

Kanepe Montaj Hattının Dengelenmesi ve Benzetim Yöntemi İle Sınanması*

Nalan Gülten AKIN

Bozok Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İşletme Bölümü, nalan.akin@bozok.edu.tr

Öz

Montaj hattı dengeleme, atıl zamanları en küçüklemek için, bir birini izleyen görevlerin çeşitli teknikler kullanılarak, mümkün olduğunca eşit zamanlı iş istasyonları şeklinde gruplandırılmasıdır. Bu tekniklerden biri de benzetim tekniğidir. Benzetim tekniği, üretim sistemlerinin bilgisayar ortamında canlandırılmasına, analiz edilmesine ve en iyilenmesine olanak veren işlevsel bir yöntemdir.

Bu çalışmanın temel amacı, hat dengeleme ve benzetim tekniklerini kullanarak, çalışmanın yapıldığı montaj hattının performansının artırılmasıdır. Çalışmada Kayseri OSB’nde mobilya üretimi yapan bir işletmede bulunan, kanepe ve oturma grubu döşeme hattından elde edilen veriler kullanılmıştır. Çalışma kapsamında öncelikle “konum ağırlıklı hat dengeleme yöntemi” ile iş istasyonu sayısı azaltılmıştır. Daha sonra çevrim süresi kısaltılmış ve bir haftalık sürede montaj hattından çıkan ürün sayısı 1159’dan 1354’e yükseltilmiştir. Böylece işgücünün ve makinelerin daha verimli kullanılmasını sağlanmıştır. Ulaşılan sonucun sınanabilmesi için ARENA yazılımı ile mevcut ve önerilen durumlar için benzetim modelleri hazırlanmıştır. Elde edilen bulgular, hat dengeleme çalışmalarında benzetim yöntemi kullanılmasının iyi bir yaklaşım olacağını göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Montaj Hattı, Montaj hattı dengeleme, Benzetim.

JEL Sınıflandırma Kodları: C63, L68.

Balancing of a Sofa Assembly Line and Its Assessment by Simulation

Abstract

The assembly line balancing is to group successive tasks into work stations as simultaneous as possible by using various techniques to minimize idle times. One of these techniques is simulation. Simulation technique is a functional method which provides the animation, analysis and optimization of production systems.

The main objective of this study using the line balancing and simulation technique is to increase the performance of the assembly line of study. In this research data gathered from furniture factory’s sofa and soft group assembly line working in Kayseri Organized Industrial Zone. In this study, primarily work stations are decreased by using ranked positional weight technique. After that cycle time is decreased and products obtained from assembly line in a week is increased from 1159 to 1354. Thus it is accomplished to use workforce and machines more productive. A simulation model for present and proposed lines is developed by ARENA software to ascertain the outcomes reached. Consequently the results indicate that simulation method is useful for assembly line balancing.

Keywords: Assembly Line, Assembly Line Balancing, Simulation.

JEL Classification Codes: C63, L68.

* Bu çalışma, 30 Haziran - 02 Temmuz 2010 tarihlerinde düzenlenen “Yöneylem Araştırması ve Endüstri Mühendisliği 30. Ulusal Kongresi”nde (YAEM 2010), yer alan bildirden hazırlanmıştır.

Atıfta bulunmak için...| Akın, N.G. (2015). Kanepe Montaj Hattının Dengelenmesi ve Benzetim Yöntemi İle Sınanması. *Çankırı Karatekin Üniversitesi İİBF Dergisi*, 5(1), 95-120.

1. Giriş

Montaj hatları, hem yüksek kaliteye sahip standartlaştırılmış ürünlerin büyük miktarda üretiminin yapıldığı endüstriyel üretimde, hem de müşteri talebine bağlı olarak az sayıda ve benzer özelliklere sahip ürünlerin üretilmesinde kullanılan, akış temelli üretim sistemleridir. Montaj hatları ard arda sıralanmış iş istasyonlarından ve malzemenin iş istasyonları arasında taşınmasını sağlayan hareketli bantlar, konveyörler vs. gibi taşıma sistemlerinden oluşmaktadır. İş parçaları işlem sırasına göre iş istasyonlarında işlem görerek, bir sonraki iş istasyonuna taşınmaktadır (Scholl vd., 2008, 580).

Her bir iş istasyonunda hangi işin yapılacağı kesin olarak bilinmektedir ve bu işler, belirli bir çevrim süresi içinde tamamlanmaktadır (Becker ve Scholl, 2006, 694). Baybars'a göre montaj hatları, iş istasyonlarında yerine getirilmesi gereken her bir görevin ve bunların sırasının ayrıntılı olarak tanımlandığı; iş parçalarının da bir istasyondan diğerine akışının sağlanarak, nihai ürünün bir araya getirildiği hatlardır. Görev (iş elemanı) işin bölünemeyen en küçük anlamlı parçasıdır ve istasyonların oluşturulması, bunlar arasındaki öncelik ilişkileri ile ilgili sınırlamalar dikkate alınarak yapılmalıdır (Hui ve Ng, 1999, 182).

Global rekabetin artması ve talepte meydana gelen dalgalanmalar nedeniyle işletmeler, süreç içi stokların azaltılması ve makine kullanım oranlarının artırılması için, montaj hatlarının etkinliğini sürekli olarak artırma çabası içindedir. Montaj hatlarının etkinliğini artırmaya yönelik bu çaba basit montaj hattı dengeleme problemlerini ortaya çıkarmıştır. Basit montaj hattı dengeleme problemlerinin amacı, görevler arasındaki öncelik ilişkilerini dikkate alarak, her bir görevin sadece bir iş istasyonuna atanmasını sağlamak ve bir ya da birden fazla amacı en iyileyerek, hangi görevler setinin hangi iş istasyonlarına atanması gerektiğini belirlemektir (Liu vd., 2008, 169). Böylece her bir iş istasyonuna mümkün olduğunca eşit yük getirecek sayıda görev dağılımı sağlanarak, çıktı miktarı en büyüklenmeye çalışılacaktır.

Montaj hattı dengeleme problemi ile ilgili olarak literatürde çok sayıda araştırma bulunmaktadır. Bu araştırmalarda iş istasyonlarının verimliliklerinin artırılabilmesi için farklı çözüm teknikleri geliştirilmiştir. Bu teknikler dışında benzetim de, bu amaçla yararlanılabilecek bir başka araç olarak dikkati çekmektedir. Benzetim tekniğinin kullanılması ile montaj hattında yapılması düşünülen her hangi bir iyileştirmenin sonuçları daha uygulama yapılmadan görülebilmektedir. Bu durum işletmelere hem zaman hem de maliyet tasarrufu sağlamaktadır.

Bu çalışmanın amacı bilgisayar temelli benzetim tekniklerini ve hat dengeleme yöntemini kullanarak çalışmanın yapıldığı montaj hatlarının performanslarının artırılması ve sınanmasıdır. Çalışma Kayseri'de faaliyet göstermekte olan büyük

ölçekli bir üretim işletmesinin kanepeler ve oturma grubu üretim hattında gerçekleştirilmiştir. Öncelikle mevcut üretim hattı detaylı olarak incelenerek, hat dengelemede gerekli olan veriler toplanmıştır. Performansın artırılabilmesi için de “konum ağırlıklı hat dengeleme yöntemi” kullanılarak, iş istasyonu sayısının ve çevrim süresinin azaltılması ve böylece belirli bir sürede montaj hattından çıkan ürün sayısının artırılması hedeflenmiştir. Mevcut ve önerilen duruma ait benzetim modelleri Arena paket programı kullanılarak, her iki durumun başarısı ayrı ayrı değerlendirilmiştir.

2. Literatür Özeti

Montaj hatları günümüzdeki anlamıyla ilk defa 1913 yılında Ford Motor Fabrikaları’nda kullanılmaya başlanmıştır. Endüstrinin gelişmesi ve üretim miktarının artmasıyla birlikte montaj hatlarının dengelenmesi problemi ortaya çıkmıştır. Ancak 1954 yılına kadar yaklaşık 50 yıl boyunca konu ile ilgili çalışmaya rastlanmamaktadır. Montaj hattı dengeleme ile ilgili olarak yapılan ilk çalışma Bryton tarafından hazırlanan yüksek lisans tezi olarak bilinmektedir. Bryton’un yaptığı çalışmada iş istasyonlarının zamanlarının sabit olduğu varsayımından hareketle, iş istasyonları arasında iş elemanlarının değişimiyle, istasyon zamanlarının ortak bir süreye yaklaştırılarak denge kaybının en küçüklenebileceği gösterilmiştir. Daha sonra Moodie ve Young, Bryton’ın çalışmasını biraz daha geliştirerek, bilgisayar ortamına aktarmışlardır (Çelikçapa, 1999, 119-120). Tek ürünlü montaj hatlarının dengelenmesi problemi ile ilgili ilk makale ise, Salveson tarafından hazırlanmış ve daha sonra bunu pek çok çalışma takip etmiştir. Jackson geliştirmiş olduğu yöntemde işlerin iş istasyonlarına atanması ile ilgili tüm kombinasyonları ele almıştır. Bu yöntem özellikle küçük hacimli problemler için en iyiye yakın sonuçlar vermiştir. Bowman montaj hattı dengelemede doğrusal programlama yaklaşımını kullanmıştır. Helgeson ve Birnie, Tonge, Kilbridge ve Wester, Arcus basit montaj hattı dengeleme yöntemleri geliştirmişlerdir (Wild, 1971, 244). Mansoor ise, Helgeson ve Birnie tarafından geliştirilen konum ağırlıklı hat dengeleme yönteminde bazı değişiklikler yaparak, büyük ölçekli tek ürünlü hat dengeleme problemlerinin kısa sürede çözümünü sağlayan bilgisayar destekli sezgisel bir yöntem geliştirmiştir (Buffa, 1987, 665-666).

