

İnşaat sektöründe ekonomik malzeme yönetim sistem seçimi için simülasyon modeli

Gül POLAT*, Uğur MÜNGEN

İTÜ İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 34469, Ayazağa, İstanbul

Özet

Bir yüklenici inşaat firması, projenin en başında, bolluk miktarı (büyük, orta veya küçük), planlama yaklaşımı (iyimser, nötr veya kötümser) ve parti hacmine (büyük veya küçük) bağlı olarak değişen 18 değişik malzeme yönetim alternatifinden birini seçebilir. Bu çalışmada, yüklenici inşaat firmalarına, en düşük toplam envanter maliyetini oluşturacak olan bolluk miktarını, planlama yaklaşımını ve parti hacmini tavsiye edecek simülasyon tabanlı karar destek modeli geliştirilmiş ve bu model yardımı ile tamamlanmış olan üç ticaret merkezi projesinden elde edilen veriler kullanılarak sözkonusu malzeme yönetim sistem alternatifleri için toplam envanter maliyeti hesaplanmıştır. İncelenen projelerde, geliştirilen modelin uygulanması, yüklenici inşaat firmalarına %4.2-7.3'lük bir maliyet kazancı sağlamıştır.

Anahtar Kelimeler: Malzeme yönetimi, tam zamanında yönetim, simülasyon modeli.

A simulation-based decision support tool for economical materials management system in the construction industry

Abstract

Materials constitute a large proportion of the total cost of construction. Proper management of the material flow may play a significant role in enhancing the effectiveness of a contractor. The generally acknowledged rules of materials management are small orders, frequent deliveries, and reduced inventory. A contractor should be familiar with the impacts of lot size (large or small) and buffer size (large, medium or small) as governed by contractor's scheduling practice (optimistic, neutral or pessimistic) in handling uncertainty and variability on the economics of the each material management alternative at the beginning of the project in order to make a decision on the most economical alternative that will be used throughout the project. The main objective of this study is to provide contractors with an objective and dynamic tool, namely a discrete event simulation model, to assist them in selecting the most economical materials management system by recommending buffer sizes, a scheduling practice, and lot sizes given the special conditions of the project at the beginning of the project. After the simulation-based decision support tool was completed, it was time to plug the actual data obtained from the completed three trade center projects into the simulation model and run the model. The case studies revealed that using the simulation-based decision support tool provided the contractor with a cost saving of 4.2-7.3% in the studied projects.

Keywords: Materials management, just-in-time management, simulation modeling.

*Yazışmaların yapılacağı yazar: Gül POLAT. gpolat@ins.itu.edu.tr; Tel: (212) 285 37 37.

Bu makale, birinci yazar tarafından İTÜ İnşaat Fakültesi'nde tamamlanmış olan "A simulation based decision support tool for economical materials management system in the construction industry" adlı doktora tezinden hazırlanmıştır. Makale metni 25.04.2005 tarihinde dergiye ulaşmış, 01.06.2005 tarihinde basım kararı alınmıştır. Makale ile ilgili tartışmalar 30.09.2006 tarihine kadar dergiye gönderilmelidir.

Giriş

Yüklenici inşaat firmaları kar amacı güden organizasyonlardır; bu nedenle, birincil amaçları, dolaylı ve dolaysız maliyetlerden oluşan toplam inşaat maliyetini mümkün olduğunca azaltmaktır. Dolaysız inşaat maliyeti; malzeme, işçilik ve ekipman maliyetinden oluşmaktadır. Malzeme maliyeti, toplam inşaat maliyetinin önemli bir kısmını oluşturmaktadır. Örneğin, konut ve toplu konut projelerinde malzeme maliyeti, toplam inşaat maliyetinin %43'ünü oluşturmaktadır (Agapiou vd., 1998). Bunun yanısıra, inşaatın devamı için gerekli olan malzemenin üretime gireceği anda şantiyede bulunmaması inşaat projelerinin gecikmesine sıklıkla neden olmaktadır (Arditi vd., 1985; Abdul-Rahman ve Alidrisi, 1994; Ibn-Homaid, 2002; Polat ve Ballard, 2004). Yüklenici inşaat firmalarının karlılıklarını ve performanslarını arttırabilmelerinde, düzgün bir malzeme yönetim sisteminin uygulanması büyük bir önem taşımaktadır.

Malzeme yönetim sisteminin performansının arttırılabilmesi için uygulanması önerilen yaklaşımlardan bir tanesi, inşaat malzemelerinin, şantiyeye küçük partiler halinde sıklıkla temin edilmesi ve bu yöntemle stokların azaltılmasıdır (Sobotka, 2000; Shmanske, 2003). Bu yaklaşımda dikkat edilmesi gereken en önemli unsur, malzemenin ihtiyaç duyulduğu anda şantiyede bulunmasını sağlarken stok seviyesini mümkün olduğunca azaltmaktır (Shmanske, 2003).

İmalat sektöründe sözkonusu yaklaşımı kabul eden ve malzeme yönetiminde en yaygın olarak uygulanan kavramlardan bir tanesi, 1950'lerin başında Japonya'da ortaya çıkmış olan, aynı zamanda stoksuz üretim (zero inventory policy - ZIP) ve Toyota üretim sistemi (Toyota production system - TPS) olarak ta bilinen tam zamanında yönetim (just-in-time management - JIT) yaklaşımıdır (Ohno, 1987).

JIT, herhangi bir malzemeye, ham maddeden son ürüne dönüşene kadarki süreçte, her türlü israfi düzenli olarak azaltarak değer katmayı amaçlayan bir üretim ve nakliye felsefesidir (Tommelein, 1998). JIT, inşaat sektöründe, doğru malzemenin, doğru miktarda ve kalitede, üretim için doğru zamanda, bir başka deyişle, mal-

zemenin üretime gireceği gün veya ondan bir gün önce şantiyede hazır bulunmasını sağlayarak düzgün bir üretim akışını başarmayı hedeflemektedir (Pheng ve Chan, 1997; Tommelein, 1998; Pheng ve Hui, 1999; Pheng ve Chuan, 2001; Cua vd., 2001). Özet olarak, JIT yaklaşımının kullanıldığı üretim ortamında, ham madde veya yarı mamul tam ihtiyaç duyulduğu anda hazır olacak şekilde üretilir veya temin edilir (Willis ve Suter, 1989; Pheng ve Hui, 1999). JIT, malzemelerin temin zamanlarını optimize ederek stok miktarını azaltmayı amaç edinmektedir (Akintoye, 1995; Pheng ve Hui, 1999).

