

FABRİKA İÇİ ÇEKME ESASLI TAŞIMA SİSTEMİ TASARIMI

Gözde BİLİCİ, Özcan ÇOLAK, Faruk İNALTEKİN, Tayfun Can KÜÇÜK, Selçuk YETİMOĞLU,
Murat KÖKSALAN, Seçil SAVAŞANERİL*

Orta Doğu Teknik Üniversitesi – Endüstri Mühendisliği Bölümü

ÖZET

Dizel sistemleri fabrikalarından birinde gerçekleştirilen çalışmada, fabrika içinde hammadde ve yarı maddelerin taşınmasını planlayan, sık ve çekme esaslı taşımaya dayalı bir sistem tasarlanmıştır. Bu çalışmadaki temel amaç, yalın üretim sistemlerinin fabrika içerisinde kullanımını sağlarken, ara envanter tutma maliyetini enazlamaktır. İlk olarak, fabrikada olası rotalar belirlenmiş ve geliştirilen bir eleme prosedürü ile anlamlı bir rota kümesi yaratılmıştır. Daha sonra elde kalan rotalara, amacı toplam çevrim süresini enazlama olan bir matematiksel model yardımı ile taşıma işleri atanmıştır. Bu noktada, değişik seçenekleri inceleyebilmek ve uygulanabilir bir sonuç bulmak için çok amaçlı modelleme kullanılmıştır. Farklı araç sayısı seçeneklerine göre iyileştirme tahminleri yapılmıştır. Önerilen çözümün, mevcut sistemde sadece organizasyonel değişikliklerle, toplam maliyette %51'e kadar azalma sağlanması öngörülmüştür.

Anahtar kelimeler: Araç rotalama, milk-run, fabrika içi taşıma sistemi

THE DESIGN OF A PULL-TYPE MATERIALS HANDLING SYSTEM

ABSTRACT

A material transportation system, which is based on frequent delivery and pull principles, is designed for transportation of raw materials and semi-finished items in a diesel systems factory in this study. The main aim is to enable the operation of a lean transportation system that minimizes the cost of work-in-process inventory. Firstly, the possible routes are enumerated and through a developed eliminating procedure a feasible route set is defined. Then the transportation tasks are assigned to the remaining routes by a mathematical model that aims to minimize total cycle time. At this point, multi-objective mathematical modeling is used in order to generate different and applicable solutions. It is foreseen that with only organizational changes, there can be a 51% decrease in the total cost of the material handling system.

Key words: Vehicle routing, milk-run, materials handling system design

* İletişim yazarı, secil@ie.metu.edu.tr

Dokuz Eylül Üniversitesi tarafından düzenlenen 27. Yöneylem Araştırması ve Endüstri Mühendisliği Ulusal Kongresinde Öğrenci Proje Yarışması düzenlenmiştir. Bu yarışmada üçüncülük ödülü kazanan çalışmayı ilgili öğretim üyelerinin de katkılarıyla düzenlenmiş haliyle yayın politikası doğrultusunda yayınlıyoruz.

1. GİRİŞ

Dizel enjektör üretimi yapan bir fabrikada gerçekleştirilen proje kapsamında, fabrika içindeki hammadde ve yarı mamullerin üretim hatlarına taşınması için çekme esaslı tekrarlı bir taşıma sistemi tasarlanmıştır. Bu tip bir taşıma ile ara stok tutma maliyetlerinde iyileştirmeler yapılabileceği, çekme esaslı üretim yapan fabrikaya uygulanabilir bir sistem tasarlanabileceği düşünülmüştür. Çalışmanın yürütüldüğü zaman diliminde, günlük üretim adeti 10000 enjektör seviyesinde olan şirketin taşıma sisteminin düzenlenmesi ve maliyetlerin azaltılması oldukça önem kazanmıştır. Proje kapsamında, ilk olarak problemin belirtileri ve nedenleri analiz edilmiş ve fabrika gereksinimlerine uygun bir taşıma sistemi araştırılmıştır. Daha sonra fabrika içindeki taşıma gereksinimleri incelenmiş ve taşıma işleri tanımlanmıştır. Ardından, fabrika yerleşim planı üzerinde taşımaya ve araç geçişine elverişli olası rotalar belirlenmiş ve bu rotalardan bir kısmı belirli bir eleme yöntemi ile elelenmiştir. Bu bilgiler ışığında, elde kalan rotalara, çok amaçlı matematiksel modelleme yaklaşımı ile taşıma işlemleri atanmıştır. Farklı araç sayılarına göre üretilen alternatifler toplam ara envanter maliyeti açısından değerlendirilmiştir. Önerilen sistem ile, mevcut duruma kıyasla %51 maliyet iyileşmesi sağlanacağı tahmin edilmektedir.

2. ÇALIŞMANIN AMACI VE KAPSAMI

2.1. Firma Tanıtımı

Projenin gerçekleştirildiği organizasyon çok uluslu bir grubun dizel enjektör üretimi yapan birimlerinden biridir. Grup içinde önemli bir konuma sahip olan organizasyon, Türkiye’de kurulu bulunan iki fabrikasıyla faaliyetlerini sürdürmektedir.

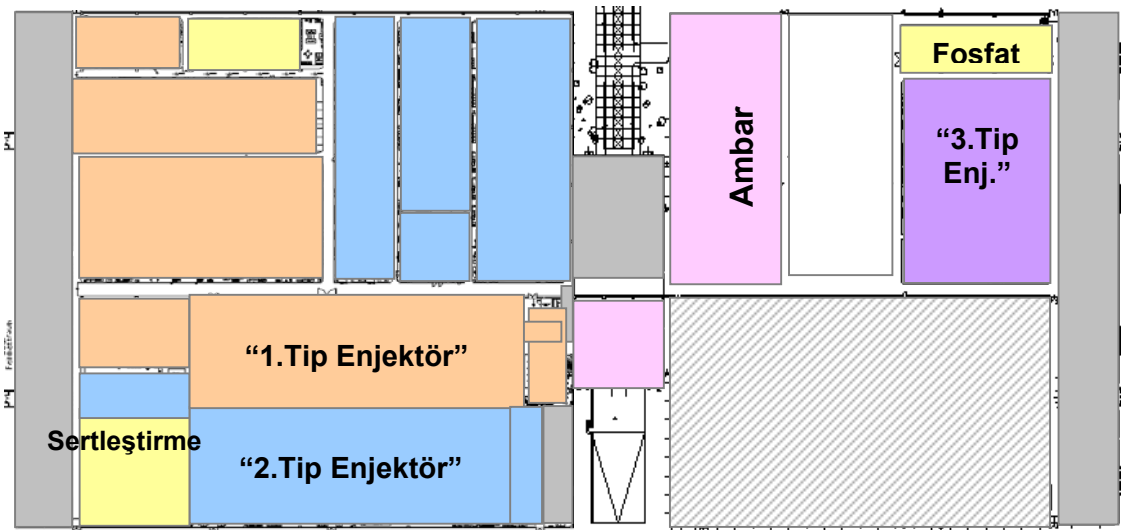
Firma, bu tesislerinde 3 ana tip enjektör üretmektedir. Bu 3 ana tip enjektörün 64 alt parça grubu bulunmaktadır. Bunlardan 29 tanesi fabrika içinde üretilmektedir. Diğer alt parçalar ise yerel ve ulusal tedarikçilerden sağlanmaktadır.

