

DİZEL ENJEKTÖR ÜRETİMİ YAPAN BİR ŞİRKET İÇİN FABRİKA İÇİ ÇEKME ESASLI TEKRARLI DAĞITIM SİSTEMİ TASARIMI

Hakan AKILLIOĞLU*, Mustafa G. BAYDOĞAN*, Yurtseven BOLATLI*, Düriye CANBAZ*,
Akif HALICI*, Ömürden SEZGİN**, Nur Evin ÖZDEMİREL*, Ayten TÜRKCAN*

*Orta Doğu Teknik Üniversitesi-Endüstri Mühendisliği Bölümü
**Firma Danışmanı

ÖZET

Bu çalışmada, dizel enjektör üretimi yapan bir firmada yarı mamüllerin fabrika içinde taşınması için çekme esasına dayanan tekrarlı dağıtım sistemi tasarlanmıştır. Öncelikle, üretim alanının fiziksel özellikleri göz önünde bulundurularak araçların geçebileceği yollar ve stok noktaları belirlenmiştir. Stok noktalarını araçlara atayarak rotalar oluşturan bir tam sayılı programlama modeli önerilmiştir. Model, toplam günlük yarı işlenmiş mamül stok maliyetini ve taşıma maliyetini enazlamayı hedeflemektedir. En az maliyeti veren rotanın performansı bir simülasyon modeli ile değerlendirilmiştir. Önerilen dağıtım sistemi, toplam taşıma ve yarı mamül tutma maliyetlerini %66'ya varan oranda azaltmakta ve daha az araç kullanılmasını sağlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Çekme Esaslı Tekrarlı Dağıtım, Araç Rotalama, Fabrika İçi Lojistik

ABSTRACT

In this study, a pull-based milk run distribution system is designed for transportation of parts within the production area of a firm producing diesel injectors. First, the paths, which the vehicles can pass through, and the stock points are determined according to the physical properties of the production area. A mixed integer programming model, which assigns stock points to vehicles, is proposed to form the routes. The model minimizes the total daily work-in-process inventory cost and the distribution cost. The performance of the route minimizing the total cost is evaluated by using a simulation model. The proposed distribution system improves the total distribution and work-in-process inventory costs by 66% and decreases the number of vehicles used.

Keywords: Pull-based Milk Run Distribution, Vehicle Routing, Facility Logistics

Kocaeli Üniversitesi'nde düzenlenen XXVI. Yöneylem Araştırması ve Endüstri Mühendisliği Ulusal Kongresinde YA/EM '06 Öğrenci Bildirileri Yarışması düzenlenmiştir. Bu yarışmada birincilik ödülü kazanan çalışmayı ilgili öğretim üyesinin de katkılarıyla düzenlenmiş haliyle yayın politikası doğrultusunda yayınlıyoruz.

MEVCUT DURUM VE PROBLEM TANIMI

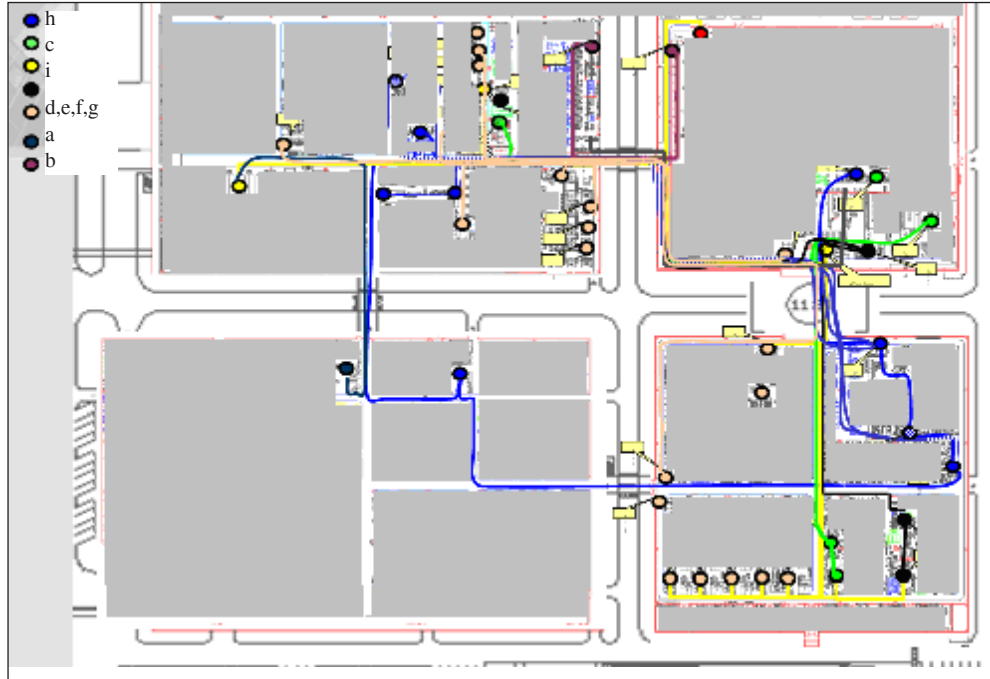
1971 yılından beri faaliyet göstermekte olan şirket, gazlı ve dizel motor sistemleri için enjektör ve enjektör memesi gibi püskürtme araçları üretmektedir. Şirketin Türkiye’de iki fabrikası bulunmaktadır. Şirketin müşterileri otomotiv endüstrisinin önde gelen motor ve araç üreticileridir. Türkiye pazarının %100’üne, yurt dışı pazarının %57’sine sahiptir.

Fabrikada dört ana tip enjektör üretilir. Üretilen enjektörler tipine göre 35-37 alt parçadan oluşur. Bu parçalardan dokuz tanesi fabrika içinde işlenir. Kalan alt parçalar yabancı ve yerli tedarikçilerden montaja hazır biçimde alınır.

Fabrika içinde işlenen parçaların taşınması makina öncesi ve sonrası olmak üzere stok noktaları arasında yapılır. Taşıma işlemi üretim alanında bulunan grup başları tarafından yürütülür. Grup başları her gün üretilmesi gereken miktarı bağlı olduğu koordinatörden alır. Koordinatör bu miktarı, yarıyıldan önce aylığa sonra da günlük indirgenmiş üretim planına göre belirler.

Grup başlarının kontrolü altında fabrika içerisinde beş tip taşıma vardır. Bu taşımalar ambardan montaja hazır parçaların, ambardan üretime hammaddelerin, üretim içi yarı işlenmiş mamüllerin, üretimden montaja hazır parçaların ve montajdan üretime sevkiyata hazır enjektörlerin taşınması şeklindedir. Her parça için yapılan taşımalar ve stok noktaları Şekil 1’de verilmiştir (Yerleşim planı gizlilik nedeniyle şirket tarafından maskelenmiştir, sadece yollar ve stok noktaları gösterilmiştir.). Mevcut durumda, ambardan yapılan taşımalar genellikle vardiya başlarında bir sefer, üretim içi ve montaja yapılan taşımalar ise ihtiyaç oldukça yapılır. Birçok parça için atölyede üretim kontrolü yoktur, herhangi bir şekilde kanban kartı ya da başka bir yöntem kullanılmaz. Taşımalar sezgisel olarak taşıma elemanları ya da makina operatörleri tarafından yapılır.

