

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTRİKLİ ULAŞIM SİSTEMLERİNDE SİNYALİZASYON

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Berkin BİROL**

Anabilim Dalı : Kontrol ve Otomasyon Mühendisliği

Programı : Kontrol ve Otomasyon Mühendisliği

HAZİRAN 2010

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTRİKLİ ULAŞIM SİSTEMLERİNDE SİNYALİZASYON

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Berkin BİROL
(504071131)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 07 Mayıs 2010
Tezin Savunulduğu Tarih : 10 Haziran 2010**

**Tez Danışmanı : Doç. Dr. M. Turan Söylemez (İTÜ)
Diğer Jüri Üyeleri : Doç. Dr. Salman Kurtulan (İTÜ)
Yrd. Doç. Dr. D. Turgay Altılar (İTÜ)**

HAZİRAN 2010

ÖNSÖZ

Bu tez çalışması, TÜBİTAK 108G185 ve 108G186 kodlu Ulusal Demiryolu Sinyalizasyon Projesi kapsamında geliştirilmiştir. Bu çalışması sırasında, yoğun programında bana zaman ayırıp yardımcı olan, yol gösteren tez danışmanım Sayın Doç. Dr. Mehmet Turan SÖYLEMEZ'e, M. Seçkin DURMUŞ ile Erhan AKGÖK'e ve yüksek öğrenimim boyunca beni destekleyen aileme teşekkürü bir borç bilirim.

Haziran 2010

Berkin Birol
(Kontrol Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖNSÖZ.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	v
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı.....	1
2. RAYLI ULAŞIM SİSTEMLERİ.....	3
2.1 Giriş	3
2.2 Raylı Ulaşım Sistemlerinin Tarihçesi.....	3
2.2.1 Demiryolunun doğuşu	3
2.2.2 Demiryollarındaki gelişme.....	4
2.3 Raylı Ulaşım Sistemlerinde Sinyalizasyon	5
2.3.1 Giriş	5
2.3.2 Raylı ulaşım sistemlerinde sinyalizasyonun tarihçesi	5
2.3.3 Sinyalizasyon sisteminin temel öğeleri	7
2.3.3.1 Ray devreleri (Tren algılama)	7
İzole cebireli ray devreleri	7
Kodlu ray devreleri	7
Aks sayıcılı ray devreleri	8
Hareketli blok (moving block) ray devreleri	9
2.3.3.2 Sinyaller	9
2.3.3.3 Makaslar	11
Makasların sınıflandırılması	12
Yönlerine göre makaslar	12
Yapılarına ve gördükleri işe göre makaslar	13
Makas sistemleri	14
2.3.3.4 Trenüstü (On-board) ekipmanları	16
2.3.3.5 Merkezi anklaşman (interlocking)	16
2.4 Sinyalizasyon Sistemleri.....	18
2.4.1 Sabit blok manuel sürüş sinyalizasyon sistemi	18
2.4.2 Sabit blok otomatik sürüş sinyalizasyon sistemi.....	19
2.4.3 Hareketli (Moving) blok otomatik sürüş	19
3. PETRİ AĞLARI	21
3.1 Giriş	21
3.2 Basit Petri Ağları	22
3.2.1 Basit bir Petri ağının tetiklenmesi	24
3.2.2 Basit Petri ağlarının özellikleri.....	25
3.2.3 Petri ağlarının analizi.....	26
3.3 Genişletilmiş Petri Ağları	27
3.3.1 Ağırlıklı oklu Petri ağı.....	27
3.3.2 Yasaklama oklu Petri ağı	29
3.3.3 Yetkileme oklu Petri ağı	31

3.3.4 Sonlu kapasiteli Petri ağı.....	33
3.3.5 Zamanlı Petri ağı.....	36
3.4 Temel Tasarım Modülleri.....	36
3.4.1 Ardışıklık.....	37
3.4.2 Aynı zamanlılık ve senkronizasyon	37
3.4.3 İkilem	37
3.4.4 Tampon (buffer).....	38
3.5 Otomasyon Petri Ağları.....	38
3.6 Petri Ağlarının Merdiven Diyagramına Dönüştürülmesi	41
4. ÖRNEK BİR DEMİRYOLU BÖLGESİNİN PETRİ AĞLARI İLE SİNYALİZASYONU	43
4.1 Giriş.....	43
4.2 Sinyalizasyonu Yapılan Demiryolu Bölgesinin Tanıtılması	43
4.3 Programın Tasarımı.....	44
4.3.1 Rezervasyon bloğu	45
4.3.2 Makaslar bloğu	46
4.3.3 Sinyaller bloğu	47
4.3.4 Genel geçer kurallar bloğu	48
4.4 Diğer Bloklar İle Haberleşme	49
5. ÖRNEK BİR DEMİRYOLU BÖLGESİNİN ANKLAŞMAN TABLOSU YARDIMIYLA PETRİ AĞLARI KULLANILARAK SİNYALİZASYONU	51
5.1 Giriş.....	51
5.2 Sinyalizasyonu Yapılan Demiryolu Bölgesinin Tanıtılması	51
5.3 Algoritmanın Tasarımı	54
5.3.1 Cevaplama bloğu	54
5.3.2 Rezervasyon bloğu	55
5.3.3 Makaslar bloğu	57
5.3.4 Sinyaller bloğu	58
5.3.5 Genel geçer kurallar bloğu	61
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	63
6.1 Çalışmanın Uygulama Alanı	64
6.2 İleri Çalışmalar	64
KAYNAKLAR	65

KISALTMALAR

AOS	: Ayrık Olay Sistemi
APN	: Automation Petri Net (Otomasyon Petri Ağı)
ATC	: Automatic Train Control (Otomatik Tren Kontrolü)
ATP	: Automatic Train Protection (Otomatik Tren Koruma)
CBTC	: Communication Based Train Control (İletişim Bazlı Tren Kontrolü)
CENELEC	: European Committee for Electrotechnical Standardization (Avrupa Elektroteknik Standartlar Enstitüsü)
DECS	: Discrete Event Control System (Ayrık Olay Kontrol Sistemi)
DEDS	: Discrete Event Dynamic System (Ayrık Olay Dinamik Sistemi)
DES	: Discrete Event Systems (Ayrık Olay Sistemi)
DIS	: Driver Information System (Makinist Bilgilendirme Sistemi)
GPS	: Global Positioning System (Küresel Konumlandırma Sistemi)
GSM-r	: Global System For Mobile Communications – Railroad (Mobil İletişim İçin Küresel Sistem - Demiryolları)
HT	: Headway Time (Dizi Aralığı Zamanı)
IEEE	: The Institute of Electrical and Electronics Engineers (Elektrik ve Elektronik mühendisleri Enstitüsü)
PLC	: Programmable Logic Controller (Programlanabilir Lojik Kontrolör)
RAMS	: Reliability, Availability, Maintainability and Safety
SIL	: Safety Integrity Level (Emniyet Bütünlüğü Seviyesi)
TCDD	: Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları
TGV	: Train à grande vitesse (Yüksek Hızlı Tren)
TKM	: Trafik Kumanda Merkezi
TPL	: Token Passing Logic (Jeton Aktarma Mantığı)
TS	: Türk Standardı
TSE	: Türk Standartları Enstitüsü

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 4.1 : Ray devresi/sembol atamaları.	44
Çizelge 4.2 : Tasarımda ele alınan 4 yol.	44
Çizelge 4.3 : Yol 1 için sinyallerin rezervasyonlara göre durumları.	48
Çizelge 4.4 : Yol 2 için sinyallerin rezervasyonlara göre durumları.	48
Çizelge 5.1 : Anlaşman tablosu, Yol 1 - Yol 8.	52
Çizelge 5.2 : Anlaşman tablosu, Yol 9 - Yol 20	53

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1	: 3 raylı tren hattı ve tren (Berkmen, 1963).....	4
Şekil 2.2	: Basit bir ses frekanslı ray devresi örneği.	8
Şekil 2.3	: Aks sayıcı örnekleri (Söyler ve Açıkbaş, 2005).....	9
Şekil 2.4	: Üç durumlu bir bölgede sinyal düzeni (Hall, 2001).	11
Şekil 2.5	: Basit bir makas sinyalizasyonu uygulaması.	11
Şekil 2.6	: Simetrik makas.	13
Şekil 2.7	: Birleşik makas.	13
Şekil 2.8	: Yarım İngiliz makası.	14
Şekil 2.9	: Tam İngiliz makası (Url-4).	14
Şekil 2.10	: Kruvazman.	15
Şekil 2.11	: S makas.	15
Şekil 2.12	: Kutrani.	15
Şekil 2.13	: Feltham Trafik Kumanda Merkezi (Hall, 2001).	18
Şekil 3.1	: Basit bir Petri ağı.	23
Şekil 3.2	: Basit bir Petri ağında: (a) ilk işaretleme. (b) t_1 'in tetiklenmesinden sonraki işaretleme. (c) t_2 'nin tetiklenmesinden sonraki işaretleme.	24
Şekil 3.3	: (a) Bir Petri ağı. (b) Erişim ağacı (c) Erişim grafiği.....	27
Şekil 3.4	: (a) Bir ağırlıklı oklu Petri ağı (b) Ağırlıkları gösteren oklar torbasıyla eşdeğer Petri ağları. (c) Ağırlıklı okları gösteren sıradan Petri ağı.	28
Şekil 3.5	: Bir ağırlıklı oklu Petri ağı. (a) Açık değil. (b) Açık değil. (c) (Açık) tetiklemeden önce. (d) Tetiklemeden sonra.	29
Şekil 3.6	: Yasaklama oklu bir Petri ağı: (a) t_1 geçişi açık değil. (b) Açık değil. (c) (Açık) tetiklemeden önce. (d) Tetiklemeden sonra.	30
Şekil 3.7	: Bir ağırlıklı yasaklama ok Petri ağı : (a) t_1 geçişi açık değil. (b) Açık değil. (c) (Açık) tetiklemeden önce. (d) Tetiklemeden sonra.	31
Şekil 3.8	: Yetkileme oklu bir Petri ağı: (a) t_1 geçişi açık değil. (b) Açık değil. (c) (Açık) tetiklemeden önce. (d) Tetiklemeden sonra.	32
Şekil 3.9	: (a) Yetkileme oklu bir Petri ağı. (b) Eşdeğeri. (c) İkilem yokken. yetkileme oklu bir Petri ağı. (d) İkilem varken, sıradan bir Petri ağı.	32
Şekil 3.10	: Bir ağırlıklı yetkileme oklu Petri ağı: (a) t_1 geçişi açık değil. (b) Açık değil. (c) (Açık) tetiklemeden önce. (d) Tetiklemeden sonra.	33
Şekil 3.11	: Sonlu kapasiteli bir Petri ağı : (a) İlk işaretleme (t_1 açıktır). (b) t_1 'in tetiklenmesinden sonraki işaretleme (t_1 ve t_2 açıktır). (c) t_1 'in tetiklenmesinden sonraki işaretleme (sadece t_2 açıktır)...	34
Şekil 3.12	: İki yerle gösterilen sonlu kapasiteli bir yer. (a) İlk işaretleme (t_1 açık). (b) t_1 'in tetiklenmesinden sonraki işaretleme (t_1 ve t_2 açık). (c) t_1 'in tetiklenmesinden sonraki işaretleme (sadece t_2 açıktır).	35
Şekil 3.13	: Ağırlıklı yasaklama okuyla sonlu kapasiteli bir yer gösterimi (a) İlk işaretleme (t_1 açık). (b) t_1 'in tetiklenmesinden sonraki işaretleme (t_1 ve t_2 açık). (c) t_1 'in tetiklenmesinden sonraki işaretleme (t_2 açık)..	35
Şekil 3.14	: Zamanlı geçiş Petri ağının tetiklenmesi.	36

Şekil 3.15 : (a) Ardışıklık (b) İkilem (c) Aynı zamanlılık (d) Senkronizasyon.	37
Şekil 3.16 : (a). Bir imalat sisteminde tampon. (b) İki yerle oluşturulmuş tampon modeli. (c) Bir yer ve bir ağırlıklı yasaklama okuyla oluşturulmuş tampon modeli.....	38
Şekil 3.17 : Otomasyon Petri ağı (APN).....	39
Şekil 3.18 : (a) Basit bir Petri ağı. (b) Basit bir Petri ağının merdiven diyagramı. ..	41
Şekil 3.19 : (a) Yasaklama oklu bir Petri ağı. (b) Yasaklama oklu bir Petri ağının merdiven diyagramı.....	42
Şekil 3.20 : (a) Yetkileme oklu bir Petri ağı. (b) Yetkileme oklu bir Petri ağının merdiven diyagramı.....	42
Şekil 4.1 : Sinyalizasyonu yapılan demiryolu bölgesi.	43
Şekil 4.2 : Rezervasyon bloğunu oluşturmak için üretilen PA.....	46
Şekil 4.3 : Makas bloğunu oluşturmak için üretilen PA.	47
Şekil 5.1 : Sinyalizasyonu yapılan demiryolu bölgesi.	52
Şekil 5.2 : Cevaplama bloğu PA.....	55
Şekil 5.3 : Rezervasyon bloğu PA.	56
Şekil 5.4 : Makaslar bloğu PA.	57
Şekil 5.5 : 3'lü yüksek sinyal için PA (Biol ve Söylemez, 2010).	59
Şekil 5.6 : 4'lü yüksek sinyal için PA (Biol ve Söylemez, 2010).	59
Şekil 5.7 : 3'lü cüce sinyal için PA.....	60

ELEKTRİKLİ ULAŞIM SİSTEMLERİNDE SİNYALİZASYON

ÖZET

Gelişmekte olan toplumlarda, artan nüfusun ulaşım ihtiyaçlarını etkin ve hızlı bir şekilde karşılamak için toplu taşımaya yönelmek gereklidir. Raylı sistemler, gereken hız ve kapasitede yolcu taşınmasını ekonomik olarak gerçekleştirebildiklerinden, toplu taşımada öne çıkmaktadırlar. Dakik, hızlı, güvenli ve ekonomik bir yolcu taşıma için, sinyalizasyon büyük önem taşımaktadır. Gerek şehir içi hatlarda tramvay, hafif metro, metro, banliyö trenleri olsun, gerek şehirlerarası yolcu/yük taşıma tren hatları olsun, sinyalizasyonun önemi büyüktür. Her şeyden önce, güvenli bir taşıma yapabilmek, kazaların önüne geçmek için doğru bir şekilde sinyalizasyon gerçekleştirmek gereklidir.

