



T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



ARAÇ ÜSTÜ VİNÇ İMALATI YAPILAN BİR
İŞLETMEDE İÇ LOJİSTİK SİSTEMİ
TASARIMI VE UYGULAMALARI

Huriye Büşra ÖZTÜRK

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Haziran-2025
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Huriye B   ra   ZT  RK tarafından hazırlanan ‘‘Araç  st  Vinç İmalatı Yapılan Bir İşletmede İ  Lojistik Sistemi Tasarımı ve Uygulamaları’’ adlı tez çalışması 26/06/2025 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliğı ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Endüstri Mühendisliğı Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri  yeleri

İmza

Başkan

Prof. Dr. İsmail KARAOğLAN
(Konya Teknik Üniversitesi)

.....

Danışman

Prof. Dr. Yakup KARA
(Konya Teknik  niversitesi)

.....

 ye

Dr. Öğr. Üyesi Kemal ALAYKIRAN
(Necmettin Erbakan Üniversitesi)

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Mevl t UYAN
Enstitü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Huriye Büşra ÖZTÜRK

Tarih: 26.06.2025

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ARAÇ ÜSTÜ VİNÇ İMALATI YAPILAN BİR İŞLETMEDE İÇ LOJİSTİK SİSTEMİ TASARIMI VE UYGULAMALARI

Huriye Büşra ÖZTÜRK

**Konya Teknik Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Prof. Dr. Yakup KARA

2025, 117 Sayfa

Jüri

**Prof. Dr. Yakup KARA
Prof. Dr. İsmail KARAOĞLAN
Dr. Öğr. Üyesi Kemal ALAYKIRAN**

Günümüzde üretim sektörünün en önemli iç lojistik problemlerinden biri olan Araç Rotalama Problemi (ARP), müşterilerin taleplerinin karşılandığı taşıma araçları için minimum mesafedeki rotayı belirlemeyi hedeflemektedir. Bu hedef doğrultusunda iç lojistik problemleri üzerine birçok çalışma yapılmakta ve çözüm yöntemleri geliştirilmektedir. Bu tez kapsamında, iç lojistik uygulamaları ile ilgili literatür taraması yapılmış olup İstifleyici Vinç Problemi kapsamında değerlendirilebilecek, gerçek hayattaki vinç imalatı yapılan bir firmadaki iç lojistik taşıma probleminin tanımı yapılmıştır. Problemin çözümünü yapmak amacıyla gerçek hayattaki şartları sağlayan eşitsizlikler eklenerek bir matematiksel model oluşturulmuştur. Bu modelde her müşteriye sadece bir kez uğranması, rotaların yörüngesinin depoda başlayıp depoda bitmesi ve her aracın gidebildiği düğümler gibi temel kısıtlar vardır. Deneysel çalışmaları sağlamak için, firmadaki 15 günlük iş süreci takip edilerek üç taşıma aracının iş verileri alınmıştır. Firmaya ait düğümler arasındaki mesafeleri ve ağırlıklarla palet ihtiyaçları verileri alınmıştır. Alınan veriler doğrultusunda üç taşıma aracının optimize edilmiş rotalama güzergahı GAMS/CPLEX paket programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Araştırma sonuçlarına göre, vinç imalatı yapılan işletmenin iç lojistik sürecinde önemli iyileştirmeler sağlanmış ve operasyonel verimlilik elde edilmiştir. 15 günlük gerçek iç lojistik verileri kullanılarak gerçekleştirilen optimizasyon çalışmaları sonucunda iç lojistik operasyonlarında %55,72 oranında verimlilik artışı elde edilmiştir. Mevcut durum ve yapılan optimizasyon çalışması arasındaki karşılaştırmalar, iç lojistik süreçlerinin iyileştirilmesine yönelik önemli bilgiler ortaya çıkarmıştır. Bu tez, vinç imalatı sektöründe yalın üretim ve iç lojistiğin stratejik önemini göstererek uygulamanın yapıldığı işletmenin iç lojistik süreçlerinde önemli iyileştirmeler konusunda katkı sağlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Araç Rotalama Problemi, İstifleyici Vinç Problemi, İç Lojistik, Yalın Üretim.

ABSTRACT

MS THESIS

DESIGN AND IMPLEMENTATION OF INTERNAL LOGISTICS SYSTEM IN A VEHICLE MOUNTED CRANE MANUFACTURING COMPANY

Huriye Büşra ÖZTÜRK

**Konya Technical University
Institute of Graduate Studies
Department of Industrial Engineering**

Advisor: Prof.Dr. Yakup KARA

2025, 117 Pages

Jury

Prof. Dr. Yakup KARA

Prof. Dr. İsmail KARAOĞLAN

Dr. Öğr. Üyesi Kemal ALAYKIRAN

Vehicle Routing Problem (VRP), one of the most important internal logistics problems of the manufacturing sector today, aims to determine the route with the minimum distance for transportation vehicles that meet the demands of the customers. In line with this goal, many studies are being conducted on internal logistics problems, and solution methods are being developed. Within the scope of this thesis, literature review on internal logistics applications has been conducted, and the definition of an internal logistics transportation problem in a real-life crane manufacturing company that can be evaluated within the scope of Stacker Crane Problem has been made. In order to do the solving of the problem, a mathematical model has been created by adding inequalities that provide real-life conditions. At this model, there are basic restrictions in the MTSP, such as visiting each customer only once, the trajectory of the routes starting and ending at the depot and the nodes that each vehicle can go to. In order to provide experimental studies, the 15-days work process in the company was followed, and the work data of three transportation vehicles were obtained. The distances between the nodes of the company and the weights and pallet needs data were obtained. In line with the data received, the optimized routing way of three transport vehicles was carried out using the GAMS/CPLEX package program. As a result of the solution of the mathematical model made by applying it to the company, optimal results were achieved compared to the current situation. According to the results of the study, significant improvements have been made in the internal logistics process of the crane manufacturing company, and operational efficiency has been achieved. As a result of optimization studies carried out using 15-days real internal logistics data, the increasing of the 55.72 % efficiency was achieved in internal logistics operations. Comparisons between the current situation and the optimization study have revealed important information for the improvement of internal logistics processes. This thesis contributes to significant improvements in the internal logistics processes of the company where the application is made by showing the strategic importance of lean production and internal logistics in the crane manufacturing sector.

Keywords: Vehicle Routing Problem, Stacker Crane Problem, Internal Logistics, Lean Production.

ÖNSÖZ

İç lojistik, son zamanlarda günümüzde üretim sektöründe verimlilik açısından büyük önem arz etmektedir. İşletmelerin verimlilik hedeflerini sağlamaları noktasında iç lojistik üzerine çalışmaların her geçen gün arttığı görülmektedir. Bu tez çalışması, MPG MAKİNE PRODÜKSİYON GRUBU A.Ş. şirketinde iç lojistik üzerine uygulanmıştır ve verimlilik artışı elde edilmiştir.

Tez çalışmam sürecinde bana yol gösteren ve danışmanlık eden danışman hocam Prof. Dr. Yakup KARA 'ya saygılarımı ve teşekkürlerimi sunmak isterim. Kendisinin bilgi birikimi ve deneyimi, bu çalışmayı yaptığım süreçte benim için yol gösterici oldu. Tezimin tamamlanmasında sağladığı değerli katkılar için kendisine minnet duyarım.

Tez çalışmam sürecinde bana verdiği desteklerden dolayı Prof. Dr. İsmail KARAOĞLAN' a teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışmada sağladığı tüm desteklerden dolayı MPG MAKİNE PRODÜKSİYON GRUBU A.Ş. Genel Müdürü Veysel ALVER' e büyük bir teşekkür borçluyum.

Çalışmamı yürüttüğüm süreçte desteklerini her zaman hissettiren değerli aileme sonsuz teşekkürlerimi iletmek isterim. Verdikleri tüm destekler benim için büyük bir ilham kaynağıydı.

Huriye Büşra ÖZTÜRK
KONYA-2025

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ.....	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	viii
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Üretimde Malzeme Taşıma Sistemleri.....	3
1.2. Yalın Üretim ve İç Lojistik.....	10
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	15
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	23
3.1. Materyal.....	23
3.1.1. Uygulamanın Yapıldığı İşletme.....	23
3.1.2. Ürün Grupları ve Üretim Süreci.....	25
3.1.3. Kullanılan Taşıma Araçları.....	44
3.1.4. Taşıma Mesafeleri Matrisi.....	47
3.1.5. Üretim Sahasındaki 15 Günlük İş Planı.....	48
3.1.6. GAMS/CPLEX Yazılımı.....	62
3.1.7. NanoCAD Yazılımı.....	63
3.2. Yöntem.....	63
3.2.1. Verilerin Toplanması.....	63
3.2.2. Problem Tanımı.....	63
3.2.3. Matematiksel Model.....	65
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	67
4.1. Deney Sonuçları.....	67
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	102
5.1. Sonuçlar.....	102
5.2. Öneriler.....	102
KAYNAKLAR.....	103

SİMGELER VE KISALTMALAR

Kısaltmalar

ABS	: Ajan Tabanlı Simülasyon
AGV	: Otomatik Yönlendirmeli Araçlar
AMR	: Otonom Mobil Robot
ARP	: Araç Rotalama Problemi
AS / RS	: Otomatik Depolama Sistemleri
DES	: Ayrık Olay Simülasyon
EMS	: Elektrikli Monoray Sistemi
FIFO	: Kompakt Raflarda Geçiş
JIT	: Tam Zamanında (Just-in-Time)
KARP	: Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Problemi
LIFO	: Kompakt Raflarda Sürüş
MRP	: Malzeme İhtiyaç Planlaması (Material Requirement Planning)
RGV	: Ray Yönlendirmeli Araçlar
SCP	: Vinç İstifleyici Problemi (Stacker Crane Problem)
SMED	: Tek Dakikada Kalıp Değişimi (Single Minute Exchange of Dies)
UV	: Ultraviyole
VSM	: Değer Akışı Haritalama (Value Stream Mapping)

1. GİRİŞ

Günümüzde artan rekabet koşullarında firmaların diğer firmalar ile rekabet edebilmesi, diğer firmalardan önde olabilmek için hızlı, ekonomik ve minimum hata seviyesindeki sistemleri geliştirmesi gerekmektedir. Geliştirilen sistemler için malzeme tedariki ve bilgi hareketleri ile süreçlerde gecikme olmaması önem arz etmektedir (Karaçal, 2017).

Ham maddelerin ve bileşenlerin mamullere dönüştürülmesini sağlayan *üretim* son zamanlardaki en büyük hedefi, yalın üretim şekline dönüşmektir. *Yalın üretim*, temel öncelik sistemindeki değer ifade etmeyen bütün işlemleri ortadan kaldırmayı hedefler. Bu yüzden yalın üretim sistemleri, bünyelerinde hiçbir gereksiz unsur barındırmamayı, hata, maliyet, stok, işçilik ve üretim alanı gibi parametreleri minimum seviyeye çekmeyi hedefler. Üretim sürecinde uygulanan bütün işlerin katma değerli işler olması bu üretim sisteminin öncelik amacıdır. Ayrıca yalın üretim uygulaması için bütün sistem bileşenlerinin bu felsefeyi özümsemesi gereklidir (Yılmaz, 2012).

Yalın üretimin aktif olarak uygulandığı en önemli alanlardan birisi *iç lojistik* olarak gösterilebilir. İç lojistik bir depo, dağıtım merkezi veya üretim tesisi içindeki mal ve taşınabilir eşyaların akışının yönetimi, kontrolü ve optimizasyonunu sağlar. Tesis içindeki ürün, malzeme ve bilgi akışını optimize etmek için kullanılan entegre bir malzeme yönetimi ve lojistik süreçleri sistemidir. Mal ve malzemeleri otomatikleştirir ve kontrolünü kolaylaştırır. Aynı zamanda, görünürlük ve izlenebilirlik sağlar. Bu, şirketlerin verimliliğini artırmasına, maliyetleri düşürmesine ve müşteri hizmetlerini iyileştirmesine yardımcı olur (Çevikcan ve ark., 2018).

İç lojistiğin amacı ürün ve malzemelerin fabrika içerisindeki işleyişinin verimli ve etkin bir şekilde yapılmasını sağlamaktır. Bununla birlikte bilgi ve *malzeme taşıma* tam olarak sağlanmalı, stok takibi daha doğru yapılmalıdır. Müşteri talebini doğru karşılamak için etkin kalitede ürünler ortaya çıkartmayı sağlamalıdır. Ürünün kalitesi noktasında da bize büyük katkılar kazandırmalıdır. Bununla birlikte verimlilik en üst seviyeye çıkmalıdır. İşletmelerde karlılık oranı artırılmalıdır (Çevikcan ve ark., 2018).

Günümüzde, gerekli ihtiyaçlar ve gelişen teknoloji nedeniyle, özellikle gelişmiş ülkelerde çalışan firmaların, lojistik faaliyetleri otomasyon seviyesine çıkmaktadır. Malzeme taşıma, malzemenin iletilmesini veya bir araya toparlanmasını gerçekleştirir. Malzeme taşıma sisteminin seçimi ve bu malzeme taşıma sisteminin tesis bünyesinde doğru konumlandırılması, firmaların uzun dönemli stratejik planlarını direkt etkileyen

karmaşık ve çok kriterli bir problemdir. Bir firmaya ait malzeme taşıma sistemi o firmanın üretim verimliliği ve üretimin maliyetlendirilmesi yönünden önem arz eder. Doğru seçilen malzeme taşıma sistemi; optimum kaynak kullanımını, üretim sürecinin basitleştirilmesini ve hızlandırılmasını, iş güvenliği gibi durumları direkt etkilemektedir. Ayrıca üretim sürecinde kalite, emniyet ve verimliliği yükseltip firmaların kazançlarını artırmaları konusunda fayda sağlamaktadır (Karayel ve ark., 2018).

Araç rotalama, iç lojistik sisteminde depodan belirli müşterilere malzeme iletimi ve müşterilerden malzeme toplanması olarak ifade edilmektedir. Çok aşamalı bir iç lojistik sistemi incelendiğinde, *araç rotalama problemi*, ürünleri depoya gönderen üretici bir işletme, siparişlerin bir araya getirilip müşterilere gönderildiği depo ve ürünleri talep eden müşteri bileşenlerinden meydana gelmektedir. Dolayısıyla tüm bunlar bir araya getirildiğinde ürün toplama veya iletiminin oldukça maliyetli ve yoğun tempoyla iş gücü ihtiyacı getiren bir işlem olduğu tespit edilmiştir (Keskintürk ve ark., 2015).

Temel kavramlar ve tanımlar aşağıda verilmiştir.

Üretim, insanların ihtiyaçlarını karşılamak için mal ve hizmetin kullanılmasını ve faydalarının artırılmasını sağlayan sistemdir.

Yalın Üretim, üretimde mükemmellik ve sürekli iyileştirmeyi hedef olarak belirleyen bir üretim sistemidir. Yalın felsefesinin araçlarla ve yöntemlerle adapte edilmiş şeklidir.

İç Lojistik, üretimde malzemelerin akışının istasyonlar arasında sağlanmasıdır.

Malzeme Taşıma, imalat sırasında ihtiyaç duyulan doğru miktardaki malzemenin istenen yere uygun vakitte ve asgari giderle güvenli bir şekilde iletilmesidir.

Araç Rotalama Problemi, depodan müşterilere talep iletecek araçlar için en uygun rotaları tespit etmeyi amaçlayan bir optimizasyon problemidir.

Bu çalışmanın amacı, üretimde yalın iç lojistik ve uygulamaları ile ilgili literatür araştırmasının yapılmasıyla bir vinç firmasındaki araç rotalama problemini “istifleyici vinç problemi” kapsamında oluşturulan matematiksel model sayesinde çözümünü sağlayarak optimizasyonunu sağlamak ve uygulamanın yapıldığı işletmeye optimal sonuçlarla ilgili önerilerde bulunmaktır.

1.1. Üretimde Malzeme Taşıma Sistemleri

Malzeme taşınmasının amacı; istenen malzemenin doğru yere, doğru miktarda, doğru zamanda, minimum maliyetle taşınmasını sağlamaktır. Üretim için alınan malzemeler depoya ve üretim birimlerine dağıtılmaktadır. Üretim sürecinde birimler arasında malzemelerin taşınması sağlanmakta ve üretim içindeki atıklar tesis içinde taşınmaktadır. Malzeme taşımanın 7 prensibi bulunmaktadır: en yalın bir şekilde malzeme taşımayı hedefleyen *basitleştirme prensibi*, plan doğrultusunda malzeme taşımayı hedefleyen *planlama prensibi*, ergonomik olarak malzeme taşımayı gerçekleştiren bireylerin sağlığı ve iş sağlığı güvenliğinin doğru yapılmasını hedefleyen *ergonomi prensibi*, malzeme taşımada kullanılan araç ve gereçlerin mekanik açıdan doğru olmasını hedefleyen *mekanikleşme prensibi*, malzeme taşımanın bazı durumlarda esnekliğe yer vermesi gerektiğini vurgulayan *esneklik prensibi*, malzeme taşımanın bilgisayarla entegreli olması gerektiğini hedefleyen *bilgisayarla bütünleşme prensibi*, malzeme taşımanın maliyetinin en uygun olmasını hedefleyen *maliyet prensibidir* (Bilici ve ark., 2007).

Malzeme taşıma sistemlerinin 4 çeşidi bulunmaktadır: ünite yük ekipmanları, tanımlama ve kontrol ekipmanları, depolama sistemleri ve taşıma araçları (Ateş ve ark., 2023).

Ünite yük ekipmanları; ünite yüklerinin stoklanması ve taşınması entegrasyonunu sağlamak ve paletler, palet kutuları, çantalar, sandıklar, sepetler, kafesli sandıklar, karton kutular ve yükleme levhaları örnek gösterilebilmektedir (Ateş ve ark., 2023).

Tanımlama ve kontrol ekipmanları; fabrikanın diğer fabrikalar ve tedarikçilerle, fabrikanın içerisindeki malzeme akışını koordine etmek için gerekli bilgiyi toparlayıp değerlendirmekte ve barkod, manuel, radyo frekans etiketi, elektronik bilgi değişimi ve manyetik çizgi örnek gösterilebilmektedir (Ateş ve ark., 2023).

Depolama sistemleri; bazı zamanlarda malzemelerin belirli bir sürede saklanması görevli olmakta ve blok istifleme, seçici palet rafları, geçiş rafı (*drive-through rack*), giriş rafı (*drive-in rack*), akışlı raf (*flow-through rack*), otomatik depolama sistemleri (AS/RS) örnek olarak gösterilmektedir. Paletlerin üst üste koyularak yüksek hacimlere yer açtığı sistemler olan blok istiflemeye, depolanan malzemelerin tekrar boşaltılması için uzun süreye ihtiyaç duyulmakta ve ucuz bir yöntem olduğundan dolayı malzemelerin kırılma ve hasar almasının önemli olmadığı

durumlarda yüksek miktarda depolamaya izin verilmektedir. En yaygın depo rafı türü olan ve en düşük maliyetli olan seçici palet rafları, ağır sanayide ya da büyük ebatlı yedek parçalar ile yüklerin istiflenmesinde tercih edilmekte ve paletler halinde istiflenmeyi sağlamaktadır. Rafın her iki tarafında 1'er tane olmak üzere 2 erişim gerektiren ve ilk giren ve ilk çıkan olduğu için FIFO yöntemini (kompakt raflarda geçiş) kullanan geçiş rafı (*drive-through rack*), hem ön hem de arka taraftan erişime izin verdiğinden dolayı yüksek devirli ürünler için uygun bir sistemdir. En yaygın kompakt raf sistemi olan, forklift için yalnızca tek bir erişim koridoruna ihtiyaç duyan ve LIFO yöntemini (kompakt raflarda sürüş) kullanan giriş rafında (*drive-in rack*) son giren yük ilk çıkan olmakta ve malzeme devir hızının düşük olduğu depolar için uygun olmaktadır. Kutuları ve konteynırları bir taraftan diğerine çekmek için yerçekimini kullanan açılı raflara sahip bir raf sistemi türü olan akışlı raf (*flow-through rack*), rafın bir tarafı malların beslendiği, diğer tarafı ise malların alındığı yerdir. Depolama işlemlerinin tamamen bilgisayar sistemleri ile kontrol edildiği ve yüklerin raflarda depolanması, düzenlenmesi, boşaltılması, hatta sipariş toplama gibi işlemlerin bilgisayarlar tarafından koordine edildiği otomatik depolama sistemlerinde, otomatik depolama raf sistemlerinin temelini, yüksekliği 40 metreye kadar olan yüksek irtifa depo rafları oluşturmakta, deponun her bir alanı sistem tarafından barkodlar ve sensörler tarafından algılanmakta ve sistemin çalışılabilir olması için tüm bilgilerin sistemde olması gerekmektedir (Ateş ve ark., 2023).

Taşıma araçları; endüstriyel taşıyıcılar, konveyörler, RGV (ray yönlendirmeli araçlar), vinçler, AGV (otomatik yönlendirmeli araçlar), elektrikli monoray sistemi (EMS) ve milk-run sistemi örnek olarak gösterilmektedir. Taşıma alanında sınırlandırma yapılmamış yollarda malzeme taşımada kullanılan endüstriyel taşıyıcılar, taşıyıcının kaldırma özelliği varsa dikey taşımayı sağlamakta, akış hacmi yetersiz olduğunda kullanılmakta ve konveyör ve vinçlere göre daha esnek olmaktadır. El taşıyıcıları, transpaletler, elektrikli palet istifleyici, palet taşıyıcılar, platformlu taşıyıcılar, dengelenmiş kaldırma taşıyıcısı, dar geçit taşıyıcıları örnek olarak gösterilebilir. Genellikle sağlam ve hafif olan el taşıyıcıları, tabanda tekerlekler ve üzerinde nesneleri taşımaları için küçük bir çıkıntı bulunan, zemine düz şekilde yaslanan araçlardır. İnsan kontrollü, yaya ve motor gücüyle çalışan paletlere ilave edilen yüklerin hidrolik pompa kuvveti ile yükselterek yatay olarak taşıyan araçlar olan transpaletler, itilerek değil, çekilerek kullanılmakta ve motorlu, manuel, terazili olarak çeşitleri bulunmaktadır. Manuel transpalet, insan gücüyle kontrol edilen transpalet iken, motorlu

transpalet, motorla kontrol edilebilen transpalettir ve terazili transpalet ise, ağırlık ölçme görevi gören transpalettir. Dar geçitlerde ve sınırlı alanlarda kullanıma uygun olan elektrikli palet istifleyici, paletlerin yüksek depo ve atölyelerde yüklenmesi ve boşaltılması için işlev görmektedir ve uzun tutamak ve çatalların bulunduğu elektrikle çalışan forkliftin bir alt türü olmaktadır. Palet boyutlu malzemelerin işletme içerisinde çekicilerle taşınması için tasarlanan palet taşıyıcılar, paletlerin dar ortamlarda kısa mesafelerde taşınmasında kullanılmakta, yağsız ekipman kullanımı, hidrolik yağ sızıntısı nedeniyle kirlilik riskini yok etmekte ve 4 teker üzerinde geniş malzeme yükleme zeminine sahip çekme tipinde araç olmaktadır. Ağır ve hacimli yüklerin taşınmasını sağlayan platformlu taşıyıcıların, kabin, sürücü standı, uzaktan kumanda ve otomasyon olmak üzere 4 kullanım şekli bulunmakta, geniş yüzeyi ve 2 yönlü ve çok yönlü direksiyona sahip olmaktadır. Forkliftin öndeki tekerler üzerinde taşınan yükün ağırlığını dengeleyen ağır bir karşı ağırlığa sahip olduğu ünite tasarımıyla üretilen dengelenmiş kaldırma taşıyıcısının, içten yanmalı motorlu ve akülü elektrikli denge ağırlıklı olmak üzere 2 türü bulunmaktadır. İçten yanmalı motorlu dengelenmiş kaldırma taşıyıcısı, ünitenin arkasına entegre edilirken, akülü elektrikli dengelenmiş kaldırma taşıyıcısı, üniteye takılı akülerin ek ağırlığı aracılığıyla dengelenmekte ve 1.8 ile 48 ton arasındaki yükleri taşımaktadır. 3 taraflı veya 2 taraflı taretli kamyonlar olarak bilinen ve dar koridorlarda (1.500 ile 1.800 mm arası) çalışmaya yönelik makineler olan dar geçit taşıyıcıları, yükleri 14 metreden daha yükseğe kaldırabilmekte, depoda taşınabilecekleri düz zemine ihtiyaç duymakta ve çatalları sayesinde paletlerin hareketlerini yaptırabilmektedir (Ateş ve ark., 2023).