Taşıma sisteminin analizi yapılırken, üretim alanlarında yapılan inceleme ve gözlemler sonucunda belirlenen olası problem belirtileri şunlardır:



Şekil 1. Mevcut sistemde fabrika içi yapılan taşımalar ve stok noktaları

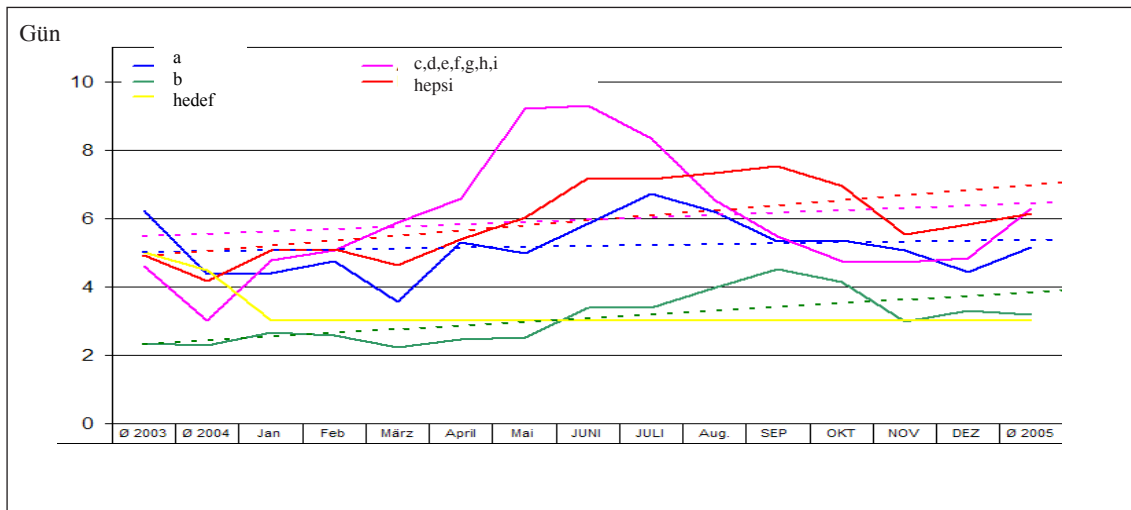
Fazla yarı işlenmiş mamül miktarı: Mevcut taşıma sisteminde üretim alanındaki stok noktalarında çok miktarda mamül biriktiği gözlemlenmiştir. Şekil 2’de 2005 yılına ait yarı işlenmiş mamül stok seviyeleri görülebilir. Seviyeler biriken stokun kaç günlük üretimi karşılayacağı cinsinden verilmiştir. Mevcut durumdaki yarı işlenmiş mamul stok seviyeleri hedef alınan üç günlük üretim miktarından fazladır.

Yarı mamül stok seviyelerinin fazlalığı ile ilgili bir diğer ölçüt üretim içinde taşınan parçaların çevrim zamanının katma değer zamanına oranıdır. Bu oran parçaların taşımada ya da bekleyerek geçirdiği zamanları göstermektedir (Gross ve McInnis, 2003). Bu analiz ile bulunan oranlar Şekil 3’de verilmiştir. Oranlardan görülebileceği gibi, örneğin “h” parçası

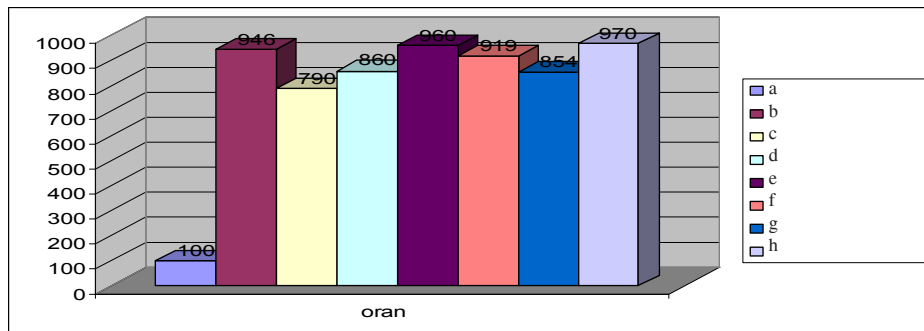
makinede işlem gördüğü 1 birimlik zamana karşılık 969 birimlik zamanını stokta ya da taşıma işlemlerinde geçirir. Bu da fabrika için kayıplar oluşturur. “a” parçası için bu oranın az olmasının nedeni kendine özel bir taşıma sistemine sahip olmasıdır.

Gereksiz taşımalar: Parçalardan bazılarının işlendiği makineler fabrika yerleşim bozuklukları yüzünden üretim alanı içinde farklı yerlerde bulunmaktadır. Bu makinelerde işlenecek parçalar önce bir makina grubuna, daha sonra farklı yerlerdeki makina gruplarına taşınmaktadır. Daha kısa mesafedeki makina gruplarına direkt olarak taşınmamaktadır.

Taşımadaki koordinasyon eksikliği: Mevcut durumda parçalar birbirinden bağımsız olarak taşınmaktadır. Aynı stok alanına gidecek farklı parçaların taşınması



Şekil 2. 2005 Yılına Ait Yarı Mamül Miktarları



Şekil 3. Çevrim Zamanı / Katma Değer Zamanı Oranları

farklı kişiler/araçlar tarafından yürütülmektedir. Taşıma yapanlar dönüşlerinde taşıyabilecekleri farklı parçalar olmasına rağmen o parçadan sorumlu olmadıkları için boş olarak dönmektedirler. Bu da taşıma mesafesini, dolayısıyla taşıma maliyetini artırmaktadır.

Uygun yerleşmemiş stok alanları: Son dönemlerde yapılan kapasite artırımından sonra yerleşim sorunlarıyla karşılaşmıştır. Bazı stok alanları makinelerin çok uzağına kurulmuştur. Bu da stok alanlarından makinalara ikinci bir taşıma işlemine neden olmaktadır. Bazı stok alanları ise birbirlerine çok yakın olduğundan çok büyük alanlar işgal edilmekte ve bu sebeple taşıma araçlarının geçişi zorlaşmaktadır.

Operatörlerin üretime odaklanamaması: Mevcut taşıma sisteminde makina başındaki operatörler malzeme ihtiyaçlarını karşılamak üzere işlerini bırakmakta ve stok alanlarından malzeme çekmeye gitmektedir. Operatörlerin taşıma işini üstlenmesi üretimin durmasına ve makinelerin boş kalmasına sebep olmaktadır.

