

**ARAŞTIRMA MAKALESİ /RESEARCH ARTICLE**

**PETRI AĞLARI İÇİN PLC KULLANARAK YASAKLANMIŞ DURUM KONTROLÜ**

**Elif AYBAR<sup>1</sup>, Aydın AYBAR<sup>2</sup>,**

**ÖZ**

Bu çalışmada, Petri ağları için yasaklanmış kontrolör tasarım yaklaşımının, PLC kullanılarak gerçekleştirilmesi ele alınmıştır. Öncelikle, temel Petri ağının yapısı, merdiven diyagramı formunda PLC'ye aktarılmakta, yasaklanmış durumlar için kontrolör elde edilmekte ve son olarak elde edilen kontrolörde işaretleme vektörü ve ateşlenmesine izin verilmeyen geçiş bilgileri, merdiven diyagramına ilave edilerek kontrol edilmiş merdiven diyagramı elde edilmektedir. Ayrıca, kontrolörün merdiven diyagramına ilave edilebilmesi için gerekli algoritma ve adımlar da verilmiştir. Böylece, geliştirilen yöntem ile ele alınan Petri ağında yasaklanmış durumların meydana gelmesi engellenmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Petri ağları, Yasaklanmış durum, PLC

**FORRBIDDEN STATE APPROACH FOR PETRI NETS USIGN PLC**

**ABSTRACT**

In this work, the forbidden state controller design approach is considered to realize by using PLC for Petri nets. First, the structure of the ordinary Petri nets is transfer to the ladder diagram form of PLC, a controller design for the forbidden states, the controlled ladder diagram is obtained such that information about the marking vector and the disabled transition, which are obtained by using the designed controller. The controlled ladder diagram is obtained such that the information which contains on the state and disabled transition, is added to the ladder diagram. In addition, the algorithm and steps are also given to add the designed controller to the ladder diagram. Consequently, the occurrence of the forbidden states is avoided in the considered Petri net by the developed method.

**Keywords:** Petri nets, Forbidden states, PLC

<sup>1</sup>Anadolu Üniversitesi, Porsuk Meslek Yüksekokulu, 26470, Eskişehir.  
E-posta: elaybar@anadolu.edu.tr

<sup>2</sup>Anadolu Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, İkieylül Kampüsü, 26555, Eskişehir.  
E-posta: aaybar@anadolu.edu.tr

## 1. GİRİŞ

Kesikli olay sistemler olarak adlandırılmış olan olay etkileşimli sistemlere; günümüz üretim, haberleşme, güç sistemleri örnek olarak verilebilir. Bu sistemler için en yaygın modelleme yöntemi de Petri ağı olarak bilinen yöntemdir (Cassandras ve S. Lafortune, 1999, Ho, 1992, Aybar ve Aybar, 2007). Bu modelleme yöntemi ile ele alınan sistemin birçok özelliğinin incelenmesi, analiz edilmesi mümkün olmaktadır (örneğin; Sreenivas, 1992, Aybar ve İftar, 2002, 2003, 2005, Wang, ve ark., 2004).

Kesikli olay sistemlere ait kontrol teorisi Ramadge ve Wonham tarafından geliştirilmiştir ve ilk olarak sunulmuştur (Ramadge ve Wonham, 1989). Daha sonra birçok araştırmacı, değişik amaçlar için Petri ağlara yönelik kontrolörler tasarlamışlardır (örneğin, Sreenivas, 1992, Wang, ve vd., 2004, Özkan ve Aybar, 2008, Giua ve DiCesare, 1996). Bu çalışmalar temel olarak iki bölümden oluşmaktadır ve davranışsal ve yapısal kontrol yaklaşımları olarak sınıflandırılmaktadır (Aybar ve İftar, 2012).

Yasaklanmış durum kontrolör tasarımı için, başlangıç işaretlemesinden başlayarak elde edilen tüm işaretlemeleri içeren ulaşılabilirlik kümesi temel alınırken, yapısal kontrolör tasarımı için girdi-çıkı bağlantıları temel alınmaktadır (Aybar ve İftar, 2012).

Bu çalışmada, verilen Petri ağ için PLC tabanlı bir kontrolör tasarımı ele alınacaktır. Bu tasarımda, merdiven diyagramı olarak adlandırılan ve PLC tabanlı bir grafiksel programlama dili kullanılmaktadır (PLC module, 2001). Bu konuda yapılmış çalışmalara (Jones vd., 1996a, 1996b, Venkatesh vd., 1994) örnek gösterilebilir.