JIT'in imalat sektöründeki başarılı uygulamalarının, ürün kalitesini, çalışanlarının motivasyonunu, işçilerin katılımını ve firmaların rekabet avantajını arttırırken, bir ürünün yapım süresini, hatalı üretim oranını, stok seviyesini, stok için gereken boş alan ihtiyacını ve toplam maliyetleri azalttığı saptanmıştır (Akintoye, 1995; Pheng ve Chan, 1997; Pheng ve Tan, 1998; Pheng ve Hui, 1999).

JIT yaklaşımı imalat sektöründe olduğu gibi inşaat sektöründe de başarı ile uygulanmaktadır. JIT yaklaşımının inşaat sektöründe başarı ile uygulanması sonucunda verimliliğin %7-10 oranında arttığı gözlenmiştir (Pheng ve Chuan, 2001).

JIT yaklaşımının kullanılması hem imalat hem de inşaat sektöründe pek çok avantaj sağlamakla birlikte bazı dezavantajları da beraberinde getirmektedir. Stokların azaltılması stok maliyetinin azalmasına neden olurken, stok tutmanın getirdiği bazı yararları da ortadan kaldırmaktadır. Stok tutmanın avantajlarından bazıları şunlardır: üretim zincirinin sonundaki aktiviteleri kendilerinden önceki aktivitelerin belirsizliklerinden korumak, ani ve tahmin edilemeyen bir malzeme ihtiyacının doğması halinde bu ihtiyacın stoktan hemen karşılanarak üretimin düzgün ve aksaksız bir şekilde devam etmesini sağlamak, büyük miktarda malzeme satın alınması durumunda nakliye bedelinin önemli ölçüde azalması, ve büyük miktarda malzeme satın alınması halinde malzeme birim fiyatında önemli ölçüde indirim olanağından faydalanılmasıdır.

Polat ve Arditi (2004) tarafından tamamlanmış olan bir araştırma, özellikle gelişmekte olan ülkelerde karşılaşılan özel şartlar altında, malzeme yönetiminde JIT yaklaşımının toplam envanter maliyetini, geleneksel (just-in-case -JIC) yaklaşıma kıyasla %4,4 arttırdığını göstermektedir. Sözkonusu özel şartlar; malzeme ve süre israfına neden olan tedarik zincirindeki belirsizlikler ve değişkenlikler, yüksek enflasyon oranı, yüksek nakliye bedeli ve büyük miktarda malzeme alınması durumunda malzeme birim fiyatında önemli ölçüde indirim yapılmasıdır.

Ham madde ve yarı mamul stok miktarının azaltılması iki şekilde olabilir; 1) bolluk miktarının azaltılması, ve 2) parti hacminin azaltılması. Bolluk miktarını (büyük, orta veya küçük) etkileyen en önemli faktörlerden biri, yüklenici inşaat firmasının tedarik zincirindeki belirsizlikleri ve değişkenlikleri yönetmek amacıyla benimsediği planlama yaklaşımıdır (iyimser, nötr veya kötümser). Parti hacmi (büyük veya küçük) ise, şantiyeye getirilen malzeme miktarı ile ihtiyaç duyulan malzeme arasındaki fark ile doğrudan orantılıdır. Bu nedenle, bir yüklenici inşaat firması, projenin daha en başında, bolluk miktarı (büyük, orta veya küçük), planlama yaklaşımı (iyimser, nötr veya kötümser) ve parti hacmine (büyük veya küçük) bağlı olarak değişen 18 değişik malzeme yönetim alternatifinden birini seçebilir (Tablo 1). Bu nedenle, bir yüklenici inşaat firmasının en düşük toplam envanter maliyetini oluşturacak malzeme yönetim sistemini herhangi bir inşaat projesinin en başında seçebilmesi için, bolluk miktarı, planlama yaklaşımı ve parti hacminin olası malzeme yönetim sistemlerinin üzerindeki ekonomik etkilerini proje daha başlamadan yaklaşık olarak tahmin edilecek durumda olmalıdır.

Bu araştırmanın temel amacı, yüklenici inşaat firmalarına projenin başında en ekonomik malzeme yönetim sistemini seçmelerine yardımcı olmak amacıyla, en düşük toplam envanter maliyetini (total cost of inventory -TCI) oluşturacak bolluk miktarı (büyük, orta veya küçük), planlama yaklaşımı (iyimser, nötr veya kötümser) ve parti hacmini (büyük veya küçük) tavsiye edecek simulasyon tabanlı bir karar destek modeli geliştirmektir.

Tablo 1. Malzeme yönetim sistemi alternatifleri

Planlama Yaklaşımı	Bolluk Miktarı	Parti Hacmi
İyimser	Büyük	Büyük Küçük
	Orta	Büyük Küçük
	Küçük	Büyük Küçük
Nötr	Büyük	Büyük Küçük
	Orta	Büyük Küçük
	Küçük	Büyük Küçük
Kötümser	Büyük	Büyük Küçük
	Orta	Büyük Küçük
	Küçük	Büyük Küçük

Problemin tanımı

JIT ile JIC arasında temel olarak iki önemli fark bulunmaktadır. Bunlar bolluk miktarı ve parti hacmidir:

1. *Bolluk miktarı*: JIC’de bir üretim süreci CPM (critical path method) ile belirlenen en erken başlama zamanında başlarken, JIT’de bir üretim süreci JIT iş programı (tüm bollukların sıfırlandığı ve tüm aktivitelerin kritik hale geldiği iş programıdır) ile belirlenen başlayabileceği en geç zamanda başlar. Böylece, JIC’de envanter seviyesi yüksek ve iş akışı kesintiye uğrarken, JIT’de envanter seviyesi düşük ve iş akışı kesintisiz olur. Ancak, açıkça görüldüğü üzere, JIT’nin başarı ile uygulanabilmesi için tedarik zincirindeki belirsizliklerin ve değişkenliklerin yok edilmesi veya mümkün olduğunca azaltılması gerekmektedir.

