

**T.C.
NUH NACİ YAZGAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**MONTAJ HATTI BESLEME ESASLI MİLK-RUN SİSTEMİ İLE YENİ BİR
MATEMATİKSEL MODEL YAKLAŞIMI
(Yüksek Lisans Tezi)**

**Hazırlayan
Pınar Nur YUFKA**

**Danışman
Doç. Dr. Oğuzhan Ahmet ARIK**

Haziran 2024

KAYSERİ

T.C.
NUH NACİ YAZGAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

MONTAJ HATTI BESLEME ESASLI MİLK-RUN SİSTEMİ İLE YENİ BİR
MATEMATİKSEL MODEL YAKLAŞIMI
(Yüksek Lisans Tezi)

Hazırlayan
Pınar Nur YUFKA

Danışman
Doç. Dr. Oğuzhan Ahmet ARIK

Haziran 2024

KAYSERİ

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK

Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir şekilde elde edildiğini beyan ederim. Aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiği gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi belirtirim.

PINAR NUR YUFKA



YÖNERGEYE UYGUNLUK ONAYI

Montaj Hattı Besleme Esaslı Milk-Run Sistemi ile Yeni Bir Matematiksel Model Yaklaşımı
adlı Yüksek Lisans, Nuh Naci Yazgan Üniversitesi Lisansüstü Tez Yazım Yönergesi' ne
uygun olarak hazırlanmıştır.

Tezi Hazırlayan

Tez Danışmanı

PINAR NUR YUFKA

DOÇ. DR. OĞUZHAN AHMET ARIK

KABUL VE ONAY SAYFASI

Doç. Dr. Oğuzhan Ahmet ARIK danışmanlığında Pınar Nur YUFKA tarafından hazırlanan “Montaj Hattı Besleme Esaslı Milk-run Sistemi ile Yeni Bir Model Yaklaşımı” adlı bu çalışma jürimiz tarafından Nuh Naci Yazgan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında **yüksek lisans tezi** olarak kabul edilmiştir.

..... / /

(Tez savunma sınav tarihi
yazılacaktır.)

JÜRİ:

Danışman : Doç. Dr. Oğuzhan Ahmet ARIK

Üye :

Üye :

ONAY:

Bu tezin kabulü Enstitü Kurulunun tarih ve sayılı kararı ile onaylanmıştır.

..... / /

Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ / TEŞEKKÜR

Çalışmalarımın her aşamasında yol gösteren, bilgi birikimini aktaran ilgi ve yardımlarını esirgemeyen, her konuda destekleyen sayın hocam Doç. Dr. Oğuzhan Ahmet Arık’a teşekkürü borç bilirim. Çalışmamın uygulama sürecinde veri paylaşımı yapan Sersim’e, değerli yöneticilerime ve iş arkadaşlarıma müteşekkirim. Ayrıca çalışmam boyunca beni destekleyen, sabrı ve hoşgörüsü ile her anımda yanımda olan sevgili eşim Halim YUFKA’ya teşekkürlerimi sunarım.

(Kayseri,03/06/2024).

PINAR NUR YUFKA

MONTAJ HATTI BESLEME ESASLI MILK-RUN SİSTEMİ İLE YENİ BİR MATEMATİKSEL MODEL YAKLAŞIMI

Pınar Nur YUFKA

Nuh Naci Yazgan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü

Yüksek Lisans Tezi, Haziran 2024

Danışman: Doç. Dr. Oğuzhan Ahmet ARIK

ÖZET

Günümüzde giderek yükselen rekabet koşulları içerisinde hem üretim hem de hizmet sektöründe katma değeri olmayan işlerden uzaklaşmayı amaçlayan yalın üretim felsefesi giderek yaygınlaşmıştır. Yalın üretim, temelinde gereksiz hareketler ve taşıma süreçlerinden kurtulmayı hedeflemiştir. Müşterinin talep ettiği ürünü kaliteli, zamanında ve düşük maliyet ile tesis içerisinde bulunan montaj hatlarında üretebilmek için ihtiyaç duyulan montaj parçalarının hat besleme süreci ile montaj hatlarına taşınması gerekmektedir. Bu süreç tesis içi lojistik olarak ifade edilmektedir. Tesis içi lojistik gerekli gibi gözüken planlama, çizelgeleme ve zamanında üretim ile büyük ölçüde elenebilir. Montaj hatlarına besleme yapılırken üretim sistemlerinde katma değeri olmayan işlerin ortadan kaldırılması ve düşük maliyet ile kısa zamanda hat başında en az stok ile üretim yapılması hat tipi üretime sahip firmalar için önemli bir husustur. Bu çalışmada iki adet montaj hattı bulunan birden fazla çeşitte derin dondurucu üreten bir fabrikadaki montaj hatları ve bu hatlarının beslenmesi incelenmiştir. Müşteri talepleri ile her geçen gün ürün çeşitliliği artan bu fabrikada malzeme çeşitliliği de oldukça fazladır. Çalışma kapsamına bakıldığında gereksiz malzeme taşıma probleminin iki aşamalı olduğu anlaşılmaktadır. Birinci aşamada montaj hatlarına malzemeler hammadde depodan forklift ya da transpalet ile taşınmaktadır. İkinci aşamada ise tesis içinde bulunan yan birimlerden forklift ya da transpalet ile taşınmaktadır. Taşıma esnasında zaman kaybı oldukça fazladır. Bu yaşanan zaman kaybı üretimi olumsuz yönde etkilemektedir. İlave olarak malzemelerin montaj hatlarına yeterli miktarda taşınması gerekmektedir. Malzemelerin plansız taşınması ihtiyaç miktarlarından daha fazla ya da daha az stok ile çalışmayı ve bu nedenle hatlarda dengesizliğe sebep olabilmektedir. Bu tez çalışması içerisinde çok ürünlü montaj hatlarının dengelenmesi ile eş anlı olarak hatların beslenmesini de dikkate alan bir karma tam sayılı matematiksel model önerilmiştir. Önerilen model derin dondurucu üretimi gerçekleştiren Kayseri Sersim firması için uygulanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Montaj hattı dengeleme, montaj hattı besleme, milk run , çok modelli hat, matematiksel model, yalın üretim.

AN INNOVATIVE MATHEMATICAL MODELLING APPROACH WITH ASSEMBLY LINE FEEDING BASED ON THE MILK-RUN SYSTEM

Pınar Nur YUFKA

**Nuh Naci Yazgan University, Graduate School of Sciences
Industrial Engineering, Master of Science (M.Sc.) Thesis, 2024
Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Oğuzhan Ahmet ARIK**

ABSTRACT

Increasingly competitive conditions in today's world have led to the widespread adoption of the lean production philosophy in both the manufacturing and service sectors. Lean production aims to eliminate unnecessary movements and transportation processes. This process is referred to as in-house logistics. In-house logistics, which may seem necessary, can be largely eliminated through proper planning, scheduling, and on-time production. When feeding the assembly lines, it is crucial for companies with line-type production to eliminate non-value-added tasks in the production systems and to produce at the lowest cost and with the least stock at the beginning of the line in a short time. This study examines the assembly lines in a factory that produces multiple types of freezers and the feeding of these lines. In this factory, which experiences an increasing variety of products with customer demands, material diversity is also quite high. In the scope of the study, it is understood that the unnecessary material transport problem is two-stage. In the first stage, materials are transported to the assembly lines from the raw material warehouse using forklifts or pallet jacks. There is a significant loss of time during transportation. This time loss negatively affects production. Additionally, it is necessary to transport materials to the assembly lines in sufficient quantities. Unplanned transportation of materials can lead to imbalances in the lines, resulting in working with more or less stock than required. Within this thesis, a mixed-integer mathematical model that takes into account the balancing of multi-product assembly lines and the feeding of the lines simultaneously has been proposed. The proposed model has been applied to the Kayseri Sersim company, which manufactures freezers.

Keywords: Assembly line balancing, assembly line feeding, milk-run, multi-model line, mathematical model, lean production.

İÇİNDEKİLER

MONTAJ HATTI BESLEME ESASLI MİLK-RUN SİSTEMİ İLE YENİ BİR MATEMATİKSEL MODEL YAKLAŞIMI

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK.....	i
YÖNERGEYE UYGUNLUK ONAYI	ii
KABUL VE ONAY SAYFASI.....	iii
ÖNSÖZ / TEŞEKKÜR.....	iv
ÖZET	v
ABSTRACT	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
TABLolar LİSTESİ	ix
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	x

1. BÖLÜM : GİRİŞ

1. GİRİŞ.....	1
---------------	---

2. BÖLÜM : LİTERATÜR ANALİZİ

2. LİTERATÜR ANALİZİ	4
2.1. Mevcut Çalışmalar	4
2.2. Mevcut Modeller	17
2.2.1 Büyüközkın'ın Modeli [6]	17
2.2.2. Özcan'ın modeli [5]	21
2.2.3. Alnahhal ve Noche Modeli [31]	25
2.2.4. Alnahhal ve Noche Modeli [32]	27
2.2.5. Alnahhal ve Noche Modeli [33]	29
2.2.6. Zhou ve Zhao Modeli [34]	32

3. BÖLÜM : PROBLEM TANIMI

3. PROBLEM TANIMI.....	35
------------------------	----

4. BÖLÜM : YÖNTEM

4. YÖNTEM	43
4.1. Yalın Üretim	43
4.1.1. JIT (Just In Time) Tam zamanında Üretim	43
4.1.2. Kaizen.....	44
4.1.3. Heijunka (Üretim Hattı Dengeleme)	44
4.1.4. Muda.....	44
4.1.5. TPM (Toplam Önleyici Bakım)	45
4.1.6. 5S.....	45
4.1.7. Takım Çalışması.....	46
4.1.8. Jidoka (Otonomasyon).....	46
4.1.9. Kanban (Çekme sistemi).....	46
4.2. Milk run	47
4.3. Hat dengeleme	47
4.4. Matematiksel Modeller	48
4.4.1. Model A: Atölye tipi makine çizelgeleme problemi	49
4.4.2. Model B: Topla, Dağıt ve Zaman Pencereci Araç Rotalama Problemi	50
4.4.3. Model C: Montaj hattı dengeleme problemi.....	52
4.4.4. Model D: Asıl probleme ait matematiksel model	53

5. BÖLÜM : DENEY VE SONUÇLAR

5. DENEY	61
6. SONUÇLAR.....	70
KAYNAKÇA VE REFERANSLAR	72
EK.....	76

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 2.1: Literatür özeti.....	11
Tablo 5.1: Özet bilgi.....	63
Tablo 5.2: Kapı yapımında kullanılan yarı mamuller.....	63
Tablo 5.3: Montaj görevleri ve işlem süreleri.....	64
Tablo 5.4: TVld 1 düğümünden d düğümüne gitme süresi.....	65
Tablo 5.5: Amaç fonksiyon değerleri.....	66
Tablo 5.6: Makine ve istasyonların topla-dağıt düğümleri ve varış zamanları.....	68
Tablo 5.7: Montaj işlerinin atanmış olduğu istasyonlar ve montaj görevlerinin başlangıç zamanları.....	69
Tablo 5.8: Yarı mamullerin tamamlanma zamanı.....	69

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 3.1: Sersim fabrika genel görünüm.....	35
Şekil 3.2: Pişirici fabrika ürün gamı.....	35
Şekil 3.3: Soğutucu fabrika ürün gamı.....	36
Şekil 3.1: Üretilen ev tipi yatay ürünler.....	36
Şekil 3.5: Üretilen ev tipi dikey ürünler.....	36
Şekil 3.6: Üretilen ticari yatay ürünler.....	36
Şekil 3.7: Üretilen ticari dikey ürünler.....	37
Şekil 3.8: Fazla üretilen yatay ev tipi ürününe ait kapı yarı mamulü.....	39
Şekil 3.9: Yerleşim planı.....	42
Şekil 4.1: Yalın üretim.....	43
Şekil 4.2: 5S.....	46
Şekil 4.3: Milk-run iç lojistik.....	47
Şekil 5.1: Üretilen kapı görseli.....	61
Şekil 5.2: Kapı üretim hattı genel görünüm.....	61
Şekil 5.3: Kapı poliüretan tesisi.....	62
Şekil 5.4: Kapı contası.....	62

1. GİRİŞ

Günümüz endüstriyel ortamında, şirketlerin değişkenlik gösteren rekabet koşullarında konumunu koruyabilmesi ve başarılı olabilmesi için, müşteri istek ve taleplerine uygun, istenilen teslim zamanında, yüksek kalitede ve düşük maliyetli ürünler üretebilme yeteneğine sahip olmaları gerekmektedir. Bu bağlamda, nitelikli üretimde verimliliğin artması amacıyla katma değeri olmayan işlerin ve fazla malzeme stoklarının ortadan kaldırılması büyük önem taşımaktadır. Özellikle montaj hatları bulunan şirketlerde, verimsizliğe neden olan temel unsurlardan birinin tesis içi lojistik süreçler olduğu bilinmektedir. Montaj hatlarına malzeme taşınması sırasında zaman yönetimi son derece kritiktir. Montaj hatlarında bekleme olmadan ve fazla malzeme stoğu birikmeden, kaynakların etkin bir şekilde kullanılması gün geçtikçe önem arz etmektedir.

Kayseri Serbest Bölgesinde faaliyet gösteren bir derin dondurucu üreticisinin tek bir montaj hattında, bir vardiya içerisinde çeşitli tiplerde derin dondurucu üretimi yapılmaktadır. Bu ürünlerde, ortak kullanılan malzemeler olduğu gibi, ürün bazında özel olarak tek kullanımlık malzemeler de bulunmaktadır. Malzemeler dış yan sanayi firmalarından tedarik edilip doğrudan üretimde kullanıldığında, hammadde kategorisinde değerlendirilmekte ve ham madde deposunda saklanmaktadır. Ancak, fabrika içerisinde işlenip kullanılan bir malzeme ise yarı mamul olarak sınıflandırılmakta ve yan birimlerde muhafaza edilmektedir. Bu malzemeler montaj hattına taşınırken, birden fazla forklift veya transpalet gibi taşıma araçları kullanılmaktadır. Malzeme gruplarının hatlara taşınması esnasında, taşıma aracının aynı rotadan birkaç kez gidip gelmesi veya farklı taşıma araçlarının aynı rotayı kullanarak aynı istasyona varması durumlarında zaman ve işgücü kayıpları yaşanabilmektedir. Taşıma esnasında meydana gelen bu zaman kaybı ve artan taşıma maliyetleri, genel verimliliği de olumsuz yönde etkilemektedir.

Bunun yanı sıra, üretim ihtiyacı fazlası olan malzemelerin montaj hatlarına taşınması, hat yanlarında fazla ara stok birikmesine neden olmaktadır. Bu fazla stokların miktarının artması, montaj hattında çalışan personelin çalışma alanını daraltmakta ve çalışma performansını düşürmektedir. Ayrıca, üretim ihtiyacı biten ve ara stoğu fazla olan malzemeler, üretim sırasında zarar görebilmekte veya kaybolabilmektedir. Aynı zamanda, eksik getirilen malzemeler nedeniyle üretim hattı, eksik malzemenin tamamlanmasına kadar geçen sürede duruşlar yaşamakta ve bu duruşlar fabrikaya yüksek maliyetler olarak geri dönmektedir.

Bu çalışmada, iki montaj hattı ve bu hatlar üzerinde bulunan çok sayıda istasyon ile birden

fazla taşıyıcı bulunan fabrika içerisinde, üretim esnasında montaj hatlarını besleme ile malzeme taşıma ve dağıtım sürecinin düzenlenmesi ele alınmıştır. Çalışmanın amacı, fabrika içerisinde yer alan montaj hatlarında malzeme getirme süresinin azaltılması, montaj hattı yanlarında bulunan ara stokların azaltılması, forklift ve transpalet kullanan malzeme operatörlerinin vardiyadaki tur sayısının azaltılması için yeni bir matematiksel model önerilmesi ve Milk-Run sistemli bir fabrika içi rotalama yapılmasıdır.

Yalın üretim, dünya genelinde bilinen ve yaygın olarak uygulanan bir tekniktir. Temel amacı, üretim sırasında katma değeri olmayan işlerin ortadan kaldırılması ile minimum maliyette, en kısa sürede ve yüksek kalitede ürünün müşteriye teslim edilmesini sağlamaktır. Yalın üretimdeki yedi temel israftan ikisi gereksiz taşıma ve stok bulundurmaktır. Fabrika içerisinde yapılan taşımaların hem miktarının hem de süresinin azaltılması gerekmektedir. Fabrika içindeki bu taşımalar, iç lojistik olarak adlandırılabilir.

İç lojistikte kullanılan forklift ve transpalet ile yapılan malzeme taşımalarında, Milk-Run tabanlı bir taşıma rotası oluşturulabilir. Milk-Run, istenmeyen ve fazla malzeme taşınmasını engelleyerek, taşıma sırasında en kısa rotayı oluşturur. Takip edilmeyen taşımalarda, taşıyıcı araçlar katma değeri olmayan işler yapabilir ve ihtiyaç duyulan malzemeden daha az veya stok oluşacak kadar yüksek miktarda taşımalar gerçekleşebilir. Şirket içinde taşıma yapan araçların etkin ve verimli kullanılması için standart bir taşıma planı ve rotası olması gerekmektedir. Bu sayede hem taşıyıcı araçlar hem de operatörler için katma değeri olmayan işler ortadan kaldırılmış olacaktır. Ayrıca, ihtiyaç duyulan malzeme zamanında montaj hatlarına ulaşmadığında üretim ve zaman kaybı oluşmakta, ya da fazla malzeme taşınarak stok birikimine neden olmaktadır. Bu durumları ortadan kaldırmak için bir rotalama sistemi oluşturulmalıdır. Rotalama sayesinde, gerekli miktarda malzeme taşınarak maliyetler de azaltılmış olacaktır.

Literatürde, Milk-Run tabanlı montaj hattı besleme sistemleri ile ilgili çeşitli çalışmalar bulunmaktadır. Ancak, dayanıklı tüketim malları grubunda yer alan ve malzeme çeşitliliği çok fazla olan derin dondurucu üretimi ile ilgili olarak literatürde yeterli çalışma bulunmamaktadır. Bu çalışma sonucunda, literatüre yeni bir ürünün montaj hattı besleme süreci ile ilgili önemli bir katkı sağlanmış olacaktır.

Bu çalışma kapsamında, fabrika içerisinde bulunan montaj hatlarında malzeme taşınması ve dağıtım süreçleri için Milk-Run tabanlı yeni bir matematiksel model geliştirilmiş ve bu modelin uygulanabilirliği üzerinde durulmuştur. Geliştirilen modelin amacı, malzeme taşıma sürelerini ve maliyetlerini azaltarak, üretim verimliliğini artırmak ve montaj hatlarında gereksiz stok birikimini

önlemektir. Ayrıca, taşıma araçlarının rotalarının optimize edilmesi ve operatörlerin iş yüklerinin dengelenmesi ile fabrika içi lojistik süreçlerinde etkinlik sağlanması hedeflenmiştir. Bu bağlamda, geliştirilen modelin, derin dondurucu üretimi yapan şirketlerin rekabet avantajını artırarak, müşteri memnuniyetini en üst düzeye çıkaracağı öngörülmektedir.

Bu çalışmanın ana amacı, üretim esnasında montaj hatlarını besleme ve malzeme taşıma süreçlerini iyileştirerek, hem zaman hem de maliyet tasarrufu sağlamak ve fabrika içi lojistik verimliliğini artırmaktır. Bu amaç doğrultusunda, Milk-Run tabanlı taşıma rotalarının oluşturulması ve bu rotaların etkin bir şekilde uygulanması ile montaj hatlarında gereksiz beklemlerin ve fazla stok birikimlerinin önüne geçilecektir. Ayrıca, malzeme taşıma süreçlerinde yaşanan zaman kayıplarının ve artan taşıma maliyetlerinin minimize edilmesi hedeflenmektedir.

Sonuç olarak, bu çalışma, derin dondurucu üretimi yapan bir fabrika örneği üzerinden, iç lojistik süreçlerinin iyileştirilmesi ve montaj hatlarının verimliliğinin artırılması amacıyla geliştirilmiş bir model sunmaktadır. Bu modelin uygulanması ile elde edilecek sonuçlar, sadece derin dondurucu üretimi yapan fabrikalar için değil, benzer üretim süreçlerine sahip diğer endüstriyel tesisler için de değerli bilgiler ve uygulama örnekleri sunacaktır. Bu bağlamda, çalışma, hem teorik olarak hem de pratiklik kazandırması açısından önemli katkılar sağlamaktadır ve gelecekteki araştırmalar için de yol gösterici olacaktır.

2. LİTERATÜR ANALİZİ

Yalın üretim, üretimde oluşan gereksiz hareket ve israftan kaçınarak müşterinin istediği termine uygun en düşük maliyet ile ürünü üretmeyi hedeflemektedir. Fabrika içerisinde yapılan gereksiz, fazla taşımalarda yalın üretimin israf konulardan biridir. Literatüre bakıldığında farklı metotlar ile üretimdeki taşımaları minimize eden çalışmalar mevcuttur.

2.1.Mevcut Çalışmalar

Literatür araştırmasında iç lojistikteki gereksiz taşımaları ortadan kaldırıp, taşımaların verimli halde yapılması için Milk-run tabanlı rotalama yapılan çalışmalar aşağıdaki gibi gruplanmıştır.

Büyüközkan [6] yapılan çalışmada karma modellenli olan montaj hatları için, üretimin ihtiyaç duyduğu malzemelerin depodan montaj istasyonlarına ulaştırılması problemi incelenmiştir. Bu problem için bilinen iç lojistik yöntemi milk-run ile malzeme tedarik sistemi geliştirilmiştir. Bu sistem ile üretim montaj hatlarının ihtiyaç duydukları küçük, çeşitliliği fazla malzemelerin istenilen noktalara, istenilen zamanda ve en düşük maliyetle gerektiği miktar kadar ulaştırılması için Milk-run kullanılması önerilmiştir.

Şahin [2] tez çalışmasında, TV üretimi yapan ve yalın üretime dair bir çalışma yapılmayan fabrikada, yeni yapılan iki adet son montaj hattını içerecek şekilde yeni bir malzeme besleme süreci kurma çalışmalarından ve uygulama adımlarından bahsetmektedir. Yapılan çalışma kapsamında, yalnızca ilk aşamada yer alan son montaj ile ambarlar arasında, Milk-run döngülü çekme kanbanını içermektedir.

Tansel vd. [8] bir çamaşır makinesi fabrikasında çalışmalarını yapmışlardır. Fabrika içerisinde malzeme taşınması işi çoğunlukla milk-run ile yapılmaktadır. Ancak şu an ki sistemde milk-run araçlarının doğru kullanılmaması, yol aldıkları mesafenin kısa olmaması, ayrıca diğer taşıma araçları ile birlikte kullanıldığında fabrika içerisinde trafik oluşturmaktadır. Buna ilave olarak fabrika içerisinde taşınan tüm malzemelerin Milk-run araç sistemine dahil edilmesi talep edilmiştir. Amaç doğrultusunda matematiksel, benzetim ve sezgisel modelleri kullanılarak yeni bir sistem geliştirilmiştir. Bu sistem sayesinde verimlilik artmış, kat edilen mesafe azalmıştır.

İç lojistikte bulunan taşımalar için yeni bir sistem önerilen ve sezgisel yöntem kullanılan

alışmalar aşağıda yer almaktadır.