2.2. Mevcut Durum Analizi

Mevcut yerleşim planı üzerinde, 3 farklı tip enjektör için üretim hatları, bu hatlara parça sağlayan ambar ve ara ürün parçalarının işlem gördüğü sertleştirme ve fosfat bölümleri Şekil 1’de gösterilmektedir.

Mevcut sistemdeki taşıma işlemleri aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir:

Üretim Hatları ve Fosfat Kaplama Arasındaki Taşımalar: Fabrikanın yerleşim planı, ürün tiplerine göre düzenlenmiştir ve her ürünün üretimi kendine



Şekil 1. Mevcut Yerleşim Planı

ayrılan alanda yapılmaktadır. Ancak, bazı üretim süreçlerinden bütün ürünler geçmektedir. Fosfat kaplama işlemi bu işlemlerden biridir. Fosfat kaplama makineleri, güvenlik nedeniyle fabrikanın köşelerine yerleştirilmiştir. Bu durum, üretim hatları ile fosfat kaplama arasındaki taşımlarda uzun mesafelerin kat edilmesini gerektirmektedir.

Üretim Hatları ve Sertleştirme Arasındaki Taşımlar: Bazı ürünler, üretim hatları ve sertleştirme adı verilen bir üretim süreci arasında taşınmaktadır. Yerleşim planında, bu birim, üretim hatlarından uzakta yer almaktadır. Bu sebeple, bu taşıma işlemleri için uzun mesafelerin kat edilmesini gerektirmektedir.

Üretim Hatları ve Ambar Arasındaki Taşımlar: Bu taşıma işlemi hammaddeyi üretim alanına ulaştırmak için, ambar ile üretim hatları arasındaki taşımayı ifade etmektedir.

Üretim Hatları Arasındaki Taşımlar: Üretim akışına göre, üretim hatlarında ara ürünlerin kalan işlemlerinin tamamlanabilmesi için diğer üretim hatlarına taşınması gerekmektedir. Bu tip taşıma bütün ürünler için yapılmaktadır.

Fabrikadaki mevcut taşıma sisteminde taşımlar, üretimde çalışanlar tarafından paletler ve el arabaları

kullanılarak çeşitli taşıma kapları ile yapılmaktadır. Bir çalışanın taşıma kapasitesinin üzerindeki yükler ise çatallı kaldırımlar tarafından taşınmaktadır. Mevcut sistemde, standartlaşmış bir taşıma işlemi bulunmadığı gözlenmiştir.

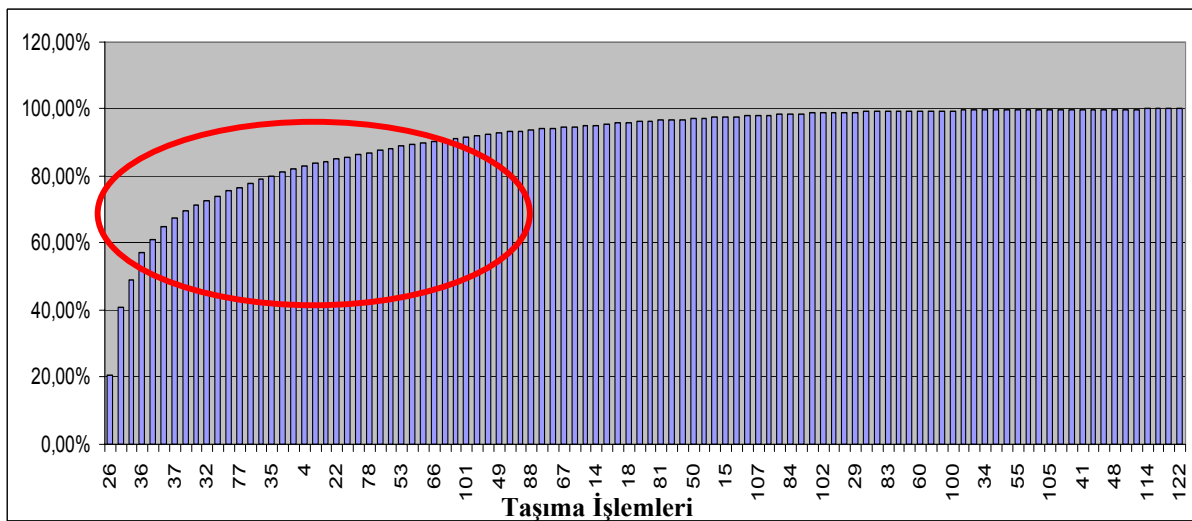
2.3. Problem Tanımı

Mevcut taşıma sistemindeki problemleri daha iyi anlayabilmek için 2 farklı parametre ışığında sistem incelenmiştir.

Bu parametrelerden ilki, bir taşıma işleminin oluşturduğu toplam iş yükünü ölçen “TWFT_i” parametresidir. Bu parametre bir taşıma işleminin frekansı (gün içerisindeki taşıma sayısı), bu işlemde taşınan parçaların ağırlığı ve taşıma işlemi için kat edilen toplam mesafe büyüklüğünün çarpımından oluşmaktadır.

$$TWFT_i = \text{frekans} * \text{ağırlık} * \text{taşıma mesafesi}$$

Bu parametre ile oluşturulan Pareto analizinin sonuçlarına göre, 139 adet taşıma işleminin 16 tanesi toplam iş yükünün %80'ini oluşturmaktadır. Bu işlemlerin operatörler tarafından yapıldığı da göz önünde bulundurulursa, *dengesiz iş yükü dağılımı*, mevcut taşıma sistemindeki problemlerden biri olarak saptanmıştır.