Tüketicilerin tercih ve beklentilerindeki değişime bağlı olarak üretilen ürünlerin çeşidinin artması ile birlikte bir ürünün değişik modellerinin veya üretim süreçleri benzerlikler gösteren farklı ürünlerin aynı montaj hatlarında üretimini sağlayabilen daha esnek üretim sistemleri de kullanılmaya başlamıştır. Böylece tek ürünlü hatların yerini karma modellenli üretim hatları almış ve bu hatlarla ilgili dengeleme problemleri üzerinde çalışmalar başlamıştır. Karma model montaj hattı dengeleme problemleri ile, öncelikle verilen çevrim süresinde iş istasyonu sayısının en küçüklenmesi ve daha sonra iş istasyonları arasındaki iş yükünün dengelenmesi hedeflenmiştir (Mendes vd., 2005, 417). Bu amaçla işlerin montaj

hattına yerleştirilmesi, hattın dengesi ve işlerin sıralanmasına dayalı hat dengeleme yaklaşımları geliştirilmiştir (Battini vd., 2007, 189).

Thomopoulos karma model montaj hattı dengeleme ile ilgili olarak yapmış olduğu çalışmada işlerin doğrudan sıralanması yerine model karmasına etki eden tüm olası durumları göstermiştir. Roberts ve Villa işçilerin etkinliği, süreç içi stoklar ve teslim zamanları gibi bir takım sınırlamaları da dikkate alarak sabit sayıda iş istasyonları için boş zamanların en küçüklenmesini sağlayan karma model montaj hattı dengeleme problemi için tam sayılı programlama modeli hazırlamışlardır. Hsu tarafından yapılan bir çalışma sonucunda karma modellenli hatlar için iş istasyonlarındaki maliyetlerin en küçüklendiği ve iş yüküne göre işlem zamanlarının dikkate alındığı bir yöntem uygulanmıştır (Ajenblit ve Wainwright, 1998, 98). Rosenblatt ve Carlson, Dekro (Rosenblatt ve Lee, 1996, 406), Gökçen ve Erel karma model montaj hattı dengeleme problemlerinin çözümü için ikili tamsayı programlama yaklaşımını kullanmışlardır (Chang ve Chang, 2010, 327-328). Erel ve Gökçen yaptıkları başka bir çalışmada karma model montaj hattı dengeleme problemine en kısa yol modelini uygulamışlardır (Battini vd., 2007, 190). Ayrıca Jin ve Wu, Mc Mullen ve Frazier, Merengo vd., Vilarinho ve Simaria gibi yazarların bu alanda yapılmış çalışmaları bulunmaktadır (Mendes vd., 2005, 417). Battani vd. (2007) sabit sayıdaki iş istasyonuna iş dağılımının dengeli bir şekilde yapılması ve kaynakların sürece en kısa sürede girmesini sağlayacak şekilde konumlandırılması ve böylece ortalama çevrim zamanının azaltılmasını sağlayan sezgisel bir yöntem geliştirmişlerdir.

Montaj hattı dengeleme ile ilgili literatürde çok fazla çalışma bulunmasına karşın, benzetim yöntemi kullanılan çalışmalar oldukça sınırlı sayıdadır. Cochran ve diğerleri otomotiv endüstrisinde yapmış oldukları bir çalışma ile benzetim tekniğini kullanarak akış zamanını azaltmışlardır (Villarreal ve Alanís, 2011, 284). Rajamani ve Singh (1991) televizyon montaj hattını benzetim tekniği ile modelleyerek üretim esnasında ihtiyaç duyulan süreç içi stok seviyesini belirlemişlerdir. Villarreal ve Alanís (2011) montaj hatlarının performansının iyileştirilmesi için benzetim tekniğinden faydalanmışlardır. McMullen ve Frazier (1998) tarafından yapılan çalışmada ihtiyaç duyulan işgücü ve malzeme miktarları girdi olarak alınmış ve veri zarflama tekniği ile benzetim tekniği birlikte kullanılarak montaj hattı dengeleme problemlerinin çözümleri karşılaştırılmıştır. Kitaw vd. (2010) bir hazır giyim firmasında benzetim tekniğini montaj hattı dengeleme çalışmasında kullanmışlardır. Mendes vd. (2005) sezgisel yaklaşım ve benzetimle modelleme tekniğini birleştirerek PC kamerası montaj hattında dengeleme çalışması yapmışlardır. Fan vd. (2010) otomotiv endüstrisinde yapmış oldukları çalışmada hat dengeleme ile ilgili matematiksel bir model geliştirerek, benzetim tekniğini uygulamışlardır. Bahadır (2011) tarafından tekstil ve hazır giyim işletmesinde yapılan bir çalışmada pantolon üretim hattı dengelenmesinde benzetim tekniği kullanılmıştır. Nasab vd. (2012) ise, benzetim tekniği ve deney

tasarımı yaklaşımını birlikte uygulayarak, bir imalat işletmesinde hat dengeleme çalışması yapmışlardır.

3. Montaj Hattı Dengeleme

Montaj hattı dengeleme, yüksek işgücü ve makine kullanımını sağlamak ve böylece atıl zamanları en küçükleme için, birbirini izleyen görevlerin elden geldiğince eşit zamanlı iş istasyonları şeklinde gruplandırılmasıdır (Monks, 1996, 112). Geleneksel montaj hattı modellerinde genellikle,

- i. Pek çok görevin belirli bir işlem sırasına göre yapılması,
- ii. İşlem zamanlarının ürün ve/veya üretim ihtiyaçlarına göre şekillenmesi ve bu zamanın değiştirilebilmesi için sadece küçük düzeyde bir esnekliğin söz konusu olması,
- iii. İnsanın ve donanımın verimlilik kapasitelerinin farklı olması sebebiyle aynı hızda çalışamamaları ve aynı türde veya sayıda hata yapmamaları (Starr, 1989, 492-494) nedeniyle mükemmel dengeye ulaşmak zor olmakla birlikte, üretim sisteminde darboğaz oluşturan iş istasyonları belirlenebilmektedir. Geleneksel montaj hatları tasarlanırken iş istasyonları arasındaki ara stok kapasitesinin sonsuz olduğu ve ilk iş istasyonunun malzeme yokluğu nedeniyle boş beklemesinin söz konusu olmayacağı varsayımları esas alınır (Montano vd., 2007, 5357).

Basit montaj hattı dengeleme problemleri (SALBP) ile ilgili literatür incelendiğinde, verilen sabit bir çevrim süresi için görevler setinin atanacağı en küçük iş istasyonu sayısının belirlenmesi (SALBP-1) ve verilen sabit bir iş istasyonu sayısı için en kısa çevrim zamanının hesaplanması (SALBP-2) şeklinde karşımıza iki tip problem çıkmaktadır (Liu vd., 2008, 169). Bu problemlerde genellikle tek bir ürünün üretilmesi için gerekli olan deterministik işlem süreleri dikkate alınmaktadır (Kilinci ve Bayhan, 2008, 400). Sabit bir çevrim süresinin verildiği birinci tip problemlerde amaç iş istasyonu sayısının en küçüklenmesidir. İş istasyonu sayısının verildiği ya da iş gücü sayısının sabit olduğu ikinci tip problemlerde ise amaç, çevrim süresinin en küçüklenmesidir. Böylece üretim hızı en büyüklenebilir. İkinci tip montaj hattı dengeleme problemleri genellikle, örgütlerin büyümeden ya da yeni makineler satın almadan sabit sayıdaki iş istasyonlarını kullanarak, ürünlerini en iyi miktarda üretmek istedikleri durumda kullanılmaktadır (Ponnambalam vd., 1999, 577).

Basit montaj hattı dengeleme problemlerinin temel özellikleri şunlardır (Jolai vd., 2009, 113):

- Tek bir ürün belirli bir üretim sürecinde seri olarak üretilir.
- Üretim sabit bir çevrim zamanında gerçekleşir.

- İşlem zamanları deterministiktir.
- İşlemler öncelik ilişkileri dikkate alınarak iş istasyonlarına atanır.
- N adet iş istasyonundan oluşan seri üretim hatları söz konusudur.
- İş istasyonlarına mümkün olduğunca eşit sayıda iş gücü ve makine donanımı sağlanır.
- Üretim hattının etkinliği en büyüklenmeye çalışılır.

Ayrıca basit montaj hattı dengeleme problemleri bir takım varsayımlara dayanmaktadır. Baybars'a göre basit montaj hattı dengeleme problemlerinin dayandığı varsayımlar şunlardır (Kilincci ve Bayhan, 2008, 401):

- Girdi parametrelerinin tamamı kesin olarak bilinmektedir.
- Bir işin birden fazla iş istasyonunda yapılması mümkün değildir.
- Teknolojik öncelikler nedeni ile işlemlerin keyfi bir sıralama dâhilinde yapılması söz konusu değildir.
- Bütün işlemler mutlaka yapılmalıdır.
- Üretim faaliyetinin gerçekleştirileceği iş istasyonlarının tamamı verilen görevlerin yapılabilmesi için gerekli olan teçhizatla donatılmıştır.
- Görevlerin işlem zamanları, öncül ya da ardıl görevlerin yapıldığı iş istasyonlarından bağımsızdır. Bunun da sebebi işlem zamanlarının sabit olmasıdır.
- Her iş her iş istasyonunda yapılabilir

4. Benzetim Tekniği

Yöneticiler için üretim faaliyetinin girdilerini oluşturan makine, iş gücü, hammadde, para, zaman vb. gibi işletme kaynaklarının en etkin şekilde kullanımını sağlayacak kararların alınması oldukça önemlidir. Benzetim tekniği yöneticilere ihtiyaç duyulan kaynakların etkin bir şekilde planlanması ve kullanılması için alacakları kararlarda yardımcı olan işlevsel bir tekniktir. İşletmelerin performansının artırılabilmesi için, üretim sistemlerinin modellenmesinde ve analiz edilmesinde kullanılan benzetim yönteminin önemi son yirmi otuz yıldır oldukça artmıştır. Bilgisayar destekli benzetim ve modelleme teknikleri dikkate değer ölçüde zaman ve para tasarrufu sağlayarak, karmaşık üretim sistemlerinin bilgisayar ortamında canlandırılmasına, analiz edilmesine ve en iyilenmesine olanak vermektedir. Böylece işletmeler yoğun rekabet ortamında performanslarını artırabilmek için ihtiyaç duydukları yeni üretim stratejilerini

daha çabuk hayata geçirebilmektedirler (Sandanayake vd., 2008, 735). Bu kapsamda çalışmanın amacı bilgisayar temelli hat dengeleme yöntemi ve benzetim tekniklerini kullanarak çalışmanın yapıldığı montaj hatlarının performanslarının artırılması olmuştur.