Yerde veya yüksekte, kapalı devre çalışma düzeni ile yüklerin taşınmasını sağlayan cihazlar olan ve malzemeleri sabit bir rotada taşımada kullanılan konveyörler, yeterli akış hacmi olduğu durumlarda kullanılmakta ve tekerlekli konveyör, silindirik konveyör, zincirli konveyör, düz kayışlı konveyör, pnömatik konveyör ve RGV örnek olarak gösterilebilmektedir. Tekerlekli konveyörde, yatay itme uygulamalarında ya da yerçekimi akış çözümleri için hafif düşüş açılarındaki konveyör şeritlerini yapılandırmak için çeşitli konveyör rayı şekillerine ve çeşitli tekerlek desenlerine sahip bir dizi tekerlek monte edilirken, silindirik konveyör, nesnelerin elle, yerçekimiyle ya da güçle hareket ettirilebildiği bir çerçeve içinde desteklenen bir dizi makaradan oluşan konveyör çeşidi olmakla birlikte zincirli konveyör, düz ya da kavisli olarak istenilen kapasitede ürüne zarar vermeden ekonomik nakliye imkânı sağlamaktadır. Ayrıca konveyör üzerindeki plastik paletler sayesinde zincirin çeliğe sürtünmesi engellenerek yüksek

verimi ve sessiz çalışmayı sağlamakta ve dayanıklı çelikten üretilen, yüksek performans sergileyen, tahıl ürünlerinin istenilen kapasitede üretim yapılan ürünlerin zincirli taşıma bantları ile düz ve eğilimli şekilde iletilmesini sağlayan taşıma ekipmanları olarak nitelendirilmektedir. Taşıma işleminin düz bantlı avaralar ya da kasnaklar tarafından desteklendiği bantlı konveyörler olan düz kayışlı konveyörlerde, yüksek sürtünmeli düz bantlı konveyör sayesinde ürünler, kavramayı korurken dakikada 500 feet'e kadar hızlarda aktarılabilmektedir. Düz kayışlı konveyörler, torbaların taşınması, bileşen türlerinin sınıflandırılması ve toplanması, dosyalama, etiketleme, inceleme, paketleme ve ambalajlama görevleri için en uygun olanıdır. Pnömatik konveyörler ise, dökme malzemeleri veya özel taşıyıcılar içinde birim yükleri, bir kanal içinde hareket eden hava akımıyla iletimde kullanılmaktadırlar (Demirpolat ve ark., 2016).

RGV (Ray Yönlendirmeli Araçlar), elektrik ve bilgi ileten kabloları bulunduran raylar üzerinde kendi motorları ve işlemcileri ile hareket eden araçlardır. Raylar üzerinde hareket etmekte ve yere sabitlenmiş raylara ihtiyaç duymaktadırlar. Ayrıca çok da hızlıdırlar (Garabini ve ark., 2021).

Ağır yükleri kaldırmak, indirmek ve taşımak için kullanılan vinçler için, portal vinç, pergel vinç, köprü vinç, istifleme vinci örnek olarak verilebilmektedir. Portal vinç, bir çalışma alanını desteklemek için kullanılan bir yapı olan bir portalın üzerine eklenmiş bir vinç iken, pergel vinç, yineleyen ve benzersiz kaldırma işlevleri için genellikle daha küçük bir çalışma alanında kullanılan bir tür havai kaldırma aracı olmaktadır ve çok yönlü özelliği bulunmaktadır. Köprü vinç, atölyeler, depolar ve işletmeler arasında malzemeleri kaldırmak işlevi gören bir araç olmakta ve uçları uzun beton kolonlar ve metal dayamalar ile desteklendiği için köprü şeklini almakta iken, istifleme vinci, forkliftlerin işlev görmediği bina içlerinde, dar depo alanlarında kullanılan forklift kadar mali açıdan fazlalığı olmayan pratik araçlar olmaktadır (Koçan, 2014).

İstenilen yükleri otonom şekilde taşıma işlemini yapmak için tasarlanan, tek başlarına uyarlanabildikleri gibi bir sistem üzerinden de kontrol edilebilen ve gideceği yolu belirleme konusunda izleme ve tahmin etme gelişmelerini kullanan AGV (Otomatik Yönlendirmeli Araçlar), CAD yazılımı ile programlanmakta ve yollar bu yazılımla beraber belirlenmektedir. Sürücüsüz ve bir batarya ile enerji sağlamaktadırlar (Koçan, 2014).

AGV'lerin araç, yönlenme yolu, kontrol ünitesi ve bilgisayar arayüzü olmak üzere 4 bileşeni bulunmaktadır. Araç, operatöre ihtiyaç duymadan sistemde malzeme taşınmasında işlev görmekte, yönlenme yolu, aracın hareketini ve yönlenmesini yol sürecinde yönlendirmekte, kontrol ünitesi, geri beslemeyi içeren operasyon sistemini koordine etmekte ve bilgisayar arayüzü, sistemler arasında bağlantıyı sağlamaktadır (Koçan, 2014).

AGV'lerin çekme AGV, ünite yük AGV, montaj AGV, hafif yük AGV, forklift AGV, palet taşıyıcı AGV olmak üzere 6 türü bulunmaktadır. AGV'lerin ilk modeli olan ve römorkun bir trenini çekmek için işlev gören çekme AGV, günümüzde çok kullanılmamaktadır. Ayrıca römork manuel olarak yüklenmektedir. Ünite Yük AGV'de, konveyörü ve kaldırma mekanizması otomatik olarak yüklenmektedir. Montaj AGV, montaj platformu olarak işlev görmektedir. Küçük hacimli yükler için kullanılan hafif yük AGV, elektronik montaj ve ofis eşyalarının taşınma sisteminde işlev görmektedir. Forklift AGV, zemindeki ve tezgâh üzerindeki yükleri kaldırmak ve geri boşaltmak için işlev görmekte iken, palet taşıyıcı AGV, paletlenmiş yüklerin kaldırılması ve taşınması için işlev görmektedir (Küçükoğlu ve ark., 2018).

AGV'lerin yönlendirme sistemi, önceden dizayn edilmiş yolda aracı konumlandırmak içindir. Kolayca yolun değiştirilebilmesi büyük bir avantajdır. Tel yönlendirmeli sistem, optik yönlendirmeli sistem, atalet yönlendirme sistemi, lazer yönlendirme sistemi, manyetik bant yönlendirme sistemi olmak üzere 5 yönlendirme sistemi çeşidi bulunmaktadır. Tel yönlendirmeli sistem, deponun zemininde makine tarafından algılanan manyetik alan yayan bir telin bulunduğu, kablunun rotayı belirlediği ve AGV'nin bunu takip ettiği sistemdir. Şerit bandı zemine dayandıran ve boyatan optik yönlendirmeli sistemde araç, yolu tespit etmesine onay veren kalıcı bir sensöre sahiptir. Sistemler, şeridi aydınlatmak için UV-dışı aydınlatma ile görülemeyen bir ultraviyole (UV) ışık kaynağı kullanmaktadır. Ayrıca tesislerde ya da depolarda kullanılamaz. Referans noktalarını belirli koordinatlara yerleştiren atalet yönlendirme sisteminde, sensörler referans noktalarının başka referans noktasından geçişini algılamaktadır. Araç üzerinde bulunan jiroskop, aracın yönünü ölçmekte iken, araç üzerinde bulunan tekerlek kodlayıcı ise, kat edilen mesafeyi ölçmektedir. AGV, yönünü belirlemek için bu üç cihazdan bilgi almaktadır. Lazer yönlendirme sisteminde, AGV, bir döner taret, taret üzerinde ise lazer verici ve alıcı devresi barındırmaktadır. AGV'den yollanan lazer ışını, sabit makinelerdeki bantlardan yansıyarak tekrar AGV aracı üzerindeki alıcı devresine iletmektedir. Bu yolla aracın içinde yer aldığı lazer üçgenler

gerçekleştirilerek, AGV'nin yansıtıcı bantlarla olan uzaklığı ve yaptığı açı görünmüş olmaktadır. AGV'nin kontrol devresindeki hafızasında yer alan kodlanmış olan haritada aracın konumu bu şekilde tespit edilmektedir. Manyetik bant yönlendirme sisteminde, zeminin yüzeyine manyetik bant yapıştırılmaktadır. AGV'nin altındaki bir sensör manyetik bandı algılamakta ve sensörden gelen analog sinyal değişimine göre araç yönlendirilmektedir (Küçüköğlu ve ark., 2018).

AGV'nin yükleme ve boşaltma işlemleri manuel yük transferi ve otomatik yük transferi olarak 2 şekilde yapılır. AGV'ler otomatik depolama sistemi, esnek imalat sistemleri, CNC makinaları, proses kontrol ekipmanları, iş zemini kontrol sistemi ile sürekli etkileşim içindedir (Tellini ve ark., 2019).

AGV'lerde güvenliği sağlamak için bazı yöntemler kullanılmaktadır. Her araçta emniyet frenleri yer almakta ve aracın üzerinde acil durdurma düğmeleri bulunmaktadır. Batarya güçsüzleştğinde koordine ediciye uyarı mesajı gönderilmekte ve aracın altındaki yolun ve çiplerin temiz olması için fırçalar ve silindirler barındırılmaktadır. Aracın önüne ve arkasına yerleştirilen sarı ışıklar, araç hareket ederken yanmaktadır. AGV'ler hammadde depolama, montaj operasyonları, esnek üretim sistemleri, üretim operasyonları, bitmiş ürün depolama gibi durumlarda kullanılmaktadır (Kulaç, 2019).

Elektrikli monoray sisteminde (EMS) konveyörler, elektrik ve bilgi taşıyan kabloları barındıran raylar ve bu raylar üzerinde kendi motorları ve işlemcileri ile hareket eden araçların entegrasyonudur. Her aracın kendi motoru ve kontrol ünitesi yer aldığı için oldukça esnektir, bu sayede karışık rotalarda taşıma, sıralama ve dağıtım işlemleri için kullanılabilir (Kluska ve ark., 2018).

İşletmelerin tedarikçilerinden temin ettikleri malzemeleri ihtiyaç duydukları zamanda, sadece ihtiyaç duydukları miktarlarda temin edebilmelerini sağlayan Milk-run sistemi, tedarik malzemesi stoklarını azaltarak veya ortadan kaldırarak stok maliyetlerini düşürmekte ve siparişlerin tedarikçilere aktarıldığı bilgi akışını etkin yönetmeyi sağlamaktadır (Gyulai ve ark., 2013).

Milk-run sisteminin üretim işletmelerinde 2 ayrı uygulama alanı bulunmaktadır: tedarikçilerden şirket hammadde deposuna (merkeze toplama) ve hammadde deposundan üretim istasyonlarına (merkezden hücrelere dağıtım) dağıtımdır. Tedarikçilerden şirket hammadde deposuna milk-run uygulamasında tedarikçiler şirketin en yakınından uzağına bölgeler ve rotalar bazında gruplanır. Amaç bölgeler ve rotalar bazında araç doluluğunu sağlayarak tedarikçilerin mevcut sevkiyat sıklığını artırmaktır. Hammadde deposundan üretim istasyonlarına milk-run uygulamasında

depoda mevcut parçaların ihtiyaç anında ve uygun miktarda kullanıcının yanında olması sağlanırken bu işlemin minimum kaynak harcanarak yerine getirilmesi sağlanmaktadır. Milk-run sistemi 7 adımda uygulanmaktadır (Karaçal, 2017).

1. Ana üretim sürecinin analiz edilmesi
2. Dağıtım ve toplama yollarının tasarımı
3. Bilgi akışının ve yönetimin tasarımı
4. Zamanlama algoritmasının geliştirilmesi
5. Sistemin simülasyon ile doğrulanması
6. Sistemin uygulanması
7. Sistemin bakımı ve geliştirilmesi

Milk-run sistemi, taşımacılıkta minimum aracın ve yakıtın kullanılmasından dolayı maliyet tasarrufu sağlamaktadır. Emisyonun ve yakıtın az kullanılmasından dolayı çevreye olan olumsuz etkiler minimize edilmektedir. Rotaların optimize edilmesi ile teslimat süreleri iyileşmekte ve stok seviyeleri düzeltilerek ve stok takibi daha doğru yapılarak stok yönetiminde iyileşme gözlenmektedir. Milk-run sisteminin uygulanmasını sağlayan çeşitli yazılımlar bulunmaktadır. Bunlara Lojisoft, LogD, GeoWix, FlexSim örnek olarak verilebilmektedir. Bu yazılımlar, milk-run sisteminin simüle edilmesiyle uygulanmasını sağlamaktadır (You ve ark., 2014).

Bir sistemin işleyişinin ne kadar başarılı olup olmadığının belirlenmesi ve değerlendirilmesi olan performans göstergesi, malzeme taşıma sistemleri için aşağıdaki gibi belirtilebilmektedir (Kılıç, 2011):

1. Üretimde Döngü Verimliliği
2. Malzeme Taşıma İşçilik Oranı
3. Depolama Alanı Kullanım Oranı
4. Malzeme Taşıma Aracı Kullanım Oranı
5. Koridor Alanı Koruma Oranı
6. Hareket/Operasyon Oranı
7. Hasarlı Yük Oranı
8. Enerji Oranı

1.2. Yalın Üretim ve İç Lojistik

Üretimde israfın ortadan kaldırılmasının hedeflendiği, üretim potansiyelinin maksimum seviyede olmasının istendiği, maliyetin ve işçiliğin minimuma indirilmesiyle firmaların maksimum kâr elde etmek istediği sistem olan yalın üretimin ilkeleri; değer, değer akışı, akış, çekme ve mükemmelliktir (Sol, 2011).

Değer, üreticinin müşteri için ifade ettiği maksimum kâr elde ettiren kavramdır. *Değer akışı*, israfları ve iyileştirme yöntemlerini tespit etmek için seçilen bir ürün için gerekli olan bilgi ve malzeme akışının sağlanmasıdır. *Akış*, teslimat sürelerinde iyileştirme yollarının tanımlanmasıdır. *Çekme*, Malzeme İhtiyaç Planlamasının (Material Requirement Planning) (MRP) aksine talebin olmasına kadar hiçbir malzemenin alınmadığı ve üretiminin yapılmadığı sistemdir. *Mükemmellik*, kalite sorunlarının kök nedenlerine inerek ve israfın ortadan kaldırılmasını sağlayarak ulaşılmak istenen yalın üretim şeklidir (Sol, 2011).

Yalın üretimde israf türleri; mura, muri ve mudadır. *Mura*, talep dalgalanmalarından kaynaklanan israf türleridir ve değer katan faktörlerin dengesiz olarak iş yüklenmesi anlamına gelmektedir. *Muri*, üretime katma değer sağlayan maddelere fazla yüklenmektir ve ayrıca bir makineye ya da insana fazla iş yükü yüklemek kalite, ergonomik ve güvenlik problemlerine sebep olmaktadır. *Muda*, çevrim sürelerini artıran tüm faaliyet ve durumlardır. Yalın üretimde israflar (mudalar), aşırı işleme, hatalı üretim, aşırı üretim, bekleme, gereksiz taşıma, fazla stok, aşırı hareketler olarak ifade edilmektedir. Tesis planının yanlışlığı, tedarikçilerin etkinliğinin eksikliği, bakım faaliyetlerinin eksikliği, ayar ve tamir sürelerinin uzunluğu, planlama eksikliği, hammadde kalitesinin yetersizliği, eğitimlerin yetersizliği, geleneksel yönetim teknikleri, müşteri şikayetlerinin doğru değerlendirilememesi yalın üretim israflarının nedenleri olarak kabul edilebilmektedir (Gecü, 2008).

Yalın üretim teknikleri; kaizen, tam zamanında (*just-in-time*) (JIT), değer akışı haritalama (*value stream mapping*) VSM, tek dakikada kalıp değişimi (*single minute exchange of dies*) SMED, yamazumi, poka-yoke, A3 raporlama, hoshin kanri, jidoka, kanban ve heijunkadır. *Kaizen*, üretimi sürekli ve küçük değişikliklerle iyileştirmektir. *JIT*, amacı envanteri minimuma indirerek ve verimliliği maksimuma çıkararak tam zamanında üretimi sağlamaktır. *VSM*, bir ürün ya da hizmetin belirli bir sürecin başından başlayarak müşteriye ulaştırılmasını sağlamak amacıyla mevcut durumu ve gelecekteki durumu analiz etmek için kullanılan yöntemdir. *SMED*, bir makinenin

kurulum süresini ve kalıp değişim sürelerini kısaltmayı hedefleyen tekniktir. *Yamazumi*, iş adımlarının dengeli ve düzenli olarak dağılımı sağlanarak hat dengelemenin sağlanmasıdır. *Poka-yoke*, operatörlerin manuel iş yaparken hatalarının önlenmesini sağlayan tekniktir. *A3 raporlama*, bir problemi analiz etmek ve çözüm geliştirmek için kullanılan tekniktir. *Hoshin kanri*, bir işletmenin günlük faaliyetlerinin stratejik hedeflerle uyumlu hale getirilmesini sağlayan tekniktir. *Jidoka*, makine ve operatörlere olumsuz bir durumla karşı karşıya kaldıklarında problemi tespit etme ve yapılan işi durdurma yeteneği kazandırmaktır. *Kanban*, üretimi takip etmek için kullanılan yalın üretim tekniklerinden biri olmakta ve çekme sisteminin bir parçası olarak hangi ürünün ne kadar ne zamanda ve nerede üretildiği bilgilerini kontrol etmektedir. Kanban kartları, üretim sırası ile aynı olmalı ve miktar olarak kanban kartlarından fazla üretim yapılmamalıdır. Tam zamanında üretimi hedefleyen kanban için, tam zamanında üretimde teslim kanbanı ve üretim emri kanbanı kullanılır. *Heijunka*, sabit zaman diliminde üretimi seviyelendirmek anlamına gelmekte ve parti üretimi kaldırarak müşteri taleplerini yerine getirmeyi sağlamaktadır (Gecü, 2008).

Yalın üretim, verimliliği, ürün kalitesini, çalışan memnuniyetini ve kapasiteyi artırmakta, tedarik sürelerini iyileştirmekte, makine ve süreç hatalarında, kusur ve tamir sayısında, stoklama miktarında azaltmayı ve envanter seviyelerini düşürmeyi sağlamaktadır (Gecü, 2008).

İletilebilir mal ve eşyaların üreticiden tüketiciye kadarki geçen zaman süreci olan lojistiğin en önemli görevlerinden biri, malın tam, arızasız olarak müşterinin eline ulaşmasıdır. Lojistik biliminin içerisinde ithalat, ihracat, stok ve depolama yer almaktadır. Mal ve iletilebilir ürünlerin işletme içerisindeki serüveni olan iç lojistiğin sorumluluğunda, malların işletmenin içindeki tüm hareketleri ve akışı yer almaktadır. Depolama sorunları için çözüm olan iç lojistik, uygun depolama alanlarının oluşmasını kapsam içerisine almaktadır. Maliyetlerin azalıp iç lojistiğe uygun ürün sunulması, ürünlerin kalite standartlarına uygun sunulmasını sağlamaktadır. Operasyonel anlamda fizibilite çalışmaları yapılarak iç lojistik anlamında gelişme kaydedilebilmektedir. Doğru olarak uygulanan iç lojistik uygulamaları firmalar arasındaki ticari bağları güçlendirmekte ve ayrıca iç lojistik, destek standart sapmaların da en az seviyelerde tutulmasına yardımcı olmaktadır. İç lojistiğin kullanım alanı olarak dağıtım merkezleri, depolar, stok yönetimi, üretim ve perakende örnek olarak sayılabilmektedir (Pawlewski ve ark., 2021).

Geleneksel iç lojistik sistemi ve yalın iç lojistik sistemi karşılaştırılmasını Çizelge 1.1'deki gibi ele almıştır (Gecü, 2008).

Çizelge 1.1. Geleneksel iç lojistik sistemi ve yalın iç lojistik sistemi karşılaştırılması

Geleneksel İç Lojistik Sistemi	Yalın İç Lojistik Sistemi
Stok seviyesi yüksektir.	Stok seviyesi azdır.
Üretim esnekliği azdır.	Üretim esnekliği fazladır.
Malzeme taşıma süresi, işlem süresi, çevrim süresi, bekleme süresi fazladır.	Malzeme taşıma süresi, işlem süresi, çevrim süresi, bekleme süresi azdır.
Toplam iç lojistik maliyeti fazladır.	Toplam iç lojistik maliyeti azdır.
Stok alan ihtiyacı fazladır.	Stok alan ihtiyacı azdır.
Kutu hacmi fazladır.	Kutu hacmi azdır.
Standardizasyon azdır.	Standardizasyon fazladır.
Kalite azdır.	Kalite fazladır.

Klasik iç lojistik sisteminin yalınlaşması için aşağıdaki adımların oluşturulması gerekmektedir (Kılıç, 2011):

1. Üretim hattında lojistik ihtiyaç duyan her parça için planlama yapma
2. Satın alınan ürünler için pazar planı oluşturma
3. Çekme sinyallerinin planlanması
4. Fabrika içinde veya dışarısında dağıtım hattının oluşturulması
5. Sistemin her zaman geliştirmeye açık olacak şekilde tasarlanması

Yalın iç lojistik sisteminde yalın üretim teknikleri kullanılmaktadır. İç lojistik sisteminin sağlanması için üretimde faydalanan malzeme taşıma sistemleri kullanılmaktadır. Hat yanı stok, malzemelerin taşınma büyüklüğü, malzeme dağıtım şekli ve malzeme ambalajlarının elleçleme gerekliliklerine göre hattın beslenmesi değişiklik göstermektedir (Topuz, 2021).

Hat besleme tipleri; sürekli tedarik, parti tipi besleme, set şeklinde teslimat, sıralı teslimat ve yeniden paketlemeli beslemedir. *Sürekli tedarik sistemi*, malzemenin montaj istasyonlarına elleçlemeye uygun boyutlarda dağıtıldığı ve boşaldığında yeniden tedarik edilerek parça kaplarının doldurulduğu hat besleme şekli olmakla beraber bütün parçaların kendi kutularında ve hat kenarında sürekli olarak bulundurulduğu sistemdir. Sürekli besleme şeklinde parçalar o anda kullanılmasa bile hat kenarında stoklandığından parça çeşidinin az olduğu sistemler için uygun olmaktadır. Ayrıca

malzemelerin fazla üretilerek depolanması yükünden ve maliyetinden kurtarmayı sağlayan hat besleme türü olduğu da söylenebilmektedir (Sol, 2011).

Parçaların hat kenarına plandaki kısıtlı ürünler için sağlandığı, üretilecek ürünlerin parçalarının hat kenarına verildiği ve bütün ürünlerin üretimi tamamlandığında bu parça kasaların depoya geri taşındığı *parti tipi beslemede*, bir sonraki partinin ürünlerinin parçaları hat kenarına teslim edilmektedir. Bu tip beslemede, belli özel müşteri siparişleri veya benzer parçaların üretimi yapılmakta ve müşteri talebi ve kullanılabilir zaman 2 önemli değişken olarak nitelendirilmektedir. Üretim süreçlerinin her zaman dinamik olduğu bu tip beslemede, müşteri isteği karşılandıktan sonra işlem son bulmakta ve sonraki müşteri talebi için yeniden işlem başlamaktadır. Partilerin büyüklükleri ve partide yer alan ürün miktarları en önemli konuları olmaktadır. Üstelik verimlilik çalışmaları bu konular ile ilgili de yapılabilmektedir (Sol, 2011).

Üretilen ürünlerin bir kutuda ya da bir taşıma aracında toplu olarak belirlenen miktarlarda müşterilere sunulması olarak nitelendirilen *set şeklinde teslimatta*, setler sadece tek çeşit ürünlerden oluşmaktadır (Sol, 2011).

Sıralı teslimatta stok kontrol çok fazla yapılmamaktadır. Ürünün seri bir hatta montaj gördüğü ve her istasyonda sadece birkaç parçanın montaj edildiği sistemlerde set şeklinde teslimat, kullanım zorluğu yaşatabilmektedir. Çünkü gereğinden fazla malzeme elleçlemeye neden olmaktadır. Bu tip teslimatta, lot boyutları ve kurulum süreleri, çalışan esnekliği, görsel zamanlama ile döngüsel sürenin azaltılması amaçlanmaktadır (Sol, 2011).

Yeniden paketlemeli beslemede, hat yanında stok miktarını azaltarak hatta gönderilecek malzemeler elleçlenerek daha küçük boyutta malzeme ambalajlarına konularak besleme yapılmaktadır (Sol, 2011).

Çekme sistemi yaklaşımları; süpermarket çekme sistemi (A tipi), sıralı çekme sistemi (B tipi) ve süpermarket ve sıralı çekme karma sistemidir (C tipi). *Süpermarket çekme sistemi* (A tipi), üstünü yenileme ve üstünü tamamlama olarak da isimlendirilmektedir. Her prosesin, ürettiği her üründen bir miktarını stokladığı bir süpermarketi bulunmaktadır. Her proses ana süpermarketinden ne çekildiyse sadece çekilenin üstünü tekrar tamamlamak için üretim yapmaktadır. *Sıralı çekme sisteminde* (B tipi), bir süpermarkette her biri için stok tutulacak çok fazla sayıda parça çeşidi olduğunda kullanılabilir. Ürünler genellikle “siparişe göre üretilmekte” ve bu yüzden toplam sistem stokları minimuma düşürülmektedir. *Süpermarket ve sıralı çekme*

karma sistemi (C tipi), süpermarket ve sıralı çekme sistemlerinin birlikte kullanıldığı sistemdir. Karma sistem, 80/20 kuralı geçerli olduğunda, yani günlük üretim hacminin çoğunu (belki %80'ini) parça çeşitlerinin küçük bir yüzdesi (belki %20'si) oluşturduğunda faydalı olabilmektedir. Genellikle parça çeşitlerini üretim hacmine göre (A) yüksek, (B) orta, (C) düşük ve (D) seyrek siparişler olarak gruplamak için bir analiz yapılmaktadır. Tip (D), özel sipariş ya da yedek parçaları göstermektedir. Bu düşük sayıda giden kalemleri yönetmek için, özel bir parça çeşidi değil, onun yerine bir kapasite miktarını temsil eden özel bir D tipi kanban yaratılabilmektedir. D tipi ürünler için üretim sırası, üretim planlama bölümünün sıralı çekme sistemi parçaları için kullandığı metotla belirlenmektedir (Topuz, 2021).

Hat besleme çeşitleri ve çekme sistemi yaklaşımları iç lojistik sisteminin tasarlanmasında önemli görev almaktadır. İç lojistik iyileştirmesi yapılırken planlanan çalışma doğrultusunda fabrika üretim sahası ve depolarında tesis düzenlemeleri yapılmaktadır. Buradaki amaç, yeni tesis düzeninde hatlarda takt süresine uygun şekilde yapılacak üretimin malzeme tedarikini hızlı ve yalın bir şekilde yapmaktır (Topuz, 2021).