Her aktivitenin başlama ve bitiş zamanları, aktiviteler arasındaki mantıksal ilişkiye ve aktivitelerin sürelerine bağlıdır. Aktivitelerin süreleri, bir çok değişkene bağlı olsa bile, yüklenici inşaat firmalarının geçmiş deneyimlerine dayanarak tahmin edilir. Her tahminin kendi içinde bir alt limiti, ortalama değeri ve üst limiti vardır. Her yüklenici inşaat firması iş

programını oluştururken, belirsizliklere karşı aşağıdaki planlama yaklaşımlarından birini benimser (McCabe, 2003):

- *İyimser yaklaşım*: Bu yaklaşımda yüklenici inşaat firması her şeyin en iyi şekilde gideceğini varsayar ve aktivitelerin sürelerini hesaplarken en küçük olacak şekilde kabulde bulunur.
- *Nötr yaklaşım*: Bu yaklaşımda yüklenici inşaat firması her şeyin ortalama bir şekilde gideceğini varsayar ve aktivitelerin sürelerini hesaplarken ortalama olacak şekilde kabulde bulunur.
- *Kötümser yaklaşım*: Bu yaklaşımda yüklenici inşaat firması her şeyin en kötü şekilde gideceğini varsayar ve aktivitelerin sürelerini hesaplarken en büyük olacak şekilde kabulde bulunur.

Her ne kadar iş programı yapılırken aktivite süreleri sabit bir sayı olarak kabul edilse de, üretim süreci boyunca aktiviteler bir çok rastgele değişkene maruz kalıp, tahmin edilen bu süreye eşit veya ondan daha uzun ya da kısa sürede bitebilirler. Eğer aktivite gerçekte, tahmin edilen süreden daha kısa zamanda biterse istenmeyen bir bolluk oluşurken (stoklama, depolama, ve şantiye içi taşıma maliyetleri artarken), daha uzun zamanda biterse gereken malzeme ihtiyaç duyulduğu anda şantiyede hazır bulunmadığı için iş akışı aksar (bekleme ve yokluk maliyetleri artar).

Bu çalışmada, büyük ve küçük (sıfır) bolluk miktarlarının yanı sıra büyük ve küçük bolluk miktarlarının ortalama değerleri de (orta) dikkate alınmıştır.

2. *Parti hacmi*: JIT’de inşaat malzemeleri şantiyeye küçük partiler halinde sık sık temin edilirken, JIC’de malzeme nakliye maliyetini düşürmek ve olası hatalı üretime karşı ekstra malzemeyi stokta tutabilmek amacıyla, büyük partiler halinde temin edilir. Genellikle, yüklenici inşaat firmaları betonarme demiri gibi sürekli kullanılan malzemeleri temin ederken, nakliye maliyetini düşürmek için kamyon ve-

ya tırın tüm kapasitesini dolduracak şekilde sipariş verirler. Bu çalışmada, kamyon veya tırın tüm kapasitesini doldurmak amacıyla, ihtiyaç duyulandan daha fazla sipariş verilmesi durumu büyük, sadece ihtiyaç duyulan kadar malzeme sipariş verilmesi durumu ise küçük parti olarak adlandırılacaktır.

Alternatif malzeme yönetim sistemlerinin performansları birçok kritere göre ölçülüp karşılaştırılabilir. Bu çalışmada, performans kriteri olarak toplam envanter maliyeti (TCI) kullanılmıştır. TCI’ı oluşturan maliyet bileşenleri şunlardır:

- Satınalma Maliyeti (PC)
- Stoklama Maliyeti (FC)
- Nakliye Maliyeti (DC)
- Şantiye İçi Taşıma Maliyeti (HC)
- Depolama Maliyeti (StC)
- Yokluk Maliyeti (ShC)
- Bekleme Maliyeti (WC)

Toplam envanter maliyeti aşağıdaki formül ile hesaplanır:

$$TCI = PC + FC + DC + HC + StC + ShC + WC \quad (1)$$

İnşaat sektöründe kullanılan birçok malzeme bulunmasına rağmen, bu çalışmada betonarme yapıların inşaatında kullanılan inşaat demiri incelenmiştir. Kaba inşaat maliyeti içinde demir maliyeti önemli bir yer tutmaktadır. Bu nedenle, bir yüklenici inşaat firması için proje şartlarının, bolluk miktarının, planlama yaklaşımının ve parti hacminin değişik malzeme yönetim alternatiflerinin üzerindeki ekonomik etkilerini projenin başında tahmin edebilmek büyük önem taşımaktadır.

Araştırma metodolojisi

Araştırma, 3 aşamadan oluşmaktadır.

1. *Ön Çalışma*: Bu aşama, tam zamanında üretimin temeli olan yalın üretim felsefesi, yalın inşaat, bugüne kadar gerçekleştirilmiş olan yalın inşaat çalışmaları, tam zamanında üretim, bugüne kadar gerçekleştirilmiş olan tam zamanında üretim çalışmaları, tedarik zinciri yönetimi ve malzeme yönetimi ile ilgili litera-

tür çalışmalarını içermektedir. Ön çalışma, bu araştırmanın kavramsal altyapısını oluşturmak, metodolojisini geliştirmek ve bilime yapacağı katkı bakımından büyük bir önem taşımaktadır.

2. *Temel Çalışma:* Bu aşama simülasyon tabanlı karar destek modelinin geliştirilmesi için gerçekleştirilen çalışmalardan oluşmaktadır.

▪ *Anket Çalışması:* Daha önce de bahsedildiği gibi, herhangi bir inşaat projesinin özel şartlarını oluşturan unsurlardan birisi, büyük miktarlarda malzeme ve süre kaybına neden olan tedarik zincirindeki belirsizliklerdir. Türk inşaat sektöründe karşılaşılan malzeme ve süre israfına neden olan faktörleri belirleyebilmek amacıyla, 116 yüklenici inşaat firmasına anket düzenlenmiştir. Bu anket sonucunda elde edilen bilgiler simülasyon modeli geliştirilirken girdi olarak kullanılmıştır.