Şekil 2. TWFT_i Parametresi için Pareto Analizi

Bu parametrelerden ikincisi, bir taşıma işleminin operatör tarafından yapılması sebebiyle meydana gelen günlük toplam zaman kaybını ölçen “LTFT_i” parametresidir. Bu parametre, bir taşıma işlemi için harcanan zaman ve bu taşıma işleminin frekansının (gün içindeki taşıma sayısı) çarpımı ile elde edilen değer kullanılarak o işin bir gün içerisinde yarattığı işgücü kaybının yüzde olarak hesaplanması ile elde edilmektedir.

$$LTFT_i = (\text{bir taşıma için geçen süre}) * (\text{ilgili taşımanın frekansı}) * 2 / 24 \text{ saat} * 100$$

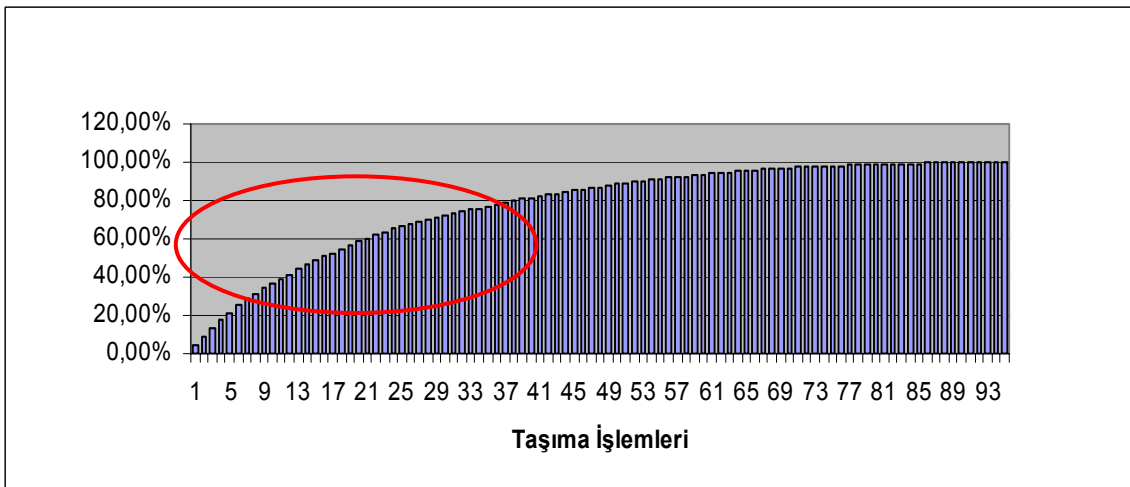
Bu parametre ile oluşturulan pareto analizini sonuçlarına göre, 139 adet taşıma işleminin 49 tanesi toplam zaman kaybının %80'ini oluşturmaktadır. Bu sonuçlara göre, bu işlemlerin operatörler tarafından yapıldığı ve bu işler için operatörlerin çalıştıkları üretim hatlarını terk ettikleri göz önünde bulundurulursa, taşıma işlemlerinin oluşturduğu yüksek zaman kaybı, mevcut taşıma sistemi problemlerinden biri olarak saptanmıştır.

Bu parametreler dışında, fabrika içi ara envanter seviyeleri gözlemlenmiştir. Bu gözlemler sonucunda, fabrika içindeki ara envanter seviyelerinin yaklaşık 2 günlük üretime karşılık geldiği saptanmıştır. Bu seviye-

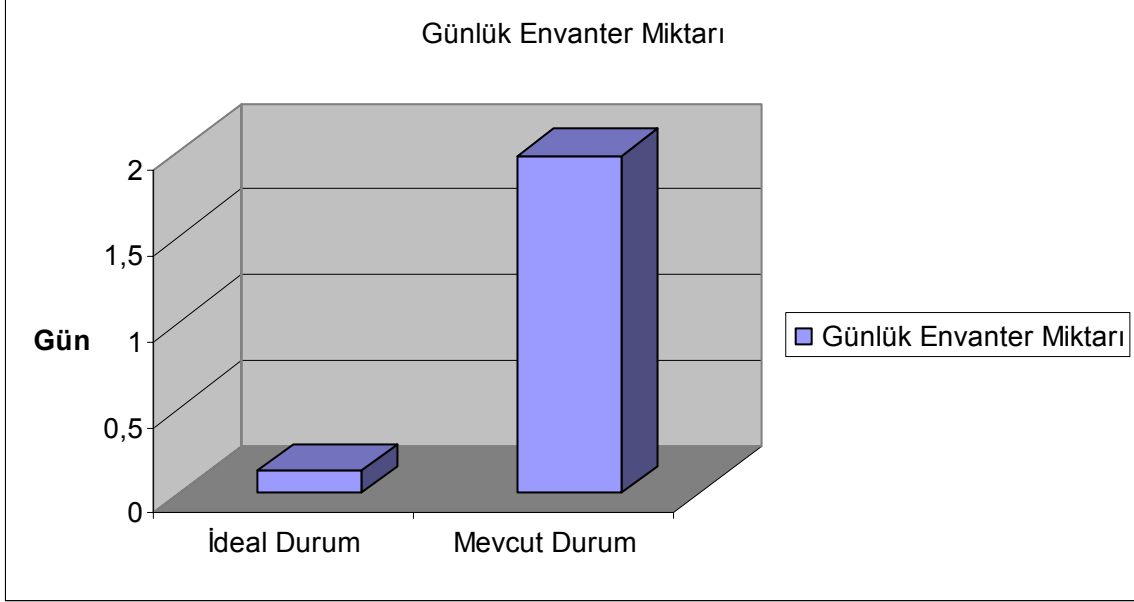
nin, her ara ürünün en küçük taşıma büyüklüklerinde taşınması durumunda oluşacak günlük stok seviyesine (0,13 gün) göre oldukça büyük olduğu anlaşılmıştır. Ara ürünlerin en küçük taşıma büyüklüklerinde taşınması durumunun katile büyüklüğü kavramının olmadığı ve her ürünün bir taşıma kabı büyüklüğünde taşındığı durum olarak kabul edilmiştir. Bu seviye, fabrika içerisinde mevcut sistemle ulaşılabilecek en iyi durum olarak düşünülmüştür. Bu analiz sonucunda, mevcut sistemin diğer bir problemi *yüksek ara stok seviyesi* olarak saptanmıştır.

