0 ila 30 adet arasında Uniform dağılıma uyduğu varsayılmıştır. Yani, her bir perakendecinin dönemlik talebinin 0 ve 30 değerleri arasında herhangi bir değer olma olasılığı eşit dağılmıştır. Simülasyonun başlangıcında çanta üreticisinin elinde 40 çanta olduğu varsayılmış ve her dönem 40 yeni çanta üretimi yapıldığı düşünülerek, mevcut stok bu miktar kadar artırılmıştır. Aşırı stok durumunu engellemek amacıyla, çantacının elindeki mevcut stok 100 adedin üstünde olduğu zamanlarda üretim yapılmadığı ve bir sonraki döneme aynı stok seviyesi ile girildiği varsayılmıştır. Diğer taraftan, eğer çantacının zamanında temin edemediği ve sonraki döneme bıraktığı toplam sipariş adedi 100’ü aşarsa, bu sefer de fazla mesai yapılarak 40 adet yerine 80 adet üretildiği düşünülmüştür.

Elektronik tablolar yardımıyla bu tedarik zinciri örneği için oluşturulan simülasyon modeli Şekil 4’de görülebilmektedir. Sol taraftaki pencerede (“Girdiler” isimli çalışma sayfasında) perakendecilerin dönemlik talepleri Uniform dağılıma uygun olarak üretilmekte ve bu değerler sağ taraftaki asıl simülasyon penceresinde girdi olarak kullanılmaktadır. Örneğin, 1. hafta perakendecilerin talepleri sırayla 11, 3 ve 17 olarak gerçekleşmiştir. Bunların toplamı 31 olup bu değer “simülasyon” isimli çalışma sayfasının C3 hücresinde hesaplanmakta ve sonra da eldeki stoktan çıkarılmaktadır. Eğer eldeki stok yeterli değilse, perakendecilerin öncelik sıralarına göre siparişlerin bir kısmı karşılanıp bir kısmı bir sonraki haftaya bırakılmaktadır. Örneğin, 2. hafta toplam talep 80 adet olup eldeki stok (49 adet) bu talebi karşılamaya yetmemektedir. Bu durumda, üretici 31 adetlik siparişi karşılayamayacaktır ki, öncelikler göz önünde tutulduğunda bunun 28 adedi 3. perakendeci için stoksuz kalınan miktar hanesine (G4 hücresi) yazılacak ve geri kalan 3 adedi de 2. perakendecinin stoksuz kalınan miktar hanesine (F4 hücresi) yazılacaktır. Buna ilaveten, iki perakendeci için de aynı satırın devamındaki “stoksuz kalma sıklığı” sütununa “1” yazılarak (I4 ve J4 hücreleri) bu perakendecilerin 1 defa daha stoksuz kaldıkları istatistiklere kaydedilecektir.

