

# KARIŞIK MODELLİ MONTAJ HATTI DENGELEME PROBLEMİ VE BİR İŞLETMEDE UYGULAMASI \*

*Mixed Model Assembly Line Balancing Problem and Application in a Facility*

**Gamze Gizem GÜNDOĞDU** 

Gazi Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Üretim Yönetimi, Yüksek Lisans Öğrencisi,  
gamzegzmcoban@gmail.com Ankara/Türkiye

## ÖZ

### Anahtar Kelimeler

Montaj Hat Dengeleme,  
Benzetim, Simülasyon,  
Karışık Modelli Montaj  
Hatları.

### Keywords

Assembly Line  
Balancing, Simulation,  
Mixed Model Assembly  
Lines.

Günümüzde artan rekabet ile birlikte işletmelerin kaynaklarını etkin ve verimli kullanması zorunlu hale gelmiştir. Üretim hızı artarken aynı zamanda da üretim maliyetlerinin en aza indirilmesi için işletmelerin üretimlerinde birtakım iyileştirmeler yapmaları gerekliliği ortaya çıkmıştır. Montaj hattı dengeleme, verimliliği arttırmak amacı doğrultusunda üretim hatlarında yapılan çalışmaların önemli bir kısmını oluşturmaktadır. Montaj hatlarındaki kayıpların belirlenmesi ve en aza indirilmesi, işletmelere ciddi oranda maliyet kazancı getirmektedir. Bu çalışmada karışık modelli montaj hattı dengeleme konusu ele alınmış olup çalışmanın temel amacı, hat dengeleme ve benzetim tekniklerini kullanarak, çalışmanın yapıldığı montaj hattının performansını arttırmaktır. Çalışmada işletmede üretilen dört farklı ankastre modeli ele alınmış her biri için hattın çift taraflı ve düz (tek taraflı) yerleşim durumları için hat dengelemeleri yapılmıştır. Hat dengeleme yapılırken sezgisel bir yöntem olan “Konum Ağırlıklı Hat Dengeleme Tekniği” ve POM for Windows programından yararlanılmıştır. Bununla birlikte, hat dengeleme çalışması sonrası bulunan sonuçları sınamak için bir benzetim programı olan ARENA kullanılmış, mevcut ve önerilen sistem simüle edilmiş, sonuçlar değerlendirilmiştir. Montaj hattının çift taraflı istasyon yerleşimine göre dengelendiği durumda, istasyon sayısının azaldığı ve ortalama hat verimliliğinin daha fazla olduğu görülmüş, bu sebeple işletme açısından daha faydalı olacağı sonucuna ulaşılmıştır. Önerilen durumun benzetim modeli çalıştırıldığında, hattaki atıl sürelerin azaldığı ve buna paralel olarak günlük üretim miktarının arttığı görülmüştür. Elde edilen sonuçlar, hat dengeleme çalışmalarının benzetim tekniği ile desteklenmesinin iyi bir yaklaşım olabileceğini ortaya koymaktadır.

## ABSTRACT

With the increasing competition nowadays, it has become mandatory for enterprises to use their resources effectively and efficiently. While the production speed is increasing, it is also become necessary for enterprises to make some improvements in their production in order to minimize production costs. Assembly line balancing constitutes an important part of the works carried out on the production lines in order to increase efficiency. Identifying and minimizing losses on assembly lines can result in significant cost savings for businesses. In this

\* Bu çalışma Uluslararası İktisadi ve İdari Bilimler Kongresi' nde sunulmuştur (2-4 Mayıs 2019, Şırnak).

study, the mixed model assembly line balancing is handled and the main purpose of this study is to improve the performance of the assembly line by using line balancing and simulation techniques. In the study, four different built-in oven models, which produced in the enterprise, were examined and line balances were made for the two-sided and straight (one sided) settlement conditions of the line. While line balancing, a heuristic method "Ranked Positional Weight Technique" and the POM for Windows program were used. In addition ARENA, a simulation program, was used to test the results obtained after the line balancing study, the current and proposed system was simulated and the results were evaluated. When the assembly line is balanced according to double-sided station placement, it was seen that the number of stations is reduced and the average line efficiency is higher therefore it will be more beneficial for the enterprise. When the simulation model of the proposed situation was run, it was observed that the idle times in the line decreased and the daily production amount increased accordingly. The results obtained suggest that it can be a good approach to support line balancing studies with simulation techniques.

## 1. GİRİŞ

Endüstrileşme sürecinde, toplam işin öğelerine ayrılarak, bu parçaların ayrı ayrı işçiler tarafından yapılmasıyla daha hızlı, kitlesel ve daha ucuz üretim yapılabileceği görüşü ortaya çıkmıştır. Bunun sonucu olarak üretim, üzerinde değişik iş istasyonlarının olduğu belirli bir hat üzerinden malzemelerin geçirilmesi yoluyla yapılmaya başlanmıştır. Malzemelerin akış hattı boyunca işgücü veya donanımdan yararlanılarak transfer edildiği ve parça üzerindeki işlemlerin; aralarında öncelik ilişkisi ve çevrim süresi gibi kısıtlar göz önüne alınarak birleştirilmesiyle oluşturulan, yine bir hat boyunca sıralanmalarıyla oluşan sistemlere montaj hattı denmektedir (Kayar, 2012: 213).

Kitle üretimi, miktar üretimi ve akış tipi üretim olmak üzere iki değişik üretim teknolojisini içermektedir. Miktar üretimi emek yoğun üretim ve mekanize üretim olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Bunlardan emek yoğun üretim sistemleri günümüzde artık kullanılmamaktadır. Akış tipi üretim sistemleri ise, sürekli seri üretim sistemleri ve kesikli seri üretim sistemleri olmak üzere iki gruba ayrılmıştır. Kesikli seri üretim sistemleri olarak bilinen akış hatları, transfer hatları ve montaj hatlarından oluşmaktadır. Akış hattı sistemleri olarak tanımlanan transfer hatları ve montaj hatları kitle üretim sistemlerinin bir alt koludur. Kitle üretiminde ürünün karmaşıklığı arttıkça akış tipi üretim sistemlerine geçilmektedir (Acar & Eştaş, 1991: 9-13).

Montaj hatları, günümüz endüstrisinde önemli bir yere sahip olan kitle üretim yöntemlerinden birisidir. Tüm işlemlerin tek bir iş istasyonunda gerçekleştirildiği geleneksel süreçlerden farklı olarak montaj hatları firmalara yüksek üretkenlik seviyelerini yakalama imkanı sunarlar. Montaj hatları, ürünlerin büyük oranda standartlaştırıldığı ve tüketimin yüksek olduğu endüstrilerde yoğun olarak kullanılmaktadır. Montaj hatları yatırım maliyeti ve verimlilik hedefleri doğrultusunda uzun vadeli planlama kapsamında değerlendirilir. Dolayısıyla montaj hatlarının dengelenmesi ve uygun şekilde çalıştırılması sistemin mümkün olduğunca yüksek verimde çalışması için büyük önem arz etmektedir (Becker & Scholl, 2006: 694-715).

