

**ESNEK ÜRETİM SİSTEMLERİNİN SÜREÇ TABANLI PETRİ  
AĞLARI İLE MODELLENMESİ**

**MODELING OF FLEXIBLE MANUFACTURING SYSTEMS  
WITH PROCESS BASED PETRI NETS**

**ALİ KOÇ**

**PROF.DR. MURAT CANER TESTİK**

**Tez Danışmanı**

Hacettepe Üniversitesi  
Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin  
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı için Öngördüğü  
YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak hazırlanmıştır.

2017

Ali KOÇ' un hazırladığı "Esnek Üretim Sistemlerinin Süreç Tabanlı Petri Ağları İle Modellenmesi" adlı bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI' nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Yrd. Doç. Dr. Mehmet GÜLŞEN

Başkan



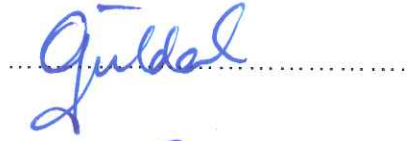
Prof. Dr. Murat Caner TESTİK

Danışman



Yrd. Doç. Dr. Güldal GÜLERYÜZ

Üye



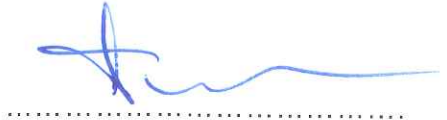
Yrd. Doç. Dr. Serhat GÜL

Üye



Yrd. Doç. Dr. Ceren Tuncer ŞAKAR

Üye



Bu tez Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak onaylanmıştır.

Prof. Dr. Menemşe GÜMÜŞDERELİOĞLU  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

## YAYINLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI BEYANI

Enstitü tarafından onaylanan lisansüstü tezimin/raporumun tamamını veya herhangi bir kısmını, basılı (kağıt) ve elektronik formatta arşivleme ve aşağıda verilen koşullarla kullanıma açma iznini Hacettepe Üniversitesine verdiğimi bildiririm. Bu izinle Üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet haklarım bende kalacak, tezimin tamamının ya da bir bölümünün gelecekteki çalışmalarda (makale, kitap, lisans ve patent vb.) kullanım hakları bana ait olacaktır.

Tezin kendi orijinal çalışmam olduğunu, başkalarının haklarını ihlal etmediğimi ve tezimin tek yetkili sahibi olduğumu beyan ve taahhüt ederim. Tezimde yer alan telif hakkı bulunan ve sahiplerinden yazılı izin alınarak kullanması zorunlu metinlerin yazılı izin alarak kullandığımı ve istenildiğinde suretlerini Üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederim.

- Tezimin/Raporumun tamamı dünya çapında erişime açılabilir ve bir kısmı veya tamamının fotokopisi alınabilir.**


(Bu seçenekle teziniz arama motorlarında indekslenebilecek, daha sonra tezinizin erişim statüsünün değiştirilmesini talep etmeniz ve kütüphane bu talebinizi yerine getirirse bile, tezinin arama motorlarının önbelleklerinde kalmaya devam edebilecektir.)

- Tezimin/Raporumun ..... tarihine kadar erişime açılmasını ve fotokopi alınmasını (İç Kapak, Özet, İçindekiler ve Kaynakça hariç) istemiyorum.**

(Bu sürenin sonunda uzatma için başvuruda bulunmadığım takdirde, tezimin/raporumun tamamı her yerden erişime açılabilir, kaynak gösterilmek şartıyla bir kısmı ve ya tamamının fotokopisi alınabilir)

- Tezimin/Raporumun ..... tarihine kadar erişime açılmasını istemiyorum, ancak kaynak gösterilmek şartıyla bir kısmı veya tamamının fotokopisinin alınmasını onaylıyorum.**

- Serbest Seçenek/Yazarın Seçimi**

Al. KOÇ  
  
03 10/2017

## ETİK

Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada,

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

TARİH: 03.04.2017



ALİ KOÇ

## ÖZET

# ESNEK ÜRETİM SİSTEMLERİNİN SÜREÇ TABANLI PETRİ AĞLARI İLE MODELLENMESİ

**Ali KOÇ**

**Yüksek Lisans, Endüstri Mühendisliği Bölümü**

**Tez Danışmanı: Prof. Dr. Murat Caner Testik**

**Nisan 2017, 56 sayfa**

Esnek üretim sistemleri, çağdaş imalat sistemleri arasında yeni bir rekabet gücü olarak görülmektedir. Ne var ki bu sistemler; üreticiye sunduğu bir çok avantajla birlikte, planlama ve modelleme aşamasında oldukça karmaşık çözümlene yöntemlerini beraberinde getirmiştir. Yapılan çalışmada bir esnek üretim sistemi ele alınmış, bunun modellenmesi hususunda iki farklı yaklaşımın birleştirilmesi gerçekleştirilmiştir. Bu birleştirmede nesne odaklı modelleme yöntemi ve süreç tabanlı Petri Ağları kullanılarak bazı avantajlar elde edilmiştir. Nesne odaklı modelleme yöntemi, ilgilenecek her süreci birimsel düzeyde ele alarak; süreçlerin belirlenen ana hat üzerinden ihtiyaca göre eklenip çıkarılabilmesi temeline dayandırılmıştır. Bu sayede, esnek üretim sistemi modeline yeniden ayarlanabilirlik özelliği katılması amaçlanmıştır. Her hangi bir esnek üretim sisteminde kullanılacak alt süreçler, sınıflar halinde gruplandırılmış ve alt süreçlere ortak modelleme yapıları atanmıştır. Modelleme yapıları oluşturulurken süreç tabanlı Petri Ağları'ndan faydalanılmıştır.

Çalışmada esnek üretim sistemleri ve Petri Ağları üzerine geniş bir literatür araştırması yapıldıktan sonra bu iki yaklaşımın nasıl birleştirilebileceği ortaya konmuş ve daha önce yapılmamış bir çalışma olarak süreç tabanlı Petri Ağları ile nesne odaklı modelleme yöntemi senkronize edilip yeni bir yaklaşım geliştirilmiştir.

Öne sürülen yaklaşımda, bir esnek üretim sisteminin modellenebilmesi için gereken adımlar belirlenmiştir. Sıralanan bu adımların hayata geçirilebilmesi için “1XYZ nesne sınıflandırması gösterimi” ve “süreç tabanlı Petri Ağları’nın 101 notasyonu” olmak üzere iki gösterim tekniğinden faydalanılmıştır.

1XYZ nesne sınıflandırması gösterimine göre bütün süreçler “operasyonlar” başlığı altında birleştirilmiş ve her sınıf alt sınıflarıyla birlikte kodlama yapılarak bireyselleştirilmiştir. Başka bir deyişle; bu gösterim tekniğine göre her bir süreç kendine özgü bir kodla tanımlanmıştır. Bu sayede sisteme katılmak istenen her süreç önceden bilinebilecek, listelenebilecek ve modelleme yapacak tasarımcının işini kolaylaştıracaktır. Aynı zamanda bu gösterim tekniğiyle, sisteme birimsel alt elemanlardan oluşan bir görünüm kazandırılarak model tasarlama sürecine yeniden ayarlanabilirlik özelliği getirilmiştir. Bu anlayışla modelin esneklik kabiliyetinin artacağı hedeflenmiştir.

Süreç Tabanlı Petri Ağları’nın 101 notasyonu ile de sınıflara ayrılmış süreçler için ortak bir gösterim mantığı oluşturulmuş ve bu mantık iki aşamada ele alınmıştır. Bunlardan birincisi ana hat düzeyinde süreç tabanlı Petri Ağları’nın 101 notasyonu, diğeri ise istasyon düzeyinde süreç tabanlı Petri Ağları’nın 101 notasyonudur. Bu sayede tasarımcıya modelleme aşamasında, imalathaneyi tanıtan bir modelin nasıl ortaya konacağı belirtilmiş ve imalathane içerisindeki istasyonlar seviyesinde gerçekleştirilen işlemlere ana hat modeli içerisinde nasıl yer verileceği gösterilmiştir. Daha sonraki aşamada bu iki gösterim esnek üretim sistemlerine uyarlanabilen tarzda birleştirilip, tasarımcıya tasarlayacağı sistemi böyle bir yoldan da modelleyebileceği tavsiyesinde bulunulmuştur.

Önerilen bu yöntemler, literatürden alınan örnek bir esnek üretim sistemine uyarlanmış ve modellenen sistem üzerinden, modelleme aşamasında karşılaşılan zorluklara, bu zorluklara ait çözüm önerilerine ve bu çalışmanın geliştirilebilir olduğunun vurgulanması amacıyla gelecekte yapılabilecek çalışmalara yer verilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Esnek üretim sistemi, süreç tabanlı Petri Ağları, 1XYZ nesne sınıflandırması gösterimi, süreç tabanlı Petri Ağları’nın 101 notasyonu

## **ABSTRACT**

# **MODELING OF FLEXIBLE MANUFACTURING SYSTEMS WITH PROCESS BASED PETRI NETS**

**Ali KOÇ**

**Master of Science , Department of Industrial Engineering**

**Supervisor: Prof. Dr. Murat Caner Testik**

**April 2017, 56 pages**

Flexible manufacturing systems are seen as a new competitive force among contemporary manufacturing systems. This system, however, offers many advantages to the manufacturer, have led to highly complex analysis methods at the planning and modeling stages. The modeling of a flexible manufacturing system discussed in the study is based on the idea of combining two different approaches, namely object-oriented modeling and process-based Petri Nets. The object-oriented modeling method can be used at the unit level, based on the fact that processes can be added to and subtracted from the main line. At this point, it is aimed to incorporate the re-configurability feature into the flexible manufacturing system model. Sub-processes to be used in any flexible manufacturing are grouped into classes and common models are assigned to sub-processes. While modeling the processes, process-based Petri Nets are used.

After a comprehensive literature review on flexible manufacturing systems and Petri Nets, we discuss how these two approaches could be combined and propose a new approach by synchronizing the object-oriented modeling technique with the process- based Petri Nets. This proposed idea involves the steps necessary to model a flexible manufacturing system. Two notations have been utilized to show

that these steps can be implemented, with “1XYZ object classification notation” and “101 notation of process-based Petri Nets”.

According to the 1XYZ object classification notation, all processes are combined under the operations and individualized by coding. Hence, each process is defined by a unique code number. In this way, every process that will be added to the system is known beforehand. At the same time, with this notation, the system is given the appearance of modular sub-elements and the ability to re-configure the model designing process has been introduced. Therefore, it is aimed to increase the flexibility of the model.

The 101 notation of process-based Petri Nets has also created a common notation rationale for processes separated by classes and this logic is used within two stages. The first of these is the 101 notation display method of process-based Petri Nets at the main line level and the other is the 101 notation of process-based Petri nets at the station level. In this respect, a model that introduces the manufacturing process in the modeling stage, as well as the design of the processes performed at the stations’ level of the factory are shown in the manufacturing model. It was later suggested that these two representations could be combined in a style adaptable to flexible manufacturing systems so that the designer could model the system in such a way as well.

These advanced methods have been adapted to a flexible manufacturing system from the literature. Difficulties encountered during the modeling phase are highlight together with the suggested solutions for these and the future studies.

**Keywords:** Flexible manufacturing system, process-based Petri Nets, 1XYZ object classification notation, 101 notation of process based Petri Nets.



## TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tezimin yanı sıra lisans dönemimden itibaren akademik çalışmalarında bana destek sağlayan, sabrı ve geniş bakış açısı ile tezime yön veren akademik danışmanım Prof. Dr. Murat Caner TESTİK'e,

Petri Ağları ve Esnek Üretim Sistemi alanlarına beni yönlendirerek çalışmalarım esnasında her türlü soruma cevap bulduğum ve beni cesaretlendiren değerli hocam Öğretim Görevlisi Dr. Reza VATANKHAH'a,

Hacettepe Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda görevlerini sürdüren ve bende emeği olan bütün hocalarıma ve idari personele,

Her anımda yanımda olan canım aileme,

teşekkürlerimi sunarım.

# İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET .....	i
ABSTRACT .....	iii
TEŞEKKÜR .....	v
İÇİNDEKİLER.....	vi
TABLolar.....	viii
ŞEKİLLER .....	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR .....	x
1 GİRİŞ .....	1
1.1 Problem Tanımı .....	1
1.2 Motivasyon.....	2
1.3 Tezin Katkısı .....	2
1.4 Tezin Organizasyonu .....	3
2 LİTERATÜR ARAŞTIRMASI .....	5
2.1 Esnek Üretim Sistemleri.....	5
2.1.1 Esnek Üretim Sisteminin Türleri .....	6
2.1.2 Esnek Üretim Sisteminin Bileşenleri.....	6
2.2 PETRİ AĞLARI .....	9
2.2.1 Petri Ağları ve Uygulama Alanları.....	9
2.2.2 Petri Ağı Sistem Bileşenleri .....	11
2.2.3 Kesikli-Olay Sistemler ve Sistem Özellikleri .....	12
2.2.4 Petri Ağı'nın Matematiksel İfadesi .....	13
2.2.5 Geçiş ateşleme Kuralı .....	15
2.2.6 Petri Ağlarının Davranışsal Özellikleri .....	15

2.2.7 İmalat Sistemlerinin Entegrasyonu İçin Sentez Yöntemleri .....	18
2.2.8 Karmaşık İmalat Sistemlerinin Karakteristikleri.....	20
2.3 ENTEGRE BİR ARAÇ OLARAK PETRİ AĞLARI VE ESNEK ÜRETİM SİSTEMLERİNDEKİ KULLANIM YÖNTEMİ .....	20
2.3.1 Esnek Üretim Sistemleri Tasarımında Petri Ağları Uygulaması için Genel Prosedürler.....	20
3 METODOLOJİ .....	22
3.1 Temel Modelleme Yapıları .....	22
3.2 Üretim Sistemlerinin Modellenmesi:.....	25
3.2.1 Kaynak Tabanlı Yaklaşım:.....	25
3.2.2 Süreç Tabanlı Yaklaşım .....	26
3.3 Nesne Odaklı Modelleme Yöntemi .....	26
3.4 Esnek Üretim Sistemlerinin Nesne Sınıflandırma Yöntemi Kullanılarak .....	32
Renkli Petri Ağları Yazılımına Hazır Hale Getirilmesi .....	32
3.4.1 Süreç Tabanlı Petri Ağları ile 101 Notasyonunun Açıklanması .....	33
3.4.2 Sistemin Renkli Petri Ağları Yazılımına Hazır Hale Getirilmesi .....	35
3.4.3 Renkli Petri Ağı Yöntemi .....	36
4 UYGULAMA .....	37
4.1 Modellemeye Hazırlık Adımları .....	37
4.2 Süreç Tabanlı Petri Ağları ile Modelleme.....	43
5 SONUÇLAR VE GELECEK ARAŞTIRMA YÖNÜ.....	51
KAYNAKLAR.....	53
ÖZGEÇMİŞ .....	56

## TABLULAR

<b>Tablo 2.1.</b> Sistem bileşenleri ve Petri Ağı arasındaki bağlantılar.....	12
<b>Tablo 3.1.</b> Nesne sınıfları ve açıklamaları.....	29
<b>Tablo 3.2.</b> İmalathane ana hattının modellenmesi.....	34
<b>Tablo 4.1.</b> Sistem ve hücre düzeyinde malzeme akış sistemi.....	40

## ŞEKİLLER

<b>Şekil 3.1.</b> Öncelik sırası model yapısı.....	22
<b>Şekil 3.2.</b> Paralellik model yapısı.....	23
<b>Şekil 3.3.</b> Seçim model yapısı.....	24
<b>Şekil 3.4.</b> Karşılıklı dışlama model yapısı.....	24
<b>Şekil 3.5.</b> Devre model yapısı.....	25
<b>Şekil 4.1.</b> Modellenen esnek üretim sisteminin görsel haritası.....	37
<b>Şekil 4.2.</b> Operasyon şeması.....	39
<b>Şekil 4.3.</b> Anahat modeli.....	44
<b>Şekil 4.4.</b> İstasyon 1 modeli.....	45
<b>Şekil 4.5.</b> İstasyon 2 modeli.....	45
<b>Şekil 4.6.</b> İstasyon 3 modeli.....	45
<b>Şekil 4.7.</b> İstasyon 4 modeli.....	46
<b>Şekil 4.8.</b> İstasyon 5 modeli.....	46
<b>Şekil 4.9.</b> İinput konumu ve jeton ataması.....	47
<b>Şekil 4.10.</b> Karar noktası bağlantıları.....	48
<b>Şekil 4.11.</b> Birleştirme işlemi ve son ürün aşaması.....	48
<b>Şekil 4.12.</b> Yazılım kodları şeması.....	49
<b>Şekil 4.13.</b> Sistem Modeli.....	50

## SİMGELER VE KISALTMALAR

### Simgeler

$[10_n 1]$  Kapalı Döngü Karar Noktasız EÜS

$[10_{n-m,m} 1] \longrightarrow 10_{i,f} 1 + 10_{i,f} 1$  Kapalı Döngü Karar Noktalı EÜS

$]10_n 1[$  Açık Döngü Karar Noktasız EÜS

$]10_{n-m,m} 1[ \longrightarrow 10_{i,f} 1 + 10_{i,f} 1$  Açık Döngü Karar Noktalı EÜS

$[10_n 1] \Longrightarrow (10_{itf} 1)^k$  Kapalı Döngü Karar Noktasız EÜS

imalathanesi

$[10_{n-m,m} 1] \longrightarrow 10_{i,f} 1 + 10_{i,f} 1 \Longrightarrow (10_{itf} 1)^k$  Kapalı Döngü Karar Noktalı EÜS

imalathanesi

$]10_{n-1} 1[ \Longrightarrow (10_{itf} 1)^k$  Açık Döngü Karar Noktasız EÜS

imalathanesi

$]10_{n-m,m} 1[ \longrightarrow 10_{i,f} 1 \Longrightarrow (10_{itf} 1)^k$  Açık Döngü Karar Noktalı EÜS

imalathanesi

### Kısaltmalar

BNK Bilgisayar Nümerik Kontrollü

EÖM Eş güdümlü Ölçüm Merkezi

EÜS Esnek Üretim Sistemi

GKK Görsel Kalite Kontrol

NOMY Nesne Odaklı Modelleme Yöntemi

st-PA Süreç Tabanlı Petri Ağları

# 1 GİRİŞ

Endüstriyel devrim karşımıza dört farklı zaman diliminde çıkmıştır. 18.yüzyılın sonlarında bulunan mekanik tezgahların, su ve buhar gücünü daha verimli kullanmasıyla ilk devrim gerçekleşmiştir. İkinci endüstri devrimi ise Henry Ford'un üretim bandı tasarımıyla olmuştur. Elektrik seri üretimde kullanılmış ve böylelikle üretim hattı geliştirilmiştir. Üçüncü endüstriyel devrimde ise 1970'lerde üretimde mekanik ve elektronik teknolojiler yerini dijital teknolojiye bırakmış ve yerine programlama yoluyla işlem gören makineler kullanılmaya başlanmıştır. Günümüzde ise, internet üzerinden birbirine bağlı eşyaların birbirinden veri alışverişinde bulunup üretim sürecini değiştirdiği, makineler ve insanların etkileşiminin ön plana çıktığı bir dönemin içine girilmiştir. Bu yeni dönemle birlikte şirketlerin birbirine bağlı kurumlar olmalarına imkân sağlanacağı, tedarikçiden fabrikalara, dağıtımçıdan üretilen ürüne imalat sürecinin her aktörün, ürünün ve makinenin teknoloji sayesinde birbiriyle sürekli iletişim kuran siber fiziksel bir sistem olacağı öngörülmektedir [1]. Şirketler üretim süreçlerini daha iyi ölçebilecek, tedarik zincirlerinin yönetimini daha kolay gerçekleştirecektir.