Mevcut taşıma sistemindeki problem belirtilerini dengesiz iş yükü dağılımı, taşıma işlemlerinden kaynaklı yüksek zaman kaybı ve yüksek ara stok seviyesi olarak belirledikten sonra, problemi daha iyi formüle edebilmek ve algılayabilmek için zenginleştirilmiş resim, CATWOE analizi ve balık kılçığı diyagramı gibi araçlardan yararlanılmıştır (Bkz. Bilici v.d. 2007). Bu çalışmaların sonucunda çalışmanın kapsadığı sistem sınırları da çizilmiştir. Buna göre, Şekil 5’de görüldüğü gibi, sistemin sınırları ambar ile üretim hatları ve üretim hatlarının kendi içerisinde gerçekleşen fabrika içi taşıma sistemidir.

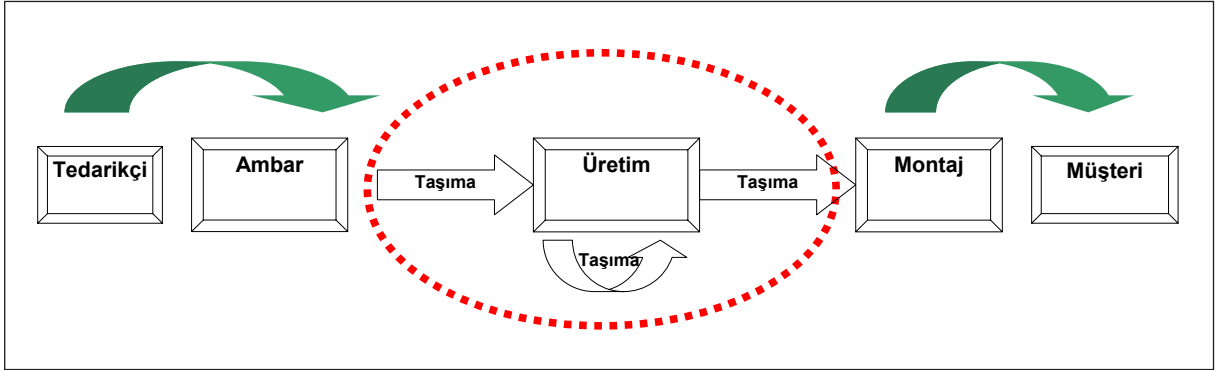
Bu çalışmaların sonucunda, mevcut taşıma sisteminin problemi, “Tüm dizel fabrikasını kapsayan,



Şekil 3. LTFT_i Parametresi-Pareto Analizi



Şekil 4. Günlük Envanter Miktar Açısından İdeal-Mevcut Durum Kıyaslaması



Şekil 5. Taşıma Sistemi Sınırları

şirket standartlarına uygun, maliyet ve iş yükü açısından etkili bir malzeme taşıma sisteminin eksikliği” olarak belirlenmiştir.

2.4. Literatür Taraması

Çalışmalar sonucu mevcut taşıma sisteminin eksik yönleri belirlenmiş ve bunlara yönelik en iyi çözüm yaklaşımının, ihtiyaç noktalarına düzenli tedariki sağlayabilecek, ara envanter maliyetini ve taşıma maliyetini en aza indirecek bir model tasarlanması olduğu ön görülmüştür.

Tasarlanacak modelin çekme esaslı üretim sistemine uygunluğu gözlenmiş ve literatürde çekme esaslı sistemlerde kullanılan taşıma yöntemleri araştırılmıştır.

Çalışmanın bu bölümünde, yalın üretim sistemlerinde kullanılan “Milk-run” kavramı incelenmiştir. “Milk-run” bir üreticinin tüm tedarikçilerinden toplu taşıma yöntemi ile, sık ve düzenli malzeme taşımasıdır. Kavram, bir üretici ile tedarikçisi arasında gibi görünse de fabrika içi taşıma faaliyetlerine de uygulanabilmektedir. Bu açıdan, “Milk-run” uygulamasının

problemin çözümüne yönelik uygun bir yaklaşım olduğu belirlenmiştir.

“Milk-run” uygulaması kapsamında cevap aranan temel soruların, uygun rotaların seçilmesi ve taşıma işlemlerinin uygun rotalara atanması olduğu saptanmıştır. Bu sorulara cevap bulabilmek için, literatürdeki 3 farklı tip problem incelenmiştir.

Araç rotalama problemi (ARP) modelinde, malzemelerin bir depodan müşterilere dağıtımını incelenmektedir (Bkz. Toth ve Vigo 1990). İncelemelerden sonra, bu çalışmada çözülmeye çalışılan problemin, dağıtım ve toplamayı aynı anda yapması açısından “dağıtım toplamalı ARP” modeline benzediği görülmüştür.

Envanter Rotalama Problemi (ERP) modelinde, belirli bir planlama ufkunda, rotalar belirlenerek müşterideki envanter kontrol edilmeye çalışılmaktadır. Problemin hangi müşteriye, ne zaman, ne kadar malzeme taşınması gerektiği sorularına yanıt araması açısından, belirlenen problem ile benzerlik göstermektedir (Bkz. Campbell vd. 1998). Ancak, rotaların her planlama periyodu için değişken olması sebebiyle, bu problem, çalışılan problemden ayrılmaktadır.

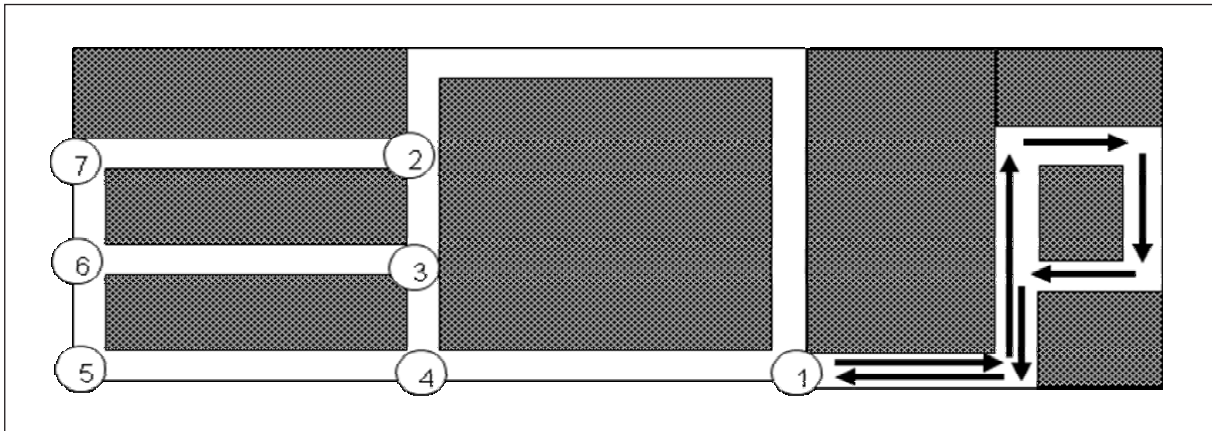
İncelenen son problem modeli ise atama problemidir. Bu problemde, değişik kısıtlar altında belirli işler, belirli kaynaklara atanmaya çalışılmaktadır. Yapılan literatür çalışmasından sonra, belirlenen problemin

dağıtım toplamalı ARP ve ERP arasında yer aldığı görülmüştür. Ayrıca, atama probleminde kullanılan modelleme tekniğinin üzerinde çalışılan probleme uygulanabileceği düşünülmüştür.