Problem belirtileri incelendiğinde, bazı sorunların yerleşim problemlerinden kaynaklandığı görülmüştür. Ancak yerleşim planını değiştirmek çok büyük maliyetlere yol açacağı için şirket tarafından yapılamayacağı bildirilmiştir. Tespit edilen sorunlar taşıma sistemini değiştirerek kısmi olarak çözülmeye çalışılmıştır. Sonuç olarak problem “çekme sisteminin gereksinimlerini yerine getirmeyen ve standart olmayan taşıma sistemi ile yüksek yarı işlenmiş mamül stok seviyeleri” olarak tanımlanmıştır.

LİTERATÜR TARAMASI

Problem üretim sistemiyle bağlantılı olduğundan öncelikle itme ve çekme sistemleri detaylı olarak incelenmiştir. İki sistemin de avantaj ve dezavantajları dikkate alındığında problemi çözmek için en uygun sistemin çekme sistemi olduğu belirlenmiştir. Çekme sisteminin en belirgin örneği tam zamanında üretim sistemleridir. Tam zamanında üretim sistemleri, problem belirtileri arasında bulunan çevrim zamanının katma değer zamanına oranını en aza indirmeyi hedefler

(Gross ve McInnis, 2003). Bu sebeple, bu çalışmada özellikle tam zamanında üretim sistemlerinde taşıma sistemi tasarımı konusu ele alınmıştır.

Çekme esaslı tekrarlı dağıtım sistemleri çalışmanın ana konusu olup firmanın talep ettiği dağıtım sistemidir. Çekme esaslı tekrarlı dağıtım sistemi belirli bölgedeki tedarikçilerden genellikle tek araçla sık sık ve az miktarda parça alımına dayanır. Genellikle fabrika dışındaki tedarikçilerden parça alımı için uygulanıyor olarak bilirse de fabrika içi uygulamaları da vardır (Tanchoco, 1994). Fabrika içi stok noktalarını tedarikçi, montajı ise müşteri olarak ele alıp çekme esaslı tekrarlı dağıtım sistemi tasarımı yapmak mümkündür. Tasarım üç aşamadan oluşur:

- Rota planlamasının yapılması
- Araçların sefer sayısının belirlenmesi
- Araçların optimum şekilde yüklenmesi

Çekme esaslı tekrarlı dağıtım sistemi tasarımı için rotalama şarttır ve problemin bir parçası olarak araç rotalama problemleri ele alınmıştır. Vaidyanathan (1999)'in çalışmasında tam zamanında üretim sistemlerinde fabrika içinde parçaların taşınması için araç rotalama problemi çözülmektedir. Araç rotalama probleminin çözümü zaman alıcı ve zor olduğu için alternatif yöntemler incelenmiştir. Araç rotalama problemi için kullanılan sezgisel çözümler ele alınmıştır (Nagy ve Salhi, 2005). Sonunda şirket için en uygun olan çözüm yaklaşımına karar verilmiştir.

ÖNERİLEN ÇÖZÜM YAKLAŞIMI

Çözüm yaklaşımı iki aşamadan oluşur. Birinci aşama bir matematiksel model ile rotaların belirlenmesidir. İkinci aşama ise simülasyon ile matematiksel modelden çıkan sonucun ve alternatiflerin değerlendirilmesidir.

Rotaların belirlenmesi için kullanılacak en uygun modelin indirmeli-bindirmeli araç rotalama modeli olduğu düşünülmüştür (Toth ve Vigo, 1990). Parçaları taşıyan araçlar belli bir rotayı izler ve stok

noktalarında indirme ve bindirme yapar. Başlangıçta bütün stok noktalarını dikkate alarak rota oluşturacak bir model kurulmuştur. Bu matematiksel modelde çok sayıda stok noktası olduğu için çok fazla sayıda alternatif rota mevcuttur. Ayrıca üretim alanının ve araçların fiziksel özelliklerinden kaynaklanan kısıtların da modele eklenmesi gerekmektedir. Çok sayıda değişkenin ve kısıtın olduğu bu matematiksel modelin kısa sürede çözülmesi oldukça zordur. Bu faktörler göz önüne alınarak bu modelin kullanımından vazgeçilmiştir.

Noktaları gezerek rota belirleyecek modelin kurulmasının zor olacağını anlaşılmaması ve yerleşim özelliklerinin aracın gidebileceği yolları kısıtlaması nedeniyle sadece aracın geçebileceği yolların dikkate alındığı bir modelin kurulması düşünülmüştür. Bu modelde stok noktaları araçlara atanarak araç rotaları oluşturulur. Öncelikle aynı stok alanında bulunan farklı

parçaları ele alabilmek amacıyla her parça için farklı stok noktaları belirlenmiştir. Aracın gidebileceği üç ana yol belirlenmiş ve şirket istekleri doğrultusunda iki aracın kullanılmasına karar verilmiştir. Belirlenen yolların ikili kombinasyonları alternatif yollar olarak alınmıştır. Aracın iki farklı yönde gidebileceği de düşünülerek 18 ikili kombinasyon elde edilmiş, ancak üretimin yönünün saat yönünün tersi şeklinde olması ve bazı kombinasyonların tüm noktalara uğramaması nedeniyle sadece 4 kombinasyon geçerli bulunmuştur. Yollar belirlendikten sonra yol üzerinde olmayan stok noktaları en az mesafe kriteri göz önünde bulundurularak yollara taşınmıştır. Yeni noktaların yerleri Şekil 4'de görülebilir. Dört yol kombinasyonuna noktaların atanması için aşağıda verilen matematiksel model ayrı ayrı çözülmüştür. Elde edilen dört çözüm maliyet açısından karşılaştırılıp en iyisi seçilmiştir.



Şekil 4. Aracın geçebileceği yollar ve bu yollara taşınmış stok alanları

MATEMATİKSEL MODEL

Rota belirlemek için kullanılan model, doğrusallaştırılmış bir karışık tamsayı programlama modelidir. Model, toplam günlük taşıma ve yarı işlenmiş mamül stok tutma maliyetini en aza indiren rotalar verir. Araçların ne kadar sürede bir tur atacağı (çevrim zamanı), hangi stok noktalarına uğrayacakları, stok noktalarında ne kadar güvenlik stoku tutulacağı ve stok alanlarından hangi parçaları alacakları model tarafından belirlenir. Modelin kurulum aşamasında ele alınan varsayımlar aşağıdaki gibidir.