▪ *Mevcut İnşaat Demiri Tedarik Zinciri Konfigurasyonlarının Analizi:* Bu araştırma özellikle inşaat demiri tedarik zinciri üzerine odaklanmıştır. Herhangi bir inşaat projesinin özel koşullarını oluşturan unsurlardan birisi, büyük miktarlarda malzeme ve süre kaybına neden olan tedarik zinciri ve üretim sürecindeki belirsizliklerdir. Anket çalışması ile Türk inşaat sektöründeki tedarik zincirindeki belirsizlikler belirlendikten sonra, inşaat demiri tedarik zincirinde israfına neden olan faktörlerin ortaya çıkarılması gerekmektedir. Bu amaçla, inşaat demiri tedarik zincirinde rol alan çok sayıda firma ziyaret edilerek ve bu firmalarda çalışan deneyimli teknik insanlarla görüşülerek, Türk inşaat sektöründe uygulanan değişik inşaat demiri tedarik zinciri alternatifleri araştırılmıştır. Daha sonra, en yaygın olarak kullanılan tedarik zinciri konfigürasyonu süresel olarak analiz edilmiştir. Her aktivitede israf edilen zaman, harcanan toplam zamanla karşılaştırılmış ve israf nedenleri irdelenmiştir. Bu saha çalışmalarında elde edilen sonuçlar simülasyon modeli geliştirilirken girdi olarak kullanılmıştır.

▪ *Simülasyon Tabanlı Karar Destek Modelinin Geliştirilmesi:* Gerek anket çalışması gerekse de mevcut inşaat demiri tedarik zinciri konfigürasyonu analizleri sonucunda, yüklenici inşaat firmalarını yüksek miktarda stok tutmaya zorlayan özel şartlar belirlendikten sonra, araştırma metodolojisini geliştirmek amacıyla literatür çalışması yapılmış ve benzer çalışmalarda uygulanan araştırma metodolojileri incelenmiştir. Bu aşamada, simülasyon modellemesi üzerine literatür çalışması tamamlanmıştır.

3. *Son Çalışma:* Simülasyon tabanlı karar destek modelinin tamamlanmasından sonra gerçekleştirilmiş olan 3 ticaret merkezi projesinden elde edilen veriler modele uygulanmıştır. Simülasyon tabanlı karar destek modelinin yararlılığını ispatlayabilmek amacıyla, her proje için 18 değişik malzeme yönetim alternatifi için toplam envanter maliyeti hesaplanarak bu modelin yüklenici inşaat firmasına ciddi miktarda bir mali fayda sağlayıp sağlamadığı gözlenmiştir. Toplam envanter maliyeti hesaplanırken, simülasyon tabanlı karar destek modeli her bir malzeme yönetim alternatifi için en az 100 defa çalıştırılmıştır. Buradaki temel amaç, değişim katsayısının % 0,5'in altına düşmesini sağlamaktır.

Araştırma bulguları

1. *Anket Çalışması Sonuçları:* Yüklenici inşaat firmalarını yüksek miktarda stok tutmaya zorlayan özel şartların önemli bir kısmını, tedarik zincirindeki belirsizliklerden ve değişkenliklerden kaynaklanan malzeme ve süre israfları oluşturmaktadır. Türk inşaat sektöründe karşılaşılan başlıca israf kaynaklarını belirleyebilmek amacıyla, 116 yüklenici inşaat firmasını kapsayan bir anket çalışması yapılmıştır. Türk inşaat sektöründe tedarik zincirindeki belirsizliklerden ve değişkenliklerden kaynaklanan başlıca malzeme ve süre israf kaynakları şunlardır:

- Proje gereksinimlerini karşılamayan malzeme sipariş edilmesi (%86),
- Malzeme teminindeki gecikmeler (%72),
- Hatalı inşaat üretim planlaması (%61),