Yapılan çalışmada problemi belirlerken konuyu yukarıdaki gelişim süreci çerçevesinde ele almakta fayda vardır.

## 1.1 Problem Tanımı

Çağdaş imalat sistemleri arasında yeni bir rekabet gücü olarak görülen Esnek Üretim Sistemi (EÜS) modelleme aşamasında karmaşık çözümlene yöntemlerini beraberinde getirmiştir. Yapılan çalışmada ele alınan "EÜS'nin modellenmesi" konusu karşılaşılan ilk problem olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu problemin ortaya çıkmasıyla birlikte ele alınan, sistemin "nasıl modelleneceği" konusu, üzerinde düşünülen ikinci problem olarak ortaya çıkmıştır. Bu aşamada, iki farklı yaklaşımın entegrasyonu ikinci problemin çözümünde etkin rol oynamıştır. Bu entegrasyon Nesne Odaklı Modelleme Yöntemi (NOMY) ve süreç tabanlı Petri Ağları (stPA) yaklaşımlarının kullanılmasıdır. NOMY ile, ilgilenecek her süreci birimsel düzeyde ele alarak ve alt süreçlerin belirlenen bir ana hat üzerinden ihtiyaca göre eklenip çıkarılabilmesi temeline dayanarak, modele yeniden ayarlanabilirlik özelliği katılması hedeflenmiştir. Burada karşılaşılan üçüncü problem her hangi bir esnek üretim sisteminde kullanılacak alt süreçlerin, nesnelere halinde nasıl

gruplandırılacağı olmuştur. Karşılaşılan problemin devamında, tasarımcıya kolaylık sağlaması açısından, alt süreçlere ortak modelleme yapılarının nasıl atanacağı sorunu dördüncü problem olarak ortaya çıkmıştır.

## **1.2 Motivasyon**

Modellenen esnek üretim sistemine NOMY ile yeniden ayarlanabilirlik özelliği sağlama düşüncesi çalışmanın temel motivasyon katmanını oluşturmaktadır. Yeniden ayarlanabilirlik özelliği için modüler tasarım mantığının oluşturulması şarttır [2]. Bu sayede tasarıma, istenilen prosesler gerektiği zaman eklenip gerektiği zaman çıkarılabilecektir. Burada temel motivasyon katmanının çalışmaya kattığı diğer avantaj ise, modülerize edilmiş proseslerin, olabildiğince ortak modelleme yapılarına sahip olmalarına imkan sağlayacak bir altyapıyı da beraberinde getirmesidir. Tam da bu noktada stPA devreye girmektedir. stPA üretim süreçlerini kolayca modelleyebildiğinden anlaşılması kolaydır [3]. Modülerize edilecek sistem nesnelere hangi özelliklerine göre nesne sınıflarına ayrılacağı konusu, stPA modelleme düşüncesiyle, nesnelere süreç bazında ele alınması düşüncesini beraberinde getirmiştir. Böylelikle esnek bir üretim sisteminin içinde yer alan proseslerin süreç bazında ortak özelliklerine göre ayrılması sağlanmış, ortak modelleme yapıları belirlenmiş ve 1AXYZ nesne sınıflandırması gösterimi ile ortak bir dil oluşturulmuştur.

Bunların yanısıra, modülerizasyon ile, çalışmaya bir başka motivasyon yeteneği katılmıştır. NOMY sayesinde tasarım boyutunu bir kademe daha üst seviyeye taşımak mümkün olmuştur. Başka bir deyişle, modülerizasyon özelliği sisteme hücre düzeyinde tasarlanma kabiliyeti kazandırırken, aynı zamanda hücrelerin de birleşerek imalathane düzeyine yükseltilebilmesine temel oluşturmuştur. Bu sayede, birden fazla imalathanenin de tasarım sürecinde birleştirilebilmesi fikrine olanak tanınmıştır.

## **1.3 Tezin Katkısı**

Çalışma, literatürden farklı olarak, bir esnek üretim sisteminin stPA ile NOMY'nin birleştirilerek, imalat düzeyindeki bütün süreçleri kapsayan ve onlara ortak modelleme yapılarını atayan bir tasarlama sürecinin nasıl yapılacağını göstermektedir.

Daha önceki çalışmalarda, stPA ile esnek bir üretim sisteminin modülerize edilmeden modellenmesine yönelik çalışmalar ya da NOMY ile otomatik imalat



sürecinin kaynak tabanlı Petri Ağları kullanılarak modellenmesine yönelik çalışmalar bulunurken; bu çalışmada stPA ile NOMY'nin birleştirilmesi fikriyle literatüre katkıda bulunulmuştur. Esnek bir üretim sisteminin modellenme aşamasına yeniden ayarlanabilirlik özelliği getirilerek, modelleme aşaması kolay stPA ile, sistemi küçük seviyelere indirgeme özelliğine sahip olan NOMY, entegre edilerek daha büyük sistemlerin nasıl tasarlanacağı noktasında literatüre objektif temellere sahip bir fikir katılmıştır.

Bunların yanı sıra, kullanılan renkli Petri Ağları modelleme yöntemiyle sistem tasarlanırken, aynı zamanda sisteme girecek olan hammaddelerin çeşit sayısının da ikiden fazla olabileceği göz önünde bulundurulmuştur. Daha önceki çalışmalarda, sistem içerisindeki her hammadde için ayrı ayrı bir rota izlenip ortak kaynak kullanımı yoluyla paralel süreçler yaratılırken, başka bir deyişle hammadde arttıkça modellenen sistemin karmaşıklığı artarken, bu çalışmada renkli-Petri Ağları modelleme yöntemi sayesinde sisteme istenilen çeşit sayıda hammadde girebilmekte ve modellenen sistemin büyüklük-karmaşıklık doğru orantısı hammadde çeşit sayısından daha az etkilenmektedir.

#### **1.4 Tezin Organizasyonu**

Çalışmanın geri kalan bölümleri şu şekilde oluşmaktadır: İkinci bölümde literatür araştırmasına yer verilmiş olup; esnek üretim sisteminin tanımı, türleri, bileşenlerinden bahsedilmiş, devamında ise Petri Ağları ve uygulama alanları, Petri Ağı sistem bileşenleri, kesikli olay sistem ve özellikleri, Petri Ağı'nın matematiksel ifadesi ve Petri Ağları'nın davranışsal özellikleri konularında bilgilendirme yapılmıştır. Daha sonra literatür araştırmasına bağlı kalınarak imalat sistemlerinin entegrasyonu için sentez yöntemleri hakkında açıklamalara yer verilmiş ve entegre bir araç olarak Petri Ağları ve esnek üretim sistemlerindeki kullanım yöntemi konusuyla ikinci bölüm tamamlanmıştır.

Üçüncü bölümde, metodoloji genel başlığı altında çalışmada faydalanılan Petri Ağları ile temel modelleme yapılarına yer verilmiş, devamında üretim sistemlerinin Petri ağları ile modellenmesinde kullanılan kaynak tabanlı yaklaşım ve çalışmada da yer alan süreç tabanlı yaklaşımdan bahsedilmiştir. Yaklaşımlardan bahsedildikten sonra, çalışmanın temel yapıtaşlarından birini oluşturan NOMY'nin esnek bir üretim sistemini süreç odaklı nesnelere nasıl ayırdığı detaylı olarak anlatılmış ve çalışmanın da başlığını oluşturan esnek üretim sistemlerinin nesne

sınıflandırma yöntemi kullanılarak süreç tabanlı yaklaşımla modellenmesi için gerekli adımlar sıralanmıştır. En sonda ise renkli Petri Ağları Yöntemi açıklanarak modele katkısından bahsedilmiştir.

Dördüncü bölümde, üçüncü bölümde ifade edilen yöntemler ve bilgilendirmelere bağlı kalarak; literatürde daha önceden çalışılmış bir esnek üretim imalathanesinin modelleme süreci uygulamalı bir şekilde ele alınmış ve tasarım sürecinde gerçekleştirilen adımlar detaylı bir biçimde açıklanmıştır.

Beşinci bölümde elde edilen sonuçlar üzerinden açıklamalara yer verilmiş, çalışmanın geliştirilebilir yanlarını ele almak adına gelecekte yapılabileceği düşünülen çalışmalar hakkında tavsiyelerde bulunulmuştur.

## 2 LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Bu bölümde ilk olarak EÜS ve Petri Ağları ile ilgili literatür araştırmalarına yer verilmiş olup, devamında entegre bir araç olarak Petri Ağları ve Petri Ağları'nın EÜS'deki kullanım yönteminden bahsedilmiştir.

### 2.1 Esnek Üretim Sistemleri

EÜS, sistemdeki bütün süreçlerin hiyerarşik bir bilgisayar ağının içinde belirli bir bilgisayar tarafından kontrol edilmesiyle meydana gelmiş, farklı veya özdeş bilgisayar nümerik kontrollü (BNK) makinelerin otomatik taşıma sistemleriyle bağlanarak işlem gördüğü üretim sistemleridir [4]. Bununla birlikte EÜS, çoklu ve eşzamanlı iş süreçlerinin akışını içerir ve genellikle kaynak paylaşımı yoluyla üretim maliyetlerini düşürmeyi hedefler [5].

Bir EÜS otomatik bir taşıma sistemiyle birbirine bağlanmış ve nümerik yolla kontrolü sağlanmış makine merkezlerinden oluşmaktadır ve birden fazla çeşitte ürün üretebilmek için çabukça şekillendirilebilmektedir. Bir üretim sisteminde esneklik, verimliliğin artırılması, süreç hattındaki envanterin azaltılması, gecikme zamanlarının azaltılması, makina verimliliğinin artırılması ve kurulum maliyetlerinin düşürülmesi gibi avantajlar sağlar [6].

1960'ların ortasında pazar rekabeti daha yoğun bir hal almıştır. 1960'lı yıllardan 1970'lere gelindiğinde ise 'maliyet' kavramı öncelikli kaygı haline gelmiştir. Daha sonra 'kalite' kavramı öncelik haline gelmiştir. Pazarın çok daha karmaşık hale gelmesinden ötürü, ihtiyaç duyulan ürünün müşteriye 'tedarik hızı' ilgilenilmeyi gerektiren bir diğer alan olarak karşımıza çıkmıştır. Bunun sonucunda ise 'kişiselleştirebilirlik' kavramı yeni bir strateji olarak önem kazanmıştır. Bu stratejinin ortaya çıkmasıyla birlikte şirketlerin ürettikleri ürünlerde farklı pazar segmentlerini karşılaması ve daha esnek bir üretim hattına sahip olma zorunlulukları doğmuştur.

İlk olarak, EÜS bir üretim teknolojisidir. İkinci olarak, EÜS bir felsefedir ve buradaki anahtar kelime 'sistem'dir. Bugünlerde üreticiler arasındaki yeni kelime 'çeviklik'tir. Çeviklik, ürünü en kısa sürede en az maliyetle müşteride tatminlik hissini en üst düzeyde uyandıracak şekilde ulaştırma kabiliyeti olarak açıklanır. EÜS de, çeviklik kavramının hayata geçirilmesinde kullanılabilen bir teknolojidir [6].

### **2.1.1 Esnek Üretim Sisteminin Türleri**

EÜS ürünlere ait talebe bağlı olarak türlere ayrıldığı zaman üretilen parçaların miktarı ve çeşitliliği açısından ikiye ayrılır: Ürüne özel sistemler ve ürüne özel olmayan sistemler [7].

Ürüne özel sistemlerde, bir veya birkaç farklı türde ürün, önceden belirlenen bir üretim oranı çerçevesinde çok miktarda üretilir.

Ürüne özel olmayan sistemlerde, değişken talep gösteren farklı türde ürünler, az miktarda üretilir. Belirli dönemlerde üretilecek parça miktarları ve cinsleri sıkça farklılık gösterir.

Bunun yanında EÜS, sistemin çalışma durumuna bağlı olarak türlere ayrıldığı zaman esnek akış sistemlerinde ürüne özel olarak aynı anda birkaç farklı ürün çok sayıda üretilir. Parça akışı genelde tek yönlüdür. Esnek montaj sistemleri ve esnek transfer hatları bu grupta yer alan esnek üretim sistemleridir.

Esnek işleme sistemlerinde, aynı anda çok çeşitli ürünlerin üretimi gerçekleştirilebilir. Bunun yanında çalışma durumu ürüne özel bir biçimde de olabilir. Özel esnek işleme sistemlerinde, belirli oranlarda birkaç farklı türde ürün üretilir. Esnek işleme sistemlerinin daha yaygın diğer türü genel esnek işleme sistemleridir. Bu sistemlerde üretim akışı birbirinden çok farklı olan çok çeşitli ürünler aynı anda üretilir. Kurulan sistem genel esnek işleme sistemlerine ne kadar benzerse bireysel parça türlerinden üretilen miktarlar azalırken, sistemde aynı anda üretilen parça çeşitliliği artar. Esnek akış sistemlerine ne kadar yakınsa üretim miktarı o ölçüde artar [8].

### **2.1.2 Esnek Üretim Sisteminin Bileşenleri**

EÜS teknik sistem, örgütsel sistem ve bilgi sistemi olmak üzere birbiriyle bağlantılı çalışan üç alt sistemden oluşmaktadır [4].

#### **2.1.2.1 Teknik Sistem**

EÜS'nin temel yapısını oluşturan temel unsurlar, süreç sistemi, parça tedarik sistemi ve takım tedarik sistemidir.

##### **2.1.2.1.1 Süreç Sistemi**

Süreç sistemini BNK makinalar ve bu makinalara ait lokal takım stoklama ve takım değiştirme sistemleri oluşturur. Bu sistemde yıkama istasyonu ve kalite kontrol istasyonu gibi diğer sistemler de yer alabilir.

BNK makinalarda iş parçası makinaya yerleştirildikten sonra takım parçaya doğru hareket eder. Hareketlerin tümü makinanın kontrol biriminde kayıtlı olan nümerik kontrollü bir program tarafından kontrol edilir. İş parçası değiştiğinde parçanın işlenmesi için gerekli olan bilgilerin kayıtlı olduğu nümerik kontrol programının indirilmesi bir dakikadan az bir sürede gerçekleştirilir [9].

EÜS'de kullanılan makinalar genel ve özel amaçlı makinalar olarak kategorize edilebilir. Genel amaçlı makinalar farklı türde operasyonları yapabilir. Bu operasyonları (frezeleme, tornalama, delme vb.) iş parçasını yeniden sabitlemeye gerek kalmaksızın bağlandığı ilk konumda gerçekleştirebilmek mümkündür. Özel amaçlı makinalarda böyle bir imkan bulunmamaktadır. EÜS'de bulunan makinalar, özdeş veya birbirinden farklı türde makinalar olabilir. Özdeş makinalarda ise lokal takım magazinleri farklı türde takım seti içerebilir.

BNK makinaların kendilerine ait lokal takım magazinlerinde –zincir,kaset veya disk tipi şeklinde olabilir- magazin türü ve büyüklüğüne bağlı olarak genellikle 20 ile 200 arasında değişen sayıda takım bulunur. Bir makinanın lokal takım magazininde belirli bir türde bir takımdan birden fazla sayıda bulunabilir. Takımların oldukça pahalı olması nedeniyle, genellikle her tip takımdan bir veya bir kaç tane olması tercih edilir. Bu durum, takımların sık sık değiştirilmesine ve takım tedarik sisteminin darboğaz hale gelmesiyle üretim oranının düşmesine neden olabilir. Takım magazinlerinin açıklaması aşağıdaki gibidir [10]:

Zincir tipi takım magazini: Bir takımın makina miline takılabilmesi için gerekli pozisyona gelmesi zincirin ilerlemesiyle sağlanır.

Disk tipi takım magazini: Bir takımın makina miline takılabilmesi için gerekli pozisyona gelmesi diskin dönmesiyle sağlanır.

Kaset tipi takım magazini: Bir takımın makina miline takılabilmesi için gerekli pozisyona gelmesinde tüm takım setinin hareket etmesine ihtiyaç duyulmaz. Lokal taşıma mekanizması aracılığı ile gerekli takım magazinden alınarak makina miline getirilir.

#### **2.1.2.1.2 Parça Tedarik Sistemi**

EÜS'de parça tedarik sistemini oluşturan alt sistemler, stoklama sistemi, taşıma sistemi hazırlık ve yükleme sistemleridir.

Stoklama sistemi, paletler üzerindeki iş parçalarının makinalar arasındaki geçici olarak stoklanmasını sağlayan sistemlerdir. Buldukları konuma göre ikiye ayrılır: Lokal stoklama alanları ve merkezi stoklama alanları. Lokal stoklamada belirli bir iş istasyonuna tahsis edilmiş alanlar olarak karşımıza çıkarken; merkezi stoklama alanları ise lokal stoklama alanlarının kapasitesinin yetmediği durumlarda ortak olarak kullanılan alanlar şeklinde karşımıza çıkar.

Taşıma sistemi, işlem görecekt parçaların işleme istasyonları, stoklama sistemi ve hazırlık sistemleri arasındaki taşınımını sağlar. Bu sistemler birbirine iki yolla bağlanabilir: İç taşıma sistemi ve dış taşıma sistemi. İç taşıma sistemlerinde parçalar makinaların çalışma alanlarına yönlendirilirken; dış taşıma sisteminde sistem, makinaların çalışma alanlarının çevresinden dolaşır. EÜS'de genellikle dış taşıma sistemleri tercih edilir. İş parçaları EÜS'de paletler üzerinde taşınır. Uygulamada, sürekli veya kesikli taşıma işlemleri söz konusudur. Sürekli sistemde yaygın olarak konveyörler kullanılırken, kesikli sistemlerde en çok otomatik kontrollü araçlara rastlanır.

Hazırlık sistemi, iş parçalarının paletlere bağlanması/sökülmesi işlemini yerine getirir. İş parçası açısından hazırlık istasyonları EÜS'nin giriş-çıkış istasyonlarını temsil eder. Sistemdeki paletler, standart paletler veya özel amaçlı paletler olabilirler. Özel amaçlı paletlerde, parçalara ait sabitleyiciler palete bağlı bir şekildedir. Palete sabitlenmiş parçalarda, birden çok yüzey üzerinde işlem gerçekleştirilecekse, parça pozisyonunun hazırlık istasyonunda değiştirilmesi gerekir. Palete sabitlenmemiş parçalar ise robotlar aracılığıyla makinanın çalışma alanına taşınıp burada otomatik olarak sabitlenebilir.

Yükleme sistemi, iş parçası ve/veya paletlerin işleme istasyonları, taşıma sistemi ve hazırlık sistemi arasında pozisyonunun veya yönünün değiştirilmesini gerektiren yükleme faaliyetlerini gerçekleştirir. Yükleme faaliyetinde taşıma faaliyetine göre daha spesifik bir transfer işlemi meydana gelmektedir. Lokal ara stoklama alanından bir paletin makina çalışma alanına aktarımı buna örnek verilebilir [4].

### **2.1.2.1.3 Takım Tedarik Sistemi**

Parçaların işlenebilmesi için gerekli takımların hazırlanması, stoklanması ve taşınması işlemi bu sistemde yerine getirilir. Takım tedarik sistemleri merkezi ve merkezi olmayan sistemler olarak ikiye ayrılır. Merkezi olmayan sistemde lokal

takım magazinlerinin manuel olarak hazırlanması daha önceden belirlenmiş zamanlarda gerçekleştirilir. Merkezi sistemlerde ise makinalarda gerçekleştirilen işlem kesintiye uğramaksızın lokal takım magazinlerindeki takımlar değiştirilebilir. Merkezi takım tedarik sistemiyle, birden çok BNK makinaya merkezi bir takım magazininden takım tedariki yapılabilir [4].