Montaj Hatları ilk olarak 1913 yılında Ford Motor Fabrikaları'nda kullanılmıştır. Endüstrinin gelişimiyle birlikte artan üretim miktarları Montaj Hattı Dengeleme problemini ortaya çıkarmıştır. Montaj hattı dengeleme, görevlerin belirli öncelik ilişkileri dikkate alınarak çevrim süresini aşmayacak ve boş zamanları en aza indirecek şekilde iş istasyonlarına atanmasıdır. Denge sağlanamamış hatlarda istasyon yükleri eşit olmayacak, ürünün çevrim süresi uzadığından kayıplar ve verimlilikte düşüşler meydana gelecektir.

Montaj hattı dengeleme problemi temel olarak model sayısına göre tek modelli ve çok/ karışık modelli olarak, işlem zamanlarına göre de deterministik ve stokastik hat dengeleme problemleri olarak gruplandırılmıştır. Montaj Hattı dengeleme problemi ile ilgili literatürde bilinen ilk çalışma Bryton (1954) tarafından yüksek lisans tez çalışmasında yapılmıştır. O günden bugüne Montaj Hatlarının dengelenmesi üzerine çok sayıda çalışma yapılmış farklı çözüm yaklaşımları geliştirilmiştir. Bu çözüm yöntemlerinden biri olan benzetim, herhangi bir olayın ya da sistemin zaman içerisindeki davranışlarının taklit edilmesi olarak tanımlanabilir. Benzetim tekniği, montaj hattında yapılması tasarlanan herhangi bir iyileştirmenin sonuçlarının daha uygulama yapılmadan görülebilmesine olanak

sağlar. Bu da başta zaman ve maliyet faktörleri açısından ciddi kazanımlar sağlayacaktır. Benzetim tekniğinin diğer bir avantajı daha az sayıda varsayım gerektirdiklerinden gerçek sistemi daha iyi temsil edebilirler.

Bu çalışmada Karışık Modelli Montaj Hat dengeleme problemi ele alınmış, çalışma Ankara Sincan Organize Sanayii Bölgesi' nde faaliyet göstermekte olan Solo- ankastre fırın, ocak ve davlumbaz üretimi yapan Termikel A.Ş.' de gerçekleştirilmiştir. Çalışmada hat dengeleme ve benzetim tekniklerini kullanarak, çalışmanın yapıldığı montaj hattının performansını arttırmak, üretim hattında düzgün bir iş akışı sağlamak, boş süreleri en küçükmek ve üretim maliyetlerini düşürmek amaçlanmıştır.

## 2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Karma modelli MHDP ile ilgili literatürdeki ilk çalışma Thomopoulos tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada tek model MHDP için kullanılan tekniklerin karma model hatlar için uyarlanması ve modellerin hat üzerinde sıralanması için bir prosedür geliştirilmiştir (Thomopoulos, 1967).

Macaskill, karma model hatlar için üretim hattı dengeleri üzerinde durmuş ve hat performansını maksimize etmeyi amaçlamıştır. Bunun için de görev gruplarını birleştirip bilgisayar yardımıyla atamalarını gerçekleştiren bir sezgisel yöntem geliştirmiştir (Macaskill, 1972).

Chakravarty ve Shtub, süreç-içi envantere sahip karışık-modelli montaj hatlarının dengelenmesi üzerinde çalışmışlardır. Çalışmalarında, çok-aşamalı sistem kullanarak hat boyunca gerekli olan iş istasyonu sayısını, her bir istasyona verilen görevleri ve çevrim süresini belirleyen algoritmalar geliştirmişlerdir (Chakravarty & Shtub, 1985). Chakravarty ve Shtub, bir diğer çalışmalarında ise karma model montaj hatlarında öğrenme etkisini de göz önünde bulunduran ve hattın toplam maliyetini en aza indirmeyi amaçlayan bir model geliştirmişlerdir (Chakravarty & Shtub, 1992).

Gökçen ve Erel, karma modelli MHDP için ikili bir hedef programlama modeli geliştirmişlerdir. (Gökçen & Erel, 1997). Yine karma model MHDP için yaptıkları bir diğer çalışmada ise bir ikili tamsayı programlama modeli geliştirmişlerdir. (Gökçen & Erel, 1998). Ayrıca Gökçen ve Erel bu konudaki çalışmalarını sürdürerek işlem ve çevrim zamanlarını deterministik alan ve en kısa yol metoduna dayalı yeni bir algoritma önermişlerdir (Gökçen & Erel, 1999).

Vilarinho ve Simaria, paralel iş istasyonlu karışık modelli montaj hattı dengeleme problemi için matematiksel programlama modeli ve tavlama benzetimine dayanan iki aşamalı bir sezgisel prosedür geliştirmişlerdir (Vilarinho & Simaria, 2002). Vilarinho ve Simaria bir başka çalışmalarında karma modelli hatlar için Tip2 problemine yönelik bir genetik algoritma sunmuşlardır (Simaria & Vilarinho, 2004). Jin ve Wu, karma model hatlar için "Varyans Algoritması" olarak adlandırılan yeni bir sezgisel algoritma geliştirmiştir (Jin & Wu, 2003).

McMullen ve Tarasewich paralel iş istasyonlu ve stokastik görev süreli, karma modelli montaj hattı dengeleme problemi için karınca optimizasyonuna dayanan bir yaklaşım sunmuşlardır (McMullen & Tarasewich, 2003).

Bukchin ve Rabinowitch, karma modelli MHDP için, toplam maliyetleri ve istasyon sayısını minimize etmeyi amaçlayan dal-sınır tekniğine dayalı bir algoritma geliştirmişlerdir (Bukchin & Rabinowitch, 2006).

Akpınar ve Bayhan, karma model montaj hattı dengeleme problemini çözmek için bir melez genetik algoritma önermişlerdir (Akpınar & Bayhan, 2011). Akpınar vd. görevler arasında sıraya bağımlı olmayan hazırlık zamanlarının olduğu karma montaj hattı dengeleme problemi için genetik algoritma ve karınca koloni optimizasyonuna dayalı yeni bir melez algoritma önermişlerdir (Akpınar vd., 2013). Akpınar ve Baykasoğlu karışık model montaj hattı dengeleme problemi için karışık tamsayı doğrusal matematiksel programlama (MILP) modeli geliştirmiştir (Akpınar & Baykasoğlu, 2014). Akpınar ve Baykasoğlu bu çalışmanın devamı olarak çoklu arı koloni algoritmasına dayalı bir meta sezgisel yaklaşım geliştirmişlerdir (Akpınar & Baykasoğlu, 2014).

