

# BASİT OTOMASYON PETRİ AĞLARI KULLANILARAK AYRIK OLAY SİSTEMLERİNİN MODELLENMESİ

Gökhan GELEN<sup>1</sup> B. Hakan AKSEBZECİ<sup>2</sup> İ. Burak KOÇ<sup>3</sup> Murat UZAM<sup>4</sup>

<sup>1,2,3,4</sup> Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü Mühendislik-Mimarlık Fakültesi  
Niğde Üniversitesi, Kampüs, 51100, NIĞDE

<sup>1</sup>e-posta: ggelen@nigde.edu.tr

<sup>2</sup>e-posta: bekirhakan@yahoo.com

<sup>3</sup>e-posta: burakkoc@yahoo.com

<sup>4</sup>e-posta: murat\_uzam@nigde.edu.tr

*Anahtar sözcükler: Otomasyon, Ayrik Olay Sistemleri, Otomasyon Petri Ağları, Modelleme, Kontrol*

## ABSTRACT

*This paper shows, how Simple Automation Petri Nets (SAPN) can be used for modelling of Discrete Event Control Systems (DECS). The design of DECS consist of two steps namely modelling and implementation. At the first step, a model of a DECS is obtained to perform desired control tasks. Then the obtained model can be implemented by means of a micro-processor, microcontroller, PLC or FPGA. Finally the obtained controller can be used to control a DECS. The aim of this paper is to shed light on the use of SAPN as a formalism to control DES.*

## 1. GİRİŞ

Teknolojideki hızlı gelişmeler alışlagelmiş diferansiyel veya fark denklemleriyle açıklanamayan bir çok sistemi de beraberinde getirmiştir. Esnek imalat sistemleri, bilgisayar ağı sistemleri, çeşitli ulaşım sistemleri ve diğerleri bu sistemlere örnek olarak verilebilir. Eşzamanlılık, asenkron çalışma, olay sürümlülük, belirsizlik (non-determinism) gibi özelliklere sahip olan sistemlere Ayrik Olay Sistemleri (AOS) denilmektedir.

Ayrik Olay Sistemleri üzerinde tasarım, analiz, sentez vb. işlemler yapılırken ihtiyaç duyulan model, temel olarak iki yöntem kullanılarak elde edilir. Bunlar; Sonlu Durum Makinesi (SDM) ve Petri Ağı (PA) yaklaşımlarıdır. SDM yaklaşımları ardışıl çalışabilen modeller sunmaktadır. SDM kullanılarak oluşturulan modeller grafiksel görünüm yönünden zayıf kalmaktadır[1]. Petri Ağları AOS'nin modellenmesinde, analizinde, tasarımında ve kontrolünde anlaşılabilirliği ve grafiksel görselliği yüksek modeller sunmaktadır.

Bir AOS'nin kontrolü için ilk önce denetleyici yapısının Petri Ağı modeli oluşturulur. Bu model, Petri Ağı tanımı üzerinde bazı eklemeler yapılarak tanımlanan Otomasyon Petri Ağları (OPA) kavramı kullanılarak oluşturulur [1]. Oluşturulan bu model yazılım veya donanım ile gerçekleştirilir. PLC temelli

bir yazılım gerçekleştirilmesi Uzam ve Jones tarafından ortaya konulmuştur [2]. Petri Ağı temelli modellerin senkron veya asenkron gerçekleştirilmesini donanım tasarımı ile yapmak mümkündür [3]. Bu anlamda senkron donanım tasarımları Chang [4] ve Bulanch [5] tarafından gerçekleştirilmiştir. Lojik devre elemanları kullanılarak Petri Ağı özelliklerinin asenkron donanım gerçekleştirilmesi Uzam ve diğerleri tarafından ortaya konmuştur [6].

Grafiksel ve matematiksel bir modelleme aracı olan Petri Ağlarıyla ilgili olarak okuyucu şu kaynaklara bakmalıdır: [7,8,9]. Bu bildiride AOS'nin denetleyici yapılarının modellenmesi ile ilgilenilmektedir. Bildirinin üçüncü ve dördüncü bölümünde Petri Ağları ve Basit Otomasyon Petri Ağı (BOPA) kavramları hakkında detaylı bilgi verilmiştir. Beşinci bölümde ise örnek bir sisteminin Basit Otomasyon Petri Ağı modelinin oluşturulması anlatılmıştır.