Bu makalede, yasaklanmış durumlara ulaşılmasının engellenmesi olarak özetlenebilecek bir yöntem sunulmuştur. Bu yöntem için planlanan çalışma için: Bölüm 2'de, Petri ağ modeli verilmiş ve akış diyagramı tanıtılmış, Bölüm 3'de, yasaklanmış durumlar için kontrolör tasarımı verilmiş ve gerçekleştirilmesi sunulmuştur. Son olarak da, örnek ve sonuçlara sırasıyla yer verilmiştir.

## 2. MODEL ve YÖNTEM

### 2.1. Petri Ağların Modeli

Petri ağı;  $P$  yerlerin kümesi,  $T$  geçişlerin kümesi,  $N : P \times T \rightarrow \{0,1\}$  yerlerden geçişlere

yönelmiş bağlantıların ağırlıklarını belirleyen girdi matrisi,  $O : P \times T \rightarrow \{0,1\}$  geçişlerden yerlere yönelmiş bağlantıların ağırlıklarını belirleyen çıktı matrisi ve  $m_0$ , başlangıç işaretlemelerini göstermek üzere  $G(P, T, N, O, m_0)$  beş bileşenden oluşmuştur.

$m(p)$ ,  $m'$ 'den  $p$  yerine işaretlemelere atanmış özelliklerin sayısını göstermek üzere,  $m : P \rightarrow \{0,1\}$  şeklinde tanımlanan işaretleme vektörüdür.  $t \in T$  geçişi, eğer ve sadece eğer tüm  $p \in P$  için  $m(p) \geq N(p, t) \neq 0$  ise mümkündür. Mümkün olan geçiş  $t$ , yeni işaretleme vektörleri oluşturan  $m'$ 'de atışlenebilir.

$$m'(p) = m(p) + O(p, t) - N(p, t), \forall p \in P$$

Burada,  $m'$  yeni işaretleme vektörünü göstermek üzere,  $m'$  vektörüne  $m$ 'den ulaşılabilir.  $R(G, m)$  ile belirtilen küme,  $m$ 'den ulaşılabilen işaretleme vektörlerinin kümesidir. Ayrıca, yukarıda verilen eşitlik,  $\rho$  geçiş fonksiyonu kullanılarak  $m' = \rho(m, t)$  şeklinde de ifade edilebilmektedir.

### 2.2. Merdiven Diyagramı

Merdiven diyagramı (ladder diagram) PLC'ler için kullanılan basit bir programlama dilidir. Bu çalışmada, Mitsubishi FX tipi PLC'de kullanılan merdiven diyagramı (PLC module, 2001) kullanılacaktır. Petri ağındaki ateşleme kuralını, mantık fonksiyon şeklinde tanımlayarak, merdiven diyagramı yeniden organize edilecektir. Böylece, Petri ağı modeli, PLC ortamına aktarılmış olacaktır (bkz. Jones vd., 1996a, 1996b, Venkatesh vd., 1994, Moreira vd., 2009). İlgili bu çalışmalarda, zaman gecikmelerine sahip geçişler ele alınarak PLC'ler ile modellenmiştir.

Bu çalışmada, yukarıda bahsedilen çalışmalar kullanılarak, Mitsubishi FX tipi PLC'de (zamanlandırılmamış) Petri ağı gösterimi yapılacaktır.  $m(p)$ ,  $p$  yerine ait bir belirtinin olup / olmaması "0" veya "1" kullanılarak gösterilmektedir.  $t$  geçişinin ateşlenebilirliği ile yukarıda verilen tanım, mantık fonksiyonu olarak aşağıdaki şekilde elde edilmektedir.

$$f(t) := \prod_{p \in t} m(p)$$

Burada  $\cdot t$ ,  $t \in T$  geçişine girdi olarak bağlanmış yerlerin kümesini göstermektedir.  $f(t)$  fonksiyonu, 1 veya 0 olarak değer almaktadır. "1" değeri,  $t$  geçişinin ateşlenebilir bir geçiş olduğunu göstermektedir (aksi takdirde bu fonksiyon  $t$  geçişinin ateşlenemeyeceğini gösterir).

Mitsubishi FX serisinde kullanılan bazı değişken ve gösterimler:  $Mn$ ,  $n$ 'inci bayrağı,  $Xn$ ,  $n$ 'inci girdiyi ve  $Yn$ ,  $n$ 'inci çıktıyı göstermektedir. Burada  $n$  negatif olmayan bir tam sayıdır ve PLC modeline bağlıdır (PLC module, 2001).

