



Bir İç Lojistik Sistem Probleminin, Araç Rotalama Çözüm Yöntemleri ile İyileştirilmesi

Improvement of an Plant Logistics System Problem with Vehicle Routing Solution Methods

Seçil Kulaç¹ , Gültekin Çağıl¹ 

¹Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 54050, Sakarya, TÜRKİYE

Başvuru/Received: 11/11/2018

Kabul/Accepted: 14/05/2019

Son Versiyon/Final Version: 30/06/2019

Öz

Üretim Lojistiği, Tedarik Lojistiği ve Dağıtım Lojistiği'ne göre daha az çalışma yapılmış ve iyileştirmeye açık bir alandır. Bu çalışmayla amaçlanan; Yalın Üretim felsefesinin uygulandığı üretim ortamında taşıma maliyetlerini azaltan, katma değerli süreyi arttıran, kolay yönetilebilir, standardize edilmiş malzeme taşıma sistemi oluşturmaktır. Bu amaçla, fabrika içerisindeki yarı mamül dağıtım işlemi Araç Rotalama Problemi (ARP) olarak değerlendirilmiş ve bu problemin çözüm yöntemlerinden olan Clarke ve Wright Tasarruf Algoritması ve Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Problemi (KARP) matematiksel modeli kullanılarak yarı mamül dağıtım operatörünün minimum sürede çevrimini tamamlayacağı dağıtım rotaları belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar mevcut durum ile karşılaştırılmış ve en iyi sonucu Clarke ve Wright Tasarruf Algoritması'nın verdiği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler

“Üretim Lojistiği, Araç Rotalama Problemi (ARP), Clarke ve Wright Tasarruf Algoritması”

Abstract

Plant Logistics when compared to Inbound and Outbound Logistics is a less studied subject open to improvement. It is aimed to construct such a plant logistics structure in a lean manufacturing environment that enables less handling costs, increasing value added time and having an easily manageable and standardized material handling system. With this aim, semi-finished goods distribution in the factory is considered as a Vehicle Routing Problem (VRP). Distribution routes to be completed by the distribution operator in a minimum time using the Clarke and Wright Algorithm and the Capacity Limited Vehicle Routing Problem mathematical model, which are one of the VRP solution methods. The results were compared with the current situation and the best result was the Clarke and Wright algorithm.

Key Words

“Plant Logistics, Vehicle Routing Problem (VRP), The Clarke and Wright Algorithm”

1. Giriş

Rekabet ortamının geçmiş yıllara göre daha da arttığı günümüzde, tüm israflardan arınmayı hedefleyen yalın üretim yaklaşımı yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Bu yaklaşımda önemli israf kaynaklarından biri de malzeme taşıma işlemindeki kayıplardır. Bu kapsamda ön plana çıkan önemli konulardan biri yalın üretim ortamında lojistik sisteminin nasıl olması gerektiğidir. Bu durum, yalın lojistik olarak kaynaklarda yerini almaya başlamıştır (Kılıç, 2011).

Lojistik kavramı genellikle tedarikçi-tesis ve tesis- müşteri arasındaki taşıma olarak değerlendirilmektedir. Lojistiğin önemli bir boyutu da üretim lojistiği olarak da bilinen iç lojistik yönüdür (Kılıç, 2011).

Bu çalışmada bir fabrikadaki üretim içi yarı mamül dağıtım problemi dikkate alınmıştır. Fabrikanın Kablo Kesim Bölümü'nde üretilen yarı mamullerin montaj hatlarına dağıtım için periyodik malzeme taşıma işlemi yapan bir sistem bulunmamaktadır. Yarı mamullerin üretim makinelerinden toplama ve montaj hatlarına dağıtım işleminin aynı operatör tarafından yapılması operatörlerin yürüme mesafesinin fazla olmasına sebep olmaktadır. Ayrıca dağıtım rotalarının belirlenmesinde herhangi bir bilimsel yöntem kullanılmaması operatörlerin katma değersiz faaliyetler yapmasına sebep olarak taşıma maliyetlerini arttırmaktadır. Bu problemlerin çözümü için öncelikle yarı mamul toplama ve montaj hatlarına dağıtım işlemlerinin farklı operatörler tarafından yapılması planlanmıştır. İkinci aşamada montaj hatlarına dağıtım işlemi Araç Rotalama Problemi olarak değerlendirilmiş ve bu problemin çözüm yöntemlerinden olan Clarke ve Wright Tasarruf Algoritması ve Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Problemi (KARP) matematiksel modeli kullanılarak minimum mesafede gerçekleştirilebilecek yarı mamul dağıtım rotaları belirlenmiştir. Son olarak belirlenen dağıtım rotalarına göre makinelerden yarı mamul toplama işlemi standart hale getirilmiştir. Elde edilen sonuçlar mevcut durum ile karşılaştırıldığında önerilen sistemin taşıma aracının etkin kullanılmasını, katma değersiz faaliyetlerin ve taşıma maliyetlerinin azaltılmasını sağladığı görülmüştür.

Çalışmanın bundan sonraki kısmı genel olarak şu bölümlerden oluşmaktadır: ikinci bölümde, kaynak araştırmasına yer verilmiş, üçüncü bölümde ARP çözüm yöntemleri anlatılmış ve dördüncü bölümde ise uygulama kısmına yer verilmiştir. Son olarak çalışmada elde edilen bulgular sonuç bölümünde özetlenmiştir.

2. Kaynak Araştırması

İç lojistik sisteminin iyileştirilmesi ile ilgili hücreyel yerleşim ve hücreler arası akışlarla ilgili incelenen çalışmalarda genelde hücre içi taşımaların ön planda olduğu görülmüştür. Hücreler arası taşımalara ilişkin çalışmalar daha az sayıdadır. Bu noktada taşıma sayısını azaltıcı modeller geliştirilmiştir. Sezgisel modeller ağırlıklı olarak kullanılmakta, bununla birlikte melez modellere de sıklıkla rastlanılmaktadır. Literatürde daha az çalışma yapılan alan ise depo-istasyon, istasyon-depo ve istasyon-istasyon arası akışlardır. Yalın üretim ortamına ilişkin malzeme taşıma sistemlerinin modellenmesine yönelik benzetim çalışmaları da oldukça fazladır (Kılıç, 2011). İç lojistik süreçlerinin iyileştirilmesi ile ilgili incelenen çalışmaların bazıları aşağıda özetlenmiştir.