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Günümüze kadar yalın üretimde iç lojistik ile ilgili yapılan akademik çalışmalar üzerinde literatür taraması yapılmıştır. Bu konu üzerinde yapılan literatür araştırmalarının her geçen gün artış gösterdiği görülmüştür.

Bilici ve ark. (2007), çalışma yükünün orantısız dağıtımı, taşıma sürecinde ortaya çıkan fazla vakit kaybı, fazla proses içi stok seviyesi gibi durumları problemler olarak tespit etmişlerdir. Çözüm olarak; halihazırda taşıma sisteminin noksan yanları tespit edilerek ihtiyaç bölgelerine rutin şekilde tedarigi gerçekleştiren, proses içi stok ve lojistik maliyetini minimuma indirmeyi sağlayan lojistik sistemi dizayn edilmesi olarak belirlenmiştir. Bu çalışmada öncelikle numaralandırmalar yapılarak rotalar belirlenmiştir. Sonrasında maliyetleri minimize etmek hedeflenmiştir ve matematiksel model geliştirilmiştir. Modeldeki kısıtların gidişatıyla 2 araçlı ve 3 araçlı taşıma sistemleri tavsiye edilmiştir. Fabrikaya kanban sisteminin kullanılması gerektiği yönünde çözüm önerilmiştir.

Gecü (2008), iç lojistik sistemlerini tekrardan oluşturdu. Önceki sisteme ait olanlar basamak basamak yok edilmiş ve yalın üretim felsefesine uygun sistem oluşturuldu. Projeye “Kit Delivery” adı atfedildi. Üretim parçalarının depolanması, montaj hattına iletilmesi gibi iç lojistik sistemlerle alakalı önemli adımlar atıldı. Montaj hattı çevrim süresini azaltmak, FIFO’yu gerçek anlamda uyarlamak ve beklenen kalite standartlarında araç üretmek için nasıl bir lojistik yapılanmada olunması gerektiği benimsenerek çözümler meydana çıkartıldı.

Çay ve ark. (2010), bir çamaşır fabrikasında var olan milk-run taşıma sisteminin fayda sağlayıcı şekilde işlev görmemesinden, milk-run taşıma araçlarının izlediği yol uzunluğunun fazla olması ve üretimdeki hareket fazlalığı gibi problemleri saptadılar. Üretimdeki bütün malzemelerin milk-run sistemine eklenmesi hedef olarak belirlendi. Bu nedenle matematiksel modelin, benzetim modellerinin ve sezgisel modelinin birleştirildiği SYMECA modeli hazırlanıp kullanılmıştır. Bu model arayüz ile kullanılmaktadır. Bu arayüz ile istedikleri kısıta göre problemi çözülmüştür. Bu yeni rotalama güzergahıyla birlikte var olan dört milk-run üçe düşürüldü ve rota düzenlenmesiyle çakışmalar önlendi. Milk-run taşıma aracının kat ettiği yol ve çalışan sayısı azaltıldı. Forklift kullanımı bütünüyle yok edilerek tüm malzemeler milk-run sistemine geçirildi. Forklift kaldırılması verimliliği sağladı.

Kılıç (2011), yalın üretimi hedef kabul eden bir otomotiv firmasında, hali hazırda bir döngüsel sefer yapısının değişik senaryolarda nasıl çalışması gerektiğiyle ilgili çözüm önerileri oluşturdu. Mevcut modellerden fabrikadaki probleme yakın olanı tespit edilmiş ve fabrikaya özgü şekilde model uyarlandı. Ortaya çıkan çözüm önerileriyle sistemin hangi rotalarla, kaç araçla ve ne kadarlık stokla devam edebileceği tespit edildi.

Sol (2011), set şeklinde teslimatın sanayideki vaziyeti ve firmaların set şeklinde teslimatına bakış açısını değerlendirdi. Oluşan çalışmalar incelenerek firmaların set şeklinde teslimatı kullanma nedenleri, sistemin uygulama zorlukları ve meydana çıkardığı kazançlar incelenmiş ve elde edilen bilgilerle set şeklinde teslimat için bir süreç yaklaşım metodu oluşturulmuştur. Set şeklinde sevkiyat, aydınlatma ile ilgili bir firmada modifiye edildi. Set şeklinde sevkiyatın yarı mamul adetlerini azalttığı, üretim parçası iletiminin kontrolünü kolaylaştırdığı, daha esnek bir üretim süreci oluşturduğu, mamul taşımalarını azalttığı, hat kenarı bölgesinden kazanç sağladığı, hat kenarı stok miktarlarını azaltarak üretim hattında düzenliliği gerçekleştirdiği, çevrim süresini azalttığı ve üretkenliği fazlalaştırdığı, setlerin montaja uyarlı tasarımı ile hataları azaltarak kaliteyi artırdığı gözlemlendi.

Srour ve ark. (2011), Stacker Crane probleminin (SCP) çözüm zorluk seviyesini istatistiksel metotlarla analiz etmişlerdir. Birbirinin aynısı olmayan problem türleri için çözüm sürelerini kıyaslamış ve SCP'nin, ATSP içinde eşsiz bazı yapısal özellikler barındırdığını söylemiştir. Ayrıca, çözüm sürelerini tahmin edebilmek için farklı mesafe matrisi ölçütleri ile çözüm algoritmalarının bağlı arasındaki durumlar değerlendirilmiştir. Bu çalışma, SCP'nin çözüm zorluk seviyesinin sadece problem çeşitine değil, aynı zamanda mesafe matrisiyle ilişkili olduğunu ifade ederek, SCP'nin klasik ATSP'nin aynı kapsamda değerlendirilmemesi gerektiğini açıklamıştır.

Koyuncuoğlu (2012), konteyner terminallerindeki istif vinçlerinin iş ataması ve rotdanması problemini incelemiştir. Çalışmada, vinçlerle eş zamanlı olarak alım ve teslimat görevlerinin çizelgelenmesi, İstifleyici Vinç Problemi (*Stacker Crane Problem-SCP*) yapısında modellenmiş ve bu problem karma tamsayılı programlama ile gösterilmiştir. Modelde her konteynerin bir alma ve bir teslimat noktası var olmakta, bu eşleşmelerin hepsi bir görev çifti olarak incelenmektedir. Amaç fonksiyonunda toplam tamamlama süresi minimize edilmek istenmiştir. Sonuçlar, değişik iş ve vinç sayılarına göre algoritmaların performansını kıyaslamalı şekilde ifade edilmektedir.

Gyulai ve ark. (2013), milk-run problemi başka bir deyişle araç rotalama problemi ile ilgili çalıştılar. Bu problemi sonuçlandırmak için kurucu sezgisel yöntemin ve yerel arama algoritmasının birlikte yer aldığı bir yaklaşım oluşturdular. Buluşsal yöntem, net tarihli problemler için kısa yöntemle çözüm bulmayı sağlayan yöntemdir. Yerel arama algoritması, zor sınıfta bulunan sorunlara nitelikli çözüm bulmak hedefi için oluşturulan yöntemdir. Bu yaklaşımı test ettiler ve gerçek hayatta uygulanması için önerdiler.

Ávila ve ark. (2014), Stacker Crane Problem'i (SCP) yönlendirilmiş genel rotalama problemi (*Directed General Routing Problem - DGRP*) boyutunda SCP'nin poliedral yapısını inceleyerek çözüm amacıyla branch-and-cut algoritması oluşturulmuştur. Çalışmada, her biri bir alma ve bırakma noktası olan görev çiftlerinin yönlü bir grafta en az maliyetli rotayla oluşturulması amaçlanmış, problem doğrusal programlama kapsamında gerekli eşitsizliklerle modellenmiştir. Sayısal testler, önerilen modelin ve algoritmanın SCP'nin çözümünde yüksek performans gösterdiğini meydana çıkarmıştır. Bu kapsamda çalışma, SCP literatürüne hem teorik hem de uygulamalı şekilde değerler katmaktadır.

Koçan (2014), setleme sisteminin tasarlanmasını ve hangi parçanın set olarak bulunacağına karar verme işlevini sağlayacak bir algoritma geliştirdi. Hat kenarlarında beslemenin problem olarak belirlendiği bir otomotiv firmasında uygulandı. Uygulama esnasında hat kenarındaki iç lojistik sistemleri tekrardan tasarlandı. Sevkiyatın set şeklinde yapılmasıyla montaj hattı çevrim süresi düşürüldü. Hat kenarlarındaki raflar sahadan kaldırıldı. Stok miktarları azaltılmış oldu. Temin sürelerinde iyileşme sağlandı. Montaj görevlisinin parçayı arama ve seçme adımları yok edildi. Hangi malzemelerin set şeklinde oluşacağını tespit edecek karar ağacı oluşturuldu.

Demirpolat ve ark. (2016), bir dondurma fabrikasında iç lojistik probleminin çözülmesi için matematiksel model geliştirdi. Bu işletmede transpalet kullanımıyla birlikte ortaya çıkan gereksiz yığılmalar ve transpalet hareketleri imha edilmek istendi. Bu işletmede çizelgeleme kullanılmayıp itme sistemi ile transpalet kullanımı sağlanmaktadır. Bunun için milk-run sistemi önerilmiştir. Fabrika yerleşkesi baz alınarak rotalama problemi yok edilerek hazır rotalara atama yapılmıştır. Önerilen matematiksel model Cplex ile çözülerek optimal bulma hedefine ulaşılmıştır. Oluşturulan matematiksel model kısa sürede cevap veremediği için iki aşamalı sezgisel model kullanılmıştır. Bu sezgisel model ile birlikte mümkün olan durumlarda en kısa sürede tüm hatları besleyebilecek sistemi bulmak amaçlanmıştır. ZNEC karar destek

sistemi ile bir arayüz geliştirilerek kullanılmıştır. Bu arayüz vardiya planı arayüzüdür. Bununla birlikte operatör yönlenecektir. Milk-run aracı ile taşınamayacak malzemeler için çeşitli tasarımlar yapıldı. Elleçleme yöntemine uygun tekerlekli tasarımlar geliştirilmiştir. Tavsiye edilen kap taşıma aracında makaslı yük platformundan, koli taşıma aracında ise menteşeli açılır kapanır düzeneğinden faydalanılmıştır. Külâh taşıma aracının dizaynında 2-bin düzeninden faydalanılmıştır. Bu dizaynlar hayata geçirilerek çalışanların ergonomisinde iyileşme sağlanmıştır.

Gazda ve ark. (2018), malzeme taşınmasında milk-run sisteminin kattığı artılar kapsamında çalışma yaptılar. Rotalamanın maksimum verimi bulunurken milk-run sisteminden yararlanılır. Çalışma istasyonlarında minimum stok belirlenerek depolanır. Milk-run sisteminde lojistik tren kullanılır. Milk-run sisteminin kullanılmadığı durumlarda forklift kullanılır. Milk-run treninin hedefi, depoya gönderilen talebe göre belirli malzemeleri, belirli bir rotada, belirli zaman diliminde hareketlendirerek iletmeektir. Hammadde veya bileşen talebi, belli çalışma istasyonunda gerekli uygun malzemeyi tespit eden ve kanban kutuları şeklinde ileten kanban sistemi dahilindedir. Birçok görevi aynı zaman aralığında bir milk-run treni yapıyorken bir görevi aynı zaman aralığında forklift yerine getirir. Römorklar, tespit edilmiş üretim sahasının malzemelerinin boyutu bazında ayarlanır ama forkliftler bu durumu oluşturmaz. Milk-run treni forklifte göre rahattır. Milk-run treni, malzemeleri çalışma istasyonlarına iletme ve boş paketleri toplamak için işlev görür. Forklift iki yönlü çalışma sağlayamadığı için milk-run treni gibi işlevsel değildir. İş sağlığı güvenliği boyutunda bakacak olursak milk-run treni daha makuldür. Milk-run treni ile daha kısa sürede ve daha fazla miktarda ürün iletilir. KLE firması iki araç üzerinde analiz yaparak bu çıktıları topladı. Milk-run sistemiyle birlikte araçları çalışılan işletmenin verimliliğinin optimizasyonu için avantajdır.

Kluska ve ark. (2018), iç lojistik sistemlerinde milk-run sisteminin simülasyonda uygulanması ile ilgili çalıştılar. Öncelikle, milk-run metodolojisinin basamakları anlatıldı. Ayrık olay (DES) ve ajan tabanlı (ABS) simülasyonlar uyarlanarak hibrit modelleme yaklaşımı kabul edildi. DES, üretim süreçleri için ABS ise lojistik süreçler için işlev görür. Bunların hibrit olarak uyarlanmış örneği analiz edildi. Sonrasında FlexSim simülasyon programıyla simülasyon yapıldı. Milk-run sistemindeki milk-run çalışanı iş listesini bununla hazırlayacaktır. Bu çalışma, metodolojiyi ve oluşturulan yöntemi açıklamıştır. Diğer çalışmalarda gerçek üretim süreçlerinde bu metodolojinin uygulanması amaçlanmaktadır.

Küçüköğlu ve ark. (2018), bir otomotiv yan sanayi firmasına ait ham madde ve yarı mamul teminini problem olarak belirlemişlerdir. Ham madde ve yarı mamul teminini daha işlevli duruma getirmek ve üretimdeki proses içi malzeme miktarını minimize etmek için iki aşamalı matematiksel model geliştirilmiştir. İlk aşamada taşıma uzunluğunu minimize edecek ve aracın güzergahını belirleyecek karışık tam sayılı matematiksel model, ikinci aşamada üretimdeki proses içi malzeme maliyetini minimize edecek karışık tam sayılı matematiksel model geliştirilmiştir. Bu model için iki senaryo belirlenerek hesaplama yapılmıştır. Araç güzergahı ve stoklar bu modelle tespit edilmiştir. Bu model ile beraber maksimum verimin sağlanacağı gözlemlenmiştir.

Kulaç (2019), üretim sahasının kesim istasyonundan montaj hatlarına kablo iletilen bölümde malzeme taşıma maliyetlerini minimize eden, katma değerli süreyi fazlalaştıran, basit yönetilebilir, standardize olan malzeme taşıma sistemi meydana getirildi. Üretim sahasında kablo iletilme işlemi Araç Rotalama Problemi (ARP) olarak kabul edilmiş ve bu problemin çözüm yöntemlerinden olan Clarke ve Wright Tasarruf Algoritması, Süpürme (*Sweep*) Algoritması ve Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Problemi (KARP) matematiksel modeliyle minimum sürede çevrimini tamamlayacağı iletim rotaları tespit edildi. Belirlenen sonuçlar mevcut durumla karşılaştırıldı ve optimumu Clarke ve Wright Tasarruf Algoritması'nın bulduğu gözlemlendi.

Tellini ve ark. (2019), milk-run sisteminin performansını yükseltmeyi amaçlayan önerileri göstermek için çalıştılar. Araç yönlendirme problemi için oluşturulan matematiksel modelle optimizasyon yapıldı. Sistem kapasitesi ve yönlendirme, verimli bir işletim sistemi için tekrardan oluşturuldu. Milk-run sisteminin yönetilmesini desteklemek için yazılım oluşturuldu. Milk-run sistemi bir araç ve dört vagon ile üretim istasyonlarını destekledi. Bu çalışma ile tur zamanlarında %15 azalma, tur miktarında azalma, hat sayısında yükseliş sağlanarak milk-run çalışanının boş zamanlarında yeni işlerin atanması sağlandı. Gerekli olmayan turlar, paketleme değişimi ve istenmeyen istasyonlar sistemden imha edildi.

Taşdan (2020), birebir toplama ve dağıtım problemini heterojen araçlarla sürdürülebilirlik amaçlarında incelemiştir. Her biri bir alım ve taşıma noktasından meydana gelen taleplerin, çeşitli kapasitelerdeki araçlarla eşleştirilmesi zorunluluğu, çalışmayı İstifleyici Vinç Problemi (*Stacker Crane Problem-SCP*) kapsamında değerlendirmiştir. Toplam maliyetin en azlanması ve karbon emisyonunun azaltılması amaçlanmıştır. Bu hedefle karma tamsayılı programlama modeli oluşturulmuş ve karar desteklerle çözüm sunulmuştur. Araçlardaki hız, kapasite ve yakıt türü gibi durumlar

dikkate alınarak çok kriterli ve gerçek hayattaki bir araç rotalama problemi incelenmiştir. Bu çalışma, klasik SCP'nin rotalama yapısını ilerleterek ve sürdürülebilirliği de ekleyerek literatüre değer kazandırmaktadır.

Fottner ve ark. (2021), iç lojistik sistemlerde otomasyon sistemlerinin olması gerektiğini sınıflandırarak öğrendiler. Senaryolarla birlikte dereceleri test ettiler ve kullanım için gerekliliğini tespit ettiler. Önümüzdeki süreçlerde ilgili oluşabilecek çalışmalarda daha fazla bulunabileceği belirlendi.

Fragapane ve ark. (2021), otonom mobil robotların (AMR) tanımını, literatürdeki konumunu ve yararlarını sundu. İlerleyen süreçteki araştırmalarda daha fazla bulunması gerektiği vurgulandı.

Garabini ve ark. (2021), e-ticaretin yaygınlaşmasıyla depolarda taşınacak daha fazla adetlerde değişik ürünler üretti ve bununla birlikte toplama otomasyonuna ihtiyaç olduğunu tespit etti. Bu toplama otomasyonu görevini sağlayacak iki antropofomik manipülatörden oluşan çift kollu bir robot olan WRAPP-UP oluşturuldu. Depoların iç lojistiğinde işlev gören bu robot deneyle test edildi ve kullanıma uygun olduğu belirlendi.

Günesen ve ark. (2021), çoklu gezgin satıcı problemini (ÇGSP) baz aldıkları çalışmalarında, iki amaçlı bir optimizasyon kapsamında hem kat edilen toplam mesafeyi hem de satıcılar arası iş görevi dengesini geliştirmeyi amaçlayan üç aşamalı bir çözüm yaklaşımı meydana getirmişlerdir. Böylece ÇGSP, üç farklı klasik gezgin satıcı problemine (TSP) dönüşerek çözülmüş ve algoritmanın performansı hem matematiksel model sonuçlarıyla hem de rassal test örnekleriyle kıyaslanmıştır. Çalışma, sunulan sezgisel yöntemin, toplam maliyet, optimum rota mesafesi ve çözüm süresi gibi parametrelerde kıyaslayıcı çıktılar olmuştur. Sonucun çıkması açısından diğer modellerden daha verimli az sürede yapmıştır. Bu yöntem hızlı sonuç verdiği için ve gerçek hayatta aktif olarak işlev gördüğünden ÇGSP çalışmalarında önemli yer edinmiştir.

Pawlewski ve ark. (2021), sektörde tespit edilen güncel trendlerin analiziyle alakalı ve literatürdeki trendlerin analiziyle elde edilen araştırma sonuçlarını sundu. Uygulaması yalın felsefeyi baz alan iç lojistik süreçlerin optimizasyonunda dijital ikiz teknolojileri ile birlikte işlev görerek bilgisayar simülasyonları çerçevesindedir. “Dijital İkiz Yalın İç Lojistik” ifadesi tanımlanarak literatüre katkıda bulunulmuştur. Simülasyon ortamında gereklilik ihtiyacı geliştirildi.

Topuz (2021), alan yetersizliğinin görüldüğü ve yalın üretim bilgisinin yeterli olmadığı üretim sisteminde çekme temel esaslı milk-run döngülü bir iç lojistik sistemini tasarladı. Kurulan çekme sisteminin toplam malzeme taşıma mesafesini, işletmedeki stoğu, atık miktarını ve malzeme temin kaynak duruşunu azalttığı gözlemlendi. Kanban sistemi, iç lojistik çalışanlarının sistematik bir sorumluluk paylaşımı ile işleri yürütmesini sağlar. Tek tek malzeme taşımak yerine döngüsel seferle sevk yapmak, çalışanların iş gücünü taşımadan malzeme elleçlemeye kaydırır. Malzeme elleçleme iş gücünün azaltılması amacıyla ambalajlarla malzemenin elde edilmesi gerektiği çıkarılır. Montaj çalışanlarından malzeme ambalaj açılması gibi işlerin üzerinden alınması hattın direkt vardiyalık üretim miktarının fazlalaşmasını oluşturur. Malzeme besleme durumunda standartlaşma yapıldı. Acil malzeme arayışı ve iletme sorunu yok edilmiştir. Uygulama sonlandığında yalın anlamda değerler elde edildi.

Facchini ve ark. (2022), endüstri 4.0 ile birlikte malzeme taşımanın verimlilik için önemini araştırdılar. Elde edilen bu sonuç ile birlikte otomotiv firmalarına uygun bir model oluşturularak kullanıldı. Bu model sayesinde uygulandığı işletmede araç rotalama problemi çözüldü. Oluşturulan model, malzemelerin farklı üretim istasyonlarına temin edilmesi için milk-run hedefli gerçek zamanlı bir yönlendirme stratejisi düzenlemeyi, zamana uyumlu malzeme iletimi sağlamayı ve taşıma için rotaların bütün mesafesini minimize etmeyi hedeflemektedir. Bu modelde malzemeler, stabil olmayan zamanlarda farklı rotalar doğrultusunda taşınacaktır. Model, python dilinde hazırlanmıştır. Model, her biri üç vagona meydana gelen ve paletleri bir atölyedeki çalışma istasyonlarına iletmek hedefiyle kullanılan çekici trenlerin rotalarının maksimumu bulunmasıyla alakalıdır. Bu modelin çalışmasıyla sürücü bilgiyi tableten alarak rotanın başlangıcını sağlar. Trenin bütün paletleri sevk edilinceye kadar her palet olması gereken istasyona iletilir. GPS cihazı trenin bütün notasyonlarını takip eder. Bu model, bütün verilerin araç rotalarını ve teslimatın gerçekleştiği göreceli zaman aralıklarını değerlendirir. Bu modelin uygulanması; geç kalan teslimatlarda ciddi bir azalma, %18'lik maliyet tasarrufu, çekici trenlerin uzaklığında %23'lük azalma gerçekleştirdi.

Ateş ve ark. (2023), bir otomotiv yan sanayi firmasında iç lojistik taşıma yöntemlerinden en verimli olanı seçmek için çalışma yaptılar. Değişik kriterler ile iç lojistik metotlarından en makul olanı bulanık bilgi aksiyomu ve ağırlıklandırılmış bulanık bilgi aksiyomu metodu ile tespit edilmiştir. El arabası ile malzeme taşıma yerine otomatik malzeme taşıma makinesi ve kısa tren ile malzeme taşımanın daha verimli

olduğu göründü. Otomatik malzeme taşıma makinesi ve kısa tren ile taşımasıyla iç lojistik sıklığı azalır, makinenin çalışmaması azalır, stokların yanlış bölüme gönderilme olasılığı azalır, taşıma aracı indirme ve bindirme zamanları azalır, malzeme zedelenme sayısı düşer, ortalama tur miktarı azalır.

Erdeş (2025), araç rotalama probleminin çeşitlerinden biri olan TDARP' nin literatürdeki araştırmaları detaylı yapılarak tanımı ve çözüm yöntemleri anlatıldı. Savunma sanayide yer alan bir firmadaki iç lojistik taşıma probleminin baz alınmasıyla gerekli eklemelerle oluşturulan matematiksel modelle çözülmesi sağlanarak optimal sonuca ulaşıldı.



3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışma kapsamında, savunma sanayide çalışan bir işletmenin istifleyici vinç problemi üzerine çalışılacaktır.

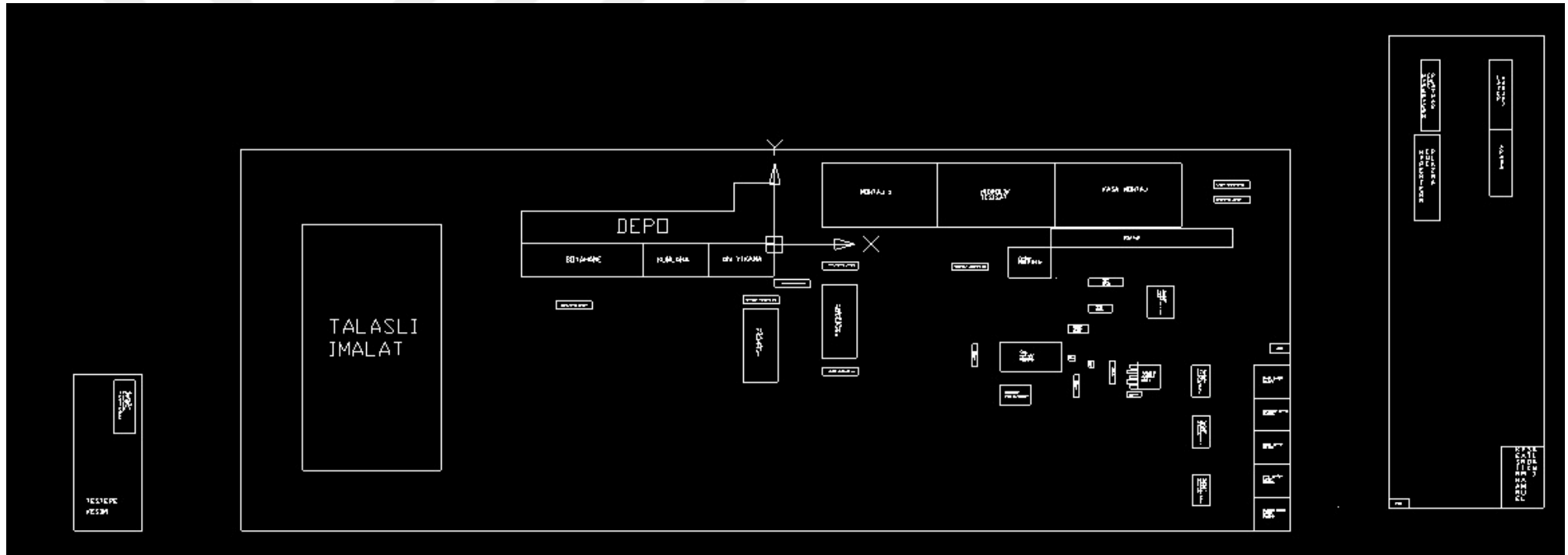
3.1. Materyal

Bomlu vinç üretimi gerçekleştirilen bir uygulamanın yapıldığı işletme, ürün grupları ve üretim süreci, kullanılan taşıma araçları, taşıma mesafeleri matrisi, üretim sahasındaki 15 günlük iş planı ve kullanılan yazılımlar materyali meydana getirir. Bu bölümde materyaller detaylı olarak anlatılmıştır.

