

T.C.
DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
EKONOMETRİ ANABİLİM DALI
EKONOMETRİ PROGRAMI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

**PETRİ AĞLARI İLE ÜRETİM SİSTEMLERİ
MODELLEMESİ ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA**

Fatma BULDUK

Danışman
Yrd.Doç.Dr. Mehmet AKSARAYLI

2011

YÜKSEK LİSANS
TEZ/ PROJE ONAY SAYFASI

2006800340

Üniversite : Dokuz Eylül Üniversitesi
Enstitü : Sosyal Bilimler Enstitüsü
Adı ve Soyadı : Fatma BULDUK
Tez Başlığı : Petri Ağları ile Üretim Sistemleri Modellemesi Üzerine Bir Araştırma

Savunma Tarihi : 17.12.2010
Danışmanı : Yrd.Doç.Dr.Mehmet AKSARAYLI

JÜRİ ÜYELERİ

Ünvanı, Adı, Soyadı

Üniversitesi

İmza

Yrd.Doç.Dr.Mehmet AKSARAYLI

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ

Doç.Dr.Kaan YARALIOĞLU

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ

Doç.Dr.Hilmi YÜKSEL

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ

Oybirliği (✓)

Oy Çokluğu ()

Fatma BULDUK tarafından hazırlanmış ve sunulmuş "**Petri Ağları ile Üretim Sistemleri Modellemesi Üzerine Bir Araştırma**" başlıklı Tez (✓) / Projesi () kabul edilmiştir.

Prof.Dr. Utku UTKULU
Enstitü Müdürü

Yemin Metni

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum **‘Petri Ağları ile Üretim Sistemleri Modellemesi Üzerine Bir Araştırma’** adlı çalışmanın tarafımdan, bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurmaksızın yazıldığını ve yararlandığım eserlerin kaynakçada gösterilenlerden oluştuğunu, bunlara atıf yapılarak yararlanılmış olduğunu belirtir ve bunu onurumla doğrularım.

..../..../2011

Fatma BULDUK

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

Petri Ağları İle Üretim Sistemleri Modellemesi Üzerine Bir Araştırma

Fatma BULDUK

**Dokuz Eylül Üniversitesi
Sosyal Bilimler Enstitüsü
Ekonometri Anabilim Dalı
Ekonometri Programı**

Petri ağları, kesikli-olaylı sistemlerin modellenmesi ve analizinde kullanılan grafiksel ve matematiksel bir araçtır. Grafiksel açıdan sistemin davranışlarını ve durumlarını gözlemleme olanağı sağlayan bu teknik, matematiksel modeller ve doğrusal denklemlerle ifade edilebildiğinden matematiksel olarak sistemi kavrama olanağı sağlar. Bir akışın söz konusu olduğu ve bir sürecin işlediği tüm sistemlere kolaylıkla uygulanabilen bir tekniktir. Bu uygulama alanlarından bir tanesi de üretim sistemleridir.

Bu tezde, Petri ağlarının bir üretim sistemini modellemede nasıl kullanıldığını ve söz konusu sistemin davranışsal analizinin, performans değerlendirmesini ve benzetiminin yapıldığını göreceksiniz.

Çalışmamız üç ana bölümden oluşmaktadır. İlk bölümde Petri ağlarının genel yapısı, tanımı ve bugüne kadar yapılan çalışmalar hakkında kısa bilgiler verilmiştir. İkinci bölümde Petri ağlarının yapıları, davranışsal özellikleri, analizi ve Petri ağları çeşitlerinden bahsedilmiştir. Üçüncü bölümde ise bir buzdolabı üretim sistemi Petri ağları yardımıyla modellenmiş ve performans analizi yapılmıştır. Bunun yanında sistemin Petri ağlarına özgü yapıları taşıyıp taşımadığı test edilmiştir. Sistemin performans analizi yapılırken MATLAB programından ve bu programa ait PetriNet yardımcı yazılımından yararlanılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Petri Ağları, Üretim Sistemleri, Performans Değerlendirmesi

ABSTRACT

Master Thesis

An Application of Modelling Production Systems by Petri Nets

Fatma BULDUK

**Dokuz Eylül University
Institute of Social Sciences
Department Econometrics
Econometrics Program**

Petri nets, as graphical and mathematical tools, design and analysis of discrete event systems. As a graphical tool, Petri Nets can provide you observation system behaviours. And as a mathematical tool, it is possible to set up state equations and algebraic equations, so the model can be understood by mathematical aspect.

In this thesis, you can find, how to use Petri nets in modelling production systems and behaviour analysis, performance evaluation and simulation of production system.

This study involves three sections. In the first section, Petri nets general structure, definition and studies which has done since 80's is given. In the second section, Petri nets behaviour characteristics, how to analyse systems by Petri nets and types of Petri nets is discussed. In the last section, modelling, behaviour analysis, performance evaluation and simulation of a refrigerator production system are defined by using PetriNet toolbox in MATLAB program.

Key words: Petri Nets, Production Systems, Performance Evaluation

PETRİ AĞLARI İLE ÜRETİM SİSTEMLERİ MODELLEMESİ ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA

TEZ ONAY SAYFASI	ii
YEMİN METNİ	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
İÇİNDEKİLER	vi
ŞEKİL LİSTESİ	ix
TABLO LİSTESİ	xi
GİRİŞ	1

BİRİNCİ BÖLÜM

PETRİ AĞLARI YAPISI, TANIMI VE ÖZELLİKLERİ

1.1.PETRİ AĞLARI TEMEL YAPISI	2
1.2.PETRİ AĞLARI LİTERATÜRÜ	3
1.3.PETRİ AĞLARININ TANIMLANMASI	7

İKİNCİ BÖLÜM

PETRİ AĞLARI İLE MODELLEME

2.1. PETRİ AĞI YAPILARI	12
2.1.1. Paralellik (Concurrency)	12
2.1.2. Senkronizasyon (Synncronization	13
2.1.3. Sınırlı Kaynaklar (Limited Resources)	13
2.1.4. Çatışma (Conflict)	15
2.1.5. Sıralama (Sequentiality)	16
2.1.6. Bozucu Dalgalar (İnhibitory)	16
2.2. PETRİ AĞLARININ DAVRANIŞSAL ÖZELLİKLERİ	17
2.2.1. Ulaşılabilirlik (Reachability)	17
2.2.2.Sınırlılık (Boundedness)	18

2.2.3. Güvenilirlik (Safeness)	19
2.2.4. Geri Dönebilirlik (Reversibility)	19
2.2.5.Canlılık (Liveness) ve Ölü Nokta(Deadlock)	19
2.2.6. Kapsanabilirlik (Coverability)	21
2.2.7.Devamlılık (Persistence)	22
2.2.8.Tutarlılık (Conservation)	23
2.3. PETRİ AĞLARININ ANALİZİ	24
2.3.1. Ulaşılabilirlik Ağacı	25
2.3.2.Tekrar Oranı Matrisi Ve Durum Denklemi	29
2.3.3. Petri Ağları İçin Azaltma Yöntemi	32
2.3.3.1. Dönüşüm Metodu	32
2.3.3.2. Sentez Metodu	34
2.4. PETRİ AĞININ SINIFLANDIRILMASI	34
2.5. PETRİ AĞI ÇEŞİTLERİ	37
2.5.1. Zamanlı Petri Ağları	37
2.5.2. Renkli Petri Ağları	38
2.6. PETRİ AĞLARI İLE PERFORMANS DEĞERLENDİRMESİ	39
AVANTAJLARI VE EKSİKLERİ	

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

BUZDOLABI ÜRETİM SİSTEMİNİN PETRİ AĞLARI İLE MODELLENMESİ

3.1. ÇALIŞMANIN AMACI	42
3.2. SİSTEMİN ALT BÖLÜMLERİNİN TANIMLANMASI	42
3.2.1. Sac Şekillendirme Ünitesi	43
3.2.2. Boyama Ünitesi	44
3.2.3. Kapı Üretim Ünitesi	45
3.2.4. Ön montaj Ünitesi	45
3.2.5. Montaj Ünitesi	46
3.3. SİSTEMİN MODELLENMESİ	46
3.3.1. Sac Şekillendirme Ünitesine Ait Petri Ağı Modeli	47
3.3.2. Boyama Ünitesine Ait Petri Ağı Modeli	51

3.3.3. Kapı Üretim Ünitesine Ait Petri Ağı Modeli	54
3.3.4. Ön Montaj Ünitesine Ait Petri ağı Modeli	57
3.3.5. Montaj Ünitesine Ait Petri Ağı Modeli	60
3.3.6. Buzdolabı Üretim Sistemine Ait Petri Ağı Modeli	64
3.4. BUZDOLABI ÜRETİM SİSTEMİNE AİT MODELİN BENZETİMİ	67
3.4.1. Sac Şekillendirme Bölümüne Ait Benzetim Çalışması	67
3.4.2. Boyama Bölümüne Ait Benzetim Çalışması	72
3.4.3. Kapı Üretim Ünitesine Ait Benzetim Çalışması	76
3.4.4. Ön Montaj Ünitesine Ait Benzetim Çalışması	80
3.4.5. Montaj Ünitesine Ait Benzetim Çalışması	85
3.4.6. Alternatif Benzetim Çalışmaları	90

SONUÇ

KAYNAKLAR

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1:	Bir Geçişin Gerçekleşmesi Örneği	s.9
Şekil 1.2:	Süreç Ve Komuta İçeren Petri Ağı Örneği	s.10
Şekil 1.3:	Satış Makinesi Örneği	s.11
Şekil 2.1:	Paralellik Örneği	s.12
Şekil 2.2:	Senkronizasyon Örneği	s.13
Şekil 2.3:	Sınırlı Tampon Alana Sahip Bir Petri Ağı	s.14
Şekil 2.4:	Birbirini Dışlama (Çatışma) Durumu	s.15
Şekil 2.5:	Sıralama Örneği	s.16
Şekil 2.6:	Bozucu Dal Örneği	s.16
Şekil 2.7:	Çoklu Bozucu Dal Örneği	s.17
Şekil 2.8:	Canlılık Özelliğine İlişkin Petri Ağı Örneği	s.20
Şekil 2.9:	Devamlılık Özelliği Olmayan Petri Ağı	s.22
Şekil 2.10:	Devamlılık Özelliği Olan Bir Petri Ağı	s.22
Şekil 2.11:	Tutarsız Petri Ağı	s.23
Şekil 2.12:	Tutarlı Petri Ağı	s.24
Şekil 2.13:	Ulaşılabilirlik Ağı Örneği	s.25
Şekil 2.14:	t1 Geçişİ İle Oluşan Ulaşılabilirlik Ağacı Örneği	s.26
Şekil 2.15:	t3 Geçişİ İle Oluşan Ulaşılabilirlik Ağacının 2. Adımı	s.27
Şekil 2.16:	t1 Geçişİ İle Oluşan Ulaşılabilirlik Ağacının 3. Adımı	s.27
Şekil 2.17:	t3 Geçişİ İle Oluşan Ulaşılabilirlik Ağacının 4. Adımı	s.28
Şekil 2.18:	t2 Geçişİ İle Oluşan Ulaşılabilirlik Ağacının Örneği	s.28
Şekil 2.19:	Ulaşılabilirlik Ağı	s.29
Şekil 2.20:	Canlılık Güvenilirlik Ve Sınırlılık Özelliklerini Koruyan Altı Dönüşüm	s.33
Şekil 2.21:	Petri Ağı Sınıfları	s.37

Şekil 3.1:	Sac Şekillendirme Bölümüne Ait Petri Ağı Modeli	s.48
Şekil 3.2:	Boyama Bölümüne Ait Petri Ağı Modeli	s.52
Şekil 3.3:	Kapı Üretim Bölümüne Ait Petri Ağı Modeli	s.55
Şekil 3.4:	Ön Montaj Bölümüne Ait Petri Ağı Modeli	s.58
Şekil 3.5:	Montaj Modülüne Ait Petri Ağı Modeli	s.61
Şekil 3.6:	Buz Dolabı Üretim Sistemine Ait Akış Planı	s.64
Şekil 3.7:	Buz Dolabı Üretim Sistemine Ait Petri Ağı Modeli	s.65
Şekil 3.8:	Sac Şekillendirme Modülüne Ait Benzetim Görüntüsü	s.68
Şekil 3.9:	Sac Şekillendirme Bölümüne Ait p-sabiti	s.68
Şekil 3.10:	Sac Şekillendirme Bölümüne Ait Tekrar Oranı Matrisi	s.69
Şekil 3.11:	Boyama Bölümüne Ait Benzetim Görüntüsü	s.73
Şekil 3.12:	Boyama Bölümüne Ait p-sabiti	s.73
Şekil 3.13:	Boyama Bölümüne Ait Tekrar Oranı Matrisi	s.74
Şekil 3.14:	Kapı Üretim Bölümüne Ait Benzetim Görüntüsü	s.77
Şekil 3.15:	Kapı Üretim Bölümüne Ait p-sabiti	s.77
Şekil 3.16:	Kapı Üretim Bölümüne Ait Tekrar Oranı Matrisi	s.78
Şekil 3.17:	Ön Montaj Bölümüne Ait Benzetim Görüntüsü	s.81
Şekil 3.18:	Ön Montaj Bölümüne Ait p-sabiti	s.82
Şekil 3.19:	Ön Montaj Bölümüne Ait Tekrar Oranı Matrisi	s.82
Şekil 3.20:	Montaj Bölümüne Ait Benzetim Görüntüsü	s.86
Şekil 3.21:	Montaj Bölümüne Ait p-sabiti	s.87
Şekil 3.22:	Ön Montaj Bölümüne Ait Tekrar Oranı Matrisi	s.87

TABLO LİSTESİ

Tablo 3.1:	Sac Şekillendirme Bölümüne Ait İş İstasyonları Ve Süreleri	s.44
Tablo 3.2:	Boyama Bölümüne Ait İş İstasyonları Ve İş Süreleri	s.44
Tablo 3.3:	Kapı Üretim Bölümüne Ait İş İstasyonları Ve İş Süreleri	s.45
Tablo 3.4:	Ön Montaj Bölümüne Ait İş İstasyonları Ve İş Süreleri	s.45
Tablo 3.5:	Montaj Bölümüne Ait İş İstasyonları Ve İş Süreleri	s.46
Tablo 3.6:	Sac Şekillendirme Bölümüne Ait Petri Ağı Modelinde Durumların İfade Ettiği Anlamlar	s.49
Tablo 3.7:	Sac Şekillendirme Bölümüne Ait Geçişlerin İfade Ettiği Anlamlar	s.50
Tablo 3.8:	Boyama Bölümüne Ait Petri Ağı Modelinde Durumların İfade Ettiği Anlamlar	s.53
Tablo 3.9:	Boyama Bölümüne Ait Petri Ağı Modelinde Geçişlerin İfade Ettiği Anlamlar	s.53
Tablo 3.10:	Kapı Üretim Bölümüne Ait Petri Ağı Modelinde Durumların İfade Ettiği Anlamlar	s.56
Tablo 3.11:	Kapı Üretim Bölümüne Ait Petri Ağı Modelinde Geçişlerin İfade Ettiği Anlamlar	s.57
Tablo 3.12:	Ön Montaj Bölümüne Ait Petri Ağı Modelinde Durumların İfade Ettiği Anlamlar	s.59
Tablo 3.13:	Ön Montaj Bölümüne Ait Petri Ağı Modelinde Geçişlerin İfade Ettiği Anlamlar	s.59
Tablo 3.14:	Montaj Bölümüne Ait Petri Ağı Modelinde Durumların İfade Ettiği Anlamlar	s.62
Tablo 3.15:	Montaj Bölümüne Ait Petri Ağı Modelinde Geçişlerin İfade Ettiği Anlamlar	s.63
Tablo 3.16:	Sisteme Eklenen Durumların İfade Ettiği Anlamlar	s.66
Tablo 3.17:	Sac Şekillendirme Bölümüne Ait Benzetim Sonucu Durumlara İlişkin Elde Edilen Sonuçlar	s.70
Tablo 3.18:	Sac Şekillendirme Bölümüne Ait Benzetim Sonucu Geçişlere İlişkin Elde Edilen Sonuçlar	s.71

Tablo 3.19:	Boyama Bölümüne Ait Benzetim Sonucu Durumlara İlişkin Elde Edilen Sonuçlar	s.74
Tablo 3.20:	Boyama Bölümüne Ait Benzetim Sonucu Geçişlere İlişkin Elde Edilen Sonuçlar	s.75
Tablo 3.21:	Kapı Üretim Bölümüne Ait Benzetim Sonucu Durumlara İlişkin Elde Edilen Sonuçlar	s.78
Tablo 3.22:	Kapı Üretim Bölümüne Ait Benzetim Sonucu Geçişlere İlişkin Elde Edilen Sonuçlar	s.79
Tablo 3.23:	Ön Montaj Bölümüne Ait Benzetim Sonucu Durumlara İlişkin Elde Edilen Sonuçlar	s.83
Tablo 3.24:	Ön Montaj Bölümüne Ait Benzetim Sonucu Geçişlere İlişkin Elde Edilen Sonuçlar	s.84
Tablo 3.25:	Montaj Bölümüne Ait Benzetim Sonucu Durumlara İlişkin Elde Edilen Sonuçlar	s.88
Tablo 3.26:	Montaj Bölümüne Ait Benzetim Sonucu Geçişlere İlişkin Elde Edilen Sonuçlar	s.89
Tablo 3.27:	Sac Şekillendirme Bölümüne Ait İyileştirilmiş Bekleme Süreleri	s.91
Tablo 3.28:	Boyama Bölümüne Ait İyileştirilmiş Bekleme Süreleri	s.92
Tablo 3.29:	Kapı Üretim Bölümüne Ait İyileştirilmiş Bekleme Süreleri	s.92
Tablo 3.30:	Ön Montaj Bölümüne Ait İyileştirilmiş Bekleme Süreleri	s.93
Tablo 3.31:	Montaj Bölümüne Ait İyileştirilmiş Bekleme Süreleri	s.94

GİRİŞ

Günümüzde rekabetin gittikçe arttığı üretim sektöründe firmalar olabilecek en etkin ve verimli üretim politikalarını izlemeye çalışmaktadır ve ne kadar başarılı oldukları, sektörde edindikleri yerle ve sağladıkları karla neredeyse paralel ilerlemektedir. Bu nedenle zaman ve maliyet açısından izledikleri politikalar, içinde bulundukları ortamda hangi noktada olduklarını belirleyici niteliktedir. Üretim sistemlerinin karmaşık yapıları, bu sistemleri iyileştirmek adına çalışan araştırmacıların karşısına birtakım zorluklar çıkarmaktadır ve yapılan iyileştirmeler sadece zaman açısından değil, aynı zamanda maliyetler açısından da önem arz etmektedir. Bu noktada Petri ağırları yöntemi hem grafiksel hem de matematiksel bir araç olması nedeniyle, kesikli-olaylı sistemlerin modellenmesinde ve analizinde pek çok açıdan tasarımcılara kolaylıklar sağladığı görülmektedir.

Gerçekte var olan sistemlerin Petri ağırları ile modellenmesi sırasında önemli olan sistemin karakterini gösteren canlılık, geri dönülebilirlik, sınırlılık ve tutarlılık özelliklerinin var olup olmadığıdır. Canlı bir sistem tıkanmanın olmadığı bir sistemi, sınırlı bir sistem süreç için envanterin bir üst sınırlamaya tabi olduğu bir sistemi, geri dönülebilir bir sistem hangi konuma gelinmiş olunursa olunsun başlangıça dönülebileceği, tutarlı bir sistem ise geri dönülebilirlik için şartların sağlandığı bir sistemi garanti eder.

Grafiksel bir araç olarak Petri ağırları görsel bir modelleme tekniği sunarken, matematiksel açıdan durum denklemleri, benzetimler açısından kolaylıklar sunmaktadır. Eş zamanlı ya da eş zamanlı olmayan, ayırık, paralel, deterministik ya da deterministik olmayan kaynak kullanımına sahip modeller üzerinde etkilidir. 1962’de eş zamanlı bilgisayar sistem operasyonlarının modellenmesi için geliştirilmesinin ardında birçok sistemde kullanılır olmuştur. Bu yöntem sayesinde, mevcut sisteme ait performans belirlenirken, hangi aşamada hangi değişimin ne sonuçlar vereceği de aranan cevaplar arasındadır.

BİRİNCİ BÖLÜM

PETRİ AĞLARI YAPISI VE TANIMI

1.1 PETRİ AĞLARININ TEMEL YAPISI

Petri ağları kesikli-olaylı sistemlerin modellenmesi ve analizini sağlayan grafiksel ve matematiksel bir araçtır(Zurawski; Zhou 1994, 567). Petri ağlarının grafiksel yapısı sistemin davranışlarını ve durumları görsel açıdan incelememize kolaylık sağlarken, matematiksel olarak ifade edilebilmesi ise, doğrusal denklemler ve matematiksel modellerle anlaşılabilir ve açıklanabilir olmasını sağlar.

Petri ağları, eş zamanlı, eş zamanlı olmayan, paralel, deterministik veya stokastik özellikteki bilgi işleme sistemlerini tanımlamada ve analiz etmekte kullanılan matematiksel ve grafiksel bir araçtır. Grafiksel olarak akış şemaları, blok diyagramlar ve ağlar yardımıyla sistemlerin görsel olarak ifade edilebilmesini sağlar. Ayrıca ağ yapısında kullanılan jetonlara benzeyen simgelerle ifade edilen bileşenler yardımıyla sistemin dinamik ve eş zamanlı faaliyetlerini de açıkça görmemize olanak sağlar. Matematiksel açıdan ise durum denklemleri ve cebirsel ilişkiler ile başka matematiksel modellerin geliştirilmesine yardımcı olur. Böylelikle pratisyenler, teorisyenlerden sistemlerinin nasıl daha metotlu çalışacağını öğrenirken, teorisyenler de pratisyenlerden modellerinin nasıl daha gerçekçi yapabileceklerini öğrenirler (Murata 1989, 542).

Petri ağları karmaşık sistemlerdeki akışı gösteren grafiksel bir araçtır. Ağaç ya da blok diyagramları gibi grafiksel gösterimlerden farklı olarak, sistem içindeki bileşenler ve aktiviteler arasında mantıksal sıranın doğal bir biçimde ifade edilmesine olanak sağlar. Örneğin sistemin senkronizasyonu, ardışıklığı, eş zamanlılığı ve çatışma durumları sistem içinde Petri ağları ile açıkça ifade edilebilir (Bobbio 1990 , 106).

Petri ağları pek çok alanda uygulanabilir. Akış diyagramları da buna bir örnektir. Ancak modelleme sırasında genelleme ve analiz kapasitesi arasında bir

denge oluşturulmalıdır. Model genelleştirildikçe sistemin ifade edilebilirliği azalacaktır. Bu nedenle Petri ağlarında karmaşık problemler zayıf noktalardır. Çünkü Petri ağlarını uyguladığımız sistem büyüdükçe modele ait adım sayısı artacak, durumlar ve geçişler arasındaki ilişkilerin ifade edilmeleri zorlaşacak ve istenen detaylı analiz gerçekleştirilemeyecek. Modeli doğru ifade edebilmek için bazı değişiklikler ya da kısıtlar eklemesi gerekebilir(Murata 1989, 542).

Petri ağları ayırık üretim sistemlerinin modellenmesi, analizi ve kontrolünde kolaylıklar sağlar. Birçok sistemin karakteristik özelliklerini barındırması nedeniyle tercih sebebidir. Örneğin operasyonların aynı anda gerçekleşmesiyle eş zamanlılık, makinelerin birden fazla iş gerçekleştirmesiyle çatışma ve üretim sistemlerinin farklı olayların sıralanmasıyla da ayırık olaylı süreç niteliği taşımaktadır(Sun; Cheng; Fu 1994, 595).

1.2 PETRİ AĞLARI LİTERATÜRÜ

Petri ağları konsepti ilk olarak 1962’de Carl Adam Petri tarafında doktora tezinde ortaya atılmıştır. Bu tarihten itibaren pek çok makale yayınlamış ve teoriden pratiğe geçerek gerçek hayatta pek çok sistemin modellenmesinde kullanılmıştır. İlk uygulamalar iletişim protokolleri ve bilgisayar sistemleri alanında gerçekleşmiştir. Bunun yanında performans değerlendirme, dağınık yazılım sistemleri, veritabanı sistemleri, endüstriyel kontrol sistemleri, ayırık-olay sistemleri, çok işlemcili hafıza sistemleri, üretim sistemleri alanlarını da Petri ağları uygulama alanlarına örnek verebiliriz. Petri ağları araştırmacılarının çoğu kendi yazılım paketlerini oluşturmuş, analiz ve benzetim uygulamalarını bu yazılımlar yardımıyla pratiğe dökmüşlerdir.

Petri ağlarının üretim sistemlerinde ilk olarak Dubois ve Stecke(1983) tarafında kullanılmıştır. Çalışmalarında bir iş alanının tasviri, modellenmesi ve analizinde Petri ağlarını kullanmışlardır. Çalışmalarında üç adet makine ile üç adet parçanın işlenişi konu alınmıştır. Her parça için üç adet taşıma paleti mevcuttur ve her parçanın sisteme girişleri, ilerleme süreleri deterministik olarak verilmiştir. Bir parçanın işlem gördükten sonra diğer makineye geçişi ancak o makinenin boş

duruma geçişiyle olmuştur. İşlem ve taşıma sũrelerini içeren sistem iki hat şeklinde dũzenlenmiřtir ve sistem canlılık ȳzellięine sahiptir. Matris denklem yaklaşımı ve benzetim yardımıyla sistemin analizi yapılmıştır.

Yine Dubois ve Steckle (1983) Zamanlı Petri ağlarını iki farklı parçanın yeni bir ȳrũn ortaya çıkardığı bir montaj hattında kullanmışlardır. Bu sistemi iki farklı parçanın ȳretimi için birer ve yeni mamulũn montajı için bir olmak ȳzere ȳ farklı tezgahıan tasarlamışlardır. Model yine canlı ve Deterministik yapıdadır.

Hillion ve Proth (1985) m adet makine n adet işleme sahip bir sistem için hareket grafiklerini kullanmışlardır. Hareket grafikleri eş zamanlı olayların modellenmesinde sıklıkla kullanılan bir yȳntemdir. Ulaşılabilirlik ağının canlılık ve sınırlılığını gȳstermek için değişmezlik analizi kullanılmıştır. Ağın devir sũresinin belirlenmesi için de başlangıçlar numaralandırılmıştır.

Zamanlı Petri ağları ȳzerinde alışan Bruno ve Marchetto (1986) ağ yȳntemi ile sınırlı kapasiteli giriş ve çıkış stoklarına sahip ȳ makine ve stok ambarından bu makinelere taşıma yapan bir robottan oluşan ȳretim sisteminin incelemiştir. Makine kullanımının maksimuma ulaşmasını sağlamak için makinelerin yeni parça ihtiyaının bir ȳnceki makinede parça işlendiği anda bildirim yapılmasına uygun dizayn edilmiştir. Sonuç olarak elde edilen ağ yapısının benzetimi yapılmıştır.

Sistemlerdeki eř zamanlılık ya da çatışma gibi yapıların Gȳsterilmesinde Petri ağları elverişli olsalar da, sistemin bȳyũk yapıda olduğu zamanlarda problemi uygulamak sorun olmaktadır. Analiz edilecek alan bȳyũk olduğundan ulaşılabilirlik ağacına ulaşmak ve analiz etmek oldukça gȳcťtũr. Bu nedenle sistem bȳyũk sistemler parçalara ayrılmış ve ȳzellikleri kaybedilmeden incelenmiştir. Bu işlem literatũrde dȳnũřũm ve sentez metodu olarak isimlendirilmiştir.

Koh ve DiCesare (1991) dȳnũřũm ve sentez metotları ȳzerinde çalışmışlardır. İki tip parçanın tek bir istasyonda montaj edildiği sistemde canlılık ve sınırlılık ȳzelliklerinin korunmasına ȳzen gȳstermiřlerdir. Otomatik imalat sistemleri ȳzerinde

alışmalarını sürdürmüşler ve iki istasyon,  robot, bir stoklama alanı ve üç adet konveyör ile oluşturdukları sistemde alt modülleri inceleyerek sistemin istenen nitelikleri koruyup korumadığı kontrol edilmiştir.

Zhou, DiCesare ve Rudolph (1992) esnek üretim sistemleri için Petri ağlarını kullanmışlardır. zerinde çalıştıkları sistemde sentez metotlarını kullanmışlar ve sonuçta ağın canlılık ve sınırlılık özelliklerini kaybetmediğini görmüşlerdir.

Zhou, McDermott ve Patel (1993) esnek imalat sistemlerinin hücre yapıları üzerinde çalışmışlardır. Bu çalışmada istenen özellikleri taşıyan bir Petri ağı modeli kurabilmek için her hücre için detaylı analizler yapılmıştır. Hiyerarşı, canlılık, sınırlılık ve geri dönebilirlik özelliklerinin korunabilmesi için sistem ayrışımı ve modüler birleşim özelliklerinden faydalanılmıştır.

Kurapati ve Mohammad (1993) yine esnek imalat sistemlerinde LAN uygulamaları için çalışmalar yapmış ve yeni bir çeşit olarak bahsi geçebilecek çoğalmış Zamanlı Petri ağlarının ilk olarak adı geçmiştir. Modelin ve ağın gösterimi için bir bilgisayar programı yazılmış ve bu program sayesinde ağın modellenmesi ve belirli kriterlerin ağa yerleştirilebilmesine olanak sağlanmıştır.

Proth, Wang ve Xie (1993) kontrol edilebilir çıktı ağları üzerinde çalışmışlardır. Bu ağlar canlılık ve geri dönülebilirlik özellikleri yanında başlangıç ve sonuç geçişlerine de sahiptirler. Böylelikle analiz edilen ağlar, entegre edildikleri ağlarda istenilen özelliklerini koruyabilmektedirler. 1996'da da modelleme alanında daha geniş hareket kabiliyetine sahip genişletilmiş kontrol edilebilir çıktı ağlarını oluşturmuşlardır.

Teng ve Zhang retim sistemlerini modellerken ve benzetimini yaparken ayrışırma teknikleri üzerinde durmuşlardır. alışmalarına göre; sistem alt bölümlere ayrılmıştır ve operasyonların paralellik özelliklerine g harcamadan analizler yapılmasını sağlamışlardır.