Petri ağının çalışmasını PLC ortamına aktarılması aşağıda verilmiştir.

- $Mn$ ,  $p_n \in P$  yerinde belirti olup olmadığını göstermektedir. Eğer  $p_n$  yerinde belirti var ise, bayrak = 1 dir.  $p_n$  yerinde belirti yok ise,  $Mn = 0$  olarak elde edilmektedir:  $Mn = m(p_n)$ .
- $Xn, t_n \in T$  geçişine ait ateşleme isteğini göstermektedir.  $Xn = 1$  bu geçişe ait ateşleme isteğini gösterirken  $Xn = 0$  bu geçişe ait ateşleme isteğinin olmadığını göstermektedir.
- $\cdot t_n$ , kümesinin elemanı olan tüm yerlere karşılık gelen bayraklar, birbirleri ve  $Xn$  değerine seri bağlanarak, girdi satırını oluşturmaktadır. Bu satır,  $t_n$  için ateşleme satırı olarak adlandırılabilir.
- $t_n$ ;  $t_n$  geçişine çıktı olarak bağlı olan yerlerin kümesini göstermektedir. Bu kümeye ait yerlere karşılık gelen bayraklar,  $t_n$  satırına çıktı olarak bağlanmaktadır. Eğer  $f(t_n) = 1$  ve  $Xn = 1$  ise,  $t_n$  geçişi ateşlenir ve  $t_n \cdot$  elemanlarına karşılık gelen bayraklar set edilirken,  $t_n \cdot$  elemanlarına karşılık gelen bayraklar sıfırlanır.
- Başlangıç işaretlemesi için, başlangıç anında belirtiye sahip yerlere karşılık gelen bayrakların set edilmesi yeterli olacaktır. Bu satır başlangıç satırı olarak adlandırılmaktadır.

Örnek olarak;  $P = \{p_1, p_2\}$  yerlerin kümesi,

$$T = \{t_1, t_2\} \text{ geçişlerin kümesi, } N = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \text{ girdi}$$

matrisi ve  $O = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}$  çıktı matrisi, başlangıç

koşulu,  $m_0 = [1 \ 0]^T$  olduğu basit bir ağı ele alalım (burada,  $[.]^T$ ,  $[.]$  matrisinin transpozesi göstermektedir). Bu ağ için oluşturulmuş PLC merdiven diagramı Şekil 1'de verilmiştir. Burada, birinci satırda (başlangıç satırı),  $M0$  ve  $M1$  bayrakları kullanılarak organize edilmiştir.  $M0$  başlama bayrağı ve  $M1$ 'de,  $p_1$  yeri-ne karşılık gelen bayrağı göstermektedir. Başlangıç satırında,  $M1$  set edilerek,  $m(p_1) = 1$  ifadesi oluşturulmuştur. Böylece,  $f(t_1) = m(p_1) = 1$  elde edilmekte ve  $t_1$  ateşlenebilmektedir. İkinci satırda,  $X001$  ateşleme isteği ve  $M1$  seri olarak bağlanmıştır. Eğer  $X001=1$  ve  $M1=1$  ise  $t_1$  ateşlenebilir ve ateşlendiğinde belirti  $p_1$ 'de bulunan belirti buradan ayrılırken  $p_2$ 'ye giriş yapar (bu belirti transferi  $M1$  reset ve  $M20$  set olarak ifade edilmektedir). Eğer  $t_2$  ateşlenirse, belirti  $p_2$ 'den ayrılırken  $p_1$ 'e giriş yapar (bu belirti transferi,  $M2$ 'nin sıfırlanması ve  $M1$ 'in set edilmesi şeklinde ifade edilmektedir).

### 3. KONTROLÖR YAKLAŞIMI

Davranışsal kontrol uygulaması olarak da bilinen yasaklı durum kontrolörü, Petri ağ modeli için kullanılan temel yaklaşımlardan biridir (diğeri ise yapısal kontrol olarak adlandırılmaktadır (Cassandras ve Lafortune, 1999, Aybar ve İftar, 2005, Özkan ve Aybar, 2008, Giua ve Dicesare, 1994)). Yasaklı durum uygulamalarında ulaşılabilirlik kümesi temel alınarak tasarım yapılmaktadır (Aybar ve İftar, 2003, 2005).