Ramezian ve Ezzatpanah, karma modellenli montaj hattı problemi için işçi atama problemini de dahil ettikleri bir hedef programlama yaklaşımı sunmuşlardır (Ramezian & Ezzatpanah, 2015).

Nezami ve Roshani, karma modellenli çok yönlü montaj hattı dengeleme probleminin çözümü için yeni bir karışık tamsayı programlama modeli önermişlerdir. Çalışmada optimal çözümü bulmak için tavlama benzetimi algoritması geliştirmişlerdir (Roshani & Nezami, 2017).

Montaj hattı dengeleme ile ilgili literatürde pek çok çalışma bulunsa da benzetim tekniğinin kullanıldığı çalışmalar oldukça sınırlıdır. Rajamani ve Singh, televizyon montaj hattının dengelenmesi ve tasarlanması üzerine bir vaka çalışması yapmış, üretim esnasında ihtiyaç duyulan süreç içi stok seviyesini belirlemek için benzetim tekniğini kullanarak modelleme yapmışlardır (Rajamani & Singh, 1991). McMullen ve Frazier, veri zarflama analizi ve benzetim tekniğini kullanarak farklı montaj hattı dengeleme problem çözümlerini karşılaştırmak için bir yöntem sunmuşlardır (McMullen & Frazier, 1999). Mendes vd., sezgisel prosedürler ve benzetimle modelleme tekniğini birleştirerek karma modellenli bir PC kamerası montaj hattında dengeleme çalışması yapmışlardır (Mendes vd., 2005). Kitaw vd., bir hazır giyim firmasında benzetim tekniğini kullanarak montaj hattı dengeleme çalışması gerçekleştirmişler, alternatif çözümleri karşılaştırmışlardır (Kitaw vd., 2010). Fan vd., otomotiv endüstrisinde hat dengeleme üzerine yapmış oldukları çalışmada matematiksel bir model önermişler, benzetim tekniğini uygulamışlardır (Fan vd., 2010). Villarreal ve Alanís, çalışmalarında iki seviyeli bir benzetim tekniği kullanarak işletmede montaj hatlarının performansının iyileştirilmesini amaçlamışlardır (Villarreal & Alanís, 2011). Nasab vd. ise, deney tasarımı ile benzetim tekniğini birlikte kullanarak, bir imalat işletmesinde hat dengeleme çalışması yapmışlardır (Nasab vd., 2012). Eryürük, benzetim ve sezgisel yöntemleri birlikte kullanarak çok modellenli elbise montaj hattında dengeleme çalışması gerçekleştirmiştir (Eryürük, 2012). Chen vd., genetik algoritma ile birlikte benzetim tekniğinden faydalanarak karışık modellenli bir montaj hattında dengeleme çalışması yapmışlardır (Chen vd., 2017).

### 3. YÖNTEM

#### 3.1. Konum Ağırlıklı Hat Dengeleme Tekniği

Montaj hattı dengeleme problemlerinde optimal metotlarla çözüm aramak, özellikle problem boyutu büyüdüğünde birtakım zorlukları beraberinde getirmektedir. Bu nedenle bu tür problemlerin çözümünde sezgisel yöntemlerin kullanımı daha anlamlı ve gerçekçi olabilmektedir (Gökçen & Erel, 1995).

1961 yılında Helgeson- Birnie tarafından General Electric Company' de geliştirilen bu sezgisel yöntem hızlı ve optimal çözümü vermeyi garanti etmektedir. Bu yöntemde her iş ögesine kendisinden sonra gelen iş ögeleri göz önüne alınarak bir ağırlık verilir. Burada amaç en büyük ağırlığa sahip görevleri öncelikli olarak atamaktır.

Bu yöntemde sırasıyla aşağıdaki adımlar izlenmektedir (Helgeson & Birnie,1961):

*Adım 1:* Her iş elemanı için konum ağırlıkları belirlenir. Konum ağırlığı; o işlemi yapmak için gerekli süre ve ondan sonra gelen işlemleri yapmak için gerekli sürelerin toplamıdır.

*Adım 2:* İş elemanları konum ağırlıklarına göre sıralanır ve en büyük ağırlığa sahip olan iş elemanı ilk sıraya yerleştirilir.

*Adım 3:* En büyük konum ağırlıklı iş elemanlarına öncelik verilerek tüm işlerin istasyonlara atanması sağlanır.

*Adım 4:* İş istasyonunun kullanılmamış süresi, çevrim süresinden istasyona atanmış işlerin toplam süresi çıkarılarak bulunur.

*Adım 5:* İlk atamadan sonra kalan en büyük ağırlıklı iş ögesi tespit edilir.

*Adım 6:* Seçilen iş ögesinin atanmamış öncülleri bulunmuyorsa ve iş ögesinin süresi kalan istasyon süresinden az ise istasyona ataması yapılır.

*Adım 7:* Seçilen iş ögesinin atanmamış önceli bir iş ögesi varsa veya iş ögesinin süresi kalan boş zamandan fazla ise seçili iş ögesi, iş istasyonuna atanamaz. İkinci büyük konum ağırlıklı iş ögesini seç ve adım 5' e dön.

*Adım 8:* Seçilen istasyonun boş zamanı, atanmamış iş ögelerinin işlem sürelerinden küçük ya da sıfır kadar atama yapmaya devam et. Aksi takdirde mevcut iş istasyonunun ataması tamamlandı. Diğer istasyona geçip adım 2' ye git.

*Adım 9:* Ataması yapılmamış iş ögesi kalmayınca kadar iş ögelerini öncelik ilişkileri ve konum ağırlıklarına dikkat ederek atamaya devam et.

Uygulamada bu yöntem yaygın olarak kullanılmaktadır. Ayrıca bu yöntem hat dengeleme konusunda araştırmacılara yol gösterici olmuştur.

### 3.2. Benzetim (Simülasyon) Tekniği

Global ekonomideki acımasız rekabet koşulları nedeniyle şirketler yeni ürün tasarımını, ürünün gerektirdiği hat dizaynını ve üretimini çabuk ve ucuz bir biçimde yapmalıdır. Dizayn çalışmaları simülasyondan faydalanılarak daha kısa sürede yapılabilir. Olası montaj problemleri simülasyon ile ortaya çıkarılabilir. Montaj dizaynı ve planlamasına yönelik olarak, kapsamlı bir simülasyon yapılmasını ve görsel ortam yaratılmasını mümkün kılan teknolojiler pek çok alanda teknik avantaj sağlar (Gupta vd., 2001: 215).

Diğer yöntemlerin aksine, benzetimde sistem dinamik hale gelmekte ve olabilecek değişiklikler sisteme sonradan dahil edilebilmektedir. Böylece farklı yöntem ve yaklaşımların sistem üzerindeki etkilerinin analiz edilmesi ve değerlendirilmesi olanaklı olmaktadır.