#### **2.1.2.1.4 Örgütsel Sistem**

EÜS'nin çalışması için doğrudan ihtiyaç duyulan tüm personeli içine alır. Bu sistemde bedensel (iş parçası ve takım hazırlama), bilgiye dayalı zihinsel (sistem çalışmasını izleme ve denetleme) ve ikisini de kapsayan hem bedensel hem zihinsel (bilgisayar kontrol sistemi ile mekanik sistemlerin tamir ve bakımı) görevlerini yerine getiren kişiler bulunur. EÜS kontrol yazılımları da çoğunlukla insan müdahalesini gerektirir.

#### **2.1.2.2 Bilgi Sistemi**

Esnek üretim sistemlerinde üretim sürecini kontrol eden gerekli tüm fonksiyonları idare eden sistemlerdir. Veri yönetim sistemi ile operasyonel planlama ve kontrol sisteminden oluşur.

Veri yönetim sistemi, üretilen parçaların planlanması ve kontrolü ile ilgili bütün verileri kolay erişilebilecek bir şekilde depolayan sistemdir.

Operasyonel planlama ve kontrol sistemi, EÜS'de parça işleme, yükleme, taşıma operasyonlarının koordineli bir şekilde gerçekleşebilmesi için tüm planlama ve kontrol faaliyetlerini içine alan sistemdir. Kontrol sistemi EÜS'nin mevcut durumunu dikkate alarak, merkezi üretim planlama ve kontrol sisteminden serbest bırakılan siparişlerin makinalara atanmasını gerçekleştirir. Kontrol sistemi ise teknik kontrol ve örgütsel kontrol olmak üzere ikiye ayrılır.

Teknik kontrol sistemi nümerik kontrollü programların transferi, makina taşıma sistemi kontrolü ile makinaların tek tek senkronize edilmesini denetler. Örgütsel kontrol sistemi ise iş parçalarının sevk ve yüklenmesi ile veri toplamadan sorumludur [7].

## **2.2 PETRİ AĞLARI**

### **2.2.1 Petri Ağları ve Uygulama Alanları**

Petri Ağları, dinamik kesikli-olay sistemlerin modellenmesi ve performans değerlendirmesi için geliştirilmiş matematiksel ve grafiksel bir modelleme

teknikiğidir. 1960'lı yıllardan bu yana Petri Ağları, eş zamanlı, eş zamanlı olmayan, stokastik sistemlerin tasarımında, analizinde ve kontrolünde kullanılabilir.

Petri Ağları'nı grafiksel bir araç ve matematiksel bir araç olarak ikiye ayırabiliriz. Grafiksel bir araç olarak sistemin görsel bir modelinin oluşmasını sağlar. Matematiksel bir araç olarak ise Petri Ağları sistemin davranışını yansıtan durum denklemlerinin cebirsel ilişkilerinin geliştirilmesine imkan verir [11]. Bu da Petri Ağları'nın hem kalitatif hem de kantitatif analizlerde kullanılabilirliğini göstermektedir. Kalitatif analizin yapılmasındaki amaç modellenen sistemin doğruluğunu (kilitlenmenin olmaması, kapasite kısıtlarının aşılması, ortak kaynak kullanımında karşılıklı dışlama vb.) ispat etmektir. Kantitatif analizin yapılmasındaki amaç ise, performans (çıkıtı oranı vb.), sürecin ortalama tamamlanma zamanı, ortalama kuyruk uzunlukları, kaynak kullanım oranları gibi özelliklerin ortaya konmasıdır. Kısaca, kalitatif analiz sistemin doğruluğunu kantitatif analiz ise sistemin etkinliğini değerlendirir [12].

Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde Petri Ağları'nın uygulama alanının çok geniş bir yelpazede olduğu söylenebilir. İletişim protokolleri, iletişim ağları, üretim sistemleri, endüstriyel kontrol sistemleri, kimyasal ve biyolojik süreçler Petri Ağları'nın uygulama alanlarına örnek olarak gösterilebilir [11].

Kesikli olay sistemler için Petri Ağları'nın avantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir [13]:

- Petri Ağları sistemlerin gerçek zamanlı olarak izlenmesinde kullanılabilir.
- Çoğu sistem için simulasyon gerektirmeden performans analizi yapılabilir.
- Modellenen sistemdeki eş zamanlı olmayan işlemler, çatışma, karşılıklı dışlama, paralellik, öncelik ilişkileri, stokastik olma gibi karmaşık özellikler Petri Ağları ile kolayca modellenir.
- Sistemde istenmeyen durumlar Petri Ağı modellenmesi ile kolay bir şekilde anlaşılabilir.
- Sistemdeki öncelik ilişkileri ve kısıtlar modelde kolayca ifade edilebilir.
- Denetleyici kontrol kodları, doğrudan fiziksel Petri Ağı modelinden oluşturulabilir.



- Doğrudan Petri Ağı modelinin kullanılmasıyla, kesikli olay simülasyonu gerçekleştirilebilir.

Petri Ağları, başlangıçta kesikli olay sistemler için geliştirilmiş olmakla birlikte, günümüzde sürekli ve melez sistemler için de kullanılabilir. Petri Ağları'nın zaman, renk, hiyerarşi, bulanıklık gibi teknikleri kullanabilmesi, modelleme kabiliyetini gittikçe artırdığını göstermektedir.

### **2.2.2 Petri Ağı Sistem Bileşenleri**

Petri Ağı, oluşumu bakımından ağ yapısı ve işaretleme olmak üzere iki bileşenden oluşur. İşaretleme, Petri Ağı'nın dinamik kısmını, ağ yapısı ise durağan kısmını temsil eder.

Ağ yapısı Petri Ağı'nın çizgelere dayanan durağan bölümüdür. Yapısal olarak kavraması oldukça kolaydır. Bir Petri Ağı konum ve geçiş adı verilen düğümlerden ve bunları birbirine bağlayan oklardan oluşan iki parçalı, ağırlıklı, yönlü bir çizgedir. Bu çizgede aynı tür düğümler birbirine bağlanamaz ve oklar farklı tür düğümler arasında bulunur. Bir düğümden başlayıp öbür düğüme (konum-geçiş ya da geçiş-konum) sonlanır.

Petri Ağı'nın gösteriminde konumlar dairelerle, geçişler ise çizgi ya da kutularla temsil edilir. Çoğunlukla anlık geçişler çizgilerle gösterilirken, süre alan geçişler ise kutularla gösterilir. Geçiş ve konumları bağlayan okların ağırlıkları okun üzerinde gösterilir. Eğer ağırlık 1 ise okun üzerinde gösterilmemesi tercih edilir.

İşaretleme bileşeni sistemin dinamik yapısına dayanan bölümdür. Petri Ağı'nın dinamik hareketi, konumlar içerisinde bulunan jetonların hareket etmesiyle sağlanır.

Jetonlar, bir konum içerisine yerleştirilmiş siyah noktalarla gösterilir. Her hangi bir anda her hangi bir konumda bulunan jetonların sayısı o konuma ait işaretleme olarak adlandırılır. Başlangıçta ağdaki konumlara yerleştirilen jeton ile ağın başlangıç işaretlemesi belirlenir. Belirlenen bu tarz bir ağ işaretli Petri Ağı olarak tanımlanır.

Petri Ağı'nın işaretlemesi geçişlerin ateşlenmesi ile değişir. Bunun için belirli bir geçiş ateşleme kuralı mevcuttur. Bu kurala dayanarak bir geçiş ateşlendiği zaman konumlarda bulunan jetonların hareket etmesi sonucu, konumların jeton sayısı

değişir. Bu durum Petri Ağı'nın dinamik bir şekilde çalıştığını gösterir ve sistemin dinamik davranışlarının da modellenmesini sağlar [12].

Petri Ağı ve sistem bileşenleri arasındaki ilişkiler tablo 2.1 de [12] gösterilmiştir.

**Tablo 2.1 Sistem bileşenleri ve Petri Ağı arasındaki bağlantılar**

	<b>Modellenen sistem</b>	<b>Petri Ağı</b>
<b>Statik</b>	Durum değişkenleri	Konum
	Olaylar	Geçişler
	Durum değişkenleri-olay ilişkileri	Oklar
<b>Dinamik</b>	Durum değişkenlerinin değeri	Konum işaretlemesi
	Sistemin durumu	Ağ işaretlemesi
	Olayların gerçekleşmesi	Geçişlerin işaretlenmesi
	Sistemin durumunun değişimi	Ağ işaretlemesinin değişimi

Bir Petri Ağı'nın modelleme yöntemi temelde aşağıdaki gibi ifade edilir:

- Her ürünün bir parçasının üretimi için gerekli olan kaynakların ve aktivitelerin belirlenmesi.
- Süreç planı çerçevesinde aktivitelerin öncelik ilişkilerinin belirlenip bu açıdan sıralandırılması.
- Sırayla her bir faaliyet için: aktivitenin durumunu belirtmek için bir konum yaratılması ve etiketlenmesi; geçişten konuma doğru çıktı okunun eklenmesi; geçişe konumdan girdi okunun eklenmesi.

### **2.2.3 Kesikli-Olay Sistemler ve Sistem Özellikleri**

Kesikli olay sistemlerinde iki kavramdan söz edilir. Bunlardan ilki durum kavramı diğeri ise olay kavramıdır. Bu tür sistemlerin modellenmesi için durumların ve durumların değişikliğine yol açan olayların incelenmesi gerekir. Kesikli olay sistemlerinin önemli özelliği, sistemdeki bir durumun değişikliğine sadece bir olayın

neden olmasıdır. Başka bir deyişle sistemdeki durum değişkenlerinin değeri kesikli olarak değişim gösterir. Durum değişkenlerinin o andaki değeri sistemin durum vektörünü temsil eder. İki olay arasında sistemin durumu sabittir.

Kesikli olay sistemlerinin özellikleri aşağıdaki şekilde açıklanabilir [7]:

**Olay-güdümlü olma:** Olaylar arasında öncelik ilişkisinin bulunması, diğer bir deyişle bir olayın gerçekleşmesinin, diğer bir olayın gerçekleşmesine bağlı olması sistemin özelliklerinden biridir.

**Asenkron Faaliyetler:** Sürekli sistemlerde parametreler zamana bağlı olarak sürekli değişim gösterirken, kesikli-olay sistemlerde olaylar genelde asenkron -eş zamanlı olmayan- bir şekilde gerçekleşir.

**Ardıllık (Sıra):** Sistem içindeki belli olaylar arasında sıra ilişkisi olabilir. Bir olay ancak başka bir olayın gerçekleşmesinden sonra oluyorsa bu iki olay arasında sıra ilişkisi vardır.

**Çatışma:** Kaynakların ortak olarak kullanılması durumunda çatışma meydana gelme ihtimali çok yüksektir. Aynı anda gerçekleşmeyecek iki olay arasında bir seçim yapılmasını gerektiren durumlarda çatışma durumu mevcuttur [14].

**Deterministik olmama:** Olayların gerçekleşmesindeki belirsizlik ve sistem parametrelerindeki değişikliğin neden olduğu durumdur. Olayların gerçekleşmesindeki belirsizlik çatışma söz konusu olduğunda ortaya çıkar. Sistem parametrelerindeki değişikliklere de işlem süresindeki değişikliklerden kaynaklı durumlarda olayın ne zaman tamamlanacağını kestirilememesi örnek gösterilebilir.

**Paralellik:** Aralarında sıra ilişkisi bulunmayan eş zamanlı olayların gerçekleşmesi durumudur. Örneğin iki farklı parçayı işleyen makinalarda parçaların işlenmesinin tamamlanması olayları farklı zamanlarda gerçekleşeceğinden makinalar eş zamanlı olarak çalışabilir. Ayrıca makinalar herhangi bir anda bozulabilir; önceden beklenmeyen bu tür olayların ne zaman olacağı önceden kestirilemez. Dolayısıyla burada belirsiz bir sıra ilişkisi vardır. Bu iki olayın da eş zamanlı olduğu söylenir.

#### 2.2.4 Petri Ağı'nın Matematiksel İfadesi

Petri Ağları matematiksel olarak 5 gösterimle tanımlanır. Bu gösterimler ve temel kavramlar aşağıdaki gibidir:

P: Konum kümesi  $P = (p_1, p_2, \dots, p_n)$

T: Geçiş kümesi  $T = (t_1, t_2, \dots, t_m)$

I: Girdi matrisi  $I_{n \times m} = [I_{i,j}]$

O: Çıktı matrisi  $O_{n \times m} = [O_{i,j}]$

$M_0$ : Başlangıç işaretlemesi  $M_0 = [M(p_i)]$

$N = (P, T, I, O)$  ve başlangıç işaretlemesi gösterimiyle bir Petri Ağı kısaca  $PN = (N, M_0)$  şeklinde de ifade edilebilir [15].

Konum ve geçiş kümesi sonlu, boş olmayan ve ayrık kümelerdir.

Konum sayısı  $n$  kadar satır, geçiş sayısı  $m$  kadar sütundan oluşan girdi ve çıktı matrisleri, ağdaki konum ve geçişleri arası bağlantıları ifade eder. Girdi matrisi konumlardan geçişlere, çıktı matrisi ise geçişlerden konumlara olan okların ağırlığını gösterir.

Girdi matrisinin  $I_{i,j}$  elemanı  $p_i$  konumundan  $t_j$  geçişine doğru olan okun ağırlığını, çıktı matrisinin  $O_{i,j}$  elemanı ise  $t_j$  geçişinden  $p_i$  konumuna yönelen okun ağırlığını ifade eder. Eğer geçişler arası ok yoksa matriste karşılık gelen elemanın değeri sıfırdır.

Girdi ve çıktı matrislerinin tüm elemanları 0-1 değerlerinden meydana gelmişse bu ağ doğal Petri Ağı olarak adlandırılır. Eğer 1 den büyük bir değer varsa bu ağa genel Petri Ağı adı verilir.

$p_i$  konumundan  $t_j$  geçişine giden bir ok varsa bu konum  $t_j$  geçişinin girdi konumu olarak adlandırılır. Tam tersi bir durum varsa, bu konum  $t_j$  geçişinin çıktı konumudur.  $t_j$  geçişinin girdi konumları kümesi,  ${}^i(t_j)$  notasyonu ile gösterilir.

$(t_j)^o$  ise,  $t_j$  geçişinin çıktı konumları kümesini simgeler. Aynı tanımlar ve notasyonlar  $p_i$  konumu için de geçerlidir.

Petri Ağı'ndaki her konum ve geçişin girdi-çıkıtı kümeleri birleşiminde en az bir eleman vardır. Başka bir ifadeyle Petri Ağı izole konum ya da geçiş içermez.

$\bar{t}_j = \emptyset$  ise, başka bir ifadeyle  $t_j$  geçişinin girdi konumu yoksa bu geçiş kaynak geçişi olarak adlandırılır.  $(t_j)^{-}$  şeklinde çıktı konumu bulunmayan bir  $t_j$  geçişi ise batış geçişi olarak adlandırılır [10].

### 2.2.5 Geçiş Ateşleme Kuralı

Geçiş ateşleme kuralı Petri Ağı modellemesinin nasıl çalıştığını açıklar. Aşağıda ateşleme kuralı verilmiştir:

- 1) Bir  $M_k$  işaretlemesinde  $t_j$  geçişine ait her girdi konumu için, en az konumu bu geçişe bağlayan okun ağırlığı kadar jeton varsa bu geçiş ateşlenebilir bir geçiştir.
- 2)  $t_j$  geçişi ateşlendiği zaman, bu geçişe ait her girdi konumundan  $I_{i,j}$  sayıda jeton silinir ve her çıktı konumuna  $O_{i,j}$  sayıda jeton eklenir. Böylece mevcut  $M_k$  işaretlemesinden bir sonraki işaretleme olan  $M_{k+1}$  durumuna ulaşılır [11].

### 2.2.6 Petri Ağlarının Davranışsal Özellikleri

Petri Ağları'nın sistem özelliklerinin yanı sıra ulaşılabilirlik, sınırlılık, canlılık, geri dönebilirlik, olmak üzere davranışsal özellikleri mevcuttur. Bu özelliklerin aşağıda açıklanmıştır.

#### 2.2.6.1 Ulaşılabilirlik

Başlangıç işaretlemesinden başlanarak ulaşılacak bütün işaretlemelerin bulunması durumuna Petri Ağı'nın ulaşılabilirlik özelliği adı verilir. Sistemin dinamik davranışının incelenmesinde kullanılan bir özellik olarak ortaya çıkar. Başlangıç işaretlemesinden başlayarak ulaşılacak bütün işaretlemelerin kümesi ulaşılabilirlik kümesi olarak adlandırılır ve  $R(M_0)$  notasyonu ile ifade edilir. Ulaşılabilirlik özelliği ağda belirli bir  $M_n$  işaretlemesinin olup olmadığını inceler.

Ulaşılabilirlik kümesi ulaşılabilirlik ağacı olarak tanımlanan bir yapıda gösterilebilir. Kümenin sonsuz olması durumunda ağaç da sınırsız olacaktır. Ağacın boyutlarını sınırlandırmak amacıyla, kapsanabilirlik ağacı oluşturulmuştur. Kapsanabilirlik ağacı aşağıdaki algoritma ile yaratılabilir [11]:

1.Adım:  $M_0$  işaretlemesi ile başlanır. Bu işaretleme 'yeni' olarak isimlendirilir.

2.Adım: Yeni işaretleme olduğu müddetçe aşağıdaki adımlar tekrarlanır.

2.1. Adım: Yeni bir  $M$  işaretlemesi seçilir.

2.2. Adım: Eğer  $M$ ,  $M_0$ 'ı  $M$ 'ye bağlayan yol üzerindeki işaretleme ile aynıysa  $M$ 'yi eski olarak adlandır ve Adım 2.1.'e dön.

2.3. Adım:  $M$  işaretlemede hiç bir geçiş aktif değilse  $M$ 'yi ölü olarak adlandır ve 2.1. Adım'a geri dön.

2.4. Adım:  $M$  işaretlemede aktif geçişler varsa, bu işaretlemedeki her aktif  $t$  geçişi için aşağıdaki adımları tekrarla:

2.4.1. Adım:  $t$  geçişinin ateşlenmesiyle elde edilen  $M'$  işaretlemesini belirle.

2.4.2. Adım:  $M_0$  başlangıç işaretlemesini  $M$  işaretlemesine bağlayan yol üzerinde, her  $p$  konumu için  $M'(p) \geq M''(p)$  ve  $M' \neq M''$  koşulunu sağlayan bir  $M''$  işaretlemesi varsa (başka bir deyişle,  $M''$  kapsanabilir bir işaretleme ise)  $M'(p) \geq M''(p)$  olan her  $p$  konumu için  $M'(p)$  yerine  $\omega$  kullan.

2.4.3. Adım:  $M'$  işaretlemesini ağaca bir düğüm olarak ekle.  $M$  işaretlemesinden  $M'$  işaretlemesine doğru  $t$  okunu çiz.  $M'$  işaretlemesini yeni olarak adlandır.

### 2.2.6.2 Sınırlılık

$M_0$  işaretlemesinden ulaşılabilecek herhangi bir işaretleme için, her bir konumda yer alan jeton sayısı  $k$  sayısını aşmıyorsa Petri Ağı'nın  $k$ -sınırlı veya kısaca sınırlı olduğu söylenir. Bir başka deyişle, ulaşılan tüm  $M \in R(M_0)$  işaretlemede her  $p_i$  konumu için  $M(p_i) \leq k$  olmalıdır. Petri ağının ulaşılabilirlik kümesi  $R(M_0)$  sonlu ise, bu sınırlı bir ağdır. Sınırsız ağın ulaşılabilirlik kümesi sonsuzdur.  $k=1$  ile sınırlı bir Petri Ağı güvenilir Petri Ağı olarak adlandırılır. Petri Ağı'nda bazı konumlar ara stoklama alanlarını temsil etmek üzere kullanılır. Ağ eğer sınırlıysa, ateşleme sırası ne olursa olsun, bu gibi alanların kapasitelerinin aşılamayacağı garanti edilmiş olur [16].

