

LASTİK JANT BİRLEŞTİRME OPERASYONU İÇİN DIŞ KAYNAK KULLANIM KARARI BENZETİM MODELİ

Duygu YILMAZ EROĞLU *

Alınma: 12.07.2019; düzeltme: 14.05.2020; kabul: 27.06.2020

Öz: İşletmelerde dış kaynak kullanım kararı, organizasyon yönetimindeki kritik konularından biridir. Dış kaynak kullanımının ana amacı, çoğu zaman maliyet düşürmek, ana işe odaklanmayı sağlamak, kapasite problemlerini çözmek, servis kalitesini arttırmak, entelektüel sermayeye erişebilmektir. Otomotiv üretim endüstrisinde ise küresel dış kaynak kullanımı, tam zamanında sevkiyat yapılması gereken durumlarda ya da lojistik maliyetlerinin yüksek olduğu durumlarda, yerini üretici firmaya yakın bölgelerdeki tedarikçilere bırakmaktadır. Bu makalede de, hacmi gereği taşıma maliyetleri yüksek olan lastik ve jant parçalarının birleştirme operasyonunun üretici firma içinde ya da dış kaynak kullanarak yapma kararının verilebilmesi için benzetim çalışması yapılmıştır. Benzetim modeli ve deneysel tasarım kullanılarak, dış kaynak firması - üretici arasındaki ara stok miktarını düşürebilecek en iyi senaryo belirlenmiş, taşıma sıklığı, taşıma miktarı, çalışan sayısı gibi faktörler için uygun değerler elde edilebilmiştir. Makalenin literatüre katkısı iki başlıkta derlenebilir. İlki, dış kaynak kullanımı kararının benzetim teknikleri ve deneysel tasarım ile verilmesi durumunda izlenebilecek yöntemin ayrıntılarıyla aktarılmasıdır. İkincisi ise, lastik-jant birleştirme operasyonu için, maskelenmiş üretim verileriyle elde edilen sonuçlarla yöntemin uygulanabilirliğinin ortaya koyulabilmesidir.

Anahtar Kelimeler: Lastik-Jant Birleştirme, Benzetim, Deneysel Tasarım

Simulation Model of Outsourcing Decision for Tyre Rim Assembly Operation

Abstract: The decision of outsourcing has been one of the critical issues in organization management. The main purpose of outsourcing is often reducing the costs, focusing on the core business, solving capacity problems, improving service quality, and accessing to intellectual capital. In cases where just in time delivery required or high logistic costs occurred, global outsourcing has been replaced by suppliers that are locally close to manufacturer, in automotive logistic industry. In this article, a simulation study has been carried out to make the decision of assembly operation insourcing or outsourcing for tyre and rim parts which have high transportation cost due to high volume. Utilizing the simulation model and experimental design, the best scenario has been determined to reduce the work in process inventory between outsource firm - manufacturer and appropriate values have been obtained for delivery frequency, delivery quantity and number of employees. The contributions of the article to the literature can be considered in two titles. The first one is the detailed explanation of the methodology that might be followed, if the outsourcing decision is made with simulation techniques and experimental design. The second one is demonstration of applicability of the method by obtained results using masked production data for tyre-rim assembly.

Keywords: Tyre-Rim Assembly, Simulation, Design of Experiment

* Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 16059, Görükle Kampüsü Nilüfer/BURSA

1. GİRİŞ

Dış kaynak kullanımı, en basit tanımı ile daha önce şirket içinde yürütölen bir faaliyetin dış kaynak tarafından yürütölmesi anlamına gelmektedir (McMillan, 1995; Campa ve Goldberg, 1997). Üretimin bir kısmının firma içinde yapılması veya dış kaynak kullanılarak yaptırılması birçok firmanın vermek durumunda olduğu zor bir karardır. Dünya Ticaret Örgütü'nün raporuna göre (WTO, 1998), "Amerikan" otomobili değerinin; %30'u montaj için Kore'ye, %17,5'i bazı parçalar ve ileri teknoloji için Japonya'ya, %7,5'i tasarım için Almanya'ya, %4'ü küçük parçalar için Tayvan ve Singapur'a, %2,5'i reklam ve pazarlama hizmetleri için Birleşik Krallık'a, %1,5'i veri işleme için İrlanda ve Barbados'a gitmektedir. Bunun anlamı, üretim değerinin sadece %37'lik kısmının Amerika'da yaratılabildiğidir. Bunun gibi birçok örnek bulunmaktadır. Örneğin Barbie oyuncakların plastik ve saç parçaları Tayvan ve Japonya'dan temin edilmekte, montaj Endonezya ve Malezya'da yapılmakta, kalıplar Amerika'dan alınmakta, giydirme Çin'de yapılmakta, boyama ve dekorasyon yine Amerika'da yapılmaktadır (Feenstra, 1998). Dünyayı küçölten bu küreselleşme yaklaşımı, tekstil ürünlerinden teknolojik ürünlere kadar çok geniş bir yelpazede ihtiyaçlara ulaşılabilirliği arttırmıştır. Bu kadar büyük yatırımların kararının verilmesi ve sürdürülebilirliği en büyük problematiklerden birkaçıdır. Dış kaynak kullanım kararı modeli üzerindeki çalışmalar iki ana başlık altında toplanabilir.

İlk grupta çalışanlar, kararlara makroekonomik seviyede bakarak yöntem önermişlerdir. Bu kapsamda, örneğin Grossman ve Helpman (2005) tarafından yapılan çalışmada, emek arzı, üretim teknolojisi, sözleşmeler gibi birçok faktörün dikkate alındığı karar süreci için bir model geliştirilmiştir. Antràs (2003) ve Antràs (2005), üretimin uluslararası organizasyonu ve çokuluslu firmaların sınırları üzerine çalışmıştır. Sarkis ve Sundarraj (2000) ve Hayter (1997), makalelerinde, yurtdışı kaynak kullanımında etkili olan faktörleri analiz etmişler, tesis yeri kararında etkili olan faktörlerin, stratejik meseleler, ulaşılabilirlik faktörleri, toplum faktörleri, iş ortamı faktörleri, işçi, yarar, risk, fabrika bölgesi, finansal ve özel faktörler altında gruplandırmışlardır. Yaptıkları çalışmada, Sarkis ve Talluri (2002), stratejik tedarikçi seçim faktörlerini, kalite, zaman, esneklik, kültür, teknoloji, ilişkiler ve yaratıcılık başlıklarının altında toplamışlardır.