Kılıç (2011) tarafından yapılan çalışmada, üretim içi döngüsel sefer problemi sınıflandırılmış ve her sınıflandırmaya ilişkin modellemeler yapılmış, belirli bir sınıf için sezgisel ve alt sınır algoritmaları geliştirilmiştir. Çoban ve Güven (2011) fabrika içi lojistik süreçlerinin iyileştirilmesi amacıyla Matematiksel Modelleme Yöntemi'ni kullanmıştır. Kılıç ve Durmuşoğlu (2013) üretim içi malzeme taşıma sisteminde süreç içi stok ve taşıma maliyetlerini minimizasyonunu amaçlayan bir karışık tamsayılı matematiksel programlama modeli ve sezgisel yaklaşım önermişlerdir. Staab vd. (2016) simülasyon modeli geliştirerek fabrika içi malzeme taşıma sisteminin etkinliğini analiz etmiştir. Küçüköğlü vd. (2018) otomotiv sektöründe faaliyet gösteren bir fabrikada üretim içi malzeme taşıma probleminin çözümü için Matematiksel Modelleme Yöntemi'ni kullanmıştır. Toplam dolaşım mesafesinin ve hat yanı stok miktarının azaltılmasını sağlayacak karışık tamsayılı doğrusal programlama modeli geliştirmişlerdir.

Bu çalışma kapsamında incelenen diğer bir konu ise ARP'dir. Bu probleme ilişkin literatürde çok sayıda çalışma bulunmaktadır. ARP çözüm yöntemleri ile ilgili incelen literatürler aşağıda açıklanmaktadır.

Demircioğlu (2009) bir dağıtım firmasında homojen araçlı kapasite kısıtlı araç rotalama problemi çözümü için Tasarruf Algoritması'nı kullanmıştır. Yazgan (2014) talep ve kapasite kısıtlı optimizasyon problemi için Clarke ve Wright tasarruf algoritması ile en kısa yol yöntemini esas alan yeni bir melez algoritma geliştirmiştir. Karagül vd. (2016) Kapasite kısıtlı araç rotalama problemlerinde başlangıç rotalarının belirlenmesi için melez bir algoritma önermişlerdir. Kızıloğlu (2017) çalışmada stokastik talepli çok depolu ARP çözümü için Tasarruf Algoritması, En Yakın Komşu Arama Algoritması ve Rassal Arama Algoritması'nı kullanmıştır.

İncelenen çalışmalar içinde, üretim içi rotalamaya ilişkin çalışmaların azlığı dikkat çekmektedir ve genellikle depo ve istasyonlar arası hammadde dağıtım rotalarının belirlenmesine yönelik çalışmalar yapıldığı görülmektedir. Bu çalışmada iç lojistik sistemindeki istasyonlar arası yarı mamul taşıma problemi çözümü için Araç Rotalama Problemi çözüm yöntemlerinden yararlanılmıştır. Gerçek üretim ortamında yapılan bu çalışmanın bu açıdan literatüre katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

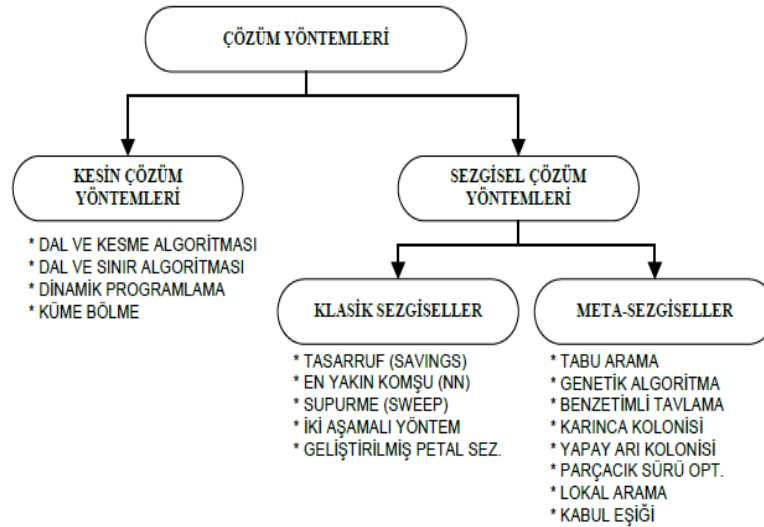
3. Materyal ve Yöntem

3.1. Araç Rotalama Problemi

Araç rotalama problemi (ARP), 50 yıldan fazla üzerinde çalışılan bir konudur. ARP ilk olarak Dantzig ve Ramser tarafından 1959 yılında çalışılmıştır. Clarke ve Wright 1964 yılında Dantzig ve Ramser'in yöntemini geliştirmiş ve klasik tasarruf metodunu önermişlerdir. Bundan sonra farklı ARP'lere çözüm bulmak için yüzlerce model ve algoritma önerilmiştir (Demircioğlu, 2009).

ARP, lojistik maliyetlerinin %50'sini oluşturan dağıtım faaliyeti içinde değerlendirilmektedir (Rushton, 2006). Bu bağlamda, ARP'nin analizi ve çözümler geliştirilmesi ile doğrudan işletmelerin lojistik maliyetlerinin azaltılmasına katkı sağlanmaktadır. ARP, zamanla farklı yapılaraya çevrilmiş ve bu yapılar yeni araç rotalama problem türleri olarak literatürdeki yerlerini almışlardır. ARP'nin başlıca türleri: kapasite kısıtlı (KARP), mesafe ve kapasite kısıtlı (MKARP), zaman pencereli (ZPARP), geri toplamalı (GTARP), dağıtım ve toplamalı (DTARP), açık (AARP), çoklu depo (ÇDARP), bölünmüş teslimatlı (BTARP), periyodik (PARP), heterojen filolu (HFARP) ve bulanık araç rotalama problemi (BARP) olarak ifade edilebilirler (Şahin, 2014).

