

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**MONTAJ HATTI DENGELEMEYE YÖNELİK BİR
SİMÜLASYON MODELİ ÖNERİSİ**

YÜKSEK LİSANS

Endüstri Mühendisi Fatih KOÇANALI

Anabilim Dalı: Endüstri Mühendisliği

Danışman: Prof. Dr. Nilgün FIĞLALI

KOCAELİ, 2009

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

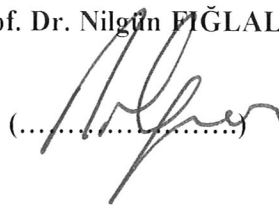
**MONTAJ HATTI DENGELEMEYE YÖNELİK BİR
SİMÜLASYON MODELİ ÖNERİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Endüstri Müh. Fatih KOÇANALI

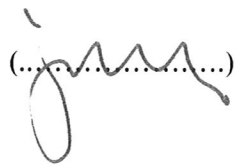
Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 8 Ekim 2009

Tezin Savunulduğu Tarih: 25 Kasım 2009

Tez Danışmanı
Prof. Dr. Nilgün FİĞLALİ

(.....)


Üye
Prof. Dr. Coşkun ÖZKAN

(.....)


Üye
Yrd.Doç. Dr. Ufuk KULA

(.....)


KOCAELİ, 2009

ÖNSÖZ

Simülasyon, teknolojik gelişmelerin hızla devam ettiği günümüzde önemi gittikçe artan bir konudur. Bir diğer ifade ile simülasyon, gerçek hayatta mevcut olan veya yapılması tasarlanan sistemlerin benzetim yoluyla modellerinin oluşturulması ve bu modeller yardımıyla sistemin olası davranışları hakkında bilgi sahibi olunmasıdır.

Simülasyon elle veya bilgisayarda yapılabilir. Bilgisayarda simülasyonda, simülasyon yazılımları kullanılmaktadır. Bu yazılımlar genel amaçlı programlama dillerinden veya simülasyon için geliştirilmiş dillerden türetilebilir. Ayrıca üretim sektöründe kullanılacak, kullanıcısına simülasyon konusunda uzman olma zorunluluğu getirmeyen, kullanımı kolay ve çoğu Windows uyumlu paket programlar da mevcuttur.

Bu tez çalışmasında bir televizyon üretim firmasının montaj hattının dengelenmesi amacıyla automod programı kullanılarak önce bir simülasyon modeli geliştirilmiştir. Mevcut sistemin modeli kurularak bilgisayar ortamına aktarılmış sonrasında bu model üzerinde iyileştirmeler yapılmıştır.

Tez çalışmamda fikirleri ile beni sürekli yönlendiren ve teşvik eden değerli hocam Prof. Dr. Nilgün Fırlı'ya sonsuz teşekkür ederim. Ayrıca çalışmada bilgi ve tecrübesini esirgemeyen değerli arkadaşlarım ve meslektaşlarım Sibel Nitelik ve Nisa Aksoy'a ayrıca sevgili ablam Funda Göksel'e sonsuz minnet duygularımı sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	i
İÇİNDEKİLER.....	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ	iii
TABLOLAR DİZİNİ	iv
SEMBOLLER	v
ÖZET	vi
İNGİLİZCE ÖZET	vii
1. GİRİŞ.....	1
2. MONTAJ HATTI Dengeleme	4
2.1. Genel Bilgiler	4
2.2. Montaj Hattı Dengelemede Kullanılan Temel Kavramlar	5
2.3. Basit ve Genel Montaj Hattı Dengeleme Problemlerinin Tanımlanması.....	9
2.4. Montaj Hattı Dengeleme Kuralları	9
2.5. Montaj Hatlarının Dengelenmesinde Kullanılan Yöntemler	10
3. SİMÜLASYON MODELLERİ	14
3.1. Simülasyon Uygulama Alanları	15
3.2. Simülasyonun Avantajları ve Dezavantajları.....	16
3.3. Simülasyon İçin Geliştirilmiş Başlıca Diller.....	17
3.4. Simülasyon Dillerinde Modelleme Yaklaşımları.....	19
3.5. Simülasyon Yazılımlarında Aranılan Özellikler	20
4. UYGULAMA VE YÖNTEM.....	23
4.1. Automod Programlama Dili Aşamaları ve Diğer Programlara Göre Avantajları.....	25
4.2. Bir Televizyon Fabrikasında Televizyon Son Montaj Hattının Automod Simülasyon Programı ile Dengelenmesi Çalışmasında Mevcut Sistemin İncelenmesi	35
4.3. Televizyon Son Montaj Hattının Automod Simülasyon Programında Modelinin Oluşturulması	48
4.4. Televizyon Son Montaj Hattı Modelinin Çalıştırılması.....	53
5. BULGULAR VE TARTIŞMA	58
5.1. Uygulama 1	58
5.2. Uygulama 2	62
5.3. Uygulama 3	65
5.4. Uygulama 4	68
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	72
KAYNAKLAR	74
ÖZGEÇMİŞ	77

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 4.1: Automod açılış ekran görüntüsü	27
Şekil 4.2: Sistem tanımlama.....	28
Şekil 4.3: Model oluşturulurken kullanılan adımlar	28
Şekil 4.4: Proses tanımlama	29
Şekil 4.5: Ürün tanımlama	30
Şekil 4.6: Kaynak tanımlama	31
Şekil 4.7: Kuyruk tanımlama	31
Şekil 4.8: Örnek konveyör hat çizimi	32
Şekil 4.9: Örnek path-mover sistemi.....	33
Şekil 4.10: Örnek varış prosedürü hazırlama	33
Şekil 4.11: İstasyon akışının hazırlanmasında yararlanılan komutlar.....	34
Şekil 4.12: Televizyon montaj hattındaki iş öğelerinin teknolojik diyagramı	40
Şekil 4.13: Montaj hattının fabrika içindeki yerleşimi.....	48
Şekil 4.14: Mevcut sistem ana ekran görüntüsü	49
Şekil 4.15: Mevcut sistem ürün tanımlama.....	49
Şekil 4.16: Mevcut sistem konveyör hat görüntüsü	50
Şekil 4.17: Mevcut sistem Path Mover 1	51
Şekil 4.18: Mevcut sistem varış prosedürü oluşturma	52
Şekil 4.19: Mevcut sistem prosedür dosyası	52
Şekil 4.20: Mevcut sistem görüntüleme	53
Şekil 4.21: Mevcut sistem kuyruk görüntüleme 1	53
Şekil 4.22: Mevcut sistem kuyruk görüntüleme 2	54
Şekil 4.23: Mevcut sistemin istasyonlar bazındaki istatistiksel raporu	55
Şekil 4.24: Automod model Generation Limit durumu	56
Şekil 5.1: Uygulama1'in istasyonlar bazında istatistiksel raporu	60
Şekil 5.2: Uygulama 2'nin istasyonlar bazında istatistiksel raporu	63
Şekil 5.3: Uygulama 3'ün istasyonlar bazında istatistiksel raporu	66
Şekil 5.4: Uygulama 4 model görüntüleme	69
Şekil 5.5: Uygulama 4'ün istasyonlar bazında istatistiksel raporu	69

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 4.1: Örnek istatistik sonuçları	34
Tablo 4.2: 28 T 07 Kabin kodlu modelin iş elemanları ve standart süreleri	36
Tablo 4.3: Mevcut durumdaki iş istasyonlarındaki operatör sayıları	47
Tablo 4.4: Mevcut sistem maliyet analizi	57
Tablo 5.1: İş istasyonlarındaki operatör sayıları	59

SİMGELER

C	: Çevrim zamanı
D	: Denge kaybı
e	: Maksimum etkinlik
E	: Denge etkinliği
m	: Elde edilen istasyon sayısı
N	: Günlük talep
n (en k)	: Minimum istasyon sayısı
N (en k)	: Gerekli iş istasyonu sayısı
t	: İşlem süresi
T	: Eldeki toplam süre

MONTAJ HATTI DENGELEMEYE YÖNELİK BİR SİMÜLASYON MODELİ ÖNERİSİ

Fatih KOÇANALI

Anahtar Kelimeler: Montaj Hattı, Montaj Hattı Dengeleme, Üretim Hattı, Simülasyon, Simülasyon Modelleme, Benzetim Teknikleri, Automod.

Özet: Bu çalışmada montaj hattının dengelenmesini amaçlayan bir model geliştirilmiştir. Bu modelin geliştirilmesinde Automod simülasyon programı kullanılmıştır. Kurulan modelde iş elemanlarının aralarındaki gerçekleşme sıralarına bağlı olan hazırlık süreleri göz önüne alınmıştır. Sonrasında iş elemanlarının atanma sıraları belirlenmekte, bu belirlenen sıraya göre iş elemanları, istasyonlara öncelik ilişkilerine uyularak ve önceden belirlenmiş olan çevrim süresini aşmayacak şekilde atanmaktadır. Modelde çevrim zamanı, eldeki toplam süre ve günlük TV talebi sabit kalmak koşuluyla iş istasyonlarındaki iş süreleri, toplam istasyon sayısı ve operatör sayıları gibi değişkenler kullanılmıştır.

Bu değişkenler ile mevcut sistem üzerinde toplam 4 farklı uygulama yapılmış ve mevcut sistemi iyileştirmeye yönelik en uygun model tespit edilmeye çalışılmıştır.

A SIMULATION MODEL PROPOSAL FOR ASSEMBLY LINE BALANCING

Fatih KOÇANALI

Keywords: Assembly Lines, Assembly Line Balancing, Production Line, Simulation, Simulation Models, Simulation Tools, Automod.

Abstract: In this study a model is proposed to develop an assembly line balancing. In order to develop this model Automod simulation program is used. This model is established based on a set of tasks to stations. Then, minimizing the number of stations required while observing task precedence relationships and a cycle time requirement as well as balancing workload across workstations therefore no work station has an excessively high or low workload. In the model, the cycle time, total time and total demand is considered as stable values, the time of the task in the stations, the total number of stations and the number of operators are used as variable factors.

With these variable factors totally 4 different practices applied and the optimum model is tried to be stated purposing to balance the line.

1. GİRİŞ

İşletmelerin temel amaçları verimlilik düzeyini yükseltmek, kapasite ve kaliteyi artırmak, maliyetleri düşürmektir. Bu amaçlara ulaşmak için ise işgücü, makine, malzeme ve teçhizattan oluşan iş sistemlerinde kullanılan iş yöntemlerinin yeniden tasarımı ve tasarlanan iş yöntemlerine ait standart zamanların bulunması gerekir. Tespit edilen standart zamanlar, üretim planlama, maliyet hesapları, üretim sisteminin tasarımı, montaj hattı dengeleme v.s. alanlarında temel alınır [1].

Sürekli üretim sistemlerinde, üretimin birimler halinde gerçekleştirildiği ve kitle talebin olduğu durumlarda, yüksek üretim hızıyla talebi karşılamanın en makul yolu montaj hatlarının yapılandırılmasıdır. Montaj hattı dengeleme ile işler gruplandırılarak istasyonlar kurulur, bu istasyonların işlem süreleri birbirine yakın hale getirilir ve bu şartlar altında montaj hattının aksamadan çalışması sağlanır, kaynaklardan maksimum fayda elde edilir [1].

İş istasyonu verimliliklerinin artırılması ve maliyetlerin azaltılması amacına ulaşılabilmesi açısından büyük önem taşıyan montaj hattı dengeleme bugüne kadar pek çok çözüm yöntemi ile ele alınmıştır ancak günümüzde endüstriyel problemlerin doğasındaki karmaşıklık ve sürekli yeni teknik yöntemlerin kullanılması maalesef pek çok analitik çözümü olanak dışı bırakmaktadır [2]. Bu durumda, bu sistemlerin modellerini matematiksel metotlar ile çözmek mümkün değildir. Bu durumda bu tür sistemlerin analizi ve çözümü, simülasyon modeli ile yapılır [3].

Simülasyon modellemesinde, gerçek sistemden toplanan bilgiler, bilgisayarda geliştirilen modellere uygulanarak, sayısal bir takım sonuçlara ulaşmak hedeflenir. Bilgisayar benzetimi, üretkenliğin artırılması, kalitenin yükseltilmesi, temin sürelerinin kısaltılması ve maliyetlerin düşürülmesi için umut verici bir gelecek ifade etmektedir. Simülasyon modelleri aracılığı ile en kötü durum senaryoları da incelenebilir.

Üniversitelerde ve işletmelerde simülasyon tekniğinin kullanımı ile ilgili çeşitli araştırmalar yapılmıştır. Örneğin: [3] Case Western Reserve Üniversitesi'nde Yöneylem Araştırması Bölümünde yüksek lisans öğrencileri arasında yapılan bir araştırma sonucunda; simülasyon 15 teknik arasında aşağıda görüldüğü gibi 5. sırada yer almıştır;

1. İstatistiksel metotlar
2. Tahmin
3. Sitem analizi
4. Bilişim sistemleri
5. Simülasyon

Aynı çalışmanın doktora öğrencileri ile ilgili bölümünde ise; “İstatistiksel metotlar” birinci sırada olmak üzere “doğrusal programlama” ile “simülasyon” ikinci sırayı paylaşmaktadır.

Bu tez çalışmasında elde monte edilen mekanik bir ürünün (televizyon) son montaj sürecinin tasarlanması için sanal gerçeklik ortamlı bir bilgisayar benzetim uygulaması ortaya konulmakta ve incelenmektedir.

Amaç:

TV son montaj hattının mevcut durumunu Automod programı ile oluşturulan modele aktarıp sistemin aksaklıklarını tespit etmek ve aksaklıkları düzeltmeye yönelik çözümler getirmek.

Hedefler:

- Mevcut durumun verimlilik ve performans durumunu ölçmek,
- Mevcut durumu gösteren modelde en az 4 uygulama yapıp modelin nasıl çalıştığını ve Automod model sayesinde sistemde ne gibi uygulama ve iyileştirmeler yapılabileceğini tespit etmek,

- Uygulama sonucu çıkan performans değerleri ile mevcut sistemin performans değerlerini karşılaştırıp mümkün olan optimum çözümü bulmak.

Çalışmanın içeriğine bakıldığında montaj hattı dengeleme dediğimiz ikinci bölümünde montaj hattı dengeleme çalışmasının ne olduğu, montaj hattı dengelemede kullanılan temel kavramlar, basit ve genel montaj hattı dengeleme problemlerinin tanımlanması, montaj hattı dengeleme kuralları, montaj hatlarının dengelenmesinde kullanılan yöntemler ve son olarak da montaj hatlarının dengelenmesinde kullanılan simülasyon (benzetim) yöntemi incelenmiştir. Sonrasında simülasyonun ne olduğu, uygulanma amaçları ve uygulama alanları, avantajları ve dezavantajları, montaj hattı dengelemedeki yeri ve simülasyon dilleri anlatılmış, konularla ilgili literatür taraması yapılmıştır.

Bu çalışmada bir televizyon üretim firmasının montaj hattının dengelenmesini amaçlayan bir model geliştirilmiştir.

Bahsedilen TV üretim firması Automod programını kullanmamasına rağmen mevcut sistemin modeli kurularak gerekli iyileştirmeler yapılmıştır. Öncelikle televizyon üretim fabrikasındaki mevcut sistem anlatılmış, teknoloji diyagramına, yerleşim planına yer verilmiştir. Mevcut sistemin çevrim zamanı, gerekli en küçük istasyon sayısı, denge kaybı ve denge etkinliği ölçülmüş, sonrasında Automod programı üzerinde sistemin modeli kurulup gerekli iyileştirmeler yapılmıştır.

2. MONTAJ HATTI DENGELEME

2.1. Genel Bilgiler

Montaj hattı bir takım iş istasyonlarının bir malzeme taşıma sistemiyle birleştirilmesinden meydana gelen bir sistemdir. Sistemin amacı bir ürüne ait bileşenlerin montajını gerçekleştirip bitmiş ürünü elde etmektir [4]. Montaj süreci iş elemanlarının veya yapılması gereken görevlerin sıralanmasından oluşur. Bir iş elemanının montajı önceden belirlenmiş ilgili istasyonda öncelik ilişkisine bakılarak yapılmalıdır. Montaj hattı dengelemedeki en önemli unsur, hat üzerinde aynı işlem zamanına sahip iş istasyonu sayısını ya da çevrim süresini en küçükleme. Hat dengelemenin temel amacı istasyonlardaki zaman fazlalıklarını azaltmak için montaj hattındaki toplam iş yükünü istasyonlara eşit olarak dağıtmaktır. Bu amaçla iş elemanları, birbirleri ile öncelik ilişkilerine ve istasyon boş sürelerine göre iş istasyonlarına atanır. Bu problem literatürde montaj hattı dengeleme problemi olarak adlandırılır. [5]

Üretim sürecinde, üretilecek olan ürünün birden fazla iş ögesine ayrılmasıyla ve bu iş ögelerine ait işlemlerin ayrı ayrı işçiler tarafından yapılmasıyla daha hızlı ve ucuz üretim yapılabileceği anlaşılmıştır. Bunun sonucu olarak iş ögelerine ait işlemler, üzerinde birden fazla iş istasyonlarının bulunduğu belirli bir hat üzerinde yapılmaya başlanmıştır. Bu hat üzerinde işlem görecektir olan parçaların her biri, aralarında öncelik ilişkileri ve çevrim süresi gibi kısıtlar göz önüne alınarak birleştirilmekte ve bunun sonucunda iş istasyonları oluşmaktadır [6].

Montaj hatlarının tasarımındaki ana amaçlardan biri, her iş istasyonuna eşit miktarda iş dağıtımını yapabilmektir. Dengenin sağlanamadığı bir durumda bazı istasyonlarda diğerlerinden daha fazla iş yükü olacağı için, verimlilikte düşüşlerin olması ve bir takım kayıpların ortaya çıkması kaçınılmazdır.

Montaj hatları, günümüz endüstrisinde önemli bir yer tutan kitle üretim yöntemlerinden birisidir. Değişik tipteki montaj hatlarının kullanılmasının önemli amaçlarından birisi, üretilecek olan ürüne olan kitle talebini karşılamaktır.

Montaj hatları üretilen ürün çeşidine göre; tek modelli, çok modelli ve karışık modelli hatlar olmak üzere üç şekilde gruplandırılabilir. Bunlar;

Tek Modelli Hatlar: Tek tip ürün ya da modelin üretildiği hatlardır [7].

Çok Modelli Hatlar: Değişik model veya ürünlerin üretildiği hatlardır. Üretim ayrı ayrı kabileler halinde ve değişik zamanlarda yapılır. Belirli bir zamanda bir model parti halinde üretilir ve arkadan diğer modellerin üretimine geçilir. Modeller hiçbir zaman birbirlerine karıştırılmazlar [7].

Karışık Modelli Hatlar: Aynı anda birden fazla benzer tipteki modellerin karışık olarak üretildiği hatlardır [7].

Karışık modelli üretimin en önemli faydası müşteri isteğini karşılamak üzere değişik modellerin sürekli olarak üretilmesi ve büyük bitmiş mamul stoklarını gerektirmemesidir. Modellerin değişik işlem zamanlarından doğan dezavantajlı yönleri ise iş akışının düzenli olmaması dolayısıyla daha fazla istasyon boş zamanları ve yarı bitmiş mamullerden oluşan yığınlardır [7].

2.2. Montaj Hattı Dengelemede Kullanılan Temel Kavramlar

Montaj Hattı dengelemesinde amaç belirli kısıtlar (ulaşım zamanı, iş elemanları ve bunların standart zamanları atama) altında hat performansını ölçen uygun bir başarı ölçütünü en iyi duruma getirecek şekilde işlemleri iş istasyonlarına atamaktır [8]. Genellikle bu problemlerde kullanılan amaç fonksiyonları şöyledir [8];

- Boş zamanları en aza indirmek
- Denge kaybını en aza indirmek
- İş istasyonları sayısını en aza indirmek

- Denge kabını istasyonlar arasında eşit olarak dağıtmak
- Kısıtları sağlamaktır.

Montaj hattı dengelemede kullanılan temel kavramlar aşağıda açıklanmaktadır.

İş Ögesi

Üretim süreci içinde, toplam iş içeriğinin, mantıksal olarak bölünmüş bir parçasıdır. Bir diğer görüşe göre; toplam işin kaç aşamada tamamlanacağını ve bunların hangi aşamalarla olacağını belirleyen, işi yeterli ve anlamlı en azlara bölme sonucu ortaya çıkan birimler ve yapılacak işlemlerdir [9].

İş İstasyonu

Montaj hattı üzerinde verilen bir işin, işçi/işçiler tarafından yapıldığı alandır. Her istasyonda, bir işçinin bir işlem için gerekli araçlarla çalıştığı varsayılır. Genellikle iş istasyonu, bir montajcı tarafından doldurulan yer olarak düşünülür. Bir montaj hattı için; en küçük istasyon sayısının bir olduğu ve istasyon sayısı dengeleme çalışması sırasında saptanan en büyük istasyon sayısını aşmamak gerektiği kısıtları vardır [8].

Toplam İş Süresi

Montaj hattı üzerinde üretilecek bir ürünün montajı için gerekli olan süre veya işi oluşturan tüm iş öğelerinin standart süreleri toplamıdır.

İş İstasyonu Süresi

Bir iş istasyonunda tamamlanması gerekli olan iş öğelerinin standart süreleri toplamıdır. İstasyona gelen bir parça üzerinde o istasyonda yapılması gereken ilk iş öğesinin başlangıç anı ile bitiş anı arasındaki süre farkıdır. Bir iş istasyonu süresi, en büyük iş öğesi süresinden küçük, çevrim süresinden büyük olamaz [8].

Çevrim Süresi

Çevrim süresi, montaj hattında, ürünün bir istasyonda kalabileceği en büyük süre veya bir iş istasyonundaki işçinin o iş istasyonunda yapılması gereken işleri tamamlaması için gerekli süre olarak tanımlanabilir.

Çevrim süresi, iş istasyonu süresine eşit veya daha büyük olabilen, iş istasyonundaki işçinin işini tanımlayabilmesi için kullanabileceği süredir. Çevrim süresini seçmekteki ana düşünce, gerek duyulan üretim hızıdır.