Bu bölümde, kontrolör yaklaşımında kullanılmak üzere bazı temel tanım ve kümeler verilecektir.  $Y$ , yasaklı durumların kümesi ve  $D_0$  sistem çıkmazı gösteren işaretleme vektörlerinin kümesini göstermektedir. Bu çalışmada, sınırlı Petri ağları üzerinde çalışıldığı için ulaşılabilirlik kümesi sonlu bir küme olarak elde edilmektedir.



Şekil 1: Örnek bir merdiven diyagramı

$E(m)$ ,  $m \in R(G, m_0)$  işaretleme vektöründen sonra ateşlenebilecek geçişlerin kümesini göstermektedir. Bu tanımlamalar doğrultusunda,  $D_0 := \{m \in R(G, m_0) \mid E(m) = \emptyset\}$  şeklinde ifade edilmektedir.

Petri ağında herhangi bir durumdan sonra en az bir geçişin ateşlenebilmesi için, yasaklanmış durumlarla beraber sistem çıkmazı gösteren durumlar da yasaklanmış durum olarak tanımlanmaktadır. Bu nedenle,  $F_0 = Y \cup D_0$  şeklinde yasaklanmış durumlar kümesi genişletilmektedir. Güncellenmiş ve genişletilmiş yasaklanmış durumlar kümesi

$\Gamma = \bigcup_{i=0}^x F_i$  ( $i = 1, 2, \dots$ ) şeklinde tanımlanmaktadır.  $F_i := \{m \mid \gamma(m, t) \in F_{i-1}, \forall t \in E(m)\}$

olmak üzere, eğer  $n$  herhangi bir tamsayı iken  $F_n = \emptyset$  ise, tüm  $k \geq n$ 'ler için  $F_k = \emptyset$  olarak elde edilmektedir (Aybar ve İftar, 2005). Bu bilgilerin ışığı altında, eğer  $m_0 \in \Gamma$  ise bir kontrolör tasarlanmasının mümkün olmadığı anlaşılmaktadır. Bu çalışmada,  $m_0 \notin \Gamma$  olduğu kabullenmesi altında sonuçlar sunulacaktır.

Kontrolör yaklaşımı da

$$c(m, t) := \begin{cases} 1, & \rho(m, t) \in R_D \\ 0, & \text{aksi durumlarda} \end{cases} \quad \forall t \in E(m)$$

$R_D := R(G, m_0) - \Gamma$  olarak tanımlanmaktadır.  $m$  durumunda kontrolör tarafından  $t$  geçişinin ateşlenmesine izin verildiğinde,  $c(m, t) = 1$  olmakta, aksi durumda da  $c(m, t) = 0$  olarak elde edilmektedir.

İncelenen Petri ağı için ortaya konulan merdiven diyagramında, eğer herhangi bir geçiş

için ateşleme isteği varsa ve bu ilgili geçişin ateşlenmesine izin verilmiş ise, bu istenilen geçiş ateşlenebilir. Eğer, ilgili geçişin ateşlenmesine kontrolör tarafından izin verilmiyor ise, ele alınan geçiş ateşlenmeyecek ve farklı bir geçiş ateşlenme isteği gelene kadar Petri ağı aynı durumda (işaretleme vektöründe) kalacaktır.

Burada, yukarıda tasarlanan kontrolörün ilgili Petri ağının merdiven diyagramına nasıl ilave edilebileceği açıklanacaktır. Öncelikle, gerekli bazı tanımlamalar verilecektir:

$$T_d := \{t \in T \mid c(m, t) = 0, m \in R_D\}$$

ele alınan Petri ağında ateşlenmesine izin verilmeyen geçişlerin kümesi ve

$$\beta := \{(m, t) \mid c(m, t) = 0, m \in R_D \text{ ve } t \in T\}$$

ateşlenmesine izin verilmeyen geçiş ve ilgili vektörlerden oluşan çiftleri gösteren küme tanımlanmıştır.

Kontrol bilgisini, Petri ağına ait olan merdiven diyagramına ilave etmek için,  $T_d$  kümesinin her bir elemanına karşılık gelen ilgili merdiven diyagramındaki satıra ateşlenmesini denetleyecek yeni bir bayrak eklenir;  $t \in T$  için  $M_c^t$ . Kontrol bayrakları sıfırlanarak, ilgili geçişin ateşlenmesi önlenmektedir. Ancak,  $T_d$  kümesine ait herhangi bir geçiş farklı bir işaretleme vektöründen sonra ateşlenebilmektedir. Dolayısıyla, bu kontrol bayraklarının ne zaman set edileceğini belirlenmesi gerekmektedir.