3.1.1.Uygulamanın Yapıldığı İşletme

Bu çalışma, Bera Holding bünyesine bağlı MPG Makine Prodüksiyon Grubu şirketinde uygulanmıştır. MPG Makine Prodüksiyon Grubu, araç üstü vinç imalatı (araç üstü katlanır bomlu hidrolik vinçler, araç üstü teleskopik bomlu hidrolik vinçler, araç üstü teleskopik bomlu insan kaldırma platformları, ağaç sökme ve dikme makineleri) yapan bir firmadır. Yurt içi ve yurt dışı pazarlarına sahip olan bu işletme kuruluşundan günümüze hem askeri hem sivil vinç üretimi sağlamaktadır.

İşletmenin yerleşim planı Şekil 3.1’de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. İşletmenin yerleşim planı

3.1.2.Ürün Grupları ve Üretim Süreci

Ana Bom grubu, yükün kaldırma noktasının dengeli olarak ayarlanabilmesini sağlar. Yükü dengeli kaldırmak için sağ ve sol pistonları kullanır. Açılı olarak 87 ° ye kadar farklı konumlarda kullanılabilir. Bir vincin ürün gruplarından ana bom Şekil 3.2’de gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Ana bom

Yukarıdaki Çizelge 3.1’de ana bom grubu palet ihtiyaçları ve palet ağırlıkları yer almaktadır.

Dik bom grubu, yükün 360 ° olarak kendi eksenini etrafında sonsuz dönmesine yardımcı olur. Ana bom ve kaldırma silindiri dik boma bağlanır. İkisinin arasında bağlantıyı sağlar. Bir vincin ürün gruplarından dik bom Şekil 3.3’de gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Dik bom

Yukarıdaki Çizelge 3.2’de dik bom grubu palet ihtiyaçları ve palet ağırlıkları yer almaktadır.

Şase grubu, vincin tamamında ayaklar ile denge sehpası olarak kullanılır aynı zamanda tekerlekli araç üzerine yüklenerak yükün istenilen konuma taşınabilmesini sağlar. Bir vincin ürün gruplarından şase grubu Şekil 3.4’de gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Şase grubu

Yukarıdaki Çizelge 3.3’de şase grubu grubu palet ihtiyaçları ve palet ağırlıkları yer almaktadır.

Ayak grubu, yükün tonajına uygun olarak mesafeli bir şekilde dengeli tutmasında açılıp ve kapanarak dengeyi sağlar. Vincin terazili konuma gelmesine yardımcı olur. Bir vincin ürün gruplarından ayak grubu Şekil 3.5’de gösterilmiştir.



Şekil 3.5. Ayak grubu

Yukarıdaki Çizelge 3.4’de ayak grubu palet ihtiyaçları ve palet ağırlıkları yer almaktadır.

1.Kırma bom grubu, tonajlı ve tonajsız cisimlerin istenilen yakın ve uzak konuma taşınabilmesini sağlar. Bir vincin ürün gruplarından 1.kırma bom grubu Şekil 3.6’da gösterilmiştir.



Şekil 3.6. 1. Kırma bom

Çizelge 3.5. 1. Kırma bom grubu palet ihtiyaçları (adet) ve (palet ağırlıkları (kg))

[illegible]

Yukarıdaki Çizelge 3.5’de 1.kırma bom grubu palet ihtiyaçları ve palet ağırlıkları yer almaktadır.

2.Kırma bom grubu, yükün yer mesafesinin alt konumunda bulunan yükün dışarı çıkarılmasını sağlar. Bir vincin ürün gruplarından 2.kırma bom grubu Şekil 3.7’de gösterilmiştir.



Şekil 3.7. 2. Kırma bom

Yukarıdaki Çizelge 3.6’da 2.kırma bom grubu palet ihtiyaçları ve palet ağırlıkları yer almaktadır.

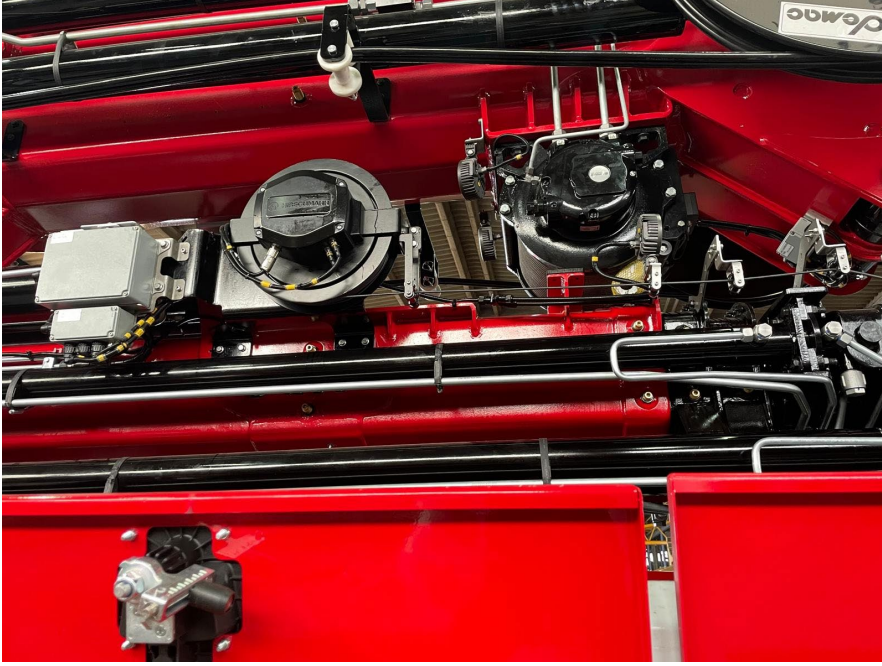
Kasa grubu, taşınması gereken yükün veya cismin kasa içerisine konularak istenilen noktaya ulaşıldığında kasa içerisinden tekrar alınarak uygun olan yere konulmasını sağlar. Bir vincin ürün gruplarından kasa grubu Şekil 3.8’de gösterilmiştir.



Şekil 3.8. Kasa grubu

Yukarıdaki Çizelge 3.7’de kasa grubu palet ihtiyaçları ve palet ağırlıkları yer almaktadır.

Otomasyon grubu, makinenin uzaktan kumandayla ve moment sayesinde otomatik kapama ve açma yöntemi ile kontrol makinenin kontrol sistemini sağlar. Bir vincin ürün gruplarından otomasyon grubu Şekil 3.9’da gösterilmiştir.



Şekil 3.9. Otomasyon

Yukarıdaki Çizelge 3.8’de otomasyon grubu palet ihtiyaçları ve palet ağırlıkları yer almaktadır.

Kanca palanga grubu, makine yükünün kaldırma kapasitesindeki üst seviyede olan yükün halatlar ve palanga sayesinde kolayca kaldırabilmesini sağlar. Bir vincin ürün gruplarından kanca palanga grubu Şekil 3.10’da gösterilmiştir.



Şekil 3.10. Kanca palanga

Çizelge 3.9. Kanca palanga grubu palet ihtiyaçları (adet) ve (palet ağırlıkları (kg))

[illegible]

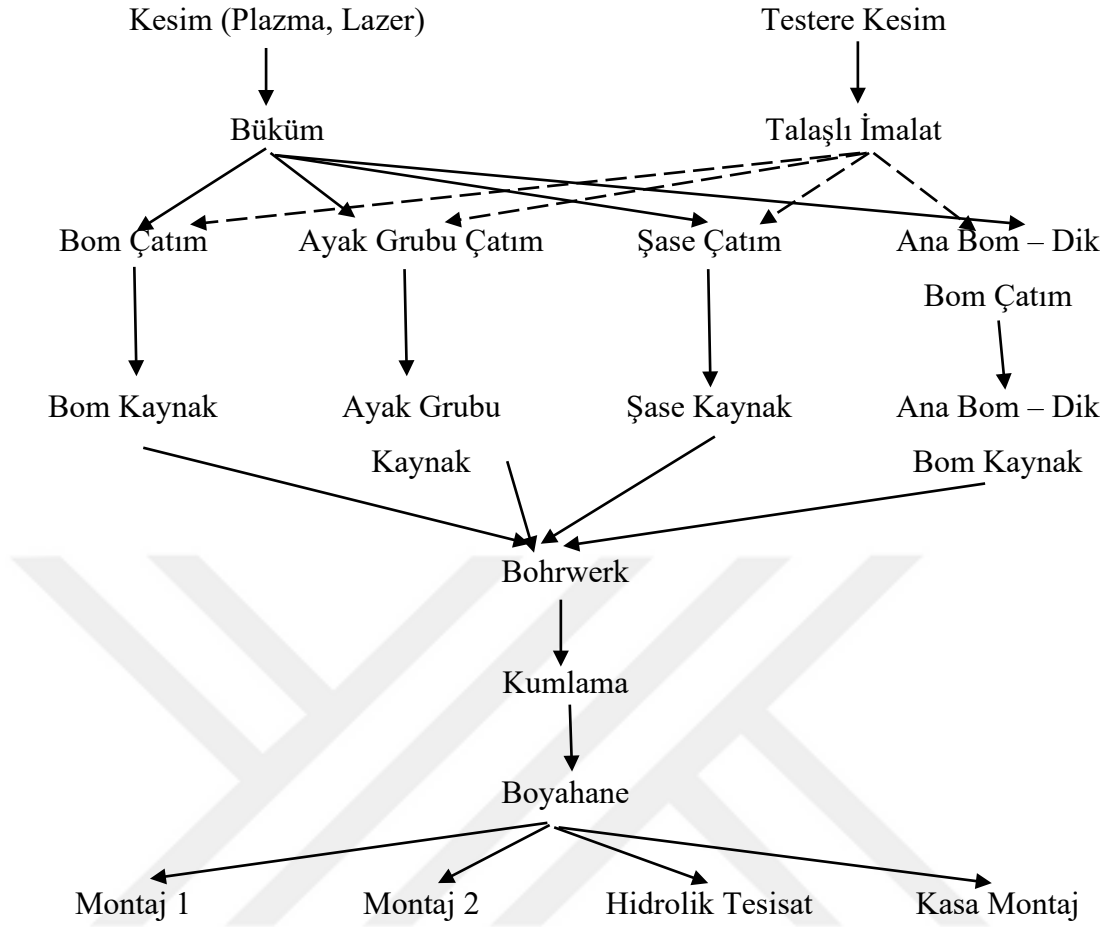
Yukarıdaki Çizelge 3.9’da kanca palanga palet ihtiyaçları ve palet ağırlıkları yer almaktadır.

Müşteriye teslimata hazır olan bir vinçte, daha önce bahsedilen ürün gruplarının hepsinin bulunması gerekmektedir. Bir vincin teslimata hazır şekli Şekil 3.11’de gösterilmiştir.



Şekil 3.11. Teslimata hazır vinç

Bir bomlu vincin üretim sürecinin süreci Şekil 3.12’de anlatılmıştır.



Şekil 3.12. Bomlu vinç üretiminin süreci

3.1.3. Kullanılan Taşıma Araçları

İç lojistik sisteminde malzeme taşınmasını sağlayan üç araç bulunmaktadır. Bu araçlar modelde k1, k2, k3 olarak ifade edilmiştir. Bu araçlardan k1 ve k2 her düğüm noktasından ulaşımı sağlıyor olup k3 aracı sadece kesimhane, testere kesim, talaşlı imalat, preshane 1, preshane 2, ayak grubu çatım, bom grubu çatım ve kumlama bölgelerine girebilmektedir. Boyut olarak diğerlerine göre daha büyük olduğu için bu durum önemlidir.

k1 taşıma aracı Şekil 3.13’de gösterilmiştir.



Şekil 3.13. k1 Taşıma aracı

k2 taşıma aracı Şekil 3.14’de gösterilmiştir.



Şekil 3.14. k2 Taşıma aracı

k3 taşıma aracı Şekil 3.15’de gösterilmiştir.



Şekil 3.15. k3 Taşıma aracı

3.1.4.Taşıma Mesafeleri Matrisi

Aşağıdaki Çizelge 3.10'da taşıma mesafeleri matrisi yer almaktadır.

Çizelge 3.10. Taşıma mesafeleri matrisi (m)

[illegible]

3.1.5.Üretim Sahasındaki 15 Günlük İş Planı

Aşağıdaki Çizelge 3.11’de uygulamanın yapıldığı işletmeden alınan 1.gün taşıma araçlarının iş planı verileri yer almaktadır.

Çizelge 3.11. 1. gün taşıma araçları iş planı

İş Sırası	Çıktığı İstasyon	Vardığı İstasyon	Mesafe (m)	Araç
h1	i1	i13	179	k1
h2	i12	i13	103	k1
h3	i13	i4	87	k1
h4	i13	i11	81	k1
h5	i13	i15	2	k1
h6	i13	i17	8	k1
h7	i19	i20	2	k1
h8	i17	i18	5	k1
h9	i18	i19	15	k1
h10	i10	i9	28	k1
h11	i1	i3	108	k2
h12	i15	i16	7	k2
h13	i2	i16	117	k2
h14	i16	i19	31	k2
h15	i14	i15	8	k2
h16	i3	i6	18	k2
h17	i6	i5	25	k2
h18	i4	i8	39	k2
h19	i5	i7	10	k2
h20	i2	i7	101	k2
h21	i8	i18	16	k2
h22	i9	i11	15	k2
h23	i12	i15	105	k3
h24	i1	i4	113	k3

Aşağıdaki Çizelge 3.12’de uygulamanın yapıldığı işletmeden alınan 2.gün taşıma araçlarının iş planı verileri yer almaktadır.

Çizelge 3.12. 2. gün taşıma araçları iş planı

İş Sırası	Çıktığı İstasyon	Vardığı İstasyon	Mesafe (m)	Araç
h1	i7	i11	22	k1
h2	i11	i14	103	k1
h3	i16	i20	33	k1
h4	i16	i18	16	k1
h5	i1	i16	11	k1
h6	i1	i5	122	k1
h7	i15	i16	103	k1
h8	i17	i18	5	k1
h9	i19	i20	2	k1
h10	i2	i16	122	k1
h11	i3	i15	68	k1
h12	i3	i6	230	k1
h13	i3	i7	11	k1
h14	i12	i13	5	k1
h15	i12	i15	105	k1
h16	i6	i10	45	k2
h17	i11	i16	77	k2
h18	i16	i17	11	k2
h19	i16	i19	31	k2
h20	i1	i15	169	k2
h21	i1	i4	113	k2
h22	i17	i20	22	k2
h23	i2	i15	71	k2
h24	i5	i9	2	k2
h25	i9	i14	50	k2
h26	i13	i19	42	k2
h27	i13	i7	81	k2
h28	i1	i2	102	k3
h29	i1	i7	101	k3
h30	i1	i3	108	k3
h31	i2	i4	11	k3

Aşağıdaki Çizelge 3.13’de uygulamanın yapıldığı işletmeden alınan 3.gün taşıma araçlarının iş planı verileri yer almaktadır.

Çizelge 3.13. 3. gün taşıma araçları iş planı

İş Sırası	Çıktığı İstasyon	Vardığı İstasyon	Mesafe (m)	Araç
h1	i6	i10	45	k1
h2	i4	i1	113	k1
h3	i8	i14	25	k1
h4	i1	i3	108	k1
h5	i1	i15	169	k1
h6	i1	i17	171	k1
h7	i13	i17	8	k1
h8	i12	i17	101	k1
h9	i16	i20	33	k1
h10	i4	i8	39	k2
h11	i14	i15	8	k2
h12	i11	i14	66	k2
h13	i1	i16	230	k2
h14	i15	i16	7	k2
h15	i2	i16	114	k2
h16	i2	i6	12	k2
h17	i9	i16	109	k2
h18	i13	i19	42	k2
h19	i17	i18	5	k2
h20	i1	i2	108	k3
h21	i1	i4	113	k3
h22	i1	i13	101	k3

Aşağıdaki Çizelge 3.14’de uygulamanın yapıldığı işletmeden alınan 4.gün taşıma araçlarının iş planı verileri yer almaktadır.

Çizelge 3.14. 4. gün taşıma araçları iş planı

İş Sırası	Çıktığı İstasyon	Vardığı İstasyon	Mesafe (m)	Araç
h1	i6	i10	45	k1
h2	i4	i8	39	k1
h3	i8	i11	37	k1
h4	i14	i15	8	k1
h5	i1	i15	169	k1
h6	i19	i20	2	k1
h7	i2	i15	71	k1
h8	i3	i6	18	k1
h9	i3	i16	117	k1
h10	i7	i11	22	k2
h11	i11	i14	66	k2
h12	i1	i17	44	k2
h13	i1	i16	230	k2
h14	i1	i19	111	k2
h15	i15	i16	7	k2
h16	i17	i18	5	k2
h17	i9	i16	109	k2
h18	i13	i16	33	k2
h19	i13	i17	8	k2
h20	i10	i14	23	k2
h21	i1	i3	108	k3
h22	i1	i13	179	k3
h23	i12	i13	103	k3

Aşağıdaki Çizelge 3.15’de uygulamanın yapıldığı işletmeden alınan 5.gün taşıma araçlarının iş planı verileri yer almaktadır.

Çizelge 3.15. 5. gün taşıma araçları iş planı

İş Sırası	Çıktığı İstasyon	Vardığı İstasyon	Mesafe (m)	Araç
h1	i7	i11	22	k1
h2	i1	i16	230	k1
h3	i1	i15	169	k1
h4	i2	i15	71	k1
h5	i3	i16	117	k1
h6	i3	i20	34	k1
h7	i3	i15	68	k1
h8	i3	i6	18	k1
h9	i13	i17	8	k1
h10	i12	i17	101	k1
h11	i4	i8	39	k2
h12	i8	i14	25	k2
h13	i11	i14	66	k2
h14	i16	i20	33	k2
h15	i16	i19	31	k2
h16	i1	i5	122	k2
h17	i15	i16	7	k2
h18	i17	i18	5	k2
h19	i2	i16	117	k2
h20	i3	i6	18	k2
h21	i9	i16	109	k2
h22	i12	i13	103	k3
h23	i2	i3	108	k3
h24	i2	i4	145	k3
h25	i2	i13	101	k3

Aşağıdaki Çizelge 3.16’da uygulamanın yapıldığı işletmeden alınan 6.gün taşıma araçlarının iş planı verileri yer almaktadır.

Çizelge 3.16. 6. gün taşıma araçları iş planı

İş Sırası	Çıktığı İstasyon	Vardığı İstasyon	Mesafe (m)	Araç
h1	i4	i8	39	k1
h2	i11	i16	122	k1
h3	i18	i19	15	k1
h4	i1	i16	230	k1
h5	i1	i6	89	k1
h6	i15	i16	7	k1
h7	i19	i20	2	k1
h8	i2	i1	108	k1
h9	i9	i16	109	k1
h10	i13	i17	8	k1
h11	i13	i12	103	k1
h12	i10	i14	23	k2
h13	i8	i14	25	k2
h14	i14	i15	8	k2
h15	i16	i17	11	k2
h16	i16	i19	31	k2
h17	i1	i5	122	k2
h18	i1	i7	101	k2
h19	i13	i16	33	k2
h20	i13	i19	42	k2
h21	i1	i2	102	k3
h22	i1	i3	108	k3
h23	i3	i4	14	k3
h24	i12	i13	103	k3

Aşağıdaki Çizelge 3.17’de uygulamanın yapıldığı işletmeden alınan 7.gün taşıma araçlarının iş planı verileri yer almaktadır.

Çizelge 3.17. 7. gün taşıma araçları iş planı

İş Sırası	Çıktığı İstasyon	Vardığı İstasyon	Mesafe (m)	Araç
h1	i4	i8	39	k1
h2	i14	i15	8	k1
h3	i7	i11	22	k1
h4	i16	i18	16	k1
h5	i18	i19	15	k1
h6	i15	i16	7	k1
h7	i2	i1	108	k1
h8	i3	i6	18	k1
h9	i3	i15	68	k1
h10	i13	i17	8	k1
h11	i6	i10	45	k2
h12	i16	i20	33	k2
h13	i16	i19	31	k2
h14	i1	i6	89	k2
h15	i1	i5	122	k2
h16	i17	i18	5	k2
h17	i9	i16	109	k2
h18	i13	i7	81	k2
h19	i12	i13	103	K2
h20	i1	i3	108	k3
h21	i1	i4	113	k3
h22	i3	i4	14	k3

Aşağıdaki Çizelge 3.18’de uygulamanın yapıldığı işletmeden alınan 8.gün taşıma araçlarının iş planı verileri yer almaktadır.

Çizelge 3.18. 8. gün taşıma araçları iş planı

İş Sırası	Çıktığı İstasyon	Vardığı İstasyon	Mesafe (m)	Araç
h1	i16	i18	16	k1
h2	i18	i19	15	k1
h3	i1	i7	101	k1
h4	i1	i6	89	k1
h5	i1	i15	169	k1
h6	i15	i16	7	k1
h7	i17	i18	5	k1
h8	i19	i20	2	k1
h9	i3	i15	68	k1
h10	i3	i6	18	k1
h11	i9	i14	50	k1
h12	i13	i17	8	k1
h13	i12	i13	103	k1
h14	i10	i14	23	k2
h15	i11	i16	122	k2
h16	i16	i17	11	k2
h17	i1	i5	122	k2
h18	i1	i2	108	k3
h19	i1	i3	108	k3
h20	i1	i4	113	k3

Aşağıdaki Çizelge 3.19’da uygulamanın yapıldığı işletmeden alınan 9.gün taşıma araçlarının iş planı verileri yer almaktadır.

Çizelge 3.19. 9. gün taşıma araçları iş planı

İş Sırası	Çıktığı İstasyon	Vardığı İstasyon	Mesafe (m)	Araç
h1	i16	i17	11	k1
h2	i16	i19	31	k1
h3	i1	i19	111	k1
h4	i15	i16	7	k1
h5	i2	i16	117	k1
h6	i5	i9	2	k1
h7	i13	i17	8	k1
h8	i6	i10	45	k2
h9	i8	i14	25	k2
h10	i14	i15	8	k2
h11	i7	i11	22	k2
h12	i11	i14	66	k2
h13	i16	i20	56	k2
h14	i1	i16	230	k2
h15	i1	i5	122	k2
h16	i17	i18	5	k2
h17	i3	i16	114	k2
h18	i9	i16	109	k2
h19	i13	i16	33	k2
h20	i12	i13	103	k3
h21	i1	i4	113	k3
h22	i1	i3	108	k3
h23	i1	i2	102	k3

Aşağıdaki Çizelge 3.20’de uygulamanın yapıldığı işletmeden alınan 10.gün taşıma araçlarının iş planı verileri yer almaktadır.

Çizelge 3.20. 10. gün taşıma araçları iş planı

İş Sırası	Çıktığı İstasyon	Vardığı İstasyon	Mesafe (m)	Araç
h1	i6	i20	51	k1
h2	i14	i15	8	k1
h3	i1	i15	169	k1
h4	i2	i16	117	k1
h5	i2	i15	71	k1
h6	i3	i6	18	k1
h7	i3	i16	117	k1
h8	i10	i14	23	k1
h9	i13	i16	33	k1
h10	i14	i15	8	k1
h11	i2	i6	12	k1
h12	i4	i8	103	k2
h13	i7	i11	22	k2
h14	i11	i14	66	k2
h15	i15	i16	7	k2
h16	i17	i18	5	k2
h17	i9	i16	109	k2
h18	i12	i13	103	k2
h19	i1	i2	108	k3
h20	i1	i3	104	k3
h21	i2	i4	14	k3

Aşağıdaki Çizelge 3.21’de uygulamanın yapıldığı işletmeden alınan 11.gün taşıma araçlarının iş planı verileri yer almaktadır.

Çizelge 3.21. 11. gün taşıma araçları iş planı

İş Sırası	Çıktığı İstasyon	Vardığı İstasyon	Mesafe (m)	Araç
h1	i14	i15	8	k1
h2	i15	i17	4	k1
h3	i17	i18	5	k1
h4	i3	i15	68	k1
h5	i3	i6	18	k1
h6	i9	i16	109	k1
h7	i13	i17	8	k1
h8	i15	i16	7	k1
h9	i6	i5	25	k2
h10	i4	i8	39	k2
h11	i11	i14	66	k2
h12	i18	i19	15	k2
h13	i1	i16	230	k2
h14	i1	i2	108	k2
h15	i1	i13	179	k2
h16	i19	i20	2	k2
h17	i2	i6	12	k2
h18	i2	i16	117	k2
h19	i3	i20	34	k2
h20	i12	i15	105	k2
h21	i8	i14	25	k2
h22	i1	i4	113	k3
h23	i12	i13	103	k3

Aşağıdaki Çizelge 3.22’de uygulamanın yapıldığı işletmeden alınan 12.gün taşıma araçlarının iş planı verileri yer almaktadır.