Yalçın vd. [1] çalışmada, otomotiv sektöründe bulunan montaj hatlarında parça beslemeye ait süreçlerinin planlanmasına yönelik sistem tasarlanması ve buna göre parçalar için uygun montaj hattı besleme sürecini belirleyerek katma değeri yaratmayan iş ve süreçlerin mevcut durumdan kaldırılması hedeflenmiştir. Sorunların zm için kural tabanlı bir sistem önerilmiştir. nceki çalışmalarda yer alan karışık hesaplamalar ve uzun zaman alan işlem süreleri, geliştirilen ve önerilen bu program sayesinde, olup kısa süre içerisinde uygun çözümlerin verilmesi sağlanmıştir.

Grgen vd. [3] çalışmanın amacı; üretimdeki duruş miktarlarını ve sürelerini azaltacak, spermarketteki (alışmada bahsedilen ara stok yeri) süreç ve akıştaki verimliliği maksimum yapacak şekilde otomatik stoklama ve çekme sistemi (ASRS) ve montaj hatları arasındaki malzeme akışının yeniden tasarlanması olarak belirlenmiştir. Bu probleme ait çözüm için literatürde bulunan malzeme besleme çalışmaları kapsamında, rotalama, yükleme ve çizelgeleme kararlarını veren üç aşama içeren sezgisel bir yaklaşıma önerilmiştir. Bu sezgisel kullanılarak belirli stok miktarları için olası en az olacak şekilde otomatik yönlendirmeli araç (AGV) sayısının ve en az stok miktarlarının belirlendiği iki alternatif çözüm yöntemi sunulmuştur.

ağlayan [4] yapmış olduğu çalışmada, hidrolik motor üreten bir fabrikada bulunan montaj hatlarına malzeme besleme süreci karar verme problemi üzerine çalışmıştır. Çalışmada malzeme besleme probleminin çözüm yönteminde beslemeli yapay sinir aė yapısı tercih edilmiştir. Çalışmanın amacı, fabrikada yer alan farklı akışları bulunan montaj hatları için malzemelerin en verimli olacak şekilde besleme yönteminin seçilmesi ve yeni malzemelerin hangi besleme yöntemi ile yapılacağına kolayca karar verilebilmesidir.

zcan [5] yapmış olduğu yüksek lisans tezinde bir bulaşık makinesi üreten fabrikada bulunan montaj hatlarını besleme problemini incelemiştir. Montaj hattı besleme çizelgeleme problemi 2 aşamada ele alınmıştır. İlk problem vardiya boyunca iş istasyonundan montaj hatlarına taşınacak malzemenin taşıyıcı paletlere dengeli şekilde dağıtılmasıdır. İkinci problem ise malzeme dağıtım turlarının her taşıyıcı için ayrı ayrı planlanmasıdır. Çalışmada yeni bir matematiksel model önermiştir. Problem Np-Zor sınıfına ait olduğu için kısa sürede çözüme ulaşmak için sezgisel yöntemden de faydalanmıştır.

Günay [7] doktora tezinde ele aldığı problem iki aşamalı bir problemdir. Birinci aşamasında çizelgelemeye uygun montaj hatlarını beslemek için montaj öncesinde ara stok olarak bulunması gereken araç model-renk kombinasyonlarına göre miktar belirlemesinin yapılmasıdır.

İkinci aşamada oluşan boya hataları incelendikten sonra araçların tekrar montajlama sıralanmaları problemidir.

Tekin vd. [9] yapmış oldukları çalışmada bir dondurma fabrikasında şu an ki sistemde üretim hatları paletler ile beslenmektedir. Üretim hatlarının başında ara stoklar fazla yığılmıştır. Çalışmanın amacı üretim hatlarına taşınacak malzemelerin hangi miktarda, hangi rota ile nasıl taşınacağını oluşturan sistemin milk-run sistemi oluşturulmasıdır. Çalışmada ZNEC arayüzü ve sezgisel yöntemden faydalanılmıştır. Çalışma sonucunda hat başlarında bulunan malzeme grubu azalmıştır. Taşıma olarak transpalet kullanımı kaldırılmıştır.

Sipahioğlu ve Altın [10] çalışmalarında fabrika içinde uygulanan milk-run sistemini kullanmışlardır. Bu sistem ile birlikte milk-run rotası ve günde kaç periyot yapması gerektiği belirlenmiştir. Bu çalışma için bir matematiksel model önerilmiş ve model Gams yazılımı ile çözüme ulaştırılmıştır.

Küçüköğlu vd. [11] çalışma kapsamında bir fabrikanın iç lojistik süreci ele alınmıştır. Çalışmanın amacı malzeme tedariki yapılırken montaj hatlarında bulunan fazla stok ve taşıma esnasında katma değeri olmayan işleri minimuma düşürmektir. Çalışma iki aşamada ele alınmıştır. Birinci aşamada malzeme taşıma esnasında oluşan rotanın minimum seviyede tutulması için rotalama yapılmıştır. İkinci aşamada ise oluşturulan rota ile montaj hattında bulunan ara stoğun minimum seviyede tutularak ve taşıma aracının kapasitesi göz önüne alınarak plan oluşturulmuştur. Problem çözümü için tam sayılı matematiksel model oluşturulmuştur.

Arslan [12] çalışmasının amacı taşıma aşamasında olan bir fabrikanın yarı mamul taşımaları ve mamul taşımalarını inceleyerek yeni yerdeki iç taşıma faaliyetlerinin baştan yapılandırılmasında maliyet ve iş gücünü minimize etmektir. Yeni yer de milk-run stratejisi kullanılmıştır. Ve eski tesisteki forklift taşıma ile yeni taşıma yöntemi karşılaştırılmış. Avantajları & dezavantajları ortaya konulmuştur.

Çevikcan vd.[13] çalışmada montaj hatlarını besleme esaslı set yapma metodoloji öne sürülmüştür. Bu sayede fabrika içerisinde yer alan iç lojistik etkin ve verimli bir şekilde yapılması ve planlanmasının yapılması amaçlanmıştır.

Savaşaneril vd. [14] çalışmalarında fabrika içerisinde yer alan hammadde ve yarı mamullerin ihtiyaç oluşan yerlere taşınmasını planlayan bir sistem öne sürülmüştür. Çalışmanın amacı üretim esnasında ara stokların minimum seviyede tutulup maliyetleri azaltmasıdır.

Baler vd. [15] çok karmaşık ve parça sayısı fazla olan hatlarda karışıklığı çözmek için, dokuz farklı hat besleme sistemini ve parça başına farklı hat besleme sistemini modelleyerek tam sayılı programlama formülasyonu önerilmiştir. Matematiksel model, büyük bir Alman otomotiv şirketindeki bir örnek olayda uygulanmıştır. Literatürdeki modeller toplam maliyetleri yalnızca %0,49 oranında azaltabilirken, önerilen model, manuel planlamaya kıyasla toplam maliyetleri %3,36 oranında azaltmaktadır.

Nourmohammadi vd. [16] yapmış oldukları çalışmada birbirleri ile ilişkili olan montaj hattı dengeleme ve montaj hattı besleme bir arada incelenmiştir. Montaj hattı kurulum maliyetinin minimum ve optimum istasyon sayısı olacak şekilde bütünleşik bir matematiksel model önermişlerdir.

Fedtke vd. [17] Bu makalede, büyük bir Alman montaj fabrikasının araba motorları için uyguladığı yeni bir parça besleme politikasını ele almışlardır. Bu parça besleme politikasını uygularken karşılaşılan en büyük operasyonel zorluk, insan toplayıcıların ilgili istasyonlarının stok tutma birimlerinden geçen iş parçalarının seyahat kitlerine koyarken harcadıkları yürüme çabasıdır. Bir işçinin vardiyası sırasında kat etmesi gereken yürüme mesafesi birkaç kilometreyi aşmaktadır. İstasyonlar arasındaki iş yükünün dengelenmesi ve her hat içi kit oluşturma istasyonundaki stok tutma birimlerinde ki konteynırlarının depolama atamasının optimize edilmesi amaçlanmıştır.

Zhou ve Huang [18] çalışmış oldukları bu makalenin amacı, karma model montaj hatlarında enerji tüketimini azaltmak ve üretim atıklarını ortadan kaldırmaktır. Bu nedenle, elektrikli araçların uygulandığı bir süpermarkete entegre dinamik döngüsel kit sistemi tanıtılmıştır. Sistem, hat tarafındaki envanteri ve enerji tüketimini en aza indirme hedefleriyle tam zamanında ve bölümlere ayrılmış alt hat atama stratejilerine başvurmuşlardır. Karma karışıklık tabanlı öğrenme ve değişken komşuluk araması ile önerilen parça besleme problemini, baskın olmayan sıralama genetik algoritması-II ve kuantum davranışlı çok amaçlı parçacık sürüsü optimizasyonu olmak üzere iki kıyaslama algoritması üzerinden çözüme ulaştırılmıştır. Elektrikli araçların ve süpermarketler için alt hat ataması uygulayan dinamik döngüsel kit oluşturma sorunu, endüstri mühendisliği için hem yeni parça besleme stratejisi hem de etkili akıllı algoritma sağlayan yenilikçi bir değişken komşuluk araması algoritması ile çözüm sağlanmıştır.

Delice [19] Otomotiv endüstrisinde, karma modellenmiş montaj hatlarına parça beslemek için süpermarket adı verilen merkezi olmayan şirket içi lojistik alanları kullanılmaktadır. Çalışmada karma modellenmiş montaj hattı dengeleme problemi ile süpermarket yer seçimi problemi eş zamanlı

olarak ele alınmıştır. Buna göre montaj hattı ve süpermarketlerin toplam maliyetlerini en aza indirmek amacıyla karma tam sayılı bir matematiksel model geliştirilmiş ve geliştirilen model kısıt programlama (CP) kullanılarak çözülmüştür. Ayrıca büyük boyutlu problemler için Karınca Kolonisi Optimizasyonu (ACO) ve Tavlama Simülasyonunu (SA) temel alan yeni bir yaklaşım sunulmaktadır. Açıklayıcı bir örnek problem hem geliştirilen model hem de önerilen algoritma kullanılarak çözülmüştür.

Chen vd. [20] çalışmada, montaj hattı dengeleme ve besleme problemini çözmek için yeni bir iki seviyeli çok amaçlı genetik algoritma önerilmiştir. İlk olarak, üst seviyede Montaj hattı dengeleme de istasyon sayısını ve iş yükü düzgünlüğünü, alt seviyede ise parça beslemenin süpermarket sayısını eş zamanlı olarak en aza indirmek için iki seviyeli bir matematiksel model kurulmuştur. İkinci aşamada, genişletilmiş uygunluk değerlendirmesi ve uyarlanabilir sonlandırma koşulu dahil olmak üzere iki değiştirilmiş stratejiye sahip iki seviyeli çok amaçlı genetik algoritma, problem çözmek için tasarlanmıştır. Son olarak, önerilen algoritmanın etkinliğini göstermek için bir dizi hesaplamalı deney yapılmıştır. Hesaplamalı sonuçlar, önerilen algoritmanın, hesaplama verimliliğinden ödün vermeden gerçek sınıra yaklaşım açısından iki düzeyli baskın olmayan sıralama genetik algoritmasından daha iyi performans gösterdiğini göstermiştir.

Müllerklein vd. [21] çalışma kapsamında, planlama problemi arasındaki montaj hattındaki kullanım noktasını ve hat besleme etkileşimlerini açıkça modelleyen yeni bir karma tam sayılı doğrusal programlama formülasyon sunulmuştur. Geliştirilen model, birinci kademe bir otomotiv tedarikçisinin karma modelli montaj hattına ilişkin gerçek hayattaki bir vaka çalışmasında uygulanmıştır. Sayısal sonuçlar, hem uygun maliyetli hat besleme politikası kararının hem de ortaya çıkan maliyetlerin, eşit işlerin ve ürün karışımının doğal gruplandırma derecesine sahip üretim programına bağlı olduğunu göstermiştir.

Prakong vd. [22] araştırmada, karma modelli montaj hattında çekme tertibatının parça besleme sürecine odaklanmaktadır. Tam zamanlı üretim teoreminin daha verimli olmasına yardımcı olabilecek süpermarket konsepti uygulamışlardır. Parça besleme ve beslemeye parça tipi atama politikalarının karmaşıklığı nedeniyle Montaj Hattı Parça Besleme Problemi' nin NP-Zor bir problem olduğu bulunmuştur. Çeşitli çelişen hedeflere sahip NP-Zor problemini çözmek için meta-sezgisel yöntem kullanılmıştır. Montaj Hattı Parça Besleme Problemi 'ni optimize etmek için baskın Olmayan sıralama Genetik Algoritması III uygulandı.

Adenipekun vd. [23] çalışma, toplam besleme maliyetlerini en aza indirmek amacıyla her

bir parçayı aynı anda bir besleme politikasına ve bir araç tipine verimli bir şekilde atayan bir karma tam sayılı programlama modeli öneren ilk çalışmadır. Maliyetleri doğru bir şekilde ölçmek için model, belirli rotaları seçip ve kullanılan her araç tipinin filo boyutunu belirlemiştir. Model geçerli eşitsizliklerle tamamlanır ve yapay problem örnekleri çözülerek doğrulanmıştır. Analiz kapsamında, araç türlerinin optimal seçiminin sezgisel yaklaşımlardan daha üstün olduğunu gösterilmiş ve bu optimizasyona dayalı yaklaşımın endüstriyel standarttan yaklaşık %8 daha ucuz olduğunu belirtmişlerdir.

Calzavara vd. [24] çalışmada, montaj görevleri ile parça toplama/kitleme ve tamamen senkronize bir montaj besleme sistemi arasında entegre bir denge sağlamak amacıyla Ortak Montaj Hattı Dengeleme ve Besleme Problemini çözmek için yenilikçi bir yaklaşım önerilmiştir. Amaç, işgücü, alan ve nakliye maliyetleri de dahil olmak üzere operasyonel sistem maliyetini en aza indirmektir. Karma tam sayılı Doğrusal Programlama modeli birkaç örneğe ve iki vaka çalışmasına uygulanarak hiyerarşik bir yaklaşımla karşılaştırılmıştır. Önerilen model, gerekli montaj istasyonu sayısının ve alanın çok az olduğu bilinen hattaki stok düzeyinin azaltılmasında önemli bir iyileşme sağlarken aynı zamanda besleme sisteminde işgücünün aşırı boyutlandırılmasını da önlemektedir. Modelin gücü, formülasyonuna ve onu farklı montaj sektörlerine uygulanabilir kılan çok yönlülüğüne dayanmıştır.

Morett vd.[25] makalede, parçaları karma model bir montaj hattının istasyonlarına taşıyan mobil robotlardan oluşan bir filoya görevlerin atanmasına yönelik veri odaklı yaklaşımları incelemektedir . Yaklaşımlar, robotların ve montaj istasyonlarının durumuyla ilgili gerçek zamanlı verilerden yararlanmaktadır. Metodoloji: Fabrika depolarını, montaj istasyonlarını ve robotları içeren sistemin aracı tabanlı simülasyon modeli, otomotiv endüstrisindeki gerçek bir örnek üzerinden geliştirilmiş ve doğrulanmıştır.

Saez-Mas vd. [26] makalede, bir endüstriyel montaj tesisinin iç lojistiğinin yeniden tasarlanmasını ele almışlardır. Bu amaçla, üretim hatlarının farklı iş istasyonlarını beslemek için bileşen ve parça akışını optimize eden matematiksel bir formülasyon önerilmiştir. Bu bileşen akışı, tedarikçilerin kamyonlarının geldiği depo girişinen başlar. Kamyonlardan indirilen bileşenler, yeterli taşıma ekipmanı vasıtasıyla bir veya daha fazla depolama alanına taşınır. Son olarak bileşenler ihtiyaç duyulduğunda montaj hattı üzerinde bulunan talep noktasına taşınır. İncelenen tesis için matematiksel formülasyonla üretilen sayısal sonuçlar, tedarikçilerin alım istasyonlarına ve parçaların depolama alanlarına daha iyi atanması ve malzeme kapasitesinin uygun şekilde seçilmesiyle toplam dağıtım süresinde neredeyse %33 oranında tasarruf sağlanabileceğini

göstermiştir.

Kundu vd. [27] çalışmada literatürdeki misina beslemenin farklı yönlerini tartışmak ve sorunun çözümünü destekleyecek yenilikçi bir yöntem önerilmiştir. Ayırık olay simülasyon modeli geliştirilmiş ve simülasyonu desteklemek için parçacık sürüsü optimizasyonuna dayalı bir matematiksel model kullanılmıştır. Hibrit model nihayet pratik durumlara uygulanmış. Sonuçlar, farklı kanban ayarlarının montaj hattı besleme sisteminin performansını nasıl etkilediğini göstermektedir. En büyük yenilik kanban boyutu ile kanban sayısı arasındaki dengenin tanınması ve sistemin tasarımı sırasında davranışının araştırılmasının önemidir.

Emde vd. [28] makalede, parçaları montaj fabrikalarındaki veya atölyelerdeki iş istasyonlarına tam zamanında besleyen şirket içi taşıma araçlarının yönlendirilmesi sorununu ele almaktadır. Amaç, istasyonlarda verilen minimum servis sıklıklarına riayet ederek, öncelikle araç sayısını, ikinci olarak da toplam güzergâh süresini en aza indirmektir. Bu problem için yeni bir matematiksel bir formülasyon önermişlerdir.

Caputo vd.[29] çalışmada, farklı malzeme besleme süreçlerine (kit oluşturma, hat depolama ve tam zamanında teslimat) göre, parça özelliklerinin, yani birim boyutu ve maliyetin yanı sıra senaryo değişkenlerinin, malzemelerin montaj hattı iş istasyonlarına toplam teslimat maliyeti üzerindeki etkisini araştırmaktadır. Parça özelliklerinin açıklanmasına dayalı maliyet modelleri oluşturulduktan sonra, her bir besleme politikasının maliyet etkinliğini doğrulamak ve varsayılan değerlere dayanarak mevcut besleme alternatifleri arasında ekonomik başa baş noktalarının mevcut olup olmadığını anlamak için bir hassasiyet ve parametrik analiz gerçekleştirilmiştir. Parçaların ilgili özelliklerine her bir besleme politikasının daha uygun olduğu alanların haritalandırılmasına olanak tanınmış ve aynı zamanda her parça için ekonomik olarak en iyi besleme politikasının seçilmesine yönelik seçim yapılmıştır.

Sali vd. [30] çalışmada, her bir bileşeni hat stoklama, kit oluşturma ve sıralama modları olmak üzere üç alternatif arasından en verimli hat besleme moduna atayan bir optimizasyon modeli önermektedir. Geliştirilen karma tam sayılı program, otomotiv sektöründeki birinci kademe tedarikçi fabrikasına uygulanmıştır. Bu modele dayanarak, her bir bileşen için daha uygun hat besleme moduna karar verirken dikkate alınması gereken ödünleşim ve sistem parametrelerinin bu dengelemeyi nasıl etkilediği hakkında fikir edinilmiştir.

Literatür araştırmasının özeti aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 2.1. Literatür özeti.

Yazar (lar)	Ele Alınan Problem	Kısa Özet
Yalçın vd. [1]	Montaj hattı parça besleme süreçlerinin planlanması için kural tabanlı sistem tasarımı	Sorunların çözümü için kural tabanlı bir sistem önerilmiştir. Önceki çalışmalarda yer alan karışık hesaplamalar ve uzun zaman alan işlem süreleri, geliştirilen ve önerilen bu program sayesinde, olup kısa süre içerisinde uygun çözümlerin verilmesi sağlanmıştır.
Şahin [2]	Kanban kontrollü milkrun döngülü malzeme besleme sistemi: Tv fabrikasında bir uygulama	Yapılan çalışma kapsamında, montaj ile ambarlar arasında, Milk-run döngülü çekme kanbanını içermektedir.
Gürgeç vd. [3]	AGV sayısına ve hatlardaki stok miktarlarına karar veren bir hat besleme sistemi kurulması	Bu probleme ait çözüm için literatürde bulunan malzeme besleme çalışmaları kapsamında, rotalama, yükleme ve çizelgeleme kararlarını veren üç aşama içeren sezgisel bir yaklaşım önerilmiştir. Bu sezgisel kullanılarak belirli stok miktarları için olası en az olacak şekilde otomatik yönlendirmeli araç (AGV) sayısının ve en az stok miktarlarının belirlendiği iki alternatif çözüm yöntemi sunulmuştur.
Çağlayan [4]	Montaj hattında malzeme besleme sisteminin yapay sinir ağı yöntemi ile seçimi	Hidrolik motor üreten bir fabrikada bulunan montaj hatlarına malzeme besleme süreci karar verme problemi üzerine çalışmıştır. Çalışmada malzeme besleme probleminin çözüm yönteminde beslemeli yapay sinir ağı yapısı tercih edilmiştir
Özcan [5]	Montaj hattı besleme işlemlerinin	Yapmış olduğu yüksek lisans tezinde bir bulaşık makinesi üreten fabrikada bulunan montaj

	çizelgelenmesi için bir çözüm yaklaşımı	hatlarını besleme problemini incelemiştir. Problem Np-Zor sınıfına ait olduğu için kısa sürede çözüme ulaşmak için sezgisel yöntemden de faydalanmıştır.
Büyüközkan [6]	Karma modellenmiş montaj hatlarına yönelik döngüsel malzeme besleme sistemi optimizasyonu	Yapılan çalışmada karma modellenmiş olan montaj hatları için, üretimin ihtiyaç duyduğu malzemelerin depodan montaj istasyonlarına ulaştırılması problemi incelenmiştir. Bu problem için bilinen iç lojistik yöntemi milk-run ile malzeme tedarik sistemi geliştirilmiştir.
Günay [7]	Otomotiv montaj hatlarında montaj öncesi ara stok içeriğinin belirlenmesi	Çalışmayı 2 aşamada ele almıştır. Birinci aşamasında çizelgelemeye uygun montaj hatlarını beslemek için montaj öncesinde ara stok olarak bulunması gereken araç model-renk kombinasyonlarına göre miktar belirlemesinin yapılmasıdır. İkinci aşamada oluşan boya hataları incelendikten sonra araçların tekrar montajlama sıralanmaları problemi.
Tansel vd. [8]	Çamaşır Makinesi fabrikası iç lojistik aktivitelerinin optimize edilmesi	Firmada mevcutta bulunan milkrun sisteminde iyileştirme amacı doğrultusunda matematiksel, benzetim ve sezgisel modelleri kullanılarak yeni bir sistem geliştirilmiştir. Bu sistem sayesinde verimlilik artmış, kat edilen mesafe azalmıştır.
Tekin vd. [9]	Lider bir dondurma fabrikasında WCM metodolojisiyle üretim alanlarında lojistik optimizasyonu	Çalışmanın amacı üretim hatlarına taşınacak malzemelerin hangi miktarda, hangi rota ile nasıl taşınacağını oluşturan sistemin milk-run sistemi oluşturulmasıdır. Çalışmada ZNEC arayüzü ve sezgisel yöntemden faydalanılmıştır.
Sipahioğlu ve Altın [10]	A mathematical model for in-plant Milk-Run routing	Çalışmalarında fabrika içinde uygulanan milk-run sistemini kullanmışlardır. Bu sistem ile birlikte milk-run rotası ve günde kaç periyod

		yapması gerektiği belirlenmiştir. Bu çalışma için bir matematiksel model önerilmiş ve model Gams yazılımı ile çözüme ulaştırılmıştır.
Küçüköğlu vd. [11]	İç lojistik sisteminde malzeme tedariki için geliştirilmiş matematiksel modelleme yaklaşımı: Bir uygulama	Çalışma kapsamında bir fabrikanın iç lojistik süreci ele alınmıştır. Çalışmanın amacı malzeme tedariki yapılırken montaj hatlarında bulunan fazla stok ve taşıma esnasında katma değeri olmayan işleri minimuma düşürmektir.
Arslan [12]	Süreç optimizasyonu: Tesis içi ürün taşıma operasyonunun milk-run ile optimizasyonu	Çalışmasının amacı taşıma aşamasında olan bir fabrikanın yarı mamul taşımaları ve mamul taşımalarını inceleyerek yeni yerdeki iç taşıma faaliyetlerinin baştan yapılandırılmasında maliyet ve iş gücünü minimize etmektir.
Çevikcan vd.[13]	Fabrika içi lojistik süreçlerinin set yapma esaslı tasarımı ve bir uygulama	Çalışmada montaj hatlarını besleme esaslı set yapma metodoloji öne sürülmüştür. Bu sayede fabrika içerisinde yer alan iç lojistik etkin ve verimli bir şekilde yapılması ve planlanmasının yapılması amaçlanmıştır.
Savaşaneril vd. [14]	Fabrika içi çekme esaslı taşıma sistemi tasarımı	Çalışmalarında fabrika içerisinde yer alan hammadde ve yarı mamullerin ihtiyaç oluşan yerlere taşınmasını planlayan bir sistem öne sürülmüştür. Çalışmanın amacı üretim esnasında ara stokların minimum seviyede tutulup maliyetleri azaltmasıdır.
Baler vd. [15]	Montaj hattı besleme problemi: Çoklu hat besleme politikaları ve örnek olay incelemesi içeren genişletilmiş bir formülasyon	Çok karmaşık ve parça sayısı fazla olan hatlarda karışıklığı çözmek için, dokuz farklı hat besleme sistemini ve parça başına farklı hat besleme sistemini modelleyerek tam sayılı programlama formülasyonu önerilmiştir.