Benzetim tekniği, yöneticinin denemeler yoluyla karar vermesini kolaylaştırır. Herhangi bir sistemin işleyişini anlamak veya bu sistemin işleyişi ile ilgili değişik stratejileri değerlendirmek için sistemin zaman içindeki çalışmasını taklit eden bir bilgisayar modelinin kurulması ve bu model ile deneyler yapılmasına "benzetim" denir (Acar & Eştas, 1991: 9-13).

Benzetim tekniğinin uygulanmasındaki en önemli gerekçeler şöyle sıralanabilir: Gerçek yaşamda, herhangi bir sistemi veya işlem dizisini gözlemek olanaksız veya çok masraflı olabilir. Gözlemlenen sistem o kadar karmaşık olabilir ki, bu sistemi matematiksel denklemlerle tanımlamak ve sistem işleyişi ile ilgili kestirime yardımcı analitik çözümleri elde etmek olanaksız olabilir. İrdelenen sistemin matematiksel modeli kurulabilse bile, modele çözüm getirmek için gereken analitik teknikler yetersiz kalabilir. Sistemi tanımlayan matematiksel modellerin doğrulanmasına yönelik deneylerin yapılması, olanaksız veya çok masraflı olabilir.

Bir benzetim çalışması yapılırken genel anlamda aşağıdaki süreci izlemek gerekmektedir. Sürecin her adımında yapılması gereken çalışmalar ve bilimsel yaklaşımlar oluşturulmuştur (Eyler & Öztemel, 2016: 357-364):

*Adım 1:* Davranışı gözlemlenecek sistemin tanımlanması

*Adım 2:* Benzetimi yapılacak olan sistemin kavramsal modelinin oluşturulması ve ilgili verilerin toplanması

*Adım 3:* Benzetimi yapılacak olan sistemin modelinin oluşturulması

*Adım 4:* Geliştirilmiş olan modelin çalıştırılması

*Adım 5:* Modelin ürettiği sonuçların analizlerinin yapılması ve alternatiflerinin belirlenmesi

*Adım 6:* Sonuçların belgeleri

## 4. UYGULAMA

Çalışmanın uygulama kısmı iki bölümden meydana gelmektedir. İlk bölümde dört farklı ankastre modeli ele alınmış, montaj hattındaki görevleri tanımlanmış, zaman etüdü yapılarak bu görevlerin standart süreleri hesaplanmıştır. Her bir model için hattın çift taraflı yerleşimi için sezgisel bir yöntem olan konum ağırlıklı hat dengeleme tekniği ve hattın tek taraflı yerleşimi için de POM for Windows programı kullanılarak hat dengeleme çalışması yapılmıştır. İkinci bölümde ise hat dengeleme çalışması sonrası bulunan sonuçları sınamak için bir benzetim programı olan ARENA yardımıyla mevcut ve önerilen durumlar modellenmiş, sonuçlar değerlendirilmiştir.

Montaj hattında kayıp zamanlar ve darboğazların oluşması nedeniyle ve mevcut talep ile üretimin uyumlandırılması amacıyla Termikel A.Ş. ankastre fırın montaj hattı seçilmiştir. Ankastre Montaj hattında üretilen 4 farklı model ele alınmış bu modellerin üretimi sırasında hattın nasıl düzenlenmesinin uygun olacağı bulunmaya çalışılmıştır. Bu modeller aşağıdaki gibidir:

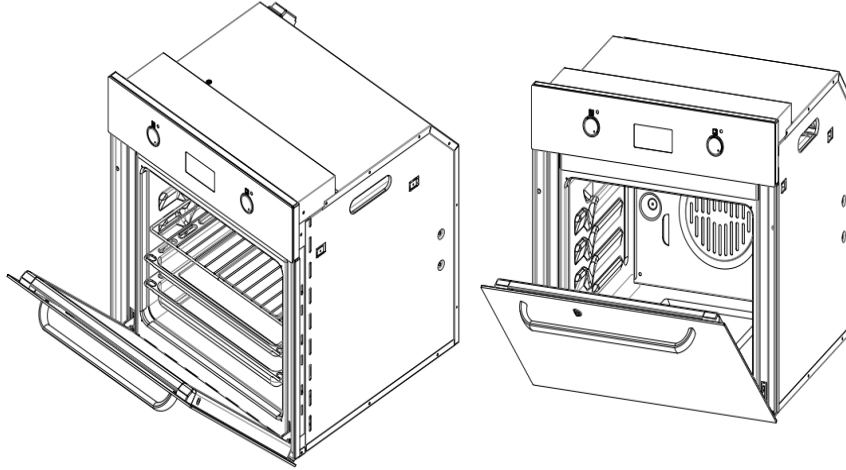
1. Model 1: 13550 -Düz açılır turbo fanlı ankastre fırın
2. Model 2: 13530 -Yana açılır turbo fanlı ankastre fırın
3. Model 3: 13551 - Düz açılır fansız ankastre fırın
4. Model 4: 13555 - Yan açılır fansız ankastre fırın

### 4. 1. Varsayımlar

1. Montaj hattında bir ana ürünün değişik modellerinin üretimi yapılmaktadır.
2. Montaj hattı düz, ancak işçilerin iki tarafta da bulunup görevleri yerine getirdiği çift taraflı bir hattır.
3. Bazı görevler hattın sadece tek tarafında, bazıları da her iki tarafında yapılmayı gerektirirler.
4. Öncelik ilişkilerine göre paralel eş zamanlı görevlere izin verilmiştir.
5. Bir görev ancak kendisinden önceki görevler bittikten sonra başlayabilmektedir.
6. Çözümün uygun çözüm olabilmesi için her bir istasyon belirlenen çevrim süresini aşmamalıdır.
7. Üretimin, malzeme yokluğu, tamir bakım faaliyetleri, işçilerin işe gelmemesi vs. gibi nedenlerden dolayı kesintiye uğramadığı farz edilecektir.
8. İşlem süreleri deterministik kabul edilecektir.

### 4. 2. Montaj Hattı Dengeleme Süreci

Montaj hattında öncelikle her model için yapılması gereken görevler tanımlanmış, öncelik ilişkileri ve çalışma yönü kısıtları belirlenmiştir. Teknik resmi Şekil 4.1. de verilmiş olan düz açılır turbo fanlı ankastre modeli için görevler ve öncelik ilişkileri Tablo 4.1' de sunulmuştur. Sonrasında iş elemanları için zaman etüdü yapılmış, standart süreler hesaplanmıştır.