İkinci grupta çalışan araştırmacılar, firma seviyesinde dış kaynak kullanım kararını incelemişlerdir ve sayıları oldukça azdır (Ruiz-Torres ve Mahmoodi, 2008). Çalışmalarda, genellikle tedarikçi gözden geçirme ve seçimi üzerine odaklanılmıştır. Örneğin Cao ve Wang (2007) makalelerinde, iki aşamalı tedarikçi seçim yöntemi geliştirmişlerdir. De Almeida (2007) ise, servis sürecinde dış kaynak kullanımı konusunda çok kriterli karar destek sistemleri kullanmıştır.

Dış kaynak kullanımı, taleplerin yüksek olduğu dönemlerde, üretici firmanın üretim ya da stok alanı kısıtlarının ortaya çıktığı durumlarda, çalışan sayısının geçici olarak artırılması gerektiğinde, ya da teşvik ile cazip hale getirilen yatırım kararlarında başvurulacak etkili bir araçtır. Taleplerin düştüğü küresel ekonomik kriz dönemlerinde ise firmalar, 2007 ekonomik krizinde olduğu gibi üretimlerini tekrar firma içine çekme eğiliminde olurlar (Drauz, 2014). 2007 krizi ardından yapılan bir anket çalışmasında, dış kaynak kullanımı yapan firmaların %27'sinin bu üretimlerini ana üretim merkezine çekmeyi planladıkları ortaya çıkmıştır (Küresel Tedarik Zinciri Trendleri, 2010). Bu anlamda, kriz dönemleri de öngörölerek, hem üreticinin, hem de dış kaynak firmasının kazanabileceği modeller kurabilmek, maliyet analizlerini doğru yapabilmek, işin devredileceği firmanın ile üst seviyede işbirliği geliştirmek en önemli konulardandır.

Bu çalışmanın konusu, Bursa'da faaliyet gösteren bir otomobil firması içerisinde yapılmakta olan lastik-jant birleştirme işleminin, dış kaynak kullanılarak yapılması durumunun, benzetim ve deneysel tasarım araçları kullanılarak analiz edilmesidir. Otomotiv sektöründe, değişken müşteri taleplerinin montaj üretim hatlarına alınış sırası, sistem üzerinden tam zamanında sevkiyat yapması gereken tedarikçilere gönderilir. Sonrasında, ilgili tedarikçiler bu sıraya göre sevkiyat yaparlar. Bu anlamda, lastik-jant birleştirmesini yapacak dış kaynak firması, otomobil firmasının montaj hattına tam zamanında sevkiyat (Just In Time (JIT)) yapabilecek yakınlıkta olmalıdır.

Sevkiyatların JIT olması, sürecin titizlikle analiz edilmesini ve hat duruşuna izin verilmeyecek şekilde tasarlanmasını gerektirmektedir.

Otomotiv sektöründe, pazar payını arttırmak isteyen tüm firmalar, Yalın Üretim, Toyota Üretim Sistemleri, Dünya Sınıfında Üretim gibi yöntemleri benimseyerek, tam zamanında sevkiyat, Kanban, Kaizen, Altı Sigma gibi araçları etkin olarak kullanmaktadırlar. Endüstri mühendisliği tekniklerinin sıklıkla kullanıldığı bu alanlarda, etkin bir malzeme besleme sistemi kurma (Halim ve diğ., 2015), hat dengeleme (Scholl ve Klein, 1999), sürecin benzetim modeli (Masood, 2006) gibi çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Benzetim, karmaşık ve olasılık içeren sistemleri analiz etmek için, üretim alanından tedarik zincirine, askeri alandan sağlık sektörüne kadar çok geniş alanda kullanılan etkili bir araç olup literatürde sıklıkla başvurulan bir tekniktir. Jahangirian ve diğ. (2010), benzetim yönteminin üretim ve iş tekniklerindeki rolü ile ilgili araştırmalarda bulunmuşlardır. Ingemansson ve diğ. (2002), üretim ve enerji sektöründe yaptığı anket çalışmasında, benzetim teknolojisinin, firmaların %79'unun karar verme süreçlerini kolaylaştırdığı sonucuna ulaşmıştır. Benzetim metodolojisinin esnek üretim hatlarında, çözelgeleme alanındaki kullanımları, Chan ve diğ. (2002) ile Chan ve Chan (2004) tarafından yapılan literatür tarama çalışmalarında derlenmiştir. Son olarak 2014 yılında Negahban ve Smith (2014) tarafından yapılan literatür taraması, 2002 ve 2013 yılları arasında, üretim sistem tasarımı ve yürütülmesi konusunda yapılmış 300'ün üzerindeki benzetim yayını bir araya getirmiştir. Bu makalede de değişken müşteri talepleri nedeniyle olasılık içeren bir yapıya bürünen otomotiv üretim firmasındaki lastik-jant birleştirme sürecinin, dış kaynak firmasına verilmesi veya firma içinde yapılmaya devam edilmesi gerçek problemi için, karar verme sürecinde benzetim çalışması yapılmıştır. Benzetim çalışmaları ProModel (Harrell ve diğ., 2000) ortamında yapılmıştır. Bilindiği kadarıyla literatürde bu içerikte çalışma bulunmamaktadır. Benzetim çalışması sonrasında, birleştirme işlemini yapan dış kaynak firması ile otomobil üreticisi arasındaki stok miktarını etkileyen faktörler ve seviyeleri, deneysel tasarım ile analiz edilmiş, deneysel tasarım, Statistica (StatSoft, 2001) programı ile yapılmıştır. Deneysel tasarım, üzerinde çalışılan karmaşık sisteme etki eden parametreler ile sürecin çıktısı arasındaki bağlantıyı anlamaya çalışan, sistemin genel performans seviyesini arttırmayı hedefleyen istatistik biliminin tüm araçlarını etkin şekilde kullanmayı gerektiren bir yöntem (Montgomery, 2007) olup, literatürde farklı tasarım şekilleri ile (Roy, 2001) ve farklı alanlarda (Gençosman ve diğ., 2015) sıklıkla kullanılmaktadır.