Bir benzetim çalışmasının başarısı, hazırlanan benzetim modelinin gerçek sistemi hangi oranda yansıttığı ile belirlenir. Bu nedenle benzetim modeli hazırlanırken benzetim sürecine ilişkin sıralamanın takip edilmesi gerekir. Benzetim süreci, benzetim modelinin hazırlanma amacının ve mevcut durumda var olan problemlerin doğru bir şekilde tanımlanması ile başlar. Belirlenen amaca ulaşmak için gerekli olan veriler toplanır, analiz edilir ve mevcut durumu gösteren bir benzetim modeli hazırlanır. Hazırlanan modelin gerçek sistemi temsil edip etmediği mutlaka araştırılmalı ve gerekiyorsa düzeltmeler yapılmalıdır. Daha sonra model çalıştırılır ve elde edilen sonuçlar kaydedilir. Belirlenen amaç doğrultusunda alternatif modeller hazırlanarak, çalıştırılır ve sonuçları mevcut durum sonuçları ile karşılaştırılır.

5. Uygulama

Çalışma, Kayseri’de OSB’nde faaliyet göstermekte olan büyük ölçekli bir imalat işletmesinde gerçekleştirilmiştir. İşletmede kanepeler ve oturma grubu, yatak ve baza ile modüler mobilya olmak üzere olmak üzere üç ana ürün ailesinin çok sayıda değişik modelinin üretimi yapılmaktadır. Üretilecek ürünlerin çeşidi ve miktarı müşterilerin siparişlerine göre belirlenmektedir. Bu nedenle çalışmada işletmenin en fazla talep gören ürün ailesi olan kanepeler ve oturma grubu modellerine ait veriler kullanılarak, kanepeler döşeme hattında montaj hattı dengeleme çalışması yapılmıştır. Bu amaçla öncelikli olarak, kanepeler döşeme hattının mevcut durumu belirlenmiş, ardından önerilen yöntemlerle söz konusu üretim hattının nasıl daha verimli hale getirilebileceği araştırılmıştır. Hattın benzetimi, modellemede kullanılacak verilerin hazırlanması için Arena 4.0 ve modelleme için Arena 9.0 (Kelton vd., 2002) programları kullanılarak yapılmış ve elde edilen sonuçlar mevcut durum sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

5.1. Modelin Varsayımları

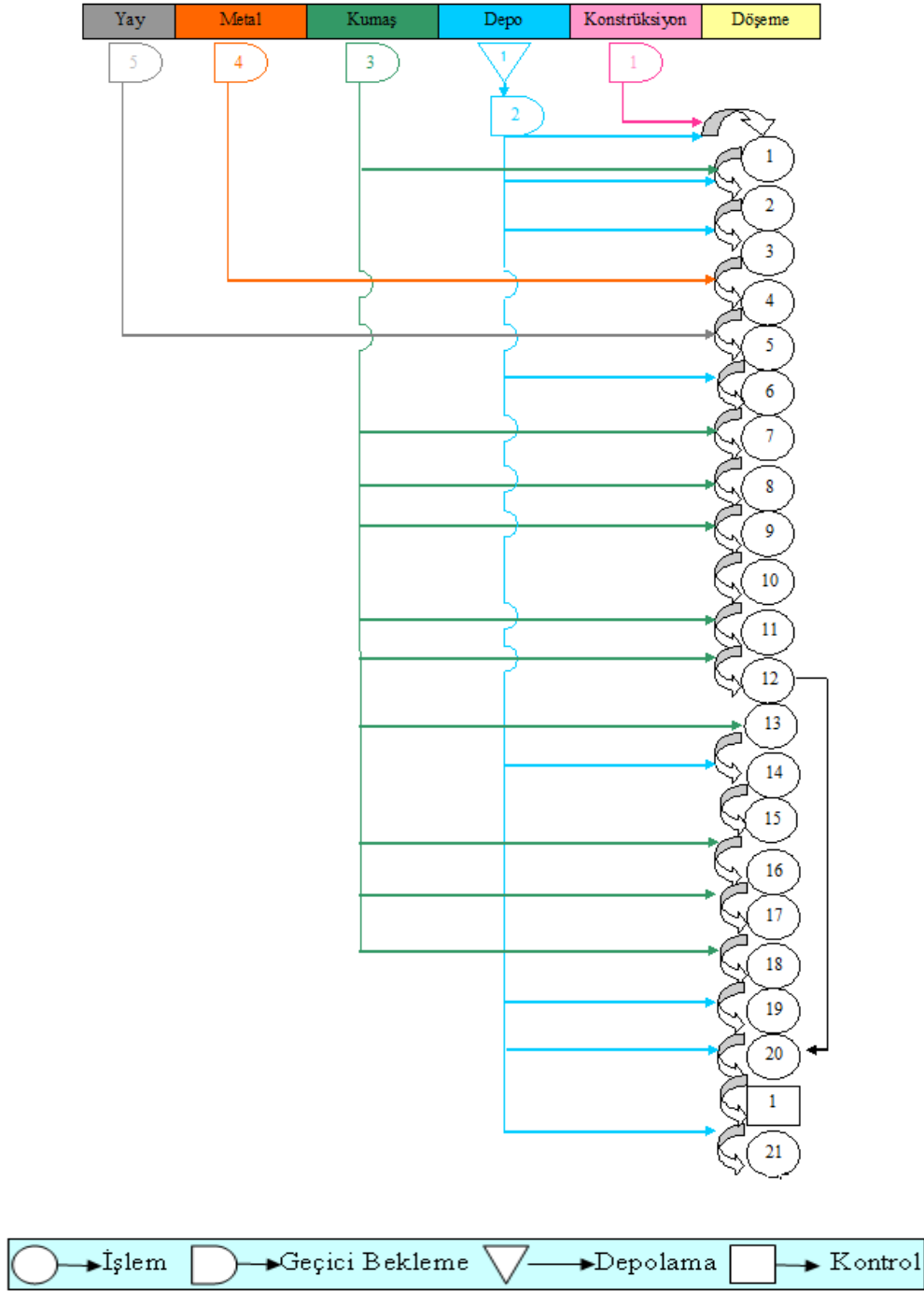
Hazırlanan modellerin dayandığı varsayımlar şöyledir:

- İşletmede kanepeler döşeme hattında yirmi bir farklı iş istasyonu bulunmaktadır.
- Her iş istasyonunda bulunan donanım ve işçi sayıları üretim miktarından bağımsız olarak sabittir.
- Kanepeler döşeme hattında bir ana ürünün değişik modellerinin üretimi yapılmaktadır.

- Üretilen ürünler, işletmenin haftalık üretim programına göre sisteme girmektedir.
- Ürünlerin teslim zamanları modelde dikkate alınmamıştır.
- Haftalık üretim programında yer alan sipariş miktarını karşılamak için gerekli olan fazla mesailer ve ilave vardiyalar dikkate alınmamıştır.
- Üretim siparişi, montajın yapılacağı ilk iş istasyonuna bildirilmektedir.
- Üretimin, malzeme yokluğu, tamir bakım faaliyetleri, işçilerin işe gelmemesi vs. gibi nedenlerden dolayı kesintiye uğramadığı farz edilmiştir.
- Makine hazırlık zamanları ile taşıma ve işlem süreleri ürün başına saniye cinsinden hesaplanmıştır ve kesin olarak bilinmektedir.
- Modeller, öncelik ilişkileri de dikkate alınarak, kuyruğa ilk giren iş önce işlem görür sıralama kuralına göre düzenlenmiştir.
- Kuyruk uzunluğu işlem sürelerini etkilememektedir.

5.2. Hat Dengeleme Süreci

Kanepe ve oturma grubu döşeme hattında, yay, metal, kumaş, depo ve konstrüksiyon bölümlerinden hazır olarak gelen parçalar bir araya getirilerek kanepeler, berjerler, koltuk takımları, köşe takımları, maxi takımlar ve deluxe takımlar olmak üzere farklı ürünlere ait yüzü aşkın modelin üretimi yapılmaktadır. Hangi modelden ne kadar üretileceği tamamen müşteri siparişleri ile belirlenmektedir. Üretilen modellerin temel üretim süreçleri büyük ölçüde aynı olup, farklılıklar genellikle kullanılan malzemelerden kaynaklanmaktadır. Ayrıca bütün modellerin yer alacağı bir hat dengeleme ve benzetim modeli, problemi büyük ve karmaşık bir hale getireceği için en fazla talebin olduğu M model kanepeler seçilerek, çalışmaya başlanmıştır. Mevcut durumla ilgili benzetim modelinin hazırlanabilmesi ve daha dengeli bir hattın tasarlanabilmesi için ilk aşamada seçilen modelle ilgili iş elemanları ve bunların öncelikleri belirlenerek, iş akışı ortaya çıkarılmış ve her bir işe ait standart sürenin hesaplanabilmesi için zaman etüdü çalışması yapılmıştır. Aşağıda yer alan Şekil 1’de kanepeler döşeme iş akışı ve Tablo 1’de M modelin üretiminin yapılabilmesi için üretim hattında çalışan işçi sayıları, gerekli olan işlemler, bu işlemlerin sıraları ve standart süreleri gösterilmiştir.