A				B				C				D			
1.				2.				3.							
Alıcıdan Gelen Sipariş Miktarı				Alıcıdan Gelen Sipariş Miktarı				Alıcıdan Gelen Sipariş Miktarı							
Hafta No	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
3	1	11	3	17	1	40	31	9	0	0	0	0	0	0	0
4	2	26	26	28	2	49	80	-31	0	3	28	0	1	1	1
5	3	0	12	25	3	9	37	-28	0	3	25	0	1	1	1
6	4	4	7	1	4	12	12	0	0	0	0	0	0	0	0
7	5	0	4	6	5	40	10	30	0	0	0	0	0	0	0
8	6	0	8	10	6	70	18	52	0	0	0	0	0	0	0
9	7	16	10	11	7	92	37	55	0	0	0	0	0	0	0
10	8	10	27	13	8	95	50	45	0	0	0	0	0	0	0
11	9	12	9	20	9	85	90	35	0	0	0	0	0	0	0
12	10	24	29	7	10	75	60	15	0	0	0	0	0	0	0
13	11	28	1	21	11	55	50	5	0	0	0	0	0	0	0
14	12	24	29	13	12	45	88	-21	0	9	13	0	1	1	1
15	13	9	22	10	13	19	41	-22	0	12	10	0	1	1	1
16	14	23	2	5	14	18	30	-12	5	2	5	1	1	1	1
17	15	1	10	14	15	28	25	3	0	0	0	0	0	0	0
18	16	16	11	29	16	43	55	-12	0	0	12	0	0	1	1
19	17	1	6	0	17	28	7	21	0	0	0	0	0	0	0
20	18	27	3	7	18	81	37	24	0	0	0	0	0	0	0
21	19	23	20	24	19	84	87	-3	0	0	3	0	0	1	1
22	20	21	2	3	20	37	26	11	0	0	0	0	0	0	0
23	21	22	18	5	21	51	45	6	0	0	0	0	0	0	0
24	22	12	16	21	22	46	49	-3	0	0	3	0	0	1	1
25	23	16	5	29	23	37	50	-13	0	0	13	0	0	1	1
26	24	20	15	23	24	27	58	-31	0	8	23	0	1	1	1
27	25	24	7	5	25	9	36	-27	15	7	5	1	1	1	1
28	26	26	3	1	26	13	30	-17	13	3	1	1	1	1	1

Şekil 4- İkinci Tedarik Zinciri için Geliştirilen Simülasyon Modeli

Önceki örneğe benzer şekilde, ilk denemede simülasyon 30 sipariş dönemi için yürütülmüş ve sonra da sırayla 300, 1000 ve 3000 dönem için aynı model tekrar yürütülmüştür. Bu örnek için de, simülasyon sonu istatistikleri olarak her bir perakendecinin ortalama stoksuz kaldığı miktar ve stoksuz kalma olasılıkları hesaplanmıştır. Tablo 1’de her bir simülasyon denemesi için söz konusu istatistik raporlarının sonuçları verilmektedir.

Tablo-1: İkinci Modelde Farklı Simülasyon Süreleri için Simülasyon Sonuçları

30 dönem	Ortalama Stoksuz Kalınan Miktar			Stoksuz Kalma Olasılığı		
	1. perakendeci	2. perakendeci	3. perakendeci	1. perakendeci	2. perakendeci	3. perakendeci
	2,63	3,83	7,43	%20	%40	%53
300 dönem	Ortalama Stoksuz Kalınan Miktar			Stoksuz Kalma Olasılığı		
	1. perakendeci	2. perakendeci	3. perakendeci	1. perakendeci	2. perakendeci	3. perakendeci
	4,57	5,93	7,16	%34	%42	%49
1000 dönem	Ortalama Stoksuz Kalınan Miktar			Stoksuz Kalma Olasılığı		
	1. perakendeci	2. perakendeci	3. perakendeci	1. perakendeci	2. perakendeci	3. perakendeci
	5,51	6,81	7,98	%38	%45	%53
3000 dönem	Ortalama Stoksuz Kalınan Miktar			Stoksuz Kalma Olasılığı		
	1. perakendeci	2. perakendeci	3. perakendeci	1. perakendeci	2. perakendeci	3. perakendeci
	5,58	6,94	8,27	%40	%48	%57

V. Sonuç ve Tartışma

Örnek uygulamalar göstermektedir ki, tedarik zincirindeki üyelerin stok sistemlerinin simülasyonunda elektronik tablolar etkin şekilde kullanılabilir. Her ne kadar, anlaşılması kolay olması açısından burada özellikle basit örnekler ele alınmış olsa da, bu örneklerin kolayca modellenmiş olması, daha büyük ve karmaşık yapıdaki tedarik zinciri sistemlerinin de elektronik tablolar ile modellenebileceği konusunda bizleri cesaretlendirmektedir.