2.5. Çözüm Yaklaşımı

Detaylı literatür araştırması sonucunda, fabrika yerleşim planı göz önünde bulundurularak, atama tipi model kullanılmasına karar verilmiştir. Fabrika içinde farklı üretim alanlarının bulunması ve bu alanların farklı yönlerdeki akışlarından ötürü, öncelikle çok sayıda rota üretilmiştir. Rotalar üretilirken fabrika yerleşim planı üzerinde bazı basitleştirmeler yapılmış ve taşıma yapılacak yolların bulunduğu köşeler numaralandırılmıştır. Şekilde basitleştirilmiş fabrika planı ve köşe indeksleri görülmektedir.

Bu yaklaşıma göre, planda fabrikanın sağ tarafını oluşturan bölümde, üretim akışının ve rotanın belirlenmesinden ötürü herhangi bir numaralandırma yapılmamıştır. Bu kısım için şekilde görülen akış mümkün olan en uygun akış olarak saptanmıştır. Bu aşamada birbirini takip eden indeksler kullanılarak mümkün olan tüm rotalar üretilmiştir. Rota üretimi aşamasında göz önünde bulundurulacak temel gereksinimler, rotaların tümünün ayrılma noktalarından başlayıp ambarda sona ermesi ve rotaların kapalı döngü oluşturmasıdır. Ayrılma noktaları 1 ve 5 ile in-



Şekil 6. Basitleştirilmiş Yerleşim Planı

dekslenmiş noktalar olarak kabul edilmiştir. 1 indeksli köşe, ambarı; 5 indeksli köşe ise geri dönüşe izin veren yapısı nedeniyle bu yaklaşım uygun görülmüştür. Bu çalışma sonucunda 158 tane rota üretilmiştir. Üretilen rota sayıları problemin boyutunu fazlasıyla artıracak için, üretilen rotalar geliştirilen bir prosedür aracılığıyla azaltılmaya çalışılmıştır. Rota elemesi prosedüründe kullanılan temel yöntem, aynı noktadan üç kereden fazla geçen, üretim akışına ters olan ve diğer rotalar tarafından kapsanan rotaların elimine edilmesini içerir. Rota elemesi sonucunda anlamlı rota sayısı 72'ye indirilmiştir.

Rotaların belirlenmesinden sonra, fabrika içindeki taşıma işlemleri incelenmiş ve 29 farklı taşıma işi olduğu belirlenmiştir.

2.6. Matematiksel Modelleme

Rota-iş ilişkilerinin çıkarılmasından sonra, çevrimlik maliyetlerin en aza indirilmesi amacıyla matematiksel modelleme yapılmıştır. 72 rota alternatif, 29 farklı işin olduğu bu sistemde, çevrimlik maliyetleri en aza indirecek modelin, problemin boyutu ve sıfır-bir değişkenlerinin fazlalığı nedeniyle çözümsüz olduğu gözlenmiştir. Bu sebeple, çok amaçlı modelleme yöntemleri kullanılarak, çevrimlik maliyetlerin enazlanması farklı kısıtlar ve amaç fonksiyonu ile sağlanmaya çalışılmıştır. Çok amaçlı modellemede, amaç fonksiyonu, çevrimlik maliyetleri indirme amacına yakınlığı nedeniyle toplam çevrim süresinin en aza indirilmesi olarak verilmiştir (Süral 2007).

Ancak, toplam çevrim süresinin en aza indirilmesinin, toplam çevrimlik maliyetlerin enazlanması için yeterli olmayacağı düşünülerek, sistemdeki tüm işlerin birim zamanlık maliyetleri çıkarılmıştır. Sistemdeki işlerin birim maliyetleri hesaplanırken, o iş kapsamında taşınan tüm ara parçaların dakikalık envanter tutma maliyeti göz önüne alınmıştır. Bu açıdan, tüm işlerin maliyetleri içinde, %80'lik dilimi oluşturan işler, Pa-

reto analizi yardımıyla saptanmış ve modelin kısıtları içerisinde değerlendirilmiştir. Bu işlerin bir çevrim içerisindeki yapıma zamanlarının, 30 dakikadan ve 15 dakikadan az olması ihtimalleri kısıt olarak denenmiş ve sonuçları gözlenmiştir.

Problemin çözümünde kullanılan matematiksel model aşağıdaki gibidir:

Parametreler

- C_i : Her i rotasının, bir araç tarafından hiç durmadan tamamlanma süresi
- K : Aracın rotayı dolaşma ve indirme/bindirme süresine orantılı olan ambardaki hazırlık zamanını gösteren katsayı
- g_j : Ambardan taşınan her j işi için ambardaki yükleme/boşaltma zamanı
(10 saniye * KLT sayısı)
- d_j : Her j işi için rotadaki yükleme/boşaltma zamanı
(20 saniye + (KLT sayısı * 6 saniye))
- M : Büyük bir temsili sayı

Karar Değişkenleri

- $y_i = 1$, eğer i rotası kullanılırsa; diğer durumda, 0
- $x_{ij} = 1$, eğer j işi i rotası tarafından yapılırsa; diğer durumda, 0
- $t_m = 1$, eğer i rotası n aralığında ise; diğer durumda, 0
- z_{im} = doğrusallaştırma değişkeni
- T_i = i rotasının toplam çevrim süresi

Amaç Fonksiyonu

$$\text{En azla } \sum_{i=1}^{72} T_i \longrightarrow$$

Amaç fonksiyonu, kullanılan rotaların toplam çevrim süresini enazlar.