### 2.2.6.3 Canlılık

Canlılık kavramı  $M_0$  işaretlemesinden itibaren hangi ateşleme sırası seçilirse seçilsin canlı bir Petri Ağı kilitlenmelerin bulunmadığı bir işleyişi garanti etmektedir.

$M_0$  başlangıç işaretlemesinden ulaşılabilecek tüm  $M$  işaretlemeleri için  $M$ 'den itibaren gerçekleştirilebilecek bir  $\sigma$  ateşleme sırası  $t_j$  geçişini içeriyorsa bu geçiş  $M_0$  başlangıç işaretlemesi için canlıdır. Bir başka ifadeyle ateşleme sırası ne olursa olsun, bir  $t_j$  geçişinin her zaman ateşlenmesi mümkün ise bu geçiş canlıdır.

$M_0$  başlangıç işaretlemesinden itibaren gerçekleştirilebilecek herhangi bir  $\sigma$  ateşleme sırası  $t_j$  geçişini içeriyorsa, bu geçiş  $M_0$  başlangıç işaretlemesi için yarı canlıdır. Bir başka ifadeyle, ateşlenme şansına sahip bir  $t_j$  geçişi yarı canlıdır.

Kilitlenme durumu hiç bir geçişin ateşlenmesinin mümkün olmadığı bir işaretlemedir.  $M_0$  başlangıç işaretlemesinden ulaşılabilecek işaretlemelemelerin hiç biri kilitlenme değilse, Petri Ağı kilitlenme içermeyen bir ağıdır.

Yarı canlılık ve kilitlenme birbirinden bağımsız özelliklerdir. Yarı canlı bir ağ kilitlenme içerebilir. Buna karşın canlılık ve kilitlenme birbirinden bağımsız değildir. Canlı bir ağ her koşulda kilitlenmenin olmamasını garanti eder. Ancak bunun tersi doğru değildir [16].

#### **2.2.6.4 Geri Dönebilirlik**

$R(M_0)$ 'daki her bir  $M$  işaretleme için  $M_0$  işaretlemesine  $M$  işaretlemesinden ulaşılabiliyorsa Petri Ağı'nın geri dönebilirlik özelliği vardır.

Üretim sistemleri Petri Ağları ile modellendiğinde davranışsal özelliklere göre aşağıdaki gibi açıklanabilir [12]:

Sınırlılık ve güvenilirlik özellikleri, sistem içerisinde kapasite kısıtlarının aşılması anlamına gelmektedir. Kapasitesi sınırlı olan alanları temsil eden konumlarda aynı anda bulunabilecek parçaların mevcut kapasiteyi aşmaması sağlanır.

Eğer bir makinada aynı anda birden fazla işlem gerçekleştirilemiyorsa Petri Ağı'nda operasyonun yapılmasını temsil eden konumda bulunabilecek jeton sayısı biri aşmamalıdır. Başka bir deyişle bu işlemleri temsil eden konumlar güvenilir (1-sınırlı) olmalıdır. Üretim sistemindeki bir kaynağı temsil eden konumun güvenilir olması ise bu kaynaktan aynı anda sadece bir birim kullanılabileceğini gösterir ve bu konumlar ilişkili oldukları operasyon konumlarının güvenilirliğini garanti etmek için kullanılır.

Canlılık özelliği sistemlerin kilitlenme içermeyecek şekilde tasarlanmasında incelenir.

Geri dönebilirlik üretim sisteminin ulaşılabilir herhangi bir durumundan sistemin yeniden başlatılabileceğini gösterir. Geri dönebilirlik sistemdeki hata düzeltme uygulamaları için de önemli bir özelliktir [17].

## **2.2.7 İmalat Sistemlerinin Entegrasyonu İçin Sentez Yöntemleri**

Petri Ağları modellemeleri global yöntem yaklaşımlarıyla sağlanmaktadır. Bu yöntemler, tümdengelim, tümevarım, melez sentez yöntemleridir [12].

Tümdengelim teknikleri sistemi bütünsel olarak görüntülemesi açısından avantaja sahiptir. Yöntem, kaynak paylaşımının fazla olmadığı sistemler için, sentez adımlarından sonra ağın önemli karakteristiklerini muhafaza etmek için, alt ağlar arasındaki eş zamanlı etkileşimlerin kısıtlayıcı sentez kuralları yoluyla düzenli bir biçimde kontrolünün sağlanması amacıyla güder. Ne var ki bazı uygulamalar için bu kuralları ve metodolojileri bulmak kolay değildir. Başka bir deyişle, kaynak paylaşımının fazla olduğu durumlarda ağın karakteristiklerini ve esnekliğini aynı anda muhafaza edebilen teknikleri bulmak oldukça zordur.

Öte yandan tümevarım teknikleri kaynak paylaşımının fazla olduğu eş zamanlı etkileşimlerin tanımlanmasında avantajlara sahiptir. Fakat çoğu durumda bu yöntem, sentezi yapılmış ağların önemli karakteristiklerini korumayı garanti edemez.

Hali hazırdaki ve gelecekteki yönelim bu iki yöntemin avantajlarını birleştiren melez sentezleme yöntemidir. Kaynak paylaşımı problemi bu yöntemdeki araştırmanın odak noktasını oluşturmaktadır.

### **2.2.7.1 Tümevarım Sentezi**

İlk olarak tamamlanmamış alt sistemler ayrı ayrı detaylandırılarak belirtilir. Bu alt sistemler genelde basit ve gerçekleştirilmesi kolay sistemlerdir. Bazı etkileşimler ortak konumlar, geçişler ya da yollar olarak birbirinden ayrı bir şekilde sunulur. Daha sonra, her sentezleme aşamasında bu etkileşimler dikkate alınır ve birbirine uyan alt sistemler birleştirme yoluyla daha büyük alt sistemlere dönüşerek birbirine entegre edilir. Birleştirilen ağların analizi genelde her sentez aşaması biter bitmez yapılır ve sentezin son aşamasında tüm sistemin analizi basitleştirilmiş olur. Her sentezleme aşamasının sonunda, son sisteme dair bazı önemli özellikler elde edilir [18].

Eş zamanlı işlemler etkileşim açısından incelendiğinde tümevarım yöntemi sisteme bazı özgürlükler sağlar. Sentezlemenin başlangıç aşamasında bütün sistem birbirinden bağımsız ve etkileşimsiz alt sistemler olarak ele alınır. Bu durum sistemin tanımlanmasında kolaylık sağlar ve alt sistemler genelde birbiriyle uyumlu



alışan elemanlardan (robotlar, makineler, taşıma aygıtları) oluşur. Buradaki olumsuz durum birleştirilmiş ağdaki bazı önemli karakteristiklerin (canlılık, sınırlılık, vb.) kaybedilebilmesidir. Ne var ki tümevarım sentezleme yöntemi son ağın basitleştirilmesi açısından avantajlıdır. Her sentezleme aşamasında, sonuçtaki ağın bazı önemli karakteristikleri bireysel alt ağlardan elde edilen bilgilerden ötürü kolay bir Şekilde doğrulanabilir.

Tmevarımdaki değişmezler yöntemi, her sentezleme aşamasından sonra birleştirilmiş ağlar üzerindeki karakteristiklerin analiz edilmesinde sıklıkla kullanılır. Fakat, değişmezleri kullanmadaki dezavantaj, ağ hakkındaki bütün bilginin (canlılık ve geri dönebilirlik) iletilmesindeki yaşanan zorluktur. Bu durum sentezleme yoluyla elde edilmiş son ağın önemli karakteristiklerin korunmasını garanti edemeyeceği anlamına gelmektedir.

#### **2.2.7.2 Tümdengelim Sentezi**

Tümdengelim sentezi genelde sistemin bütünüyle başlar ve alt seviye detayları ile ilgilenmez. Daha sonra rafineleme işlemi model üzerindeki detaylandırmaların birleştirilmesi amacıyla adım adım gerçekleştirilir. Rafineleme için yaygın olarak kullanılan iki plandan söz edilir: Konumun genişletilmesi ve geçişlerin genişletilmesi. Rafineleme işlemi sistemin spesifikasyonlarını detaylandırma seviyesinde sağlayana kadar devam eder. Tümdengelim yöntemi sentezlemenin başlangıcından sonuna kadar sistemin btnzel olarak görüntülenebilmesi açısından avantajlıdır. Aynı zamanda, her sentezleme aşamasında sistemin önemli karakteristiklerinin kaybedilmemesi sağlanırken son aşama analizine gerek duyulmaz. Fakat bu yöntem kaynak kullanımlarının çok fazla ortak olduğu eş zamanlı işlemler için aralarındaki etkileşimin karmaşıklığından dolayı yetersiz kalmaktadır [19] .

#### **2.2.7.3 Melez Sentez**

Bu yöntem tümevarım ve tümdengelim yöntemlerinin dezavantajlarını gidermeye yönelik olup her iki yöntemin mantığını birleştirerek kaynak paylaşımı problemini ozmeye odaklanmıştır.

Bu yöntemin tasarım süreci iki ana bölüme ayrılmıştır: (a) Tasarımcıların birinci seviye Petri Ağı'nın tanımı ile başladığı ve beklenen seviyeye erişilene kadar daha fazla detay içeren operasyon konumu ve/veya geçişlerin adım adım

rafinenmesini kullandığı tümdengelim aşaması. (b) Kaynak konumlarının ağa eklendiği tümevarım aşaması. Eğer gerekiyorsa (a) ve (b) dönüşümlü olarak kullanılabilir. Bu Şekilde detaylı problemin karmaşıklığı giderilebilir. İkinci olarak, karmaşık bir sistem için kalitatif analiz probleminin önlenmesi amacıyla metodoloji, önerilen sentezleme prosedüründe kullanılan karşılıklı dışlama yapıları içerir. Hem ağın yapılanması hem de başlangıç işaretleme istenen kalitatif karakteristiklere ulaşılabilmesi için tasarlanır [12].

### **2.2.8 Karmaşık İmalat Sistemlerinin Karakteristikleri**

Modern imalat teknikleri giderek esnek bir hal almakta, yüksek derecede aynı kullanım içermekte, kaynak paylaşımında ve seçiminde hassaslaşmaktadır. Karmaşık Petri Ağları'ndan kaynaklı problemleri gidermede izlenen bir yol olarak tümevarım tekniklerinin kullanılması ve alt ağların birleştirilmesi söylenebilir. Fakat ulaşılabilirlik grafiklerinin ya da değişmezler metotlarının kullanılmasıyla bu karmaşık yapıyı analiz etmek pratikte oldukça güçtür. Alternatif olarak önerilen tümdengelim sentezleme yöntemlerinde ise sentezin detaylandırılmış seviyelerindeki kaynak paylaşımı konusunda sıkıntı yaşanmaktadır [12].

## **2.3 ENTEGRE BİR ARAÇ OLARAK PETRİ AğLARI VE ESNEK ÜRETİM SİSTEMLERİNDEKİ KULLANIM YÖNTEMİ**

ES'nin simulasyonundaki yeni gelişmeler bilgisayar ve telekomunikasyon ağlarının performans değerlendirmesi için yeni tekniklerin geliştirilmesini sağlamıştır. Petri Ağları ES'nin modellenmesinde kullanılan bir simulasyon tekniğidir. Esnek retim sistemlerinin tasarımı ve sistemin yönetilmesinde, grafiksel ve matematiksel modelleme yoluna giderek süreç girdilerinin ve çıktılarının incelenmesini sağlar.

### **2.3.1 Esnek retim Sistemleri Tasarımında Petri Ağları Uygulaması için Genel Prosedürler**

ES tasarımı Petri Ağları uygulaması için genel prosedürler aşağıdaki gibi sıralanabilir [13]:

- Belirleme ve tanımlama aşamasında, Petri Ağları sistem gereksinimlerini ve tanımlamalarını belirlemek için değerlendirilir ya da bunları sözlü ifadelere çevirerek doğrulamak için kullanılır. Bu yolla Petri Ağları ile modellenen sürecin diğer aşamalarının temeli atılmış olur.

- Uygulanabilirlik çalışmalarından ve sistem tasarımının ön hazırlığından sonra tasarımcılar, sistem hayat döngüsü içerisindeki yatırım, istenen üretim kapasitesi ve hizmet süreleri gibi dikkate alınacak genel hususları temel edindikten sonra en göz alıcı olan gereksinimleri ve tanımlamaları seçer. Daha sonra seçilmiş olan tasarımların Petri Ağları ile modellenerek analiz süreci başlar. Zamanlama bilgisi içeren Petri Ağları belirlenen tasarımları seçmede seçimi kolaylaştıran bir analizdir. Çeşitli analiz yöntemlerinden sonra en az iki aday tasarım belirlenmelidir.
- Tasarımı gerçekleştirilen sistemler daha da detaylandırılırken, bunlara ait olan Petri Ağları modelleri tasarım ve sentez metodolojileri yoluyla değişik kombinasyonları göstermek için miktarı artırılmış olmalıdır. Kaynak kullanımı, üretim hızı, yarı mamul stoğu ve üretim maliyeti gibi daha spesifik performans ölçütleri analiz edilmiş olmalıdır. Bu aşamada minimum insan katılımının olduğu döngüsel sistemin, kilitlenmesizliğin ve durağanlığın garanti edilebilmesi için kalitatif analizin gerçekleştirilmesi gereklidir. Bu bölümde izlenebilir Petri Ağları modelleri, operasyon zamanları üzerinde geçerli varsayımların yapılmasıyla oluşturulabilir. Daha sonra elde edilen sonuçlarda model üzerinde iyileştirme önerileri yapılabilir.
- Gerçekçi operasyon verilerinin toplanmasından ve dahil edilmesinden sonra Petri Ağları simülasyonu daha doğru sistem performansı türetmek amacıyla kullanılabilir. Elde edilen sonuçlar beklentileri karşılamıyorsa süreç üzerinde modifiye etme aşaması yeniden uygulanır
- Uygulama aşamasında EÜS'nin kesikli olay kontrol kodları ya da kontrol yazılımı Petri Ağları modeline göre türetilir ve uygulanır. Elde edilen Petri Ağları modeli sistemin tasarımını açıklar ve gelecek iyileştirmeler için örnek bir model oluşturur.

### 3 METODOLOJİ

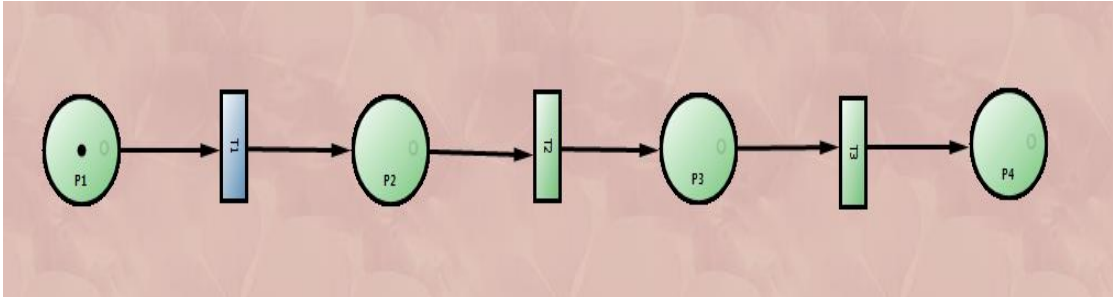
Bu bölümde, temel modelleme yapılarına yer verilmiş, devamında üretim sistemlerinin Petri Ağları ile modellenmesinde kullanılan kaynak tabanlı yaklaşım ve çalışmada da yer alan süreç tabanlı yaklaşımdan bahsedilmiştir. Yaklaşımlardan bahsedildikten sonra, çalışmanın temel yapıtaşlarından birini oluşturan NOMY'nin esnek bir üretim sistemini süreç odaklı nesnelere nasıl ayırdığı detaylı olarak anlatılmış ve çalışmanın da başlığını oluşturan esnek üretim sistemlerinin nesne sınıflandırma yöntemi kullanılarak süreç tabanlı yaklaşımla modellenmesi için gerekli adımlar sıralanmıştır.

#### 3.1 Temel Modelleme Yapıları

Üretim sisteminin modellenmesinde çeşitli modelleme yapılarından yararlanılabilir. Aşağıda bu yapılara örnekler verilmiştir [20]:

##### *Öncelik sırası*

Üretim sistemlerinde iş parçalarının operasyon sıralarını modellerken Şekil 3.1. de gösterilen yapıda karşımıza çıkar. Faaliyetler belirli bir öncelik sırası dahilinde yer alırlar.



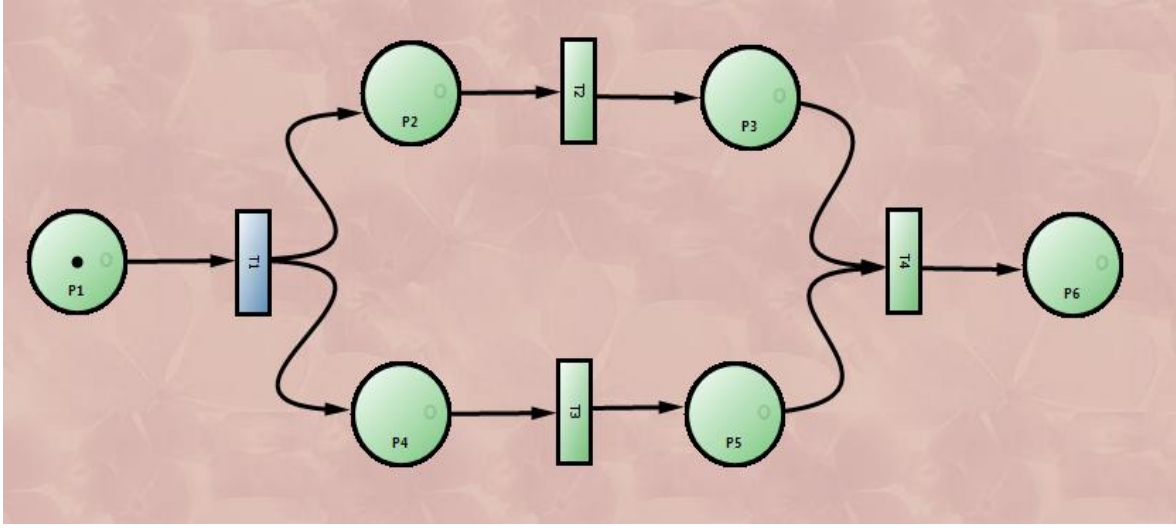
Şekil 3.1. Öncelik Sırası Model Yapısı

##### *Paralellik*

Üretim sisteminde iki veya daha fazla sürecin ortak bir geçişle başlatıldığı yapı olarak karşımıza çıkar. Temel olarak, birbiriyle ilişkili olmayan iki geçiş paralellik (eş-zamanlılık) yapısını gösterir.

Şekil 3.1. de  $t_1$  geçişinin ateşlenmesinden sonra  $p_2$  ve  $p_4$  konumlarına gelen jetonlar aracılığıyla ağın her iki parçası paralel olarak çalışabilir. Paralel geçişlerden biri diğerinden önce, sonra veya aynı anda ateşlenebilir.  $t_2$  ve  $t_3$

geçişlerinden herhangi birinin ateşlenmesi, diğerinin ateşlenmesini engellemez. Şekil 3.2. de gösterilen bu yapı çatallı yapı olarak da adlandırılır.



