

Radyo Frekanslı Tanıma (RFID) teknolojisinin tedarik zinciri üzerindeki etkileri

Alp ÜSTÜNDAĞ*, Mehmet TANYAŞ

İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Programı, 34469, Ayazağa, İstanbul

Özet

Radyo Frekanslı Tanıma (RFID) teknolojisi, etrafında anten sarılı olan bir mikroçip (etiket) ve bir okuyucudan oluşan otomatik tanıma sistemidir (Auto-ID). Veri ve enerji transferi, etiket ve okuyucu arasında herhangi bir temas olmadan sağlanmaktadır. Okuyucunun yaydığı elektromanyetik dalgalar antenle buluşmakta ve etiket içindeki devreleri harekete geçirmektedir. Etiket dalgaları modüle ederek okuyucuya geri göndermekte ve okuyucu da yeni dalgayı dijital veri haline dönüştürmektedir. RFID teknolojisi, tedarik zincirinde süreç verimliliğini, doğruluk, güvenlik ve görünürlük seviyelerini artırmaktadır. Tedarik zincirinin her aşamasında gerçek zamanlı stok ve lojistik bilgisi, üretici, dağıtıcı ve perakendeci tarafından paylaşılabilir. Yatırım değerinin yüksekliği ve süreçlerin yeniden yapılandırılması, RFID yatırımlarının, firmalar açısından stratejik bir karar olarak değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir. RFID uygulama başarısının sağlanması için öncelikle kapsamlı bir değerlendirme analizinin yapılması, teknoloji yatırımının oluşturduğu maliyetlerin ve sağladığı kazanımların en detaylı şekilde incelenmesi gerekmektedir. Tedarik zincirinde gerçekleşecek RFID yatırımı için, zincir üyeleri arasındaki etkileşimin de değerlendirme aşamasında göz önüne alınması gerekmektedir. Bu çalışmada perakendeci, dağıtıcı ve üreticiden oluşan tedarik zincirinde gerçekleşecek RFID yatırımının etkilediği maliyet faktörleri belirlenmekte, maliyet değişiminden kaynaklanan kazanımlar benzetim modeli yardımı ile ortaya koyulmaktadır. Ürün değeri, temin süresi ve talep belirsizliği bağımsız değişkenlerinin maliyet faktörleri üzerindeki etkisi araştırılmaktadır. Nihai olarak tedarik zinciri kazanım oranına dayalı etiket maliyet paylaşımını esas alan RFID yatırım değerlendirme modeli önerilmektedir.

Anahtar Kelimeler: RFID, tedarik zinciri, maliyet, benzetim modeli, yatırım değerlendirme.

*Yazışmaların yapılacağı yazar: Alp ÜSTÜNDAĞ. ustundaga@itu.edu.tr; Tel: (212) 293 13 00 dahili: 2759.

Bu makale, birinci yazar tarafından İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Programı'nda tamamlanmış olan "Radyo Frekanslı Tanıma (RFID) teknolojisinin tedarik zinciri üzerindeki etkileri" adlı doktora tezinden hazırlanmıştır. Makale metni 18.04.2008 tarihinde dergiye ulaşmış, 20.05.2008 tarihinde basım kararı alınmıştır. Makale ile ilgili tartışmalar 30.11.2009 tarihine kadar dergiye gönderilmelidir.

Impacts of Radio Frequency Identification (RFID) technology on supply chain

Extended abstract

Radio frequency identification (RFID) technology introduces the opportunity for increased visibility by facilitating easy tracking and identifying of goods, assets and even living things. However, high investment cost and inadequate technical capability remain as challenges for RFID system implementations. That being the case, fair evaluation of savings associated with increasing performance and investment costs has a great role in the success of RFID projects.

RFID is an Automatic Identification (Auto-ID) system consisting of a microchip with a coiled antenna (tag) and a reader. Data and energy are transmitted without any contact between the tag and the reader. The reader sends out electromagnetic waves that form a magnetic field so the microchip's circuits are powered. The chip modulates the waves and sends back to the reader. The reader converts the new waves into digital data.

Radio Frequency Identification (RFID) is regarded as the future technology for the optimization of supply chain processes. It can improve manufacturing and retail operations, from forecasting demand to planning, managing inventory and distribution. Real time inventory and logistics information is shared at any stage of the supply chain. The supply chain processes gain many benefits from RFID technology. These are better managing and tracking of the supply chain, less time and lower cost for inventory management, lower labor requirement, less inventory shrinkage, improved customer service and better modeling of the customer behavior. RFID provides efficiency, accuracy, visibility and security on the supply chain. Real time inventory and logistics information is shared at any stage of the supply chain by the supplier, manufacturer, distributor and retailer.

In this study using a simulation model, the cost differences between an RFID applied and non-applied system are examined on a supply chain consisting of a retailer, distributor and producer. Considering misplacement, shipment error, theft and damage ratios, physical and system inventory levels are determined. The expected benefits obtained through the performance increase of efficiency, accuracy, visibility and security levels are calculated on RFID

integrated supply chain considering the lost sales, theft, inventory, order and labor cost factors. The influences of the product value, lead time and demand uncertainty factors are examined on an RFID integrated supply chain by using experimental design.

According to the research results, the total supply chain cost savings are increased through the raising product prices. This increase is predominantly based on the theft and lost sales cost savings due to the increase of the unit cost; however the savings at the retailer are higher than the savings at the distributor and producer. Despite the decrease of the inventory level on the supply chain, the total inventory cost savings are increased due to the raising product prices. The gap between the system and physical inventory level is decreased, thus the loss of the order costs are reduced.

The total retailer cost savings are increased through the increased lead time due to the decrease of the lost sales cost savings. Raising the lead time also increases the total theft cost savings. Through the increase of the inventory level on the supply chain, the total inventory and process cost savings are increased. The loss of the order costs are reduced by raising lead times due to the ascending inventory level.

The total supply chain cost savings are decreased through the raising demand uncertainty due to the increased lost sales. The decrease of the cost savings are noticed at each level of the supply chain. The increase of demand uncertainty causes the reduction of the inventory cost savings.

The influence of the product value on the total supply chain cost savings is higher than the influence of the demand uncertainty. The influence of the demand uncertainty on the total supply chain cost savings is higher than the influence of the lead time. However, the critical and sensitive dependent cost factor is the lost sales cost savings on the whole supply chain.

The total cost savings at retailer are higher than cost savings at distributor and producer. In the end of the study, an RFID investment evaluation model is proposed which is considering the sharing of the total cost of the tags according to the expected benefits of each member of the supply chain.