Stok noktaları:

- Aracın geçebileceği yollar üzerinde olmayan noktalarının yola olan en az uzaklığa göre bu yollara taşındığı kabul edilir.
- Stok noktasına parça iten ya da çeken makinaların üretim hızları sabit olarak belirlenir. Bunun sebebi fabrikanın tam kapasiteye yakın çalışması ve gelecekte de böyle çalışmak istemesidir. Makina hızları fabrikanın tam kapasitede çalıştığı varsayılarak bulunur.
- Stok noktasından parça çeken makinaların talepleri negatif talep, parça itenlerinki ise pozitif talep olarak ele alınır. Bu işlem taşıma araç kapasitesinin kontrolünü kolaylaştırmak için yapılır.
- Aynı alanda stoklanan farklı parçalar için farklı stok noktaları belirlenir. Bu stok noktaları arası mesafeler sıfır olarak alınır.
- Bir noktaya sadece bir araç servis verebilir.
- Ortak rota üzerinde olmayan noktalar kendi rotasına atanır.

Stok miktarı ve maliyetler:

- Bir tur başına bulunan ortalama yarı mamül miktarının gün içinde değişkenlik göstermediği kabul edilir.
- Stok noktalarındaki mamulün maliyeti (veya katma değeri) “gördüğü proseslerin toplam zamanı/bitmiş enjektörün gördüğü proseslerin toplam zamanı” oranına bağlıdır. Gizlilik nedeniyle şirket tarafından sağlanmayan yarı işlenmiş mamül pa-

rasal değerleri her stok noktası için belirlenen bu oranın bitmiş enjektör değerine çarpımı sayesinde elde edilebilir.

- Yarı işlenmiş mamül stoklama maliyeti tutulan mamulün değerini banka faizinde değerlendirilmesiyle bulunmuştur.

Yollar:

- Girilebilecek yollar fiziksel kısıtlar göz önüne alınarak belirlenir.
- Yol her zaman müsait kabul edilir, trafik yoktur.
- Her çevrim başına düşen birim taşıma maliyeti sabittir.

Araçlar:

- Araç hızı sabittir.
- Her araç sadece bir rotada hizmet verebilir.
- İki adet araç kullanır. (Üç aracın trafiği artıracığı, tek aracın ise talebi karşılayamacağı düşüncesi ile iki araç kullanımı şirket tarafından zorunlu kılınmıştır.)
- Araçlar bozulmaz.

Taşıma kapları:

- Malzeme taşınan kapların hacimleri sabittir.
- Malzeme taşınan kapların kapasiteleri sabittir.

Modelin Formülasyonu

Endeksler

m stok alanı, $m \in \{1,2,\dots,7\}$

i,j stok noktası, $i,j \in \{1,2,\dots,112\}$

r rota veya araç, $r \in \{1,2\}$

k bir çevrimdeki 5

dakikalık zaman dilimi sayısı, $k \in \{1,2,\dots,23\}$

Kümeler

N_m m stok alanında bulunan stok noktalarının kümesi

T	ambardan parça çeken stok noktalarının kümesi	C	çevrim başına düşen taşıma maliyeti (enjektör sayısı)
B	birbirlerine parça iten ya da birbirlerinden parça çeken noktaların kümesi, (i,j) çiftlerinden oluşur.	W_i	i stok noktasındaki mamülün birim değeri (enjektör sayısı)
X_{ir}	$X_{ir} = \begin{cases} 1 & \text{stok noktası } i \text{ rota } r \text{ ye atanırsa} \\ 0 & \text{atanmazsa} \end{cases}$	F_m	stok alanı m içinde bulunan stok noktaları için sabit indirme-bindirme süresi (saniye)
Y_{mr}	$Y_{mr} = \begin{cases} 1 & m \text{ kümesi içindeki herhangi bir stok noktası rota } r \text{ ye atanırsa} \\ 0 & \text{atanmazsa} \end{cases}$	P	kaç çevrimlik talep kadar güvenlik stoku tutulacağı
	<u>Karar Değişkenleri</u>	f	birim başına düşen günlük yarı mamül tutma maliyeti
S_{ir}	r rotasına atanmış i stok noktasında tutulacak güvenlik stoku miktarı	d_i	i stok noktasının birim zamandaki talep miktarı
D_{ir}	r rotasına atanmış i stok noktasındaki bir çevrimlik talep miktarı	l_i	i stok noktasındaki parça için birim indirme-bindirme zamanı (saniye)
L_{ir}	r rotasına atanmış i stok noktasındaki miktara bağlı (değişken) bir çevrimlik indirme-bindirme zamanı (saniye)	v_i	i stok noktasındaki birim parça hacmi (cm^3)
Z_{kr}	günlük çevrim sayısını belirleyen değişken	Cap_r	r rotasında hizmet veren aracın kapasitesi (cm^3)
	<u>Parametreler</u>	M	çok büyük bir sayı
T_r	rota r için yolda geçen zaman (saniye)		Modelin amaç fonksiyonu ve kısıtları aşağıdaki gibidir:

Enazla

$$z = \sum_r \sum_i D_{ir} \cdot W_i \cdot f / 2 + \sum_r \sum_i S_{ir} \cdot W_i \cdot f + C \cdot \left[\sum_k \sum_r Z_{kr} \cdot (24 \cdot 60 / ((k+1) \cdot 5)) \right] \quad (0)$$

Kısıtlar

$$\sum_r X_{ir} = 1 \quad \forall i \quad (1)$$

$$X_{ir} = X_{jr} \quad \forall (i,j) \in B, \forall r \quad (2)$$

$$M \cdot X_{ir} \geq S_{ir} \quad \forall i, \forall r \quad (3a)$$

$$M \cdot X_{ir} \geq L_{ir} \quad \forall i, \forall r \quad (3b)$$

$$M \cdot X_{ir} \geq D_{ir} \quad \forall i, \forall r \quad (3c)$$

$$M \cdot Y_{mr} \geq \sum_{i \in N_m} X_{ir} \quad \forall r \quad (4)$$

$$L_{i1} + L_{i2} = (D_{i1} + D_{i2}) \cdot l_i \quad \forall i \quad (5)$$

$$D_{ir} + M \cdot (1 - X_{ir}) \geq \left[\sum_{j=1}^{112} L_{jr} + T_r + \sum_{m=1}^7 (Y_{mr} \cdot F_m) \right] \cdot d_i \quad \forall i, \forall r \quad (6)$$

$$S_{ir} + M \cdot (1 - X_{ir}) \geq \left[\sum_{j=1}^{112} L_{jr} + T_r + \sum_{m=1}^7 (Y_{mr} \cdot F_m) \right] \cdot d_i \cdot P \quad \forall i, \forall r \quad (7)$$

$$\left[5 \cdot k - M \cdot (1 - Z_{kr}) \right] \cdot 60 \leq \sum_{j=1}^{112} L_{jr} + T_r + \sum_{m=1}^7 (Y_{mr} \cdot F_m) \quad \forall r, \forall k \quad (8a)$$

$$\left[5 \cdot (k + 1) + M \cdot (1 - Z_{kr}) \right] \cdot 60 > \sum_{j=1}^{112} L_{jr} + T_r + \sum_{m=1}^7 (Y_{mr} \cdot F_m) \quad \forall r, \forall k \quad (8b)$$

$$\sum_{k=1}^{23} Z_{kr} = 1 \quad \forall r \quad (8c)$$

$$\sum_{j=1}^i D_{jr} \cdot v_j + \sum_{j \in T} D_{jr} \cdot v_j \leq Cap_r \quad \forall i, \forall r \quad (9)$$

$$X_{ir} \in \{0,1\}, Y_{mr} \in \{0,1\}, Z_{kr} \in \{0,1\} \quad \forall i, \forall m, \forall k, \forall r \quad (10)$$