Şekil 3.2. Paralellik Model Yapısı

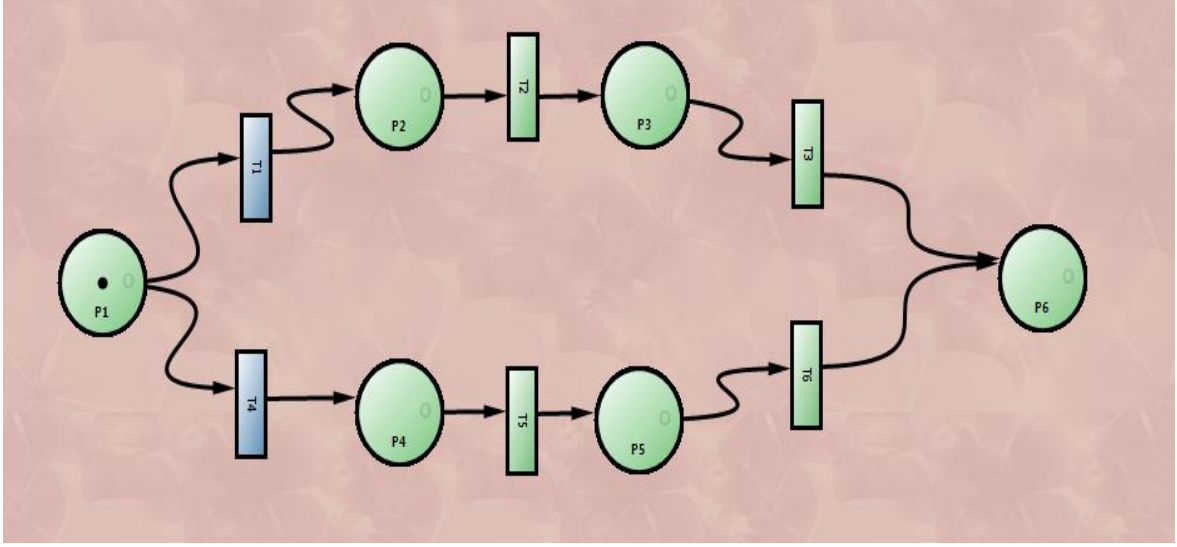
### Senkronizasyon

Modeldeki geçişin birden fazla girdi konumuna sahip olması sonucunda ortaya çıkar. İki süreç arasındaki senkronizasyon, ortak bir çıktı geçişine bağlanan iki konumla modellenebilir. Bu konumlardan birisi yeterli sayıda jetona sahip olsa bile, ilgili geçiş diğer konumun da yeterli sayıda jeton sayısına sahip olmasını bekledikten sonra her iki koşul da sağlandıktan sonra ateşlenecektir. Çeşitli parçaların montajının yapıldığı sistemde, montaj operasyonu senkronizasyon yapısıyla modellenebilir. Bunun yanında bir parçanın operasyonuna başlaması için hem parçanın hem de makinanın hazır olması koşulları da senkronizasyonla modellenebilir. Şekil 3.2. de ortak bir geçişe bağlanan  $t_4$  paralel faaliyetlerin senkronizasyonu örnek olarak gösterilebilir.

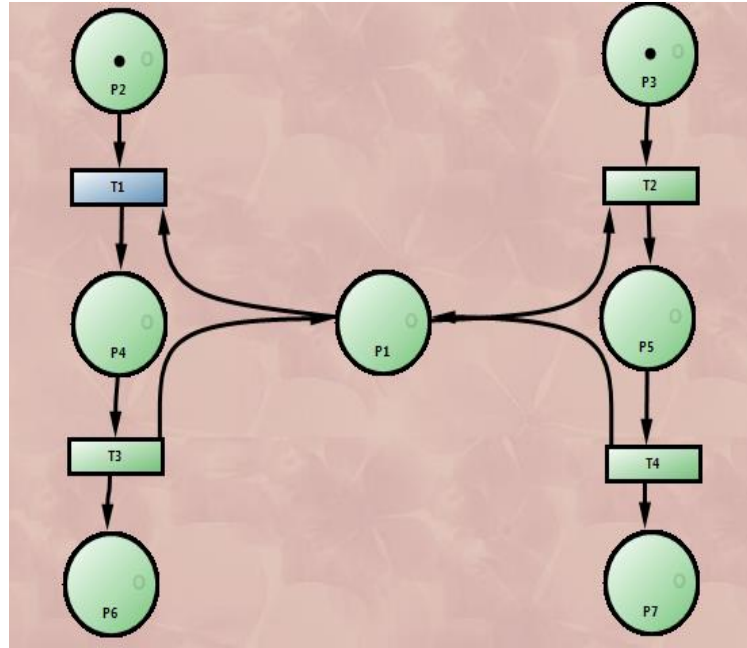
### Seçim

Üretim sistemi modelinde iki geçişten birinin ateşlenmesi diğerinin ateşlenmesini önliyorsa, başka bir deyişle aynı anda iki geçişin de ateşlenmesi mümkün değilse bu iki geçiş çatışma halindedir. Şekil 3.3. teki  $t_1$  ve  $t_4$  geçişleri çatışma halindedir. Böyle bir çatışma durumunda, ateşlenecek geçişin belirli bir olasılığa, önceliğe dayanarak seçimi söz konusudur. Bir kaynağın birden fazla operasyonda ortak olarak kullanılması durumu da seçim ile modellenebilir. Şekil 3.4. te  $p_1$  konumu ile

gösterilen bir kaynağın aynı anda birden fazla operasyona tahsis edilemeyeceğini gösteren bu yapı karşılıklı dışlama olarak adlandırılır.



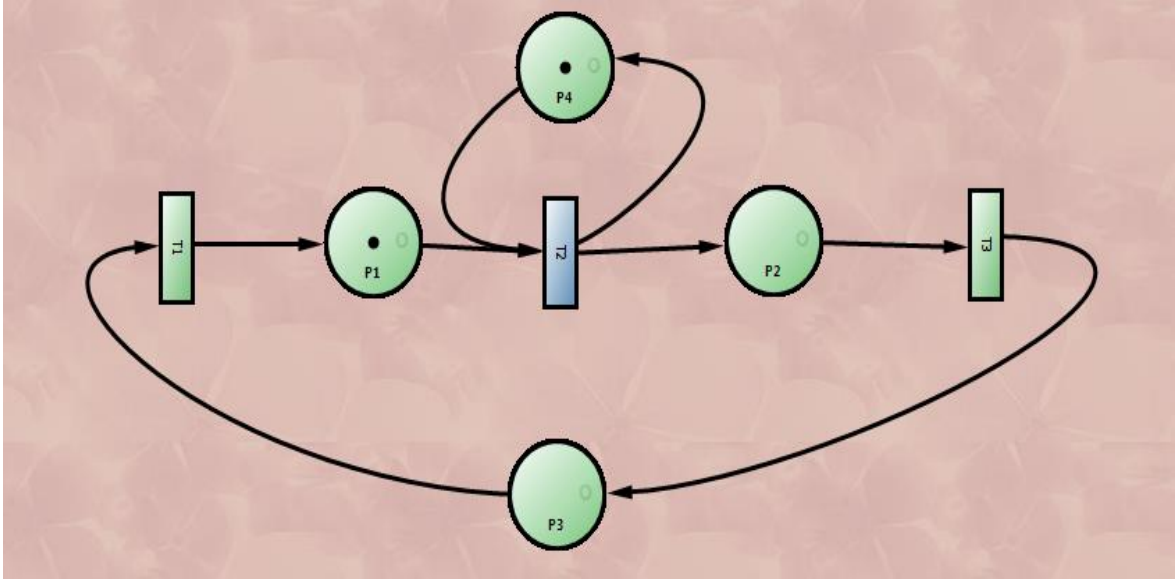
Şekil 3.3. Seçim Model Yapısı



Şekil 3.4. Karşılıklı dışlama model yapısı

### Devre

Üretim sisteminin döngüsel davranışının modellenmesinde devre yapıları kullanılabilir. Sistemde tekrarlamalı olarak yerine getirilen faaliyetler şekil 3.5. te gösterilen bu tür devrelerle modellenebilir.



Şekil 3.5. Devre model yapısı

### 3.2 Üretim Sistemlerinin Modellenmesi

Üretim sistemlerinin modellenmesinde kaynak tabanlı ve süreç tabanlı iki farklı yaklaşım karşımıza çıkmaktadır. Kaynak tabanlı yaklaşıma operasyon-geçiş yaklaşımı, süreç tabanlı yaklaşıma ise operasyon-konum yaklaşımı adı da verilebilir.

#### 3.2.1 Kaynak Tabanlı Yaklaşım

Bu modelleme tipinde operasyonlar geçişlerle, kaynaklar ise konumlarla temsil edilir. Kaynak konumunda bulunan jetonlar, kaynağın kullanıma hazır olduğunu gösterir.

Her bir parça türüne ait modeller kaynak tabanlı modelleme yaklaşımı ile aşağıdaki şekilde oluşturulabilir [12]:

- Gereken operasyonlar öncelik ilişkilerine dayanarak sıralanır.
- Sıralamadaki her bir operasyonu temsil eden konum oluşturulur. Bu konuma bir girdi ve bir çıktı geçişi bağlanır. Girdi geçişi operasyonun başlamasını, çıktı geçişi ise operasyonun tamamlanmasını ifade eder. Bir operasyonun çıktı geçişi diğer operasyonun girdi geçişidir.
- Daha önceden oluşturulmayan ve operasyonun başlaması için gerekli olan kaynakları temsil eden konumlar oluşturulur ve bu konumlar operasyonun girdi

geçişine bağlanır. Operasyonun başlaması için gerekli koşullar bu konumlar aracılığı ile tanımlanacaktır.

- Operasyon tamamlandıktan sonra serbest kalan kaynaklar varsa, bu operasyonun bitişini temsil eden geçiş, ilgili kaynak konumlarına bağlanır. Böylece bu kaynaklar operasyonun tamamlanması ile birlikte serbest kalarak yeniden kullanıma hazır hale gelmiş olacaktır.
- Sistemin başlangıçtaki durumuna (parçaların parti miktarı ve kaynak kapasitelerine) göre ağırlık ilk işaretlemesi yapılır.

### **3.2.2 Süreç Tabanlı Yaklaşım**

Bu yaklaşıma göre operasyonlar konumlarla modellenir. Geçişler ise bir operasyonun tamamlanmasını veya başlamasını temsil eder [21]. Operasyonun yanı sıra ortak kullanılan kaynaklar da konumla ifade edilir. Operasyon konumları ve kaynak konumları aşağıda açıklanmıştır:

**Operasyon konumları:** Bir operasyonu temsil eden konumda yer alan bir jeton, ilgili operasyonun yapılmakta olduğunu gösterirken, eğer hiç jeton yoksa bu durum operasyonun yapılmadığını gösterir. Operasyonlara parçaların makinalarda işlem görmesi, hazırlık faaliyetleri, taşıma faaliyetleri örnek verilebilir.

**Kaynak konumları:** Bir kaynağın durumunu temsil eden konumda bulunan jeton(lar), kaynağın kullanılabilir durumda olduğunu gösterir. Jeton sayısı ise kaynağın kullanılabilirlik miktarını belirtir. Eğer hiç jeton yoksa bu durum kaynağın kullanıma hazır olmadığını (meşgul ya da kullanılamaz olduğunu) gösterir. Kaynağın durumuna makinanın, robotun, taşıma aracının, paletin, işçinin kullanılabilirlik durumları örnek verilebilir [10].

### **3.3 Nesne Odaklı Modelleme Yöntemi**

Bu çalışma, bir esnek üretim sisteminin benzetiminde, -temel modelleme yapılarından esinlenerek- sistem bileşenlerinin modüler düzeyde ele alındıktan sonra süreç tabanlı yaklaşım kullanılarak modellenmesi esasına dayanmaktadır. Kurulan modelin en önemli avantajı modele, sistem içerisindeki modelleme yapılarının birden fazla prosesi kapsamaması ve sistemle uyumlu bir prosenin kolaylıkla sisteme dahil edilebilmesi ya da sistemden çıkarılabilmesi yeteneğini kazandırmasıdır.



Yeniden kullanılabilirlik ve genişletilebilirlik nesne odaklı sınıflandırmanın modele kazandırdığı esneklik kabiliyetleri açısından iki önemli özellik olarak karşımıza çıkmaktadır [22]. Bu yöntem sayesinde üretim ekipmanları benzer yapılarda ve fonksiyonlarda gruplanabilmektedir [2].

Bir esnek üretim sisteminde süreçleri operasyonlar başlığı altında beş ana sınıfta toplayabiliriz: imalat, kalite kontrol, malzeme depolama ve malzeme taşıma, malzeme kaplama ve parça birleştirme [23]. Bu beş sınıf içerisindeki alt sınıfların Petri ağları ile süreç tabanlı yaklaşım içerisinde modellenmesi ortak modelleme yapılarını da beraberinde getirecektir. Böylelikle sistem modellenirken, benzer işlemlere ya da fonksiyonlara sahip yapıların ortak bir modelleme şeması oluşacaktır.

Sınıf ve alt sınıfları meydana getirirken 1XYZ isimli kodlama ve gruplandırma düzeni tasarlanmıştır. Sırasıyla;

1: Operasyonlar

A Sınıfı: 1=İmalat 2=Kalite kontrol 3= Depolama Taşıma 4=Kaplama 5=Birleştirme

X Alt sınıfı: A'ya ait alt grup

Y Alt sınıfı: X'e ait alt grup

Z Alt Sınıfı: Y'ye ait alt grup

Yukarıda tasarlanan gruplandırma düzenine göre sınıfların açıklaması aşağıda belirtilmiş olup, bu düzen çerçevesinde alt sınıfların genişletilebilirliği sağlanmıştır.

**Sınıf 1 Operasyonlar:** Bir parçanın malzemesini tamamlanmış bir yapıdan, daha ileri bir aşamaya dönüştürme operasyonlarıdır. Başka bir deyişle başlangıç malzemesinin geometrisini, özelliklerini veya görünüşünü değiştiren operasyonlardır.

**Sınıf 11X İmalat:** Bir parçanın imalat işlemlerinden geçeceğini gösterir.

Alt sınıf 111YZ: Talaşlı İmalat İşlemleri

Alt Sınıf (1111Z) Frezeleme: Bıçak ismi verilen takım üzerinde bulunan çok sayıda dişten sırayla her birinin kısa bir süre parçayı kesmesi ve sonra boş dönmesi sağlanır.

Alt Sınıf (1112Z) Tornalama: Tek uçlu bir takım ile gerçekleştirilen, silindirik biçiminde parçalar üretme yoluyla, dönen bir iş parçası ve sabit bir takımın kullanıldığı bir işlemdir.

Alt Sınıf (1113Z) Delme: Parçanın sabit durmasıyla, kesme ve ilerleme hareketi yapılır. Matkap delme işlemini gerçekleştirir.

Alt Sınıf (1114Z) Kesme: Çok ağızlı testereleler vasıtasıyla parçalara ayrılma işlemi gerçekleşir.

Alt Sınıf (1115Z) Taşlama: Çeşitli büyüklükteki silindirik biçiminde taşlarla işlenmiş makine parçaları yüzeyinden az miktarda talaş kaldırma işlemi ile daha hassas ve pürüzsüz yüzey elde etme sürecidir.

Alt sınıf 112YZ: Talaşsız İmalat İşlemleri

Alt Sınıf (1121Z) Döküm: Erimiş metalin, kalıp boşluğunda katılaşacağı kalıba, yer çekimi veya başka bir kuvvetle aktığı yöntemdir. Kum döküm, kokil döküm, basınçlı döküm, savurma döküm, püskürtme döküm, alçı döküm, hassas döküm, sürekli döküm gibi çeşitleri vardır.

Alt Sınıf (1122Z) Şekil verme: Metal ya da plastik parçalara şekil verme yöntemlerini içerir. Haddeme, dövme, ekstrüzyon, derin çekme, tel çekme gibi çeşitleri vardır.

**Sınıf (12X) Kalite Kontrol İşlemleri:** Üretim esnasında hammadde, yarı ürün ya da bitmiş ürünlerin istenilen standartlara uygun olup olmadığını denetleyen, istenmeyen durumlarda geri bildirimler sağlayan, kontrol amacı güden işlemlerdir.

**Sınıf (13XY) Depolama ve Taşıma İşlemleri:**

Alt Sınıf (131Y) Depolama İşlemleri: Üretim hattındaki hammadde, yarı ürün, bitmiş ürünlerin doğru zamanda kullanımları için bekletilmesi işlemidir.

Alt Sınıf (132Y) Taşıma İşlemleri: Üretim hattındaki malzemelerin bir yerden başka bir yere hareketinin sağlandığı işlemdir. Robotlarla, otomatik güdümlü araçlarla, konveyörlerle taşıma işlemi gerçekleştirilmektedir.

Alt sınıf (133Y) Yükleme ve Boşaltma: Üretim hattındaki hammadde, yarı ürün, bitmiş ürünlerin istasyonlar arası taşınımının sağlanması amacıyla manuel olarak ya da robot kolları vasıtasıyla malzemelerin bir yerden alınıp başka bir yere yüklenmesi işlemidir.

Alt Sınıf (134Y) Ara Stoklama: İstasyonlarda sürecin içindeki yarı bitmiş/bitmiş ürünlerin taşınım için bekledikleri alandır. Ara stok depolama alanları aracılığı ile ara stoklama işlemi gerçekleştirilir.

**Sınıf (14X) Kaplama:** İşlenmiş yüzey üzerine başka bir malzemenin yerleştirilmesi işlemidir. Yüzeylerin kaplanması için değişik yöntemler mevcuttur. Kaplama işlemi korozyondan korunma ve dekoratif görünüm elde etmek amacıyla yapılır.

**Sınıf (15X) Birleştirme:** Yeni bir parça oluşturmak için iki veya daha fazla parçanın bir araya getirilmesi işlemidir. Kaynaklama, lehimleme, sinterleme, presleme, perçinleme, vidalama, yapıştırma gibi çeşitleri vardır.

EÜS'de görev alan nesne sınıflarının özelliklerinin ve açıklamalarının belirtildiği geliştirilebilir tablo aşağıda Tablo 3.1. de gösterilmiştir.