Demiryollarında sinyalizasyon sistemleri gerçekleştirirken, demiryolu Ayırık Olay Sistemi (AOS) olarak modellenerek tasarım gerçekleştirilir. Ayırık olay sistemlerinde tasarım otomatlar aracılığı ile gerçekleştirilebileceği gibi, Petri Ağları ile bir modellemeye de gidilebilir. Petri ağları ile tasarım, hem görsel açıdan getirdiği kolaylıklar hem de sunduğu analiz teknikleri ile bir sistemin incelenmesini kolaylaştırmaktadır. Petri ağında olayların jetonlar ile tetiklenmesi, sistemin dinamik davranışı ile statik yapısının beraber tek bir şekil üzerinden incelenmesine olanak sağladığından bu tez çalışmasında tercih edilmiştir.

Bu tez çalışmasında, örnek bir demiryolu bölgesi için uygulanacak sinyalizasyon sistemi, Petri ağları kullanılarak iki farklı algoritma ile modellenmiştir. Petri ağı ile oluşturulan modeller Token Passing Logic (TPL) yöntemi yardımıyla merdiven diyagramına dönüştürülmüşler ve PLC üzerinde programlama gerçekleştirilmiştir. İki farklı tasarım yöntemi karşılaştırılıp, avantajları ve dezavantajları irdelenmiştir.

SIGNALLING ON ELECTRICAL TRANSPORTATION SYSTEMS

SUMMARY

In developing communities, public transportation must be used to satisfy transportation needs of growing population effectively and fastly. Railroad systems come forward with their capabilities of transporting people in required speed and capacity. Signalization has a great importance both for railroads in cities such as tramway, light metro, metro, or banlieue trains and mainline transportation. First and foremost, a correct signalization must be achieved so as to provide a safe transportation and avoid accidents.

Railroads are modeled as Discrete Event Systems (DES) and implemented as such when realizing railway-signaling systems. Design can be done using automats, or Petri Nets. Design with Petri Nets simplifies the examination of a system due to its visual easiness and the analysis techniques it provide. In Petri Nets, triggering an event with tokens enables to analyze both dynamic and static behaviors of the system on one graph.. In this thesis, two different signalling system algorithms has been modelled using Petri Nets for a sample railroad region. Models generated by Petri Nets have been transformed to Ladder Diagrams using Token Passing Logic (TPL) and programmed on a PLC. Advantages and disadvantages of these two algorithms have been discussed.

1. GİRİŞ

Toplumlarda yaşam kalitesini yükseltmek ve çok sayıda bireyin ulaşımını güvenli ve etkin bir biçimde sağlamak için raylı toplu taşıma son derece büyük bir önem taşımaktadır. Bu tez çalışmasında örnek bir demiryolu bölgesi için Petri Ağları ile iki farklı tasarım gerçekleştirilip, iki tasarım karşılaştırılmış ve güvenli bir sinyalizasyon sistem tasarımına yönelik sistematik bir yaklaşım sağlanmaya çalışılmıştır.

1.1 Tezin Amacı

Bu tezin amacı, belirli bir demiryolu bölgesi için Trafik Kumanda Merkezi (TKM)'den gelen yol rezervasyon isteklerini değerlendirip, uygun bulunması durumunda bu demiryolu bölgesindeki tüm makas konumları ve sinyal durumlarını güvenli bir seyahat sağlayacak durumlara alacak anlaşılan algoritmalarını Petri ağları ile tasarlamak, oluşturulan bu algoritmaları karşılaştırmak ve PLC üzerinde gerçekleştirmektir.

2. RAYLI ULAŞIM SİSTEMLERİ

2.1 Giriş

Büyük şehirlerde, özellikle nüfus artışıyla beraber çok sayıda insanı güvenli, hızlı ve dakik bir şekilde taşıma ihtiyacı doğmuştur. Dünyanın birçok gelişmiş ülkesinde raylı toplu taşımaya önceden beri önem verilmiş ve büyük şehirler demiryolları ile örülmüşlerdir. Örneğin Fransa ilk demiryolu hattını 1826 yılında Saint - Etienne – Lyon hattıyla kurmuştur ve demiryolu şebekesi büyük bir hızla gelişmiştir. Bu nedenle 1934 senesine gelindiğinde toplam 42500 km’lik bir demiryolu ağına sahip olmuşlardır (Leduc, 1970). Demiryolu tarifine uyan ilk tesis ise, 6 Ekim 1829 yılında hizmete girmiş olan Liverpool – Manchester demiryoludur (Berkmen, 1963). Ülkemizde demiryolları Cumhuriyet öncesi Osmanlı İmparatorluğu zamanında yabancı şirketler tarafından yapılmaya başlanmış olup, bu zamanda 8619 km’lik demiryolu döşenmiştir. Ancak, Savaş sonrası bu demiryollarının ancak 4000km kadarı Türkiye Cumhuriyeti sınırları içinde kalmıştır. Cumhuriyetin ilk yıllarında büyük bir atılım ile demiryolları 1940 yılına kadar 8637 km’ye ulaşmıştır. İkinci dünya savaşı yılları ve savaş sonrası yıllarda gereken önemin verilmemesi nedeniyle günümüze kadar pek bir artış gerçekleşmeyip, 90’lı yıllarla beraber artan nüfus ve trafik sorunu nedeniyle raylı toplu taşımaya verilen önemin artması ile imkanlar dahilinde demiryolları yapılmıştır. Ülke genelinde 10984 km’lik hat bulunmaktadır (Url-1).

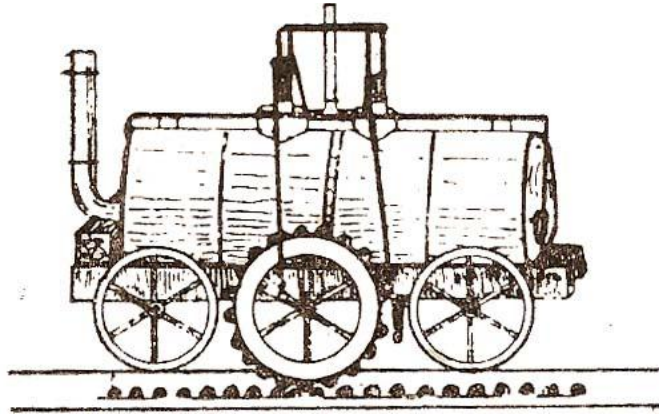
2.2 Raylı Ulaşım Sistemlerinin Tarihçesi

2.2.1 Demiryolunun doğuşu

Demiryollarının doğuşu, makine ile çalışan arabaların yol ile buluştuğu zamana dayanır. Mısırlılar, Yunanlar, Romalılar zamanında yollarda taşlardan iki sıra dal oluşturulmuştur. Onbeşinci yüzyıla geldiği zaman ise, maden ocaklarındaki ağır yüklerin taşınması için, iki paralel sıra halinde ağaç kullanılmaktaydı. Yıllar içinde demirin ucuzlayıp, ahşabın fiyatının yükselmesi ile zamanla ahşapların yerini metal

Çubuklar aldı ve bunlara “ray” ismi verildi. 1820 senesine gelindiğinde ise demirin işlemden geçirilerek istenilen şekilde elik çubuk üretimi mümkün olunca, bugünkü profilde ekil raylar üretilmeye başlanmıştır (Berkmen, 1963).

İlk zamanlarda üretilen lokomotiflerin, pürüssüz ray üzerinde hareket için yeterli sürtünmeyi sağlayamayacağı düşünölüp, tırtıklı yüzeye sahip tekerlekler kullanılmıştır. 1811 yılında Blenkinsop isimli mühendisin tercih ettiğı teknik de, trenin ilerlediğı raya ilaveten üçüncü bir sıra, dişli ray hattı döşeyip, trenin bu dişli ray ile teması ile ilerlemesini sağlamıştır. Şekil 2.1’de bu tarz bir tren çizimi gösterilmektedir (Berkmen, 1963). 1813 yılına gelindiğinde ise Blackett adındaki bir mühendis, ray ile tekerlek arasındaki sürtünmenin yalnız lokomotifi hareket ettirmeye değil, hatta arkasında bulunan bir miktar yüklü vagonu da harekete geçirebileceğini görerek, pürüssüz bir ray üzerinde başka bir düzenek kullanmaksızın ilerlemeyi başarmıştır (Berkmen, 1963).



Şekil 2.1 : 3 raylı tren hattı ve tren (Berkmen, 1963).

Demiryolculuğunun başlangıcı için hangi tarihi vermek gerekir sorusuna yanıt bulabilmek için, öncelikle demiryolunun tarifini yapmak gerekir. Çoğunlukla kabul gören tarif Kisch – Giese tarafından verilendir. Bu tarifte demiryolları madeni bir yol üzerinde mekanik kuvvet tarafından çekilen araçlar içinde insan ver eşya taşınmasına olanak veren yapı şeklinde anlatılır. Bu tarife uyan ilk tesis 6 Ekim 1829 tarihinde işletmeye alınmış olan Liverpool – Manchester demiryolu hattıdır, bu nedenle demiryolculuğunun başlangıcı olarak bu tarih kabul görür (Berkmen, 1963).

2.2.2 Demiryollarındaki gelişme

On beşinci yüzyılda nakliyat 2 – 2,5 km/h ile yapılmakta iken demiryollarının yaygınlaşmasıyla 1830’lara gelindiğinde 20 km/h, 1860’ta 40 km/h, 1913’te 60 km/h

ve 1939 yılında 85 km/h hızlarına ulaşılmıştır (Berkmen, 1963). Günümüzde ise Fransa'nın yüksek hızlı treni olan Train à grande vitesse (TGV) ulaştığı maksimum hız olan 574,8 km/h ile saatte 600 km/h sürata yaklaşmıştır (Url-2).

2.3 Raylı Ulaşım Sistemlerinde Sinyalizasyon

2.3.1 Giriş

Raylı ulaşım sistemlerinde, hareket halindeki araçların belirli bir yolu izlemek zorunda olmalarından dolayı, araçların yönlendirilmesi sinyalizasyon ile yapılır. Doğru bir sinyalizasyon ile hem güvenli bir taşıma sağlanıp yolculuk süreleri kısaltılırken, işletim maliyetleri de düşer.

Bu bölümde ilk olarak sinyalizasyon sistemlerinin tarihine bir göz atılacak, sonrasında günümüzde kullanılan sinyalizasyon sistemleri ve bu sistemleri oluşturan temel bileşenler hakkında bilgilendirme yapılacaktır ve birbirlerine karşı olan avantajları ve dezavantajları anlatılacaktır.

2.3.2 Raylı ulaşım sistemlerinde sinyalizasyonun tarihçesi

Demiryolu kullanımının ilk yıllarında kaza veya başka problemler için önlem almak lüzumsuz gözüktü, demiryolu sadece hızlı bir ulaşım aracı olarak görülüyordu. Trenlerin hızları günümüze göre çok düşüktü bu yüzden kontrolü daha kolay gerçekleştiriliyordu. Tren hızlarının görüş mesafesi içinde durmaya yetecek kadar düşük olması nedeniyle, tren hat boyunca ilerlerken öndeki yolun boş olduğu kabul edilip, önde tren olmadığı varsayılıyordu. Bunun yanında hat ve kavşak sayısı az olmakla beraber, tren katarları da az sayıda araçtan oluşmaktaydı (Söyler ve Açıkbaş, 2005).

Ancak gerçekleşen kazalar ve karşılaşılan problemler nedeniyle ilk aşamada el veya bayrakla işaret veren görevliler hat üzerinde görevlendirilip, tren yönlendirmeleri bu şekilde yapılmaya çalışılmıştır. Trenlerin hız ve ağırlıklarının artıp, katarların vagon sayılarının da artması sebebiyle trenlerin görüş mesafesi içinde durdurulması veya emniyetli bir şekilde yol alması problem olmaya başlamıştır. Bu nedenle tehlike arz eden bölgelerden önce işaretlerin tekrar edilmesi uygulamasına gidilmiştir. Buna ek olarak, işaret ve flamaların uzak mesafelerden görülememeleri tren hareketlerini

kısıtladığından, işaretçilerin arttırılması ihtiyacı ortaya çıkmıştır (Söyler ve Açıkbaş, 2005).

1840'lı yıllara gelindiğinde, hız, ekonomi ve emniyet sağlaması amacı ile zaman aralığı uygulamasına geçilmiştir. Buna göre trenler için belirli zaman çizelgeleri oluşturulup bu süreler içinde varış noktalarına ulaşmaları beklenmiştir. Ancak bu yöntemde de, trenlerin diğer trenlerin hareketlerinden haberleri olmamaktaydı (Söyler ve Açıkbaş, 2005).