Amaç fonksiyonu (0), günlük taşıma ve yarı işlenmiş mamul stok maliyetlerini en aza indirir. İlk iki terim günlük yarı işlenmiş mamul stok maliyetidir. Bir noktaya taşınan miktarların yarısı ile güvenlik stoku miktarı toplamı gün içinde tutulan ortalama yarı işlenmiş mamul stokunu belirler. Son terim ise çevrim zamanlarının düştüğü zaman aralığından yola çıkarak gün boyu yapılan çevrim sayısını bir çevrimin birim maliyetiyle çarparak günlük taşıma maliyetini belirler. Amaç fonksiyonunun değeri enjektör sayısı cinsindedir.

Kısıt (1) her stok noktasının bir rotaya atanmasını sağlar. Kısıt (2) birbirlerine parça iten ya da birbir-

lerinden parça çeken stok noktalarının aynı rotaya atanmasını sağlar. Üçüncü kısıt kümesi, r rotasına atanmayan stok noktasının güvenlik stoğunun (3a), toplam indirme-bindirme zamanının (3b) ve toplam talebinin (3c) sifıra eşit olmasını sağlar. Kısıt (4) N_m kümesi içindeki stok noktalarının aynı rotaya atanması sonucunda kümenin içinde bulunduğu stok alanı için tek bir indirme-bindirme zamanı belirlenmesini sağlar. Kısıt (5) her stok noktası için toplam miktara bağlı (değişken) indirme-bindirme süresinin bulunmasını sağlar. Kısıt (6) bir stok noktasındaki toplam talebi, atandığı rotanın çevrim süresi ile stok noktasındaki birim zamandaki talebin çarpımına eşitler. Kısıtın sağ

tarafında verilen çevrim süresi üç parçadan oluşmaktadır. Bunlar yolda geçen zaman T_r , rotaya atanmış stok noktalarında geçen değişken zamanların toplamı ve aynı alanda toplanmış stok noktalarının oluşturduğu stok alanında geçen sabit zamandır. Kısıt (7) bir stok noktasındaki güvenlik stoku miktarını, o stok noktasındaki birim talep ile noktanın atandığı rotanın çevrim süresinin çarpımını istenen güvenlik stoku katsayısıyla çarparak belirler. Sekizinci kısıt kümesi (8a, 8b, 8c) çevrim süresinin hangi beş dakikalık zaman aralığına düştüğünü belirler. Günde kaç çevrim yapılacağını bulmak modeli doğrusal olmayan hale getireceği için bu şekilde bir çözüm yoluna gidilmiştir. Z_{kr} değişkeni zaman aralığını belirler ve bu, amaç fonksiyonunda kullanılır. Kısıt (9) her stok noktasında araç kapasitesinin aşılmasını garanti eder. Araç içindeki mamülün hacmi iki kısımdan oluşur. İlk kısım rota boyunca indirilen-bindirilen parçaların hacmini ele alır, ikinci kısım ise ambardan parça tedarik eden stok noktalarına ait parçaları ambarda araca yükler. Kısıt (10) 0-1 değişkenleri tanımlar.

Modelin Çözümü ve Sonuçları

Belirlenen dört rota kombinasyonunun her biri için model CPLEX ile çözülmeye çalışılmış, fakat çok uzun çözüm süreleri gözlemlenmiştir. Günlük çevrim sayısını belirleyen kısıt, çevrim sürelerinin 24 saate kadar çıkabileceğini göz önünde bulundurarak kurulmuştur. Çevrim sürelerinin gerçekte bu kadar uzun olmayacağı göz önünde bulundurularak çözüm aralığı iki saat ile sınırlanmış ve dört kombinasyon için ayrı

ayrı çözümler elde edilmiştir. Çözümler 3-4 dakika gibi kısa sürelerde elde edilmiştir. Sonuçlar Tablo 1'de verilmiştir. Tüm maliyetler günlük olup enjektör sayısı cinsindedir.

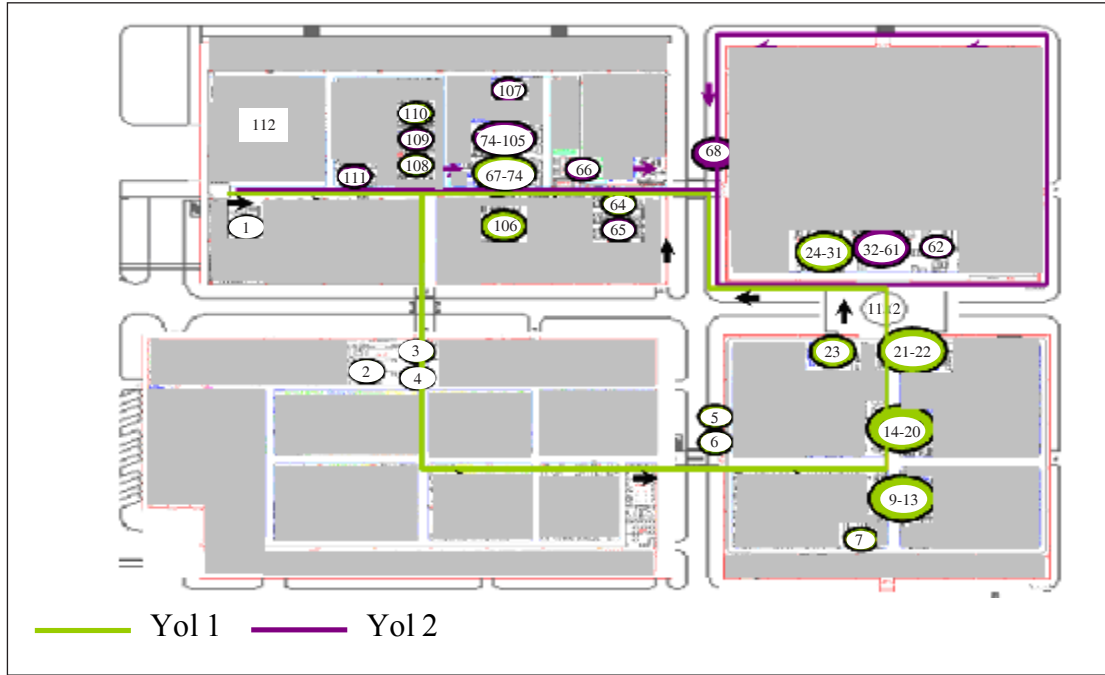
Toplam maliyetler incelendiğinde en az maliyeti veren 1-2 rota kombinasyonudur. Rota kombinasyonu 1-2'nin operasyonel anlamda da avantajları bulunmaktadır. Diğer rota kombinasyonlarıyla karşılaştırıldığında araçların karşılaşma olasılığının en az olması, rotalar üzerinde geçişe izin veren bir çok noktanın bulunması bu çözümün en iyi alternatif olarak seçilmesini sağlamıştır. Bu çözümde yapılan atamalar Şekil 5'te yer almaktadır.