Çizelge 3.22. 12. gün taşıma araçları iş planı

İş Sırası	Çıktığı İstasyon	Vardığı İstasyon	Mesafe (m)	Araç
h1	i6	i10	34	k1
h2	i4	i8	39	k1
h3	i11	i14	66	k1
h4	i18	i19	15	k1
h5	i1	i17	171	k1
h6	i17	i18	5	k1
h7	i19	i20	2	k1
h8	i3	i6	18	k1
h9	i12	i13	103	k1
h10	i10	i14	23	k2
h11	i14	i15	8	k2
h12	i16	i19	31	k2
h13	i1	i5	122	k2
h14	i1	i7	101	k2
h15	i2	i16	117	k2
h16	i2	i6	12	k2
h17	i3	i4	14	k2
h18	i9	i16	109	k2
h19	i13	i17	8	k2
h20	i1	i13	179	k3
h21	i1	i3	108	k3
h22	i3	i4	14	k3

Aşağıdaki Çizelge 3.23’de uygulamanın yapıldığı işletmeden alınan 13.gün taşıma araçlarının iş planı verileri yer almaktadır.

Çizelge 3.23. 13. gün taşıma araçları iş planı

İş Sırası	Çıktığı İstasyon	Vardığı İstasyon	Mesafe (m)	Araç
h1	i14	i15	8	k1
h2	i16	i20	33	k1
h3	i1	i16	230	k1
h4	i1	i15	169	k1
h5	i17	i18	5	k1
h6	i2	i5	10	k1
h7	i2	i7	8	k1
h8	i3	i6	18	k1
h9	i6	i10	34	k2
h10	i4	i8	39	k2
h11	i8	i14	25	k2
h12	i7	i11	22	k2
h13	i11	i14	66	k2
h14	i16	i17	11	k2
h15	i1	i2	102	k2
h16	i1	i3	108	k2
h17	i1	i5	122	k2
h18	i15	i16	7	k2
h19	i2	i16	114	k2
h20	i9	i16	109	k2
h21	i1	i4	113	k3
h22	i12	i13	103	k3

Aşağıdaki Çizelge 3.24’de uygulamanın yapıldığı işletmeden alınan 14.gün taşıma araçlarının iş planı verileri yer almaktadır.

Çizelge 3.24. 14. gün taşıma araçları iş planı

İş Sırası	Çıktığı İstasyon	Vardığı İstasyon	Mesafe (m)	Araç
h1	i10	i14	23	k1
h2	i8	i14	25	k1
h3	i14	i15	8	k1
h4	i7	i11	22	k1
h5	i1	i13	101	k1
h6	i2	i16	117	k1
h7	i2	i15	71	k1
h8	i2	i7	101	k1
h9	i3	i6	18	k1
h10	i9	i16	109	k1
h11	i13	i19	42	k1
h12	i13	i17	8	k1
h13	i4	i8	39	k2
h14	i11	i14	66	k2
h15	i16	i20	33	k2
h16	i1	i16	230	k2
h17	i3	i16	117	k2
h18	i3	i20	34	k2
h19	i3	i4	14	k2
h20	i1	i3	108	k3
h21	i12	i13	103	k3

Aşağıdaki Çizelge 3.25’de uygulamanın yapıldığı işletmeden alınan 15.gün taşıma araçlarının iş planı verileri yer almaktadır.

Çizelge 3.25. 15. gün taşıma araçları iş planı

İş Sırası	Çıktığı İstasyon	Vardığı İstasyon	Mesafe (m)	Araç
h1	i14	i15	8	k1
h2	i7	i11	22	k1
h3	i1	i16	230	k1
h4	i1	i19	111	k1
h5	i15	i16	7	k1
h6	i3	i6	18	k1
h7	i13	i19	42	k1
h8	i6	i10	45	k2
h9	i10	i14	23	k2
h10	i4	i8	39	k2
h11	i8	i14	25	k2
h12	i11	i14	66	k2
h13	i16	i19	31	k2
h14	i1	i17	44	k2
h15	i3	i16	117	k2
h16	i9	i16	109	k2
h17	i13	i16	33	k2
h18	i13	i17	8	k2
h19	i2	i7	101	k3
h20	i1	i3	108	k3
h21	i1	i2	104	k3
h22	i12	i13	103	k3

3.1.6.GAMS/CPLEX Yazılımı

GAMS/CPLEX, optimum dağıtım problemlerini baz almak için en çok kullanılan uygulama yazılımlarından biridir. Karmaşık ve büyük ölçekli matematiksel modellemeler için idealdir ve sayısal analizde başarılı sonuçlar elde etmeyi sağlar. Bu tez çalışmasındaki iş planı verilerinin optimizasyonu bu program ile yapılmıştır (Fateh ve ark., 2022).

3.1.7.NanoCAD Yazılımı

NanoCAD, DWG formatına entegreli profesyonel bir CAD yazılımıdır. 2D/3D çizim için mühendislik, mimari ve inşaat profesyonellerinin taleplerine hitap eden modüllerle kullanılmaktadır. Bu çalışmada uygulamanın yapıldığı tesis yerleşimi çizilmek için kullanılmıştır (Moderna Bilişim, 2019).

3.2. Yöntem

Bu çalışmada iç lojistik sürecinde verimliliği sağlamak adına çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışma yapılırken aşağıdaki adımlar izlenmiştir;

- 1-) Verilerin toplanması
- 2-) Problem tanımı
- 3-) Matematiksel model

Tanımlanmış olduğum adımlar ayrıntılı olarak ilerleyen süreçte anlatılmıştır.

3.2.1.Verilerin Toplanması

Verilerin toplanmasını sağlamak için 3 taşıma aracını kullanan operatörler izlenmiştir. Araçları kullanan operatörlerin işlerinin takibinin sağlandığı şirket içi chat programından takibi sağlanmıştır. Operatörlere hangi rotadan hangi rotaya gideceklerini ve hangi işi/yükü taşıyacakları bilgisi depocu tarafından chat programı üzerinden bildirilme zorunluluğundadır. Bu bildirim fotoğraflarla ve yazılar ile olmaktadır. Buradan 15 günlük iş verileri elde edilmiştir.

3.2.2.Problem Tanımı

Bu tezdeki problem, birebir toplama-dağıtım grubundaki çok araçlı bir rota planlama problemi olarak kabul edilir. Her bir taşıma görevi, belli pickup (alım) noktasından alınan yükün belli delivery (teslim) noktasına taşınmasını sağlamaktır.

Kabul edilen problem, literatürde İstifleyici Vinç Problemi (*Stacker Crane Problem-SCP*) olarak kabul edilir.

- Problem, bir depo ve I adet işlem noktası ile $I = \{0, 1, \dots, 20\}$ olarak ifade edilen tam bağlı bir ağ üzerinde tanımlanır. Buradaki "0" depo düğümünü, diğerleri işlem noktalarını tanımlar.
- $h \in H$ için görev kümesi H , sadece bir pickup (alım) ve bir delivery (teslim) düğümünden meydana gelir; pickup $(h)=i$ ve delivery $(h)=j$ olmak üzere, $i \neq j$ olur.
- Taşıma işlemleri, $K = \{1, 2, 3\}$ kümesiyle gösterilen 3 adet taşıma aracı ile sağlanır. Küme elemanları $k \in K$ şeklinde gösterilir. Her biri bir aracı simgeler. $k3$ olan aracın üretimdeki bazı işlem noktalarına ulaşımı olası değildir. Bu yüzden $k3$ aracı için belirli işlem noktalarına ulaşımı engelleyen kısıtlamalar oluşturulmuştur.
- Ağ üzerindeki iki işlem noktası arasındaki taşıma mesafesi veya maliyeti c_{ij} parametresi ile gösterilir. İkili karar değişkeni olan x_{ijkh} görevlerin hangi araçla ve hangi iki işlem noktası arasında iletilmesi gerektiğini göstermek için kullanılır. u_{ik} parametresi, her taşıma aracı için görev sıralamalarının kontrolünü sağlamak için işlem noktalarının sıralamasını tespit etmede kullanılır. M parametresi, pickup işlem noktasının delivery noktasından önce ziyaret edilmesini sağlamak için kullanılır.
- Tüm görevler yalnızca bir kez ve yalnızca bir araç ile yapılır.
- Her görev için araç, önce pickup noktasına uğrar ardından delivery noktasına gider.
- Tüm araçlar depo düğümünden başlangıç yapar ve yine depo düğümüne dönüş yapar.
- Aynı araç birden fazla görevi yerine getirebilir.
- Amaç, tüm görevler yerine getirilerek toplam seyahat maliyetini (veya mesafesini) en küçükmektir.

Bu problem, üretim alanları ve montaj hatları gibi ortamlarda ortaya çıkan taşıma işlemlerinin verimli şekilde planlanması için uygulanabilir nitelikte, gerçek dünyada karşılığı bulunan bir rotalama problemidir.

3.2.3. Matematiksel Model

Bu çalışmadaki matematiksel model, Güneşen ve Kapanoğlu (2021) tarafından kullanılan İki Amaçlı Çoklu Gezgin Satıcı Problemi örnek alınarak geliştirilmiştir. Matematiksel model, bu test çerçevesinde yapmış olduğumuz uygulama baz alınarak birebir toplama-dağıtım görevleri, araç türü farklılıkları, görev tabanlı yönlendirme ve erişim kısıtları gibi farklı özelliklerle zenginleştirilmiştir. Bu kapsamda problem, İstifleyici Vinç Problemine dönüşerek işletmenin iç lojistik ihtiyaçlarına göre şekillendirilmiştir.

İstifleyici vinç probleminin optimum sonucunu bulmak için kullanılan karma tam sayılı matematiksel modelinin parametreleri ve karar değişkenleri aşağıda ifade edilmiştir.

Parametreler:

I : Düğüm kümesi; $I = \{0, 1, \dots, 20\}$; 0 numaralı düğüm depo

H : Görev kümesi; her biri bir pickup-delivery çifti

K : Araç kümesi; $K = \{1, 2, 3\}$; her araç $k \in K$ ile temsil edilir

c_{ij} : Düğüm i ile j arasındaki taşıma mesafesi / maliyeti

pickup (h): Görev h 'nin alım noktası

delivery (h): Görev h 'nin teslim noktası

M : Yeterince büyük pozitif bir sabit

Karar değişkenleri:

$x_{ijkh} \in \{0, 1\}$: Araç k , görev h kapsamında $i \rightarrow j$ hareketini yaparsa 1, aksi halde 0.

$u_{ik} \in \mathbb{Z}_+$: Araç k 'nin, i noktasına geliş sırası (pickup $\rightarrow$ delivery önceliğini sağlamak için)

İstifleyici vinç problemi için kullanılan matematiksel model aşağıdaki gibi ifade edilmiştir.

$$\min Z = \sum_{h \in H} \sum_{k \in K} \sum_{i \in I} \sum_{j \in I} c_{ij} \cdot x_{ijkh} \quad (1)$$

$$\sum_{k \in K} \sum_{i \in I} \sum_{j \in I} x_{ijkh} = 1 \quad \forall h \in H \quad (2)$$

$$u_{pickup(h),k} + 1 \leq u_{delivery(h),k} + M \cdot (1 - \sum_{i,j} x_{ijkh}) \quad \forall h \in H, \forall k \in K \quad (3)$$

$$\sum_{j \in I} x_{ijkh} = \sum_{j \in I} x_{jikh} \quad \forall i \in I \setminus \{d\}, \forall k \in K, \forall h \in H \quad (4)$$

$$\sum_{j \in I} x_{djkh} = 1 \quad \forall k \in K, \forall h \in H \quad (5)$$

$$\sum_{i \in I} x_{idkh} = 1 \quad \forall k \in K, \forall h \in H \quad (6)$$

$$1 \leq u_{ik} \leq |I| \quad \forall i \in I \setminus \{d\}, \forall k \in K \quad (7)$$

$$x_{ijkh} \in \{0, 1\} \quad \forall i, j \in I, k \in K, h \in H \quad (8)$$

$$x_{ijk3} = 0 \quad \forall i \in I \setminus \{i1, i2, i3, i4, i7, i12, i13, i15\}, \forall i \in I \quad (9)$$

Bu matematiksel modelde, amaç fonksiyonunu ortaya çıkaran denklemlerden (1) toplam mesafeyi ya da maliyeti en azlar. (2) numaralı kısıt, her bir iş yükünün sadece bir araca atanmasını ve yinelememesini sağlar. (3) numaralı kısıt, her bir görev için aracın önce ürünün alındığı noktaya gitmesini, sonrasında teslim noktasına gitmesini sağlar. (4) numaralı kısıt, her aracın bir noktaya girip çıktığı zamanlarda, aynı görev için gidiş ve dönüş dengesini sağlar. (5) numaralı kısıt, tüm taşıma araçlarının ilk çıkış düğümü olarak bir depo kullanmasını zorunlu tutar. (6) numaralı kısıt, taşıma araçları görevlerini bitirdikten sonra aynı depo düğümüne geri dönüş yapmalıdır. Bu şekilde her bir görevin tam bir tur yapılarak tamamlanmasını sağlar. (7) numaralı kısıt, görev sıralarının bir şeyi ifade etmesiyle alt turların ortaya çıkmaması için pickup ve delivery düğümleri arasında sıralama değişkeni tanımlar. (8) numaralı kısıt, ikili karar değişkenlerinin 0 ya da 1 değeri olabileceğini ve sıralama değişkenlerinin pozitif tam

sayılar olabileceğini ifade eder. (9) numaralı kısıt, k3 aracının gidebileceği düğümleri ifade eder.

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Bu bölümde, bir önceki başlıkta önerilen matematiksel modelin etkinliğini araştırmak için gerçekleştirilmiş olan deneysel sonuçlara yer verilmiştir.

4.1. Deneysel Sonuçlar

Deneysel çalışmalar iki aşamada gerçekleştirilmiştir. İlk aşama olarak h işleri arasındaki taşıma mesafeleri matrisi hesaplanmıştır. İkinci aşama olarak elde edilen h işleri taşıma mesafeleri matrisi GAMS/CPLEX programında çözülerek optimum sonuçlar elde edilmiştir.

Aşağıdaki Çizelge 4.1’de deneysel çalışmaların ilk aşaması olan 1.gün h işlerinin taşıma mesafeleri matrisi gösterilmiştir.

Çizelge 4.1. 1.gün iş yükleri arasındaki taşıma mesafeleri matrisi (m)

	h1	h2	h3	h4	h5	h6	h7	h8	h9	h10	h11	h12	h13	h14	h15	h16	h17	h18	h19	h20	h21	h22	h23	h24
h1		282	358	260	179	179	181	187	205	221	181	255	358	260	252	272	266	247	260	255	272	247	282	358
h2	282		282	184	103	103	105	111	129	145	105	179	282	184	176	196	190	171	184	179	196	171	206	282
h3	202	280		123	182	182	177	161	144	124	177	109	202	123	112	118	107	111	101	109	118	106	280	202
h4	260	184	260		81	81	83	89	107	123	83	157	260	162	154	174	168	149	162	157	174	149	184	260
h5	171	107	171	79		4	2	6	11	26	2	73	171	79	70	90	84	65	78	73	90	65	107	171
h6	179	109	179	21	16		12	8	13	28	12	63	179	21	60	80	74	55	68	63	80	55	109	179
h7	175	105	175	17	12	12		4	9	24	8	59	175	17	56	76	70	51	64	59	76	51	105	175
h8	166	127	166	16	31	31	14		5	20	14	43	166	16	40	60	54	35	48	43	60	35	127	166
h9	126	203	126	40	57	57	39	35		15	39	48	126	40	45	65	59	50	38	48	65	50	203	126
h10	121	192	121	29	46	46	28	24	19		28	36	121	29	33	53	47	38	26	36	53	38	192	121
h11	237	77	237	129	40	40	14	18	23	38		124	237	129	121	141	135	116	129	124	141	116	77	237
h12	347	187	347	239	150	150	124	128	133	148	124		347	239	231	251	245	226	239	234	251	226	187	347
h13	460	300	460	352	263	263	237	241	246	261	237	347		352	344	364	358	339	352	347	364	339	300	460
h14	237	160	237	132	82	82	74	90	105	120	74	124	237		121	141	135	116	129	124	141	116	160	237
h15	107	209	107	52	111	111	106	90	73	68	106	30	107	52		18	24	43	35	30	18	35	209	107
h16	147	191	147	40	93	93	88	72	55	60	88	35	147	40	30		36	25	35	35	50	27	191	147
h17	184	186	184	76	82	82	75	61	55	71	75	72	184	76	69	84		67	72	72	84	67	186	184
h18	111	189	111	32	91	91	86	70	53	33	86	18	111	32	21	27	16		10	18	27	15	189	111
h19	110	182	110	21	84	84	79	63	46	41	79	8	110	21	11	20	19	18		8	20	18	182	110
h20	101	203	101	46	105	105	100	84	67	62	100	24	101	46	30	12	18	37	29		12	29	203	101
h21	139	183	139	32	85	85	80	64	47	52	80	27	139	32	22	34	28	19	22	27		17	183	139
h22	118	240	118	15	96	96	92	28	26	40	92	28	118	15	25	49	43	30	37	28	49		240	118
h23	282	206	282	184	103	103	105	111	129	145	105	179	282	184	176	196	190	171	184	179	196	171		282
h24	226	298	226	141	200	200	195	179	162	157	195	124	226	141	127	119	113	124	119	124	119	124	298	

Aşağıdaki Çizelge 4.2’de deneysel çalışmaların ilk aşaması olan 2.gün h işlerinin taşıma mesafeleri matrisi gösterilmiştir.

Çizelge 4.2. 2. gün iş yükleri arasındaki taşıma mesafeleri matrisi (m)

	h1	h2	h3	h4	h5	h6	h7	h8	h9	h10	h11	h12	h13	h14	h15	h16	h17	h18	h19	h20	h21	h22	h23	h24	h25	h26	h27	h28	h29	h30	h31
h1		22	144	144	125	125	99	35	47	35	32	32	32	247	247	56	22	144	144	125	125	35	35	37	37	103	103	125	125	125	35
h2	129		116	116	237	237	74	90	120	124	121	121	121	160	160	141	132	116	116	237	237	90	124	116	116	82	82	237	237	237	124
h3	57	60		66	152	152	59	55	35	67	64	64	64	223	223	84	60	66	66	152	152	55	67	69	69	77	77	152	152	152	67
h4	59	27	32		177	177	25	21	31	54	51	51	51	138	138	71	27	32	32	177	177	21	54	46	46	42	42	177	177	177	54
h5	352	352	230	230		460	237	241	261	347	344	344	344	300	300	364	352	230	230	460	460	241	347	339	339	263	263	460	460	460	347
h6	132	137	231	231	244		185	169	157	132	127	127	127	288	288	147	137	231	231	244	244	169	132	122	124	190	190	244	244	244	132
h7	129	129	7	7	237	237		18	38	124	121	121	121	77	77	141	129	7	7	237	237	18	124	116	116	40	40	237	237	237	124
h8	48	16	21	21	166	166	14		20	43	40	40	40	127	127	60	16	21	21	166	166	10	43	35	35	31	31	166	166	166	43
h9	26	29	35	35	121	121	28	24		36	33	33	33	192	192	53	29	35	35	121	121	24	36	38	38	46	46	121	121	121	36
h10	239	239	117	117	347	347	124	128	148		231	231	231	187	187	251	239	117	117	347	347	128	234	226	226	150	150	347	347	347	234
h11	144	145	75	75	237	237	68	72	92	139		136	136	173	173	156	145	75	75	237	237	72	139	131	131	70	70	237	237	237	139
h12	35	52	152	152	107	107	106	90	68	30	36		36	209	209	18	52	152	152	107	107	90	30	43	35	111	111	107	107	107	30
h13	11	33	133	133	112	112	87	71	34	19	22	22		190	190	28	33	133	133	112	112	71	19	21	16	92	92	112	112	112	19
h14	184	184	136	136	282	282	105	111	145	179	176	176	176		206	196	184	136	136	282	282	111	179	171	171	103	103	282	282	282	179
h15	181	182	112	112	274	274	105	109	129	176	173	173	173	210		193	182	112	112	274	274	109	176	168	168	107	107	274	274	274	176
h16	78	80	126	126	190	190	79	65	75	78	75	75	75	190	190		80	126	126	190	190	65	78	73	73	86	86	190	190	190	78
h17	244	244	122	122	352	352	129	133	153	239	236	236	236	192	192	256		122	122	352	352	133	239	231	231	155	155	352	352	352	239
h18	71	24	22	22	182	182	15	11	31	66	63	63	63	112	112	83	24		22	182	182	11	66	58	58	19	19	182	182	182	66
h19	54	56	62	62	142	142	55	51	31	64	61	61	61	219	219	81	56	62		142	142	51	64	66	66	73	73	142	142	142	64
h20	245	246	176	176	338	338	169	173	193	240	237	237	237	274	274	257	246	176	176		338	173	240	232	232	171	171	338	338	338	240
h21	119	141	241	241	226	226	195	179	157	124	127	127	127	298	298	119	141	241	241	226		179	124	124	124	200	200	226	226	226	124
h22	46	49	55	55	141	141	48	44	24	56	53	53	53	212	212	73	49	55	55	141	141		56	58	58	66	66	141	141	141	56
h23	147	148	78	78	240	240	71	75	95	142	139	139	139	176	176	159	148	78	78	240	240	75		134	134	73	73	240	240	240	142
h24	7	17	111	111	124	124	65	49	37	12	7	7	7	168	168	19	17	111	111	124	124	49	12		2	70	70	124	124	124	12
h25	113	116	100	100	221	221	58	74	104	108	105	105	105	144	144	125	116	100	100	221	221	74	108	100		66	66	221	221	221	108
h26	65	67	73	73	153	153	66	62	42	75	72	72	72	230	230	92	67	73	73	153	153	62	75	77	77		84	153	153	153	75
h27	81	103	203	203	182	182	157	141	104	89	92	92	92	260	260	98	103	203	203	182	182	141	89	91	86	162		182	182	182	89
h28	110	115	219	219	204	204	173	157	135	102	105	105	105	276	276	114	115	219	219	204	204	157	102	112	112	178	178		204	204	102
h29	106	123	223	223	178	178	177	161	139	101	107	107	107	280	280	89	123	223	223	178	178	161	101	114	106	182	182	178		178	101
h30	119	118	222	222	216	216	176	160	138	111	108	108	108	279	279	126	118	222	222	216	216	160	111	113	113	181	181	216	216		111
h31	17	39	139	139	124	124	93	77	55	22	25	25	25	196	196	17	39	139	139	124	124	77	22	22	22	98	98	124	124	124	

Aşağıdaki Çizelge 4.3’de deneysel çalışmaların ilk aşaması olan 3.gün h işlerinin taşıma mesafeleri matrisi gösterilmiştir.

Çizelge 4.3. 3. gün iş yükleri arasındaki taşıma mesafeleri matrisi (m)

	h1	h2	h3	h4	h5	h6	h7	h8	h9	h10	h11	h12	h13	h14	h15	h16	h17	h18	h19	h20	h21	h22
h1		84	47	190	190	190	86	190	126	84	68	80	190	79	78	78	73	86	65	190	190	190
h2	202		258	113	113	113	292	388	343	226	284	216	113	282	215	215	235	292	284	113	113	113
h3	100	94		196	196	196	41	119	75	94	25	91	196	33	83	83	75	41	49	196	196	196
h4	126	122	138		216	216	181	279	222	122	163	118	216	176	111	111	113	181	160	216	216	216
h5	257	251	205	338		338	171	274	176	251	177	246	338	169	240	240	232	171	173	338	338	338
h6	243	237	193	342	342		179	272	182	237	195	184	342	175	226	226	218	179	171	342	342	342
h7	80	74	30	179	179	179		109	19	74	32	21	179	12	63	63	55	16	8	179	179	179
h8	173	167	123	272	272	272	109		112	167	125	114	272	105	156	156	148	109	101	272	272	272
h9	84	78	67	152	152	152	77	223		78	89	60	152	59	67	67	69	77	55	152	152	152
h10	84	78	39	184	184	184	82	186	122		64	76	184	75	72	72	67	82	61	184	184	184
h11	96	90	44	177	177	177	10	113	15	90		85	177	8	79	79	71	10	12	177	177	177
h12	141	135	91	237	237	237	82	160	116	135	66		237	74	124	124	116	82	90	237	237	237
h13	364	358	313	460	460	460	263	300	230	358	280	352		237	347	347	339	263	241	460	460	460
h14	141	135	90	237	237	237	40	77	7	135	57	129	237		124	124	116	40	18	237	237	237
h15	251	245	200	347	347	347	150	187	117	245	167	239	347	124		234	226	150	128	347	347	347
h16	12	18	57	101	101	101	105	203	146	18	87	46	101	100	24		29	105	84	101	101	101
h17	243	237	192	339	339	339	142	179	109	237	159	231	339	116	226	226		142	120	339	339	339
h18	92	86	74	153	153	153	84	230	73	86	96	67	153	66	75	75	77		62	153	153	153
h19	60	54	21	166	166	166	31	127	21	54	44	16	166	14	43	43	35	31		166	166	166
h20	114	113	135	204	204	204	178	276	219	113	160	115	204	173	102	102	112	178	157		204	204
h21	119	113	152	226	226	226	200	298	241	113	182	141	226	195	124	124	124	200	179	226		226
h22	272	266	222	358	358	358	179	282	212	266	195	260	358	181	255	255	247	179	187	358	358	

Aşağıdaki Çizelge 4.4’de deneysel çalışmaların ilk aşaması olan 4.gün h işlerinin taşıma mesafeleri matrisi gösterilmiştir.