Bu eksikliğin farkedilmesi ile, zaman aralığı yerine mesafe aralık yöntemine geçilmiştir. Bu yöntemde, ray hattı belirli bloklara ayrılmış ve bu blokların girişlerine işaretler yerleştirilmiştir. Bu işaretler sayesinde yol alan makinistler girmek istedikleri bloğun meşgul ya da müsait olup olmadığını anlayabiliyorlardı (Söyler ve Açıkbaş, 2005).

Mesafe aralık yönteminin kullanılması sabit hat sinyallerinin keşfine yol açmıştır. Telgrafın icat edilmesiyle beraber, zil ve telgraf birarada kullanılıp sinyal operatorlerine bir sonraki bloğa kendi bloklarının durumunu iletme ve tren hareketlerini yönlendirme olanağı sağlamıştır. Bir önceki sinyal operatoru bir sonraki operatörden müade istiyor ve operator devreye yol verdikten sonra müadeyi veren operator kendi istasyonunda bulunan sinyal devresini çalıştırabiliyordu (Söyler ve Açıkbaş, 2005).

1900'lü yıllara gelindiğinde, trenler arasını belirli miktarda mesafelendirme düşüncesi; kontrol operatorleri tarafından elle çalıştırılan blok sistemi, kontrollü elle çalıştırılan blok sistemi, yarı otomatik blok sistemi, otomatik blok sistemi, mekanik blok sistemi gibi değişik sistemlerle gelişmeye devam etmiştir (Söyler ve Açıkbaş, 2005).

Ülkemizde ilk sinyalizasyon uygulamaları ise, Sirkeci – Halkalı banliyö hattının 1955 yılında kurulumu ile başlamış ve Ankara – Haydarpaşa hattının 1968'de sinyalizasyonu ile devam etmiştir. Şu anda yaklaşık 9000 km olan ana hattın %20-25'i sinyalizasyonludur (Söyler ve Açıkbaş, 2005).

Günümüzde ise sinyalizasyon sistemleri o kadar gelişmiştir ki, trenler otomatik olarak makinistlere ihtiyaç duymadan sürülebilir hale gelmişlerdir (Söyler ve Açıkbaş, 2005).

2.3.3 Sinyalizasyon sisteminin temel ögeleri

Sinyalizasyon sistemi temel olarak 2 öğeden oluşur.

- 1- Saha Ekipmanları: Ray devreleri, Otomatik Makaslar, Sinyal lambaları, Trenle haberleşme ekipmanları
- 2- Merkezi yazılım ve interlocking (Anklaşman)

2.3.3.1 Ray devreleri (Tren algılama)

Tren yerlerinin belirlenmesinde kullanılan bu ekipmanlar izole cebireli, kodlu, aks sayıcı ve hareketli ray devreleri olmak üzere, 4 şekilde olabilmektedir.

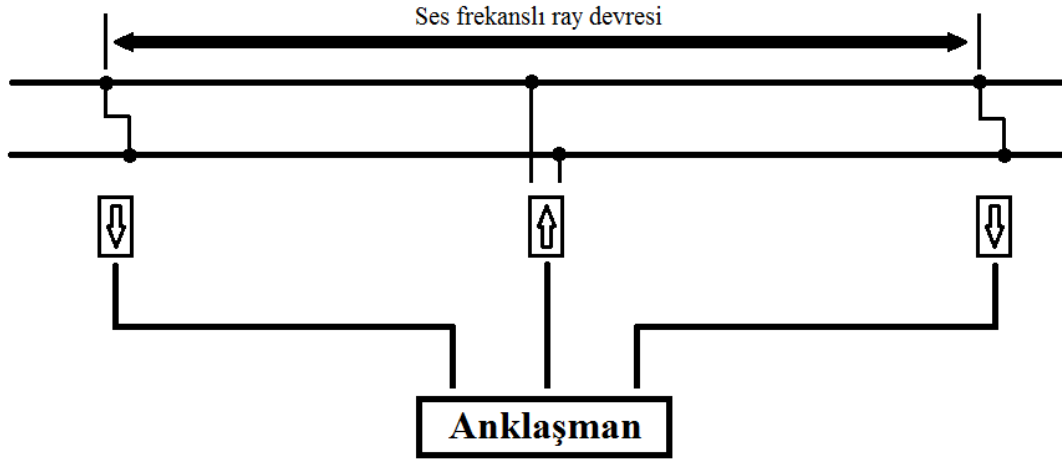
İzole cebireli ray devreleri

Izole cebireler ile birbirinden elektriksel olarak ayrılmış ray bölgelerine uygulanan gerilimin kontrol edilmesi ile bölgede tren olup olmadığı kontrol edilir. Ray hattı izole cebire ile belirli bölgelere ayrılıp daha sonrasında bu bölgelerin herhangi bir tarafından besleme gerilimi verilir. Ray bölgesinin diğer tarafından da gerilim kontrol edildiğinde izole edilmiş bölgeden uygulanan gerilime diğer bölgeden bir geri dönüş alınıyorsa bölgede tren yoktur. Bir ray bölgesine giren tren, iki ray arasını kısa devre eder. Bu durumda rayaya uygulanan gerilimden geri dönüş olmayacağı için bölgede tren bulunduğu anlaşılır. Bu yapı hata emniyetli bir çalışma şekline sahiptir, yani gerilim varken tren yok, gerilim yoksa tren var kabul edilir. Bu sayede, bir şekilde gerçekleşecek olan arızanın (kablo kopması, algılayıcı hatası) sonucunda bölgede tren olduğu varsayılır ve sistem emniyetli duruma geçer, kazalar önlenir. Özellikle eski tip sistemlerin tamamında izole cebireli ray devreleri kullanılmıştır. İstanbul LRT hattı, İzmir Metrosu ve TCDD banliyö ve şehirlerarası hatlarında izole cebireli ray devreleri kullanılmaktadır (Söyler ve Açıkbaş, 2005).

Kodlu ray devreleri

Kodlu ray devrelerinde ray bölgeleri arasında kapasitif ayırıcılar kullanılır, bu nedenle rayların izole cebire ile ayrılmasına gerek yoktur. Ray bölgesinin bir ucundan verici ile rayaya uygulanan ses frekansı, ray bölgesinin diğer ucundan bir alıcı vasıtası ile ölçülür. Şekil 2.2’de basit bir ses frekanslı ray devresi örneği görülmektedir (Söyler ve Açıkbaş, 2005). Eğer frekansta bir sapma varsa, fail-safe mantığı ile bölgede tren olduğu varsayılır ve blok kilitlenir. Son yıllarda inşa edilmiş

olan sabit bloklı sistemlerde genelde kodlu ray devreleri kullanılmaktadır. Özellikle düşük zaman aralıklı, kısa mesafelerde aracın algılanmasını gerektiren sistemlerde kullanılması avantajlıdır. Bunun yanında rayın kesintisiz olması yolculuk konforunu arttırdığı gibi, bakım maliyetlerini de düşürür. Son yıllarda işletmeye açılan Ankaray raylı sistemleri ve Taksim – 4. Levent İstanbul Metrosu kodlu ray devresi kullanılmaktadır (Söyler ve Açıkbaş, 2005).



Şekil 2.2 : Basit bir ses frekanslı ray devresi örneği.

Aks sayıcılı ray devreleri

Ray bölgesine giren ve çıkan aks sayılarını karşılaştırarak trenin bölgede olup olmadığını anlayan ray devreleridir. Eğer bölgeye giren aks sayısı çıkan aks sayısına eşit değilse, bölgede tren var kabul edilir. Herhangi bir arıza durumunda bölgeye giren aks sayısı çıkan aks sayısına eşit olmayacağından, bu devre de fail-safe yapıya uygun gözükse de, kablo kopması veya bir arıza gerçekleşmesi durumunda, bölgeye giren trenler farkedilemeyeceğinden aslında fail-safe yapıya uygun bir ekipman değildir. Aks sayıcılı ray devreleri, topraklamaya ihtiyaç duymaması ve daha az kablo kullanması nedeniyle hem kurulumu hem de bakımı daha az maliyetli ray devreleridir. Normal ray devrelerinde gerçekleşen korozyon gibi işaret bozucu dış etmenler, aks sayıcılı ray devrelerine etki etmezler. Islak tüneller gibi normal ray devrelerinin kararsız işaret vereceği durumlarda da, aks sayıcılı ray devreleri daha doğru sonuç verir. Getirdiği bu avantajların yanında, ray kırıklarını anlayamaması veya elektrik kesintilerinde giren/çıkan aks sayısı bilgisinin resetlenmesi dezavantajlarından bazılarıdır (Url-3). Aks sayıcılı ray devresinde de izole cebire kullanılmadığından, yolculuk konforudur. Özellikle şehirlerarası raylı sistemlerde ray devresi yerine yeni sistemlerde Şekil 2.3'te gösterilen aks sayıcılardan tercih

edilmektedir (Söyler ve Açıkbaş, 2005). Ülkemizde Bursaray hattında kullanılmıştır, dünyada ise özellikle şehirlerası hatlarda hızla yaygınlaşmaktadır (Söyler ve Açıkbaş, 2005).



Şekil 2.3 : Aks sayıcı örnekleri (Söyler ve Açıkbaş, 2005).

Hareketli blok (moving block) ray devreleri

Hareketli blok sinyal sistemlerinde ray devreleri, uzunluğu trenin hızına, durma mesafesine, fren gücüne, bölgenin eğim ve kurp parametrelerine göre değişen sanal ray devreleridir. Kumanda merkezindeki program, her trenin önündeki mesafeyi otomatik olarak ayarlayıp, buna göre trenin hızını azaltır veya artırır. Bu tarz bir yapıda, ray devrelerinin uzunlukları gereksiz yere artmayacağından, hat kapasitesi artar. Bu tip bir ray devresi yapısının 90 saniye ve altındaki hat kapasitelerinde kullanılması daha ekonomiki olmaktadır. Ülkemizde Ankara Metrosu bu şekilde bir ray devresi ile inşa edilmiştir (Söyler ve Açıkbaş, 2005).

2.3.3.2 Sinyaller

Her ray bölgesinin ya da yol girişlerinin başında, trenlerin hareketini kumanda eden trafik ışıkları bulunur. Karayollarında olduğu gibi, kırmızı dur, yeşil geç anlamına gelir ve genelde trenin kırmızı ışığı geçmesi durumunda tren otomatik olarak durdurulur. Sinyal sistemlerinin teknolojisine göre (bıkın, endüktif loop, GSM-R, farklı renkli lambalar v.b.) her sinyal bölgesi girişinde, bir sonraki sinyal bölgesine kadar olan bölgedeki hız sınırları bilgisi trene iletilir ve güvenli sürüş sağlanmış olur. Hareketli blok ray devrelerinde blokların uzunlukları sabit olmadığı için hat boyunca sinyaller yoktur, sadece istasyon veya makaslarda ihtiyaca göre tercih edilebilir (Söyler ve Açıkbaş, 2005).

Ülkemizde renkli hat sinyalleri 3 türde olabilmektedir.

- 1- İki durum gösterebilen sinyaller. Bazı sinyaller sadece kırmızı ve yeşil ışık gösterebilirler. Bunlara ek olarak kırmızı – sarı ve sarı – yeşil gösteren sinyaller de mevcuttur (TCDD Yönetmelik).

- 2- Üç durum gösterebilen sinyaller. Kırmızı – sarı – yeşil ışıklara sahiplerdir. Bu tip sinyaller türlerine göre aynı anda sadece bir durumu veya aynı anda iki durumu gösterebilirler (TCDD Yönetmelik).
- 3- Dört durum gösterebilen sinyaller. Bir veya iki durumu aynı anda verebilen sinyallerdir. Kırmızı, sarı, sarı üzeri kırmızı, sarı üzeri yeşil, sarı üzeri sarı ve yeşil olmak üzere 6 farklı bildirim verebilirler (TCDD Yönetmelik).

Durum kelimesi bir sinyalin gösterdiği ışık veya ışıkları temsil eder. Birden çok durum gösteren sinyallere çok – durumlu sinyaller denir.

Kırmızı ışık tehlike anlamına gelir ve “Dur!” anlamı taşır. Normal şartlarda bir sürücü kırmızı ışığı geçmeden durmalıdır.

Bir sarı ışık, dikkat edilmesi anlamına gelir. Sürücü bir sonraki ışıkta durabilecek şekilde ilerlemelidir. Başka bir deyişle sürücü bir sonraki ışıkta durabilmesi için fren yapmalıdır (TCDD Yönetmelik).

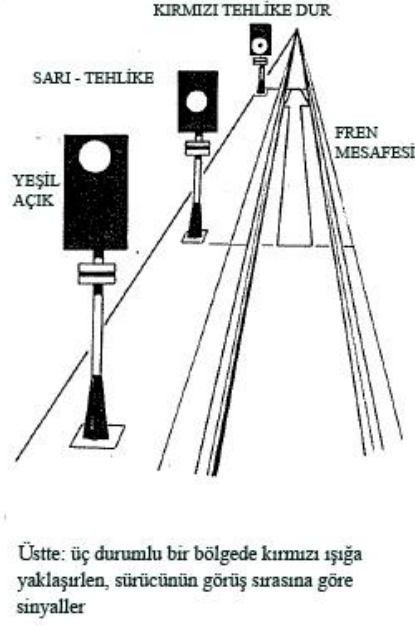
Sarı üzeri sarı ışık, sürücüye bir sapma gerçekleştireceğini ve bir bloğun boş olduğunu belirtir (TCDD Yönetmelik).

Sarı üzeri yeşil ışık, bir sapma gerçekleştirileceğini ve en az iki bloğun boş olduğunu gösterir (TCDD Yönetmelik).