Kuramsal olarak çevrim süresi, gerçekleşmesi istenen ürün çıktısından hesaplanabilir.

Çevrim Zamanının Belirlenmesi

Çevrim zamanının belirlenmesinde formül (2.1) kullanılmaktadır.

C: Çevrim zamanı

T: Eldeki toplam süre

N: Günlük talep olmak üzere;

$$C = \frac{T}{N} \quad (2.1)$$

Gerekli en küçük istasyon sayısı

Montaj hattındaki işlemleri, her istasyona, çevrim süresini tümüyle veya en az bir tanesi hariç tümüyle dolduracak şekilde atadığımızı düşünecek olursak gerekli iş istasyonu sayısı N (en k) aşağıdaki formül (2.2) ile bulunmaktadır.

$$N \text{ (en k)} = \frac{\sum t_i}{C} \quad (2.2)$$

Denge Kaybı

İşlerin işlemciler veya istasyonlara dengesiz dağıtımını gösteren bir ölçektir. Aşağıdaki formül (2.3) ile hesaplanmaktadır.

D (%) yüzdelik bir oranda denge kaybı olmak üzere;

$$D (\%) = \frac{N \cdot C - \sum t_i}{N \cdot C} * 100 \quad (2.3)$$

Bu değerin 0 olması ideal durumdur.

Dengeleme kaybı, her istasyonda, birim üretim için ayrılan toplam süreyle gerekli süre kaybı arasındaki farkın montaj süresine oranıdır ve çoğunlukla sıfırdan büyük bir değerdir.

Teknolojik Öncelik Diyagramı

Montajın teknik özelliklerinden dolayı, bazı iş öğelerinin zorunlu olarak birbirini izlemesi gerekir. Bu özelliklerin tümü, öncelik ilişkileri adı altında toplanır. Bu ilişkiler genellikle bir grafik ile gösterilir.

Montaj hattında yer alan iş istasyonlarının her birinin doluluk seviyesi, operatörlerin verimliliğini maksimize edecek şekilde olmalı, bir diğer ifade ile istasyonlara en uygun miktarda iş yükü verilmesi gerekmektedir. Bu amaçla hat dengeleme yapılmaktadır. İşlemler öncelik ilişkilerine ve çevrim süresine uygun olarak istasyonlara atanmaktadır. Öncelik ilişkisi, montaj sürecindeki işlerin hangi sıra ile gerçekleştirileceğini düzenler [10].

Bir iş istasyonunda gerçekleştirilecek toplam iş, o istasyona atanan görevler toplamından oluşur. İstasyonlar çevrim süresinde yapabileceğinden fazla işe sahip olmamalı ve atıl süre tüm istasyonlarda minimize edilmiş olmalıdır [10].

2.3. Basit ve Genel Montaj Hattı Dengeleme Problemlerinin Tanımlanması

Basit montaj hattı dengeleme probleminin tanımları ve koşulları aşağıdaki gibidir [11].

- Tüm girdi parametreleri belirlidir.
- Bir iş üyesi iki veya daha çok istasyon arasında bölünemez.
- İş öğeleri, teknolojik öncelik gereksinimlerinden dolayı, keyfi sıralarda işlem göremez.
- Tüm iş öğeleri yapılmalıdır.
- İstasyonlar tüm iş öğelerini yapmak için gerekli donanım ve işgücüne sahiptir.
- İş öğesi süreleri, yapıldıkları istasyonlardan ve önceki/sonraki iş öğelerinden bağımsızdır.
- Her işlem her istasyonda yapılabilir.
- Tüm hat besleyici veya paralel alt montaj hatlı olmayacak şekilde seri olarak düzenlenmelidir.
- Montaj sisteminin, tek bir ürünün tek bir modeli için tasarımı olduğu varsayılır.
- Çevrim süresi verilmiştir ve sabittir.
- İstasyon sayısı verilmiştir ve sabittir.

2.4. Montaj Hattı Dengeleme Kuralları

İşlem sürelerinin belirsizliklerin az olduğu basit sistemlerde karmaşık matematik yöntemlere başvurmadan dengeleme yapmak mümkündür. Örneğin A, B, C gibi işlemlerden oluşan bir sistemde A ve B eşit, C farklı süreli olsun [12]. Çeşitli olasılıklar karşısında alınabilecek önlemler vardır. Eğer C'nin süresi diğerlerinden büyükse [12];

- a. Sisteme C işlemini gören paralel bir tezgâh eklenebilir, yani kapasite artırılır.
- b. C işlemi ikiye bölünür, sisteme seri olarak yeni bir tezgâh eklenir.
- c. İş basitleştirme ile C'nin süresi kısaltılmaya çalışılır.

C'nin süresi diğer ikisinden kısa ise [12];

- a. A ve B'yi oluşturan faaliyetlerden bazıları C'ye aktarılır.
- b. C'nin yapıldığı tezgâhın hızı azaltılır.
- c. C'nin yapıldığı istasyona bazı ek işler daha verilir.

Tezgâh kapasitelerinin iyi dengelenmesi, işçilerin yüklerinin de iyi dengelendiği anlamına gelmez. Bazı hallerde, tezgâhların yanı sıra işçilerin yüklerini de ayrıca dengelemek gerekebilir. Özellikle basit makinelerin yer aldığı ve işçilik maliyetinin yüksek olduğu sistemlerde çeşitli yöntemlerle işçilik sürelerinin dengelenmesine çalışılır [12]. İşçilik dengesinin tam olması, üretim hattındaki her işçiyi normal çalışma süresinin tamamında çalıştırmak anlamına gelir. Hiç kuşkusuz bu ideal durumdur ve pratik de ideale mümkün olduğu kadar yaklaşmaktadır.

2.5. Montaj Hatlarının Dengelenmesinde Kullanılan Yöntemler

Geleneksel montaj hattı dengeleme problemi, görevlerin sıralı bir şekilde farklı iş istasyonlarına atanarak ürünlerin oluşturulduğu üretim sürecini dikkate almaktadır. Görevlerin istasyonlar arasındaki dağılımı, görevler arasındaki mevcut öncelik kısıtlarının yanı sıra her bir görevi tamamlamak için gerekli zaman birimine de bağlıdır. Ürünün her bir istasyonda en fazla çevrim zamanı (C) denilen zaman kadar kalmasına izin verilmektedir. Geleneksel hat dengeleme probleminde modellenen üretim hattı “düz” olarak organize edilmiştir. Öncelik diyagramındaki ilk görev(ler)den başlamak ve diyagram boyunca görevleri istasyonlarda gruplamak suretiyle denge oluşturulmaktadır [6].

Montaj hatlarında önemli hususlardan birisi, her bir operasyonun tamamlanma süresidir.

Montaj hattı dengeleme problemlerine ilk analitik yaklaşım 1954'te Bryton tarafından yapılmış ve bundan sonra bu konuda pek çok yöntem geliştirilmiştir [13]. Bu yöntemler iki grupta incelenebilirler. Birinci grupta, problemin optimal

çözümünü bulan yöntemler (bunlar matematiksel programlama modelleridir), ikinci grup ise en iyiye yakın çözümler veren bulgusal yöntemlerden oluşur [13].

Montaj hattı dengeleme problemlerinde en iyi çözüme dayalı yöntemlerin büyük bir çoğunluğunda dal-sınır algoritmaları kullanılmıştır. Keskintürk T. ve Küçük B., yapmış oldukları bir çalışmada [10] genetik algoritma çözüm yöntemini bir montaj hattı dengeleme çalışmasında kullanmışlardır. Genetik algoritma (GA), popülasyon temelli sezgisel bir optimizasyon tekniğidir [3]. Özellikle çözümü zor, doğrusal olmayan problemlerin çözümünde etkin olarak kullanılmaktadır. Bahsedilen çalışmada, montaj hattı dengelemede genetik algoritma operatörlerinin etkinliği araştırılmış ve karşılaştırmalı sonuçlara yer verilmiştir.

Geleneksel montaj hattı dengeleme problemlerinde, problem boyutu büyüdükçe en iyi çözümü bulan yöntemlerin yerini bulgusal yöntemler (sezgisel yöntemler) almaya başlamış ve araştırmalar bu yöne kaymıştır.

Örneğin, U tipi hat dengeleme probleminin çözümü için etkili sezgisel prosedürlerin geliştirilmesinde bir çatı olarak kullanılabilecek “en kısa yol modeli” Aydoğan E. K., ve diğerleri [14] tarafından “Basit U Tipi Montaj Hattı Dengeleme Problemi için Yeni Bir Optimal Çözüm Yöntemi: En Kısa Yol Modeli” başlıklı çalışmalarında uygulanmıştır. Bu çalışmada, basit U tipi montaj hattı dengeleme problemiyle ilgili bir en kısa yol modeli geliştirilmiştir. Model, Gutjahr ve Nemhauser tarafından geleneksel tek model montaj hattı dengeleme problemi için geliştirilen en kısa yol modeline dayanmaktadır. Model, U tipi montaj hattı dengeleme araştırmaları için yeni bir yaklaşım olup farklı perspektifler sağlamaktadır. Ayrıca, basit U tipi hat dengeleme probleminin çözümü için etkili sezgisel prosedürlerin geliştirilmesinde bir çatı olarak kullanılabilir.

Sezgisel yöntemlerde ise iki tür yaklaşım söz konusudur. İlk türde çözüme ulaşmak için bir kurallar dizisi belirlenir, bu kurallar dizisine göre problem çözülür ve atamalar yapılır. İkinci türde ise; bir başlangıç çözümü alınır ve belirlenen sezgisel kurallar ile daha iyi başka bir çözüm elde edilmeye çalışılır. En son bulunan

çözümünden daha iyi bir çözüm elde edilemiyorsa, en son bulunan iyi çözüm, en iyi çözüm olarak kabul edilir.

Ağpak K. ve diğerleri [15] görev zamanlarının normal dağılımla ifade edildiği (stokastik) U tipi montaj hattı dengeleme problemi için yeni bir sezgisel prosedür önermiştir. Önerilen süreç geliştirilirken, Arcus tarafından geleneksel, deterministik tek modellenli hatlar için sunulan COMSOAL metodundan faydalanılmıştır. Prosedür, her bir istasyon için yönetim tarafından belirlenen güvenlik seviyesi sınırı altında, görevlerin, istasyon sayısı en küçüklenecek şekilde atanmalarını amaçlamaktadır. Süreç, Pascal programlama diliyle kodlanmış, değişik test problemleriyle denenmiş ve sonuçlar tartışılmıştır.

COMSOAL, veri örnekleme için bir sayısal bilgisayar kullanır ve benzetim tekniğini kullanarak olası montaj hattı denge sistemlerini oluşturur [13].

Montaj hattı dengeleme problemlerinde Helgerson ve Birnie tarafından geliştirilen Göreceli Pozisyon Ağırlıkları Yöntemi de kullanılır. Diğer alternatif yöntemlere göre daha çabuk kabul edilebilir, iyi çözümler veren hızlı fakat yaklaşık bir yöntemdir [13].

Diğer taraftan da problemlerin yapısı değişen teknolojiyle birlikte karmaşık bir hale gelmesinden ve bütünleşik sistemlerin sayısının hızla artmasından dolayı analitik yaklaşımların aksine simülasyon modelleri, karmaşık problemlerin modellenmesi ve çözümünde etkili olmaya başlamıştır [2]. Çünkü değişkenler arasındaki etkileşimi simülasyon modellerinde gözlemek daha kolaydır. Simülasyon modelleri aracılığı ile en kötü durum senaryoları da incelenebilir.

Simülasyon tarihi “WEICH” şeklinde adlandırılan Çin Savaş Oyunlarından, 5000 yıl öncesinden gelir ve 1780'lere kadar devam eder; ta ki Prussian'lar bu oyunları ordularındaki trenlerde kullanana kadar. O zamandan beri, tüm askeri güçlerin başkanları, simüle edilmiş çevre koşulları altında askeri stratejileri test etmek için savaş oyunlarını kullanmışlardır [16].

2. Dünya Savaşı esnasında büyük matematikçi Jhon Van Neumann tarafından bu teknik askeriye ve operasyonel oyunlardan yeni bir teknik olan Monte Carlo Simülasyon Tekniğı geliştirilmiştir [17]. Bir nicelik miktar tekniğı olarak Los Alamos Scientific Laboratuvarında nötronlarla çalışılırken, Van Neumann Simülasyonu, elle veya fiziksel modellerle analizi karmaşık ve pahalı olan fizik problemlerini çözmede kullanılmıştır. [17].

Monte Carlo yöntemi, deneysel ve istatistiksel problemlerin çözümüne rastgele sayılarla yaklaşımlara verilen genel bir isimdir. Bu yöntem, özellikle 1930'lerden sonra hızla gelişmeye başlamış bir tekniktir [2]. Bu metotlar olasılık teorisine tabidir. Metodun bir probleme uygulanması, problemin tesadüfi sayıları kullanarak simüle edilip hesap edilmek istenen parametrenin bu simülasyonların sonuçlarına bakılarak yaklaşık hesaplanması fikrine dayanır [2].

1950'lerde iş bilgisayarlarının geliş ve birleşik kullanımı ile simülasyon bir yönetim aracı olarak gelişmiştir. Uzmanlaşp, özelleşen bilgisayar dilleri, geniş ölçülü problemleri daha etkili ele almak için 1960'larda geliştirilmiştir. 1980'lerde kuyruğa girmiş icatlardan durumları dizmeyi ele almak için yazılmış XCELL, SLAM, WITNESS, MAP / 1 gibi değişik isimlere sahip simülasyon programları geliştirilmiştir.

3. SİMÜLASYON MODELLERİ

İşletme problemlerinin analizi için tanımlanan bir sistemin modeli bazen çok karmaşık olabileceği gibi kurulan modeli analitik ve nümerik olarak çözmek de güç olabilir. Bu hallerde simülasyon önemli bir model kurma ve çözme tekniği olarak kullanılır [18].

Genel anlamda simülasyon, gerçeğin temsil edilmesi şeklinde tanımlanabilir. Simülasyonun en yaygın tanımı şu şekilde yapılabilir: [19] Herhangi bir sistemin işleyişini anlamak veya bu sistemin işleyişi ile ilgili değişik stratejileri değerlendirmek için sistemin bilgisayar modelinin kurulması ve bu model ile deneyler yapılmasına simülasyon tekniği denir.

Bu tekniğin uygulama alanları çok geniştir. Bunlara örnek olarak öncelikle askeri simülasyonlar verilebilir. Günümüzde birçok ordu gerçek savaşta neler yaşanacağını bilmek için bilgisayar simülasyonlarına başvurmaktadır.

Simülasyonlar pilotların uçuş eğitimlerinde, yeni sürücü adaylarının sürüş eğitimlerinde ve gemi simülatörleri ile kaptanlık eğitimlerinde kullanılmaktadır. Böylece yine bu tür taşıtları kullanmayı öğrenen kişiler çeşitli durumlarda test edilmekte ve herhangi bir kaza riskine girmemektedirler [1].

Biyolojide insan beyninin simülasyonu yapılarak moleküler düzeyde incelenmesine olanak tanınmıştır. Ekonomi ve politikada ise risk ve piyasa analizlerinde, verilen politik bir kararın ülke ve dünya çapında ekonomik, sosyal ve politik etkilerinin araştırılmasında kullanılır.

Tıpta ise vücuttaki bir tümörün nasıl geliştiğinin simülasyonu yapılarak daha etkin tedavi yöntemleri bulunmakta ve yeni ameliyat yöntemleri önce bilgisayar ortamında denenerek tıp biliminde yeni ufuklar açılmasına olanak sağlanmaktadır.

Bilgisayar biliminde ise yeni bilgisayar mimarilerinin denenmesi ve robotların tasarımında da yine simülasyona başvurulmaktadır. Bunların dışında hava durumu tahmininde, çevre kirlilik analizlerinde ve madde döngülerinin analizinde de bilgisayar simülasyonları kullanılmaktadır [1].

Ayrıca bilgisayar oyunları dünyasında çok popüler olan strateji oyunları da bilgisayar simülasyonlarına örnek verilebilir. Bunların yanında ekonomi, pazarlama, işletme, eğitim, politika, sosyal bilimler, davranış bilimleri vb. konularda yapılan araştırmalarda simülasyon tekniğinin uygulanması ile ilgili çok sayıda bildiri, kitap, akademik tez vardır. Bu tekniğin uygulanmasındaki en önemli gerçekler şöyle sıralanabilir: [19]

- Gerçek yaşamda, herhangi bir sistemi veya işlem dizisini gözleme ya olanaksız veya çok masraflı olabilir.
- Gözlemlenen sistem o kadar karmaşık olabilir ki, bu sistemi matematiksel denklemlerle tanımlama ve sistem işleyişi ile ilgili tahmine yardımcı analitik çözümleri elde etmek olanaksız olabilir.
- İrdelenen sistemin matematiksel modeli kurulabilse bile, modele çözüm getirmede gereken analitik teknikler yetersiz kalabilir.
- Sistemi tanımlayan matematik modellerin doğrulanmasına yönelik deneylerin yapılması ya olanaksız ya da çok masraflı olabilir.

Simülasyon'un amacı, bir gerçek hayat sistemini girdi ve çıktılarıyla matematiksel olarak ifade etmek, gerçek sistemi kurulan model üzerinden tanıyıp araştırmak, değişik kararları ve seçenekleri gerçek sistemde hiçbir değişiklik yapmadan deneyebilmektir [2].

3.1. Simülasyonun Uygulama Alanları

Simülasyonun kullanıldığı bazı uygulama alanları şu şekilde sıralanabilir; [2]

- Üretim/imalat sistemlerinin tasarım ve analizi
- Montaj hattı dengeleme

- İşgücü planlaması
- Malzeme taşıma sistemleri
- Yeni askeri silah ve sistem taktiklerinin saptanması
- Bir envanter sistemindeki sipariş planlarının incelenmesi
- İletişim sistemlerinin ve bunlar için gerekli mesaj protokollerinin tasarımı
- Otoyollar, havaalanları, metrolar ve limanların tasarım ve işletimi
- Ambulans bulundurma noktalarının ve buralardaki araç sayılarının saptanması
- Yangın söndürme istasyonlarının yerlerinin ve buralarda bulundurulması gerekli minimum araç sayılarının saptanması
- Finansal veya ekonomik sistemlerin analizi
- Dağıtım kanallarının tasarımı
- Bir bilgisayar sisteminin donanım ve yazılım gereksinimlerinin belirlenmesi
- İşletme yöneticilerinin eğitilmesi(işletme oyunları/firma simülasyonu)
- Alınacak riskleri minimize etmek için uzay uçuşları denemeleri
- Tamir-bakım sistemleri

3.2. Simülasyonun Avantajları ve Dezavantajları

a) Simülasyonun avantajları aşağıdaki gibi özetlenebilir; [2]

- Esnek bir çözüm yöntemidir.
- Diğer modellere kıyasla anlaşılması daha kolaydır.
- Aşamalı olarak uygulayabilme imkânı vardır.
- Klasik çözüm yöntemlerinin kullanılmadığı büyük karmaşık problemlerin çözümünde oldukça etkilidir.
- Bir başka yöntemde incelenmesi olanaksız olan koşullar ve kısıtlar simülasyon ile rahatça modellenebilir.
- Sonuçları ancak aylar, yıllar sonra alınabilecek durumlar, simülasyon ile çok kısa sürede analiz edilebilir.
- Modellenen sistemi değiştirmeden yeni fikir ve politikaların model üzerinde rahatça uygulanmasına olanak verir.
- Kullanıcı, simülasyonu istenen zamanda durdurup yeniden başlatabildiğinden, deney koşullar üzerinde tam bir kontrole sahiptir.

b) Simülasyonun dezavantajları aşağıdaki gibi özetlenebilir; [2]

- İyi bir simülasyon modelini geliştirmek vakit alıcı ve pahalıdır.
- Optimum çözüm üretme garantisi yoktur. Bir çeşit deneme yanılma yöntemidir.
- Her simülasyon modeli kendine özgüdür.
- Uygulamasındaki kolaylıklar dolayısıyla analitik çözümlerin göz ardı edilmesine neden olabilir.
- Modellemede ve bulguların analizinde yapılacak hatalar, yanlış sonuçlara yol açabilir.

Simülasyon, dinamik bir sistemin özelliklerini ve davranışlarını bilgisayar aracılığıyla değerlendiren bir tekniktir. Kullanıcısına değişik tasarım ve işletim stratejilerinin genel sistem performansı üzerindeki etkisini gösterir. Sonuçta elde edilenler, istenen model karakteristiklerine ait birer tahmindir. Diğer bir tanımla simülasyon, incelenen bir gerçek hayat sisteminin belli bir zaman diliminde istenilen gerçek karakteristiklerini tahmin etmek amacıyla sistemin matematiksel ve mantıksal bir modelinin geliştirilmesi, bu sistem üzerinde deneyler yapılması sürecidir.

Analitik yaklaşımların aksine simülasyon modelleri, karmaşık problemlerin modellenmesi ve çözümünde daha başarılı olurlar. Değişkenler arasındaki etkileşimleri simülasyon modellerinde gözlemek daha kolaydır ancak yoğun bilgisayar kullanımını gerektirir. Gerçek sistemden toplanan bilgiler, bilgisayarda geliştirilen modellere uygulanarak sayısal birtakım sonuçlara ulaşmak hedeflenir. Bunların değerlendirilmesi ve yorumlanması ile sistem performans ölçütlerine ait birtakım tahminlerde bulunulur. Simülasyon modelleri aracılığı ile en kötü durum senaryoları da incelenebilir.

3.3. Simülasyon İçin Geliştirilmiş Başlıca Diller

Bir simülasyon modeli, bir sistemin ya da amacın yerine kullanılan temsilcisidir; ancak gerçek sistemin ya da amacın davranışını anlamak, tahmin ve kontrol etmek için de kullanılır [20]. Modelleme, genellikle sistemin soyut bir ortamının oluşturulmasıyla başlar ve gittikçe daha detaylı bilgilerin eklenmesiyle devam eder.