Görüldüğü üzere 90'lı yıllardan itibaren sistemlerin geniş ve analizi zor olması nedeniyle geliştirilmiş teknikler mevcuttur. Petri ağları ile sisteme ait kaynak ve kısıtlar kolayca ifade edilebildiğinden, kullanımı artan bir teknik olmaya devam etmiştir.

Lee ve Dicesare (1994) Petri ağlarını programlama alanında kullanmaya başlamışlardır. İlk çalışmalarında sistemi zamanlı Petri ağları ile modellemişlerdir. Sistem esnek üretim sistemi olduğunda optimal sonuçlara ulaşmayı denemişlerdir. İkinci çalışmalarında ise daha kompleks bir sistemle çalışmışlar ve otomatik klavuzlu taşıma sistemine(AVG) sahip esnek üretim sistemleri üzerinde durmuşlardır. İki farklı yaklaşım üzerinde durdukları bu çalışmalardan birinde bir istasyona atanan ve işin bitine kadar kalan merkezi bir AVG yaklaşımı güderken ikinci yaklaşımlarında her bir AVG'nin birden fazla iş için kullanıldığı bir sistem kurmuşlardır. Her iki yaklaşımda taşıma ve işlem sürelerini içermekteydi.

Jeng ve Dicesare (1995) ortak kaynak kullanımına sahip otomatik üretim sistemlerinde Petri ağlarını kullanmışlardır. Ortak kaynak kullanımı nedeniyle otomatik üretim sistemleri birbirleriyle oldukça fazla etkileşim içindedirler. Bu durumda sistemin daha karmaşık bir durum almasına neden olmaktadır. Petri ağlarının eş zamanlı operasyonları oldukça rahat ifade etmesinden yararlanmışlardır. Geliştirdikleri yaklaşım ile modeli kuran kişinin rahat hareket edebilmesini sağlamak için modeli oluşturan alt aşamaların birbirleri ile en alt seviyede etkileşim içinde kalmalarını sağlamaktır. Her bir sürecin modellemesi için kaynakları kontrol eden ağlar tanımlanmış ve süreçler arasındaki etkileşimi ifade eden ortak geçişler ile ağlar birbirlerine bağlanmışlardır.

Moore ve Gupta (1996) Petri ağlarının kullanım alanlarını, akış hatlarının modellenmesi, otomatik transfer hatlarının modellenmesi, job shop'ların modellenmesi, üretim sistemlerinin modellenmesi şeklinde listelemişlerdir.

Proth, Wang ve Xie (1997) geniş ölçekli üretim sistemlerinin üretim planlama ve programlaması için Petri ağları temelli yazılımlar üzerinde durmuşlardır. Bu

dönemde kompleks üretim sistemlerinin Petri ağları ile modellenmesini gerçekleştirmiş, kompleksliği ortadan kaldırmak için her biri kendine has özellikleri koruyacak şekilde alt bölümlere ayrıştırılmış ve her biri için canlılık, sınırlılık ve geri dönülebilirlik özelliklerini sağlayıp sağlamadığının kontrolü yapıldıktan sonra birleştirme işlemi yapılmıştır.

Aynı yıl içinde Jeng tarafından yapılan bir araştırma da ise üretimde zaman ve para kaybına yol açan hatalı ürünlerin yeniden işlenmesi üzerinde durulmuştur. Temelde Petri ağlarının geri dönülebilirlik özelliği üzerinde durulmuştur. Ortak kaynak kullanımlı otomatik üretim sistemlerinin modellenmesi için sentez yöntemi ile ağ oluşturulmuş ve ağın canlılık ve sınırlılık özelliklerini koruyup korumadığı bir algoritma yardımı ile tespit edilmeye çalışılmıştır. Jeng'e göre canlılık ve sınırlılık özelliklerinin korunduğu bir sistemde istenmeyen kapasite aşılmalarını ve sistem çıkmazlarının oluşmasını engelleyecektir.

Moore ve arkadaşları (1998) Petri ağlarının sistemi parçalara ayırma işleminde kullanılabileceğini öngörmüşlerdir. Demontaj olarak adlandırılan bu ayrıştırma yöntemi bir ürünün temel parçaları olan bileşenlerine sistematik şekilde ayrılmasını kastetmektedir. Demontaj yöntemi, zaman ve maliyet zararı oluşmaması için demontajı gerçekleştirilecek parçaya ait bileşenler ve birleşim sıralarının ifade edildiği demontaj matrisi dikkatle oluşturulmalı, matris yardımıyla Petri ağı geliştirilmeli ve geliştirilen Petri ağı yardımıyla optimal akış planının oluşturulması esasına dayanmaktaydı.

1.3 PETRİ AĞLARININ TANIMLANMASI

Petri ağları M_0 olarak adlandırılan başlangıç durumuyla ifade edilen bir grafiksel bir yöntemdir. Bir N Petri ağı yönlendirilmiş ve ağırlıklandırılmış iki bileşenden oluşmaktadır. Bunlar 'place' yani 'durum' ya da 'yer' , 'transition' yani 'geçiş' ya da 'olay' olarak adlandırılır ve 'arc' yani 'ok'larla durumlar geçişlere veya geçişler durumlara bağlanır. Grafiksel açıdan durumlar daireler, geçişler ise kısa

çizgiler ya da kutular olarak gösterilir. Bir Petri ağındaki oklar ağırlıklandırılmıştır. Örneğin k-ağırlıklı bir ok, k adet paralel ok kümesini simgeler(Murata 1989, 542).

Grafiksel gösterimde, durumdan geçişe doğru bir ok mevcut ise ilgili durum ‘öncelik durumu’(I_(t)) olarak adlandırılır. Aynı şekilde geçişten duruma doğru yönlendirilmiş ok ise ‘sonraki durum’(O_(t)) olarak adlandırılır. Böylelikle modellemede öncelik durumu geçişin gerçekleşmesi için ön koşulları belirtirken, sonraki durum ise geçiş sonrasını ifade eder(Zurawski;Zhou 1994, 569).

Sistemin davranışının benzetimi için, her durum pozitif değere sahip ‘token’ yani ‘jeton’ ile işaretlenir. Eğer bir p durumu k sayısı ile ağırlıklandırılmış ise p durumu gösteriminde k adet jeton bulunmaktadır. Jetonlar ise siyah noktalar ile gösterilir. M şeklindeki gösterimde anlatılmak istenen toplam durum sayıdır. M_(p), M’nin p inci bileşeni anlamına gelir ve p durumundaki jeton sayısını ifade eder.

Bu durumda bir Petri ağı 5-bileşenden oluşur, $PN = (P, T, F, W, M_0)$

Burada;

$P=(p_1, p_2, \dots, p_m)$, Sonlu durum kümesi

$T=(t_1, t_2, \dots, t_n)$, sonlu geçiş kümesi

$F \in (P \times T) \cup (T \times P)$, ok kümesi

$W: F \rightarrow \{1, 2, 3, \dots\}$, ağırlık fonksiyonu

$M_0: P \rightarrow \{1, 2, 3, \dots\}$, başlangıç noktası

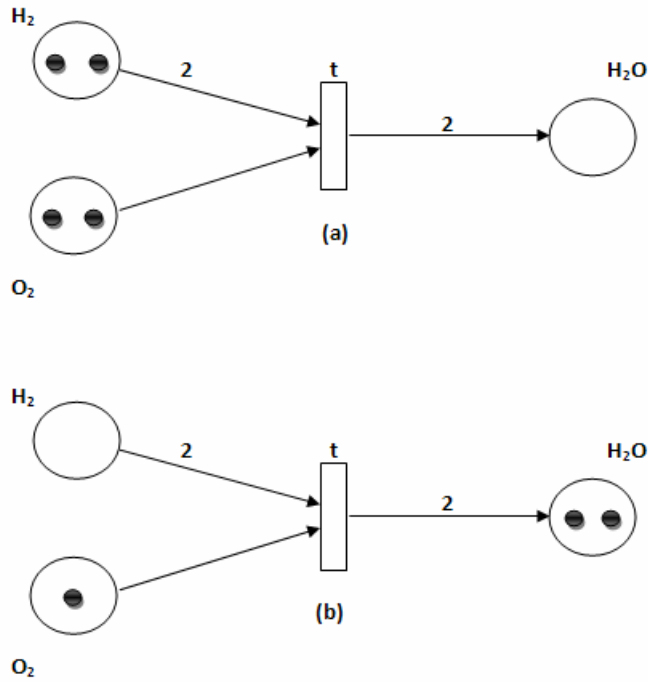
Ayrıca $P \cap T = \emptyset$ ve $P \cup T = \emptyset$ geçerlidir.

Özel bir başlangıç noktası olmayan Petri ağı N olarak gösterilir, eğer bir başlangıç noktası mevcut ise gösterim (N, M₀) şeklinde olacaktır(Murata 1989, 542-543).

Sistem davranışları, sistemin durumuna ve değişimine göre bölümlere ayrılabilir. Bir sistemin dinamik davranışı Petri ağlarıyla benzetim için bir geçiş kuralı söz konudur.

- i. Bir t geçişinin mümkün olabilmesi, bu geçişe ait öncelik durumlarının en az $w(p,t)$ şeklinde p 'den t 'ye giden okun ağırlığı kadar jetona sahip olmasıyla mümkündür.
- ii. Mümkün olan bir geçiş gerçekleşebilirde gerçekleşmeyebilirde.
- iii. t 'nin gerçekleşmesi halinde $w(p,t)$ adet jeton öncelik durumundan azalır ve $w(p,t)$ şeklinde gösterilen ve $w(p,t)$ 'nin t 'den p 'ye giden okun ağırlığını ifade eden jeton, geçişin sonraki durumuna eklenir.

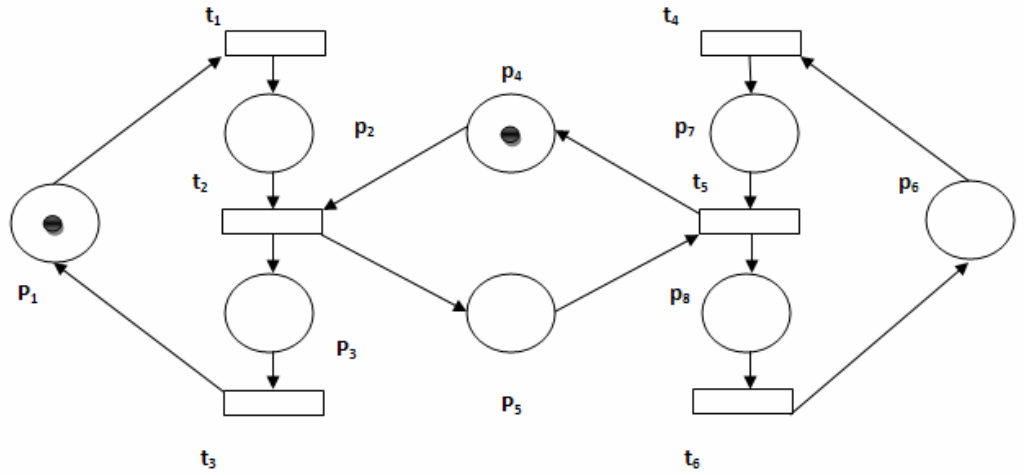
Şekil 1.1 Bir Geçişin Gerçekleşmesi Örneği: (a) t geçişi gerçekleşmeden önceki işaretleme. (b) t geçişi gerçekleştikten sonraki işaretleme.



Şekil-1.1 de basit bir Petri ağı örneği bulunmaktadır. Daireler şeklinde gösterilen üç durum, kutular şeklinde gösterilen bir geçiş ve durumlarla geçişleri birbirine bağlayan oklar mevcuttur. Burada p_1 ve p_2 , t geçişinin önceki durumları ve

p_3 'te t geçişinin sonraki durumudur. Ayrıca bu örnekte jetonlar ve ağırlıklandırılmış oklar arasındaki ilişkiyi de görebiliriz. (a) 'da 2 ile ağırlıklandırılmış p_1 'den t 'ye giden bir ok mevcuttur, t geçişi gerçekleştikten sonra okun ağırlıklandırılması nedeniyle p_1 'deki jeton sayısı okun ağırlığı kadar değişim göstermiştir.

Şekil 1.2 Süreç ve Komuta İçeren Petri Ağı Örneği



Eğer bir p durumu, bir t geçişinin hem başlangıç hem de bitiş durumu ise bu ağda bir döngü söz konusudur. Döngünün olmadığı ağlara 'saf' (pure) Petri ağı denir. Okların hepsinin ağırlıklarının bir olduğu Petri ağlarına ise 'temel'(ordinary) Petri ağı denir.

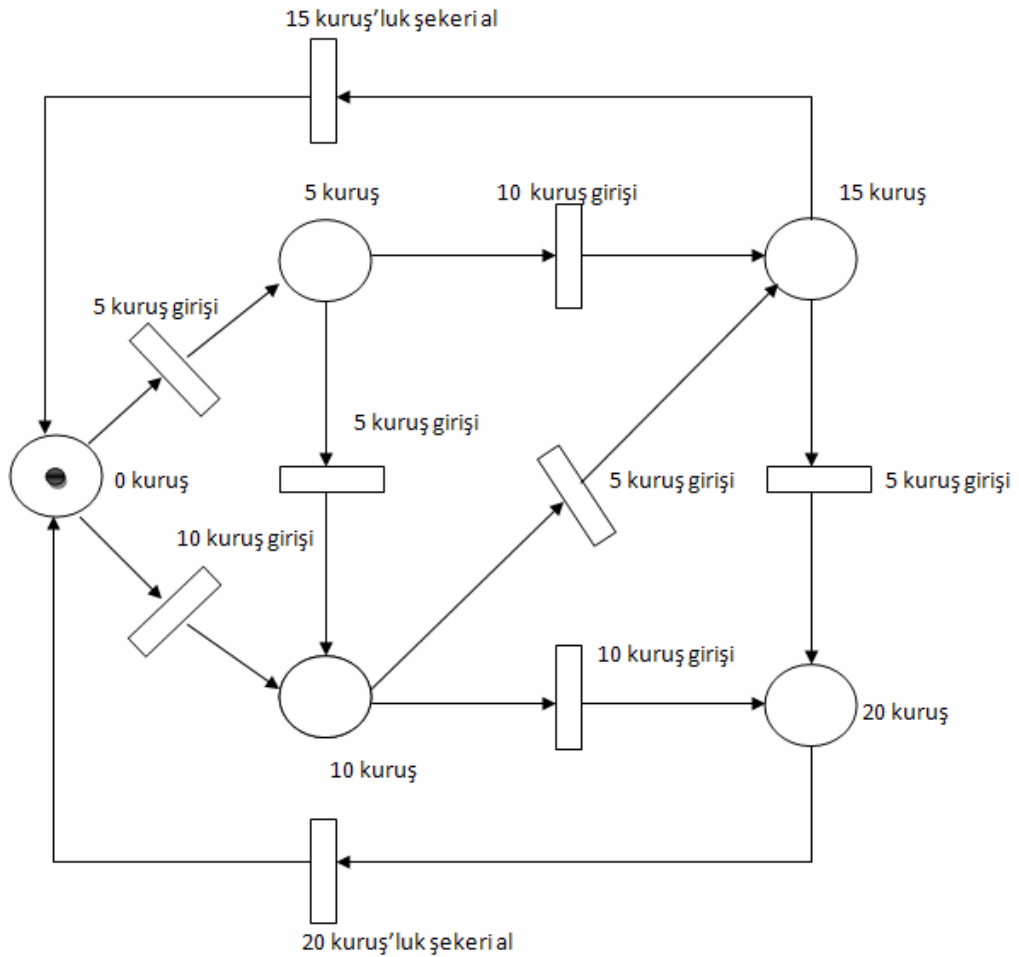
Bir Petri ağında öncelik durumu olmayan geçişlere kaynak geçişi(source transition) denirken, sonraki durumu olmayan geçişlere de batık geçiş(sink transition) denir. Kaynak geçişte koşulsuz gerçekleşme mevcut iken jetonların bitmesi durumunda da batık geçiş oluşur.

Satış Makinesi Örneği

Her geçişin sadece bir tane önceki durumu ve bir tane sonraki durumunun var olduğu temel ağlar durum makineleri olarak adlandırılır. Durum makineleri ile ilgili

daha geniş açıklama ileride verilecektir. Sistemimizde makinemiz 5 ve 10 kuruşluk bozuk paralar kabul etmekte ve 15 ve 20 kuruş'a şeker satmaktadır. Satış makinesinin Petri ağı olarak gösterimi aşağıda Şekil 1.3' te gösterilmiştir. Sistemde beş adet durum mevcuttur. Bunlar 0 kuruş, 5 kuruş, 10 kuruş, 15 kuruş ve 20 kuruş olarak işaretlenmişlerdir. Geçişler ise sisteme girilen tutarı belirtmektedir. Burada başlangıç noktası 0 kuruş olarak belirtilen ve 1 jetonla işaretlenen p_1 durumudur. Ayrıca belirtilmelidir ki her giriş bir adet önceki durum ve bir adet sonraki duruma sahiptir yani her girişe 1 adet ok gelirken 1 adet ok çıkmaktadır. (Murata, 1989 ;544)

Şekil 1.3 Satış Makinesi Örneği



İKİNCİ BÖLÜM

PETRİ AĞLARI İLE MODELLEME

Petri ağları ile modellemedeki asıl amaç gerçek hayatta karşımıza çıkan sistemlerin ‘koşul-olay’ mantığında çalışmasıdır. Ağlar, koşullar ve bu koşullara bağlı olarak gerçekleşen olaylardan oluşur. Yani Petri ağlarındaki ‘durum’ elemanı sistemdeki koşulları karşılarken, ‘geçiş’ elemanı ise koşulun sağlanması durumunda ortaya çıkan olaya karşılık gelir. Bir olayın oluşması sonucu önceki halinde farklı olabilir, bu da bize jetonlama olanağı verir. Yani bir durumda yer alan jeton sayısı o durumla ifade edilen koşula ilişkin kaynak sayısını belirtir.

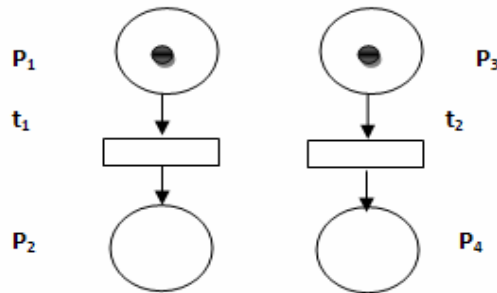
2.1 PETRİ AĞI YAPILARI

Modellemede kullanılan Petri ağ yapıları alt başlıklar halinde verilmiştir.

2.1.1 Paralellik (Concurrency)

Birbirinden bağımsız olarak gerçekleşebilen iki olayın modellenmesinde kullanılan Petri ağı modelidir. Bu tür ağlarda olaylar birbirinden bağımsız olarak aynı anda gerçekleşebilirler. Şekil 2.1 ‘deki Petri ağında t_1 ve t_2 geçişleri aynı anda gerçekleşir, p_1 ve p_3 başlangıç durumlarını, p_2 ve p_4 bitiş durumlarını göstermektedir.

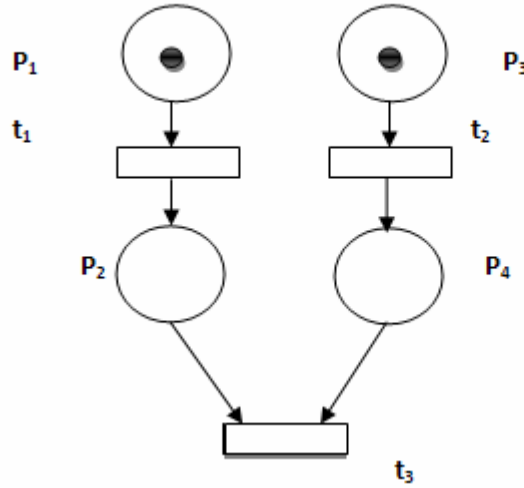
Şekil 2.1 Paralellik Örneği



2.1.2 Senkronizasyon

Bir geçişin gerçekleşebilmesi için iki ya da daha fazla koşulun gerçekleşmesi gerekebilir. Senkronizasyon tüm ön koşulların sağlanmış olması durumudur. Bir Petri ağındaki herhangi bir geçiş ancak tüm koşulların sağlandığı durumlarda gerçekleşir. Aksi takdirde geçiş sağlanamaz. Şekil 2.2 'de t_3 geçişinin gerçekleşebilmesi için hem t_1 hem de t_2 geçişinin sağlanmış olması gerekmektedir.

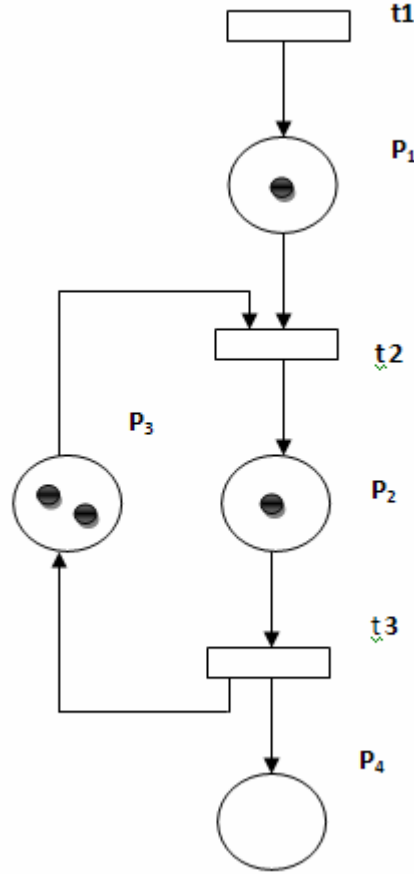
Şekil 2.2 Senkronizasyon Örneği



2.1.3 Sınırlı Kaynaklar

Sistem performansını etkileyen faktörlerden biri de mevcut kaynakların sınırlı olmasıdır. Kaynakların tükenmesi durumunda sistem bloke olur ve bu durum analiz açısından zorluk demektir. Bu tür sistem modellemelerinde kaynak sınırlaması denen bir Petri ağı yapısı kullanılır.

Şekil 2.3 Sınırlı Tampon Alana Sahip Bir Petri Ağı



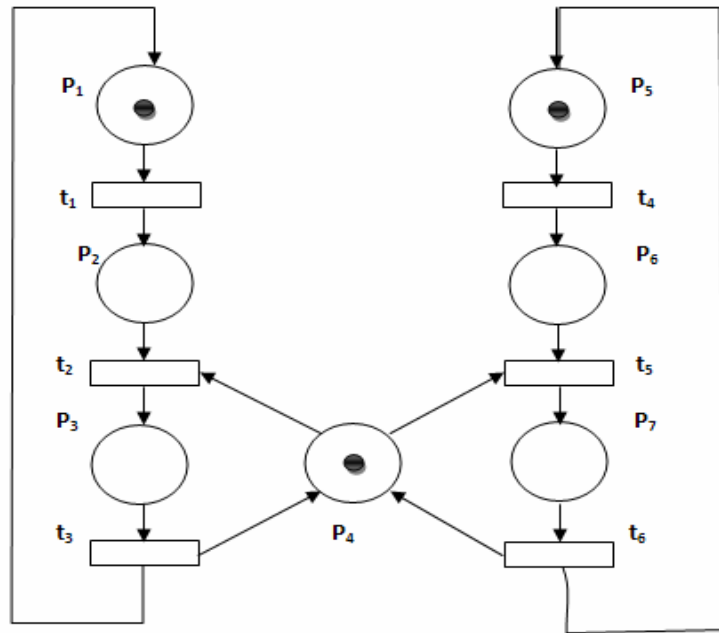
Şekil 2.3 'te sınırlı kaynakları bulunan bir kuyruk modellenmiştir. Bu Petri ağında p_3 kuyrukta beklemekte olan ürün sayısı, p_2 işlenmekte olan ürün sayısını gösterebilir. Bu durumda p_2 ve p_3 yerlerindeki toplam jeton sayısı sabittir ve kuyruktaki toplam ürün sayısını vermektedir. Başlangıçtaki p_1 yeri sisteme giren ürünü ve p_4 yeri de işlenmiş olarak sistemden çıkan ürünü temsil etmektedir. Geçişlerde ise, t_2 ürünün kuyruğa girişini temsil etmektedir. Bu geçişin gerçekleşebilmesi için p_1 ve p_3 yerlerinde en az bir jeton bulunmalıdır. Ürünün sistemden ayrılışı ise t_3 geçişiyle gösterilmiştir. Bunun için de p_2 yerinde en az bir jeton bulunmalıdır, yani sistemde en az bir ürün bulunmalıdır. t_3 geçişi gerçekleştiğinde ürün sistemden ayrılır ve sistemde boş ürün sayısı artar yani p_2 yerine p_3 yerine bir jeton geçmiş olur.

2.1.4 Çatışma

Bir sistemde iki kaynağın birbiriyle paralel olarak çalıştırılması olası iken ortak kullanılan üçüncü bir kaynağın aynı anda kullanılamaması durumudur.

Şekil 2.4 'te çatışmanın söz konusu olduğu bir Petri ağı gösterilmiştir. p_1 ve p_5 durumları birbirinden bağımsız olarak çalışan paralel iki durumu göstermektedir. p_2 ve p_6 durumları ise ortak kaynağı kullanımın ön durumlarıdır. p_3 ve p_7 durumları da sırasıyla ortak kaynağın başlangıçtaki kaynaklara tahsis edildiğini göstermektedir. p_4 durumu hangi kaynağın, ana kaynağa eriştiğini belirlemekte ve p_3 ve p_7 'nin aynı anda işaretlenmesini önlemektedir. p_2 ve p_6 durumları işaretlendiğinde t_2 ve t_5 çatışma halinde olacaktır. Bu geçişlerden birinin oluşması diğerinin oluşmasını engeller, t_3 ve t_6 geçişlerinin olanaklı hale gelmesi ortak kullanılan kaynağın serbest kalmasını ve çatışma durumuna tekrar gelinmesini ifade eder.

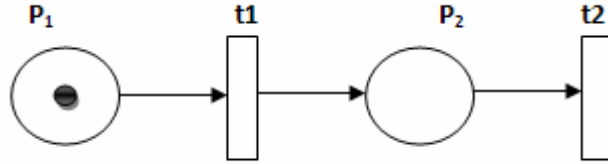
Şekil 2.4 Birbirini Dışlama(Çatışma) Durumu: Ortak kaynak kullanımı ve iki paralel iş mevcuttur.



2.1.5 Sıralama

Petri ağları ile modellemede olayların sırasının önemli olduğu durumlar olabilir. Bu durumda sıralama adı verilen Petri ağı yapısı ile olayların öncelik sonralık durumları belirlenebilir. Şekil 2.5'te verilen Petri ağı yapısında t_1 geçişi her zaman t_2 geçişinden önce gerçekleşir. Böylece olayların sırası belirlenmiş olur.

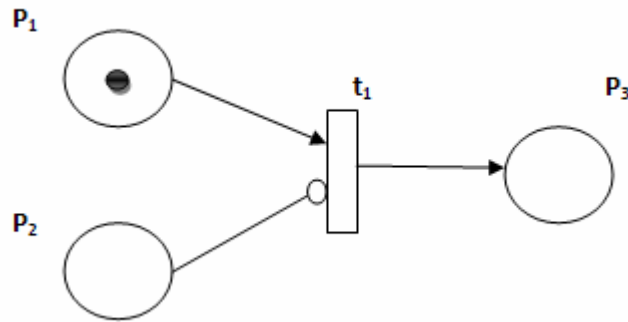
Şekil 2.5 Sıralama Örneği



2.1.6 Bozucu Dallar (İnhibitor)

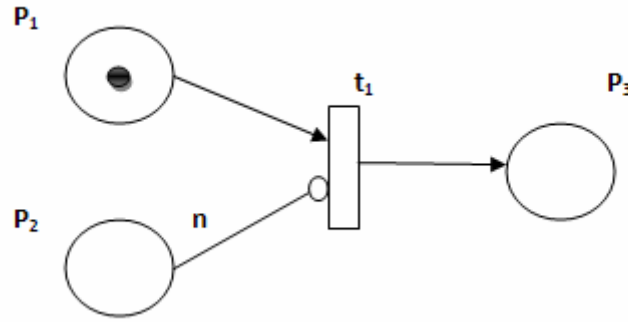
Bir p_i durumunda t_i geçişine çizilmiş bir bozucu ok mevcut ise; Petri ağında p_i yerinde en az bir jeton varsa, t_i geçişi mümkün hale gelmiş olsa bile gerçekleşmez. Bozucu dallar ucu boş daire ok şeklinde gösterilir.

Şekil 2.6 Bozucu Dal Örneği



Şekil 2.6'da p_2 durumundan t_1 geçişine çizilmiş bir bozucu dal mevcuttur. P_1 de jeton mevcut olduğunda t_1 geçişi mümkündür ve p_2 de jeton olmadığından t_1 gerçekleşebilir. Eğer, p_2 de en az bir jeton bulunsaydı t_1 gerçekleşmeyecekti. Şekil 2.7'de ise p_2 yerinde t_1 geçişine çizilmiş n adet bozucu ok mevcuttur. Bu durumda p_2 durumunda en az n adet jeton varsa t_1 gerçekleşemez. Diğer durumlarda t_1 gerçekleşebilir.

Şekil 2.7 Çoklu Bozucu Dal Örneği



Bozucu dalların kullanılmasındaki asıl amaç çatışma durumundaki iki ya da daha fazla geçişe bir öncelik atamak ve atanan öncelik sırasına göre geçişlerin gerçekleşmesini sağlamaktır.

2.2 PETRİ AĞLARININ DAVRANIŞSAL ÖZELLİKLERİ

2.2.1 Ulaşılabilirlik (Reachability)

Ulaşılabilirlik, sistemin dinamiğini anlamada önemlidir. Mümkün bir geçişin gerçekleşmesi, önceden belirlenen kurallar dahilinde sistem içinde jetonların dağılımıyla sonuçlanmaktadır. Sıralı birden fazla geçişin gerçekleşmesi farklı koşulların ortaya çıkmasına sebep olur. Sıralı geçişlerin gerçekleşmesi ile M_0 başlangıç gösteriminden M_n gösterimine ulaşılır. Geçişlerin ortaya çıkma dizisi

$\sigma = t_1 t_2 t_3 \dots t_n$ şeklinde gösterilir. Bu durumda, M_n , σ yoluyla M_0 'dan ulaşılabilirdir denir. Ve $M_0 [\sigma > M_n$ şeklinde gösterilir. M_0 'dan başlayarak ulaşılabilinen tüm durumlar $R(M_0)$ şeklinde ifade edilir(Murata 1989, 547).