Bunun için,

$$T_e := \{t \in T \mid c(m, t) = 1, m \in R_D\}$$

ve  $m \in R_D$  için  $\psi := \{(\hat{t}, \bar{t}) \mid \rho(\rho(m, \hat{t}), \bar{t}) \in R_D, \hat{t} \in E(m), \bar{t} \in T_e \cap T_d\}$  olarak tanımlanmaktadır. Burada, hangi geçişin hangi geçişten sonra ateşlenebildiğini gösteren geçiş çiftleri elde edilmektedir.

Ulaşılabilirlik kümesi oluşturulduktan ve kontrolör tasarlandıktan sonra, aşağıda verilen, SETS olarak adlandırılan algoritma ile  $T_d, T_e$  ve  $\psi$  kümeleri oluşturulmaktadır.

**Girdi:** G ile gösterilen Petri ağına ait küme ve tanımlar ( $P, T, N, O, m_0$ ),  $R_D$  ve kontrolör.  
**Çıktı:**  $T_d, T_e$  ve  $\psi$  kümeleri.

```

SETS[G, RD, c]
Td = ∅, Te = ∅, ψ = ∅
For i = 1 to |RD|
  m̃ = [RD]i
  T = E(m̃)
  For j = 1 to |T|
    t̃ = [T]j
    If c(m̃, t̃) = 0 Then
      Td ← Td ∪ {t̃}
    Else
      Te ← Te ∪ {t̃}
  End
End
End
Tf = Td ∩ Te
For i = 1 to |RD|
  m̃ = [RD]i
  T = E(m̃)
  For j = 1 to |T|
    t̃ = [T]j
    For k = 1 to |Tf|
      t = [Tf]k
      If ρ(ρ(m, t̃), t) ∈ RD Then
        ψ ← ψ ∪ {(t̃, t)}
    End
  End
End
End

```

$T_d$  kümesinin elemanı olan geçişler için var olan merdiven diyagramının ilgili satırının girdi bölümüne seri olarak bağlanan kontrol bayraklarının set edilebilmesi için,  $\psi$  kümesinin elemanları aşağıda verildiği şekilde kullanılmaktadır (örneğin,  $(t_3, t_5) \in \psi$  ve  $(t_8, t_5) \in \psi$ ,  $t_5$  geçişi için  $t_3$  ve  $t_5$  gibi iki farklı geçişten sonra ateşlenebilmektedir).

$t \in T_d$  için;

- ❖  $t$  geçişine ait olan merdiven diyagramının ilgili satırının girdi bölümüne,  $M_c^t$  ile gösterilen kontrol bayrağı seri olarak bağlanır.

$(\hat{t}, t) \in \Psi$  için,

- ❖  $t \in T_d$  için seçilen  $M_c^t$  kontrol bayrağı,  $\hat{t}$  geçişine ait merdiven diyagramındaki satırın çıkış bölümüne,  $\hat{t}$  geçişi ateşlendikten sonra  $M_c^t$  set edilebilecek şekilde bağlanır.
- ❖ Eğer  $t \in E(m_0)$  ise,  $M_c^t$  başlangıç satırında set edilmektedir.

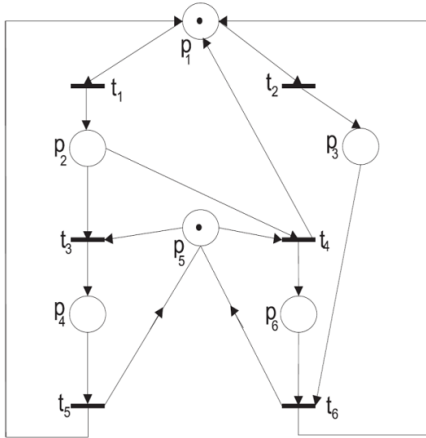
Yukarıdaki algoritma ve açıklanan adımlar, ilgili Petri ağına ait merdiven diyagramına ilave edildiğinde, kontrol edilmiş olarak adlandırılacak olan yeni bir merdiven diyagramı elde edilmektedir. Böylece, farklı amaçlar için geliştirilecek kontrolör tasarımları, merdiven diyagramı ile kolayca gerçekleştirilebilir.