Bu soyut model, sistemin mantıksal bir modelidir ve sistemdeki olaylar arasındaki ilişkileri tanımlar. Birçok alanda, özellikle mühendislik ve bilgisayar alanlarında, gerçek bir sistem ile bu sistemin kavramsal bir temsili arasında karmaşık ilişkiler kurulur [21].

Simülasyon modelleri diğer matematiksel modellerde olduğu gibi bir en iyi sonuç bulmak yerine bir dizi aritmetik denemelerle değişik koşullar altında sistem davranışlarını taklit eder [21]. Buna göre simülasyon aşağıdaki şekilde tanımlanabilir: “...teorik ya da gerçek fiziksel bir sisteme ait neden sonuç ilişkilerinin bir bilgisayar modeline yansıtılmasıyla, gerçek sisteme ait davranışların değişik koşullar altında bilgisayar modelinde izlenmesini sağlayan sayısal bir modelleme tekniğidir” [22].

Yapılan ilk bilgisayar simülasyonlarında genellikle, FORTRAN genel amaçlı programlama dili kullanılmıştır. Daha sonra PASCAL ve C programlarına doğru bir yönelme olmuştur [23].

Model kurmayı kolaylaştıran süreç SIMSCRIPT ve GPSS gibi simülasyon dillerinin ortaya çıkmasıyla başlamıştır. Simülasyon için programlama dillerinin kullanımı ile modellerin geliştirilmesi kod yazımı ile gerçekleştirilir. Bu sayede büyük ölçüde modelleme esnekliği sağlanabiliyor olsa da çoğunlukla öğrenilmesi ve kullanılması zordur. Bu nedenle programcılık bilgisine ihtiyaç duymayan model elemanlarını ve bunlar arasındaki ilişkileri otomatik olarak hazır yapılar içerisinde sunan özel amaçlı simülasyon paket programları ortaya çıkmıştır. Aşağıdakiler, bugün piyasada bulunan yazılımların bir bölümüdür:

ACSL, APROS, ARTIFEX, Arena, Automod, C++SIM, CSIM, Call\$im, FluidFlow, GPSS, Gepasi, JavSim, MJX, MedModel, Mesquite, Multiverse, NETWORK, OPNET, Modeler, POSES++, Simulat8, Powersim, QUEST, REAL, SHIFT, SIMPLE++, SIMSCRIPT, SLAM, SMPL, SimBank, SimPlusPlus, TIERRA, Witness and javasim.

Günümüzde artık simülasyon, imalat sektörü tarafından da geçerliliği kabul edilen ve geniş olarak uygulanan bir çalışma haline gelmiştir. Bu nedenle imalat sistemleri modellemede özel simülasyon dilleri geliştirilmiştir. Bugün bu dillerden çok sayıda mevcuttur. SIMFACTORY gibi simülasyoncu olmayan birinin bile rahatça kullanabileceği diller, Automod gibi çok kapsamlı bir dile kadar pek çok dil vardır.

Bu dillerin çoğu iki ana özelliğe sahiptir: [24]

- ✓ İmalat çevreleri için modelleme özelliği sağlar.
- ✓ Kullanımı kolay olup karşılıklı iletişim özellikleri vardır. Örneğin; grafik etkileşimi ya da menü kullanımı simülasyon dilinin öğrenilmesinde kullanıcıya büyük kolaylık sağlar.

Simülasyon sonucunda raporlar; standart rapor şeklinde, grafik kartları şeklinde ya da animasyon çıktısı olarak elde edilebilir.

İmalat simülasyonu için yapılmış diğer paketler; PC Model, PC Model/GAF, XCELL'de PC'ler için geliştirilmiştir. KCELL tamamen amatör modelciler için geliştirilmiş olup, grafik etkileşimli bir programdır. STAR CELL'in önemi ise, JIT (Just in Time) ve FMC (Flexible Manufacturing Cel1) türü imalatla uygulanabilmesidir. FACTOR, SEE WHY/WITNESS, SIMAN, EMSS (Expert Manufacturing Simulation system) gibi simülasyon paketleri, elektronik parçalar imalat dalında kullanılır [24].

Bu tez çalışmasında kullanılan Automod programlama dili [3];

- Gözlenen davranışlar için geçerli olan teori ve hipotezleri kurar.
- Geçerli teorileri, sistemin gelecekteki davranışlarını öngörmek için kullanır.
- Sistemi kontrol etme olanağı sağlar.

3.4. Simülasyon Dillerinde Modelleme Yaklaşımları

Bir benzetim veya sistem modeli, farklı tipteki süreçlere sahip olabilir. Modeldeki her süreç için, bir süreç programının bulunması gerekir.

Proses yaklaşımının kullanıldığı bir simülasyon, ortaya çıkış zamanlarına göre olayları çalıştırmak suretiyle zaman içinde ilerler.

Simülasyon dilleri; ya “Olay Çizelgeleme Yaklaşımı”nı ya da “Proses Etkileşim Yaklaşımı”nı kullanarak kesikli olay benzetimini modeller.

- 1) Olay Çizelgeleme Yaklaşımı: Bu yaklaşımda bir sistem, olaylarının belirlenmesi ve her olayın ortaya çıkmasında sistemin durum değişikliklerini tanımlayan “olay programlarının” yazılması ile modellenir.
- 2) Proses Etkileşim Yaklaşımı: Bu yaklaşım, sistem içindeki bir nesne ve bu nesnenin sistem içindeki akışı sırasında meydana gelen olay ve aktivitelerin sırası ile ilgilenir.

Olay Çizelgeleme Yaklaşımı ve Proses Etkileşim Yaklaşımı; bir sistemi modellemek için kullandıkları dil yapıları açısından farklıdır.

Bir sürecin programı bir nesnenin sistem içindeki tüm akışını tanımladığından dolayı, olay çizelgeleme yaklaşımına göre daha doğaldır. Olay çizelgeleme yaklaşımına göre, bu yaklaşımda bir sistemin simülasyon modelinin bilgisayar programı daha kısa olmaktadır. Olay çizelgeleme yaklaşımı ise, süreç etkileşimli yaklaşıma göre daha esnekler.

3.5. Simülasyon Yazılımlarında Aranılan Özellikler

Bir Simülasyon yazılımından istenilen özellikler 5 grupta toplanabilir [25].

Genel Özellikler:

- 1) Esnek olmalı: Gerçek hayatta karşılaşılabilecek farklı sistemleri modelleme esnekliği olmalı.
- 2) Model gelişimi kolay olmalı: Birçok proje için zaman limiti olduğundan dolayı bu özellik önemlidir.

- 3) Hızlı çalışmalı: Benzetim modeli mikro bilgisayarlarda çalıştırıldığında bu özellik önemlidir.
- 4) İzin verilen model kapasitesi: Mikro bilgisayarlar kullanıldığında önem kazanmaktadır. Bazı paketler için maksimum model kapasitesi 100 KB'dan küçüktür.
- 5) Farklı ortamlarda kullanılabilmesi: Mikro bilgisayarlarda geliştirilen bir modelin iş istasyonlarında çalıştırılabilmelidir.

Animasyon

Bir simülasyon modelinin kullanım oranının artmasındaki önemli sebeplerden birisi animasyon özelliğinin olmasıdır. Animasyon ile bir sistemin zaman içindeki değişimi görsel ve grafiksel olarak görülebilir.

Animasyonun avantajları:

- Simülasyon modelinin geçerliliğini göstermek
- Sistem için yeni prosedürler önermek
- Sistemin dinamik davranışını incelemek
- Bir simülasyon bilgisayar programının doğruluğunu kontrol edebilmek

Animasyonun dezavantajları:

- Kısa bir zaman animasyona bakarak, sistemin çok iyi tanımlandığı sonucuna varılamaz.
- Simülasyon modelinin modelleme zamanını artırır ve animasyon özelliğine sahip simülasyon paketleri pahalıdır.
- Animasyon, istatistiksel analizin yerini alamaz.

İstatistiksel özellik

Gerçek hayatta karşılaşılan sistemlerin çoğu rassal özellik göstermektedir. Bu nedenle bir simülasyon dili gerekli istatistiksel özelliklere sahip olmalıdır.

Örneğin; standart olasılık dağılımları kullanıcıya sunulmalıdır. Modelin otomatik olarak bağımsız tekrarlamaları, farklı başlangıç değerleri kullanarak yapılabilmelidir.

Müşterinin desteklenmesi

Kullanımında ortaya çıkan problemlerde, satıcı firma kullanıcıya gerekli desteği vermelidir.

Çıktı raporu imkânı

Modelin performans ölçütleri ile ilgili istatistikleri (doluluk oranı, kuyruk genişliği, bekleme ve çıktı oranı gibi), standart raporları kullanıcıya verebilmelidir.

4. UYGULAMA VE YÖNTEM

İş istasyonu verimliliklerinin artırılması ve maliyetlerin azaltılması amacına ulaşılabilmesi açısından büyük önem taşıyan montaj hattı dengeleme bugüne kadar pek çok çözüm yöntemi ile ele alınmıştır.

Montaj hatlarında istasyonlar arasındaki stok düzeylerinin belirlenmesi için çeşitli matematiksel modeller geliştirilmiştir. Genelde bu modellerin uygulamaya konulması oldukça zordur, çünkü akış hatları dinamik sistemler olup, bunların gözlemlenmesi, karmaşık yapılarına uygun bir modelin kurulabilmesi ve bu modelin denenmesi ya çok masraflı veya bazı durumlarda olanaksız olabilmektedir [19].

Son yıllarda simülasyon tekniği, bu tür hatlarda ara stok düzeylerin belirlenmesinde oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Matematiksel yöntemlerle en iyi çözüm bulunmasına karşın, bu tür modelleri gerçek sisteme uyarlayabilmek için o kadar çok varsayım ve olasılık hesapları yapılmaktadır ki, bu nedenle simülasyon tekniğinin çeşitli seçenekleri deneyerek bulunduğu yaklaşık çözüm, genellikle bu en uygun çözümden çok daha anlamlı ve kullanılabilir olmaktadır [19].

Öncelikle temel amaçlarımızdan biri ufak bir montaj hattının simülasyon çalışması için gereken verileri ve konuları belirlemektir. Böylelikle üretim hattının benzetim örneklemini aşağıdaki faydaları sağlayabilir: [26]

- Bütün bir sistemin tanımlanması, tasarım ve hayata geçirilmesinde karar desteği, üretim hattının ilk tasarım ya da tekrardan yapılandırılmasında karar seçeneklerinin değerlendirilmesi, örneğin; iş yükleme seçenekleri, parça gruplandırmaları,
- İş noktalarının sayısı, yerleşimi,
- İşlemlerin iş noktalarına atanması, çevrim sürelerinin tayini, alet, aparat ihtiyaçları,

- Tezgâh seçimi,
- İşgücü seçimi,
- İş alanı ihtiyaçları,
- Ara depolama ihtiyaçları,
- Malzeme depolama ihtiyaçları, vs. mevcut yöntemlerle maliyet ve verimliliği hesaplanamayan işlemler için bu bilgiyi oluşturmak-verimlilik,
- Kaynak kullanımı ve boş süreler,
- Darboğazların belirlenmesi,
- Tesis arızası, ıskarta ve tekrar işleneceklerin etkileri,
- Malzeme iletimi ve tedarik ihtiyaçları,
- Vardiya planlanması, verim ve maliyet, hattın çalışmasının tanımlanması ve/veya gözlenmesi.

Bu tez çalışmasında montaj hattımızın dengelenmesi yöntemlerinden simülasyon (benzetim) tekniği kullanıldığı için literatür taramamızda sırasıyla, simülasyon yönteminin ne olduğu, uygulama alanları, simülasyonun avantajları ve dezavantajları, simülasyonun ne zaman kullanıldığı, simülasyon için geliştirilmiş başlıca diller, simülasyon (benzetim) dillerinde modelleme yaklaşımları ve son olarak da benzetim yazılımlarında aranan özellikler incelenmiş olup sonrasında uygulamaya geçilmiştir.

Bu çalışma için Automod paketi kullanılmıştır. Bu paketin seçilmesinin sebepleri şunlardır: [27].

- Üretim ortamları için geliştirilmiş olması ve uygunluğu,
- Üretim süreçleri ve malzeme akışı için özel menülerin bulunması,
- Grafik imkânlarının ve animasyonun güçlü olmasıdır.

4.1. Automod Programlama Dili Aşamaları ve Diğer Programlara Göre Avantajları

Problemin Formülasyonu: Gerçek sistemin simülasyon modelini kurmanın ilk aşaması, sistemle ilgili problemin tanımlanmasıdır [28]. Kontrol edilebilir ve edilemez girdiler belirlenir. Değişken sistemin performans ölçümleri çıkarılır. Girdilerle performans ölçümü arasındaki ilişkiyi kurmak için bir başlangıç modeli geliştirilir.

Verilerin toplanması ve analizi: İkinci aşama sistemle ilgili verileri toplamaktır. Veriler sembolik veya sayısal yapıda olabilir. Genellikle sayısal veriler, fiziksel veya beşeri şekilde toplanır. Veri olmadan da modeller oluşturulabilir. Ancak bu durumda modelin doğruluğu açısından sorunlar ortaya çıkar. Böyle modellerde tahmin edilen parametreler kullanılır. Amaç herhangi bir modeli açık şekilde ifade etmek olduğundan, model çoğunlukla matematiksel olarak ifade edilir.

Simülasyon modelinin geliştirilmesi: Veriler toplandıktan sonraki aşama; simülasyon modelinin geliştirilmesidir. Sistemin yeterince doğru anlaşılmasından sonra, kavramsal, mantıklı bir model geliştirmek simülasyon analizinin en zor adımlarından biridir [28].

Modeli doğrulama, onaylama ve ölçümleme: Genelde, doğrulama, modelin iç istikrarı üzerinde odaklanır. Doğrulama, modelle gerçek arasındaki uygunlukla ilgilidir. Öte yandan, onaylama; “sistemi doğru oluşturuyor muyuz?” sorusuna yanıt araştırır. Onaylama, simülasyon modelinin, modele uyup uymadığını kontrol eder. Doğrulama ise, modelin gerçeğe uyup uymadığını kontrol eder. Kalibrasyonun işlevi, simülasyonun ürettiği bilgilerin gerçek bilgiye uyup uymadığını kontrol etmektir.

DeneySEL Dizayn: Simülasyonu yapılacak olan her bir senaryo için simülasyonun ne kadar çalıştırılacağı konusunda karar verilmelidir [28]. Program çalıştıkça senaryonun performansı ölçülür ve analiz edilir. Automod özellikle bu konuda oldukça yardımcı bir programdır.

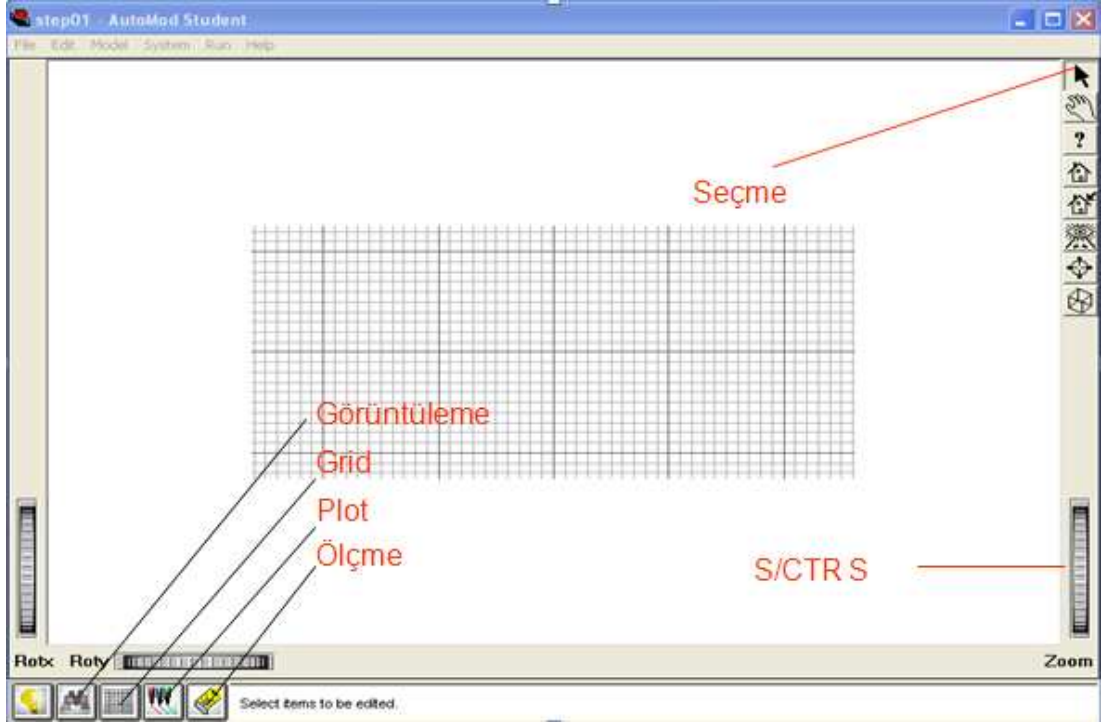
Dokümantasyon: Dokümantasyon birçok sebep için gereklidir. Eğer kullanılan simülasyon tekrar kullanılacaksa kullanılan simülasyon modelinin nasıl çalıştırıldığını anlamak için gerekli olabilir; ayrıca analiz raporları sayesinde de daha kolay karar verilebilir [28]. Açık bir şekilde raporlanan analizler müşterinin veya çalışmayı yapanın son formülasyonu görmesi için de kolaylık sağlar.

Automod programı yaygın olarak aşağıdaki alanlar arasında da kullanılmaktadır;

- Yeni operatör eğitimi
- Yerleşim planlaması
- Kaynak ve/veya makine kullanım kapasitelerinin iyileştirilmesi
- Darboğaz ve kısıt analizi
- Malzeme ihtiyaç planlaması
- Ekipman ve kaynak planlaması
- Ara stokların azaltılması
- Detaylı AS/RS modellemesi
- Montaj hattı dengelemesi
- "What-if" analizi sayılabilir.

Programın Kullanılışı

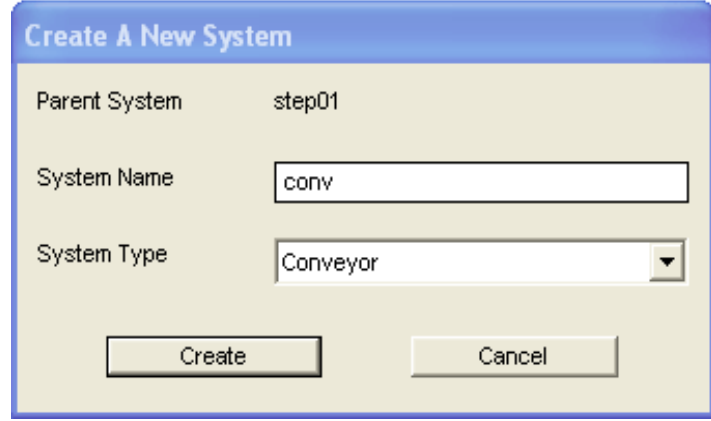
Automod'u kullanabilmek için öncelikle model, sonrasında ise sistemler oluşturulur. Programı bilgisayarda kurduktan sonra aşağıdaki pencere açılır. Buradan Şekil 4.1'den görüldüğü gibi ilgili menülerin (Görüntüleme, Grid, Plot, Ölçme) yardımı ile model oluşturulur.



Şekil 4.1: Automod açılış ekran görüntüsü

Automod sistemleri aşağıdaki gibidir. Mevcut sistemde nasıl bir hat üzerinde çalışıyorsak modellemeyi yaparken de aşağıdakilerden uygun sistemi seçmek gerekir. Bu işlem Şekil 4.2’den görüldüğü gibi “Create A New System” menüsünden yapılır.

- Alt sistem (Sub model): Model içinde oluşturulan alt sistemlerdir.
- Konveyör (Conveyor): Konveyör sistem ürünlerin akışının sağlandığı hatlardan oluşan sistemdir. Montajın söz konusu olduğu işlemlerde konveyör hat kullanılır.
- Taşıma sistemi (Path mover): Modeldeki alt sistemleri veya konveyörleri birbirine bağlayan, bu sistemler arasında ürün akışını gerçekleştiren taşıyıcı sistemdir.

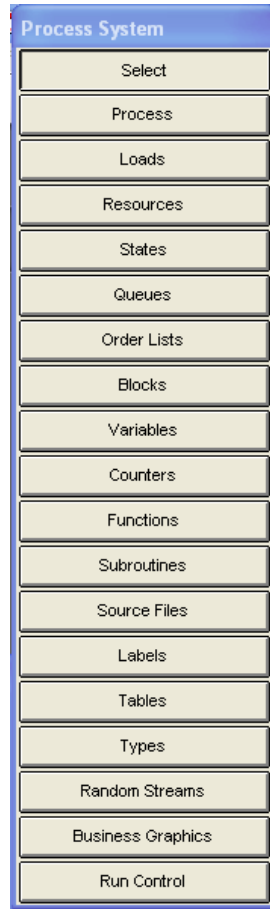


The image shows a dialog box titled "Create A New System". It has a light beige background and a blue title bar. The dialog contains three fields: "Parent System" with the value "step01", "System Name" with the value "conv", and "System Type" with a dropdown menu showing "Conveyor". At the bottom, there are two buttons: "Create" and "Cancel".

Parent System	step01
System Name	conv
System Type	Conveyor
Create Cancel	

Şekil 4.2: Sistem tanımlama

Model oluşturma Şekil 4.3'te gösterildiği gibi (Select, Process, Loads, Resource) aşamalarının tanımlanması ile oluşmaktadır.