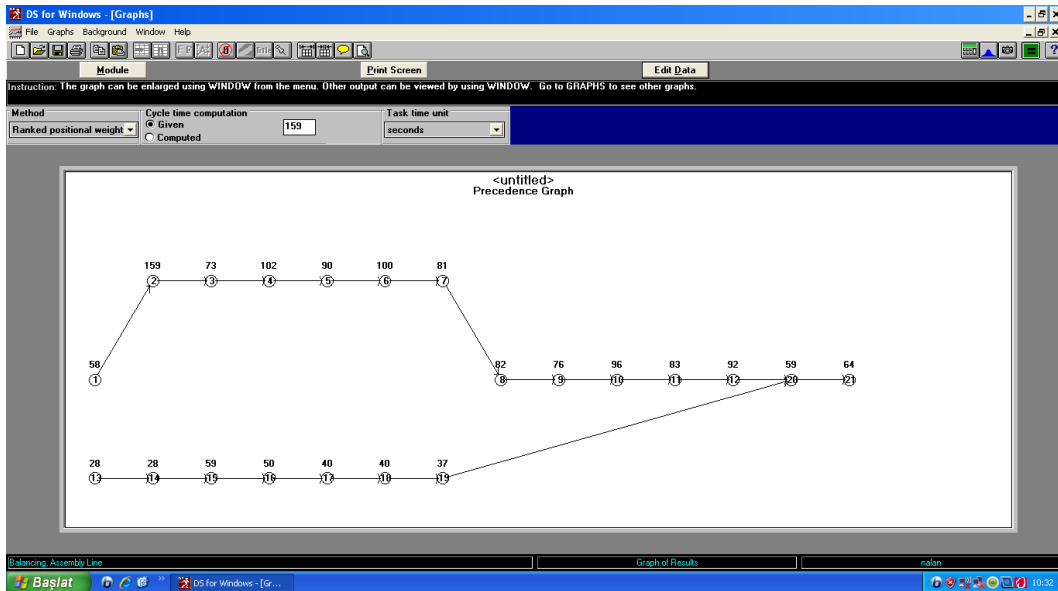
Şekil 1: Kanepenin Döşeme İş Akışı

M Model kanepenin montajının yapılabilmesi için Şekil 1’de görüldüğü gibi, yay, metal, kumaş, depo ve konstrüksiyon bölümlerinde hazırlanarak gelen parçalar, döşeme hattında bir araya getirilmektedir.

Tablo 1: Kanepenin Döşeme Hattı İşlemler, Tanımları ve Standart Zamanları

İş Elemanları	Çalışan Sayısı	Kanepenin Döşeme İşlem	Standart Süre (s)
1	1	Cumba takılması ve 0.8'lik baza süngerinin geçirilmesi	58
2	1	Baza kumaşı geçirilmesi ve Te levha çakılması	159
3	1	Köşe koruyucu ve logonun çakılması – firma logolu ambalajın ön bazaya geçirilmesi – ayak çakılması ve U plastiğinin takılması	73
4	1	Metal iskelet montajı	102
5	2	Yay kargasının montajı	90
6	2	Süngerleme	100
7	2	Kapitone köşe tutturma	81
8	1	Kapitone sırt döşeme	82
9	1	Kapitone oturak döşeme	76
10	1	Ara bezi çektirme ve arka bezi tutturma	96
11	1	Alt bezi çakma	83
12	1	Arka bezi çakma ve arka beze logo tutturma ve köşe koruyucu çakılması	92
13	1	Kumaş kolonun çakılması	28
14	1	Kolonun arka tarafına sünger çakılması	28
15	1	Süngerin kola çakılması	59
16	1	Kumaşın kaplanması	50
17	1	İç tarafa kumaşın çakılması	40
18	1	Dış tarafa kumaşın çakılması	40
19	1	Klapanın çakılması	37
20	1	Temizlik, kollar ve kirlentlerin konulması	59
21	2	Ambalajlama	64

İş akışının belirlenmesinden ve görevlerle ilgili tanımların yapılmasından sonra iş elemanlarının birbirlerine göre öncelikleri tespit edilerek, Şekil 2’de kanepenin döşeme hattına ait öncelik ilişkileri diyagramı gösterilmiştir.



Şekil 2: Kanepenin Hattı Öncelik İlişkileri Diyagramı

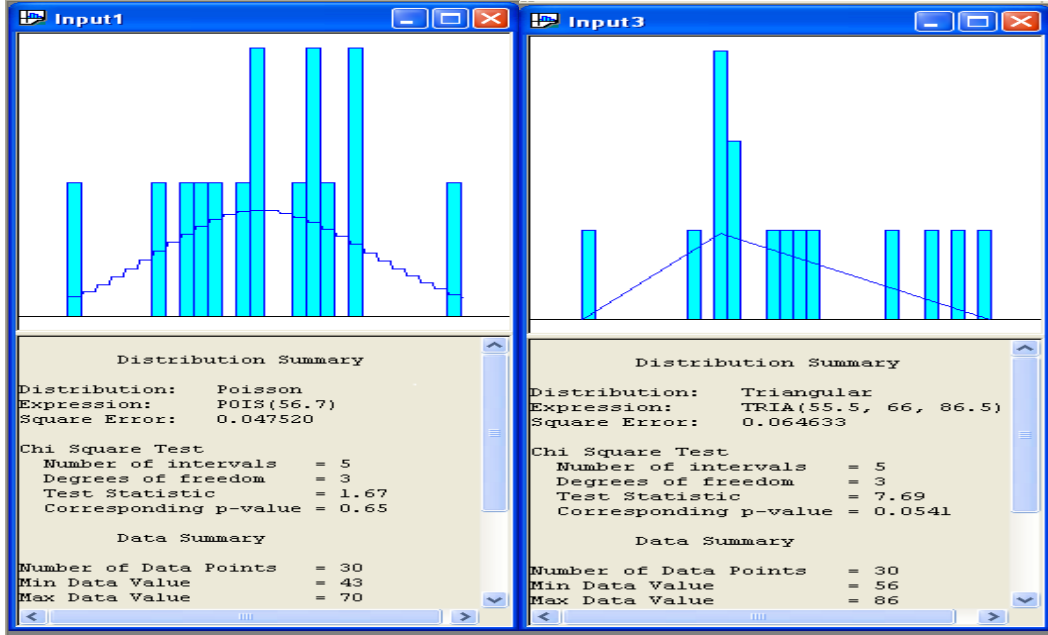
İşletme haftanın beş günü faaliyet göstermektedir. İşletmede günlük çalışma süresi 10 saattir fakat 30 dakika yemek molası ve sabah ve öğleden sonra 15'er dakika olmak üzere iki çay molası verilmektedir. Bu durumda işletmenin günlük net çalışma süresi 9 saat olmaktadır. Haftalık üretim programının karşılanamaması durumunda ise ilave vardiyalar konulmaktadır. Ancak bu çalışmada ilave vardiyalar dikkate alınmamıştır. Çevrim süresi = Eldeki toplam süre / Haftalık talep formülü kullanılarak, bir haftalık sürede üretilmesi gereken ürün miktarı 1550 olduğu için çevrim süresinin en fazla $5*9*3600/1550 \approx 105$ saniye olması gerektiği hesaplanmış, işletmenin mevcut şartlardaki çevrim süresinin ise 159 saniye olduğu görülmüştür. Bu durumda mevcut çevrim süresinin azaltılıp azaltılamayacağını belirlemek amacıyla, yeni bir zaman etüdü çalışması yapılmıştır. Bu kapsamda özellikle darboğaz oluşturan “baza kumaşı geçirilmesi ve te levha çakılması” işlemi ile “cumbanın takılması ve 0.8'lik baza süngerinin geçirilmesi”, “köşe koruyucu ve logonun çakılması- firma logolu ambalajın ön bazaya geçirilmesi- ayak çakılması ve u plastiğin takılması” ve “arka bezi çakma ve arka beze logo tutturma ve köşe koruyucu çakma” operasyonlarının daha küçük iş parçalarına ayrılıp ayrılamayacağı belirlenmeye çalışılmıştır. Sonuçta iki numaralı işin 53 saniyelik baza kumaşının geçirilmesi ve 106 saniyelik te levha çakılması şeklinde iki kısma bölünebileceği görülmüştür. Baza kumaşının geçirilmesi işlemi 2a ve te levha çakılması işlemi 2b olarak tanımlanmıştır. İşlemlerin öncelikleri ve standart süreleri dikkate alınarak, DS for Windows paket programı içerisinde bulunan “konum ağırlıklı hat dengeleme yöntemi” kullanılarak üretim hattı dengelenmiştir. Çevrim süresinin 159 saniye olarak alınması durumunda açılan iş istasyonu sayısı 12 olarak belirlenmiştir. Aşağıda Şekil 3'te montaj hattının dengelenmesi sonucunda açılan iş istasyonları ve iş istasyonlarına atanan iş elemanları görülmektedir.