- Sahaya getirilen malzemelerin proje gereksinimlerini karşılamaması ve sözkonusu malzemelerin değiştirilmesinin beklenmesi (%53),
 - İşçilik hataları (%32).
2. *Mevcut inşaat demiri tedarik zinciri konfigürasyonlarının analizi:* Türk inşaat sektöründe karşılaşılan malzeme ve süre israf kaynaklarının belirlenmesinin ardından, inşaat demirinin tedarik zincirindeki israf kaynaklarının irdelenmesi gerekmektedir. Bu amaçla, inşaat demiri tedarik zincirinde yer alan çeşitli firmalara yapılan ziyaretler ve bu firmalarda çalışan uzman kişilerle yapılan görüşmeler sonucunda Türk inşaat sektöründe halen kullanılmakta olan inşaat demiri tedarik zinciri belirlenmiş, inşaat demiri tedarik zincirindeki süre israfları hesaplanmış, ve bu süre israfının nedenleri irdelenmiştir. İnşaat demiri tedarik zincirinin analizi sonucunda inşaat demiri tedarik zincirindeki toplam sürenin %56'sının israf edildiği ortaya çıkmıştır. İnşaat tedarik zincirindeki problem, tasarım aşamasında başlayıp tüm tedarik zinciri boyunca devam etmektedir. İnşaat demiri boyutlandırılması için yüklerin belirlenmesi ve mimari, elektrik ve mekanik projelerinin temin edilmesi gerekmektedir. İnşaat demirinin detaylandırılması ve hesabı için ise statik projeler gerekmektedir. İnşaat demirinin tasarımı ve boyutlandırılması için tamamlanması gereken aktiviteler farklı organizasyonlarca gerçekleştirilmektedir. Bu nedenle, farklı organizasyonlar arasında gerçekleşmesi gereken malzeme ve bilgi akışında kesintiler oluşmaktadır. Bu sorunlar, yüklenici inşaat firmasının hatalı satın alma prosedüründen kaynaklanabileceği gibi tedarikçinin sipariş edilen malzemeleri doğru miktar, sıra, zaman ve kalitede teslim etmedeki başarısızlığından da kaynaklanabilir. Ayrıca, mesleki eğitim almamış olan işçilerin hataları ve düşük verimlilikleri nedeniyle üretim sürecinin tahmin edilen sürelerinde büyük sapmalar meydana gelmektedir. Yüklenici inşaat firmaları tüm bu sorunların üstesinden gelebilmek amacıyla, bolluk miktarı ve parti hacmini arttırarak yüksek miktarda stok tutmaktadırlar.
3. *Simülasyon Tabanlı Karar Destek Modelinin Geliştirilmesi:* Gerek Türk inşaat sektöründe karşılaşılan başlıca malzeme ve süre israf kaynaklarını belirleyen anket çalışması gerekse inşaat demiri tedarik zinciri analizlerine göre yüklenici inşaat firmalarını yüksek miktarda stok tutmaya zorlayan özel şartlar şunlardır:
- *Temin sürecindeki belirsizlikler:* JIT yaklaşımının başarı ile uygulanabilmesi, tedarikçinin malzeme teslimatını istenen kalite ve zamanda gerçekleştirme konusunda güvenilir olmasına, satın alınan malzemenin ve servisinin kalitesinin istenen şartları sağlamasına, ve yüklenici inşaat firması ile tedarikçiler arasındaki iletişim ve koordinasyonun güçlü olmasına bağlıdır (Karpak vd., 2001). Bu nedenle, JIT yaklaşımının başarı ile uygulanabilmesi için tedarikçi sayısının azaltılması, tedarikçi ile yüklenici inşaat firması arasında karşılıklı güvene dayalı uzun süreli ilişkiler kurulması ve tedarikçilerin gerek ihale öncesi gerekse de ihale sonrası dönemlerdeki planlama aşamasına bizzat katılması gerekmektedir (Akintoye, 1995; Pheng ve Hui, 1999; Pheng ve Chuan, 2001). Ancak, Türk inşaat sektöründe malzeme ve bilgi akışında gecikmeler ve hatalar sıklıkla yaşanmaktadır (Polat, 2003). Bu sorunlara yüklenici inşaat firmasının hatalı satın alma süreci (karar verme mekanizmasındaki gecikmeler, satın alınacak malzeme miktarının yanlış belirlenmesi, satın alma talimatının geç verilmesi vb.) neden olabileceği gibi tedarikçinin sipariş verilen malzemeyi doğru zaman, sıra, miktar ve kalitede teslim etme konusundaki başarısızlığından da kaynaklanabilmektedir (Polat ve Ballard, 2003). Yüksek miktarda tutulan stoklar, tedarik zincirinde gerek yükleniciden gerekse de tedarikçiden kaynaklanan belirsizliklerin yaratacağı sorunları kısmen ortadan kaldırmaktadır.
 - *İnşaat sürecindeki belirsizlikler ve değişkenlikler:* İnşaat sektöründe, işçilerin düşük verimlilikle çalışmalarından kaynaklanan ciddi sorunlar yaşanmaktadır. Gelişmekte olan ülkelerin büyük bir çoğunluğunda, sen-

dikalasılmış bir inşaat işçi topluluğu bulunmamaktadır. Bu ülkelerde, inşaat işçilerinin ücretleri ucuz fakat işçilik kalitesi gelişmiş ülkelerdeki işçilik kalitesine kıyasla oldukça düşüktür. İşçilik kalitesinin düşük olması nedeniyle hatalı imalat ve bunu telafi edebilmek için yapılan düzeltmelere sıklıkla rastlanmaktadır (Polat ve Ballard, 2003; Polat ve Ballard, 2004). Yüksek miktarda tutulan stoklar, malzeme israfı ve gecikme olsa dahi inşaatın aksamadan devam etmesini sağlamaktadır (Polat ve Ballard, 2003).

- **Yüksek enflasyon oranı:** Gelişmekte olan ülkelerde yüksek miktarda stok tutulmasının en önemli nedenlerinden biri olarak yüksek enflasyon oranı gösterilmektedir (Bleakley, 1994). Yüklenici inşaat firmaları inşaat malzeme fiyatlarındaki ani, yüksek ve önceden tahmin edilemeyen artışlara karşı kendilerini koruyabilmek amacıyla, proje için gerekli olan malzemeleri erken satın alma ve stoklarında tutma eğiliminde bulunabilmektedirler (Norris, 1994).
- **Yüksek nakliye bedeli:** Gelişmekte olan ülkelerde nakliye bedeli yüksektir, bu nedenle, yüklenici inşaat firmaları parti hacmini arttırarak nakliye maliyetini azaltma eğiliminde bulunabilmektedirler.

Simulasyon tabanlı karar destek modelinin geliştirilmesi beş aşamadan oluşmaktadır. Bunlar: 1) statik simulasyon, 2) modelin bağımsız (girdi) ve bağımlı (çıkıtı) değişkenlerinin belirlenmesi, 3) dinamik simulasyon, 4) modelin geçerliliğinin ve gerçekliğinin ispatlanması ve 5) deneyin kurulması.

1. **Statik simulasyon:** Statik simulasyon, gerçek sistemdeki aktiviteleri, süreçleri, ilişkileri ve kararları tanımlamayı hedeflemektedir. Gerçek sistemi temsil etmek için sıklıkla kullanılan yöntemlerden bir tanesi de akış diyagramıdır. Bu çalışmada, Türk inşaat sektöründe sıklıkla kullanılan malzeme yönetim sisteminin akış diyagramı, mevcut inşaat demiri tedarik zinciri analizlerine dayanarak oluşturulmuştur. İnşaat demiri tedarik

zinciri ile ilgili temel aktiviteleri tedarik, boşaltma, fabrikasyon, ve montaj oluşturmaktadır. Tedarik süreci; talep formunun oluşturulması, sipariş formunun yollanması, uygun tedarikçinin seçimi ve satınalma talimatının yollanmasından oluşmaktadır. Boşaltma süreci; malzemelerin kamyonlardan boşaltılması ve şantiyeye depolanmasını içermektedir. Fabrikasyon süreci; demirin proje şartnamelerine göre kesilmesi ve bükülmesinden oluşmaktadır. Montaj süreci ise; kesilmiş ve bükülmüş demirin bağlanması ve kalıp içine yerleştirilmesini içermektedir. Genel olarak, montaj süreci fabrikasyon sürecinin başlamasından 1 gün sonra başlar.