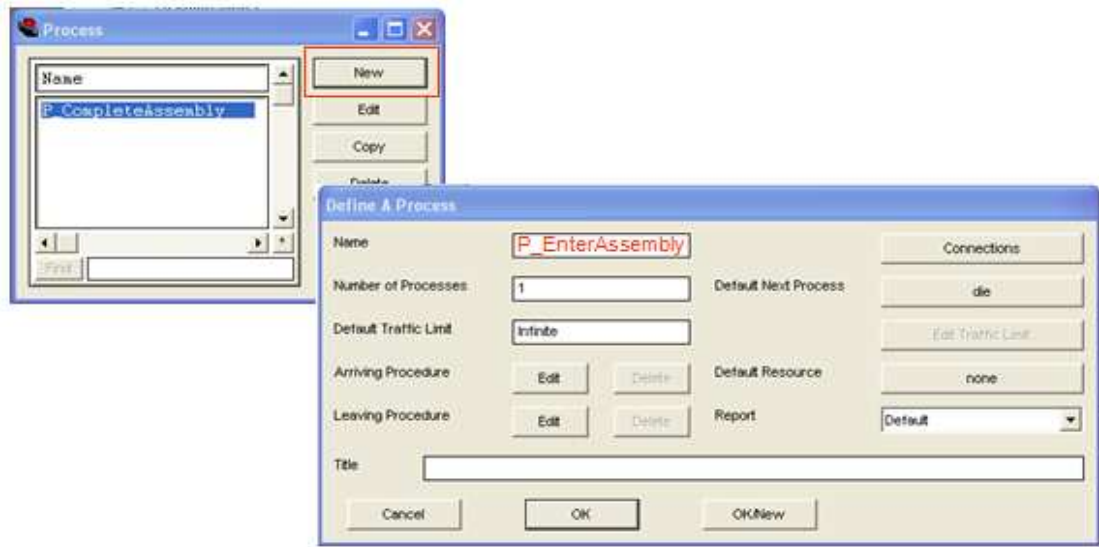
The image shows a vertical list of buttons in a dialog box titled "Process System". The buttons are arranged in a single column and include: Select, Process, Loads, Resources, States, Queues, Order Lists, Blocks, Variables, Counters, Functions, Subroutines, Source Files, Labels, Tables, Types, Random Streams, Business Graphics, and Run Control.

Select
Process
Loads
Resources
States
Queues
Order Lists
Blocks
Variables
Counters
Functions
Subroutines
Source Files
Labels
Tables
Types
Random Streams
Business Graphics
Run Control

Şekil 4.3: Model oluşturulurken kullanılan adımlar

➤ Proses tanımlama

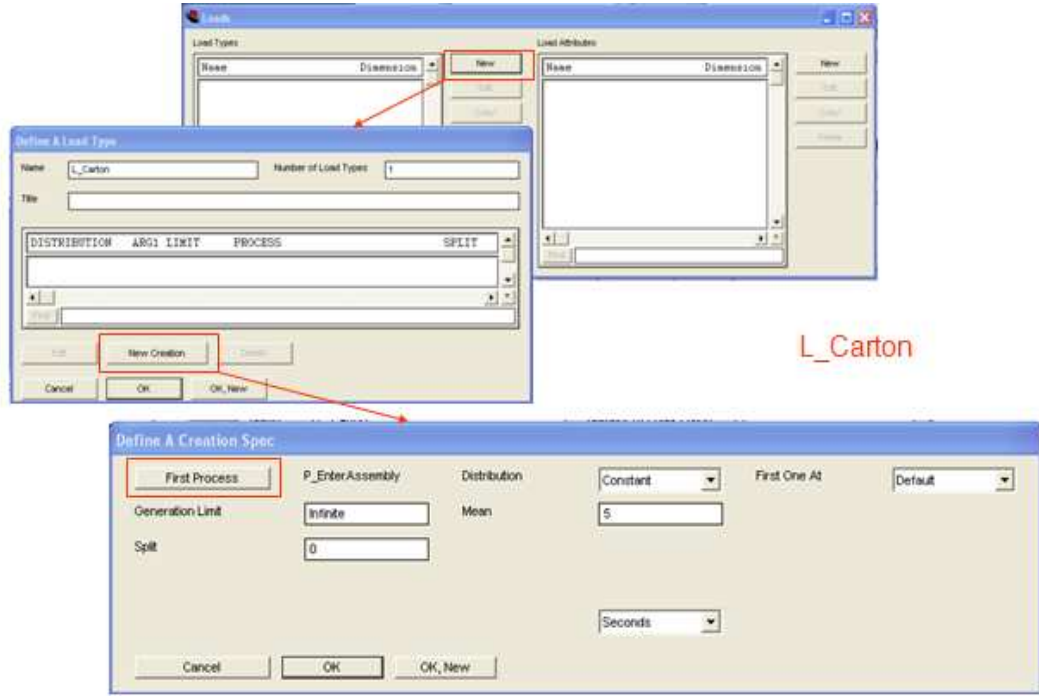
Automod süreç tabanlı bir simülasyon yazılımıdır. Sistemde her bir ürün bir süreç boyunca akar, bu akış esnasında kuyruğa (Queue) girer ve kaynakları (Resource) kullanır. Bu prosesin tanımlanması Şekil 4.4'ten de görüldüğü gibi “Proses” ve “Define A Proses” menülerinden yapılır.



Şekil 4.4: Proses tanımlama

➤ Ürün tanımlama

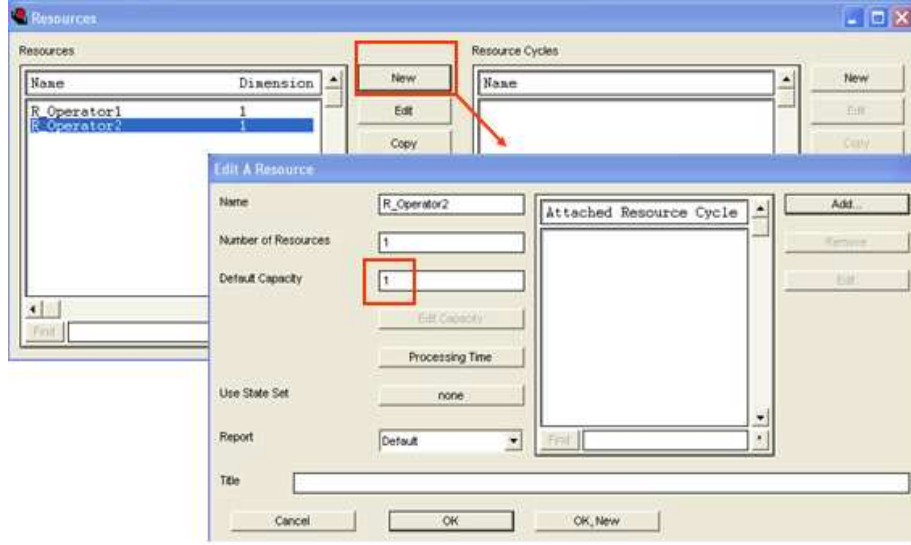
Sistemde akacak olan ürünün özelliklerinin tanımlanması ile ilgilidir. Ürün boyutu, geliş frekansı gibi değerler bu bölümde belirtilir. Bu işlem Şekil 4.5'ten de görüldüğü gibi “Create A Load Type” ve Define A Creative Spec” menülerinden yapılır.



Şekil 4.5: Ürün tanımlama

➤ Kaynak tanımlama

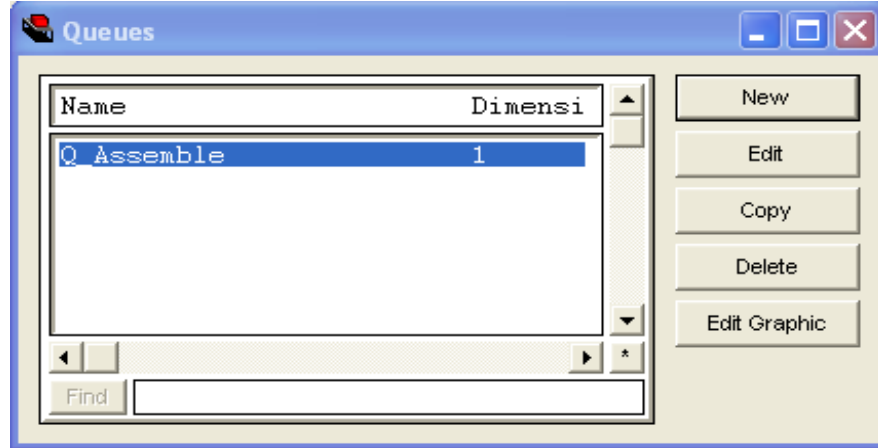
Sistemde her bir ürün bir proses boyunca akar, bu akış esnasında Şekil 4.6'da görüldüğü gibi kaynakları (Resource) kullanır.



Şekil 4.6: Kaynak tanımlama

➤ Kuyruk tanımlama

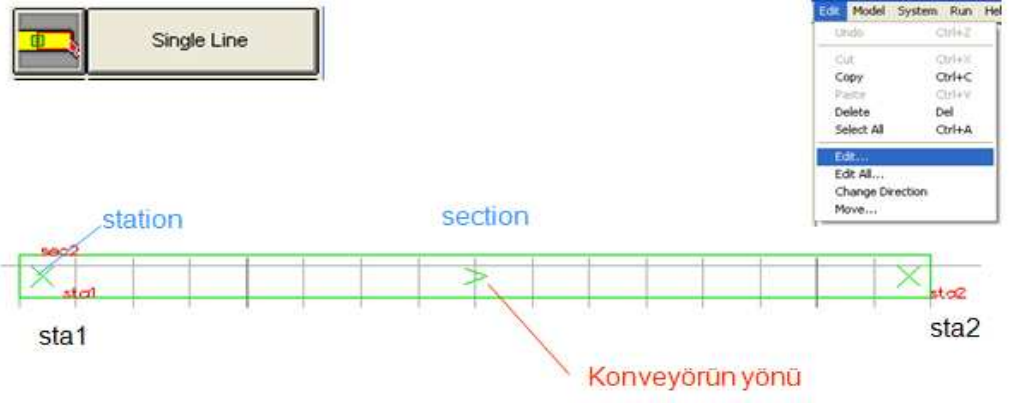
Sistemde ürünlerin bekletildiği yerler Şekil 4.7’de de gösterildiği gibi kuyruk olarak modellenir. Simülasyon her bir kuyruk için ürünlerin ortalama, en yüksek, en küçük bekleme süreleri ve bekleyen sayıları gibi istatistikleri hesaplar.



Şekil 4.7: Kuyruk tanımlama

➤ Konveyör sistemin tanımlanması

Konveyör sistem ürün akışını sağlamak için bağlantı noktası, montaj hattı, istasyon, motor v.s unsurları barındıran sistemdir. Bir örnek konveyör sistemi Şekil 4.8’de görülmektedir.



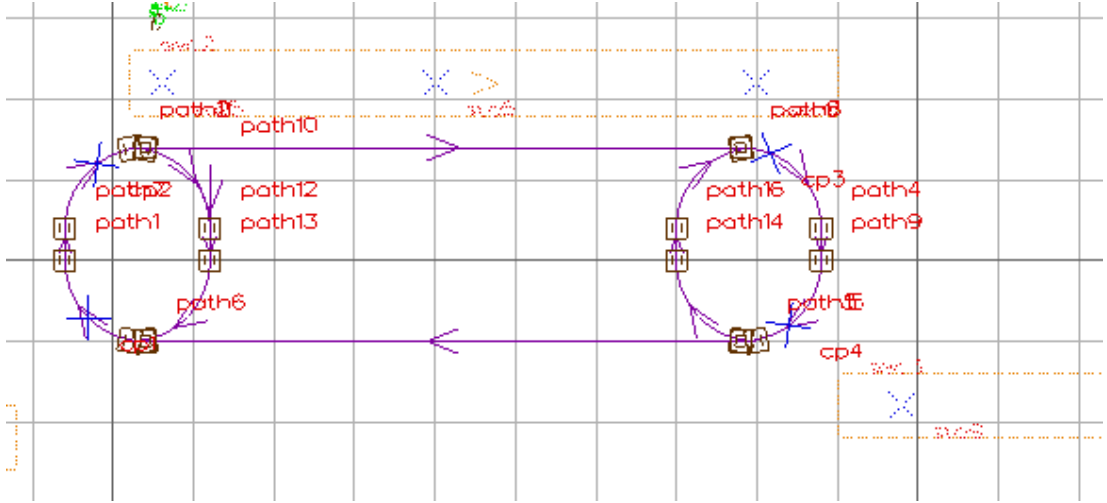
Şekil 4.8: Örnek konveyör hat çizimi

➤ Path-mover (taşıyıcı hat) sistemin tanımlanması

Path-mover sistemi (taşıyıcı hat) Şekil 4.9'da da görüldüğü gibi taşıma hattı, kontrol noktaları, araçlar ve iş listelerinin tanımlanması ile oluşur.

Modeldeki alt sistemleri veya konveyörleri birbirine bağlayan, bu sistemler arasında ürün akışını gerçekleştiren taşıyıcı sistemdir.

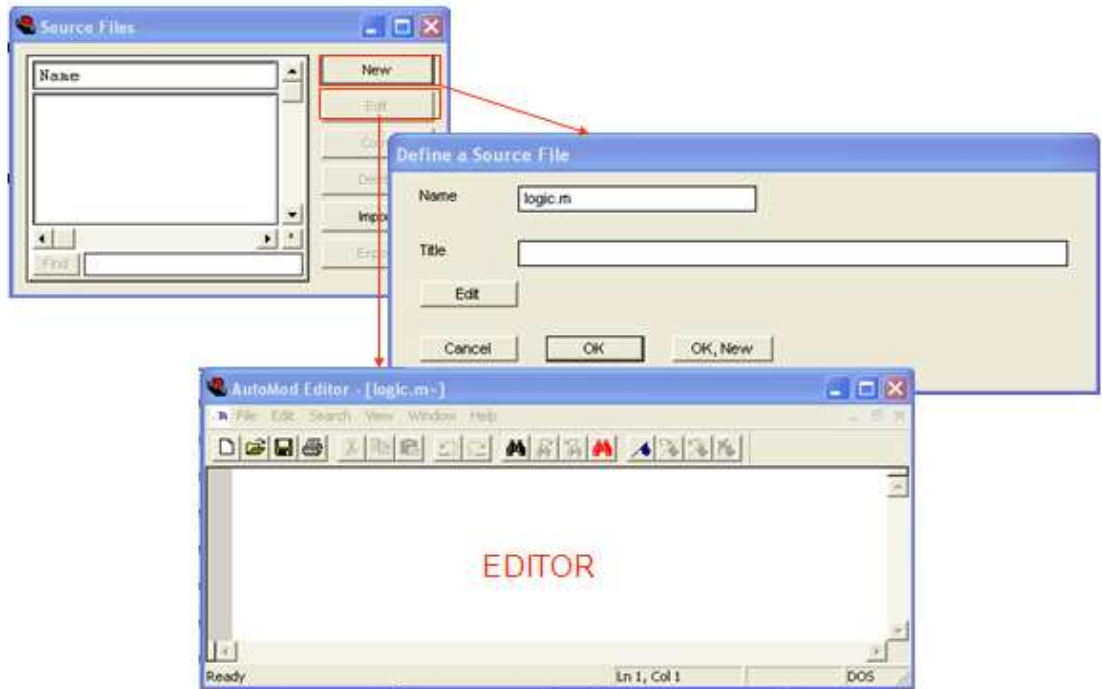
1.Montaj hattı ile 2. Montaj hattı arasında ürün aktarımını sağlamak amacıyla taşıyıcı sistem tasarlanmıştır. Bu sistem aracılığıyla istasyon 4'ten çıkan ürünler istasyon 5'e aktarılmış, istasyon 7'den çıkan ürünlerin de 3. Montaj hattındaki istasyon 8'e aktarımı sağlanmıştır.



Şekil 4.9: Örnek path-mover sistemi

➤ Varış Prosedürü

Gerekli tanımlamalar ve işlemler yapıldıktan sonra ürünlerin istasyonlar içinde istenilen şekilde akışının sağlanabilmesi için gerekli prosedürlerin hazırlandığı dosyadır. Bu dosyanın uzantısı “m” olmak zorundadır. Bu işlem Şekil 4.10’dan da görüldüğü gibi “Source Files” menüsünden yapılır.



Şekil 4.10: Örnek varış prosedürü hazırlama

```

begin P_EnterAssembly arriving procedure
    move into conv.sta1 /* Konveyör üzerinde sta 1 istasyonuna gec*/
    send to P_CompleteAssembly /*.. prosedürüne gec */
end

begin P_CompleteAssembly arriving procedure
    travel to Conv.sta2 /*Istasyon 1 den istasyon 2 ye yolculuk yap */
    send to die /* Simulasyondan cik */
end

```

Şekil 4.11: İstasyon akışının hazırlanmasında yararlanılan komutlar

Bu dosyayı hazırlarken aşağıdaki komutlardan faydalanılır.

“move” bir sistemden diğerine geçmesini sağlar,

“send” başka bir prosese yollar,

“travel” işin konveyör üzerinde bir istasyondan diğerine gitmesini sağlar, “get...use ve wait...for” gerekli kaynağın çağırılıp belirli süre kullanılmasını sağlar, “end” bitirme komutudur.

➤ İstatistikler

Yapılan uygulamanın istatistikleri Tablo 4.1’de gösterildiği gibi “model_adi.report” dosyasında tutulur;

Tablo 4.1: Örnek istatistik sonuçları

Process Statistics									
Name	Total	Cur	Average	Capacity	Max	Min	Util	Av_Time	Av_Wait
=====									
P_CompleteAssembly	29	3	1.95	--	3	0	--	241.86	--
P_EnterAssembly	30	1	0.88	--	2	0	--	105.88	--
P_Out	26	0	0.00	--	1	0	--	0.00	--

Örnek Tablo 4.1’de de görüldüğü gibi raporda görülen kavramlar aşağıdaki gibi tanımlanır [28].

Name: proses ismidir.

Total: prosese gönderilen toplam yük sayısıdır.

Cur: Prosesteeki mevcut ürün sayısıdır.

Average: Prosesteeki ortalama yük sayısıdır.

Max: Simültane edilmiş olarak prosese gönderilen maximum yük sayısıdır.

Min: Simültane edilmiş olarak prosese gönderilen minimum yük sayısıdır.

Av_Time: Yüklerin proseste harcadığı ortalama zamandır.

4.2. Bir Televizyon Fabrikasında, Televizyon Son Montaj Hattının Automod Simülasyon Programı ile Dengelenmesi Çalışmasında Mevcut Sistemin İncelenmesi

TV fabrikasında montaj bölümü sorumluluk alanı üretimin çeşitli kademelerinden gelen televizyon plastik parçalarının ve tüplerinin montajı, tamamen bilgisayar kontrollü malzeme deposundan gelen hoparlörlerin lehim işlemi gerçekleştirildikten sonra televizyon modellerine göre ön montajını, son mamul kontrolünü, kitapçık ve kullanım kılavuzu hazırlanmasını ve karton kutu hazırlığını içermektedir.

Burada mevcut işlemlerin %90'ı manuel olarak gerçekleşmektedir. Son montajda mamullerin üretimi otomatik lift yardımıyla yapılmaktadır. Bunun yanında ısı dayanıklılığı testi için otomatik ısı bandı sistemi kurulmuştur. Elektriksel kontroller jig yardımıyla, kanal ayarları ise channel writer'ler ile otomatik olarak yapılmaktadır. Tüp, ön çerçeve ve arka kapağın son montaj bölümüne taşınması konveyör ile; diğerlerinin taşınması ise dizel forklift, elektrikli forklift ve trans paletlerle gerçekleştirilmektedir.

TV son montaj atölyesi 7 banttandır. Bu bantlarda 14.1/12.3/12.4/12.5 tip şasilerin 14" , 20" , 21" , 25", 28" model çeşitlerinde montajı yapılmaktadır. Her model televizyon farklı işlemler gerektirmekte, istasyon sıralamaları değişmekte, bu da hat dengeleme çalışmasını zorlaştırmaktadır.

Bu çalışmada, ele alınan model, 28" T 07 tipi kabindir ve talebi oldukça yüksek düzeyde ve farklı birkaç modelde yapılan işlemlere benzer aşamalarda üretilen tiptedir.

Bu çalışmada incelenen modelde toplam 26 adet iş istasyonu bulunmakta ve her bir istasyonda farklı işlemler gerçekleşmektedir. Televizyon son montajı ayrıntılı olarak analiz edilmiştir.