Keywords: Radio Frequency Identification (RFID), supply chain, simulation model, investment evaluation.

Giriş

Radyo Frekanslı Tanıma Sistemleri'nin (RFID) mobil ve kablosuz iletişim teknolojileri içindeki önemi giderek artmakta, farklı kullanım alanları ile çok sayıda sektörü etkileyeceği bilinmektedir. RFID, radyo dalgalarını kullanarak ürün ve malzemelerin tanınmasını sağlayan bir otomatik tanıma sistemidir. McFarlane ve Sheffi (2003), RFID tabanlı otomatik tanıma sistemlerini oluşturan elemanları şu şekilde tanımlamaktadır:

- Belirli bir ürün ya da malzemeye atanmış tekil kimlik bilgisi,
- Ürün ya da malzeme üzerine yapıştırılmış, veri depolama kapasitesine sahip ve elektronik olarak çevresi ile iletişim kurabilen bir kimlik etiketi,
- Çok sayıda etiketten gelen sinyali yüksek bir hızda okuma ve doğru bir şekilde işleme yeteneğine sahip, RFID okuyucuları ve veri işleme sistemlerinden oluşan bir ağ yapısı,
- Çok sayıda ürün bilgisini depolama yeteneğine sahip ağ içinde yer alan bir veya birden fazla veri tabanı.

RFID etiketleri, yüksek miktarda bilgi depolayabilmekte, toplu halde hatasız ve hızlı bir şekilde okunup yazılabilmektedir. Farklı çevresel koşullar içinde kullanılabilir ve okuyucular sayesinde veri iletişimini uzak mesafelerden sağlayabilmektedir. RFID etiketinin, okunabilmesi için barkod gibi okuyucunun görüş alanı içinde değil, etki alanı içinde olması yeterli olmaktadır. Bu özellikler RFID teknolojisinin, diğer otomatik tanıma sistemlerinden biri olan barkod teknolojisine olan üstünlükleri olarak gösterilmektedir. Veri iletişim ve saklama standartlarının gelişmesi ve maliyetlerin düşmesi ile birlikte RFID kullanımının hızla yaygınlaşması beklenmektedir (Finkenzeller, 2002).

Barkod teknolojisi malzemelerin etiketlenmesi ve otomatik tanımlanmasında günümüzün en yaygın teknolojisi olmasına rağmen bazı kısıt ve dezavantajlara sahiptir. Karmaşık süreçler içinde izleme ve kayıt işlemlerinin zorluğu, işçilik maliyetlerinin yüksekliği, zaman kayıpları ve etiket içinde saklanabilen veri kapasitesinin yetersizliği bu teknolojinin dezavantajlarını oluşturmaktadır. Barkod sisteminin en önemli kısıt-

larından biri de barkod etiketinin okuyucunun görüş alanı içinde olması zorunluluğudur. Barkod teknolojisinin insan gücü olmadan kullanılması çok zordur.

RFID teknolojisi bugün perakende, lojistik, sağlık, otomotiv, savunma vb. birçok sektör içinde çeşitli uygulama alanlarına sahiptir. Birinci Körfez Savaşı'nda kaybolan ve izlenemeyen malzemeler ABD Ordusu'nu, malzeme lojistiğinde RFID kullanımını zorunlu kılmaya yönlendirmiş ve İkinci Körfez Savaşı'nda RFID ile lojistik görünürlüğün sağlanmasında büyük faydalar sağlanmıştır. İngiltere Ordusu, RFID teknolojisini 2003 yılında kullanmaya başlamıştır ve diğer NATO ortakları ile birlikte standartlar konusundaki uyum çalışmalarına devam etmektedir. Amerikan Savunma Bakanlığı ve büyük perakende zinciri Wal-Mart, 2005 itibarı ile ana tedarikçilerinin palet ve kutu bazında RFID uygulamasına geçmesi için yaptırım kararı almıştır (Poirier ve McCollum, 2006).

İngiltere'nin en büyük süpermarket zinciri TESCO, ana dağıtım merkezinden 98 adet mağazasına yapılan dağıtımları Aralık 2004 itibarı ile RFID sistemi üzerinden takip etmeye başlamıştır 2003 yılında Gillette 500 milyon RFID etiketi siparişi vermiş ve bu etiketleri ürün paketleri üzerinde kullanacağını duyurmuştur. Michelin, lastik içlerine yerleştirdiği RFID etiketleri ile ürün takip sistemi oluşturmuş, lastik bilgisini araç numarası ile ilişkilendirerek pilot çalışmalarına başlamıştır. Mastercard ve American Express, RFID teknolojisinin kullanıldığı kredi kartlarının testlerine devam etmekte, Avrupa Merkez Bankası, 2005 yılında yüksek değerli banknotlarda sahteciliği önlemek için RFID ile ilgili çalışmalarına başlamıştır. Pfizer, HF etiketler kullanarak bazı ilaçların takibi ve sahteciliğin engellenmesi için pilot çalışmalarını sürdürmektedir. Lojistik şirketi TNT Express, Çin'deki bir PC fabrikasından Almanya'daki dağıtım merkezine gönderilen kişisel laptop ve paletlerin takibinde RFID sisteminin kullanıldığı bir proje başlatmıştır. Japonya'nın Yokohoma şehrinde, çocukların 2-2.5 km alan içindeki hareketleri aktif etiketler ile izlenmekte ve onlar için güvenli bir ortam sağlanmaktadır. Fransa'nın 150000 nüfuslu Caen şehrinde yapılan

pilot çalışmada 200 kişinin, cep telefonları ile 11 adet perakende noktasında RFID tabanlı ödeme terminalleri üzerinden işlem yapmaları sağlanmaktadır.

RFID pazarındaki gelişmeler, uygulama alanındaki hareketliliğin giderek arttığını göstermektedir. IDTechEx şirketi tarafından yayımlanan araştırma raporunda 2007 yılı başına kadar 3.8 milyar adet RFID etiketinin satıldığı ve bu satışların 600 milyon adedinin 2005 yılında, 1.02 milyar adedinin 2006 yılında gerçekleştiği bildirilmektedir. 2006 yılında büyüklüğü \$1.48 milyar olan pazarın, 2017 yılında \$27.88 milyar olması beklenmektedir (Das ve Harrop, 2007).

Tüm bu gelişmeler, RFID sistem yatırımlarının firmalar açısından stratejik bir karar olarak değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir. Yatırım değerinin yüksekliği ve süreçlerde yeniden yapılandırmanın gerekliliği, bu teknoloji ile ilgili fayda/maliyet analizlerinin en ayrıntılı bir şekilde yapılması gerektiğine işaret etmektedir.