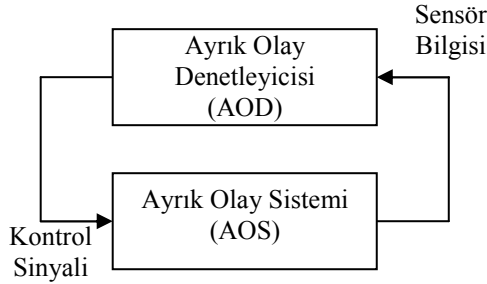
## 2. AYRIK OLAY SİSTEMLERİ

Ayrik Olay Sistemleri durum uzayları ayrik kümelerden oluşan lineer olmayan sistemlerdir [5]. Durumlar arası geçişler olay sürümlüdür ve bu geçişler tetikleme koşulunun sağlanmasıyla gerçekleşir. Ayrik olayların gerçekleşmesine bağlı olarak geçişler asenkron olarak tetiklenebilir. Ayrik olay sistemlerin davranışları çoğunlukla, kendi içlerinde işlemekte olan ayrik olaylarla belirlenir. İmalat sistemleri, haberleşme ağları, robotlar ve benzeri sistemler AOS'lerine örnek olarak verilebilir. AOS'nin karakteristikleri aşağıda verilmiştir.

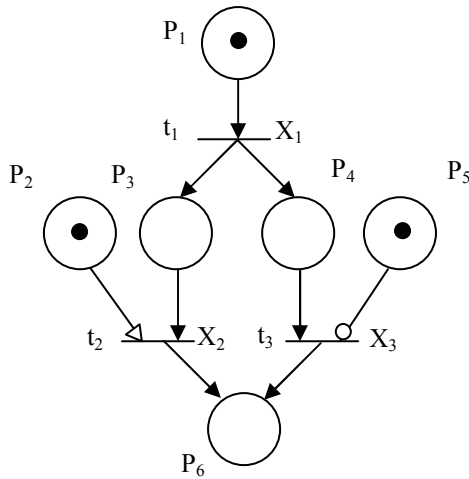
**Eş zamanlılık (Güdümlülük):** Bir AOS'de, bir çok işlem aynı anda meydana gelebilir.**Asenkron işlemler:** Her değişim global bir clock tarafından senkronize edilmez. Olaylar çoğu kez asenkron olarak meydana gelir. **Olay sürümlülük (Event-driven):** Bir olay diğer olayların oluşumuna bağımlı olabilir. **Belirsizlik (Non-determinism):** Belirsizlik kesin olmayan olay oluşumları sonucunda meydana gelir. Örneğin; verilen bir durumdan farklı gelişmeler oluşması mümkün olabilir.



Faaliyetler mevkilere atanır. Bu ilave özelliklerle Ayrık Olay Kontrol Sistemlerini tasarlamak mümkündür. Şekil-4'te bir BOPA'nın bir Ayrık Olay Kontrol Sisteminde, Ayrık Olay Denetleyicisi (AOD) olarak nasıl kullanıldığı görülmektedir.