Bu çalışmanın da temel konusu olan KARP'de, her aracın belirli bir kapasitesi vardır ve bu araçların kapasiteleri birbirine eşittir. Müşterilerin talepleri de araç kapasiteleri gibi önceden bellidir. Araçlar hareketine depodan başlar ve tekrar depoya dönerek rotalarını sonlandırırlar. Teslimatlar müşterilere tek seferde gönderilir (Yazgan, 2014). Problemin amacı her bir araç için düşük maliyet ve kapasite kısıtlarını aşmayan rota kümelerini oluşturmaktır. Rota ise, depodan başlayarak, müşteri ziyaret noktalarının bir araç tarafından ziyaret edilmesi ve tekrar başlangıç deposuna ulaşması ile elde edilen bir tur olarak tanımlanmaktadır. Bu turlarda her bir müşterinin yalnızca bir kez ziyaret edilmesi kısıtı da sağlanmalıdır (Karagöl, 2016). KARP için genel çözüm yöntemleri Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. KARP İçin Çözüm Yöntemleri (Şahin, 2014)

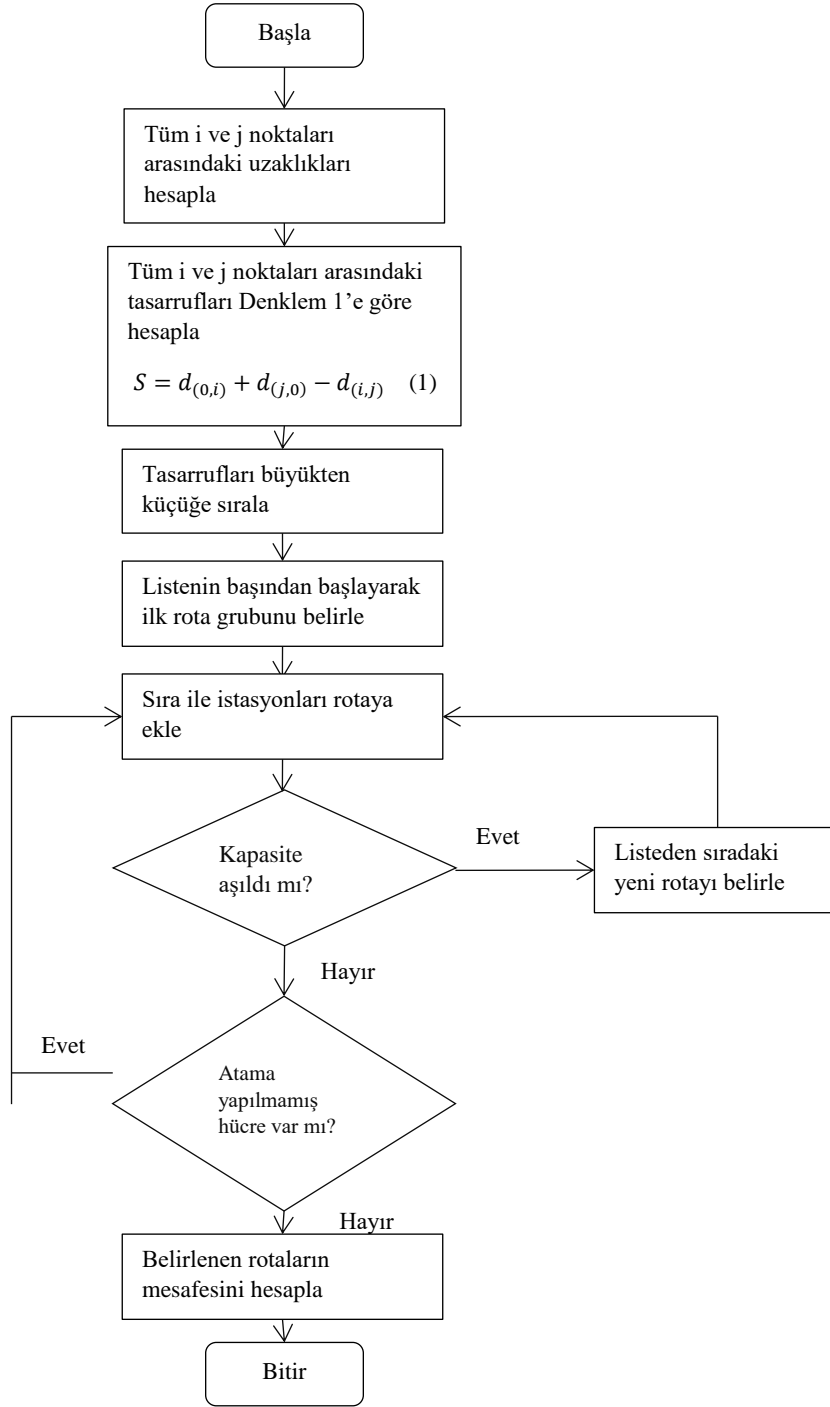
Bu çalışmada, fabrika içi yarı mamül dağıtım rotalarının belirlenmesi için KARP çözüm yöntemlerinden olan Clarke ve Wright Tasarruf Algoritması ve KARP matematiksel modeli kullanılmıştır.

3.2. Tasarruf Yöntemi

Clark ve Wright Tasarruf Algoritması en çok bilinen ARP sezgisel yöntemlerinden biridir. 1964'te Clark ve Wright tarafından geliştirilmiştir ve araç sayısının belirli olmadığı problemlere uygulanmaktadır (Şeker, 2007).

Tasarruf Algoritması'nın ardışık ve paralel olmak üzere iki versiyonu bulunmaktadır. Sıralı versiyonda, aynı anda bir rota tek bir rota inşa edilebilirken, paralel versiyonda ise aynı anda birden fazla rota oluşturulabilmektedir (Kızıloğlu, 2017).

Şekil 2'de Tasarruf Algoritması'nın akış diyagramı gösterilmiştir.



Şekil 2. Tasarruf Yöntemi Akış Diyagramı

3.3. KARP ve Matematiksel Modeli

Problemin amaç fonksiyonu ve kısıtlara ait matematiksel model aşağıdaki gibidir (Şahin, 2014).

$V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$ bağlantı noktaları $v_0 = \text{Depo}$,

d_{ij} : i müşterisinden j müşterisine olan mesafe, (KARP için $d_{ij} = d_{ji}$),

$K = \{k_1, k_2, \dots, k_m\}$ araç filosu ve m : toplam araç sayısı,

$Q = \{Q_1, Q_2, \dots, Q_m\}$ Araç kapasiteleri (KARP için $Q_1=Q_2=\dots=Q_m$),

q_i : i müşterisinin talep miktarı olmak üzere;

$x_{ij}^k \begin{cases} 1, & \text{eğer } k \text{ aracı } i \text{'den sonra } j \text{'y ziyaret ederse} \\ 0, & \text{aksi taktirde} \end{cases}$

$y_i^k \begin{cases} 1, & \text{eğer } i \text{ düğümüne } k \text{ aracı hizmet verirse} \\ 0, & \text{aksi taktirde} \end{cases}$