Tablo 3.1. Nesne sınıfları ve açıklamaları

Nesne Numarası	Nesne İsmi	Nesne Açıklaması ve Alt Grupları
1	Operasyonlar	İmalat işleri
11X	İmalat	1.Talaşlı 2.Talaşsız
111YZ X=1	Talaşlı İmalat	
1111Z Y=1	Frezeleme	Z=1. Yatay freze tezgahı Z=2. Düşey freze tezgahı Z=3. Üniversal freze tezgahı Z=4. İmalat ve gövde tipi freze tezgahı Z=5. Planya tipi freze tezgahı Z=6. Kopya freze tezgahı

<p><b>1112Z</b></p> <p><b>Tornalama</b></p> <p><b>Y=2</b></p>		<p>Z=1. Saatçi Tornası</p> <p>Z=2. Masa Tornası</p> <p>Z=3. Üniversal Torna Tezgahı</p> <p>Z=4. Hidrolik Kumandalı Torna Tezgahı</p> <p>Z=5. Elektronik Kontrollü Torna Tezgahı</p> <p>Z=6. Rovolver Torna Tezgahları</p> <p>Z=7. Otomatik Torna Tezgahları</p> <p>Z=8. Düşey Torna Tezgahı</p> <p>Z=9. Hava Tezgahı</p> <p>Z=10. Kopya Tezgahı</p> <p>Z=11. Sırt alma Tezgahı</p> <p>Z=12. Kam Tezgahı</p>
<p><b>1113Z</b></p> <p><b>Delme</b></p> <p><b>Y=3</b></p>		<p>Z=1. El Matkabı</p> <p>Z=2. Masa Matkabı</p> <p>Z=3. Sütunlu Matkap</p> <p>Z=4. Radyal Matkap</p> <p>Z=5 Borwerk</p>
<p><b>1114Z</b></p> <p><b>Kesme</b></p> <p><b>Y=4</b></p>		<p>Z=1. El testeresi</p> <p>Z=2. Boru keskisi</p> <p>Z=3. Şerit testere makinesi</p> <p>Z=4. Tepsi testere makinesi</p> <p>Z=5. Kollu profil kesme makinesi</p> <p>Z=6. Disk zımpara makinesi</p> <p>Z=7. Hidrolik testere</p>

<b>1115Z</b>  <b>Y=5</b>	<b>Taşlama</b>	Z=1. Düzlem (Satih) Taşlama Tezgahı  Z=2.Silindirik Taşlama Tezgahı  Z=3. Puntasız Taşlama Tezgahı  Z=4. CNC Taşlama Tezgahı
<b>112YZ</b>  <b>X=2</b>	<b>Talaşsız İmalat</b>	
<b>1121Z</b>  <b>Y=1</b>	<b>Döküm</b>	Z=1.Hassas Döküm  Z=2.Sürekli Döküm  Z=3.Savurma Döküm  Z=4.Kokil Döküm  Z=5.Püskürtme Döküm  Z=6.Alçı Döküm  Z=7.Kum Döküm
<b>1122Z</b>  <b>Y=2</b>	<b>Şekil Verme</b>	Z=1. Haddeme  Z=2. Dövme  Z=3. Ekstrüzyon  Z=4. Derin Çekme  Z=5.Tel Çekme
<b>12X</b>	<b>Kalite Kontrol</b>	X=1.Görsel Kalite Kontrol  X=2.Eş güdümlü Ölçüm makinalarıyla kontrol
<b>13XY</b>	<b>Depolama&amp;Taşıma</b>	

<b>131Y</b> <b>X=1</b>	<b>Depolama</b>	Y=1. Standart Depolama Y=2. AS/RS Depolama
<b>132Y</b> <b>X=2</b>	<b>132Y Taşıma</b>	Y=1. AGV ile Taşıma Y=2. Konveyör ile Taşıma Y=3 Bağlantı Konveyörü
<b>133Y</b> <b>X=3</b>	<b>Yükleme/Boşaltma</b>	1.Robot ile Yüklem/Boşaltma
<b>134Y</b> <b>X=4</b>	<b>Ara Stoklama</b>	1. (Buffer) Ara stok alanı
<b>14X</b>	<b>Kaplama</b>	X=1. Kimyasal Kaplama X=2. Elektro kimyasal Kaplama
<b>15X</b>	<b>Birleştirme</b>	X=1.Kaynaklama X=2.Lehimleme X=3.Sinterleme X=4.Presleme X=5.Perçinleme X=6.Vidalama X=7:Yapıştırma

### **3.4 Esnek Üretim Sistemlerinin Nesne Sınıflandırma Yöntemi Kullanılarak Renkli Petri Ağları Yazılımına Hazır Hale Getirilmesi**

Modelleme yapılmadan önceki hazırlık aşamasının adımları aşağıda yer almaktadır:

Adım 1: Modellenen sistemin görsel haritası süreç anlatılarak çıkarılır.

Adım 2: Sistemin gerektirdiği bütün nesne sınıflarının 1XYZ kod ataması yapıp listelenir. Operasyon şeması oluşturulur. Operasyon şeması oluşturulurken literatürde yapılan bir çalışmanın diyagramından esinlenerek modele uyarlama yapılmıştır [24] .

Adım 3: İlgili süreçte gerçekleşen bütün işlemler başlangıçtan bitişe kadar sırasıyla yazılı olarak ifade edildikten sonra, malzeme akış sistemi adı altında bir tablo oluşturulur.

### **3.4.1 Süreç Tabanlı Petri Ağları ile 101 Notasyonunun Açıklanması**

Hazırlık aşamasının ardından modellemeye geçmeden önce tasarlanan ‘Süreç Tabanlı Petri Ağları ile 101 Notasyonu’ ndan bahsetmekte fayda vardır.

Esnek üretim sistemlerinde parçaların ana hatta ilerlemesine göre karşımıza dört farklı imalathane düzeni çıkmaktadır. Bunlar:

*Kapalı Döngü Karar Noktasız:* Ana hat üzerinde ilerleyen parçalar bütün istasyonlarda işlem görüp, ilk başladıkları yere, yani işlem görmeden önceki yükleme alanına son ürüne dahil olarak boşaltılırlar.

*Kapalı Döngü Karar Noktalı:* Ana hat üzerinde ilerleyen parçalar işlem görecekları istasyona göre bir rota izlerler. Başka bir deyişle, her istasyona uğrama gibi bir zorunlulukları yoktur. Bu da karar verme aşamasını beraberinde getirir. Bu parçalar, işlem görüp ilk başladıkları yere, yani işlem görmeden önceki yükleme alanına son ürüne dahil olarak boşaltılırlar.

*Açık Döngü Karar Noktasız:* Ana hat üzerinde ilerleyen parçalar bütün istasyonlarda işlem görüp son ürüne dahil olarak son istasyondan boşaltılırlar.

*Açık Döngü Karar Noktalı:* Ana hat üzerinde ilerleyen parçalar işlem görecekları istasyona göre bir rota izlerler. Başka bir deyişle, her istasyona uğrama gibi bir zorunluluk yoktur. Bu da karar verme aşamasını beraberinde getirir. Bu parçalar son ürüne dahil olarak son istasyondan boşaltılırlar.

101 notasyonundaki 1 rakam Petri ağlarındaki geçişi; 0 rakamı ise konum elemanını temsil etmektedir.

Yukarıdaki esnek üretim imalathane düzenlerinin bu notasyonla genel formülizasyonu Tablo 3.2 de açıklamalarıyla belirtilmiştir.

Tablo 3.2. İmalathane ana hattının modellenmesi

İmalathane tipi	Notasyon
Kapalı Döngü Karar Noktasız	$[10_n 1]$
Kapalı Döngü Karar Noktalı	$[10_{n-m,m} 1] \longrightarrow \underbrace{10_{i,f} 1 + 10_{i,f} 1}_{m \text{ tane}}$
Açık Döngü Karar Noktasız	$]10_n 1[$
Açık Döngü Karar Noktalı	$]10_{n-m,m} 1[ \longrightarrow \underbrace{10_{i,f} 1 + 10_{i,f} 1}_{m \text{ tane}}$
n: istasyon sayısı=konum sayısı	
m: karar noktası sayısı	
i: karar noktası geçişinin ana hattın kaçınıcı konumuna denk geldiği	
f: karar noktası geçişinin ana hattın kaçınıcı konumunda son bulduğu	

Ana hat modeline karar verdikten sonra ana hatta eklenecek istasyonları da 101 notasyonu ile modele dahil edebiliriz. Tablo 3.2 de ana hattaki karar noktalarını belirledikten sonra  $(10_{if}1)^k$  şeklindeki genel gösterimle istasyonların sisteme entegrasyonu mümkündür. Buradaki harflendirmelerde ise;

k: aynı istasyonda bulunan birbirine paralel süreçlerin sayısı,

i: istasyonun ana hattın kaçınıcı geçişinden bağlanacağı,

t: istasyondaki geçiş sayısı

f: istasyonun ana hattın kaçınıcı geçişine bağlanarak son bulacağı gösterilir. Tahmin edileceği üzere herhangi bir istasyonda atık veya ara ürün çıktısı durumu varsa f değeri 0 olacaktır.

Sonuçta elimizde imalathanenin modellenmesi için gereken notasyonlar aşağıdaki gibi birleştirilebilir:



Kapalı Döngü Karar Noktasız İmalathane için;

$$[10_n 1] \xrightarrow{\quad} \underbrace{(10_{itf} 1)^k}_{n+1 \text{ tane}}$$

Kapalı Döngü Karar Noktalı İmalathane için;

$$[10_{n-m,m} 1] \xrightarrow{\quad} \underbrace{10_{i,f} 1 + 10_{i,f} 1}_{m \text{ tane}} \xrightarrow{\quad} \underbrace{(10_{itf} 1)^k}_{n+1 \text{ tane}}$$

Açık Döngü Karar Noktasız İmalathane için;

$$]10_{n-1} 1[ \xrightarrow{\quad} \underbrace{(10_{itf} 1)^k}_{n \text{ tane}}$$

Açık Döngü Karar Noktalı İmalathane için;

$$]10_{n-m,m} 1[ \xrightarrow{\quad} 10_{i,f} 1 \xrightarrow{\quad} \underbrace{(10_{itf} 1)^k}_{n \text{ tane}}$$

### 3.4.2 Sistemin Renkli Petri Ağları Yazılımına Hazır Hale Getirilmesi

Aşağıda esnek bir üretim sisteminin nesne sınıflandırma yöntemi kullanılarak süreç tabanlı yaklaşımla nasıl modelleneceğinin adımları yer almaktadır.

Adım 1: Sırasıyla organizasyon, şirket, departman, imalathane, istasyon bilgileri verilir.

Adım 2: Modellenecek sistem ana hat düzeyinde ele alınır;

İmalathane içerisindeki istasyon sayısı, karar noktası sayısı ve imalathanenin kapalı ya da açık döngüde olduğu bilgileri verilir.

(101) notasyonu ile ana hat modeli gösterilir. Ana hat belirlenir.

Adım 3: (101) notasyonu ile belirlenmiş imalathane modelinin içerisindeki istasyonlar yine (101) notasyonu ile imalathanenin ana hattına bağlanacağı yerlere göre ana hat modelinin alt kümesi olarak gösterimde yerini alır.

Adım 4: Notasyonla nasıl modelleneceği tanımlanan sistemin ana hat ve istasyonlarının st-PA yardımı ile şekli çıkarılır.

Adım 5: Renkli Petri Ağı yöntemine geçilir.

### **3.4.3 Renkli Petri Ağı Yöntemi**

Renkli Petri Ağları eş zamanlı ve dağıtılmış sistemlerin ve eş zamanlılığın önemli bir rol oynadığı diğer sistemlerin modellenmesi ve onaylanması için kullanılan bir dildir. Aynı zamanda Renkli Petri Ağları, Petri Ağları'nın özelliklerini üst düzey bir programlama dilinin yetenekleriyle birleştiren ayrı bir olay modelleme dalıdır [25].

Petri ağları eş zamansal, iletişimsel ve senkronizasyonel modelleme için grafiksel gösterimin temelini ve temel ilkeleri sağlar.

Renkli Petri Ağları modelleri yürütülebilir ve eşzamanlı sistemlerin davranışlarını modellemek ve belirlemek için kullanılır.

Bir sistemin Renkli Petri Ağları modeli hem durum hem de süreç odaklıdır. Sistemi değiştirmek için sistemin durumlarını ve sisteme neden olabilecek olayları (geçişler) tanımlar. Bu sayede, Renkli Petri Ağları modelinin benzetimlerini gerçekleştirerek, farklı senaryoları araştırmak ve sistemin davranışını keşfetmek mümkündür [26].

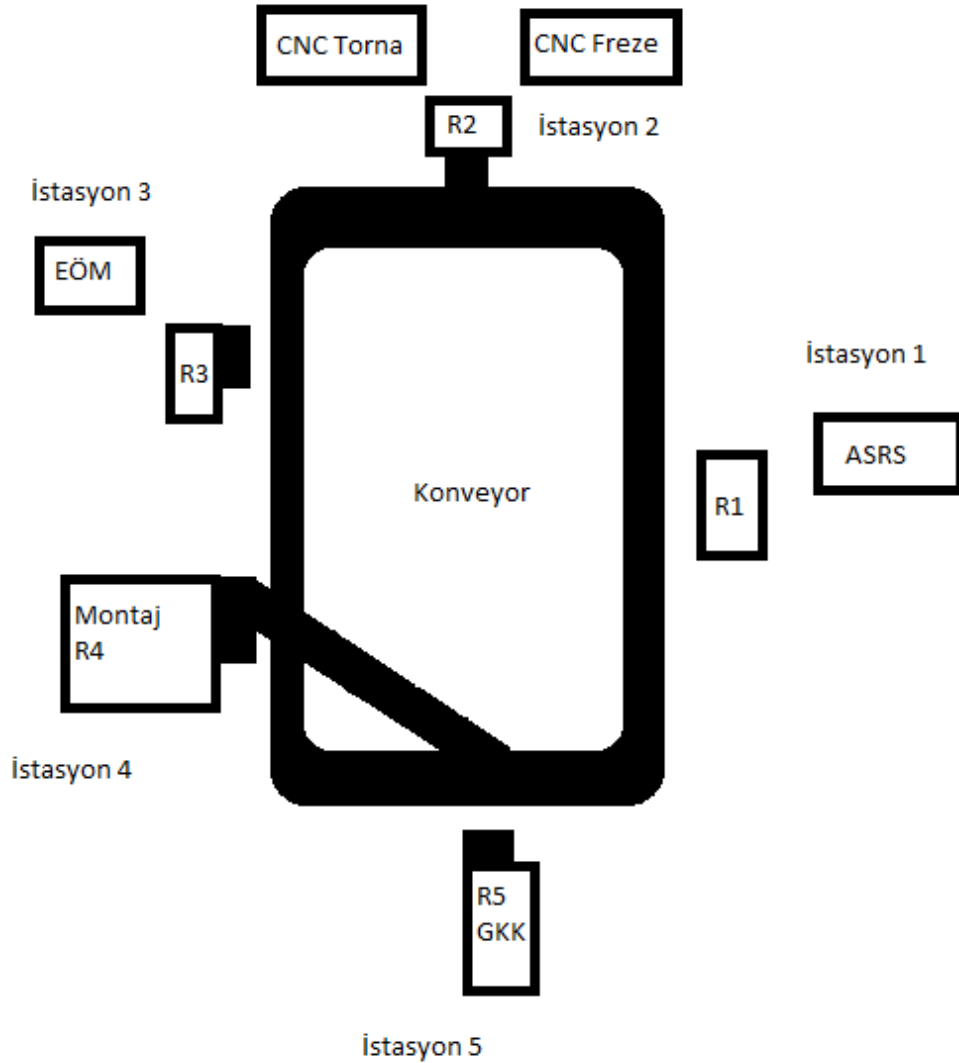
## 4 UYGULAMA

Bu bölümde, literatürde daha önceden çalışılmış [23] bir esnek üretim imalathanesinden kullanılarak modelleme süreci uygulamalı bir şekilde ele alınmış ve tasarım sürecinde gerçekleştirilen adımlar detaylı bir biçimde açıklanmıştır.

### 4.1 Modellemeye Hazırlık Adımları

#### Adım 1: Modellenen Esnek Üretim Sisteminin Görsel Haritasının Çıkarılması

Modellenen esnek üretim sistemi hücresi, merkezi bir istasyondan kontrolü sağlanan ve istasyonlarının konveyör taşıma sistemi etrafında konuşlandığı bir yapıdan oluşmaktadır. Kapalı döngü karar noktalı bir esnek üretim sistemidir. Şekil 4.1 de ilgili EÜS gösterilmiştir.



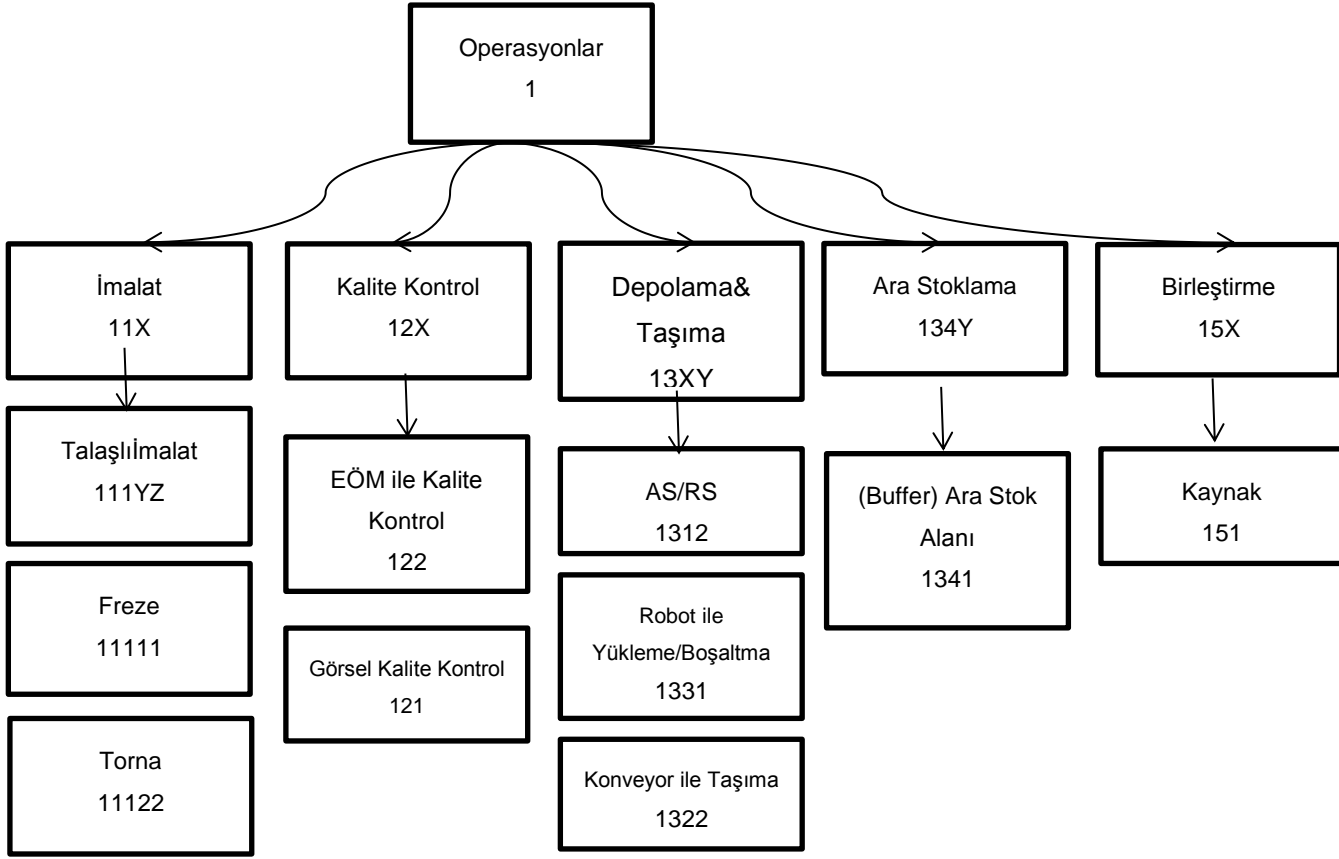
Şekil 4.1 Modellenen esnek üretim sisteminin görsel haritası

Sistemin hammadde kaynağını istasyon 1 deki Otomatik Depolama ve Çekme Sistemi (Automated Storage and Retrieval System-ASRS) karşılamaktadır. Materyal taşıma işlemleri ise paletlenmiş konveyörler ve robotlarla sağlanmaktadır. Her robot kontrolörü, gerekli hız ve hassasiyete kontrol ettiği robotun hareketini yürütmekte ve robotlar taşıma işlemini mekanik kollar vasıtasıyla gerçekleştirmektedir. Robotlar, bir parçayı bir istasyondan diğerine nakletmek için konveyör üzerindeki palettteki kalıba yerleşerek işlemini gerçekleştirir. Daha sonra konveyör paletleri istasyonlar arasında taşır. Aşağıda istasyonlarda gerçekleşen faaliyetler gösterilmektedir:

- CNC makinalarıyla talaş kaldırma işlemi
- Görsel Kalite Kontrol (GKK)
- Eşgüdümlü Ölçüm Makinası (EÖM) ile denetleme
- Montaj
- Ambalajlama ve paletleme

Adım 2: Nesne sınıflarının 1AXYZ Kod Ataması:

Modellemede kullanılacak nesne kodları 11111, 11122, 122, 121, 1312, 1331, 1322, 1341, 151 olarak karşımıza çıkmaktadır. Şekil 4.2 operasyon şemasını nesne sınıflandırması yoluyla göstermektedir.



**Şekil 4.2 Operasyon şeması**

### Adım 3: Malzeme Akış Sistemi Tablosunun Oluşturulması

Malzeme akış sistemi otomatik depolama ve çekme sistemi, kalıplar, robotlar ve konveyörden oluşmaktadır. Konveyör istasyonları arasındaki malzemelerin taşınmasından sorumludur. Malzemeler konveyördeki paletlerin üzerinde taşınır.