Nourmohammadi vd. [16]	Maliyet odaklı entegre bir model süpermarketlerle montaj hattı dengeleme ve parça besleme	Yapmış oldukları çalışmada birbirleri ile ilişkili olan montaj hattı dengeleme ve montaj hattı besleme bir arada incelenmiştir. Montaj hattı kurulum maliyetinin minimum ve optimum istasyon sayısı olacak şekilde bütünleşik bir matematiksel model önermişlerdir.
Fedtko vd. [17]	Montaj hatlarının parça beslemesi için hat içi kitleme: İşçilerin yürüme çabasını azaltmak için iş yükü dengeleme ve depolama ataması	İstasyonlar arasındaki iş yükünün dengelenmesi ve her hat içi kit oluşturma istasyonundaki stok tutma birimlerindeki konteynırlarının depolama atamasının optimize edilmesi amaçlanmıştır.
Zhou ve Huang [18]	Hibrit kuantum davranışlı parçacık sürüşü optimizasyonu ile karma modellenli montaj hattı için dinamik döngüsel kitleme parça besleme planlaması	Bu makalenin amacı, arma model montaj hatlarında enerji tüketimini azaltmak ve üretim atıklarını ortadan kaldırmaktır.
Delice [19]	Entegre karma model montaj hattı süpermarketlerle dengeleme ve parça besleme	Otomotiv endüstrisinde, karma modellenli montaj hatlarına parça beslemek için süpermarket adı verilen merkezi olmayan şirket içi lojistik alanları kullanılmaktadır. Çalışmada karma modellenli montaj hattı dengeleme problemi ile süpermarket yer seçimi problemi eş zamanlı olarak ele alınmıştır. Buna göre montaj hattı ve süpermarketlerin toplam maliyetlerini en aza indirmek amacıyla karma tam sayılı bir matematiksel model geliştirilmiş ve geliştirilen model kısıt programlama (CP) kullanılarak çözülmüştür.
Müllerklein vd. [21]	Montaj hattı planlama ve beslemenin bütünleşik olarak değerlendirilmesi: Otomotiv	Çalışma kapsamında, planlama problemi arasındaki montaj hattındaki kullanım noktasını ve hat besleme etkileşimlerini açıkça

	endüstrisinden yeni bir model ve örnek olay incelemesi	modelleyen yeni bir karma tam sayılı doğrusal programlama formülasyon sunulmuştur.
Prakong vd. [22]	Çok Amaçlı Montaj Hattı Parçaları Otomotiv Sektöründe Besleme Kararları	Karma modellenli montaj hattında çekme tertibatının parça besleme sürecine odaklanmaktadır. Tam zamanlı üretim teoreminin daha verimli olmasına yardımcı olabilecek süpermarket konsepti uygulamışlardır.
Adenipekun vd. [23]	Ulaşımın etkisi montaj hattı beslemesinde optimizasyon	Çalışma, toplam besleme maliyetlerini en az indirmek amacıyla her bir parçayı aynı anda bir besleme politikasına ve bir araç tipine verimli bir şekilde atayan bir karma tam sayılı programlama modeli öneren ilk çalışmadır.
Calzavara vd. [24]	Ortak Montaj Hattı Dengeleme ve Besleme Sorunu (JALBFP) doğrudan ve dolaylı tedarik stratejilerinin dikkate alınması	Çalışmada, montaj görevleri ile parça toplama/kitleme ve tamamen senkronize bir montaj besleme sistemi arasında entegre bir denge sağlamak amacıyla Ortak Montaj Hattı Dengeleme ve Besleme Problemini çözmek için yenilikçi bir yaklaşım önerilmiştir
Morett vd.[25]	Parça Besleme Sistemlerinde Mobil Robotların Programlanması	Makalede, parçaları karma model bir montaj hattının istasyonlarına taşıyan mobil robotlardan oluşan bir filoya görevlerin atanmasına yönelik veri odaklı yaklaşımları incelemektedir.
Saez-Mas vd. [26]	Tesis içi tedarik lojistiğinin yeniden tasarlanması: Bir örnek olay çalışması	Bir endüstriyel montaj tesisinin iç lojistiğinin yeniden tasarlanmasını ele almışlardır. Bu amaçla, üretim hatlarının farklı iş istasyonlarını beslemek için bileşen ve parça akışını optimize eden matematiksel bir formülasyon önerilmiştir.

Kundu vd. [27]	Kanban tabanlı montaj hattı beslemesi üzerine bir çalışma simülasyon ve parçacık sürüsü optimizasyonunun entegrasyonu	Çalışmada literatürdeki misina beslemenin farklı yönlerini tartışmak ve sorunun çözümünü destekleyecek yenilikçi bir yöntem önerilmiştir. Ayrık olay simülasyon modeli geliştirilmiş ve simülasyonu desteklemek için parçacık sürüsü optimizasyonuna dayalı bir matematiksel model kullanılmıştır.
Emde vd. [28]	Şirket içi için tam zamanında araç rotalama montaj hatlarına parça besleme	Parçaları montaj fabrikalarındaki veya atölyelerdeki iş istasyonlarına tam zamanında besleyen şirket içi taşıma araçlarının yönlendirilmesi sorununu ele almaktadır. Amaç, istasyonlarda verilen minimum servis sıklıklarına riayet ederek, öncelikle araç sayısını, ikinci olarak da toplam güzergâh süresini en aza indirmektir. Bu problem için yeni bir matematiksel bir formülasyon önermişlerdir.
Caputo vd.[29]	Montaj hatları beslemesinin seçimi parça özelliklerine ve senaryo koşullarına dayalı politikalar	Çalışmada, farklı malzeme besleme süreçlerine göre, parça özelliklerinin, yani birim boyutu ve maliyetin yanı sıra senaryo değişkenlerinin, malzemelerin montaj hattı iş istasyonlarına toplam teslimat maliyeti üzerindeki etkisini araştırmaktadır.
Sali vd. [30]	Tam Zamanında montaj hatları için hat besleme optimizasyonu: Otomotiv sektörüne yönelik bir uygulama	Çalışmada, her bir bileşeni hat stoklama, kit oluşturma ve sıralama modları olmak üzere üç alternatif arasından en verimli hat besleme moduna atayan bir optimizasyon modeli önermektedir. Geliştirilen karma tam sayılı program, otomotiv sektöründeki birinci kademe tedarikçi fabrikasına uygulanmıştır.

2.2. Mevcut Modeller

Literatürde Milk-Run yöntemini kullanarak hat dengeleme-besleme için matematiksel model önerisinde bulunan az sayıda çalışmalar bulunmaktadır. Bu çalışmalardan birkaçı aşağıdaki bölümde yer almaktadır.

2.2.1 Büyüközkan'ın Modeli [6]

Büyüközkan [6], karma modellenli montaj hatları üzerine çalışma yapmıştır. Montaj hat istasyonlarının ihtiyacı olan malzemelerin depodan ihtiyacı olan yere taşınması problemini ele almıştır. Malzemenin İhtiyaç oluşan yere düşük maliyet ve zamanında taşımak için milk-run tabanlı bir dağıtım modeli önermiştir. Bu dağıtımı optimum rota ve minimum sürede gerçekleştirmek için çok ürünlü ve çok araçlı aşağıdaki matematiksel modeli geliştirmiştir.

Modele ait indisler:

S: İş istasyonları kümesi. $S = \{2, 3, \dots N\}$.

$S^+ = S \cup \{1\}$, 1: merkezi depo

N: İstasyon sayısı

V: Araçlar kümesi

P: Parçalar (ürün bileşenleri) kümesi

C: Çevrim süreleri kümesi

i, j : İş istasyonu indisi

c : Çevrim süresi indisi ($c \in C$)

p : Parça (ürün bileşeni) indisi ($p \in P$)

v : Araç indisi ($v \in V$)

Parametreler:

Ψ : Bir araç kullanmanın sabit maliyeti

Ct_c : c . çevrim süresi değeri ($c \in C$) (dakika)

t_{ij} : i. ve j. müşteriler arasındaki uzaklık (metre)

θ : Araç hızı (metre/dakika)

δ : Metre başına araç kullanım maliyeti

η_p : p-parçası için birim elde bulundurma maliyeti

ϕ_i : i. istasyonu için sabit sipariş maliyeti

B_p : p. parçası için dolu kutu ağırlığı (kg)

V_p : p. parçası için kutu hacmi (m³)

KV_v : v. aracın yük hacmi kapasitesi (m³)

d_{ip} : i. istasyonun p. parça talebi (kutu/dakika)

LU_{jp} : p parçası için i. istasyondaki yükleme boşaltma süresi (dakika)

K_v : v-aracının ağırlık kapasitesi (kg)

K_i : i. istasyonun stok alanı kapasitesi (kutu)

T_{min} : En küçük çevrim süresi

T_{max} : En büyük çevrim süresi

Karar Değişkenleri:

$$X_{ijv} = \begin{cases} 1, v. aracı, j. istasyonu i. istasyondan hemen sonra ziyaret etmiş ise \\ 0, diğer durumlarda \end{cases}$$

Z_{ijpv} : i. istasyondan j. istasyona geçilir iken v aracı üzerinde kalan p parçası miktarı

$$T_{cv} = \begin{cases} 1, Eğer v. araç, rotasını her bir C_{tc} süresinde tekrar ediyor ise; \\ 0, diğer durumlarda \end{cases}$$

$$Y_v = \begin{cases} 1, v. araç hizmet ediyor ise \\ 0, diğer durumlarda \end{cases}$$

$$S_{ijcv} = \begin{cases} 1, T_{cv} * X_{ijv} = 1 \text{ ise;} \\ 0, \text{diğer durumlarda} \end{cases}$$

Amaç Fonksiyonu:

$$\begin{aligned} \text{Min} \sum_{v \in V} & \left[\Psi Y v \right. \\ & \left. + \sum_{c \in CT} \sum_{i \in S^+} \sum_{j \in S^+} \left(t_{ij} \delta X_{ijv} \frac{T_{cv}}{C_{tc}} \varphi_i X_{ijv} \frac{T_{cv}}{C_{tc}} \right) \sum_{j \in S^+} \sum_{i \in S} \sum_{p \in P} \sum_{c \in CT} \left(n_{ip} \frac{d_{ip}}{2} X_{ijv} C_{tc} T_{cv} \right) \right] \end{aligned} \quad (1)$$

Kısıtlar:

$$\sum_{v \in V} \sum_{j \in S} + X_{ijv} = 1; (i \in S)(i \neq j) \quad (2)$$

$$\sum_{v \in V} \sum_{j \in S} + X_{1jv} \geq 1 \quad (3)$$

$$\sum_{i \in S^+} X_{ijv} - \sum_{k \in S^+} X_{jkv} = 0; (j \in S^+)(v \in V) \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \sum_{i \in S} \sum_{j \in S, j \neq i} + \frac{t_{ij} X_{ijv}}{9} + \sum_{j \in S} \sum_{p \in P} + Z_{1jpv} L U_{1p} + \sum_{i \in S, i \neq j} \sum_{j \in S} + \sum_{p \in P} \sum_{c \in C} L U_{jp} d_{jp} C_{tc} T_{cv} X_{ijv} \\ \leq \sum_{c \in CT} C_{tc} T_{cv}; (v \in V) \end{aligned} \quad (5)$$

$$\sum_{p \in P} Z_{ijpv} B_p \leq K_v X_{ijv}; (j \in S^+)(i \in S^+)(v \in V) \quad (6)$$

$$\sum_{p \in P} Z_{ijpv} V_p \leq K V_v X_{ijv}; (j \in S^+)(i \in S^+)(v \in V) \quad (7)$$

$$\sum_p \sum_{i \in S} + d_{jp} X_{ijv} T_{cv} C_{tc} \leq K_j; (j \in S)(c \in C)(v \in V) \quad (8)$$

$$\sum_{i \in S^+} Z_{ijpv} - \sum_{k \in S^+} Z_{jkpv} = d_{jp} \sum_{i \in S^+} \sum_{c \in CT} X_{ijv} C_{tc} T_{cv}; (j \in S)(p \in P)(v \in V) \quad (9)$$

$$X_{1jv} \leq Y_v; (v \in V)(j \in S) \quad (10)$$

$$X_{iiv} = 0; (v \in V)(i \in S^+) \quad (11)$$

$$T_{cv} \leq Y_v; (c \in C)(v \in V) \quad (12)$$

$$X_{ijv} \in \{0,1\}; (j \in S^+)(i \in S^+)(v \in V) \quad (13)$$

$$Y_v \in \{0,1\}; (v \in V) \quad (14)$$

$$T_{cv} \in \{0,1\}; (c \in CT)(v \in V) \quad (15)$$

$$Z_{jipv} \geq 0; (j \in S^+)(i \in S^+)(v \in V)(p \in P) \quad (16)$$

$$T_{cv} + X_{ijv} \leq 1 + S_{ijcv}; (j \in S^+)(i \in S^+)(v \in V)(c \in C) \quad (17)$$

$$T_{cv} + X_{ijv} \geq 2S_{ijcv}; (j \in S^+)(i \in S^+)(v \in V)(c \in C) \quad (18)$$

$$\sum_{v \in V} \left[\Psi Y_v + \sum_{c \in CT} \sum_{i \in S^+} \sum_{j \in S^+} \left(t_{ij} \delta \frac{S_{ijcv}}{C_{tc}} \phi_i \frac{S_{ijcv}}{C_{tc}} \right) + \right. \quad (19)$$

$$\left. \sum_{i \in S} \sum_{p \in P} \sum_{c \in CT} \sum_{j \in S^+} \left(n_{ip} \frac{d_{ip}}{2} S_{ijcv} C_{tc} \right) \right]$$

$$\sum_{i \in S^+} \sum_{j \in S_{j \neq i}} + \frac{t_{ij} X_{ijv}}{9} + \sum_{j \in S^+} \sum_{p \in P} + Z_{1jpv} LU_{1p} + \quad (20)$$

$$\sum_{i \in S_{i \neq j}} \sum_{j \in S} + \sum_{p \in P} \sum_{c \in C} LU_{jp} d_{jp} C_{tc} S_{ijcv} \leq \sum_{c \in CT} C_{tc} T_{cv}; (v \in V)$$

$$\sum_p \sum_{i \in S} +d_{jp} S_{ijcv} C t_c \leq K_j; (j \in S)(c \in C)(v \in V) \quad (21)$$

$$\sum_{i \in S^+} Z_{ijpv} - \sum_{k \in S^+} Z_{jkpv} = d_{jp} \sum_{i \in S^+} \sum_{c \in C} S_{ijcv} C t_c ; (j \in S)(p \in P)(v \in V) \quad (22)$$

$$S_{ijcv} \in \{0,1\}; (j \in S^+)(i \in S^+)(v \in V)(c \in C) \quad (23)$$

Modelin amaç fonksiyonunda (1) maliyetleri (toplam sabit araç maliyeti, ulaşım maliyeti, sipariş ve elde bulundurma maliyeti) minimum seviyeye indirgemeyi amaçlamıştır. Kısıt (2) her araç her istasyona bir kez uğramalıdır. Kısıt (3) en az bir aracın bir sefer yapması zorunludur. Kısıt (4) akışı dengeleme kısıtıdır. Kısıt (5) aracın yükleme boşaltma ve gezme süresi toplam çevrim süresinden az olmalıdır. Kısıt (6) ve Kısıt (7) aracın hacim ve kapasitesinin aşılmaması kısıtıdır. Kısıt (8) istasyon yanlarında bulunan ara stokların aşılmaması kısıtıdır. Kısıt (9) İstasyonlara talebi kadar malzeme gönderilmeli ve malzeme gönderimi yapılırken alt tur oluşturulması engellenmelidir. Kısıt (10) herhangi bir araç istasyona uğradıysa değer almasını sağlayan kısıttır. Kısıt (11) istasyonların birbirine bağlanma durumunu engellemektedir. Kısıt (12) herhangi bir araç çevrimde değer almış ise aracın değer almasını sağlamaktadır. Kısıt (13) ile Kısıt (16) sınır değerleri belirlemektedir. Kısıtlarda (1)-(5)-(8)-(9) T_{cv} ve x_{ijv} karar değişkenleri çarpım durumunda olduğu için doğrusallığı bozmaktadır. Bu durumu düzeltmek için (17)- (18)- (19)- (20)- (21)- (22)- (23) kısıtlar eklenmiştir.

2.2.2. Özcan'ın modeli [5]

Özcan [5] çalışmasında, bir bulaşık makinesi fabrikasında montaj hatlarının beslenmesi için çizelgelenmesi yapılmıştır. 2 problemde ele alınmıştır. İlk problemde vardiyada ihtiyaç oluşan malzemenin istasyonlara taşıma işinin taşıyıcı araçlara dengeli bir şekilde dağıtılmasını ikinci problemde ise farklı taşıyıcıların taşıyacağı malzemenin mutlak farklarının en aza indirilmesini sağlayan modeller kurulmuştur.

İlk ana problemde;

i, istasyon

j, malzemecileri

k_i , istasyona götürülmesi gereken ürün miktarı (bir vardiyada)

z, iki taşıyıcı arasında taşınan yük miktarındaki en yüksek mutlak fark değeri göstermektedir.

$$a_{ik} = \begin{cases} 1, i \text{ istasyonu ile } k \text{ istasyonu komşu ise} \\ 0; \text{ diğ er durumlarda} \end{cases}$$

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, i \text{ istasyonuna } j \text{ malzemecisi atandı ise} \\ 0; \text{ diğ er durumlarda} \end{cases}$$

$$\text{Min } z \quad (24)$$

$$\sum_j x_{ij} = 1 \quad \forall i \in \{1, \dots, I\} \quad (25)$$

$$x_{ij}(1 - a_{ik}) + x_{kj} \leq 1 \quad \forall i, j, k, i \neq j \quad (26)$$

$$\sum_i k_i x_{ij} - \sum_i k_i x_{il} \leq z \quad \forall j, l, j \neq l \quad (27)$$

$$-\sum_i k_i x_{ij} + \sum_i k_i x_{il} \leq z \quad \forall j, l, j \neq l \quad (28)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\}$$

$$z \geq 0$$

Amaç fonksiyonu (24) istasyonlara dağıtılacak malzemenin taşıyıcılara dengeli dağıtılması ve aradaki mutlak farkı minimuma indirmek için yazılmıştır. Kısıt (25) her istasyonun talebini her bir taşıyıcı tarafından karşılanmalıdır. Kısıt (26) taşıyıcıların istasyonlar arasında komşu olmayanlardan yalnızca birine atanabilir. Kısıt (27) - (28) ise z nin maksimum iş yükünün mutlak farka eşit olması amacıyla yazılmıştır.