Sarı üzeri kırmızı ışık, önde bir engel olabileceğini veya sinyallenmemiş bir yola girildiğini belirtir. Sürücü her an durabilecek gibi ilerlemelidir (TCDD Yönetmelik).

Yeşil ışık, öndeki hattın açık olduğunu ve bir sonraki ışığın ilerleme durumunda olduğunu, yani kırmızı olmadığını belirtir. İlerleme durumundaki ışık yeşil, sarı, sarı üzeri sarı veya sarı üzeri yeşilden herhangi biri olabilir (TCDD Yönetmelik).

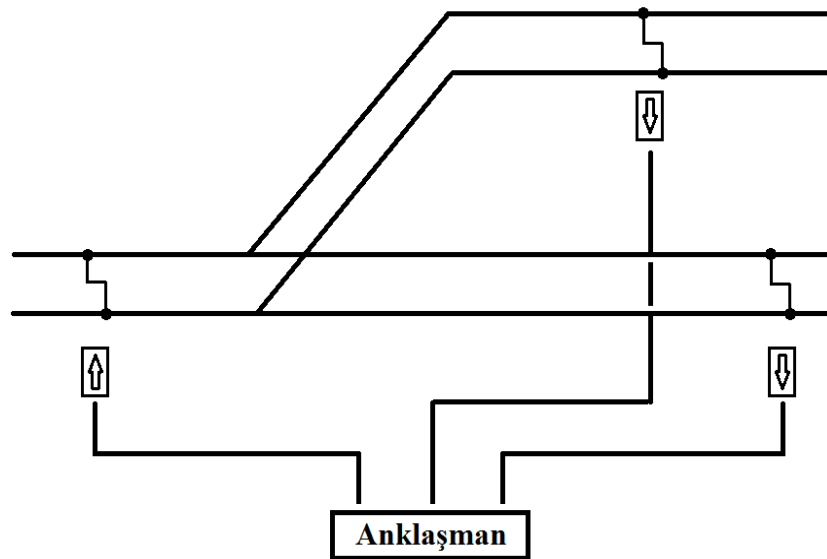
Şekil 2.4’te 3 durumlu bir sistemin, bir kırmızı ışık yanması olayı sırasındaki diğer ışıkların konumlarını göstermektedir (Hall, 2001). Kırmızı ışıktan önceki ilk ışık, bir bloğun boş olduğunu anlatan sarı renkte bildirim verir. Diğer ışık ise, kendinden sonra en az iki bloğun boş olduğunu belirten, yeşil bildirimini verir.



Şekil 2.4 : Üç durumlu bir bölgede sinyal düzeni (Hall, 2001).

2.3.3.3 Makaslar

Trenlerin raylar üzerinde yön değişimi makaslar ile gerçekleştirilir. Makaslar da sinyalizasyon sisteminde hata korumalı (fail-safe) çalışırlar, bölgede araç varken veya geçerken komut almazlar. Aynı zamanda makasların konumu ile ilgili şüpheli bir durum olduğunda da, yine makasların kumandasına izin verilmez. Şekil 2.5'te basit bir makas sinyalizasyonu uygulaması gösterilmektedir (Söyler ve Açıkbaş, 2005).



Şekil 2.5 : Basit bir makas sinyalizasyonu uygulaması.

Makasların sınıflandırılması

Makaslar yönlerine ve yapılış şekillerine göre olmak üzere iki ana gruba ayrılırlar.

A- Yönlerine göre makaslar

- a. Sağ makas
- b. Sol makas
- c. Simetrik makas
- d. Münhani (kurpta) makas

B- Yapılış ve gördükleri işe göre

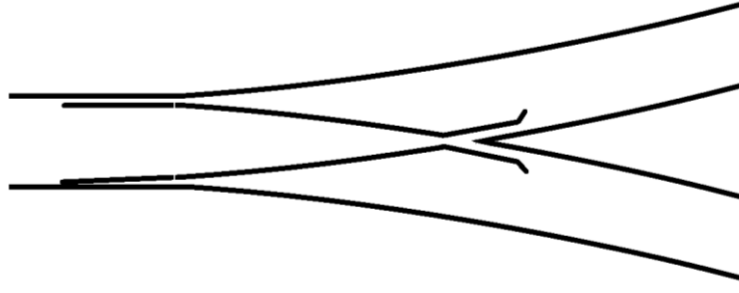
- a. Basit makas
- b. Birleşik(muzaaf) makas
 - i. Sağ birleşik makas
 - ii. Sol birleşik makas
 - iii. Sağ-sol birleşik makas
 - iv. Sol-sağ birleşik makas
 - v. Simetrik birleşik makas
- c. İngiliz(çapraz) makası
 - i. Yarım(basit) ingiliz makası
 - ii. Tam(birleşik) ingiliz makası

Yönlerine göre makaslar

Sağ makas: Makas dil ucuna doğru bakıldığında sapan yol sağ tarafta kalıyorsa bu tip makaslara sağ makas denir.

Sol Makas: Makas dil ucuna doğru bakıldığında sapan yol sol tarafta kalıyorsa bu tip makaslara sol makas denir.

Simetrik Makas: Her iki yolu da sapan yol olan, yani doğru yolları olmayan makaslara simetrik makas denir. Şekil 2.6'da bu tipte bir makas görülmektedir.



Şekil 2.6 : Simetrik makas.

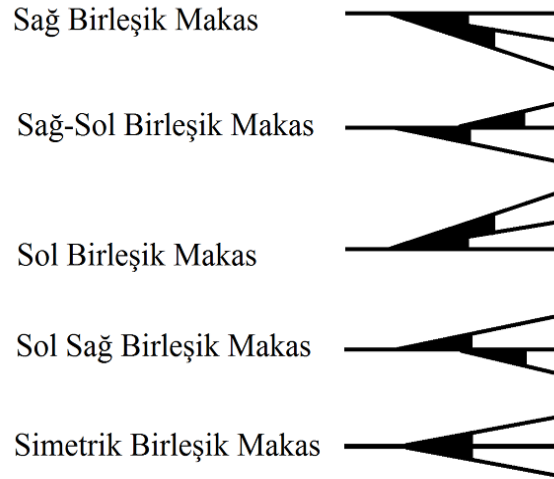
Kurpta(Münhani) Makas: Kurp üzerinde döşenen özel makaslardır (Url-4).

Yapılarına ve gördükleri işe göre makaslar

Basit makas: Bir yoldan diğer bir yola geçişi sağlayan makaslardır.

Birleşik(Muzaaf) makas: Birbiri içine girmiş iki makastan oluşan makas şeklidir. İki basit makas ile görülebilecek bir işte, iki ayrı basit makasa yer olmaması durumunda kullanılırlar. Dört dil ve üç göbekten oluşurlar, birinci makasın ökçesine ikinci makasın dil ucu contası gelir (Url-4). Şekil 2.7’de birleşik makas tiplerinin çizimleri görülmektedir.

Birleşik Makas Tipleri

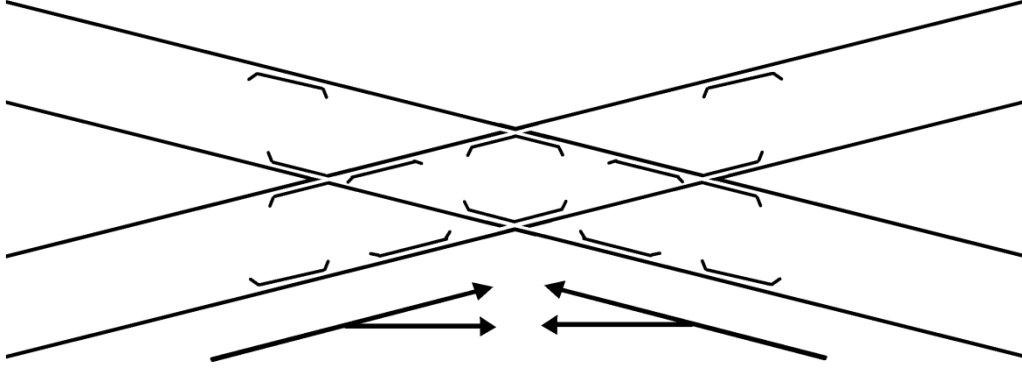


Şekil 2.7 : Birleşik makas.

İngiliz(çapraz) makası: Büyük istasyon ve garların manevra yeteneğini artırmak, istasyon yollarının faydalı uzunluklarını kısaltmamak, 3-4 makasla yapılabilecek işleri tek makasla yapmak ve ikiden fazla yola kumanda etmek amacıyla kullanılırlar.

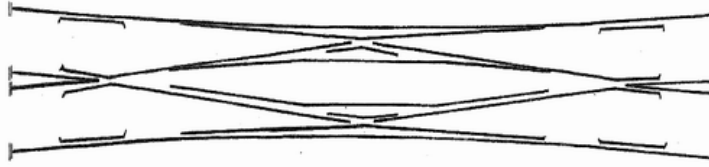
Bu makasın konulabilmesi için birbirin dar açıyla kesen iki yolun mevcut olması gerekir. İki türü bulunmaktadır.

Yarım(basit) İngiliz makası: Dört dil ve dört göbeği mevcut olup, manevra yeteneği Şekil 2.8'deki oklar ile ifade edilmiştir.



Şekil 2.8 : Yarım İngiliz makası.

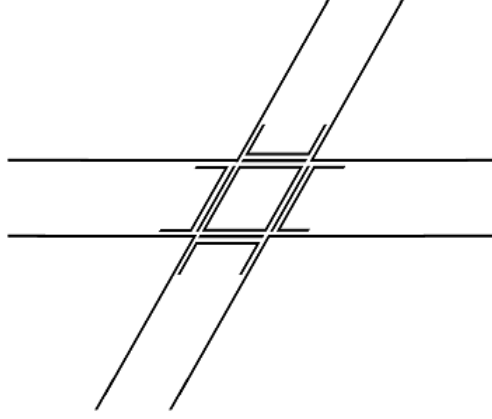
Tam(birleşik) İngiliz makası: Sekiz dil ve dört göbeği bulunur. Manevra yeteneği, yarım İngiliz makasına göre daha yüksektir. Şekil 2.9'da bu tarz bir makas örneği görülmektedir (Url-4).



Şekil 2.9 : Tam İngiliz makası (Url-4).

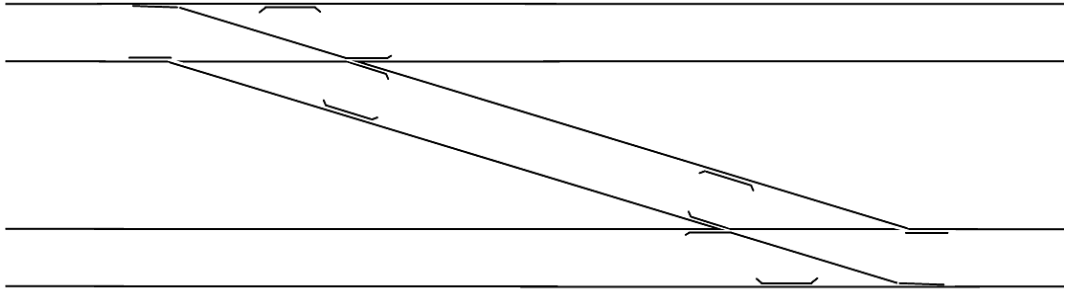
Makas sistemleri

Kruvazman: Birbirlerini herhangi bir açıyla kesen iki yolda, kendi yönünde geçişi sağlayan yol tesisidir. Yalnızca göbeklerden oluşur. Şekil 2.10 bu tipte bir makası göstermektedir.



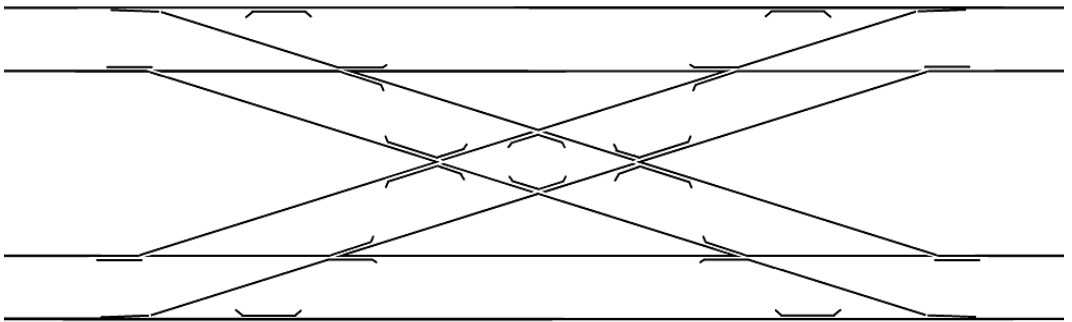
Şekil 2.10 : Kruvazman.

S makas: Birbirine paralel iki yoldan, birinden diğerine geçişi sağlayan ve iki basit makastan oluşan yol grubudur. Şekil 2.11’de bir S makas sistemi görülmektedir.



Şekil 2.11 : S makas.

Kutrani(çapraz s makas): Birbirine paralel iki yoldan, karşılıklı geçişi sağlayan, dört basit makas ve bir kruvazmandan oluşan yol grubudur. Şekil 2.12’de bir çapraz S makas örneği görülmektedir.



Şekil 2.12 : Kutrani.