Otomatik depolama ve çekme sistemi ham maddelerin ve ara ürünlerin üretim süreci esnasındaki kaynağıdır. Otomatik depolama ve çekme sistemi hücreleri bünyesinde boş ya da üzerinde çeşitli parçalar olan kalıplar barındırabilir. Burada kalıp olarak nitelendirilen taşıma aracı, üzerinde eşit boyutta delikleri olan plastik bir tabladır. Farklı türde iş parçalarını taşıyabilmektedir.

Robotlar konveyördeki parçaların istasyonlara taşınmasından ve istasyonlardaki parçaların konveyöre yüklenmesinden sorumludur. Konveyörden robot tarafından alınan parça öncelikle istasyondaki ara stok alanına yüklenir. Daha sonra ara stok alanına yüklenmiş olan tabla üzerindeki parçalar istasyonda işlem göreceği aygıtta teslim edilir. Modellenen bu esnek üretim sisteminde istasyon 2 de dört, diğer istasyonlarda da iki adet ara stok alanı bulunmaktadır.

Modellenen üretim hattında frezeleme ve tornalama işlemleri BNK aygıtı tarafından gerçekleştirilmektedir. Parçaların denetlenmesi işlemi eşgüdümlü ölçüm makinası (EÖM) tarafından yapılmaktadır. Montajlama işlemi montaj robotu ile gerçekleştirilmektedir. Son olarak görüntülü kalite kontrolü ise robot video kamera ve monitör ile sağlanmaktadır.

Tablo oluşturulurken işlem görece her parça için önce sistem düzeyinde alt işlemler belirtilir. Daha sonra hücre (istasyon) düzeyinde alt işlemler üretilir. Bu sayede, her parçanın süreç içerisinde geçirdiği değişim en detayına kadar inceleneceği için modelleme aşamasında tasarımcıya oldukça fayda sağlayacaktır. İlgili tablo Tablo 4.1. de gösterilmiştir.

**Tablo 4.1 Sistem ve hücre düzeyinde malzeme akış sistemi**

<b>Sistem Düzeyinde Alt İşlemler</b>	
A Parçası	B Parçası
A parçası AS/RS depolama alanında bekler (İstasyon 1)	B parçası AS/RS depolama alanında bekler (İstasyon 1)
Konveyör parçayı istasyon 2 ye taşır.	Konveyör parçayı istasyon 2 ye taşır.
Parça istasyon 2 de freze işlemine girer	Parça istasyon 2 de torna işlemine girer
Konveyör parçayı istasyon 3'e taşır	Konveyör parçayı istasyon 5'e taşır
Parça EÖM ile istasyon 3' te denetlenir.	Parça GKK ile istasyon 5' te denetlenir.
Konveyör parçayı istasyon 4'e taşır.	Konveyör parçayı istasyon 4'e taşır.
Parça istasyon 4'te kaynak işleminden geçer	Parça istasyon 4'te kaynak işleminden geçer
Konveyör parçayı istasyon 1 'e taşır	Konveyör parçayı istasyon 1 'e taşır
Parça İstasyon 1'e gelir	Parça İstasyon 1'e gelir

<b>Hücre Düzeyinde Alt işlemler (İstasyon1)</b>	
A Parçası	B Parçası
Robot 1 parçayı ASRS den alır	Robot 1 parçayı ASRS den alır
Robot 1 parçayı konveyore yükler	Robot 1 parçayı konveyore yükler
<b>Hücre Düzeyinde Alt işlemler (İstasyon2)</b>	
A Parçası	B Parçası
Konveyor Robot 2'ye parçayı getirir	Konveyor Robot 2'ye parçayı getirir
Robot 2 konveyordan parçayı alır	Robot 2 konveyordan parçayı alır
Robot 2 parçayı ara stoğa yükler	Robot 2 parçayı ara stoğa yükler
Parça ara stokta bekler	Parça ara stokta bekler
Freze tezgahı ayarlanır	Torna tezgahı ayarlanır
Robot 2 parçayı ara stoktan alıp freze tezgahına yükler	Robot 2 parçayı ara stoktan alıp torna tezgahına yükler
Parça freze işleminden geçer	Parça torna işleminden geçer
Robot 2 işlenmiş parçayı freze tezgahından alır	Robot 2 işlenmiş parçayı torna tezgahından alır
Robot 2 parçayı ara stoğa yükler	Robot 2 parçayı ara stoğa yükler
Parça ara stokta bekler	Parça ara stokta bekler
Robot 2 parçayı ara stoktan alır	Robot 2 parçayı ara stoktan alır
Robot 2 parçayı konveyore yükler	Robot 2 parçayı konveyore yükler
<b>Hücre Düzeyinde Alt işlemler (İstasyon3)</b>	<b>Hücre Düzeyinde Alt işlemler (İstasyon5)</b>
Konveyor parçayı Robot 3'e taşır	Konveyor parçayı Robot 5'e taşır

Robot 3 parçayı konveyordan alır	Robot 5 parçayı konveyordan alır
Robot 3 parçayı ara stoğa yükler	Robot 5 parçayı ara stoğa yükler
Parça ara stokta bekler	Parça ara stokta bekler
EÖM ayarlanır	GKK ayarlanır
Robot 3 parçayı EÖM'ye taşır	Robot 5 parçayı GKK'ye taşır
Parça denetlenir	Parça denetlenir
Robot 3 denetlenmiş parçayı EÖM'den alır	Robot 5 denetlenmiş parçayı GKK'den alır
Robot 3 parçayı ara stoğa yükler	Robot 5 parçayı ara stoğa yükler
Parça ara stokta bekler	Parça ara stokta bekler
Robot 3 parçayı ara stoktan alır	Robot 5 parçayı ara stoktan alır
Robot 3 parçayı konveyore yükler	Robot 5 parçayı konveyore yükler
<b>Hücre Düzeyinde Alt işlemler (İstasyon4) (Kaynak işleminden sonra işlenmiş parça modelde A+B olacaktır)</b>	
A Parçası	B Parçası
Konveyör parçayı Robot 4 'e taşır	Konveyör parçayı Robot 4 'e taşır
Robot 4 parçayı konveyordan alır	Robot 4 parçayı konveyordan alır
Robot 4 parçayı ara stoğa yükler	Robot 4 parçayı ara stoğa yükler
Parça ara stokta bekler	Parça ara stokta bekler
Kaynak makinası ayarlanır	Kaynak makinası ayarlanır
Robot 4 parçayı kaynak makinasına taşır	Robot 4 parçayı kaynak makinasına taşır
Parça montaj işlemine girer	Parça montaj işlemine girer



Robot 4 işlenmiş parçayı kaynak makinesinden alır	Robot 4 işlenmiş parçayı kaynak makinesinden alır
Robot 4 işlenmiş parçayı ara stoğa yükler	Robot 4 işlenmiş parçayı ara stoğa yükler
Parça ara stokta bekler	Parça ara stokta bekler
Robot 4 parçayı ara stoktan alır	Robot 4 parçayı ara stoktan alır
Robot 4 parçayı konveyore yükler	Robot 4 parçayı konveyore yükler
<b>Hücre Düzeyinde Alt işlemler (İstasyon1) (Montajı yapılmış ürün için)</b>	
A Parçası	B Parçası
Konveyor parçayı Robot 1'e götürür.	Konveyor parçayı Robot 1'e götürür.
Robot 1 parçayı konveyordan alır	Robot 1 parçayı konveyordan alır
Robot 1 parçayı AS/RS depolama alanına yükler	Robot 1 parçayı AS/RS depolama alanına yükler

Görüldüğü üzere A parçasının izlediği yol istasyon sırasına göre: 1-2-3-4-1

B parçasının izlediği yol: 1-2-5-4-1 dir.

İstasyon 4'te birleşen parçalar konveyor aracılığı ile istasyon 1'e taşınır.

#### **4.2 Süreç Tabanlı Petri Ağları ile Modelleme**

Adım 1: Organizasyon, şirket, departman, imalathane, istasyon bilgilerinin verilmesi

Organizasyon: A

Şirket Adı: B

Departman: C

İmalathane: D (Kapalı döngü karar noktalı esnek üretim imalathanesi)

İstasyon: İstasyon 1, İstasyon 2, İstasyon 3, İstasyon 4, İstasyon 5

Adım 2: Ana hat düzeyinde modelleme

İstasyon sayısı: 5

Karar noktası: 2

1. karar: Parça istasyon 3'e girsin mi girmesin mi.

2. karar: Parça istasyon 5'e girsin mi girmesin mi.

Ana hat için ilgili 101 notasyonu:

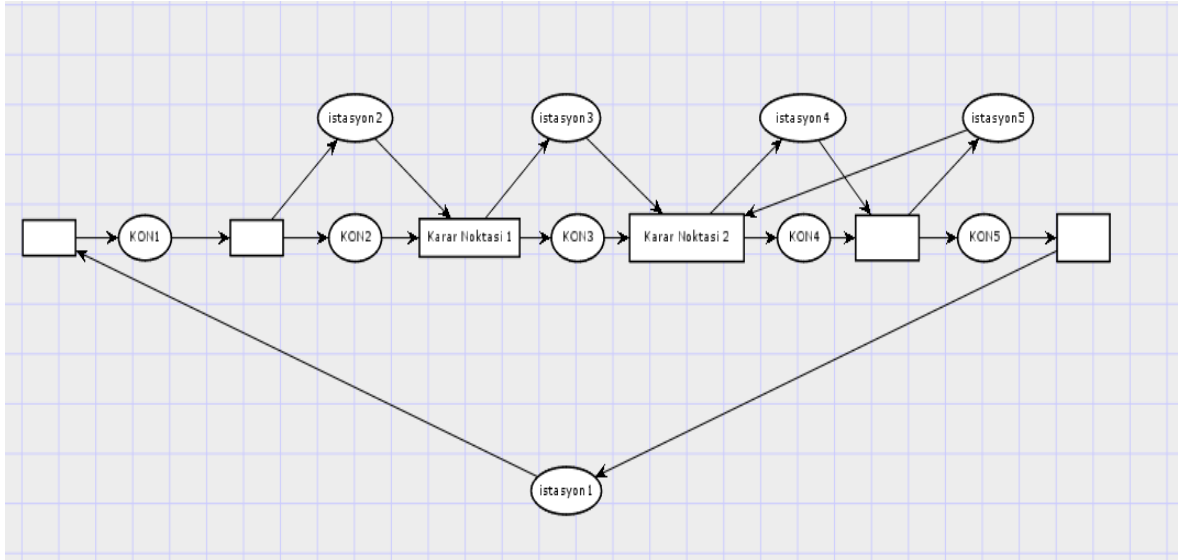
$$[10_{3,2}1] \longrightarrow 10_{2,3}1 + 10_{3,4}1$$

Adım 3: Ana hat modeline istasyonların eklenmesi

$$[10_{3,2}1] \longrightarrow 10_{2,3}1 + 10_{3,4}1 \Longrightarrow (10_{0,4,1}1) + (10_{2,24,3}1)^2 + (10_{3,12,4}1) + (10_{4,18,5}1) + (10_{5,13,4}1) + (10_{6,4,1}1)$$

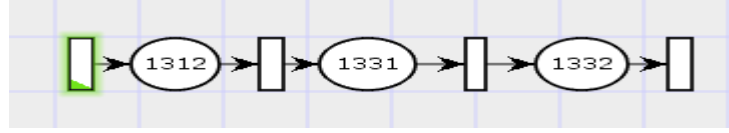
Adım 4: Petri Ağları ile Modelleme

- Ana hat modeli 5 istasyon ve 2 karara noktasına göre şekil 4.3'te gösterilmiştir.



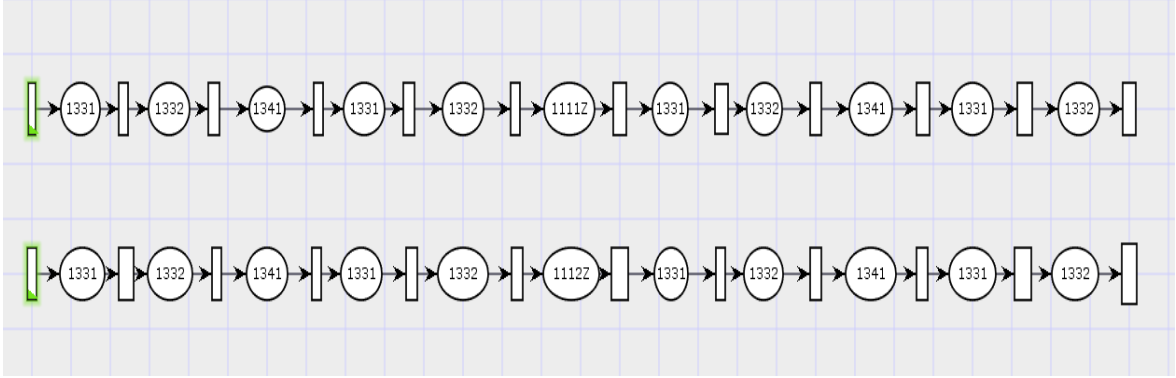
Şekil 4.3 Ana hat modeli

- İstasyon 1'in modeli şekil 4.4'te gösterilmiştir. Burada yer alan işlem kodları NOMY'ye göre sırasıyla 1312-1331-1332'dir.



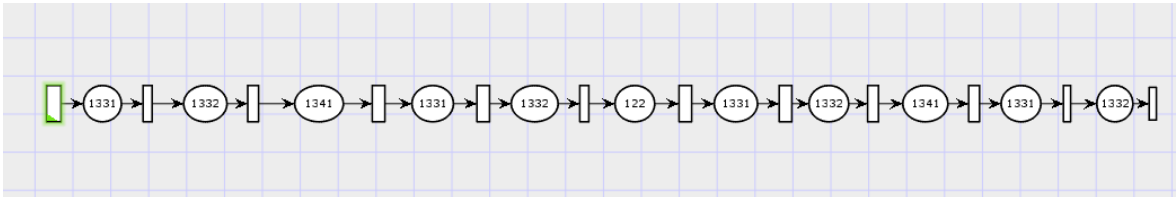
**Şekil 4.4 İstasyon 1 modeli**

- İstasyon 2'nin modeli şekil 4.5'te gösterilmiştir. Burada yer alan işlem kodları NOMY'ye göre sırasıyla 1. paralel süreç için 1331-1332-1341-1331-1332-1111Z-1331-1332-1341-1331-1332 olup 2. paralel süreç için 1331-1332-1341-1331-1332-1112Z-1331-1332-1341-1331-1332 şeklindedir.



**Şekil 4.5 İstasyon 2 modeli**

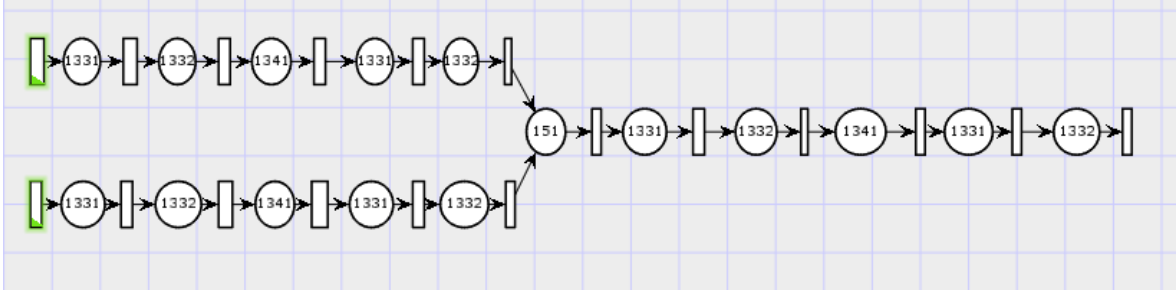
- İstasyon 3'ün modeli şekil 4.6'da gösterilmiştir. Burada yer alan işlem kodları NOMY'ye göre sırasıyla 1331-1332-1341-1331-1332-122-1331-1332-1341-1331-1332 şeklindedir.



**Şekil 4.6 İstasyon 3 modeli**

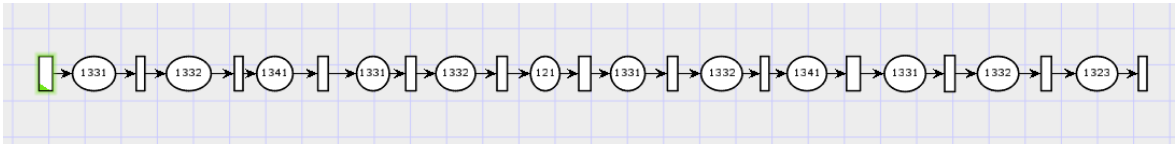
- İstasyon 4'ün modeli şekil 4.7'de gösterilmiştir. Burada yer alan işlem kodları NOMY'ye göre sırasıyla 1331-1332-1341-1331-1332-151-1331-1332-1341-1331-1332 şeklindedir. Burada 151 numaralı konuma gelene kadar ikiye ayrılmasının nedeni sistemde 2 farklı hammaddenin montaj işlemine uğrayacak

olmasıdır. Bir sonraki bölümde parça sayısının değişimiyle birlikte renkli Petri Ağları Yöntemi'nin kullanımı anlatılırken bu konuya değinilecektir.



Şekil 4.7 İstasyon 4 modeli

- İstasyon 5'in modeli şekil 4.8'de gösterilmiştir. Burada yer alan işlem kodları NOMY'ye göre sırasıyla 1331-1332-1341-1331-1332-121-1331-1332-1341-1323 şeklindedir.



Şekil 4.8 İstasyon 5 modeli

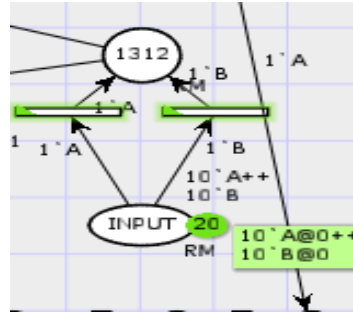
#### Adım 5: Renkli Petri Ağları Yönteminin Kullanılması

Renkli Petri Ağları modelinin çalışmaya katılması fikri sisteme birden fazla hammadde girişi olduğu durumlarda ve her bir hammaddenin sistem üzerinde izleyeceği yolun farklı olabilme durumuna karşın, EÜS için oluşturulan tasarıma oldukça faydalı katkılar sağlayacağı tespit edilmiştir. Bu faydaların başında eş zamanlılık gerektiren süreçlerin rahat gösterimi ve yazılımın doğası gereği tanımlanan değişkenler yardımıyla izlenecek rotaların kolaylıkla ifade edilebilmesi gelmektedir. Özellikle, yeniden ayarlanabilir ve NOMY ile modellenen bir sisteme Renkli Petri Ağları modelinin becerilerini de ilave etmek, çalışmanın sadece tasarım sürecinde kalmamasını sağlamış ve EÜS benzetimi üzerine, gelecekte yapılması planlanan çalışmalar açısından da yeni fikirler üretmeye olanak sağlamıştır.

İlk dört adımın gerçekleştirilmesinden sonra,

$[10_{3,2}1] \longrightarrow 10_{2,3} 1 + 10_{3,4} 1 \longrightarrow (10_{0t1}1) + (10_{2t3}1)^2 + (10_{3t4}1) + (10_{4t5}1) + (10_{5t4}1) + (10_{6t1}1)$  modeline birden fazla hammaddenin girişi problemi bir Renkli Petri Ağı yazılımı olan CPN Tools 4.0 ile Şekil 4.9. da görülen 'input' konumu ile çözülmüştür. Burada üretilen jetonlar A ve B ismini almış ve her birinden temsili olarak 10'ar adet 'rastgele üretici (random generator)' ile üretilmiştir. Bunun çeşidi ve sayısı sisteme istenilen şekilde entegre edilebilir ya da sistemden çıkarılabilir.