Elde edilen çözümün toplam yarı işlenmiş mamul stok maliyeti, taşıma maliyeti, kat edilen yol ve taşıma ile uğraşan operatörlerin maliyetleri bakımından mevcut sistemle karşılaştırılması Tablo 2'de verilmiştir. Tüm maliyetler enjektör sayısı cinsindedir.

Tablo 2'de görüldüğü gibi modelden çıkan çözüm yarı işlenmiş mamul stok maliyetlerinde önemli derecede iyileşmeler sağlarken toplam taşıma maliyetinde küçük bir artışa neden olmuştur. Taşıma maliyetindeki artış yarı işlenmiş mamul stok maliyetini azaltmak için yapılan sık ziyaretlerden kaynaklanır. Gün içinde daha fazla çevrim yapıldığından taşıma maliyeti artmasına rağmen yüksek yarı işlenmiş mamul stok maliyetleri azaltılarak toplam maliyetlerde günlük 20 enjektör değerine varan yaklaşık %66'lık bir iyileşme gözlenmiştir. Elde edilen çözüm değişik senaryolar için simülasyon ortamında denenmiştir.

Tablo 1. Modelin çözümleri

Rota	Toplam maliyet	Yarı işlenmiş mamul stok maliyeti	Taşıma maliyeti	Birinci rota (araç) çevrim süresi (dakika)	İkinci rota (araç) çevrim süresi (dakika)	Kat edilen mesafe (m)
1-2	5,79	4,59	1,20	27,46	15,01	69409,22
1-3	6,64	5,65	0,99	21,07	30,93	67851,57
2-3	7,03	5,90	1,13	15,00	33,78	69480,04
3-3	6,92	6,03	0,89	31,96	25,86	66975,41



Şekil 5. 1-2 rota kombinasyonu için çözülen matematiksel modelden çıkan sonuç

Tablo 2. Mevcut durum ile model çıktısının karşılaştırması

Mevcut durum	
Toplam mesafe (m)	64541,00
Araç maliyeti	0,71
Operatör maliyeti	3,53
Toplam taşıma maliyeti	4,24
Yarı işlenmiş mamül stok maliyeti	25,53
Toplam maliyet (enjektör)	29,77

Model çıktısı	
Toplam mesafe (m)	69409,22
Araç maliyeti	1,20
Operatör maliyeti	4,44
Toplam taşıma maliyeti	5,64
Yarı işlenmiş mamül stok maliyeti	4,59
Toplam maliyet (enjektör)	10,23

SİMÜLASYON MODELİ

Matematiksel modelden çıkan sonuçların simülasyon ortamında değerlendirilmesinin nedenleri aşağıdaki gibidir:

- Simülasyon önerilen taşıma sisteminin ve değişik alternatiflerin denenmesi için kullanılacak en masrafsız araçtır.

- Simülasyon modeli şirkete en uygun taşıma sisteminin belirlenmesi için "sanal bir fabrika" sunar (Van Norman, 1995).
- Taşıma sisteminin diğer sistemlerle etkileşiminin açıkça görülebilmesini sağlar.
- Tasarım aşamasında elde edilebilecek bilgiler ileride karşılaşılabilecek sorunları öngörmeyi sağlar.

- Modelde yapılan ufak değişikliklerle birçok alternatif test edilebilir ve sistemin işleyişi üzerindeki etkileri rahatça görülebilir (Upendram ve diğerleri, 1997).

Matematiksel modelde kullanılan maliyet kriterine ek olarak simülasyon modelinde farklı değerlendirme kriterleri de ele alınmıştır. Bu kriterler, yarı işlenmiş mamül stok seviyeleri, trafik yoğunluğu, taşıma araçları kullanım oranları, taşıma sisteminin beslediği makinaların kullanım oranları ve ortalama tur zamanlarıdır.

Ayrıca, matematiksel model ile denenemeyecek olan, üretimin kontrolünün barkod sistemi ile yapılması gibi alternatiflerin değerlendirilmesi de simülasyon sayesinde sağlanmıştır.

Modelin Kurulması

Simülasyon modelindeki varsayımlar şunlardır:

- Sadece stok alanına parça iten ya da stok alanından parça çeken makineler modelde yer almıştır. Taşıma sisteminin çalışma performansı değerlendirildiği için ara makineler göz önünde bulundurulmamıştır.
- Araç hızı sabittir ve araç bozulmaz.
- Bazı paralel makina grupları tek bir makina olarak ele alınmıştır. Bu sanal makinanın üretim hızı paralel makinelerin hızları toplamına eşittir.
- Taşıma kabı cinsinden üretim yapıldığı varsayılmıştır. Makina üretim hızları da taşıma kaplarının içinde bulundurduğu miktara göre hesaplanmıştır.
- Üretim kanban kartları sayesinde sağlanır, kartlar araç tarafından taşınır.

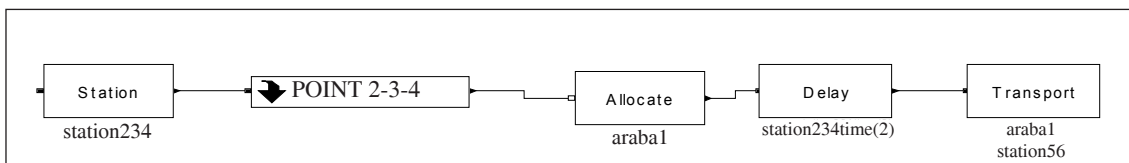
- Fabrikada 24 saat üretim yapılır.

ARENA ile modelleme sürecinde kurulan son modele karar verinceye kadar birçok alternatif denenmiştir. Modelde öncelikle, parça taşınmasından bağımsız olarak, kanban kartlarının kontrolü için aracın tüm stok noktalarına uğraması sağlanmalıdır. Bu, her noktayı gezecek “dummy” olarak adlandırılan bir nesne (entity) tarafından sağlanır. Simülasyon modelinde daha az nesnenin gezmesini sağlamak için taşıma işlemi ve üretim, parçaların taşındığı kaplar cinsinden belirlenmiştir. Kanban kartlarının taşınması araç tarafından yapılır ve bu kartlar gidecekleri stok noktasında kontrol edilir. Özetle modelde her stok noktası bir istasyon olarak belirlenir ve her istasyona üç tip nesne gelir (dummy, parça, kart). Üçü de her istasyonda indirilmeli ve gideceği istasyona göre geri bindirilmelidir. Her istasyonda kontrolü sağlayabilmek için her nesneye dört tane özellik atanır. Bunlardan “Tip”, istasyona gelen parçanın tipini belirtir, “Dest”, taşınacak kartın ya da parçanın gideceği istasyonu belirler, “Cardtype”, kartlara atanır ve parçanın hangi makineden çekileceğini belirtir, “Whichmac” ise taşınan parçanın hangi makineye götürüleceğini belirtir.