Tedarik zinciri ve RFID

Tedarik zinciri, herhangi bir ürünün hammadde halinden nihai ürün haline gelip müşteriye sunulana kadar geçirdiği tüm süreçlerdeki işletmeler topluluğu olarak tanımlanabilir (Sarı, 2006). RFID teknolojisi, tedarik zinciri üzerinde, ürünlerin veya malzemelerin birim, kutu veya palet seviyesinde izlenmesinde büyük faydalar sağlamaktadır. Süreç verimliliği artmakta ve işçilik maliyetleri azalmaktadır. Artan görünürlük ile birlikte ürün bulunabilirliği ve tedarik zincirindeki koordinasyon artmaktadır. Tahmin hataları azalmakta, gerçek ve kayıtlı stoklar arasındaki farklar ortadan kalkmakta, depolarda tutulan stok miktarları düşmektedir. Doğruluk seviyesinin artması zincir üyelerinin daha etkin kararlar verebilmesini sağlamakta, güvenlik seviyesinin yükselmesi ile birlikte ürün çalınma oranları düşmektedir. Stokta bulunmama ve kayıp satış oranları azalmakta, nihai anlamda müşteri memnuniyeti artmaktadır.

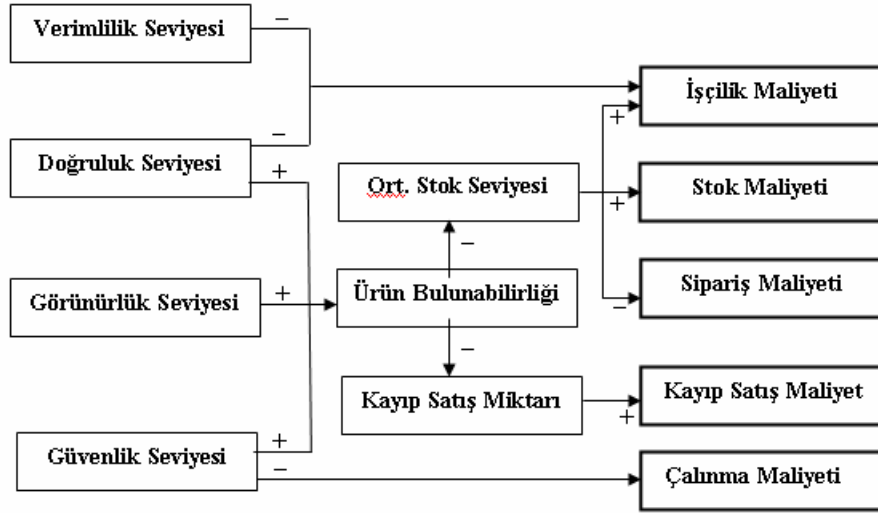
Günümüzde, stoklarda oluşan fireler, perakendeci ve imalatçılar için büyük sorun oluşturmaktadır. Stoklarda oluşan fire; çalınma, malzeme-

nin zarar görmesi, sahtecilik, yanlış yerleştirme ya da işlem hatalarından kaynaklanmaktadır (Delanuay vd., 2007). Bu durum gerçek ve kayıtlı stok miktarları arasında farklılığa neden olmakta ve stokta bulunmama (kayıp satış) gibi sonuçlar ortaya çıkarmaktadır. RFID teknolojisi, bu sorunlara çözüm sağlamakta, görünürlüğün artması ile birlikte gerçek stok miktarlarına daha yakın değerler elde edilmekte, ürün tedariki çok daha doğru gerçekleştirilmekte ve daha az stokta bulunmama durumu oluşmaktadır. Stokların daha doğru izlenmesi ile işlem hataları azalmakta, yanlış yerleştirmeler engellenmekte, sahtecilik ortadan kalkmakta ve fire miktarları azalmaktadır (Lee ve Özer, 2005).

Literatürde RFID teknolojisinin tedarik zincirindeki etkisi ile ilgili kantitatif çalışmalar ağırlıklı olarak stok yönetimi üzerinde yoğunlaşmıştır (Delanuay vd., 2007). Kapalı ve açık çevrimli sistemler için RFID yatırım değerlendirmesi çalışmaları kısıtlı sayıda ve yetersizdir (Doerr vd., 2006; Bottani ve Rizzi, 2008).

RFID teknolojisinin tedarik zinciri üzerindeki etkisinin tam anlamıyla belirlenebilmesi için kantitatif ve kalitatif faktörlerin bir arada değerlendirilmesi gerekmektedir. Tedarik zincirinin üyeleri, zincir üzerindeki RFID yatırımdan farklı boyutlarda etkilenebilir. RFID uygulaması ile birlikte süreçlerde sağlanan fayda dört seviyede incelenmektedir: Verimlilik, doğruluk, görünürlük, güvenlik.

RFID teknolojisi ile verimlilik, doğruluk, güvenlik ve görünürlük seviyelerinde sağlanan değişim, işletme bazındaki maliyet ve satış gelir faktörlerini etkilemektedir. Otomasyon ile birlikte süreç verimliliği ve doğruluk seviyesi artmakta, işçilik maliyetleri düşmektedir. Doğruluk, görünürlük ve güvenlik seviyesinin artması ile birlikte, gerçek ve kayıtlı stoklar arasındaki farklar azalmakta, ürün bulunabilirliği artmaktadır. Dolayısı ile ortalama stok seviyesi düşmekte, işçilik ve stok (elde tutma) maliyetleri azalmakta, sipariş maliyeti artmaktadır. Güvenlik seviyesinin yükselmesi ile birlikte çalınma maliyeti azalmaktadır. Tüm bu ilişkilerin ve maliyet faktörlerinin yer aldığı diyagram Şekil 1'de yer almaktadır.



Şekil 1. Faktör ilişki diyagramı

RFID teknolojisinin tedarik zinciri üzerindeki etkilerini belirleyebilmek için, diyagramda belirtilen faktörler arasındaki ilişkileri iyi tanımlamak, her faktörü sayısal parametrelerle ilişkilendirerek nihai maliyet ve kazanç değişimlerini ortaya koymak gerekmektedir. Bu bağlamda görünürlük ve ürün bulunabilirliği, kayıp satış miktarı veya stokta bulunmama oranı ile ilişkilendirilirken; doğruluk seviyesi, ürün kabul, toplama ve yükleme ve stok sayım süreçleri sırasında oluşan hata oranları ile ilişkilendirilebilir. Otomasyondan kaynaklanan verimlilik artışı ve hataların azalması, işçilik (adam*saat) ihtiyacındaki azalma, güvenlik seviyesindeki artış da çalıma oranındaki azalma ile ölçülebilir. İlişki diyagramında görüldüğü üzere, RFID teknolojisinin etkisi, işçilik, stok (elde tutma), sipariş, kayıp satış ve çalıma olmak üzere beş maliyet kalemindeki değişim ile ölçülebilmektedir.