Balancing, Assembly Line Results				
Station	Task	Time (seconds)	Time left (seconds)	Ready tasks (positional wt)
				1(1215)
1	1	58	101,	13(405)
	2a	53	48,	13(405)
	13	28	20,	2b(1104)
2	2b	106	53,	14(377), 3(998)
	14	28	25,	3(998), 15(349)
3	3	73	86,	15(349), 4(925)
	15	59	27,	4(925), 16(290)
4	4	102	57,	16(290), 5(823)
	16	50	7,	5(823), 17(240)
5	5	90	69,	17(240), 6(733)
	17	40	29,	6(733), 18(200)
6	6	100	59,	18(200), 7(633)
	18	40	19,	7(633), 19(160)
7	7	81	78,	19(160), 8(552)
	19	37	41,	8.552
8	8	82	77,	9.470
	9	76	1,	10.394
9	10	96	63,	11.298
10	11	83	76,	12.215
11	12	92	67,	20.123
	20	59	8,	21.64
12	21	64	95,	

Şekil 3: Montaj Hattı Dengeleme Sonuçları

5.3. Benzetim Süreci

Bu aşamada öncelikle Arena 4.0 programı içerisinde yer alan Input Analyzer'dan faydalanılarak, text dosyası olarak kaydedilen her bir göreve ait gözlem değerleri ile bir histogram oluşturulmuş, "fit all" seçeneği ile bu değerlerin hangi dağılıma uygun olduğu belirlenmiş ve dağılım değerleri analiz edilmiştir. Input analyzer tarafından otomatik olarak yapılan ki-kare testi ile elde edilen dağılımların ana kütle dağılım oranlarını yansıtmadığı analiz edilmiştir. Analiz sonucunda $p > 0.05$ olduğu için elde edilen dağılımların ana kütle dağılım oranlarını yansıttığı yani ana kütle dağılım oranları ile elde edilen dağılım oranları arasında fark olmadığı görülmüştür. Şekil 4a, 4b, 4c ve 4d'de sırasıyla bir, üç, yedi ve on dördüncü görevlerin işlem sürelerinin, 4e ve 4f'de sırasıyla metal iskeletin ve bazanın taşıma sürelerinin dağılım değerleri ve grafikleri ile ilgili örnekler yer almaktadır.

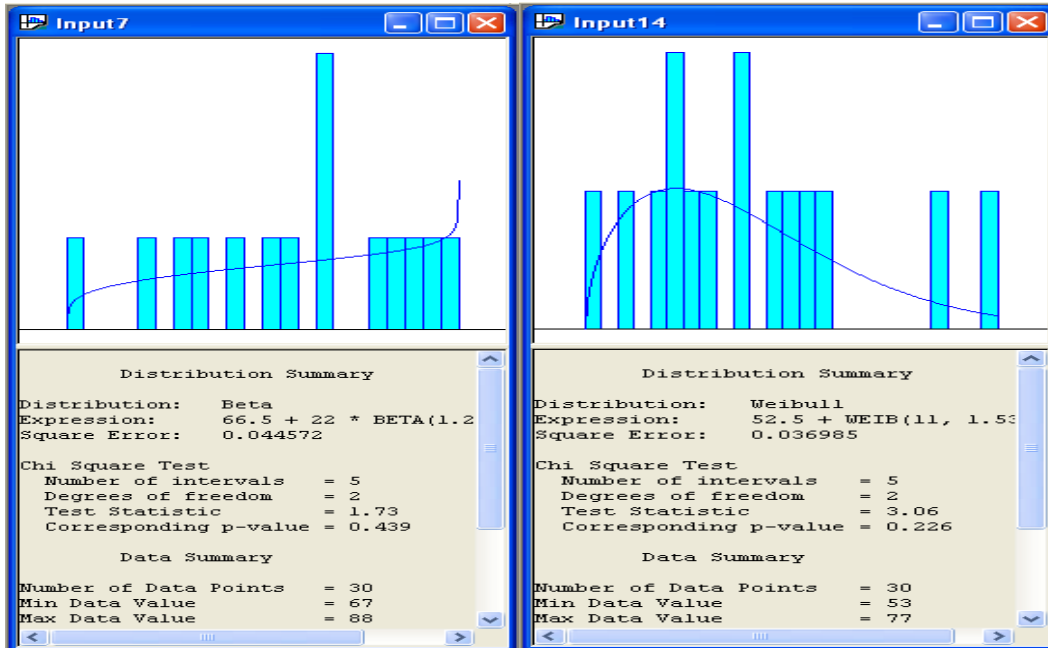


Şekil 4a: Birinci İşlemin Sürelerine

Şekil 4b: Üçüncü İşlemin Sürelerine

İlişkin Dağılımlar ve Input Analiz Değerleri

İlişkin Dağılımlar ve Input Analiz Değerleri

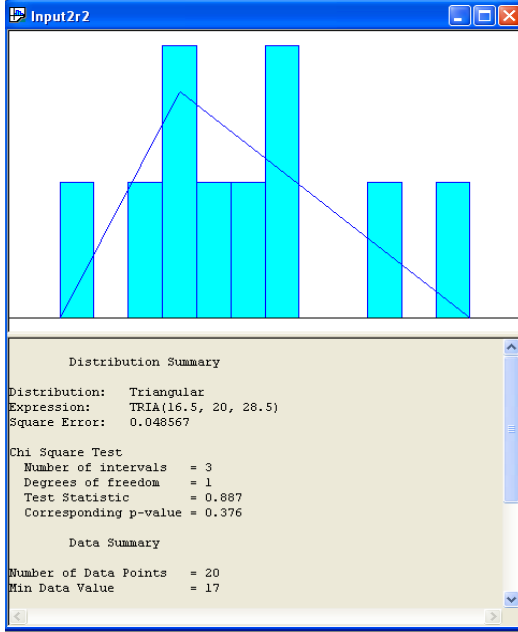


Şekil 4c: Yedinci İşlemin Sürelerine

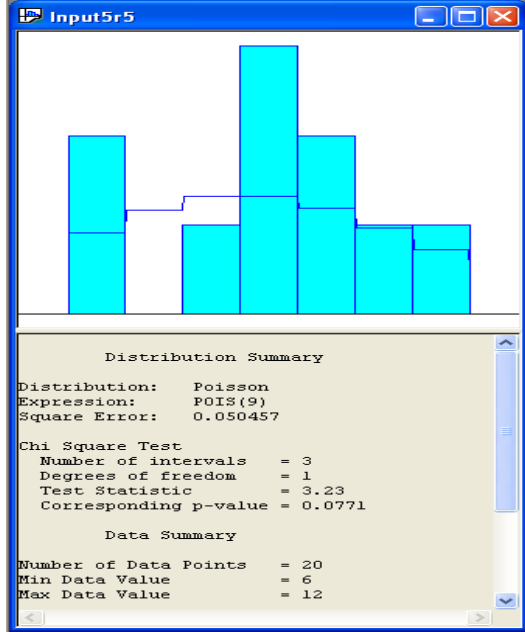
Şekil 4d: On Dördüncü İşlemin Sürelerine

İlişkin Dağılımlar ve Input Analiz Değerleri

İlişkin Dağılımlar ve Input Analiz Değerleri



Şekil 4e: Metal İskeleti Taşıma Süresine
İlişkin Dağılımlar ve Input Analiz Değerleri



Şekil 4f: Baza Taşıma Süresine İlişkin
Dağılımlar ve Input Analiz Değerleri

Şekil 4: Input Analiz Değerleri Örnekleri

Oluşturulan bu dağılımlar mevcut durumla ilgili benzetim modelinde işlemlerin sürelerini ve taşıma sürelerini ifade edecektir. Her bir görevin işlem sürelerinin gösterdikleri istatistiksel dağılımlar Tablo 2’de verilmiştir.

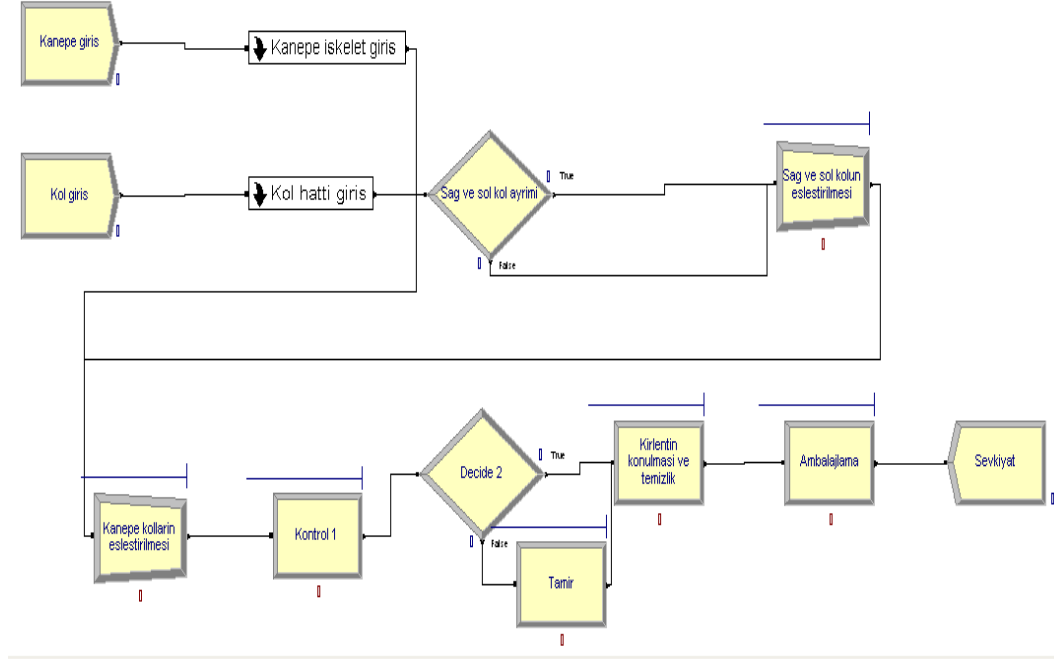
Tablo 2: İşlem Sürelerinin İstatistiksel Dağılımı