2. **Modelin bağımsız (girdi) ve bağımlı (çıkıtı) değişkenlerinin tanımlanması:** Modelin bağımlı değişkenleri, bağımsız değişkenlerin birbirleri ile olan etkileşimlerinin sonucudur. Bağımsız değişkenler sistemin girdileridir. Bu girdiler, deneyde değiştikçe bağımlı değişkenler de değişir. Simulasyon modelinin girdileri ve çıktıları Şekil 1’de sunulmuştur.

Toplam envanter maliyetinin (TCI) bileşenleri aşağıda açıklanmıştır.

- **Satınalma Maliyeti:** Satın alınan demirin direkt maliyetidir.

$$PC = \sum (C_p \times Q_i) \quad (3)$$

- **Stoklama Maliyeti:** Fabrikasyona gireceği tarihten önce satın alınan demirin depoda beklemesi stoklama maliyetini meydana getirir.

$$FC = \sum \{ (C_{pav} \times Q_s) \times [(1+R_{inav})^t - 1] \} \quad (4)$$

- **Taşıma Maliyeti:** Taşıma maliyeti, temin edilen demirin kamyonlardan depoya, depodan da fabrikasyon alanına taşınmasının oluşturduğu maliyettir.

$$HC = \sum \{ [Q_h / (N_{hw} \times P_{hw})] \times (N_{hw} \times C_{hw}) \} \quad (5)$$

- Depolama Maliyeti: Depolama maliyeti, inşaat demirinin depolanacağı yerin kira, yönetim, bakım ve depo içerisinde inşaat demirinin taşınma maliyetidir.

$$StC = (C_s \times t_s) \quad (6)$$

- Nakliye Maliyeti: İnşaat demirinin tedarikçinin depo alanından şantiyeye nakliye edilmesinin maliyetidir.

$$DC = \sum \{C_t \times [\text{roundup}(Q_t/S_t)]\} \quad (7)$$

- Bekleme Maliyeti: İnşaat demirinin ihtiyaç duyulduğu gün şantiyede bulunmaması halinde, fabrikasyon ile görevli olan işçilerin atıl kalma maliyetidir.

$$WC = (C_w \times D_{sc}) \quad (8)$$

- Gecikme Maliyeti: Betonarme inşaatın kaba kısmının son katının betonunun zamanında dökülmemesi durumunda, yüklenici inşaat firmasının ödemesi gereken cezadır.

$$ShC = (C_d \times D_{pr}) \quad (9)$$

3. *Dinamik Simulasyon:* Dinamik simulasyon, gerçek olayları aslına uygun olarak bilgisayar ortamında gösterir. Bu çalışmada, Extend+BPR™ simulasyon paket programı kullanılmıştır. Extend+BPR™, güçlü kapasitesi, animasyon olanakları ve gelişmiş grafiksel gösterimi ile kullanıcı dostu olma özellikleri ile benzer simulasyon paket programlarından daha güçlüdür. Abdulhadi (1997), Al-Sudairi (2000) ve Polat ve Arditi (2004) benzer çalışmalarda Extend+BPR™'i başarı ile kullanmışlardır.

4. *Model gerçekleştirilmesi ve sağlanması:* Model gerçekleştirilmesinin amacı, her model fonksiyonunun içsel hata vermeden çalıştığından emin olmaktır. Model sağlanması ise geliştirilen modelin gerçek hayattaki modeli birebir

temsil edip etmediğini anlamayı amaçlamaktadır. Bu çalışmada geliştirilen simulasyon modelin gerçekleştirilmesini ve sağlanmasını yapmanın oldukça zor olduğu anlaşılmıştır, çünkü modelin ürettiği bazı değerlerin gerçek değerlerle karşılaştırılması olanaklı değildir. Örneğin, yüklenici inşaat firmaları, toplam envanter maliyetine ilişkin kayıt tutmamaktadır. Bu nedenle, modelin gerçekleştirilmesi ve sağlanması, modelin bazı parçalarının basit bir hale getirilerek genel mantık testleri uygulanarak ve uzman kişilerle yapılan görüşleri doğrultusunda gerçekleştirilmiştir. Aynı yöntem Sobotka (2000) ve Polat ve Arditi (2004) tarafından da başarı ile kullanılmıştır.

5. *Deneyin kurulması:* Deney kurmanın amacı, girdilerin kontrollü değişiminin modelin çıktısı üzerindeki etkilerinin belirlenmesidir. Bu çalışmada, bolluk miktarı, planlama stratejisi, ve parti hacminin projenin özel şartları altında toplam envanter maliyeti üzerindeki etkisi gözlemlenmiştir.

