

**KARIŞIK MODELLİ MONTAJ HATTININ ROBOTİK
SİSTEMLERLE TASARIMI**

Merve ATAMAN



T.C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KARIŞIK MODELLİ MONTAJ HATTININ ROBOTİK SİSTEMLERLE
TASARIMI**

Merve ATAMAN
0000-0002-4490-6934

Prof. Dr. Nursel ÖZTÜRK
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2022

Her Hakkı Saklıdır

TEZ ONAYI

Merve ATAMAN tarafından hazırlanan “KARIŞIK MODELLİ MONTAJ HATTININ ROBOTİK SİSTEMLERLE TASARIMI” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Prof. Dr. Nursel ÖZTÜRK

Başkan : Prof. Dr. Nursel ÖZTÜRK
0000-0002-9835-0783
Bursa Uludağ Üniversitesi,
Mühendislik Fakültesi,
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

İmza

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Yunus DEMİR
0000-0003-3868-1860
Bursa Teknik Üniversitesi,
Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi,
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

İmza

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Seval ENE YALÇIN
0000-0001-8248-8924
Bursa Uludağ Üniversitesi,
Mühendislik Fakültesi,
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

İmza

Yukarıdaki sonucu onaylarım

Prof. Dr. Hüseyin Aksel EREN
Enstitü Müdürü
.././2022

B.U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

17/02/2022

Merve ATAMAN

TEZ YAYINLANMA
FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI BEYANI

Enstitü tarafından onaylanan lisansüstü tezin/raporun tamamını veya herhangi bir kısmını, basılı (kâğıt) ve elektronik formatta arşivleme ve aşağıda verilen koşullarla kullanıma açma izni Bursa Uludağ Üniversitesi'ne aittir. Bu izinle Üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet hakları ile tezin tamamının ya da bir bölümünün gelecekteki çalışmalarda (makale, kitap, lisans ve patent vb.) kullanım hakları tarafımıza ait olacaktır. Tezde yer alan telif hakkı bulunan ve sahiplerinden yazılı izin alınarak kullanılması zorunlu metinlerin yazılı izin alınarak kullandığını ve istenildiğinde suretlerini Üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederiz.

Yükseköğretim Kurulu tarafından yayınlanan “**Lisansüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge**” kapsamında, yönerge tarafından belirtilen kısıtlamalar olmadığı takdirde tezin YÖK Ulusal Tez Merkezi / B.U.Ü. Kütüphanesi Açık Erişim Sistemi ve üye olunan diğer veri tabanlarının (Proquest veri tabanı gibi) erişimine açılması uygundur.

Danışman Adı-Soyadı
Tarih
Prof. Dr. Nursel Öztürk
17/02/2022

Öğrencinin Adı-Soyadı
Tarih
Merve ATAMAN
17/02/2022

İmza
Bu bölüme kişinin kendi el yazısı ile
okudum anladım yazmalı ve
imzalanmalıdır.

İmza
Bu bölüme kişinin kendi el yazısı ile
okudum anladım yazmalı ve
imzalanmalıdır.

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

KARIŞIK MODELLİ MONTAJ HATTININ ROBOTİK SİSTEMLERLE TASARIMI

Merve ATAMAN

Bursa Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Nursel ÖZTÜRK

Montaj hattı tasarımı problemlerinde yoğun olarak basit montaj hattı problemi üzerine, yoğunlaşmıştır. Yapılan çalışmaların gerçek hayat problemlerine çözüm bulan çalışmalar olduğu görülmektedir. Bu çalışmada, paralel iş istasyonlu gerçek bir montaj hattının, hat dengeleme probleminin matematiksel modeli formüle edilip çözülmektedir.

Çalışmanın yapıldığı personel yükseltici platform üreten bir işletmede, farklı çalışma yüksekliğine sahip platformların yerinde montaj tekniği ile montajı yapılmaktadır. Malzemelerin akış hattı boyunca donanımdan yararlanılarak iletildiği ve parça üzerindeki işlemlerin; aralarındaki öncelik ilişkileri ve çevrim süresi gibi kısıtlar göz önüne alınarak birleştirilmesiyle oluşturdukları istasyonların, sıralanmalarıyla oluşan bir hat haline getirilmesi amaçlanmıştır. Bu tez çalışmasında verimli montaj hattının tasarımıyla, daha fazla zaman ve insan gücüne ihtiyaç duyan, yaklaşık olarak 24 saatte bir platform çıkarabilen hareketsiz montaj yerine, aynı sürede daha fazla platform montajı yapan, düzenli bir malzeme akışını sağlayan, makine kapasitelerini en üst düzeyde kullanan, boş süreleri veya dengeleme kayıplarını en aza indiren, bir montaj hattının tasarımı amaçlanmıştır. Problemin tam sayılı programlama modeli oluşturulmuş ve LINGO uygulaması ile model çözülmüştür.

Anahtar Kelimeler: LINGO optimizasyon yazılımı, Montaj hattı tasarımı, Tam sayılı programlama.

2022, xii+ 49 Sayfa

ABSTRACT

MSc Thesis

DESIGN OF MIXED MODEL ASSEMBLY LINE WITH ROBOTIC SYSTEMS

Merve ATAMAN

Bursa Uludağ University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Industrial Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Nursel ÖZTÜRK

Assembly line balancing problems are generally focused on the simple assembly line problem. In recent years, it is seen that the studies carried out include realistic problems. In this study, the line balancing problem of a real assembly line system with parallel workstations is mathematically formulated and solved.

Platforms with different working heights are assembled with on-site assembly technique in a company that produces personnel elevating platforms where the study is carried out. Materials are conveyed along the flow line by using equipment and the processes on the part; It is aimed to turn the stations created by combining them into a line formed by aligning them along a line, taking into account the constraints such as the priority relations between them and the cycle time. In this thesis study, with the design of an efficient assembly line, instead of a stationary assembly that needs more time and manpower, can remove a platform approximately every 24 hours, more platforms are installed in the same time, ensure a regular material flow, use the machine capacities at the highest level, It is aimed to design an assembly line that minimizes downtime or balancing losses. The problem is formulated and solved using the integer programming model in the LINGO software.

Key words: Assembly line design, Integer programming, LINGO optimization software,
2022, xii+ 49 Sayfa

ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın hayata geçirilmesi sürecinde bilgi ve tecrübelerinden faydalandığım, araştırmanın her bir aşamasında görüşleriyle beni destekleyen ve beni doğru yönde yönlendiren Prof. Dr. Nursel Öztürk'e, samimiyetini her zaman hissettiren desteğini ve yardımlarını esirgemeyen Dr.Öğr.Üyesi Seval Ene Yalçın'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca çalışmamda desteklerini hiçbir zaman eksik etmeyen, bana olan güvenlerini hiç kaybetmeyen aileme teşekkür ederim.

Merve ATAMAN

17/02/2022

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	v
ABSTRACT.....	vii
ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR.....	viii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	x
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
ÇİZELGELER DİZİNİ	xii
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	4
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	11
3.1. Mevcut Sistem Analizi.....	11
3.2. Problemin Tanımı	12
3.3. Probleme Ait Matematiksel Model	15
4. BULGULAR ve TARTIŞMA.....	18
5. SONUÇ	23
KAYNAKLAR	24
EKLER.....	30
EK 1. İşlemler Arası Öncelik Matrisi	31
EK 2. Lingo Çözüm Ekranları	32
ÖZGEÇMİŞ	49

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
<i>B</i> :	Sol taraf işleri kümesi
<i>C</i> :	Çevrim süresi
<i>E</i> :	Sağ taraf işleri kümesi
<i>i</i> :	İşler
<i>J</i> :	Maksimum iş istasyonu sayısı
<i>j</i> :	İş istasyonları
<i>M</i> :	Toplam iş sayısı
<i>nmax</i> :	Maksimum paralel iş istasyonu sayısı
<i>t_i</i> :	<i>i</i> . işin işlem süresi
<i>W</i> :	Öncül işler için iş çiftleri

Kısaltmalar	Açıklama
BMHDP	Basit Montaj Hattı Dengeleme Problemi
GMHDP	Genel Montaj Hattı Dengeleme Problemi
KMHDP	Karışık Montaj Hattı Dengeleme Problemi
MHD	Montaj Hattı Dengeleme
MHDP	Montaj Hattı Dengeleme Problemi
ÖÖTE	Öğretme Öğrenme Tabanlı Eniyileme
PMHD	Paralel Montaj Hattı Dengeleme

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 3.1. Çift taraflı montaj hattı	13
Şekil 3.2. Montaj işlemleri öncelik ilişkileri diyagramı.....	13

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 3.1. Montaj işlemlerine ait süreler	14
Çizelge 4.1. Montaj hattı dengeleme öncesi işlemler ve süreler.....	19
Çizelge 4.2. Montaj hattı tasarımı sonrası istasyonlara atanan işler	20
Çizelge 4.3. Robotik işgücü ile hat tasarımı sonrası istasyonlara atanan işler.....	21

1. GİRİŞ

İşletmeler arası rekabet, gelişen teknoloji, taleplerdeki artış ve ürünlerdeki çeşitlilik gibi nedenlerden dolayı sürekli artmaktadır. Bunun sonucunda işletmeler rekabet koşullarına uyum sağlayabilmek için sahip oldukları kaynakları en verimli şekilde kullanmak zorunda kalmaktadırlar. Üretim süreçlerinde sürekli iyileşme ve gelişime açık olmayan işletmeler rekabet ortamında müşteri taleplerini karşılamakta zorlanmaktadırlar. Birçok endüstride üretim sistemlerinin temelini montaj hatları oluşturmaktadır. (Söylemez, 2020), Montaj hatları, belirli bir sırayı takip eden işlerin bitmiş ürünü oluşturmak üzere, iş istasyonlarına atanmasıyla oluşan hatlar olarak tanımlanmıştır. Bu işlerin istasyonlara atanması sırasında işlerin öncelik kısıtları, istasyon sayısı, çevrim süresi, yer kısıtları gibi ek kısıtlar göz önüne alınmaktadır. Bu hatlarda istasyonlar arasında malzemeler için taşıma sistemleri de bulunmaktadır.

(Söylemez, 2020), Bitmiş ürünü oluşturacak işlerin montaj hattında bulunan istasyonlar arasında mümkün olduğunca dengeli ayrılması ve hattı durdurmuyarak, kesintiye uğratmayarak, mevcut kısıtlar göz önüne alınarak akış sağlayabilmesi için montaj hattında yapılacak işlerin arasında öncelik ilişkilerini de gözeterek çevrim zamanını aşmadan en iyi sıralama ile iş istasyonlarına atanması problemi Montaj Hattı Dengeleme (MHD) problemi olarak adlandırılmaktadır. MHD probleminin amacı, belirlenen çevrim zamanı içerisinde hat boyunca kullanılacak istasyon sayısını en aza indirmektir.

Paralel olarak yerleştirilmiş birden fazla istasyon hattına sahip montaj hatları endüstride sıkça görülmektedir. Paralel olarak yerleştirilen hatlarda benzer veya aynı ürünler üretilmektedir. Bu nedenle hatların çevrim süreleri de birbirleriyle yakındır. Birbirlerine paralel olarak yerleştirilmiş birden fazla hattın dengelendiği problem, Paralel Montaj Hattı Dengeleme (PMHD) problemi olarak adlandırılmaktadır. PMHD probleminde birincil amaç, istasyon sayısını en aza indirerek operatör sayısında da azalma sağlamaktır.