Örneğin, buradaki örneklerde hesaba katılmamış olan maliyet unsurları, ki bunlar taşıma maliyetleri, yok satma maliyeti, stok bulundurma maliyeti, vb. maliyetleri kapsamaktadır, ve stok yönetim politikası ile ilgili diğer bazı faktörler (örn: fazla alımlarda indirim uygulaması gibi) de düşünülerek daha geniş kapsamlı modeller oluşturulabilir. Buna ilaveten, tedarik zinciri sadece ikili (tek alıcı ve tek satıcı) bir sistem gibi düşünülme, zincirin tamamını oluşturan tüm üyelerin birbirleri ile olan stok ilişkilerinin incelendiği yeni çalışmalar yapılabilir. Bu tür bir yaklaşım ile tedarik zincirindeki üyelerin ayrı ayrı performansları ile tedarik zincirinin tamamının performansı birbiri ile karşılaştırılarak sistemin neresinde eksiklik ve problemler olduğu ya da olabileceği belirlenebilir.

Elektronik tablolar ile özellikle simülasyon için tasarlanmış hazır paket programlar arasında bir karşılaştırma yapmak gerekirse, programın satın alma maliyeti, kullanım kolaylığı, amaca hizmet etme kabiliyeti vb. açılardan bakarak bir değerlendirme yapmak gerekecektir. Paket programlar belirli bir satın alma maliyeti ile ilk bakışta sistem tasarımcısının gözünü korkutabilmektedir. Bu tür programlarda, programın kullanım kolaylığı ve animasyon vb. özellikleri arttıkça fiyatı da artmaktadır. Daha basit ve daha ucuz (ya da kolay elde edilebilir) simülasyon programları ise, ciddi bir öğrenme süresini ve çabasını gerektirmekle birlikte, modelleme aşamasında da kullanıcıyı oldukça fazla zorlayabiliyor. Bu açıdan bakıldığında, MS Excel gibi elektronik tablo programları çok kolay ve ucuz temin edilebilmekte ve her bilgisayarda Windows işletim sistemi ile birlikte gelmektedir. Dolayısıyla, diğer amaçlarımız için zaten kullandığımız bu “el altı” programı simülasyon amaçlı olarak da rahatça kullanabiliriz. Öğrenme süresi ve çabası da daha az olacağından, profesyonel simülasyon paketleri ile olmasa bile, ucuz ve genel amaçlı simülasyon programları ile boy ölçüşebilecek seviyede oldukları söylenebilir.

Ayrıca, elektronik tablo programlarının bazılarında doğrusal programlama modülleri sayesinde eniyileme modelleri kurmak da mümkün olabilmektedir. Bazı stok simülasyon modellerinde (örneğin, Petrovic, 2001) birtakım stok parametreleri (örneğin, ekonomik sipariş miktarı ya da yeniden sipariş verme noktası gibi) önceden eniyileme (optimizasyon) modelleri ile tespit edilerek sonra mevcut model simülasyona tabi tutulmakta ve böylece dinamik bir modelleme yaklaşımı sağlanabilmektedir. Bu tür durumlarda da elektronik tabloların hem doğrusal programlama modülleri hem de simülasyon aracı kullanılarak her iki işlem de aynı program içerisinde daha hızlı ve verimli bir biçimde yürütülebilir.

Bütün bunların geniş ölçekli sistemler için yapılabilmesi için bilgisayar hızlarının çok iyi seviyelerde olması da gerekmektedir. Örneğin, son örneğimizde

3 ayrı perakendeci için 3000 günlük dönem boyunca toplam 9000 adet talep miktarı verisinin (uniform dağılmış) oluşturulması Pentium 4 işlemcide yaklaşık 20 saniye kadar bir zaman almıştır. Problemin boyutları ve kapsamı arttıkça bu süreler daha da uzayabilecektir. Fakat, bilgisayar zamanı için bu tür performans değerlendirmeleri diğer simülasyon programları için de yapılmakta ve bu programlar için de benzer problemler rapor edilmektedir.