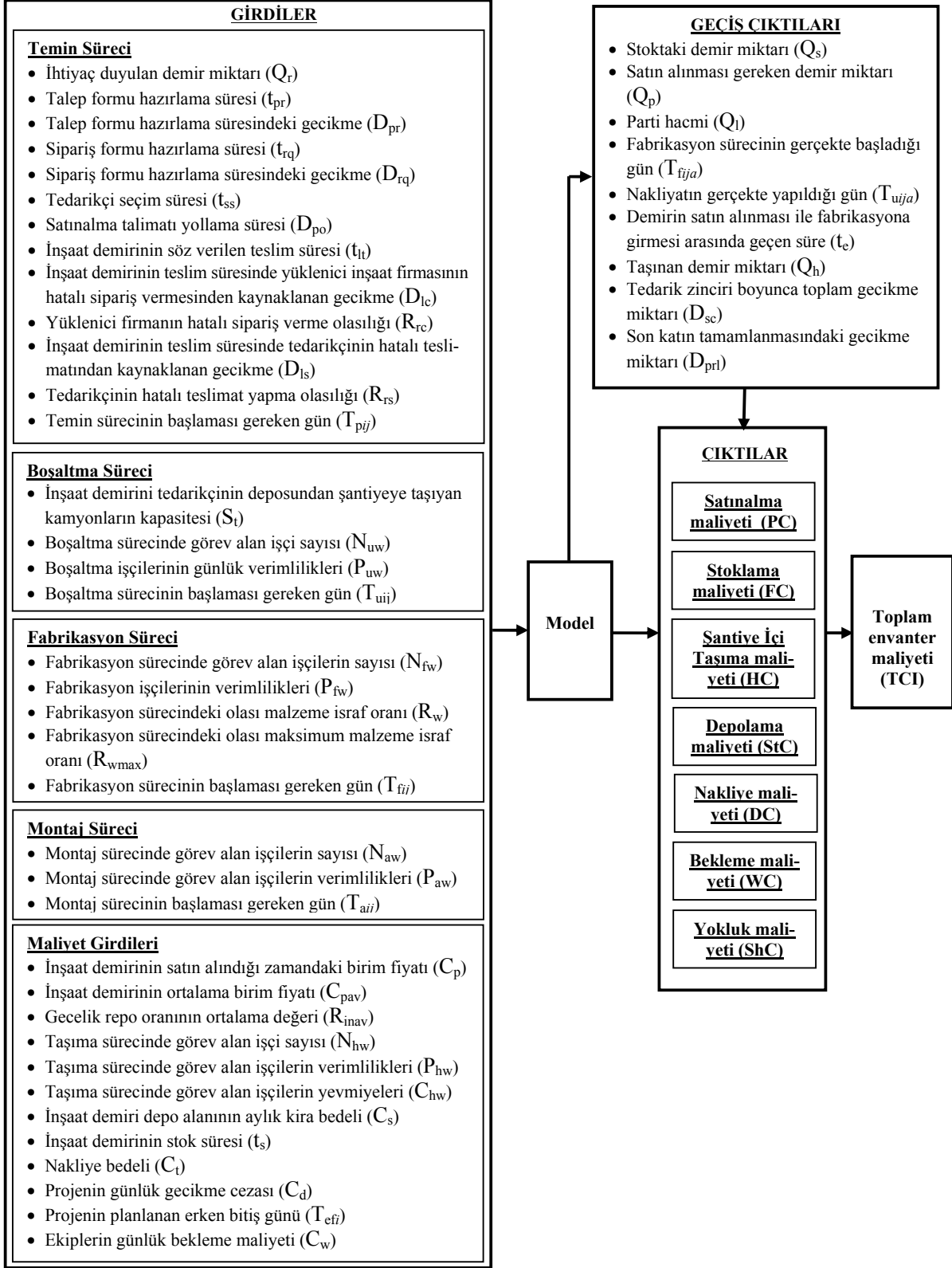
Bir yüklenici inşaat firması, Tablo 1'de gösterilen 18 değişik inşaat demiri yönetim sistemi alternatiflerinden birini seçebilir. Simulasyon modelinin ana hatları Şekil 1'de sunulmuştur.

Araştırma sonuçları

Simulasyon tabanlı karar destek modelinin tamamlanmasından sonra, Tablo 2'de gösterilen ve üç ticaret merkezi projesinden elde edilen veriler modele uygulanmıştır.

Simulasyon tabanlı karar destek modelinin etkinliğini ispatlayabilmek amacıyla, her proje 18 değişik malzeme yönetim alternatifi toplam envanter maliyeti hesaplanarak bu modelin yüklenici inşaat firmasına ciddi miktarda bir mali fayda sağlayıp sağlamadığı gözlenmiştir.

Toplam envanter maliyeti hesaplanırken, simulasyon tabanlı karar destek modeli her bir malzeme yönetim alternatifi için en az 100 defa çalıştırılmıştır. Buradaki temel amaç, değişim katsayısının % 0.5'in altına düşmesini sağlamaktır.



Şekil 1. Simulasyon modelinin çerçevesi

Tablo 2: İncelenen ticaret merkezi projeleri

Proje	Yeri	Proje Bedeli	Proje Süresi
A	Maslak	22 milyon USD	Ekim 2002 – Şubat 2004
B	Maslak	9 milyon USD	Ağustos 2002 – Mart 2004
C	Hadımköy	4 milyon USD	Haziran 2003 – Ekim 2003

Proje A’da en düşük toplam envanter maliyetini, büyük bolluk miktarı, iyimser planlama yaklaşımı ve büyük parti hacmine sahip inşaat demiri malzeme yönetim sistemi oluştururken (741315 YTL), en yüksek toplam envanter maliyetini küçük bolluk miktarı, iyimser planlama yaklaşımı ve küçük parti hacmine sahip inşaat demiri malzeme yönetim sistemi (772701 YTL) oluşturmuştur. Özetle, en düşük toplam envanter maliyetini oluşturan malzeme yönetim sistemi alternatifini seçmek, yüklenici inşaat firmasına 31387 YTL’lik (%4.2) bir mali fayda sağlamaktadır.

Proje B’de en düşük toplam envanter maliyetini, büyük bolluk miktarı, iyimser planlama yaklaşımı ve büyük parti hacmine sahip inşaat demiri malzeme yönetim sistemi oluştururken (1113346 YTL), en yüksek toplam envanter maliyetini küçük bolluk miktarı, kötümser planlama yaklaşımı ve küçük parti hacmine sahip inşaat demiri malzeme yönetim sistemi (1194587 YTL) oluşturmuştur. Özetle, en düşük toplam envanter maliyetini oluşturan malzeme yönetim sistemi alternatifini seçmek, yüklenici inşaat firmasına 81241 YTL’lik (%7.3) bir mali fayda sağlamaktadır.

Proje C’de en düşük toplam envanter maliyetini, büyük bolluk miktarı, iyimser planlama yaklaşımı ve büyük parti hacmine sahip inşaat demiri malzeme yönetim sistemi oluştururken (193749 YTL), en yüksek toplam envanter maliyetini küçük bolluk miktarı, kötümser planlama yaklaşımı ve küçük parti hacmine sahip inşaat demiri malzeme yönetim sistemi (205164 YTL) oluşturmuştur. Özetle, en düşük toplam envanter maliyetini oluşturan malzeme yönetim sistemi alternatifini seçmek, yüklenici inşaat firmasına

11415 YTL’lik (%5.9) bir mali fayda sağlamaktadır.

Her üç projede de, büyük bolluk miktarı ve büyük parti hacmine sahip inşaat demiri malzeme yönetim sistemi (tipik JIC) en düşük toplam envanter maliyetini oluştururken, küçük bolluk miktarı ve küçük parti hacmine sahip inşaat demiri malzeme yönetim sistemi (tipik JIT) en yüksek toplam envanter maliyetini oluşturmaktadır.