Çizelge 4.4. 4. gün iş yükleri arasındaki taşıma mesafeleri matrisi (m)

	h1	h2	h3	h4	h5	h6	h7	h8	h9	h10	h11	h12	h13	h14	h15	h16	h17	h18	h19	h20	h21	h22	h23
h1		84	47	68	190	75	78	75	75	78	80	190	190	190	79	65	73	86	86	45	190	190	190
h2	84		39	64	184	71	72	69	69	72	76	184	184	184	75	61	67	82	82	41	184	184	186
h3	71	65		103	140	62	50	47	47	59	37	140	140	140	114	50	52	118	118	72	140	140	262
h4	96	90	44		177	32	79	76	76	84	85	177	177	177	8	12	71	10	10	42	177	177	113
h5	257	251	205	177		193	240	237	237	245	246	338	338	338	169	173	232	171	171	203	338	338	274
h6	53	47	36	58	121		36	33	33	26	29	121	121	121	28	24	38	46	46	34	121	121	192
h7	159	153	107	79	240	95		139	139	147	148	240	240	240	71	75	134	73	73	105	240	240	176
h8	18	24	63	93	107	68	30		36	35	52	107	107	107	106	90	35	111	111	63	107	107	209
h9	248	242	197	164	344	145	231	228		236	236	344	344	344	121	125	223	147	147	195	344	344	184
h10	56	50	59	88	125	47	35	32	32		22	125	125	125	99	35	37	103	103	57	125	125	247
h11	141	135	91	66	237	120	124	121	121	129		237	237	237	74	90	116	82	82	89	237	237	160
h12	243	237	193	195	342	191	226	223	223	231	184		342	342	175	171	218	179	179	191	342	342	272
h13	364	358	313	280	460	261	347	344	344	352	352	460		460	237	241	339	263	263	311	460	460	300
h14	161	155	143	165	222	111	144	141	141	134	136	222	222		135	131	146	153	153	141	222	222	299
h15	141	135	90	57	237	38	124	121	121	129	129	237	237	237		18	116	40	40	88	237	237	77
h16	60	54	21	44	166	20	43	40	40	48	16	166	166	166	14		35	31	31	19	166	166	127
h17	243	237	192	159	339	140	226	223	223	231	231	339	339	339	116	120		142	142	190	339	339	179
h18	167	161	116	83	263	64	150	147	147	155	155	263	263	263	40	44	142		66	114	263	263	103
h19	80	74	30	32	179	28	63	60	60	68	21	179	179	179	12	8	55	16		28	179	179	109
h20	98	92	48	23	194	77	81	78	78	86	89	194	194	194	31	47	73	39	39		194	194	117
h21	126	122	138	163	216	138	111	108	108	119	118	216	216	216	176	160	113	181	181	138		216	279
h22	272	266	222	195	358	221	255	252	252	260	260	358	358	358	181	187	247	179	179	220	358		282
h23	196	190	146	119	282	145	179	176	176	184	184	282	282	282	105	111	171	103	103	144	282	282	

Aşağıdaki Çizelge 4.5’de deneysel çalışmaların ilk aşaması olan 5.gün h işlerinin taşıma mesafeleri matrisi gösterilmiştir.

Çizelge 4.5. 5. gün iş yükleri arasındaki taşıma mesafeleri matrisi (m)

	h1	h2	h3	h4	h5	h6	h7	h8	h9	h10	h11	h12	h13	h14	h15	h16	h17	h18	h19	h20	h21	h22	h23	h24	h25
h1		125	125	35	32	32	32	32	103	247	50	59	22	144	144	125	99	35	35	32	37	247	125	125	125
h2	352		460	347	344	344	344	344	263	300	358	313	352	230	230	460	237	241	347	344	339	300	460	460	460
h3	245	338		240	237	237	237	237	171	274	251	205	246	176	176	338	169	173	240	237	232	274	338	338	338
h4	147	240	240		139	139	139	139	73	176	153	107	148	78	78	240	71	75	142	139	134	176	240	240	240
h5	236	344	344	231		228	228	228	147	184	242	197	236	114	114	344	121	125	231	228	223	184	344	344	344
h6	55	150	150	65	62		62	62	75	221	76	65	58	64	64	150	57	53	65	62	67	221	150	150	150
h7	144	237	237	139	136	136		136	70	173	150	104	145	75	75	237	68	72	139	136	131	173	237	237	237
h8	35	107	107	30	36	36	36		111	209	24	63	52	152	152	107	106	90	30	36	35	209	107	107	107
h9	68	179	179	63	60	60	60	60		109	74	30	21	19	19	179	12	8	63	60	55	109	179	179	179
h10	161	272	272	156	153	153	153	153	109		167	123	114	112	112	272	105	101	156	153	148	202	272	272	272
h11	72	184	184	72	69	69	69	69	82	186		39	76	122	122	184	75	61	72	69	67	186	184	184	184
h12	88	196	196	83	80	80	80	80	41	119	94		91	75	75	196	33	49	83	80	75	119	196	196	196
h13	129	237	237	124	121	121	121	121	82	160	135	91		116	116	237	74	90	124	121	116	160	237	237	237
h14	57	152	152	67	64	64	64	64	77	223	78	67	60		66	152	59	55	67	64	69	223	152	152	152
h15	54	142	142	64	61	61	61	61	73	219	75	63	56	62		142	55	51	64	61	66	219	142	142	142
h16	132	244	244	132	127	127	127	127	190	288	133	150	137	231	231		185	169	132	127	124	288	244	244	244
h17	129	237	237	124	121	121	121	121	40	77	135	90	129	7	7	237		18	124	121	116	77	237	237	237
h18	48	166	166	43	40	40	40	40	31	127	54	21	16	21	21	166	14		43	40	35	127	166	166	166
h19	239	347	347	234	231	231	231	231	150	187	245	200	239	117	117	347	124	128		231	226	187	347	347	347
h20	35	107	107	30	36	36	36	36	111	209	24	63	52	152	152	107	106	90	30		35	209	107	107	107
h21	231	339	339	226	223	223	223	223	142	179	237	192	231	109	109	339	116	120	226	223		179	339	339	339
h22	184	282	282	179	176	176	176	176	103	206	190	146	184	136	136	282	105	111	179	176	171		282	282	282
h23	119	216	216	111	108	108	108	108	181	279	122	138	118	222	222	216	176	160	111	108	113	279		216	216
h24	119	226	226	124	127	127	127	127	200	298	113	152	141	241	241	226	195	179	124	127	124	298	226		226
h25	260	358	358	255	252	252	252	252	179	282	266	222	260	212	212	358	181	187	255	252	247	282	358	358	

Aşağıdaki Çizelge 4.6’de deneysel çalışmaların ilk aşaması olan 6.gün h işlerinin taşıma mesafeleri matrisi gösterilmiştir.

Çizelge 4.6. 6. gün iş yükleri arasındaki taşıma mesafeleri matrisi (m)

	h1	h2	h3	h4	h5	h6	h7	h8	h9	h10	h11	h12	h13	h14	h15	h16	h17	h18	h19	h20	h21	h22	h23	h24
h1		76	55	184	184	75	71	72	67	82	82	41	39	64	122	122	184	184	82	82	184	184	69	186
h2	250		138	352	352	129	153	239	231	155	155	203	205	172	122	122	352	352	155	155	352	352	236	192
h3	59	40		126	126	39	15	48	50	57	57	45	47	69	46	46	126	126	57	57	126	126	45	203
h4	358	352	246		460	237	261	347	339	263	263	311	313	280	230	230	460	460	263	263	460	460	344	300
h5	95	123	144	178		177	139	101	106	182	182	134	134	164	223	223	178	178	182	182	178	178	107	280
h6	135	129	23	237	237		38	124	116	40	40	88	90	57	7	7	237	237	40	40	237	237	121	77
h7	47	29	19	121	121	28		36	38	46	46	34	36	58	35	35	121	121	46	46	121	121	33	192
h8	215	205	263	102	102	271	213		224	281	281	247	247	273	332	332	102	102	281	281	102	102	210	377
h9	237	231	125	339	339	116	140	226		142	142	190	192	159	109	109	339	339	142	142	339	339	223	179
h10	74	21	13	179	179	12	28	63	55		16	28	30	32	19	19	179	179	16	16	179	179	60	109
h11	288	328	225	378	378	208	291	277	269	206		248	250	197	173	173	378	378	206	206	378	378	274	103
h12	92	89	62	194	194	31	77	81	73	39	39		48	23	73	73	194	194	39	39	194	194	78	117
h13	94	91	64	196	196	33	79	83	75	41	41	48		25	75	75	196	196	41	41	196	196	80	119
h14	90	85	17	177	177	8	32	79	71	10	10	42	44		15	15	177	177	10	10	177	177	76	113
h15	77	24	16	182	182	15	31	66	58	19	19	31	33	35		22	182	182	19	19	182	182	63	112
h16	75	56	46	142	142	55	31	64	66	73	73	61	63	85	62		142	142	73	73	142	142	61	219
h17	133	137	152	244	244	185	157	132	124	190	190	150	150	172	231	231		244	190	190	244	244	127	288
h18	107	123	144	202	202	177	124	109	106	182	182	134	134	164	223	223	202		182	182	202	202	112	280
h19	161	155	49	263	263	40	64	150	142	66	66	114	116	83	33	33	263	263		66	263	263	147	103
h20	86	67	57	153	153	66	42	75	77	84	84	72	74	96	73	73	153	153	84		153	153	72	230
h21	113	115	140	204	204	173	135	102	112	178	178	135	135	160	219	219	204	204	178	178		204	105	276
h22	122	118	143	216	216	176	138	111	113	181	181	138	138	163	222	222	216	216	181	181	216		108	279
h23	14	42	63	127	127	96	58	25	25	101	101	53	53	83	142	142	127	127	101	101	127	127		199
h24	190	184	129	282	282	105	145	179	171	103	103	144	146	119	136	136	282	282	103	103	282	282	176	

Aşağıdaki Çizelge 4.7’de deneysel çalışmaların ilk aşaması olan 7.gün h işlerinin taşıma mesafeleri matrisi gösterilmiştir.

Çizelge 4.7. 7. gün iş yükleri arasındaki taşıma mesafeleri matrisi (m)

	h1	h2	h3	h4	h5	h6	h7	h8	h9	h10	h11	h12	h13	h14	h15	h16	h17	h18	h19	h20	h21	h22
h1		64	72	122	55	75	72	69	69	82	84	122	122	184	184	61	67	82	186	184	184	69
h2	90		84	15	17	8	79	76	76	10	96	15	15	177	177	12	71	10	113	177	177	76
h3	50	88		144	33	99	35	32	32	103	56	144	144	125	125	35	37	103	247	125	125	32
h4	65	55	59		16	25	54	51	51	42	71	32	32	177	177	21	46	42	138	177	177	51
h5	59	69	38	46		39	48	45	45	57	65	46	46	126	126	35	50	57	203	126	126	45
h6	135	57	129	7	23		124	121	121	40	141	7	7	237	237	18	116	40	77	237	237	121
h7	215	273	203	332	263	271		210	210	281	191	332	332	102	102	273	224	281	377	102	102	210
h8	24	93	35	152	73	106	30		36	111	18	152	152	107	107	90	35	111	209	107	107	36
h9	150	76	144	75	77	68	139	136		70	156	75	75	237	237	72	131	70	173	237	237	136
h10	74	32	68	19	13	12	63	60	60		80	19	19	179	179	8	55	16	109	179	179	60
h11	84	68	78	126	59	79	78	75	75	86		126	126	190	190	65	73	86	190	190	190	75
h12	78	89	57	66	50	59	67	64	64	77	84		66	152	152	55	69	77	223	152	152	64
h13	75	85	54	62	46	55	64	61	61	73	81	62		142	142	51	66	73	219	142	142	61
h14	95	164	106	223	144	177	101	107	107	182	89	223	223		178	161	106	182	280	178	178	107
h15	133	172	132	231	152	185	132	127	127	190	147	231	231	244		169	124	190	288	244	244	127
h16	54	44	48	21	5	14	43	40	40	31	60	21	21	166	166		35	31	127	166	166	40
h17	237	159	231	109	125	116	226	223	223	142	243	109	109	339	339	120		142	179	339	339	223
h18	87	144	81	203	124	157	89	92	92	162	98	203	203	182	182	141	86		260	182	182	92
h19	190	119	184	136	129	105	179	176	176	103	196	136	136	282	282	111	171	103		282	282	176
h20	122	163	119	222	143	176	111	108	108	181	126	222	222	216	216	160	113	181	279		216	108
h21	113	182	119	241	162	195	124	127	127	200	119	241	241	226	226	179	124	200	298	226		127
h22	14	83	20	142	63	96	25	28	28	101	20	142	142	127	127	80	25	101	199	127	127	

Aşağıdaki Çizelge 4.8’de deneysel çalışmaların ilk aşaması olan 8.gün h işlerinin taşıma mesafeleri matrisi gösterilmiştir.

Çizelge 4.8. 8. gün iş yükleri arasındaki taşıma mesafeleri matrisi (m)

	h1	h2	h3	h4	h5	h6	h7	h8	h9	h10	h11	h12	h13	h14	h15	h16	h17	h18	h19	h20
h1		16	177	177	177	25	21	31	51	51	46	42	138	30	27	32	177	177	177	177
h2	46		126	126	126	39	35	15	45	45	50	57	203	45	40	46	126	126	126	126
h3	223	144		202	202	177	161	124	112	112	106	182	280	134	123	223	202	202	202	202
h4	223	144	178		178	177	161	139	107	107	106	182	280	134	123	223	178	178	178	178
h5	176	178	338	338		169	173	193	237	237	232	171	274	203	246	176	338	338	338	338
h6	7	23	237	237	237		18	38	121	121	116	40	77	88	129	7	237	237	237	237
h7	21	5	166	166	166	14		20	40	40	35	31	127	19	16	21	166	166	166	166
h8	35	19	121	121	121	28	24		33	33	38	46	192	34	29	35	121	121	121	121
h9	75	77	237	237	237	68	72	92		136	131	70	173	102	145	75	237	237	237	237
h10	152	73	107	107	107	106	90	68	36		35	111	209	63	52	152	107	107	107	107
h11	100	89	221	221	221	58	74	104	105	105		66	144	73	116	100	221	221	221	221
h12	19	13	179	179	179	12	8	28	60	60	55		109	28	21	19	179	179	179	179
h13	136	129	282	282	282	105	111	145	176	176	171	103		144	184	136	282	282	282	282
h14	73	62	194	194	194	31	47	77	78	78	73	39	117		89	73	194	194	194	194
h15	122	138	352	352	352	129	133	153	236	236	231	155	192	203		122	352	352	352	352
h16	22	16	182	182	182	15	11	31	63	63	58	19	112	31	24		182	182	182	182
h17	231	152	244	244	244	185	169	157	127	127	124	190	288	150	137	231		244	244	244
h18	219	140	204	204	204	173	157	135	105	105	112	178	276	135	115	219	204		204	204
h19	222	143	216	216	216	176	160	138	108	108	113	181	279	138	118	222	216	216		216
h20	241	162	226	226	226	195	179	157	127	127	124	200	298	152	141	241	226	226	226	

Aşağıdaki Çizelge 4.9’da deneysel çalışmaların ilk aşaması olan 9.gün h işlerinin taşıma mesafeleri matrisi gösterilmiştir.

Çizelge 4.9. 9. gün iş yükleri arasındaki taşıma mesafeleri matrisi (m)

	h1	h2	h3	h4	h5	h6	h7	h8	h9	h10	h11	h12	h13	h14	h15	h16	h17	h18	h19	h20	h21	h22	h23
h1		22	182	15	66	58	19	83	33	35	71	24	22	182	182	11	63	58	19	112	182	182	182
h2	62		142	55	64	66	73	81	63	85	54	56	62	142	142	51	61	66	73	219	142	142	142
h3	142	142		135	144	146	153	161	143	165	134	136	142	222	222	131	141	146	153	299	222	222	222
h4	7	7	237		124	116	40	141	90	57	129	129	7	237	237	18	121	116	40	77	237	237	237
h5	117	117	347	124		226	150	251	200	167	239	239	117	347	347	128	231	226	150	187	347	347	347
h6	111	111	124	65	12		70	19	30	52	7	17	111	124	124	49	7	2	70	168	124	124	124
h7	19	19	179	12	63	55		80	30	32	68	21	19	179	179	8	60	55	16	109	179	179	179
h8	126	126	190	79	78	73	86		47	68	78	80	126	190	190	65	75	73	86	190	190	190	190
h9	75	75	196	33	83	75	41	100		25	88	91	75	196	196	49	80	75	41	119	196	196	196
h10	15	15	177	8	79	71	10	96	44		84	85	15	177	177	12	76	71	10	113	177	177	177
h11	144	144	125	99	35	37	103	56	59	88		22	144	125	125	35	32	37	103	247	125	125	125
h12	116	116	237	74	124	116	82	141	91	66	129		116	237	237	90	121	116	82	160	237	237	237
h13	66	66	152	59	67	69	77	84	67	89	57	60		152	152	55	64	69	77	223	152	152	152
h14	230	230	460	237	347	339	263	364	313	280	352	352	230		460	241	344	339	263	300	460	460	460
h15	231	231	244	185	132	122	190	147	150	172	132	137	231	244		169	127	124	190	288	244	244	244
h16	21	21	166	14	43	35	31	60	21	44	48	16	21	166	166		40	35	31	127	166	166	166
h17	114	114	344	121	231	223	147	248	197	164	236	236	114	344	344	125		223	147	184	344	344	344
h18	109	109	339	116	226	218	142	243	192	159	231	231	109	339	339	120	223		142	179	339	339	339
h19	33	33	263	40	150	142	66	167	116	83	155	155	33	263	263	44	147	142		103	263	263	263
h20	136	136	282	105	179	171	103	196	146	119	184	184	136	282	282	111	176	171	103		282	282	282
h21	241	241	226	195	124	124	200	119	152	182	119	141	241	226	226	179	127	124	200	298		226	226
h22	222	222	216	176	111	113	181	126	138	163	119	118	222	216	216	160	108	113	181	279	216		216
h23	219	219	204	173	102	112	178	114	135	160	110	115	219	204	204	157	105	112	178	276	204	204	

Aşağıdaki Çizelge 4.10’da deneysel çalışmaların ilk aşaması olan 10.gün h işlerinin taşıma mesafeleri matrisi gösterilmiştir.

Çizelge 4.10. 10. gün iş yükleri arasındaki taşıma mesafeleri matrisi (m)

	h1	h2	h3	h4	h5	h6	h7	h8	h9	h10	h11	h12	h13	h14	h15	h16	h17	h18	h19	h20	h21
h1		107	170	85	85	82	82	83	95	107	85	96	75	78	77	73	87	241	170	170	85
h2	96		177	79	79	76	76	42	10	16	79	90	84	85	8	12	71	113	177	177	79
h3	257	177		240	240	237	237	203	171	177	240	251	245	246	169	173	232	274	338	338	240
h4	251	167	347		234	231	231	198	150	167	234	245	239	239	124	128	226	187	347	347	234
h5	159	79	240	142		139	139	105	73	79	142	153	147	148	71	75	134	176	240	240	142
h6	18	93	107	30	30		36	63	111	93	30	24	35	52	106	90	35	209	107	107	30
h7	248	164	344	231	231	228		195	147	164	231	242	236	236	121	125	223	184	344	344	231
h8	98	23	194	81	81	78	78		39	23	81	92	86	89	31	47	73	117	194	194	81
h9	167	83	263	150	150	147	147	114		83	150	161	155	155	40	44	142	103	263	263	150
h10	96	16	177	79	79	76	76	42	10		79	90	84	85	8	12	71	113	177	177	79
h11	12	87	101	24	24	30	30	57	105	87		18	29	46	100	84	29	203	101	101	24
h12	84	64	184	72	72	69	69	41	82	64	72		72	76	75	61	67	186	184	184	72
h13	56	88	125	35	35	32	32	57	103	88	35	50		22	99	35	37	247	125	125	35
h14	141	66	237	124	124	121	121	89	82	66	124	135	129		74	90	116	160	237	237	124
h15	141	57	237	124	124	121	121	88	40	57	124	135	129	129		18	116	77	237	237	124
h16	60	44	166	43	43	40	40	19	31	44	43	54	48	16	14		35	127	166	166	43
h17	243	159	339	226	226	223	223	190	142	159	226	237	231	231	116	120		179	339	339	226
h18	196	119	282	179	179	176	176	144	103	119	179	190	184	184	105	111	171		282	282	179
h19	114	160	204	102	102	105	105	135	178	160	102	113	110	115	173	157	112	276		204	102
h20	126	163	216	111	111	108	108	138	181	163	111	122	119	118	176	160	113	279	216		111
h21	17	80	124	22	22	25	25	50	98	80	22	11	17	39	93	77	22	196	124	124	

Aşağıdaki Çizelge 4.11’de deneysel çalışmaların ilk aşaması olan 11.gün h işlerinin taşıma mesafeleri matrisi gösterilmiştir.

Çizelge 4.11. 11. gün iş yükleri arasındaki taşıma mesafeleri matrisi (m)

	h1	h2	h3	h4	h5	h6	h7	h8	h9	h10	h11	h12	h13	h14	h15	h16	h17	h18	h19	h20	h21	h22	h23
h1		8	12	76	76	71	10	8	96	90	85	17	177	177	177	32	79	79	76	113	44	177	113
h2	28		4	56	56	51	12	8	76	70	17	9	175	175	175	24	59	59	56	105	26	175	105
h3	44	14		40	40	35	31	14	60	54	16	5	166	166	166	20	43	43	40	127	21	166	127
h4	76	68	72		136	131	70	68	156	150	145	77	237	237	237	92	139	139	136	173	104	237	173
h5	93	106	90	36		35	111	106	18	24	52	73	107	107	107	68	30	30	36	209	63	107	209
h6	159	116	120	223	223		142	116	243	237	231	125	339	339	339	140	226	226	223	179	192	339	179
h7	32	12	8	60	60	55		12	80	74	21	13	179	179	179	28	63	63	60	109	30	179	109
h8	57	14	18	121	121	116	40		141	135	129	23	237	237	237	38	124	124	121	77	90	237	77
h9	75	88	72	30	30	27	93	88		36	40	55	147	147	147	60	35	35	30	191	53	147	191
h10	64	75	61	69	69	67	82	75	84		76	55	184	184	184	71	72	72	69	186	39	184	186
h11	66	74	90	121	121	116	82	74	141	135		105	237	237	237	120	124	124	121	160	91	237	160
h12	69	39	35	45	45	50	57	39	65	59	40		126	126	126	15	48	48	45	203	47	126	203
h13	280	237	241	344	344	339	263	237	364	358	352	246		460	460	261	347	347	344	300	313	460	300
h14	160	173	157	105	105	112	178	173	114	113	115	140	204		204	135	102	102	105	276	135	204	276
h15	195	181	187	252	252	247	179	181	272	266	260	205	358	358		221	255	255	252	282	222	358	282
h16	58	28	24	33	33	38	46	28	53	47	29	19	121	121	121		36	36	33	192	36	121	192
h17	87	100	84	30	30	29	105	100	12	18	46	67	101	101	101	62		24	30	203	57	101	203
h18	167	124	128	231	231	226	150	124	251	245	239	133	347	347	347	148	234		231	187	200	347	187
h19	87	57	53	62	62	67	75	57	82	76	58	48	150	150	150	33	65	65		221	65	150	221
h20	113	105	109	173	173	168	107	105	193	187	182	114	274	274	274	129	176	176	173		141	274	210
h21	25	33	49	80	80	75	41	33	100	94	91	64	196	196	196	79	83	83	80	119		196	119
h22	182	195	179	127	127	124	200	195	119	113	141	162	226	226	226	157	124	124	127	298	152		298
h23	119	105	111	176	176	171	103	105	196	190	184	129	282	282	282	145	179	179	176	206	146	282	

Aşağıdaki Çizelge 4.12’de deneysel çalışmaların ilk aşaması olan 12.gün h işlerinin taşıma mesafeleri matrisi gösterilmiştir.

Çizelge 4.12. 12. gün iş yükleri arasındaki taşıma mesafeleri matrisi (m)

	h1	h2	h3	h4	h5	h6	h7	h8	h9	h10	h11	h12	h13	h14	h15	h16	h17	h18	h19	h20	h21	h22
h1		84	80	59	190	65	75	75	190	45	68	126	190	190	78	78	75	73	86	190	190	75
h2	84		76	55	184	61	71	69	186	41	64	122	184	184	72	72	69	67	82	184	184	69
h3	141	135		105	237	90	120	121	160	89	66	116	237	237	124	124	121	116	82	237	237	121
h4	65	59	40		126	35	15	45	203	45	69	46	126	126	48	48	45	50	57	126	126	45
h5	243	237	184	176		171	191	223	272	191	195	182	342	342	226	226	223	218	179	342	342	223
h6	60	54	16	5	166		20	40	127	19	44	21	166	166	43	43	40	35	31	166	166	40
h7	53	47	29	19	121	24		33	192	34	58	35	121	121	36	36	33	38	46	121	121	33
h8	18	24	52	73	107	90	68		209	63	93	152	107	107	30	30	36	35	111	107	107	36
h9	196	190	184	129	282	111	145	176		144	119	136	282	282	179	179	176	171	103	282	282	176
h10	98	92	89	62	194	47	77	78	117		23	73	194	194	81	81	78	73	39	194	194	78
h11	96	90	85	17	177	12	32	76	113	42		15	177	177	79	79	76	71	10	177	177	76
h12	81	75	56	46	142	51	31	61	219	61	85		142	142	64	64	61	66	73	142	142	61
h13	147	133	137	152	244	169	157	127	288	150	172	231		244	132	132	127	124	190	244	244	127
h14	118	107	123	144	202	161	124	112	280	134	164	223	202		109	109	112	106	182	202	202	112
h15	251	245	239	133	347	128	148	231	187	198	167	117	347	347		234	231	226	150	347	347	231
h16	12	18	46	67	101	84	62	30	203	57	87	146	101	101	24		30	29	105	101	101	30
h17	20	14	42	63	127	80	58	28	199	53	83	142	127	127	25	25		25	101	127	127	28
h18	243	237	231	125	339	120	140	223	179	190	159	109	339	339	226	226	223		142	339	339	223
h19	80	74	21	13	179	8	28	60	109	28	32	19	179	179	63	63	60	55		179	179	60
h20	272	266	260	205	358	187	221	252	282	220	195	212	358	358	255	255	252	247	179		358	252
h21	126	122	118	143	216	160	138	108	279	138	163	222	216	216	111	111	108	113	181	216		108
h22	20	14	42	63	127	80	58	28	199	53	83	142	127	127	25	25	28	25	101	127	127	

Aşağıdaki Çizelge 4.13’de deneysel çalışmaların ilk aşaması olan 13.gün h işlerinin taşıma mesafeleri matrisi gösterilmiştir.