REFERANSLAR

- BANERJEE, A., BURTON, J. ve S. BANERJEE (2003), "A Simulation Study of Lateral Shipments in Single Supplier, Multiple Buyers Supply Chain Networks", *International Journal of Production Economics*, 81-82, 103-114.
- BANERJEE, S., BANERJEE, A., BURTON, J. ve W. BISTLINE (2001), "Controlled Partial Shipments in Two-echelon Supply Chain Networks: A Simulation Study", *International Journal of Production Economics*, 71, 91-100.
- BHASKARAN, S. (1998), "Simulation Analysis of a Manufacturing Supply Chain", *Decision Sciences*, 29(3), 633-657.
- CHAN, F.T.S., TANG, N.K.H., LAU, H.C.W. ve R.W.L. IP (2002), "A Simulation Approach in Supply Chain Management", *Integrated Manufacturing Systems*, 13(2), 117-122.
- CHANDRA, C. ve S. KUMAR (2001), "Taxonomy of Inventory Policies for Supply-chain Effectiveness", *International Journal of Retail and Distribution Management*, 29(4), 164-175.
- CHEN, F., DREZNER, Z., RYAN, J.K. ve D. SIMCHI-LEVI (2000), "Quantifying the Bullwhip Effect in a Simple Supply Chain: The Impact of Forecasting, Lead Times, and Information", *Management Science*, 46(3), 436-443.
- GANESHAN, R., BOONE, T. ve A.J. STENGER (2001), "The Impact of Inventory and Flow Planning Parameters on Supply Chain Performance: An Exploratory Study", *International Journal of Production Economics*, 71, 111-118.
- HERER, Y.T., TZUR, M. ve E. YÜCESAN (2002), "Transshipments: An Emerging Inventory Recourse to Achieve Supply Chain Leagility", *International Journal of Production Economics*, 80, 201-212.
- HONG-MINH, S.M., DISNEY, S.M. ve M.M. NAIM (2000), "The Dynamics of Emergency Transshipment Supply Chains", *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*, 30(9), 788-815.
- KHOUSA, M. (2003), "Optimizing Inventory Decisions in a Multi-stage Multi-customer Supply Chain", *Transportation Research Part E*, 39, 193-208.
- LAU, A.H.L. ve H. LAU (2003), "Effects of a Demand-curve's Shape on the Optimal Solutions of a Multi-echelon Inventory/Pricing Model", *European Journal of Operational Research*, 147, 530-548.
- LAU, J.S.K., HUANG, G.Q. ve K.L. MAK (2002), "Web-based Simulation Portal for Investigating Impacts of Sharing Production Information on Supply Chain Dynamics from the Perspective of Inventory Allocation", *Integrated Manufacturing Systems*, 13(5), 345-358.
- LEBEL, L. ve J.S. CARRUTH (1997), "Simulation of Woodyard Inventory Variations using a Stochastic Model", *Forest Products Journal*, 47(3), 52-57.
- PERSSON, F. ve J. OLHAGER (2002), "Performance Simulation of Supply Chain Designs", *International Journal of Production Economics*, 77, 231-245.
- PETROVIC, D. (2001), "Simulation of Supply Chain Behaviour and Performance in an Uncertain Environment", *International Journal of Production Economics*, 71, 429-438.
- SEPPALA, U. ve J. HOLMSTRÖM (1995), "Rough Modelling of Logistics Networks", *Integrated Manufacturing Systems*, 6(5), 13-20.
- TAYLOR III, L.J. (1999), "A Simulation Study of WIP Inventory Drive Systems and Their Effect on Financial Measurements", *Integrated Manufacturing Systems*, 10(5), 306-315.
- ZHAO, X., XIE, J. ve J.C. WEI (2002), "The Impact of Forecast Errors on Early Order Commitment in a Supply Chain", *Decision Sciences*, 33(2), 251-280.