İkinci ana problem:

Parametreler:

$P = \{1, \dots, n_p\}$ Malzeme kümesi

$I = \{1, \dots, n_l\}$ İstasyonlar kümesi

D_{jkt} $j \in P$ malzemesinin $k \in I$ istasyonunda t zaman dilimindeki talep miktarı (sepet)

F_i $i \in M$ malzemecisinin taşıyabildiği maksimum hacim (m^3)

V_j $j \in P$ malzemesinin bir sepetim hacmi (m^3)

G_k $K \in I$ istasyonunda biriktirilebilecek maksimum stok miktarı (sepet)

S_{jk} $j \in P$ malzemesinin $K \in I$ istasyonunda bir önceki vardiyadan kalan miktarı (sepet)

K Bir vardiyada üretilebilen maksimum ürün miktarı (Bıg-M)

n Bir vardiyadaki t zaman dilimlerinin sayısı

h_i $i \in M$ malzemecisinin bir t zaman diliminde yapabileceği maksimum tur sayısı

İkinci ana problem matematiksel modelinde karar değişkenleri aşağıdaki gibidir:

ϑ_{it} $i \in M$ malzemecisinin t zaman dilimindeki tur sayısı

$q_{jkt} = j \in M$ malzemesinin $k \in I$ istasyonunda t zaman dilimi sonunda hat başındaki durumu

$w_{jkt} = j \in M$ malzemesinin $k \in I$ istasyonunda t zaman dilimi sonunda talep durumuna göre nihai hat başı stok değeri

$x_{ijkt} = i \in M$ malzemecisinin $j \in M_i$ malzemesinden $k \in I$ istasyonuna t zaman diliminde götürdüğü sepet miktarı

$y_{ijktm} = i$ malzemecisinin j malzemesinden k istasyonuna t zaman dilimindeki m .turda taşıdığı sepet miktarı

$\alpha_{itm} = \begin{cases} 1, & i \in M \text{ malzemecisi } t \text{ diliminde } m. \text{ turu yaptıysa} \\ 0, & \text{değilse} \end{cases}$

$z_{jkt} = j \in M$ malzemesinin $k \in I$ istasyonunda t zaman dilimi sonundaki kümülatif sepet stoğu

Amaç Fonksiyonu:

$$\min \sum_{i \in M} \sum_{t=1}^n \vartheta_{it} \quad (29)$$

Kısıtlar:

$$\sum_{k \in l} \sum_{j \in P} y_{ijktm} V_j \leq F_i \quad \forall_i \in M, t = 1, \dots, n, m = 1, \dots, h_i \quad (30)$$

$$z_{jk(t-1)} \geq D_{jkt} \quad \forall_j \in P, k \in l, t = 1, \dots, n \quad (31)$$

$$\sum_{j \in P} w_{jkt} \leq G_k \quad \forall_k \in l, t = 1, \dots, n \quad (32)$$

$$\sum_{j \in P_i} \sum_{k \in l} y_{ijktm} \leq \alpha_{itm} K \quad \forall_i \in M, t = 1, \dots, n, m = 1, \dots, h_i \quad (33)$$

$$\vartheta_{it} = \sum_{m=1}^{h_i} \alpha_{itm} \quad \forall_i \in M, t = 1, \dots, n \quad (34)$$

$$Z_{jk(t-1)} + \sum_{i \in M} x_{ijkt} - D_{jkt} = z_{jkt} \quad \forall_j \in P, k \in l, t = 1, \dots, n \quad (35)$$

$$Z_{jk0} = S_{jk} \quad \forall_j \in P, k \in l \quad (36)$$

$$\sum_{m=1}^{h_i} y_{ijktm} = x_{ijkt} \quad \forall_i \in M, j \in P, k \in l, t = 1, \dots, n \quad (37)$$

$$f_{ijtm} \leq \sum_{k \in l} y_{ijktm} * BigM \quad \forall_i \in M, j \in P, k \in l, t = 1, \dots, n \quad (38)$$

$$\sum_{k \in l} y_{ijktm} \leq f_{ijtm} * BigM \quad \forall_i \in M, j \in P, k \in l, t = 1, \dots, n \quad (39)$$

$$\alpha_{itm} * Big \quad \forall_i \in M, j \in P, k \in l, t = 1, \dots, n \quad (40)$$

$$\geq \sum_{j \in P} f_{ijtm}$$

$$f_{ijtm} + f_{idtm} \leq 1 \quad \forall_i \in M, j \in P, k \in l, t = 1, \dots, n, st[j] = st[d] \quad (41)$$

$$x_{ijkt} \geq 0 \quad \forall_i \in M, j \in P, k \in l, t = 1, \dots, n \quad (42)$$

$$z_{jkt} \geq 0 \quad \forall_j \in P, k \in l, t = 0, \dots, n \quad (43)$$

$$\alpha_{itm} \in \{0,1\} \quad \forall_i \in M, t = 1, \dots, n, m = 1, \dots, h_i \quad (44)$$

$$y_{ijktm} \geq 0, tamsayı \quad \forall_i \in M, j \in P, k \in l, t = 1, \dots, n, m = \quad (45)$$

$$1, \dots, h_i$$

$$\vartheta_{it} \geq 0, \text{ tamsayı} \quad \forall_i \in M, t = 1, \dots, n \quad (46)$$

Amaç fonksiyonu (29) de istasyonlara ihtiyacı olan malzemenin taşınmasında minimum tur sayısının yapılmasını amaçlamıştır. Kısıt (30) de taşınacak malzemenin taşıyıcı hacminden düşük veya eşit olması gerekmektedir. Kısıt (31) de istasyonlardan gelen talebin zamanında karşılanması gerekmektedir. Kısıt (32) de istasyonlarda bulunan stokların belirli bir seviyenin altında kalınmasını sağlamaktadır. Kısıt (33) de istasyona gönderilecek malzemede öncelik kararının alınması içindir. Kısıt (34) de belirli bir zaman dilimindeki toplam tur sayısını vermektedir. Kısıt (35) de hat başında biriken stoğun bulunmasını sağlamaktadır. Kısıt (36) de istasyonda vardiya başında bulunan stok bir önceki vardiya sonundaki stok ile eşittir. Kısıt (37) de belirli bir zaman aralığında taşınan malzeme ile o zaman aralığında olan tüm devirlerde taşınan malzeme miktarı eşittir. Kısıt (38) ile Kısıt (46) arasındaki matematiksel model tutarlılığını sağlamak için eklenen kısıtlardır.

2.2.3. Alnahhal ve Noche Modeli [31]

Alnahhal ve Noche [31] yapmış oldukları makalede karma model montaj hatlarına malzeme beslemeyi çalışmışlardır. Çekme trenlerini kullanarak, işletmenin nakliye ve stok sabit maliyetlerini en aza indirecek şekilde süpermarketlerin sayısını ve yerlerini belirlemişlerdir. Çalışmada genetik algoritma kullanılarak 2 özel mutasyon önermişlerdir.

Matematiksel Model:

S , istasyon sayısı

n , optimal süpermarket sayısı

T , süpermarket başına sabit maliyet

d_s , talep (beklenen kutu sayısı) vardiya başına istasyon sayısı;

a_s , s istasyonunun x koordinatı

b_s , s istasyonunun y koordinatı

M , olası süpermarketlerin toplam yer sayısı

a_k , süpermarket k 'nin x koordinatı

b_k , süpermarket k'nin y koordinatı

$$x_{ijk} = \begin{cases} 1, i'nci istasyondan j.' nci istasyona kadar supermarketler k dan beslenir \\ 0, diğer durumlar \end{cases}$$

$Tdem_{ij}$, i istasyonundan j istasyonuna tüm istasyonların toplam talebi

$dist_{kij}$, süpermarket k'den tüm malzemeleri tedarik etmek için i istasyonundan j istasyonuna giden trenin kat ettiği toplam mesafe

$wdis_{kij}$, toplam ağırlıklı mesafe $wdis_{kij} = Tdem_{ij} * dist_{kij}$

C, bir kutuyu bir birim taşımanın birim maliyeti

Dst_{ij} , i den j istasyonuna tüm istasyonlar için malzeme ve parça temin talebinin toplam standart sapması

$CAPACITY_k$, süper marketin kapasitesi k (kutu sayısı)

Z, süpermarketin hizmet düzey kapasitesini aşan olmama olasılığı

Amaç Fonksiyonu:

$$\min \sum_{k=1}^M \sum_{i=1}^S \sum_{j=1}^S C wdis_{kij} x_{ij} + nT \quad (47)$$

Kısıtlar:

$$\sum_{k=1}^M \sum_{i=1}^S \sum_{j=1}^S x_{kij} = n \quad (48)$$

$$\sum_{k=1}^M \sum_{i=1}^b x_{kib} = \sum_{k=1}^M \sum_{j=b+1}^S x_{k(b+1)j} \quad \forall b = 1, \dots, S-1 \quad (49)$$

$$\sum_{i=1}^S \sum_{j=1}^S x_{kij} \leq 1 \quad k = 1, \dots, M \quad (50)$$

$$n \geq 1 \text{ ve tamsayı} \quad (51)$$

$$(Tdem_{ij} + zDst_{ij})$$

$$x_{kij} \leq CAPACITY_k \quad \forall k = 1, \dots, M, i = 1, \dots, S, j = i, \dots, S \quad (52)$$

$$x_{kij} = 0 \text{ veya } 1 \forall i = 1, \dots, S, j = i, \dots, S, k = 1, \dots, M \quad (53)$$

$$dist_{kij} (|b_j - b_i| + |a_j - a_i|) + (|b_k - b_i| + |a_k - a_i|) + (|b_k - b_j| + |a_k - a_j|) \quad (54)$$

Amaç fonksiyonu (47), toplam maliyetleri (ağırlıklı mesafe, süpermarketlerin sabit maliyetleri.) en aza indirir. Kısıt (48), hücre sayısının eşit olduğunu garanti etmektedir. Kısıt (49) Tüm hücrelerin ihtiyacının süpermarketten temin edildiğini göstermektedir. Kısıt (50) her istasyonun yalnızca bir süpermarketten beslenmesini garanti eder. Kısıt (51) Tüm değişkenler sifıra eşittir. Kısıt (52) Talep zamandan zamana değiştiği için süpermarketin kapasitesinin sadece ortalama talep için değil değişken kapasitenin altında olmalıdır. Kısıt (53) Negatif olmayan kısıtlamaları tanımlamaktadır. Kısıt (54) Tren ilk ten sona doğru hareket ettiği için mesafe ilk ve son istasyonları dikkate almaktadır.

2.2.4. Alnahhal ve Noche Modeli [32]

Alnahhal ve noche çalışmasında [32] karma sayılı model montaj hatlarında süpermarketlerden istasyonlara malzeme akışının çekici trenler ile yapılmaktadır. Bu trenlere çizelgeleme ve rotalama yapılmıştır. Çalışmadaki amaç tren sayısını, güzergah uzunluklarını ve hat kenarlarında stok bulundurma maliyetlerini en aza indirmektir. Dinamik programlama ve karışık tam sayılı programlama ile formüle edilmiştir.

Maksimum hat tarafı envanterine (MLSI)

Hücre için Minimum Yol Sayısı (s_i, s_j), MNR (s_i, s_j)

T Toplam rota sayısı

S İstasyon sayısı

K Trenin kapasitesi

d_{st} t rotası için s istasyonlarının talepleri

$$MNR(s_i, s_j) = \max (\max MNRS(s) \left\lceil \frac{\text{değişken hücre talebi}(s_i, s_j)}{\text{tren kapasitesi}} \right\rceil \quad (55)$$

$$MNR_{(s)} = \left\lceil \frac{\text{istasyonun değişen talebi}}{MLSI} \right\rceil \forall \text{ istasyon } s \in \text{hücreler}(s_i, s_j) \quad (56)$$

$$\text{MAXPL}(s_i, s_j) = \frac{\text{vardiyadaki döngü sayısı}}{\text{MNR}(s_i, s_j)} \quad (57)$$

$$\text{MINPL}(s_i, s_j) = \text{RTI}(s_i, s_j) + \text{RTOC} + \text{zaman tamponu} \quad (58)$$

$$\text{PLR}(s_i, s_j) = (\text{MAXPL}(s_i, s_j) - \text{MINPL}(s_i, s_j), 0) \quad (59)$$

$$\text{Minimize edilecek fonksiyon} = S - (j - i) \quad (60)$$

$$\sum_{s=1}^S d_{st} \leq tK \quad \forall t = 1 \dots T \quad (61)$$

$$\sum_{s=1}^S x_{st} \leq K \quad \forall t = 1, \dots, T \quad (62)$$

$$\sum_{t'=1}^t x_{st'} \leq \sum_{t'=1}^t d_{st'} \quad \forall t = 1, \dots, T, s = 1, \dots, S \quad (63)$$

$$x_{st} \in \mathbb{N}_0 \quad \forall t = 1, \dots, T, s = 1, \dots, S \quad (64)$$

2 Hedef aşağıda verilmiştir:

$$\text{Minimize } f_{\text{sum}} = \sum_{t=1}^T \sum_{s=1}^S \sum_{t'=1}^t (x_{st'} - d_{st'}) \quad (65)$$

$$\text{Minimize } f_{\text{sum}} = \max\{\sum_{t'=1}^t (x_{st'} - d_{st'}) \mid t = 1, \dots, T; s = 1, \dots, S\} \quad (66)$$

$$\sum_{t'=1}^t (x_{st'} - d_{st'}) \leq z \quad \forall t = 1, \dots, T; s = 1, \dots, S \quad (67)$$

$$K - \sum_{s=1}^S x_{st} \leq v \quad \forall t = 1, \dots, T \quad (68)$$

$$\sum_{t=1}^T \sum_{s=1}^S x_{st} \leq \text{MLSI} \quad (69)$$

$$y1_{st} \leq z - \sum_{t'=1}^t (x_{st'} - d_{st'}) \quad \forall t = 1, \dots, T; s = 1, \dots, S \quad (70)$$

$$y1_{st} + y2_{st} = 1 \quad \forall t = 1, \dots, T; s = 1, \dots, S \quad (71)$$

$$\text{Minimize } P_{\text{max}} \quad (72)$$

$$= \max\{(t' - t'' + 1) \prod_{t''=t}^{t'} Y2_{st'} \mid t = 1, \dots, T; t' = t \dots T; s = 1, \dots, S\}$$

$$(t' - t'' + 1) \prod_{t''=t}^{t'} Y_{2st'} \leq \text{lenght} \quad t = 1, \dots, T; t' \dots T; s = 1, \dots, S \quad (73)$$

$$x_{st} \leq My_{st} \quad \forall t = 1, \dots, T; s = 1, \dots, S \quad (74)$$

$$\begin{aligned} \text{Minimize edilecek fonksiyon} = & w_1 |ARL - j + i| + w_2 CV + \\ & w_3 \text{ toplam INV maliyetleri} \end{aligned} \quad (75)$$

Kısıt (55) de tren kapasitesi için minimum yol sayısı hesaplanır. Kısıt (56) İstasyonlar arası minimum güzergah sayısının nerede olduğu hesaplanır. Maksimum dönem uzunluğu kısıt (57) ile hesaplanır. Kısıt (58) Minimum dönem uzunluğu; zaman arabelleği ve iç yönlendirme süresine göre hesaplanmaktadır. Kısıt (59) Uygulanabilir dönem uzunluğunun aralığı hesaplanmaktadır. Kısıt (60) Çalışmada minimize edilecek fonksiyon toplam istasyon sayısı ve istasyonlar arasındaki mesafedir. Kısıt (61) Başlangıç noktası bulunarak fizibilite sağlanmıştır. Kısıt (62) Çekme tren kapasitesini aşmayacağını garanti etmektedir. Kısıt (63) Her rotada istasyonlara dağıtılan kutu sayısı minimum birikmiş taleplere eşittir. Kısıt (64) Kutuların pozitif tam sayı olduğunu göstermektedir. Kısıt (65) ve Kısıt (66) Talep ve teslim edilen kutu sayısını minimuma indirmeyi ve herhangi bir istasyonda bekleyen maksimum kutu sayısının minimum seviyede olmasını sağlamaktadır. Kısıt (67) eklenerek çözüme ulaşmanın daha basit yolu amaçlanmıştır. Kısıt (68) Taşıma treni kapasitesi ile yüklü miktarın maksimum farkının en aza indirgemesini sağlamaktadır. Kısıt (69) Aynı amaç fonksiyon değerine sahiptir ancak daha düşük maksimum yükü içermektedir. Kısıt (70) ve (71) modele eklenebilecek diğer bir boyut ise f_{max} değeridir. Ve bunu en aza indirmektedir. Daha detaylı hesaplanmak istenir ise: Kısıt (72) f_{max} değerini maksimum f_{max} sayısını azaltarak aynı istasyon için ardışık rotalarda yapılmaktadır. Kısıt (73) değişken uzunluğunun objektif olması sağlanmaktadır. Kısıt (74) Tesiste dar koridorların kullanılması durumunda, çekici trenlerin trafik sıkışıklığını azaltmak için faydalıdır. Kısıt (75) Nihai çözümü bulmak için DP bir kez daha kullanılır. Minimize edilecek fonksiyon tüm maliyet türlerini içerir. Bununla birlikte ikinci uygun yerin bulunmasında tren sayısı daha önce dikkate alındığı için hariçtir.

2.2.5. Alnahhal ve Noche Modeli [33]

Alnahhal ve Noche [33] yapmış oldukları çalışmada karma model montaj hatlarında malzeme akışını ele almışlardır. Depodan veya süpermarketlerden (tüketiciler arasında ara depolama görevi gören dağılık stok alanlarıdır.) İstasyonlara malzemeler kapasitelerine uygun çekici trenle milk run sistemi ile taşıma yapılmaktadır.

$$\alpha_i = \beta_i - (CP_i - PD_i + dp_i) \quad (76)$$

$$\delta_i = \min\left(\frac{K}{D_i}, 1\right) \quad (77)$$

$$\delta = \prod_{i=1}^T \delta_i \quad (78)$$

$$\delta_{EL2}(i) = \sum_{j=0}^{D(i-1)} pmf(D(i-1) - j, D(i-1)) CDF(D + j, D), D = K \quad \forall i = 2 \dots T \quad (79)$$

$$\delta_{EL2}(1) CDF(D, D), D = K \quad (80)$$

$$\delta_{EL}(i) = \delta_{EL2}(1) i^{-\delta_{EL2}(i)} D = K \quad (81)$$

$$\delta_{EL}(T) = \delta_{EL2}(1) T^{-\delta_{EL2}(T)} D = K \quad (82)$$

$$\delta_{EL} \cong CDF(K, D) \quad K \gg D \quad (83)$$

$$\sum_{s=1}^N d_{st} \leq tK \quad \forall t = 1 \dots T \quad (84)$$

$$K \geq F^{-1}(\delta_{EL}, \sum_{i=1}^N d_i) \quad K \gg D \quad (85)$$

Amaç Fonksiyonu:

$$\begin{aligned} \min w_1 \sum_{i=1}^{TSC-MC} \sum_{j=i+MC}^{TSC} y_{ij} + w_2 \sum_{i=1}^{TSC-MC} \sum_{j=i+MC}^{TSC} x_{ij} + \\ w_3 \sum_{i=1}^{TSC-MC} \sum_{j=i+MC}^{TSC} x_{ij} \sum_{k=1}^N \sum_{u=i}^j d_{ku} \end{aligned} \quad (86)$$

Kısıtlar:

$$\begin{aligned} x_{ij} \sum_{u=i}^j d_{ku} \leq M \quad \forall i = 1, \dots, TSC - MC, \quad A_j = i + MC, \dots, TSC, \\ \forall k = 1, \dots, N \end{aligned} \quad (87)$$

$$x_{ij} \sum_{k=1}^N \sum_{u=i}^j d_{ku} - y_{ij} + y_{ij}^- = K \quad \forall i = 1 \dots TSC - MC \quad \forall j = i + MC \dots TSC \quad (88)$$

$$\sum_{i=1}^{1-MC} \sum_{j=i+MC}^1 x_{ij} \sum_{k=1}^N \sum_{u=i}^j d_{ku} - \sum_{k=1}^N \alpha_k \leq K \sum_{i=1}^{1-MC} \sum_{j=i+MC}^1 x_{ij} \quad \forall I = MC + 1 \dots TSC \quad (89)$$

$$\sum_{i=1}^{j-MC} x_{ij} = \sum_{v=j+1+MC}^{TSC} x_{j+1,v} \quad \forall j = MC + 1, \dots, TSC - MC \quad (90)$$

$$\sum_{j=1+MC}^{TSC} x_{1j} = 1 \quad (91)$$

$$\sum_{j=1}^{TSC-MC} x_{iTSC} = 1 \quad (92)$$

$$x_{ij} = 0 \text{ ya da } 1, y_{ij+}, y_{ij-} \geq 0 \quad \forall i = 1, \dots, TSC - MC, Aj = i + MC, \dots, TSC \quad (93)$$

$$\min \sum_{s=1}^N \sum_{t=1}^T |\varepsilon_{st}| \quad (94)$$

$$\sum_{s=1}^N x_{st} \leq K \quad \forall t = 1, \dots, T \quad (95)$$

$$\sum_{t'=1}^t x_{st'} \geq \sum_{t'=1}^t d_{st'} - \alpha_s \quad \forall t = 1, \dots, T, s = 1, \dots, N \quad (96)$$

$$\sum_{t'=1}^t x_{st'} - \sum_{t'=1}^t d_{st'} + d_{st} + \alpha_s \leq M \quad \forall t = 1, \dots, T, s = 1, \dots, N \quad (97)$$

$$\sum_{t'=1}^t x_{st'} - \sum_{t'=1}^t d_{st'} + \alpha_{st} + \beta_s \leq \varepsilon_{st} \quad \forall t = 1, \dots, T, s = 1, \dots, N \quad (98)$$

$$x_{st} \text{ pozitif tam sayı } \quad \forall t = 1, \dots, T, s = 1, \dots, N \quad (99)$$

Yeni amaç fonksiyonu:

$$\min \sum_{s=1}^N \sum_{t=1}^T \varepsilon_{st+} + \varepsilon_{st-} \quad (100)$$

$$\sum_{t'=1}^t x_{st'} - \sum_{t'=1}^t d_{st'} + \alpha_s - \beta_s = \varepsilon_{st+} - \varepsilon_{st-} \quad \forall t = 1, \dots, T, s = 1, \dots, N \quad (101)$$

$$\delta_{diff} = CDF(K, D) - CDF(K, D)^T \quad (102)$$

$$\frac{K-D}{D} \cong \frac{F^{-1}(\delta_{EL}, D) - D}{D} \quad (103)$$

Kısıt (76) de i parçaları için mevcut hat tarafı envanterini ifade etmektedir. Kısıt (77-78) Kapasite doluluk oranı (d) tren kapasitesi ile ilgilidir. Her döngü için doluluk oranının çarpmasıyla elde edilir. Kapasitesinin doluluk oranının düşük olması malzemenin istasyona yetiştirmemesine neden olmaktadır. Kısıt (79) ortalama hücreyi temsil etmektedir. Kısıt (80) i=1 olması durumunda önceki rota yok ise δ_{EL2} belirlenmektedir. 1'den i' ye kadar olan rotalar kısıt (81) deki gibidir. Kısıt (82) tüm rotaların doluluk oranını belirtmektedir. Kısıt (83) Doluluk oranına ne zaman ulaşıldığını bulmaktadır. Kısıt (84) Tren çevrimi sayısının artırılması doluluk oranını azaltacaktır. Denklem dayalı fizibilite olasılığını ifade etmektedir. Kısıt (85) Önceki değeri bozmadan N değerini bulmaktadır. Amaç fonksiyonunda (86) stok tutma maliyetlerinin en aza indirilmesi amaçlanmıştır. Kısıt (87) istasyonların yanındaki alanın kapasitesini aşmamalıdır. Kısıt (88) trenin kapasitesinden fazla ise erken yükleme zorunluluğunu ifade etmektedir. Kısıt (89) bir sonraki bölümde erken yüklemeye hazırlık yapmaktır. Erken yüklemenin mümkün olacağını garanti ettiği

durumlarda birikmiş talep kısıtlamasıdır. Kısıt (90) Tüm istasyon çevrimlerinin talep ettiğini garanti etmektedir. Kısıtlamalar (91) ve (92) ile birlikte döngü taleplerinin karşılanması kısıtlama kullanılarak garanti edilir. Kısıt (93) işaret kısıtıdır. Amaç fonksiyonu (94) hat tarafı envanteri ile ideal emniyet stoğu arasındaki sapma seviyelerini ve toplam stok tutma maliyetlerini en aza indirmektedir. Kısıt (95) tren kapasitesinin aşılması gerektiğini anlatmaktadır. Kısıt (96) talebin karşılanması gerekmektedir. Kısıt (97) istasyon yanındaki alanların maksimum kapasitesinin aşılması gerekmektedir. Kısıt (98) daha önce belirtilen sapmanın engellenmesi için verilmiştir. Kısıt (99) işaret kısıtıdır. Kısıt (100) ve Kısıt (101) dahilinde yeni amaç fonksiyonu ve kısıttır. Kısıt (102) ile Kısıt (99) arasındaki fark olan δ_{diff} bulmaktadır. Kısıt (103) gereken ekstra kapasiteyi temsil etmektedir.