Ulaşılabilirlik, niteliksel özelliklerin üzerinde çalışılması ile ilgilidir. Belirli bir duruma ulaşıp ulaşamayacağının belirlenmesi, sistemle ilgili kararların verilmesinde önem taşır. Örneğin, ifade edilen bir durumun ulaşılabilirliği ve istenen bir duruma ulaşılabilirlik için izlenecek yol ve makinelerin ya da ürünün yeniden gözden geçirilmesini sağlayacaktır.

2.2.2 Sınırlılık (Boundedness)

Bir Petri ağında, jeton sayısının bir sınırlı k sayısını aşmadığı durumlarda bu Petri ağı için k -sınırlı ya da yalnızca sınırlıdır denir. k sayısının 1 olması durumunda Petri ağı güvenlidir(saftır) denir. Petri ağlarındaki durumlar genellikle ambarların düzenlenmesinde veya ilk bilginin tanımlanmasında kullanılır ve üretim sistemlerinin kaynak alan kısıtları sistemde belirtilmek durumundadır. Bu demek oluyor ki, sınırlı ya da güvenilir bir Petri ağı her zaman yeterli bir ambar alanını garanti eder(Murata 1989, 547).

N Petri ağında x_0 başlangıç durumundaki $p_i \in P$ yeri eğer ulaşılabilir tüm durumlar için;

$x \in R(N) \quad x(p_i) \leq k$ ise Petri ağı k -sınırlıdır denir.

Sınırlılık özelliğinin geçerli olabilmesi için geçişlerin gerçekleşme sırasından bağımsız olması gerekmektedir(Zurawski ve Zhou 1994,571).

Kısacası sistem büyüdüğünde kararsızlık ortaya çıkar ve ağın bir yerinde biriken jetonlar sistemi kararsızlığa götürür. Sınırlılık sağlanamıyorsa sistem değiştirilmelidir çünkü kararsızlığa neden olabilir.

2.2.3 Güvenilirlik (Safeness)

Bir Petri ağında, bir durumdaki jeton sayısı 1'i kesinlikle geçmiyorsa o yer güvenlidir. Bu durumda ağdaki durumlardaki jeton sayısı 0 veya 1'dir. Donanım cihazlarının modellendiği ağlarda bu özellik çok önemlidir.

Bir Petri ağındaki bir yer $p_i \in P$ ve $N=(P, T, I, O)$ eğer tüm yeni durumlar için $x' \in R(N, x)$, $x'(p_i) \leq 1$ ise ilk durum x ile güvenlidir denir.

Bir Petri ağındaki tüm durumlar güvenli ise Petri ağı güvenlidir denir.

2.2.4 Geri Dönebilirlik (Reversibility)

Bir Petri ağı M_0 başlangıç durumundan ulaştığı bir M durumundan, tekrar M_0 durumuna dönebiliyorsa bu Petri ağı geri dönebilirlik özelliğine sahiptir denir. (Murata 1989, 547)

Üretim sistemlerinde zaman zaman rassal olaylarla karşılaşılır. Makinelerin arızalanması, taşıma sisteminin duraklaması, takımlardaki bozulmalar, kalite kontrolden geçemeyen parçaların yeniden işlenmesi, fazla talep, hammadde eksikliği gibi bozulmalar sistemin istenen duruma tekrar dönmesini gerektirebilir. Ya da sistemi kontrol eden tarafından belirlenen bir durumda sistemin yeniden işlemeye başlanması istenebilir. İşte bu problemler geri dönülebilirlikle ilgilidir(Proth; Xie 1996, 80).

2.2.5 Canlılık (Liveness) ve Ölü Nokta (Dead Lock)

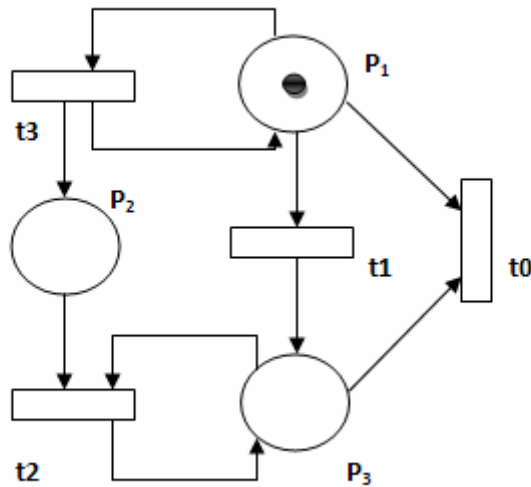
Petri ağının canlı olması, istenen hedefe ulaşması olarak ifade edilebilir. Petri ağındaki çıkmaz, ulaşılan durumun bir sonraki duruma geçememesidir. Yani bir veya birden fazla geçişin gerçekleşememe durumudur.

Üretim sistemlerinde ölü noktaların olmaması tamamıyla canlılıkla ilgilidir. M_0 başlangıç durumdan başlayarak tüm işaretlemelerin gerçekleşmesi ya da tüm geçişlerin gerçekleşmesi durumunda Petri ağı canlıdır denir. Bu demek oluyor ki canlı bir Petri ağı çıkmaz olmayan bir sistemi garanti etmektedir(Murata 1989, 548).

Canlılık özelliği ideal sistemlerde aranan bir özelliktir. Büyük sistemlerde canlılık özelliğinin varlığının araştırması oldukça zordur bu nedenle canlılık özelliği bölümlere ayrılmıştır. Ve farklı seviyeler için sorgu yapılabilir.

- L0 canlı : Bir Petri ağındaki bir geçiş hiçbir zaman gerçekleşemiyorsa bu geçiş ölü olarak tanımlanır ve L0 canlıdır denir.
- L1 canlı : Bir Petri ağındaki bir geçiş ilk durumdan itibaren en az bir kere gerçekleşebiliyorsa bu geçiş L1 canlıdır.
- L2 canlı : bir Petri ağındaki bir geçiş ilk durumda itibaren en az bir k pozitif tamsayısı kadar gerçekleşebiliyorsa L2 canlıdır denir.
- L3 canlı : Petri ağındaki herhangi bir geçiş herhangi bir geçiş sırası için sonsuz kere gerçekleşebiliyorsa L3 canlıdır denir.
- L4 canlı : Petri ağındaki bir geçiş ulaşılabilinen tüm yeni durumlar için L1 canlı ise geçiş L4 canlıdır denir.

Şekil 2.8 Canlılık Özelliğine İlişkin Petri Ağı Örneği



Şekil 2.8’de t_0 hiçbir zaman gerçekleşmeyeceğinden ölü bir geçiştir yani L0 canlılık seviyesidir. t_1 sadece bir kere gerçekleşeceği için L1 canlılık seviyesindedir. t_2 birden fazla gerçekleşebilir fakat sonsuz sayıda gerçekleşmeyeceğinden L2 canlılık seviyesindedir. Dikkatli bakılacak olursa t_3 geçişi sonsuz sayıda gerçekleşebilir bu nedenle L3 canlılık seviyesindedir(Murata 1989, 548).

Üretim sistemlerinde işlemler, genellikle paralel yürütülür. Bu nedenle kaynak paylaşımı ve işlemlerin eşzamanlı olması gereklidir. Aksi halde üretim düşük oranda sürdürülür ya da bloke olabilir. İyi hazırlanmış bir sistem, bloklama durumuna izin vermeyen ve tam kapasitede çalışmaya olanak sağlayan bir yapıdadır(Proth;Xie 1996; 70-73).

2.2.6 Kapsanabilirlik (Coverability)

Bu özellik erişilebilirlik kavramın genişletilmiş halidir. Kapsanabilirlik, bir Petri ağındaki herhangi bir geçişin daha sonraki durumlarda geçişe uygun olup olmayacağını gösterir.

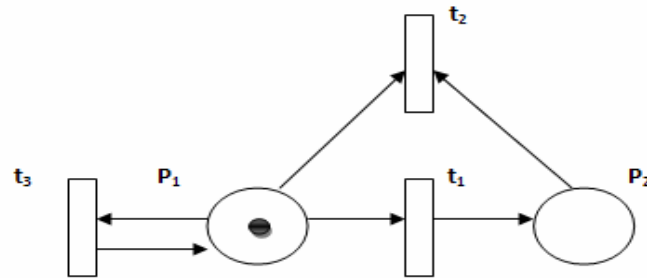
M_0 başlangıç durumundaki bir N Petri ağı için $m' \in R(N, M_0)$ için, $m'' \geq m'$, $m'' \in R(N, m_0)$ koşulunu sağlayan durum mevcut ise m' durumu m'' durumu tarafından kapsanıyor denir.

Daha önce söylendiği gibi bir geçişin gerçekleşebilmesi için o geçişe ait giriş durumlarında en az bir jeton içermesi gerekmektedir. Bu durumda herhangi bir p_i durumunun bir t_i geçişinin gerçekleşmesi için yeterli sayıda jetona sahip olduğunu düşünelim. Bir M_0 başlangıç durumda her p_i için t_i geçişleri gerçekleşebiliyor ise p_i kapsanabilir denir.

2.2.7 Devamlılık (Persistence)

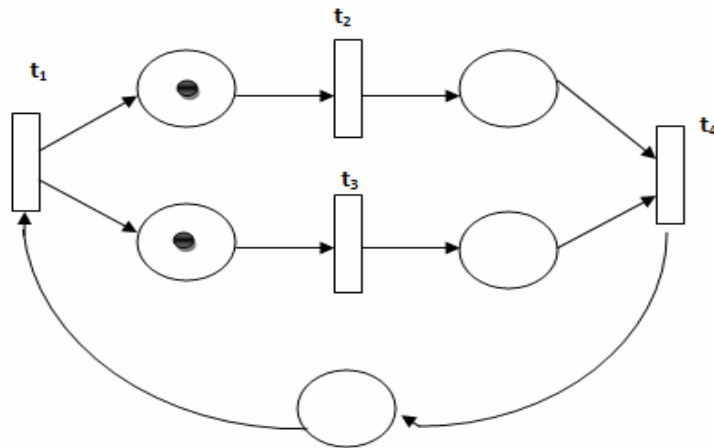
Bir Petri ağında herhangi iki geçiştten birinin gerçekleşmesi, bir diğerinin gerçekleşmesini engellemiyor ise Petri ağı devamlılık özelliğine sahiptir denir. Bu durumda herhangi bir geçişin gerçekleşmesi mümkün ise başka bir geçişin gerçekleşmemesine neden olamaz(Cassandras; Lafortune 1999).

Şekil 2.9 Devamlılık Özelliği Olmayan Petri Ağı



Şekil 2.9'da t_1 ve t_3 geçişleri izinlidir. Bu durumda t_1 geçişinin gerçekleşebilmesi, mümkün hale gelmiş t_3 geçişini izinsiz kılar ve bu yüzden Petri ağı devamlılık özelliğine sahip değildir.

Şekil 2.10 Devamlılık Özelliği Olan Bir Petri Ağı

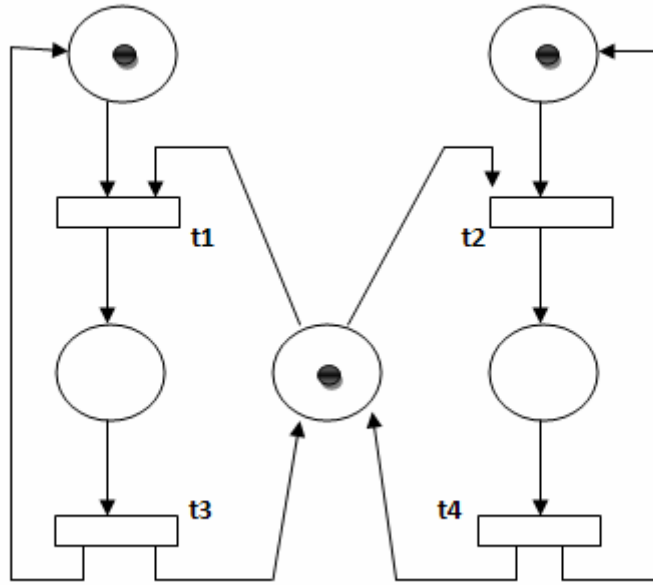


Şekil 2.10 'de ise t_2 ve t_3 izinlidir. Bunlardan herhangi birinin gerçekleşmesi diğerinin gerçekleşmesine engel olmadığı için bu Petri ağı devamlılık özelliğine sahiptir.

2.2.8 Tutarlılık (Conservation)

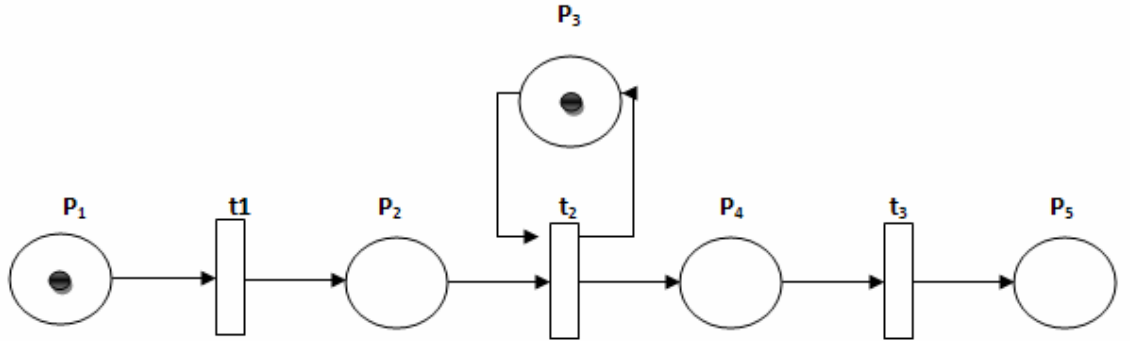
Bir Petri ağında başlangıç durumundaki jeton sayısı, ulaşılan herhangi bir burumda sabit kalıyor ise bu ağ tutarlıdır denir. Jetonların sistemdeki kaynak sayısını temsil ettiği düşünülürse, bu özellik çok önemlidir. Çünkü jeton sayısının sabit kalması, kullanılan kaynakların sisteme geri döndüğünü ifade eder.

Şekil 2.11 Tatarsız Petri Ağı



Şekil 2.11'de Petri ağı tutarlı değildir, çünkü t_1 ve t_2 geçişi jeton sayısını 1 azaltır ve t_3 ve t_4 jeton sayısını 1 artırır.

Şekil 2.12 Tutarlı Petri Ağı



Şekil 2.12 ‘de ise her bir geçiş için o geçişe ait giriş ve çıkış durumları sayısı birbirine eşittir. Bu durum gösterir ki bu Petri ağındaki her bir durum için jeton sayısı eşit kalmaktadır ve tutarlı bir ağıdır.

2.3 PETRİ AĞLARININ ANALİZİ

Petri ağları ile analiz teknikleri üç başlıkta incelenebilir;

- 1) Ulaşılabilirlik ağacı
- 2) Tekrar oranı matrisi ve durum denklemi
- 3) Azaltma ayrıştırma teknikleri

Bu tekniklerden ulaşılabilirlik ağacı, tüm ağın ayrıntılı listelenmesi ve tam sayımını içerir. Tüm ağ tiplerine uygulanabilir fakat ağ büyüdükçe gösterim karmaşıklaşacağından detaylı ve büyük ağlar için uygun değildir. Matris-denklemler yaklaşımı ve azaltma ayrıştırma teknikleri daha etkin teknikler olmasına karşın tüm ağ tiplerine uygulanabilir değildir.

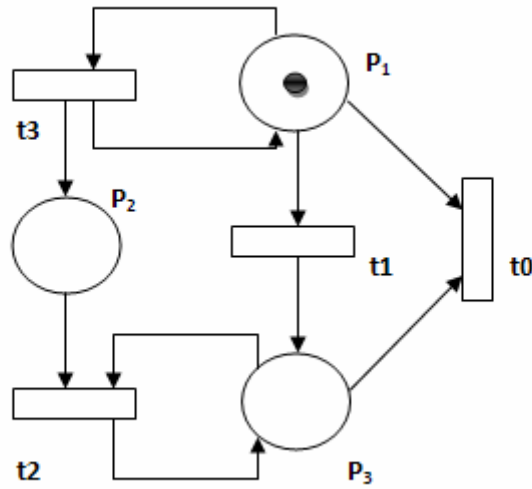
2.3.1 Ulaşılabilirlik Ağacı

M_0 başlangıç noktası olan bir Petri ağında, geręekleřebilir t sayısı kadar ‘yeni’ gösterimler oluşturulabilir ve her yeni gösterimden geręekleřebilir t sayısı kadar daha ‘yeni’ gösterim elde edilebilir. Bu süreç sonucunda bir ağaç yapısına ulaşılır. Petri ağının sınırsız olması durumunda ağaç yapılanması da sonsuz büyüklükte olacaktır(Murata 1989, 550).

Ulaşılabilirlik ağacı kullanılarak, kapsama ağacı elde edilir. Böylelikle bir miktar bilgi kaybına rağmen ulaşılabilirlik ağacının sonsuz boyutu sınırlandırılmış olup daha kolay bir kullanım elde edilir.

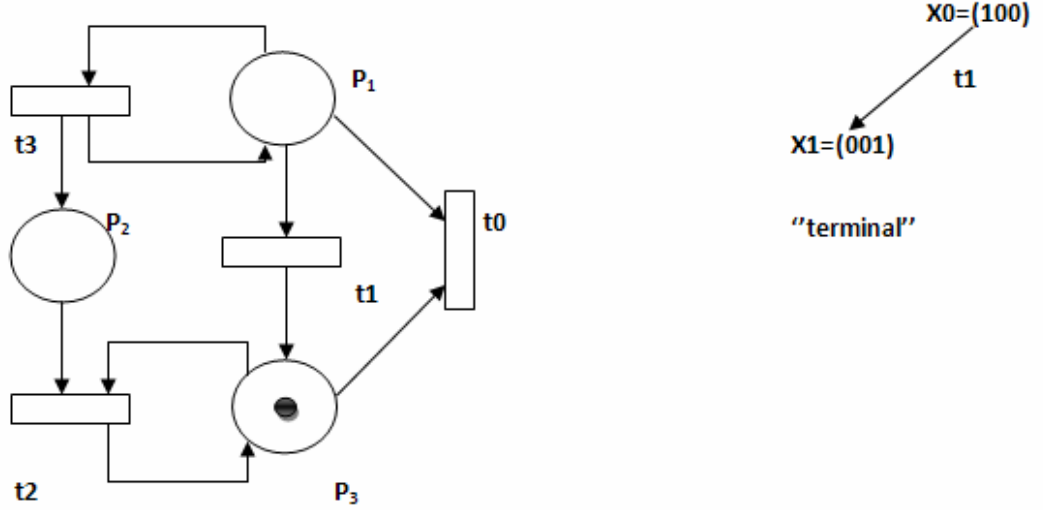
Ulaşılabilirlik ağacını bir örnekle açıklayalım;

şekil 2.13 Ulaşılabilirlik Ağı rneği



şekil 2.13’de verilen Petri ağında ilk işaretlemede t_1 ve t_3 geçişleri geręekleřebilir. Bu geçişlerin ortaya çıkması ile ulaşılabilirlik ağacının dallarına geçiş bilgileri atanarak yeni işaretlemler elde edilir. şekil 2.14’de t_1 geręekleřtięinde oluşan ağacın ilk dalı gösterilmektedir.

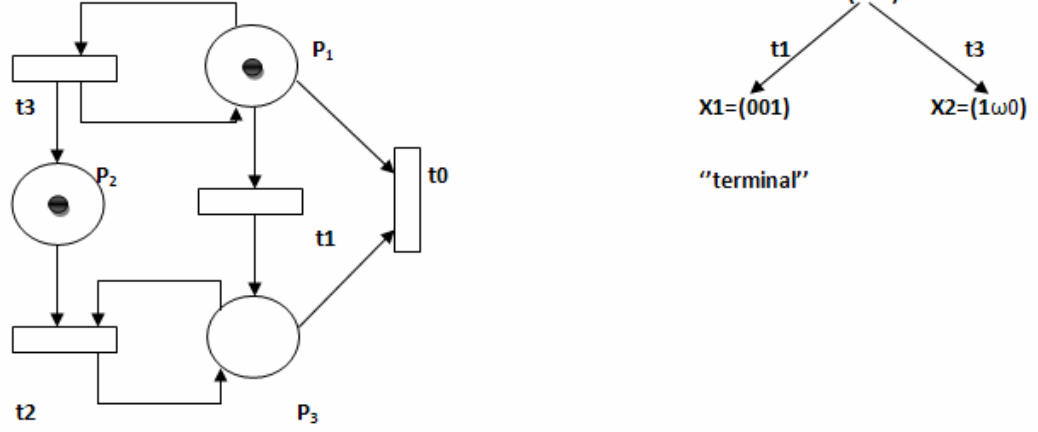
Şekil 2.14 t_1 Geçişi İle Oluşan Ulaşılabilirlik Ağacı Örneği



Görüldüğü gibi t_1 gerçekleştiğinde ulaşılabilir durumlar bittiği için X_1 ile ulaşılan işaretlemeye ‘terminal’ işaretlemesi denir. t_3 gerçekleştiğinde ise $(1 \ 1 \ 0)$ işaretlemesi elde edilir ve örnekten görüldüğü üzere p_1 ve t_3 arasında çift yön mevcut olduğunda t_3 sonsuz sayıda tekrar edilir ve bu durumda ulaşılabilirlik ağacı sonsuz elemanlıdır.

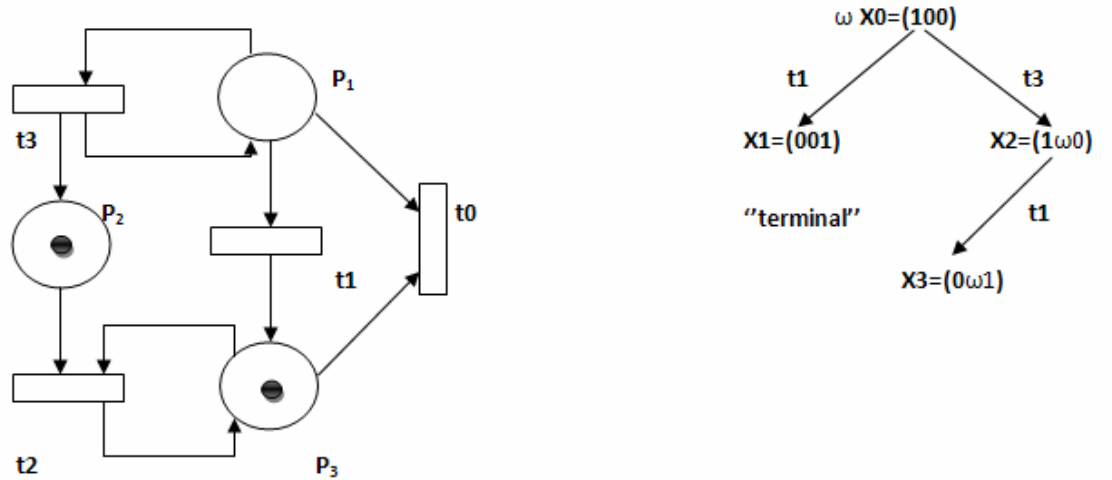
Şekil 2.15’te görüldüğü üzere t_3 sonsuz kere gerçekleşebilir ve her gerçekleştiğinde p_1 deki jeton sayısı 1 artar. Bu şekilde jeton sayısının sonsuza gittiği durumlarda, jeton sayısı ‘ ω ’ ile gösterilir ve bu sayı yeterince büyük bir sayı olarak nitelendirilir. Şekil 2.15’de ise t_3 ’ün gerçekleştiği durumdaki ulaşılabilirlik ağacını görmekteyiz. Böylelikle ağacın ikinci dalı ortaya çıkmış olur.

Şekil 2.15 t_3 Geçişİ İle Oluşan Ulaşılabilirlik Ağacının 2. Adımı



X_2 ($1\omega 0$) işaretlemesinden t_1 'in gerçekleşebilir olduğunu görüyoruz ve t_1 in gerçekleşmesi ile Şekil 2.16'te gördüğümüz X_3 ($0\omega 1$)dalı ortaya çıkar.

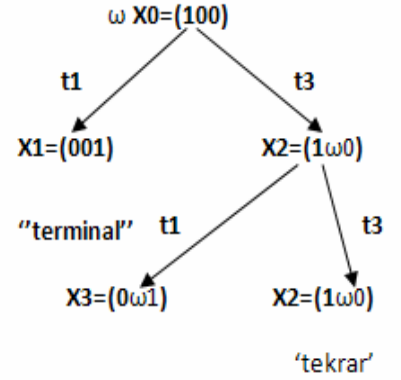
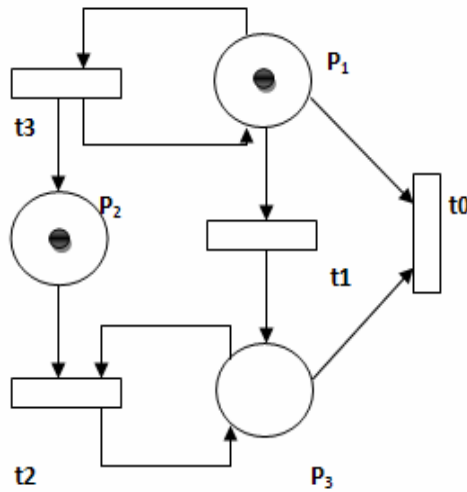
Şekil 2.16 t_1 Geçişİ İle Oluşan Ulaşılabilirlik Ağacının 3. Adımı



Ulaşılabilirlik ağacında ilgili geçişlerin gerçekleşmesiyle önceden elde edilen işaretlemeler oluşabilir. Bu düğümlere 'tekrarlanan düğümler' denir ve ilk

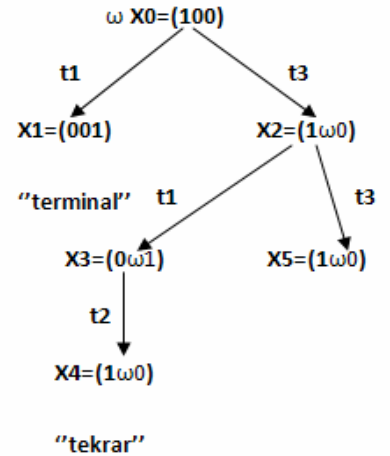
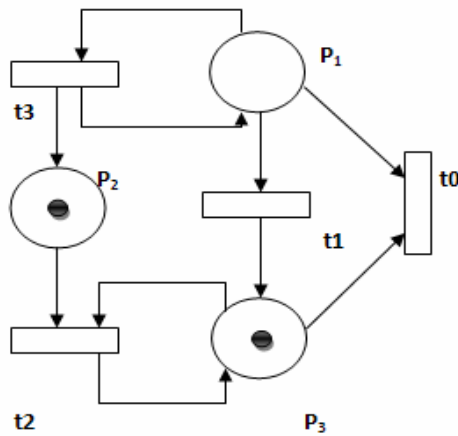
işaretlemeyen sonra oluşan aynı tipteki işaretlemelere de ‘tekrar düğümü’ denir. Bunu Şekil 2.17’te görebiliriz.

Şekil 2.17 t_3 Geçiş İle Oluşan Ulaşılabilirlik Ağacının 4. Adımı



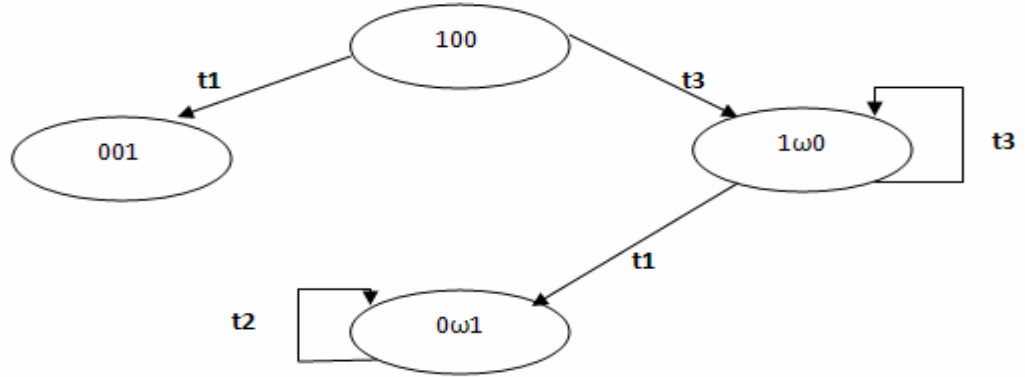
X_3 işaretlemesi ile t_2 geçişinin izinli olduğunu görüyoruz ve t_2 ’nin gerçekleşmesi ile X_3 ’te bir değişiklik olmayacağından ‘tekrar’ düğümü elde edilir. Böylelikle tüm geçişlerin gerçekleşmesi ile söz konusu Petri ağıının olası tüm durumlarını ortaya koymuş oluyoruz. Şekil 2.18’te ulaşılabilir tüm durumları görebiliriz.

Şekil 2.18 t_2 Geçiş İle Oluşan Ulaşılabilirlik Ağacı Örneği



Ulaşılabilirlik ağacından, ulaşılabilirlik ağını oluşturabiliriz. Bu ağda olası işaretlemeler ve geçiş bilgilerini bulabiliriz.

Şekil 2.19 Ulaşılabilirlik Ağı



2.3.2 Tekrar Oranı Matrisi ve Durum Denklemi

Petri ağları analizinde kullanılan başka bir yöntem de tekrar oranı matrisi ve durum denklemi yaklaşımıdır. Bu yöntemde Petri ağlarının dinamik yapısı rahatça tanımlanabilir (Zorawski; Zhou 1994, 575). Temelde geçişler ve durumlar arasındaki tüm olası bağlantıların tanımlanması vardır ve böylelikle ulaşılabilirlik ağacına ulaşmada kullanışlıdır.