Benzetim modeli

İncelenen tedarik zinciri; üretici, tedarikçi ve perakendeci olmak üzere üç aşamalı bir yapıdan oluşmaktadır. Müşteri talebine göre, perakendeci dağıtıcıyı, dağıtıcı da üreticiyi tetiklemektedir. Bilgi akışı müşteriden üreticiye doğru olurken, ürün akışı da üreticiden perakendeciye doğru gerçekleşmektedir.

Benzetim modeli Crystal Ball 7.2.1 yazılımı kullanılarak hazırlanmıştır. Perakendeci, dağıtıcı

ve üretici açısından RFID teknolojisinin beş temel lojistik süreç üzerinde uygulanacağı varsayılmıştır: Ürün kabul, ürün yerleştirme, stok sayım, ürün toplama, ürün yükleme. Perakendecinin karşıladığı müşteri talebi normal dağılıma göre oluşmakta, verilen sipariş miktarı, Ekonomik Sipariş Miktarı (EOQ) yöntemine göre hesaplanmaktadır.

Depo giriş ve çıkış noktalarında RFID geçiş sistemlerinin yer aldığı, ürün bazında RFID uygulamasının olduğu ve görevlilerin RFID el terminaleri ile işlem yaptığı varsayılmaktadır. Tasarlanan yapıda ürün kabul ve ürün yükleme işlemlerinde RFID geçiş sistemleri yardımı ile toplu okuma gerçekleştirilmektedir. Ürün yerleştirme, stok sayım ve ürün toplama işlemleri rafların ve ürünlerin üzerindeki RFID etiketlerinin RFID el terminaleri ile okutulması yöntemi ile tamamlanmaktadır. Perakendeci seviyesinde RFID geçiş sisteminin arka depo giriş/ çıkış ve ön satış sahasının çıkışında yer aldığı varsayılmakta, raf ve arka depo stokları bir arada değerlendirilmektedir.

Modelde yanlış yerleştirilen, yanlış yüklenen, zarar gören ve çalınan ürünlerden kaynaklı gerçek ve kayıtlı stoklar arasındaki fark, tedarik zincirinin üç üyesi için de göz önüne alınmaktadır. Şekil 1'deki faktör ilişki diyagramında belirtilen ilişkiler esas alınarak, RFID teknolojisinin verimlilik, doğruluk, görünürlük ve güvenlik

etkisi, işçilik, stok (elde tutma), sipariş, kayıp satış ve çalınma maliyet faktörlerindeki değişim ile ölçülmektedir.

Modelde yanlış yerleştirme (α), yanlış yükleme (δ), zarar görme (β) ve çalınma (γ) olarak tanımlanan hata oranları ve birim ürün süreç maliyetleri, RFID teknolojisinin kullanıldığı ve kullanılmadığı durum için farklı değerler taşımaktadır. Hata oranları ve birim ürün süreç maliyetleri, RFID entegre durum için otomasyon kaynaklı olarak azalmaktadır.

Stoklarda oluşan hatalardan dolayı sistemde kayıtlı olarak görünen stoklar ile gerçek stoklar arasında fark oluşmaktadır. Gün içindeki başlangıç stoku (I_{i-1}) ile müşteri talebi (D_i) arasındaki farka gelen sipariş miktarı (Q_i) eklendiğinde görünen (kayıtlı) gün sonu stok miktarı hesaplanmaktadır (1-2). Stok sayım zamanlarında sistem, hatalardan arındırıldığında, görünen gün sonu stok değeri, gerçek gün sonu stok değerine eşitlenmektedir.

$$I_i^{\text{görünen}} = I_{i-1} - D_i + Q_i \quad (1)$$

$$I_i^{\text{gerçek}} = I_{i-1} - D_i + Q_i * [1 - (\alpha + \beta + \gamma + \delta)] \quad (2)$$

Sistem sipariş emirlerini görünen stok pozisyonuna göre vermekte, kayıp satışlar ise gerçek stok pozisyonuna göre oluşmaktadır. Stok sayım zamanında bu farklar görülmekte, yanlış yerleştirilen ürünler doğru yerlerine taşınmakta sistem kaydı düzeltilmektedir. Bu şekilde görünen ve gerçek stoklar birbirine eşit olmaktadır

Çalışmada bağımsız faktör olarak belirlenen ürün değeri, temin süresi ve talep belirsizliği değişkenlerinin farklı seviyeleri için RFID uygulanan ve uygulanmayan sistem arasında oluşan performans farkı ölçülmektedir.

Deney tasarımı ve araştırma hipotezleri

Müşteri talebi, tedarik zincirinde perakendecinin karşılaştığı talep yapısını ifade etmektedir. Tedarik zinciri envanter yönetimi ile ilgili birçok çalışmada, talep yapısının normal dağılıma uyduğu varsayılmaktadır (Fleisch ve Tellkamp,

2005). Bu çalışma çerçevesinde de tüketici talep yapısı günlük ortalaması 1000 adet olan normal dağılım olarak belirlenmiştir. Farklı talep belirsizliklerinin tedarik zinciri üzerindeki etkisi değişen standart sapma düzeyleri ile test edilmiştir.

ABD perakende sektörü için yapılan bir araştırmada firma bazında hatalı teslimat oranı % 0.25, çalınma oranı % 1.5, zarar görmüş ürün oranı % 0.2, yanlış yerleştirme oranı % 2 olarak belirlenmiştir (Hollinger ve Davis, 2001). Bu çalışmada da, mevcut sistem hata oranları için aynı değerler baz alınmış ancak güvenlik seviyesinin daha yüksek olduğu varsayılarak çalınma oranı daha düşük tutulmuştur. RFID uygulamalı modelde zarar görmüş ürün oranı değişmemekle birlikte, diğer hata oranlarının sıfır seviyesine düşeceği varsayılmıştır (Tablo 1). Bu şekilde RFID teknolojisinin kullanımı ile görünen ve gerçek stoklar arasındaki farkların minimum seviyeye düşmesi beklenmektedir.