2.2.6. Zhou ve Zhao Modeli [34]

Zhou ve Zhao çalışmalarında [34] Modern karma model montaj hatları için iki seviyeli lojistik ağına dayalı bir problemi ele almışlardır. Milk-run tabanlı merkezi depo ile hatta entegre süpermarketler arasında ilk kez malzeme besleme sürecini incelemişlerdir. Elektrikli araç sayısını ve seyahat mesafesini minimize etmek amacıyla tam sayılı programlama matematiksel modeli kurmuşlardır.

$$\text{minimize } \{f_1, f_2\} \quad (104)$$

$$f_1 = \sum_{r=1}^{|R|} x_r \quad (105)$$

$$f_2 = z_{max} \quad (106)$$

Kısıtlar:

$$\sum_{t=1}^{|T|} d_{rt} \leq z_{max}, \quad \forall r \in R, t \in T \quad (107)$$

$$\sum_{t=1}^{|T|} d_{rt} \geq z_{max} - \Gamma (1 - v_r), \quad \forall r \in R, t \in T \quad (108)$$

$$\sum_{r=1}^R v_r \geq 1, \quad \forall r \in R \quad (109)$$

$$y_{rtm} \leq x_r, \quad \forall m \in M, r \in R, t \in T \quad (110)$$

$$\sum_{r=1}^R \sum_{t=1}^t q_{mrt} \cdot y_{rtm} = \sum_{t=1}^t D_{mt}, \quad \forall m \in M, r \in R, t \in T \quad (111)$$

$$\sum_{m=1}^M q_{mrt} \cdot y_{rtm} \leq K_r, \quad \forall m \in M, r \in R, t \in T \quad (112)$$

$$IU_m \geq I_{mt} + q_{mrt} \cdot y_{rtm} - Q_{mt} \geq Q_{m,t+1}, \quad \forall m \in M, r \in R, t \in T \quad (113)$$

$$A_{rt} = S_{rt} + \frac{d_{rt}}{v}, \forall r \in R, t \in T \quad (114)$$

$$S_{r,t+1} \geq A_{rt}, \forall r \in R, t \in T \quad (115)$$

$$E_{rt} + \alpha(S_{r,t+1} - A_{rt}) - d_{rt} \cdot \omega \geq E_0, \forall r \in R, t \in T \quad (116)$$

$$v_r, x_r, y_{rtm} \in \{0,1\}, \forall m \in M, r \in R, t \in T \quad (117)$$

$$y_{1,j} = \frac{1}{2} [(1 - \beta_1)x_{1,j} + (1 + \beta_1)x_{2,j}] \quad (118)$$

$$y_{2,j} = \frac{1}{2} [(1 - \beta_2)x_{1,j} + (1 + \beta_2)x_{2,j}] \quad (119)$$

$$\beta_k(\mu) = \begin{cases} (2\mu)^{\frac{1}{n+1}}, & \text{eğer } \mu(0,1) \leq \frac{1}{2} \\ [2(1-\mu)]^{\frac{-1}{n+1}}, & \text{eğer } \mu(0,1) > \frac{1}{2} \end{cases} \quad (120)$$

$$Y_1 = X_1 + F(X_2 - X_3) \quad (121)$$

$$M_r = 0.2 X \left(-e^{\frac{-1}{x}} + 1 \right) \quad (122)$$

$$y_{i,j} = \begin{cases} rand(x_{i,j}^{lb}, x_{i,j}^{ub}), & \text{eğer } (0,1) \sim M_r \\ x_{i,j}, & \text{diğer türlü} \end{cases} \quad (123)$$

$$y = \begin{cases} x_{min,y} < x_{min} \\ x_{max,y} < x_{min} \\ y, & \text{others} \end{cases} \quad (124)$$

$$y' = \begin{cases} x_{max} - mod(y - x_{max}, x_{max} - x_{min}), & y > x_{max} \\ x_{min} - mod(x_{min} - y, x_{max} - x_{min}), & y < x_{min} \end{cases} \quad (125)$$

$$\min f_{TE}(X|\lambda, z^*) = \max\{\lambda_i \cdot (f_i(x) - z_i^*)\} \quad (126)$$

$$\text{subject } x \in \Omega \quad (127)$$

$$f_i^-(x) = \frac{f_i(x) - f_i^{min}}{f_i^{max} - f_i^{min}} \quad (128)$$

$$\min f_{TE}(x|\lambda, z^*) = \max\{\lambda_i \cdot (f_i(x) - z_i^*)\} \quad (129)$$

Amaç fonksiyonu (104)-(106) araç sayısını en aza indirme ve elektrikli araçların maksimum seyahat mesafesini minimuma indirmeyi amaçlamıştır. Kısıt (107)-(109) ikinci amacın doğrusal tanımlarıdır. Kısıt (110) Elektrikli araçların kullanıma alınmadıkları sürece malzeme beslemesi için uygun olmamasını sağlar. Kısıt (111) Malzemelerin zamanında teslim edilmesini sağlar. Kısıt (112)-(113) elektrik yükü kısıtlamasını temsil etmektedir. Kısıt (114) - (115), bir aracın bir sonraki kalkış zamanının aracın merkez depoya son dönüş zamanından daha geç olmasını sağlamaktadır. Kısıt (116), şarj işleminin yalnızca merkezi depo ve iki malzeme besleme grubu arasında ve bir sonraki parti için yeterli pil gücü sağladığı durumlarda gerçekleştirilebileceğini gösterir. Kısıt (117) ikili değişkeni tanımlar.



3. PROBLEM TANIMI

Kayseri’de faaliyet gösteren Sersim firması 1977 yılında katı yakıt sobası üretimine ile kurulmuştur. 1997 yılında ürün gamını genişletmek amacıyla pişirici fabrikası kurarak ocak, fırın, ankastre set, davlumbaz üretimi ile devam etmiştir. Şekil 3.2’ te pişirici fabrika ürün gamı yer almaktadır. 2015 yılında ise soğutma grubuna ait ürünlerin üretimine başlamış günümüzde beyaz eşya üretimi ile uzmanlaşmış bir şirkettir. Şekil 3.3’ te soğutucu fabrika ürün gamı yer almaktadır. Her müşterinin ihtiyaç ve talebini karşılamaya odaklanıp kişisel tasarımlar yaparak müşteri memnuniyetini ön planda tutmaktadır. Geniş ürün yelpazesi sayesinde 1.500’ü aşkın çalışanıyla 150’den fazla ülkeye ihracaat yaparak yeni projeler geliştirmeye devam etmektedir. Fabrika genel görünüm şekil 3.1’ de yer almaktadır.



Şekil 3.1. Sersim fabrika genel görünüm.



Şekil 3.2. Pişirici fabrika ürün gamı.



Şekil 3.3. Soğutucu fabrika ürün gamı.

Bu çalışma soğutucu fabrikada yapılmıştır. Bu fabrikada üretilen ürünler temel olarak iki farklı grupta incelenmektedir: evlerde kullanılan derin dondurucular ve ticari soğutuculardır. Ev tipi ürünler arasında dikey (çekmeceli) ve yatay (sandık tipi) derin dondurucular bulunurken, ticari grupta dikey şişe soğutucular (farklı litrelerde) ve yatay soğutucular (dondurma dolapları) üretilmektedir. Ürünlere ait detaylı görseller aşağıdaki gibidir. (Şekil 3.4-3.7)



Şekil 3.4. Üretilen ev tipi yatay ürünler.



Şekil 3.5. Üretilen ev tipi dikey ürünler.



Şekil 3.6. Üretilen ticari yatay ürünler.



Şekil 3.7. Üretilen ticari dikey ürünler.

Soğutucu fabrikada 2 farklı üretim hattı bulunmaktadır. 1. hatta ev tipi ürünler; 2. Hatta ise ticari ürünler üretilmektedir. Üretim planlama yapılırken ürünlerin termin tarihleri de dikkate alınarak ürünler kümelenip üretim yapılmaktadır. Örneğin aynı üretim hattı üzerinde yatay ev tipi ürünü ile dikey ev tipi ürünü aynı anda üretilmemektedir. Hem üretim kaybına neden olmaktadır hem de iki farklı üründe montaj istasyonlarının yeri ve sayısı değişebilmektedir. Bu nedenle üretim planı yapılırken yatay ev tipi üretimler bir zaman aralığında dikey ev tipi ürünler bir zaman aralığında üretilmektedir. 2. üretim hattında da aynı durum geçerlidir.

Üretim süreci dış gövde sacının boy kesimi ile başlamaktadır. Gelen sac bobinleri, üretilen ürüne uygun boyutlarda kesilerek, gövde sacı gövde hattına, kapı sacı ise kapı hattına gönderilmektedir. Gövde hattına giden sac, tek makinede bükülüp delikler açılarak işlem görür ve montaj bandına gönderilir. Kapı sacı ise kapı gruplama hattına yönlendirilir. Bu birimde kapı sacı, kapı plastik levha (thermoform) ile birleştirilip içine poliüretan basılarak kapı haline getirilir ve uygun montaj hattına gönderilir. Dikey ticari grup ürünlerde kapılar cam ve profillerden oluşmaktadır. Camlar dış tedarikçiden temin edilirken, profiller alüminyum ise dış tedarikçiden, plastik profil ise fabrika içindeki ekstrüzyon biriminden sağlanmaktadır.

Yatay gruplara ait ürünlerde ise iç gövde sacları bulunmaktadır. Bu saclar kesme makinesinde kesilerek caka ve kenet işlemlerine tabi tutulur. Caka'da kenarları bükülen saclar, kenette ise bükülen kenarlar birbirine sabitlenir. Bu iç gövde sacı, taban sacı ile gruplanarak eva sarım makinelerine gönderilir. Eva sarım makinelerinde, iç gövdenin etrafına soğutma boruları sarılır. Hazırlanan bu iç gövde, ev tipi ürünler için montaj bandı 1'e; ticari yatay ürünler için ise montaj bandı 2'nin ilk istasyonuna gönderilir.

Montaj bandı 1 ve 2'de ayrı ayrı poliüretan tesisleri bulunmaktadır. Bu tesislerde, iç gövde ile dış gövde arasına yalıtım köpüğüne benzer bir madde sıkılmaktadır. Bu madde, soğutma yalıtımı sağlamak için uygulanır. Her iki bantta da poliüretan öncesinde iç gövdeye soğutma için gerekli hammadde ve yarı mamuller takılır ve iç gövde ile dış gövde sabitlenip poliüretan tesisine

gönderilir. Her tesiste 6 adet olmak üzere toplamda 12 adet dolum başlıklı makine bulunmaktadır. Bu tesisten çıkan ürünlere artık dıştan görülebilecek hammadde ve yarı mamuller takılır. Örneğin, ev tipi dikey ürünlerde çekmeceler yerleştirilir. Soğutma borularına gazlar basılarak ürünler teste tabi tutulur. Testi geçen ürünler ambara alınmak için MSK (ambalajlama) makinesine; testten geçemeyen ürünler ise tamir bandına gönderilir.

Tesis içerisinde montaj bantlarına ilave olarak bir mekanik hattı da bulunmaktadır. Bu hatta metal yarı mamul parçaları preslerde basılmakta ve yarı mamuller montaj bandı üzerindeki uygun iş istasyonuna gönderilmektedir. Ayrıca, tesis içerisinde plastik enjeksiyon bölümü de yer almaktadır. Bu bölümde üretimin %90'ını kapsayan plastik parçalar üretilmekte, geri kalan %10'luk kısım ise dış tedarikçiden temin edilmektedir. Plastik ekstrüzyon ve conta makineleri de mevcuttur. Ticari grupların kapı profilleri plastik ise fabrika içerisinde üretilmekte, alüminyum profil ise dışarıdan temin edilmektedir. Conta makinesinde ise kapılara takılan plastik contalar üretilip kapı gruplama birimine gönderilir. Gruplama adı altında toplanan küçük işçiliklerin yapıldığı bir bölüm de mevcuttur. Örneğin, dışarıdan rulo halinde gelen kablolar uygun boyutlarda kesilip, terminal ve konnektörler basılarak montaj bandına gönderilir. Üretime ait yerleşim planı Şekil 3.9'da yer almaktadır.

Nitelikli üretimde verimliliği artırmak için katma değeri olmayan işleri ve fazla stokları azaltmak büyük önem taşımaktadır. Özellikle montaj hatlarındaki verimsizlikte tesis içi lojistiğin rolü büyüktür. Zaman, malzeme taşınırken montaj hatlarında kritik önem taşır; bu süreçteki verimsizlik ve artan taşıma maliyetleri üretimi olumsuz etkilemektedir. Yalın üretim, müşteri odaklı ve maliyeti minimize eden bir tekniktir. Bu yöntemde gereksiz taşıma ve stok tutma en büyük israf kalemleridir. İç lojistikteki taşımalarda miktar ve sürenin azaltılması gerekir. Milk-run ile gereksiz taşıma engellenir, en kısa rota belirlenir ve taşıma planları standart hale getirilerek verimsiz işler ortadan kaldırılır.

Sersim bünyesinde, iki paralel montaj hattında farklı derin dondurucu modelleri üretilmektedir. Üretimde ortak ve özel malzemeler kullanılırken bazıları dış tedarikten, bazıları yan birimlerden temin edilmektedir. Malzeme taşınırken birden fazla araç kullanılıp bu süreçte zaman kaybı yaşanabilmektedir. Bu zaman kaybı ve stok artışı verimliliği düşürürken, gereksiz maliyetlere yol açmaktadır. Ayrıca, fazla malzeme montaj hattında ara stok oluşturarak çalışma performansını düşürebilir ve gereksiz kayıplara neden olabilmektedir. Eksik malzeme ise üretimi durdurabilmektedir. Bu nedenle, montaj hatlarında malzeme taşıma süresini azaltacak, ara stokları düşürecek, taşıma araçlarının tur sayısını minimize edecek yeni bir matematiksel model önerilip

Milk-run sistemiyle iç rotalar oluşturulmuştur.

Montaj hattı istasyonlarında ara stoklar birer birer tüketilerek nihai ürüne dönüşürken, tüketim hızı üretim ve taşıma hızıyla dengeli olmalıdır. Tüketim hızının üretim hızından daha yavaş olması ara stok olmaksızın çalışabilmeyi sağlarken, tam tersi durum stok tutma zorunluluğunu doğurmaktadır. Firma için ikinci durum geçerlidir. Firma, talebi karşılayabilmek için stok tutmak, fazla mesai yapmak, fason üretim gerçekleştirmek ve bazı dönemlerde vardiya sayısını artırmak zorunda kalmaktadır. Stoğu tutulan yarı mamullere örnek olarak yatay ev tipi ürünlerine ait kapıdır. Şekil 3.8’de yer almaktadır.



Şekil 3.8. Fazla üretilen yatay ev tipi ürününe ait kapı yarı mamülü.

Satış ekibinin siparişi aktarmasıyla başlayan süreçte ürün reçeteleri oluşturulmaktadır. Planlama ekibi, ilgili mamulün uygun termininde yapılması için hammadde malzeme ihtiyaç planlaması (MRP) çalıştırıp üretim planına almaktadır. Üretimi gelen mamul için yarı mamul iş emirleri oluşturulmaktadır. Oluşan iş emirlerine uygun yarı mamuller fabrika içindeki atölyelerde yapılmaktadır. Ancak, yarı mamullerin iş atölyesine ne zaman girip ne zaman çıktığına dair veri bulunmamaktadır. Yeni bir sistem altyapısına geçildiği için yarı mamul stokları da düzgün tutulamamakta ve fazlaca stok birikimi yaşanmaktadır. Yarı mamul stoklarının fazla olması iş gücü, hammadde, depolama yeri gibi kayıplara neden olurken, yarı mamul eksikliği üretimde aksamalara yol açmaktadır.

Sersim firması, soğutma ürünleri üretiminde çeşitli zorluklarla karşılaşmakta ve bu zorlukları aşmak için çeşitli yöntemler geliştirmektedir. Yalın üretim teknikleri ve Milk-run sistemi, iç lojistik süreçlerini optimize ederek üretim verimliliğini artırmayı hedeflemektedir.

Ayrıca, yarı mamul stok yönetiminin iyileştirilmesi ve üretim planlamasının daha etkin yapılması, üretim sürecinde yaşanan aksaklıkların önüne geçmek için kritik öneme sahiptir. Firma, bu stratejileri uygulayarak hem üretim maliyetlerini azaltmayı hem de müşteri taleplerini zamanında karşılamayı amaçlamaktadır.

Sersim firması, üretim süreçlerini optimize etmek ve verimliliği artırmak için teknolojik yatırımlara büyük önem vermektedir. Otomasyon sistemlerinin kullanımı, manuel işçilikten kaynaklanan hataları azaltırken, üretim hızını ve doğruluğunu artırmaktadır. Özellikle montaj hatlarında kullanılan robotik kollar ve otomatik yönlendirmeli araçlar (AGV'ler), malzeme taşımada zaman kaybını minimuma indirerek üretim sürecini hızlandırmaktadır. Otomasyon sistemleri ayrıca, gerçek zamanlı veri toplama ve analiz imkanı sağlayarak, üretim süreçlerinin sürekli izlenmesine ve iyileştirilmesine olanak tanımaktadır. Bu sayede, üretimdeki darboğazlar hızlı bir şekilde tespit edilip giderilebilmekte, genel verimlilik artırılmaktadır.

Firma, çalışanlarının bilgi ve becerilerini sürekli olarak geliştirmek amacıyla kapsamlı eğitim ve gelişim programları düzenlemektedir. Üretim süreçlerinde kullanılan yeni teknolojiler ve yöntemler hakkında düzenli olarak eğitimler verilmekte, çalışanların bu yeniliklere hızlı bir şekilde adapte olması sağlanmaktadır. Ayrıca, yalın üretim prensipleri ve sürekli iyileştirme (Kaizen) felsefesi, çalışanların günlük iş rutinlerine entegre edilmektedir. Bu eğitim programları, çalışanların motivasyonunu artırmakta ve firmanın genel performansını yükseltmektedir. Eğitimlerle desteklenen personel, sorunlara hızlı çözümler üretebilmekte ve üretim süreçlerinde daha etkin rol almaktadır.

Sersim firması, üretim süreçlerinde çevre dostu uygulamaları benimsemekte ve sürdürülebilirlik ilkesine büyük önem vermektedir. Üretimde kullanılan malzemelerin geri dönüştürülebilir olması ve enerji verimliliği sağlayan teknolojilerin kullanımı, çevresel etkileri minimuma indirmektedir. Firma ayrıca, atık yönetimi konusunda da titiz bir yaklaşım sergilemekte ve atıkların geri dönüşümünü sağlamak için çeşitli projeler yürütmektedir. Sosyal sorumluluk alanında ise, yerel topluluklarla iş birliği içinde çeşitli sosyal projelere destek verilmekte, bölgesel istihdamın artırılmasına katkı sağlanmaktadır. Bu projeler, firmanın toplumsal duyarlılığını ve sürdürülebilirlik konusundaki kararlılığını göstermekte, uzun vadeli bir iş stratejisinin parçası olarak hayata geçirilmektedir.

Sersim firması, soğutma ürünleri üretiminde çeşitli zorluklarla karşılaşmakta ve bu zorlukları aşmak için çeşitli yöntemler geliştirmektedir. Yalın üretim teknikleri ve Milk-run sistemi, iç lojistik süreçlerini optimize ederek üretim verimliliğini artırmayı hedeflemektedir.

Ayrıca, yarı mamul stok yönetiminin iyileştirilmesi ve üretim planlamasının daha etkin yapılması, üretim sürecinde yaşanan aksaklıkların önüne geçmek için kritik öneme sahiptir. Firma, bu stratejileri uygulayarak hem üretim maliyetlerini azaltmayı hem de müşteri taleplerini zamanında karşılamayı amaçlamaktadır.



4. YÖNTEM

Bugünün endüstrisinde şirketler, değişken rekabet koşullarında ayakta kalabilmek için müşteri taleplerine uygun, kaliteli ve düşük maliyetli ürünleri istenilen sürede üretebilmeliler. Nitelikli üretimde verimliliği artırmak için katma değeri olmayan işleri ve fazla stokları azaltmak önemlidir. Özellikle montaj hatlarındaki verimsizlikte tesis içi lojistiğin rolü büyüktür. Zaman, malzeme taşınırken montaj hatlarında kritik önem taşır; bu süreçteki verimsizlik ve artan taşıma maliyetleri üretimi olumsuz etkiler. Bu verimsizliği önlemek amacıyla bazı teknikler bulunmaktadır.

4.1. Yalın Üretim

Yalın üretim, müşteri odaklı ve maliyeti minimize eden bir tekniktir. Bu yöntemde gereksiz taşıma ve stok tutma en büyük israf kalemleridir. Yalın üretim, fabrika içerisinde yapılan gereksiz taşıma, katma değeri olmayan işlerin ve israfların ortadan kaldırılmasını hedeflemektedir. Yalın üretim teknikleri aşağıdaki gibidir. (Şekil 4.1.)



Şekil 4.1. Yalın üretim.

4.1.1. JIT (Just In Time) Tam zamanında Üretim

Tam zamanlı üretim (Just In Time) müşterinin istediği zamanda minimum stok ile gereksiz tüm işlerin ve maliyetlerin ortadan kaldırılarak üretimin yapılmasını amaçlamaktadır. İhtiyaç duyulan

malzemenin istenilen miktarda, ihtiyaç duyulduğu zamanda doğru yere götürülmesini hedefler. Hammadde ya da yarı mamul stoklama az olduğu için hem tesis yerleşiminin daha iyi olmasına hem de stok maliyetinin azalmasına olanak tanır.

4.1.2. Kaizen

Kaizen sürekli iyileştirme anlamı taşımaktadır. Amacı üretimdeki süreçlerin küçük adımlarla daha iyi yere taşımaktır. Yatırımlar ya da ekstra maliyetler oluşturarak değil, takım çalışması ile iyileştirme yapmayı hedeflemektedir.

4.1.3. Heijunka (Üretim Hattı Dengeleme)

Kelime anlamı seviyelendirme anlamı taşımaktadır. Mevcuttaki siparişler için üretim seviyelendirilerek yapılmaktadır. Seviyelendirme yapılarak üretim kaynaklarının daha verimli kullanılması sağlanmaktadır. Üretimdeki talep değişkenliğinde hızlı cevap verebilmek adına üretimle eş zamanlı stok birikimi olmadan üretim yapılmasını mümkün kılmaktadır.

4.1.4. Muda

Yalın üretim sisteminde Muda olarak bilinen yaygın olarak belirlenen temel 7 israf türüdür. Bunlar aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Hatalı üretim: Üretilen hatalı ürünün tamire dönmesi ya da hurdaya ayrılması firma için zaman kaybına neden olurken maliyeti de artırmaktadır.
- Fazla üretim: İhtiyaçtan fazla üretim yapılması depo stoklarını artırıp, stok maliyeti oluşmasına neden olmaktadır.
- Fazla stok: Üretim ihtiyacından fazla olan hammadde, yarı mamul ya da tamamlanmış mamül stokları maliyetlerin artmasına neden olmaktadır.
- Gereksiz işler: Ürünün üretilmesiyle başlayıp müşteriye ulaşması ile son bulan süreçte katma değeri olmayan tüm işlerdir.
- Gereksiz taşıma: Ekipman, hammadde, yarı mamul ve mamülün gereksiz yere taşınması israftır.
- Gereksiz hareket: İyi planlanmamış işler yüzünden gereksiz insan hareketleri iş gücü kaybına, ihtiyaç duyulan malzemenin yerinin belli olmaması nedeniyle yapılan arama zaman kaybı

oluşturmaktadır.

- Bekleme: Bir hat içinde bekletilen hammadde, yarı mamul ve mamül israf özelliği taşımaktadır. Ayrıca makine tamir sürelerini beklemekte israftır.

4.1.5. TPM (Toplam Önleyici Bakım)

Üretimde sistem üzerinde planlı bir şekilde bakım yapılarak, ani oluşan arızalar ve aksamaları önleyerek üretimde oluşan kayıpların azaltılmasını ve üretimin verimliliğini artırmak amacıyla kullanılan bir tekniktir.