İş Elemanları	Kanepe Döşeme İşlem	Standart Süre (s)
1	Cumba takılması ve 0.8'lik baza süngerinin geçirilmesi	POIS(56.7)
2	Baza kumaşı geçirilmesi ve Te levha çakılması	NORM(157, 8.72)
3	Köşe koruyucu ve logonun çakılması- firma logolu ambalajın ön bazaya geçirilmesi- ayak çakılması ve U plastiğin takılması	TRIA(55.5, 66, 86.5)
4	Metal iskelet montajı	NORM(99.5, 6.24)
5	Yay kargasının montajı	72.5+2.5*BETA(1.3, 0.822)
6	Süngerleme	82.5+27*BETA(1.11, 0.706)
7	Kapitone köşe tutturma	66.5+22*BETA(1.22, 0.918)
8	Kapitone sırt döşeme	66.5+24*BETA(1.31, 0.953)
9	Kapitone oturak döşeme	67.5+23*BETA(0.904, 1.07)
10	Ara bezi çektirme ve arka bezi tutturma	POIS(93.7)
11	Alt bezi çakma	POIS(80.5)
12	Arka bezi çakma ve arka beze logo tutturma ve köşe koruyucu çakılması	NORM(90.1, 4.95)
13	Kumaş kolunun çakılması	POIS(57.5)
14	Kolonun arka tarafına sünger çakılması	52.5+WEIB(11, 1.53)
15	Süngerin kola çakılması	NORM(54.1, 1.45)
16	Kumaşın kaplanması	39.5+9*BETA(0.977, 0.77)
17	İç tarafa kumaşın çakılması	NORM(36.1, 2.69)
18	Dış tarafa kumaşın çakılması	NORM(36.1, 2.69)
19	Klapanın çakılması	TRIA(29.5, 35, 38.5)
20	Temizlik, kollar ve kırıntıların konulması	NORM(54.7, 3.32)
21	Ambalajlama	52.5+WEIB(11, 1.53)

Dağılım değerleri belirlendikten sonra işletmenin mevcut durumunu gösteren bir benzetim modeli hazırlanmıştır. Modelin hazırlanabilmesi için Arena 9.0 paket programından yararlanılmıştır. Mevcut durumu gösteren benzetim modelinde “create”, “decide”, “process”, “batch” ve “dispose” blokları kullanılmıştır. “Create” bloğu ile montaj hattına gelen kanepe ve kol parçalarının oluşturulması sağlanmıştır. Kanepe için gelişler arası süre 2.34 dakika, kol için ise 90 saniye olarak tanımlanmıştır. Parçalar sisteme tek tek girmektedir ve sisteme giren parça sayısı sonsuz olarak tanımlanmıştır. “Decide” bloğu sağ ve sol kol ayrımının ve hatalı ve sağlam ürün ayrımının yapılması için kullanılmıştır. “Process” bloğu montaj hattında yapılan işlemleri göstermektedir ve her bir iş elemanı için ayrı ayrı tanımlanmıştır. “Batch” bloğu ile öncelikli olarak sağ ve sol kolun, ardından kollar ve kanepenin bir araya getirilmesi sağlanmıştır. “Dispose” bloğu ile montajı tamamlanan kanepelerin montaj hattından çıkmaları sağlanmıştır. İşletmenin mevcut durumunda her bir iş elemanının bir iş istasyonunda yapıldığı görüldüğünden, bu durum benzetim modeline de yansıtılmıştır. Mevcut durumda kanepe ve kolların montaj işlemleri ayrı ayrı yapıldığı için “submodel” kullanılarak model hazırlanmıştır. Model, işlemler, işlem süreleri, kullanılan kaynaklar ve miktarları, iş akışları gibi veriler girildikten sonra, 100 dakikasını ısınma periyodu olmak üzere arka arkaya toplam on defa çalıştırılmıştır. Programın çalışması esnasında istatistiksel verilerin sıfırlanarak, yeniden

hesaplanması sağlanmıştır. Şekil 5'te işletmenin mevcut duruma göre hazırlanmış benzetim modeli yer almaktadır.

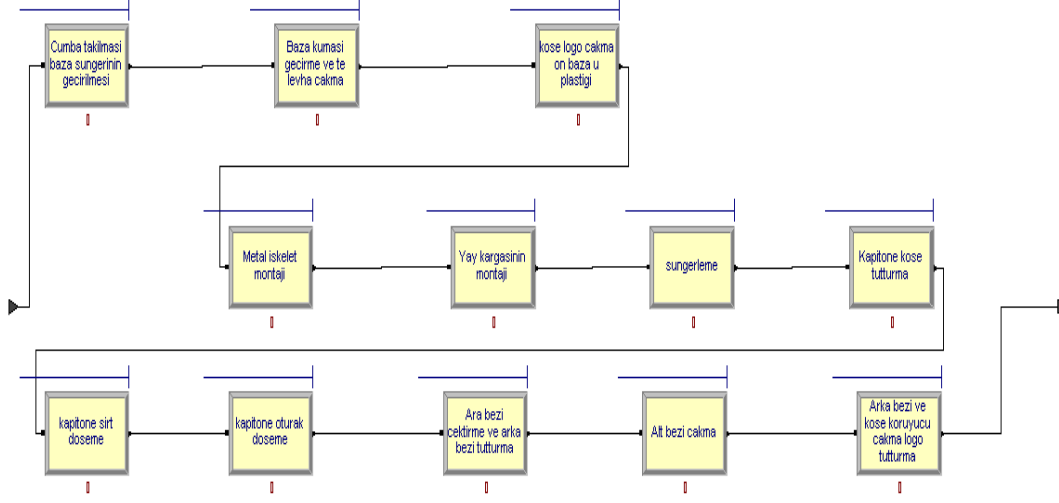
Kanepe ve kol hattı



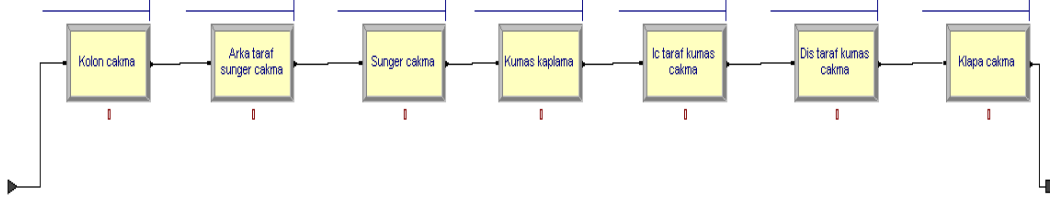
Şekil 5: Mevcut Durum Benzetim Modeli

Mevcut durum benzetim modelinde Şekil 5'te görüldüğü üzere “kanepe iskelet giriş” ve “kol hattı giriş” olarak tanımlanan alt modeller yer almaktadır. Alt modeller kapsamında yapılan işlemler aşağıda Şekil 6’da detaylı olarak gösterilmiştir.

Kanepe iskelet giriş



Kol hattı giriş



Şekil 6: Kanepe ve Kol Hattı Mevcut Durum Benzetim Alt Modelleri

Konum ağırlıklı hat dengeleme yöntemine göre hazırlanan alternatif benzetim modelinde ise on iki adet iş istasyonu açılmıştır. Önerilen modelde darboğaz oluşturan “baza kumaşı geçirme ve te levhanın çakılması” işlemi parçalanarak, aşağıda Tablo 3’te 2a ve 2b şeklinde gösterilmiştir. Açılan iş istasyonları ve bu iş istasyonlarına atanan işler şöyledir:

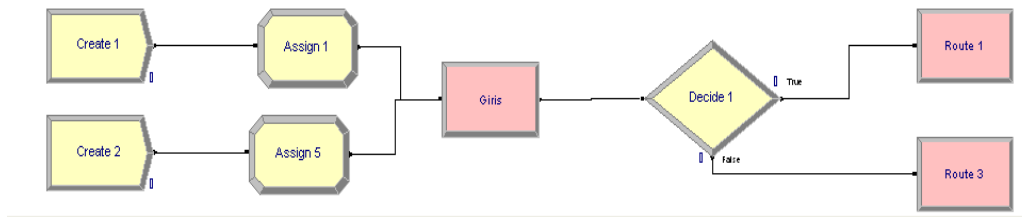
Tablo 3: İş İstasyonları ve Atanan İşler

İşçi Sayısı	İş İstasyonu	Atanan İşler
2	1	1,2a,13
2	2	2b,14
2	3	3,15
2	4	4,16
2	5	5,17
2	6	6,18
1	7	7,19
2	8	8,9
1	9	10
1	10	11
2	11	12,20
1	12	21

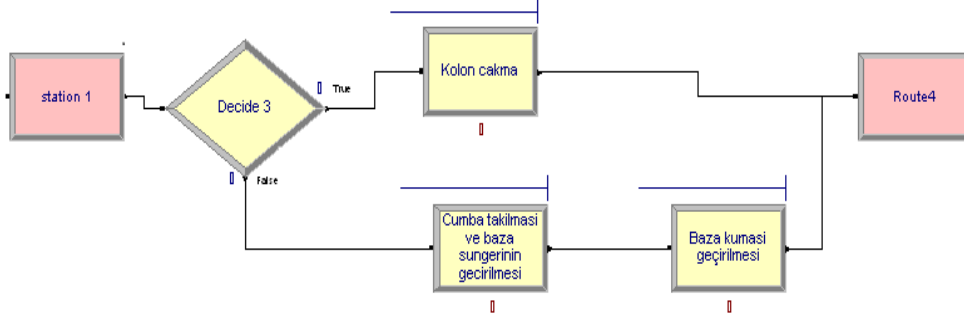
Önerilen benzetim modelinin hazırlanması için, “create”, “assign”, “station”, “process”, “decide”, “route”, “match”, “batch”, “record” ve “dispose” blokları kullanılmıştır. “Create” bloğu ile montaj hattına gelen kanepeler ve kol parçalarının oluşturulması sağlanmıştır. “Assign” bloğunda parça tipi, montaj sürecinde yapılacak olan işlemlerin sırası, parçaların sistemde geçirdikleri zaman ve parçaların animasyonda kullanılan resimleri tanımlanmıştır. “Station” blokları açılan iş istasyonlarını, “process” blokları ise iş istasyonlarında yapılan işleri göstermektedir. Önerilen modelde yer alan “decide” blokları kanepeler ve kol ayırımının yapılması için kullanılmıştır. “Route” blokları ile iş parçasının “assign” bloğunda daha önceden tanımlanmış olan sıra dahilinde sonraki iş istasyonuna transferi sağlanır. On birinci iş istasyonunda kullanılan “match” bloğu sağ ve sol kolun, “batch” bloğu ise kanepeler ve kolun bir araya getirilmesi için kullanılmıştır. “Record” bloğu çıkışlar arasındaki zaman istatistiklerinin hesaplanması için kullanılmıştır. “Dispose” bloğu ile mevcut durum benzetim modelinde olduğu gibi montajı tamamlanan kanepelerin montaj hattından çıkmaları sağlanmıştır.