Makalenin 2. bölümünde, veri toplama çalışmalarının da yer aldığı metodoloji aşaması bulunmaktadır. 3. bölümde, benzetim uygulaması detaylandırılmış, 4. bölümde faktör analizi yapılmış ve uygulama çıktıları karşılaştırılmıştır. 5. bölümde makale sonuçlandırılmıştır.

2. METODOLOJİ

Mevcut durumda, birinci ve ikinci otomotiv montaj hatlarının ihtiyacı olan jant ve lastikler ayrı tedarikçilerden alınmakta ve otomobil üreticisi alanı içerisinde birleştirilmektedir. Bu makalede, birleştirme işinin dış kaynak firması tarafından yapılarak, otomobil üreticisi firmaya üretim sırasına uygun olarak gönderilme durumu analiz edilecektir. Lastik-jant birleştirme işinin dış kaynak firmasında yapılması durumunda, lastik ve jant ürünlerinin temin edildiği tedarikçilerin, sevkiyatlarını birleştirme yapacak firmaya yapmaları gerekecektir. Dış kaynak kullanımını fikrini güçlendiren etmenler aşağıdaki gibidir.

- ✓ Birleştirme işleminin makine ile yapılması, uzmanlık ihtiyacını azaltmaktadır.
- ✓ Jant, lastik ve birleştirilmiş lastik-jant (tekerlek) parçalarının hacimli olması, firma içi alan etkinliğini olumsuz yönde etkilemektedir.
- ✓ Lastik-jant birleştirme makinesinin kapladığı alan da başka operasyonlar için kullanılabilir. Bu etmenlere karşın, montaj hatlarının yapısı gereği, tekerleği takılamayan araçların ilerleyememesi nedeniyle tekerleklerin hatlara sevkiyatının yapılamaması durumunda hatların durma tehlikesi söz konusudur. Bu anlamda, çalışmaların titizlikle yürütülmesi ve muhtemel senaryolarla doğrulamaların dış kaynak kullanım kararı öncesi yapılması gerekmektedir. Bu aşamada ilk adım, gereken verilerin toplanmasıdır.

Otomobil üretimi yapılan firmada, birleştirilmiş lastik-jant (tekerlek) iki otomobil üretim hattına gönderilmektedir. Sürecin dış kaynak kullanılarak yapılması durumunda, aşağıda da belirtilen üç önemli veri grubu ile ilgili verilerin derlenmesi gerekmektedir.

- ✓ 1. Otomobil montaj hattındaki araçların hatta gelişleri arası süre bilgisi
- ✓ 2. Otomobil montaj hattındaki araçların hatta gelişleri arası süre bilgisi
- ✓ Lastik-jant Birleştirme işlem süre bilgisi.

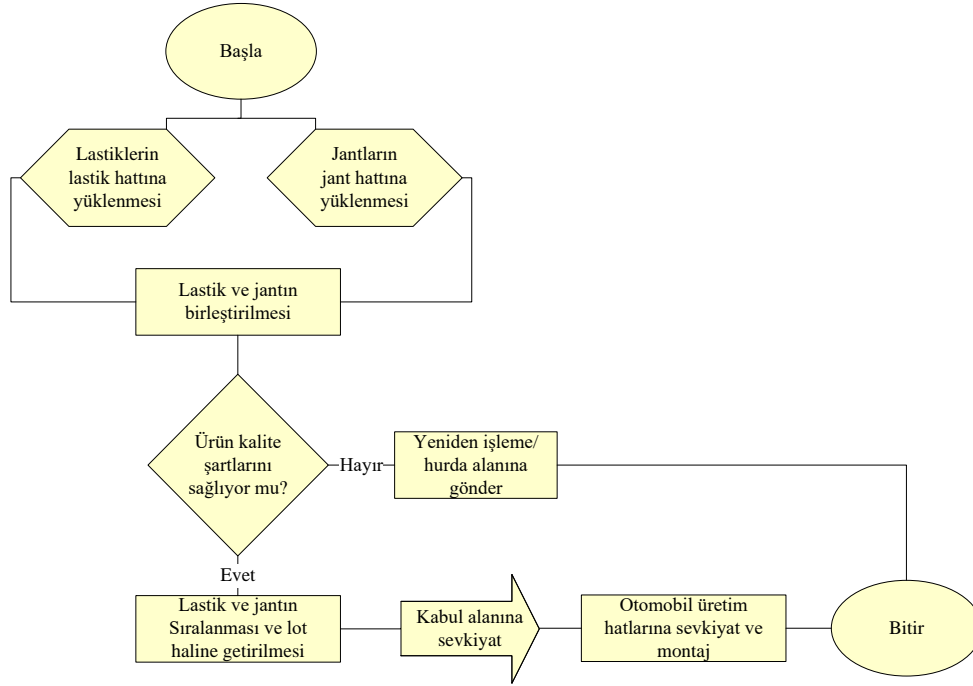
Bu aşamada, birinci ve ikinci grup veri olan montaj hatlarına gelişler arası süreler için 100'er adet veri toplanmıştır. Tablo 1, 1. ve 2. montaj hatları için gelişler arası sürelerin hangi frekanslarla gerçekleştiğini göstermektedir. İlgili sürelerin hangi dağılıma ait olduğunu bulabilmek için ProModel paket programı-StatFit uygulaması kullanılmıştır. Buna göre 1. otomobil hattı gelişler arası süreleri, $\lambda=1,47$ dakika parametresi ile Poisson dağılımına, 2. otomobil hattı gelişler arası süreleri, $\lambda=1,55$ dakika parametresi ile Poisson dağılımına uygundur. Lastik-jant birleştirme işlem sürelerinin uygun olduğu dağılımı bulabilmek için 25 adet veri toplanmış ve veriler ProModel paket programı –StatFit uygulaması yardımı ile analiz edilerek, dağılımın $\bar{x} = 0,264$ ve $\delta = 0,0149$ dakika parametreleri ile normal dağılıma uygun olduğu saptanmıştır. İlaveten, her bir dağılım için uygunluk testleri de yine aynı uygulama yardımı ile ki-kare testi kullanılarak yapılmıştır.