2.3.3.4 Trenüstü (On-board) ekipmanları

Trenlerin üzerinde bulunup, treni sinyalizasyon sisteminden gelen bilgileri alıp ona göre hareket ettiren veya hareketini yönlendiren elektronik unitedir. Trenin sinyal doğrultusunda hareket etmesini sağlayan en önemli bileşendir. Trenüstü ekipmanları makinistin treni sürdüğü sistemlerde, hız sınırına veya diğer emniyet kurallarına uyulmadığı zaman önce makinisti uyarırlar ve eğer tren üzerinde emniyet ile ilgili bir eksiklik (fren arızası, kuplaj kopması, kapıların açılması) veya sinyal sisteminde bir hata (tanımlanmış maksimum hızı aşma, hat üzerinde bir engel tespiti vs.) farkettileri an treni durdururlar. Otomatik sistemlerde uyarılacak bir makinist olmadığından, güvenlik ölçme metotları daha geliştirilmişlerdir ve bir acil durum oluştuğunda tren yine güvenlik amaçlı durdurulur. Sinyalizasyon sistemlerinde gerçekleşen hataların birçoğu, trenüstü ekipmanlarının kapatılıp manuel sürüşün yapıldığı durumlarda gerçekleşmektedir (Söyler ve Açıkbaş, 2005).

2.3.3.5 Merkezi anlaşıman (interlocking)

Tüm hatboyu ekipmanlarının bilgileri kumanda merkezinde toplanır ve bu bilgilerin değerlendirilmesiyle bir trenin ray bölgesine girmesine izin verilip verilmeyeceğine karar verilir. Bir ray veya makas bölgesine bir tren girdiği zaman, tren bölgeyi terk edene kadar bu bölgede başka bir işlem yapılmasına izin verilmemesi amacıyla bu bölge kilitlenir. Bu şekilde trenlerin izin verilen bloktan başka bir bloğa girmelerine izin verilmeyeceğinden (tren izin verilmeyen bir bloğa girmek istediğinde sinyali geçince ATC (Automatic Train Control) / ATP (Automatic Train Protection) tarafından durdurulacağından) trenlerin çarpışmaları / karşılaşmaları önlenir (Söyler ve Açıkbaş, 2005).

Merkezi kitleme ilk zamanlarda röleler ile yapılmaktaydı. Meşgul olan bölgenin rölesinin çekmesiyle bölgenin başka komut almaması sağlanırdı. Yeni sistemlerde artık hata korumalı (Safety Integrity Level (SIL) 3-4) yazılımsal anlaşıman sistemleri kullanılmaktadır (Söyler ve Açıkbaş, 2005). Türk Standartları Enstitüsü (TSE) SIL seviyesini belirleyen standartları şu şekilde tanımlamıştır:

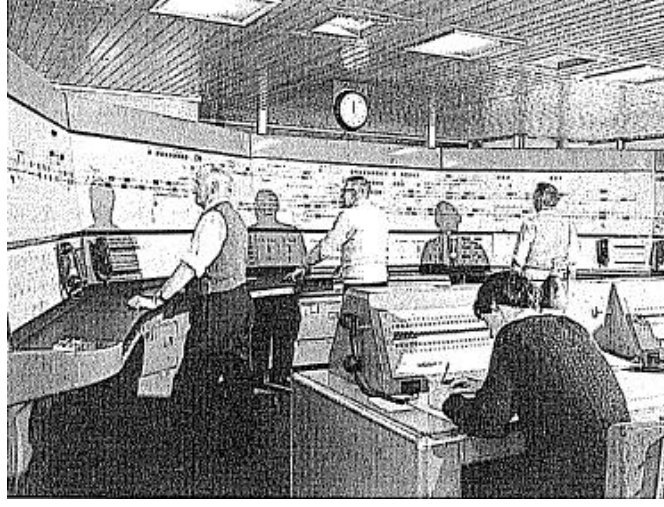
Demiryollarında “European Committee for Electrotechnical Standardization (CENELEC)” standartları kullanılmaktadır. EN 50128 standardı, ilgili standartlar grubunun bir parçasıdır. Bu standart, EN 50126 “Demiryolu Uygulamaları-Güvenilebilirlik, Elde Edilebilirlik, Bakım Yapılabilirlik ve Güvenlik(RAMS)” ve

ENV 50129 “Demiryolu Uygulamaları – Sinyalizasyon için Güvenlikle İlgili Elektronik Sistemler” şeklinde ele alınmalıdır. ENV 50129, bütün demiryolu kontrol ve koruma sistemi içerisinde mevcut olabilecek ayrı ayrı sistemlerin onay işlemleri ile; EN 50126 ise, en geniş ölçekte sistem konuları ile ilgilidir. Bu standart, bu geniş kapsamlı hususlarla kurulan güvenlik bütünlüğü taleplerini karşılayan yazılımı sağlamak için kullanılması gerekli metotlara önem vermektedir (Türk Standardı (TS) EN 50128/Şubat 2002, Sf. 1).

Merkezi kitleme sistemleri en az iki endüstriyel bilgisayardan oluşurlar ve komutlar ancak iki bilgisayardan gelen komutlar aynı ise hatta uygulanır. Sonuçlar farklılık içeriyorsa, komutlar uygulanmaz. Kitleme fonksiyonları:

- 1- Trenin gideceği güzergah dışındaki tüm yollar merkezi aklaşman tarafından kilitlenir.
- 2- Trenin yön değiştirebileceği tüm noktalarda rota kitlenmesi ile yol tanzimi yapılır. Tüm elektrikli makaslar doğru konuma alındıktan sonra, mekanik olarak kilitlenirler.
- 3- Trenin seyredeceği bölgede trenin takibi yapılır.
- 4- Kilitlenen bölgeden trenin geçişinden sonra, diğer trenlerin geçmesine olanak sağlamak için bölge otomatik olarak serbest bırakılır.

Trenin hareket güzergahında bulunan makas ve sinyaller, tanzimden sonra durumlarını tren geçene kadar muhafaza ederler (Söyler ve Açıkbaş, 2005). Şekil 2.13’te Feltham Trafik kumanda merkezi görülmektedir (Hall, 2001).



Şekil 2.13 : Feltham Trafik Kumanda Merkezi (Hall, 2001).

2.4 Sinyalizasyon Sistemleri

Günümüzde birçok sistemden bahsedilse de, temel olarak metro ve hafif metrolarda üç türlü sinyalizasyon kullanılmaktadır (Söyler ve Açıkbaş, 2005).

- 1- Sabit(fixed) blok manuel sürüş
- 2- Sabit(fixed) blok otomatik sürüş
- 3- Hareketli(moving) blok otomatik sürüş

2.4.1 Sabit blok manuel sürüş sinyalizasyon sistemi

Sabit blok manuel sürüş sinyalizasyon sisteminde, makinisti sinyal lambaları vasıtasıyla yönlendiren bir sinyalizasyon sistemi bulunur. Günümüzde, genelde 10 dakikadan daha kısa sürelerde sefer aralığına sahip olan sistemlerde zaman çizelgesi uygulama mecburiyeti doğmuştur. 10 dakikadan daha düşük sefer aralığı (Headway Time – HT) bulunan sistemlerde, trenler arasındaki mesafenin korunması gerekmektedir ve sabit blok manuel sürüş sinyalizasyon sisteminde trenler arasını tam olarak ayarlamak mümkün olmadığından sefer aralıklarını tutturmak pek mümkün olmamaktadır. Bu tür sistemlerde, sefer aralıklarını tutturmak için makinistlerin tecrübelerinden yararlanılmaktadır (İstanbul ve İzmir hafif metro hatları) ancak sefer süresinin 10 dakikanın altında olduğu durumlarda makinistler tren aralıklarını tutturamamaktadırlar ve bu durumda Makinist Bilgilendirme Sistemleri (DIS) ve Araç Takip Sistemleri kullanılması gerekmektedir. Ankara ve

Bursa hafif metro hatları buna birer örnek teşkil etmektedirler (Söyler ve Açıkbaş, 2005).

2.4.2 Sabit blok otomatik sürüş sinyalizasyon sistemi

Sabit blok otomatik sürüş sinyalizasyon sistemine sahip olan sistemlerde, trenler otomatik olarak trafik kumanda merkezi tarafından bilgisayarlarla sürülmektedirler. Tren hareket saatleri zaman çizelgelerine göre işletme programına kaydedilir. Trenin hangi hızla gideceği bazı blokların başlarında, ya da sürekli olarak tren ile haberleşme ile belirtilmektedir. Merkezi anlaşılan trenin pozisyon ve hız bilgisini alarak, trenin nasıl ve ne zaman durması gerektiğini trene bildirir. Tren de bu bilgiler ışığında duracağı yeri ve gerekli fren gücü miktarını hesaplayıp ona göre bir fren gücü uygular. Tren çalışma sıklığı düşük tutulmak isteniyorsa, tasarım esnasında ray devreleri uzunlukları kısa tutulup ona göre sinyalizasyon yapılmalıdır. Sabit blok otomatik sürüş sinyalizasyon sistemi, 2 dk'ya kadar olan tren aralıklarında uygulanması uygun bir çözümdür, daha düşük tren aralıklarına uygulanması zordur. Manuel sürüş sinyalizasyon sistemine göre kurulumda %10-15 daha maliyetli olsa da, beraberinde getirdiği sürüş senkronizasyonu, enerji ve personel tasarrufu düşünüldüğünde uygun bir çözümdür. Taksim – 4. Levent arasındaki İstanbul metrosu bu sistemle çalışmaktadır (Söyler ve Açıkbaş, 2005).

2.4.3 Hareketli (Moving) blok otomatik sürüş

Hareketli blok otomatik sürüş sistemleri, sinyalizasyon sistemlerinin ulaştığı son noktadır. 1960'larda başlayan araştırmalar ve denemeler sonucu ilk tam otomatik sürücüsüz raylı sistem 1983 yılında Siemens tarafından Fransa'da Lille de açılmıştır (Söyler ve Açıkbaş, 2005).

Kumanda merkezi trenlerle haberleşmesini hat boyunca döşenmiş olan sızıntılı kablo veya kablosuz ağ sayesinde gerçekleştirir. Kablosuz ağ kullanan sistemlerde çift kanal haberleşme kullanılır, yani sistem yedekli çalışır. Sahadan gelen bilgiler tren üzerinde karşılaştırılırlar. Trenlerin hatta hangi noktada bulundukları tren tarafından GPS, aracın km sayacı, doppler radarı gibi bileşenler ile tespit edilip kumanda merkezine gönderilir. Her trenin önündeki diğer trene ne kadar yaklaşacağı trenin frenleme gücüne, hızına, yol durumuna göre sürekli olarak yeniden hesaplanır ve trene gönderilip trenin hızı ayarlanır (Söyler ve Açıkbaş, 2005).

Genellikle 90 sn ve altındaki sefer aralıklarına sahip hatlar için cazip bir sistemdir. 90 sn üzerindeki sefer aralıklarına sahip hatlar için bazen pahalı kalmakla beraber, yolcu yoğunluğu olan hatlara uygundur. Özellikle son yıllarda IEEE tarafından açık kod olarak standarda giren Haberleşme Tabanlı Tren Kontrolü (Communication Based Train Control – CBTC) sistemleri tek firmaya bağlanmamak bakımından da avantajlıdır. Bu şekilde bir firmanın geliştirmiş olduğu sinyalizasyon sistemini diğer sinyalizasyon firmaları da uzatabilir ve bu şekilde uzatma projelerinde rekabet ve fiyat avantajı oluşur (Söyler ve Açıkbaş, 2005).

3. PETRİ AĞLARI

3.1 Giriş

Alışlagelmişin dışında diferansiyel veya fark eşitlikleri ile açıklanamayan sistemlere sıkça rastlanmaktadır. Bu tipteki sistemlerin davranışları çoğunlukla, kendi içlerinde işlemekte olan ayrık (discrete) olaylar ile belirlenir. Karakteristikleri aşağıda belirtilen maddeler gibi saptanabilen bu tipteki sistemlere ayrık olay sistemleri (Discrete Event Systems – DES) veya ayrık olay dinamik sistemleri (Discrete Event Dynamic Systems – DEDS) denir (Uzam, 1998).

Eş zamanlılık(güdümlülük): Bir ayrık olay sisteminde, birçok işlem aynı anda meydana gelebilir (Uzam, 1998).

Asenkron işlemler: Meydana gelen her değişim ve adımın ortak bir saat tarafından senkronize edildiği sistemlerin aksine, ayrık olay sistemlerinde olaylar çoğu kez asenkrol olarak gerçekleşirler (Uzam, 1998).

Olay sürümlülük (Event-driven): Ayrık olay sistemlerinde olayların oluşumunun, durumlarda değişimler meydana getirmesi ayrık olaylar uzayı ile kategorize edilebilir. Bu gibi bir durumda, bir olay başka bir olayı tetikleyebilir (Uzam, 1998).

Belirsizlik (Non-determinism): Belirsizlik kesin olmayan olay oluşumları sonucunda meydana gelir, örneğin: verilen bir durumdan farklı sonuçlar oluşması mümkün olabilir (Uzam, 1998).

Petri ağlarının grafiksel, matematiksel bir araç olarak kullanımı, ayrık olay sistemlerinin modellenmesinde, analizinde, tasarımında ve kontrolünde artarak kullanılmaktadır (Zhou ve DiCesare, 1993). Petri ağlarının ismi, otomat ile haberleşme çalışmaları için ağ şeklinde matematiksel bir model tasarlamış olan Alman matematikçi Carl A. Petri'den gelmektedir (Petri, 1962). Petri ağlarının avantajlarına göz atılacak olursa:

- Petri ağları öncül ilişkilere (precedence relations), stokastik, eş zamanlı ve asenkron olayların yapısal etkileşimlerine hâkim olurlar. Bunun yanında

grafiksel tabiatları karmaşık sistemleri göz önünde canlandırmaya yardımcı olur.