#### 4. UYGULAMA

Şekil 2’de verilen Petri ağı uygulama için seçilmiştir. Öncelikle, Petri ağında, yerlerin kümesi,  $P = \{p_1, p_2, p_3, p_4, p_5, p_6\}$ , geçişlerin kümesi,  $T = \{t_1, t_2, t_3, t_4, t_5\}$ , girdi ve çıktı matrisleri ve başlangıç işaretlemesi  $m_0 = [1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0]^T$  olarak elde edilmektedir.

$$N = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad O = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Verilen Petri ağ incelendiği zaman, başlangıç koşulundan sonra  $t_2$  geçişi veya sırasıyla,  $t_1, t_4, t_1$  geçişleri ateşlendiğinde, sistem çıkmazı gösteren,  $[0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 1 \ 0]^T$  ve  $[0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1]^T$  işaretleme vektörlerine ulaşılmaktadır. Dolayısıyla ele alınan ağda tersine dönüşebilirlik ve canlılık da sağlanamamaktadır. Bu çalışmada, yasaklanan durumlar,  $F_0 = D_0 = \{[0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 1 \ 0]^T, [0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1]^T\}$  olarak belirlenmiştir. Yukarıda açıklandığı şekilde, güncellenmiş ve genişletilmiş küme  $\Gamma = F_0 = D_0$  şeklinde elde edilmektedir.



Şekil 2: Örnek Petri ağı

$m_0 \notin \Gamma$  olduğu için, kontrolör tasarlamak mümkün olmaktadır. Ayrıca burada ulaşılabilirlik kümesi;

$$R(G, m_0) = \{m_0, m_1, m_2, m_3, m_4, m_5, m_6\} = \\ \{[100010]^T, [010010]^T, [001010]^T, \\ [000100]^T, [100001]^T, [010001]^T, \\ [001001]^T \text{ ve } R_D = R(G, m_0) - \Gamma$$

olarak elde edilmektedir. Bu kümeler kullanılarak;

$$c([100010]^T, t_2) = 0, \\ c([100001]^T, t_1) = 0, \\ c(m, t) = 1, \forall t \in T$$

$m \in R(G, m_0) - \{[100010]^T, [100001]^T\}$  şeklinde elde edilmektedir.

SETS adlı algoritma kullanılarak,  $T_f = T_d = \{t_1, t_2\}$ ,  $T_e = T$ , ve  $\psi = \{(t_5, t_1), (t_6, t_1), (t_4, t_2)\}$  olarak elde edilmektedir.

$T_d$  kümesinin elemanı olan her bir geçiş için yukarıda verilen adımlar çerçevesinde,  $M_c^{t_1}$  ve  $M_c^{t_2}$  şeklinde kontrol bayrakları kullanılacaktır. Seçilen PLC (Mitsubishi)'de sırasıyla, M101 ve M102 bayrakları kullanılacaktır.

Şekil 3'de, Şekil 2'de verilen Petri ağına ait merdiven diyagramı verilmiştir. Burada, 0 ile numaralandırılmış satır, başlangıç satırını, 5 ile numaralandırılmış satır,  $m_1$  işaretlemesi ile ilgili

satırını, 20 ile numaralandırılmış satır,  $m_3$  işaretlemesi ile ilgili satırını, 35 ile numaralandırılmış satır,  $m_4$  işaretlemesi ile ilgili satırını ve 42 ile numaralandırılmış satır,  $m_6$  işaretlemesi ile ilgili satırını göstermektedir. Burada,  $m_2$  ve  $m_5$  işaretleme vektörleri, sistem çıkmazı gösteren durumlar ve bu uygulama için yasaklanmış durumlar oldukları için, kontrol edilmiş merdiven diyagramında yer almamaktadır.