Tablo 1. Montaj hatlarına gelen otomobillerin hatta geliş frekansları

| Gelişler arası süre (x_j) | Birinci otomobil hattı frekans değeri | İkinci otomobil hattı frekans değeri |
|-------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|
| 0 | 19 | 17 |
| 1 | 41 | 32 |
| 2 | 23 | 13 |
| 3 | 11 | 9 |
| 4 | 3 | 6 |
| 5 | 3 | 3 |

Lastik-jant birleştirme işinin dış kaynak firmasına verilmesi durumunda, dış kaynak firması sevkiyat alanı ile hatlar arasında, birleştirilmiş lastik-jant stoku oluşacaktır. Hedef, bu stok miktarını en aza indirecek sistemi kurabilmek olacaktır. Bu aşamada, yapılan benzetim çalışması ile bahsi geçen stok miktarının hangi sevkiyat sıklığı ve miktarı ile uygulanabilir olduğu konusunda yol haritası çizilebilecektir.

Dış kaynak firması üretim alanında başlayan lastik-jant birleştirme işi, muayene, sıralama ve sevkiyat süreçleri, sonrasında birleştirilmiş lastik-jant olan tekerleğin, otomobil üreticisi üretim alanında kabul edilmesi ve hatlarda otomobillere takılması ile sonlanmaktadır. İlgili süreç akış diyagramı, Şekil 1'deki gibi gösterilebilir. Şekil 1'de yer alan akışa göre, farklı tedarikçilerden gelen lastiklerin ve jantların, birleştirme makinesine yüklenmesinin ardından, birleştirilmiş lastik-jant komple parçası olan tekerleğin kalite kontrol işleminin tamamlanması gerekir. Sonrasında, kontrol edilmiş tekerleğin, otomobil hattında üretime alınan otomobilin ihtiyacını karşılayacak sırayla taşıma arabasına dizilmesi beklenir. Tekerelekler, taşıma araçları (TIR, kamyon, vb.) ile dış kaynaklı tedarikçiden otomobil firması kabul alanına gönderilir. Kabul işleminin ardından, tekerlekler otomobil üretim hatlarına sevk edilir. Bahsedilen aşamaların benzetim çalışması 3. bölümde yapılmıştır.



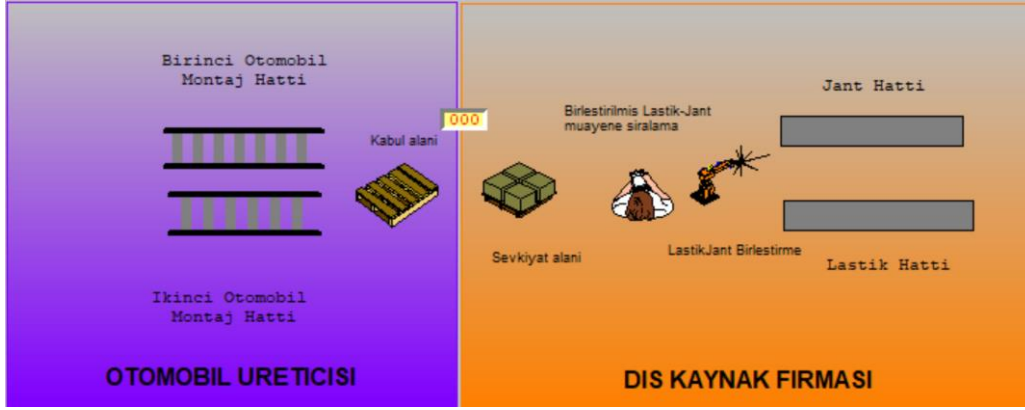
Şekil 1:
Süreç akış diyagramı

4. bölümde detaylandırılacak olan faktörler ve seviyeleri ise aşağıdaki maddelerle özetlenebilir. Hedef, daha az stok ile çalışmak olduğundan, her bir faktör, senaryolar dâhilinde denenerek parametre tasarımı yapılacaktır.

- ✓ Birleştirilmiş lastik-jant muayene ve sıralaması için gereken süre, çalışan kişi sayısına bağlı olarak, 1 veya 2 dakika olarak kabul edilmiştir.
- ✓ Tekerleklerin, otomobil üretim alanına TIR veya kamyon ile getirilmesi durumunda taşınacak komple ürün sayısı 960 veya 480 olacaktır.
- ✓ Tekerleklerin otomobil üreticisi kabul alanına taşınması için gereken süre 30 dakika veya 60 dakika olabilir. Tedarikçinin nerede konumlanacağı bu anlamda önem kazanacaktır.

3. UYGULAMA

Şekil 1'deki akış için tasarlanan benzetim çalışmasının ProModel paket programı aracılığı ile yapılması durumunda ekran görüntüsü Şekil 2'deki gibi olacaktır. Şekil 2'de de görülebileceği gibi, dış kaynak firması içerisindeki alanlar, jant hattı, lastik hattı, lastik-jant birleştirme operasyonu, birleştirilmiş lastik-jant muayene sıralama ve sevkiyat alanıdır. Otomobil üreticisi içerisindeki alanlar ise tekerlek kabul alanı, birinci otomobil montaj hattı, ikinci otomobil montaj hattıdır. Benzetim çalışmasında tanımlanan varlıklar; jant, lastik, birleştirilmiş lastik-jant, LOT (TIR ile taşınacak lot miktarı), birinci otomobil hattı için birleştirilmiş lastik-jant (tekerlek), ikinci otomobil hattı için birleştirilmiş lastik-jant, tekerlekleri takılmış birinci otomobil, tekerlekleri takılmış ikinci otomobildir. Birleştirilmiş lastik-jant taşımak için kullanılan TIR ise kaynak olarak tanımlanmıştır. Jant ve lastik, jant ve lastik hatlarına 1'er defaya mahsus 1.000'er adet olarak yüklenir. Benzetim, lastik ve jantın tüketilme süresince devam edecektir. Süreçteki stok, WIP (work in process) kısaltması ile tanımlanmıştır. Dış kaynak firması sevkiyat alanı ile otomobil üreticisi montaj hatları arasındaki birleştirilmiş lastik-jant stok miktarını belirlemek için kullanılmıştır. Belirtilen alanlarda tanımlanan varlıklar, kaynaklar ve değişkenler kullanılarak, benzetim çalışması gerçekleştirilmiştir. ProModel Programı'nda kodlanan işlemler, Tablo 2'de detaylı olarak yazılmıştır.