- İkilemler (conflict) ve tampon boyutları kolayca ve etkin bir şekilde modellenebilir.
- Sistemdeki kilitlenmeler (deadlocks) belirlenebilir.
- Petri ağı modelleri iyi geliştirilmiş matematiksel ve pratik temeller ile hiyerarşik bir modelleme aracını temsil ederler.
- Petri ağı modelleri, hem karmaşık sistemlerin sistematik analizinin yapılmasında, hem de ayrık olay kontrolörlerinin sistematik tasarımında kullanılabilir.
- Son olarak, Petri ağı modelleri esnek ve hızlı imalat sistemlerinin gerçek-zamanlı(real-time) kontrolünün gerçekleştirilmesinde de kullanılabilir (Uzam, 1998).

Bu tez çalışmasının Petri ağları anlatılan bu bölümünde, büyük ölçüde Dr. Murat UZAM'ın doktora tezinin ikinci bölümünden yararlanılmıştır.

3.2 Basit Petri Ağları

Sıradan bir Petri ağı;

- $P = \{p_1, \dots, p_n\}$, sonlu yerler kümesi
- $T = \{t_1, \dots, t_m\}$, sonlu geçişler kümesi
- Pre , P 'den T 'ye yönelmiş okları içeren kümeyi ifade eden $P \times T \rightarrow \{0, 1\}$ giriş kodlaması
- $Post$, T 'den P ye yönelmiş okları içeren kümeyi ifade eden $P \times T \rightarrow \{0, 1\}$ çıkış kodlaması

şeklinde dört değişken ile ifade edilen yönelmiş bir grafiktir (3.1).

$$PN = (P, T, Pre, Post) \quad (3.1)$$

P ve T 'nin ayrık kümelerdir ve $P \cup T$ 'nin herhangi bir elemanına düğüm denilir. Petri ağların birleşik olduğu varsayılır, bu da herhangi iki düğüm arasında en az bir yolun bulunması demektir. Geçişler bir durumdan diğerine olan kontrol gelişimini

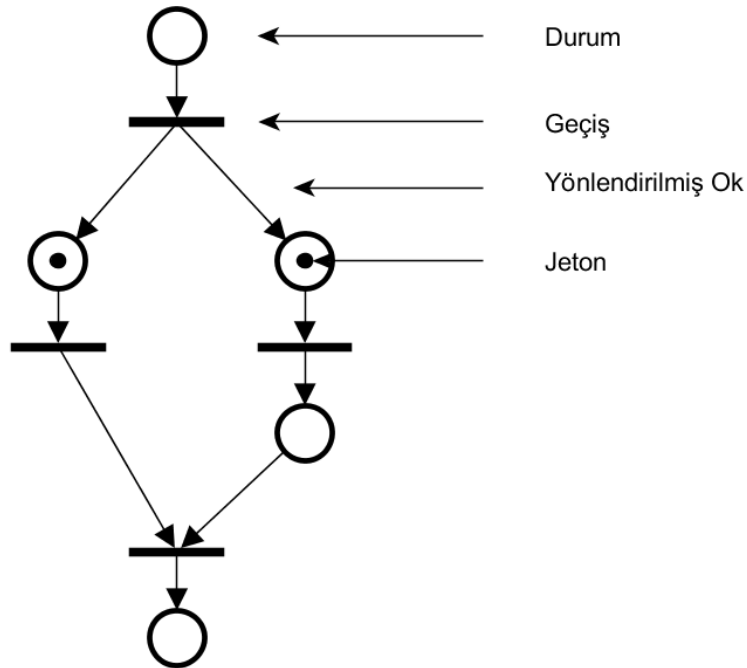
ifade ederken, yerler genelde sistemlerin durumlarını belirtmede kullanılmaktadırlar (Uzam, 1998).

Belirli bir modelin anlaşılmasını sağlamak ve nasıl çalıştıklarını anlamaya yardımcı olması için Petri ağları grafiksel olarak da gösterilebilirler. Bir Petri ağı grafiği, yerleri göstermek için daireleri, geçişleri göstermek için çubukları kullanır. Giriş ve çıkış fonksiyonlarını, iki düğüm tipinin arasındaki yönlendirilmiş oklar temsil etmektedir. Bir yerden bir geçişe yönlendirilmiş olan ok, geçişin giriş yerini gösterir, aynı şekilde bir geçişten bir yere yönlendirilmiş ok da, geçişin çıkış yerini gösterir (Uzam, 1998).

İşaretli bir Petri ağı, yukarıda açıklanan elemanların yanında, jetonlar içerir. Grafiksel olarak noktalarla gösterilen jetonlar yerlerde bulunurlar ve oklar boyunca gezerek ağdaki akışları geçişlerle kontrol ederler. Bir Petri ağının $M(p)$ işareti her yerin, o yerdeki jetonların sayısını gösteren negatif olmayan bir tam sayıya kodlanmasıdır. İşaretli bir Petri ağı bir beşli ile ifade edilir (3.2) (Uzam, 1998).

$$PN = (P, T, Pre, Post, M) \quad (3.2)$$

M işareti i . bileşeni $M(p_i)$ olan n -boyutlu bir vektör olup, $M(p_i)$ i . yer olan P_i 'deki jetonların sayısını gösterir. İlk işaretleme M_0 ile gösterilmektedir (Uzam, 1998). Şekil 3.1'de yerleri, geçişleri, yönlü okları ve bir jetonu gösteren basit bir Petri ağı gösterilmektedir.

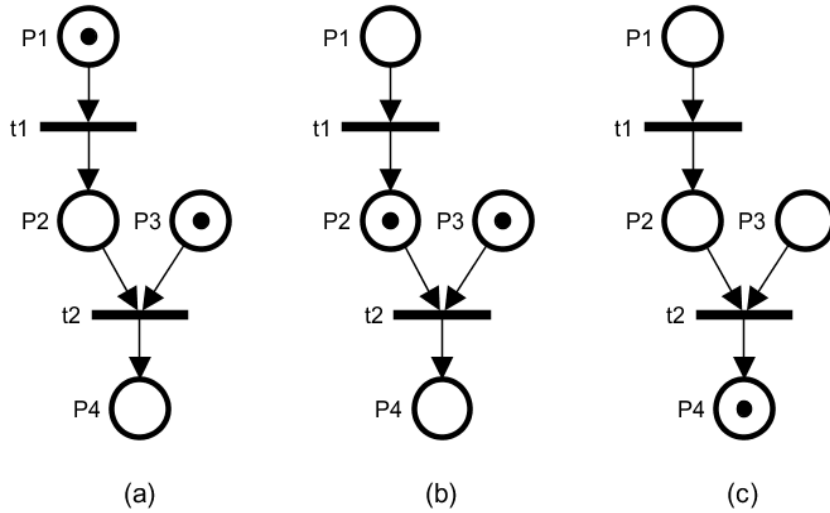


Şekil 3.1 : Basit bir Petri ağı.

Sıradan bir Petri ağı, jetonların ağıdaki sayısı ve dağılımlarının kontrol edilmesiyle çalışır ve jetonların ağ içinde akmasına neden olur. Petri ağları, açık geçişlerin tetiklenmesiyle çalışır. Bir geçiş, giriş yerlerinin her birinin, en az bir jetonla tetiklenmesiyle açılır. Bir geçiş tetiklendiğinde, giriş yerlerinin her birinden birer jeton alınırken, çıkış yerlerinin her birine birer jeton yerleştirilir. Geçişlerin tetiklenmesiyle, jetonlar ağda akarlar (Uzam, 1998).

3.2.1 Basit bir Petri ağının tetiklenmesi

Basit bir Petri ağının tetiklenmesi Şekil 3.2'deki dört yerli, $P = \{p_1, p_2, p_3, p_4\}$ ve iki geçişli $T = \{t_1, t_2\}$ bir Petri ağında gösterilmektedir. İlk durumda, Şekil 3.2.(a)'da gösterildiği gibi $M(p_1) = 1$, $Pre(p_1, t_1) = 1$ olduğundan, t_1 geçişi açıktır, ancak $M(p_2) = 0$, $Pre(p_2, t_2) = 1$ ve $M(p_3) = 1$ ve $Pre(p_3, t_2) = 1$ olduğu için t_2 geçişi açık değildir. t_1 geçişi tetiklendiğinde p_1 yerinden bir jeton alınır ve Şekil 3.2.(b)'de gösterildiği gibi p_2 yerine bir jeton yerleştirilir. Bu durumda $M(p_2) = 1$, $Pre(p_2, t_2) = 1$ ve $M(p_3) = 1$ ve $Pre(p_3, t_2) = 1$ olduğundan t_2 geçişi açıktır. t_2 geçişi tetiklendiğinde p_2 ve p_3 yerinden birer jeton alınır ve Şekil 3.2.(c)'deki gibi p_4 yerine bir jeton yerleştirir.



Şekil 3.2 : Basit bir Petri ağında: (a) ilk işaretleme.(b) t_1 'in tetiklenmesinden sonraki işaretleme. (c) t_2 'nin tetiklenmesinden sonraki işaretleme

Jetonlar, yerler ve geçişler model ile uygun entegrasyonda olmalıdırlar. Genelde ifadeleri yerlerin kaynakları veya sistemin mümkün durumlarını göstermesi ve geçişlerin de sistem durumundaki değişimleri göstermesi ile olur. Bir yerde bulunan birden fazla jeton, belirli kaynağın kullanılabilirliğini veya karşılaşılan koşulların

varlığını gösterir. Tetiklenen bir geçiş olayın gerçekleşmesi olarak izah edilebilir. Yerler ve geçişler koşulları ve sistemin sistemin işleyişinde önde gelen ilişkileri gösterirler. Örneğin bir yerdeki bir jeton o koşulun doğruluğunu gösterirken, jeton olmaması durumunda koşul yanlış demektir (Uzam, 1998).

3.2.2 Basit Petri ağlarının özellikleri

Petri ağlarının grafiksel ve matematiksel bir araç olarak birçok özellikleri vardır. Modellenmiş bir sistem için bu özellikler incelendiğinde, tasarlanan sistemin fonksiyonel özelliklerinin varlığın tespit edilmesi sağlanır. Bu özellikler, Petri ağının işaretine bağlı olan davranışsal özellikler ve Petri ağının ağ yapısına bağlı olan yapısal özellikler olmak üzere ikiye ayrılır. Bu bölümde, en önemli davranışsal özelliklerden bazıları, pratik bir bakış açısıyla verilmiştir. Bu özellikler erişilebilirlik, sınırlılık, güvenilirlik, kararlılık, canlılık ve tersinirliktir (Uzam, 1998).

Erişilebilirlik: Açık bir geçişin tetiklenmesi, bir Petri ağının jeton dağılımı gibi işaretleri değiştirir. Eğer M_0 'ı M_i 'ye dönüştürebilecek seri tetiklemeler bulunuyorsa, M_i işaretine ilk işaret olan M_0 'dan erişilebilir denir. Bir ardışık tetikleme $\sigma = t_1, t_2, t_3, \dots, t_n$ ile ifade edilir. M_i 'nin M_0 'dan σ ile erişilebilir olduğu $M_0 [\sigma > M_i$ şeklinde ifade edilir (Uzam, 1998).

Sınırlılık: x_0 ilk durumlu $p_i \in P$ yerinde, tüm erişilebilir $x \in R(N)$ durumları için $x(p_i) \leq k$ ise, yani bir yerdeki jeton sayısı p_0 'dan erişilebilir her işaret için k'yı geçmiyorsa, Petri ağı k-sınırlıdır veya k-güvenlidir (Cassandras ve Lafortune, 2007).

Güvenilirlik: Birden fazla jeton içermeyen bir P yeri güvenilirdir. Bir Petri ağının bütün yerleri güvenilir ise, yani bir Petri ağı 1-sınırlıysa güvenilirdir (Uzam, 1998).

Kararlılık: Bir Petri ağında bulunan bütün yerlerdeki jetonların toplam sayısı, bütün erişilebilir işaretler için sabitse o Petri ağı kararlıdır (Uzam, 1998).

Canlılık: x_0 ilk durumlu Petri ağı N, eğer x_0 'dan erişilebilir her yer için ateşlenecek bir geçiş bulunuyorsa, canlıdır (Cassandras ve Lafortune, 2007). Eğer Petri ağı canlıysa ve model doğruysa bu, sistemin işleyişindeki çıkmazların (deadlock) olmadığını gösterir (Uzam, 1998).

Tersinirlik: Eğer ilk işaret M_0 'a her işaretten erişilebiliyorsa, Petri ağı tersinirdir denir (Uzam, 1998).