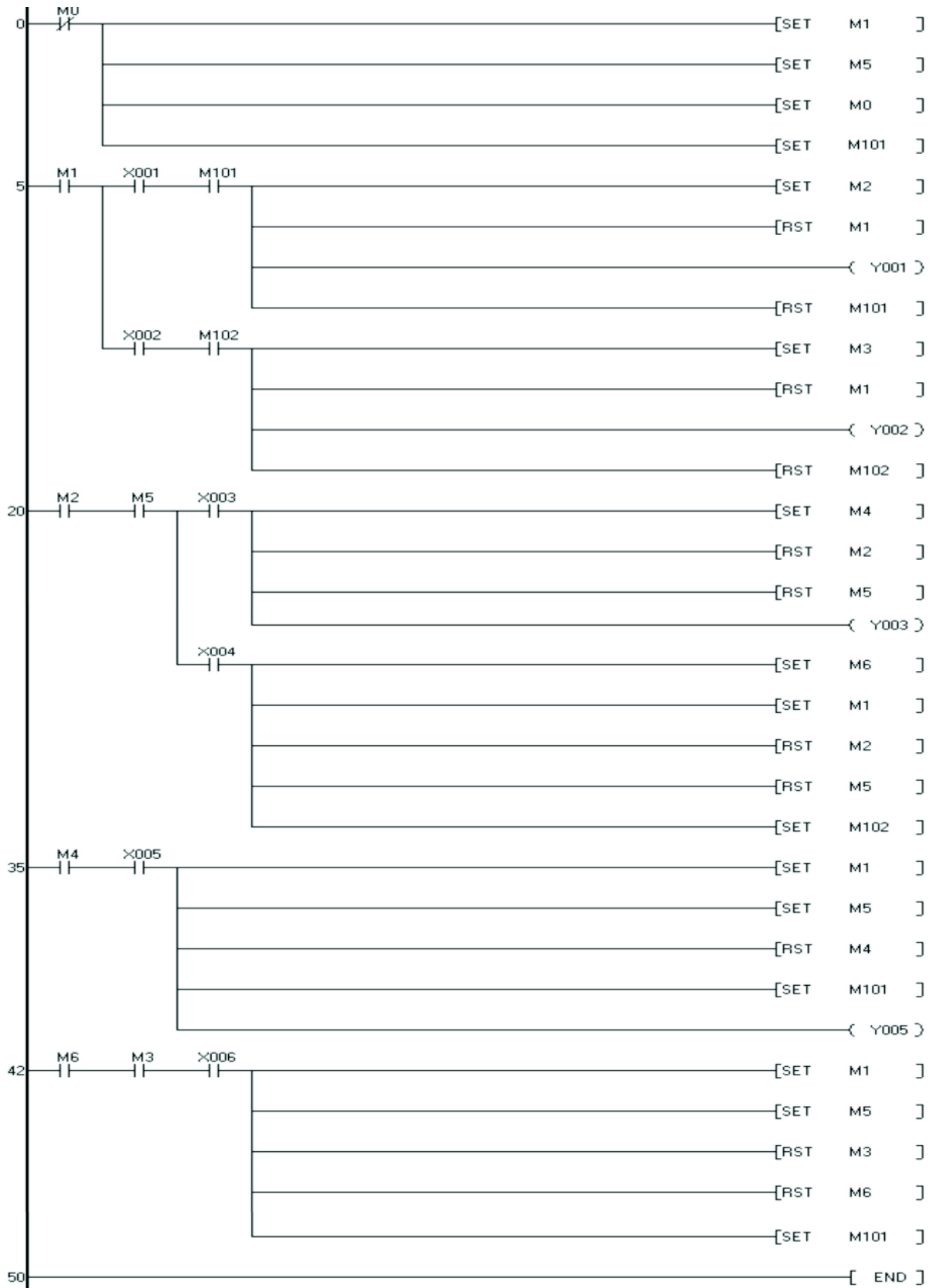
$m_0$  başlangıç işaretleme vektöründen sonra  $t_2$  geçişinin ateşlenmesine izin verilmemektedir. Bu nedenle, başlangıç satırında yalnızca M101 set edilerek,  $t_1$  geçişinin ateşlenmesine olanak sağlanmaktadır:  $\rho(m_0, t_1) = m_1 \in R_D$ . Bu işlem sırasında, M101 sıfırlanmaktadır. Bu süreç, 35.ve 42. satırlardaki bloklarda  $((t_5, t_1), (t_6, t_1) \in \psi)$  gösterilmektedir.  $t_5$  veya  $t_6$  geçişleri ateşlendikten sonra M101 yeniden set edilmektedir. Benzer şekilde,  $t_4$  geçişi ateşlendikten sonra M102 set edilerek,  $t_2$  geçişinin ateşlenmesine olanak verilmektedir.

## 5. SONUÇ

Bu çalışmada, ele alınan bir Petri ağı için, yasaklanmış durumların meydana gelmesini önleyen kontrolör tasarımının, PLC kullanılarak gerçekleştirilmesi yapılmıştır.

Merdiven diyagramı olarak ifade edilen PLC yazılımına Petri ağının durum ve ateşleme ile ilgili yapısı transfer edilmektedir. Yasaklanmış durum yaklaşımı sonunda bulunan kontrolör bilgisi, kontrol bayrakları yardımı ile merdiven diyagramına ilave edilmektedir. Böylece, kontrol edilmiş merdiven diyagramı elde edilmektedir. Ateşlemeler, bu merdiven diyagramı ile denetlendiğinden, ele alınan Petri ağında yasaklanmış durumların meydana gelmesi engellenmektedir.