Şekil 2:
Benzetim çalışması ekran görüntüsü

Tablo 2. Benzetim çalışmasında uygulanan işlemler

| Açıklama | İşlem (Process) | | | Rota (Routing) | | |
|---|---|---|---|--|---|---------|
| | Varlık | Alan | İşlem | Çıktı | Hedef | Kural |
| Jantların jant hattına yüklenmesi | Jant | Jant hattı | | Jant | Lastik Jant Birleştirme | JOIN 1 |
| Lastiklerin lastik hattına yüklenmesi | Lastik | Lastik Hattı | | Lastik | Lastik Jant Birleştirme | FIRST 1 |
| Lastik Jant Birleştirme | Lastik | Lastik Jant Birleştirme | JOIN 1 Jant WAIT N(0,264; 0,0149) MIN | Birleştirilmiş Lastik-Jant | Birleştirilmiş Lastik-Jant Muayene Sıralama | FIRST 1 |
| Birleştirilmiş Lastik-Jant Muayene Sıralama | Birleştirilmiş Lastik-Jant | Birleştirilmiş Lastik-Jant Muayene Sıralama | WAIT 1 MIN | Birleştirilmiş Lastik-Jant | Sevkiyat Alanı | FIRST 1 |
| Birleştirilmiş Lastik-Jant'ın TIR'a yüklenmek üzere lot haline getirilmesi ve Stok miktarının sayım için 1 artırılması | Birleştirilmiş Lastik-Jant | Sevkiyat Alanı | WIP=WIP+1 GROUP 480 AS LOT | | | |
| Birleştirilmiş Lastik-Jant lot'unun Otomobil Üreticisi Kabul Alanı'na taşınması | LOT | Sevkiyat Alanı | USE TIR FOR 30 MIN | LOT | Kabul Alanı | FIRST 1 |
| Birleştirilmiş Lastik-Jant lotunun Kabul Alanı'nda indirilmesi | LOT | Kabul Alanı | UNGROUP | | | |
| Kabul edilen birleştirilmiş Lastik-Jantların %52'sinin Birinci Otomobil Montaj Hattı'na, %48'inin İkinci Otomobil Montaj Hattına gönderilmesi | Birleştirilmiş Lastik-Jant | Kabul Alanı | | Birinci Otomobil Montaj Hattı'na gönderilecek Birleştirilmiş Lastik-Jant | Birinci Otomobil Montaj Hattı | 0,52 1 |
| | | | | İkinci Otomobil Montaj Hattı'na gönderilecek Birleştirilmiş Lastik-Jant | İkinci Otomobil Montaj Hattı | 0,48 |
| Birinci Otomobil Montaj Hattına Gelen 4 adet Birleştirilmiş Lastik-Jant'ın otomobil ile birleştirilmesi ve lastik stoğunun 4 adet düşürülmesi | Birinci Otomobil Montaj Hattı için Birleştirilmiş Lastik-Jant | Birinci Otomobil Montaj Hattı | Combine 4 WAIT E(1,47) MIN WIP=WIP-4 | Tekerlekleri takılmış birinci otomobil | EXIT | SEND 1 |
| İkinci Otomobil Montaj Hattına Gelen 4 adet Birleştirilmiş Lastik-Jant'ın otomobil ile birleştirilmesi ve lastik stoğunun 4 adet düşürülmesi | İkinci Otomobil Montaj Hattı için Birleştirilmiş Lastik-Jant | İkinci Otomobil Montaj Hattı | Combine 4 WAIT E(1,55) MIN WIP=WIP-4 | Tekerlekleri takılmış ikinci otomobil | EXIT | SEND 1 |

Oluşturulan benzetim modeli, 5 kez çalıştırılmıştır ve dış kaynak firması sevkiyat alanı ile otomobil üreticisi montaj hatları arasındaki stok miktarını gösteren WIP değerleri Tablo 3'deki gibi elde edilmiştir. Tekrar sayısının başlangıç değeri sezgisel olarak belirlenmiş olup, en uygun değer, ilerleyen aşamalarda elde edilecektir. Ortalamalar arası standart sapma değeri, Tablo 3'de de görülebileceği gibi 0,94 olarak hesaplanmıştır.

Tablo 3. Standart sapma (S) değerinin bulunması

| Tekrar Sayısı (r) | WIP (Y) | $(Y-Y_{ort})^2$ | $S^2 = \Sigma(Y-Y_{ort})^2 / (r-1)$ | S |
|--------------------|---------|------------------------------|-------------------------------------|------|
| 1 | 261,96 | 0,40 | 0,88 | 0,94 |
| 2 | 260,35 | 0,96 | | |
| 3 | 260,25 | 1,16 | | |
| 4 | 262,05 | 0,52 | | |
| 5 | 262,03 | 0,49 | | |
| $Y_{ort} = 261,33$ | | $\Sigma(Y-Y_{ort})^2 = 3,53$ | | |

Lastik-jant birleştirme işleminin dış kaynak firmasında yapılması durumunda ortaya çıkacak ilave stok miktarının ortalama 261 adet olacağı öngörülebilir. %95 güvenilirlik durumunda (1), (2) numaralı formüller sonuçları karşılaştırıldığında, $t_0 < t_{(0,025),(4)}$ olduğundan model doğru olarak kabul edilebilir.

$$t_0 = \frac{Y_{ort} - \mu}{S / \sqrt{r}} = \frac{261,33 - 261}{0,94 / \sqrt{5}} = 0,785 \quad (1)$$

$$t_{(\alpha/2),(r-1)} = t_{(0,025),(4)} = 2,78 \quad (2)$$

En uygun tekrar sayısının bulunabilmesi için aşağıdaki işlemler gerçekleştirilmiştir.