Çizelge 4.13. 13. gün iş yükleri arasındaki taşıma mesafeleri matrisi (m)

	h1	h2	h3	h4	h5	h6	h7	h8	h9	h10	h11	h12	h13	h14	h15	h16	h17	h18	h19	h20	h21	h22
h1		15	177	177	12	79	79	76	96	90	44	84	85	15	177	177	177	8	79	71	177	113
h2	89		152	152	55	67	67	64	84	78	67	57	60	66	152	152	152	59	67	69	152	223
h3	280	230		460	241	347	347	344	364	358	313	352	352	230	460	460	460	237	347	339	460	300
h4	177	176	338		173	240	240	237	257	251	205	245	246	176	338	338	338	169	240	232	338	274
h5	44	21	166	166		43	43	40	60	54	21	48	16	21	166	166	166	14	43	35	166	127
h6	60	119	132	132	57		20	15	35	21	38	20	25	119	132	132	132	73	20	12	132	176
h7	71	130	109	109	68	16		19	25	14	41	8	30	130	109	109	109	84	16	13	109	187
h8	93	152	107	107	90	30	30		18	24	63	35	52	152	107	107	107	106	30	35	107	209
h9	68	126	190	190	65	78	78	75		84	47	78	80	126	190	190	190	79	78	73	190	190
h10	64	122	184	184	61	72	72	69	84		39	72	76	122	184	184	184	75	72	67	184	186
h11	25	75	196	196	49	83	83	80	100	94		88	91	75	196	196	196	33	83	75	196	119
h12	88	144	125	125	35	35	35	32	56	50	59		22	144	125	125	125	99	35	37	125	247
h13	66	116	237	237	90	124	124	121	141	135	91	129		116	237	237	237	74	124	116	237	160
h14	35	22	182	182	11	66	66	63	83	77	33	71	24		182	182	182	15	66	58	182	112
h15	160	219	204	204	157	102	102	105	114	113	135	110	115	219		204	204	173	102	112	204	276
h16	163	222	216	216	160	111	111	108	126	122	138	119	118	222	216		216	176	111	113	216	279
h17	172	231	244	244	169	132	132	127	147	133	150	132	137	231	244	244		185	132	124	244	288
h18	57	7	237	237	18	124	124	121	141	135	90	129	129	7	237	237	237		124	116	237	77
h19	167	117	347	347	128	234	234	231	251	245	200	239	239	117	347	347	347	124		226	347	187
h20	159	109	339	339	120	226	226	223	243	237	192	231	231	109	339	339	339	116	226		339	179
h21	182	241	226	226	179	124	124	127	119	113	152	119	141	241	226	226	226	195	124	124		298
h22	119	136	282	282	111	179	179	176	196	190	146	184	184	136	282	282	282	105	179	171	282	

Aşağıdaki Çizelge 4.14’de deneysel çalışmaların ilk aşaması olan 14.gün h işlerinin taşıma mesafeleri matrisi gösterilmiştir.

Çizelge 4.14. 14. gün iş yükleri arasındaki taşıma mesafeleri matrisi (m)

	h1	h2	h3	h4	h5	h6	h7	h8	h9	h10	h11	h12	h13	h14	h15	h16	h17	h18	h19	h20	h21
h1		48	23	86	194	81	81	81	78	73	39	39	92	89	73	194	78	78	78	194	117
h2	48		25	88	196	83	83	83	80	75	41	41	94	91	75	196	80	80	80	196	119
h3	42	44		84	177	79	79	79	76	71	10	10	90	85	15	177	76	76	76	177	113
h4	57	59	88		125	35	35	35	32	37	103	103	50	22	144	125	32	32	32	125	247
h5	220	222	195	260		255	255	255	252	247	179	179	266	260	212	358	252	252	252	358	282
h6	198	200	167	239	347		234	234	231	226	150	150	245	239	117	347	231	231	231	347	187
h7	105	107	79	147	240	142		142	139	134	73	73	153	148	78	240	139	139	139	240	176
h8	41	41	71	8	109	16	16		19	13	89	89	14	30	130	109	19	19	19	109	187
h9	63	63	93	35	107	30	30	30		35	111	111	24	52	152	107	36	36	36	107	209
h10	190	192	159	231	339	226	226	226	223		142	142	237	231	109	339	223	223	223	339	179
h11	72	74	96	65	153	75	75	75	72	77		84	86	67	73	153	72	72	72	153	230
h12	28	30	32	68	179	63	63	63	60	55	16		74	21	19	179	60	60	60	179	109
h13	41	39	64	72	184	72	72	72	69	67	82	82		76	122	184	69	69	69	184	186
h14	89	91	66	129	237	124	124	124	121	116	82	82	135		116	237	121	121	121	237	160
h15	65	67	89	57	152	67	67	67	64	69	77	77	78	60		152	64	64	64	152	223
h16	311	313	280	352	460	347	347	347	344	339	263	263	358	352	230		344	344	344	460	300
h17	195	197	164	236	344	231	231	231	228	223	147	147	242	236	114	344		228	228	344	184
h18	63	65	87	55	150	65	65	65	62	67	75	75	76	58	64	150	62		62	150	221
h19	53	53	83	20	127	25	25	25	28	25	101	101	14	42	142	127	28	28		127	199
h20	138	138	163	119	216	111	111	111	108	113	181	181	122	118	222	216	108	108	108		279
h21	144	146	119	184	282	179	179	179	176	171	103	103	190	184	136	282	176	176	176	282	

Aşağıdaki Çizelge 4.15’de deneysel çalışmaların ilk aşaması olan 15.gün h işlerinin taşıma mesafeleri matrisi gösterilmiştir.

Çizelge 4.15. 15. gün iş yükleri arasındaki taşıma mesafeleri matrisi (m)

	h1	h2	h3	h4	h5	h6	h7	h8	h9	h10	h11	h12	h13	h14	h15	h16	h17	h18	h19	h20	h21	h22
h1		84	177	177	8	76	10	96	42	90	44	85	15	177	76	71	10	10	79	177	177	113
h2	88		125	125	99	32	103	56	57	50	59	22	144	125	32	37	103	103	35	125	125	247
h3	280	352		460	237	344	263	364	311	358	313	352	230	460	344	339	263	263	347	460	460	300
h4	165	134	222		135	141	153	161	141	155	143	136	142	222	141	146	153	153	144	222	222	299
h5	57	129	237	237		121	40	141	88	135	90	129	7	237	121	116	40	40	124	237	237	77
h6	93	35	107	107	106		111	18	63	24	63	52	152	107	36	35	111	111	30	107	107	209
h7	96	65	153	153	66	72		92	72	86	74	67	73	153	72	77	84	84	75	153	153	230
h8	68	78	190	190	79	75	86		45	84	47	80	126	190	75	73	86	86	78	190	190	190
h9	23	86	194	194	31	78	39	98		92	48	89	73	194	78	73	39	39	81	194	194	117
h10	64	72	184	184	75	69	82	84	41		39	76	122	184	69	67	82	82	72	184	184	186
h11	25	88	196	196	33	80	41	100	48	94		91	75	196	80	75	41	41	83	196	196	119
h12	66	129	237	237	74	121	82	141	89	135	91		116	237	121	116	82	82	124	237	237	160
h13	85	54	142	142	55	61	73	81	61	75	63	56		142	61	66	73	73	64	142	142	219
h14	195	231	342	342	175	223	179	243	191	237	193	184	182		223	218	179	179	226	342	342	272
h15	164	236	344	344	121	228	147	248	195	242	197	236	114	344		223	147	147	231	344	344	184
h16	159	231	339	339	116	223	142	243	190	237	192	231	109	339	223		142	142	226	339	339	179
h17	83	155	263	263	40	147	66	167	114	161	116	155	33	263	147	142		66	150	263	263	103
h18	32	68	179	179	12	60	16	80	28	74	30	21	19	179	60	55	16		63	179	179	109
h19	71	8	109	109	84	19	89	25	41	14	41	30	130	109	19	13	89	89		109	109	187
h20	163	119	216	216	176	108	181	126	138	122	138	118	222	216	108	113	181	181	111		216	279
h21	160	110	204	204	173	105	178	114	135	113	135	115	219	204	105	112	178	178	102	204		276
h22	119	184	282	282	105	176	103	196	144	190	146	184	136	282	176	171	103	103	179	282	282	

Aşağıdaki Şekil 4.1’de deneysel çalışmaların ikinci aşaması olan 1.gün matematiksel model sonucu gösterilmiştir.

```

1 Number_Of_Customers      25.00
2 Objective_Value          1086.00
3 Lower_Bound             1086.00
4 Number_of_Iteration      378.00
5 IsOptimum                1.00
6 CPU_Second               0.52
7
8 Optimal_X_Values
9 h0      h1      k3      1.00
10 h0      h13     k1      1.00
11 h0      h24     k2      1.00
12 h1      h0      k3      1.00
13 h2      h0      k2      1.00
14 h3      h19     k2      1.00
15 h4      h6      k2      1.00
16 h5      h11     k2      1.00
17 h6      h14     k2      1.00
18 h7      h8      k2      1.00
19 h8      h9      k2      1.00
20 h9      h10     k2      1.00
21 h10     h3      k2      1.00
22 h11     h2      k2      1.00
23 h12     h23     k2      1.00
24 h13     h0      k1      1.00
25 h14     h7      k2      1.00
26 h15     h21     k2      1.00
27 h16     h18     k2      1.00
28 h17     h15     k2      1.00
29 h18     h12     k2      1.00
30 h19     h20     k2      1.00
31 h20     h16     k2      1.00
32 h21     h22     k2      1.00
33 h22     h4      k2      1.00
34 h23     h5      k2      1.00
35 h24     h17     k2      1.00

```

Şekil 4.1. 1. gün matematiksel model sonucu

Aşağıdaki Şekil 4.2’de deneysel çalışmaların ikinci aşaması olan 2.gün matematiksel model sonucu gösterilmiştir.

1	Number_Of_Customers	32.00	
2	Objective_Value	2192.00	
3	Lower_Bound	2192.00	
4	Number_of_Iteration	400.00	
5	IsOptimum	1.00	
6	CPU_Second	0.72	
7			
8	Optimal_X_Values		
9	h0	h6	k1
10	h0	h21	k3
11	h0	h29	k2
12	h1	h2	k1
13	h2	h7	k1
14	h3	h12	k1
15	h4	h22	k1
16	h5	h0	k2
17	h6	h24	k1
18	h7	h19	k1
19	h8	h17	k2
20	h9	h1	k1
21	h10	h15	k1
22	h11	h3	k1
23	h12	h20	k1
24	h13	h23	k2
25	h14	h26	k2
26	h15	h4	k1
27	h16	h13	k2
28	h17	h14	k2
29	h18	h8	k2
30	h19	h30	k1
31	h20	h0	k1
32	h21	h0	k3
33	h22	h9	k1
34	h23	h18	k2
35	h24	h25	k1
36	h25	h27	k1
37	h26	h5	k2
38	h27	h10	k1
39	h28	h31	k2
40	h29	h28	k2
41	h30	h11	k1
42	h31	h16	k2
43			

Şekil 4.2. 2. gün matematiksel model sonucu

Aşağıdaki Şekil 4.3’de deneysel çalışmaların ikinci aşaması olan 3.gün matematiksel model sonucu gösterilmiştir.

1	Number_Of_Customers	23.00		
2	Objective_Value	1777.00		
3	Lower_Bound	1777.00		
4	Number_of_Iteration	408.00		
5	IsOptimum	1.00		
6	CPU_Second	0.95		
7				
8	Optimal_X_Values			
9	h0	h4	k2	1.00
10	h0	h21	k1	1.00
11	h0	h22	k3	1.00
12	h1	h2	k1	1.00
13	h2	h5	k1	1.00
14	h3	h17	k1	1.00
15	h4	h16	k2	1.00
16	h5	h18	k1	1.00
17	h6	h0	k1	1.00
18	h7	h19	k1	1.00
19	h8	h12	k1	1.00
20	h9	h20	k1	1.00
21	h10	h3	k1	1.00
22	h11	h7	k1	1.00
23	h12	h11	k1	1.00
24	h13	h0	k2	1.00
25	h14	h9	k1	1.00
26	h15	h14	k1	1.00
27	h16	h13	k2	1.00
28	h17	h8	k1	1.00
29	h18	h6	k1	1.00
30	h19	h15	k1	1.00
31	h20	h1	k1	1.00
32	h21	h10	k1	1.00
33	h22	h0	k3	1.00
34				

Şekil 4.3. 3. gün matematiksel model sonucu

Aşağıdaki Şekil 4.4'de deneysel çalışmaların ikinci aşaması olan 4.gün matematiksel model gösterilmiştir.

1	Number_of_Customers	24.00	
2	Objective_Value	1785.00	
3	Lower_Bound	1785.00	
4	Number_of_Iteration	469.00	
5	IsOptimum	1.00	
6	CPU_Second	0.25	
7			
8	Optimal_X_Values		
9	h0	h12	k2 1.00
10	h0	h13	k1 1.00
11	h0	h22	k3 1.00
12	h1	h2	k2 1.00
13	h2	h3	k2 1.00
14	h3	h5	k2 1.00
15	h4	h18	k2 1.00
16	h5	h0	k2 1.00
17	h6	h10	k2 1.00
18	h7	h4	k2 1.00
19	h8	h1	k2 1.00
20	h9	h23	k2 1.00
21	h10	h14	k2 1.00
22	h11	h17	k2 1.00
23	h12	h20	k2 1.00
24	h13	h0	k1 1.00
25	h14	h21	k2 1.00
26	h15	h16	k2 1.00
27	h16	h8	k2 1.00
28	h17	h15	k2 1.00
29	h18	h6	k2 1.00
30	h19	h11	k2 1.00
31	h20	h7	k2 1.00
32	h21	h9	k2 1.00
33	h22	h0	k3 1.00
34	h23	h19	k2 1.00

Şekil 4.4. 4. gün matematiksel model sonucu

Aşağıdaki Şekil 4.5’de deneysel çalışmaların ikinci aşaması olan 5.gün matematiksel model sonucu gösterilmiştir.

1	Number_Of_Customers	26.00		
2	Objective_Value	2043.00		
3	Lower_Bound	2043.00		
4	Number_of_Iteration	240.00		
5	IsOptimum	1.00		
6	CPU_Second	0.47		
7				
8	Optimal_X_Values			
9	h0	h3	k2	1.00
10	h0	h24	k1	1.00
11	h0	h25	k3	1.00
12	h1	h6	k1	1.00
13	h2	h0	k1	1.00
14	h3	h0	k2	1.00
15	h4	h17	k1	1.00
16	h5	h14	k1	1.00
17	h6	h7	k1	1.00
18	h7	h18	k1	1.00
19	h8	h16	k1	1.00
20	h9	h4	k1	1.00
21	h10	h13	k1	1.00
22	h11	h12	k1	1.00
23	h12	h21	k1	1.00
24	h13	h8	k1	1.00
25	h14	h1	k1	1.00
26	h15	h2	k1	1.00
27	h16	h20	k1	1.00
28	h17	h10	k1	1.00
29	h18	h19	k1	1.00
30	h19	h15	k1	1.00
31	h20	h23	k1	1.00
32	h21	h22	k1	1.00
33	h22	h9	k1	1.00
34	h23	h5	k1	1.00
35	h24	h11	k1	1.00
36	h25	h0	k3	1.00
37				

Şekil 4.5. 5. gün matematiksel model sonucu

Aşağıdaki Şekil 4.6'da deneysel çalışmaların ikinci aşaması olan 6.gün matematiksel model sonucu gösterilmiştir.

```

1 Number_Of_Customers      25.00
2 Objective_Value          1388.00
3 Lower_Bound             1388.00
4 Number_of_Iteration      211.00
5 IsOptimum                1.00
6 CPU_Second               0.19
7
8 Optimal_X_Values
9 h0      h5      k2      1.00
10 h0      h18     k3      1.00
11 h0      h21     k1      1.00
12 h1      h13     k1      1.00
13 h2      h0      k2      1.00
14 h3      h4      k1      1.00
15 h4      h0      k1      1.00
16 h5      h17     k2      1.00
17 h6      h16     k2      1.00
18 h7      h3      k1      1.00
19 h8      h22     k1      1.00
20 h9      h15     k2      1.00
21 h10     h20     k1      1.00
22 h11     h24     k2      1.00
23 h12     h14     k1      1.00
24 h13     h12     k1      1.00
25 h14     h10     k1      1.00
26 h15     h11     k2      1.00
27 h16     h2      k2      1.00
28 h17     h9      k2      1.00
29 h18     h0      k3      1.00
30 h19     h6      k2      1.00
31 h20     h7      k1      1.00
32 h21     h8      k1      1.00
33 h22     h23     k1      1.00
34 h23     h1      k1      1.00
35 h24     h19     k2      1.00

```

Şekil 4.6. 6. gün matematiksel model sonucu

Aşağıdaki Şekil 4.7’de deneysel çalışmaların ikinci aşaması olan 7.gün matematiksel model sonucu gösterilmiştir.

1	Number_Of_Customers	26.00	
2	Objective_Value	677.00	
3	Lower_Bound	677.00	
4	Number_of_Iteration	519.00	
5	IsOptimum	1.00	
6	CPU_Second	0.30	
7			
8	Optimal_X_Values		
9	h0	h12	k2
10	h0	h14	k1
11	h0	h20	k3
12	h1	h8	k2
13	h2	h18	k1
14	h3	h22	k2
15	h4	h5	k2
16	h5	h16	k2
17	h6	h13	k2
18	h7	h23	k2
19	h8	h7	k2
20	h9	h10	k2
21	h10	h4	k2
22	h11	h2	k1
23	h12	h9	k2
24	h13	h3	k2
25	h14	h11	k1
26	h15	h0	k1
27	h16	h6	k2
28	h17	h25	k1
29	h18	h17	k1
30	h19	h0	k3
31	h20	h24	k3
32	h21	h0	k2
33	h22	h1	k2
34	h23	h21	k2
35	h24	h19	k3
36	h25	h15	k1
37			

Şekil 4.7. 7. gün matematiksel model sonucu

Aşağıdaki Şekil 4.8’de deneysel çalışmaların ikinci aşaması olan 8.gün matematiksel model sonucu gösterilmiştir.

```

1  Number_Of_Customers      21.00
2  Objective_Value          1381.00
3  Lower_Bound             1381.00
4  Number_of_Iteration      311.00
5  IsOptimum                1.00
6  CPU_Second               0.16
7
8  Optimal_X_Values
9  h0      h18      k2      1.00
10 h0      h19      k1      1.00
11 h0      h20      k3      1.00
12 h1      h2       k1      1.00
13 h2      h8       k1      1.00
14 h3      h5       k1      1.00
15 h4      h17      k1      1.00
16 h5      h0       k1      1.00
17 h6      h13      k1      1.00
18 h7      h15      k2      1.00
19 h8      h3       k1      1.00
20 h9      h16      k2      1.00
21 h10     h4       k1      1.00
22 h11     h14      k1      1.00
23 h12     h1       k1      1.00
24 h13     h12      k1      1.00
25 h14     h6       k1      1.00
26 h15     h0       k2      1.00
27 h16     h7       k2      1.00
28 h17     h11      k1      1.00
29 h18     h9       k2      1.00
30 h19     h10      k1      1.00
31 h20     h0       k3      1.00
32

```

Şekil 4.8. 8. gün matematiksel model sonucu

Aşağıdaki Şekil 4.9'da deneysel çalışmaların ikinci aşaması olan 9.gün matematiksel model sonucu gösterilmiştir.

1	Number_Of_Customers	24.00	
2	Objective_Value	1555.00	
3	Lower_Bound	1555.00	
4	Number_of_Iteration	394.00	
5	IsOptimum	1.00	
6	CPU_Second	0.52	
7			
8	Optimal_X_Values		
9	h0	h14	k2
10	h0	h21	k1
11	h0	h22	k3
12	h1	h12	k1
13	h2	h15	k1
14	h3	h23	k1
15	h4	h2	k1
16	h5	h0	k1
17	h6	h17	k1
18	h7	h16	k1
19	h8	h9	k1
20	h9	h10	k1
21	h10	h19	k1
22	h11	h3	k1
23	h12	h4	k1
24	h13	h11	k1
25	h14	h0	k2
26	h15	h6	k1
27	h16	h18	k1
28	h17	h13	k1
29	h18	h1	k1
30	h19	h20	k1
31	h20	h7	k1
32	h21	h8	k1
33	h22	h0	k3
34	h23	h5	k1
--			

Şekil 4.9. 9. gün matematiksel model sonucu

Aşağıdaki Şekil 4.10'da deneysel çalışmaların ikinci aşaması olan 10.gün matematiksel model sonucu gösterilmiştir.

1	Number_Of_Customers	22.00	
2	Objective_Value	1244.00	
3	Lower_Bound	1244.00	
4	Number_of_Iteration	461.00	
5	IsOptimum	1.00	
6	CPU_Second	1.33	
7			
8	Optimal_X_Values		
9	h0	h3	k2
10	h0	h19	k1
11	h0	h20	k3
12	h1	h13	k1
13	h2	h8	k1
14	h3	h0	k2
15	h4	h0	k1
16	h5	h10	k1
17	h6	h1	k1
18	h7	h18	k1
19	h8	h6	k1
20	h9	h16	k1
21	h10	h2	k1
22	h11	h4	k1
23	h12	h5	k1
24	h13	h7	k1
25	h14	h11	k1
26	h15	h9	k1
27	h16	h14	k1
28	h17	h15	k1
29	h18	h17	k1
30	h19	h21	k1
31	h20	h0	k3
32	h21	h12	k1
--			

Şekil 4.10. 10. gün matematiksel model sonucu

Aşağıdaki Şekil 4.11’de deneysel çalışmaların ikinci aşaması olan 11.gün matematiksel model sonucu gösterilmiştir.

1	Number_Of_Customers	24.00		
2	Objective_Value	1271.00		
3	Lower_Bound	1271.00		
4	Number_of_Iteration	379.00		
5	IsOptimum	1.00		
6	CPU_Second	0.91		
7				
8	Optimal_X_Values			
9	h0	h14	k2	1.00
10	h0	h15	k3	1.00
11	h0	h22	k1	1.00
12	h1	h8	k1	1.00
13	h2	h11	k2	1.00
14	h3	h5	k1	1.00
15	h4	h2	k2	1.00
16	h5	h13	k1	1.00
17	h6	h20	k2	1.00
18	h7	h3	k1	1.00
19	h8	h23	k1	1.00
20	h9	h19	k2	1.00
21	h10	h21	k1	1.00
22	h11	h6	k2	1.00
23	h12	h16	k2	1.00
24	h13	h0	k1	1.00
25	h14	h17	k2	1.00
26	h15	h0	k3	1.00
27	h16	h18	k2	1.00
28	h17	h9	k2	1.00
29	h18	h0	k2	1.00
30	h19	h4	k2	1.00
31	h20	h12	k2	1.00
32	h21	h1	k1	1.00
33	h22	h10	k1	1.00
34	h23	h7	k1	1.00
35				

Şekil 4.11. 11. gün matematiksel model sonucu

Aşağıdaki Şekil 4.12’de deneysel çalışmaların ikinci aşaması olan 12.gün matematiksel model sonucu gösterilmiştir.

1	Number_Of_Customers	24.00		
2	Objective_Value	1029.00		
3	Lower_Bound	1029.00		
4	Number_of_Iteration	382.00		
5	IsOptimum	1.00		
6	CPU_Second	0.30		
7				
8	Optimal_X_Values			
9	h0	h5	k1	1.00
10	h0	h13	k2	1.00
11	h0	h20	k3	1.00
12	h1	h10	k2	1.00
13	h2	h17	k2	1.00
14	h3	h19	k2	1.00
15	h4	h7	k2	1.00
16	h5	h0	k1	1.00
17	h6	h4	k2	1.00
18	h7	h22	k2	1.00
19	h8	h14	k2	1.00
20	h9	h23	k2	1.00
21	h10	h11	k2	1.00
22	h11	h12	k2	1.00
23	h12	h3	k2	1.00
24	h13	h18	k2	1.00
25	h14	h16	k2	1.00
26	h15	h0	k2	1.00
27	h16	h1	k2	1.00
28	h17	h15	k2	1.00
29	h18	h9	k2	1.00
30	h19	h6	k2	1.00
31	h20	h0	k3	1.00
32	h21	h8	k2	1.00
33	h22	h2	k2	1.00
34	h23	h21	k2	1.00
35				

Şekil 4.12. 12. gün matematiksel model sonucu

Aşağıdaki Şekil 4.13’de deneysel çalışmaların ikinci aşaması olan 13.gün matematiksel model sonucu gösterilmiştir.

1	Number_Of_Customers	23.00	
2	Objective_Value	1506.00	
3	Lower_Bound	1506.00	
4	Number_of_Iteration	525.00	
5	IsOptimum	1.00	
6	CPU_Second	1.16	
7			
8	Optimal_X_Values		
9	h0	h15	k2
10	h0	h16	k3
11	h0	h17	k1
12	h1	h5	k1
13	h2	h21	k2
14	h3	h0	k1
15	h4	h0	k2
16	h5	h6	k1
17	h6	h8	k1
18	h7	h12	k2
19	h8	h3	k1
20	h9	h7	k2
21	h10	h11	k1
22	h11	h20	k1
23	h12	h4	k2
24	h13	h1	k1
25	h14	h13	k1
26	h15	h19	k2
27	h16	h0	k3
28	h17	h10	k1
29	h18	h2	k2
30	h19	h22	k2
31	h20	h14	k1
32	h21	h9	k2
33	h22	h18	k2

Şekil 4.13. 13. gün matematiksel model sonucu

Aşağıdaki Şekil 4.14’de deneysel çalışmaların ikinci aşaması olan 14.gün matematiksel model sonucu gösterilmiştir.