Çalışılan model gereği A ve B ürünleri İstasyon 1'e input konumu vasıtasıyla giriş yaparak Şekil 4.9. daki yapı sisteme entegre edilmiştir. Görüldüğü üzere bir konum elemanı iki geçiş elemanı ile A ve B değişkenlerini içeren oklarla birbirine bağlanmış, daha sonra bu geçiş elemanları yine aynı oklarla 1312 kodlu AS/RS istasyonunun konum elemanına bağlanmıştır.

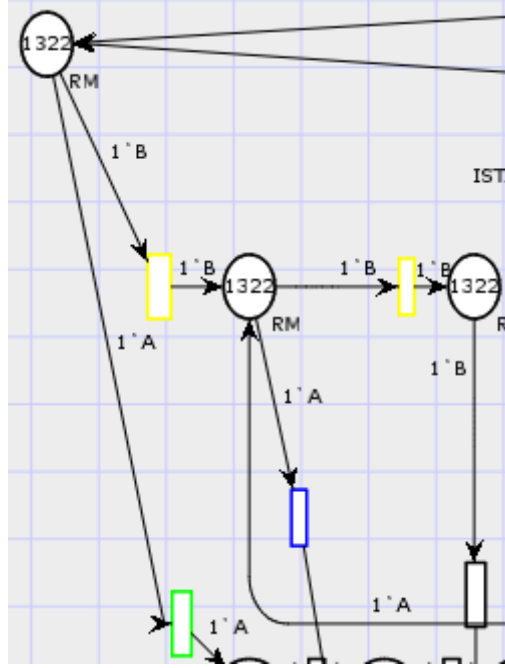


**Şekil 4.9 İnteraktif Petri Ağı (CPN Tools 4.0) ekran görüntüsü**

Şekil 4.4'te gösterilen İstasyon 1 modelinde 1312-1331-1332 konumlarının birleştirilmesi, A ve B değişkenlerini içeren okların geçişlerle bağlanması sayesinde olmuştur. Devamında 1322 kodlu Konveyör ile taşıma nesnesi kullanılarak İstasyon 1'in İstasyon 2'ye bağlanması sağlanmıştır.

İstasyon 2'de Şekil 4.5. te gösterilen iki paralel sürecin birleştirilmesi yoluna başvurulmuştur. Bu sayede iki parçanın rotası sadece 1111Z ve 1112Z kodlu nesnelere ayrılmıştır. Bunun sisteme şu şekilde bir getirisi olacaktır. Tasarımda parçalara zaman ataması yapılabileceğinden, parçaların ortak izleyebileceği rotalar birleştirilmiş ve kaynak kullanımına duyulan ihtiyaçtan tasarruf edilmiştir. Tasarıma da sadece bir bölümde paralellik imkanı verilerek, parça sayısının işleneceği makinaların artması durumunda görsel hantallığın azaltılması kabiliyeti kazandırılmıştır.

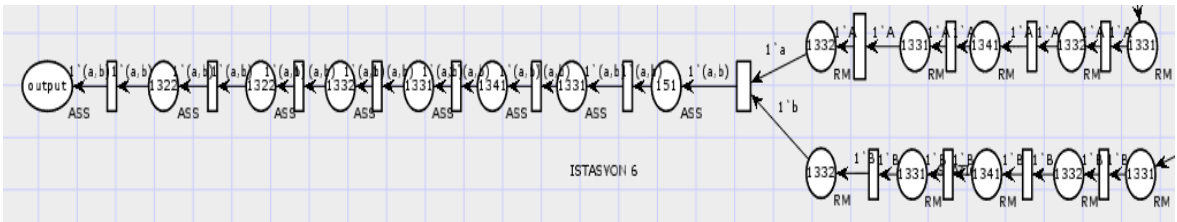
İstasyon 2'nin İstasyon 3'e bağlanması sadece A parçasını ilgilendirdiğinden ve aynı zamanda İstasyon 2'den sonra B parçasının uğrayacağı atolye İstasyon 5 olduğundan, Şekil 4.3 teki karar noktaları belirlenmiştir. Bundan dolayı Şekil 4.10 da gösterilen yapıda A parçası yeşil geçişle İstasyon 3'e ayrılmış ve daha sonra mavi geçişle İstasyon 4'e bağlanmıştır. B parçası ise sarı geçişle İstasyon 5'e ayrılmıştır.



**Şekil 4.10 Karar noktası bağlantıları**

İstasyon 3'te EÖM atolyesindeki süreci tamamlayan A parçası İstasyon 4 e gelirken, B parçası da İstasyon 5'te sürecini tamamlayarak bağlantı konveyörüyle (1323 kodlu nesne) İstasyon 4'e gelir.

İstasyon 4 te Şekil 4.11 de gösterildiği gibi 151 kodlu nesnede birleştirme işlemi gerçekleştirilir. Birleşen parçalar output olarak AS/RS deki yerini alır.



**Şekil 4.11 Birleştirme işlemi ve son ürün aşaması**

Adım 5'te kullanılan CPN Tools 4.0 yazılımının kullandığı dilden dolayı konum atamalarının nasıl yapıldığı ve değişkenlerin nasıl tanımlandığını belirtmekte fayda vardır. 1. Konum çeşidinde Raw Material (RM) yeni bir renk seti tanımlanmıştır. Aynı şekilde işlenmiş ürünlerin birleştirilmesi esnasında da Assembly (ASS) renk seti tanımlanmıştır. Oklarda yer alan A ve B parçalarının rotalarını belirleyen a ve b değişkenleri de RM renk setine adapte edilmiştir. Yazılımda kullanılan yapı Şekil 4.12 de gösterilmiştir. Beş adımdan sonra oluşan son model ise Şekil 4.13'te gösterilmiştir.

```
▼ FMS ALL (1).cpn
  Step: 0
  Time: 0
  ▶ Options
  ▶ History
  ▼ Declarations
    ▶ Standard priorities
    ▼ Standard declarations
      ▶ colset UNIT
      ▶ colset BOOL
      ▼ colset INT = int;
      ▶ colset INTINF
      ▶ colset TIME
      ▶ colset REAL
      ▼ colset STRING = string;
      ▼ colset RM= with A | B timed;
      ▼ var a,b : RM;
      ▼ colset ASS= product RM*RM;
```

**Şekil 4.12 Yazılım kodları şeması**

## 5 SONUÇLAR VE GELECEK ARAŞTIRMA YÖNÜ

Tez çalışmasında, nesne odaklı modelleme yöntemi ve süreç tabanlı Petri Ağları'nın birleştirilmesi sonucunda modelleme esnekliği sağlanmıştır. Bu kapsamda, yeniden ayarlanabilirlik özelliğiyle gerek duyulan süreçlerin kolaylıkla modele eklenebilmesi, gerek duyulmayan süreçlerin de modelden kolaylıkla çıkarılabilmesi sağlanmıştır.

Herhangi bir esnek üretim sisteminde kullanılacak alt süreçler, sınıflar halinde gruplandırılmış ve alt süreçlere ortak modelleme yapıları atanmıştır. Esnek üretim sistemlerinin modellenmesi için gereken adımlar önerildikten sonra, bu adımların kullanımında "1XYZ nesne sınıflandırması gösterimi" ve "süreç tabanlı Petri Ağları'nın 101 notasyonu" olmak üzere iki gösterim tekniğinden faydalanılmıştır. 1XYZ nesne sınıflandırması gösterimi ile sisteme katılmak istenen her süreç önceden tanımlanabilir ve listelenebilir hale getirilmiştir. Aynı zamanda bu gösterim tekniğiyle, sisteme birimsel alt elemanlardan oluşan bir yapı kazandırılarak model tasarlama sürecine yeniden ayarlanabilirlik özelliğinin katılması sağlanmıştır. Süreç tabanlı Petri Ağları'nın 101 notasyonu ile, sınıflara ayrılmış süreçler için ortak bir gösterim biçimi oluşturulmuş ve bu gösterim biçimi iki aşamada ele alınmıştır. Bunlardan birincisi ana hat düzeyinde süreç tabanlı Petri Ağları'nın 101 notasyonu, diğeri ise istasyon düzeyinde süreç tabanlı Petri Ağları'nın 101 notasyonudur. Bu sayede tasarımcıya, imalathaneyi tanıtan bir modeli nasıl oluşturması gerektiği önerilmiş ve istasyonlar seviyesinde gerçekleştirilen işlemlere ana hat modeli içerisinde nasıl yer verileceği gösterilmiştir.

Literatürde yer alan bir esnek üretim sistemi kullanılarak, metodoloji uygulamalı olarak açıklanmıştır. Modellenen bu esnek üretim sisteminde renkli Petri Ağları yöntemi kullanılarak sisteme giren hammaddelerin sayısının ve çeşidinin de sisteme katılması sağlanmıştır. Ancak, sisteme giriş yapan her bir jetonun temsil ettiği hammaddelerin zaman atamaları ve çakışma sorunlarına çalışmada çözüm getirilmemiştir. Bunun yanında, renkli Petri Ağları yöntemiyle elde edilen, jetonların izleyeceği rota her bir hammaddeye özgü bir ok elemanı ile tanımlandığı için, modelde geçiş sayılarının fazlalığı problemi doğmuştur.



Gelecek alışmalar arasında öncelikli olarak düşünülmesi gereken iyileştirme, jetonlara özgü zaman atamaları ve jetonların çakışma problemleri olmalıdır. Bu sayede, istasyonların anlık verimliliği ve sistemin toplam verimliliği hesaplanabilecektir. ıkan sonuçlara bağlı olarak, darboğazlar belirlenebilecek ve sistemi yavaşlatan alt süreçlerin hızlandırılması için neler yapılabileceğine dair çözüm nerileri getirilebilecektir. Bu aşamada modele konum elemanları olarak Radyo Frekansı ile Tanımlama teknolojisi ekipmanları eklenebilir ve darboğazlara sahip süreçlerin hızlandırılması sağlanabilir.

Modelleme tasarım çalışmasının iyileştirilmesi için, hammadde çeşitliliğinin artmasına bağlı olarak, her bir hammaddeye özgü bir ok elemanı atanması ve bu ok elemanlarına farklı değişken tanımlanması yerine, bütün değişkenleri barındıran tek bir ok elemanı ile rota belirlenmesinin, modelin grafiksel gösterimini sadeleştireceği düşünülmektedir.

## KAYNAKLAR

- [1] A. J. C. Trappey, C. V. Trappey, U. Hareesh Govindarajan, A. C. Chuang, and J. J. Sun, "A review of essential standards and patent landscapes for the Internet of Things: A key enabler for Industry 4.0," *Adv. Eng. Informatics*, 2016.
- [2] X. Meng, "Modeling of reconfigurable manufacturing systems based on colored timed object-oriented Petri nets," *J. Manuf. Syst.*, vol. 29, no. 2–3, pp. 81–90, 2010.
- [3] M. Zhou and N. Wu, *System modeling and control with resource-oriented Petri Nets*. 2009.
- [4] Tempelmeier and Kuhn, *Flexible Manufacturing Systems Decision Support for Design and Operation*. Wiley Interscience, 1993.
- [5] H. Liu, W. Wu, H. Su, and Z. Zhang, "Design of optimal Petri-net controllers for a class of flexible manufacturing systems with key resources," *Inf. Sci. (Ny)*, vol. 0, pp. 1–14, 2014.
- [6] Ö. Başak and Y. E. Albayrak, "Petri net based decision system modeling in real-time scheduling and control of flexible automotive manufacturing systems," *Comput. Ind. Eng.*, vol. 86, pp. 116–126, 2014.
- [7] M. Enst, L. Anab, V. E. Pazarlama, and Y. Y. Dan, "Esnek üretim sistemlerinin kilitlenmesiz çizelelenmesinde petri ağlarına dayanan sezgisel bir çözüm yaklaşımı," 2011.
- [8] H. Delikan, "Esnek Üretim Sistemleri ve Üretim İşletmelerinde Uygulanması ile İlgili Alan Araştırması," 2010.
- [9] T. Aized, "Flexible manufacturing system : hardware components," pp. 1–17, 2010.
- [10] F. Tüysüz, "Petri Ağları ile İmalat Sistemlerinin Modellenmesi ve Analizinde Yeni Bir Yaklaşım," 2010.
- [11] T. Murata, "Petri Nets : Properties , Analysis and Applications," vol. 77, no. 4, pp. 541–580, 1989.
- [12] F. DiCesare, G. Harhalakis, J. M. Proth, M. Silva, and F. B. Vernadat,

- "Practice of Petri Nets in Manufacturing," vol. 45, no. 9. 1993.
- [13] K. Zhou, Mengchu Venkatesh, "*Modeling, Simulation and Control Of Flexible Manufacturing Systems A Petri Net Approach.*" World Scientific, 1999.
- [14] J. I. Latorre-Biel, E. Jiménez-Macías, and M. Pérez-Parte, "Sequence of decisions on discrete event systems modeled by Petri nets with structural alternative configurations," *J. Comput. Sci.*, vol. 5, no. 3, pp. 387–394, 2014.
- [15] Z. Boudi, E. M. El Kursi, and S. Collart-Dutilleul, "From place/transition Petri nets to B abstract machines for safety critical systems," *IFAC-PapersOnLine*, vol. 28, no. 21, pp. 332–338, 2015.
- [16] C. R. Vazquez and M. Silva, "Timing and liveness in continuous Petri nets," *Automatica*, vol. 47, no. 2, pp. 283–290, 2011.
- [17] D. Eyl, M. Enst, D. Ekonometr, S. Tez, F. B. Dan, and M. Aksarayli, "Petri ağları ile üretilmiş sistemlerin modellenmesi üzerine bir araştırma," 2011.
- [18] S. Wang, D. You, and C. Wang, "Optimal supervisor synthesis for petri nets with uncontrollable transitions: A bottom-up algorithm," *Inf. Sci. (Ny)*, vol. 363, pp. 261–273, 2016.
- [19] P. Chrzastowski-Wachtel, B. Benatallah, R. Hamadi, M. O'Dell, and A. Susanto, "A Top-Down Petri Net-Based Approach for Dynamic Workflow Modeling," *Bus. Process Manag.*, pp. 336–353, 2003.
- [20] S. B. J. ve J. S. Smith, "*Computer Control of Flexible Manufacturing Systems.*" UK: Chapman & Hall, pp. 207–230, 1994.
- [21] M. Dong and F. F. Chen, "Process modeling and analysis of manufacturing supply chain networks using object-oriented Petri nets," vol. 17, 2001.
- [22] X. Y. Wu and X. Y. Wu, "Extended object-oriented Petri net model for mission reliability simulation of repairable PMS with common cause failures," *Reliab. Eng. Syst. Saf.*, vol. 136, pp. 109–119, 2015.
- [23] A. A. Pouyan, H. T. Shandiz, and S. Arastehfar, "Synthesis a Petri net based control model for a FMS cell," *Comput. Ind.*, vol. 62, no. 5, pp. 501–508, 2011.

- [24] K. Venkatesh and M. Zhou, "*Object-oriented design of FMS control software based on object modeling technique diagrams and Petri nets,*" J. Manuf. Syst., vol. 17, no. 2, pp. 118–136, 1998.
- [25] B. Abdeldjebbar and B. Azeddine, "*Generating interface prototype for EnergyPlus IDD file using unified modeling language and coloured petri-nets,*" *Energy Procedia*, vol. 18, pp. 1458–1484, 2012.
- [26] K. M. L. Jensen Kurt, "*Coloured Petri Nets, Modelling and Validation of Concurrent Systems.*" Springer 2009.

## ÖZGEÇMİŞ

### Kimlik Bilgileri

Adı Soyadı : Ali KOÇ

Doğum yeri : KARAMAN

Medeni Hali : Bekar

E-posta : ali.koc@tedu.edu.tr

Adresi : TED Üniversitesi, Ziya Gökalp Caddesi No.47 - 48  
06420, Kolej Çankaya ANKARA

### Eğitim

Lise : Ankara Fen Lisesi

Lisans: Hacettepe Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans: Hacettepe Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü

### Yabancı Dil Düzeyi:

İngilizce: İleri Seviye

### İş Deneyimi:

TED Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü Araştırma Görevlisi (Mayıs 2014-  
Halen)

### Deneyim Alanları:

Esnek Üretim Sistemleri

Zaman Serileri

**Tezden Üretilmiş Projeler ve Bütçesi: -**

**Tezden Üretilmiş Yayınlar: -**

**Tezden Üretilmiş Tebliğ ve/veya Poster Sunumu ile Katıldığı Toplantılar: -**



HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
YÜKSEK LİSANS/DOKTORA TEZ ÇALIŞMASI ORJİNALLİK RAPORU

HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ  
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI BAŞKANLIĞI'NA

Tarih: 05/04/2017

Tez Başlığı / Konusu: ESNEK ÜRETİM SİSTEMLERİNİN SÜREÇ  
TABANLI PETRİ AĞUARI İLE MODELLENMESİ

Yukarıda başlığı/konusu gösterilen tez çalışmamın a) Kapak sayfası, b) Giriş, c) Ana bölümler d) Sonuç kısımlarından oluşan toplam 53 sayfalık kısmına ilişkin, 05/04/2017 tarihinde şahsım/tez danışmanım tarafından Turnitin adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 1.1 tür.

Uygulanan filtrelemeler:

- 1- Kaynakça hariç
- 2- Alıntılar hariç/dâhil
- 3- 5 kelimedenden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç

Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Çalışması Orijinallik Raporu Alınması ve Kullanılması Uygulama Esasları'nı inceledim ve bu Uygulama Esasları'nda belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Gereğini saygılarımla arz ederim.

Tarih ve İmza

Adı Soyadı: Ali Koy  
Öğrenci No: W13127842  
Anabilim Dalı: Endüstri Mühendisliği  
Programı: Endüstri Mühendisliği  
Statüsü:  Y.Lisans  Doktora  Bütünleşik Dr.

05/04/2017

**DANIŞMAN ONAYI**

UYGUNDUR.

Prof. Dr. Murat Cevher Pestik  
(Unvan, Ad Soyad, İmza)



HACETTEPE UNIVERSITY  
GRADUATE SCHOOL OF SCIENCE AND ENGINEERING  
THESIS/DISSERTATION ORIGINALITY REPORT

HACETTEPE UNIVERSITY  
GRADUATE SCHOOL OF SCIENCE AND ENGINEERING  
TO THE DEPARTMENT OF INDUSTRIAL ENGINEERING

Date: .../.../.....

Thesis Title / Topic: MODELING OF FLEXIBLE MANUFACTURING  
SYSTEMS WITH PROCESS BASED PETRI NETS

According to the originality report obtained by myself/my thesis advisor by using the Turnitin plagiarism detection software and by applying the filtering options stated below on 05/04/2019 for the total of 53 pages including the a) Title Page, b) Introduction, c) Main Chapters, d) Conclusion sections of my thesis entitled as above, the similarity index of my thesis is 1 %.

Filtering options applied:

1. Bibliography/Works Cited excluded
2. Quotes excluded / ~~included~~
3. Match size up to 5 words excluded

I declare that I have carefully read Hacettepe University Graduate School of Science and Engineering Guidelines for Obtaining and Using Thesis Originality Reports; that according to the maximum similarity index values specified in the Guidelines, my thesis does not include any form of plagiarism; that in any future detection of possible infringement of the regulations I accept all legal responsibility; and that all the information I have provided is correct to the best of my knowledge.

I respectfully submit this for approval.

Date and Signature

Name Surname: Ali KOC  
Student No: N13127842  
Department: Industrial Engineering  
Program: Industrial Engineering  
Status:  Masters  Ph.D.  Integrated Ph.D.

05/04/2019

**ADVISOR APPROVAL**

APPROVED.

Prof. Dr. Murat Coşkun Teşlik  
(Title, Name Surname, Signature)