**Şekil 4.1.** Düz açılır turbo fanlı ankastre fırın teknik resmi

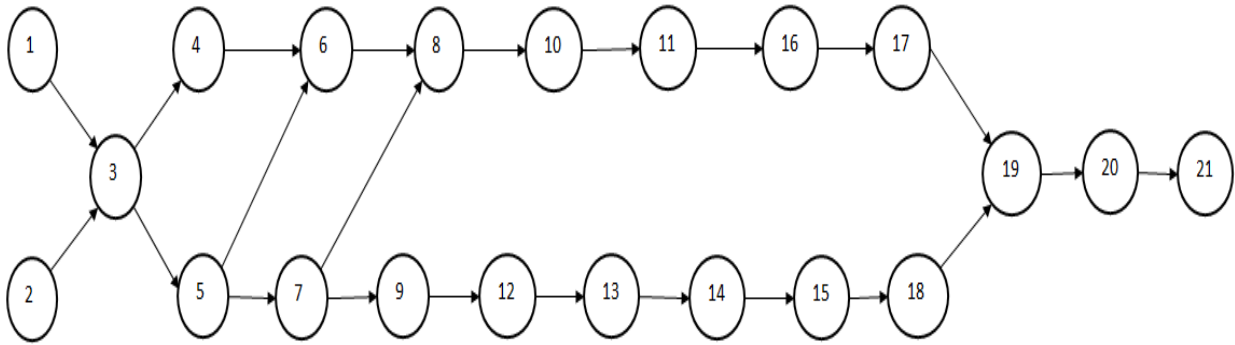
**Tablo 4.1.** Düz açılır turbo fanlı ankastre fırın görev ve öncelik ilişkileri

İs Elemanı No	Görev Tanımı	Öncelik İlişkisi	Çalışma Yönü
1	Alt Taban- Arasacı montajı	-	R
2	Menteşe- şase direk montajı	-	R
3	Yan Duvar montajı	1,2	R, L
4	Buharlık ve dekor montajı	3	R
5	Limit kulak montajı	3	L
6	İç Panel montajı	4,5	R
7	Elektrik bağlantısı	5	L
8	Dış Panel Montajı	6,7	R
9	Bağlantı Kablosu Toplama	7	L
10	Dekor Montajı ve Ayarı	8	R
11	Cam kapak takma	10	R
12	Arka Kapak Montajı	9	L
13	Üst Kapak Kablo Bağlantı + Vidalama	12	L
14	Üst Kapak Montajı	13	R
15	Kademe Kapak Montajı	14	L
16	Tepsi, Izgara Yerleştirme	11	R
17	Fiziksel Kontrol	16	R
18	Elektriksel Kontrol	15	L

19	Kılavuz, karton ve kapak köpüğü yerleştirme	17,18	R
20	Kablo Bağlama ve Etiketleme	19	L
21	Temizlik	20	R

Çalışma yönü sütunundaki R ve L harfleri İngilizce karşılıkları olan "Right" ve "Left" kelimelerinin baş harflerinden gelmekte olup sırasıyla sağ ve sol tarafları ifade etmektedir.

Görevler ve öncelik ilişkileri belirlendikten sonra modelin öncelik diyagramı oluşturulmuştur. Modele ait öncelik diyagramı Şekil 4.2. 'de görülmektedir.



**Şekil 4.2.** Düz açılır turbo fanlı ankastre fırın öncelik diyagramı

Hesaplanan standart süreler doğrultusunda her bir işlemin konum ağırlıkları hesaplanmış, büyükten küçüğe doğru çevrim süresi olan 72 saniyeyi aşmayacak şekilde istasyonlara atanması sağlanmıştır. 1. istasyona konum ağırlığı en büyük olan 2 numaralı iş ögesinden başlanarak atama işlemi gerçekleştirilmiştir. Sonrasında çevrim süresinden kalan zamana göre sıradaki en büyük konum ağırlığına sahip olan 1 numaralı iş ögesi de ilk istasyona atanmıştır. Bundan sonraki istasyonlarda çalışma yönü dikkate alınarak çevrim süresini aşmayacak şekilde iş öğeleri istasyonlara atanmıştır. İstasyonların hattın her iki tarafına da yerleştirildiği durum için hat dengeleme sonuçları Tablo 4.2. 'de sunulmuştur.

**Tablo 4.2.** Düz açılır turbo fanlı ankastre fırın hat dengeleme sonuçları

İstasyon	İş Ögesi	Konum Ağırlığı	Öncül	İşlem süresi	Birikimli Süre	Atıl Süre	Çalışma Yönü
1	2	1071,55	-	37,8	71,8	0,93	R
	1	1065,95	-	34			R
2	3	1031,95	1,2	72	72	0,73	R,L
3	5	901,65	3	70	70	2,73	L
	4	474,95	3	58,3			R
4	7	767,65	5	37	64	8,73	L
	6	416,65	4,5	64			R
5	9	480,2	7	72	72	0,73	L
	8	352,65	6,7	71			R



6	12	408,2	9	48,3			L
	10	281,65	8	71,25	71,25	1,48	R
7	13	359,9	12	56,7			L
	11	210,4	10	35,2	56,7	16,03	R
8	14	303,2	13	70	70	2,73	R
9	15	233,2	14	72			L
	16	175,2	11	40	72	0,73	R
10	18	161,2	15	59			L
	17	135,2	16	33	59	13,73	R
11	19	102,2	17,18	52,2	52,2	20,53	R
12	20	50	19	27			L
	21	23	20	23	50	22,73	R

Montaj hattı n =12 istasyonda dengelenmiştir. Hattın denge kaybı aşağıdaki gibi hesaplanır:

n: istasyon sayısı

C: çevrim süresi

$\sum t_i$ : toplam işlem süresi

$$D(\%) = \left[ \frac{(n * C - \sum t_i)}{(n * C)} \right] * 100$$

$$D(\%) = (12 * 72,73 - 780,95) / 12 * 72,73 = 10,5$$

Bu montaj hattı için hat etkinliği ise aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır:

$$HE (\%) = \left[ \sum t_i / (n * C) \right] * 100$$

$$HE (\%) = 780,95 / (12 * 72,73) * 100 = 89,5$$

Düz açılır fanlı ankastre modeli için, görevlerin, hat boyunca tek tarafta yapıldığı durum için POM for Windows programı yardımıyla hat dengeleme yapılmış ve sonuçlar Şekil 4.2' de sunulmuştur. Montaj hattı 19 istasyonda dengelenmiş hattın etkinliği % 80,68 çıkmıştır.