Gerekli verilerin girilmesinden sonra önerilen durumun benzetim modeli de 100 dakikasını ısınma periyodu olmak üzere toplam 2700 dakika ard arda on kez çalıştırılmıştır. Önerilen durumun benzetim modeli aşağıda Şekil 7’de ayrıntılı olarak gösterilmektedir.

Montaj Hattı Giriş Bölümü



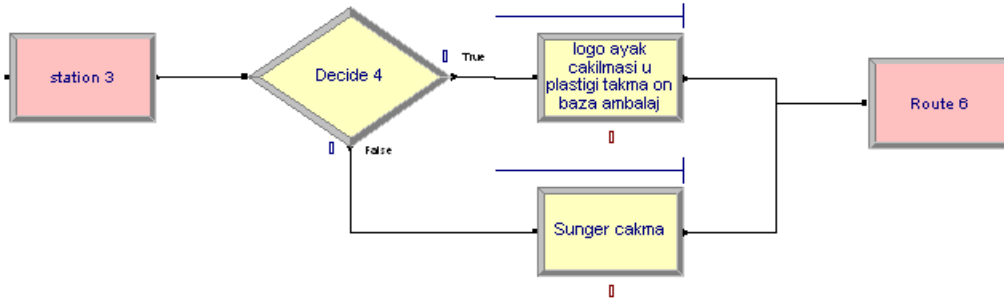
Birinci İş İstasyonuna Atanan İşler



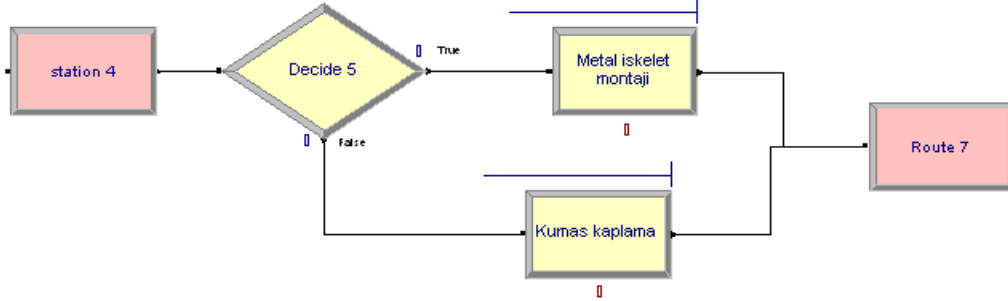
İkinci İş İstasyonuna Atanan İşler



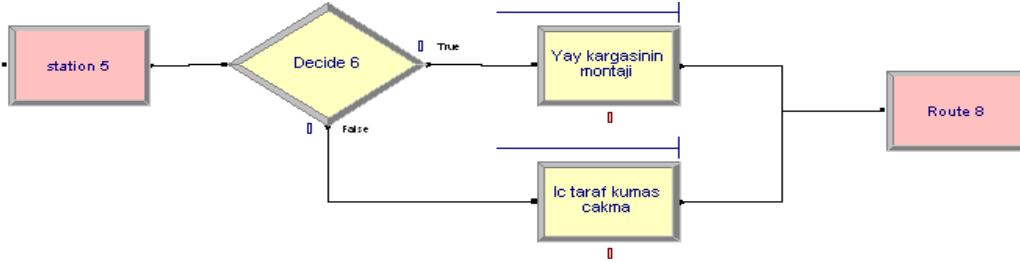
Üçüncü İş İstasyonuna Atanan İşler



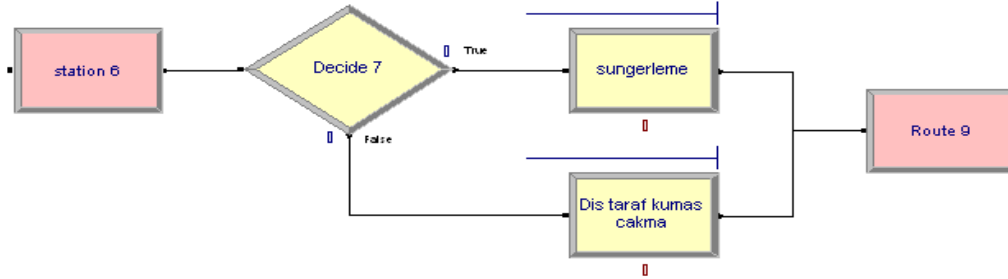
Dördüncü İş İstasyonuna Atanan İşler



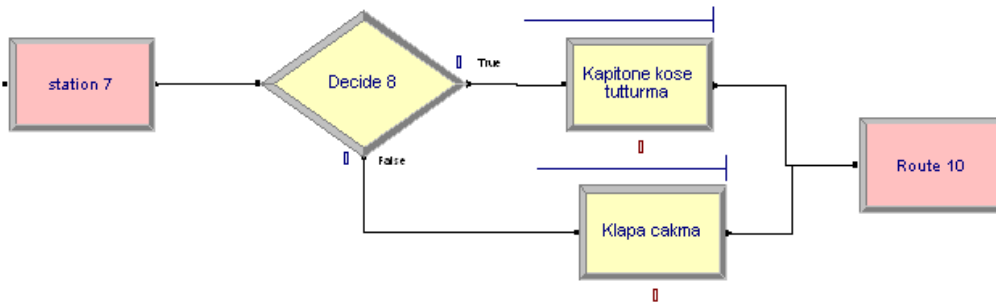
Beşinci İş İstasyonuna Atanan İşler



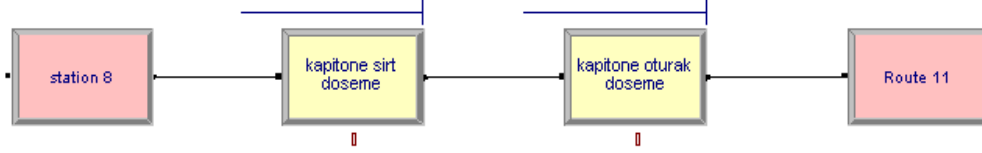
Altıncı İş İstasyonuna Atanan İşler



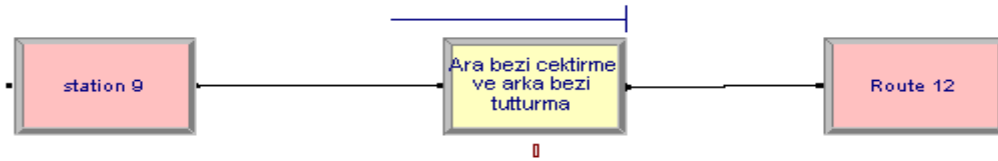
Yedinci İş İstasyonuna Atanan İşler



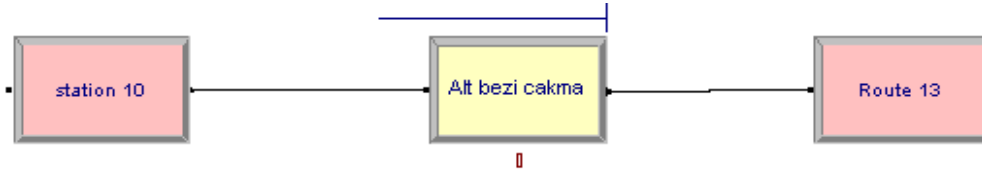
Sekizinci İş İstasyonuna Atanan İşler



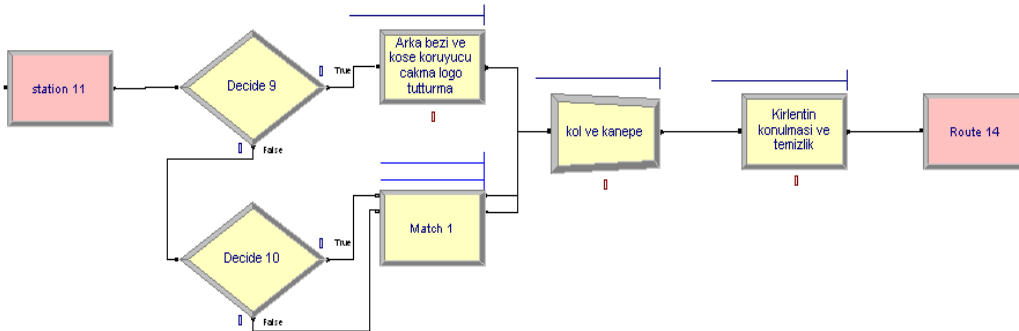
Dokuzuncu İş İstasyonuna Atanan İşler

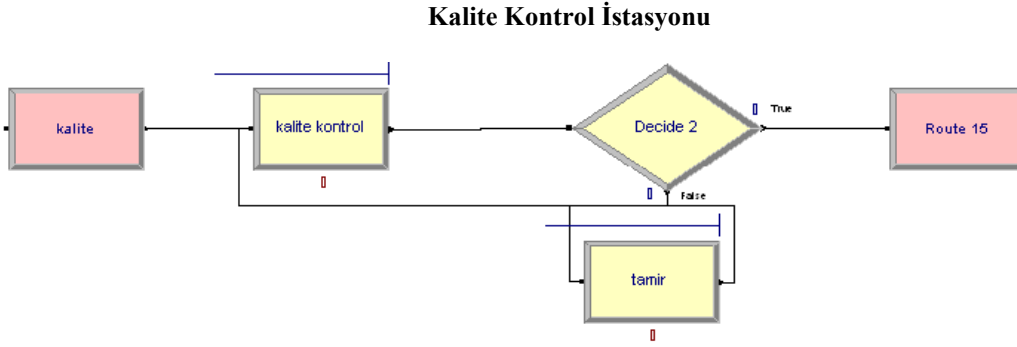


Onuncu İş İstasyonuna Atanan İşler



On birinci İş İstasyonuna Atanan İşler





On ikinci İş İstasyonuna Atanan İşler



Montaj Hattı Çıkış Bölümü



Şekil 7: Alternatif Benzetim Modelinin İş İstasyonlarına Göre Gösterilmesi

6. Sonuç

Mevcut durum ve hat dengeleme çalışması sonucunda geliştirilen hat önerisinin benzetim modellerinden elde edilen sonuçlara göre hesaplanan üretim miktarları aşağıda Tablo.4'te gösterilmiştir:

Tablo 4: Mevcut ve Önerilen Durumların Benzetim Sonuçları

Deney Numarası	Mevcut Durum	Önerilen Durum
1	1160	1365
2	1158	1358
3	1161	1355
4	1159	1362
5	1159	1345
6	1160	1358
7	1159	1344
8	1158	1369
9	1159	1361
10	1160	1327
Ortalama	1159	1354

Buna göre, mevcut durumda bir haftalık sürede işletmenin üretebileceği ortalama ürün miktarı 1159 adet olarak belirlenmiştir. Baza kumaşının geçirilmesi ve Te levha çakılması işleminin süresinin üretim hattında darboğaz oluşturması nedeniyle mevcut durumda çevrim süresi bu işlemlere ait süre olan 159 saniyedir. Montaj hattında toplamda 25 operatör ve 21 iş istasyonu bulunmaktadır. Mevcut durumda üretim hattının etkinliği ise %74,77'dir. "Konum ağırlıklı hat dengeleme yönteminin" uygulanması ile montaj hattında 12 iş istasyonu oluşmuştur ve bu iş istasyonlarında toplam 20 işçi çalışmaktadır. Ayrıca işletmenin bir haftada üretebileceği ortalama ürün miktarı 1354 adete yükselmiştir. Bu durumda çevrim süresi ise 120 saniye olmaktadır. Dolayısıyla, mevcut duruma göre üretim hattının etkinliği %12,58 artarak, %87,35 olmaktadır. Bu nedenle önerilen durumun uygulanmasının işletme için mevcut duruma göre daha avantajlı olduğu görülmüştür. Ayrıca montaj hattında yeni düzenlemelerin yapılması, malzeme akışlarının düzenlenmesi, taşımaların azaltılması ve montaj hattında bulunan malzeme stok alanlarının düzenlenmesi ile montaj hattında farklı iyileştirmelerin yapılabileceği gözlenmiştir.

Bu çalışmada montaj hattının dengelenmesi ile oluşturulan yerleşim düzeninin üretim miktarı üzerindeki etkisini görebilmek için benzetim modelinden faydalanılmıştır. Elde edilen bulgular, hat dengeleme ile ilgili yapılacak çalışmaların, benzetim yöntemi ile desteklenmesinin iyi bir yaklaşım olabileceğini göstermektedir. Montaj hattı dengeleme konusunda yapılacak çalışmalarda araştırmacılar, benzetim tekniği ile farklı üretim hattı seçeneklerini inceleyebilirler ve farklı senaryolar oluşturabilirler. Oluşturdukları senaryoların sonuçlarını uygulama yapmadan tespit ederek, işletmelerin zaman ve maliyet tasarrufu sağlamalarına katkıda bulunabilirler.

Kaynakça

Ajenblit, D.A. ve Wainwright, R.L. (1998). Applying Genetic Algorithms to The U-Shaped Assembly Line Balancing Problem. Mathematical and Computer

- Sciences Department. <http://www.researchgate.net/publication/3755936>
(Erişim Tarihi: 10 Ocak 2010)
- Bahadır, S.K. (2011). *Assembly Line - Theory and Practice*, Chapter 4: Assembly Line Balancing in Garment Production by Simulation, Industrial Engineering and Management. In Tech. lib.lhu.edu.vn/ViewFile/8928
(Erişim Tarihi: 1 Haziran 2014)