PLC seçimi, yaygın ve ucuz olması açısından uygun bir denetçi olarak öne çıkmaktadır. Bunun yanı sıra, Petri ağının yer ve çıktı sayısına bağlı olarak işaretleme vektör sayısı artmaktadır. Bu bir dezavantaj olarak gözükebilmektedir. Ancak, PLC kullanımındaki kolaylık nedeniyle, gerçekleştirilmede bir problem oluşturmamaktadır.



Şekil 3: Kontrol edilmiş merdiven diyagramı

## KAYNAKLAR

- A. Aybar and A. İftar, "Overlapping Decompositions and Expansions of Petri Nets," *IEEE Transaction on Automatic Control*, vol. 47, 511–515, 2002.
- A. Aybar and A. İftar, "Decentralized Supervisory Controller Design to Avoid Deadlock in Petri Nets," *International Journal of Control*, vol. 76, 1285–1295, 2003.
- A. Aybar and A. İftar, "Centralized and Decentralized Supervisory Controller Design to Enforce Boundedness, Liveness, and Reversibility in Petri Nets," *International Journal of Control*, vol. 78, 553, 2005.
- A. Aybar and A. İftar, "Supervisory Controller Design to Enforce Some Basic Properties in Timed-Transition Petri Nets Using Stretching," *Nonlinear Analysis: Hybrid Systems*, 6, 712-729, 2012.
- A. Giua and F. DiCesare, "Blocking and Controllability of Petri Nets in Supervisory control," *IEEE Transactions on Automatic Control*, Vol. 39, 818–823, 1994.
- A. H. Jones, M.Uzam, A.H. Khan, D.Karimzadgan, and S.B. Kenway, "A General Methodology for Converting Petri Nets in to Ladder Logic The Tpll Methodology," in *Proceedings of the 5th International Conference on Computer Integrated Manufacturing and Automation Technology*, France, 1996, 357–362.
- A. H. Jones, M.Uzam, and N.AJlouni, "Design of Discrete Event Control Systems for Programmable Logic Controller using T-Timed Petri Nets," in *Proceedings of The 1996 IEEE International Symposium on Computer-Aided Control System Design*, Dearborn, 1996, 212–217.
- A.R. Wang, Z.W. Li, and J.Y. Jia, "A Petri Nets Based Deadlock Avoidance Policy For flexible Manufacturing Systems," in *Proceedings of The 30th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*, Busan, Korea, 2004, 1896–1901.
- C. G. Cassandras and S. Lafortune, *Introduction to Discrete Event Systems*, Kluwer Academic, Norwell, MA, 1999.
- E. Aybar, and A. Aybar, "A Simulation Algorithm for Real Systems using Petri Nets," *Wseas Transaction on Systems*, Vol. 6, 1324 – 1328, 2007.
- H. A. Özkan, and A. Aybar, "A reversibility Enforcement Approach for Petri Nets using Invariants," *Wseas Transaction on Systems*, vol. 7, 672–681, 2008.
- T. Mikulczynski, Z. Samsonowicz, and R. Wieclawek, "Using The Net Transformation Method to Program Programmable Logic Controllers," *Control Engineering Practice*, vol. 6, 989–996, 1998.
- K. Venkatesh, M. Zhou, and R. J. Caudill, "Comparing Ladder Logic Diagrams and Petri Nets for Sequence Controller Design Through A Discrete Manufacturing System," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 41, 611–619, 1994.
- M. V. Moreira, D. S Botelho, and J. C. Basilio, "Ladder Diagram Implementation of Control Interpreted Petri Nets: A State Equation Approach" in *Proceedings of The IFAC Conferences on Discrete-Event System Design*, Spain, 2009, 85–90.
- P. J. G. Ramadge and W. M. Wonham, "The Control of Discrete Event Systems," *Proceeding of IEEE*, Vol. 77, 81 – 98, 1989.
- PLC *Module 1-2: Student Guide*, E & L Intruments Ltd. Wrexham, U.K., 2001.
- R.S. Sreenivas, "On The Existence of Supervisory Policies That Enforce Liveness in Discrete-Event Dynamic Systems Modelled by Controlled Petri Nets," *IEEE Transactions on Automatic Control*, vol. 42, 928–945, 1997.
- T. Murata, "Petri Nets: Properties, Analysis and Applications", *Proceeding of IEEE*, vol. 77, 541 – 580, 1989.
- Y. Ho (Ed.), *Discrete Event Dynamic Systems: Analyzing Complexity and Performance in The Modern World*, A Selected Reprint Volume, The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., New York, 1992.