Kısıtlar

$$\sum_j^{29} x_{ij} \leq y_i \cdot M \quad \forall i \longrightarrow \text{Eğer bir iş bir rotaya atanırsa, o rota kullanılmak zorundadır.}$$

$$\sum_{i=1}^{72} x_{ij} = 1 \quad \forall j \longrightarrow \text{Bütün işler yapılmak zorundadır.}$$

$$T_i = 0 \cdot z_{i1} + 15 \cdot z_{i2} + 30 \cdot z_{i3} + 45 \cdot z_{i4} + 60 \cdot z_{i5} \quad \forall i \longrightarrow \text{i rotasının zaman aralığını bulmaya yarayan kısıt.}$$

$$\left. \begin{array}{l} z_{i1} \leq t_{i1} \\ z_{i2} \leq t_{i1} + t_{i2} \\ z_{i3} \leq t_{i2} + t_{i3} \\ z_{i4} \leq t_{i3} + t_{i4} \\ z_{i5} \leq t_{i4} \end{array} \right\} \forall i \longrightarrow \text{Doğrusallaştırma kısıtları.}$$

$$\sum_{n=1}^4 t_{in} = 1 \quad \forall i \longrightarrow \text{Bütün rotalar çevrim uzunluğuna sahip olmalıdır. (Bu değer 0 da olabilir.)}$$

$$\sum_{m=1}^5 z_{im} = 1 \quad \forall i \longrightarrow \text{Doğrusallaştırma kısıtı.}$$

$$x_{ij} - 1t_{i1} - 1t_{i2} - 0t_{i3} - 0t_{i4} \leq 0 \quad \forall i, \forall j \longrightarrow \text{Tüm işlerin tamamlanma süresi 30 dakikanın altında olmalıdır.}$$

$$x_{ij} - 1t_{i1} - 0t_{i2} - 0t_{i3} - 0t_{i4} \leq 0 \quad \forall i, \forall j \in S \longrightarrow \text{Pareto Analizi ile belirlenen önemli işler 15 dakikanın altında yapılmalıdır.}$$

S, toplam maliyetin %80'ini oluşturan işlerin kümesidir.

$$T_i = C_i \cdot Y_i + \sum_{j=1}^{29} x_{ij} \cdot d_j + K(C_i \cdot Y_i + \sum_{j=1}^{29} x_{ij} \cdot d_j) + \sum_{j=1}^{12} x_{ij} \cdot g_j \quad \forall i \longrightarrow \text{i rotasının toplam süresi}$$

2.7. Modelin Değerlendirilmesi

Bu atama modeli rotaların toplam çevrim süresini azaltma amacındadır. Bu modelde esas amaç, 72 rota arasından en düşük toplam çevrim süresi veren rota kümesini yaratmaktır. Bu amaçla hedeflenen ara stok toplam maliyetlerinin azaltılmasıdır. Toplam çevrim süresinin minimize etme amacı ile toplam ara stok maliyetlerini azaltma amacı arasında pozitif bir ilişki olmasına rağmen, sistemin sınırları ve kısıtları ilişkinin her zaman doğrusal olmasını engellemektedir. Örneğin, şirketin fabrika içi taşıma sisteminin iki araç ile yürütmek istemesi, bulunan en iyi çözümde, elde edilen rotaların araçlara atanması gereksinimi doğurmaktadır. Bu çalışma kapsamında, şirketin taşıma sisteminde kullandığı araçların tamamen aynı olduğu kabul edilmiştir.

Modelin bir diğer özelliği, taşıma sisteminin içerisinde oluşacak taşıma maliyetlerini göz önüne almasıdır. Literatürdeki birçok problem tipinde taşıma maliyetleri göz önüne alınmasına rağmen, fabrikanın taşıma sisteminin karakteristik özelliklerinden ötürü bu maliyet hesaba katılmamıştır. Fabrika yönetiminin bu sistemi kullanması durumunda operatör ihtiyacını fabrika içinden karşılayacağı ve kullanılan aracın şarj edilebilir yapıda olmasından dolayı sistemin temel maliyetinin ara stok tutma maliyeti olacağı düşünülmüştür. Ayrıca fabrika yönetimi, çekme esaslı yapı için kullanacağı araçlar için yatırımları daha önceden yapmış bulunmaktadır.

Toplam çevrim süresinin amaç fonksiyonunda bulunduğu, kısıtlar ile de değerli işlerin sürelerinin kısıtlandığı bu model tipinin, kısa sürede çözülebilmesi, boyutunun küçük olması ve fabrika içerisindeki değişkenliklerin kolay eklenebilmesi özelliklerinden ötürü, şirket için kullanışlı bir model olduğu düşünülmüştür.

3. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Matematiksel modelleme çalışmalarından sonra elde edilen en iyi çözümler mevcut sistem ile karşılaştırılarak, sistemde sağladığı iyileştirmenin boyutu ölçülmeye çalışılmıştır.

Mevcut durumda daha önce de bahsedildiği gibi, malzeme taşınması çatallı taşıyıcılar, paletler ve el arabaları vasıtası ile yapılmaktadır. Bu taşımalarda çoğunlukla üretim hattındaki operatörler görev almaktadır. Mevcut durumda, fabrika içerisinde temel olarak, 4 saatte bir parça tedariki yapılmaktadır. Bu tedariklerde, genel olarak 1 saatlik güvenlik stoku da ayrıca tutulmaktadır. Elde edilen sonuçları mevcut durumla kıyaslayabilmek için, birim zamanlık maliyet hesaplama yöntemi sabit tutulmak şartıyla, iki durumun da toplam ara stok maliyeti hesaplanmıştır.

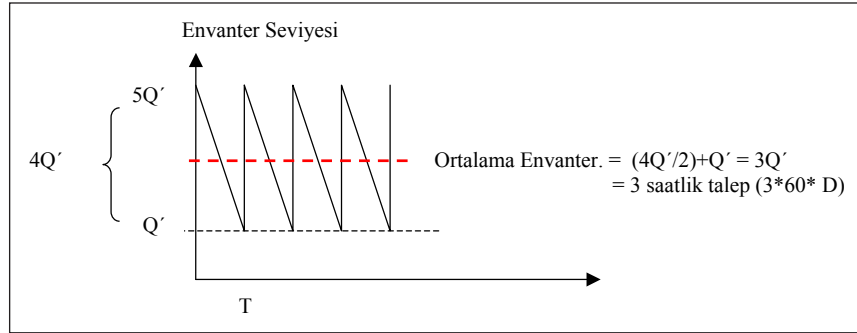
3.1. Mevcut Durum ve Önerilen Sistemin Karşılaştırılması

3.1.1. Mevcut Durum

Mevcut durumda, D , T ve I_{ort} aşağıdaki gibi belirtilmiştir:

$$\begin{aligned} D &= \text{birim zamanlık (dakikalık) talep} \\ T &= 4 \text{ saat} = 240 \text{ dakika} \\ I_{ort} &= \text{ortalama envanter} \\ Q' &= 1 \text{ saatlik talep} \\ D &= 4Q' / T \end{aligned}$$

Mevcut durumda, 4 saatte bir taşıma yapıldığı düşünüldüğünde, 4 saatlik talebin stok olarak tutulacağı, bunun yanında, her taşıma işlemi için 1 saatlik de ara envanter bulunduğu gözlenmiştir. Buna göre, mevcut durumda $(4Q'/2) + Q'$ miktarı kadar ortalama envanter bulunmaktadır. Bu miktardaki bir ara stokun maliyeti ise, her taşıma işlemi için daha önceden hesaplanmış dakikalık stok tutma maliyetinin 3 saat (her ürünün ortalama bekleme süresi) ile çarpılmasıyla hesaplanmıştır. Şekil 7'de mevcut durumu temsil eden envanter grafiği çizilmiştir.