Dinamik davranışlar sergileyen tüm sistemler diferansiyel denklemler ya da cebirsel eşitliklerle tanımlanabilir. Petri ağlarının dinamik özelliklerinin de denklemlerle tanımlanabilmesi için matris yaklaşımı yöntemini kullanmaya çalışacağız. Petri ağı modellerinin bazı durumlarda deterministik olmamasından elbette çözümler sınırlı kalacaktır ve kısıtlar sonucu çözüm negatif olmayan sayılar olacaktır. Bu nedenledir ki mevcut Petri ağını saf hale getirmek için birtakım durum ve geçiş elemanlarının sisteme eklenmesi gerekecektir (Murata 1989; 551).

Tekrar oranı matrisi: Bir Petri ağı için n geçiş sayısı, m durum sayısı olmak üzere tekrar oranı matrisi $A=[a_{ij}]$, $n \times m$ boyutlu ve her bir elemanı;

$$a_{ij}=a_{ij}^{+} - a_{ij}^{-}$$

olarak tanımlanan bir matristir.

Burada a_{ij}^{+} ; t_i geçişini p_j sonraki durumuna bağlayan okun ağırlığı ve a_{ij}^{-} ise t_i geçişini p_j önceki durumuna bağlayan okun ağırlığını ifade etmektedir. Bu demek oluyor ki, t_i 'nin gerçekleşmesi durumunda p_j 'ye aktarılacak jeton sayısı a_{ij}^{+} kadardır. Ayrıca a_{ij}^{-} de p_j öncelik durumunda kaldırılacak jeton sayısını söyletmedir.

Burada görülüyor ki a_{ij} , a_{ij}^{+} ve a_{ij}^{-} elemanları bize ağ içindeki eklenen ve yeri değişen jetonlar hakkında fikir vermektedir. M olarak isimlendirilen bir ağ için t_i geçişinin gerçekleşmesi ancak aşağıdaki koşul sağlandığında mümkün olur.

$$a_{ij}^{-} \leq M(p_i) , i=1,2,3,\dots,m$$

Biz A tekrar oranı matrisi yerine A 'nın transpozu A^T 'yi kullanacağız çünkü biliyoruz ki bir Petri ağını alt kümesi olarak işaretlenmiş ağı tekrar oranı matrisi kadar iyi ifade edecektir(Murata 1989;552).

Durum denklemi: M_k , matris denklemlerini oluştururken kullanılan $m \times 1$ boyutlu sütun matrisi olmak üzere, M_k 'nin j .girdisi, t_k gerçekleştikten sonra p_j girişindeki jeton sayısını ifade etmektedir. u_k kontrol vektörü ise $n \times 1$ boyutlu, $n-1$ adet '0' ve bir adet sıfır olmayan girdiden oluşan bir vektördür. Burada negatif olmayan elemanın bulunduğu i . sütun t_i geçişinin burada gerçekleştiğini gösterir. Tekrar oranı matrisindeki j . satır, j . geçişin gerçekleşmesi sonucu oluşacak jeton değişikliğini ifade ettiğinden, bir Petri ağı için aşağıdaki 'durum denklemini' yazabiliriz;

$$M_k = M_{k-1} + A^T u_k$$

Tekrar oran matrisi incelendiğinde, bir durum birden fazla negatif işarete sahip ise bu işaretler ilişkili geçişlerin birbirleri ile çatışma durumunda olduğunu gösterir. Ayrıca bir durum birden fazla pozitif işaretli ise bu işaretler ilgili geçişlerin aynı sonraki duruma sahip olduğunu söyler. Yani, bu geçişlerden herhangi birinin

gerçekleşmesi durumunda belirtilen sonraki duruma jeton aktarımı söz konusudur(Teng ; Zhang 1993;1482).

$1 \times n$ boyutlu bir X vektörü; $A^t X = 0$ koşulunu sağlıyor ise t -sabiti olarak adlandırılır. Burada A , Petri ağının tekrar oranı matrisi ve n geçiş sayısını belirtmektedir.

X vektöründeki sıfırdan farklı elemanlar söz konusu Petri ağının M_0 durumundan yine M_0 durumuna dönebilmesi için gerekli tekrar adedini göstermektedir. Eğer bir sisteme ait Petri ağındaki tüm t -sabitlerinin aynı elemanı 0 ise, sistem bir M_0 durumundan aynı M_0 durumuna dönemeyecek demektir. Yani sistem sıfır değerine sabit geçişin gerçekleşmesi ile eski haline dönemeyecektir. Eğer başlangıç durumu üretim sisteminin ayarlamaları ile ilgili bir durum ise, söz konusu geçiş sistemde bir hataya neden olabilir(Proth; Xie 1996,29).

$1 \times m$ boyutunda negatif olmayan değerlere sahip bir Y vektörü $AY=0$ koşulunu sağlıyor ise p -sabiti olarak adlandırılır. Burada A matrisi tekrar oranı matrisi ve m durum adedini belirtmektedir.

p -sabitindeki sıfırdan farklı elemanlar ilgili durumların ağırlıklarını göstermektedirler. Durumların ağırlıklandırılmış jeton sayısı toplamı sistem içinde sabit kaldığından M_0 başlangıç durumu, $Y=[y_1, y_2, y_3, \dots, y_m]$ ve p -sabiti ne olursa olsun

$$S = y_1 M(p_1) + y_2 M(p_2) + \dots + y_m M(p_m)$$

değeri tüm $M \in R(M_0)$ için aynıdır. p -sabitinin tüm elemanlarının pozitif değerli olması toplam jeton sayısının sınırlandırılmış olması anlamına gelir.

p -sabitinin tüm elemanlarının 1 olması halinde ise geçişlerin gerçekleşme sırası ne olursa olsun sistemdeki jeton sayısının sabit kaldığını gösterir. Üretim sistemlerinden bahsediliyor ise jetonlar sistemdeki parçaları gösterir ve yarı mamul stoğunun sistem içinde sabit kaldığı sonucuna varılır(Proth; Xie 1996,26).

2.3.3 Petri Ağları İçin Azaltma Yöntemi

Büyük bir sistemin analizi elbette daha küçük bir sistemden daha zor ve karmaşık olacaktır. Bu yüzden büyük bir sistemin analizini kolaylaştırmak için daha basit bir duruma indirgemek gerekir. Böylece daha rafine bir modeli analiz etmek daha kolay ve anlaşılır olacaktır.

Azaltma yöntemlerini iki başlık altında inceleyebiliriz.

- 1) Dönüşüm metodu
- 2) Sentez metodu

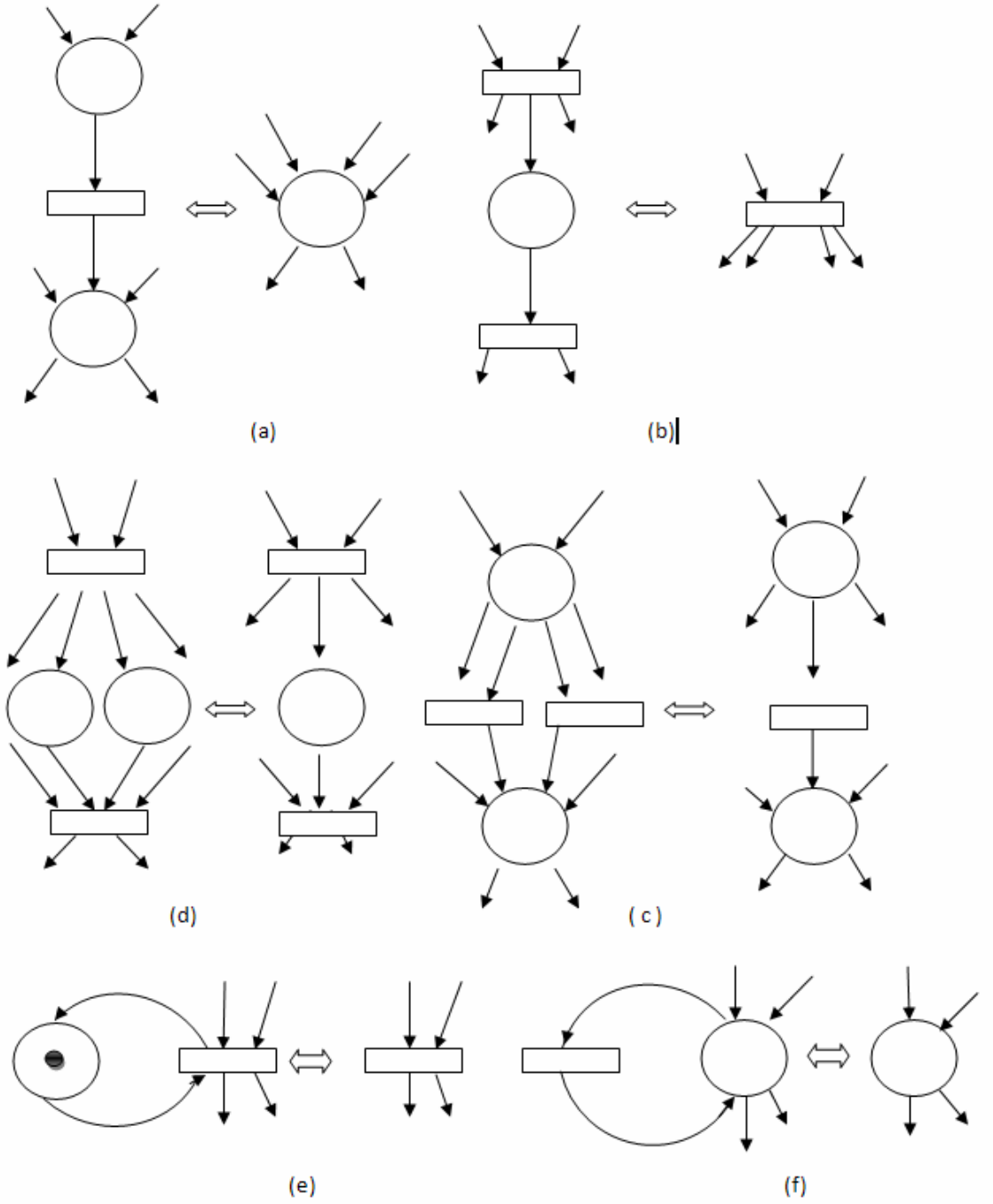
2.3.3.1 Dönüşüm metodu

Büyük bir sistemin analizinde indirgeme uygulamasının asıl amacı temel özelliklerin sabit kalması ve modelin daha basit ifade edilecek şekilde, düzenlenmesi sonucu daha kolay analiz edilmesini sağlamak. Sonuç olarak büyük bir ağa ait karakteristik özelliklerin daha küçük ve sınırlı bir ağa indirgenerek genelleştirme yapılabilir.

Aşağıdaki altı operasyonda canlılık ve sınırlılık özelliklerini nasıl koruduklarını görebiliriz. Bir N ve N' ağları için indirgeme işleminden sonraki durumlarını görebiliriz. Azaltma yönteminden sonra N ancak sınırlı ve canlı ise N' de canlı ve sınırlılık özelliğini koruyan bir ağ olacaktır(Murata 1989,553).

1. Seri durumların birleşimi Şekil 2.20 (a)'da gösterilmiştir.
2. Seri geçişlerin birleşimi Şekil 2.20 (b)'de gösterilmiştir.
3. Paralel durumların birleşimi Şekil 2.20 (c)'de gösterilmiştir.
4. Paralel geçişlerin birleşimi Şekil 2.20 (d)'de gösterilmiştir.
5. Kendine dönen(Self-loop) durumların elenmesi Şekil 2.20 (e)'de gösterilmiştir.
6. Kendine dönen geçişlerin elenmesi Şekil 2.20 (f)'de gösterilmiştir.

Şekil 2.20 Canlılık, Güvenilirlik ve Sınırlılık Özelliklerini Koruyan Altı Dönüşüm



Sonuç olarak dönüşümler sonrasında orijinal ağa göre daha az durum ve geçiş içeren, daha basit bir ağa ulaşılacaktır. Metotların bazıları durumlarla ilgilenirken bazıları da geçişlerin ard arda gösterimleriyle sonuçlandırılır(Proth; Xie 1996,91).

2.3.3.2 Sentez Metodu

Sentez metodundaki amaç mevcut ağların birleştirilerek daha büyük bir Petri ağının elde edilmesidir. Burada yukarıdan aşağıya ve aşağıdan yukarıya iki temel yaklaşım mevcuttur.

Aşağıdan yukarıya prensibiyle işleyen metotlarda sistem alt sistemlere ayrıştırılır ve ayrıştırılan her sistem detaylı bir şekilde irdelenir. Bu alt sistemler Petri ağları olarak modellenir ve ortak durum ve geçişlerle birbirine bağlanarak tekrar bir bütün haline getirilir. Bu metot genellikle üretim sistemlerinde uygulanır.

Yukarıda aşağıya prensibinde ise sistem öncelikle bir bütün olarak modellenir. Ardından geçişler ve durumlar detaylandırılarak sistem daha ayrıntılı bir hal alır. Sistemin geliştirilmesi, sistem istenen hassasiyete gelinceye kadar devam eder. Dikkat edilmesi gereken nokta hiyerarşinin iyi kurulmasını sağlamaktır. Aksi takdirde istenen performansı vermeyebilir. Ayrıca bu metotta sistemin bir bütün olarak görülmesi mümkündür.

Sonuç olarak dönüşüm ve sentez yöntemleri genellikle kompleks yapıdadır ve uygulanmaları zordur. Bunun yanında tasarımın önem taşıdığı sistemlerde niteliksel özellikleri korumaktadır.

2.4 PETRİ AĞLARININ SINIFLANDIRILMASI

Petri ağları yapısal özelliklerine göre bir takım sınıflara ayrılmıştır. Böylelikle ağların analizi ait oldukları sınıflara özel yaklaşımlarla etkin bir şekilde yapılabilir.

Önceden ifade edildiği gibi tüm okların ağırlığının '1' olduğu Petri ağlarına temel ağlar denir.

A, Petri ağına ait oklar kümesi, T ağına ait geçişler kümesi ve P ağına ait durumlar kümesi olmak üzere;

${}^{\circ}t = \{p \mid (p,t) \in A\}$ t geçişinin önceki durumları kümesi

$t^{\circ} = \{p \mid (t,p) \in A\}$ t geçişinin sonraki durumları kümesi

${}^{\circ}p = \{t \mid (t,p) \in A\}$ p durumun önceki geçişleri kümesi

$p^{\circ} = \{t \mid (p,t) \in A\}$ p durumunun sonraki geçişleri kümesi

Durum Makinesi (State Machine) : Her duruma ait sadece bir tane önceki durumun var olduğu temel ağlara denir.

$|{}^{\circ}t| = |t^{\circ}| = 1$, her $t \in T$ için

Durum makinesi sınıfında bulunan Petri ağlarında durumlar önem kazanmaktadır. Bu tip ağlarda bir durumda bulunan tek bir jeton birden fazla geçişi aktif duruma getirip çakışmaya neden olabilir.

Hareket Grafikleri(İşaretli Graf-Marked Graph): Her duruma ait sadece bir tane öncelik ve de bir tane sonraki geçişin var olduğu temel ağlardır.

$|{}^{\circ}p| = |p^{\circ}| = 1$, her $p \in P$ için

Bu sınıfta geçişler önem kazanmaktadır. Tek bir geçişin birden fazla giriş ve çıkış yeri olabilir. Bu sınıftaki Petri ağlarında senkronizasyona izin verilir.

Serbest Seçim Ağları (Free Choice) : Bir p durumunu t geçişine bağlayan her ok için aşağıdaki koşullardan biri sağlanır.

- i. t geçişi, p durumuna ait tek çıkış geçiştir. (çatışma yok)
- ii. p durumu, t geçişine ait tek giriş durumudur.(senkronizasyon yok)

Genişletilmiş Serbest Seçim Ağlar (Extendent Free Choice) : Aynı önceki duruma sahip t_1 ve t_2 geçişlerinden hangisinin gerçekleşeceğine dair bir belirtecin bulunmadığı ağlardır. Diğer bir deyişle p durumunu t geçişine bağlayan ok için, t geçişine ait tüm giriş yerlerindeki p durumuna ait tüm çıkış geçişlerine çizilmiş bir dal mevcuttur.

$$p_1^\circ \cap p_2^\circ \neq \emptyset \text{ ise } p_1 = p_2, \text{ tüm } p_1, p_2 \in P \text{ için}$$

Asimetrik Seçimli Petri Ağları (Asymmetric Choice) : Her geçişin bir başka geçiş ile ortak olarak paylaşıldığı sadece tek bir önceki durumun var olduğu ağlardır.

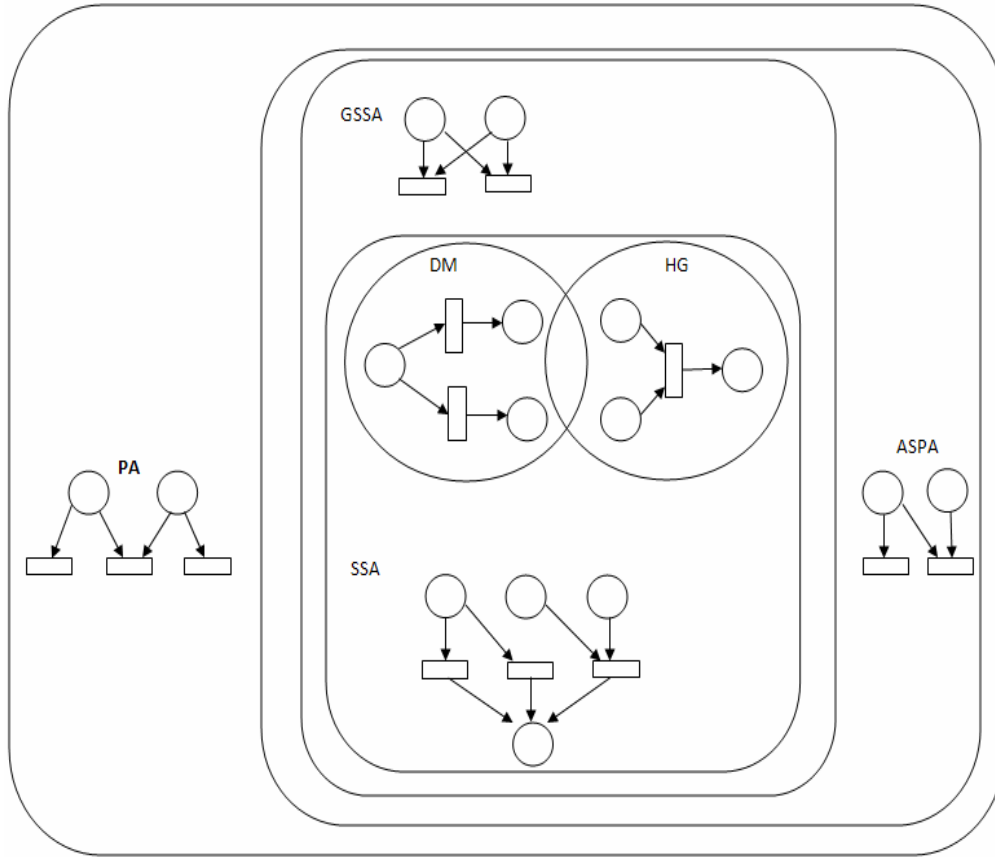
$$p_1^\circ \cap p_2^\circ \neq \emptyset \text{ ise } p_1^\circ \subsetneq p_2^\circ \text{ ya da } p_2^\circ \subsetneq p_1^\circ, \text{ tüm } p_1, p_2 \in P \text{ için}$$

Gösterimlerden anlaşıldığı gibi durum makineleri çatışmaları ya da kararları ifade eder. Hareket grafikleri ise paralelliği ya da eşzamanlılığı gösterir. Yani durum makineleri ile hareket grafikleri birbirinin çiftidir. Grafikselleştirimlerde bu nitelik geçişlerin durumlar durumların ise geçişler ile yer değişimiyle ifade edilir. Serbest ağlar hem durum makinelerinin çatışmalarını hem de hareket grafiklerinin eşzamanlılığını içerir (Tunçel 1999;30-33).

Durum makinesi ve hareket grafikleri sınıflarına giren ağlar aynı zamanda serbest seçimli ağlar sınıfına da girer. Durum makinelerinde senkronizasyon söz konusu değil iken hareket grafikleri sınıfına giren ağlarda çatışma söz konusudur.

Aşağıdaki şekilde Petri ağı sınıflarının birbirleriyle ilişkileri gösterilmiştir.

Şekil 2.21 Petri Ağı Sınıfları



2.5 PETRİ AĞLARI ÇEŞİTLERİ

2.5.1 Zamanlı Petri Ağları

Zaman kavramına Petri ağlarının temel tanımında yer verilmemiş olsa bile dinamik sistemlerde ve performans ölçümlerinin önemli olduğu sistemlerde zaman olgusu göz ardı edilemezdir. Zaman değerlendirmesi için temel tanım genişletilmiş ve bu tanım sonucu Zamanlı Petri ağları tanımı doğmuştur. Eş zamanlı olmama, çatışma ve senkronizasyon içeren sistemlerde bir araç olarak kullanılabilen Petri ağları paralel ve ayırık sistemler için zaman kavramını getirerek daha etkin bir araç haline gelmiştir. Zaman olgusu hem geçişlerle hem de durumlarla ilişkilendirilebilir.

Zaman değişkeninin kesin şekilde belirtildiği durumlarda ağ Deterministik Petri Ağları adını alırken, olasılıklı zamanların söz konusu olduğu ağlar Deterministik olmayan(Stokastik) Petri ağları olarak adlandırılır.

Zamanın durumlarla ilişkilendirildiği ağlarda, zaman geçişin gerçekleşmesi durumunda jetonun sonraki durumda minimum kalış süresini vermektedir. Fakat zaman genellikle geçişlerle ifade edilir çünkü zaman harcıyıcı olaylar genellikle geçişlerle tanımlıdır.

t 'nin gerçekleşmesi için geçen süre Q , başlama zamanı Q_0 ise;

- i. $W(p,t)$ adet jeton Q_0 zamanında her $p \in t$ 'den alınır.
- ii. $W(p,t)$ adet jeton Q_0+Q zamanda her $p \in t$ 'a eklenir.

Çatışmanın var olduğu durumlarda olasılık fonksiyonu devreye girecek olduğunda deterministik ağlar yeterli gelmeyecektir. Fakat çatışma içermeyen eş zamanlı sistemlerin tanımlanabildiği hareket grafiklerinde daha uygun olacaktır. Böylece performans ölçümleri daha sağlıklı yapılabilecektir. Deterministik Zamanlı Petri Ağları esnek imalat ve tam zamanında üretim sistemleri için kullanılabilir. Burada önemli olan kısıtlar dahilinde sistemin çevrim süresinin belirlenmesidir.

Deterministik Olmayan Petri Ağlarında çatışma probleminin çözümü adına sisteme olasılık dağılımları eklenmektedir. Her geçişe ait zamanın stokastik olduğu ve üssel dağılıma uyduğu ağlar bu sınıfa girmektedir. Sistemdeki rassal değişkenlerin genel dağılım gösterdiği ya da modelin hem deterministik hem de stokastik değişkenler içerdiği durumlarda analitik çözüm mümkün değildir.

2.5.2 Renkli Petri Ağları

Genellikle üretim sistemlerinin modellenmesinde ve karmaşık sistemlerde kullanılırlar. Analitik özelliklerin az olması nedeniyle tek başına yeterli değildir. Bu nedenle benzetim teknikleriyle desteklenir. Renkli Petri Ağlarında farklı renklerdeki

jetonlar mevcuttur ve geçişlerin gerçekleşme sırasına göre Renkli Petri ağı içerisinde hareket ederler.

2.6 PETRİ AĞLARI İLE PERFORMANS DEĞERLENDİRMESİ AVANTAJLARI VE EKSİKLİKLERİ

Sistemlerin tasarlanması ve geliştirilmesi aşamasında önemli olan hedeflenen noktaya ulaşılmasıdır. En yüksek performans düzeyine ulaşabilmek için geliştirilecek model dışında alternatif modellerin performans değerlerine ihtiyaç duyulacaktır. Modelin kurulması ve bir çözüm elde edilmesi istenen hedefe yaklaşılmasını sağlar. Böylelikle sonraki aşamalarda detaylandırılan sistem, modelin gerçek değerlerini, zaman kriteriyle birlikte verebilir. Bu urumda ayrık-olay sistemleri için performans değerlendirmesinde kullanılabilecek olan Petri ağları iyi bir alternatiftir fakat masraflı ve zaman alıcıdır(Zurawski; Zho 1994;577).

Çıktı oranı, ortalama araç kullanımı, tahmini stok adedi ve sistemin duraklama noktaları(makinelerin arızalanması) gibi ölçütler sistem performansı hakkında bilgiler verir ve bu ölçütler Petri Ağları modellerine uygulanabilir. Modelin gelişmesiyle, sistemin her olasılığa karşı vereceği cevaplar tahmin edilebilir ve benzetimi yapılabilir. Temel Petri ağları zaman kısıtı içermeyen mantıksal yapıların tanımlanmasında kullanılırken, Zamanlı Petri ağları ile ayrık-olaylı sistemlerin zamansal performansı da değerlendirilebilir.

Petri ağları, öncelik-sonralık ilişkileri, eş zamanlılık ve çatışma gibi sistem özelliklerini belirleyen konularda modele üstünlük sağlamasının yanı sıra grafiksel gösterimle de modelin rahatça anlaşılabilmesini sağlar. Sistem çıkmazı ve kararsızlık gibi konularda sistemi kullanana kontrol yeteneği kazandırması yanında benzetime ihtiyaç duyulmadan performans değerlendirmesi yapılmasına olanak sağlar. Ayrıca sistemin hangi zamanda hangi aşamada olduğunu rahatça görmeyi sağlar ve sistemi istenen noktadan başlatma olanağı verir ve öncelik ilişkilerinin belirlendiği modelde sonuçlar rahatça yorumlanabilir.

Diğer yandan büyük sistemler için uygulanması zordur ve kompleks yapı arttıkça model elemanlarının sayısı da artar(üssel biçimde). Sistem uygulayıcısına kontrol olanağı sağlamasına rağmen sistemdeki değişiklere uyum yeterince esnek yapıda değildir. Bu eksikliklerin giderilmesi için Zamanlı Petri ağıları ve Renkli Petri ağıları geliştirilmiştir. Fakat yine de yeterli gelişme kaydedilememiştir.

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

BUZDOLABI ÜRETİM SİSTEMİNİN PETRİ AĞLARI İLE MODELLENMESİ, ANALİZİ VE PERFORMANS DEĞERLENDİRMESİ

Bu çalışmada bir buzdolabı üretim sisteminin Petri ağları ile modellenmesi, analizi, performans analizi ve benzetimi gerçekleştirilmiştir. Buzdolabı üretim sistemi modeli, beyaz eşya, bilgi teknolojileri ve elektronik sektörlerinde faaliyette bulunan bir üretim şirketinden alınmıştır. Ar-Ge çalışmalarına önemli yatırımlar yapan şirket, kendi teknolojisini kendi üreten isimler arasında yer almaktadır ve yüksek teknolojiye verdiği önemle, yenilikçilik prensibini benimsemektedir.

Bu bölümde ilk olarak çalışmanın amacı anlatılmıştır. Ardından sistemin büyüklüğü nedeniyle problem beş alt bölüme ayrıştırılmış ve her bölüm kendi içinde değerlendirilmiştir. Her alt bölüme ait istasyonların akışları ve operasyon süreleri ayrıca tanımlanmıştır.

Üretim sistemine ait alt üniteler aşağıdaki gibidir;

1. Sac şekillendirme ünitesi
2. Boyama ünitesi
3. Kapı üretim ünitesi
4. Ön montaj ünitesi
5. Montaj ünitesi

Son olarak sistemin Petri ağları ile modellemesi yapılmış, hammadde, yarı mamul ya da mamullerin sisteme girişleri, geçişleri, sistemden ayrılışları verilmiştir. Her istasyonun önceki ve sonraki durumları belirlenmiş ve tablolarla verilmiştir.

Sisteme ait verilerin Matlab 7.9 ile Petri Net Toolbox yardımıyla benzetimi ve performans değerlendirmesi yapılmıştır. Her alt bölümün tek tek analizi yapılmış,

sonuçları paylaşılmış ve her bölüm için yararlı olabilecek değişimler tesviye edilmiştir. Her alt bölüm için sistemin kullanım oranları, bekleme süreleri, kuyruk uzunlukları, geçişlerin gerçekleşme adetleri ve kullanım sıklıkları belirlenmiştir.

3.1 ÇALIŞMANIN AMACI

Bu çalışmada Petri ağları yöntemi kullanılarak buzdolabı üretim sisteminin modellenmesi, analizi ve performans değerlendirmesi yapılmıştır.

Genel olarak sistemi oluşturan alt bölümlerin birbirleri ile denge içerisinde ve kendi içlerinde de maksimum üretkenlikte çalışıp çalışmadıkları kontrol edilmiştir. Öncelikle performans analizleri Matlab programı yardımıyla gerçekleştirilmiş. Çıkan sonuçlar incelendikten sonra sistemin nasıl daha iyi bir hal alabileceği irdelenmiştir. Bunun sonucunda yürütülen fikirler doğrultusunda sistem yeniden düzenlemiş ve sonuçlar paylaşılmıştır.

Benzetim sırasında göz önünde bulundurulacak en önemli noktalar; bekleme süreleri, benzetim sırasında sistemde üretilen ürün adetleri ve sistemdeki stok kapasitesinin kullanımıdır. Sisteme ait performans analizinin Petri Ağları ile yapılmasının nedeni, üretim sisteminin grafiksel açıdan tüm adımlarıyla görülebilmesi, stok kontrolünün böylelikle daha kolay gerçekleştirilebilmesi, sistem üzerinde yapılan değişimlerin yeni modele rahatça aktarılabilmesi ve sisteme ait çıkmazların, çatışma noktalarının Petri ağı doğasında var olmasıdır.

3.2 SİSTEME AİT ALT BÖLÜMLERİN TANIMLANMASI

Buzdolabı üretim sistemimiz beş bölümden oluşmaktadır. Sistemimizi oluşturan bu alt bölümler tanımlanmış, yapılan işlemler hakkında bilgi verilmiş ve işlem süreleri belirtilmiştir.