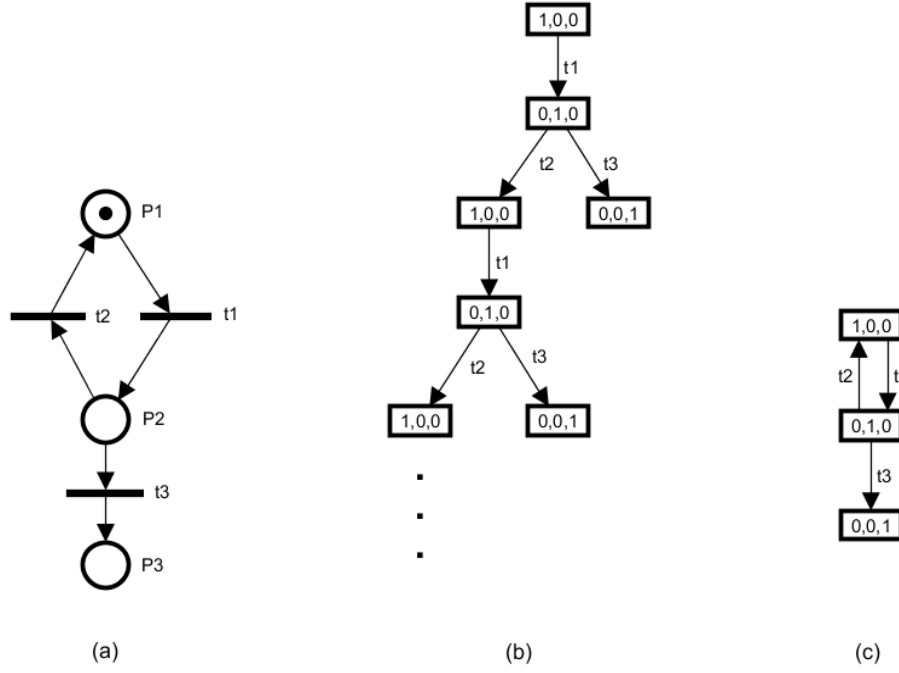
3.2.3 Petri ağlarının analizi

Petri ağlarının analizinde genel olarak lineer cebirsel metot ve grafiksel metot olmak üzere iki teknik kullanılır.. Lineer cebirsel metotta, matris eşitlikleri Petri ağının dinamik tavrını gösterir. Bu yaklaşımın temeli, bir Petri ağındaki yerler ve geçişler arasındaki bütün mümkün bağları açıklayan sonuç matrisidir. Sonuç matris gösteriminin kullanımı, ‘lineer cebirsel eşitlikler’ homojen sistemini getirir. Bu, hemen bazı problemler çıkartır ve birden fazla çözüm olur (Koussoulas, 1994). Bu metot, kesin bir işarete erişmek için gerekli seri tetiklemeleri sağlamaz. Ve son olarak lineer cebirsel analiz tekniği bütün Petri ağları üzerine uygulanamaz, örneğin Petri ağlarının öz-döngüsüz (self-loop) olmalıdır (Uzam, 1998). Bu tekniğin grafiğe dayalı analiz metodundan üstün yanı, basit lineer cebirsel özelliklerin varlığıdır (Desrochers ve Al-Jaar, 1995).

Grafiğe dayalı analiz metodu sınırlı (bounded) sistemleri için erişim ağacı analizi ve erişim grafiği analizi olarak iki kısma ayrılabilir. Aslında bütün farklı Petri ağ tiplerine uygulanabilen bu iki metot da, erişilebilir bütün işaretlerin sayımını gerektirir. Ancak hesap karmaşıklığı ve durum patlaması problemi (işaretlerin sayısı Petri ağının boyutu ile üstel olarak artar) yüzünden çok büyük olmayan sistemlerle sınırlıdır. Sınırlı bir Petri ağı için, erişim ağacı bütün mümkün işaretleri içerir. Sınırlı sistemlerde erişim ağacı bütün geçerli seri tetiklemeleri, bütün erişilebilir işaretlerle birlikte sağlar, fakat erişim grafiği sadece bütün erişilebilir işaretleri ve aralarındaki tetiklemeleri sağlar. Bir Petri ağında ilk işaret M_0 ’dan açık geçiş sayısı kadar yeni işaret elde edilebilir. Her yeni işaretten, daha fazla işarete erişilebilir. Bu işlem, işaretlerin ağaç gösterimiyle neticelenir. Düğümler ilk işaret M_0 ’dan üretilen işaretleri ve devamını gösterir ve bir işareti diğerine dönüştüren geçiş tetiklemeleri oklar ile gösterir (Uzam, 1998). Şekil 3.3 (a)’daki Petri ağı göz önüne alınırsa, yerler, $P = \{p_1, p_2, p_3\}$ iken üç geçiş, $T = \{t_1, t_2, t_3\}$ ’tür. Bu Petri ağının erişim ağacı Şekil 3.3 (b)’de gösterilmektedir. Geçişlerin geçerli tetikleme sırasının $t_1 t_3$, $t_1 t_2 t_1 t_3$, $t_1 t_2 t_1 t_2 t_1 t_3$, şeklinde olduğuna dikkat edilmelidir.

Bir sistem ile ilişkili olan bir erişim grafiği, her düğümün ilk işaret M_0 ’dan erişilebilir olan bir işareti gösterdiği ve her ok’un bir geçişin tetiklenmesini gösterdiği bir grafikdir. Eğer işaretli Petri ağı sınırlıysa, grafik yapılanma işlemi, erişilebilir işaretlerden oluşan bütün mümkün tetiklemeler incelendiğinde, biter. Şekil 3.3 (a)’da gösterilen Petri ağı için erişim grafiği Şekil 3.3 (c)’de gösterilmiştir. Erişim ağacı ve

erişim grafiği incelendiğinde, bu iki teknik arasındaki fark kolaylıkla görülebilir. Erişim grafiği, sadece bütün mümkün işaretleri ve bir işaretten diğerine giden geçişlerin tetiklenmesini sağlarken, erişim ağacı, basitçe bir Petri ağının erişilebilir bütün işaretleriyle birlikte bütün geçerli seri tetiklemeleri sağlar. Erişim ağacı veya erişim grafiği analizini uygulanırken, bir anda sadece bir geçişin tetiklendiği varsayılır (Uzam, 1998).



Şekil 3.3 : (a) Bir Petri ağı. (b) Erişim ağacı. (c) Erişim grafiği.

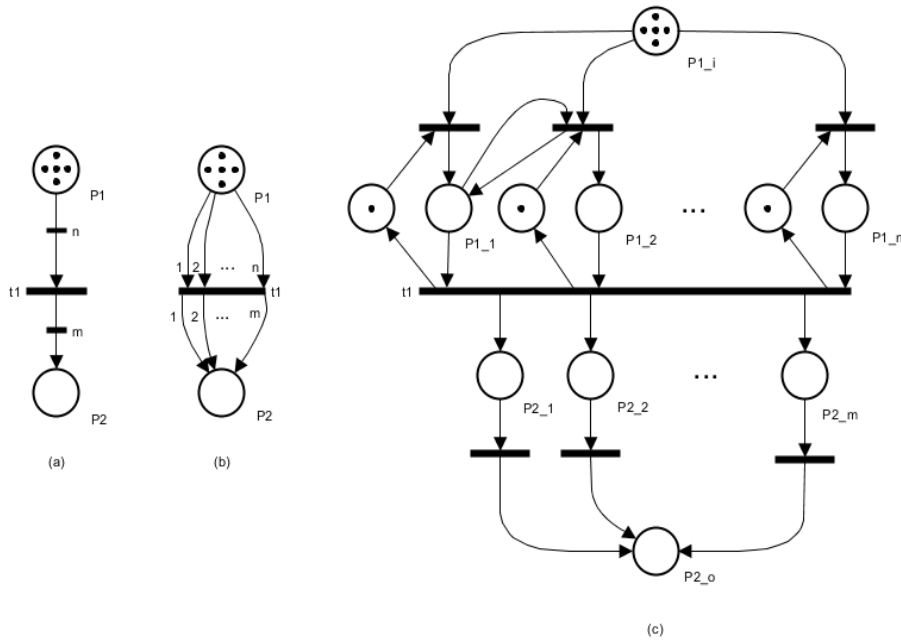
3.3 Genişletilmiş Petri Ağları

Karmaşık sistemleri daha kolay modellemek için sıradan Petri ağı yapılarına birkaç ekleme yapılmıştır. Bu bölümde ağırlıklı oklu, yasaklama oklu, yetkileme oklu, sonlu kapasiteli ve zamanlı Petri ağları hakkında bilgi verilecektir.

3.3.1 Ağırlıklı oklu Petri ağı

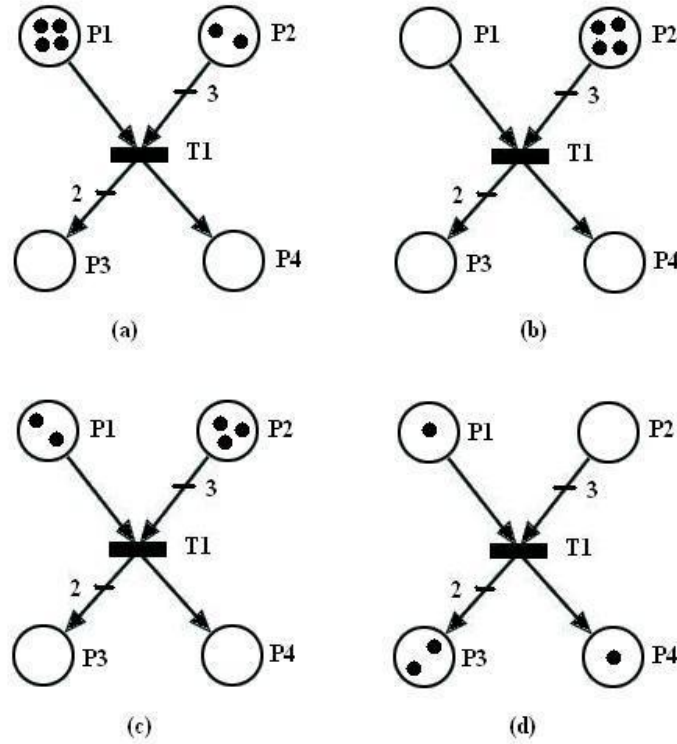
Ağırlıkların oklarla ilişkili olduğu bir Petri ağlarına ağırlıklı oklu Petri ağı denir. Pre ve Post kodlamaları, bütün pozitif tam sayılar kümesinden değerler alabilirler. Sıradan Petri ağlarının bir çeşitliliği bulunurken, ağırlıklı oklu Petri ağlarında her ok için k çeşitliliği vardır denir. Bir okun ağırlığını, ona atanan pozitif tam sayı ifade eder. Bir geçiş, ancak bütün giriş yerlerinin en az kendilerini ilgili geçişe bağlayan okların ağırlıkları kadar jetonla işaretlenmesi koşulunda, açıktır. Giriş oklarının

ağırlıkları kadar jetonun giriş yerinden çıkmasıyla geçiş tetiklenir ve çıkış oklarının ağırlıkları kadar jeton çıkış yerlerine yerleştirir (Uzam, 1998). Giriş oku $p_1 \rightarrow t_1$ 'in 'n' ağırlığına sahip olduğu, yani $Pre(p_1, t_1) = n$ olan ve çıkış oku $t_1 \rightarrow p_2$ nin 'm' ağırlığına sahip olduğu, yani $Post(t_1, p_2) = m$ olan bir Petri ağı Şekil 3.4 (a)'da gösterilmektedir. Bu durumda, giriş yeri p_1 'deki jetonların sayısı en az 'n' sayısına eşitse, t_1 geçişi açılır ve t_1 tetiklendiğinde giriş yeri p_1 den 'n' adet jeton çıkarır ve çıkış yeri p_2 ye 'm' adet jeton koyar. Şekil 3.4(b)'deki yaklaşımda, ağırlıklı ok yerine, p_1 yerinden t_1 geçişine yönelmiş n sayıda ok ve t_1 geçişinden p_2 yerine yönelmiş m adet ok içeren birer ok torbası kullanmıştır (Peterson, 1981). Geçiş tetiklenince, p_1 yerinden t_1 geçişine yönelmiş her ok p_1 yerinden bir jeton, toplam 'n' jeton çıkartacaktır ve t_1 geçişinden p_2 yerine giden her ok p_2 yerine birer jeton, toplam 'm' jeton koyacaktır. Buna ek olarak, ağırlıklı okların Şekil 3.4(c)'deki gibi gösterilmesi de mümkündür. Burada p_1 yerini göstermek için toplam $2n + 1$ yer kullanılmıştır ve ağırlıklı ok $Pre(p_1, t_1)$ 'dir. p_2 yerini göstermek için de $m + 1$ yer kullanılmaktadır ve ağırlıklı ok $Post(t_1, p_2)$ 'dir. Bu durumda p_1 yerindeki jetonların sayısı $p_1^i, p_1^1, p_1^2, \dots, p_1^n$ yerlerindeki jetonların toplamı olan $M(p_1) = M(p_1^i) + M(p_1^1) + M(p_1^2) + \dots + M(p_1^n)$ 'ya eşittir. p_2 yerindeki jetonların sayısı da $p_2^o, p_2^1, p_2^2, \dots, p_2^m$ yerlerindeki jetonların toplamına, $M(p_2) = M(p_2^o) + M(p_2^1) + M(p_2^2) + \dots + M(p_2^m)$ eşittir (Uzam, 1998).



Şekil 3.4 : (a) Bir ağırlıklı oklu Petri ağı (b) Ağırlıkları gösteren oklar torbasıyla eşdeğer Petri ağları. (c) Ağırlıklı okları gösteren sıradan Petri ağı.

Şekil 3.5'te gösterilen ağırlıklı oklu Petri ağına göz atılırsa, dört yer $P = \{p_1, p_2, p_3, p_4\}$ ve bir geçiş $T = \{t_1\}$ olduğu görülür. Petri ağında, giriş oku $p_2 \rightarrow t_1$ 3 ağırlığına sahiptir, $Pre(p_2, t_1) = 3$ ve çıkış oku $t_1 \rightarrow p_3$ 2 ağırlığına sahiptir, $Post(t_1, p_3) = 2$. Ağırlıkları özel olarak belirtilmemiş olan diğer oklar 1 ağırlığına sahiptirler. Şekil 3.5 (a)'da $Pre(p_1, t_1) = 1$ ve $M(p_1) = 4$ iken $Pre(p_2, t_1) = 3$ ve $M(p_2) = 2$ olduğundan t_1 geçişi açık değildir. Benzer biçimde $Pre(p_2, t_1) = 3$ ve $M(p_2) = 4$ iken $Pre(p_1, t_1) = 1$ ve $M(p_1) = 0$ olduğundan Şekil 3.5 (b)'de t_1 geçişi de açık değildir. Ancak Şekil 3.5(c)'de $Pre(p_2, t_1) = 3$ ve $M(p_2) = 3$ iken $Pre(p_1, t_1) = 1$ ve $M(p_1) = 2$ olduğundan t_1 geçişi açıktır ve p_2 yerinden 3 p_1 yerinden 1 jeton alınıp Şekil 3.5.(d)'de gösterildiği gibi p_3 yerine 2, p_4 yerine 1 jeton yerleştirilir.