Şekil-2. Tipik bir ayrık olay kontrol sistemi

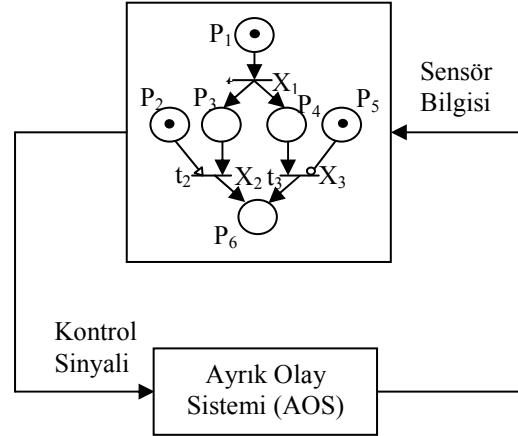


Şekil-3. Basit Otomasyon Petri Ağı

Biçimsel olarak bir BOPA aşağıdaki gibi tanımlanabilir

$$BOPA=(P,T,Pre,Post,In,En,X,Q,M_0) \quad (3)$$

Burada;  $P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$  sonlu sayıda boş olmayan mevkiler kümesidir.  $T = \{t_1, t_2, \dots, t_n\}$  sonlu sayıda boş olmayan geçişler kümesidir,  $Pre: (P \times T) \rightarrow \{0,1\}$  mevkilerden geçişlere yönelmiş sıradan okları ifade eden bir giriş fonksiyonudur.  $Post: (T \times P) \rightarrow \{0,1\}$ , geçişlerden mevkilere yönelmiş sıradan okları ifade eden bir çıkış fonksiyonudur.  $In: (P \times T) \rightarrow \{0,1\}$ , mevkilerden geçişlere olan yasaklama oklarını ifade eden bir yasaklama giriş fonksiyonudur.  $En: (P \times T) \rightarrow \{0,1\}$ , mevkilerden geçişlere olan yetkilendirme oklarını ifade eden bir yetkilendirme giriş fonksiyonudur.  $\chi = \{\chi_1, \chi_2, \dots, \chi_m\}$  geçişlere atanmış, sonlu sayıda boş olmayan tetikleme koşulları kümesidir.  $Q = \{q_1, q_2, \dots, q_n\}$ , mevkilere atanabilir, sonlu sayıda faaliyetler kümesidir.  $M_0: P \rightarrow \{0,1\}$ , ilk işaretlemidir.



Şekil-4. BOPA'nın bir ayrık olay kontrol sistemi kontrolünde kullanılması

BOPA iki tip düğümden oluşur, dairelerle ( O ) gösterilen mevkiler ve çubuklarla ( — ) gösterilen geçişler. OPN'de üç tip ok kullanılır. Şöyle ki; yönelmiş bir okla ( → ) gösterilen sıradan oklar, sonu daire olan bir okla ( —○ ) gösterilen yasaklama okları ve son olarak, ucu boş bir yönelmiş okla gösterilen yetkilendirme okları. Yetkilendirme okları ve yasaklama okları sadece mevkileri geçişlere bağlarken; yönelmiş sıradan oklar mevkileri geçişlere ve geçişleri de mevkilere bağlarlar.

Bir mevkiye birden çok faaliyet atanmış olabilir. BOPA'daki tetikleme koşulları, sensör okumaları gibi dış olaylar olarak kabul edilmektedir. Bir  $t$  geçişiyle ilişkilendirilmiş olan bir  $\chi$ , tetikleme koşulu, bir Boolean değişkenidir, ilgili  $t$  geçişinin tetiklenmesine izin verilmediği bir durumda "0" olur veya ilgili  $t$  geçişi eğer açıksa tetiklenmesine izin verildiği durumda "1" olabilir. BOPA'nın işareti her mevkideki jeton sayılarıyla gösterilmektedir, jetonlar siyah noktalarla ( ● ) gösterilmektedir. Jetonların mevkiler arasındaki hareketi BOPA'nın gelişimini gösterir ve bu, açık geçişlerin tetiklenmesiyle yapılır. Jetonların akışını yönetmek için aşağıdaki kurallar kullanılmaktadır:

**Açılma Kuralları:** BOPA'da bir geçişin tetiklenmek için açık olduğunu tanımlayan esas olarak üç kural vardır. Eğer bir  $t$  geçişinin giriş mevkisi geçişe yönelmiş sıradan bir okla bağlıysa giriş mevkisi  $p$  bir tane jeton içerdiği zaman,  $t$  geçişi açıktır denir. Eğer bir  $t$  geçişinin giriş mevkisi geçişe bir yetkilendirme okuyla bağlıysa, giriş mevkisi  $p$ ; bir tane jeton içerdiği zaman  $t$  geçişi açıktır denir. Eğer bir  $t$  geçişinin giriş mevkisi geçişe bir yasaklama oku ile bağlıysa, giriş mevkisi  $p$ , jeton içermediğinde  $t$  geçişi açıktır denir.

**Tetikleme Kuralları:** BOPA'da açık bir  $t$  geçişi  $t$ 'nin dış tetikleme koşulu olan  $\chi$ 'e bağlı olarak tetiklenebilir ya da tetiklenmeyebilir. Bu tetikleme