Sac şekillendirme bölümü sac kesimi, bükme ve birleştirme aşamalarından oluşmaktadır. Bu aşamada ilk olarak rulo şeklindeki sac açılmakta, ebatlanmakta,

kontrol aşamasından sonra kesim aşamasına geçmektedir. Kesim aşamasında iki adet yan kapak, arka kapak, üst kapak, alt kapak ve ön kapak olmak üzere altı farklı boyutta sac kesilmektedir. Ardından kesilen saclar preslere aktarılarak bükme işlemi gerçekleştirilir ve eş zamanlı olarak montaj için birleştirme istasyonuna iletilmektedir. Birleştirme işleminin ardından tekrar bir kontrole tabi tutulacaklardır. Burada sadece ön kapakla ilgili bir birleştirme işlemi yapılmamaktadır.

Boyama bölümünde ilk olarak özel bir kimyasala tabi tutulan parçalar ardından boyama işlemine tabi tutulmaktadır.

Kapı üretim bölümünde boyanmış olarak sisteme giren kapı sacı hammadde olarak hazır bulundurulan plastik aksamla birleştirilmekte ve poliüretan gazı basıldıktan sonra kontrol aşamasına geçmekte ve sistemden çıkmaktadır.

Ön montaj bölümünde birleştirilen ve boyanan yan duvarlara gerekli plastik donanım ve elektriksel aksam montaj edilmekte, bir kontrol elemanı tarafında kontrol edildikten sonra poliüretan gazı basılmakta ve sistemden çıkarılmaktadır.

Montaj bölümünde ise kapı ve gövde birleştirilmekte, elektriksel aksam montaj edilmekte, gerekli testler ve gaz basma işlemleri yapılmakta yine kontrol yapıldıktan sonra paketlenmekte ve sistemden çıkarılmaktadır.

3.2.1 Sac Şekillendirme Ünitesi

Bu bölümde temel olarak sac kesimi, presleme ve birleştirme işlemi yapılmaktadır. Üretilcek buzdolaplarına ait gövdeler bu bölümde şekillenmektedir ve boyama işlemine hazır hale gelmektedir.

Sac şekillendirme ünitesinde istasyonlarda gerçekleştirilen işlemlerin isimleri ve süreleri Tablo 3.1’de verilmektedir.

Tablo 3.1 Sac Şekillendirme Bölümüne Ait İş İstasyonları Ve Süreleri

İstasyon	Operasyon	Süre(sn)
S1	Rulo açma - Ebatlama	10
S2	Kesim	6
S3	Kontrol-1	5
S4	Yan kapak-1 kesim	12
S5	Yan kapak-2 kesim	12
S6	Arka kapak kesim	15
S7	Üst kapak kesim	16
S8	Alt kapak kesim	16
S9	Ön kapak kesim	10
S10	Birleştirme	13
S11	Kontrol-2	3

3.2.2 Boyama Ünitesi

Bu bölümde oluşturulan buzdolabı gövdeleri ve kapakları askılara takılarak boyama alanına geçmektedir. Burada tek hat ve 80 adet askı bulunmaktadır. Sistemden çıkan boyanmış durumdaki parçalar ise bantlar aracılığıyla ön montaj bölümüne aktarılmaktadır.

Boyama bölümündeki istasyonlar ve süreleri Tablo 3.2’de verilmektedir.

Tablo 3.2 Boyama Bölümüne Ait İş İstasyonları Ve Süreleri

İstasyon	Operasyon	Süre
S1	Askı sistemi-1	-
S2	Kimyasal uygulama	14
S3	Askı sistemi-2	-
S4	Boyama	24

3.2.3 Kapı Üretim Ünitesi

Kapı üretim bölümünde boyama ünitesinde gelen ön kapaklar plastik aksam ve elektriksel aksam ile birleştirilmekte, birinci kontrol yapılmakta, ardından poliüretan basma işlemi ve son kontrol işlemi yapılmaktadır.

Tablo 3.3'te Kapı üretim ünitesinde yapılan işlemler ve süreleri verilmektedir.

Tablo 3.3 Kapı Üretim Bölümüne Ait İş İstasyonları Ve Süreleri

İstasyon	Operasyon	Süre
S1	Plastik yapı ve elektiksel aksam montajı	55
S2	Kontrol-1	10
S3	Poliüretan basma	65
S4	Kontrol-2	5

3.2.4 Ön Montaj Ünitesi

Ön montaj bölümünde boyama ünitesinden gelen gövde sistemde plastik aksam ve elektriksel aksam ile birleştirilir kontrolleri yapılır, poliüretan basıldıktan sonra tekrar bir kontrol işlemi yapılır ve sistemden çıkarılır.

Tablo 3.4'te Ön montaj ünitesinde yapılan işlemler ve süreleri verilmektedir.

Tablo 3.4 Ön Montaj Bölümüne Ait İş İstasyonları Ve Süreleri

İstasyon	Operasyon	Süre
S1	Ön montaj	60
S2	Kontrol-1	8
S3	Poliüretan basma	82
S4	Kontrol-2	5

3.2.5 Montaj Ünitesi

Montaj bölümünde kapı ve gövde birleştirilmekte, gerekli elektriksel aksam eklenmekte, gaz basma ve emniyet testlerinden sonra performans testi yapılmakta ve buzdolabı sistemden çıkmaktadır. Montaj ünitesinde 1 adet bant bulunmaktadır ve her bir bant üzerinde performans kontrolü yapıldığı aşamada aynı anda 30 adet ürün kontrolü yapılabilmektedir.

Tablo 3.5 Montaj Bölümüne Ait İş İstasyonları Ve Süreleri

İstasyon	Operasyon	Süre
S1	Son montaj(kapı+gövde)	60
S2	Elektriksel aksam montajı	50
S3	Vakumlama ve soğutucu gaz basma	60
S4	Servis borusu körleme	28
S5	Kaçak testi	30
S6	Elektriksel emniyet testi	30
S7	Performans testi	1800
S8	Görsel kontrol	14
S9	Paketleme	14

3.3 SİSTEMİN MODELLENMESİ

Buzdolabı üretim sisteminin modellenmesi sırasında, sistemin alt bölümlere ayrılması, her bölümün ayrıntılarıyla modellenmesi ve ardından ayrılan her bölümün kendilerine has özelliklerinin korunması sağlanarak birleştirilmesinden sonra ana modele geçilmiştir.

Modelimizde tek tip ürün imalatı söz konusudur. Belirli bir zamanda sadece tek bir geçişin gerçekleşebileceği kabul edilmiştir ve her bir geçiş operasyonlar ya da işlem gören yarı mamullerin başka bir istasyona taşınmasını ifade etmektedir. Bu durumda geçişlerin süreleri operasyonların süreleriyle eşittir.

Modelde, tek bir ürün tipinin üretimi, başlangıç konumunda istasyonda işlem için bekleyen bir parçanın bulunduğu, işlem sürelerinin deterministik yapıya sahip olduğu, istasyonlarda arızalanma ya da ıskartaya ayrılan parçalar gibi rastlantısal olaylara yer verilmediği ve istenilen parçaların ve ekipmanın istendiği anda istendiği yerde bulunduğu gibi varsayımlarda bulunulmuştur.

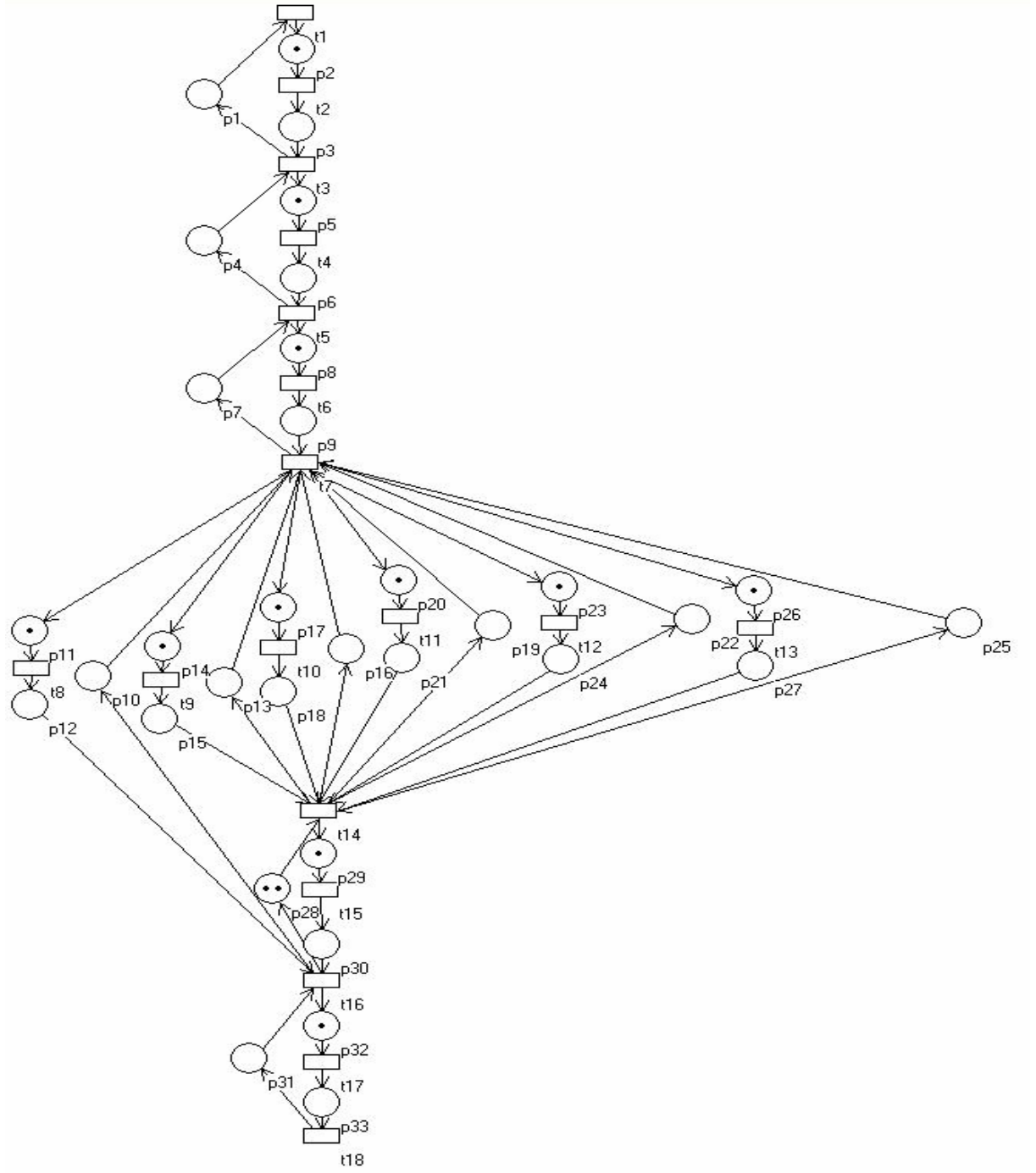
Modelde durumlar, kaynakların giriş ve çıkış stoklarını göstermektedir. ‘Kaynak’ olarak bahsettiğimiz ise işçilerin, makinelerin ve taşıma bantlarının kullanılabilir olma durumudur.

Sistem 10 saat yani 36.000 saniye çalıştırılmıştır. Matlab Petri Net Toolbox ile sistemin canlılık, sınırlılık, geri dönebilirlik ve tutarlılık özellikleri sorgulanmış, kapasite ve kaynak kullanımı test edilmiştir.

3.3.1 Sac Şekillendirme Ünitesine Ait Petri Ağı Modeli

Şekil 3.1’de Sac şekillendirme modülüne ait Petri ağı modeli verilmiştir. Tablo 3.6’da modeldeki her geçişin ve durumun açıklamaları verilmiştir. Tablo 3.7’de ise modeldeki geçişlerin sürelerini vermektedir. İstasyonlar arasındaki taşıma süresi sıfıra yakın olanlar ihmal edilmiştir. Bunun yanında preslenen kapı sacı gövdeyle bu aşamada birleştirilmemektedir. Birleştirme istasyonu yerine kontrol-2 istasyonuna aktarılmaktadır. Bu işlem p_{12} ’den t_{16} ’ya giden ok ile resmedilmiştir.

Şekil 3.1 Sac Şekillendirme Bölümüne Ait Petri Ağı Modeli



Tablo 3.6 Sac Şekillendirme Bölümüne Ait Petri Ağı Modelinde Durumların İfade Ettiği Anlamlar

DURUMLAR	İSTASYONLARIN DURUMLARI
P ₁	S1'in kullanılabilirliği
P ₂	S1'in girdi stoğu
P ₃	S1'in çıktı stoğu
P ₄	S2'in kullanılabilirliği
P ₅	S2'in girdi stoğu
P ₆	S2'in çıktı stoğu
P ₇	S3'in kullanılabilirliği
P ₈	S3'in girdi stoğu
P ₉	S3'in çıktı stoğu
P ₁₀	S4'in kullanılabilirliği
P ₁₁	S4'in girdi stoğu
P ₁₂	S4'in çıktı stoğu
P ₁₃	S5'in kullanılabilirliği
P ₁₄	S5'in girdi stoğu
P ₁₅	S5'in çıktı stoğu
P ₁₆	S6'in kullanılabilirliği
P ₁₇	S6'in girdi stoğu
P ₁₈	S6'in çıktı stoğu
P ₁₉	S7'in kullanılabilirliği
P ₂₀	S7'in girdi stoğu
P ₂₁	S7'in çıktı stoğu
P ₂₂	S8'in kullanılabilirliği
P ₂₃	S8'in girdi stoğu
P ₂₄	S8'in çıktı stoğu
P ₂₅	S9'in kullanılabilirliği
P ₂₆	S9'in girdi stoğu
P ₂₇	S9'in çıktı stoğu
P ₂₈	S10'in kullanılabilirliği
P ₂₉	S10'in girdi stoğu
P ₃₀	S10'in çıktı stoğu
P ₃₁	S11'in kullanılabilirliği
P ₃₂	S11'in girdi stoğu
P ₃₃	S11'in çıktı stoğu

Tablo 3.7 Sac Şekillendirme Bölümüne Ait Geçişlerin İfade Ettiği Anlamlar Ve Süreleri

GEÇİŞLER	FAALİYETLER	SÜRE(sn)
t ₁	Sac rulusunun S1'e gelişi	-
t ₂	Rulo açma-Ebatlama	10
t ₃	Ebatlanan sacın S2'ye aktarımı	-
t ₄	Şekilli kesim	6
t ₅	Kesilen sacın S3'e aktarımı	-
t ₆	Kontrol-1 işlemi	5
t ₇	Uygun sacın prese aktarımı	-
t ₈	Yan kapak-1 presi	12
t ₉	Yan kapak-2 presi	12
t ₁₀	Arka kapak presi	15
t ₁₁	Üst kapak presi	16
t ₁₂	Alt kapak presi	16
t ₁₃	Ön kapak presi	10
t ₁₄	Preslenen sacın birleştirme istasyonuna aktarımı	-
t ₁₅	Birleştirme istasyonunda gövdenin birleştirilmesi	13
t ₁₆	Montajı yapılan gövdenin kontrol-2'ye aktarımı	-
t ₁₇	Kontrol-2 işlemi	3
t ₁₈	Gövdenin sistemden ayrılışı	-

Sistemde p₁,p₄ gibi durumlar istasyonun kullanılabilirliğini ifade etmektedir. Her bir iş istasyonunun girdi çıktı stoğu mevcuttur. Böylece işlem gören mamulün istasyona giriş ve çıkışı gözlemlenebilmektedir. Geçişlerin bazıları istasyonlar arasındaki aktarımı, bazıları da istasyonlardaki işlemleri göstermektedir. Örneğin, t₃ ve t₅ istasyonlar arasındaki aktarımı ifade ederken t₂, t₄ ve t₆ istasyonlardaki işlem sırasında geçen süreyi ifade etmektedir.

Sistemimizde gövde birleştirme istasyonunda 3 adet makine mevcut bulunmaktadır. Bu nedenle p_{28} durumu en fazla 3 adet jetonlanabilir. Sistemdeki diğer durumlarda jeton sayısı ise 1 ile sınırlandırılmıştır.

Her bir istasyonda aynı anda bir parça işlem görebildiğinden kullanılabilirlik, girdi ve çıktı stoğunu tanımlayan durumlardaki toplam jeton sayısı 1 ile sınırlandırıldığından; $M(p_1)+M(p_2)+M(p_3)=1$ ya da $M(p_{10})+M(p_{11})+M(p_{12})=1$ örnek verilebilir.

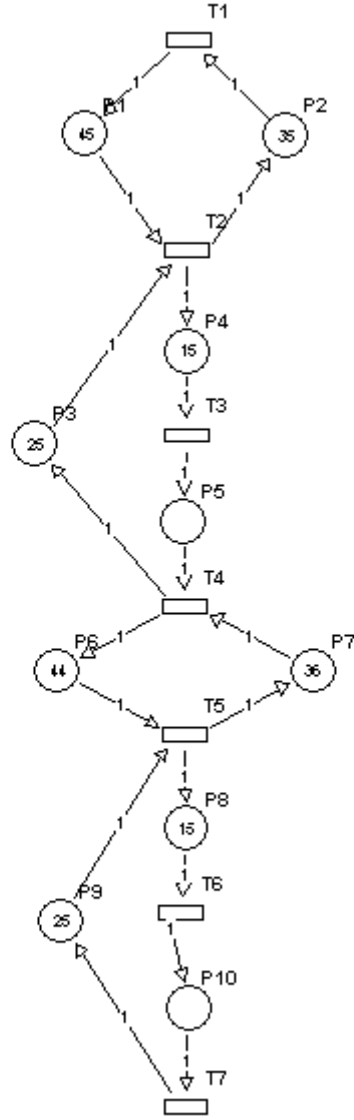
Sistemde kesilen sac parçaları t_7 ile aynı anda preslere aktarılmakta ve t_{14} ile yine eş zamanlı olarak birleştirme istasyonuna iletilmektedir. t_4 'ten p_6 'ya geçen okun ağırlığı 6'dır. Nedeni ise sistemde 6 farklı sac parçasının kesiminin gerçekleştirilmesidir. Bunun dışındaki tüm okların ağırlıkları 1'dir.

Sac şekillendirme bölümü birbirine paralel 3 banttandır. Dolayısı ile sistemin çıktı oranı 3 ile çarpılmalıdır.

3.3.2 Boyama Ünitesine Ait Petri Ağı Modeli

Boyama ünitesine ait Petri ağı modeli Şekil 3.2 'de verilmiştir. Tablo 3.8 ve Tablo 3.9'da bu üniteye ait durumlar ve geçişler verilmiştir. İstasyonlardaki aktarım süreleri sıfıra yakın olduğundan ihmal edilmiştir. Kimyasal uygulama ve boyama ünitelerinin 40'ar adet kapasiteleri vardır. Bunun yanında boyama ünitesine gelen birleştirilmiş buzdolabı gövdeleri ve kapıları 80 adet askıdan oluşan bir taşıma bandıyla sisteme alınmaktadır. Kimyasal uygulamasından çıkan parçalar yine 80 askı kapasiteli taşıyıcılarla boyama ünitesine geçmektedirler. Böylelikle sistemdeki bekleme süreleri, burada oluşturulan kuyruk yapısıyla daha net görülebilmektedir.

Şekil 3.2 Boyama Bölümüne Ait Petri Ağı Modeli



Tablo 3.8 Boyama Bölümüne Ait Petri Ağı Modelinde Durumların İfade Ettiği Anlamlar

DURUMLAR	İSTASYONLARIN DURUMLARI
P ₁	Kullanımdaki askılar
P ₂	Kullanıma hazır askılar
P ₃	S2'nin kullanılabilirliği
P ₄	S2'nin girdi stoğu
P ₅	S2'nin çıktı stoğu
P ₆	Kullanımdaki askılar
P ₇	Kullanıma hazır askılar
P ₈	S4'ün kullanılabilirliği
P ₉	S4'ün girdi stoğu
P ₁₀	S4'ün çıktı stoğu

Tablo 3.9 Boyama Bölümüne Ait Petri Ağı Modelinde Geçişlerin İfade Ettiği Anlamlar

GEÇİŞLER	FAALİYETLER	SÜRE(sn)
t ₁	Şekillendirilen fırın gözdelerinin askılara gelişi	-
t ₂	Askıdaki gövdelerin kimyasal uygulanan bölüme girişi	-
t ₃	Kimyasal uygulama işlemi	14
t ₄	Askı sistemi-2'ye geliş	-
t ₅	Boyama bölümüne giriş	-
t ₆	Boyama işlemi	24
t ₇	Boyanan parçaların sistemden çıkışı	-

Şekil 3.2’de sistemin herhangi bir andaki görüntüsü verilmiştir. Kimyasal uygulama ve boyama bölümlerinin 40’ar adet kapasiteleri olduğunu söylemiştik. Modelde görüldüğü üzere sistemde o anda kimyasala tabi tutulan 25 adet parça mevcutken kalan kapasite 15 olarak görülmektedir. Aynı şekilde boyama bölümünde de 25 adet parça işlem görmekteyken daha 15 parçalık kapasite mevcuttur. Yani $M(p_3)+M(p_4)+M(p_5)=40$ ve $M(p_8)+M(p_9)+M(p_{10})=40$ ’tır.

Birleştirilen buzdolabı gövdeleri ve kapıları aynı anda askı sistemine girmektedir ve bu askıların kapasitelerinin 80 olduğuna göre $M(p_1)+M(p_2)=80$ ve $M(p_6)+M(p_7)=80$ ’dir.

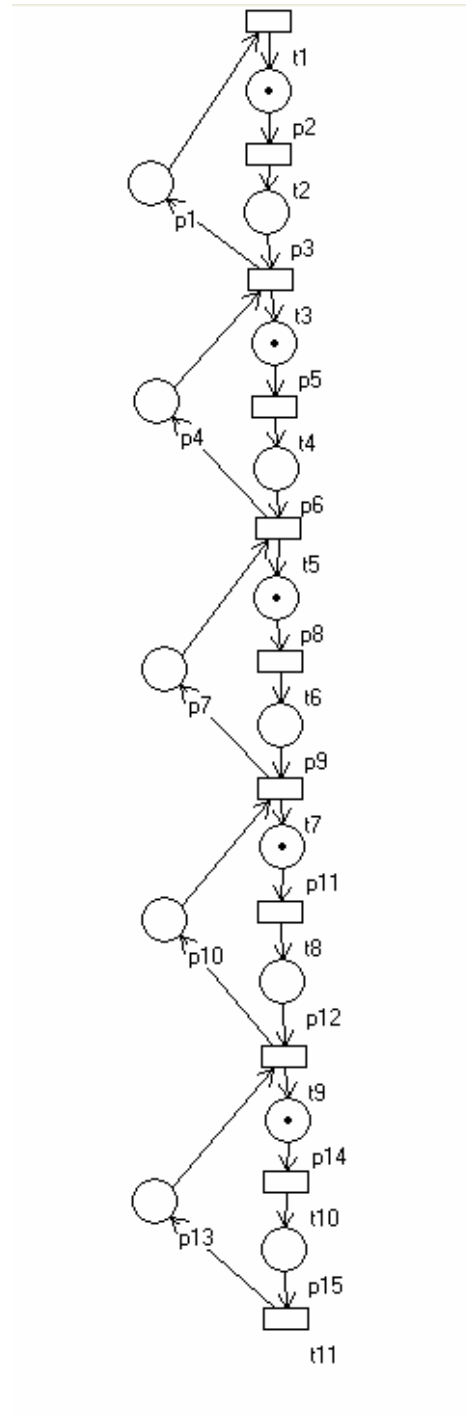
Boyama bölümü tek bant olarak işlem görmektedir. Dolayısıyla elde ettiğimiz çıktı oranı bize direk olarak dakikada elde edilen üretim adedini vermektedir.

3.3.3 Kapı Üretim Ünitesine Ait Petri Ağı Modeli

Kapı üretim bölümüne ait Petri ağı Şekil 3.3’te verilmiştir. İstasyonlar arasındaki aktarım süreleri sıfıra yakın olduğu için ihmal edilmiştir. Kapı üretim ünitesinde yapılan işlemlerin süre açısından diğer istasyonlardaki işlemlerden uzun sürmesi nedeniyle bu ünite her istasyonda aynı anda 1 parça işletilebilmektedir. Yani $M(p_i)+M(p_{i+1})+M(p_{i+2})=1$, her $i \in \mathbb{Z}^+$ denilebilir.

Tablo 3.10 ve Tablo 3.11 ‘de kapı üretim ünitesine ait durumların ve geçişlerin ifade ettiği işlemleri vermektedir.

Şekil 3.3 Kapı Üretim Bölümüne Ait Petri Ağı Modeli



Kapı üretim alt bölümü birbirine paralel 10 banttandır. Biz sadece bir banta ait benzetim çalışmasını yapacağız, bunun sonunda elde ettiğimiz sonuçların birbirine eş on bantta üretildiği düşünülerek on ile çarpılacaktır.

Tablo 3.10 Kapı Üretim Bölümüne Ait Petri Ağı Modelinde Durumların İfade Ettiği Anlamlar

DURUMLAR	İSTASYONLARIN DURUMLARI
P ₁	S1'in kullanılabilirliği
P ₂	S1'in girdi stoğu
P ₃	S1'in çıktı stoğu
P ₄	S2'in kullanılabilirliği
P ₅	S2'in girdi stoğu
P ₆	S2'in çıktı stoğu
P ₇	S3'in kullanılabilirliği
P ₈	S3'in girdi stoğu
P ₉	S3'in çıktı stoğu
P ₁₀	S4'in kullanılabilirliği
P ₁₁	S4'in girdi stoğu
P ₁₂	S4'in çıktı stoğu

Tablo 3.11 Kapı Üretim Bölümüne Ait Petri Ağı Modelinde Geçişlerin İfade Ettiği Anlamlar

GEÇİŞLER	FAALİYETLER	SÜRE(sn)
t ₁	Boyanan kapının istasyona gelişi	-
t ₂	Kapının plastik yapı ve elektriksel aksam ile birleşimi	55
t ₃	Kapının kontrol-1 'e gelişi	-
t ₄	Kapının kontrolünün yapılması	10
t ₅	Kapının poliüretan basma istasyonuna gelişi	-
t ₆	Kapıya poliüretan basma işlemi	65
t ₇	Poliüretan basılan kapının kontrol-2'ye gelişi	-
t ₈	Kapının kontrol-2 işleminin yapılması	5

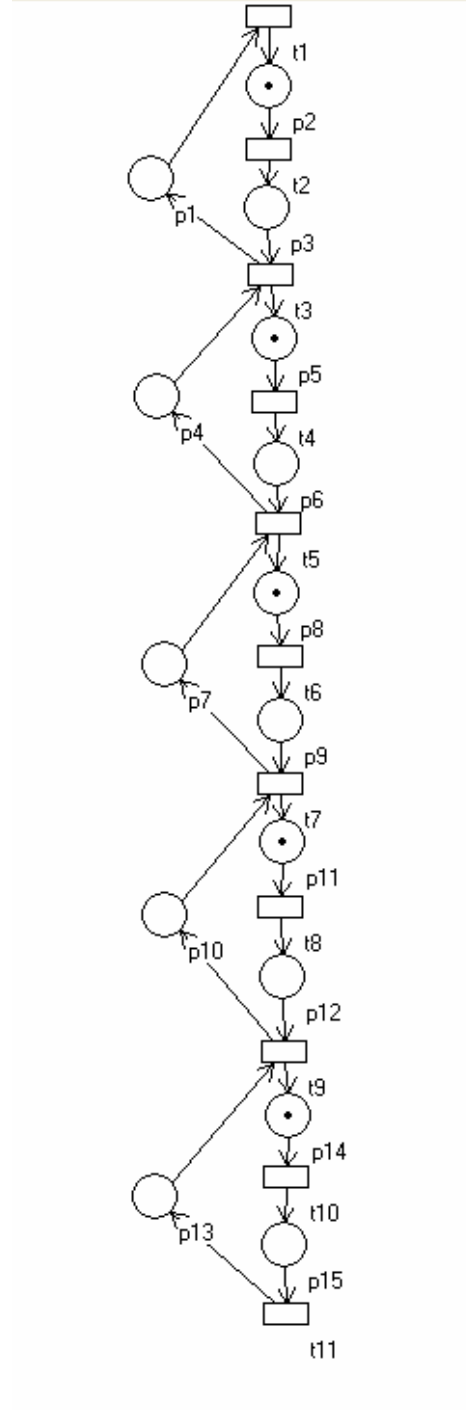
3.3.4 Ön Montaj Ünitesine Ait Petri Ağı Modeli

Ön montaj bölümünde, boyanan buzdolabı gövdelerine gerekli elektriksel aksam montajı ve plastik yapı montajı yapılmaktadır. Yani kapı üretim ünitesinde yapılanlar ön montaj ünitesinde gövde için yapılmaktadır. Şekil 3.4'te Ön montaj ünitesine ait Petri ağı modeli verilmiştir. Tablo 3.12 ve Tablo 3.13'te Ön montaj ünitesinin durumlarının ve geçişlerinin ifade ettiği anlamlar verilmiştir.

Sistemde aktarım süreleri sıfıra yakın olduğu yine ihmal edilmiştir. Yine her istasyonda 1 adet parça aynı anda işlem görmektedir.

Sistemde birbirine paralel 13 adet birbirine eş bant bulunmaktadır. Yaptığımız çalışmada sadece bir bandın benzetim değerlerine ulaşacağımızdan elde ettiğimiz sonuçlar 13 ile çarpılmalıdır.