POM for W

File Edit View Module Format Tools Window Help

Arial 8.2f B I U .00 Fix Dec 0.0

Decision Rule: Most followers

Cycle time computation: Given 72,73

Computed

**Line Balancing Results**  
(untitled) Solution

Station	Work element	Time ()	Time left ()	Ready work elements
				1(19), 2(19)
1	1	34	38	2(19)
	2	37,8	,2	3(18)
2	3	72	0	4(9), 5(16)
3	5	70	2	4(9), 7(14)
4	7	37	35	4(9), 9(8)
5	4	58,3	13,7	9(8), 6(8)
6	9	72	0	6(8), 12(7)
7	6	64	8	12(7), 8(7)
8	12	48,3	23,7	8(7), 13(6)
9	8	71	1	13(6), 10(6)
10	13	56,7	15,3	10(6), 14(5)
11	10	71,25	,75	14(5), 11(5)
12	14	70	2	11(5), 15(4)
13	11	35,2	36,8	15(4), 16(4)
14	15	72	0	16(4), 18(3)
15	16	40	32	18(3), 17(3)
16	18	59	13	17(3)
17	17	33	39	19(2)
18	19	52,2	19,8	20(1)
19	20	27	45	21(0)
	21	23	22	

Summary Statistics			
Cycle time	72		
Min (theoretical) # of stations	16		
Actual # of stations	19		
Time allocated (cycle time * # stations)	1368	/cycle	
Time needed (sum of task times)	1103,75	/unit	
Idle time (allocated-needed)	264,25	/cycle	
Efficiency (needed/allocated)	80,68%		
Balance Delay (1-efficiency)	19,32%		

Şekil 4.2. Düz açılır fanlı ankastre fırın modeli için düz yerleşime göre hat dengeleme sonuçları

4 model için de aynı şekilde çift taraflı ve düz yerleşime göre hat dengeleme çalışması yapıldıktan sonra Tablo 4.3.' teki performans ölçütleri elde edilmiştir.

Tablo 4.3. Ankastre modelleri için hat dengeleme çalışması sonucu elde edilen performans ölçütleri

Performans Ölçütleri	İstasyon Sayısı		Hat Etkinliği		İşçilik Maliyeti	
	Çift yönlü	Tek yönlü	Çift yönlü	Tek yönlü	Çift yönlü	Tek yönlü
<b>Hat dengesi</b>						
<b>Model 1-13550</b>	12	19	89,50%	80,68%	6,46 ₺	5,76 ₺
<b>Model 2-13530</b>	13	19	91,80%	86,69%	6,21 ₺	6,81 ₺

<b>Model 3-13551</b>	12	17	80,00%	81,00%	6,33 ₺	6,45 ₺
<b>Model 4-13555</b>	13	18	84,80%	85,36%	6,50 ₺	6,44 ₺
<b>ORTALAMA</b>	12.5	18.2	86,53%	83,43%	6,38 ₺	6,37 ₺

Bu sonuçlar doğrultusunda,

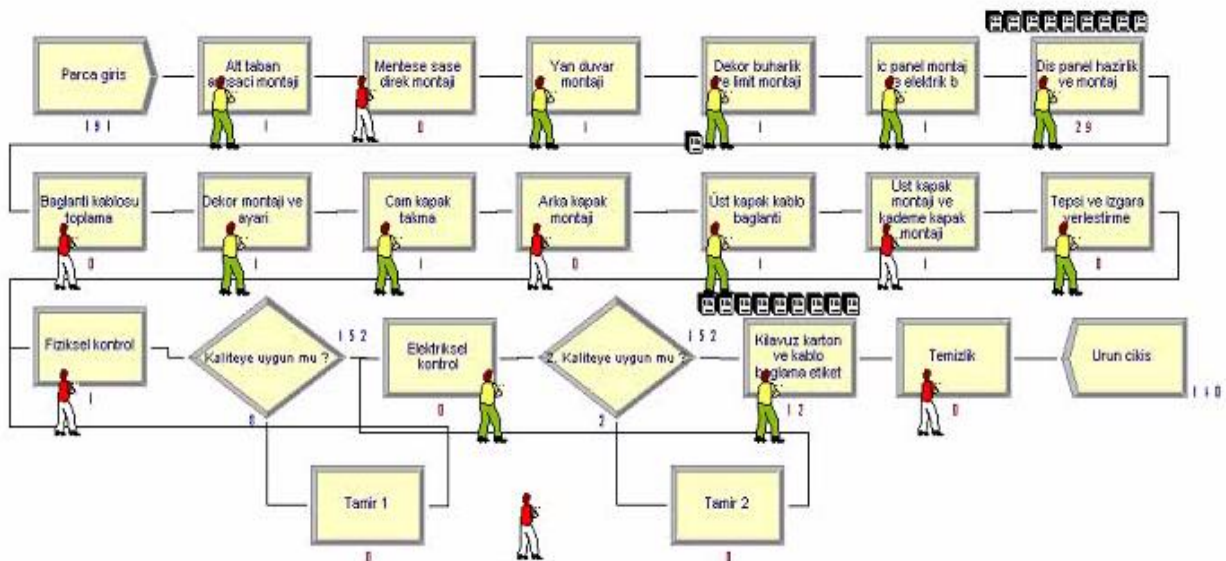
- Montaj hattının çift yönlü dengede olduğu durumda istasyon sayısının azaldığı ve ortalama hat verimliliğinin daha fazla olduğu söylenebilmektedir.
- Bununla birlikte tek yönlü istasyon yerleşiminde de iki modelde işçilik maliyeti daha az olmaktadır.
- Farklı modeller için farklı yerleşimler avantajlıdır.
- Ancak karma modelde hattaki atıl sürelerin azaltılması ve hat etkinliği açısından değerlendirildiğinde istasyonların çift yönlü yerleşiminin işletme açısından daha yararlı olacağı düşünülmektedir.

#### 4. 3. Benzetim Süreci

Bu aşamada öncelikle ankastre montaj hattının işletmedeki mevcut durumunun benzetim modeli oluşturulmuştur. Modelin hazırlanması için ARENA 15.1 paket programından yararlanılmıştır. Daha sonra önerilen montaj hattı dengesi için benzetim modeli oluşturulmuş sonuçlar karşılaştırılmıştır. Oluşturulan benzetim modellerinde Create, Process, Decide, Record ve Dispose modülleri kullanılmıştır. Sisteme parça girişi Create modülü ile, parça üzerinde yapılan işlemler Process modülü ile, kalite kontrol işlemleri Decide modülü ile, sistemden bitmiş ürün çıkışı da Dispose modülü ile gösterilmiştir. Record modülü ise hatalı ürün sayısını kayıt altına almak için kullanılmıştır.

##### 4. 3. 1. Mevcut Durum Modeli

İşlem süreleri olarak daha önce hesaplanan standart süreler deterministik olarak modele girilmiştir. Parça geliş süresi en uzun işlem süresi olan 82 saniye olarak tanımlanmıştır. Modele işlemler, işlem süreleri, kaynaklar ve iş akışları gibi veriler tanımlandıktan sonra, model 60 dakikası ısınma periyodu olmak üzere 10 saat çalıştırılmış 10 tekrar gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.3. 'te mevcut durum benzetim modeli sunulmuştur.