Benzetim çalışmasında WIP olarak tanımlanan ortalama stok miktarının $Y_{ort} \pm 0,5$ değer aralığında olabilmesi için gereken tekrar sayısı (3) numaralı formül ile bulunabilir. Bu formülasyonda tekrar sayısı olan r, sonsuza giderken, t dağılımı, normal dağılıma yakınsar. Böylece r sayısı, 13,58'den büyük ilk tam sayı olan 14 olarak hesaplanabilir.

$$r = (t_{(\alpha/2),(r-1)} S / H)^2 = 13,58 \quad (3)$$

Tablo 4, uygun tekrar sayısının bulunması için yapılan hesaplamaları göstermektedir. Tablo 4'e göre, tekrar sayısı 17 olduğunda, teorik olarak hesaplanan tekrar sayısı, 15,89 değeri ile, 17'nin altına düştüğü için uygun tekrar sayısının 17 olduğu sonucuna varılabilir. Şimdiye kadar 5 tekrar yapıldığı için 12 ilave tekrar ile uygun sonuçlara ulaşılabilecektir.

Tablo 4. Uygun tekrar sayısının bulunması

| | r: Tekrar sayısı | | | |
|--------------------------------------|------------------|-------|-------|-------|
| | 14 | 15 | 16 | 17 |
| $t_{(0,025),(r-1)}$ | 2,16 | 2,14 | 2,13 | 2,12 |
| $r = (t_{(\alpha/2),(r-1)} S / H)^2$ | 16,49 | 16,19 | 16,04 | 15,89 |

4. DENEYSEL TASARIM VE ÇIKTILARTININ KARŞILAŞTIRILMASI

Lastik-jant birleştirme işinin dış kaynak kullanılarak yapılması durumunda stok seviyesini etkileyen en önemli üç faktör, birleştirilmiş lastik-jant olan tekerleğin ne kadar uzaklıktaki bir dış kaynak firmasından otomobil üreticisine taşınacağı, her sevkiyatta kaç adet birleştirilmiş lastik-jant taşınacağı ve birleştirilmiş lastik-jant kontrol süresidir. Birleştirme işini yapacak firmanın seçeceği konum, sürecin sağlıklı işleyebilmesi için önemli bir faktördür. Uzak mesafelerden taşıma, ara stok miktarının artmasına neden olabilecektir. Taşıma miktarı, otomobil üreticisi firmanın lojistik faaliyetlerinde en sık kullandığı araç (TIR) içine sığabilecek birleştirilmiş lastik-jant miktarı düşünülerek öngörülmüştür. Her bir birleştirilmiş lastik-jant parçasının kontrol ve sıralama işlemi, operatör sayısına göre 1 veya 2 dakika olmaktadır. Bu nedenle, kontrol süresinin düşük ve yüksek seviyeleri sırasıyla 1 ve 2 olarak seçilmiştir. Tablo 5, faktörleri ve seviyelerini göstermektedir. Tablo 5’deki yapıya göre, 3 faktör ve her birinin 2 seviyesi olduğundan 2 seviyeli tam faktöriyel analiz ile çalışılmış $2^3 = 8$ adet senaryo karşılaştırılmıştır.

Tablo 5. Stok seviyesini etkileyen faktörler ve seviyeleri

| Faktörler | Düşük (Low) | Yüksek (High) |
|------------------------------|-------------|---------------|
| 1. Firma Konumu (TAS_SIKL) | 30 dakika | 60 dakika |
| 2. Taşıma Miktarı (TAS_MIKT) | 480 adet | 960 adet |
| 3. Kontrol Süresi (KONTROL) | 1 dakika | 2 dakika |

Her bir senaryo, uygun tekrar sayısı kadar çalıştırılarak ortalama stok seviyesi değerleri elde edilmiştir. Tablo 6, senaryoların koşullarını ve benzetim sonucunda elde edilen ortalama ara stok miktarlarını göstermektedir. Bu veriler kullanılarak, Statistica Programı ile deneysel tasarım yapılmıştır.

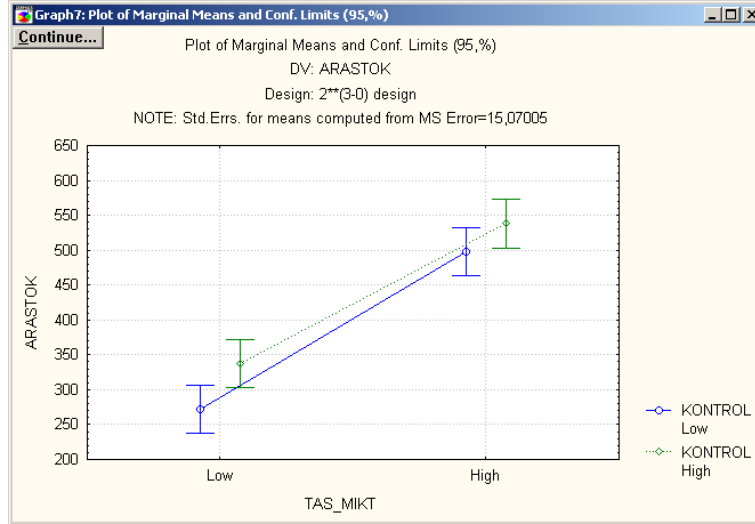
Tablo 6. Senaryoların karşılaştırılması

| Senaryo | Firma Konumu (TAS_SIKL) | Taşıma Miktarı (TAS_MIKT) | Kontrol Süresi (KONTROL) | Ara Stok Miktar (ARASTOK) |
|---------|-------------------------|---------------------------|--------------------------|---------------------------|
| 1 | 30 | 480 | 1 | 261,33 |
| 2 | 30 | 480 | 2 | 308,52 |
| 3 | 30 | 960 | 1 | 490,24 |
| 4 | 30 | 960 | 2 | 518,02 |
| 5 | 60 | 480 | 1 | 283,31 |
| 6 | 60 | 480 | 2 | 366,15 |
| 7 | 60 | 960 | 1 | 506,00 |
| 8 | 60 | 960 | 2 | 558,45 |

Deneysel tasarım sonucunda, ana etkiler ve etkileşim tablosu özeti Tablo 7’deki gibi elde edilmiştir. Tablo 7’den gözlemlenebileceği gibi, taşıma miktarı faktörü ve kontrol süresi faktörlerinin p değerleri 0,05 değerinden küçük olduğundan, ara stok miktarı değerine etkilerinin daha yüksek olduğu söylenebilir. Tablo 7, aynı zamanda, taşıma miktarı faktörünün ara stok değerine etkisinin kontrol süresi faktörünün ara stok değerine etkisinden daha yüksek olduğunu da göstermiştir. İlaveten, kontrol süresi faktörünün ara stok sayısına etkisi, firma konum faktörünün ara stok sayısına etkisinden daha yüksektir. Şekil 3’ de yer alan marjinal ortalamalar grafiğine göre, taşıma miktarının düşük olduğu durumda, kontrol süresinin de düşük olmasının ara stok miktarını belirgin düzeyde düşüreceği gözlemlenebilir.