Amaç Denklemi:

$$\text{Min } \sum_{k \in K} \sum_{i,j \in V} d_{ij} x_{ij}^k \quad (2)$$

Kısıtlar:

$$\sum_{k \in K} \sum_{i \in V} x_{ij}^k = 1 \quad \forall i \in V \quad (3)$$

$$\sum_{j \in V} x_{ij}^k + \sum_{j \in V} x_{ji}^k = 1 \quad \forall i \in V, k \in K \quad (4)$$

$$\sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^n x_{0j}^k = K \quad (5)$$

$$\sum_{j \in V} x_{0j}^k = 1 \quad \forall k \in K \quad (6)$$

$$\sum_{j \in V} x_{j,n+1}^k = 1 \quad \forall k \in K \quad (7)$$

$$x_{ij}^k = 1 \Rightarrow y_i - q_i = y_j \quad \forall i, j \in K, \forall k \in K \quad (8)$$

$$y_0 = Q, 0 \leq y_i \quad \forall i \in V \quad (9)$$

$$\sum_{k=1}^m \sum_{i=1}^n q_i \sum_{j=0, i \neq j}^n x_{ij}^k \leq Q \quad k \in \{1, \dots, m\} \quad (10)$$

$$x_{ij}^k \in \{0, 1\} \quad \forall i, j \in V, \forall k \in K \quad (11)$$

Denklem (2), araçlarının dolaşacağı toplam mesafenin minimizasyonunu gösteren amaç fonksiyonudur. Denklem (3), her müşteriye bir aracın hizmet vermesini sağlar. Denklem (4), geri dönüşlerin engellenmesini sağlar. Denklem (5), tüm araçların depodan çıkmasını sağlar. Denklem (6), her aracın depodan bir defa ayrılmasını sağlar. Denklem (7) her aracın müşterilere bir kez uğramasını sağlar. Denklem (8), aracın i-j düğümüne atanması halinde i düğümünden j düğümüne geldiğinde kalacak kapasiteyi göstermektedir. Denklem (9), her aracın kapasitesinin Q değeri ile başladığını gösterir. Denklem (10) ile rotadaki müşterilerin talepleri bu Q değerini aşamayacağı kısıtlanmıştır. Denklem (11) ise x 'in 0 ve 1 tamsayı değerini almasını sağlayan kısıttır.

4. Uygulama

Bu çalışmada, otomotiv kablo donanımlarını üreten firmada fabrika içi yarı mamül taşıma süreçlerinin iyileştirilmesi amacıyla ARP çözüm yöntemlerinden olan Clarke ve Wright Tasarruf Algoritması ve KARP matematiksel modeli kullanılarak taşıma maliyetlerini minimize eden rotalar tespit edilmiştir.

4.1. Problemin Tanımı

Uygulamada Kesim Bölümü'nde üretilen yarı mamullerin montaj hatlarına dağıtımını değerlendirmeye alınarak bu bölümde çalışma yapılmıştır. Kesim Bölümü'nde üretilen kablolar makinelerden toplanarak, 19 farklı istasyona dağıtımını yapılmaktadır.

Mevcut durumda kablo dağıtım operatörü kesim makinelerinin başlangıç noktasından başlayarak üretilen kabloları hangi hatta ait olduklarını dikkate almadan kablo taşıma aracına yerleştirmektedir. Kablo taşıma aracı dolana kadar sırayla makinelerden kesilen kabloları almaktadır. Kablo taşıma aracı dolduğunda ise araçta bulunan kabloları herhangi bir rotaya bağlı kalmaksızın hatlara dağıtmaktadır. Tüm kabloların hatlara dağıtımını tamamladığında bir önceki turdaki en son kablo alınan makineden başlanarak

kablolar toplanarak hatlara dağıtım işlemi yapılmaktadır. Kesim Bölümü'nde bulunan 4 dağıtım operatörü bir birinden bağımsız hareket etmektedir. Bu durum 4 dağıtımının da aynı makine ve hatlara uğramasına ve zaman kayıplarına sebep olmaktadır. Ayrıca taşıma aracına kablolar asılırken herhangi bir gruplama yapılmadığı için dağıtım esnasında kablo arama ve önceki hatlara geri dönüşlere sebep olmaktadır.

4.2. Problemin Veri Seti

Uygulama kapsamında yapılan gözlemler ve değerlendirmeye alınan üretim verilerinin analiz edilmesi sonucunda aşağıdaki veriler elde edilmiştir:

- Birim kablo dağıtım süresi

Bir cm kablunun dağıtım süresi yapılan zaman etütlerine göre ortalama 2 saniye olarak hesaplanmıştır.

- Kablo taşıma aracı kapasitesi

Bir kablo taşıma aracında 20 askı kolu bulunmaktadır. Her bir askının uzunluğu 20 cm'dir. Bir taşıma aracına asılabilecek kablo miktarı toplam 400 cm'dir.

- İstasyonların talep miktarları

İstasyonların saatlik ortalama talep miktarları Tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1. İstasyonların Talep Miktarları

İstasyon Adı	İstasyon No	Cm/saat	Askı Kol sayısı/saat
CH-Roof	I1	25	1
C-Floor	I2	37	2
CH-B-door	I3	24	1
CH-Floor	I4	261	13
C-Eng Room	I5	75	4
CH-Eng Room	I6	213	11
C-IP	I7	66	3
A-IP	I8	178	9
C-IP	I9	244	12
F- Floor	I10	108	5
F-Door	I11	28	1
F-CONT	I12	24	1
F-COMP	I13	84	4
F-IP	I14	74	4
CH-IP 2	I15	67	3
CH-Door	I16	79	4
CH-Other	I17	18	1
Hazırlık	I18	281	14
FASON	I19	53	3

- Taşıma aracı hazırlık süresi

Taşıma aracı hazırlık süresi 5 dakika olarak belirlenmiştir. Bu süre; kablo taşıma arabasının istasyonlara malzeme dağıtımını bitirip dağıtım başlangıç noktasına geldikten sonra boş arabanın yerine yerleştirilmesi, dolu olan arabanın alınması, bazı veri girişlerinin sisteme girilmesi ve beklenmedik durumlar için gereken süreyi içermektedir.

- İstasyonların iç kısımlarına girmek için gereken süre

Bazı istasyonlarda, kablo dağıtımını için iç kısımlara girme gereksinimi duyulmaktadır. Bu süre, ilgili istasyonlar için bir dakika olarak belirlenmiştir.