Örnek istasyon modeli:

Bir istasyon ve elemanları ARENA'dan alınan görüntülerle anlatılır. Şekil 6'da bir istasyonun genel yapısı mevcuttur.

Bu bir stok noktasını veya durağı temsil eden istasyonun genel görünümüdür. İçinde durağın ismiyle belirtilen bir alt modeli barındırır. Sonunda ise araca yüklemeyi sağlayan ve yüklemeye geçen zamanı temsil eden üç blok bulunur. Bir istasyonu iyi anlamak için alt modelin mantığının iyi anlaşılması gerekir.



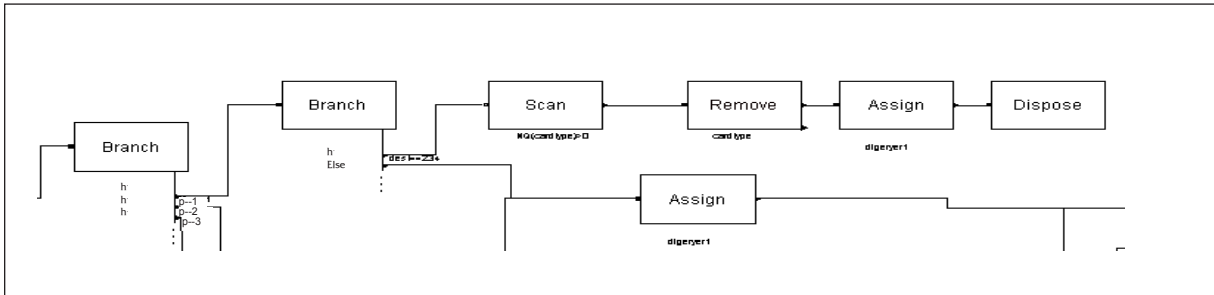
Şekil 6. Örnek istasyon modeli

Alt model delay-free-split kombinasyonu ile başlar. “Delay” bloku indirilmede geçen zamanı temsil eder, “free” aracı boşaltır ve “split” ise araca gruplanarak yüklenmiş tüm nesnelere ayrıştırır.

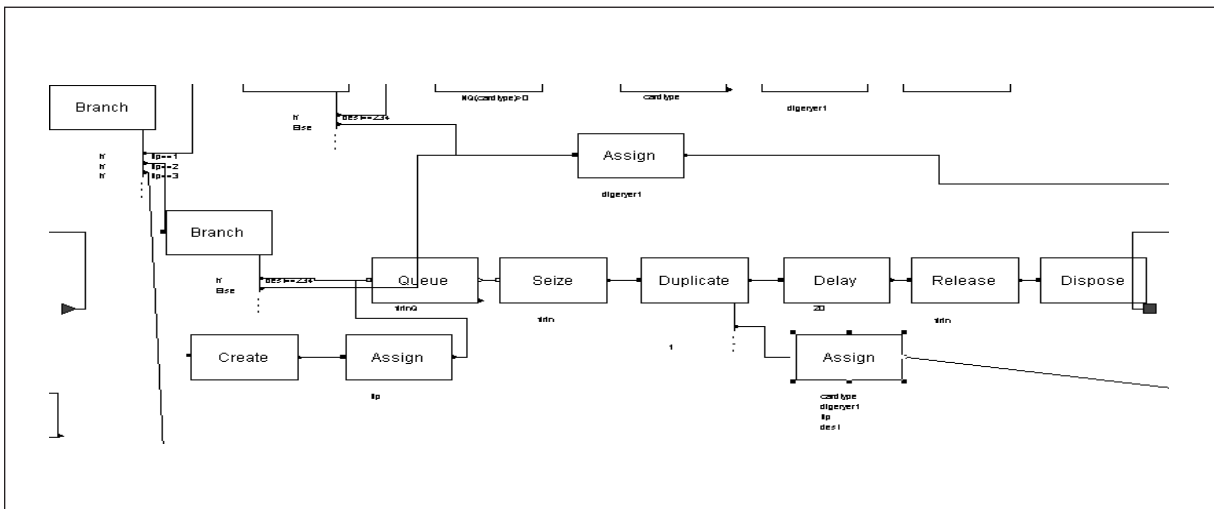
Nesneler indirildikten sonra Şekil 7’de görülen ilk “branch” blokuyla tiplerine göre dummy, parça veya kart olarak ayrılır. Gelen parça kart ise ikinci bir “branch” blokuyla kartın bu istasyonda inip inmeyeceği yani “dest” özelliği kontrol edilir. Eğer kartın ineceği istasyon orasıysa, kart bir “remove” blokuna girerek kendisine atanan “cardtype” na göre belirlenen parça tipini beklediği sıradan (queue) çıkarır. Bu parça başka bir sıraya sokularak taşınacak diğer nesnelere birlikte gruplanır. Eğer kartın ineceği yer bu istasyon değilse, doğrudan taşınacakların sırasına girer.

Eğer gelen nesne işlenecek parça ise kart kontrolünde olduğu gibi gelen parçanın bu istasyona gelip gelmediği kontrol edilir (Şekil 8). Parçanın yeri bu istasyonsa, parçaya atanan “whichmac” özelliğine göre belirlenen makinanın önünde sıraya girer. Parça makinarya gireceği sırada kart çıkarması gerekir ve bu da makina öncesine koyulan “duplicate” blokuyla sağlanır. Parçanın kopyasına kart özelliği, gideceği yer ve hangi makinadan geldiği atanır ve taşınacakların sırasına konur. Eğer parça bu istasyona ait değilse, doğrudan taşınacakların sırasına koyulur ve araca geri yüklenmeyi bekler. Simülasyon başlangıcında makinaların önüne “create” blokları aracılığıyla sadece bir seferliğine parça yüklenir.