4.1.6. 5S

5S için temiz ve düzenli bir çalışma ortamı oluşturmak ve bunu devam ettirmek için uygulanan bir tekniktir. Dağınık çalışma, temizlik eksikliği veya yapılan düzenin devam ettirilmemesi üretimde kayıplara neden olurken, maliyeti de artırabilir.

Japonya’da ortaya çıkan 5S tekniği adımları aşağıdaki gibi sıralanmaktadır. (Şekil 4.2.)

- Seiri (Ayıklama): Gerekli ve gereksiz tüm malzemelerin ayıklanması sürecidir. Güncelliğini yitirmiş evraklar, kullanılamaz durumda olan malzemeler seçilerek ne yapılacağına karar verilmelidir. Sürekli kullanımı olmayan malzemelerin kaldırılarak rahat bir çalışma ortamı sağlarken verimliliği de artırmaktadır.
- Seiton (Düzen): Kullanımı kolaylaştırmak amacıyla sürekli ihtiyaç oluşan ekipman ve malzemeler dizilmeli ve belli bir yerleri olmalıdır. İhtiyaç oluştuğunda hemen ulaşılacak olmalıdır.
- Seiso (Temizlik): Çalışma ortamı her türlü kirden, pislikten ve tozdan uzak olmalıdır. Temizlenecek yerler ve temizleyecek kişiler belirlenerek teçhizat sağlanıp temizlik yapılmalıdır. Hem hijyen açısından hem de temizliği yapılmayan ekipmanların bozulma riskine karşı önem arz etmektedir.
- Seiketsu (Standartlaştırma): Bu adım bundan önceki 3 adımın standart olarak belli periyotlarda yapılması gerektiğini belirtmektedir.
- Shitsuke (Disiplin): Yapılan tüm işlerin devamlılığının sağlanması amaçlanmıştır. Belirli zamanlarda denetleme, eğitim yapılarak yapılan işlerin gündemde tutulması sağlanmaktadır.



Şekil 4.2. 5S.

4.1.7. Takım Çalışması

Çalışma hayatında takım çalışması önem arz etmektedir. Günümüzde pek çok iş takım çalışması gerektirmektedir. Birbiri ile eş zamanlı çalışan birbirine güvenen bir ekip ile yapılacak işler daha kısa sürede tamamlanabilmektedir. Çalışanların bulundukları geri bildirimler ise olası sorunlar tespit edilerek önlem alınabilmektedir.

4.1.8. Jidoka (Otonomasyon)

Hata ortaya çıkmadan operatörleri uyararak, oluşan üretim kayıplarını engelleyen bir yöntemdir. Makinelere ürettiği ürünleri kontrol etme ve hata olması durumunda gerekli uyarıları verme prensipleri üzerine kuruludur. Bu tekniğe göre çalışan her personelin hata gördüğü anda üretimi durdurma yetkisine sahiptir.

4.1.9. Kanban (Çekme sistemi)

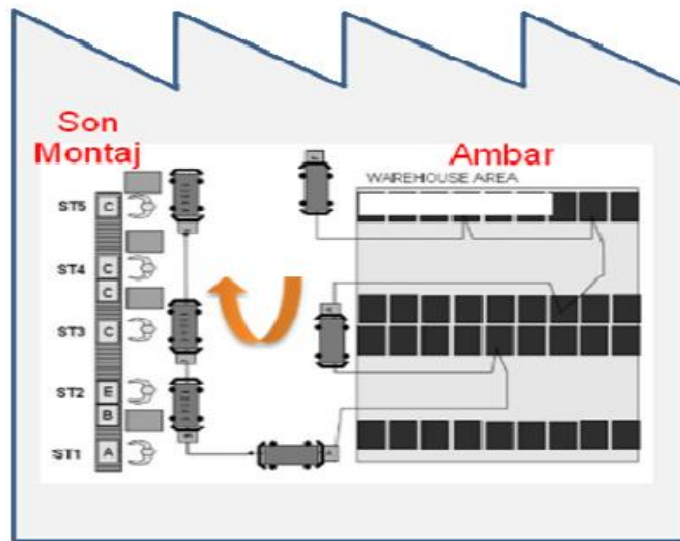
Kanban üretimde akışın sürekli sağlanabilmesi için çekme sisteminden faydalanılmaktadır. Ürünlerin termin tarihlerine uygun, kaliteli ve istenilen miktarda gerçekleşmesi için kullanılan sistemde oluşturulan kartlara verilen isimdir. Amaç üretimde bulunan sistemin kontrol edilmesi ve ara stokların önüne geçilmesidir.

Sersim bünyesinde yalın üretim uygulamalarına yeni başlanmıştır. Henüz ilk aşamada 5S uygulanmaktadır. 5S Çalışan personelin kullanacağı malzemeleri arayarak vakit kaybetmesini önleyecek bir düzen kurulmasıdır. Bunun için belirli zaman aralıklarında danışmanlar tarafından denetlemeler yapılarak ödüller verilerek teşvikler artmaktadır.

4.2. Milk run

Milk run yalın üretim uygulamaları arasında yer almaktadır. Dış lojistik ve iç lojistik olmak üzere 2 çeşitte olmaktadır. İhtiyaç duyulan malzemelerin taşıyıcı araçlarla en verimli olacak şekilde taşınmasıdır. İç lojistikteki taşımalarda miktar ve sürenin azaltılması gerekir. Milk-run, gereksiz taşımayı engeller, en kısa rotayı belirler ve taşıma planlarını standart hale getirerek verimsiz işleri ortadan kaldırır. İç milk run da tesis büyüklüğüne bağlı olarak tek bir döngüde olması mümkün olmaması durumunda birden fazla döngü oluşturulabilir. Bu durumlarda üretimde sıkıntı yaratmayacak şekilde belirli bir zaman periyodunda, uğranılacak istasyonları vb. diğer kriterleri sağlayacak şekilde olmalıdır.

Şekil 4.3.' te belli bir rotada malzemelerin periyotlar halinde belirli istasyonlardan düzenli bir şekilde ambardan malzemenin taşınması yer almaktadır.



Şekil 4.3. Milk-run iç lojistik.

4.3. Hat dengeleme

Ürünler birden çok hammadde ve malzemelerin bir araya gelmesiyle oluşmaktadır. Malzemelerin iş akışı boyunca montaj donanımı, iş gücü ve gelen malzeme ile hat boyunca sırasıyla birleştirme işlemi ile oluşan sisteme **montaj hattı** denir. Montaj hattı başında çalışan personele hammadde malzemeleri ile fabrika içerisinde işlenen yarı mamuller bant üzerinde önüne gelir ve istasyona ait iş ögesi o personel tarafından yapılarak sonuçta nihai ürün ortaya çıkar.

Hatların verimli çalışması için çalışan personel önünde dar boğaz oluşmayacak ve iş

istasyonları arasındaki süre farkının en az olması için montaj hatlarında düzeltmeler yapılması gerekebilir. Bu düzeltme işlemlerine **montaj hattı dengeleme** denir.

Hat boyunca tüm iş istasyonlarına geçen süre eşit ise hat dengelidir denilebilir. Ancak iş istasyonları arasında süre eşit değilse hattın çıktısını belirleyen iş istasyonu en yavaş istasyondur. Bu istasyon genellikle hatlarda dar boğaza neden olmaktadır. Dar boğaz dışındaki tüm işlemler boşa harcanmış kapasiteyi oluşturmaktadır.

Yapılması gereken işler ve bu işlerin sırası belli olduktan sonra işler arasında öncelik sıralaması dikkate alınarak işlerin optimize edilecek şekilde sıralı işlere atanması problemine **montaj hattı dengeleme problemi** denir. Hat üzerindeki tüm iş istasyonlarının süreleri hattın çevrim süresine eşit ise o hat dengelenmiştir denilebilir.

Montaj hattı dengeleme problemleri süre ve kaynak kullanımını etkilemektedir. Bu etkenler üretim kapasitesini, ürün maliyetini ve müşteriye teslim zamanını doğrudan etkilediği için üretimde önemi oldukça yüksektir.

4.4. Matematiksel Modeller

Literatürde bulunan ve her biri ele alınan asıl problemin bir alt problemi olan 3 problem için matematiksel modeller incelenmiştir. 3 modelin karar değişkenlerinin birbirleri ile uyumlu hale getirilerek asıl problem için matematiksel model tasarlanmıştır. Söz konusu 3 modelin karar değişkenleri aşağıda listelenmiştir.

- İş atölyesi üretim miktarları (parti büyüklükleri) ve üretim tamamlanma zamanları,
- Araçların atölyelerden ve süpermarketlerden ara stokları alıp montaj hattı istasyonlarına dağıtım ve boş paletleri/rafları toplama rotaları,
- Montaj hattı iş öğelerinin istasyonlara dağıtılması,

Sersim’de müşteri talebini karşılayacak şekilde ürün üretilmektedir. Sisteme siparişin aktarılması ile süreç başlar. Aktarılan siparişe uygun hammadde ve yarı mamul ihtiyaçları belirlenir. Şirket içinde yapılan yarı mamuller için küçük atölye diyebileceğimiz iş istasyonları mevcuttur. Bu iş istasyonlarının bazılarında tek makine bulunurken bazılarında birden fazla makine bulunmaktadır. Oluşan iş emirleri ile yapılan yarı mamuller montaj bandına gönderilmektedir. Çok fazla çeşitte ürün üretildiği için şirket içinde farklı çok fazla yarı mamul stokları bulunmaktadır. Makinelere ait iş yükleri eşit olmayıp,

beklemeler ve ara stoklar fazla olabilmektedir. Bu iş atölyelerine ve montaj hatlarına taşınan hammadde ve yarı mamuller üretimde aksama olmaması adına belirli bir zaman aralığında dağıtılmalı ve boş kutu, palet gibi taşıma araçları da toplanmalıdır. Hammadde ve yarı mamuller tamamlandıktan sonra montaj hatlarına gönderilir ve üretim yapılır. Bu sürecin sorunsuz ilerleyebilmesi için atölye tipi çizelgeleme, topla-dağıt ve zaman pencereli araç rotalama ve montaj hattı dengeleme modelleri bir arada kullanılarak tek bir matematiksel model oluşturulmuştur.

4.4.1. Model A: Atölye tipi makine çizelgeleme problemi

Montaj hattının tüketeceği yarı mamulleri üretecek olan iş atölyelerinde üretim çizelgeleme problemi olarak atölye tipi üretim çizelgeleme problemi uygun görülmüştür. Bu uygunluğun nedenleri ise yarı mamullerin üretilmesi için kesin bir makine rotasını ziyaret etmeleri gerekmektedir. Bu durum aynı işe ait operasyonların arasında bir öncelik ilişkisi olduğu manasına gelmektedir. Kendi çalışmamızda esinlendiğimiz, faydalandığımız ve kendi problemimize uyarladığımız atölye tipi çizelgeleme problemi matematiksel modeli Liao ve You' nun [36] çalışmasından almış bulunmaktayız. Bu model aşağıdadır.

n : başlangıçta işlenmesi istenilen iş miktarı

m : atölyedeki makine sayısı

J_i : i işine ait iş numarası

M_k : k makinesi numarası

p_{ik} : i işinin k makinesindeki işlem zamanı

r_{ilk} : i işinin l sırasındaki operasyonu k makinesini gerektiriyorsa 1; diğer türlü 0.

x_{ik} : i işinin k makinesindeki başlangıç zamanı

z_{ijk} : yardımcı karar değişkeni

M : keyfi ve yeteri büyüklükte bir sayı

C_i : i işinin tamamlanma zamanı

C_{max} : yayılma zamanı

y_{ijk} : k makinesinde i işi j işinden önce işlenmiş ise 1; diğer türlü 0.

$$\text{Minimize } C_{max} \quad (130)$$

$$\sum_{k=1}^m r_{ilk}(x_{ik} + p_{ik}) \leq \sum_{k=1}^m r_{i,l+1,k}x_{ik} \quad i = 1,2, \dots, n \quad l = 1,2, \dots, m-1 \quad (131)$$

$$My_{ijk} + (x_{ik} - x_{jk}) - p_{jk} = z_{ijk} \quad 1 \leq i < j \leq n \quad k = 1,2, \dots, m \quad (132)$$

$$z_{ijk} \leq M - p_{ik} - p_{jk} \quad 1 \leq i < j \leq n \quad k = 1,2, \dots, m \quad (133)$$

$$\sum_{k=1}^m r_{imk}(x_{ik} + p_{ik}) \leq C_i \quad i = 1,2, \dots, n \quad (134)$$

$$C_{max} \geq C_i \quad i = 1,2, \dots, n \quad (135)$$

$$z_{ijk} \geq 0, x_{ik} \geq 0, y_{ijk} \in \{0,1\} \quad i = 1,2, \dots, n \quad j = 1,2, \dots, n \quad k = 1,2, \dots, m \quad (136)$$

Yukarıdaki model çizelgenin yayılma zamanını en aza indirmek üzere tasarlanmıştır. Amaç fonksiyonu (130) bunun içindir. Kısıt (131) herhangi bir işe ait olan bir operasyonun başlama zamanının daha önce yapılması gereken aynı işin başka bir operasyonundan daha önce olmasını gerekliliğini garanti altına almaktadır. Kısıtlar (132) ve (133) herhangi bir zamanda bir makineden sadece bir işin işlenebilmesi gerekliliğini sağlamak içindir. Kısıt (134) işlere ait tamamlanma zamanlarını takip etmek içindir. Kısıt (135) çizelgenin yayılma zamanını hesaplamak içindir. Kısıt (136) karar değişkenlerine ait işaret sınırlandırmasını göstermek içindir.

4.4.2. Model B: Topla, Dağıt ve Zaman Pencereli Araç Rotalama Problemi

Ara stokların üretiminin gerçekleştiği iş atölyeleri ve süpermarketlerden ürünlerin toplanarak araçlar ile montaj istasyonlarına dağıtılması ardından boş palet, kutu veya rafların istasyonlardan toplanarak bir sonraki seferde kullanılmak üzere atölyelere ve süpermarketlere bırakılması gerekmektedir. Bu nedenle asıl probleme ait bu alt problem bir zaman pencereli topla dağıt araç rotalama problemidir. Kendi çalışmamızda esinlendiğimiz, faydalandığımız ve kendi problemimize uyarladığımız araç rotalama problemi matematiksel modeli Toth ve Vigo' nun [35] çalışmasından almış bulunmaktayım. Bu model aşağıdadır.

Ele alınan problemin modellenmesinde kullanılacak olan notasyon $G = (V, A)$ şeklindeki graf üzerinden tanıtlılacaktır. Bu grafa V toplama ve dağıtma düğümlerini içeren küme, A düğümler arasındaki ayrıtları içeren kümedir. Toplama düğümlerinin kümesi $P = \{1, \dots, n\}$, dağıtma

düğümünün kümesi $D = \{n+1, \dots, 2n\}$ ve depo düğümleri $\{0, 2n+1\}$ şeklindedir. Her bir i talebi toplama noktası $i \in P$ 'den q_i kadar bir taşıma miktarını $n+i \in D$ noktasına bırakmayı içermektedir. Ayrıca negatif olmayan s_i servis süresi ayrıca her bir $i \in V$ düğümü ile ilişkilidir. Genel olarak şunları varsayıyoruz; $s_0 = s_{2n+1} = 0$, $q_{n+i} = -q_i$ ve $q_0 = q_{2n+1} = 0$. Her düğüm i için toplama ve dağıtma işlemi için tanımlı olan $[a_i, b_i]$ zaman penceresi tanımlıdır. Her ayrıt $(i, j) \in A$ için rotalama maliyeti c_{ij} ve seyahat süresi t_{ij} tanımlıdır. L_k k aracı için izin verilen maksimum rota süresi olarak tanımlı olsun. Her ayrıt $(i, j) \in A$ ve her araç $k \in K$ için x_{ijk} , i düğümünden j düğümüne k aracı ile gidilip gidilmediğini takip eden ikili karar değişkenidir. T_{ik} i düğümüne k aracı ile servise başlamanın zamanını ifade etmektedir. Q_{ik} ise k aracının i düğümünü ziyaret ettikten sonraki yükünü ifade etmektedir.

$$\text{minimize} \quad \sum_{k \in K} \sum_{i \in V} \sum_{j \in V} c_{ij} x_{ijk} \quad (137)$$

s.to:

$$\sum_{k \in K} \sum_{j \in V} x_{ijk} = 1 \quad \forall i \in P, \quad (138)$$

$$\sum_{j \in V} x_{ijk} - \sum_{j \in V} x_{n+i, jk} = 0 \quad \forall i \in P, k \in K, \quad (139)$$

$$\sum_{j \in V} x_{0jk} = 1 \quad \forall k \in K, \quad (140)$$

$$\sum_{j \in V} x_{jik} - \sum_{j \in V} x_{ijk} = 0 \quad \forall i \in P \cup D, k \in K, \quad (141)$$

$$\sum_{i \in V} x_{i, 2n+1, k} = 1 \quad \forall k \in K, \quad (142)$$

$$T_{jk} \geq (T_{ik} + s_i + t_{ij})x_{ijk} \quad \forall i \in V, j \in V, k \in K, \quad (143)$$

$$Q_{jk} \geq (Q_{ik} + q_i)x_{ijk} \quad \forall i \in V, j \in V, k \in K, \quad (144)$$

$$T_{n+i, k} - T_{ik} - s_i - t_{i, n+i} \geq 0 \quad \forall i \in P, \quad (145)$$

$$T_{2n+1, k} - T_{0k} \leq L_k \quad \forall k \in K, \quad (146)$$

$$a_i \leq T_{ik} \leq b_i \quad \forall i \in V, k \in K, \quad (147)$$

$$\max\{0, q_i\} \leq Q_{ik} \leq \min\{Q_k, Q_k + q_i\} \quad \forall i \in V, k \in K \quad (148)$$

$$x_{ijk} \in \{0, 1\} \quad \forall i \in V, j \in V, k \in K \quad (149)$$

Amaç fonksiyonu (137) toplam rotalama maliyetini en küçükmek içindir. Kısıtlar (138) ve (139) her bir düğümün talebini karşılamak üzeredir. Ayrıca aynı düğüme ait toplama ve dağıtma işlemi için aynı aracın kullanılmasını garanti altına almaktadırlar. Kısıtlar (140-142) tüm rotaların başlangıç deposundan başlayıp bitiş deposunda bitiyor olduğunu garanti altına alır. Kısıtlar (143) ve (144) araç yüklerinin ve zamanlarının sürekliliğini sağlamaktadır. Öncelik kısıtları kısıt (145) ile sağlanır. Kısıt (146) her araca ait rotanın süre uzunluğunu sınırlandırır. Kısıtlar (147-148) zaman penceresi ve kapasite kısıtları içindir. Kısıt (149) modele ait karar değişkeninin işaret sınırlamasıdır.

4.4.3. Model C: Montaj hattı dengeleme problemi

İşletmedeki montaj hatları literatürde düz ve tip-1 olarak geçen verilen bir çevrim süresine göre istasyonlarda montaj işleminin yapıldığı montaj dengeleme problemine uymaktadır. Bu nedenle aşağıda iyi bilinen matematiksel modelin çalışmada ihtiyaçlara göre yeniden tasarlanması planlanmaktadır.

i, r, s : görev indisleri

k : istasyon indisi

C : Çevrim zamanı

K_{max} :Maksimum istasyon sayısı

N : görev sayısı

t_i : görev i işlem süresi

S : öncelik ilişkileri kümesi $(r,s) \in S$

x_{ik} : i görevi k istasyonuna atanırsa 1, diğer türlü 0.

z_k : k istasyonu aktif ise 1, diğer türlü 0.

$$\text{minimize } \sum_{k=1}^{K_{max}} z_k \quad (150)$$

$$\sum_{k=1}^{K_{max}} x_{ik} = 1 \quad \forall i \quad (151)$$

$$\sum_{i=1}^N x_{ik} t_i \leq C z_k \quad \forall k \quad (152)$$

$$\sum_{k=1}^{Kmax} (x_{rk} - x_{sk}) \leq 0 \quad \forall (s, k) \in S \quad (153)$$

$$x_{ik}, z_k \in \{0,1\} \quad \forall i \forall k \quad (154)$$

Amaç fonksiyonu (150) açılan istasyon sayısını en küçükleme içindir. Kısıt (151) her montaj görevinin sadece bir istasyona atanması gerektiğini söylemektedir. Kısıt (152) herhangi bir istasyon açılmış ise o istasyona atanan görevlerin toplam zamanının en fazla çevrim zamanı kadar olması gerektiğini ifade etmektedir. Kısıt (153) aralarında öncelik ilişkisi bulunan görevlerin istasyon atamalarının bu ilişkiyi göz önünde bulunduracak şekilde yapılması gerektiği ifade etmektedir. Kısıt (154) ise karar değişkenlerinin işaret sınırlamasıdır.

4.4.4. Model D: Asıl probleme ait matematiksel model

Yukarıda tanıtılan 3 matematiksel model tek bir amaç fonksiyonuna bağlı ve karar değişkenleri birbirleri ile uyumlu olacak şekilde yeniden tasarlanarak tek bir matematiksel model haline getirilmiştir. Model C’de görevlerin tamamlanma zamanları takip edilmemektedir bu nedenle de tüketilen ara stokların hangi hızla tüketildiği ve ne zaman hatta yeni besleme yapılması gerektiği bilinmemektedir. Burada yapılan düzenlemeler ile hat istasyonlarının ne zaman hangi ürünler beslenmesi gerektiği belirlenmiştir. Elde edilen bu bilgiler model B’de zaman penceresi oluşturmada kullanılmıştır. Bu zaman penceresinde ara stok sevkiyatı yaparak boş palet, raf ve kutuların istasyonlardan toplanabilmesi için hem araç rota süresinin hem de atölyelerin üretim zamanlarının uyumlu olması gerekmektedir. Bu durumda model A’da işlerin tamamlanma zamanları da sevkiyatın zaman penceresi içerisinde olabilmesine imkan verecek şekilde olmalıdır. Model A işlerin tek birer parça olarak düşünüldüğü durum için tasarlanmıştır. Her bir çizelgeleme işinin aslında bir ara stoka ait parti olarak tasarlanabilmesi için iş istasyonlarına sevkiyat yapılacak parti büyüklüklerinin ve sıklıklarının belirlenmesi gerekmektedir. Bu durumda Milk-Run yöntemi ile parti büyüklükleri ve sıklıkları belirlenerek arından bu yeni parametrelere göre üç model yeniden tasarlanarak çok amaçlı yeni bir matematiksel model ortaya konulmuştur.