koşulları bir sensör okumasının pozitif seviyesi veya sıfır seviyesi olabilir. Genellikle bir tetikleme koşulu olan  $\chi$ ; 'AND', 'OR' ve 'NOT' lojik operatörleriyle birden çok sensör okuması içerebilir. Tetikleme koşullarındaki gibi birden çok sensör okumasıyla ilgilendiğinde tetikleme koşullarının lojik operatörleri ona göre hesaba katılmalıdır.  $\chi = 1$  olduğu özel durumda,  $t$  geçişi açıktır ve her zaman tetiklenmesine izin verilmektedir. Açık bir  $t$  geçişi tetiklendiğinde, her  $p$  giriş mevkisinden bir jeton eksilir. Aynı zamanda her  $p$  çıkış mevkisine bir jeton yerleştirir. Açık bir  $t$  geçişinin tetiklenmesinin,  $t$  geçişine sadece yetkilime veya yasaklama oklarıyla bağlı olan giriş mevkilerinin işaretini değiştirmedikine dikkat edilmelidir. Zamanlı BOPA'ları normal Petri Ağlarında olduğu gibi düşünmek mümkündür.

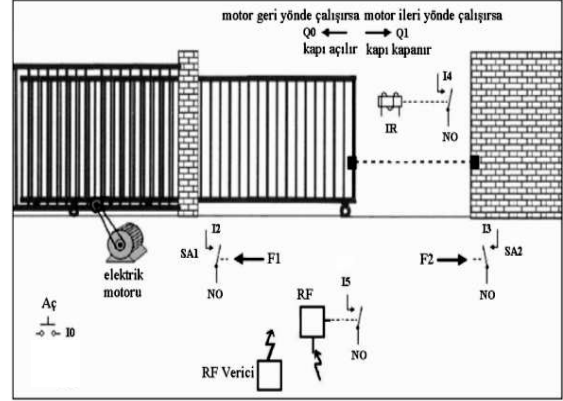
#### 4. ÖRNEK: UZAKTAN KUMANDALI OTOMATİK KAPI MODELİ

Bu kısımda uzaktan kumandalı bir otomatik kapı modeli kumanda edilecek örnek sistem olarak incelenmiş ve denetleyici için bir BOPA modelinin nasıl elde edildiği incelenmiştir. Uzaktan kumandalı otomatik kapının blok şeması Şekil-5'te görülmektedir. Kapı bir motor yardımıyla açılıp kapanmaktadır. Q0 ve Q1 sırasıyla Aç ve Kapat eylemlerini gerçekleştiren motor yön kontrol sinyalleridir. I0, Aç eylemini başlatacak olan butonu simgelemektedir. I0 butonuna basıldığında Q0 çıkışı aktif olarak motor geri yönde çalışmakta ve kapı açılmaktadır. I2 ve I3 kapının tam olarak açılıp kapandığını algılayan sınır anahtarlarıdır. I4 kapı aralığında herhangi bir cismin olup olmadığını algılayan infra-red sensördür. I5 ise RF ile çalışan uzaktan kumanda kontakını simgelemektedir.

Kapının kontrol işlemini gerçekleştirmek için kontrol işlemlerini ve ilk koşulları içeren bir kontrol senaryosuna ihtiyaç vardır. Bu işlemlerin sırası aşağıda verilmiştir.

- Kapının başlangıçta kapalı olduğu kabul edilmektedir.
- Kapı kapalı konumdayken aç butonuna basıldığında (I0) veya uzaktan kumanda sinyali (I5) geldiği zaman kapı açılmaya başlayacaktır.
- Kapı açılıp 1. sınır anahtarı (I2) konum değiştirince, kapının açıldığı anlaşılıp motor duracak ve kapı açık konumda 5 saniye bekleyecektir.
- 5 saniye süre sonunda kapı kapanmaya başlayacaktır.
- Kapı kapanırken kapı aralığına herhangi bir cisim girerse yani I4 sinyalinin oluşmasıyla motor geri yönde çalışmaya başlayacak ve kapı kapanacaktır.

- Kapı tam olarak kapandığında, kapının kapandığını gösteren 2. sınır anahtarı (I3) konum değiştirince motor duracaktır.