Tablo 4.2: 28 T 07 Kabin Kodlu Modelin İş Elemanları ve Standart Süreleri

İstasyon No	İş No	İş Tanımı	Öncelikli İşler	Standart Süre (sn)
1	1	Operatör A: koveyöre uzanıp önçerçeveyi al. El ve göz ile gereken kontrolleri yap ve operator B'nin uzanıp alabileceği şekilde önçerçeveyi masaya bırak.	-	10.92
1	2	Sol el ile 1 adet vizolin bant al, önçerçevenin sol tarafına yapıştır, daha sonra yine sol ile 1 adet vizolin bant al ve önçerçevenin sağ tarafına yapıştır.	1	7.58
1	3	2 adet rondeli kağıdından al. Önçerçevenin sağ ve sol üst köşelerine yapıştır.	1	6.04
1	4	Sepetten sağ el ile 1 adet program- ses düğmesi ve 1 adet mercek al ve palete bırak.	1	1.82
		toplam		26.36
2	5	Paletin üzerindeki program ses düğmesini al, önçerçeveye tak ve çalışıp çalışmadığını kontrol et.	4	6.44
2	6	Sol eline 2-3 adet vida, sağ eline pnömatik tornavidayı al. Önçerçeveyi kendine doğru 5 cm çek. Program ses düğmesini ve merceği birer adet vida ile önçerçeveye vidala. Fazla vidaları ve tornavidayı bırak.	5	5.85
2	7	2 adet rondeli kâğıdından al. Önçerçevenin sağ ve sol alt köşelerine yapıştır.	1	5.36
		toplam		17.65
3	8	Yedekte hazır bulunan sepetten 1 adet tuş takım plaketi al. Önçerçeveye tak. 2 adet plastik tutucu al. Sağ el ile tutucuları tak. Sol el ile tuş takım plaketi kablosunu çek. Sol el ile önçerçevenin önünden şebeke düğmesinin çalışıp çalışmadığını kontrol et.	6	13.13
3	9	Tuş takımı plaketi hazırlık.		5.63
		toplam		18.76
4	10	Sepetten ağ el ile hoparlörleri al ve kablolarını düzelt.	1	2.26
4	11	Sol eline 4- 5 adet vida, ağ eline pnömatik tornavidayı al. Sağ hoparlörü önçerçeveye yerleştir. 4 adet vida ile sağ hoparlörü önçerçeveye vidalarken sol el ile kabini tut. Fazla vidaları ve tornavidayı bırak.		
		toplam		16.84

Tablo 4.2: (Devam) 28 T 07 Kabin Kodlu Modelin İş Elemanları ve Standart Süreleri

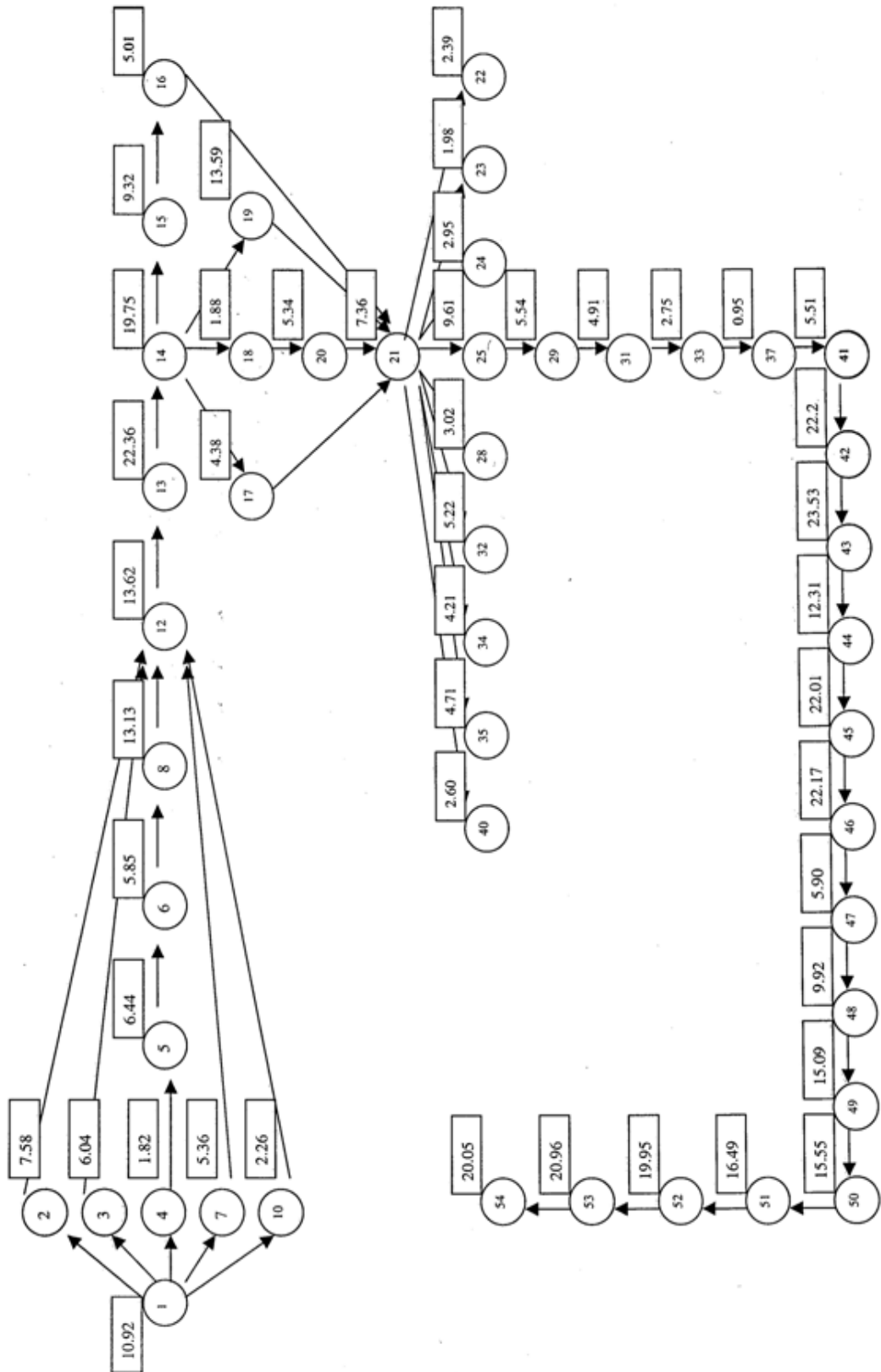
İstasyon No	İş No	İş Tanımı	Öncelikli İşler	Standart Süre (sn)
5	12	İki operatör beraber çalışır. Operatör B: konveyörden gelen tüpü dalmec robot ile al ve önçerçeveye yerleştir. Operatör A: paletten gelen önçerçeveyi l, kablolarını düzelttikten sonra önçerçeveyi palet üzerine yerleştir.	2.3.8.7.11	13.62
6	13	Operatör C: piston pedalına basarak tüpü 40 cm yükselt. Operatör D: mas telini al tüpün uzak iki köşesine tak. Bu sırada operatör C de yanında asılı duran degauss bobini alır tüpün çevresindeki plastik tutuculara geçirir. Operatör C: piston pedalına basarak tüpü indir.	12	22.36
7	14	Operatör E: sol eline 4- 5 adet vida al. Sağ eline pnömatik tornavidayı al. Tüpü 4 adet vida ile önçerçeveye vidala. Fazla vidaları ve tornavidayı bırak.	13	19.75
8	15	Sol el ile saptırma kablolarını al. Tüp terminallerine sağ el ile sar.	14	9.32
8	16	Sol eline lehim telini sağ eline havayı al. Saptırma kablolarını lehimle. Lehim teli ve havayı yerine bırak.	15	5.01
8	17	Sol el ile 1 adet fasteks al. Tuş takımı kablolarını ve kulaklık kablolarını bağla.	14	4.38
8	18	Yanındaki sepetten 1 adet şebeke kablosu al ve palete bırak.	14	1.88
		toplam		20.59
9	19	Sol eline 5-6 adet vida, sağ eline pnömatik tornavidayı al. 4 adet vida ile sol hoparlörü önçerçeveye vidala. Fazla vida ve tornavidayı bırak.	14	13.59
9	20	Sağ el ile şebeke kablo soketini tuş takım plaketinde X903 pozisyonundaki yerine tak.	18	5.34
		toplam		18.93
10	21	Sağ el ile şasi arabasından şasiyi, sol el ile kızak arabasından şasi kızığını al ve şasiyi iki el ile kızığa tak.	17.20.19.16	7.36
10	22	Tuş takım plaketinin kablo soketlerini şasiye takma	21	2.39
10	23	Degauss bobini soketini şasiye takma	21	1.98
10	24	Yüksek gelirim kablosunu tüpe takma	21	2.95
		toplam		14.68

Tablo 4.2: (Devam) 28 T 07 Kabin Kodlu Modelin İş Elemanları ve Standart Süreleri

İstasyon No	İş No	İş Tanımı	Öncelikli İşler	Standart Süre (sn)
11	25	Sol el ile yanındaki sepette hazır olarak bulunan 1 adet PFC modülünü al. Sol eline 4-5 adet vida, sağ eline pnömatik tornavidayı al. PFC'yi 2 adet vida ile şasiye vidala. Fazla vida ve tornavidayı bırak.	21	9.61
11	28	1 adet vida ile şasiyi kızığa vidala.	21	3.02
11	29	PFC'den çıkan X605 pozisyonundaki 15 cm'lik kablo soketini şasideki X605 pozisyonundaki yerine tak. Tuş takım plaketinde X902 pozisyonundan gelen 30cm'lik konektör kablo soketini PFC'deki X604 pozisyonundaki yerine tak.	25	5.54
12	30	1 adet PFC modülü al, 1 adet konektör kablosu al, 1 adet PFC kızığı al ve PFC modülünü monte et.		9.05
		toplam		27.22
12	31	Mas telinden gelen topraklama kablosunu CRT'ye tak. Sağ eline mum tabancası al. Sol eline CRT'yi sabitlerken topraklama kablosunu CRT'ye mumla. Mum tabancasını yerine bırak. CRT'yi iki el yardımıyla tüpe tak.	29	4.91
12	32	Saptırma kablo soketlerini şasideki yerlerine tak.	21	5.22
12	33	Sol eline lehim telini, sağ eline havayı al. CRT'yi lehimle. Lehim teli ve havayı bırak.	31	2.75
12	34	Hoparlör kablo soketini şasiye tak.	21	4.21
		toplam		17.09
13	35	Sol el ile şasiden gelen topraklama kablosunu mas teline dola.	21	4.71
13	36	1 adet kablo bağı al ve hoparlör ve degauss kablolarını bağla.	34	3.99
13	37	CRT'den şasiye gelen kabloları bağla.	33	0.95
13	40	Sol taraftan 1 adet harici anten al ve tunere tak.	21	2.60
13	41	Şebeke fişini palet prizine takarken sol elle pens ampermetreyi sağ ile degauss bobinine kavra aynı anda göstergeyi kontrol et. Pens ampermetreyi çıkart ve masaya bırak.	37.22.23. 24. 28.32.36. 35.40	5.51
		toplam		17.76

Tablo 4.2: (Devam) 28 T 07 Kabin Kodlu Modelin İş Elemanları ve Standart Süreleri

İstasyon No	İş No	İş Tanımı	Öncelikli İşler	Standart Süre
14	42	Screen ayarı	41	18.13
15	43	GMA ayarı	42	22.21
16	44	RGB ayarı	43	12.31
17	45	Mekanik kontrol	44	22.01
18	46	İlk kontrol	45	22.17
19	47	Sol eline 4-5 adet vida al. Sağ eline pnömatik tornavidayı al ve 2 adet vida ile şasiyi kızığını önçerçeveye vidala. Fazla vida ve tornavidayı bırak.	46	5.90
20	48	Arka kapağı konveyörden al. Konveyör yastığına daya. Kabloları düzelt. Arka kapağı vurarak önçerçeveye tak.	47	9.92
21	49	Arka kapağın önçerçeveye 4 vida ile vidalanması	48	15.09
22	50	Arka kapağın önçerçeveye 5 vida ile vidalanması	49	15.55
23	51	1 adet marka al. Arkasını sıyırarak markayı yapıştır. TV'yi bez ile sil. Tüp üstü etiketini al ve soy. Ekranın sol alt köşesine veya sol üst köşesine yapıştır.	50	16.49
24	52	Son kontrol	51	19.95
25	53	Seri no ve bandrolün yerine yapıştırılıp, aksesuarın takılması	52	20.96
26	54	Ambalajlama	53	20.05
		toplam		472,35



Şekil 4.12: Televizyon montaj hatındaki iş öğelerinin teknolojik diyagramı

Öncelikle kronometraj yöntemi ile belirlenen iş elemanlarına ve iş istasyonlarına ait standart süreler tespit edilmiştir. Her bir iş istasyonundaki sürelerin detayları Tablo 4.2’de görülebilir. Sonrasında tüm iş elemanları Şekil 4.12’de görüldüğü gibi teknolojik öncelik diyagramına taşınmıştır.

Kronometraj yöntemi uygulanırken her bir işlemde 10’ar kez zaman ölçümü yapılmış ve ölçümler yapılan faaliyete ait ayrıntıların da yer aldığı kayıt formuna işlenmiştir. İşçinin çalışma hızı normal bir çalışma hızına oranlanarak tempo takdiri belirlenmiştir. Daha sonra kişisel ihtiyaçlar için ayrılan zaman, yorulma gibi faktörler dikkate alınarak tolerans (yüzde cinsinden) tespit edilmiştir. En son olarak da, önceki aşamalardaki tespit edilen sayılardan faydalanılarak standart zaman değeri tespit edilmiştir.

Yapılan bu çalışmalar sonunda her bir iş istasyonunun temposu %95-%110 arasında değişkenlik göstermiştir.

Bu hesapların nasıl hesaplandığına dair formüller ise aşağıda verilmiştir.

Normal zaman=Ortalama zaman*tempo

Standart zaman= Normal zaman*(1+tolerans yüzdesi)

Tablo 4.2’de tüm iş elemanlarının iş istasyonları bazında iş elemanları ve standart süreleri görülmektedir. 26 iş istasyonundaki toplam süre 472, 35 sn’dir. Ayrıca 14. istasyondan 15. istasyona geçişte asansör sistemi kullanıldığından, oradaki geçişi sağlayan toplam 10 saniyelik bir süre söz konusudur. Dolayısıyla sistemde harcanan toplam süre 482,35 saniyedir. Bununla beraber bu sürenin içinde 6. Banttaki operatörlerin dışındaki bir başka operatöre verilen ve 9,05 sn süren PFC modülü hazırlama işlemi vardır. Bu işlem genellikle bant ekip sözcüleri tarafından yapılmakta, ek bir operatöre verilmemektedir. Bu işlem istasyonlardaki operatörler dışındaki bir başka operatör tarafından montajı yapıp sepetin içinde hazır olacak şekilde istasyona getirildiğinden hattın kendi iş akış süresini hiçbir şekilde etkilememekte, bu sebepten dolayı toplam süre 473,30 sn olarak alınmaktadır.

Montaj hattı dengeleme çalışmasında oluşturulan modelin ana elemanları şunlardır: [13]

- Amaç
- Değişkenler, parametreler
- Fonksiyonel ilişkiler

Amaç, benzetim tekniği kullanımı sonucu elde edilecek beklentileri tanımlar. Değişkenler ise, sistemin işleyişine etki eden ve etkileri, amaç fonksiyonu ile ölçülen elemanlardır. Fonksiyonel ilişkiler modelin bileşenleri ile değişkenlerinin etkileşimini tanımlar [13].

Montaj hattı dengeleme çalışmasında oluşturulan modelin performans kriterleri aşağıdaki gibidir.

1. Gerekli en küçük istasyon sayısı:

$$N(\text{en } k) = \frac{\sum t_i}{C}$$

2. Denge kaybı:

İşlerin işlemciler veya istasyonlara dengesiz dağıtımını gösteren bir ölçektir.

D (%) yüzdelik bir oranda denge kaybı olmak üzere;

$$D(\%) = \frac{N \cdot C - \sum t_i}{N \cdot C} \cdot 100$$

Bu değerin 0 olması ideal durumdur.

Dengeleme kaybı, her istasyonda, birim üretim için ayrılan toplam süreyle gerekli süre kaybı arasındaki farkın montaj süresine oranıdır ve çoğunlukla sıfırdan büyük bir değerdir.

3.Denge etkinliği:

$$E = \frac{\sum t}{N \cdot C} \quad (4.1)$$

4.Operatör Sayısı: İş istasyonlarında çalışan operatör sayıdır. Bu sayının az olması işçilik maliyetini düşürebilmektedir.

Automod programı ile oluşturulan modelin başarı kriterleri aşağıdaki gibidir.

Modelde, ürünler istasyonlardan geçerken sürelerdeki dengesizliklerden dolayı iş istasyonlarında kuyruklar oluşur. Kuyruk oluşumu bir sonraki iş istasyonuna işin aktarımını gerçekleştiremediğinden veya geç gönderdiğinden kuyruğun olduğu istasyonlardan sonraki istasyonlarda beklemeler oluşur ve son istasyondan bitmiş olarak çıkan ürün sayısı ile ilk istasyona giren ürün sayısı arasında farklar oluşur.

Dolayısıyla her ne kadar modelin performans kriterlerini;

- 1) Gerekli en küçük istasyon sayısı
- 2) Denge kaybı
- 3) Denge etkinliği
- 4) Operatör sayısı
- 5) Montaj hattının maliyeti

Uysurları belirlese de model çalıştığında oluşan kuyruklar, kuyruklardaki bekleme süreleri ve ilk istasyona giren TV sayısı ile son istasyondan çıkan TV sayıları sistemin ne kadar başarılı çalıştığını göstermektedir. Bu sebeple performans kriterleri

yalnız düşünülmemelidir. İlk istasyona giren ürün sayısı ile son istasyondan çıkan ürün sayısı arasındaki farkın minimum olması idealdir.

Sistemin ve iş istasyonlarının maliyeti düşünüldüğünde öncelikle genel olarak;

Değişken Maliyetler:

- Direkt Hammadde ve Malzemeler
- Direkt İşçilikler
- Değişken Genel Üretim Giderleri
- Endirekt Hammadde Malzeme
- Endirekt İşçilikler
- Elektrik
- Yakıt
- Sigorta (Malların)
- Tamir Bakım (Makinelerin) gibi masraflardan,

Sabit Maliyetler:

- Kira Giderleri
- Sigorta Giderleri
- Amortismanlar
- Yönetim Ücretleri
- Finansman Giderleri
- Genel Yönetim Giderleri (kırtasiye, telefon)
- İdari kısım elektrik giderleri
- İdari kısım yakıt giderleri

gibi masraflardan oluşmaktadır. Bu durumda sabit maliyetlerde bir değişiklik olmamaktadır. Değişken maliyetlerden de direkt işçilikler üzerinden maliyet çalışmaları yapılmalıdır.

Automod Programı ile Oluşturulan Modeldeki Değişkenler (Parametreler):

Automod programı ile oluşturulan modeldeki değişkenler (Parametreler) aşağıdaki gibidir.

C = çevrim zamanı,

T = eldeki toplam süre ve

N = günlük talep sabit kalmak koşuluyla;

- İş istasyonlarındaki iş süreleri,
- Toplam istasyon sayısı,
- Toplam operatör sayısı,
- İş istasyonlarındaki operatör sayıları,
- Operatör sayısındaki ve sistemdeki değişiklikler maliyeti de değiştireceğinden maliyet unsuru da eklenmelidir.

Uygulamamıza dönecek olursak işletmenin bir günlük çalışma saatleri ise şöyledir:

Toplam çalışma süresi	08.00-16.00	480 dk
Öğle yemeği	12.00-12.30	30 dk
Toplam mola zamanları		15 dk
İşletmenin günlük net çalışma saati (T)		435 dk
Günlük talep (N)		850 adet

Mevcut Durumun Performans Değerlendirmesi

Mevcut durumun çevrim zamanının belirlenmesi:

C = çevrim zamanı

T = günlük net çalışma süresi

N = günlük talep olmak üzere;

$$C = \frac{T}{N} = \frac{435 \cdot 60}{850} = 30,70 \text{ sn}$$

Mevcut durum için gerekli en küçük istasyon sayısı:

$$N \text{ (en k)} = \frac{\sum t}{C} = \frac{473,30}{30,70} = 16$$

Mevcut durumun denge kaybı:

D (%): yüzdelik bir oranda denge kaybı olmak üzere;

$$D = \frac{N \cdot C - \sum t}{N \cdot C} \cdot 100 = \frac{26 \cdot 30,70 - 473,30}{26 \cdot 30,70} \cdot 100 = 41$$

Mevcut durumun denge etkinliği:

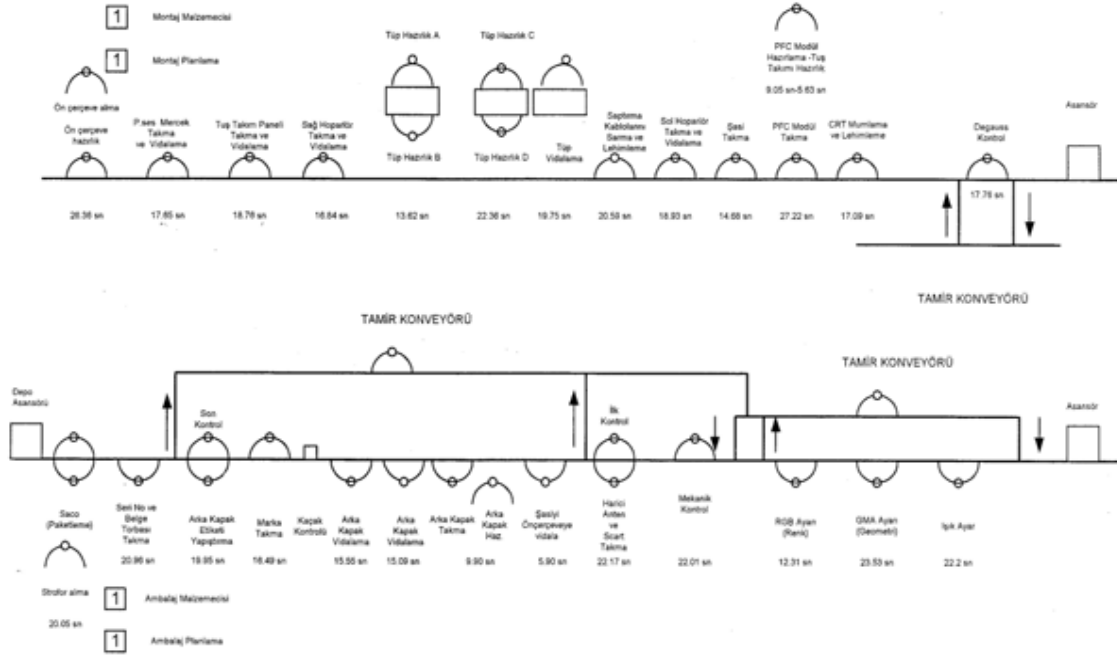
$$E = \frac{\sum t}{N \cdot C} = \frac{473,30}{26 \cdot 30,70} = 0,59$$

Mevcut durumda tüm iş istasyonlarındaki operatör sayılarının dağılımı Tablo 4.3'de görülmektedir.

Tablo 4.3: Mevcut durumdaki iş istasyonlarındaki operatör sayıları

İstasyonlar	Operatör sayıları
1. İstasyon	1
2. İstasyon	1
3. İstasyon	1
4. İstasyon	1
5. İstasyon	2
6. İstasyon	2
7. İstasyon	1
8. İstasyon	1
9. İstasyon	1
10. İstasyon	1
11. İstasyon	1
12. İstasyon	1
13. İstasyon	1
14. İstasyon	1
15. İstasyon	1
16. İstasyon	1
17. İstasyon	1
18. İstasyon	2
19. İstasyon	1
20. İstasyon	2
21. İstasyon	1
22. İstasyon	1
23. İstasyon	1
24. İstasyon	2
25. İstasyon	1
26. İstasyon	10
Toplam	40

Bahsedilen 26 iş istasyonunun fabrika içindeki yerleşimi Şekil 4.13’de görülmektedir.