- Battini, D., Faccio, M., Ferrari, E., Persona, A. ve Sgarbossa, F. (2007). Design Configuration for A Mixed-Model Assembly System in Case of Low Product Demand, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology and Management*, 34, 188-200.
- Becker, C. ve Scholl, A. (2006). A Survey on Problems and Methods in Generalized Assembly Line Balancing, *European Journal of Operational Research*, 168, 694-715.
- Buffa, E.S. ve Sarin, R.K. (1987). *Modern Production/Operations Management*, Eighth Edition, Singapore, John Wiley & Sons Inc.
- Chang, H.J. ve Chang, T.M. (2010). Simultaneous Perspective-Based Mixed-Model Assembly Line Balancing Problem, *Tamkang Journal of Science and Engineering*, 13, 327-336.
- Çelikçapa, F.O. (1999). *Üretim Planlaması*, Birinci baskı, İstanbul: Alfa Basım Yayım Dağıtım.
- Fan, W., Gao, Z., Xu, W. ve Xiao, T. (2010). Balancing and Simulating of Assembly Line with Overlapped and Stopped Operation, *Simulation Modelling Practice and Theory*, 18, 1069-1079.
- Hui, C.L.P. ve Ng, S.F.F. (1999). A Study of The Effect of Time Variations for Assembly Line Balancing in The Clothing Industry, *International Journal of Clothing Science and Technology*, 11, 181-186.
- Jolai, F., Rezaee, M.J. ve Vazifeh, A. (2009). Multi-Criteria Decision Making for Assembly Line Balancing, *Journal of Intelligent Manufacturing*, 20, 113-121.
- Kelton, W.D., Sadowski, R.P. ve Sadowski, D.A. (2002). *Simulation with Arena*, Second Edition, New York: The McGraw-Hill Companies, Inc.
- Kilinceci, O. ve Bayhan, G.M. (2008). A P-Invariant-Based Algorithm for Simple Assembly Line Balancing Problem of Type-1, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology and Management*, 37, 400-409.

- Kitaw, D., Matebu, A. ve Tadesse, S. (2010). Assembly Line Balancing Using Simulation Technique in a Garment Manufacturing Firm, *Journal of EEA*, 27, 69-80.
- Liu, S.B., Ng, K.M. ve Ong, H.L. (2008). Branch-and-Bound Algorithms for Simple Assembly Line Balancing Problem, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology and Management*, 36, 169-177.
- McMullen, P.R. ve Frazier, G.V. (1998). Using Simulation and Data Envelopment Analysis to Compare Assembly Line Balancing Solutions, *Journal of Productivity Analysis*, 11, 149-168.
- Mendes, A.R., Ramos, A.L., Simaria, A.S. ve Vilarinho, P.M. (2005). Combining Heuristic Procedures and Simulation Models for Balancing A PC Camera Assembly Line, *Computers & Industrial Engineering*, 49, 413-431.
- Monks, J.G. (2001). *İşlemler Yönetimi Teori ve Problemler*, İkinci Baskı, (S. Üreten, Çev.). Ankara: Nobel Yayınevi, (1996).
- Montano, A., Villalobos, J.R., Gutierrez, M.A. ve Mar, L. (2007). Performance of Serial Assembly Line Designs Under Unequal Operator Speeds and Learning, *International Journal of Production Research*, 45, 5355-5381.
- Nasab, H.H., Asl, V.M. ve 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, 199-209.
- Ponnambalam, S.G., Aravindan, P. ve Naidu, G.M. (1999). A Comparative Evaluation of Assembly Line Balancing Heuristics, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 15, 577-586.
- Rajamani, D. ve Singh, N. (1991). A Simulation Approach to the Design of an Assembly Line: A Case Study, *International Journal of Operations & Production Management*, 11, 66-75.
- Rosenblatt, M.J. ve Lee, H.L. (1996). The Effects of Work-in-Process Inventory Costs on The Design and Scheduling of Assembly Lines with Low Throughput and High Component Costs, *IIE Transactions*, 28, 405-414.
- Sandanayake, Y.G., Oduoza C.F. ve Proverbs, D.G. (2008). A Systematic Modelling and Simulation Approach for JIT Performance Optimisation, *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 24, 735-743.
- Scholl, A., Boysen, N. ve Fliedner, M. (2008). The Sequence-Dependent Assembly Line Balancing Problem, *OR Spectrum*, 30, 579-609.

Starr, M.K. (1989). *Managing Production and Operations*, United States America, Prentice Hall.

Villarreal, B. ve Alanís, M.R. (2011). A Simulation Approach to Improve Assembly Line Performance, *International Journal of Industrial Engineering*, 18, 283-290.

Wild, R. (1971). *Techniques of Production Management*, Great Britain, Rinehart and Wiston Ltd.