Şekil-5. Uzaktan kumandalı kapı blok şeması

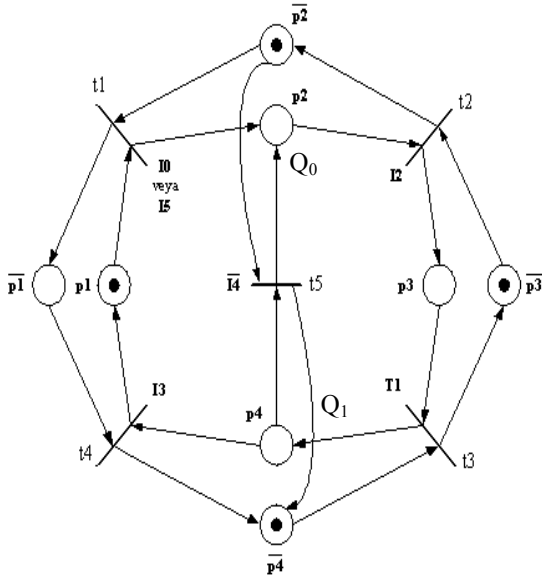
#### 5. DENETLEYİCİNİN BOPA MODELİ

Uzaktan kumandalı otomatik kapının bir önceki bölümde belirlenen senaryo çerçevesinde kontrolünü sağlayacak yapının BOPA modeli Şekil-6'da görülmektedir. BOPA modelinde sekiz tane mevki  $P = \{p1, p2, p3, p4, \bar{p1}, \bar{p2}, \bar{p3}, \bar{p4}\}$  ve  $\chi_1 = I0 \vee I5$ ,  $\chi_2 = I2$ ,  $\chi_4 = I3$  ve  $\chi_5 = \bar{I4}$  tetikleme koşullarına sahip beş tane  $T = \{t1, t2, t3, t4, t5\}$  geçiş bulunmaktadır. Geçişlerden  $\chi_3$  geçişi  $T1=5$  saniyelik zaman gecikmesine sahip zamanlı geçiştir. p1 mevkisi kapının açık, p3 mevkisi kapının kapalı olduğunu göstermektedir. Eğer p1 mevkisinde bir jeton bulunmakta ise bu kapının kapalı olduğu anlamına gelir ve  $M(p1)=1$ 'dir. Benzer şekilde p3 mevkisinde bir jeton var ise bu da kapının tamamen açık olduğunu göstermektedir. p2 ve p4 mevkileri ise kapının açılmakta ve kapanmakta olduğunu göstermektedir. Eğer p2 mevkisinde bir jeton mevcut ise bu motorun geri yönde çalışarak kapının açılacağı anlamına gelmektedir. Benzer olarak p4 mevkisinde bir jeton mevcut ise bu motorun ileri yönde çalışmasını ve kapının kapanması demektir. Modelde gerçek mevkilerin (p1, p2, p3, p4) yanı sıra her gerçek mevkinin yanında bir de gölge (( $\bar{p1}, \bar{p2}, \bar{p3}, \bar{p4}$ ) mevki eklenmiştir. Modelde gölge mevkiler eklenerek modeldeki Basit Otomasyon Petri Ağı yani her mevkinin bir sınırlı olması garanti altına alınmıştır. Sistemde ilk koşul olarak kapının kapalı olduğu kabul edilmiştir. Buna göre başlangıçta p1 mevkisi içerisinde bir jeton bulunmaktadır. t1 geçişinin tetiklenme koşulu ( $\chi_1 = I0 \vee I5$ ) sağlandığında yani Aç butonuna (I0) basıldığında veya RF (I5) uzaktan kumanda bilgisi geldiğinde t1 geçişi tetiklenir ve p1 mevkisindeki jeton p2 mevkisine geçer. p2 mevkisinde bir jeton bulunması motorun geri yönde çalışarak kapının açılmasını sağlamaktadır. p2 mevkisinde bir jeton varken yani kapı açılıyorken t2

geçişini tetiklenirse yani kapı açıldı (I2) sınır anahtarı bilgisi gelince t2 geçişini tetiklenir ve p2 mevkisindeki jeton p3 mevkisine geçer bu da kapı tamamen açıldı anlamına gelir.

Kapı tam açıldıktan sonra yani p3 mevkisine bir jeton geçtikten sonra T1=5 saniyelik zaman gecikmesi başlar. 5 saniye sonunda t3 geçişini tetiklenir ve p3 mevkisindeki jeton p4 mevkisine geçer. Böylece motor ileri yönde çalışarak kapıyı kapatır. Kapı kapandıktan sonra kapanın tam olarak kapanmasını algılayan sınır anahtarı bilgisinin (I3) gelmesiyle t4 geçişini tetiklenir ve p4 mevkisindeki jeton p1 mevkisine geçer. Bu, motorun durduğu ve kapanın tam olarak kapandığı anlamına gelmektedir.