Kümeler ve İndisler

M : Makine sayısı

K : İstasyon sayısı

PM : Pickup makine düğümü kümesi {1,2,3,...M}

PK	: Pickup istasyon düğümü kümesi	$\{M+1, M+2, \dots, M+K\}$
DM	: Delivery makine düğümü kümesi	$\{M+K+1, M+K+2, \dots, 2M+K\}$
DK	: Delivery istasyon düğümü kümesi	$\{2M+K+1, 2M+K+2, \dots, 2M+2K\}$
DS	: $\{0\}$ Başlangıç depo	
DE	: $\{2M+2K+1\}$ Bitiş depo	
l, d, m, k	: Düğüm indisleri (m sadece makineler için, k sadece araçlar için kullanılmaktadır)	
TD	: Tüm düğümlerin kümesi	$\{0, 1, 2, 3, \dots, M, \dots, 2M+2K+1\}$
I	: Montaj görevleri kümesi	$\{I_1, I_2, \dots, I_N\}$
i, r	: Montaj görevi indisleri	$i \in I$
j	: Yarı mamul kümesi	$\{J_1, J_2, J_3, \dots, J_W\}$
a, j	: Yarı mamul indisi	$a, j \in J$
V	: Araç kümesi	$\{V_1, V_2, V_3, \dots, V_{NN}\}$
S	: Öncelik ilişkileri kümesi	$(i, r) \in S$
IJ_i	: Montaj işi i için gerekli yarı mamul kümesi	$j \in IJ_i$
B	: Yığın kümesi	$\{b_1, b_2, b_3, \dots, b_{NB}\}$
b	: Yığın indisi	$b \in B$
v	: Araç indisi	$v \in V$

Parametreler

D	: Talep
T	: Vardiya süresi

- hbs : Hat besleme çevrim süresi
- y : Hat besleme çevrim süresi içerisinde tamamlanacak üretim adedi
- C : Çevrim zamanı (hbs' ye göre $C = C*y$)
- t_i : i montaj işine ait işlem süresi (hbs'ye göre $t_i=t_i*y$)
- TM_{mj} : Bir birim j yarı mamülünün m makinesindeki üretim süresi
- RM_{ij} : Bir birim i montaj görevi için gerekli j yarı mamul miktarı (reçete miktarı)
- $RM_{ij} = RM_{ij}*y$
- EM_{mj} : $\begin{cases} \text{Eğer m makinesi j yarımamulünü üretebiliyor ise 1,} \\ \text{Diğer türlü 0.} \end{cases}$
- KAP_M : İşlem süresi cinsinden makine m'nin her yığın için kapasitesi
- ML_d : l düğümünden d düğümüne gitme maliyeti
- TV_d : l düğümünden d düğümüne gitme süresi
- SD_d : d düğümündeki yükleme/boşaltma zamanı (servis süresi)
- VN : Taşıyıcı araç sayısı
- N : Montaj görevi sayısı
- W : Yarı mamul sayısı
- NB : Maksimum yığın sayısı

Karar değişkenleri

- X_{ik} : $\begin{cases} \text{i montaj işi k istasyonuna atanırsa 1,} \\ \text{Diğer türlü 0.} \end{cases}$

- Z_k : $\begin{cases} k \text{ istasyonu aktif ise } 1, \\ \text{Diğer türlü } 0. \end{cases}$
- CT_{ik} : i montaj işinin k istasyondaki tamamlanma süresi
- ST_{ik} : i montaj işinin k istasyondaki başlama süresi
- CC_i : i montaj işinin tamamlanma süresi
- SS_i : i montaj işinin başlangıç süresi
- U_{mbj} : $\begin{cases} J \text{ yarı mamulü } m \text{ makinesinde } b \text{ yığnında üretiliyor ise } 1, \\ \text{Diğer türlü } 0. \end{cases}$
- SM_{mj} : m makinesinde j işinin başlama zamanı
- CM_{mj} : m makinesinde j işinin bitiş zamanı
- SMB_{mbj} : M makinesinde b yığnında J işinin başlama zamanı
- CMB_{mbj} : M makinesinde b yığnında J işinin bitiş zamanı
- Q_{ldv} : $\begin{cases} l \text{ düğümünden } d \text{ düğümüne } v \text{ aracı ile gidilirse } 1, \\ \text{Diğer türlü } 0. \end{cases}$
- VT_{lv} : V aracının l düğümüne gelme zamanı
- SJ_j : J yarı mamulünün üretimine başlanılan süre
- CJ_j : J yarı mamulünün üretiminin bitiş süresi

Amaç Fonksiyonu

$$Min \text{ BigM} \sum_k Z_k + \sum_{v,l,d} Q_{l,d,v} * ML_{l,d} + \sum_i \sum_{j \in I(i,j)} (SS_i - SJ_j) \quad (155)$$

Kısıtlar

$$\sum_{k \in PK} x_{ik} = 1 \quad \forall i \in I \quad (156)$$

$$\sum_{i \in I} x_{ik} * t_i \leq C_{zk} \quad \forall k \in PK \quad (157)$$

$$\sum_{k \in PK} k(x_{ik} - x_{rk}) \leq 0 \quad \forall (i, r) \in S \quad (158)$$

$$CT_{ik} = ST_{ik} + \sum_{r \in I} x_{rk} * t_r \quad \forall i \in I, \forall k \in PK \quad (159)$$

$$ST_{ik} \geq CT_{rk-1} \quad \forall i \in I, \forall r \in I, i \neq r, \forall k \in PK \quad (160)$$

$$CC_i \geq CT_{ik} - (1 - x_{ik}) * \text{BigM} \quad \forall i \in I, \forall k \in PK \quad (161)$$

$$CC_i \leq CT_{ik} + (1 - x_{ik}) * \text{BigM} \quad \forall i \in I, \forall k \in PK \quad (162)$$

$$SS_i \geq ST_{ik} - (1 - x_{ik}) * \text{BigM} \quad \forall i \in I, \forall k \in PK \quad (163)$$

$$SS_i \leq ST_{ik} + (1 - x_{ik}) * \text{BigM} \quad \forall i \in I, \forall k \in PK \quad (164)$$

$$\sum_{m \in PM} \sum_{b \in B} U_{mbj} = 1 \quad \forall j \in J \quad (165)$$

$$U_{mbj} \leq EM_{mj} \quad \forall m \in PM, \forall j \in J, \forall b \in B \quad (166)$$

$$\sum_{j \in J} U_{mbj} * TM_{mj} * RM_{ij} \leq Kap_m \quad \forall m \in PM, \forall b \in B \quad (167)$$

$$CMB_{mbj} = SMB_{mbj} + \sum_a (U_{mba} * TM_{ma} * \sum_{i \in I} RM_{ia}) \quad \forall m \in PM, \forall b \in B, \forall j \in J \quad (168)$$

$$SMB_{mbj} \geq CMB_{mb-1a} \quad \forall m \in PM, \forall b \in B, \forall j \in J, \quad (169)$$

$$\forall a \in J, a \neq j$$

$$CM_{mj} \geq CMB_{mbj} - (1 - U_{mbj}) * \text{BigM} \quad \forall m \in PM, \forall b \in B, \forall j \in J \quad (170)$$

$$CM_{mj} \leq CMB_{mbj} + (1 - U_{mbj}) * \text{BigM} \quad \forall m \in PM, \forall b \in B, \forall j \in J \quad (171)$$

$$SM_{mj} \geq SMB_{mbj} - (1 - U_{mbj}) * \text{BigM} \quad \forall m \in PM, \forall b \in B, \forall j \in J \quad (172)$$

$$SM_{mj} \leq SMB_{mbj} + (1 - U_{mbj}) * \text{BigM} \quad \forall m \in PM, \forall b \in B, \forall j \in J \quad (173)$$

$$\sum_{l \in TD} \sum_{v \in V} Q_{ldv} = 1 \quad \forall d \in PM \cup PK \cup DM \cup DK \quad (174)$$

$$\sum_{d \in TD} Q_{ldv} - \sum_{d \in TD} Q_{m+k+l,dv} \quad \forall l \in PM \cup PK, \forall v \in V \quad (175)$$

$$\sum_{d \in TD} Q_{0dv} = 1 \quad \forall v \in V \quad (176)$$

$$\sum_{d \in TD} Q_{dlv} - \sum_{d \in tD} Q_{ldv} = 0 \quad \forall l \in PM \cup PK \cup DM \cup DK, \forall v \in V \quad (177)$$

$$\sum_{l \in TD} Q_{l,2M+2K+1,v} = 1 \quad \forall v \in V \quad (178)$$

$$VT_{lv} \geq (VT_{dv} + S_d + TV_{dl}) + (1 - Q_{ldv}) * BigM \quad \forall l \in TD, \forall d \in TD, \forall v \in V \quad (179)$$

$$VT_{M+K+l,v} - VT_{lv} - SD_l - TV_{l,M+K+l} \geq 0 \quad \forall l \in PM \cup PK, \forall v \in V \quad (180)$$

$$SS_i \geq CM_{mj} \quad \forall j \in IJ_i, \forall i \in I, \forall m \in PM \quad (181)$$

$$VT_{mv} \geq CM_{mj} - (1 - \sum_{l \in D} Q_{mlv}) * BigM \quad \forall m \in PM, \forall v \in V, \forall j \in J \quad (182)$$

$$VT_{kv} \leq S_{Tik} + (2 - \sum_{l \in D} Q_{klv} - x_{ik}) * BigM \quad \forall k \in PK, \forall v \in V, \forall i \in I \quad (183)$$

$$VT_{kv} - VT_{mv} \geq -BigM(4 - \sum_{l \in TD} Q_{mlv} + x_{ik} + \sum_{l \in TD} Q_{klv} + \sum_{b \in B} U_{mbj}) \quad \forall k \in PK, \forall m \in PM, \forall i \in I, \forall j \in J \quad \forall v \in V \quad (184)$$

$$VT_{kv} - VT_{mv} \geq 0 \quad \forall k \in PK, \forall m \in PM \quad \forall v \in V \quad (185)$$

$$VT_{dv} - VT_{kv} \geq 0 \quad \forall d \in DK, \forall k \in PK \quad \forall v \in V \quad (186)$$

$$VT_{dv} - VT_{lv} \geq 0 \quad \forall d \in DM, \forall l \in DK \quad \forall v \in V \quad (187)$$

$$CT_{ik} \leq ST_{r,k+1} \quad \forall (i, r) \in S \quad \forall k \in PK \quad (188)$$

$$X_{ik} \leq z_k \quad \forall k \in PK \quad (189)$$

$$z_k \geq z_{k+1} \quad \forall k \in PK \quad (190)$$

$$SJ_j \geq SMB_{mbj} - (1 - U_{mbj})BigM \quad \forall m \in PM, \forall b \in B, \forall j \in J \quad (191)$$

$$SJ_j \leq SMB_{mbj} + (1 - U_{mbj})BigM \quad \forall m \in PM, \forall b \in B, \forall j \in J \quad (192)$$

$$CJ_j \geq CMB_{mbj} - (1 - U_{mbj})BigM \quad \forall m \in PM, \forall b \in B, \forall j \in J \quad (193)$$

$$CJ_j \leq CMB_{mbj} + (1 - U_{mbj})BigM \quad \forall m \in PM, \forall b \in B, \forall j \in J \quad (194)$$

$$X_{ik}, Z_k, U_{mbj}, Q_{ldv} \in \{0,1\} \quad \forall i \in I, \forall k \in PK, \forall m \in PM, \quad (195) \\ \forall b \in B, \forall j \in J, \forall l \in TD, \\ \forall d \in TD \forall v \in V$$

$$CT_{ik}, ST_{ik}, CC_i, SS_i, SM_{mj}, CM_{mj}, SMB_{mbj}, CMB_{mbj}, VT_{lv} \quad \forall i \in I, \forall k \in PK, \forall m \in PM, \quad (196) \\ \geq 0 \quad \forall b \in B, \forall j \in J, \forall l \in TD, \\ \forall d \in TD \forall v \in V$$

Amaç fonksiyonu (155) açılacak olan istasyon sayısını, toplam araç dağıtım maliyetini ve iş istasyonlarının yarı mamul bekleme sürelerini en aza indirmektedir. Kısıt (156) her iş bir istasyona atanmalıdır. Kısıt (157) her iş istasyonunda yapılan işlerin toplam süresi, o istasyonun açılması durumunda en fazla çevrim zamanı kadar olmalıdır. Kısıt (158) işler istasyonlara atanırken aralarındaki öncelik ilişkisine dikkat edilmelidir. Kısıt (159) k istasyonundan i işi kendi ile beraber yapılan işlerin tamamlanması ile tamamlanmış sayılacaktır. Kısıt (160) k istasyonunun görevlere başlama zamanı, kendinden önceki istasyonun görev tamamlama zamanından büyük ve eşit orandadır. İ görevinin tamamlanma zamanı Kısıt (161-162) da yer alan eşitsizlikler ile bulunur. İ görevinin başlangıç zamanı Kısıt (163-164) da yer alan eşitsizlikler ile bulunur. Kısıt (165) her yarı mamul bir makinenin bir yığığında işlenmektedir. Kısıt (166) Eğer m makinesinde j yarı mamulü üretilir ise j yarı mamulü m makinesinin herhangi bir yığığında işlenebilir. Kısıt (167) m makinesine atanan yarı mamul üretim işlerinin işlem zamanı toplamı, makinenin kapasitesinden fazla olmamalıdır. Kısıt (168) m makinesindeki b yığığında işlenen j yarı mamulünün tamamlanma zamanının hesabı içindir. Kısıt (169) m makinesinin b yığının başlangıç zamanının kendisinden önceki yığının tamamlanma zamanından büyük veya ona eşit olmasını sağlamaktadır. Kısıt (170-173) m makinesindeki j yığının başlama ve bitiş zamanlarını bulmak içindir. Kısıt (174) her toplama noktasına uğranılacağı garanti altına alınmıştır. Kısıt (175) v aracılığıyla uğranılan l toplama noktasına yine aynı araçla dağıtım yapılacağı garanti altına alınmıştır. Kısıt (176) her aracın depodan çıkışı garanti altına alınmıştır. Kısıt (177) v aracı ile ziyaret edilen düğümden yine aynı araç ile terk edileceğini garanti altına almaktadır. Kısıt (178) v aracının son durağının araç deposu olacaktır. Kısıt (179-180) aracın ziyaret ettiği düğümler arasındaki zaman tutarlılığının korunması amaçlanmıştır. Kısıt (181) i montaj görevinin başlangıç zamanının kendisinin ihtiyacı olan yarı mamullerin

tamamlanma zamanından sonra olması içindir. Kısıt (182) v aracı ile m makinesinden alınacak yarı mamuller için m makinesine uğrama zamanının o makinedeki siparişlerin bitiş zamanından büyük veya eşit olması sağlanmıştır. Kısıt (183) v aracı ile k istasyonuna bırakılacak yarı mamuller için k istasyonuna uğrama zamanı o istasyondaki montaj görevi i için olan başlama zamanından daha küçük olmasını veya eşit olmasını sağlamaktadır. Kısıt (184) i montaj işini yapan k istasyonuna uğrama zamanı ile j yarı mamul üretimini yapan m makinesine uğrama zamanı arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Kısıtlar (185,186 ve 187) aracın önce makinelerden yarı mamulleri toplamasına ardından istasyonlara bırakmasını ve istasyonlardaki boş paletleri alarak tekrar makinelere bırakmasını sağlamaktadır. Kısıt (188) bir istasyonda yapılacak montaj işinin başlama zamanının kendinde önceki istasyonlardaki öncülünün tamamlanma zamanına eşit ya da büyük olmasını garanti altına alır. Kısıt (189) bir istasyonun açılması durumunda sadece o istasyona montaj işi ataması yapılabileceğini göstermektedir. Kısıt (190) istasyonların açılmasının ardışık şekilde yapılmasını garanti eder. Kısıtlar (191-194) yarı mamullerin üretim başlangıç ve bitiş zamanlarını hesaplamak içindir. Kısıtlar (195 ve 196) karar değişkenlerinin işaret sınırlamasını göstermektedir.

5. DENEY

Evlerde kullanılan derin dondurucu 2 farklı grupta ele alınmaktadır. Ev tipi olarak gruplanan ürünlerde dikey (çekmeceli) ve yatay (sandık tipi) derin dondurucular üretilmektedir. Ev tipi dikey derin dondurucularda kullanılan kapı hattı üzerinde bu çalışma yapılmıştır. Kapı için yıllık talep 20.000 adettir. Üretilen ürün görseli şekil 5.1.'de yer almaktadır.



Şekil 5.1. Üretilen kapı görseli.



Şekil 5.2. Kapı üretim hattı genel görünüm.

Kapı üretim hattı genel görünümü şekil 5.2 de yer almaktadır. Bu hat küçük bir konveyör

banttan oluşmaktadır. Bu bant ile diğer istasyona verme-alma işleminde zaman kaybedilmemesi amaçlanmıştır.



Şekil 5.3. Kapı poliüretan tesisi

İş öğeleri arasında 4. Sıradaki poliüretan tesisi görseli şekil 5.3.'te yer almaktadır. Tesis 6 adet kalıp takma özelliğine sahiptir. Boş olan kalıba hazırlanmış kapı sacı ve kapı plastiği yerleştirilir. Fiksür tarafından kimyasal madde sıkılır ve kalıp kapanıp döner. Ardından bir sonraki kalıp açılır, içinde kürlenmiş kapı alınıp konveyör banda konulup, boş kapı sacı ve kapı plastiği tekrar yerleştirilir. Ve bu şekilde çalışması devam eder.



Şekil 5.4. Kapı contası

Poliüretan tesisinden çıkan kapı temizlenip, üzerinde bulunan maskeleme bantları çıkarıldıktan sonra conta hattından gelen contalar kapı üzerine takılmaktadır. Takılan contaya ait görsel şekil 5.4. te yer almaktadır.

Ürün yapımında 5 adet istasyon bulunmaktadır. Bu 5 adet istasyonda kullanılmak üzere 8 adet yarı mamul bulunmaktadır ve reçete miktarı her bir yarı mamul için 1 adettir. Bu yarı mamuller 8 ayrı makinede yapılmaktadır. 1 araç ile taşımalar yapılmaktadır. Kapı hattı 3 vardiya çalışmaktadır. SDD düğümündeki yükleme/boşaltma zamanı (servis süresi) 45 sn dir. M1d 1 düğümünden d düğümüne gitme maliyeti ise 2 ₺ dir. Özet bilgi tablo 5.1.'de yer almaktadır.

Tablo 5.1. Özet bilgi.

Açıklama	Miktar
i montaj görevleri indisi	5
Makine sayısı	8
j yarı mamul kumesi	8
v arac indisi	1
Vardiya sayısı	3 (Tek vardiyada 27.000 sn)
S(i,r) Yarı mamul öncelik ilişkisi	Y1.(Y2,Y3,Y4,Y5,Y6), (Y2,Y3,Y4,Y5,Y6).(Y7),(Y7),(Y8)
Rmij reçete miktarı	Her yarı mamulden 1'er adet kullanılmaktadır.
EMm _j	1
SD _d d düğümündeki yükleme/boşaltma zamanı (servis süresi)	45 sn
M1 _d 1 düğümünden d düğümüne gitme maliyeti	2 ₺

Ürünün kapısında toplamda 8 adet yarı mamul kullanılmaktadır. Bu yarı mamuller 8 farklı makine yapılmakta olup, her bir yarı mamul için reçete miktarı (RM (i,j)) 1'er adettir. Bu yarı mamullerin makinelerde yapım süresi (TM(m,j)) Tablo 1 Kapı Yapımında Kullanılan Yarı mamuller de yer almaktadır. Tablo 5.2. 'de yer almaktadır.

Tablo 5.2. Kapı yapımında kullanılan yarı mamuller.

Kapı Yapımında Kullanılan İş Atölyelerinde Yapılan Yarı Mamuller					
Sıra	Yarı mamul kod	Yarı mamul Açıklama	Reçete Miktarı <u>RM(i,j)</u>	Süre (Sn) <u>TM(m,j)</u>	Makine Sayısı
Y1	70015914	KP SAC UF6 TUTSIZ	1 ADET	128	M1
Y2	70015925	KP UST KPK UF6	1 ADET	20	M2
Y3	70015742	KP UST MNTS PIM YATAGI	1 ADET	8	M3
Y4	70015725	ALT MNT STPR	1 ADET	3	M4
Y5	70015924	KP ALT KPK UF6	1 ADET	33	M5

Y6	70015744	KP ALT SOL SAG MNTS. PIM YATAGI	1 ADET	7	M6
Y7	70015926	KP PLS UF6 PU78mm	1 ADET	50	M7
Y8	70015736	SLOT IN CNT DKY UF6 7047 V3	1 ADET	174	M8

Tablo 5.3. Montaj görevleri ve işlem süreleri.

Montaj Görevleri ve İşlem Süreleri				
Operasyon No	Operasyon İş Tanımı	Operatör Sayısı	Operasyon Süresi (sn) t(i)	İlgili İstasyonda İşlem Gören Yarı mamuller
İ1	Gövde hazırlık	1	38.1	Y1
İ2	Alt-Üst kep takma	2	45.6	Y2-Y3-Y4-Y5-Y6
İ3	Macunlama	1	53.5	
İ4	Poliüretan	1	80.5	Y7
İ5	Temizleme ve conta takımı	2	45.5	Y8

Kapı hattında toplamda 5 istasyon bulunmaktadır. Tablo 5.3.'te yer almaktadır. 1. İstasyonda 1 operatör kapı sacını maskeleme ile hazırlamaktadır. Ve bu istasyonda Y1 yarı mamulü kullanılmakta olup, işlem süresi t(i) 38.1 sn dir. 2. İstasyonda 2 operatör tarafından kapı sacına alt ve üst kep takılması yapılmaktadır. Ve bu istasyonda Y2-Y3-Y4-Y5-Y6 yarı mamulü kullanılmakta olup, işlem süresi t(i) 45.6 sn dir. 3. İstasyonda 1 operatör tarafından gerekli maskeleme işlemi yapılmaktadır. İşlem süresi t(i) 53.5 sn dir. 4. İstasyonda 1 operatör tarafından hazırlanan kapı grubu poliüretan tesisine konulmaktadır. İçerisinde poliüretan dolup hazır olan kapı grubu da alınıp bir sonraki istasyona gönderilmektedir. Bu istasyonda Y7 yarı mamulü kullanılmakta olup, işlem süresi t(i) 80.5 sn dir. Kapı hattının en son istasyonu olan 5. Montaj işi ise kapı grubunun temizlenmesi ve üzerine conta takılmasıdır. Bu istasyonda 2 operatör çalışmakta olup, Y8 yarı mamulü kullanılmaktadır. İşlem süresi t(i) 45.5 sn dir. TV_{ld} l Düğümünden d Düğümüne Gitme Süresi ise tablo 5.4.' te yer almaktadır.

Tablo 5.4. TV_{ld} l düğümünden d düğümüne gitme süresi.

TV _{ld}	Araç Depo	M1 Makine	M2 Makine	M3 Makine	M4 Makine	M5 Makine	M6 Makine	M7 Makine	M8 Makine	İ1 Montaj İşi	İ2 Montaj İşi	İ3 Montaj İşi	İ4 Montaj İşi	İ5 Montaj İşi
Araç Depo	0													
M1 Makine	35	0												
M2 Makine	45	35	0											
M3 Makine	45	35	5	0										
M4 Makine	50	25	32	32	0									
M5 Makine	45	35	5	5	5	0								
M6 Makine	45	35	5	5	5	5	0							
M7 Makine	52	10	60	60	50	60	60	0						
M8 Makine	30	45	35	35	30	35	35	45	0					
İ1 Montaj İşi	32	25	50	50	35	50	50	15	10	0				
İ2 Montaj İşi	32	25	50	50	35	50	50	15	10	10	0			
İ3 Montaj İşi	32	25	50	50	35	50	50	15	10	10	10	0		
İ4 Montaj İşi	32	25	50	50	35	50	50	15	10	10	10	10	0	
İ5 Montaj İşi	32	25	50	50	35	50	50	15	10	10	10	10	10	0

Microsoft Windows 10 Pro Sürüm 10.0.10240 Yapı 10240 İşlemci Intel(R) Core(TM) i5-7200U CPU @ 2.50GHz, 2712 Mhz, 2 Çekirdek, 4 Mantıksal İşlemci ile GAMS 23.5 kullanarak farklı y değerleri deneme yapılarak en iyi amaç fonksiyon değeri elde edilmiştir. Bir çevrim için bulunan bekleme zamanı, araç rotalama maliyetine gün içerisinde paylaşıldığı zaman (o çevrimin hat besleme süresi ile pay edildiği zaman) gün içinde oluşan toplam bekleme ve toplam araç toplama maliyeti aşağıdaki Tablo 5.5. 'de yer almaktadır. Y değerleri için 1'den 50' ye kadar değerler tek tek denenmiştir. En iyi çözümü 38 değeridir. Yani optimum parti büyüklüğü 38 olup, bu değere karşılık gelen amaç fonksiyon değeri 128.931 dir. Bu optimum sonuç için 5 istasyon açılmıştır. 46. Değerden sonra ise sonuçlar infeasibledir.