Bu sonuç, Polat ve Arditi’nin (2004) çalışmasında tanımlanan ve halen Türk inşaat sektöründe mevcut olan özel koşullar altında beklenmektedir. Tedarik zincirinde belirsizliklerin fazla, enflasyonun yüksek, işçi sendikalarının zayıf, depolama maliyetinin düşük, nakliye bedelinin yüksek ve malzeme ve süre israfının fazla olduğu bir ortamda büyük bolluk miktarı ve büyük parti hacmine sahip inşaat demiri malzeme yönetim sisteminin (tipik JIC) en düşük toplam envanter maliyetini oluşturmaması ve küçük bolluk miktarı ve küçük parti hacmine sahip inşaat demiri malzeme yönetim sisteminin (tipik JIT) en yüksek toplam envanter maliyetini oluşturmaması beklenen bir sonuçtur.

İncelenen ticaret merkezi projelerinde, simülasyon tabanlı karar destek modelinin uygulanması yüklenici inşaat firmalarına %4.2-7.3’lük bir maliyet kazancı sağlamıştır. Yüklenici inşaat firmaları kar amacı güden organizasyonlar oldukları için birincil amaçları toplam inşaat maliyetini minimize etmektir. Bu nedenle, geliştirilen simülasyon tabanlı karar destek modeli oldukça etkindir; çünkü yüklenici inşaat firmalarına en ekonomik malzeme yönetim alternatifini seçmelerinde yardımcı olmak amacıyla, inşaat projesinin özel şartlarını da gözönünde bulundurarak bolluk miktarını (büyük, orta veya küçük), planlama yaklaşımını (iyimser, nötr veya kötümser) ve parti hacmini (büyük veya küçük) önermektedir.

Kaynaklar

Abdulhadi, N. H., (1997). Simulation as a tool for re-engineering construction processes, *Doktora*

- Tezi, University of Colorado at Boulder, 258 sayfa, ABD.
- Abdul-Rahman, H. ve Alidrisiyi, M. N., (1994). A perspective of materials management practices in a fast developing economy: the case of Malaysia, *Construction Management and Economics*, **12**, 413-422.
- Agapiou, A., Flanagan, R., Norman, G. ve Notman, D., (1998). The changing role of builder's merchants in the construction supply chain, *Construction Management and Economics*, **16**, 351-361.
- Akintoye, A., (1995). Just in time application and implementation for building materials management, *Construction Management and Economics*, **13**, 105-113.
- Al-Sudairi, A., (2000). Evaluation of construction processes: traditional practices versus lean principles. *Doktora Tezi*, University of Colorado at Boulder, 244 sayfa, ABD.
- Arditi, D., Akan, G. T. ve Gurdamar, S., (1985). Reasons for delays in public projects in Turkey, *Construction Management and Economics*, **3**, 171-181.
- Bleakley, F., (1994). Just-in-time inventories fade in appeal as the recovery leads to rising demand, *The Wall Street Journal*, **A**, 2-25.
- Cua, K. O., McKone, K. E. ve Schroeder, R. G., (2001). Relationships between implementation of TQM, JIT, and TPM and manufacturing performance, *Journal of Operations Management*, **19**, 675-694.
- Ibn-Homaid, N.T., (2002). A comparative evaluation of construction and manufacturing materials management, *International Journal of Project Management*, **20**, 263-270.
- Karpak, B., Kumcu, E. ve Kasuganti, R. R., (2001). Purchasing materials in the supply chain: managing a multi-objective task, *European Journal of Purchasing and Supply Management*, **7**, 209-216.
- McCabe, B., (2003). Monte carlo simulation for schedule risks, *Proceedings*, 2003 Winter Simulation Conference, 1561-1565, Kanada.
- Norris, F., (1994). Inventories are rising for the right reasons, *The New York Times*, July 31, **F1**.
- Ohno, T., (1987). *Toyota Production System*, Productivity Press, Portland, OR, ABD.
- Pheng, L. S. ve Chan, Y.M., (1997). *Managing Productivity in Construction: JIT Operations and Measurements*, Ashgate Publishing Co., Brookfield, VT, ABD.
- Pheng, L. S. ve Chuan, C. J., (2001). Just-in-time management of precast concrete components, *Journal of Construction Engineering and Management*, **127**, 494-501.
- Pheng, L. S. ve Hui, M. S., (1999). The application of jit philosophy to construction: a case study in site layout, *Construction Management and Economics*, **17**, 657-668.
- Pheng, L. S. ve Tan, S. K. L., (1998). How 'just-in-time' wastages can be quantified: case study of a private condominium project, *Construction Management and Economics*, **16**, 621-635.
- Polat, G., (2003). Supply chain management in construction: problem analysis of current supply chain configurations for engineered-to-order products, *Proceedings*, ISEC'2003, Florida, OR, ABD.
- Polat, G. ve Arditi D., (2004). The jit materials management system in developing countries, *Construction Management and Economics*, Kabul Edildi.
- Polat, G. ve Ballard, G., (2003). Construction supply chains: Turkish supply chain configurations for cut and bent rebar, *Proceedings*, 11th International Group of Lean Construction Conference, 319-331, Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, VA, ABD.
- Polat, G. ve Ballard, G., (2004). Waste in Turkish construction: need for lean construction techniques, *Proceedings*, 12th International Group of Lean Construction Conference, Ağustos 3-5, Helsingør, Danimarka.
- Shmanske, S., (2003). JIT and the complementarity of buffers and lot size, *American Business Review*, **21**, 1, 100-106.
- Sobotka, A., (2000). Simulation modeling for logistics re-engineering in the construction company, *Construction Management and Economics*, **18**, 183-195.
- Tommelein, I., (1998). Pull-driven scheduling for pipe spool installation: simulation of lean construction technique, *Journal of Construction Engineering and Management*, July / August, 279-288.
- Willis, T. H. ve Suter, Jr, W. C., (1989). The five Ms of manufacturing: a jit conversion life cycle, *Production and Inventory Management Journal*, **30**, 1, 53-57.