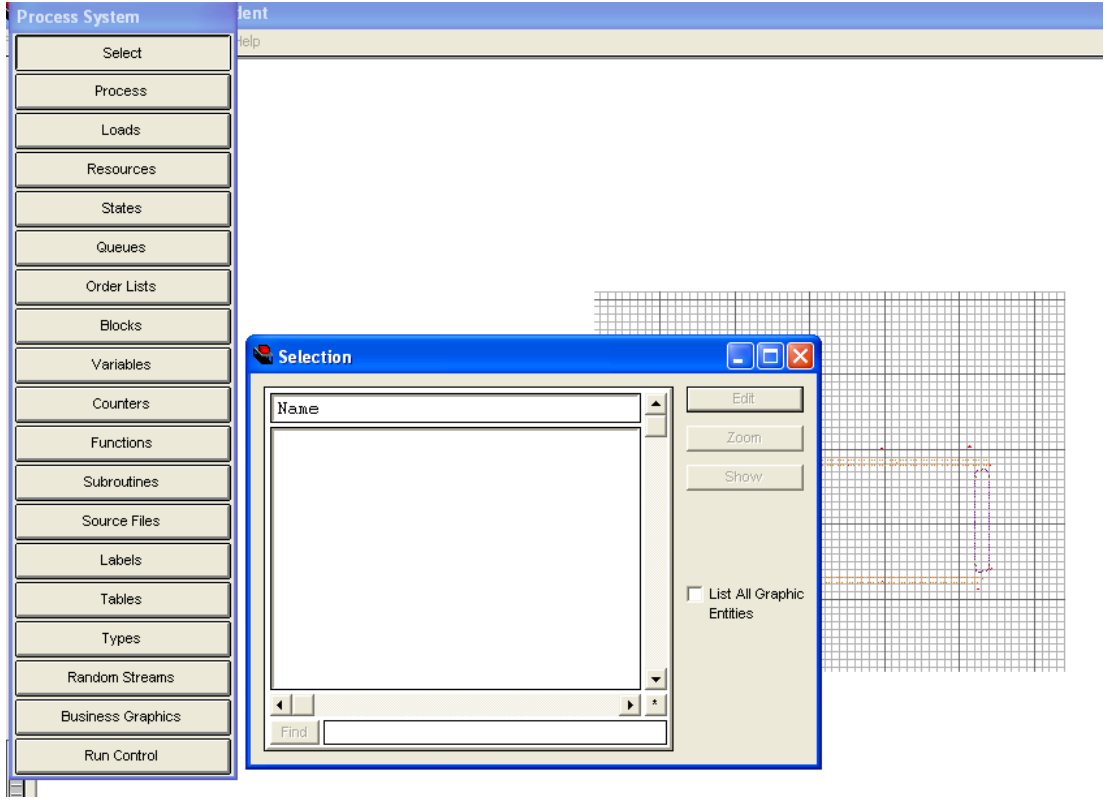


Şekil 4.13: Montaj hattının fabrika içindeki yerleşimi

4.3. Televizyon Son Montaj Hattının Automod Simülasyon Programında Modelinin Oluşturulması

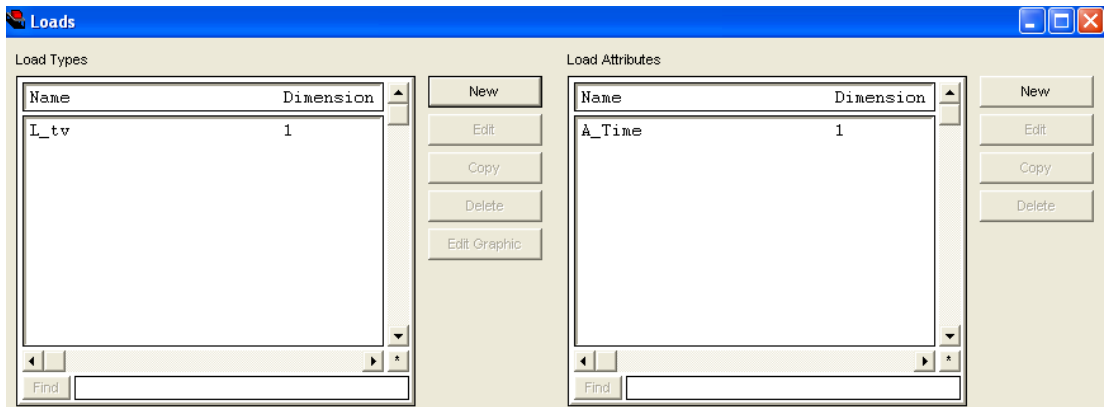
Mevcut hat yerleşimi süreler ile beraber Automod paket programı yardımıyla bilgisayar ortamına taşınmıştır. Dolayısıyla ilk önce mevcut sistemdeki aksaklıklar bir diğer ifade ile kuyruklar tespit edilmiş olup sonrasında bu kuyrukları yok etmek üzere çalışmalar yapılmıştır.

Çalışmamıza Şekil 4.14’te de görüldüğü gibi ilgili menülerin yardımı ile model oluşturma işlemi ile başlanmıştır.



Şekil 4.14: Mevcut sistem ana ekran görüntüsü

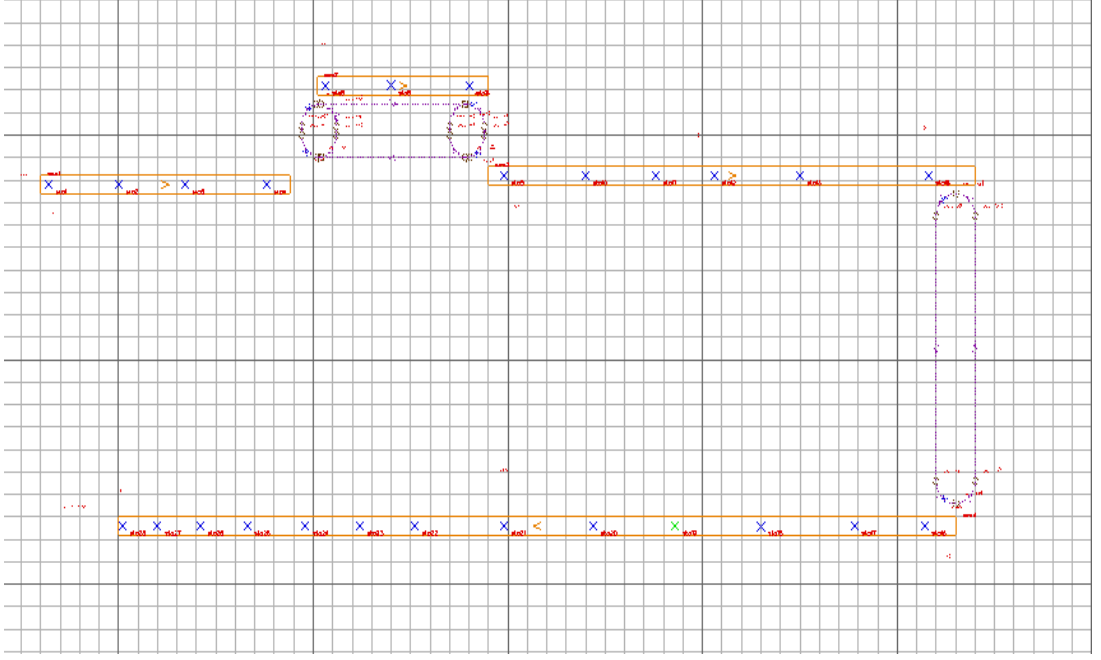
Automod proses tabanlı bir yazılım olduğundan sistemin çalışması için gerekli prosesler tanımlanmıştır. Sonrasında ise sistem üzerinde akışı sağlanacak olan televizyonlar için Şekil 4.15’de de görüldüğü gibi ürün tanımlama işlemi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.15: Mevcut sistem ürün tanımlama

Mevcut sistemi (televizyon montaj hattı) özellikle aksaklıkları ile beraber görebilmek için kuyruk tanımlanmamıştır.

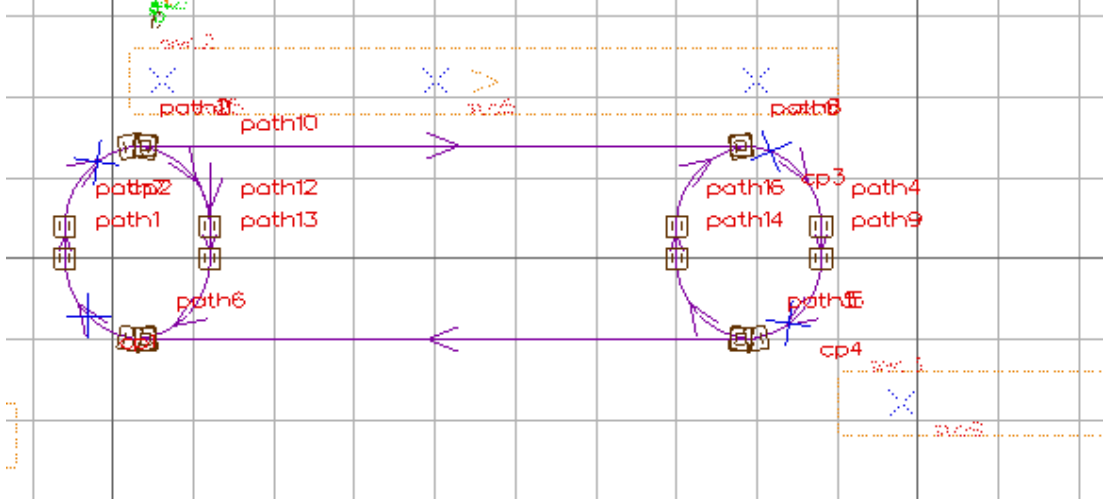
Konveyör sistem oluşturulurken Şekil 4.16’da görüldüğü gibi paralel 4 konveyör hattı çizilir. Şekil 4.13’te görülen mevcut yerleşim planı esas alınarak hat üzerine istasyonlar yerleştirilir.



Şekil 4.16: Mevcut sistem konveyör hat görüntüsü

Birinci montaj hattından ikinci montaj hattına geçebilmek için path mover sistem oluşturulmuştur. Detaylı halı Şekil 4.17’de görülmektedir. Konveyör sistemden path mover sisteme geçişin sağlanabilmesi için path mover sistem üzerinde 4 kontrol noktası (cp1, cp2, cp3, cp4) oluşturulmuştur.

Kontrol noktaları, taşıyıcı sistem üzerinde ürünün nereden nereye hareket edeceğini gösteren noktalardır. Modelin çalışabilmesi için teknik olarak sistem üzerinde tanımlanması zorunludur.



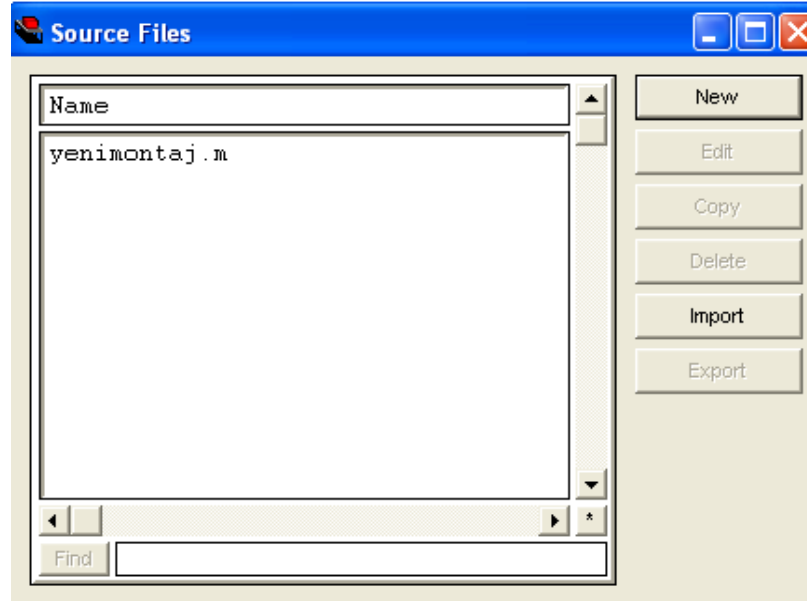
Şekil 4.17: Mevcut Sistem Path Mover 1

Aynı şekilde 3.montaj hattından, 4. montaj hattına geçiş için de bir path mover sistem tanımlanmıştır.

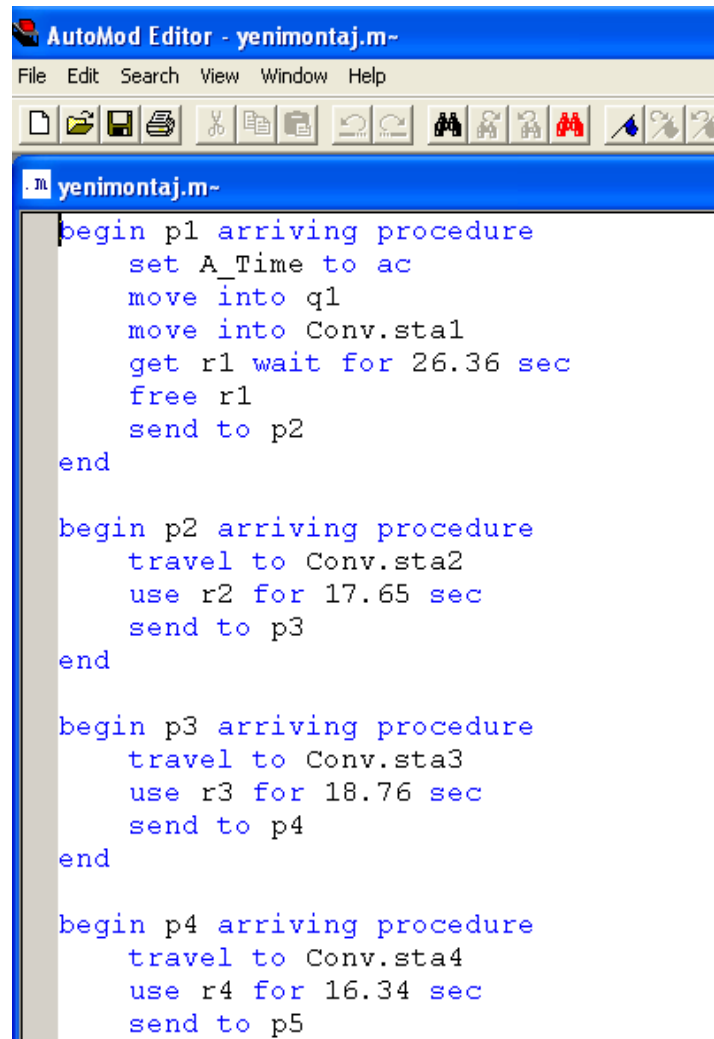
Path mover sistem içinde hareketi sağlamak için 3 araç tanımlanmıştır ve konveyörden path mover sisteme geçiş için kontrol noktaları oluşturulmuştur.

Path mover sistem model içinde ürün taşıyan araçların (tıpkı forklift, asansör vb) izlemesi gereken yolu gösterir. Bu yol üzerinde araçların izleyecekleri güzergâhları belirlemek için daha önce bahsedilen kontrol noktaları kullanılır.

İki sistem için gerekli tanımlamalar yapıldıktan sonra, modeli çalıştırmak üzere prosedür yazma işlemine geçilmiştir. Bu amaçla Şekil 4.18’de de görüldüğü gibi “source files” menüsü ile uzantısı “m” olan yeni montaj isimli bir dosya oluşturulmuştur. Şekil 4.19’da da görüldüğü gibi bu dosya içine gerekli prosedürler eklenmiştir.



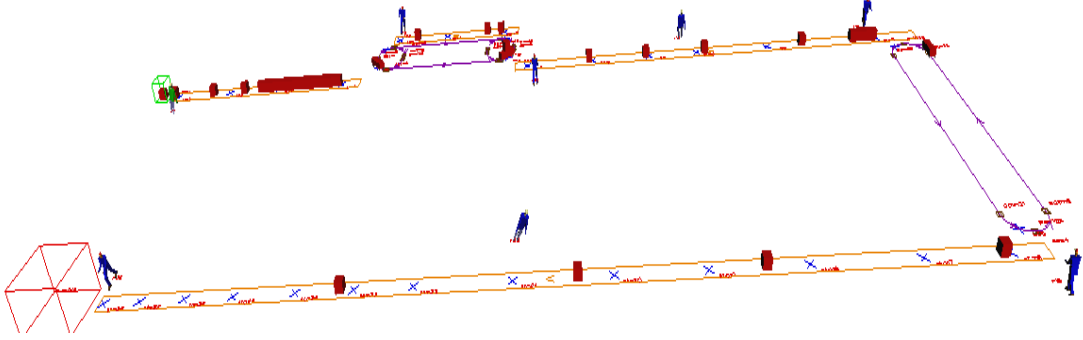
Şekil 4.18: Mevcut sistem varış prosedürü oluşturma



Şekil 4.19: Mevcut sistem prosedür dosyası

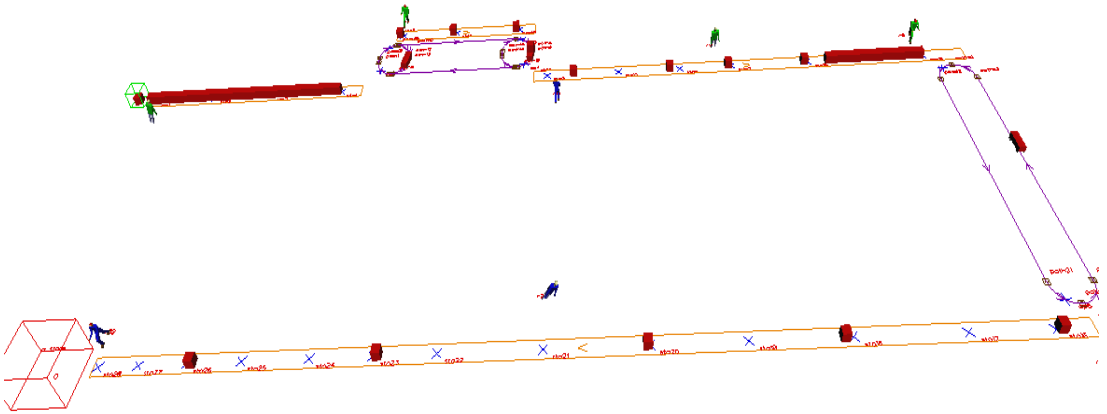
4.4. Televizyon Son Montaj Hattı Modelinin Çalıştırılması

Gerekli prosedürler yazıldıktan sonra dosya kaydedilip çıkılır. Modeli çalıştırmak için ana ekran üzerinde “Run/Run Models” seçilir. Çalışan sistemin ekran görüntüsü Şekil 4.20’de gösterilmiştir.

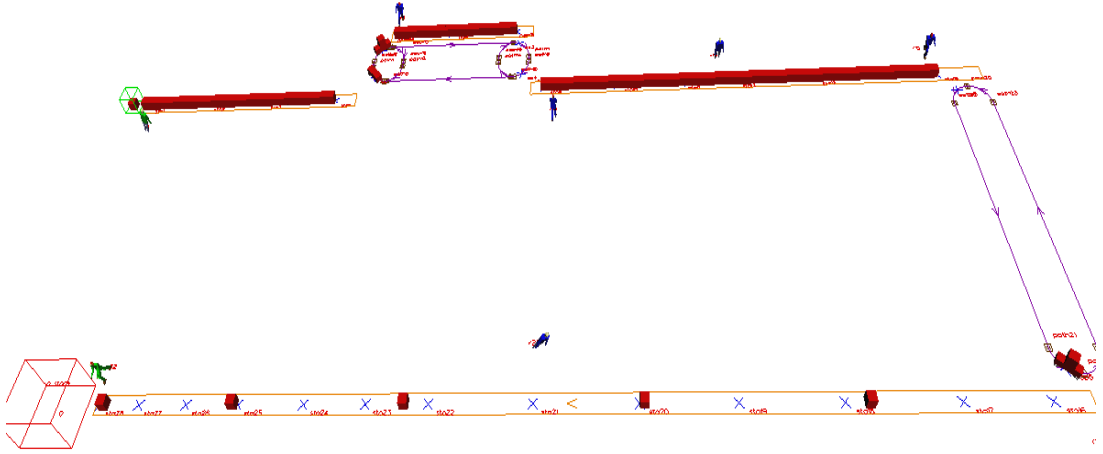


Şekil 4.20: Mevcut sistem görüntüleme

Modeli çalıştırdığımız zaman Şekil 4.20 ve Şekil 4.21’de görüldüğü gibi belirli noktalarda (özellikle istasyon 4, 8 ve 13) kuyruklar oluşmaktadır.



Şekil 4.21: Mevcut Sistem Kuyruk Görüntüleme 1



Şekil 4.22: Mevcut sistem kuyruk görüntüleme 2

Şekil 4.22’de de görüleceği gibi kuyruklardan dolayı bir süre sonra 1. istasyon ürün almayı kesmekte ve kuyruklar azaldıktan sonra almaya devam etmektedir. Şunu belirtmekte fayda var ki; hat U şeklindedir ancak, 13. istasyondan çıkan TV 14. istasyona asansör ile geçmektedir.

Sistemdeki hataların daha net görülebilmesi için tam 1 saat 30 dakika sonra sistem durdurulmuştur. Şekil 4.23’de de görüleceği gibi bu süre içerisinde 1. istasyona giren TV sayısı 174 iken son istasyondan 68 tane TV çıkmaktadır. Yine görüleceği gibi istatistik raporu, hattaki tüm istasyonlardaki durumu teker teker göstermektedir.

Modelde öncelikle 4. istasyonda kuyruk oluşmaya başlamıştır (istatistikten de görüleceği gibi 4. istasyona giren TV sayısı 155 iken 5.istasyona geçen TV sayısı 144’e düşüyor). Bu durum hattın bağımsız çalışan 5. istasyon, 6. istasyon ve 7. istasyonları da etkilemektedir. Bu istasyonda kuyruk oluşmasının bir sebebi de 5. istasyon, 6. istasyon ve 7. istasyonların hat üzerinde olmayıp hattın bağımsız ayrı bir yerleşim içinde olmalarıdır. Çünkü 4.istasyondan çıkan TV bir konveyör yardımı ile 5. istasyona geçmekte, dolayısıyla bu geçiş içerisinde yaklaşık 5 saniye süre kaybedilmektedir.