Tablo 1. Hata oranları

Hata oran	α (yanlış yer.)	β (zarar)	γ (çalınma)	δ (eksik sevki.)
Mev. sistem	% 2	% 0.2	% 0.5	% 0.25
RFID sistem	% 0	% 0.2	% 0	% 0

Süreç bazında birim ürün depolama maliyetleri şu şekilde belirlenmiştir: Ürün kabul \$0.015, ürün yerleştirme \$0.03, stok sayım \$0.015, ürün toplama \$0.06, ürün yükleme aşaması \$0.03. Aynı araştırmada ürün bazında RFID etiket uygulamasının gerçekleştirildiği ve depo işlemleri için RFID geçiş sistemi ve el terminallerinin kullanıldığı durumda, otomasyon kaynaklı olarak beklenen işgücü kazanımları sırasıyla % 50, % 30, % 95, % 40, ve %50 olarak belirtilmiştir. Toplam maliyete etki eden birim kayıp satış maliyeti, ürünün kabul edilen kar oranı % 5, parti sipariş maliyeti \$40 olarak belirlenmiştir. Birim elde tutma maliyeti hesaplanırken yıllık faiz oranı % 5 esas alınmıştır. Tedarik zinciri üyeleri arasındaki ilişkinin göz önüne alınarak, RFID etkisinin ölçülebilmesi için, modelde her üye için aynı parametre değerleri kullanılmıştır.

DeneySEL tasarım için kullanılan bağımsız faktörler ve düzeyleri Tablo 2’de yer almaktadır.

Tablo 2. Bağımsız faktörler ve düzeyleri

Bağımsız faktörler	Düzyey 1	Düzyey 2	Düzyey 3
Ürün değeri (\$)	5	15	80
Talep belirsizliği	% 10	% 30	% 50
Temin süresi (gün)	2	4	6

Ürün değeri, talep belirsizliği ve temin süresi faktörlerinin, RFID uygulamalı tedarik zinciri maliyet faktörleri üzerindeki etkisini incelemek için aşağıdaki araştırma hipotezleri geliştirilmiştir:

- Hipotez 1: Ürün değerindeki artış RFID uygulamalı tedarik zincirindeki toplam maliyet kazanımını artırmaktadır.
- Hipotez 2: Ürün değerindeki artış RFID uygulamalı tedarik zincirindeki kayıp satış maliyet kazanımını artırmaktadır.
- Hipotez 3: RFID uygulamalı tedarik zincirinde, ürün değeri faktörünün toplam maliyet kazanımı üzerindeki etkisi temin süresi faktöründen daha fazladır.
- Hipotez 4: Temin süresindeki artış ile RFID uygulamalı tedarik zincirinde perakendeci düzeyinde toplam maliyet kazanımı azalmaktadır.
- Hipotez 5: Temin süresindeki artış, RFID uygulamalı tedarik zincirindeki süreç maliyet kazanımını artırmaktadır.
- Hipotez 6: Talep belirsizliğindeki artış, RFID uygulamalı tedarik zincirindeki toplam maliyet kazanımını azaltmaktadır.
- Hipotez 7: Talep belirsizliğindeki artış, RFID uygulamalı tedarik zincirindeki kayıp satış maliyeti kazanımını azaltmaktadır.
- Hipotez 8: RFID uygulamalı tedarik zincirinde, talep belirsizliğinin toplam maliyet kazanımı üzerindeki etkisi, temin süresinin oluşturduğu etkiden daha fazladır.
- Hipotez 9: Perakendeci, üretici ve dağıtıcıdan daha yüksek maliyet kazanımı sağlamaktadır.

Benzetim modeli sonuçlarının analizi

RFID teknolojisinin tedarik zinciri üzerindeki etkilerini incelemek üzere hazırlanan deney tasarımı Crystal Ball 7.2.1 yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ürün değeri, temin süresi ve talep belirsizliğinden oluşan bağımsız faktörler toplam 27 (3x3x3) kombinasyonda çalıştırılmıştır. Her deney kombinasyonu, rassal değişkenlerden kaynaklanan hataları azaltabilmek için toplam 250 defa koşturulmuştur. 360 gün (1 yıl) için çalıştırılan benzetim modelinde, RFID uygulanan ve uygulanmayan durum arasında çalınma, elde tutma, sipariş, kayıp satış ve süreç maliyetleri bazında oluşan farklar, tedarik zincirinin geneli ve her üyesi için ayrı ayrı hesaplanmıştır.

Benzetim modelinde elde edilen sonuçlar SPSS istatistiksel analiz yazılımı kullanılarak incelenmiştir. Bu çalışmada Tek Değişkenli Varyans Analizi (ANOVA)’nin yanı sıra bağımlı faktörler arasındaki ilişkileri göz önüne alabilmesi yönünden Çok Değişkenli Varyans Analizi (MANOVA) kullanılmıştır.

Ürün değeri etkisi

Araştırma sonuçlarına göre ürün değerinin yükselmesi ile birlikte toplam tedarik zinciri maliyet kazanımı artış göstermektedir. Bu artış birim maliyetin yükselmesinden dolayı ağırlıklı olarak çalınma ve kayıp satış maliyet farklarından kaynaklanmakla birlikte, kazanım miktarı perakendeci seviyesinde daha yüksek, dağıtıcı ve üretici seviyesinde daha düşüktür. Zincir boyunca ortalama stok seviyesi azalmasına rağmen ürün değer artışından dolayı elde tutma maliyeti kazanımında artış gerçekleşmektedir. Birim elde tutma maliyetinin artmasından dolayı verilen sipariş miktarı ve genel stok seviyesi azalmakta, bu da süreç maliyet farkı kazanımında azalma eğilimi oluşturmaktadır. RFID uygulaması ile birlikte, görünen ve gerçek stok seviyeleri birbirine yaklaşmakta, sipariş maliyetinde oluşan kayıp, ürün değer artışı ile birlikte yükselmektedir.

ANOVA analizi sonucunda oluşan Tablo 3 Tukey testi sonuçları, RFID uygulamalı tedarik zinciri toplam ve kayıp satış maliyet kazanımlarının, artan ürün değeri ile birlikte yükseldiğini göstermekte, Hipotez 1 ve Hipotez 2’nin doğruluğunu desteklemektedir.