Şekil 3.4 Ön Montaj Bölümüne Ait Petri Ağı Modeli



Tablo 3.12 Ön Montaj Bölümüne Ait Petri Ağı Modelinde Durumların İfade Ettiği Anlamlar

DURUMLAR	İSTASYONLARIN DURUMLARI
P ₁	S1'in kullanabilirliği
P ₂	S1'in girdi stoğu
P ₃	S1'in çıktı stoğu
P ₄	S2'in kullanabilirliği
P ₅	S2'in girdi stoğu
P ₆	S2'in çıktı stoğu
P ₇	S3'in kullanabilirliği
P ₈	S3'in girdi stoğu
P ₉	S3'in çıktı stoğu
P ₁₀	S4'in kullanabilirliği
P ₁₁	S4'in girdi stoğu
P ₁₂	S4'in çıktı stoğu

Tablo 3.13 Ön Montaj Bölümüne Ait Petri Ağı Modelinde Geçişlerin İfade Ettiği Anlamlar

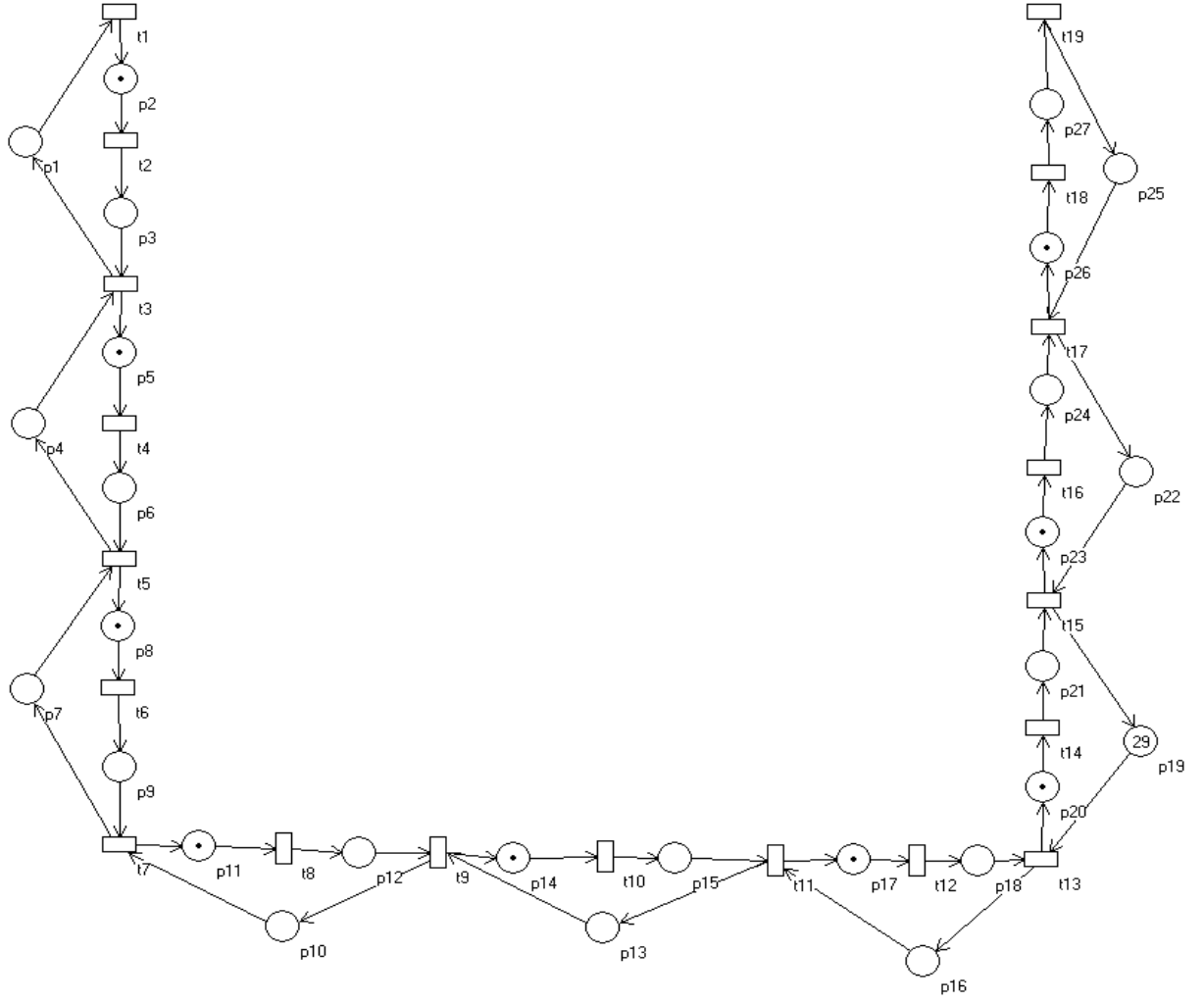
GEÇİŞLER	FAALİYETLER	SÜRE(sn)
t ₁	Boyanan gövdenin istasyona gelişi	-
t ₂	Gövdenin plastik yapı ve elektriksel aksam ile birleşimi	60
t ₃	Gövdenin kontrol-1 'e gelişi	-
t ₄	Gövdenin kontrolünün yapılması	8
t ₅	Gövdenin poliüretan basma istasyonuna gelişi	-
t ₆	Gövdeye poliüretan basma işlemi	82
t ₇	Poliüretan basılan gövdenin kontrol-2'ye gelişi	-
t ₈	Gövdenin kontrol-2 işleminin yapılması	5

3.3.5 Montaj Ünitesine Ait Petri Ağı Modeli

Montaj bölümüne ait Petri ağı modeli Şekil 3.5'te verilmektedir. Ayrıca Tablo 3.13 ve Tablo 3.14'te Montaj ünitesinin durumlarının ve geçişlerinin ifade ettiği anlamlar verilmiştir. İstasyonlar arasındaki aktarım süreleri sıfıra yakın olduğundan ihmal edilmiştir. Montaj ünitesinde performans testi istasyonu hariç $M(p_1)+M(p_2)+M(p_3)=1$ 'dir. Performans testi 30dk sürdüğünden sistemdeki yığılmayı önlemek amaçlı kapasitesi 30 olarak belirlenmiştir. Yani $M(p_{19})+M(p_{20})+M(p_{21})=30$ 'dur.

Sistemde birbirine paralel 10 adet birbirine eş bant bulunmaktadır. Yaptığımız çalışmada sadece bir bandın benzetim değerlerine ulaşacağımızdan elde ettiğimiz sonuçlar 10 ile çarpılmalıdır.

Şekil 3.5 Montaj Bölümüne Ait Petri Ağı Modeli



Tablo 3.14 Montaj Bölümüne Ait Petri Ağı Modelinde Durumların İfade Ettiği Anlamlar

DURUMLAR	İSTASYONLARIN DURUMLARI
P ₁	S1'in kullanılabilirliği
P ₂	S1'in girdi stoğu
P ₃	S1'in çıktı stoğu
P ₄	S2'in kullanılabilirliği
P ₅	S2'in girdi stoğu
P ₆	S2'in çıktı stoğu
P ₇	S3'in kullanılabilirliği
P ₈	S3'in girdi stoğu
P ₉	S3'in çıktı stoğu
P ₁₀	S4'in kullanılabilirliği
P ₁₁	S4'in girdi stoğu
P ₁₂	S4'in çıktı stoğu
P ₁₃	S5'in kullanılabilirliği
P ₁₄	S5'in girdi stoğu
P ₁₅	S5'in çıktı stoğu
P ₁₆	S6'in kullanılabilirliği
P ₁₇	S6'in girdi stoğu
P ₁₈	S6'in çıktı stoğu
P ₁₉	S7'in kullanılabilirliği
P ₂₀	S7'in girdi stoğu
P ₂₁	S7'in çıktı stoğu
P ₂₂	S8'in kullanılabilirliği
P ₂₃	S8'in girdi stoğu
P ₂₄	S8'in çıktı stoğu
P ₂₅	S9'in kullanılabilirliği
P ₂₆	S9'in girdi stoğu
P ₂₇	S9'in çıktı stoğu

Tablo 3.15 Montaj Bölümüne Ait Petri Ağı Modelinde Geçişlerin İfade Ettiği Anlamlar

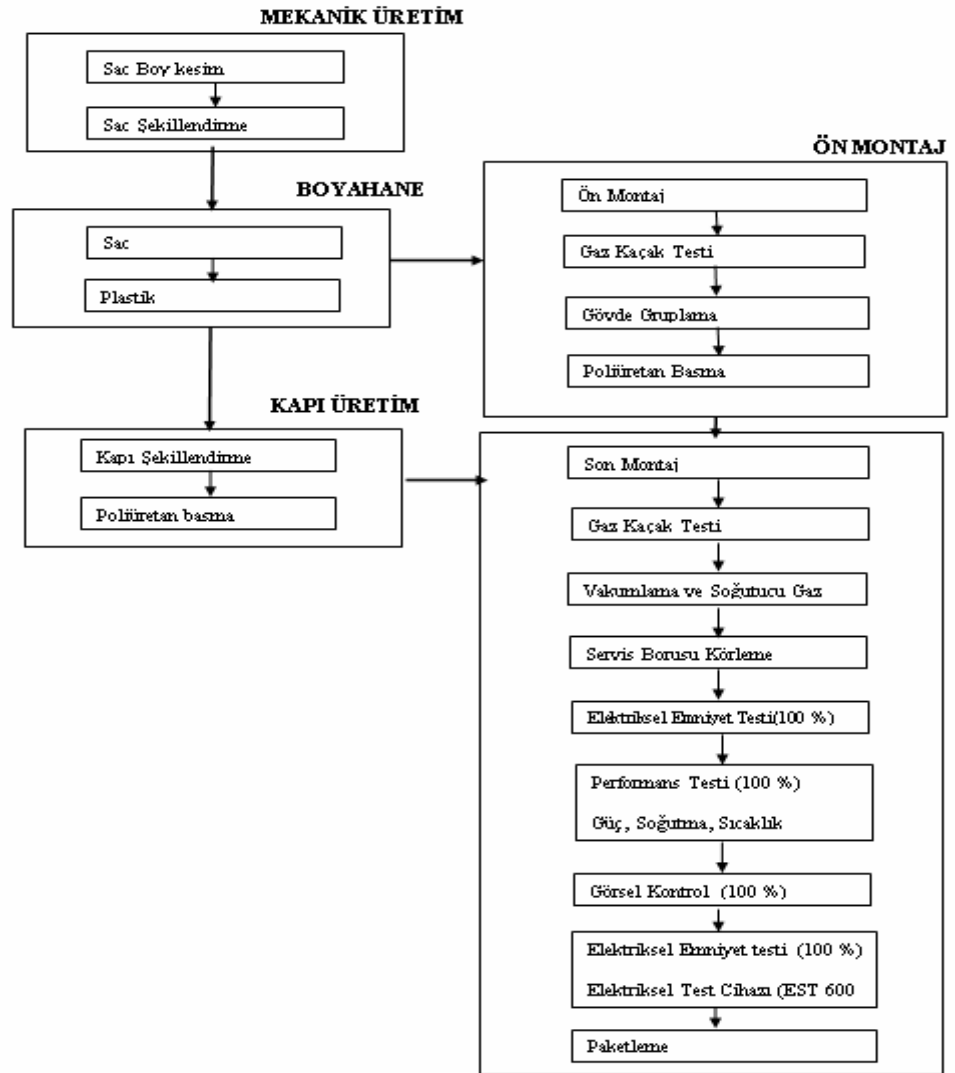
GEÇİŞLER	FAALİYETLER	SÜRE(sn)
t ₁	Gövde ve kapının sisteme girişi	-
t ₂	Gövde kapının montajı	60
t ₃	Elektriksel aksam istasyonuna birleştirilen gövdenin gelişi	
t ₄	Elektriksel aksamın montajı	50
t ₅	Gövdenin vakumlama-soğutucu gaz basma ve servis borusu körleme istasyonuna gelişi	-
t ₆	Vakumlama-soğutucu gaz basma işlemi	60
t ₇	Servis borusu körleme işlemi	28
t ₈	Kaçak testi-1 'e gelişi	-
t ₉	Kaçak testi-1'in gerçekleştirilmesi	30
t ₁₀	Elektriksel emniyet testi istasyonuna geliş	
t ₁₁	Elektriksel emniyet testinin gerçekleştirilmesi	30
t ₁₂	Performans testi istasyonuna geliş	
t ₁₃	Performans testinin gerçekleştirilmesi	1800
t ₁₄	Görsel kontrol istasyonuna geliş	-
t ₁₅	Görsel kontrolün gerçekleştirilmesi	14
t ₁₆	Paketleme istasyonuna geliş	-
t ₁₇	Paketleme işlemi	14
t ₁₈	Sistemden çıkış	-

3.3.6 Buzdolabı Üretim Sistemine Ait Peri Ağı Modeli

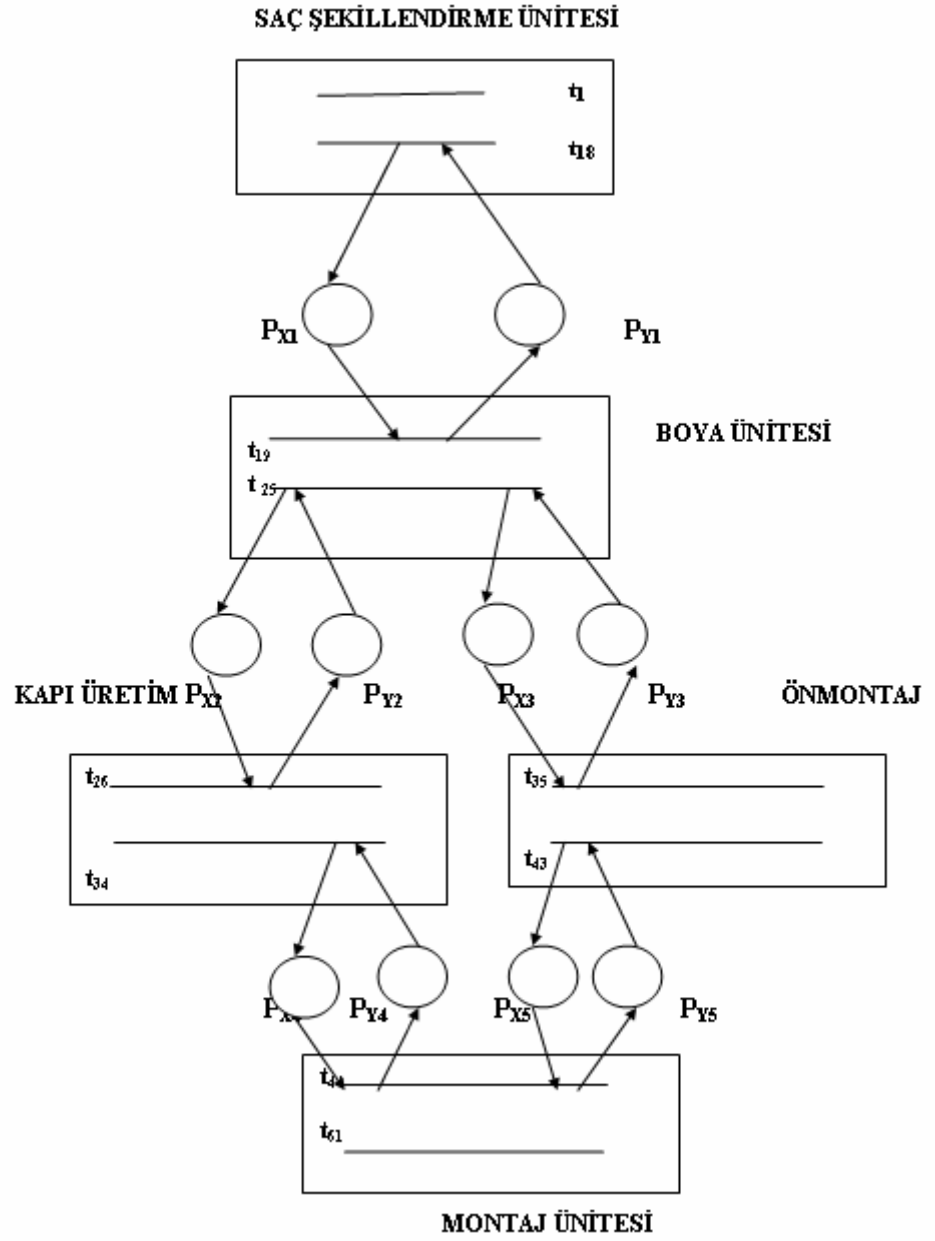
Sistemin tümüne ait Petri ağı modeli alt bölümlerin birleştirilmesiyle elde edilmiştir. Bölümler arasındaki stok alanlarını ve bağlantıyı görebilmek için ayrıca durumlardan yararlanılmıştır. Bunlar p_{xi} ve p_{yi} , her $i=\{1,2,3,4,5\}$ 'dir. Bunlardan p_{xi} 'ler kullanılan stoğu ifade ederken p_{yi} 'ler de kullanılabilir stok alanını ifade etmektedir.

Buz dolabı üretim sistemine ait alt bölümlerin birleştirilmesiyle elde edilen ana sistem Şekil 3.6'da gösterilmiştir. Tablo 3.16'da ise durumların ifade ettiği anlamlar verilmiştir.

Şekil 3.6 Buz Dolabı Üretim Sistemine Ait Akış Planı



Şekil 3.7 Buz Dolabı Üretim Sistemine Ait Petri Ağı Modeli



Tablo 3.16 Sisteme Eklenen Durumların İfade Ettiği Anlamlar

DURUMLAR	DURUMLARIN İFADE ETTİĞİ ANLAMLAR
P_{X1}	Sac şekillendirme bölümü ile boyama bölümü arasındaki buzdolabı parçaları
P_{Y1}	Sac şekillendirme bölümü ile boyama bölümü arasındaki kullanılabilir stok alanı
P_{X2}	Boyama bölümü ile kapı üretim bölümü arasındaki boyanmış kapı parçaları
P_{Y2}	Boyama bölümü ile kapı üretim bölümü arasındaki kullanılabilir stok alanı
P_{X3}	Boyama bölümü ile ön montaj bölümü arasındaki boyanmış dolap gövdeleri
P_{Y3}	Boyama bölümü ile ön montaj bölümü arasındaki kullanılabilir stok miktarı
P_{X4}	Kapı üretim bölümü ile montaj bölümü arasındaki tamamlanmış kapı parçaları
P_{Y4}	Kapı üretim bölümü ile montaj bölümü arasındaki kullanılabilir stok alanı
P_{X5}	Ön montaj bölümü ile montaj bölümü arasındaki tamamlanmış dolap gövdeleri
P_{Y5}	Ön montaj bölümü ile montaj bölümü arasındaki kullanılabilir stok alanı

Mevcut sistemimizde sac şekillendirme ve boyama bölümleri arasındaki stok kapasitesi 10 olarak belirlenmiştir. $M(p_{X1})$, sac şekillendirme bölümünden işlenmiş halde çıkan, boyama bölümüne giriş için stokta bekleyen gövde parçalarını ifade etmektedir. Yani $M(p_{X1})+M(p_{Y1})=10$ 'dir. Aynı şekilde sistemde bölümler arasındaki kapasiteleri şu şekilde gösterebiliriz;

$$M(p_{X2})+M(p_{Y2})=10$$

$$M(p_{X3})+M(p_{Y3})=10$$

$$M(p_{X4})+M(p_{Y4})=10$$

$$M(p_{X5})+M(p_{Y5})=10$$

Alt bölümlerin tamamı hareket grafiği niteliği taşıdığından, sistemin bütünü de hareket grafiği özelliğini taşımaktadır.

3.4 BUZDOLABI ÜRETİM SİSTEMİNE AİT MODELİN BENZETİMİ

Bu aşamada öncelikle sistemin alt bölümlerinin benzetimi ardından da bir bütün olarak sistem benzetimi gerçekleştirilmiştir. Modellerin benzetimi MATLAB programı ile PetriNet Toolbox yardımıyla gerçekleştirilmiştir.

Simülasyon sonucunda ulaşılmak istenen veriler şunlardır;

1. Her bölüme ait minimum devir süreleri ve çıktı oranları,
2. Kapasite ve kaynak kullanımı,
3. Canlılık, sınırlılık, geri dönebilirlik gibi niteliklerin varlığı.

Simülasyon sırasında tek bir ürün tipinin üretildiği, başlangıç konumunda sistemde hazır bir parçanın beklediği, Deterministik işlem sürelerinin var olduğu, istasyonlarda arızalanma gibi rassal olayların olmadığı ve hammadde ve ekipmanın gerektiğinde gerektiği yerde bulunduğu varsayılmıştır.

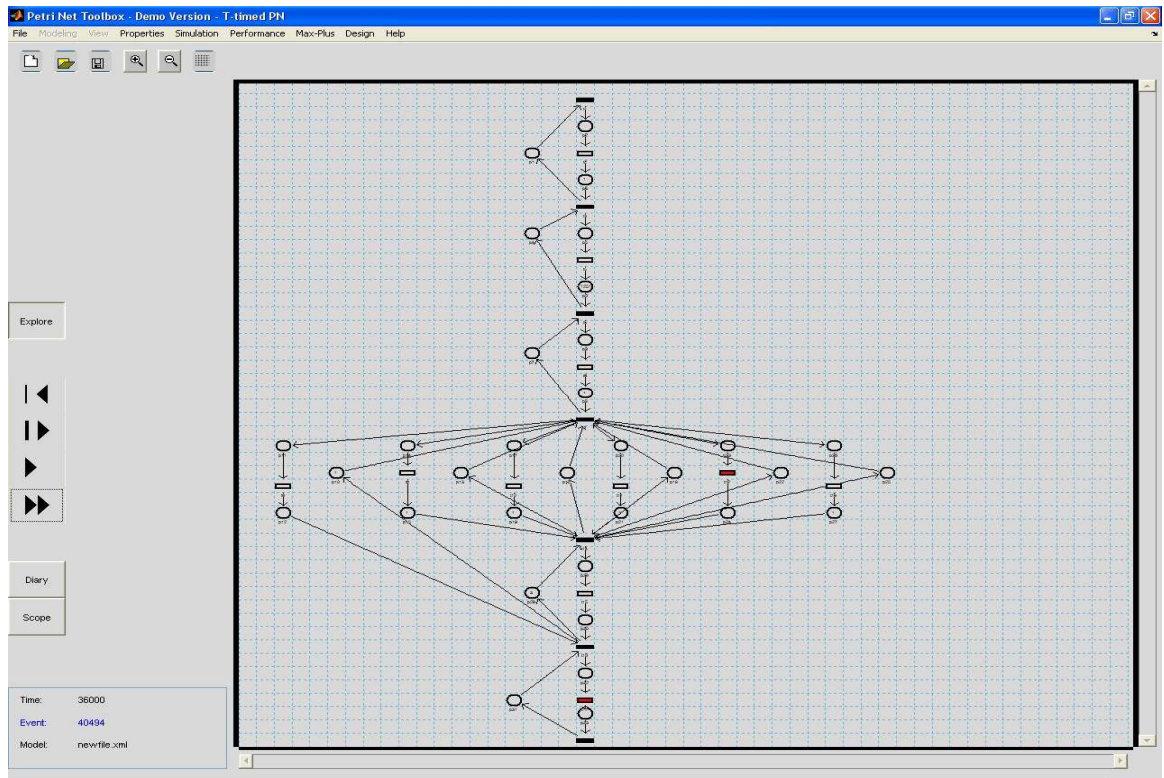
3.4.1 Sac Şekillendirme Bölümüne Ait Benzetim Çalışması

Sac şekillendirme bölüme ait Petri ağı modelinin Matlab PetriNet Toolbox yardımıyla gerçekleştirilen benzetim sonrasında elde edilen veriler Tablo 3.17 ve Tablo 3.18’de verilmiştir. Veriler, model 100 saat yani 36.000 saniye çalıştırıldıktan sonra elde edilmiştir.

Simülasyonu gerçekleştirilen sac şekillendirme bölümüne ait Petri ağı modelinin canlı olmakla birlikte geri dönülebilirlik özelliğini, tutarlılık özelliğini ve sınırlılık özelliğini taşımaktadır.

Sisteme ait modelin benzetim görüntüsü Şekil 3.8’de verilmiştir. Ayrıca sistemin P-sabiti Şekil 3.9’da, tekrar oranı matrisi Şekil 3.10’da verilmiştir.

Şekil 3.8 Sac Şekillendirme Bölümüne Ait Benzetim Görüntüsü



Şekil 3.9 Sac Şekillendirme Bölümüne Ait p-sabiti

[illegible]

Şekil 3.10 Sac Şekillendirme Bölümüne Ait Tekrar Oranı Matrisi

[illegible]

Tablo 3.17’de durumlara ilişkin istatistiklere yer verilirken, Tablo 3.18’de ise geçişlere ilişkin istatistikler yer verilmiştir.

P1, P7, P4, P13, P16, P19, P21, P22, P24, P25, P30, P33 durumlarına ait bekleme süreleri sıfır değerini taşımaktadır. İlgili istasyonların kullanılabilir olduklarının göstergesidir. Ayrıca jetonların bu istasyonlarda hiç beklemediklerini de söyleyebiliriz. Yani ilgili istasyonların tam kullanımları sağlanmaktadır.

Bekleme süreleri incelendiğinde p_{28} durumunda jetonların çok fazla bekledikleri görülmektedir. p_{28} durumu birleştirme istasyonunda girdi stoğunu simgelemektedir. Bu noktada 3 adet birleştirme makinesi bulunmaktadır. Bekleme süresinin uzunluğu bu makinelerin boşa kalma sürelerinin yüksek olduğunu işaret etmektedir. Bunun için makine sayısını 2'ye düşürürsek p_{28} durumundaki bekleme süresi de düşecektir.

Tablo 3.17 Sac Şekillendirme Bölümüne Ait Benzetim Sonucu Durumlara İlişkin Elde Edilen Sonuçlar

Durumlar	Giriş Toplamı	Giriş Oranı	Giriş Aralığı	Çıkış Toplamı	Çıkış Oranı	Çıkış Aralığı	Bekleme Süresi	Kuyruk Uzunluğu
P1	2249	0.062472	16.0071	2249	0.062472	16.0071	0	0
P2	2249	0.062472	16.0071	2250	0.0625	16	10	0.625
P3	2250	0.0625	16	2249	0.062472	16.0071	6.0027	0.375
P4	2249	0.062472	16.0071	2249	0.062472	16.0071	0	0
P5	2249	0.062472	16.0071	2250	0.0625	16	6	0.375
P6	13500	0.375	2.6667	2249	0.062472	16.0071	10.0044	5626.25
P7	2249	0.062472	16.0071	2249	0.062472	16.0071	0	0
P8	2249	0.06272	16.0071	2250	0.0625	16	5	0.3125
P9	2250	0.0625	16	2249	0.062472	16.0071	11.0049	0.6875
P10	2250	0.0625	16	2249	0.062472	16.0071	3.0013	0.1875
P11	2249	0.062472	16.0071	2250	0.0625	16	12	0.75
P12	2250	0.0625	16	2250	0.0625	16	1	0.0625
P13	2249	0.062472	16.0071	2249	0.062472	16.0071	0	0
P14	2249	0.062472	16.0071	2250	0.0625	16	12	0.75
P15	2250	0.0625	16	2249	0.062472	16.0071	4.0018	0.25
P16	2249	0.062472	16.0071	2249	0.062472	16.0071	0	0
P17	2249	0.062472	16.0071	2250	0.0625	16	15	0.9375
P18	2250	0.0625	16	2249	0.062472	16.0071	1.004	0.0625
P19	2249	0.062472	16.0071	2249	0.062472	16.0071	0	0
P20	2249	0.062472	16.0071	2250	0.0625	16	16	1
P21	2250	0.0625	16	2249	0.062472	16.0071	0	0
P22	2249	0.062472	16.0071	2249	0.062472	16.0071	0	0
P23	2249	0.062472	16.0071	2250	0.0625	16	16	1
P24	2249	0.062472	16.0071	2249	0.062472	16.0071	0	0
P25	2249	0.062472	16.0071	2249	0.062472	16.0071	0	0
P26	2249	0.062472	16.0071	2250	0.0625	16	10	0.625
P27	2250	0.0625	16	2249	0.062472	16.0071	6.0027	0.375
P28	2250	0.0625	16	2249	0.062472	16.0071	35.0156	2.1875
P29	2249	0.062472	16.0071	2250	0.0625	16	13	0.8125
P30	2250	0.0625	16	2250	0.0625	16	0	0
P31	2250	0.0625	16	2250	0.0625	16	12.9987	0.81242
P32	2250	0.0625	16	2251	0.062528	15.9929	3	0.18758
P33	2250	0.0625	16	2250	0.0625	16	0	0

İstasyonlardaki operasyon sürelerinin farklılığından dolayı işlenmiş parçalar, sistemde istasyonlara ait girdi ya da çıktı stoğu bölümlerinde beklemektedir. Sıfırdan farklı bekleme süresine sahip durumların nedeni de budur.

Tablo 3.18 Sac Şekillendirme Bölümüne Ait Benzetim Sonucu Geçişlere İlişkin Elde Edilen Sonuçlar

Geçiş	Servis Toplamı	Servis Oranı	Servis Aralığı	Servis Süresi	Faydalanma Oranı
t1	2249	0.062472	16.0071	0	0.00044444
t2	2250	0.0625	16	10	0.062517
t3	2249	0.062472	16.0071	0	0.00044444
t4	2250	0.0625	16	6	0.37528
t5	2249	0.062472	16.0071	0	0.00044444
t6	2250	0.0625	16	5	0.31281
t7	2249	0.062472	16.0071	0	0.00044444
t8	2250	0.0625	16	12	0.75011
t9	2250	0.0625	16	12	0.75011
t10	2250	0.0625	16	15	0.93753
t11	2250	0.0625	16	16	1
t12	2249	0.062472	16.0071	16	1
t13	2250	0.0625	16	10	0.62517
t14	2249	0.062472	16.0071	0	0.00044444
t15	2250	0.0625	16	13	0.81258
t16	2250	0.0625	16	0	8.3333e-005
t17	2250	0.0625	16	3	0.18758
t18	2250	0.0625	16	0	0.00044444

Simülasyon sırasında 2250 adet parça sisteme dahil olmuştur ve 2249 adet parçanın işlemi bitmiş ve sistemden ayrılmıştır. Bu durumda devir süresi ve çıktı oranı aşağıdaki gibidir.

Devir süresi: $36000/2249=16$ sn/adet

Çıktı Oranı: $(1/16)*60=3.33$ adet/dk

Sac şekillendirme bölümüne ait benzetim çalışması sonucunda sistemden dakikada 3.33 adet parça çıktığı görülmektedir. Tabi ki bu bize sadece bir banda ait değeri vermektedir. Sonuç olarak sac şekillendirme bölümüne ait benzetim sonucunda sistemden 3 bant toplamında dakikada 9.99 adet ürün çıkmaktadır.