- İstasyonlar arası uzaklık matrisi

Depo ve istasyonlar arası uzaklıkların bir bölümü Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. İstasyonlar Arası Uzaklık Matrisi

0	I1	I2	I3	I4	I5	I6	I7	I8	I9	I10	I11	I12	I13	I14	I15	I16	I17	I18	I19	
0	94	44	40	31	17	8	3	10	29	41	85	77	71	51	44	54	99	34	66	
I1	94	0	47	53	64	74	84	94	102	122	132	98	90	84	63	53	38	111	58	66
I2	44	47	0	83	17	27	37	46	53	72	83	129	121	115	94	84	98	143	10	22
I3	40	53	83	0	67	57	47	39	47	67	77	44	36	30	9	2	15	58	73	105
I4	31	64	17	67	0	10	20	30	38	58	68	111	103	97	76	66	82	125	8	39
I5	17	74	27	57	10	0	10	20	27	46	58	101	93	87	66	56	71	115	16	47
I6	8	84	37	47	20	10	0	10	18	37	48	91	83	77	56	46	61	105	26	57
I7	3	94	46	39	30	20	10	0	8	28	38	81	73	67	46	40	55	95	35	66
I8	10	102	53	47	38	27	18	8	0	20	30	89	81	75	54	48	63	103	43	74
I9	29	122	72	67	58	46	37	28	20	0	10	58	66	72	74	64	82	72	60	93
I10	41	132	83	77	68	58	48	38	30	10	0	47	56	62	83	76	91	61	70	103
I11	85	98	129	44	111	101	91	81	89	58	47	0	8	14	35	45	60	14	117	150
I12	77	90	121	36	103	93	83	73	81	66	56	8	0	6	27	37	52	22	109	142
I13	71	84	115	30	97	87	77	67	75	72	62	14	6	0	21	31	46	28	103	136
I14	51	63	94	9	76	66	56	46	54	74	83	35	27	21	0	10	25	49	83	114
I15	44	53	84	2	66	56	46	40	48	64	76	45	37	31	10	0	15	59	73	104
I16	54	38	98	15	82	71	61	55	63	82	91	60	52	46	25	15	0	74	88	119
I17	99	111	143	58	125	115	105	95	103	72	61	14	22	28	49	59	74	0	131	162
I18	34	58	10	73	8	16	26	35	43	60	70	117	109	103	83	73	88	131	0	31
I19	66	66	22	105	39	47	57	66	74	93	103	150	142	136	114	104	119	162	31	0

Çalışmada aşağıdaki varsayımlar değerlendirilmeye alınmıştır:

- Yerleşim planı üzerinde değişiklik yapılmadan taşıma sistemi iyileştirilmektedir.
- İstasyonların birim zamandaki talep miktarı sabit olarak alınmıştır.
- İstasyon içi taşımalar değerlendirilmeye alınmamaktadır.
- Yürüme hızı yapılan gözlemlere göre ortalama alınarak hesaplanmıştır.
- Tüm araçlar birbirinin aynısıdır.
- Taşıma işlemini yapacak yeterli sayıda araç mevcuttur.
- Rota üzerindeki noktalar arasında yük taşınması yapılmamaktadır.

4.3. Problemin Tasarruf Algoritması İle Çözümü

Tasarruf yönteminin uygulanması için gerekli olan veriler; talep verileri, dağıtım noktalarının depoya olan uzaklıkları ve kendi aralarındaki uzaklıkları ve araç kapasiteleridir.

Tasarruf Algoritması ile çözüm için Tablo 2’de verilen uzaklık matrisine göre Tablo 3’de verilen tasarruf matrisi oluşturulmuştur. Örneğin; $S_{12} = d_{(0,1)} + d_{(2,0)} - d_{(1,2)} = 94+44-47=91$ olarak hesaplanır.

Aşağıda problemin Paralel Tasarruf Algoritması ile çözümü gösterilmiştir. Paralel Tasarruf Algoritması’nda, mevcut rotaya eklenemeyen istasyonlar için yeni rota açılmaktadır. Ayrıca ikililere bakılırken rotaların birleştirilip birleştirilemeyeceği de kontrol edilmektedir. Tasarruf değerleri büyükten küçüğe doğru sıralanır ve tasarruf matrisi oluşturulduktan sonra, ilk olarak en büyük tasarruf olan değerden hesaplamaya başlanır. İki rota talepleri karşılandığı sürece rota birleştirmesine devam edilir. Kapasite aşıldığında, bir sonraki en yüksek tasarruf değerine geçilerek iterasyona devam edilir.

Tablo 3. Tasarruf Matrisi

	I1	I2	I3	I4	I5	I6	I7	I8	I9	I10	I11	I12	I13	I14	I15	I16	I17	I18	I19	
I1																				
I2	91																			
I3	0,5	1																		
I4	61	58	3,5																	
I5	37	35	0	38																
I6	18	16	1	19	15															
I7	3	1	4	3,5	0	1														
I8	2	1	3	2,5	0	0	5													
I9	1	1	2	1,5	0	0	4	19												
I10	3	2	4	3,5	0	1	6	21	60											
I11	81	0	81	4,5	1	2	7	6	56	79										
I12	81	0	81	4,5	1	2	7	6	40	62	154									
I13	81	0	81	4,5	1	2	7	6	28	50	142	142								
I14	82	1	82	5,5	2	3	8	7	6	9	101	101	101							
I15	85	4	82	8,5	5	6	7	6	9	9	84	84	84	85						
I16	110	0	79	2,5	0	1	2	1	1	4	79	79	79	80	83					
I17	82	0	81	4,5	1	2	7	6	56	79	170	154	142	101	84	79				
I18	70	68	1	57	35	16	2	1	3	5	2	2	2	2	5	0	2			
I19	94	88	1	58	36	17	3	2	2	4	1	1	1	3	6	1	3	69		

Tablo 4'te tasarruf adımlarının bir kısmı gösterilmektedir.

Tablo 4. Tasarruf Hareketleri

Konum 1	Konum 2	Tasarruf Miktarı	Talep 1	Talep 2	Toplam askı/saat	Karar
I17	I11	170	0,9	1,4	2,3	I11-I17
I12	I11	154	1,2	1,4	2,6	I12-I11-I17
I17	I12	154	0,9	1,2	2,1	Aynı Rotadalar
I13	I11	142	4,2	1,4	5,6	I13-I12-I11-I17
I13	I12	142	4,2	1,2	5,4	Aynı Rotadalar
I17	I13	142	0,9	4,2	5,1	Aynı Rotadalar
I16	I1	109,5	3,9	1,2	5,2	I13-I12-I11-I17 ve I1-I16 birleştir
I14	I11	101	3,7	1,4	5,1	I1-I16-I13-I12-I11-I17 ve I14 birleştir
I14	I12	101	3,7	1,2	4,9	Aynı Rotadalar
I14	I13	101	3,7	4,2	7,9	Aynı Rotadalar
I17	I14	101	0,9	3,7	4,6	Aynı Rotadalar
I19	I1	93,5	2,6	1,2	3,9	I1-I16-I14-I13-I12-I11-I17 ve I19 birleştir
I2	I1	90,5	1,8	1,2	3,1	Araç kapasitesini aşar
I19	I2	88	2,6	1,8	4,5	Araç kapasitesini aşar
I15	I14	85	3,4	3,7	7,1	Araç kapasitesini aşar

Bütün iterasyonların sonucunda 6 farklı rota grubu bulunmuştur. Tasarruf Algoritması'na göre elde edilen bu rota grupları En Yakın Komşu Algoritması'na göre sıralanarak uygun rotalar oluşturulmuştur. Bu rotalar ve rotaların uzunlukları aşağıdaki Tablo 5'te gösterilmiştir. Bu tabloya göre; istasyonların bir saatlik talebinin dağıtılması için kablo dağıtım operatörlerinin 695,5 metre yol yürümesi gerekmektedir.