Tablo 3. Ürün değeri etkisi Tukey testi sonuçları

Bağımlı değişken	(I) Ürün değeri	(J) Ürün değeri	Ortalama farkı	P (Sig.)
Toplam maliyet	5	15	-41730	0.00
		80	-443096	0.00
	15	5	41730	0.00
		80	-401366	0.00
	80	5	443096	0.00
		15	401366	0.00
Kayıp satış maliyeti	5	15	-12365	0.00
		80	-181339	0.00
	15	5	12365	0.00
		80	-168975	0.00
	80	5	181339	0.00
		15	168975	0.00

Ürün değeri, temin süresi ve talep dağılım belirsizliği bağımsız faktörlerinin toplam maliyet farkı üzerindeki etkisini ölçmek üzere gerçekleştirilen iki yönlü ANOVA analizi sonucunda (Tablo 4), ürün değeri faktörü etki derecesinin (0.97) en yüksek seviyede olduğu, bunu talep dağılım belirsizliği (0.43) ve temin süresi (0.12) faktörlerinin izlediği görülmektedir. Bu bağlamda RFID uygulamalı tedarik zincirinde, ürün değeri faktörünün toplam maliyet kazanımı üzerindeki etkisinin temin süresi faktöründen daha fazla olduğunu belirten Hipotez 3'ün de doğruluğu kabul edilmektedir.

Tablo 4. Toplam maliyet değişkeni iki yönlü ANOVA analizi

Bağımlı değişken:	F	P (Sig.)	Etki Değeri
Toplam maliyet			
Ürün değeri	97934	0.00	0.97
Temin süresi	444	0.00	0.12
Talep dağılımı	2486	0.00	0.43
Ürün değeri * Temin süresi	1112	0.00	0.40
Ürün değeri * Talep dağılımı	2613	0.00	0.61
Temin süresi * Talep dağılımı	722	0.00	0.30
Ürün değeri * Temin süresi * Talep dağılımı	643	0.00	0.43

Temin süresi etkisi

Temin süresi artışı, perakende seviyesinde maliyet kazanımını düşürmekte, üretici ve dağıtıcı

toplam maliyet kazanımlarını artırmaktadır. Bunun sebebi, perakendeci seviyesinde, yükselen temin süresi ile birlikte kayıp satış maliyet kazanımında azalma, dağıtıcı ve üretici seviyesinde artış oluşmasıdır. Tedarik zinciri genelinde giriş ve çıkış yapan toplam ürün hacminin artmasından dolayı artan temin süresi ile birlikte çalınma maliyet kazanımı da yükselmektedir. Yükselen stok seviyesi ile birlikte elde tutma maliyetinden beklenen kazanım artmakta, yine stok seviyesinin artması ile bağlantılı olarak süreç maliyet kazanımı da artış göstermektedir. Sipariş maliyetinde oluşan kayıp artan temin süresi ile azalmaktadır. Yükselen stok seviyesi ile birlikte, sipariş maliyetinden doğan maliyet farkı da azalmaktadır.

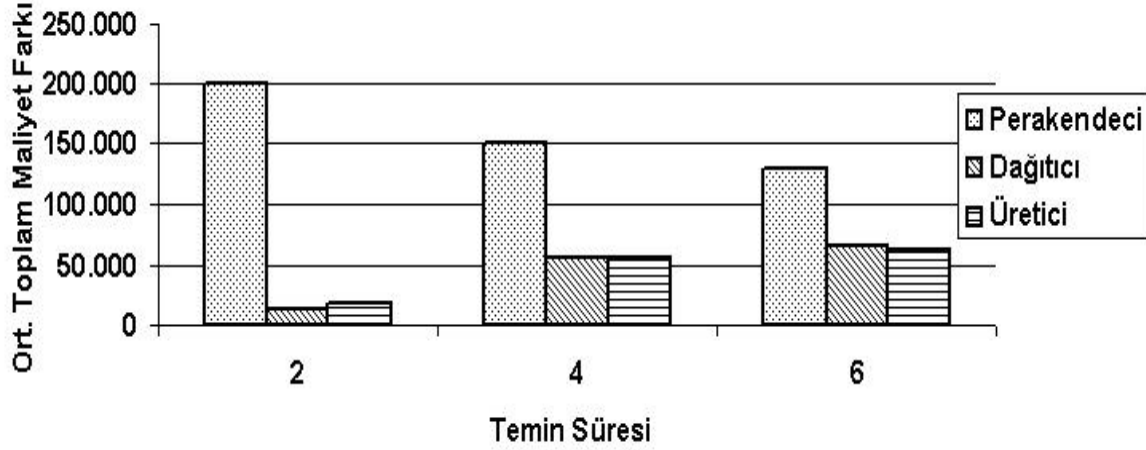
ANOVA analizi Tukey testi sonucunda çıkan sonuçlarda (Tablo 5), temin süresinin artışı ile birlikte süreç maliyet kazanımının arttığı görülmekte, bu durum Hipotez 5'in doğruluğunu desteklemektedir. Temin süresinin artışı ile birlikte toplam maliyet kazanımında üretici ve dağıtıcı bazında artış yaşanmakta ancak perakendeci bazında azalma olduğu görülmektedir (Şekil 2). Bu bağlamda Hipotez 4'ün de doğruluğu desteklenmektedir.

Tablo 5. Temin süresi etkisi Tukey testi sonuçları

Bağımlı değişken	(I) Temin Süresi	(J) Temin Süresi	Ort. Farkı	P (Sig.)
Toplam maliyet	2	4	-23161	0.00
		6	-27595	0.00
	4	2	23161	0.00
		6	-4433	0.47
	6	2	27595	0.00
		4	4433	0.47
Süreç maliyeti	2	4	-4163	0.00
		6	-5374	0.00
	4	2	4163	0.00
		6	-1211	0.00
	6	2	5374	0.00
		4	1211	0.00

Talep belirsizliği etkisi

Talep belirsizliğinin artması ile birlikte RFID uygulanan tedarik zinciri toplam maliyet kazanımını azalmaktadır. Bunun sebebi sistemde daha



Şekil 2. Temin süresi etkisi (perakendeci, dağıtıcı, üretici)

çok kayıp satış oluşması ve toplam kayıp satış maliyetinde sağlanan kazanımın düşmesidir. Maliyet kazanımındaki azalma, perakendeci, dağıtıcı ve üretici seviyelerinin her birinde görülmektedir. Belirsizliğin artması ile birlikte RFID uygulanan ve uygulanmayan sistemdeki ortalama stok seviyesi artmakta, ancak elde tutma maliyeti açısından iki durum arasında oluşan maliyet farkı azalmaktadır.

Sipariş maliyetinde oluşan kayıp artan talep belirsizliği ile birlikte azalmakta, süreç maliyet kazanımında anlamlı bir değişim görülmemektedir.