Sistemi iyileştirmek adına, $M(p_{28})+M(p_{29})+M(p_{30})=3$ değil de $M(p_{28})+M(p_{29})+M(p_{30})=2$ olacak şekilde sistem yeniden çalıştırıldığında p_{28} durumuna ait bekleme süresi 19.0084 sn'ye düşmektedir ve benzetim süresince imal edilen parça sayısı da sabit kalmaktadır. Böylece birleştirme istasyonu için en uygun durum elde edilmiş olur.

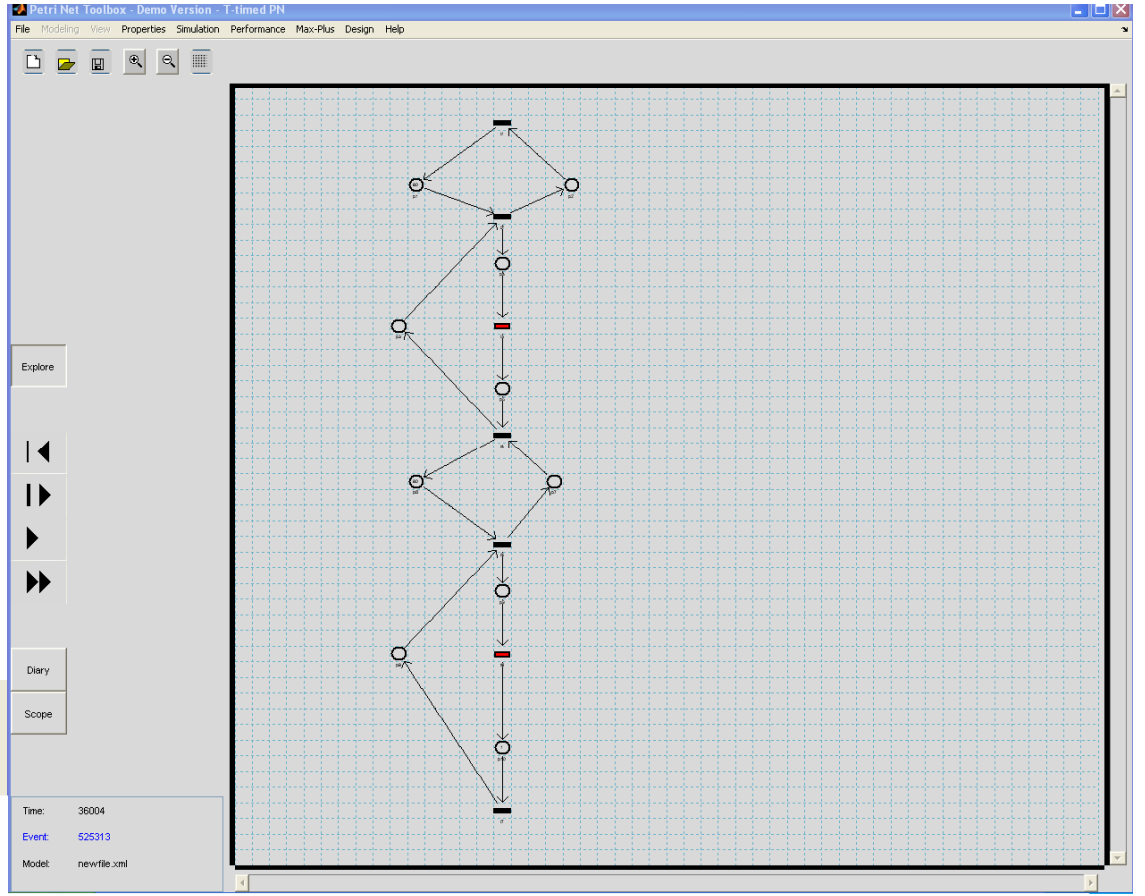
3.4.2 Boyama Bölümüne Ait Benzetim Çalışması

Boyama bölüme ait Petri ağı modelinin Matlab PetriNet Toolbox yardımıyla gerçekleştirilen benzetimi sonrasında elde edilen veriler Tablo 3.19 ve Tablo 3.20'de verilmiştir. Veriler model 100 saat yani 36.000 saniye çalıştırıldıktan sonra elde edilmiştir.

Benzetimi gerçekleştirilen boyama bölümüne ait Petri ağı modeli sınırlılık, geri dönülebilirlik, tutarlılık özelliklerini taşımakla birlikte, Petri ağı modeli canlıdır.

Sisteme ait modelin benzetim görüntüsü Şekil 3.11'de verilmiştir. Ayrıca sistemin P-sabiti Şekil 3.12'da, tekrar oranı matrisi Şekil 3.13'da verilmiştir.

Şekil 3.11 Boyama Bölümüne Ait Benzetim Görüntüsü



Şekil 3.12 Boyama Bölümüne Ait p-sabiti

Minimal-support P-invariants
 $m\text{-rank}(A)=4 \Rightarrow$ at most 4 P-invariants are linearly independent
 Linear combinations constructed with these vectors are displayed after ||

Places (p1, p2, p3, p4, p5, p6, p7, p8, p9, p10)

1	0	0	0	
1	0	0	0	
0	1	0	0	
0	1	0	0	
0	1	0	0	
0	0	1	0	
0	0	1	0	
0	0	0	1	
0	0	0	1	
0	0	0	1	

Şekil 3.13 Boyama Bölümüne Ait Tekrar Oranı Matrisi

Incidence Matrix: $A = A_o - A_i$

1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0
-1	1	-1	1	0	0	0	0	0	0
0	0	0	-1	1	0	0	0	0	0
0	0	1	0	-1	1	-1	0	0	0
0	0	0	0	0	-1	1	-1	1	0
0	0	0	0	0	0	0	0	-1	1
0	0	0	0	0	0	0	1	0	-1

Tablo 3.19’de durumlara ilişkin istatistiklere yer verilirken, Tablo 3.20’de ise geçişlere ilişkin istatistikler yer verilmiştir.

Tablo 3.19 Boyama Bölümüne Ait Benzetim Sonucu Durumlara İlişkin Elde Edilen Sonuçlar

Durumlar	Giriş Toplamı	Giriş Oranı	Giriş Aralığı	Çıkış Toplamı	Çıkış Oranı	Çıkış Aralığı	Bekleme Süresi	Kuyruk Uzunluğu
p1	6019	1.6721	0.59805	60117	1.6699	0.59883	47.9066	80
p2	6011	1.6699	0.59883	60196	1.6721	0.59805	0	0
p3	6007	1.6688	0.59922	60117	1.6699	0.59883	0	0
p4	6011	1.6699	0.59883	60118	1.6699	0.59882	13.9975	23.375
p5	6008	1.6689	0.5992	60078	1.6688	0.59922	9.962	16.625
p6	6007	1.6688	0.59922	59999	1.6666	0.60001	47.9377	79.8949
p7	5999	1.6666	0.60001	60078	1.6688	0.59922	0.662985	0.10511
p8	5996	1.6656	0.6004	59999	1.6666	0.60001	0.0088668	0.014778
p9	5999	1.6666	0.60001	60000	1.6667	0.6	23.9911	39.9852
p10	5996	1.6656	0.60039	59960	1.6656	0.6004	0	0

Boyama bölümüne ait sonuçlara bakıldığında bekleme süreleri dikkat çekmektedir. Askı sistemini işaret eden p₁, p₆ durumları incelendiğinde sisteme gelen buzdolabı gövdelerinin askılarda uzun süre bekledikleri görülmektedir. Bunun nedeni

askılara asılmaya başlanan buzdolabı gövdelerinin istasyonlara gelinceye kadar askı sisteminin dolmasını beklemeleridir. Ayrıca kimyasal uygulama işlemi daha uzun sürdüğünden boyama adımın gerçekleştirildiği p_9 durumunun bekleme süresi de yüksek değere sahiptir. Bu durumun bekleme süresinin azaltılması için boyama istasyonu kapasitesi arttırılabilir.

Tablo 3.20 Boyama Bölümüne Ait Benzetim Sonucu
Geçişlere İlişkin Elde Edilen Sonuçlar

Geçiş	Servis Toplamı	Servis Oranı	Servis Aralığı	Servis Süresi	Faydalanma Oranı
t1	6019	1.6721	0.59805	0	0.0027778
t2	6011	1.6699	0.59883	0	0.0027778
t3	6008	1.6689	0.5992	14	1
t4	6007	1.6688	0.59922	0	0.0027778
t5	5999	1.6666	0.60001	0	0.0027778
t6	5996	1.6656	60039	24.0067	1
t7	5996	1.6656	0.6004	0	0.0027778

Benzetim süresince sisteme 60196 adet buzdolabı gövdesi giriş yapmış ve 59960 adet gövde boyama bölümünden çıkış yapmıştır. Bu sonuçlara göre boyama bölümüne ait devir süresi ve çıktı oranı aşağıdaki gibidir;

Devir süresi: $36000/5996 = 6.004$ sn/adet

Çıktı oranı: $(1/6.004) * 60 = 9.93$ adet/dk

Boyama bölümüne ait Petri ağı üzerinde denediğimiz ilk alternatif askı sayısı azaltmak oldu. Bu durumda askı sayısı 40, istasyonların kapasitesi 40 olacak şekilde sistemi yeniden çalıştırdığımızda p_1 ve p_6 durumlarının bekleme süreleri 23 saniye düzeyine inmiştir. Bunun yanında ikinci olarak askı sayısı ve kapasite ayısı eşit olacak şekilde diğer alternatifleri denediğimizde sistemin birbirine çok benzer

bekleme süreleri verdiğini görmekteyiz. Üçüncü olarak askı sayısını iyice azaltıp 20 olarak, istasyonlara ait kapasiteyi yine 40 olarak sistemi düzenleyip benzetimi çalıştırdığımızda ise sistemdeki bekleme sürelerinde düşüş görülmektedir. Ayrıca belirtilmesi gerekmektedir ki üç alternatif denemede de sistemden çıkan ürün sayısı sabit kalmaktadır. Sonuç olarak sistemde çıktı sayısı açısından bir gelişme kaydedilemese de askı sayısında azaltma yapılabileceği görülmüştür.

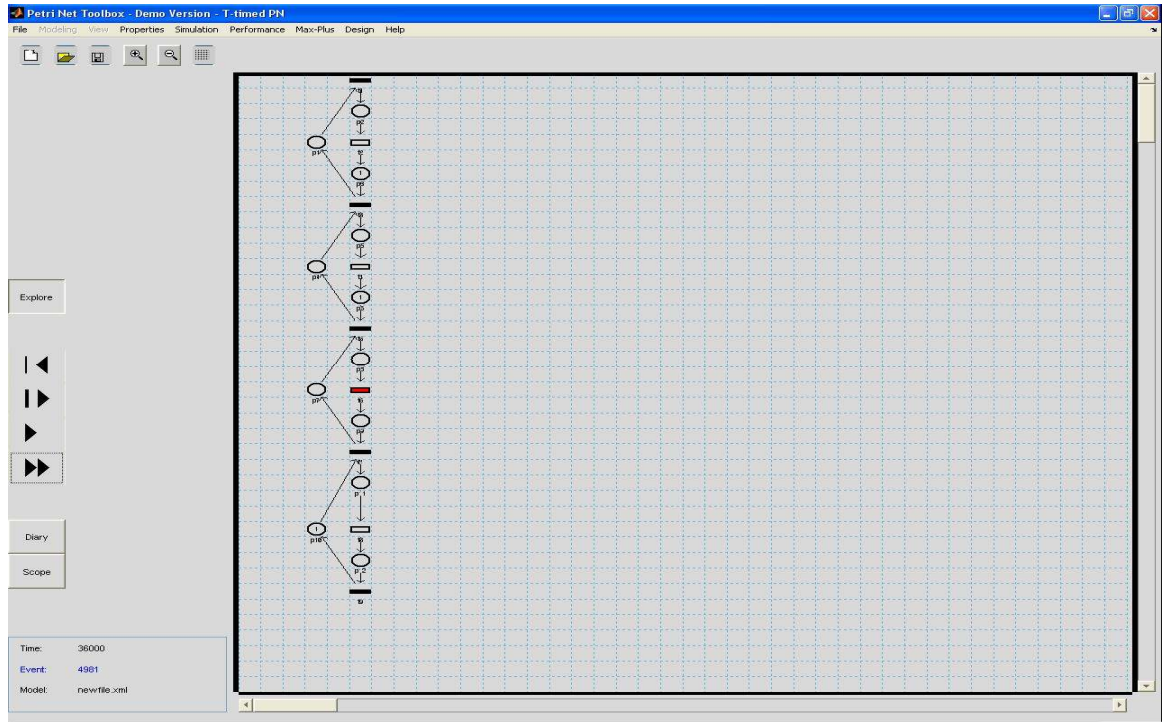
3.4.3 Kapı Üretim Ünitesine Ait Benzetim Çalışması

Kapı üretim bölüme ait Petri ağı modelinin Matlab PetriNet Toolbox yardımıyla gerçekleştirilen benzetimi sonrasında elde edilen veriler Tablo 3.21 ve Tablo 3.22’de verilmiştir. Veriler model 100 saat yani 36.000 saniye çalıştırıldıktan sonra elde edilmiştir.

Benzetimi gerçekleştirilen kapı üretim bölümüne ait Petri ağı modelinin canlı olduğu ve sınırlılık, geri dönülebilirlik ve tutarlılık niteliklerini taşıdığı söylenebilir.

Sisteme ait modelin benzetim görüntüsü Şekil 3.14’de verilmiştir. Ayrıca sistemin P-sabiti Şekil 3.15’da, tekrar oranı matrisi Şekil 3.16’da verilmiştir.

Şekil 3.14 Kapı Üretim Bölümüne Ait Benzetim Görüntüsü



Şekil 3.15 Kapı Üretim Bölümüne Ait p-sabiti

Minimal-support P-invariants
 $m\text{-rank}(A)=4 \Rightarrow$ at most 4 P-invariants are linearly independent
 Linear combinations constructed with these vectors are displayed after ||

Places (p1, p2, p3, p4, p5, p6, p7, p8, p9, p10, p11, p12)

1	0	0	0	
1	0	0	0	
1	0	0	0	
0	1	0	0	
0	1	0	0	
0	1	0	0	
0	0	1	0	
0	0	1	0	
0	0	1	0	
0	0	0	1	
0	0	0	1	
0	0	0	1	

Şekil 3.16 Kapı Üretim Bölümüne Ait Tekrar Oranı Matrisi

Incidence Matrix: $A = A_o - A_i$

-1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	-1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	-1	-1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	-1	1	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	1	0	-1	-1	1	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	-1	1	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	1	0	-1	-1	1	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	1	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	-1

Tablo 3.21’de durumlara ilişkin istatistiklere yer verilirken, Tablo 3.22’de ise geçişlere ilişkin istatistikler yer verilmiştir.

Tablo 3.21 Kapı Üretim Bölümüne Ait Benzetim Sonucu Durumlara İlişkin Elde Edilen Sonuçlar

Durumlar	Giriş Toplamı	Giriş Oranı	Giriş Aralığı	Çıkış Toplamı	Çıkış Oranı	Çıkış Aralığı	Bekleme Süresi	Kuyruk Uzunluğu
P1	553	0.015361	65.0995	553	0.015361	65.0995	0	0
P2	553	0.015361	65.0995	554	0.015389	64.9819	55	0.84639
P3	554	0.015389	64.9819	553	0.015361	65.0995	10	0.15361
P4	553	0.015361	65.0995	553	0.015361	65.0995	0	0
P5	553	0.015361	65.0995	554	0.015389	64.9819	10	0.15389
P6	554	0.015389	64.9819	553	0.015361	65.0995	55.0814	0.84611
P7	553	0.015361	65.0995	553	0.015361	65.0995	0	0
P8	553	0.015361	65.0995	554	0.015389	64.9819	64.9819	1
P9	553	0.015361	65.0995	553	0.015361	65.0995	0	0
P10	554	0.015389	64.9819	553	0.015361	65.0995	60.0904	0.92306
P11	553	0.015361	65.0995	554	0.015389	64.9819	5	0.076944
P12	554	0.015389	64.9819	554	0.015389	64.9819	0	0

İstasyonlara ait kullanılabilirlik durumlarını gösteren p_1 , p_4 , p_7 durumlarına ait bekleme sürelerinin sıfır olduğu görülmektedir. Buradan anlaşılmaktadır ki sistemdeki istasyonlar kullanıma hazırdır. Buradan, jetonların beklemeden işleme alındıklarını söyleyebiliriz. P_6 , ve p_8 durumlarının bekleme sürelerinin fazla olmasının nedeni ise 3. istasyon olan poliüretan basma sisteminin işlem süresinin uzunluğudur. Burada istasyonlarda kapasite artırımına gidildiği takdirde sistemin bekleme süresi azalacak böylelikle parçalar daha az bekleyerek sistemden çıkacaklardır.

Tablo 3.22 Kapı Üretim Bölümüne Ait Benzetim Sonucu Geçişlere İlişkin Elde Edilen Sonuçlar

Geçiş	Servis Toplamı	Servis Oranı	Servis Aralığı	Servis Süresi	Faydalanma Oranı
t1	553	0.015361	65.0995	0	0.0015279
t2	554	0.015389	64.9819	55	0.84639
t3	553	0.015361	65.0995	0	0.0015278
t4	554	0.015389	64.9819	10	0.15514
t5	553	0.015361	65.0995	0	0.0015278
t6	553	0.015361	65.0995	65	1
t7	553	0.015361	65.0995	0	0.0015278
t8	554	0.015389	64.9819	5	0.078333
t9	554	0.015389	64.9819	0	0.0013889

Benzetim süresince sisteme 554 adet kapı girmiş ve 553 adet işlenmiş kapı sistemden çıkmıştır. Bu durumda sisteme ait devir süresi ve çıktı oranı aşağıdaki gibidir;

Devir süresi: $36000/553=65.09$ sn/adet

Çıktı oranı: $(1/65.09)*60=0.92$ adet/dk

Kapı üretim bölümüne ait benzetim çalışması sonucunda sistemden dakikada 0.92 adet parça çıktığı görülmektedir. Tabi ki bu bize sadece bir banda ait değeri

vermektedir. Sonuç olarak kapı üretim bölümüne ait benzetim sonucunda sistemden 10 bant toplamında dakikada 9.20 adet ürün çıkmaktadır.

Kapı üretim sisteminde poliüretan basma istasyonu $M(p_7)+M(p_8)+M(p_9)=2$ olacak şekilde değişim yapıldığında bekleme süreleri; p_4 45.0688, p_7 44.9313, p_8 64.9695, p_{10} 49.9924 olarak değişmiştir. Bekleme sürelerinde çok fazla bir değişiklik gözlemlenmemesine rağmen sistemde benzetim süresince elde edilen ürün sayısı 553 iken iyileştirme sonucunda sistemden 654 adet parça çıkmıştır. Bu da bekleme süreleri açısından olmasa da adet bazında daha fazla ürün üretilmesine olanak sağlanmıştır.

Sistemi iyileştirmek adına, $M(p_1)+M(p_2)+M(p_3)=2$ ve $M(p_7)+M(p_8)+M(p_9)=2$ olacak şekilde üretim sistemi üzerinde değişiklik yapıldığında üretilen parça sayısı 1107 adete yükselmektedir. Bunun yanında $M(p_1)+M(p_2)+M(p_3)=2$ ve $M(p_7)+M(p_8)+M(p_9)=3$ olacak şekilde sistem yeniden çalıştırıldığında üretim 1308 adete yükselmektedir. Sonuç olarak sistemin bekleme sürelerinde büyük bir gelişme elde edilememiş olsa da üretilen ürün adetlerinde gelişme elde edilebilmektedir. Fiziksel ve mali kısıtlar göz önünde bulundurularak kapı üretim sisteminde operasyonları gerçekleştiren makinelerin adetleri konusunda değişimler yapılarak sistemde gelişme elde edilebilir.

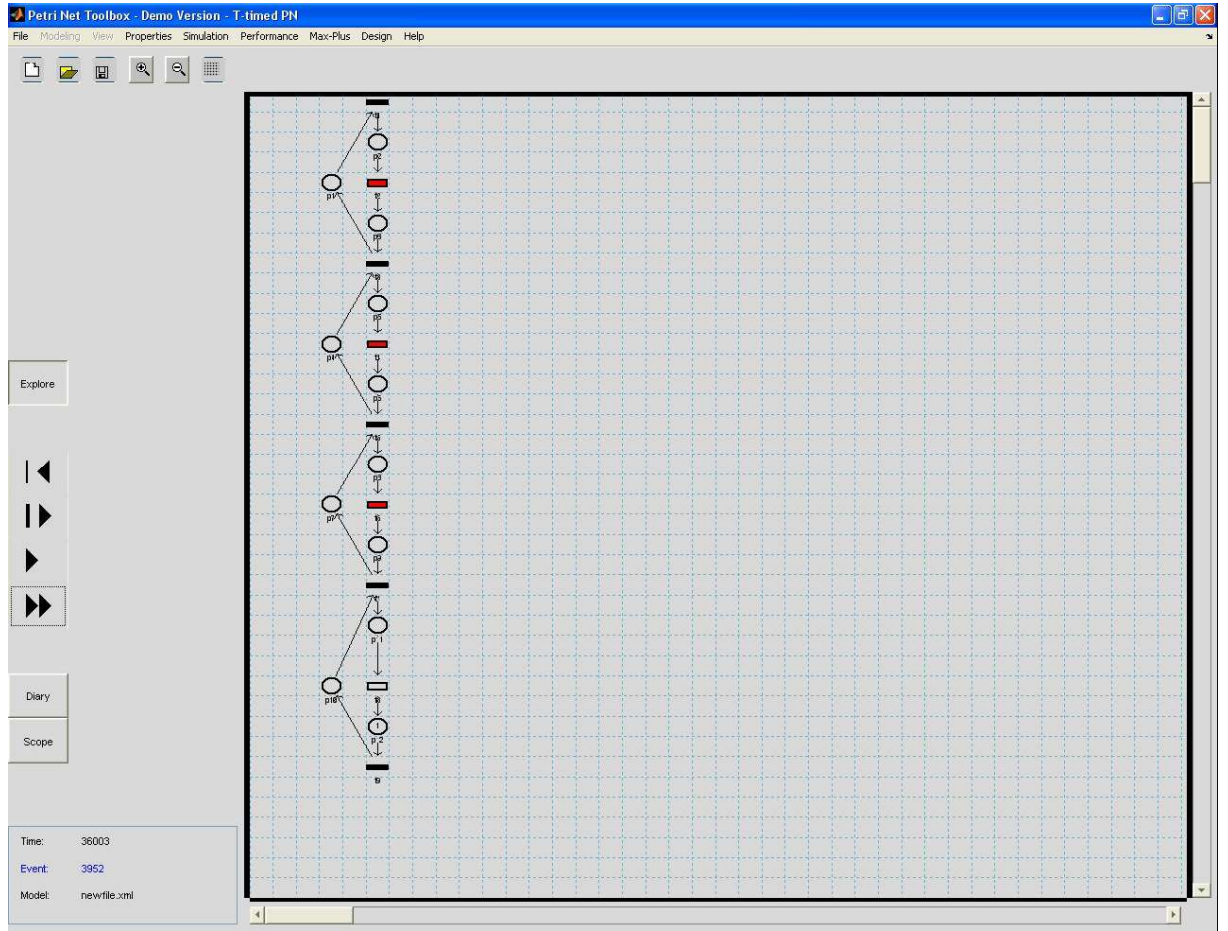
3.4.4 Ön Montaj Ünitesine Ait Benzetim Çalışması

Ön montaj bölüme ait Petri ağı modelinin Matlab PetriNet Toolbox yardımıyla gerçekleştirilen benzetimi sonrasında elde edilen veriler Tablo 3.23 ve Tablo 3.24’de verilmiştir. Veriler model 100 saat yani 36.000 saniye çalıştırıldıktan sonra elde edilmiştir.

Benzetimi gerçekleştirilen ön montaj bölümüne ait Petri ağı modelinin canlı olduğu ve sınırlılık, geri dönülebilirlik ve tutarlılık özelliklerini taşıdığı söylenebilir.

Sisteme ait modelin benzetim görüntüsü Şekil 3.17’de verilmiştir. Ayrıca sistemin P-sabiti Şekil 3.18’da, tekrar oranı matrisi Şekil 3.19’da verilmiştir.

Şekil 3.17 Ön Montaj Bölümüne Ait Benzetim Görüntüsü



Şekil 3.18 Ön Montaj Bölümüne Ait p-sabiti

```
Minimal-support P-invariants
m-rank(A)=4 => at most 4 P-invariants are linearly independent
Linear combinations constructed with these vectors are displayed after ||

Places (p1, p2, p3, p4, p5, p6, p7, p8, p9, p10, p11, p12)

1  0  0  0  0  ||
1  0  0  0  0  ||
1  0  0  0  0  ||
0  1  0  0  0  ||
0  1  0  0  0  ||
0  1  0  0  0  ||
0  0  1  0  0  ||
0  0  1  0  0  ||
0  0  1  0  0  ||
0  0  0  1  0  ||
0  0  0  1  0  ||
0  0  0  1  0  ||
```

Şekil 3.19 Ön Montaj Bölümüne Ait Tekrar Oranı Matrisi

```
Incidence Matrix: A = Ao - Ai

-1  1  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0
0  -1  1  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0
1  0  -1  -1  1  0  0  0  0  0  0  0  0
0  0  0  0  -1  1  0  0  0  0  0  0  0
0  0  0  1  0  -1  -1  1  0  0  0  0  0
0  0  0  0  0  0  0  -1  1  0  0  0  0
0  0  0  0  0  0  1  0  -1  -1  1  0  0
0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  -1  1  0
0  0  0  0  0  0  0  0  0  1  0  -1  0
```

Tablo 3.23’de durumlara ilişkin istatistiklere yer verilirken, Tablo 3.24’de ise geçişlere ilişkin istatistikler yer verilmiştir.

Tablo 3.23 Ön Montaj Bölümüne Ait Benzetim Sonucu Durumlara İlişkin Elde Edilen Sonuçlar

Durumlar	Giriş Toplamı	Giriş Oranı	Giriş Aralığı	Çıkış Toplamı	Çıkış Oranı	Çıkış Aralığı	Bekleme Süresi	Kuyruk Uzunluğu
p1	439	0.012193	82.0114	439	0.012193	82.0114	0	0
p2	439	0.012193	82.0114	440	0.12221	81.825	59.875	0.73174
p3	439	0.012193	82.0114	439	0.012193	82.0114	22	0.26826
p4	439	0.012193	82.0114	439	0.012193	82.0114	0	0
p5	439	0.012193	82.0114	440	0.12221	81.825	7.9932	0.097686
p6	439	0.012193	82.0114	439	0.012193	82.0114	74	0.90231
p7	439	0.012193	82.0114	439	0.012193	82.0114	0	0
p8	439	0.012193	82.0114	440	0.12221	81.825	81.825	1
p9	439	0.012193	82.0114	439	0.012193	82.0114	0	0
p10	439	0.012193	82.0114	439	0.012193	82.0114	77	0.93889
p11	439	0.012193	82.0114	440	0.12221	81.825	5	0.061106
p12	440	0.012221	81.825	439	0.012193	82.0114	0	0

Durumlara ait verilerden, bekleme değeri sıfır olan istasyonların kullanılabilir durumda oldukları anlaşılmaktadır. p₁, p₄, p₇, p₉ durumlarında jetonlar bekletilmeden işleme alınmaktadır. P₂ ve p₈ durumları bekleme sürelerinin yüksek olduğu noktalardır. Bunun nedeni ise ön montaj ve poliüretan basma istasyonlarındaki işlemlerin uzun süreli olmasıdır. Gerekli görüldüğü takdirde bu noktalardaki işlem gören parça kapasitesi artırılarak bekleme süreleri kısaltılabilir.

Tablo 3.24 Ön Montaj Bölümüne Ait Benzetim Sonucu Geçişlere İlişkin Elde Edilen Sonuçlar

Geçiş	Servis Toplamı	Servis Oranı	Servis Aralığı	Servis Süresi	Faydalanma Oranı
t1	439	0.012193	82.0114	0	0.00013888
t2	439	0.012193	82.0114	50	0.73174
t3	439	0.012193	82.0114	0	0.00013888
t4	439	0.012193	82.0114	8	0.097686
t5	439	0.012193	82.0114	0	0.00013888
t6	439	0.012193	82.0114	82	1
t7	439	0.012193	82.0114	0	0.00013888
t8	440	0.012221	81.825	5	0.061106
t9	439	0.012193	82.0114	0	0.0022776

Benzetim sırasında sisteme 439 adet parça girmiş ve 440. parçanın işlemi bitmeden benzetim sona ermiştir. Bu durumda sisteme ait devir süresi ve çıktı oranı aşağıdaki gibidir.

Devir Süresi: $36000/439=82\text{sn/adet}$

Çıktı Oranı: $(1/82)*60=0.73\text{ adet/dk}$

Ön Montaj bölümüne ait benzetim çalışması sonucunda sistemden dakikada 0.73 adet parça çıktığı görülmektedir. Tabi ki bu bize sadece bir banda ait değeri vermektedir. Sonuç olarak ön montaj bölümüne ait benzetim sonucunda sistemden 13 bant toplamında dakikada 9.49 adet ürün çıkmaktadır.

$M(p_7)+M(p_8)+M(p_9)=2$ olacak şekilde sistem yeniden çalıştırıldığında p_4 52.0643 , p_6 0.023, p_7 37.9133, p_8 81.95 ve p_{10} 54.9917 olarak belirlenmiştir. Bekleme sürelerinde çok fazla bir gelişme görülme de sistemde benzetim süresince

439 adet parça üretilmişken yapılan değişiklik sonucunda üretilen parça sayısı 599 adete çıkmıştır.

Sistemi iyileştirmek adına, $M(p_1)+M(p_2)+M(p_3)=2$ ve $M(p_7)+M(p_8)+M(p_9)=2$ olacak şekilde üretim sistemi üzerinde değişiklik yapıldığında üretilen parça sayısı 1878 adete yükselmektedir. Bunun yanında $M(p_1)+M(p_2)+M(p_3)=2$ ve $M(p_7)+M(p_8)+M(p_9)=3$ olacak şekilde sistem yeniden çalıştırıldığında üretim 1106 adete yükselmektedir. Sonuç olarak sistemin bekleme sürelerinde büyük bir gelişme elde edilememiş olsa da üretilen ürün adetlerinde gelişme elde edilebilmektedir. Fiziksel ve mali kısıtlar göz önünde bulundurularak ön montaj sisteminde operasyonları gerçekleştiren makinelerin adetleri konusunda değişimler yapılarak sistemde gelişme elde edilebilir.