İşletmelerde maliyetlerin düşürülmesi ve verimli bir hat tasarımı için hat dengeleme süreci oldukça önemlidir. Yapılan çalışmalarda, montaj hatları çıktılarında çeşitliliğe göre tek modelli, çok modelli, karışık modelli olarak ayırım yapılmaktadır. (Söylemez,2020),

Yine araştırmalarda görülmektedir ki, hattın otomasyon seviyesine göre manüel ve otomatik, hattaki istasyonların sıralanış Őekline göre U-tipi montaj hatları veya düz montaj hatları olarak ayırım yapılmaktadır. Montaj işlemleri açısından aynı işlem süreçlerine sahip fakat ürün model çeşitliliği birden fazla olan ürünler için karışık montaj hatları, farklı işlem süreçlerine sahip ürün model çeşitliliği birden fazla olan ürünler için çok modelli montaj hatları kullanılmaktadır. Montaj hatlarının kurulumu sırasında ilk kez dengeleme yöntemi kullanılırken, mevcut hatta yapılacak herhangi bir iyileşme ve gelişme sırasında ve mevcut işlem sresinde oluşan değişiklik sonucunda ise yeniden dengeleme yöntemi kullanılmaktadır.

Montaj hattı çıktısı olan bitmiş ürünün kırılğan veya hatta tutulmasının endüstriyel robotlar tarafından sağlanamayacağı durumlar için manüel hatlar kullanılır. Bununla beraber hatta çalışacak operatörler için güvensiz işlem süreçleri veya endüstriyel robotların sahip olduğu yüksek hassasiyet gerektiren sürece sahip olan ürünler için çoğunlukla otomatik hatlar kullanılmaktadır. Üretim sürecinde montaj hattı girdisinin ve çıktısının aynı yönde olduğu Şeklinde düzenlenmiş iş istasyonlarından oluşanlar U-tipi hatlar, art arda gelen öncül işlerin sıralanmasıyla oluşan hatlar ise düz hatlardır.

Montaj hattı problemleri sahip oldukları kısıtlara göre Basit Montaj Hattı Dengeleme (BMHD) ve Genel Montaj Hattı Dengeleme (GMHD) olarak ikiye ayrılır. BMHD probleminde, yapılacak işler, istasyona bağlı değil ve süreler deterministik olup her işlem çevrim süresinden küçüktür, ayrıca hattaki tüm istasyonlar eşdeğerdir. Yapılacak işler öncelik gereksinimleri göz önüne alınarak, planlandığı istasyonda ilerletilir, istasyonlar arasında paylaştırılmaz. Bu sebeple, BMHD problemleri, genellikle işler arası öncelik kısıtlarını ve çevrim zamanı kısıtlarını içerir. GMHD problemleri ise hattın yerleşim alanı kısıtları, hattın biçimi, istasyon yerleşimleri ve yapılacak işler arasındaki uyum gibi birçok kısıt ve problemi içerir.

Literatürde en çok kullanılan MHD problemi ise, çevrim zamanı ve istasyon sayısını en aza indirirken hat etkinliğini en oklamayı amaçlayan problemlerdir. MHD problemlerine çözüm yöntemleri, kesin ve yaklaşık yöntemler olarak ayrılabilirler. Kesin yöntemler, en

iyi çözümlü bulan ve genellikle dal sınır algoritması veya dinamik programlama gibi yöntemlerden oluşmaktadır. Yaklaşık yöntemler, sezgisel yaklaşımları içerir.

Yapılan son araştırmalar, GMHD problemi ile gerçek problemlerin tanımlanması ve formüle edilmesi üzerine odaklanmıştır. Endüstrideki farklı üretim alanlarındaki çeşitli koşullar nedeniyle montaj hattı sistemleri çok sayıda çeşitliliğe sahiptir ve gerçek hat problemlerinin gerektirdikleri ile akademik araştırmalar arasında yenilik gerektiren, gelişime açık alanlar bulunmaktadır. Paralellik kavramı, fiili hatlarda MHD çalışmalarının iyileştirilmesinde oldukça önemlidir. Paralel hatlar, en iyi dengeyi sağlamak ve verimliliği arttırmak için birden fazla modellenmiş hatlar için tasarlanır. Bu durumda kurulacak hattın sayısı, modellerin ve iş yükünün hatlar arasında nasıl paylaştırılacağı gibi problemler ortaya çıkmaktadır. Bununla birlikte, işlem zamanlarının çevrim zamanından daha uzun olduğu durumlarda paralel istasyonlar kullanılabilir ve bu yerleşim hattın verimlilik oranındaki artışı ve çevrim zamanını en küçüklemeyi sağlar.

Bu tez çalışmasında, personel yükseltici lift yapan bir işletmenin ürünlerinden olan bir modele ait deterministik işlem zamanlı, düz hat olarak sınıflandırılmış bir platform montaj hattı ele alınmıştır. Ele alınan problemin temel özellikleri: (a) çift taraflı istasyonlar, (b) işlemlerin atama kısıtları, (c) istasyon kısıtları, şeklindedir. Kullanılacak istasyon sayısını en küçüklemek amacıyla öncelik ve çevrim zamanı kısıtlarını da içeren bir matematiksel model geliştirilmiştir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Günümüz gelişen endüstrisi ve artan üretim miktarlarıyla beraber montaj hatlarının verimliliğini artırmak amacıyla dengelenme ve tasarım problemleri ortaya çıkmıştır.

Sarker ve Pan (2001), karışık modelli açık istasyon montaj hattı için tamsayı bir programlama modeli geliştirmişlerdir. Model, hat uzunluğu ile kullanım süresi ve boşta kalma sürelerinin düştüğünü göstermiştir.

Vilarinho ve Simaria (2002), çalışmalarında paralel iş istasyonları için yerleşim kısıtlarının neden olduğu problemler için matematiksel model geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri modelde çevrim süresini sabit bir değer kabul edip, istasyon sayısının en aza indirilmesi ve iş yüklerinin hattaki istasyonlara dengeli olarak dağıtılması amaçlanmıştır.

Rekiek ve Dolgui (2002), Robotik montaj hatlarının ön tasarım aşaması için hat dengeleme ve kaynak planlama adımına odaklanarak, hattın optimal tasarım problemini incelemişlerdir.

Buckhin ve Rubinovitz (2003), paralel istasyonlu montaj hattı dengeleme problemini ele almışlardır. Yaptıkları çalışmada sistem parametreleri montaj işlemleri sıra esnekliği ve çevrim süresinin etkisi araştırılmıştır. Paralel istasyonlu hat için doğrusal bir matematiksel model geliştirmişlerdir.

Ağpak ve Gökçen (2005), Karışık Montaj Hattı Dengeleme problemi için kaynakların alternatifliği durumunu göz önüne alan ilk çalışmayı yapmışlardır. Bu çalışmada bir işlem için iki farklı tipteki kaynaktan herhangi birisine ihtiyaç duyulan durum söz konusudur. 0-1 tam sayılı bir matematiksel model geliştirilmiş ve gerçek veriler için sonuç elde edilmiştir.

Becker ve Scholl (2006), MHD problemlerini maliyet ve kar durumuna, ekipman ve malzeme seçimine göre, paralel istasyon ve görev açısından oluşan kısıtlar göz önüne alınarak, işlem zamanlarının stokastik ve deterministik olma durumuna göre ele almıştır.

Levitin ve Rubinovitz (2006), Hattın üretim hızını en üst düzeye çıkarmayı amaçlayarak robotların hat istasyonlarına en uygun şekilde atanmasını ve farklı istasyonlar arasında

dengeli bir iş dağılımını içeren probleme bir çözüm bulmak için bir genetik algoritma kullanmışlardır.

Boysen, Fliedner ve Scholl (2007), MHD problemi için yapılmış olan çalışmaları öncelik ilişkileri, istasyon ve hat özellikleri olarak gruplandırmıştır. Çözüm yöntemlerini, kesin çözüm yöntemleri ve metasezgisel yöntemleri açısından incelemiştir. İncelenen çalışmalarda kesin çözüm yöntemi olarak dal kesme algoritması, dal ve sınır algoritması, dinamik programlama, sütun oluşturma ve birerleme yaklaşımı kullanıldığı görülmektedir. Çözüm yöntemleri için ise, tavlama benzetimi algoritması, tabu arama algoritması, karınca koloni optimizasyon algoritması, genetik algoritma şeklindedir.

Pekin ve Azizoğlu (2008), her bir görevin birden fazla alternatif kaynak kullanımının söz konusu olduğu KMHD problemini ele almışlardır. Dal-sınır algoritmasını kullanarak geliştirdikleri kaynak kısıtlı modellerde 25 görevli ve 5 adet kaynağa kadar etkili olduğu sonucunu bulmuşlardır.

Boysen, Fliedner ve Scholl (2009), MHD problemleri için ürün tipine göre, hattın ilk defa ya da yeniden dengelenme durumuna göre, otomasyon seviyesine göre, hattın uygulandığı iş alanına göre gerçekleştirilmiş olan çalışmaları incelemişlerdir.

Kao, Yeh, Wang ve Hung (2010)'un yaptıkları çalışmada, en kısa yol algoritması ile MHD problemi ele alınmıştır. Bir örnek problem üzerinde önerilen algoritmanın etkinliği gösterilmektedir.

Akpınar ve Bayhan (2011), çalışmalarında paralel iş istasyonları için yerleşim kısıtlarını göz önüne alarak MHD için algoritma geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri algoritma ile hattaki istasyon sayısını en aza indirmek ve istasyonlar arasındaki iş gücünü dengelemeyi amaçlamışlardır.

Corominas, Ferrer ve Pastor (2011), genel kaynak kısıtlı montaj hattı dengeleme problemini ele almışlardır. Bir başka deyişle, her bir görev tek, çoklu, alternatif ve/veya eşzamanlı kaynağa ihtiyaç duyabilmektedir. Ayrıca mevcut kaynaklar için bir üst sınır hesabı yapılmıştır. Geliştirilen matematiksel model için deneysel bir çalışma yapılmış ve matematiksel modelin etkinliği gösterilmiştir.

Saadet (2012)'nin çalışmasında, sürekli zaman modelleri kullanarak üretim sistemlerinin modellenmesi ve model üstünde yapılmış olan zaman gecikmesi kontrolü tekniği ile

sistemi kararsızlığa sokacak gecikmelerin önceden hesaplanması amaçlanmıştır. Model bir formül ile ifade edilerek standart bir model oluşturulmuş ve bu model üzerinden yapılan işlemlerin kesikli olay simülasyonu ve deneyler ile doğruluğu kanıtlanmıştır.

Özbakır ve Tapkan (2012), çalışmalarında paralel montaj hatlarında, çok kolonili karınca algoritması geliştirerek hattaki istasyonlarının atıl zamanlarını en aza indirme ve hat verimliliğini en üst seviyeye çıkarmayı amaçlamışlardır.

Kara ve Atasagun (2013), yaptıkları çalışmada tamsayılı doğrusal matematiksel model önererek, MHD ve PMHD problemlerini birlikte ele almışlardır.

Tuncel ve Topaloğlu (2013), paralel istasyonlu bir firmada iş atama ve yerleşim kısıtlarını dikkate alarak MHD çalışması yapmıştır. Bu çalışmada çevrim süresi sabit bir değer alınırken istasyon sayısının en küçüklenmesi hedeflenmiştir.