Kapanın kapanması esnasında kapı aralığına bir cisim girerse bu durum infra-red sensör (I4) ile algılanmaktadır. Kapı arasına bir cismin girmesi durumunda I4 girişi lojik "0" olmaktadır. Bu nedenle t5 geçişini  $\bar{I4}$  ile tetiklenmektedir. p4 mevkisinde bir jeton varken yani kapı kapanıyorken t5 geçişini tetiklenirse yani kapı aralığına bir cisim girerse t5 geçişini tetiklenir ve p4 mevkisindeki jeton p2 mevkisine geçer. Bu kapanın kapanıyorken kapı aralığına bir cisim girmesi sonucu kapanın tekrar açılması demektir. Bu model [2,6]. kaynaklarda ortaya konulan yöntemlerden istenilen biri kullanılarak PLC koduna veya lojik devreye direkt olarak dönüştürülüp uygulanabilmektedir.



Şekil-6. Denetleyicinin BOPA modeli

## 6. SONUÇ

Bu bildiriye, Ayrık Olay Kontrol sistemlerinin tasarımında etkin bir araç olarak kullanılan Petri Ağları tanıtılmış ve Petri Ağları yardımıyla örnek bir sistem olan uzaktan kumandalı kapı sisteminin nasıl modellendiği anlatılmıştır. Ayrık olay sistemleri için denetleyici tasarımının modelleme aşamasını Basit

Otomasyon Petri Ağları kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Bu işlemin ardından tasarımı yapılan denetleyici modeli istenilen bir donanım (lojik devre elemanlarıyla, ROM, mikroişlemci, mikrodenetleyici, PLC veya FPGA) ile gerçekleştirilebilir.

AOD tasarımında OPN kullanımı ile sistemin çalışması sırasında oluşabilecek bir arıza, model yardımıyla çok hızlı bir şekilde tespit edilerek giderilebilir. Bu özellik sayesinde endüstriyel uygulamalarda çok büyük zaman tasarrufu sağlanabilir.

## KAYNAKLAR

- [1] M. Uzam , Petri Net Based Supervisory Control of Descrete Event Systems and Their Ladder Logic Diagram Implementations. The University of Salford, U.K, PhD. Thesis, 395 pages, 1998.
- [2] Uzam, M. & Jones, A.H., Discrete event control system design using automation Petri nets and their ladder diagram implementation. INT. JRN. OF ADVANCED MANUFACT. TECH., 14(10), 716-728. 1998.
- [3] Yakovlev, A.V. & Koelmans, A.B., Petri nets and digital hardware design. LNCS, LECTURES ON PETRI NETS II: ADVANCES IN PETRI NETS, W. Reisig & G. Rozenberg , Springer, 154-236 1998.
- [4] Chang, N., Kwon, W.H.&Park, J., Hardware implementation of real-time Petri-net-based cont. CONT. ENG. PRACTICE,6(7),889-895 1998.
- [5] Bulanch, S., Brauchle, A., Pfliederer, H.-J. & Kucerovsky, Z., Design and implementation of discrete event control systems: a Petri net based hardware approach. DISCR. EVENT DYN. SYST. THEORY AND APP. 12(3), 287-309, 2002.
- [6] Uzam, M., Yalçın M. K., & Avcı, M., Digital hardware implementation of Petri net based specifications: direct translation from safe automation Petri nets to circuit elements. Int. Workshop On Discrete Event Systems Design, Przytok near Zielona Gora, Poland pp. 25-33, 2001.
- [7] Murata T., Petri Nets: Properties, Analysis and Applications. Proceedings of IEEE. Vol 77. no 4. pp541-580, 1989.
- [8] Peterson J.L., Petri Net Theory and Modelling of Systems, Prentice Hall., NJ. 1981.
- [9] Zurawski R. And Zhou M.C., Petri Nets and Industrial Applications: A Tutorial , IEEE TRANS. ON INDUSTRIAL ELECTRONICS, vol 41, no. 6, pp. 567-583. 1994.
- [10] Zhou M. C. And DiCesare F., Petri Nets Synthesis for Descrete Event Control of Manufacturing Systems, Boston, MA, Kluwer Academic Publisher 1993
- [11] Petri C.A., Kommunikation mit Aotomaten Schriften des Rheinisch,Westfalischen Inst. Fur Intrumentelle Mathematik and der Universitat Bonn. İngilizce Çeviri C. F. Gren Applied Data Research Inc., Suppl to Tech report RADC-TR-65-337 1963.