Tablo 5. Tasarruf Yöntemi Rotalar ve Mesafe Tablosu

Rota NO	Rota	Mesafe(m)
1	I0-I14-I13-I12-I11-I17-I16-I1-I19-I0	344
2	I0-I18-I2-I0	88
3	I0-I9-I10-I0	80
4	I0-I5-I4-I0	57,5
5	I0-I7-I6-I3-I15-I0	106
6	I0-I8-I0	20

4.4. Problemin Matematiksel Model Çözümü

Problem, literatürde adı geçen KARP matematiksel modeli esas alınarak LINGO 18.0 yazılımı kullanılarak çözülmüştür. Modelde 4 değişken ve 9 kısıt bulunmaktadır. LINGO 18.0 yazılımı ile optimal çözüme 21 saniyede ulaşılmıştır.

Modele ait karar değişkenleri aşağıda verilmiştir. Program kodlarının bir bölümü Şekil 3'te gösterilmiştir.

Karar Değişkenleri:

- DIST: İstasyonlar arası uzaklığı gösteren simetrik matristir.
- Q(i): i istasyonunun talep miktarlarını göstermektedir.
- VCAP: Taşıma arabasının kapasitesini göstermektedir.
- IST: Üretim hattındaki istasyonları gösterir.

```

MIN = @SUM(CXC: DIST * X);
! for each IST, except depot...;
@FOR(IST(K)| K #GT# 1:
! a vehicle does not travel inside itself...;
X(K, K) = 0;
! a vehicle must enter it...;
@SUM(IST(I)| I #NE# K #AND# (I #EQ# 1 #OR#
Q(I) + Q(K) #LE# VCAP): X(I, K)) = 1;
! a vehicle must leave it after service;
@SUM(IST(J)| J #NE# K #AND# (J #EQ# 1 #OR#
Q(J) + Q(K) #LE# VCAP): X(K, J)) = 1;
! U(K) = amount delivered on trip up to IST K
>= amount needed at K but <= vehicle capalST;
@BND(Q(K), U(K), VCAP);
! If K follows I, then can bound U(K) - U(I);
@FOR(IST(I)| I #NE# K #AND# I #NE# 1: U(K) >=
U(I) + Q(K) - VCAP + VCAP*(X(K, I) + X(I, K))
- (Q(K) + Q(I)) * X(K, I);
);
! If K is 1st stop, then U(K) = Q(K);
U(K) <= VCAP - (VCAP - Q(K)) * X(1, K);
! If K is not 1st stop...;
U(K) >=
Q(K) + @SUM(IST(I)| I #GT# 1: Q(I) * X(I, K));
);
! Make the X's binary;
@FOR(CXC(I, J): @BIN(X(I, J)););
! Must send enough vehicles out of depot;
@SUM(IST(J)| J #GT# 1: X(1, J)) >=
@FLOOR((@SUM(IST(I)| I #GT# 1: Q(I))/ VCAP) + .999);
END

```

Şekil 3. Lingo Program Kodları

Tablo 6’da matematiksel model sonucuna göre oluşturulan rotalar ve bu rotalara ait mesafeler verilmiştir. Matematiksel model çözümü ile elde edilen rotaların toplam mesafesi 691 metredir.

Tablo 6. Matematiksel Model Rotaları ve Mesafe Tablosu

Rota NO	Rota	Mesafe(m)
1	I0, I3 I15 I16 I1 I0	188,5
2	I0, I5 I4 I0	57,5
3	I0, I6 I0	16
4	I0, I7 I14 I13 I12, I11 I17 I0	197
5	I0, I8 I0	20
6	I0, I9 I10 I0	80
7	I0, I18, I2, I19 I0	132

4.5. Problemin Çözüm Sonuçlarının Değerlendirilmesi

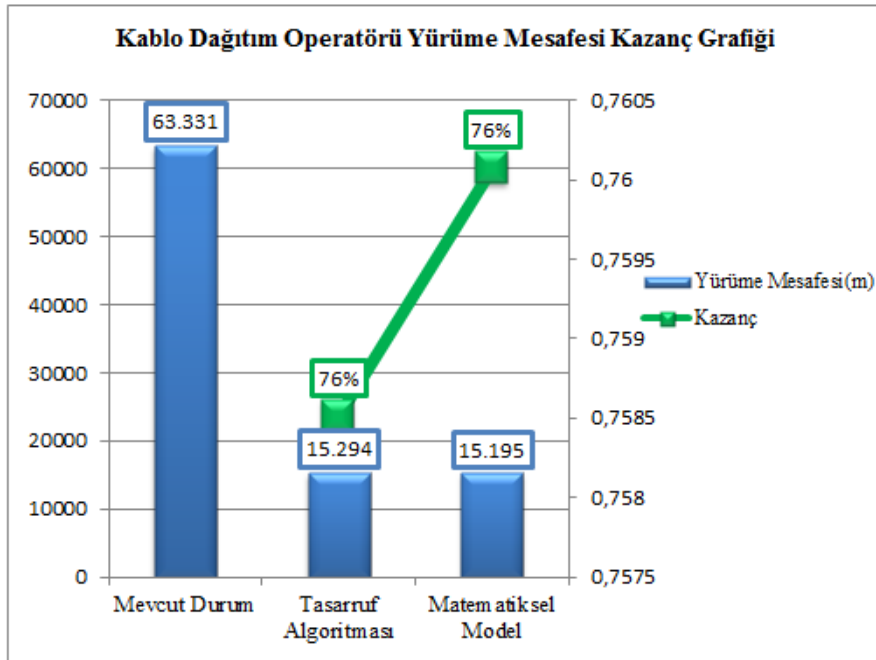
Kablo dağıtım işlemi İç Lojistik süreçlerinin iyileştirilmesi noktasında ARP olarak değerlendirilmiş ve Clarke ve Wright Tasarruf Algoritması ve KARP’ye ait matematiksel modelleme yöntemiyle çözülmüştür. Çözüm sonucunda, rotalar oluşturulmuş ve toplam yollar hesaplanmıştır.