Battaia ve Dolgui (2013), MHD problemi ile ilgili yapılmış olan 300 çalışmayı inceleyerek bir derleme çalışması yapmışlardır. İstasyon yapısına göre, probleme özel kısıtlara göre atama, amaç fonksiyonu ve kullanılan çözüm yöntemine göre çalışmaları incelemişlerdir.

Mete ve Ağpak (2013), montaj hattı dengeleme problemi için geliştirmiş oldukları matematiksel modeli çift taraflı montaj hattı dengeleme problemi için uygulamıştır. Önerilen model, üç farklı amaç (istasyon sayısı, pozisyon sayısı ve kaynak maliyetinin en küçüklemesi) için değerlendirilmiştir.

Jayaswal ve Agarwal (2014), U tipi montaj hatlarında alternatif işgören veya kaynak durumu için bir matematiksel model önermiştir. Matematiksel model küçük ve orta boyutlu problemlerde iyi sonuçlara ulaşabilirken büyük boyutlu problemlerde uygun çözümlere ulaşamamıştır. Bu sebeple, yeni bir tavlama benzetimi algoritması ile büyük boyutlu test problemleri için uygun çözümlere ulaşılmıştır.

Sivanankaran ve Shahabudeen (2014), literatürdeki çalışmalarını sekiz farklı gruba ayırmışlardır. Düz ve U-tipi hatlar şeklinde, ürün çeşitliliğine göre tek ve karışık modelli, görev süresinin deterministik ya da stokastik olma durumuna göre inceleme yapmışlardır. MHD problemi çalışmalarında kullanılan metotlar genetik algoritma, petri ağları algoritmaları, tavlama benzetimi algoritması, tabu arama algoritması, karınca koloni

optimizasyon algoritması, en kısa yol algoritması, parçacık sürü optimizasyon algoritması, arı algoritması ve matematiksel model şeklindedir.

Hazır, Delorme ve Dolgui (2014), MHD problemi için maliyet amaçlı yapılan çalışmaları incelemiştir. Kullanılan malzeme, işgücü, hazırlık zamanı, hurda ve yeniden dengeleme maliyetleri açısından gerçekleştirilen çalışmaları incelemiştir.

Kara, Atasagun, Gökçen, Hezer ve Demirel (2014), çalışmalarında maliyet odaklı bir model geliştirirken ergonomi ve kaynak kısıtlamalarını montaj hattı dengelemesine entegre etmişlerdir.

Pereira (2015), montaj hattının verimliliğini artırmak amacıyla montajlama işini farklı istasyonlara bölerek üç farklı sonuç ve analizler oluşturmuştur.

Küçükkoç ve Zhang'ın (2015), yaptıkları çalışmada mevcut kaynakların kullanımını en iyilemek amacıyla iki U-tipi hat arasında bulunan istasyonlara işler atamak için sezgisel algoritma önermişlerdir. U-tipi hatların paralelleştirilerek işgücü verimliliğinin artırılacağı görülmüştür.

Mukund ve Ponnambalam (2016), yaptıkları çalışmada robotik montaj hattı dengeleme problemini inceleyerek, hattaki robotlara eşit miktarda görev vererek montaj hattını dengelemeyi amaçlamışlardır. Robotik montaj hattının çevrim süresini en aza indirmek için Parçacık Sürü Optimizasyonu Algoritmasını önermişlerdir.

Tapkan (2016), yaptığı çalışmada iki PMHD problemine operatör adım sayıları dahil ederek Yapay Arı Kolonisi algoritması önermiştir.

Mete, Çil, Özceylan ve Ağpak (2016), kaynak kısıtlı de-montaj hattı dengeleme problemi için bir matematiksel model geliştirmiş ve literatürde yer alan iki test problemi için sonuçlar elde etmişlerdir. Her bir görev için tek tip kaynak kullanımının söz konusu olduğu durum ele alınmıştır.

Esmailbeigi, Naderi ve Charkgard (2016), montaj hattı dengeleme ve zamanlama problemi üzerine hattın verimini optimize etmek amacıyla bir çalışma yapmışlardır. Yaptıkları çalışmada, her istasyondaki yapılacak işe göre istasyon tabanlı karar değişkenleri ile formül geliştirmişlerdir.

Li ve Janardhanan (2016), Çevrim süresini en aza indirmek amacıyla iki taraflı robotik montaj hattı dengeleme problemini ele almışlardır. Küçük boyutlu problemler için CPLEX tarafından çözülen bir karma tamsayılı programlama modeli geliştirmişlerdir.

Kamarudin ve Roshid (2017), KMHD problemi için genetik algoritma uygulamışlardır. Önerdikleri iki yeni çaprazlama operatörü ile mevcut tek ve çoklu nokta çaprazlama operatörlerinin performans karşılaştırılması yapılmıştır.

Yang (2014), karışık modelli montaj hattı dengelenirken, yapılan görevin farklı modeller üzerindeki değişkenlerinin aynı istasyona atanmasının gerekliliğini belirlemiştir ve çalışma sonunda istasyon sayısını minimize etmiştir.

Altunay, Özmutlu ve Özmutlu (2017), yaptıkları çalışmada çevrim sürelerini ve birçok kısıtı dikkate alarak paralel montaj hatlarında işgücünün istasyonlara eşit paylaştırılmasını amaçlayarak matematiksel model geliştirmiş ve geliştirdikleri modeli gerçek bir problemde test etmişlerdir.

Feng (2017), yaptığı çalışmada makinelerin, işlerin ve operatörlerin en verimli atanmasını belirlemek için doğrusal model geliştirmiştir.

Li, Küçükkoç ve Nilakantan (2017), montaj hattı dengeleme problemleri için kullanılan sezgisel ve metasezgisel algoritmalar için kapsamlı bir çalışma yapmışlardır. Daha önce yapılmış olan çalışmalara ek olarak kullanılan metasezgisel algoritmaların sonuçlarının değerlendirmesi de yapılmıştır.

Akpınar, Elmi ve Bektaş (2017), basit ve karışık modelli montaj hattı dengeleme problemlerini çözebilen tamsayılı doğrusal programlama sunmuşlardır. Elde edilen çözüm gerçek veriler üzerinde test edilmiştir.

Roshani ve Nezami (2017), tavlama benzetimi algoritması geliştirerek, karışık modelli montaj hattı dengeleme probleminde istasyon sayısını minimize etmişlerdir.

Chen, Cheng ve Li (2018), karışık tamsayılı programlama modelli ve genetik algoritmayı birleştiren karma bir sezgisel hat dengeleme çalışması geliştirmişlerdir.

Hamzadayı (2018), kullandıkları ÖÖTE (Öğretme Öğrenme Tabanlı Eniyileme) algoritması ile karışık modelli montaj hattı dengeleme problemi için çözüm oluşturmuşlardır.

Şahin, Kellegöz ve Söylemez (2018), çok işgören montaj hattı dengeleme problemi için kaynak yatırım maliyeti en küçüklemesine yönelik tavlama benzetimi algoritması ve tam sayılı doğrusal programlama modeline dayalı yeni bir algoritma geliştirmişlerdir.

Chen, Cheng ve Li (2018), KMHD problemi için karma tam sayılı bir matematiksel model geliştirmiştir. Otomotiv sanayi sektöründe yer alan bir işletme için uygulama çalışması yapmışlardır. Dört tip kaynağın kullanılabilir olduğu durumu için kaynak, işgören ve istasyon sayısı en küçüklemesini amaçlamışlardır.

Pereira (2019), yaptığı çalışmada işlem sürelerinin operatöre bağlı olduğunu ve hattın verimini en çoklamak için montaj hattındaki işlem ve operatörleri istasyonlara en uygun şekilde atamayı amaçlayarak kesin ve sezgisel çözüm yöntemleri önermiştir.

Fisel ve Exner (2019), yaptıkları çalışmada ürünlerin taleplerindeki belirsizliği dikkate alarak hatların esnekliğine odaklanmışlardır. Otomotiv montaj hattı üzerinde Tam sayılı doğrusal optimizasyon uygulayarak MHD hedeflemişlerdir.

Li, Janardhanan, Tang ve Ponnambalam (2019), yaptığı çalışmada, geliştirdikleri tamsayı doğrusal programlama modelinde, robotik montaj hatlarındaki kurulum süresini dikkate almışlardır.

Özcan (2019), yaptığı çalışmada paralel montaj hatlarında işlerin dengelenmesi ve çizelgelenmesi probleminin çözümü için doğrusal matematiksel model ve tavlama benzetimi algoritması önermiştir.

Pearce ve Antani (2019), çalışmalarında aynı istasyonda birden fazla operatörün atanmasını sağlayarak kaynak kullanımını en küçüklemeyi amaçlamışlardır. Tam sayılı program ve sezgisel yöntemleri birleştirerek gerçek veriler üzerinde denemişlerdir.

Bakar, Ramli, Sin ve Masran (2019), robotik montaj hattı dengeleme problemi için yapılan İleri sezgisel, sezgisel ve kesin çözüm yöntemleri açısından literatürde gerçekleştirilen çalışmaları incelemişlerdir. Robotik montaj hattı dengeleme problemlerinde, genellikle çevrim zamanı en küçüklemesi uygulamalarının bulunduğunu belirtmişlerdir.

Yadav, Kulhary, Nishad ve Agrawal (2019), paralel çift taraflı kaynak kısıtlı MHD problemi için yeni bir matematiksel model geliştirmişlerdir. İki paralel hat arasında belirli görevler için kaynak paylaşımına izin veren durumu incelemişlerdir.

Şahin ve Kellegöz (2019), çok işgörenli montaj hatları için kaynak kısıtlı montaj hattı dengeleme problemini ele almışlardır. Bu problem için karma tam sayılı bir matematiksel model geliştirmişlerdir. Orta ve büyük boyutlu test problemleri için Parçacık Sürü Optimizasyonu algoritmasını uygulamışlardır. Hibrit parçacık sürü optimizasyonu algoritması performansını, tabu arama ve gugukkuşu algoritmaları ile karşılaştırmışlardır. Geliştirilen alt sınır ile elde edilen sonuçların yüzde sapma değerleri karşılaştırılmıştır.

Yadav ve Agrawal (2019), kaynak kısıtlı çok işgörenli paralel çift taraflı montaj hattı dengeleme problemini ele almışlardır. Bu problem için bir matematiksel model önermişlerdir.

Yılmaz ve Demir (2019), hattın döngü süresini en aza indirmek amacıyla geliştirdikleri matematiksel modelde iş atamaları yapılırken operatör görevlendirme problemi için montaj hatlarında iş gücünün eşit dağıtılmadığı durumları incelemişlerdir.

Palamut ve Akpınar (2019), montaj hattı dengeleme problemlerinde öncelik ilişkilerinin belirtildiği, montaj sürecinde öncelik verilmesi gereken alternatif alt süreçlerin olduğunu ve bu süreçlerin Alternatif Alt Çizge Montaj Hattı Dengeleme Problemleri olarak ortaya çıktığını sunmuşlardır.

Delice (2019), bir montaj hattı dengeleme probleminde bölgeleme kısıtları göz önüne alındığında gerçek veri uygulamalarıyla, çift taraflı U-Tipi montaj hattı dengelemede parçacık sürüsü optimizasyon algoritması kullanarak çözüm elde etmiştir.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

Tez çalışmasında, personel yükseltici lift üreten bir işletmenin montaj hattı problemi ele alınmıştır. Bu bölümün birinci kısmında mevcut durum, ikinci kısmında ise problemin tanımı detaylı bir şekilde tanımlanmıştır. Üçüncü kısımda ise ele alınan problemin çözümü için geliştirilen matematiksel model verilmiştir.