Tablo 7. Deneysel tasarım: Ana etkiler ve etkileşim

| Faktör | Etki | Std. Sapma | t(1) | p | -%95 Güven Aralığı | +%95 Güven Aralığı | Katsayı |
|----------------|--------|------------|--------|-------|--------------------|--------------------|---------|
| Ortalama/Sabit | 411,50 | 1,37 | 299,82 | 0,002 | 394,06 | 428,94 | 411,50 |
| (1) TAS_SIKL | 33,95 | 2,74 | 12,37 | 0,05 | -0,93 | 68,83 | 16,97 |
| (2) TAS_MIKT | 213,35 | 2,74 | 77,72 | 0,008 | 178,47 | 248,23 | 106,67 |
| (3) KONTROL | 52,56 | 2,74 | 19,15 | 0,033 | 17,69 | 87,44 | 26,28 |
| 1 ile 2 | -5,85 | 2,74 | -2,13 | 0,279 | -40,73 | 29,02 | -2,93 |
| 1 ile 3 | 15,08 | 2,74 | 5,49 | 0,114 | -19,80 | 49,96 | 7,54 |
| 2 ile 3 | -12,45 | 2,74 | -4,53 | 0,138 | -47,32 | 22,43 | -6,22 |



Şekil 3:
 Marjinal ortalamalar grafiği

Lastik-jant birleştirme operasyonu, mevcut durumda firma içinde yapılmaktadır. Tüm alt montaj işlemlerini firma içinde yapmak, yönetsel konularda avantaj sağlasa da, ürün çeşitliliğinin artması, fazladan alan ihtiyacı gerektiren ürünlerin üretimi için dış kaynak kullanımını zorlamaktadır. Bu noktada, uzun dönemde en fazla yarar sağlayacak yöntemin temelini bilimsel çalışmalar ile atılması önemlidir. Çalışma kapsamında yapılan benzetim ve deneysel tasarım çalışması ile dış kaynak firmasının üretim için seçeceği konumun, dış kaynak firması sevkiyat alanı ile otomobil üreticisi hatları arasındaki birleştirilmiş lastik-jant stok miktarı seviyesinin, sevkiyat miktarının, montaj yapan işçi sayısının, önceden belirlenmesi sağlanmıştır. Yapılan çalışmalar ile elde edilen çıktılar aşağıdaki gibi yorumlanabilir.

Dış kaynak kullanımı ile lastik-jant birleştirme operasyonu yapılması durumunda, dış kaynak firmasından, ara stok miktarını 250-300 adet arasında tutması talep edilebilir. Bu aralığın ise aşağıdaki maddelerin uygulanması ile sağlanabileceği dış kaynak firması ile paylaşılmalıdır.

- ✓ Dış kaynak firması konumunun, 60 yerine 30 dakikalık mesafede olması stok miktarını azaltacaktır.
- ✓ Otomobil üreticisine taşınacak birleştirilmiş lastik-jantın her sevkiyattaki miktarının 480 adet olabilmesi sağlanmalıdır.

- ✓ Kontrol ve sıralama yapan operatöre sağlanabilecek ilave eğitimler ile ve süreçte iyileştirmeler ile kontrol süresi azaltılabilir. Eğer süre azaltılmıyor ise ikinci operatör eklenmeli ve maliyet analizleri bu durum dikkate alınarak yapılmalıdır.

Bundan sonraki aşama, mevcut durumda, birleştirilmiş lastik-jant toplam maliyeti ile dış kaynak firması tarafından, yukarıdaki şartları sağlayacak şekilde üretilerek sevkiyatı yapılabilecek birleştirilmiş lastik-jant maliyetinin karşılaştırılarak ve diğer tüm riskler dikkate alınarak dış kaynak kullanımı kararının verilmesidir.

5. SONUÇLAR

Dış kaynak kullanım kararı, temelde, firmaların değer yaratan süreçlere odaklanmalarını sağlamayı ve kapasite kısıtlarını ortadan kaldırmayı hedeflemektedir. Kriz dönemlerinde de sürdürülebilirliğin sağlanabilmesi için, doğru kararın en başta bilimsel teknikler kullanılarak verilmesini ve farklı senaryolar ile etkinlik seviyesinin tespiti gerekir. Dış kaynak kullanım kararının daha olurlu olması durumunda, yenilikçi yaklaşımlar ve öğrenme eğrisi gibi etkilerle süreçten daha fazla verim elde edilebilecektir. Bu çerçevede, bilindiği kadarıyla literatürde çalışılmamış bir konu olan lastik-jant birleştirme işleminde dış kaynak kullanım kararı için, Bursa'da üretim yapan bir otomobil firmasına ait maskelenmiş gerçek verilerle benzetim ve deneysel tasarım çalışması yapılmıştır. Çalışmada, olasılıklı ortam yaratan parametreler belirlenerek gereken veriler toplanmış; bu verilerin hangi dağılımlara uyduğu hesaplanmış; alanlar, varlıklar, kaynaklar, gelişler ve işlemler benzetim programında tanımlanmıştır. Sonraki aşamada, model doğrulanmış, uygun tekrar sayısı hesaplanmıştır. Deneysel tasarım aşamasında ise, dış kaynak ile üretici arasındaki stok seviyesini etkileyen faktörler ve seviyeler belirlenmiştir. Belirlenen seviyelerle faktör analizi çalışması yapılmış ve farklı senaryolar, belirlenen tekrar sayısı kadar benzetim ortamında çalıştırılarak çıktı değerleri olan ara stok miktarı elde edilmiştir. Son olarak da çıktı değerini en iyi seviyeye çekebilecek senaryo belirlenerek etkileri tartışılmıştır.