Tablo 7’de mevcut durum ve çözüm için kullanılan iki yöntemin sonuçları karşılaştırılmıştır. Mevcut durumda kablo toplama ve kablo dağıtım işlemi için 12 operatör vardır. Bu operatörlerin günlük toplam yürüme mesafesi 63331 metredir. Bu tabloya göre günlük toplam yürüme mesafesi, Tasarruf Algoritması’na göre 15294 metre ve matematiksel modele göre 15195 metredir. Yürüme mesafesi için en iyi sonucu matematiksel model sağlamıştır. Kablo dağıtım çevrim süresi Tasarruf Algoritması ve matematiksel modelde aynı sonucu vermiştir. Ancak matematiksel modelde araç sayısı 7 olarak tespit edildiği için gerekli olan toplam operatör sayısı Tasarruf Algoritması’na göre daha yüksek çıkmıştır. En az operatör sayısını Tasarruf Algoritması sağlamıştır.

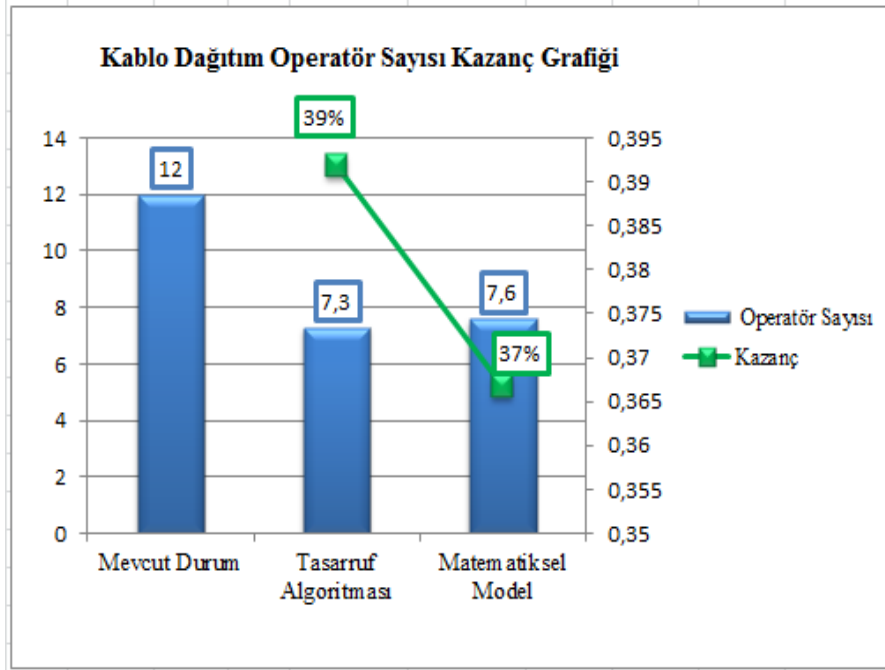
Tablo 7. Kablo Dağıtım Sistemi Problemi Çözüm Sonuçlarının Karşılaştırılması

	Mevcut Durum	Tasarruf Algoritması	Matematiksel Model
Kablo dağıtım çevrim süresi (Dakika)	168	101	101
Kablo toplama çevrim süresi (Dakika)	72	12,2	12,2
Mesafe (Metre)	2880	695,5	691
Gerekli araç sayısı (Adet)	6	6	7
Günlük kablo dağıtım süresi (saat)	62	37	37
Günlük kablo toplama süresi (saat)	26	5,8	5,8
Gerekli kablo toplama operatör sayısı	3,6	0,8	0,8
Gerekli kablo dağıtım operatör sayısı	8,4	5,1	5,1
Araç hazırlık işlemi için gerekli operatör sayısı	0	1,5	1,8
Toplam operatör Sayısı	12,0	7,3	7,6
Günlük toplam yürüme mesafesi(Metre)	63331	15294	15195
Yürüme mesafesi kazanç oranı		76%	76%
Operatör sayısı kazanç oranı		39%	37%

Şekil 4'te kablo dağıtım operatörlerinin günlük toplam yürüme mesafesinin mevcut durum ile karşılaştırılması ve kazanç oranları göstermektedir. Yapılan çalışma sonucunda yürüme mesafesinde günlük %76 iyileştirme sağlanmıştır.

**Şekil 4.** Kablo Dağıtım Operatörü Yürüme Mesafesi Kazanç Grafiği

Şekil 5'te operatör sayılarının mevcut durum ile karşılaştırılması ve sağlanan kazanç gösterilmektedir. Tasarruf Algoritması, toplam operatör sayısında %39 iyileştirme sağlayarak en yüksek kazancı sağlayan yöntem olmuştur.



Şekil 5. Kablo Dağıtım Operatörü Sayısı Kazanç Grafiği

Genel olarak Tasarruf Algoritması ve matematiksel model bir birine yakın değerler vermiştir. Ancak araç sayısı matematiksel modelde 7 olarak hesaplandığı için araç hazırlığı için gereken sürede artış olmuştur. Bu nedenle operatör sayısındaki kazancın matematiksel modelde daha az olduğu görülmektedir.

Sonuç olarak en iyi çözümü yürüme mesafesinde %76 iyileştirme ve operatör sayısında %39 iyileştirme sağlayan Tasarruf Algoritması olduğu görülmektedir.

Tasarruf Algoritması ile belirlenen rotalara göre taşıma araçları için Şekil 6'da gösterilen örnekteki gibi kablo yerleşim planları oluşturulmuştur. Böylece kablo taşıma aracının yerleşimi standart hale getirilmiş ve dağıtım operatörünün araçta kablo arama süresi azaltılmıştır.