3.1. Mevcut Sistem Analizi

İşletmede halihazırda tasarlanmış bir montaj hattı bulunmamaktadır. Operasyonlar birbirlerine yakın sabit bir alanda manuel olarak gerçekleştirilmektedir. Hat planı, matematiksel hesaplama yapılmadan operatörlerin tecrübelerine dayanılarak yapılmıştır. Verimsiz oluşturulan alandan dolayı gelen müşteri taleplerini karşılamakta gecikmeler olmakta ve bu durum müşteri kayıplarına sebep olmaktadır.

- **Sistemde Gözlenen Semptomlar**

Hattın kurulması planlanan alan ile platform ölçüleri, konum kısıtları ve istasyonlar arası olması gereken boşluklar hesaba katıldığında alana en fazla 5 istasyonun sığabileceği kararlaştırılmıştır. Hatta gözlemlenen durumların işletmenin veriminin azalmasına neden olduğu tespit edilmiştir. Ana nedenler aşağıda verilmiştir.

- **Yerleşim Planı Problemleri**

Makine ve ekipmanların konumu açısından tesisin düzeni verimsizdir. Ardışık operasyonlar arası uzaklık oldukça fazladır. Bu nedenle, ürün taşıma süresi olması gerekenden daha yüksektir. Bu gibi durumlar göz önüne alındığında, yerleşim planı ürünün ve işlemlerinin akışını etkilemektedir. Uygun yerleşim planının olması büyük önem taşımaktadır.

- **Çalışma Alanının Karışıklığı**

İşletmede hem bitmiş ürünler, hem yarımamüller, hem de hammaddelerin depolanması için yeterli alan mevcut değildir. Hattaki çalışma alanları düzensiz ve oldukça karışıktır. Operatörün kullanacağı malzemeyi araması oldukça uzun sürmekte olup büyük zaman kayıplarına neden olmaktadır.

- **Malzeme Taşıma Ekipmanları Eksikliği**

Malzeme taşıma ekipmanları yetersiz ve manuel olduğundan, operatörler kullanılacak ürünleri hareket ettirmek ve taşımak için kas güçlerini kullanmaktadır. Bu durum, çalışanların iş kazaları geçirmelerine neden olup çalışanları ve işletmeyi zor duruma sokmaktadır.

- **Çalışanlara Bağlı Problemler**

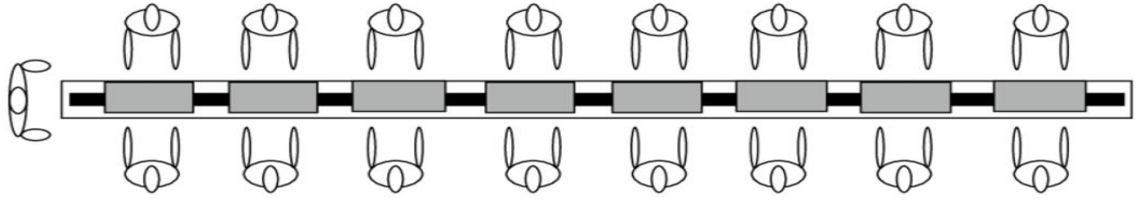
Öncül operasyonlarda operatörler tarafından yapılan işlem hatalarından dolayı işlem sürelerinde gecikmeler olmaktadır. İstasyonlar arası dengenin olmadığı da düşünüldüğünde, bu durum operatörlerin boşa kalmasına ve verimsizliğe neden olmaktadır.

3.2. Problemin Tanımı

Bu çalışmada, personel yükseltici platform üreticisi olan bir işletmenin montaj hattı dengeleme problemi incelenmiştir. İşletmenin ürünleri üç grupta sınıflandırılabilir. Bu sınıflar aşağıda verilmektedir:

- Makaslı platform
- Eklemlerli platform
- Dikey Platform

Bu tez çalışmasında, makaslı platform üretim hattının montaj hattı dengeleme problemi ele alınmıştır. Bu hatta yapılacak çalışmanın, daha fazla fayda (kazanç) sağlayacağı düşünülmüştür. Firma minimum işgücü maliyetiyle haftalık müşteri talebini karşılamak için hattı yeniden dengelemeye ihtiyaç duymuştur. Montaj alanı dört ana bölümden oluşmaktadır: (1) Mekanik montaj, (2) Elektrik montaj, (3) Hidrolik montaj (4) Son montaj. Mekanik montajında kullanılacak şase, makas ve balkona ait tüm malzemeler mekanik montaj alanında bekletilmektedir. Elektrik ve hidrolik montajında kullanılacak malzemelerin çoğunluğu depoda stoklanmaktadır ve kullanılacağı zaman montaj hattına transfer edilmektedir. Bitmiş ürünler, kalibrasyon ve kalite kontrollerinin yapılması için montaj alanından test alanına transfer edilmektedir. Testi geçen ürünler paketlenip ardından bitmiş mamul alanına transfer edilmektedir. Şekil 3.1.' de hattın çift taraflı yapısı gösterilmektedir.

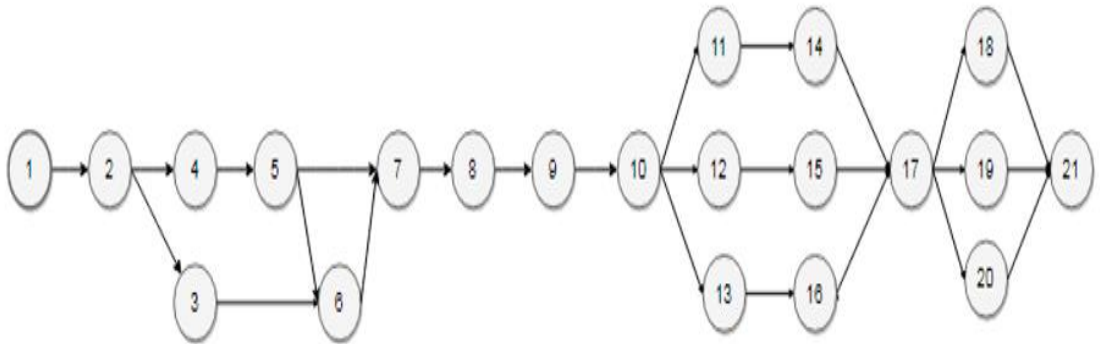


Şekil 3.1. Çift taraflı montaj hattı

Montaj hattı dengeleme probleminin genel özellikleri ve varsayımları aşağıdaki gibidir:

- İşlerin birbirleri arasındaki öncelik ilişkileri bilinmektedir.
- İş parçası istasyonlar arasında bekleme olmaksızın sabit sürede taşınmaktadır.
- Bazı işler birlikte aynı istasyonda yapılmak zorundadır.
- Bazı işler platformun sağ tarafında, bazıları sol tarafında yapılmaktadır.

Bu çalışmanın amacı, iş istasyonu sayısını dolayısıyla operatör sayısını minimize etmeye çalışırken hat etkinliğini maksimize etmektir. Makinanın montaj ve demontaj işlemleri göz önüne alındığında yapılacak işlemlerin birbirlerini engellememesi, montaj kolaylığı ve zamanın en verimli şekilde kullanılması açısından öncelik sıralarının belirlenmesi gerekmektedir. Şekil 3.2. ' de işlerin yapılış sırasını gösteren öncelik ilişkileri diyagramı verilmektedir. İşlem sürelerini tespit etmek için detaylı bir zaman etüdü çalışması yapılmıştır. Çizelge 3.1. ' de işlem süreleri, bir işten hemen önce yapılması gereken işler (öncül işler) ve platformun duruş pozisyonu (sağ taraf-sol taraf) ile ilgili bilgiler verilmektedir. EK 1.'de probleme ait öncelik matrisi verilmiştir.



Şekil 3.2. Montaj işlemleri öncelik ilişkileri diyagramı

Çizelge 3.1. Montaj işlemlerine ait süreler

İşlemler	Öncül İşlem	Süre (dk)	Sağ Taraf	Sol Taraf
1	-	27.3	✓	
2	1	27.27		✓
3	2	12.66	✓	✓
4	2	12.66	✓	✓
5	4	3.99		✓
6	3,5	3.21	✓	
7	5,6	1.68	✓	
8	7	8.97	✓	✓
9	8	8.07		✓
10	9	6.09		✓
11	10	9.6	✓	✓
12	10	10.71	✓	✓
13	10	11.79		✓
14	11	9.09	✓	
15	12	11.07	✓	
16	13	10.74	✓	
17	14,15,16	6.66	✓	✓
18	17	4.35		✓
19	17	4.53	✓	✓
20	17	5.94	✓	✓
21	18,19,20	3.72		

Ele alınan problemde kısıt, işlemlerin yapılması sırasında iş parçalarının montajlanacağı yön ile ilgilidir. Bu yüzden, montaj işlemi sağ tarafta yapılan işler ayrı istasyonlarda, sol tarafta yapılan işler ayrı istasyonlarda gruplandırılmalıdır.

3.3. Probleme Ait Matematiksel Model

Bu bölümde, platform üreten bir işletmede, montaj hattı dengeleme problemi için tamsayı programlama modeli geliştirilmiştir.

Formülasyonda kullanılan notasyon aşağıdaki gibidir:

N : toplam iş sayısı

J : maksimum iş istasyonu sayısı

i, k : işler, $i = 1, \dots, N$

j : iş istasyonları, $j = 1, \dots, J$

C : çevrim süresi

t_i : i . işin işlem süresi

W : Öncül işler için iş çiftleri (i, k)

n_{max} : maksimum çift taraflı iş istasyonu sayısı

E : sağ taraf işleri kümesi

B : sol taraf işleri kümesi

Karar değişkenleri

x_{ij} : 1 eğer i . iş j . istasyona atanırsa; 0 diğer türlü, $i = 1, \dots, N, j = 1, \dots, J$

a_j : 1 eğer j . istasyon sağ taraf işleri için kullanılırsa; 0 diğer türlü, $j = 1, \dots, J$

b_j : 1 eğer j . istasyon sol taraf işleri için kullanılırsa; 0 diğer türlü, $j = 1, \dots, J$

p_j : 1 eğer j . istasyona çift taraflı bir istasyon açılırsa; 0 diğer türlü, $j = 1, \dots, J$

Amaç fonksiyonu Denklem (3.1)' de verilmektedir.

$$\text{Min } \sum_{j=1}^J (b_j \cdot j + a_j \cdot j + p_j) \quad (3.1)$$

$$\sum_{j=1}^J x_{ij} = 1 \quad \forall_i (i = 1, 2, \dots, N) \quad (3.2)$$

$$\sum_{j=1}^J x_{kj} \cdot j - \sum_{j=1}^J x_{ij} \cdot j \geq 0 \quad \forall_{(i,k) \in W} \quad (3.3)$$

$$\sum_{i=1}^N x_{ij} \cdot t_i \leq C \quad \forall_j (j = 1, 2, \dots, J) \quad (3.4)$$

$$a_j + b_j \geq p_j \quad \forall_j (j = 1, 2, \dots, J) \quad (3.5)$$

$$a_j + b_j \leq 1 \quad \forall_j (j = 1, 2, \dots, J) \quad (3.6)$$

$$\sum_{i \in E} x_{ij} \leq |E| \cdot (1 - b_j) \quad \forall_j (j = 1, 2, \dots, J) \quad (3.7)$$

$$\sum_{i \in B} x_{ij} \leq |B| \cdot (1 - a_j) \quad \forall_j (j = 1, 2, \dots, J) \quad (3.8)$$

$$\sum_{j=1}^J p_j \leq n_{max} \quad \forall_{i,j} (i = 1, 2, \dots, N, j = 1, 2, \dots, J) \quad (3.9)$$

$$x_{ij}, a_j, b_j, p_j \in \{0, 1\} \quad (3.10)$$

Amaç fonksiyonu; belirlenen çevrim süresine göre sağ taraf ve sol taraf işlerin gerçekleştirileceği iş istasyonları sayısını en aza indirmektedir.