ANOVA analizi Tukey testi sonucunda oluşan Tablo 6, talep belirsizliğindeki artışın RFID uygulamalı tedarik zincirindeki toplam maliyet ve kayıp satış maliyet kazanımını azalttığını göstermekte, Hipotez 6 ve Hipotez 7'nin doğruluğunu desteklemektedir.

Ürün değeri, temin süresi ve talep dağılım belirsizliği bağımsız faktörlerinin toplam maliyet farkı üzerindeki etkisini ölçmek üzere yapılan iki yönlü ANOVA analizinde (Tablo 4), talep dağılım belirsizliği etki derecesi 0.43 ve temin süresi 0.12 olarak belirlenmiştir. Bu bağlamda RFID uygulamalı tedarik zincirinde, talep belirsizliğinin toplam maliyet kazanımı üzerindeki etkisinin, temin süresinin oluşturduğu etkiden daha fazla olduğunu belirten Hipotez 8'in doğruluğu da desteklenmektedir.

Tablo 6. Talep belirsizliği etkisi Tukey testi sonuçları

Bağımlı değişken	(I) Ürün değeri	(J) Ürün değeri	Ortalama farkı	P (Sig.)
Toplam maliyet	10	30	51943	0.00
		50	76313	0.00
	30	10	-51943	0.00
		50	24370	0.00
	50	10	-76313	0.00
		30	-24370	0.00
Kayıp satış maliyeti	10	30	49151	0.00
		50	71254	0.00
	30	10	-49151	0.00
		50	22103	0.00
	50	10	-71254	0.00
		30	-22103	0.00

Perakendeci, dağıtıcı ve üretici düzeyinde RFID Etkisi

RFID uygulamalı tedarik zinciri toplam maliyet kazanımının, perakendeci, dağıtıcı ve üretici arasındaki dağılımını incelemek üzere t testi gerçekleştirilmiştir. %95 güvenilirlik seviyesinde yapılan t-testi sonuçlarına göre toplam maliyet kazancının, ortalama değerlere göre en çok perakendeci düzeyinde olduğu, bunu üretici ve dağıtıcının izlediği belirlenmiştir. Tablo 7'de oluşan sonuçlara göre Hipotez 9'un doğruluğu kabul edilmektedir.

Tablo 7. Perakendeci, dağıtıcı ve üretici toplam maliyet kazanım farkları

	Maliyet fark ort.	t	Sig. (P)
Perakendeci - Dağıtıcı	114403	52.95	0.00
Perakendeci-Üretici	113992	54.66	0.00
Dağıtıcı - Üretici	-411	-2.14	0.03

RFID yatırım değerlendirme modeli

RFID yatırımlarının değerlendirilmesinde, gerçek kazanımları ortaya koyabilmek için, sayısal ve sayısal olmayan tüm faktörleri iyi belirlemek gerekmektedir. RFID teknolojisinin etkilediği faktör sayısının çok olması, yatırımın değerlendirilmesi açısından zorluk oluşturmaktadır. RFID uygulaması, tedarik zinciri genelinde düşünüldüğünde, yapı daha da karmaşık bir şekil almakta, maliyet/fayda analizlerini gerçekleştirmek zorlaşmaktadır. Geleneksel nakit akış iskontolama ve şimdiki değer analizleri, RFID yatırım kararlarının verilmesinde sınırlı ve yetersiz kalabilmektedir (Patil, 2004).

Gerçekleştirilen analizlerde ürün değeri, temin süresi ve talep belirsizliği faktörlerinin, RFID uygulamalı tedarik zinciri beklenen kazanımı üzerinde anlamlı etki oluşturduğu ve zincir genelinde sağlanan maliyet kazanımının perakendeci, dağıtıcı ve üretici seviyesinde eşit dağılmadığı sonucuna varılmıştır. Bu bölümde tüm bu analiz ve sonuçların göz önüne alındığı bir RFID yatırım değerlendirme modeli önerilecektir.

RFID uygulamalarında maliyet üç ana kaleme incelenmektedir: Donanım, yazılım ve hizmetler. Donanım maliyetleri, etiketler, okuyucular, antenler, bilgisayarlar, yazıcılar ve ağ ekipmanlarından; yazılım maliyetleri, ara katman ve diğer uygulama yazılımlarından, hizmet maliyetleri de kurulum, sistem entegrasyonu, eğitim vb. faaliyetlerden oluşmaktadır (Bhuptani ve Moradpour, 2005). Etiket maliyeti donanım maliyetleri içinde sayılmakta ancak sabit bir yatırım olmamakla birlikte, sistemde yer alan ürün, kutu veya palet sayısına bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Ürün seviyesinde RFID uygulaması, tedarik zinciri açısından düşünüldüğünde, etiket maliyetinin zincir üyeleri tarafından paylaşımı söz konusu olmaktadır.

Önerilen yatırım değerlendirme modelinde, etiket maliyetinin zincir üyeleri arasındaki paylaşımı, beklenen kazanım oranına göre gerçekleşmektedir. RFID uygulanan ve uygulanmayan sistem arasındaki maliyet farklarından oluşan perakendeci (K_p) ve dağıtıcı (K_d) ve üretici (K_u) kazanımları, etiket maliyeti paylaşım faktörünün (k) belirlenmesinde kullanılmaktadır (3-5). Önerilen modelde her zincir üyesi, beklediği kazanım oranında etiket maliyetini karşılayacaktır. Perakendeci, dağıtıcı ve üretici için maliyet paylaşım faktör oranları şu şekilde hesaplanmaktadır:

$$k_p = \frac{K_p}{K_p + K_d + K_u} \quad (3)$$

$$k_d = \frac{K_d}{K_p + K_d + K_u} \quad (4)$$

$$k_u = \frac{K_u}{K_p + K_d + K_u} \quad (5)$$

Tedarik zinciri üyeleri farklı sayıda RFID okuyucu ve ek donanım kullanarak, sistemde sağlayacağı faydayı artırmak isteyebilir. Bu bağlamda maliyet paylaşım faktörü hesaplanırken donanım yıllık amortisman ve bakım giderlerinin de hesaba katılması gerekir. Yıllık donanım amortisman gideri ve bakım giderleri A olarak tanımlanırsa, perakendeci için maliyet paylaşım faktörü k'_p şu şekilde hesaplanabilir (6):

$$k'_p = \frac{K_p - A_p}{(K_p + K_d + K_u) - (A_p + A_d + A_u)} \quad (6)$$

Tedarik zincirinin bir üyesi için uygulanacak yatırım değerlendirme modelinde, donanım maliyeti C_d , yazılım maliyeti C_y , hizmet maliyeti C_h , yıllık ürün miktarı M , iskonto oranı i ve birim etiket maliyeti C_e olarak ifade edilirse, t yılda beklenen kazancın şimdiki değeri P şu şekilde hesaplanır (7):

$$P = -(C_d + C_y + C_h) + \sum_{n=1}^t \frac{[K_{pn} - k_{pn} * (C_e * M_n)]}{(1+i)^n} \quad (7)$$

Tedarik zinciri genelinde yapılan RFID yatırımının gerçekçi değerlendirilebilmesi için, çalışma kapsamında incelenen bağımlı ve bağımsız faktörlerin göz önüne alınması gerekmektedir. Bu bağlamda önerilen modelde ürün değeri, temin süresi ve talep belirsizliği göz önüne alınarak süreç, elde tutma, sipariş, kayıp satış ve çalınma maliyetlerinden oluşan toplam maliyet kazanımı benzetim modeli yardımı ile hesaplanmaktadır.