Tablo 5.5. Amaç fonksiyon değerleri.

y	HBS	Açılan İstasyon	Araç Dolaşma Maliyeti	Yarı mamul beklenen süre	Amaç Fonksiyon Değeri
1	90	4	1.044	2.899	1.182.750
2	180	4	974	3.054	604.170
3	270	4	990	3.590	457.970
4	360	4	910	3.540	333.720
5	450	4	870	4.470	320.370
6	540	4	870	5.309	308.970
7	630	4	940	6.264	308.756
8	720	4	1.040	5.249	235.845
9	810	4	970	5.599	218.970
10	900	4	920	5.674	197.820
11	990	4	1.030	7.309	227.425
12	1080	4	710	6.819	188.220
13	1170	4	930	7.279	189.432
14	1260	4	998	8.463	202.727
15	1350	4	1.060	7.899	179.170
16	1440	4	1.164	9.424	198.533
17	1530	4	1.060	10.448	203.088
18	1620	4	930	8.603	158.887
19	1710	4	1.150	9.488	167.970
20	1800	4	940	11.038	179.670
21	1890	4	1.050	10.138	159.827
22	1980	4	934	10.034	149.561
23	2070	4	1.214	12.503	178.913
24	2160	4	928	10.683	145.133
25	2250	4	1.078	11.383	149.526
26	2340	4	880	12.552	154.989
27	2430	4	1.034	13.412	160.514

28	2520	4	870	12.057	138.506
29	2610	4	1.194	14.255	159.818
30	2700	4	950	13.132	140.820
31	2790	4	910	13.322	137.728
32	2880	4	1.004	14.673	146.970
33	2970	4	994	14.812	143.688
34	3060	4	1.094	16.439	154.699
35	3150	4	910	14.637	133.256
36	3240	4	878	15.162	133.670
37	3330	4	960	15.386	132.538
38	3420	5	780	15.551	128.931
39	3510	5	1.054	16.276	133.308
40	3600	5	1.060	18.416	146.070
41	3690	5	950	18.051	139.031
42	3780	5	984	17.941	135.177
43	3870	5	864	17.744	129.821
44	3960	5	984	18.113	130.204
45	4050	5	1.194	18.666	132.397
46	4140	INFEASIBLE	INFEASIBLE	INFEASIBLE	INFEASIBLE
47	4230	INFEASIBLE	INFEASIBLE	INFEASIBLE	INFEASIBLE
48	4320	INFEASIBLE	INFEASIBLE	INFEASIBLE	INFEASIBLE
49	4410	INFEASIBLE	INFEASIBLE	INFEASIBLE	INFEASIBLE
50	4500	INFEASIBLE	INFEASIBLE	INFEASIBLE	INFEASIBLE

İlgili malzemelerin makinelerden istasyonlara taşınması ve ardından boş kutu-paletlerin istasyonlardan makinelere tekrar götürülmesi için topla dağıt problemi uygulanmıştır. Problem sonucunda optimum bir rota belirlenmiştir. Tek araç kullanılarak bu düğümler için 0. düğüm başlangıç depo, 27. Düğüm bitiş depoyu belirtmektedir. Rota 8. Düğüm ile başlamıştır. İlk 8 düğüm makinelerin toplama düğümünü, sonrası 5 düğüm istasyon toplama düğümünü, ardından 5 düğüm istasyon dağıtma düğümünü ve son 8 düğüm ise makine dağıtma düğümünü temsil etmektedir. 27. Düğüm ile rota sona ermiştir. Rotada bulunan düğümler sırasıyla Tablo 5.6.' da yer almaktadır. 8. Düğüme varış zamanı 2.204, 2. Düğüme varış zamanı 2.284 olarak devamındaki tüm düğümler için varış zamanı (vt) tabloda belirtilen gibidir. Gams programı sonucunda oluşan rota Q değerleri iken varış zamanları vt değerleridir. Rota süresinin azaltılabilmesi için araç sayısı artırılabilir.

Tablo 5.6. Makine ve istasyonların topla-dağıt düğümleri ve varış zamanları.

Açıklama	Düğüm	Varış Zamanı (sn)
Başlangıç Depo	0	-
Makine 8	8	2.204
Makine 2	2	2.284
Makine 3	3	2.334
Makine 5	5	2.384
Makine 6	6	2.434
Makine 4	4	2.484
Makine 1	1	2.554
Makine 7	7	2.609
İstasyon 9	9	2.669
İstasyon 13	13	2.724
İstasyon 10	10	2.779
İstasyon 11	11	2.834
İstasyon 12	12	2.889
İstasyon 25	25	2.934
İstasyon 14	24	2.989
İstasyon 19	22	3.044
İstasyon 22	23	3.099
İstasyon 26	26	3.154
Makine 20	20	3.214
Makine 14	14	3.269
Makine 17	17	3.339
Makine 21	21	3.414
Makine 15	15	3.494
Makine 19	19	3.544
Makine 16	16	3.594
Makine 18	18	3.644
Bitiş Depo	27	3.734

Montaj işi 1 ve 2; istasyon 1'e atanmıştır. Diğer montaj işleri ardışık gelen istasyonlara atanmıştır. Tablo 5.7.' de yer almaktadır. İşlem zamanları arasında farklılık gözlemlenmiştir. Bu oluşan farklılık montaj işlerinin ardışık olarak gerçekleşmesi sebebiyledir. Her bir montaj iş istasyonunda 38 adet işin yapılacak şekilde planlanmıştır. (y değerlerinin değiştirerek bulunan parti büyüklüğüdür) Bu montaj işlemlerini gerçekleştirebilmek için gerekli olan yarı mamullerin imalatı montaj işlerinin başlamasına müsaade edecek şekilde aşağıdaki gibi planlanmıştır.

Tablo 5.7. Montaj işlerinin atanmış olduğu istasyonlar ve montaj görevlerinin başlangıç zamanları.

Montaj Görevi	1. İstasyon	2. İstasyon	3. İstasyon	4. İstasyon
1	2.669			
2	2.669			
3		5.849		
4			7.882	
5				10.941

Yarı mamul tamamlanma zamanlarında 1 numaralı yarı mamul 2.254 sn de tamamlanmış ve ardından 2.669 da 1 numaralı istasyona teslim edilmiştir. Y2-Y6 sırasıyla 2.284 - 2.334 - 2.484 - 2.384 - 2.434 zamanlarda tamamlanmıştır. Ve 2 numaralı işin başlayabilmesi için 1. istasyona teslim edilmiştir. Y7 yarı mamul 2.609'de üretilip 4. istasyona; Y8 yarı mamul 2.204 de üretilip 5. İstasyona teslim edilmiştir. Tablo 5.8. de tamamlanma zamanları yer almaktadır. Ancak Y7 3 numaralı istasyonda 7.882.600' de işlem görmek için; Y8 4. istasyonda işlem görebilmek için 10.941.600'e kadar beklemiştir.

Tablo 5.8. Yarı mamullerin tamamlanma zamanı.

Montaj işi	Yarı mamul	Süre (sn)
1	Y1	2.554
2	Y2	2.284
2	Y3	2.334
2	Y4	2.484
2	Y5	2.384
2	Y6	2.434
4	Y7	2.609
5	Y8	2.204

6. SONUÇLAR

Bugünün endüstriyel ortamında, şirketler değişken rekabet koşullarında ayakta kalabilmek ve başarılı olabilmek için müşteri taleplerine uygun, kaliteli ve düşük maliyetli ürünleri zamanında üretebilmelidirler. Nitelikli üretim süreçlerinde verimliliği artırmak için katma değeri olmayan işleri ve fazla stokları azaltmak hayati bir öneme sahiptir. Bu bağlamda, yalın üretim felsefesi, üretim ve hizmet sektörlerinde rekabet avantajı sağlamak amacıyla katma değeri olmayan işlerden kaçınmayı amaçlamaktadır. Yalın üretim, gereksiz hareketlerden ve taşıma süreçlerinden kaçınarak müşteri taleplerini zamanında, düşük maliyetle ve kaliteli bir şekilde karşılamayı hedefler. Bu felsefe çerçevesinde, tesis içi lojistik süreçleri, montaj hatlarına parça taşınması sürecini içerir ve bu süreçte planlama, çizelgeleme ve zamanlama gibi unsurlar kritik rol oynar. Ancak, bu süreçte meydana gelebilecek gereksiz malzeme taşıma sorunları, üretim verimliliğini ve stok yönetimini olumsuz yönde etkileyebilir. Ayrıca, bir stok kaleminin fazla üretilmesi, ihtiyaç duyulan başka bir stokun üretiminin gecikmesine ve bu nedenle hattaki beklemlere neden olabilir. Bu durum hem hattın dengelenmesini zorlaştırmakta hem de üretim maliyetlerini artırmaktadır. Montaj hattı istasyonlarında ara stoklar birer birer tüketilerek nihai ürüne dönüşürken, tüketim hızı ile üretim ve taşıma hızları arasında bir denge sağlanması gerekmektedir. Tüketim hızının üretim hızından daha yavaş olması, ara stok olmaksızın çalışabilmeye olanak tanırken, tam tersi durumda ise stok tutma zorunluluğu ortaya çıkmaktadır.

Bu proje kapsamında, Kayseri Serbest Bölgesinde faaliyet gösteren bir derin dondurucu ve buzdolabı üreticisinin montaj hatları, bu hatları besleyen üretim atölyeleri ve taşıma araçlarının eş anlı olarak planlanması, çizelgelenmesi ve kullanılması ile üretim ve taşıma maliyetlerini en aza indirmek üzere yeni bir matematiksel model geliştirilmiştir. Malzeme taşınarak hatların beslenmesi esnasında Milk-Run yönteminden yararlanılmış olup, önerilen çözüm yöntemi, çok ürünlü montaj hatlarının dengelemesini, hatların beslenmesini ve atölyelerin çizelgelenmesini aynı anda ele alan ve sektöre özel yeni bir matematiksel modeldir.

Hat beslemede araçların rotalarının planlanmasını ele alan çalışmaların birçoğunda aşağıdaki hususlar eş anlı olarak göz önüne alınmamıştır. Bu hususlar, tezin özgün değerini oluşturmaktadır. Bunlar:

- Hattı besleyen iş atölyelerinin planlanması ve çizelgelenmesi,

- İş atölyesi, süpermarket ve montaj hatları arasındaki araç rotalama,
- Hatta taşınacak olan ara stokların/malzemelerin miktarını ve taşınma sıklıkları,
- Araç kapasitelerinin etkin kullanımı,
- Çok ürün ve modelli hatların dengelenmesidir.

Bu çalışmada, Atölye tipi makine çizelgeleme problemi, Topla, Dağıt ve Zaman Pencereli Araç Rotalama Problemi ve Montaj hattı dengeleme problemine ait üç matematiksel model, tek bir amaç fonksiyonuna bağlı ve karar değişkenleri birbirleri ile uyumlu olacak şekilde yeniden tasarlanarak tek bir matematiksel model haline getirilmiştir. Montaj hattı dengeleme probleminde görevlerin tamamlanma zamanları takip edilmemektedir. Bu nedenle, tüketilen ara stokların hangi hızla tüketildiği ve ne zaman hatta yeni besleme yapılması gerektiği bilinmemektedir. Burada yapılan düzenlemeler ile hat istasyonlarının ne zaman hangi ürünler ile beslenmesi gerektiği belirlenmiştir. Elde edilen bu bilgiler, Topla, Dağıt ve Zaman Pencereli Araç Rotalama Probleminde zaman penceresi oluşturmada kullanılmıştır. Bu zaman penceresinde ara stok sevkiyatı yaparak boş palet, raf ve kutuların istasyonlardan toplanabilmesi için hem araç rota süresinin hem de atölyelerin üretim zamanlarının uyumlu olması gerekmektedir. Bu durumda, Atölye tipi makine çizelgeleme probleminde işlerin tamamlanma zamanları da sevkiyatın zaman penceresi içerisinde olabilmesine imkan verecek şekilde olmalıdır. Atölye tipi makine çizelgeleme problemi, işlerin tek birer parça olarak düşünüldüğü durum için tasarlanmıştır. Her bir çizelgeleme işinin aslında bir ara stoğa ait parti olarak tasarlanabilmesi için iş istasyonlarına sevkiyat yapılacak parti büyüklüklerinin ve sıklıklarının belirlenmesi gerekmektedir. Bu amaçla, Milk-Run yöntemi kullanılarak parti büyüklükleri ve sıklıkları belirlenmiş ve ardından bu yeni parametrelere göre üç model yeniden tasarlanarak çok amaçlı yeni bir matematiksel model ortaya konulmuştur. Bu matematiksel model ile hat besleme süresi hesaplanmış, ideal parti büyüklüğü belirlenmiş ve malzeme dağıtımı için uygun rota bulunmuştur.

Bu çalışma, fabrikadaki kapı hattı için yapılmıştır. Tezin devamı niteliğinde çalışma genişletilerek, iki montaj hattı için de uygulanabilir. Problem çözümüne yönelik olarak meta sezgisel ayrıştırma algoritmaları ve problem bulanıklaştırılarak çözüm yöntemleri sunulabilir.

Yukarıda açıklanan detaylı süreç, montaj hattı dengelemesi, üretim planlaması ve lojistik optimizasyonu gibi konuların entegrasyonu ile birlikte, yalın üretim felsefesinin uygulanmasında önemli bir adım oluşturmaktadır. Bu kapsamda geliştirilen matematiksel model, derin dondurucu ve buzdolabı üretiminde verimliliği artırarak, rekabetçi piyasa koşullarında avantaj sağlamayı hedeflemektedir. Modelin başarılı bir şekilde uygulanması, gereksiz malzeme taşımalarının ve fazla stokların azaltılmasına katkı sağlayarak, toplam üretim ve taşıma maliyetlerini en aza indirecektir. Bu da şirketin sürdürülebilirliği ve müşteri memnuniyetini artırmak adına kritik bir rol oynayacaktır.

KAYNAKÇA VE REFERANSLAR

- [1] Yalçın S.E., Henden B., Başaran İ., Pamuk B. ve Öztürk N. “Montaj hattı parça besleme süreçlerinin planlanması için kural tabanlı sistem tasarımı” **Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi**, Cilt 23, Sayı 4, 2018 DOI: 10.17482/uumfd.450727.
- [2] Şahin İ. E. “Kanban kontrollü milkrun döngülü malzeme besleme sistemi: Tv fabrikasında bir uygulama” Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, 2011.
- [3] Gürgen Z., Otacıoğlu H.C. ve Kurt H.O “AGV sayısına ve hatlardaki stok miktarlarına karar veren bir hat besleme sistemi kurulması” **Journal of Industrial Engineering** 30 (2), 75-92, 2019.
- [4] Çağlayan M.S. “Montaj hattında malzeme besleme sisteminin yapay sinir ağı yöntemi ile seçimi” Yüksek Lisans Tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi, 2022.
- [5] Özcan M. “Montaj hattı besleme işlemlerinin çizelgelenmesi için bir çözüm yaklaşımı” Yüksek Lisans Tezi, TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi, 2016.
- [6] Büyüközkan K. “Karma modellenli montaj hatlarına yönelik döngüsel malzeme besleme sistemi optimizasyonu” Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, 2018.
- [7] Günay E.E. “Otomotiv montaj hatlarında montaj öncesi ara stok içeriğinin belirlenmesi” Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi, 2016.
- [8] Tansel B., Cabıoğlu M.F., Arslan Y., Çakır C., Bilgin E. ve Çay S.B. “Çamaşır Makinesi fabrikası iç lojistik aktivitelerinin optimize edilmesi”, **Endüstri Mühendisliği Dergisi**, Cilt: 21 Sayı:3 Sayfa: (25-38) 2010.
- [9] Tekin S., Yılmaz C., Vergili C., Uzgören N., Öztürk Z.Ş. ve Demirpolat E.N. “Lider bir dondurma fabrikasında WCM metodolojisiyle üretim alanlarında lojistik optimizasyonu” **Endüstri Mühendisliği Dergisi**, Cilt: 27 Sayı:4 Sayfa: (3-14) 2016.
- [10] Sipahioğlu A. ve Altın İ. “A mathematical model for in-plant Milk-Run routing” **Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilim Dergisi**, 25 (9), 1050-1055, 2019 (LMSCM’2018-16. Uluslararası

Lojistik ve Tedarik Zinciri Kongresi Özel Sayısı).

[11] Küçüköğlu İ., Yağmahan B., Çağlıyan M.S., Yıldız A. ve Aktokluk D. “İç lojistik sisteminde malzeme tedariği için geliştirilmiş matematiksel modelleme yaklaşımı: Bir uygulama” **Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi**, Cilt 23, Sayı 4, 2018.

[12] Arslan R. “Süreç optimizasyonu: Tesis içi ürün taşıma operasyonunun milk-run ile optimizasyonu” Yüksek Lisans Tezi, Gebze Teknik Üniversitesi, 2018.

[13] Çevikcan E., Sol E., Satoğlu Ş.I. ve Durmuşoğlu M.B. “Fabrika içi lojistik süreçlerinin set yapma esaslı tasarımı ve bir uygulama” **Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi**, Cilt 23, Sayı 4, 2018 DOI: 10.17482/uumfd.456038

[14] Savaşaneril S., Köksalan M., Yetimoğlu S., Küçük T.C., İnaltekin F., Çolak Ö. ve Bilici G. “Fabrika içi çekme esaslı taşıma sistemi tasarımı” **Endüstri Mühendisliği Dergisi**, Cilt: 18, Sayı: 3 Sayfa: (31-42)

[15] Baler R., Hage S., Fontaine P., Spinler S. “The assembly line feeding problem: An extended formulation with multiple line feeding policies and a case study” **International Journal of Production Economics**, Volume 222, April 2020, 107489.

[16] Nourmohammadi A., Eskandari H., Fathi M., Bourani M.R. “An integrated model for cost-oriented assembly line balancing and parts feeding with supermarkets”, **Procedia CIRP** 72 (2018) 381–385.

[17] Fedtke S., Boysen N., Schumacher P., “In-line kitting for part feeding of assembly lines: workload balancing and storage assignment to reduce the workers’ walking effort”, 18 February 2022 / Accepted: 20 April 2023 / Published online: 8 May 2023.

[18] Zhou, B., Huang, Y. “Dynamic cyclic kitting part-feeding scheduling for mixed-model assembly line by a hybrid quantum-behaved particle swarm optimization”, **Robotic Intelligence and Automation**, 43(3), pp. 267–289, 2023.

[19] Delice, Y., Aydoğan, E.K., Himmetoğlu, S., Özcan, U. “Integrated mixed-model assembly line

balancing and parts feeding with supermarkets” **CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology**, **41**, pp. 1–18,2023.

[20]Junhao C., Jia X., He Q., “A novel bi-level multi-objective genetic algorithm for integrated assembly line balancing and part feeding problem” **International Journal of Production Research**, **Volume 61**, 2023 - Issue 2.

[21] Müllerklein D., Fontaine P., Ostermeier F. “Integrated consideration of assembly line scheduling and feeding: A new model and case study from the automotive industry”, **Computers & Industrial Engineering**, **Volume 170**, August 2022, 108288.

[22] Prakong C., Chutima P., “Many-objective Assembly-Line Parts Feeding decisions in Automotive Industry”, MSIE '22: Proceedings of the 4th International Conference on Management Science and Industrial Engineering April 2022 Pages 30310 <https://doi.org/10.1145/3535782.3535822>.

[23] Adenipekun E.O., Limère V., Schmid N.A. “The impact of transportation optimisation on assembly line feeding”, **Omega**, **Volume 107**, February 2022, 102544.

[24] Calzavara M., Serena M., Battini D., Sgarbossa F., Persona A. “A Joint Assembly Line Balancing and Feeding Problem (JALBFP) considering direct and indirect supply strategies”, **International Journal of Production Research**, **Volume 60**, 2022 - Issue 19.

[25] Morett, E.,Tappia, E.,Melacini, M. “Scheduling Mobile Robots in Part Feeding Systems”, **Proceedings of the Hamburg International Conference of Logistics**, **31**, pp. 129–149, 2021

[26]Saez-Mas, A., Garcia-Sabater, J.P., Garcia-Sabater, J.J., Ruiz, A., “Redesigning the in-plant supply logistics: A case study”, **Computers and Industrial Engineering**, **143**, 106422 2020.

[27] Kundu, K., Rossini, M., Portioli-Staudacher, A. “A study of a kanban based assembly line feeding system through integration of simulation and particle swarm optimization” **International Journal of Industrial Engineering Computations**, **10**(3), pp. 421–442, 2019.

[28] Emde, S., Schneider, M. “Just-in-time vehicle routing for in-house part feeding to assembly lines”, **Transportation Science**, **52**(3), pp. 657–672, 2018.

- [29] Caputo, A.C., Pelagagge, P.M., Salini, P. “Selection of assembly lines feeding policies based on parts features and scenario conditions”, **International Journal of Production Research**, 56(3), pp. 1208–1232, 2018.
- [30] Sali, M., Sahin, E. “Line feeding optimization for Just in Time assembly lines: An application to the automotive industry”, **International Journal of Production Economics**, 174, pp. 54–67, 2016.
- [31] Alnahhal M. ve Noche B. “A genetic algorithm for supermarket location problem” **Transport Systems and Logistics**, Duisburg-Essen University, Duisburg, Germany, Volume 35 Number 1, 122–127 2015 .
- [32] Alnahhal M. ve Noche B. “Efficient material flow in mixed model assembly lines” Springer Plus 2013, 2:415. <https://springerplus.springeropen.com/articles/10.1186/2193-1801-2-415>
- [33] Alnahhal M. ve Noche B. “Dynamic material flow control in mixed model assembly lines” Transport Systems and Logistics, Duisburg-Essen University, Duisburg 47058, Germany, **Computers & Industrial Engineering** 85 (2015) 110–119.
- [34] Zhou B. ve Zhao L. “A multi-objective decomposition evolutionary algorithm based on the double-faced mirror boundary for a milk-run material feeding scheduling optimization problem” Institute of Industrial Engineering, School of Mechanical Engineering, Tongji University, Shanghai 201804, China, **Computers & Industrial Engineering** 171 (2022) 108385.
- [35] Toth, P. Vigo, D. 2014. “Vehicle Routing Problems, Methods, and Applications” **Society for Industrial and Applied Mathematics, Second Edition**.
- [36] Liao C.J, You, C.T., 1992. “An Improved Formulation for the Job-Shop Scheduling Problem”. **The Journal of the Operational Research Society**, 43(11), 1047-1054.

EK