Kısıt (3.2), yapılacak olan her işin yalnızca bir istasyona atanmasını sağlamaktadır.

Kısıt (3.3), işler arasındaki öncelik ilişkilerini sağlamaktadır; i. iş k. işin öncülüdür.

Kısıt (3.4), j. istasyona atanan işlerin toplam süresi çevrim süresinden daha küçük ya da eşit olmalıdır.

Kısıt (3.5), çift taraflı iş istasyonunun, sağ taraf ya da sol taraf iş istasyonunun açılması durumunda kullanılabilir.

Kısıt (3.6), bir istasyon ya sağ taraf ya da sol taraf işlemlerin yapıldığı bir iş istasyonu olarak açılabilir.

Kısıt (3.7), sağ taraf işlerinin sol taraf kısıtlı iş istasyonlarına atanmasını engellemektedir.

Kısıt (3.8), sol taraf işlerinin sağ taraf kısıtlı iş istasyonlarına atanmasını engellemektedir.

Kısıt (3.9), açılabilir çift taraflı iş istasyonu sayısını sınırlandırmaktadır.

Kısıt (3.10), x_{ij} , a_j , b_j , p_j değişkenlerinin ikili değişken olduğunu belirtmektedir.

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

Bu bölümde, çalışma sonuçları paylaşılıp mevcut sistem ile karşılaştırılması yapılmıştır.

Çalışmanın adımları aşağıdaki gibi gösterilebilir:

- Problemin belirlenmesi,
- İş gücü ataması,
- Problemin tanımlanması,
- Yöntemin belirlenmesi,
- Kullanılacak yazılıma karar verilmesi,
- Modelin çözümü,
- Sonuçların analiz edilmesi.

Sabit sehpa üzerinde yapılan montajlarda, yüksek maliyetler ve uzun periyotlarda üretim yapılmaktadır. Uygulamanın yapıldığı işletmede montaj istasyonunun kurulabilmesi için öncelikle alt bileşenlerin istasyonlara ulaştırılma kolaylığı ve yer kısıtları da göz önüne alınmıştır. İstasyonun kurulabileceği en uygun yer belirlenmiş ve açılacak maksimum iş istasyonu sayısı tespit edilmiştir.

İstasyonların kurulması esnasında; hat alanının eni, boyu, malzemelerin yerleştirilmesinde alan problemi oluşmaması, büyük hacimli ve kütleli parçaların istasyonlara iletilmesi açısından hattın kurulacağı alan uygun görülmüştür.

İşletmede yapılan araştırmalar sonucunda, iş içeriği, teknik personel ve montaj ustalarının deneyimlerinden faydalanarak iş öğelerinin kaç aşamada olması gerektiği tespit edilmiştir. İşlerin öğelere ayrılmasından sonra her bir işin aldığı zaman, öncelik ilişkileri ve her iş öğesinin montajı için geçen süreler tespit edilmiştir. Çizelge 4.1' de dengelemeden önceki hat bilgisi gösterilmektedir.

Çizelge 4.1. Montaj hattı dengeleme öncesi işlemler ve süreleri

İş	İş Süresi (dk)
1	27.3
2	27.27
3	12.66
4	12.66
5	3.99
6	3.21
7	1.68
8	8.97
9	8.07
10	9.6
11	6.09
12	10.71
13	11.79
14	9.09
15	11.07
16	10.74
17	6.66
18	4.35
19	4.53
20	5.94
21	3.72
Toplam	200.1

Dengeleme öncesi işletmenin günlük üretim hacmi Denklem 4.1 ve Denklem 4.2' deki gibi hesaplanmıştır.

$$\text{Günlük Üretim Hacmi (adet/gün)} = \frac{60(\text{dk}) \cdot \text{Günlük Çalışma Süresi}}{\text{Çevrim Süresi}} \quad (4.1)$$

$$\text{Günlük Üretim Hacmi} = \frac{60(\text{dakika/saat}) \cdot 8(\text{saat/gün})}{200,1(\text{dakika/adet})} = 2,398 \cong 2 \text{ adet/gün} \quad (4.2)$$

Matematiksel model, işlem süreleri ve en çok istasyon sayısı baz alındığında çevrim süresi 67.23 dk için Montaj Hattı Dengeleme Problemi'ni çözmek üzere LINGO 18.0 optimizasyon paketinde çalıştırılmıştır. Sonuçların detaylı tablosu EK2.'de

paylaşmıştır. Toplam 4 tane başlıca iş istasyonu açılmaktadır. Bu çevrim süresi için elde edilen Çizelge 4.2’ deki çözüme göre, dengeleme öncesi hat etkinliği %25,71 olan montaj hattı dengeleme sonrası mevcut operatör sayısı korunarak %87.5’e ulaşmaktadır.

Çizelge 4.2. Montaj hattı tasarımı sonrası istasyonlara atanan işler

İş İstasyonu	İş	İş Süresi (dk)	İstasyona ait Toplam Zaman(dk)
	1	27.3	
1	2	27.27	67.23
	3	12.66	
	4	12.66	
	5	3.99	
2	8	8.97	45.93
	10	9.6	
	12	10.71	
	15	11.07	
	16	10.74	
3	17	6.66	37.35
	18	4.35	
	19	4.53	
	6	3.21	
	7	1.68	
	9	8.07	
4	11	6.09	49.59
	13	11.79	
	14	9.09	
	20	5.94	
	21	3.72	

Dengeleme sonrası işletmenin günlük üretim hacmi Denklem 4.3 ve Denklem 4.4’ deki gibi hesaplanmıştır.

$$\text{Günlük Üretim Hacmi (adet/gün)} = \frac{60(\text{dk}) * \text{Günlük Çalışma Süresi}}{\text{Çevrim Süresi}} \quad (4.3)$$

$$\text{Günlük Üretim Hacmi} = \frac{60(\text{dakika/saat}) * 8(\text{saat/gün})}{67,23(\text{dakika/adet})} = 7,139 \cong 7 \text{ adet/gün} \quad (4.4)$$

Heterojen işgücüne sahip paralel montaj hatları için, ihtiyaç duyulan veri setleri mevcut montaj hattı veri setindeki öncüllük ve işlem zamanları baz alınarak yeniden oluşturularak matematiksel model tekrar çalıştırılmıştır. Veri setinin yeniden oluşturulması sırasında alınan katsayılar robot ve insan-robot etkileşimli sistemler üzerine uzmanlaşmış kişiler ve sektör temsilcilerinin verdikleri bilgiler ışığında yaklaşık olarak belirlenmiştir. Çizelge 4.3’ de veri setinin kullanılması sonucu ulaşılan sonuçlar gösterilmektedir.

Çizelge 4.3. Robotik işgücü ile hat tasarımı sonrası istasyonlara atanan işler

İş İstasyonu	İş	İş Süresi (dk)	İstasyona ait Toplam Zaman(dk)
1	1	15.015	39.171
	2	14.9985	
	4	6.963	
	5	2.1945	
2	3	6.963	24.3045
	6	1.7655	
	7	0.924	
	8	4.9335	
	9	4.4385	
	10	5.28	
3	11	3.3495	20.328
	14	4.9995	
	12	5.8905	
	15	6.0885	
4	13	6.4845	26.2515
	16	5.907	
	17	3.663	
	18	2.3925	
	19	2.4915	
	20	3.267	
	21	2.046	

$$\text{Günlük Üretim Hacmi (adet/gün)} = \frac{60(\text{dk}) * \text{Günlük Çalışma Süresi}}{\text{Çevrim Süresi}} \quad (4.5)$$

$$\text{Günlük Üretim Hacmi} = \frac{60(\text{dakika/saat}) * 8(\text{saat/gün})}{39.171(\text{dakika/adet})} = 12,253 \cong 12 \text{ adet/gün} \quad (4.6)$$

Hattın kurulması planlanan alanın boyu ile platformun boy uzunluğu, konum kısıdı ve istasyonlar arasında olması gereken çalışma alanı boşlukları ile alana en fazla 5 istasyonun sığabileceği hesaplanmıştır. Montaj yapılırken gereken çalışma alanı açısından istasyonlar arası boşluğun 70 cm olmasına karar verilmiştir. Model çalıştırılmıştır ve optimum istasyon sayısı dört olarak elde edilmiştir. Bu sonuca göre izelge 4.1' de görüldüğü gibi en uzun işlem süresi birinci istasyona aittir ve toplamda 67.23 dakikadır. Bu nedenle hattın çevrim süresi 67.23 dk olarak alındığında günlük üretim hacmi Denklem 4.2'de görüldüğü gibi 2 makine olarak hesaplanmaktadır. Hat dengeleme tasarımı işlemlerinden sonra günlük üretim hacmi Denklem 4.4' de görüldüğü gibi yedi makinedir. Böylece, kurulan yeni sistem sayesinde %25.71 olan üretim kapasitesinin %87.5'e artışı sağlanmıştır ve bu artış hattaki operatör sayısını arttırmadan elde edilmiştir. Hattaki işgücünün robotik sistemlerle desteklenmesi sonucunda ise Denklem 4.6' da görüldüğü gibi günlük üretim adedi 12 makine olacaktır. Şirketin retim kapasitesindeki artışı göz önüne alarak elde edilen karlılık sonucunda yapılacak robotik sistem yatırım maliyetine katlanabilirliği incelenmelidir.

Bu tez çalışmasında yukarıda belirtilen kapasite artımını başarabilmek için;

- Hatta verimsizliğe neden olan kayıplar azaltılmıştır.
- Operasyonlarda iyileştirmeler yapılarak işlem süreleri kısaltılmıştır.
- Geliştirilen yerleşim planı sayesinde malzeme akışında iyileştirme sağlanmıştır.
- Hatta bir düzen içerisinde yerleştirilen malzeme stoklarıyla vakit kayıplarının etkisi giderilmiştir.