### Şekil 4.3. Mevcut Durum Arena Benzetim Modeli

Mevcut montaj akışında birtakım sorunlar tespit edilmiştir:

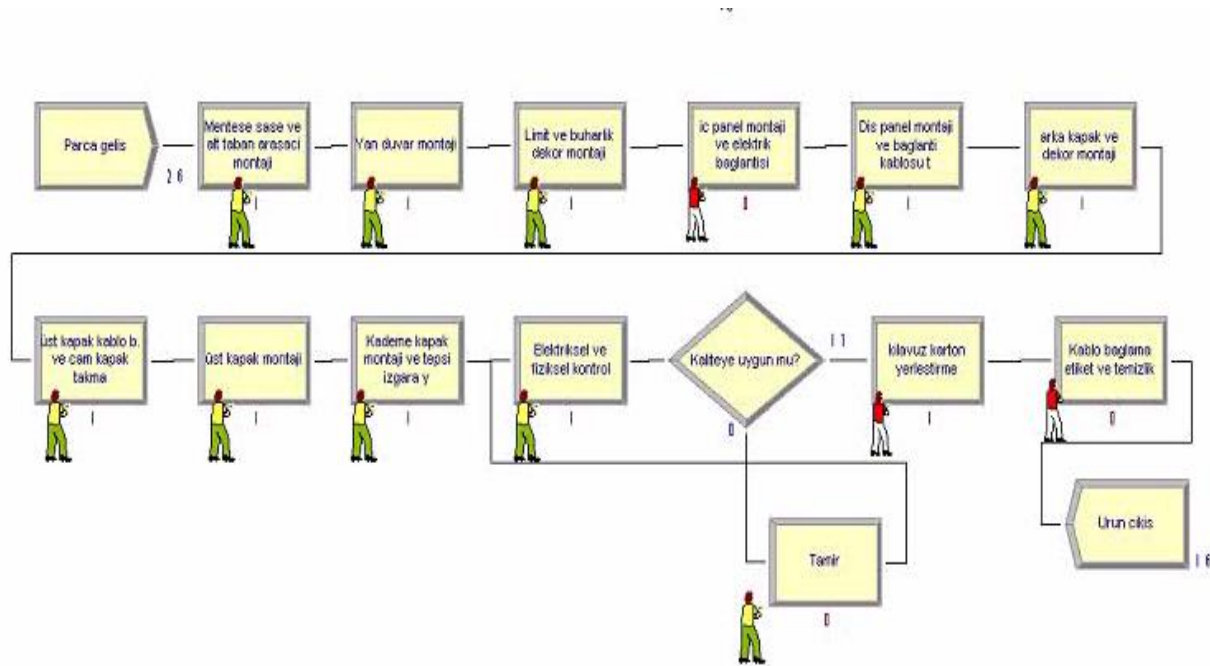
- Görevler yeterince dengeli dağılmadığı için bazı istasyonlarda darboğazlar meydana gelmektedir. Bu durum zaman kayıplarına neden olmaktadır ve ürünün hattan çıkış hızını etkilemektedir.
- İstasyonların işlem süreleri arasında bulunan farklar atıl sürelerin fazla olmasına sebebiyet vermektedir. Bu da kaynakların yeterince verimli kullanılmadığını göstermektedir.
- Montaj hattından daha az ürün çıktığında işletme termin sürelerine uyamama sorunu ile karşı karşıya gelmektedir. Termin sürelerine uymak için yapılan fazla mesailer işletme için ek maliyet getirmektedir.

#### 4.3.1. Önerilen Durum Modeli

Mevcut durumdaki görevler öncelik ilişkileri göz önünde bulundurularak incelenmiş ve Konum Ağırlıklı Hat Dengeleme yöntemiyle yeniden istasyonlara tayin edilmiştir.

- Görevlerin ürün üzerindeki yapılış yönü dikkate alınarak operatörlerin montaj hattı üzerindeki yerleşimleri yeniden düzenlenmiştir. Önerilen modelde 12 iş istasyonu açılmıştır.
- Mevcut durumda darboğaz oluşturan dış panel hazırlık ve montajı operasyonu ile kılavuz, karton koyma ve kablo bağlama operasyonu parçalanmış istasyon yükü azaltılmıştır.
- Bazı işlemler çevrim süresini geçmeyecek şekilde birleştirilmiştir.

İşlem süreleri olarak daha önce hesaplanan standart süreler deterministik olarak modele girilmiştir. Parça geliş süresi en uzun işlem süresi olan 72 saniye olarak tanımlanmıştır. Modele işlemler, işlem süreleri, kaynaklar ve iş akışları gibi veriler tanımlandıktan sonra, model 60 dakikasını ısınma periyodu olmak üzere 10 saat çalıştırılmış 10 tekrar gerçekleştirilmiştir. Önerilen duruma ait benzetim modeli Şekil 4.4.'te gösterilmiştir.



Şekil 4.4. Önerilen Durum Arena Benzetim Modeli

## SONUÇ VE ÖNERİLER

İşletmenin mevcut durumunun ve hat dengeleme çalışması sonucunda geliştirilen hat önerisinin karşılaştırılması adına oluşturulan benzetim modellerinden elde edilen sonuçlara göre hesaplanan üretim miktarları Tablo 4.4.' te sunulmuştur.

**Tablo 4.4.** Mevcut ve önerilen durum üretim miktarları

Deney No	Mevcut Durum	Önerilen Durum
1	382	440
2	383	440
3	381	440
4	383	440
5	383	440
6	383	440
7	382	440
8	383	440
9	384	440
10	383	439

Sonuçlara bakıldığında mevcut durumda bir günlük sürede işletmenin üretebileceği ortalama ürün miktarı 383 adet olarak belirlenmiştir. En uzun işlem süresine sahip olan dış panel hazırlık ve montajı işlemi darboğaz yaratmakta ve 82 sn olarak çevrim süresini belirlemektedir. Montaj hattında toplamda 22 operatör ve 17 iş istasyonu bulunmakta olup mevcut durumda montaj hattının etkinliği %68,16'dır.

Konum ağırlıklı hat dengeleme yöntemi ile hattın çift yönlü dengelenmesi sonucunda montaj hattında 12 iş istasyonu oluşmuştur ve bu iş istasyonlarında toplam yine 22 operatör çalışmaktadır. Ayrıca işletmenin bir günde üretebileceği ortalama ürün miktarı 440 adete yükselmiştir. Bu durumda çevrim süresi ise 72 saniye olmaktadır ve mevcut duruma göre hattın etkinliği %21,34 artarak, %89,5 olmaktadır. Dolayısıyla önerilen durumun uygulanmasının işletme için mevcut duruma göre daha avantajlı olduğu görülmektedir.