Dosya	Düzen	Biçim	Görünüm	Yardım							
Since Reset: 1:30:30.00											
T	B	Name	Total	Cur	Average	Capacity	Max	Min	Util	Av_Time	Av_wait
sta1			174	1	1.84	Infinite	2	0	--	57.36	--
sta2			173	9	4.34	Infinite	9	0	--	136.16	--
sta3			164	9	5.78	Infinite	9	0	--	191.43	--
sta4			155	11	9.20	Infinite	11	0	--	322.25	--
sta5			144	0	0.36	Infinite	1	0	--	13.62	--
sta6			144	2	1.36	Infinite	3	0	--	51.29	--
sta7			132	1	0.91	Infinite	1	0	--	37.24	--
sta8			142	10	5.99	Infinite	10	0	--	228.91	--
sta9			131	1	0.59	Infinite	2	0	--	24.57	--
sta10			130	11	2.85	Infinite	11	0	--	119.18	--
sta11			119	9	3.52	Infinite	9	0	--	160.66	--
sta12			110	8	4.05	Infinite	8	0	--	199.77	--
sta13			102	10	6.66	Infinite	11	0	--	354.79	--
sta14			76	1	0.88	Infinite	1	0	--	62.56	--
sta15			92	16	12.36	Infinite	16	0	--	729.65	--
sta16			74	0	0.30	Infinite	1	0	--	22.20	--
sta17			74	1	0.57	Infinite	1	0	--	41.53	--
sta18			73	0	0.49	Infinite	1	0	--	36.31	--
sta19			73	1	0.59	Infinite	1	0	--	43.81	--
sta20			72	0	0.57	Infinite	1	0	--	43.17	--
sta21			72	1	0.38	Infinite	1	0	--	28.61	--
sta22			71	0	0.43	Infinite	1	0	--	32.90	--
sta23			71	1	0.38	Infinite	1	0	--	28.85	--
sta24			70	0	0.38	Infinite	1	0	--	29.55	--
sta25			70	1	0.40	Infinite	1	0	--	31.31	--
sta26			69	0	0.41	Infinite	1	0	--	31.95	--
sta27			69	1	0.40	Infinite	1	0	--	31.81	--
sta28			68	0	0.36	Infinite	1	0	--	29.05	--

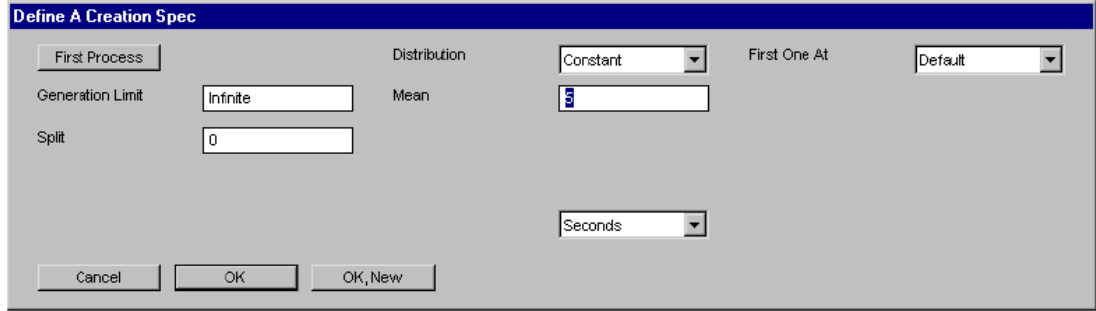
Şekil 4.23: Mevcut sistemin istasyonlar bazında istatistiksel raporu

Hat boyunca kuyruk oluşmasının sebepleri arasında mevcut iş istasyonlarının kronometraj ile ölçülmüş mevcut iş süreleri veya iş istasyonlarına aktarılmış düzensiz iş elemanları da sayılabilir. Dolayısıyla, bu kuyrukları ortadan kaldırmak veya hat üzerinde kuyrukları minimize etmek üzere iş istasyon sayıları, iş elemanları ve iş süreleri üzerinde aşağıdaki gibi iyileştirilmeler yapılmıştır.

Not: İstatistiklerde kapasite “infinite” bir diğer ifade ile sonsuz olarak geçmektedir. Sistemin bütünü ele alındığında işleyişin sürekliliğini sağlamak ve simülasyonun durmasını önlemek amacıyla model oluşturulurken “generation limit” sonsuz olarak kabul edilir. Dolayısıyla rapor indirildiğinde de kapasite sonsuz olarak görünmektedir.

Bir önemli faktör ise yapılan çalışmada insan kapasitesi sürekli 3 vardiya olarak çalıştığından sistem sınırlandırılmamıştır.

Yapılan çalışmada insan kapasitesi göz önüne alınmamıştır. Dolayısıyla böyle bir veri de alınmamıştır. Alınması düşünüldüğünde model oluşturulurken “limitation” olarak eklenebilir.



Şekil 4.24: Automod model Generation Limit durumu

Mevcut durumun maliyet çalışması aşağıda Tablo 4.4’te verilmiştir. Buna göre toplam 26 istasyon ve 40 operatör için (1 vardiya olarak değerlendirilmiştir) her bir iş istasyonunun işçilik maliyeti hesaplanmıştır. Toplam olarak 26 iş istasyonunun işçilik maliyeti 150,81 TL’dir. Ortalama olarak her bir iş istasyonunun maliyeti 3,77 TL olarak düşünülebilir.

Tablo 4.4: Mevcut Sistem Maliyet Analizi

İstasyonlar	Operatör sayıları	Vardiya Sayısı	1 vardiya çalışma süresi (dk)	Aylık işgünü sayısı	Mevcut Süre (sn)	1 TV için harcanan standart zaman (sn)	İş istasyonu İşçilik maliyeti	İşçilik aylık ücreti (TL)
1. İstasyon	1	1	435	30	783.000	26,36	8,42	2500
2. İstasyon	1	1	435	30	783.000	17,65	5,64	2500
3. İstasyon	1	1	435	30	783.000	18,76	5,99	2500
4. İstasyon	1	1	435	30	783.000	16,84	5,38	2500
5. İstasyon	2	1	435	30	1.566.000	13,62	4,35	2500
6. İstasyon	2	1	435	30	1.566.000	22,36	7,14	2500
7. İstasyon	1	1	435	30	783.000	19,75	6,31	2500
8. İstasyon	1	1	435	30	783.000	20,59	6,57	2500
9. İstasyon	1	1	435	30	783.000	18,93	6,04	2500
10. İstasyon	1	1	435	30	783.000	14,68	4,69	2500
11. İstasyon	1	1	435	30	783.000	27,22	8,69	2500
12. İstasyon	1	1	435	30	783.000	17,09	5,46	2500
13. İstasyon	1	1	435	30	783.000	17,76	5,67	2500
14. İstasyon	1	1	435	30	783.000	18,13	5,79	2500
15. İstasyon	1	1	435	30	783.000	22,21	7,09	2500
16. İstasyon	1	1	435	30	783.000	12,31	3,93	2500
17. İstasyon	1	1	435	30	783.000	22,01	7,03	2500
18. İstasyon	2	1	435	30	1.566.000	22,17	7,08	2500
19. İstasyon	1	1	435	30	783.000	5,9	1,88	2500
20. İstasyon	2	1	435	30	1.566.000	9,92	3,17	2500
21. İstasyon	1	1	435	30	783.000	15,09	4,82	2500
22. İstasyon	1	1	435	30	783.000	15,55	4,96	2500
23. İstasyon	1	1	435	30	783.000	16,49	5,27	2500
24. İstasyon	2	1	435	30	1.566.000	19,95	6,37	2500
25. İstasyon	1	1	435	30	783.000	20,96	6,69	2500
26. İstasyon	10	1	435	30	7.830.000	20,05	6,40	2500
Toplam	40				31.320.000		150,81	
Toplam İşçilik ücreti					10.000.000			
Birim işçilik ücreti/toplam işçi sayısı					0,3193			

5. BULGULAR VE TARTIŞMA

5.1. Uygulama 1

Bu uygulamada teknolojik öncelik diyagramı esas alınarak işlem sıralarına göre istasyonlara atamalar yapılmış ve dolayısıyla operatör sayılarında azaltılmaya gidilmiştir.

Televizyon montaj bölümünde yapılan hat dengeleme çalışması sonucu hat düzeninde adaletsiz denge yüklerini iş istasyonlarına düzgün bir şekilde dağıtacak bir takım iyileştirmeler yapılmış ve mevcut iş istasyonu sayısı 26'dan 22'ye, operatör sayısı da 40'tan 36'ya düşürülmüştür.

Uygulama 1'de öncelikle iş elemanları arasındaki pozisyonlandırma (hazırlık) süreleri matrisi, öncelik ilişkileri diyagramı matrisi (teknolojik diyagram) ve işlem süreleri matrisi girildi. İş elemanları iş istasyonlarına öncelik sırasına göre atandı. Toplam istasyon süresi ile istenen çevrim süresi karşılaştırıldı. Eğer “toplam istasyon süresi” $\leq$ “istenen çevrim süresi” ise iş elemanı istasyona atandı. Aksi halde, seçilen iş elemanı bir sonraki istasyona atanır. Buna göre yapılan iyileştirmeler sonrasında;

- İlk dört istasyonda yapılan tüm işlemler üç istasyona dengelenmiş, böylece ilk dört istasyondaki toplam 43,19 sn'lik boş süre 12,27 sn'ye düşürülmüştür.
- Dördüncü istasyon üçüncü istasyona atanmış, operatör sayısı 1 azalmış ve üçüncü istasyonun süresi 2,99 sn boş süreyle 27,71 sn'ye çıkmıştır.
- Dokuzuncu istasyon sekizinci istasyona atanmış, operatör sayısı 1 azalmış ve sekizinci istasyonun süresi 0,80 sn boş süreyle 29,8 sn'ye çıkmıştır.

- On dokuzuncu istasyon yirmi birinci istasyona atanmış, operatör sayısı 1 azalmış ve yirmi birinci istasyonun süresi 20,8 sn boş süreden 14,88 sn’ye düşmüştür.

Tablo 5.1: İş istasyonlarındaki operatör sayıları

İstasyonlar	Operatör sayıları
1. İstasyon	1
2. İstasyon	1
3. İstasyon	1
4. İstasyon	2
5. İstasyon	2
6. İstasyon	1
7. İstasyon	1
8. İstasyon	1
9. İstasyon	1
10. İstasyon	1
11. İstasyon	1
12. İstasyon	1
13. İstasyon	1
14. İstasyon	1
15. İstasyon	2
16. İstasyon	2
17. İstasyon	1
18. İstasyon	1
19. İstasyon	1
20. İstasyon	2
21. İstasyon	1
22. İstasyon	10
Toplam	36

Şekil 5.1’de de görüleceği gibi bu yapılan uygulamada 1 saat 30 dakika sonra model durdurulmuştur. Bu süre içerisinde 1. istasyona giren TV sayısı 110 iken son istasyondan 70 tane TV çıkmaktadır. Mevcut sistem ile kıyaslandığında ilk istasyona giren TV sayısı 110’dan 174’e çıkmış, son istasyondan çıkan TV sayısı da 68’den

70'e çıkmıştır. Ayrıca model çalıştırıldığında kuyruklarda ciddi bir azalma görülmüş olup, atıl zaman minimize edilmiştir.

Dosya	Düzen	Biçim	Görünüm	Yardım							
Since Reset: 1:30:01.00											
T	B	Name	Total	Cur	Average	Capacity	Max	Min	Util	Av_Time	Av_wait
sta1			110	2	2.00	Infinite	2	0	--	98.06	--
sta2			0	0	0.00	Infinite	0	0	--	0.00	--
sta3			108	2	1.96	Infinite	2	0	--	98.26	--
sta4			106	2	1.97	Infinite	2	0	--	100.54	--
sta5			104	1	0.26	Infinite	1	0	--	13.52	--
sta6			103	0	0.75	Infinite	2	0	--	39.38	--
sta7			102	1	0.86	Infinite	1	0	--	45.35	--
sta8			0	0	0.00	Infinite	0	0	--	0.00	--
sta9			101	1	0.94	Infinite	2	0	--	50.11	--
sta10			0	0	0.00	Infinite	0	0	--	0.00	--
sta11			90	10	7.88	Infinite	10	0	--	472.67	--
sta12			0	0	0.00	Infinite	0	0	--	0.00	--
sta13			80	2	1.81	Infinite	2	0	--	122.15	--
sta14			78	2	1.83	Infinite	2	0	--	126.99	--
sta15			0	0	0.00	Infinite	0	0	--	0.00	--
sta16			76	1	0.25	Infinite	1	0	--	18.06	--
sta17			75	0	0.56	Infinite	1	0	--	40.21	--
sta18			75	1	0.61	Infinite	1	0	--	43.64	--
sta19			74	1	0.60	Infinite	1	0	--	43.99	--
sta20			73	0	0.58	Infinite	1	0	--	43.17	--
sta21			0	0	0.00	Infinite	0	0	--	0.00	--
sta22			72	0	0.52	Infinite	1	0	--	38.82	--
sta23			72	1	0.39	Infinite	1	0	--	29.03	--
sta24			71	0	0.39	Infinite	1	0	--	29.55	--
sta25			71	0	0.41	Infinite	1	0	--	31.49	--
sta26			71	1	0.41	Infinite	1	0	--	31.51	--
sta27			70	0	0.41	Infinite	1	0	--	31.96	--
sta28			70	1	0.37	Infinite	1	0	--	28.67	--

Şekil 5.1: Uygulama 1'in istasyonlar bazında istatistiksel raporu

Uygulama 1'in matematiksel olarak performansı aşağıda hesaplanmıştır.

C = çevrim zamanı

T = işlem süresi

n(enk) = minimum istasyon sayısı

e = maksimum etkinlik olmak üzere

m = elde edilen istasyon sayısı

E = olanaklı dengenin etkinliği

$$C = \frac{T}{N} = \frac{435 \cdot 60}{850} = 30,70 \text{ sn}$$

$$e = \frac{\sum t}{n(\text{enk}) \cdot C} = \frac{473,30}{16 \cdot 30,70} = 0,94$$

$$E = \frac{\sum t}{m \cdot C} = \frac{473,30}{22 \cdot 30,70} = 0,70$$

D (%): yüzdelik bir oranda denge kaybı olmak üzere;

$$D (\%) = \frac{N \cdot C - \sum t}{N \cdot C} \cdot 100 = \frac{22 \cdot 30,70 - 473,30}{22 \cdot 30,70} \cdot 100 = 29$$

Buna göre olanaklı dengenin etkinliği 0,59'dan 0,70'e yükselmiştir.

Her zaman minimum düzeyde (ideali 0'dır) tutulmak istenen denge kaybı da %41'den %29'a düşmüştür.

5.2. Uygulama 2

Uygulama 1 üzerinden bu defa son montaj hattı üzerinde hareket etmeyen 5. istasyon, 6. istasyon ve 7. istasyonlar hat üzerine yerleştirilmiştir. Dolayısıyla 4. istasyondan çıkan TV bir konveyör yardımı ile 5. istasyona geçmekte, dolayısıyla istasyonlar arası geçen 5'er saniyelik süre kaybı ortadan kaldırılmaktadır.

Operatör sayıları ve istasyon sayılarında oynama olmamıştır. Operatör sayısı 36, iş istasyonu sayısı da 22'dir.

Şekil 5.2'de de görüleceği gibi bu yapılan uygulamada 1 saat 30 dakika sonra model durdurulmuştur. Bu süre içerisinde 1. istasyona giren TV sayısı 194 iken son istasyondan 65 tane TV çıkmaktadır. Ayrıca uygulama 1'e kıyasla da sisteme giren TV sayısı 110'dan 194'e çıkarak artış görülmüştür. Diğer taraftan da sistemden çıkan TV sayısı 65 olduğundan hala bazı istasyonlarda kuyrukların oluştuğu görülmektedir. Dolayısıyla birinci istasyona giren TV sayısının artmış olması sistemin dengelendiği anlamına gelmemektedir.

Toplamdaki istasyon sayısına bakıldığında 22 adet istasyon vardır. Ancak sıralamaya bakıldığında normalde 0 olarak görülen istasyonlar mevcuttur. Bu istasyonlar kullanılmayan ve iş atanmayan istasyonlardır. Örneğin ürün, istasyon 1'den istasyon 3'e atlamış ve istasyon 2 kaynak dosyada tanımlanmamış olduğundan 0 olarak görülmektedir.

since Reset: 1:30:07.00

T	B	Name	Total	Cur	Average	Capacity	Max	Min	Util	Av_Time	Av_Wait
		sta1	194	2	1.96	Infinite	2	0	--	54.68	--
		sta2	192	1	1.45	Infinite	2	0	--	40.86	--
		sta3	191	2	1.33	Infinite	2	0	--	37.76	--
		sta4	189	1	1.14	Infinite	2	0	--	32.55	--
		sta5	188	21	3.18	Infinite	21	0	--	91.51	--
		sta6	167	24	7.30	Infinite	24	0	--	236.21	--
		sta7	143	23	11.16	Infinite	24	0	--	422.07	--
		sta8	120	20	12.90	Infinite	21	0	--	581.14	--
		sta9	100	15	11.68	Infinite	16	0	--	631.60	--
		sta10	85	14	12.66	Infinite	15	0	--	805.43	--
		sta11	70	0	0.23	Infinite	1	0	--	18.13	--
		sta12	70	1	0.48	Infinite	1	0	--	37.21	--
		sta13	69	0	0.47	Infinite	1	0	--	36.95	--
		sta14	69	1	0.51	Infinite	1	0	--	39.92	--
		sta15	68	0	0.49	Infinite	1	0	--	39.17	--
		sta16	68	1	0.40	Infinite	1	0	--	31.73	--
		sta17	67	0	0.36	Infinite	1	0	--	29.09	--
		sta18	67	0	0.38	Infinite	1	0	--	30.55	--
		sta19	67	1	0.41	Infinite	1	0	--	33.07	--
		sta20	66	0	0.48	Infinite	1	0	--	38.95	--
		sta21	66	1	0.47	Infinite	1	0	--	38.43	--
		sta22	65	1	0.47	Infinite	1	0	--	39.01	--

Şekil 5.2: Uygulama 2'in istasyonlar bazında istatistiksel raporu

Uygulama 2'nin matematiksel olarak performansı aşağıda hesaplanmıştır.

C = çevrim zamanı

T = işlem süresi

n(enk) = minimum istasyon sayısı

e = maksimum etkinlik olmak üzere

m = elde edilen istasyon sayısı

E = olanaklı dengenin etkinliği

$$C = \frac{T}{N} = \frac{435 \cdot 60}{850} = 30,70 \text{sn}$$

$$e = \frac{\sum t}{n(\text{enk}) \cdot C} = \frac{463,30}{16 \cdot 30,70} = 0,94$$

$$E = \frac{\sum t}{m \cdot C} = \frac{463,30}{22 \cdot 30,70} = 0,68$$

D (%): yüzdelik bir oranda denge kaybı olmak üzere;

$$D (\%) = \frac{N \cdot C - \sum t}{N \cdot C} \cdot 100 = \frac{22 \cdot 30,70 - 463,30}{22 \cdot 30,70} \cdot 100 = 31$$

Yapılan uygulama sonucunda mevcut iş istasyonu sayısı ve operatör sayısı değişmemek kaydıyla toplam süre 10 saniye azaldığından bu defa hesaplamalarımızı 453,30 saniye olarak aldık.

Olanaklı dengenin etkinliği 0,70'ten 0,68'e düşmüştür.

Her zaman minimum düzeyde (ideali 0'dır) tutulmak istenen denge kaybı da %29'dan %31'e yükselmiştir. Uygulama 2'nin performans kriterleri incelendiğinde oluşan modelin olumsuz olması gerekirken sistem çalıştığında istasyonlarda kuyruklar azalmış olduğundan bir başarı kriteri olarak değerlendirilmelidir.

5.3. Uygulama 3

Uygulama 2 üzerinden bu defa U şeklindeki hattın diğer tarafına geçişi sağlayan 13. istasyon ve 14. istasyonlarda oluşan kuyrukları azaltmak için 13. istasyondan önce ve 14. istasyondan önce birer istasyon eklenmiştir. Böylece 13. istasyondan hemen önce yerleştirilen istasyona 16.58 sn'lik yük atanmış olup, 13. istasyonun iş yükü 12 saniye olarak kalmıştır.

14. istasyondan hemen önce yerleştirilen istasyona 10.15 sn'lik yük atanmış olup, 14. istasyonun iş yükü 12 saniye olarak kalmıştır.

Yapılan bu işlemler sonunda operatör sayısı 36'dan 38'e, iş istasyonu sayısı da 22'den 24'e yükseltilmiştir.

Şekil 5.3'de de görüleceği gibi, bu yapılan uygulamada 1 saat 30 dakika sonra model durdurulmuştur. Bu süre içerisinde 1. istasyona giren TV sayısı 130 iken son istasyondan 92 tane TV çıkmaktadır. Mevcut sisteme ve uygulama 1 ve 2'ye kıyasla tüm kuyruklarda ciddi bir azalma görülmekte olup, atıl zaman minimize edilmiştir. Diğer taraftan sisteme giren TV sayısında azalma olmasına rağmen model çalıştığında kuyrukların en az oluştuğu model uygulama 3'te görülmektedir.

Toplamdaki istasyon sayısına bakıldığında 24 adet istasyon vardır. Ancak sıralamaya bakıldığında normalde 0 olarak görülen istasyonlar mevcuttur. Bu istasyonlar kullanılmayan ve iş atanmayan istasyonlardır. Örneğin ürün istasyon 1'den istasyon 3'e atlamış olup, istasyon 2 kaynak dosyada tanımlanmamış olduğundan 0 olarak görülmektedir.