5. SONUÇ

Tez çalışmasında, makaslı platform üretim hattının montaj hattı dengeleme problemi ele alınmıştır ve probleme ait tamsayı programlama modeli geliştirilmiştir. Mevcut sistemde günlük üretim kapasitesi, ortalama iki tane ürün üretebilecek durumdadır. Kurulan yeni sistem ise geliştirilen çözüm metodu ve yapılan iyileştirmeler sayesinde ortalama yedi tane ürün üretebilecek kapasiteye sahiptir. Böylece, kurulan yeni sistem sayesinde %25.71 olan üretim kapasitesinin %87.5'e artışı sağlanmıştır ve bu artışa hattaki operatör sayısını arttırmadan ulaşılmıştır. Hattaki işgücünün robotik sistemlerle desteklenmesi sonucunda ise günlük üretim adedi 12 makine olacağı görülmektedir. Şirketin üretim kapasitesindeki artışı göz önüne alarak elde edilen karlılık sonucunda yapılacak robotik sistem yatırım maliyetine katlanabilirliği incelenmelidir

Montaj hattı dengeleme problemlerinde literatürde genellikle basit montaj hattı problemi üzerine yoğunlaşmıştır. Son yıllarda ise yapılan çalışmaların gerçek verilerle yapılan çalışmalar olduğu görülmektedir. Bu çalışmada, çift taraflı iş istasyonlu gerçek bir montaj hattı sisteminin, hat dengeleme problemi matematiksel formüle edilip çözülmektedir. Belirlenen bir çevrim süresi için yer kısıtları, işlem atama kısıtları ve öncelik ilişkilerini dikkate alarak montaj işlerinin seri hatta atamasını gerçekleştiren bir tamsayı programlama modeli önerilmiştir. Elde edilen sonuçlar, hat etkinliğine göre karşılaştırılmıştır. Gerçek hayat problemlerinde iş rotasyonu, maliyet ve kar hedefli bir amaç fonksiyonu, ekipman seçimi, alternatif prosesler, karışık model üretimi gibi kriterler ile de incelenmektedir. Gelecek araştırmalarda gerçek verilerin bu ilave özelliklerle birleştirilip nasıl çözümleneceği ve pratiğe nasıl yansıtılacağı incelenebilir.

KAYNAKLAR

Ağpak, K., Gökçen, H. (2005). Assembly line balancing: Two resource constrained cases. *International Journal of Production Economics*, 96(1), 129-140. Erişim Adresi: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0925527304001367>

Akpınar S., Elmi A., Bektaş T. (2017). Combinatorial Benders Cuts for Assembly Line Balancing Problems with Setups, *European Journal of Operational Research* 259: 527–537. Erişim Adresi: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0377221716309079>

Akpınar, S., Bayhan, G.M.(2011). A hybrid genetic algorithm for mixed model assembly line balancing problem with parallel workstations and zoning constraints. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 24: 449-457. Erişim Adresi: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0952197610001612>

Altunay H., Özmütlu C., Özmütlu S.(2017). Paralel Görev Atamalı Montaj Hattı Dengeleme Problemi İçin Yeni Bir Matematiksel Model Önerisi. *C.Ü. İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*,18. Erişim Adresi: <http://esjournal.cumhuriyet.edu.tr/en/pub/issue/32216/357725>

Asl J. A., Solimanpur M., Shankar R. (2019). Multi-Objective Multi-Model Assembly Line Balancing Problem: A Quantitative Study in Engine Manufacturing Industry, *Opsearch* 56: 603–627. Erişim Adresi: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12597-019-00387-y>

Bakar, N. A., Ramli, M. F., Sin, T. C., and Masran, H. (2019). A review on Robotic assembly line balancing and metaheuristic in manufacturing industry. *In American Institute of Physics Conference Proceedings*, 2138 (1), 1-7. Erişim Adresi: <https://aip.scitation.org/doi/abs/10.1063/1.5121084>

Battaia, O., Dolgui, A. (2013). A taxonomy of line balancing problems and their solution approaches. *International Journal of Production Economics*, 142(2), 259-277. Erişim Adresi: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0925527312004616>

Becker, C., Scholl, A. (2006). A survey on problems and methods in generalized assembly line balancing. *European Journal of Operational Research*, 168(3), 694-715. Erişim Adresi: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0377221704004801>

Boysen, N., Fliedner, M., Scholl, A. (2007). A classification of assembly line balancing problems, *European Journal of Operational Research*, 183, 674-693. Erişim Adresi: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0377221706010435>

Boysen, N., Fliedner, M., Scholl, A. (2009). Sequencing mixed-model assembly lines: Survey, classification and model critique. *European Journal of Operational Research*, 192(2), 349-373. Erişim Adresi: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0377221707009332>

Bukchin, J., Rubinovitz, J. (2003). A weighted approach for assembly line design with station paralleling and equipment selection. *Institute of Industry and Systems Engineers Transactions*, 35(1), 73-85. Erişim Adresi: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/07408170304429>

Chen, Y. Y., Cheng, C. Y., Li, J. Y. (2018). Resource-constrained assembly line balancing problems with multi-manned workstations. *Journal of Manufacturing Systems*, 48, 107-119. Erişim Adresi: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S027861251830178X>

Corominas, A., Ferrer, L., Pastor, R. (2011). Assembly line balancing: General resource constrained case. *International Journal of Production Research*, 49(12), 3527–3542. Erişim Adresi: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00207543.2010.481294>

Delice, Y., Aydoğan, E. K., Söylemez, İ., Özcan, U. (2018). An ant colony optimisation algorithm for balancing two-sided U-type assembly lines with sequence-dependent set-up times. *Sādhanā*, 43(12), 199-214. Erişim Adresi: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12046-018-0969-9>

Delice Y. (2019). Pozitif ve Negatif Bölgeleme Kısıtlı Çift Taraflı U Tipi Montaj Hattı Dengeleme Problemi, *Erciyes University Journal of Institute of Science and Technology* 35(2): 32-44. Erişim Adresi: <https://dergipark.org.tr/en/pub/erciyesfen/issue/48482/604881>

Esmailbeigi R., Naderi B., Charkgard P. (2016). New Formulations for The Setup Assembly Line Balancing and Scheduling Problem, *OR Spectrum* 38:493–518. Erişim Adresi: <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs00291-016-0433-3>

Fisel J., Exner Y.(2019). Changeability and flexibility of assembly line balancing as a multi-objective optimization problem. *Journal of Manufacturing Systems*,53:150-158. Erişim Adresi: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0278612519300846>

Genikomsakis K.N., Tourassis V.D. (2012). Task Proximity Index: A Novel Measure for Assessing the Work-Efficiency of Assembly Line Balancing Configurations, *International Journal of Production Research* 50(6): 1624–1638. Erişim Adresi: <https://www.tandfonline.com/journals/tprs20>

Hamzadayı A. (2018). Balancing of Mixed-Model Two-Sided Assembly Lines Using Teaching-Learning Based Optimization Algorithm, *Pamukkale Univ Muh Bilim Dergisi* 24(4): 682-691. Erişim Adresi: <https://dergipark.org.tr/en/pub/pajes/issue/38891/454095>

Hazır, Ö., Delorme, X., Dolgui, A. (2014). A survey on cost and profit oriented assembly line balancing. *International Federation of Automatic Control Proceedings*, 47 (3), 6159-6167. Erişim Adresi: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1474667016425772>

Jayaswal, S., Agarwal, P. (2014). Balancing U-shaped assembly lines with resource dependent task times: A simulated annealing approach. *Journal of Manufacturing Systems*, 33(4), 522–534. Erişim Adresi: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0278612514000478>

Kamarudin, N. H., Rashid, M. A. (2017). Assembly line balancing with resource constraints using new rank-based crossovers. *In Journal of Physics: Conference Series*, 908 (1), 1-8. Erişim Adresi: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/908/1/012059/meta>

Kao, H. H., Yeh, D. H., Wang, Y. H., Hung, J. C. (2010). An optimal algorithm for type-I assembly line balancing problem with resource constraint. *African Journal of Business Management*, 4(10), 2051-2058. Erişim Adresi: <https://academicjournals.org/journal/AJBM/article-abstract/7C1F78D28408>

Kara, Y., Özgüven, C., Yalçın, N., Atasagun, Y. (2011). Balancing straight and Ushaped assembly lines with resource dependent task times. *International Journal of Production Research*, 49(21), 6387–6405. Erişim Adresi: <https://www.tandfonline.com/journals/tprs20>

Kara, Y., Atasagun, Y. (2013). Assembly line balancing with resource dependent task times: An application to parallel assembly lines. *International Federation of Automatic Control Proceedings Volumes*, 46(9), 845–850. Erişim Adresi: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1474667016343932>

Kara Y., Atasagun Y., Gökçen H., Hezer S., Demirel N. (2014). An Integrated Model to Incorporate Ergonomics and Resource Restrictions into Assembly Line Balancing, *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 27(11): 997–1007. Erişim Adresi: <https://www.tandfonline.com/journals/tcim20>

Küçükkoç, İ., Zhang, D. Z. (2015). A mathematical model and genetic algorithm-based approach for parallel two-sided assembly line balancing problem. *Production Planning and Control*, 26(11), 874-894. Erişim Adresi: <https://www.tandfonline.com/journals/tppc20>

Levitin, G., Rubinovitz, J., (2006). A genetic algorithm for robotic assembly line balancing. Israel b Faculty of Industrial Engineering and Management Technion, European Journal of Operational Research. Erişim Adresi: <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.100.9483&rep=rep1&type=pdf>

Li, Z., Janardhanan, M., (2016). Co-evolutionary particle swarm optimization algorithm for two-sided robotic assembly line balancing problem. *Advances in Mechanical Engineering* 2016, Vol. 8(9) 1–14. Erişim Adresi: <https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/1687814016667907>

Li, Z., Küçükkoç, İ., Nilakantan, J. M. (2017). Comprehensive review and evaluation of heuristics and meta-heuristics for two-sided assembly line balancing problem. *Computers and Operations Research*, 84, 146-161. Erişim Adresi: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0305054817300618>

Li Z., Janardhanan N., Tang Q., Ponnambalam S.G. (2019). Model and metaheuristics for robotic two-sided assembly line balancing problems with setup times. *Swarm and Evolutionary Computation*. 50. Erişim Adresi: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2210650218308460>

Mete, S. ve Ağpak, K. (2013). Çok amaçlı genelleştirilmiş kaynak kısıtlı çift taraflı montaj hattı dengeleme problemi ve hesaplama analizi. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 28(3), 569-575. Erişim Adresi: <https://dergipark.org.tr/en/pub/gazimmfd/issue/6704/89123>

Mete, S., Çil, Z.A., Özceylan, E., Ağpak, K. (2016). Resource constraint disassembly line balancing problem. *International Federation of Automatic Control-Papers OnLine*, 49 (12), 921-925. Erişim Adresi: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S240589631631179X>

Mukund J., Ponnambalam G. (2016). Bio-inspired search algorithms to solve robotic assembly line balancing problems. *Neural Comput & Applic* (2015) 26:1379–1393. Erişim Adresi: https://www.researchgate.net/profile/Kanagaraj-Ganesan/publication/270344207_Bio-inspired_search_algorithms_to_solve_robotic_assembly_line_balancing_problems/links/578f4b9b08ae81b44671c2c3/Bio-inspired-search-algorithms-to-solve-robotic-assembly-line-balancing-problems.pdf

Özbakır, L., Tapkan, P. (2012). Bee colony intelligence in zone constrained two-sided assembly line balancing problem. *Expert Systems with Applications*, 38(9), 11947-11957. Erişim Adresi: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0957417411004982>

Özcan U. (2019). Balancing Stochastic Parallel Assembly Lines, *Computers and Operations Research* 99: 109–122. Erişim Adresi: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0305054818301199>

Palamut Ü., Akpınar Ş. (2019). A Firefly Algorithm for the Alternative Subgraphs Assembly Line Balancing Problem 2019(3): 290-297. Erişim Adresi: <https://dergipark.org.tr/en/pub/jtom/issue/51652/615018>

Pearce W., Antani K. (2019). An effective integer program for a general assembly line balancing problem with parallel workers and additional assignment restrictions. *Journal of Manufacturing Systems*, 50:180-192. Erişim Adresi: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0278612518304631>

Pekin, N. Azizoglu, M. (2008). Bi criteria flexible assembly line design problem with equipment decisions. *International Journal of Production Research*, 46(22), 6323-6343. Erişim Adresi:

Şahin, M., Kellegöz, T. (2019). Balancing multi-manned assembly lines with walking workers: problem definition, mathematical formulation, and an electromagnetic field optimisation algorithm. *International Journal of Production Research*, 57(20), 6487-6505. Erişim Adresi:

<https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/532413>

Vilarinho, P. M., Simaria, A. S. (2006). ANTBAL: an ant colony optimization algorithm for balancing mixed-model assembly lines with parallel workstations. *International journal of production research*, 44(2), 291-303. Erişim Adresi:

<https://www.tandfonline.com/journals/tprs20>

Yadav, A., Kulhary, R., Nishad, R., Agrawal, S. (2019). Parallel two-sided assembly line balancing with tools and tasks sharing. *Assembly Automation*, doi.org/10.1108/AA-02-2018-025. Erişim Adresi:

<https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/AA-02-2018-025/full/html>

Yadav, A., Agrawal, S. (2019). A Multi-Manned Parallel Two-Sided Assembly Line Balancing with Tool Sharing Approach-A Company Case Study Solved By Exact Solution Approach. *International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development*, 9 (2), 51-60.