Çalışmada montaj hattındaki görevler analiz edilmiş, istasyonların farklı yerleşimlerine göre hat dengeleme çalışması yapılmıştır. Her bir model için sonuçlar farklı performans ölçütlerine göre değerlendirilmiştir.

Montaj hattı dengeleme çalışması ile elde edilen sonuçların üretim miktarına etkisini görebilmek adına benzetim tekniği kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar hat dengeleme çalışmalarının, benzetim tekniği ile desteklenmesinin doğru bir yaklaşım olabileceğini ortaya koymaktadır.

Bu çalışma doğrultusunda

- İleride daha karmaşık problemler ele alınabilir,
- Çalışma farklı işletmelere göre uyarlanabilir.
- Araştırmacılar benzetim tekniği ile montaj hattı üzerinde yapılan değişikliklerin sonuçlarını uygulama yapmadan, zaman ve maliyet harcamadan görebilme olanağı sağlayabilirler.

## KAYNAKÇA

- Acar, N. & Eştaş, S. (1991). Kesikli Seri Üretim Sistemlerinde Planlama ve Kontrol Çalışmaları. Milli Prodaktivite Yayınları, Ankara.
- 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(3), 449-457
- Akpınar S.; Bayhan G.M. & Baysakoğlu A. (2013). "Hybridizing Ant Colony Optimization Via Genetic Algorithm for Mixed-Model Assembly Line Balancing Problem with Sequence Dependent Setup Times Between Tasks". *Applied Soft Computing*, 13(1): 574-589
- Akpınar, Ş. & Baykasoğlu, A. (2014). Modeling and Solving Mixed-Model Assembly Line Balancing Problem with Setups. Part I: A Mixed Integer Linear Programming Model. *Journal of Manufacturing Systems*, 33(1), 177-187.
- 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.
- Bryton, B. (1954). "Balancing of a Continuous Production Line", M.S Thesis, ILL: Northwestern University, Evanston.
- Bukchin, Y. & Rabinowitch, I. (2006). "A Branch-and-Bound Based Solution Approach for the Mixed-Model Assembly Line-Balancing Problem for Minimizing Stations and Task Duplication Costs". *European Journal of Operational Research*, 174, 492-508.
- Chakravarty, A. K. & Shtub, A. (1985). Balancing Mixed Model Lines with In-Process Inventories. *Management Science*, 31(9), 1055-1198.
- Chakravarty, A. K. & Shtub, A. (1992). The Effect Of Learning On The Operation Of Mixed-Model Assembly Lines. *Production and Operations Management*, 1(2), 198-211.
- Chen, W.; Lin, C. & Yang, B. (2017). "The Algorithm and Simulation of Multi-Objective Sequence and Balancing Problem for Mixed Model Assembly Line". *International Journal of Simulation Modelling*, 16(2): 357-367.
- Eryürük, S. H. (2012). Clothing Assembly Line Design Using Simulation and Heuristic Line Balancing Techniques. *Journal of Textile & Apparel*, 22(4): 360-368.
- Fan, W.; Gao, Z.; Xu, W. & Xiao, T. (2010). "Balancing and Simulating of Assembly Line with Overlapped and Stopped Operation". *Simulation Modelling Practice and Theory*, 18(8): 1069-1079.
- Gökçen, H. & Erel, E. (1997). A Goal Programming Approach to Mixed-Model Assembly Line Balancing Problem. *Int. J. Production Economics*, 48(2), 177-185.
- Gökçen, H. & Erel, E. (1998). Binary Integer Formulation for Mixed-Model Assembly Line Balancing Problem. *Computers & Industrial Engineering*, 34(2), 451-461.
- Gökçen, H. & Erel, E. (1999). Shortest-Route Formulation of Mixed Model Assembly Balancing Problem. *European Journal of Operations Research*, 116, 194-204.
- Helgeson, W. P. & Birnie, D. P. (1961). Assembly Line Balancing Using the Ranked Positional Weight T Technique. *Journal of Industrial Engineering*, 12(6), 384-398.
- Jin, M. & Wu, S. D. (2003). A New Heuristic Method for Mixed Model Assembly Line Balancing Problem. *Computers and Industrial Engineering*, 44(1), 159-169.

- Kayar, M. (2012). Üretim ve Verimlilik- Temel Esaslar ve Uygulama. Ekin Basım Yayın Dağıtım, Bursa.
- Kitaw, D.; Matebu, A. & Tadesse, S. (2010). "Assembly Line Balancing Using Simulation Technique in a Garment Manufacturing Firm". *Journal of EEA*, 27: 69-80.
- Macaskill, J. (1972). Production-Line Balances for Mixed-Model Lines. *Management Science*, 19(4): 357-463.
- McMullen, P. R. & Tarasewich, P. (2003). Using Ant Techniques to Solve the Assembly Line Balancing Problem. *IEE Transactions*, 35(7), 605-617.
- McMullen, P. R. & Frazier, G. V. (1999). Using Simulation and Data Envelopment Analysis to Compare Assembly Line Balancing Solutions. *Journal of Productivity Analysis*, 11(2), 149-168.
- Mendes, A. R.; Ramos, A. L.; Simaria, A. S. & Vilarinho, P. M. (2005). "Combining Heuristic Procedures and Simulation Models for Balancing a PC Camera Assembly Line". *Computers & Industrial Engineering*, 49(3): 413-431.
- Nasab, H. H.; Asl, V. M. & Nezhad M. S. F. (2012). "A Heuristic Method for Analysis of Assembly Line Based on Simulation and DOE". *International Journal of Industrial Engineering & Production Management*, 23(2): 199-209.
- Rajamani, D. & Singh, N. (1991). A Simulation Approach to The Design of an Assembly Line: A Case Study. *International Journal of Operations & Production Management*, 11(6), 66-75.
- Ramezani, R. & Ezzatpanah, A. (2015). Modeling and Solving Multi-Objective Mixed-Model Assembly Line Balancing and Worker Assignment Problem. *Computers and Industrial Engineering*, 87, 74-80.
- Roshani, A. & Nezami, F. G. (2017). Mixed-Model Multi-Manned Assembly Line Balancing Problem: A Mathematical Model and a Simulated Annealing Approach. *Assembly Automation*, 37(1), 34-50.
- Thomopoulos, N. T. (1967). Line Balancing-Sequencing for Mixed-Model Assembly. *Management Science*, 14(2): 59-75.
- Vilarinho, P. M. & Simaria, A. S. (2002). A Two-Stage Heuristic Method for Balancing Mixed-Model Assembly Lines with Parallel Workstations. *International Journal of Production Research*, 40(6), 1405-1420.
- Villarreal, B. & Alanis, M. (2011). A Simulation Approach to Improve Assembly Line Performance. *International Journal of Industrial Engineering*, 18(6), 283-290.