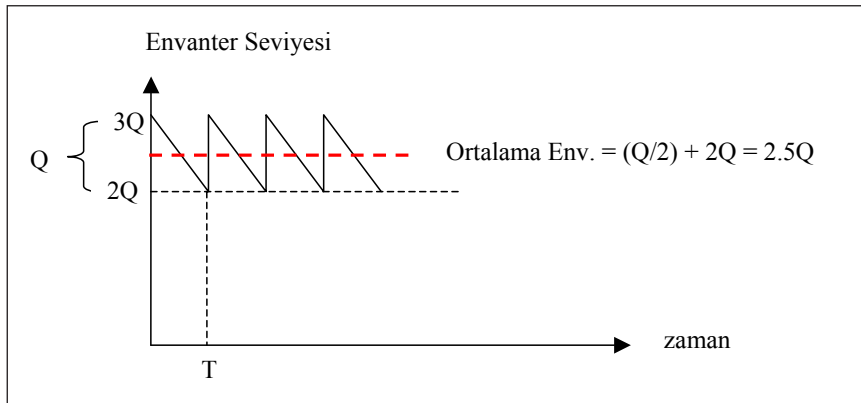
Şekil 7. Mevcut Durumdaki Ortalama Envanter Seviyesi

3.1.2. Önerilen Sistem

Önerilen sistem için D , T ve I_{ort} aşağıdaki gibi tanımlanmıştır:

D = birim zamanlık talep

beklemektedir. Önerilen durumun yarattığı toplam ara stok maliyeti, dakikalık birim maliyetin, çevrim süresinin 2,5 katıyla çarpılması sonucu bulunmuştur. Şekil 8'de önerilen durumu temsil eden envanter grafiği çizilmiştir.



Şekil 8. Önerilen Durumdaki Ortalama Envanter Seviyesi

T = çevrim süresi

I_{ort} = ortalama envanter

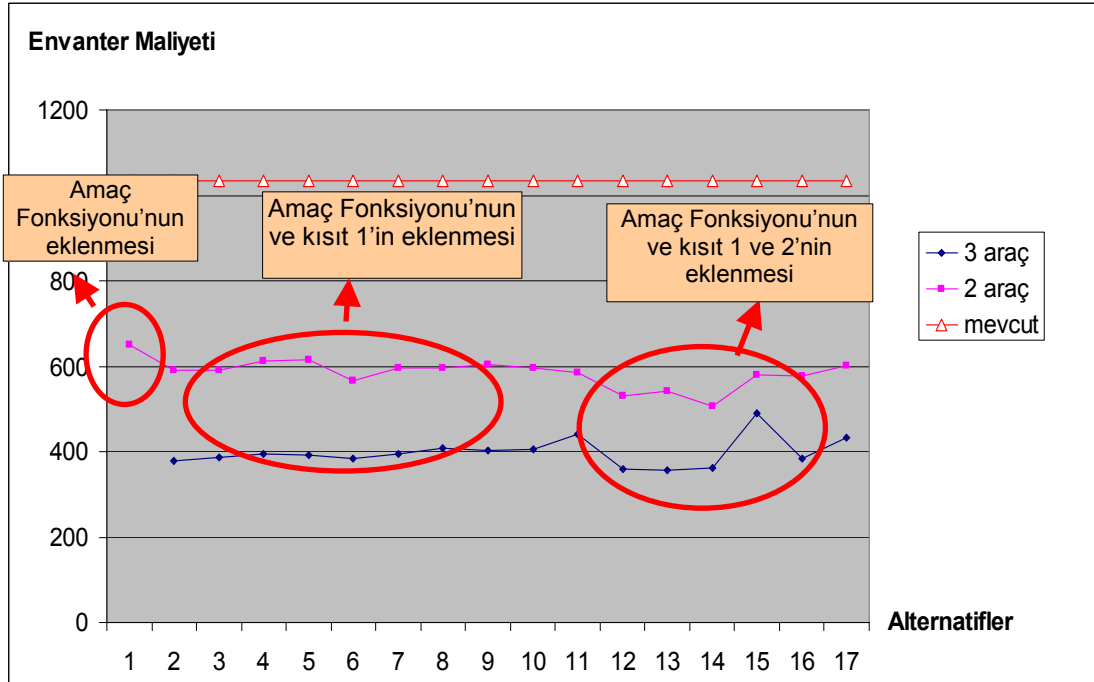
D = Q / T

Q = 1 çevrimlik talep

Bu bilgiler ışığında, önerilen sistemde ortalama olarak $(Q/2) + 2Q$ miktarında envanter tutulmaktadır. Q , önerilen sistem için bir çevrimlik parça ihtiyacı anlamına gelmektedir. Fabrikanın yönetim kısıtlarından biri olarak, her stok noktasının güvenlik stoku 2 çevrimlik ihtiyacı olarak belirlendiği için, tedarik yapılan her noktada, sürekli 2 çevrimlik ihtiyaç hazır

3.2. Sonuçlar

Bu bilgiler ışığında, iki sistemin de toplam ara stok maliyetleri incelenmiştir. Şekil 9'da, mevcut sistem ile, çok amaçlı modellemenin sonuçları görülmektedir. Grafik üzerindeki seviyeler, modele çok amaçlı modelleme doğrultusunda eklenen amaç fonksiyonu, tüm işlerin 30 dakikanın altında yapılması (kısıt-1) ve pahalı işlerin 15 dakikanın altında yapılması (kısıt-2) kısıtlarının eklenmesi sonucu oluşan çözüm seviyelerini göstermektedir. Bu şekilde ayrıca fabrika yönetim kısıtlarından olan 2 araç kısıtının 3 araca çıkması



Şekil 9. En iyi sonuçların kısıtlarla değişimi

durumu da gösterilmiştir. Şekilde yatay eksen çeşitli kısıtlarla elde edilen farklı alternatifleri, dikey eksen ise bu alternatiflerin enjektör cinsinden yıllık ortalama envanter maliyetini göstermektedir.