Erişim Adresi:

https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/59647409/5IJMPERDAPR2019520190610-127728-18ag4hh-with-cover-page-v2.pdf?Expires=1641564328&Signature=S5wPoKIqR3CP4ZvJU-kiViPSDEAC-NOT81wEuZ1F0GwSQDaSh8ppjqdZn63jW8flMoQdx9Cf91404l7BpR1SiHk1F1PT~BsMGrD-R4eBiYm2CQYD4rE8Nu9uoWhzU~3qrZzx1Ud-MRXHAAomeF9JbaFOaGFR1ej88RUEHwMrEI4cdI9O5ZFr7xmUPb2~NrtTAThJcV TYuWnQDpM1NMG-NIu8B6Mc9nf3cV2-rsVGwIW03e0TBOoYjXxRra1WJDsC4rSwVHFwvT63FJNZvNe2pwzrTbBIg4urHnie mZLLCH40t7AVWB~PQdwacu5EjV1IvZrYtPxGR4cA9OHTtvuWw__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA

Yılmaz H., Demir Y. (2019). New Mathematical Model for Assembly Line Worker Assignment and Balancing, *Journal of the Institute of Science and Technology*, 9(4): 2002-2008. Erişim Adresi: <https://dergipark.org.tr/en/pub/jist/issue/50142/579958>

LINGO (2013), The Modeling Language and Optimizer, Chicago: LINDO Systems Inc.

EKLER

EK 1 İşlemler Arası Öncelik Matrisi

EK 2 Lingo Çözüm Sonuçları

EK 1. İşlemler Arası Öncelik Matrisi

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

EK 2. Lingo Çözüm Ekranları

Variable	Value	Reduced Cost
M(1)	1	0
M(2)	1	0
M(3)	1	0
M(4)	1	0
M(5)	0	0
X(1,1)	1	0
X(1,2)	1	0
X(1,3)	1	0
X(1,4)	0	0
X(1,5)	0	0
X(1,6)	0	0
X(1,7)	0	0
X(1,8)	0	0
X(1,9)	0	0
X(1,10)	0	0
X(1,11)	0	0
X(1,12)	0	0
X(1,13)	0	0
X(1,14)	0	0
X(1,15)	0	0
X(1,16)	0	0
X(1,17)	0	0
X(1,18)	0	0
X(1,19)	0	0
X(1,20)	0	0
X(1,21)	0	0
X(2,1)	0	0
X(2,2)	0	0
X(2,3)	0	0
X(2,4)	1	0
X(2,5)	1	0
X(2,6)	0	0
X(2,7)	0	0
X(2,8)	1	0
X(2,9)	0	0
X(2,10)	0	0
X(2,11)	1	0
X(2,12)	1	0
X(2,13)	0	0

EK 2. Lingo Çözüm Ekranları (Devam)

X(2,14)	0	0
X(2,15)	0	0
X(2,16)	0	0
X(2,17)	0	0
X(2,18)	0	0
X(2,19)	0	0
X(2,20)	0	0
X(2,21)	0	0
X(3,1)	0	0
X(3,2)	0	0
X(3,3)	0	0
X(3,4)	0	0
X(3,5)	0	0
X(3,6)	1	0
X(3,7)	1	0
X(3,8)	0	0
X(3,9)	1	0
X(3,10)	1	0
X(3,11)	0	0
X(3,12)	0	0
X(3,13)	1	0
X(3,14)	1	0
X(3,15)	0	0
X(3,16)	0	0
X(3,17)	0	0
X(3,18)	0	0
X(3,19)	0	0
X(3,20)	1	0
X(3,21)	1	0
X(4,1)	0	0
X(4,2)	0	0
X(4,3)	0	0
X(4,4)	0	0
X(4,5)	0	0
X(4,6)	0	0
X(4,7)	0	0
X(4,8)	0	0
X(4,9)	0	0
X(4,10)	0	0
X(4,11)	0	0

EK 2. Lingo Çözüm Ekranları (Devam)

X(4,12)	0	0
X(4,13)	0	0
X(4,14)	0	0
X(4,15)	1	0
X(4,16)	1	0
X(4,17)	1	0
X(4,18)	1	0
X(4,19)	1	0
X(4,20)	0	0
X(4,21)	0	0
X(5,1)	0	0
X(5,2)	0	0
X(5,3)	0	0
X(5,4)	0	0
X(5,5)	0	0
X(5,6)	0	0
X(5,7)	0	0
X(5,8)	0	0
X(5,9)	0	0
X(5,10)	0	0
X(5,11)	0	0
X(5,12)	0	0
X(5,13)	0	0
X(5,14)	0	0
X(5,15)	0	0
X(5,16)	0	0
X(5,17)	0	0
X(5,18)	0	0
X(5,19)	0	0
X(5,20)	0	0
X(5,21)	0	0
Y(1,1)	1	0
Y(1,2)	0	0
Y(1,3)	0	0
Y(1,4)	0	0
Y(1,5)	0	0
Y(2,1)	1	0
Y(2,2)	0	0
Y(2,3)	0	0
Y(2,4)	0	0

EK 2. Lingo Çözüm Ekranları (Devam)

Y(2,5)	0	0
Y(3,1)	1	0
Y(3,2)	0	0
Y(3,3)	0	0
Y(3,4)	0	0
Y(3,5)	0	0
Y(4,1)	0	0
Y(4,2)	1	0
Y(4,3)	0	0
Y(4,4)	0	0
Y(4,5)	0	0
Y(5,1)	0	0
Y(5,2)	1	0
Y(5,3)	0	0
Y(5,4)	0	0
Y(5,5)	0	0
Y(6,1)	0	0
Y(6,2)	0	0
Y(6,3)	1	0
Y(6,4)	0	0
Y(6,5)	0	0
Y(7,1)	0	0
Y(7,2)	0	0
Y(7,3)	1	0
Y(7,4)	0	0
Y(7,5)	0	0
Y(8,1)	0	0
Y(8,2)	1	0
Y(8,3)	0	0
Y(8,4)	0	0
Y(8,5)	0	0
Y(9,1)	0	0
Y(9,2)	0	0
Y(9,3)	1	0
Y(9,4)	0	0
Y(9,5)	0	0
Y(10,1)	0	0
Y(10,2)	0	0
Y(10,3)	1	0
Y(10,4)	0	0

EK 2. Lingo Çözüm Ekranları (Devam)

Y(10,5)	0	0
Y(11,1)	0	0
Y(11,2)	1	0
Y(11,3)	0	0
Y(11,4)	0	0
Y(11,5)	0	0
Y(12,1)	0	0
Y(12,2)	1	0
Y(12,3)	0	0
Y(12,4)	0	0
Y(12,5)	0	0
Y(13,1)	0	0
Y(13,2)	0	0
Y(13,3)	1	0
Y(13,4)	0	0
Y(13,5)	0	0
Y(14,1)	0	0
Y(14,2)	0	0
Y(14,3)	1	0
Y(14,4)	0	0
Y(14,5)	0	0
Y(15,1)	0	0
Y(15,2)	0	0
Y(15,3)	0	0
Y(15,4)	1	0
Y(15,5)	0	0
Y(16,1)	0	0
Y(16,2)	0	0
Y(16,3)	0	0
Y(16,4)	1	0
Y(16,5)	0	0
Y(17,1)	0	0
Y(17,2)	0	0
Y(17,3)	0	0
Y(17,4)	1	0
Y(17,5)	0	0
Y(18,1)	0	0
Y(18,2)	0	0
Y(18,3)	0	0
Y(18,4)	1	0

EK 2. Lingo Çözüm Ekranları (Devam)

Y(18,5)	0	0
Y(19,1)	0	0
Y(19,2)	0	0
Y(19,3)	0	0
Y(19,4)	1	0
Y(19,5)	0	0
Y(20,1)	0	0
Y(20,2)	0	0
Y(20,3)	1	0
Y(20,4)	0	0
Y(20,5)	0	0
Y(21,1)	0	0
Y(21,2)	0	0
Y(21,3)	1	0
Y(21,4)	0	0
Y(21,5)	0	0
W(1,1)	0	0
W(1,2)	1	0
W(1,3)	0	0
W(1,4)	0	0
W(1,5)	0	0
W(1,6)	0	0
W(1,7)	0	0
W(1,8)	0	0
W(1,9)	0	0
W(1,10)	0	0
W(1,11)	0	0
W(1,12)	0	0
W(1,13)	0	0
W(1,14)	0	0
W(1,15)	0	0
W(1,16)	0	0
W(1,17)	0	0
W(1,18)	0	0
W(1,19)	0	0
W(1,20)	0	0
W(1,21)	0	0
W(2,1)	0	0
W(2,2)	0	0
W(2,3)	1	0

EK 2. Lingo Çözüm Ekranları (Devam)

W(2,4)	1	0
W(2,5)	0	0
W(2,6)	0	0
W(2,7)	0	0
W(2,8)	0	0
W(2,9)	0	0
W(2,10)	0	0
W(2,11)	0	0
W(2,12)	0	0
W(2,13)	0	0
W(2,14)	0	0
W(2,15)	0	0
W(2,16)	0	0
W(2,17)	0	0
W(2,18)	0	0
W(2,19)	0	0
W(2,20)	0	0
W(2,21)	0	0
W(3,1)	0	0
W(3,2)	0	0
W(3,3)	0	0
W(3,4)	0	0
W(3,5)	0	0
W(3,6)	1	0
W(3,7)	0	0
W(3,8)	0	0
W(3,9)	0	0
W(3,10)	0	0
W(3,11)	0	0
W(3,12)	0	0
W(3,13)	0	0
W(3,14)	0	0
W(3,15)	0	0
W(3,16)	0	0
W(3,17)	0	0
W(3,18)	0	0
W(3,19)	0	0
W(3,20)	0	0
W(3,21)	0	0
W(4,1)	0	0

EK 2. Lingo Çözüm Ekranları (Devam)