Benzetim modeli, ürün değeri \$30, müşteri talebi standart sapması % 30 ve temin süresi 3 gün için 100 defa çalıştırıldığında, perakendeci, dağıtıcı ve üretici düzeyinde beklenen ortalama maliyet kazanımları ve etiket maliyeti paylaşım faktör oranları Tablo 8’de yer almaktadır.

Tablo 8. Örnek uygulama

	Perakendeci	Dağıtıcı	Üretici
K_p (\$)	147838	37443	39616
k_p	0.66	0.17	0.17

Yılda 360000 ürünün hareket gördüğü tedarik zincirinde, tüm zincir üyelerinin eşit değerde donanım yatırımı yaptığını varsayarsak, perakendeci için, sabit donanım, yazılım ve hizmet yatırım değeri \$150000, etiket maliyeti \$0.2 ve iskonto oranı 0 olduğunda 5 yılda beklenen kazanç değeri (7)’de belirtilen eşitliğe göre \$351590 olarak belirlenmektedir.

Sonuç

Çalışma kapsamında perakendeci, dağıtıcı ve üreticiden oluşan tedarik zincirinde, RFID uygulanan ve uygulanmayan iki durum arasında oluşan maliyet farkları, benzetim modeli yardımı ile incelenmiştir. Tedarik zinciri boyunca hatalı sevkiyat, yanlış yerleştirme, çalınma ve zarar görme oranları göz önüne alınarak, görünen ve gerçek stok miktarları belirlenmiştir. RFID teknolojisinin kullanımı ile doğruluk, süreç verimliliği, güvenlik ve görünürlük seviyelerinde beklenen performans artışının, tedarik zinciri üzerinde sağladığı kazanım, kayıp satış, çalınma, elde tutma, sipariş ve süreç maliyet farkları esas alınarak hesaplanmıştır. Ürün değeri,

temin süresi ve talep belirsizliği faktörlerinin RFID uygulamalı tedarik zincirinde sağlanan kazanım üzerindeki etkisi deneysel tasarım gerçekleştirilerek araştırılmıştır.

Araştırma sonuçları, RFID uygulamasının tedarik zinciri üzerindeki kazanımının hesaplanması aşamasında, zincir üyeleri arasındaki etkileşimin göz alınması gerektiğini göstermiştir. Çalışmada benzetim modeli çıktıları, oluşturulan yatırım değerlendirme modeline girdi oluşturmuş ve zincir üyeleri arasındaki etkileşim hesaba katılarak örnek bir uygulamada toplam kazanım değerleri belirlenmiştir. Oluşturulan yatırım değerlendirme modelinde, etiket maliyetinin tedarik zinciri üyeleri arasındaki paylaşımı, zincir üyelerinin beklenen maliyet kazanımı oranında gerçekleştirilmiştir.

Son olarak bu çalışmada eksik noktalara ve gelecekte yapılacak çalışmalara değinmek gerekmektedir. Oluşturulan modelde, tedarik zincirinde RFID uygulaması ile sağlanacak müşteri tatmini ve gelir artışını hesaba katılmamıştır. Bunun dışında RFID uygulaması ile sağlanacak kalitatif kazanım faktörleri değerlendirme modeline eklenebilir. Tedarik zinciri seviyesi genişletilerek, her seviyede iki veya daha fazla üyenin yer aldığı durumlar inceleme kapsamına alınabilir.

Kaynaklar

- Bhuptani, M. ve Moradpour, S., (2005). *RFID field guide: Deploying radio frequency identification systems*, 113, Sun Microsystems Press, New Jersey.
- Bottani, E. ve Rizzi, A., (2008). Economical assessment of the impact of RFID technology and EPC system on the Fast Moving Consumer Goods supply chain, *International Journal of Production Economics*, **112**, 548-569.
- Das, R. ve Harrop P., eds. (2007). RFID forecasts, players & opportunities 2007-2017, Technical Report, IDTechEx Ltd, 3, Cambridge.
- Delanuay, C., Sahin, E. ve Dallery, Y., (2007). A literature review on investigations dealing with inventory management with data inaccuracies, *Proceedings*, 1st RFID Eurasia Conference, 20-26, Istanbul.
- Doerr, K.H., Gates, W.R., ve Mutty, J.E., (2006). A hybrid approach to the valuation of RFID/MEMS

- technology applied to ordnance inventory, *International Journal of Production Economics*, **103**, 726-741.
- Fleisch, E. ve Tellkamp, C., (2005). Inventory inaccuracy and supply chain performance: a simulation study of a retail supply chain, *International Journal of Production Economics*, **95**, 373-385.
- Finkenzeller, K., (2002). *RFID Handbook*, 8, Wiley Press, New-York.
- Hollinger, R.C. ve Davis, J.L., eds. (2001). National retail security survey, Technical Report, Department of Sociology and the Center for Studies in Criminology and Law, University of Florida, 120, Florida.
- Lee, H. ve Ozer, O., eds. (2005). Unlocking the value of RFID, Technical Report, Stanford University, California.
- McFarlane, D. ve Sheffi, Y., (2003). The impact of automatic identification on supply chain operations, *The International Journal of Logistics Management*, **1**, 14-17.
- Patil, M., (2004). Investments in RFID: A real options approach, Technical Report, Patni Computer Systems, 3, Mumbai.
- Poirier, C.C. ve McCollum, D., (2006). *RFID Strategic Implementation and ROI : A practical roadmap to success*, 5, Ross Publishing, Florida.
- Sarı, K., (2006). Ortaklaşa planlama, tahmin ve ikmal yönteminin tedarik zinciri performansına etkileri, *Doktora Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.