Dosya	Düzen	Biçim	Görünüm	Yardım							
Since Reset: 1:30:07.00											
T	B	Name	Total	Cur	Average	Capacity	Max	Min	Util	Av_Time	Av_wait
sta1			130	2	2.00	Infinite	2	0	--	83.07	--
sta2			0	0	0.00	Infinite	0	0	--	0.00	--
sta3			128	2	1.96	Infinite	2	0	--	83.00	--
sta4			126	2	1.97	Infinite	2	0	--	84.67	--
sta5			124	1	0.31	Infinite	1	0	--	13.54	--
sta6			123	1	0.89	Infinite	2	0	--	39.32	--
sta7			122	1	0.78	Infinite	1	0	--	34.72	--
sta8			0	0	0.00	Infinite	0	0	--	0.00	--
sta9			121	1	0.66	Infinite	1	0	--	29.70	--
sta10			0	0	0.00	Infinite	0	0	--	0.00	--
sta11			120	10	1.75	Infinite	10	0	--	78.86	--
sta12			0	0	0.00	Infinite	0	0	--	0.00	--
sta13			97	5	2.71	Infinite	5	0	--	150.82	--
sta14			76	1	0.88	Infinite	1	0	--	62.58	--
sta15			0	0	0.00	Infinite	0	0	--	0.00	--
sta16			75	1	0.25	Infinite	1	0	--	18.08	--
sta17			74	0	0.55	Infinite	1	0	--	40.21	--
sta18			74	1	0.60	Infinite	1	0	--	43.65	--
sta19			73	1	0.59	Infinite	1	0	--	44.00	--
sta20			72	0	0.57	Infinite	1	0	--	43.17	--
sta21			0	0	0.00	Infinite	0	0	--	0.00	--
sta22			71	0	0.51	Infinite	1	0	--	38.82	--
sta23			71	1	0.38	Infinite	1	0	--	29.05	--
sta24			70	0	0.38	Infinite	1	0	--	29.55	--
sta25			70	0	0.41	Infinite	1	0	--	31.49	--
sta26			70	1	0.41	Infinite	1	0	--	31.52	--
sta27			69	0	0.41	Infinite	1	0	--	31.96	--
sta28			69	1	0.37	Infinite	1	0	--	28.68	--
sta29			103	6	3.01	Infinite	7	0	--	157.82	--
sta30			92	7	4.69	Infinite	7	0	--	275.57	--

Şekil 5.3: Uygulama 3'ün istasyonlar bazında istatistiksel raporu

Uygulama 3'ün matematiksel olarak performansı aşağıda hesaplanmıştır.

C = çevrim zamanı

T = işlem süresi

n(enk) = minimum istasyon sayısı

e = maksimum etkinlik olmak üzere

m = elde edilen istasyon sayısı

E = olanaklı dengenin etkinliği

$$C = \frac{T}{N} = \frac{435 \cdot 60}{850} = 30,70 \text{ sn}$$

$$e = \frac{\sum t}{n(enk)*C} = \frac{473,30}{16*30,70} = 0,94$$

$$E = \frac{\sum t}{m*C} = \frac{473,30}{24*30,70} = 0,64$$

D (%): yüzdelik bir oranda denge kaybı olmak üzere;

$$D (%) = \frac{N*C - \sum t}{N*C} * 100 = \frac{24*30,70 - 473,30}{24*30,70} * 100 = 35$$

Olanaklı dengenin etkinliği 0,68'den 0,64'e düşmüştür.

Her zaman minimum düzeyde (ideali 0'dır) tutulmak istenen denge kaybı da %31'den %35'e yükselmiştir. Uygulama 3'ün performans kriterlerine baktığımızda ve uygulama 2 ile karşılaştırıldığında hattaki kuyrukları da düşünerek hala beklenen optimum düzeye ulaşılmadığı görülmektedir.

5.4. Uygulama 4

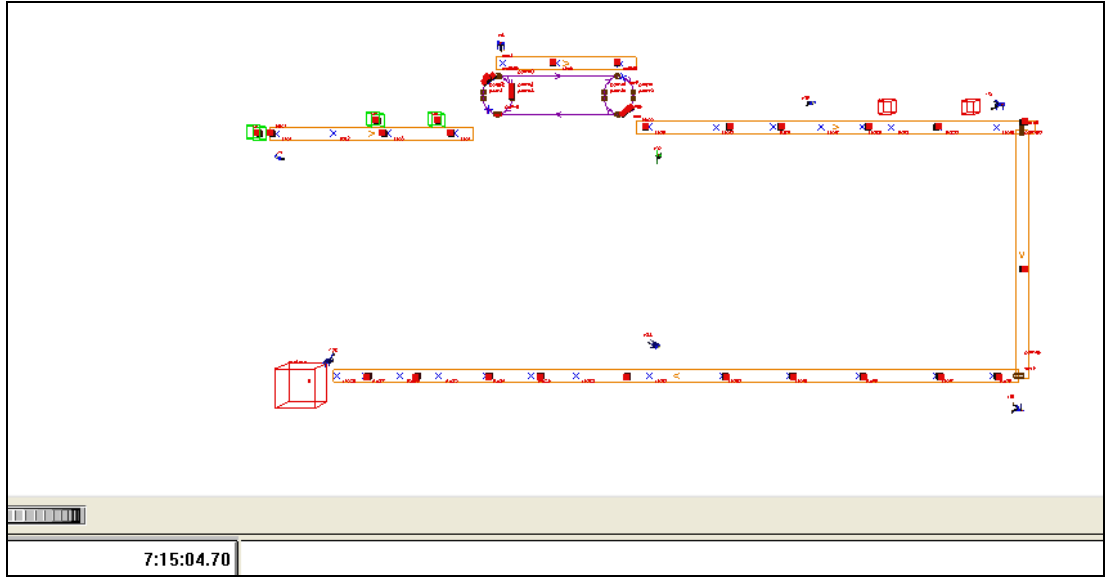
Uygulama 3 üzerinden bu defa istasyon 15'ten istasyon 16'ya geçişi sağlayan asansör sistemi ortadan kaldırılmış, böylece asansörlerde geçen 10 saniyelik süre çıkarılıp; toplam süre 463,30 saniye alınarak bir uygulama yapılmıştır. Burada önerilen model, hat üzerinde asansör ile taşımanın ortadan kaldırılarak 15. ve 16. istasyonlar arasındaki taşımanın yine konveyör sistem ile gerçekleşmesidir.

Bahsedilen fikir doğrultusunda yapılan uygulamanın detayları aşağıdadır.

İstasyon sayısı uygulama 3'teki gibi 24 ve operatör sayısı da 38 olarak değerlendirilmiştir.

Şekil 5.5'te de görüleceği gibi bu yapılan uygulamada 7 saat 15 dakika sonra model durdurulmuştur. Dolayısıyla teorik olarak 1 vardiyada tamamlanması beklenen 850 adet TV'nin yeni uygulamada 600 adetinin tamamlandığı görülmüştür.

7 saat 15 dakika sonra, Şekil 5.4'te de görüldüğü gibi modelde daha önceki uygulamada görülen kuyruklar da ortadan kalkmaktadır. Ayrıca Şekil 5.5'te de görüleceği gibi 1. istasyona giren TV sayısı 613 iken son istasyondan 600 tane TV çıkmaktadır. Mevcut sisteme ve uygulama 1, 2 ve 3'e kıyasla optimum çözüm olduğu görülmekte olup, atıl zaman minimize edilmiştir.



Şekil 5.4: Uygulama 4 model görüntüleme

Since Reset: 7:15:04.70

T	B	Name	Total	Cur	Average	Capacity	Max	Min	Util	Av_Time	Av_Wait
sta1	613	2	2.00	Infinite	2	0	--	85.15	--		
sta2	0	0	0.00	Infinite	0	0	--	0.00	--		
sta3	611	2	1.99	Infinite	2	0	--	85.12	--		
sta4	609	2	1.99	Infinite	2	0	--	85.48	--		
sta5	606	0	0.32	Infinite	1	0	--	13.62	--		
sta6	606	1	0.91	Infinite	2	0	--	39.34	--		
sta7	605	1	0.80	Infinite	1	0	--	34.66	--		
sta8	0	0	0.00	Infinite	0	0	--	0.00	--		
sta9	604	1	0.69	Infinite	1	0	--	29.77	--		
sta10	0	0	0.00	Infinite	0	0	--	0.00	--		
sta11	603	1	1.03	Infinite	2	0	--	44.62	--		
sta12	0	0	0.00	Infinite	0	0	--	0.00	--		
sta13	601	1	0.52	Infinite	1	0	--	22.55	--		
sta14	599	0	0.23	Infinite	1	0	--	10.00	--		
sta15	0	0	0.00	Infinite	0	0	--	0.00	--		
sta16	599	3	2.47	Infinite	3	0	--	107.86	--		
sta17	596	1	0.92	Infinite	2	0	--	40.19	--		
sta18	595	1	1.00	Infinite	2	0	--	43.93	--		
sta19	594	1	1.00	Infinite	2	0	--	43.99	--		
sta20	593	1	0.98	Infinite	2	0	--	43.15	--		
sta21	0	0	0.00	Infinite	0	0	--	0.00	--		
sta22	592	1	0.88	Infinite	2	0	--	38.77	--		
sta23	591	1	0.66	Infinite	1	0	--	29.06	--		
sta24	590	1	0.67	Infinite	1	0	--	29.54	--		
sta25	589	0	0.71	Infinite	1	0	--	31.49	--		
sta26	589	1	0.72	Infinite	1	0	--	31.91	--		
sta27	588	1	0.72	Infinite	1	0	--	31.94	--		
sta28	587	0	0.65	Infinite	1	0	--	29.05	--		
sta29	601	0	0.66	Infinite	1	0	--	28.58	--		
sta30	600	1	0.62	Infinite	1	0	--	27.14	--		

Şekil 5.5: Uygulama 4'ün istasyonlar bazında istatistiksel raporu

Uygulama 4'ün matematiksel olarak performansı aşağıda hesaplanmıştır.

C = çevrim zamanı

T = işlem süresi

n(enk) = minimum istasyon sayısı

e = maksimum etkinlik olmak üzere

m = elde edilen istasyon sayısı

E = olanaklı dengenin etkinliği

$$C = \frac{T}{N} = \frac{435 \cdot 60}{850} = 30,70 \text{ sn}$$

$$e = \frac{\sum t}{n(\text{enk}) \cdot C} = \frac{473,30}{16 \cdot 30,70} = 0,94$$

$$E = \frac{\sum t}{m \cdot C} = \frac{473,30}{24 \cdot 30,70} = 0,64$$

D (%): yüzdeler bir oranda denge kaybı olmak üzere;

$$D (\%) = \frac{N \cdot C - \sum t}{N \cdot C} \cdot 100 = \frac{24 \cdot 30,70 - 473,30}{24 \cdot 30,70} \cdot 100 = 35$$

Olanaklı dengenin etkinliği 0,68'den 0,64'e düşmüş, her zaman minimum düzeyde (ideali 0'dır) tutulmak istenen denge kaybı da %31'den %35'e yükselmiştir. Ancak diğeri uygulamalar ile karşılaştırıldığında, ilk ve son istasyonlardan çıkan TV sayısına bakıldığında uygulama 4'ün beklenen optimum düzeye ulaştığını görmekteyiz.

Uygulama 4'ün maliyet çalışmasında ise istasyon sayısı 24'e ve operatör sayısı da 38'e indirildiğinden (1 vardiya olarak değerlendirilmiştir); toplam 24 iş istasyonunun işçilik maliyeti %5 oranında düşürülmüştür. Toplam olarak 24 iş istasyonunun işçilik maliyeti 143,27 TL'dir. Ortalama olarak her bir iş istasyonunun maliyeti 3,77 TL olarak düşünülebilir.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Automod programı ile kurulan model üzerinde istasyon sayısı, süreler veya operatör sayıları üzerinde değişiklik yapıp sistemin bilgisayar ortamında çalışması mümkündür. Dolayısıyla operatör, tesis tasarımı gibi maliyetler de göz önüne alınarak mevcut sistem için birçok iyileştirme denenip sonrasında hayata geçirilebilir.

Daha önce bu çalışma sadece sezgisel yöntemler kullanılarak yapıp bir denge kurulmuş olsa da, simülasyon yöntemi ile çözüldüğünde sistemde hala kuyrukların ve atıl zamanın oluştuğu görülmektedir. Dolayısıyla mevcut durum bilgisayar ortamında görüldüğünden, eksiklikler daha net ortaya konulmaktadır.

Matematiksel olarak performans değerlerine bakıldığında (uygulama 1 ve uygulama 2) sistemin etkinliği ve denge kaybı istenen değerlerde olsa da (sistem etkinliğinde artış, denge kaybında azalış görülse de) model çalıştırıldığında hala iş istasyonlarında kuyruklar oluştuğundan, istenen optimum çözüm uygulama 1 veya 2'dir diyemeyiz.

Dolayısıyla her ne kadar uygulama 3'te operatör sayısı ve istasyon sayısı artırılmış olsa da, uygulama 1 ve 2'ye kıyasla 1. istasyona giren TV sayısı ve son istasyondan çıkan TV sayısı düşünüldüğünde, uygulama 3'ün en az kuyruğun oluştuğu uygulama olduğunu söylemek mümkün değildir; bunun nedeni; hala kuyruk oluşumunun devam etmesidir. Buna mukabil; uygulama 4'te, uygulama 3'e göre operatör ve istasyon sayıları değişmemiş olmakla birlikte, asansörden vazgeçilerek konveyör uygulaması ile süre kazanımı sağlanmasının yanı sıra, sistem 7 saat 15 dakika süre ile çalıştırılmış ve sistemde herhangi bir kuyruk oluşumu gözlenmemiştir.

Sistem parametrelerden dolayı farklı uygulamalara açık olduğundan; günlük talep edilen ürün sayısı, istenen operatör sayısı, hat uzunluğu, tesis tasarımı gibi tüm faktörler uygulanarak daha iyi çözümlere ulaşmak da mümkündür.

Geliştirilen prosedür, montaj hattı dengelemenin iki önemli maliyet unsurundan biri olan görevlerin tamamlanmama maliyetini düşürürken, diğer önemli maliyet olan işgücü maliyetinde iyileştirme sağlamış olmaktadır.

Bu araştırmanın ileride yapılacak olan çalışmalara ışık tutacağı düşünülmekte olup, çalışmanın devamı olarak aşağıdaki farklı araştırmalara odaklanması düşünülmektedir.

- ✓ Görev zamanları için öncelik sırası esasına göre çalışılması,
- ✓ Farklı seçim kriterlerinin denenmesi,
- ✓ Yürüme ve bekleme zamanlarının dikkate alınması,
- ✓ İleriye dönük olarak, operatörlerin farklı kombinasyonları ve birleştirilmiş halleri ele alınarak montaj hattı dengeleme problemlerinde yaratacağı sonuçların incelenebileceği düşünülmektedir.

Yapılan açıklamalardan kolayca görüleceği gibi gerçek hayat problemlerinin çoğunda simülasyon, modelleme sistemlerinin tanımlanmasında kullanılan en önemli çözümleme yöntemlerinden biridir. Özellikle fiziksel olarak gerçekleştirilmesi mümkün olmayan sistemlerde bu yöntemlerin kullanımı kaçınılmaz olmaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] Dönüşüm Konağı Psikoloji Enstitüsü, “*Simulasyon ve Modelleme Nedir*”, [http://www.donusumkonagi.net/makale.asp?id=2292&baslik=simulasyon_ve_modelleme_nedir_\[online\]](http://www.donusumkonagi.net/makale.asp?id=2292&baslik=simulasyon_ve_modelleme_nedir_[online]), (**Ziyaret Tarihi, 26 Mayıs 2009**).
- [2] Hançerlioğulları, A., “Monte Carlo Simülasyonu Metodu ve MCNP Kod Sistemi”, *Kastamonu Eğitim Dergisi*, **vol:14, no:2**, 545-556, (2006).
- [3] Özden Ü. H., 2008 İstanbul Ticaret Üniversitesi, <http://www.unalozden.com/DOWNLOAD/simulasyon.pdf>, [online], (**Ziyaret Tarihi, 10 Mart 2009**).
- [4] Özdemir, R.G., Ayağ, Z., Çakır, D., “Hazırlık sürelerinin azaltılması için bir hat dengeleme modeli”, YA/EM (Yöneylem Araştırması/Endüstri Mühendisliği), **XXIV Ulusal Kongresi**, Gaziantep - Adana 15-18 Haziran (2004).
- [5] Kılınççı, Ö., “Basit Montaj Hattı Dengeleme Problemi Çözümü için Bir Petri Ağı Yaklaşımı”, *DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, **vol:6, no:2**, 1-15, (2004).
- [6] Kalender F. Y., Yılmaz, M. M., ve Türkbey, O., “Montaj Hattı Dengeleme Problemine Bulanık Bir Yaklaşım” *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, **vol:23, no:1**, 129-138, (2008).
- [7] Günay, K., Çetin, T., Baykoç, Ö. F., “Montaj Hattı Dengelemede Geleneksel ve U tipi Hatların Karşılaştırılması ve Bir Uygulama Çalışması”, *Teknoloji*, **vol:7, no:3**, 351-359, (2004).
- [8] Çelikçapa O. F., “Üretim Planlaması”, İstanbul, 116-138, (1999).
- [9] Uzmen, M., “Montaj Hattı Dengeleme”, *İTÜ Fen Bilimler Enstitüsü*, 32, (1990).
- [10] Küçük, B. Kesintürk, T., “Montaj Hattı Dengelemede Genetik Algoritma Operatörlerinin Etkinliklerinin Araştırılması”, YA/EM (Yöneylem Araştırması/Endüstri Mühendisliği), **XXVI. Ulusal Kongresi**, Kocaeli 390, 3 – 5 Temmuz, (2006).
- [11] Nitelik, S., “Montaj Hattı Dengeleme, Beko Elektronik A.Ş. Televizyon Fabrikası İşletmesinde Bir Montaj Hattı Dengeleme Uygulaması”, Lisans Tezi, *Kocaeli Üniversitesi*, Kocaeli, 46-112, (2002).
- [12] Kobu B., “Üretim Yönetimi”, 10. Baskı, İstanbul, 170- 171, (1999).

- [13] Acar, N., Eştaş, S., “Kesikli Seri Üretim Sistemlerinde Planlama ve Kontrol Çalışmaları”, MPM Yayınları No: 309, s 33, (1991).
- [14] Aydoğan, E. K., Gencer, C., Gökçen, H. ve Ağpak, K., “Basit U Tipi Montaj Hattı Dengeleme Problemi için Yeni Bir Optimal Çözüm Yöntemi: En Kısa Yol Modeli”, YA/EM, **XXIV Ulusal Kongresi**, (2004).
- [15] Ağpak K. Gökçen H., Saray N. ve Özel S., “Stokastik Görev Zamanlı Tek Modelli U Tipi Montaj Hattı Dengeleme Problemleri için Bir Sezgisel” Gazi Üniversitesi, **Mühendislik Mimarlık Fakültesi Derneği**, vol:17, no:4, 115-124, (2002).
- [16] Arzu B.T., “Simülasyon Nedir?” <http://bilgibirikimi.tripod.com/sim.htm>, [online], (**Ziyaret Tarihi 05 Mayıs 2009**).
- [17] Render, B., Stair R., M., "Quantitative Analysis for Management" A.B.D., **Allyn and Bacon** , 671, (1991).
- [18] Halaç, O., “Kantitatif Karar Verme Teknikleri”, 3. Baskı, **Evrin Dağıtım**, İstanbul, (1991).
- [19] Erkut, H. Baskak, M. “Stratejiden Uygulamaya, Tesis Tasarımı”, 2. Baskı, **İrfan Yayımcılık**, İstanbul, 357, (1997).
- [20] Banks, J., Carson B. ve Nelson D. M., “Discrete-Event System Simulation”, **Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall**, (2001).
- [21] Hasgül, S., Öztürk, Z. K., “Açık öğretim Fakültesinde Öğrenci Sayısı Tahmininde Benzetim Yaklaşımı”, YA/EM, **XXIV Ulusal Kongresi**, Gaziantep – Adana, 15-18 Haziran, (2004).
- [22] Radzicki, M. J., “Introduction to System Dynamics Understanding Complex Policy Issues”, Version 1.0, **Sustainable Solutions, Inc.** (1997).
- [23] Bateman, R. E., “System Improvement Using Simulation Promodel Corporation”, **Utah**, 173, (1997).
- [24] Jelsoft Enterprises Ltd., (2000), Simülasyon ve Modelleme nedir? <http://www.ofismuhendis.com/showthread.php?p=2740>, [online], (**Ziyaret tarihi, 17 Ocak 2009**).
- [25] Benzetim Yazılımları, “END3032 Sistem Simülasyonu”, www20.uludag.edu.tr/~akansel/END3032-3.ppt, [online], (**Ziyaret Tarihi, 05 Mayıs 2009**).
- [26] Chuck, D. K., “Bir Mekanik Montaj Üretim Hattının Sanal Gerçeklik Benzetimi”, McLean İmalat Sistemleri Entegrasyon Bölümü Ulusal Standartlar ve Teknoloji Enstitüsü, **ABD**, (2008).

[27] Or İ., Duman E., “Sipariş Toplama Esası ile Çalışan Bir Mamül Ambarında Ürün Yerleşim ve İşletme Politikalarının Tasarım ve Geliştirilmesi”, , **Endüstri Mühendisliği Dergisi**, vol: 6 no: 1, 8 (1995).

[28] Banks, J., “Getting Started with AutoMod”, 2nd edition, **Brooks Automation, Inc.** , United States of America, s. 65, (2004).

ÖZGEÇMİŞ

1966 yılında Erzincan’da doğdu. İlk ve ortaokulu Balıkesir Edremit’te, liseyi 1980-1984 yılları arasında Heybeliada İstanbul’da, Deniz Harp Okulunu 1984-1988 yılları arasında Heybeliada ve Tuzla’da tamamlayarak, Teğmen rütbesi ile mezun oldu. Donanmadaki çalışmalarının yanında 2001 yılında girdiği Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü’nden 7 adet fark dersini tamamlamayı müteakip 2002 yılında Endüstri Mühendisi olarak mezun oldu. Girdiği Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans Eğitimine 2002 yılında başlamış olup, evli ve iki erkek çocuk babasıdır.