Sonraki çalışmalarda, alt parçaların lojistiği, alan, sigorta gibi tüm parametreler ve maliyetleri de dikkate alınarak karar aşamasının mali boyutu irdelenebilir.

KAYNAKLAR

1. Antràs, P.(2003) Firms, contracts, and trade structure, *The Quarterly Journal of Economics*, 118(4), 1375-1418. doi:10.3386/w9740
2. Antràs, P. (2005) Incomplete contracts and the product cycle, *American Economic Review*, 95(4), 1054-1073. doi: 10.3386/w9945
3. Campa, J., ve Goldberg, L.S.(1997) The evolving external orientation of manufacturing industries: evidence from four countries (No. w5919). National Bureau of Economic Research. doi:10.3386/w5919
4. Cao, Q., ve Wang, Q. (2007) Optimizing vendor selection in a two-stage outsourcing process, *Computers & operations research*, 34(12), 3757-3768. doi:10.1016/j.cor.2006.01.013
5. Chan, F.T. S., Chan, H.K., ve Lau, H.C.W. (2002) The state of the art in simulation study on FMS scheduling: a comprehensive survey, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 19(11), 830-849. doi:10.1115/esda2006-95077
6. Chan, F. T., ve Chan, H. K. (2004) A comprehensive survey and future trend of simulation study on FMS scheduling, *Journal of Intelligent Manufacturing*, 15(1), 87-102. doi:10.1023/b:jims.0000010077.27141.be

7. de Almeida, A.T. (2007) Multicriteria decision model for outsourcing contracts selection based on utility function and ELECTRE method, *Computers & Operations Research*, 34(12), 3569-3574. doi:10.1016/j.cor.2006.01.003
8. Drauz, R. (2014) Re-insourcing as a manufacturing-strategic option during a crisis—Cases from the automobile industry, *Journal of Business Research*, 67(3), 346-353. doi:10.1016/j.jbusres.2013.01.004
9. Feenstra, R.C.(1998) Integration of trade and disintegration of production in the global economy, *Journal of Economic Perspectives*, 12(4), 31-50. doi:10.1257/jep.12.4.31
10. Gençosman, B., Orbak, Â., ve Orbak, İ. (2015) *Deneysel tasarım ile sulu çözümlerden metal ayrışımına etki eden faktörlerin optimizasyonu*, Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering, 20(1), 39-49. doi:10.17482/uujfe.24520
11. Grossman, G.M., ve Helpman, E.(2005) Outsourcing in a global economy, *The Review of Economic Studies*, 72(1), 135-159. doi:10.1111/0034-6527.00327
12. Halim, N.H.A., Yusuf, N., Jaafar,R., Jaffar, A., Kaseh, N.A.I., ve Azira, N.N. (2015) Effective material handling system for JIT automotive production line, *Procedia Manufacturing*, 2, 251-257. doi:10.1016/j.promfg.2015.07.044
13. Harrell, C., Bowden, R., ve Ghosh, B. K. (2000) *Simulation using promodel*, McGraw-Hill Higher Education.
14. Hayter, R. (1997) *The dynamics of industrial location: the factory, the firm and the production system*. Wiley.
15. Ingemansson, A., Bolmsjö, G., ve Harlin, U. (2002, October) A survey of the use of the discrete-event simulation in manufacturing industry, *In Proceedings of the 10th international manufacturing conference*.
16. Jahangirian, M., Eldabi, T., Naseer, A., Stergioulas, L.K., ve Young, T. (2010), Simulation in manufacturing and business: A review, *European Journal of Operational Research*, 203(1), 1-13. doi:10.1016/j.ejor.2009.06.004
17. Küresel Tedarik Zinciri Trendleri,(2010) Erişim Adresi: <https://www.consultancy.nl/media/PRTM%20Supply%20Chain%20Trends%202010-2012-1019.pdf> (Erişim Tarihi: 11.07.2019).
18. Masood, S. (2006) Line balancing and simulation of an automated production transfer line, *Assembly Automation*, 26(1), 69-74. doi: 10.1108/01445150610645684
19. McMillan, J. (1995) Reorganizing vertical supply relationships. Trends in business organization: Do participation and cooperation increase competitiveness, 203-222.
20. Montgomery, D. C. (2007) *Introduction to statistical quality control*.,John Wiley & Sons.
21. Negahban, A., ve Smith, J. S. (2014) Simulation for manufacturing system design and operation: Literature review and analysis, *Journal of Manufacturing Systems*, 33(2), 241-261. doi: 10.1016/j.jmsy.2013.12.007
22. Roy, R. K. (2001) *Design of experiments using the Taguchi approach: 16 steps to product and process improvement*, John Wiley & Sons.
23. Ruiz-Torres, A.J., ve Mahmoodi, F. (2008) Outsourcing decision in manufacturing supply chains considering production failure and operating costs, *International Journal of Integrated Supply Management*, 4(2), 141-158. doi: 10.1504/ijism.2008.016615

24. Sarkis, J., ve Sundarraj, R.P. (2000) Factors for strategic evaluation of enterprise information Technologies, *International journal of physical distribution & logistics management*, 30(3/4), 196-220. doi: 10.1108/09600030010325966
25. Sarkis, J., ve Talluri, S. (2002) A model for strategic supplier selection. *Journal of supply chain management*, 38(4), 18-28. doi:10.1111/j.1745-493x.2002.tb00117.x
26. Scholl, A., ve Klein, R. (1999) ULINO: Optimally balancing U-shaped JIT assembly lines, *International Journal of Production Research*, 37(4), 721-736. doi:10.1080/002075499191481
27. StatSoft, I. N. C. (2001) STATISTICA (data analysis software system), version 6. Tulsa, USA, 150.
28. WORLD TRADE ORGANIZATION (1998) Annual Report 1998 (Geneva: World Trade Organization).