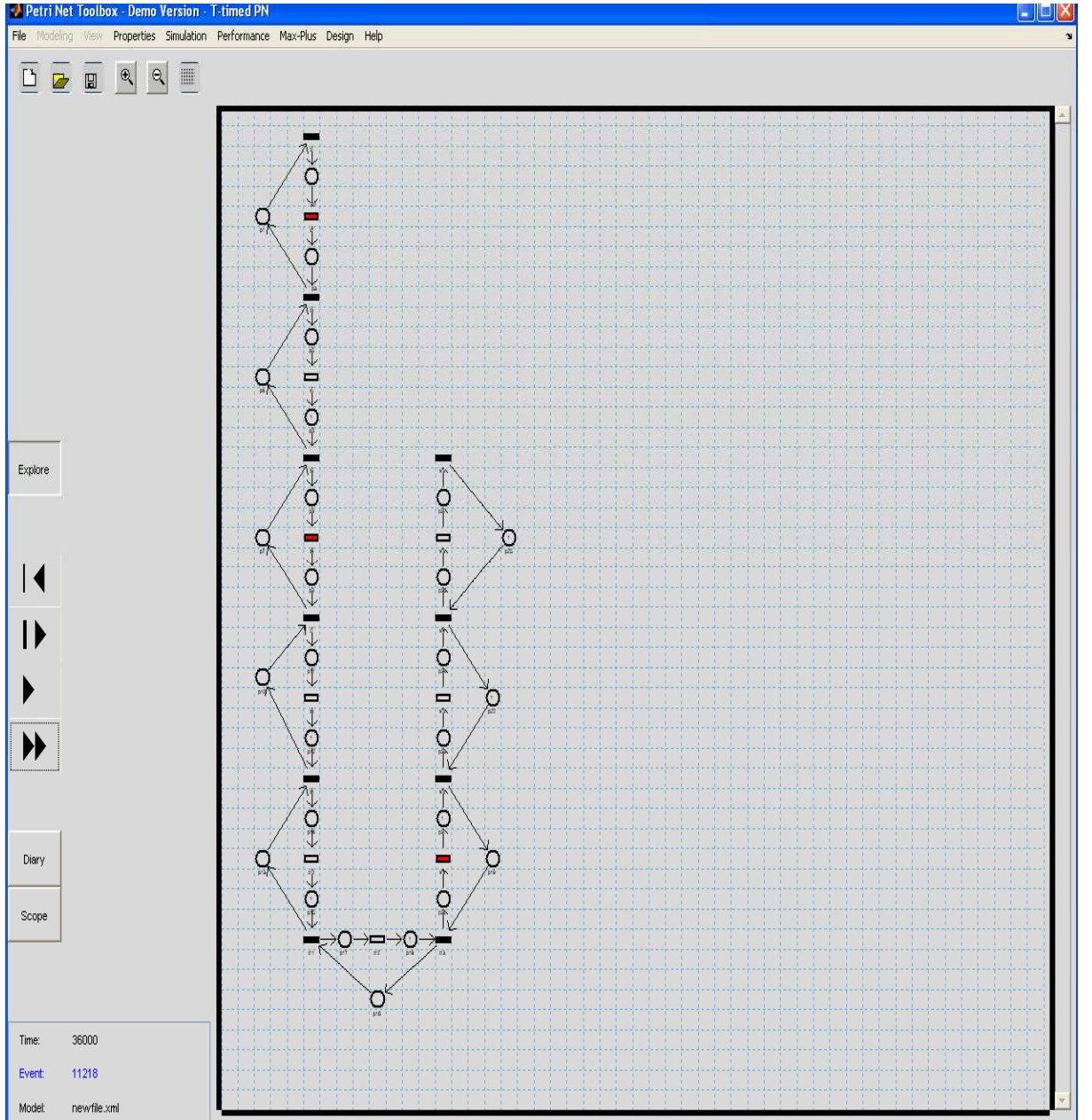
3.4.5 Montaj Ünitesine Ait Benzetim Çalışması

Ön montaj bölüme ait Petri ağı modelinin Matlab PetriNet Toolbox yardımıyla gerçekleştirilen benzetim sonrasında elde edilen veriler Tablo 3.23 ve Tablo 3.24’de verilmiştir. Veriler model 100 saat yani 36.000 saniye çalıştırıldıktan sonra elde edilmiştir.

Benzetimi gerçekleştirilen montaj bölümüne ait Petri ağı modelinin canlı olduğu ve sınırlılık, geri dönülebilirlik ve tutarlılık özelliklerini taşıdığı söylenebilir.

Sisteme ait modelin benzetim görüntüsü Şekil 3.20’de verilmiştir. Ayrıca sistemin P-sabiti Şekil 3.21’da, tekrar oranı matrisi Şekil 3.22’da verilmiştir.

Şekil 3.20 Montaj Bölümüne Ait Benzetim Görüntüsü



Şekil 3.21 Montaj Bölümüne Ait p-sabiti

Minimal-support P-invariants

$m\text{-rank}(A)=9 \Rightarrow$ at most 9 P-invariants are linearly independent

Linear combinations constructed with these vectors are displayed after ||

Places (p1, p2, p3, p4, p5, p6, p7, p8, p9, p10, p11, p12, p13, p14, p15, p16, p17, p18, p19, p20, p21, p22, p23, p24, p25, p26, p27)

1	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0	0
0	1	0	0	0	0	0	0	0
0	1	0	0	0	0	0	0	0
0	1	0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	0	0	0	0	0	0
0	0	1	0	0	0	0	0	0
0	0	1	0	0	0	0	0	0
0	0	0	1	0	0	0	0	0
0	0	0	1	0	0	0	0	0
0	0	0	1	0	0	0	0	0
0	0	0	0	1	0	0	0	0
0	0	0	0	1	0	0	0	0
0	0	0	0	1	0	0	0	0
0	0	0	0	0	1	0	0	0
0	0	0	0	0	1	0	0	0
0	0	0	0	0	1	0	0	0
0	0	0	0	0	0	1	0	0
0	0	0	0	0	0	1	0	0
0	0	0	0	0	0	0	1	0
0	0	0	0	0	0	0	1	0
0	0	0	0	0	0	0	0	1
0	0	0	0	0	0	0	0	1

Şekil 3.22 Ön Montaj Bölümüne Ait Tekrar Oranı Matrisi

Incidence Matrix: $A = A_o - A_i$

[illegible]

Tablo 3.25’de durumlara ilişkin istatistiklere yer verilirken, Tablo 3.26’de ise geçişlere ilişkin istatistikler yer verilmiştir.

Tablo 3.25 Montaj Bölümüne Ait Benzetim Sonucu Durumlara İlişkin Elde Edilen Sonuçlar

Durumlar	Giriş	Giriş	Giriş	Çıkış	Çıkış	Çıkış	Bekleme	Kuyruk
P1	599	0.016639	60.1002	599	0.016639	60.1002	0	0
P2	599	0.016639	60.1002	600	0.016667	60	59.95	0.99917
P3	599	0.016639	60.1002	599	0.016639	60.1002	0.050083	0.00083333
P4	599	0.016639	60.1002	599	0.016639	60.1002	0	0
P5	599	0.016639	60.1002	600	0.016667	60	49.9667	0.83278
P6	599	0.016639	60.1002	599	0.016639	60.1002	10.0501	0.16722
P7	599	0.016639	60.1002	599	0.016639	60.1002	0	0
P8	599	0.016639	60.1002	600	0.016667	60	59.95	0.99917
P9	599	0.016639	60.1002	599	0.016639	60.1002	0.050083	0.00083333
P10	599	0.016639	60.1002	599	0.016639	60.1002	0	0
P11	599	0.016639	60.1002	600	0.016667	60	28	0.46667
P12	600	0.016667	60	599	0.016639	60.1002	32.0534	0.053333
P13	599	0.016639	60.1002	599	0.016639	60.1002	30	0.49917
P14	599	0.016639	60.1002	600	0.016667	60	30	0.5
P15	599	0.016639	60.1002	599	0.016639	60.1002	0.050083	0.00083333
P16	599	0.016639	60.1002	599	0.016639	60.1002	28.9983	0.4825
P17	599	0.016639	60.1002	600	0.016667	60	30	0.5
P18	600	0.016667	60	599	0.016639	60.1002	1.0518	0.0175
P19	570	0.015833	63.1579	599	0.016639	60.1002	42.1202	0.70083
P20	599	0.016639	60.1002	600	0.016667	60	1757.95	29.2992
P21	571	0.015861	63.0473	570	0.015833	63.1579	0	0
P22	571	0.015861	63.0473	570	0.015833	63.1579	49.1333	0.77794
P23	570	0.015833	63.1579	571	0.015861	63.0473	14	0.22206
P24	571	0.015861	63.0473	571	0.015861	63.0473	0	0
P25	572	0.015889	62.9371	571	0.015861	63.0473	49.0228	0.77756
P26	571	0.015861	63.0473	572	0.015889	62.9371	14	0.22244
P27	572	0.015889	62.9371	572	0.015889	62.9371	0	0

Görüldüğü üzere sistemin genelinde bekleme süreleri yüksek. Bunun nedeni istasyonlardaki işlem sürelerinin yüksek olmasıdır. Fakat dikkat edilecek olursa p₂₀ durumunda bekleme süresi çok çok yüksektir. Bunun nedeni ise 30 dk süren

performans testidir. Bu istasyonun kapasitesi 30 olarak belirlenmiş ve bu sonuçlar elde edilmiştir. Bekleme süresinin azaltılabilmesi için yine kapasite artırımına gidilebilir.

Sistemin iyileştirilebilmesi için performans testi kapasitesi 30'dan 40'a çıkarılmış ve bekleme süresi ancak 1756.5724 sn'ye düşürülmüştür. Bunun ardından kapasite artırımını yapılmasına rağmen p_{20} durumuna ait bekleme süresi için bir gelişme elde edilememiştir.

Tablo 3.26 Montaj Bölümüne Ait Benzetim Sonucu Geçişlere İlişkin Elde Edilen Sonuçlar

Geçiş	Servis Toplamı	Servis Oranı	Servis Aralığı	Servis Süresi	Faydalanma Oranı
t1	599	0.016639	60.1002	0	0.0016667
t2	599	0.016639	60.1002	60	1
t3	599	0.016639	60.1002	0	0.0016667
t4	600	0.016667	60	50	0.83361
t5	599	0.016639	60.1002	0	0.001667
t6	599	0.016639	60.1002	60	1
t7	599	0.016639	60.1002	0	0.0016667
t8	600	0.016667	60	28	0.46756
t9	599	0.016639	60.1002	0	0.0025556
t10	600	0.016667	60	30	0.50172
t11	599	0.016639	60.1002	0	0.0033889
t12	600	0.016667	60	30	0.50256
t13	599	0.016639	60.1002	0	0.0042222
t14	571	0.015861	63.0473	1850.2137	1
t15	570	0.015833	63.1579	0	0.0042222
t16	571	0.015861	63.0473	14	0.22589
t17	571	0.015861	63.0473	0	0.0038333
t18	572	0.015889	62.9371	14	0.22589
t19	572	0.015889	62.9371	0	0.0034444

Benzetim sırasında sistemde 571 adet parça işlenmiştir. Bu durumda sistemin devir süresi ve çıktı oranı aşağıda belirtilmiştir.

Devir süresi: $36000/570=63.04$ sn/adet

Çıktı oranı : $(1/63.04)*60=0.95$ adet/dk

Montaj bölümüne ait benzetim çalışması sonucunda sistemden dakikada 0.95 adet parça çıktığı görülmektedir. Tabi ki bu bize sadece bir banda ait değeri vermektedir. Sonuç olarak montaj bölümüne ait benzetim sonucunda sistemden 10 bant toplamında dakikada 9.50 adet ürün çıkmaktadır.

3.4.6 Alternatif Benzetim Çalışmaları

Buzdolabı üretim sistemine ait Petri ağı çalışmasında her alt bölüm için alternatif değerlendirmeler düşünülmüş ve maksimum çıktı yaratacak durumlar elde edilmiştir. Aşağıda her alt bölüm adına yapılan değişimler sonucu elde edilen bekleme süreleri ve çıktı oranları verilmiştir.

Sac şekillendirme bölümüne ait benzetim çalışmasında aşağıdaki tabloda 1 alternatif durum verilmiştir. Bu alternatif durumda $M(p_{28})+M(p_{29})+M(p_{30})=2$ durumu irdelenmiştir. Sonuç olarak p_{28} durumu için bekleme süresinin azaldığını görebiliriz fakat çıktı oranında bir değişiklik olmamıştır.

Tablo 3. 27 Sac Şekillendirme Bölümüne Ait İyileştirilmiş Bekleme Süreleri

	1. Durum	Mevcut Sistem
p1	0	0
p2	10	10
p3	6.0027	6.0027
p4	0	0
p5	6	6
p6	10.0044	10.0044
p7	0	0
p8	5	5
p9	11.0049	11.0049
p10	3.0013	3.0013
p11	12	12
p12	1	1
p13	0	0
p14	12	12
p15	4.0018	4.0018
p16	0	0
p17	15	15
p18	1.0004	1.0004
p19	0	0
p20	16	16
p21	0	0
p22	0	0
p23	16	16
p24	0	0
p25	0	0
p26	10	10
p27	6.0027	6.0027
p28	19.0084	35.0156
p29	13	13
p30	0	0
p31	13	13
p32	3	3
p33	0	0
Çıktı Sayısı	2249	2249

Boyama bölümüne ait benzetim çalışmasında askı sayısının istasyon kapasitesine eşit olduğu durumlar 1. ve 2. bölümde verilmiştir. Bunun yanında askı

sayısının 20 ve kapasitenin 40 olduğu duruma ait bekleme süreleri de 3. durumda verilmiştir.

Tablo 3. 27 Boyama Bölümüne Ait İyileştirilmiş Bekleme Süreleri

	1. durum	2. durum	3.durum	Mevcut Durum
p1	23.9692	23.9696	11.9886	47.9066
p2	0	0	0	0
p3	0	0	0	0
p4	13.9975	13.9975	13.9975	13.9975
p5	9.978	9.9782	9.986	9.962
p6	23.9795	23.9798	11.99	47.9377
p7	0.020853	0.020698	0.010197	0.062985
p8	0.0088668	0.0087113	0.0088668	0.0088668
p9	23.9911	23.9913	23.9911	23.9911
p10	0	0	0	0
Çıktı Sayısı	5996	5996	5996	5996

Kapı üretim bölümüne ait benzetim sonucunda birden fazla alternatif durum elde edilmiştir. Aşağıdaki tabloda 1. durum $M(p_7)+M(p_8)+M(p_9)=2$ durumu, 2. durum $M(p_1)+M(p_2)+M(p_3)=2$ ve $M(p_7)+M(p_8)+M(p_9)=2$ durumu ve 3. durum $M(p_1)+M(p_2)+M(p_3)=2$ ve $M(p_7)+M(p_8)+M(p_9)=3$ durumudur.

Tablo 3.29 Kapı Üretim Bölümüne Ait İyileştirilmiş Bekleme Süreleri

	1. durum	2.durum	3. durum	Mevcut Sistem
p1	0	0	0	0
p2	55	54.991	54.9542	55
p3	0	9.9503	0.0076453	10
p4	45.0688	0.11292	17.5153	0
p5	10	10	10	10
p6	0	22.3984	0	55.0814
p7	44.9313	0.0090334	17.5325	0
p8	64.9695	64.9729	64.9237	64.9819
p9	0	0	0	0
p10	49.9924	27.5452	22.5402	60.0904
p11	5	5	5	5
p12	0	0	0	0
Çıktı Sayısı	654	1107	1308	553

Ön montaj bölümüne ait benzetim sonucunda birden fazla alternatif durum elde edilmiştir. Aşağıdaki tabloda 1. durum $M(p_7)+M(p_8)+M(p_9)=2$ durumu, 2. durum $M(p_1)+M(p_2)+M(p_3)=2$ ve $M(p_7)+M(p_8)+M(p_9)=3$ durumu ve 3. durum $M(p_1)+M(p_2)+M(p_3)=2$ ve $M(p_7)+M(p_8)+M(p_9)=2$ durumudur.

Tablo 3.30 Ön Montaj Bölümüne Ait İyileştirilmiş Bekleme Süreleri

	1. durum	2.durum	3. durum	Mevcut Sistem
p1	0	0	0	0
p2	60	59.9933	59.9375	59.875
p3	0	0.0066778	21.9374	22
p4	52.0634	15.0501	0.10251	0
p5	8	8	7.9966	7.9932
p6	0.023333	6.9875	32.8975	74
p7	37.9133	8.0751	0.0091116	0
p8	819501	81.9317	81.909	81.825
p9	0	0	0	0
p10	54.9917	25.0459	36.0468	77
p11	5	5	5	5
p12	0	0	0	0
Çıktı Sayısı	599	1106	878	439

Montaj bölümüne ait benzetim sonucunda aşağıdaki alternatif durumlar elde edilmiştir. performans analizinin yapıldığı istasyona ait bekleme sürelerinin iyileştirilmesi adına yapılan denemelerde çıktı oranında bir değişiklik olmamasının yanı sıra bekleme sürelerinde de fazla iyileşme görülemedi.

Tablo 3.31 Montaj Bölümüne Ait İyileştirilmiş Bekleme Süreleri

	1.durum	Mevcut Sistem
p1	0	0
p2	60	59.95
p3	0	0.050083
p4	0	0
p5	50	49.9667
p6	10.0167	10.0501
p7	0	0
p8	60	59.95
p9	0	0.050083
p10	0	0
p11	28	28
p12	32	32.0534
p13	30	30
p14	30	30
p15	0	0.050083
p16	29.95	28.9983
p17	30	30
p18	0	1.0518
p19	640.5	42.1202
p20	1756.5724	1757.95
p21	0	0
p22	49.0228	49.1333
p23	14	14
p24	0	0
p25	48.9129	40.0228
p26	14	14
p27	0	0
Çıktı Oranı	571	571

SONUÇ

Petri ağırları yöntemi kullanılarak, bir buzdolabı üretim sisteminin modellemesi, davranışsal analizi ve performans analizi gerçekleştirilmiştir. Buzdolabı üretim sistemi temel olarak alt başlıklar altında incelenmiştir. Bu alt bölümlerin birbirleri arasında bir denge içinde çalışıp çalışmadıkları ve kendi içlerinde maksimum üretkenliğe sahip olup olmaları sorgulanmıştır. Sistemin alt bölümler halinde incelenmesinin nedeni hacimsel büyüklüğüdür. Bu nedenle sistem incelenirken modüler ayrıştırmaya gidilmiştir. Son olarak da bölümlerin mevcut özelliklerini koruyacak şekilde entegre edilmiş ve sistemin bütününe ulaşılmıştır.

Benzetim ve analizler sonucunda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

1. Sistemin bütünü canlılık ve sınırlılık özelliğine sahiptir.

Her alt bölüm için tek tek canlılık ve sınırlılık özellikleri Matlab PetriNet Toolbox yardımıyla sorgulanmış ve her alt bölümün bu özellikleri sağladığı sonucuna varılmıştır. Sonuç olarak tüm alt bölümlerin birleşiminden oluşan üretim sisteminin de canlı ve sınırlı olduğu sonucuna varılmıştır.

2. Modüllere ait devir süreleri belirlenmiştir. En yüksek devir süresi 82 sn ile önmontaj bölümüne aittir. Sac şekillendirme bölümüne ait devir süresi 16 sn, boyama bölümüne ait devir süresi 6,004 sn, kapı üretim bölümüne ait devir süresi 65.09 sn ve montaj bölümüne ait devir süresi ise 63.04 sn'dir. Sistemde her alt bölüm bir veya birden fazla birbirine paralel bantlar halinde kurulduğundan çıktı oranları sac şekillendirme bölümünde 9.99 adet, boyama bölümünde 9.93 adet, kapı üretim bölümünde 9.20 adet, ön montaj bölümünde 9.49 adet ve montaj bölümünde 9.50 adettir. Devir süreleri arasındaki farklar nedeniyle sac şekillendirme ve boyama üniteleri dönem dönem ihtiyaca göre çalıştırılırken, kapı üretim bölümü sürekli çalışma durumundadır.

3. Her alt bölüm için iyileştirmeler yapılmış ve her alt bölüm için maksimum çıktı yaratabilecek durumlar elde edilmiştir.

Sac şekillendirme bölümü için birleştirme istasyonundaki üç adet makineden birinin fazla olduğu sonucuna varılmış ve bir makinenin sistemden çıkarılması sonucu aynı çıktı sayısına ulaşılmış ve birleştirme istasyonuna ait girdi stoğunun bekleme süresi 35 sn düzeyinden 19 saniye düzeyine çekilebilmiştir.

Boyama bölümüne ait en iyi iyileştirme, sistemdeki askı sayısının azaltılıp istasyonların kapasitelerinin yükseltildiği durumlarda elde edilmiştir. Boyama bölümündeki çıktı sayısı değişmemesine karşın dolap gövdelerinin sistemde daha az bekledikleri görülmüştür. Bu da askıların, ancak dolduktan sonra istasyonlara ulaştığı düşünülürse beklediğimiz bir sonuçtur. Askı sayısının 20, istasyon kapasitesinin 40 olduğu durumda en iyi bekleme sürelerine ulaşılmıştır.

Kapı üretim ve ön montaj üniteleri birbirlerine benzer sistemlerdir. Bu iki sistem içinde istasyonlardaki makine sayılarının artışı çıktı oranlarıyla doğru orantılıdır. Bu durumda çıktı sayıları istenen düzeye, makine sayıları ile değişimler yapılarak ulaştırılabilir.

Ön montaj bölümünde ise performans testinin yapıldığı istasyondaki bekleme süreleri dikkat çekmektedir. Bu bölümde işlem süresinin 30dk sürdüğü düşünülürse iyileştirilmesi gereken noktanın performans testinin yapıldığı istasyon olduğu sonucuna varılır. Ancak performans testinin yapıldığı istasyon kapasitesi 40'a yükseltildiği durumda bile bekleme sürelerinde fazla bir iyileştirme görülememiştir. Performans testinin yapıldığı istasyon montaj bölümü içinde değil de ayrı bir alt bölüm olarak incelendiğinde ancak farklı iyileştirmeler yapılabilecektir.

4. İstasyonlardaki operasyon sürelerinin farklılıkları nedeniyle istasyonlara ait girdi ve çıktı stoklarında belirli sürelerde beklemeler olduğu görülmüştür. Gerçek sistemlerde bu şekilde stok alanları mevcut değildir, modelin daha iyi anlaşılabilmesini sağlamak amacıyla bu gösterimden yararlanılmıştır. Yani bir istasyonun girdi ve çıktı stoğunda bir parçanın var olması o istasyonun kullanıldığı anlamına gelmektedir.

5. Alt bölümler arasında bazı bölgelerde stok kapasitesinin düşürülmesi mümkün olabilir. Boyama bölümündeki askı sistemleri buna örnek olarak verilebilir. Sac şekillendirme bölümündeki makine sayıları da bu anlamda inceleyebilir. Sonuç olarak girdi stokları, bekleme süreleri ve sistemin iyileştirilmesi konusunda fikirler vermektedir.

6. Sistemin bütününe bakıldığında çıktı oranları ve bant sayılarına göre sistemde her alt bölümde dakikada yaklaşık 10 adet ürün üretilmektedir. Bu bakımdan sistemin alt bölümlerinin birbirleriyle uyum içinde olduğu söylenebilir. Diğer yandan her alt bölüm için maksimum çıktı yaratacak iyileştirmelere örneklerde verilmiştir, bu alternatifler fiziki ve mali imkanlar çerçevesinde değerlendirmeye alınabilir. Sisteme eklenecek makineler, stok kapasitelerindeki değişiklikler ya da bant sayılarındaki değişiklikler ihtiyaçlar doğrultusunda farklı senaryolar yaratmaya elverişlidir.

Sistem üzerinde değişiklikler yapılarak ve her seferinde tekrar benzetim çalıştırılarak sistem deneme yoluyla ve gözlem yoluyla daha iyi noktalara taşınabilir. Petri ağları konusunda çok fazla çalışma yapılmamasına rağmen, daha önceden söylediğimiz gibi birçok alanda uygulanması mümkündür. Üretim planlama alanında kullanımı uygun ve etkin bir yöntem olduğu da görülmüştür. Bu yöntemle sistemin en basite indirilebildiği ve analizinin net şekilde yorumlanabildiği görülmüştür. Zamanlı Petri ağlarının yanı sıra renkli Petri ağları da büyük sistemlerin incelenmesinde ve analizinde rahat kullanılabilecek bir konudur. Metodun matematiksel özellikleri yanında görsel açıdan net bir bakış açısı sağlaması Petri ağları metodunun sosyal bilimlerde de incelemelerde kullanılabileceği fikrini vermektedir. Petri ağlarının sağladığı kolaylıklar ve görselliği, bunun yanında birçok sisteme uygulanabilirliği, ileride çok kullanılabilecek bir metod olarak karşımıza çıkacağının nedenleridir.

KAYNAKLAR

Armaneri, Özgür; 'Modeling, Analysis and Simulation of Simple One Machine-Two Product System Using Petri Nets', Doğu Üniversitesi, sayı7(1), 2006, pp. 15-24

Bobbio, Andrea; 'System Modelling With Petri Nets', A.G. Cololmbo and A. Saiz de Bustamante(eds.) System Reliability Assessment, Kluwer p.c., 1990, pp. 102-143

Bruno, G.; Marchetto, G.; 'Process-Translatable Petri Nets for the Rapid Prototyping of Process Control Systems' , IEEE Transaction Software Engineering, Vol.12, No.2, 1986, pp.346-357

Cassandras, G.C.; Lafortune, S.; 'Introduction to Discrete Event Systems', Kluwer Academic Publishers, MA, 1999

Dicesare, F.; Jean-Marie Proth; M. Siva et Al; 'Practice of Petri Nets in Manufacturing', Chapman and Hall Pres, London 1993

Dubois, K.; K.E. Stecke; 'Using Petri Nets to Present Production Process', Proceedings of the 2nd IEEE Conference on Decision and Control', Texas 1983, pp. 1062-1067

Hillion, H.P.; J.M. Proth; X.L.; 'Performance Evaluation of Job-Shop Systems Using Timed Event-Graphs', IEEE Transaction on Automatic Control, Vol.34, 1989, pp.3-9

Hillion, H.P.; J.M. Proth; X.L.;X.L. Xie; ' A Heuristic Algorithm for the Periodic Scheduling and Sequencing Job-Shop Problem, Proceeding 26th IEEE Conference on Decision and Control, Los Angeles, 1987

Jeng, Mu Der ; 'Petri Nets for Modelling Automated Manufacturing Systems With Error Recovery', IEEE Transaction on Robotic and Automation, Vol.13, No.5, 1997, pp.752-760

Jeng, M.D.; F. Dicesare; 'A Review of Synthesis Techniques for Petri Nets with Application to Automated Manufacturing Systems', IEEE Transaction Systems, Man and Cybernetics, Vol.23, No.1, 1993, pp.301-312

MATLAB, The Language of Technical Computing Version 7.9.0

Mihaela Ciortea; Analysis of Manufacturing Systems Modeling by Petri Nets, Proceedings of the International Conference on Theory and Application of Mathematics and Informatics ICTAMI 2005 - Alba Iulia, Romania, pp. ACTA Universitatis Apulensis No 11/2006, pp.171 -175,

Moore, K.E.; S. Gupta; 'Petri Net Models of Flexible and Automated Manufacturing Systems: A Survey', International Journal of Production Research, Vol.34, No.11, 1996, pp.3001-3035

Murata, Tadao; 'Petri Nets: Properties, Analysis and Applications', Proceeding of the IEEE , Vol.77, No.4, April 1989, pp. 541-580

Kılınçcı, Özcan; 'Basit Montaj Hattı Dengeleme Problemi İçin Bir Petri Ağı Yaklaşımı', DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, Cilt.6, Sayı.2, Mayıs 2004, s.1-15

Proth, Jean-Marie; Xiaolan Xie; 'A Demand To Manufacturing Requirement Model Based on Predefined Configurations', European Journal of Operation Research, Vol.53, No.3, 1991, pp.297-308

Proth, Jean-Marie; Xiaolan Xie; 'Petri Nets: A Tool for Design and Management of Manufacturing Systems, John Wiley and Sons Pres, England 1996

Proth, Jean-Marie; Xiaolan Xie; 'Petri Nets: A Tool for Design and Manufacturing System Integration', IEEE Transaction on Robotics and Automation, Vol.13, 1997, pp.317-326

Proth, J.M.; L. Wang; X.L. Xie; 'A Class of Petri Nets for Manufacturing System Integration', IEEE Transaction on Robotics and Automation, Vol.13, 1997, pp.317-326

Reisig, Wolfgang; 'Petri Nets: An Introduction', Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, Newyork 1982

Sun, T.H.; C.W. Cheng; L.C. Fu;'A Petri Net Based Approach to Modelling and Scheduling for an FMS and Case Study', IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol.41, 1992, pp.593-601

Teng, Z.H.;J. Zhang;'APetri Net Based Decomposition Approach in Modelling of Manufacturing Systems', International Journal of Production Research, Vol.31, 1993, pp.1423-1439

Tunçel, Gonca; 'Modelling, Behavioral Analysis and Performance Evaluation of an Automative Assembly Plant by Using Petri Nets, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 1999

Wang, L.; X.L. Xie; 'Modular Modelling Using Petri Nets', IEEE Trabsactions on Robotics and Automation, Vol.12, pp.800-809

Zhou, M.C.; F. Dicesare; D.L. Rudolph; 'Design ang Implementation of a Petri Net Based Supervisor for Flexible Manufacturing Systems' Auromatica, Vol.28, No.6, 1992, pp.1199-1209

Zurawski, Richard; MengChu Zhou; 'Petri Nets and Industrial Applications: A Tutorial', IEEE Transaction on Industrial Electronics, Vol.41, no.6, December 1994, pp. 567-582