W(4,2)	0	0
W(4,3)	0	0
W(4,4)	0	0
W(4,5)	1	0
W(4,6)	0	0
W(4,7)	0	0
W(4,8)	0	0
W(4,9)	0	0
W(4,10)	0	0
W(4,11)	0	0
W(4,12)	0	0
W(4,13)	0	0
W(4,14)	0	0
W(4,15)	0	0
W(4,16)	0	0
W(4,17)	0	0
W(4,18)	0	0
W(4,19)	0	0
W(4,20)	0	0
W(4,21)	0	0
W(5,1)	0	0
W(5,2)	0	0
W(5,3)	0	0
W(5,4)	0	0
W(5,5)	0	0
W(5,6)	1	0
W(5,7)	1	0
W(5,8)	0	0
W(5,9)	0	0
W(5,10)	0	0
W(5,11)	0	0
W(5,12)	0	0
W(5,13)	0	0
W(5,14)	0	0
W(5,15)	0	0
W(5,16)	0	0
W(5,17)	0	0
W(5,18)	0	0
W(5,19)	0	0
W(5,20)	0	0

EK 2. Lingo Çözüm Ekranları (Devam)

W(5,21)	0	0
W(6,1)	0	0
W(6,2)	0	0
W(6,3)	0	0
W(6,4)	0	0
W(6,5)	0	0
W(6,6)	0	0
W(6,7)	1	0
W(6,8)	0	0
W(6,9)	0	0
W(6,10)	0	0
W(6,11)	0	0
W(6,12)	0	0
W(6,13)	0	0
W(6,14)	0	0
W(6,15)	0	0
W(6,16)	0	0
W(6,17)	0	0
W(6,18)	0	0
W(6,19)	0	0
W(6,20)	0	0
W(6,21)	0	0
W(7,1)	0	0
W(7,2)	0	0
W(7,3)	0	0
W(7,4)	0	0
W(7,5)	0	0
W(7,6)	0	0
W(7,7)	0	0
W(7,8)	1	0
W(7,9)	0	0
W(7,10)	0	0
W(7,11)	0	0
W(7,12)	0	0
W(7,13)	0	0
W(7,14)	0	0
W(7,15)	0	0
W(7,16)	0	0
W(7,17)	0	0
W(7,18)	0	0

EK 2. Lingo Çözüm Ekranları (Devam)

W(7,19)	0	0
W(7,20)	0	0
W(7,21)	0	0
W(8,1)	0	0
W(8,2)	0	0
W(8,3)	0	0
W(8,4)	0	0
W(8,5)	0	0
W(8,6)	0	0
W(8,7)	0	0
W(8,8)	0	0
W(8,9)	1	0
W(8,10)	0	0
W(8,11)	0	0
W(8,12)	0	0
W(8,13)	0	0
W(8,14)	0	0
W(8,15)	0	0
W(8,16)	0	0
W(8,17)	0	0
W(8,18)	0	0
W(8,19)	0	0
W(8,20)	0	0
W(8,21)	0	0
W(9,1)	0	0
W(9,2)	0	0
W(9,3)	0	0
W(9,4)	0	0
W(9,5)	0	0
W(9,6)	0	0
W(9,7)	0	0
W(9,8)	0	0
W(9,9)	0	0
W(9,10)	1	0
W(9,11)	0	0
W(9,12)	0	0
W(9,13)	0	0
W(9,14)	0	0
W(9,15)	0	0
W(9,16)	0	0

EK 2. Lingo Çözüm Ekranları (Devam)

W(9,17)	0	0
W(9,18)	0	0
W(9,19)	0	0
W(9,20)	0	0
W(9,21)	0	0
W(10,1)	0	0
W(10,2)	0	0
W(10,3)	0	0
W(10,4)	0	0
W(10,5)	0	0
W(10,6)	0	0
W(10,7)	0	0
W(10,8)	0	0
W(10,9)	0	0
W(10,10)	0	0
W(10,11)	1	0
W(10,12)	1	0
W(10,13)	1	0
W(10,14)	0	0
W(10,15)	0	0
W(10,16)	0	0
W(10,17)	0	0
W(10,18)	0	0
W(10,19)	0	0
W(10,20)	0	0
W(10,21)	0	0
W(11,1)	0	0
W(11,2)	0	0
W(11,3)	0	0
W(11,4)	0	0
W(11,5)	0	0
W(11,6)	0	0
W(11,7)	0	0
W(11,8)	0	0
W(11,9)	0	0
W(11,10)	0	0
W(11,11)	0	0
W(11,12)	0	0
W(11,13)	0	0
W(11,14)	1	0

EK 2. Lingo Çözüm Ekranları (Devam)

W(11,15)	0	0
W(11,16)	0	0
W(11,17)	0	0
W(11,18)	0	0
W(11,19)	0	0
W(11,20)	0	0
W(11,21)	0	0
W(12,1)	0	0
W(12,2)	0	0
W(12,3)	0	0
W(12,4)	0	0
W(12,5)	0	0
W(12,6)	0	0
W(12,7)	0	0
W(12,8)	0	0
W(12,9)	0	0
W(12,10)	0	0
W(12,11)	0	0
W(12,12)	0	0
W(12,13)	0	0
W(12,14)	0	0
W(12,15)	1	0
W(12,16)	0	0
W(12,17)	0	0
W(12,18)	0	0
W(12,19)	0	0
W(12,20)	0	0
W(12,21)	0	0
W(13,1)	0	0
W(13,2)	0	0
W(13,3)	0	0
W(13,4)	0	0
W(13,5)	0	0
W(13,6)	0	0
W(13,7)	0	0
W(13,8)	0	0
W(13,9)	0	0
W(13,10)	0	0
W(13,11)	0	0
W(13,12)	0	0

EK 2. Lingo Çözüm Ekranları (Devam)

W(13,13)	0	0
W(13,14)	0	0
W(13,15)	0	0
W(13,16)	1	0
W(13,17)	0	0
W(13,18)	0	0
W(13,19)	0	0
W(13,20)	0	0
W(13,21)	0	0
W(14,1)	0	0
W(14,2)	0	0
W(14,3)	0	0
W(14,4)	0	0
W(14,5)	0	0
W(14,6)	0	0
W(14,7)	0	0
W(14,8)	0	0
W(14,9)	0	0
W(14,10)	0	0
W(14,11)	0	0
W(14,12)	0	0
W(14,13)	0	0
W(14,14)	0	0
W(14,15)	0	0
W(14,16)	0	0
W(14,17)	1	0
W(14,18)	0	0
W(14,19)	0	0
W(14,20)	0	0
W(14,21)	0	0
W(15,1)	0	0
W(15,2)	0	0
W(15,3)	0	0
W(15,4)	0	0
W(15,5)	0	0
W(15,6)	0	0
W(15,7)	0	0
W(15,8)	0	0
W(15,9)	0	0
W(15,10)	0	0

EK 2. Lingo Çözüm Ekranları (Devam)

W(15,11)	0	0
W(15,12)	0	0
W(15,13)	0	0
W(15,14)	0	0
W(15,15)	0	0
W(15,16)	0	0
W(15,17)	1	0
W(15,18)	0	0
W(15,19)	0	0
W(15,20)	0	0
W(15,21)	0	0
W(16,1)	0	0
W(16,2)	0	0
W(16,3)	0	0
W(16,4)	0	0
W(16,5)	0	0
W(16,6)	0	0
W(16,7)	0	0
W(16,8)	0	0
W(16,9)	0	0
W(16,10)	0	0
W(16,11)	0	0
W(16,12)	0	0
W(16,13)	0	0
W(16,14)	0	0
W(16,15)	0	0
W(16,16)	0	0
W(16,17)	1	0
W(16,18)	0	0
W(16,19)	0	0
W(16,20)	0	0
W(16,21)	0	0
W(17,1)	0	0
W(17,2)	0	0
W(17,3)	0	0
W(17,4)	0	0
W(17,5)	0	0
W(17,6)	0	0
W(17,7)	0	0
W(17,8)	0	0

EK 2. Lingo Çözüm Ekranları (Devam)

W(17,9)	0	0
W(17,10)	0	0
W(17,11)	0	0
W(17,12)	0	0
W(17,13)	0	0
W(17,14)	0	0
W(17,15)	0	0
W(17,16)	0	0
W(17,17)	0	0
W(17,18)	1	0
W(17,19)	1	0
W(17,20)	1	0
W(17,21)	0	0
W(18,1)	0	0
W(18,2)	0	0
W(18,3)	0	0
W(18,4)	0	0
W(18,5)	0	0
W(18,6)	0	0
W(18,7)	0	0
W(18,8)	0	0
W(18,9)	0	0
W(18,10)	0	0
W(18,11)	0	0
W(18,12)	0	0
W(18,13)	0	0
W(18,14)	0	0
W(18,15)	0	0
W(18,16)	0	0
W(18,17)	0	0
W(18,18)	0	0
W(18,19)	0	0
W(18,20)	0	0
W(18,21)	1	0
W(19,1)	0	0
W(19,2)	0	0
W(19,3)	0	0
W(19,4)	0	0
W(19,5)	0	0
W(19,6)	0	0

EK 2. Lingo Çözüm Ekranları (Devam)

W(19,7)	0	0
W(19,8)	0	0
W(19,9)	0	0
W(19,10)	0	0
W(19,11)	0	0
W(19,12)	0	0
W(19,13)	0	0
W(19,14)	0	0
W(19,15)	0	0
W(19,16)	0	0
W(19,17)	0	0
W(19,18)	0	0
W(19,19)	0	0
W(19,20)	0	0
W(19,21)	1	0
W(20,1)	0	0
W(20,2)	0	0
W(20,3)	0	0
W(20,4)	0	0
W(20,5)	0	0
W(20,6)	0	0
W(20,7)	0	0
W(20,8)	0	0
W(20,9)	0	0
W(20,10)	0	0
W(20,11)	0	0
W(20,12)	0	0
W(20,13)	0	0
W(20,14)	0	0
W(20,15)	0	0
W(20,16)	0	0
W(20,17)	0	0
W(20,18)	0	0
W(20,19)	0	0
W(20,20)	0	0
W(20,21)	1	0
W(21,1)	0	0
W(21,2)	0	0
W(21,3)	0	0
W(21,4)	0	0

EK 2. Lingo Çözüm Ekranları (Devam)

W(21,5)	0	0
W(21,6)	0	0
W(21,7)	0	0
W(21,8)	0	0
W(21,9)	0	0
W(21,10)	0	0
W(21,11)	0	0
W(21,12)	0	0
W(21,13)	0	0
W(21,14)	0	0
W(21,15)	0	0
W(21,16)	0	0
W(21,17)	0	0
W(21,18)	0	0
W(21,19)	0	0
W(21,20)	0	0
W(21,21)	0	0

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Merve ATAMAN
Doğum Yeri ve Tarihi : Osmangazi Bursa/04.09.1996
Yabancı Dil : İngilizce

Eğitim Durumu

Lise : Bursa İ.M.K.B. Gürsu Anadolu Lisesi
Lisans : Sakarya Üniversitesi Endüstri Mühendisliği

Çalıştığı Kurum/Kurumlar : ELS LİFT MAKİNE A.Ş.

İletişim (e-posta) : atamanmerve96@gmail.com

Yayımları : Talep tahmini ve dinamik fiyatlandırma ile havayolu bilet fiyatlarının belirlenmesi