1	Number_Of_Customers	22.00	
2	Objective_Value	1181.00	
3	Lower_Bound	1181.00	
4	Number_of_Iteration	275.00	
5	IsOptimum	1.00	
6	CPU_Second	0.89	
7			
8	Optimal_X_Values		
9	h0	h5	k3
10	h0	h16	k2
11	h0	h20	k1
12	h1	h10	k1
13	h2	h1	k1
14	h3	h12	k1
15	h4	h19	k1
16	h5	h0	k3
17	h6	h0	k1
18	h7	h3	k1
19	h8	h6	k1
20	h9	h7	k1
21	h10	h15	k1
22	h11	h8	k1
23	h12	h14	k1
24	h13	h18	k1
25	h14	h2	k1
26	h15	h4	k1
27	h16	h0	k2
28	h17	h21	k1
29	h18	h17	k1
30	h19	h13	k1
31	h20	h9	k1
32	h21	h11	k1
33			

Şekil 4.14. 14. gün matematiksel model sonucu

Aşağıdaki Şekil 4.15’de deneysel çalışmaların ikinci aşaması olan 15.gün matematiksel model sonucu gösterilmiştir.

1	Number_Of_Customers	23.00		
2	Objective_Value	1403.00		
3	Lower_Bound	1403.00		
4	Number_of_Iteration	426.00		
5	IsOptimum	1.00		
6	CPU_Second	0.62		
7				
8	Optimal_X_Values			
9	h0	h4	k1	1.00
10	h0	h20	k3	1.00
11	h0	h21	k2	1.00
12	h1	h17	k2	1.00
13	h2	h6	k2	1.00
14	h3	h0	k2	1.00
15	h4	h14	k1	1.00
16	h5	h13	k2	1.00
17	h6	h8	k2	1.00
18	h7	h3	k2	1.00
19	h8	h15	k2	1.00
20	h9	h16	k2	1.00
21	h10	h11	k2	1.00
22	h11	h1	k2	1.00
23	h12	h9	k2	1.00
24	h13	h2	k2	1.00
25	h14	h0	k1	1.00
26	h15	h22	k2	1.00
27	h16	h7	k2	1.00
28	h17	h5	k2	1.00
29	h18	h12	k2	1.00
30	h19	h10	k2	1.00
31	h20	h0	k3	1.00
32	h21	h19	k2	1.00
33	h22	h18	k2	1.00
34				

Şekil 4.15. 15. gün matematiksel model sonucu

Aşağıdaki Çizelge 4.16’da deneysel çalışmaların sonucu olan 1.gün matematiksel model değerlendirme sonucu gösterilmiştir.

Çizelge 4.16. 1. gün matematiksel model değerlendirme sonucu

Araç	Mevcut Durum (m)	Matematiksel Model Sonucu İş Rotası
k1	836	h0-h13-h0
k2	988	h0-h24-h17-h15-h21-h22-h4-h6-h14-h7-h8-h9-h10-h3-h19-h20-h16-h18-h12-h23-h5-h11-h2-h0
k3	282	h0-h1-h0
Toplam	2106	Matematiksel Model Sonucu Mesafe (m) 1086

Aşağıdaki Çizelge 4.17’de deneysel çalışmaların sonucu olan 2.gün matematiksel model değerlendirme sonucu gösterilmiştir.

Çizelge 4.17. 2. gün matematiksel model değerlendirme sonucu

Araç	Mevcut Durum (m)	Matematiksel Model Sonucu İş Rotası
k1	1899	h0-h6-h24-h25-h27-h10-h15-h4-h22-h9-h1-h2-h7-h19-h30-h11-h3-h12-h20-h0
k2	1225	h0-h29-h28-h31-h16-h13-h23-h18-h8-h17-h14-h26-h5-h0
k3	493	h0-h21-h0
Toplam	3617	Matematiksel Model Sonucu Mesafe (m) 2192

Aşağıdaki Çizelge 4.18’de deneysel çalışmaların sonucu olan 3.gün matematiksel model değerlendirme sonucu gösterilmiştir.

Çizelge 4.18. 3. gün matematiksel model değerlendirme sonucu

Araç	Mevcut Durum (m)	Matematiksel Model Sonucu İş Rotası
k1	1492	h0-h21-h10-h3-h17-h8-h12-h11-h7-h19-h15-h14-h9-h20-h1-h2-h5-h18-h6-h0
k2	1214	h0-h4-h16-h13-h0
k3	430	h0-h22-h0
Toplam	3136	Matematiksel Model Sonucu Mesafe (m) 1777

Aşağıdaki Çizelge 4.19’da deneysel çalışmaların sonucu olan 4.gün matematiksel model değerlendirme sonucu gösterilmiştir.

Çizelge 4.19. 4. gün matematiksel model değerlendirme sonucu

Araç	Mevcut Durum (m)	Matematiksel Model Sonucu İş Rotası
k1	807	h0-h13-h0
k2	1485	h0-h12-h20-h7-h4-h18-h6-h10-h14-h21-h9-h23-h19-h11-h17-h15-h16-h8-h1-h2-h3-h5-h0
k3	498	h0-h22-h0
Toplam	2790	Matematiksel Model Sonucu Mesafe (m) 1785

Aşağıdaki Çizelge 4.20’de deneysel çalışmaların sonucu olan 5.gün matematiksel model değerlendirme sonucu gösterilmiştir.

Çizelge 4.20. 5. gün matematiksel model değerlendirme sonucu

Araç	Mevcut Durum (m)	Matematiksel Model Sonucu İş Rotası
k1	1610	h0-h24-h11-h12-h21-h22-h9-h4-h17-h10-h13-h8-h16-h20-h23-h5-h14-h1-h6-h7-h18-h19-h15-h2-h0
k2	966	h0-h3-h0
k3	724	h0-h25-h0
Toplam	3300	Matematiksel Model Sonucu Mesafe (m) 2043

Aşağıdaki Çizelge 4.21’de deneysel çalışmaların sonucu olan 6.gün matematiksel model değerlendirme sonucu gösterilmiştir.

Çizelge 4.21. 6. gün matematiksel model değerlendirme sonucu

Araç	Mevcut Durum (m)	Matematiksel Model Sonucu İş Rotası
k1	1433	h0-h21-h8-h22-h23-h1-h13-h12-h14-h10-h20-h7-h3-h4-h0
k2	744	h0-h5-h17-h9-h15-h11-h24-h19-h6-h16-h2-h0
k3	511	h0-h18-h0
TOPLAM	2688	Matematiksel Model Sonucu Mesafe (m) 1388

Aşağıdaki Çizelge 4.22’de deneysel çalışmaların sonucu olan 7.gün matematiksel model değerlendirme sonucu gösterilmiştir.

Çizelge 4.22. 7. gün matematiksel model değerlendirme sonucu

Araç	Mevcut Durum (m)	Matematiksel Model Sonucu İş Rotası
k1	787	h0-h21-h0
k2	858	h0-h14-h11-h2-h12-h9-h10-h16-h4-h5-h6-h13-h22-h1-h17-h19-h18-h3-h8-h7-h15-h0
k3	343	h0-h20-h0
Toplam	1988	Matematiksel Model Sonucu Mesafe (m) 1066

Aşağıdaki Çizelge 4.23’de deneysel çalışmaların sonucu olan 8.gün matematiksel model değerlendirme sonucu gösterilmiştir.

Çizelge 4.23. 8. gün matematiksel model değerlendirme sonucu

Araç	Mevcut Durum (m)	Matematiksel Model Sonucu İş Rotası
k1	1108	h0-h19-h10-h4-h17-h11-h14-h6-h13-h12-h1-h2-h8-h3-h5-h0
k2	393	h0-h18-h9-h16-h7-h15-h0
k3	420	h0-h20-h0
Toplam	1921	Matematiksel Model Sonucu Mesafe (m) 1381

Aşağıdaki Çizelge 4.24’de deneysel çalışmaların sonucu olan 9.gün matematiksel model değerlendirme sonucu gösterilmiştir.

Çizelge 4.24. 9. gün matematiksel model değerlendirme sonucu

Araç	Mevcut Durum (m)	Matematiksel Model Sonucu İş Rotası
k1	719	h0-h21-h8-h9-h10-h19-h20-h7-h16-h18-h1-h12-h4-h2-h15-h6-h17-h13-h11-h3-h23-h5-h0
k2	1480	h0-h14-h0
k3	724	h0-h22-h0
Toplam	2923	Matematiksel Model Sonucu Mesafe (m) 1555

Aşağıdaki Çizelge 4.25’de deneysel çalışmaların sonucu olan 10.gün matematiksel model değerlendirme sonucu gösterilmiştir.

Çizelge 4.25. 10. gün matematiksel model değerlendirme sonucu

Araç	Mevcut Durum (m)	Matematiksel Model Sonucu İş Rotası
k1	1329	h0-h19-h21-h12-h5-h10-h2-h8-h6-h1-h13-h7-h18-h17-h15-h9-h16-h14-h11-h4-h0
k2	400	h0-h3-h0
k3	315	h0-h20-h0
Toplam	2044	Matematiksel Model Sonucu Mesafe (m) 1244

Aşağıdaki Çizelge 4.26’da deneysel çalışmaların sonucu olan 11.gün matematiksel model değerlendirme sonucu gösterilmiştir.

Çizelge 4.26. 11. gün matematiksel model değerlendirme sonucu

Araç	Mevcut Durum (m)	Matematiksel Model Sonucu İş Rotası
k1	377	h0-h22-h10-h21-h1-h8-h23-h7-h3-h5-h13-h0
k2	1881	h0-h14-h17-h9-h19-h4-h2-h11-h6-h20-h12-h16-h18-h0
k3	298	h0-h15-h0
Toplam	2556	Matematiksel Model Sonucu Mesafe (m) 1271

Aşağıdaki Çizelge 4.27’de deneysel çalışmaların sonucu olan 12.gün matematiksel model değerlendirme sonucu gösterilmiştir.

Çizelge 4.27. 12. gün matematiksel model değerlendirme sonucu

Araç	Mevcut Durum (m)	Matematiksel Model Sonucu İş Rotası
k1	824	h0-h5-h0
k2	964	h0-h13-h18-h9-h23-h21-h8-h14-h16-h1-h10-h11-h12-h3-h19-h6-h4-h7-h22-h2-h17-h15-h0
k3	466	h0-h20-h0
Toplam	2254	Matematiksel Model Sonucu Mesafe (m) 1029

Aşağıdaki Çizelge 4.28’de deneysel çalışmaların sonucu olan 13.gün matematiksel model değerlendirme sonucu gösterilmiştir.

Çizelge 4.28. 13. gün matematiksel model değerlendirme sonucu

Araç	Mevcut Durum (m)	Matematiksel Model Sonucu İş Rotası
k1	882	h0-h17-h10-h11-h20-h14-h13-h1-h5-h6-h8-h3-h0
k2	1486	h0-h15-h19-h22-h18-h2-h21-h9-h7-h12-h4-h0
k3	298	h0-h16-h0
Toplam	2666	Matematiksel Model Sonucu Mesafe (m) 1506

Aşağıdaki Çizelge 4.29’da deneysel çalışmaların sonucu olan 14.gün matematiksel model değerlendirme sonucu gösterilmiştir.

Çizelge 4.29. 14. gün matematiksel model değerlendirme sonucu

Araç	Mevcut Durum (m)	Matematiksel Model Sonucu İş Rotası
k1	1193	h0-h20-h9-h7-h3-h12-h14-h2-h1-h10-h15-h4-h19-h13-h18-h17-h21-h11-h8-h6-h0
k2	978	h0-h16-h0
k3	279	h0-h5-h0
Toplam	2450	Matematiksel Model Sonucu Mesafe (m) 1181

Aşağıdaki Çizelge 4.30’da deneysel çalışmaların sonucu olan 15.gün matematiksel model değerlendirme sonucu gösterilmiştir.

Çizelge 4.30. 15. gün matematiksel model değerlendirme sonucu

Araç	Mevcut Durum (m)	Matematiksel Model Sonucu İş Rotası
k1	1036	h0-h4-h14-h0
k2	1179	h0-h21-h19-h10-h11-h1-h17-h5-h13-h2-h6-h8-h15-h22-h18-h12-h9-h16-h7-h3-h0
k3	601	h0-h20-h0
Toplam	2816	Matematiksel Model Sonucu Mesafe (m) 1403

Vinç üretimi yapan bir işletmede gerçekleştirilen deneysel çalışmada 20 müşterinin katılımıyla 3 adet taşıma aracının 15 günlük iş planında optimal rotanın ve minimum mesafenin hesabı yapılarak iyileşme oranı hesaplanmıştır.

Aşağıdaki Çizelge 4.31’de deneysel çalışmaların genel sonucu olan 15 günlük iyileşme oranları sonuçları gösterilmiştir.

Çizelge 4.31. Deneysel çalışma sonuçları

Gün Sırası	Mevcut Durum (m)	Matematiksel Model Sonucu (m)	İyileşme Oranı
1	2106	1086	%51,57
2	3617	2192	%60,60
3	3136	1777	%56,67
4	2790	1785	%63,98
5	3300	2043	%61,91
6	2688	1388	%51,64
7	1988	1066	%53,62
8	1921	1381	%71,89
9	2923	1555	%53,20
10	2044	1244	%60,86
11	2556	1271	%49,73
12	2254	1029	%45,65
13	2666	1506	%56,49
14	2450	1181	%48,20
15	2816	1403	%49,82
Ortalama	2617	1460.47	%55,72

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Aşağıda, çalışmadan elde edilen sonuçlara ve öngörülen önerilere yer verilmiştir.

5.1. Sonuçlar

Bu tez çalışmasında, bir vinç işletmesindeki iç lojistik kapsamına giren araç rotalama problemi “İstifleyici Vinç Problemi” olarak ele alınmıştır. Çalışmanın uygulandığı işletmeye en uygun özellikleri karşılayan iç lojistik probleminin “İstifleyici Vinç Problemi” olduğu gözlemlenmiştir. Bu problemi çözmek için literatürdeki matematiksel modeller örnek alınarak işletmeye uygun eşitsizlikler eklenerek karma tam sayılı doğrusal programlama modeli geliştirilmiştir. Çalışmanın yapıldığı işletmede kullanılan 3 adet taşıma aracının 15 günlük iş verileri elde edilmiştir. Elde edilen veriler matematiksel modelde kullanılarak optimum sonuçlara ulaşılmıştır. Deneysel çalışmalar yapılırken GAMS/CPLEX programı kullanılmıştır. Mevcut durum ve matematiksel model sonuçları karşılaştırılarak %55,72 oranında iyileşme oranı elde edilmiştir. Bu sonuçlar doğrultusunda bu işletmedeki iç lojistik problemlerinin maliyet, gidilen mesafe, zaman ve enerji bakımından israf meydana getirdiği kabul edilmiştir. Bu işletmede yalın iç lojistiğin hedef olarak kabul edilmesiyle maliyet, gidilen mesafe, zaman ve enerji bakımından iyileştirmelerin sağlanarak iç lojistik çalışmalarına önem verilmesi gerektiği gözlemlenmiştir. Yapmış olduğumuz çalışmada geliştirilen matematiksel modelin şirket ERP sistemine entegre edilerek düzenli bir şekilde kullanımıyla forklift operatörlerinin iş dağılımlarının bu şekilde yapılmasına ihtiyaç duyulduğu ortaya çıkmıştır. Forklift operatörlerine iş dağılımlarının bu şekilde yapılarak daha verimli çalışmanın gerçekleştirilmesiyle çalışması gereken personel sayısı noktasında daha belirleyici olmayı sağlayarak şirkete fayda sağlayacaktır. Buradan bir şirket için iç lojistik probleminin çözülmesinin birçok noktayı etkileyerek verimlilik sağlayabildiği sonucu ortaya çıkmıştır.

5.2. Öneriler

Günümüzde iç lojistik problemlerine verilen önem her geçen gün artmaktadır. Üretimde verimliliğin sağlanması için iç lojistik problemlerinin tespitinin doğru yapılarak gerekli çözüm yöntemleriyle çözüme ulaştırılması gerekmektedir.

Günümüzde üretim hatlarında iç lojistik problemlerinden en fazla odaklanması gereken en önemli kısım araç rotalama problemi olarak kabul edilmektedir.

İç lojistik problemleri kapsamında araç rotalama probleminin tespiti doğru sınıflandırma ile yapıldıktan sonra problemi çözmek için gerekli olan veriler uygulamanın yapılacağı işletmede doğru bir şekilde elde edilmelidir. Verilerin elde edilmesinden sonra doğru analizlerle tespit edilen probleme göre matematiksel model oluşturulmalıdır. Ardından doğru optimizasyon programı ile sonuçlar elde edilerek incelenmelidir. Matematiksel modelin sizin probleminize hitap edip etmediğine bakmak amacıyla yapılmalıdır.

Farklı sektörlerde ve ürün gamalarında problem olarak “İstifleyici Vinç Problemi” olarak kabul edilen iç lojistik araç rotalama problemlerinde uygulanabilir. Kullanılan matematiksel modele zaman parametresi gibi farklı dinamiklerin eklenmesiyle model genişletilerek kullanılabilir.

Oluşturulan matematiksel model ile birlikte üretim hattı için oluşturulan taşıma araçlarının iş planları bu şekilde yapılabilir. Günlük olarak yapılması gereken işlerin paylaştırılmasında oluşturulan matematiksel model kullanılarak maliyet, gidilen mesafe, zaman ve enerji bakımından verimlilik sağlanabilir. Geliştirilmiş olan bu modelin işletmede kullanılan ERP sistemine modül olarak eklenmesi ile birlikte depo sorumlusunun forklift operatörlerine iş dağılımı yapabilmesi sağlanabilir. Bu çalışmanın yapıldığı işletmeye ve gelecekte uygulanması hedeflenen tüm işletmelere bu öneri olarak sunulmaktadır.

KAYNAKLAR

- Ateş, O. ve Durmuşoğlu, M. B. (2023). Endüstriyel hücrelerde bulanık tabanlı taşıma yöntemi seçimi için geliştirilen bir yaklaşım: vaka çalışması. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 38(3), 1931-1944.
- Ávila, T., Corberán, Á., Plana, I., ve Sanchís, J. M. (2014). The stacker crane problem and the directed general routing problem. *Networks*, 65(1), 43–55.
- Bilici, G., Çolak, Ö., İnaltekin, F., Küçük, T. C., Yetimoğlu, S., Köksalan, M. ve Savaşaneril, S. (2007). Fabrika içi çekme esaslı taşıma sistemi tasarımı. *Endüstri Mühendisliği Dergisi*, 18(3), 31-42.
- Çay, S. B., Bilgin, E., Çakır, C., Arslan, Y., Cabioğlu, M. F. ve Tansel, B. (2010). Çamaşır makinesi fabrikası iç lojistik aktivitelerinin optimize edilmesi. *Endüstri Mühendisliği Dergisi*, 21(3), 25-38.
- Çevikcan, E., Sol, E., Satoğlu, Ş. I. ve Durmuşoğlu, M. B. (2018). Fabrika içi lojistik süreçlerinin set yapma esaslı tasarımı ve bir uygulama. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 23(4), 83-98. doi: 10.17482/uumfd.456038
- Demirpolat, E. N., Öztürk, Z. Ş., Uzgören, N., Vergili, C., Yılmaz, C. ve Tekin S. (2016). Lider bir dondurma fabrikasında WCM metodolojisiyle üretim alanlarında lojistik optimizasyonu. *Endüstri Mühendisliği Dergisi*, 27(4), 3-14.
- Facchini, F., Mossa G. ve Tullio S. D. (2022). A milk-run routing and scheduling model for a smart manufacturing system. *IFAC-PapersOnLine*, 55(10), 1122-1127.
- Fateh, D., Eldoromi, M. ve Birjandi, A. A. M. (2022). Uncertainty Modeling of Renewable Energy Sources. *Scheduling and Operation of Virtual Power Plants* içinde (ss. 193-208). Amsterdam: Elsevier.
- Fragapane, G., Koster, R., Sgarbossa, F. ve Standhagen, J. O., (2021). Planning and control of autonomous mobile robots for intralogistics: literature review and research agenda. *European Journal of Operational Research*, 294(2), 405-426.
- Garabini, M., Caporale, D., Tincani, V., Palleschi, A. ve Gabellieri, A. (2021). WRAPP-up: a dual-arm robot for intralogistics. *IEEE Robotics & Automation Magazine*, 28(3), 50-66.
- Gazda, A. ve Osieczko, K. (2018, Nisan). The use of intralogistic systems in the enterprise. Carpathian Logistics Congress içinde. CLC'nde yapılan sempozyum, Prag.
- Gecü, B. (2008). *İç lojistik sistemlerinin yalın üretim bakış açısıyla yeniden tasarlanması ve otomotiv sektöründe örnek bir uygulama* (Yüksek Lisans tezi).
- Günesen, B. ve Kapanoğlu, M. (2021). İki amaçlı çoklu gezgin satıcı problemi için üç aşamalı çözüm yaklaşımı. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 26, 325-331.

- Gyulai, D. ve Pfeiffer, A. (2013). Milk-run vehicle routing approach for shop-floor logistics. *Procedia CIRP*, 7(2013), 127-132.
- Karaçal, Ö. (2017). *Bir otomotiv şirketinde milk-run sistemiyle tedarik edilen parçalarda yol masrafının en küçüklenmesi* (Yüksek Lisans tezi).
- Karayel, S. D., Atmaca, H. D., Yalçın, C. ve Erol, B. (2018). Vikor ve moora yöntemleri ile malzeme taşıma sistemi seçimi. *Uluslararası İktisadi ve İdari İncelemeler Dergisi*, 18, 695-708. doi: 10.18092/ulikidince.346786
- Keskintürk, T., Topuk, N. ve Özyeşil, O. (2015). Araç rotalama problemleri ile çözüm yöntemlerinin sınıflandırılması ve bir uygulama. *İşletme Bilimi Dergisi*, 3(2), 77-107.
- Kılıç, H. S. (2011). *Yalın üretim ortamında iç lojistik sisteminin tasarımı* (Doktora tezi).
- Kluska, K. ve Pawlewski, P. (2018). The use of simulation in the design of milk-run intralogistics systems. *IFAC-PapersOnLine*, 51(11), 1428-1433.
- Koçan, A. (2014). *İç lojistikte setleme/sıralama sisteminin tasarımı ve otomotiv sektöründe uygulama* (Yüksek Lisans tezi).
- Koyuncuoğlu, M. U. (2012). *Bir konteyner terminalinde istif vinçlerinin meta sezgisel yöntemler kullanılarak çizelgelenmesi* (Yüksek Lisans tezi).
- Kulaç, S. (2019). *Otomotiv sektöründe faaliyet gösteren bir firmada iç lojistik sisteminin tasarımı* (Yüksek Lisans tezi).
- Küçükoğlu, İ., Yağmahan, B., Çağlıyan, M. S., Yıldız, A. ve Aktokluk, A. (2018). İç lojistik sisteminde malzeme tedariği için geliştirilmiş matematiksel modelleme yaklaşımı: bir uygulama. *Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering*, 23(4), 159-176.
- Moderna Bilişim. (2019). Erişim adresi <https://www.modernabilisim.com/nanocad#:~:text=NanoCAD%2C%20DWG%20standard%C4%B1yla%20tamamen%20uyumlu,ile%20standart%20kullan%C4%B1c%C4%B1%20aray%C3%BCz%C3%BC%20sunar>
- Pawlewski, P., Olejnik, M. K. ve Lewandowska, K. W. (2021). Digital twin lean intralogistics: research implications. *Faculty of Engineering Management, Poznan University of Technology*, 11(4), 60-965.
- Sol, E. (2011). *Set şeklinde teslimat ile hat kenarı besleme sisteminin karşılaştırılması, yalın lojistik bakış açısıyla iç lojistik faaliyetlerin tasarlanması ve örnek bir uygulama* (Yüksek Lisans tezi).
- Srour, F. J. ve Velde, S. V. D. (2011). Are stacker crane problems easy? A statistical study. *Computers and Operations Research*, 40(2013), 674-690.

- Taşdan, M. E. (2020). *Heterojen araçlar ile sürdürülebilir birebir toplama ve dağıtım problemi üzerine bir analiz* (Yüksek Lisans tezi).
- Tellini, T, Silva, F. J. G., Pereira, T., Morgado, L., Campilho, R. D. S. G. ve Ferreira, L. P. (2019). Improving in-plant logistics flow by physical and digital pathways. *Procedia Manufacturing*, 38(2019), 965-974.
- Topuz, T. (2021). *Üretim sistemlerinde çekme tipi esaslı iç lojistik sistemi tasarımına yönelik bütünleşik bir metodoloji önerisi: beyaz eşya sektöründe bir uygulama* (Yüksek Lisans tezi).
- Yılmaz, E. (2012). *Siparişe göre üretim yapan sistemlerde yalın üretim uygulamaları* (Yüksek Lisans tezi).
- Yılmaz Erdeş, N. (2025). *Genelleştirilmiş birebir topla – dağıt araç rotalama problemi ve çözüm yöntemleri* (Yüksek Lisans tezi).
- You, Z. and Jiao, Y. (2014). Development and application of milk-run distribution systems in the express industry based on saving algorithm. *Mathematical Problems in Engineering*, 2014, 1-6. doi: 10.1155/2014/536459