Matematiksel modelin sonuçları doğrultusunda, 2 araçlı en iyi çözüm, sistemin 4 rota ile yürütülmesi durumunda, 72 rota arasından 29., 43., 44. ve 57. rotaların kullanıldığı sistem olduğu görülmüştür. Bu çözüme ilişkin rota-aracı ilişkileri ve rotaların süreleri Tablo 1'deki gibidir.

Tablo 1. En İyi Çözümdeki Rotalar ve Süreleri

| Araç | Rotalar | Süre(dakika) |
|--------|---------|--------------|
| Araç 1 | 29 | 14,8 |
| Araç 1 | 57 | 14,7 |
| Araç 2 | 43 | 28 |
| Araç 2 | 44 | 19,7 |

Önerilen çözümün, mevcut sisteme göre farkı incelendiğinde, mevcut sistem yıllık ortalama 1033,34 enjektörlük envanter tutma maliyeti yaratırken, 2

araç için önerilen çözüm 507,32 enjektörlük envanter tutma maliyeti oluşturduğu gözlenmiştir. Buna göre önerilen sistem, mevcut duruma göre %51 seviyelerinde bir iyileşme sağlamaktadır. Şirketin 2 araç kısıtını ortadan kaldırdığında ve sistem 3 araçla yürütüldüğünde, yıllık ortalama envanter tutma maliyetinin 35-7,79 enjektör seviyesinde olduğu saptanmıştır. Ancak 3 araçlık sistemin yeni yatırım gerektirmesi nedeniyle gerçek getirilerinin beklenen seviyelerin altında olması ihtimali de göz önünde bulundurulmalıdır.

3.3. Doğrulama ve Geçerleme

Matematiksel modelin kendi içindeki tutarlılığı ve doğruluğu alternatif senaryolarda modelin beklenen sonuçları vermesiyle ölçülmüştür. Değerli parçaların zamanlarının belirli limitlerin altına indirilmesi, toplam envanter tutma maliyetini kademeli olarak indirmiştir. Ayrıca, modelin doğruluğunun test edilmesi amacıyla, değerli parçaların taşınma süreleri kısıtlar aracılığı ile daha yüksek zaman aralıklarına çıkarılmış ve yıllık

envanter tutma maliyetine etkileri gözlenmiştir. Beklendiği üzere, yapılan değişiklikler ortalama envanter tutma maliyetini arttırmıştır.

Proje çıktılarının mevcut sisteme uygunluğunun anlaşılması için, sonuçlar şirket sorumlularına sunulmuş, ilgili çalışmaların mevcut alt yapıya kolay adapte edileceği anlaşılmıştır. Şirket tarafından daha önceden yapılan yatırımların, mevcut sistemden önerilen sisteme geçişte sadece organizasyonel değişiklikler yaratacağı saptanmıştır.

2 araçlı çözüm olarak sunulan yöntemin, fabrika içindeki yollar ve karşılıklı geçişler açısından durumu değerlendirilmiş, seçilen rotaların bu alanlarda problem yaratmayacağı anlaşılmıştır.

3.4. Uygulama Planı

Uygulama aşamasında, öncelikle şirketin sistemi kaç araçla yürütmek istediğine karar vermesi beklenmektedir. Fabrika yönetiminin, 3 araçlık sistemin getirilerinin, gerekecek yeni yatırım maliyetleri ile kıyaslanması gerekmektedir. Daha sonra şirketin, seçilen araç sayısına göre en iyi çözümü seçmesi gerekmektedir.

Ardından, mevcut yatırımların önerilen sisteme uygun hale getirilmesi, taşıma sisteminde çalışacak operatörlerin seçilmesi ve eğitilmesi gerekmektedir. Uygulama aşamasında, stok noktalarının çekme esaslı taşıma sistemine uygun olarak düzenlenmesi, hesaplamalarda kullanılan stok noktalarının belirginleştirilmesi gerekmektedir.

Ayrıca, şirketin çekme esaslı dağıtım sisteminin gereksinimleri doğrultusunda Kanban sistemini tüm fabrika içine yaygınlaştırması ve uygulamaya geçirmesi gerekmektedir.

Gerekli düzenlemelerden sonra, şirketin pilot çalışmalara başlaması, önerilen sistemin sonuçlarını bu pilot çalışmalarda gözlemlemesi gerekmektedir. Bu pilot çalışmalar esnasında, tasarlanan sistemin eksik

yönlerinin gözlenmesi ve muhtemel çözüm önerilerinin geliştirilmesi uygulama aşamasında oldukça önemlidir. Bu aşamada son olarak, şirket olası değişiklikler için modeli yeniden çözdürmeli, sonuçlarını yeniden değerlendirmelidir.

3.5. Değerlendirmeler

Bu çalışma içerisinde dizel enjektör üretimi yapan bir fabrika içindeki taşıma sistemi, çekme esaslı sisteme uygun hale getirilmeye çalışılırken, maliyetleri açısından da iyileştirilmeye çalışılmıştır. Birçok farklı tipde parçanın üretildiği, üretim hatlarının farklı yönlerde aktığı mevcut durumda, fabrikanın tümünü kapsayan 2 araçlı ve 3 araçlı taşıma sistemleri önerilmiştir. Bu çalışma sayesinde, fabrikanın ara stok tutma maliyetlerinde iyileştirmeler yapabileceği tahmin edilmektedir. Şirketin mevcut yatırımları göz önünde bulundurularak, 2 araçla çalışan sistemin sadece organizasyonel değişiklikler ile yürütebileceği düşünülmektedir. Ancak getirilerinin, olası maliyetlerinden yüksek olması durumunda şirketin, 3 araçlı çözümü de değerlendirmesi tavsiye edilmektedir.

KAYNAKÇA

1. Bilici G., Çolak Ö., İnaltekin F., Küçük T.C., Yetimoğlu S., (2007), "Üretim Hatlarında Milk-Run Uygulaması", Sistem Tasarımı Proje Raporu, ODTÜ Endüstri Mühendisliği Bölümü, Ankara.
2. Campbell A.M., Clarke L.W., Kleywegt A. and Savelsberg M.W.P., (1998) "Inventory routing", Fleet Management and Logistics, Crainic T.G. and Laporte G. (eds), Kluwer Academic Publishers: Boston, MA.
3. Süral, H., Sözlü İletişim, Mart 2007.
4. Toth P. ve Vigo D., (1990), "The Vehicle Routing Problem", Society for Industrial and Applied Mathematics, Philadelphia.