Kablo Taşıma Arabası Yerleşim Planı										
ROTA 5	I0(Depo)-I7(C-IP)-I6(CH-Eng Room)-I3(CH-B-Door)-I15(CH-IP 2)-I0(Depo)									
1	2	3	4	5		11	12	13	14	15
16	16	16	16	16		16	17	17	17	17
6	7	8	9	10		16	17	18	19	20
16	16	16	16	16		115	115	115	115	13

Şekil 6. Kablo Taşıma Arabası Yerleşim Planı

5. Sonuç

Üretim sistemlerinin sürekli iyileştirilmesini amaçlayan ve bu noktada israfların azaltılmasına yönelik yöntemlerin geliştirildiği yalın üretim yaklaşımında en önemli israf kaynaklarından biri de üretim içi malzeme taşıma işlemine ilişkin yanlış uygulamalardır. Üretimle bütünleşmemiş, planlanması ve yönetilmesi zor, standardize olmayan bir malzeme taşıma yapısı, temin süresini arttırarak, işgücü ve enerji kayıplarına neden olabilmektedir (Kılıç, 2011).

İç lojistik, lojistiğin diğer bölümlerine göre üzerinde daha az durulmuş ve yöntemler geliştirilmiş bir alanıdır. İç lojistikte ana konu, üretim ortamındaki malzemelerin üretim ve tüketim noktaları arasındaki akışının tam zamanında, istenilen miktarda ve şekilde, minimum maliyetle yerine getirilmesidir (Kılıç, 2011).

Bu çalışmada, otomotiv sektöründe faaliyet gösteren bir fabrikanın Kesim Bölümü'nde üretilen yarı mamullerin montaj hatlarına dağıtılma süreci iyileştirilmeye çalışılmıştır. Mevcut durumda kablo dağıtım rotalarının belirlenmesinde herhangi bir bilimsel yöntemin kullanılmaması ve rotaların standart hale getirilmemesi sebebiyle işgücü kayıpları oluşmaktadır.

Fabrika içi yarı mamul taşıma sisteminin iyileştirilmesi amacıyla Araç Rotalama Problemi çözüm yöntemlerinden yararlanılarak kablo dağıtım operatörünün çevrimini en kısa sürede tamamlayacağı rotalar oluşturulmuştur. Çözüm için Clarke ve Wright Tasarruf Algoritması ve Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Problemi matematiksel modeli kullanılmıştır. Kullanılan bu yöntemlerden, kablo dağıtım operatör sayısında %39 iyileştirme sağlayan Clarke ve Wright Tasarruf Algoritması'nın en iyi çözüm olduğu görülmüştür. Tasarruf Algoritması ile belirlenen rotalara göre kablo toplama işlemi ve taşıma aracına kabloların yerleştirilmesi standart hale getirilmiştir. Elde edilen sonuçlar mevcut durum ile karşılaştırılmış ve sağlanan iyileştirmeler gösterilmiştir.

Bu bağlamda önerilen yeni sistemin kazanımları şöyledir:

- Kablo toplama ve kablo dağıtım işlemleri ayrılmıştır. Böylece operatörlerin performans takibi ve yapılan işin kontrolü kolaylaşmıştır.
- Kablo dağıtım operatörlerinin minimum yürüme mesafesi ile yapacağı rotalar belirlenmiştir. Toplam yürüme mesafesinde %76 iyileşme sağlanmıştır.
- Belirlenen rotalar kablo dağıtım operatörlerine tanımlanarak operatörlerin aynı hatlara gereksiz yere gitmesi engellenmiştir.
- Kablolar arabalara yerleştirilirken hat sırasına göre yerleştirildiği için kablo dağıtım operatörünün arabada kablo arama süresi azalmıştır.
- Yürüme ve arama sürelerinde sağlanan kazanç ile operatör sayısı azaltılmıştır. Toplam operatör sayısında %39 iyileştirme ile operatör maliyetinde kazanç sağlanmıştır.

Gelecek çalışmalarda bu çalışmada kullanılan yöntemler ile elde edilen malzeme dağıtım rotaları Genetik Algoritma Yöntemi'nin başlangıç popülasyonu olarak kullanılarak yeni dağıtım rotaları belirlenebilir. Ayrıca hat yanı stok miktarını azaltacak matematiksel modellerin geliştirilmesi de gelecekte yapılabilecek çalışma konusu olarak öngörülmektedir.

Referanslar

- Çoban, G. & Güven, T. (2011). Otomotiv sektöründe faaliyet gösteren bir firmada fabrika içi lojistik sürecinin iyileştirilmesi. Lisans Tezi. Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.
- Demircioğlu, M. (2009). Araç rotalama probleminin sezgisel bir yaklaşım ile çözümlenmesi üzerine bir uygulama. Doktora Tezi. Çukurova Üniversitesi, Adana.
- Karagöl, K., Tokat, S. & Aydemir, E. (2016). Kapasite kısıtlı araç rotalama problemlerinde başlangıç rotalarının kurulması için yeni bir algoritma. Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 4(3): 215-226. Doi: 10.21923/jesd.60313
- Kılıç, H.S. (2011). Yalın üretim ortamında iç lojistik sisteminin tasarımı. Doktora Tezi. Gazi Üniversitesi, Ankara.
- Kılıç, H.S. ve Durmuşoğlu, M.B. (2013). A mathematical model and a heuristic approach for periodic material delivery in lean production environment, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 69(5-8), 977-992. doi: 10.1007/s00170-013-5082-y.
- Kızıloğlu, K. (2017). Stokastik talepli çok depolu araç rotalama problemi için sezgisel bir çözüm yaklaşımı. Yüksek Lisans Tezi. Gazi Üniversitesi, Ankara.
- Küçükoğlu İ., Yağmahan B., Çağlıyan M., Yıldız A., Aktokluk D. (2018). İç Lojistik Sisteminde Malzeme Tedariği İçin Geliştirilmiş Matematiksel Modelleme Yaklaşımı: Bir Uygulama. Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, 23(4):159-175. DOI: 10.17482/uumfd.455198
- Rushton A., Croucher P. & Baker P. (2006). Handbook of Logistics and Distribution management 3rd Edition, Kogan Page, 1-665.
- Staab, T., Klenk, E., Galka, S. ve Günthner, W.A. (2016). Efficiency in in-plant milk-run systems-the influence of routing strategies on system utilization and process stability, Journal of Simulation, 10(2), 137-143. doi: 10.1057/jos.2015.6 .
- Şahin, Y. & Eroğlu, A. (2014). Kapasite kısıtlı araç rotalama problemi için metasezgisel yöntemler bilimsel yazın taraması. Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 19(4): 337-355.

Şeker, Ş. (2007). Araç rotalama problemleri ve zaman pencereli stokastik araç rotalama problemine genetik algoritma yaklaşımı. Yüksek Lisans Tezi. Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Yazgan, H. (2014). Talep ve kapasite kısıtlı optimizasyon problemi için yeni bir melez algoritma. Endüstri Mühendisliği Dergisi. 25(1): 16-28.