Gelen nesne “dummy” ise çok kısa bir süre için bekletilir, çünkü aracın ilerlemesi “dummy” parçasına



Şekil 7 İstasyonun kart kontrolü yapan parçası



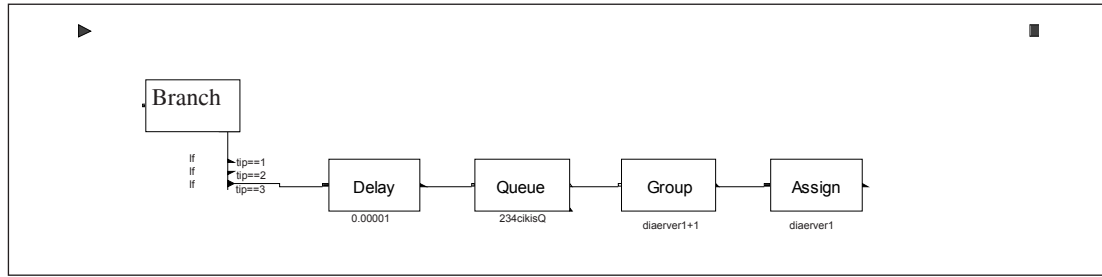
Şekil 8. İstasyonun parça kontrolü yapan parçası

bağlıdır (Şekil 9). Bu sürede simülasyon kart ve parça nesneleri için işlemlerini tamamlar, taşınacak parçalar taşınacakların sırasına girer ve en son “dummy” taşınacakların sırasına girdiğinde nesnelere gruplanır ve araca yüklenmeye hazır hale gelir. Parçalar “dummy” nesnesini beklemek zorundadır, çünkü aracı boş da olsa gezdiren ve kartların kontrolünü sağlayan bu nesnedir.

Model Çıktılarının Analizi

Simülasyon sonucunda ambarda parça hazırlama sürelerinin çok uzun olduğu görülmüştür (Akıllıoğlu ve diğerleri, 2006). Bu süreleri azaltmaya yönelik alternatifler sunulmuş, bunun dışında güvenlik stoku miktarları ve çevrim sürelerini değiştirerek çözümler

bulunmaya çalışılmıştır. Model ısınma zamanı olarak alınan 1.73 günden sonra bir hafta süreyle çalıştırılmış ve 15 replikasyon yapılmıştır. Modeldeki en temel performans ölçütü toplam yarı işlenmiş mamül stok maliyeti olarak ele alınmış ve çıktı analizi bu maliyete göre yapılmıştır. Yapılan çıktı analizleri sonucu dört alternatif belirlenmiştir. Bunlar kısaca, gerekli bilgi akışı için kart sisteminin kullanılması (Alternatif 1), ambarda üç işçinin paralel parça hazırlaması (Alternatif 2), bilgi akışı için kart yerine barkod sisteminin kullanılması (Alternatif 3) ve taşınacak malların önceden belirlenip taşıma için ambarda hazır bulunması (Alternatif 4) alternatiflerinden oluşmaktadır. Alternatiflere ait ortalama değerler Tablo 3’te görülmektedir.



Şekil 9. İstasyonun “dummy” kontrolü yapan parçası

Tablo 3. Alternatiflerin karşılaştırması

	Alternatif 1	Alternatif 2	Alternatif 3	Alternatif 4
Birinci Araç (rota) Çevrim Zamanı (sn)	2000	2400	2000	2000
İkinci Araç (rota) Çevrim Zamanı (sn)	1400	1800	1400	1400
Birinci Araç Kullanım oranı	0,979	0,821	0,979	0,979
İkinci Araç Kullanım oranı	0,960	0,750	0,968	0,962
Ortalama Hazırlama Zamanı(rota1)(sn)	660	418	128	0
Ortalama Hazırlama Zamanı(rota2)(sn)	563	286	135	0
Trafik(ortalama karşılaşma sayısı)	21,2	18,2	20,6	20,9
Toplam Değişken Maliyet(\$/ay)	6553,14	6533,94	5469,9	5376,3
Toplam Sabit Maliyet(\$)	53130	53130	85130	53130
Başabaş Noktası (ay)	4,70	4,69	6,87	4,26

Maliyet açısından en iyi alternatif sonuncusu (Alternatif 4) gibi gözükse de uygulama açısından bakıldığında üretim kontrolünün barkod sistemiyle sağlanması alternatif (Alternatif 3) şirket istekleri doğrultusunda daha cazip görünmektedir.

SONUÇLAR VE BEKLENTİLER

Bu projede, dizel enjeksiyon sistemleri üreten bir şirket için fabrika içi çekme esaslı tekrarlı dağıtım sistemi tasarımı için bir yöntem sunulmuştur. Sunulan yöntem, matematiksel model ve simülasyon modeli ile desteklenmiş olup, birbiri ile çelişen amaçlar arasındaki ilişkiyi görme fırsatını sağlamaktadır.

Hedeflenen amaçlar için belirlenen taşıma sistemi firmaya birçok yönden fayda sağlayacaktır. Öncelikle, taşıma işinin daha sık yapılması yarı işlenmiş mamul stok maliyetini azaltacaktır. Taşıma sıklığının artışı taşıma masrafını artıracak gibi görünse de sık taşıma işinin daha az araçla yapılması toplam taşıma masrafında eskisine göre kar sağlayacaktır. Ayrıca sık dolaşım trafiği artıracak gibi gözükmemektedir, ancak öncesine göre daha az araç kullanılacağı göz önünde bulundurulursa trafik eskisinden daha fazla olmayacaktır. Standardize edilmiş rotalar ve minimum araçla yalın bir üretim sağlanmış olacaktır.

Yeni ve yabancı olunan bir sisteme geçiliyor olması sebebiyle önerilen yöntemin tam verimliliği başlangıçta elde edilmeyebilir. Ancak takip eden zamanda

yöntemin anlaşılması ile sistemin performansında artışlar gözlenecektir.

KAYNAKÇA

1. Akıllıoğlu H., Halıcı A., Baydoğan M.G., Canbaz D., Bolatlı Y., 2006. Design of an Internal Milk Run Distribution System for a Diesel Injector Manufacturer. Sistem Tasarımı Proje Raporu, ODTÜ Endüstri Mühendisliği Bölümü, Ankara.
2. Gross J.M. ve McInnis K.R., 2003. Kanban Made Simple: Demystifying and Applying Toyota's Legendary Manufacturing Process. AMACOM, New York.
3. Nagy, G. ve Salhi, S., 2005. Heuristic Algorithms for Single and Multiple Depot Vehicle Routing Problems with Pickups and Deliveries. European Journal of Operational Research, 162, 126 – 141.
4. Tanchoco, J.M.A., 1994. Material Flow Systems in Manufacturing. Chapman & Hall, New York.
5. Toth, P. ve Vigo, D., 1990. The Vehicle Routing Problem. Society for Industrial and Applied Mathematics, Philadelphia.
6. Upendram S. ve Ulgen, O.M., 1997. The Role of Simulation in Design of Material Handling Systems. Production Modeling Corporation.
7. Vaidyanathan, B.S., 1999. A Capacitated Vehicle Routing Problem for Just-in-time Delivery. IIE Transactions, 31, 1083-1092.
8. Van Norman, 1995. Seven Reasons Material Handling Projects Fail. ASI brochure.