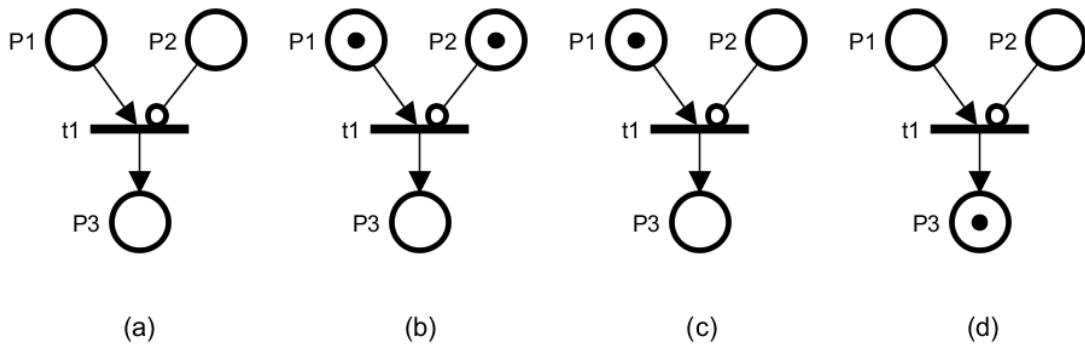


Şekil 3.5 : Bir ağırlıklı oklu Petri ağı. (a) Açık değil. (b) Açık değil. (c) (Açık) tetiklemeden önce. (d) Tetiklemeden sonra.

3.3.2 Yasaklama oklu Petri ağı

Petri ağlarının modelleme kuvveti, bir yerin hiç jetonu olup olmadığı test edilerek (sıfır testi (zero testing) kabiliyeti) artırılabilir. Bu işlem için yasaklama oku adı verilen, bir giriş yerini bir geçişe bağlayan ve ucu küçük bir daire ile işaretli bir ok kullanılmaktadır. Bir giriş yerini bir geçişe bağlayan bir yasaklama oku, geçişin sadece girişte jeton bulunmaması sırasında açılabilceğini ifade eder. Bir geçişin

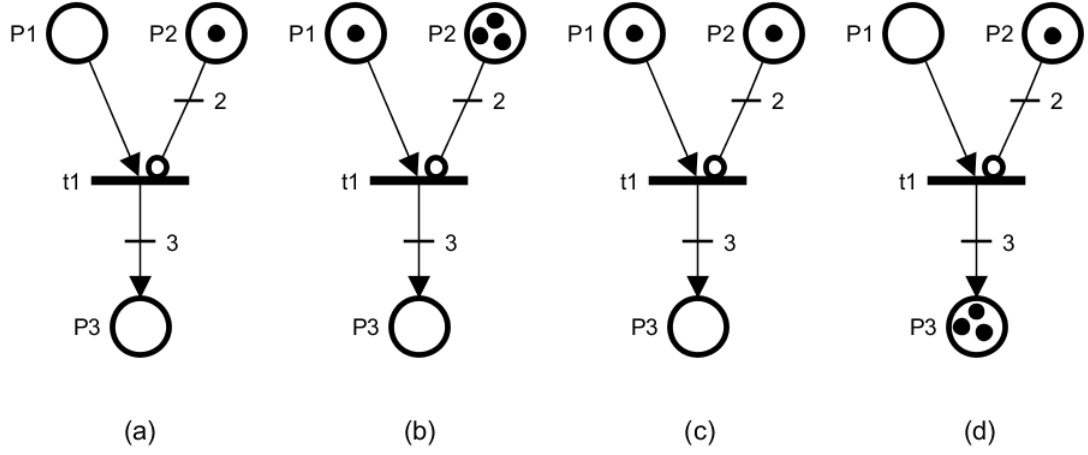
tetiklenmesi, o geçişe yasaklama oku ile bağlı olan girişin işaretini değiştirmez. Genel olarak yasaklama oku kullanılmış bir Petri ağı, sıradan bir Petri ağına dönüştürülemez (Uzam, 1998). Şekil 3.6'da üç yerli $P = \{p_1, p_2, p_3\}$ ve bir geçişli $T = \{t_1\}$ yasaklama oku kullanılmış bir Petri ağı görülmektedir. Petri ağında $p_2 \rightarrow t_1$ oku bir yasaklama okudur, yani $In(p_2, t_1)$ 'dir. $Pre(p_1, t_1) = 1$ ve $M(p_1) = 0$ iken $In(p_2, t_1) = 1$ ve $M(p_2) = 0$ olduğundan Şekil 3.6(a)'daki Petri ağındaki t_1 geçişi açık değildir. Şekil 3.6 (b)'ye de göz atılacak olursa, $Pre(p_1, t_1) = 1$ ve $M(p_1) = 1$ iken $In(p_2, t_1) = 1$ ve $M(p_2) = 1$ olduğundan, t_1 geçişi açık değildir. Şekil 3.6(c)'ye bakıldığında, $Pre(p_1, t_1) = 1$ ve $M(p_1) = 1$ iken $In(p_2, t_1) = 1$ ve $M(p_2) = 0$ olduğundan, geçişin açık olduğu görülür. t_1 geçişi tetiklendiğinde p_1 'den bir jeton alınır, p_3 'e konulur. Bu işlemden sonra p_2 'nin işaretinin aynı kaldığına dikkat edilmelidir.



Şekil 3.6 : Yasaklama oklu bir Petri ağı: (a) t_1 geçişi açık değil. (b) Açık değil. (c) (Açık) tetiklemeden önce. (d) Tetiklemeden sonra.

Ağırlıkları yasaklama oklarıyla ilişkilendirmek mümkündür. Bir yerdeki jetonların sayısını test etme kabiliyetine sahip olan yasaklama okuna, ağırlıklı yasaklama oku denir. Ağırlığı k olan bir yasaklama oku ile bir geçişe bağlı olan yerdeki jetonların sayısı k değerinden azsa geçiş açılmaktadır, eşit veya fazla olması durumunda yasaklama oku devreye girip geçişi kapatmaktadır. Ağırlıklı yasaklama oku bağlı olduğu yerlerdeki işareti değiştirmez (Uzam, 1998). Yasaklama oku içeren, üç yerli $P = \{p_1, p_2, p_3\}$ ve bir geçişli $T = \{t_1\}$ bir Petri ağı Şekil 3.7'de görülmektedir. Bu Petri ağında $p_2 \rightarrow t_1$ oku ağırlığı 2 olan bir yasaklama okudur, $In(p_2, t_1) = 2$ 'tür. Şekil 3.7 (a)'daki Petri ağı $In(p_2, t_1) = 2$ ve $M(p_2) = 1$ olmasına rağmen, $Pre(p_1, t_1) = 1$ ve $M(p_1) = 0$ olduğundan t_1 geçişi açık değildir. Şekil 3.7 (b)'de ise $Pre(p_1, t_1) = 1$ ve $M(p_1) = 1$ olmasına rağmen, $In(p_2, t_1) = 2$ ve $M(p_2) = 3$ olduğundan t_1 geçişi açık değildir. Şekil 3.7(c)'ye bakıldığında zaman ise $Pre(p_1, t_1) =$

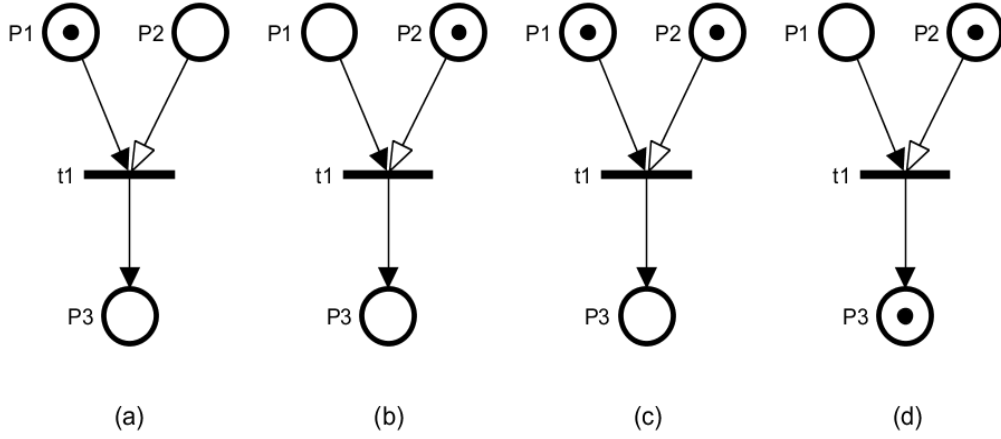
1 ve $M(p_1) = 1$ iken, $In(p_2, t_1) = 2$ ve $M(p_2) = 1$ olduğundan t_1 geçişi açıktır. t_1 geçişi tetiklendiğinde p_1 yerinden bir jeton alınır ve $Pre(p_3, t_2) = 3$ olduğundan Şekil 3.7(d)'de gösterildiği gibi p_3 yerine 3 yerleştirilir.



Şekil 3.7 : Bir ağırlıklı yasaklama ok Petri ağı : (a) t_1 geçişi açık değil. (b) Açıktır. (c) (Açık) tetiklemeden önce. (d) Tetiklemeden sonra.

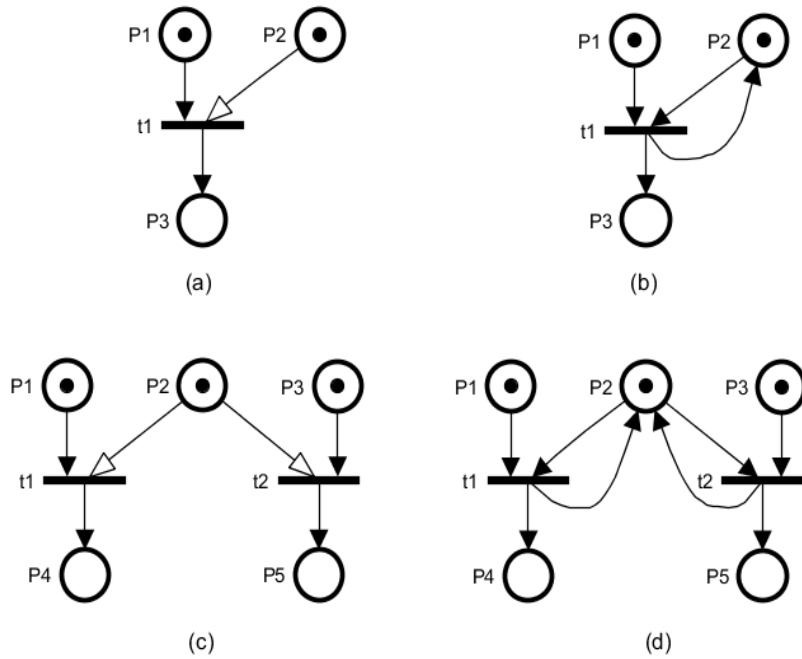
3.3.3 Yetkileme oklu Petri ağı

Petri ağlarının modelleme kuvveti bir yerin jetonu/jetonları olup olmadığı (bir testi (one testing)) test edilerek artırılabilir. Bu, bir giriş yerini içi boş bir ok ile bir geçişe bağlayan yetkileme oku ile yapılmaktadır. Yetkileme okunun varlığı, geçişin sadece giriş yerinde jeton/jetonlar olduğu zaman açık olduğunu ifade eder. Yetkileme okunun bağlı olduğu yerlerde, tetiklenme sonrasında jeton sayısı değişmez (Uzam, 1998). Yetkileme oku içeren, üç yerli $P = \{p_1, p_2, p_3\}$ ve bir geçişli $T = \{t_1\}$ bir Petri ağı Şekil 3.8'de görülmektedir. Petri ağında $p_2 \rightarrow t_1$ oku bir yetkileme okudur, yani $En(p_2, t_1)$ 'dir. Şekil 3.8 (a)'daki Petri ağı $Pre(p_1, t_1) = 1$ ve $M(p_1) = 1$ olmasına rağmen, $En(p_2, t_1) = 1$ ve $M(p_2) = 0$ olduğundan t_1 geçişi açık değildir. Şekil 3.8 (b)'de ise $En(p_2, t_1) = 1$ ve $M(p_2) = 1$ olmasına rağmen, $Pre(p_1, t_1) = 1$ ve $M(p_1) = 0$ olduğundan t_1 geçişi açık değildir. Şekil 3.8(c)'ye bakıldığında ise $Pre(p_1, t_1) = 1$ ve $M(p_1) = 1$ iken, $En(p_2, t_1) = 1$ ve $M(p_2) = 1$ olduğundan t_1 geçişi açıktır. t_1 geçişi tetiklendiğinde p_1 yerinden bir jeton alınır ve Şekil 3.8(d)'de gösterildiği gibi p_3 yerine yerleştirilir. Bu işlemden sonra p_2 'nin işaretinin aynı kaldığına dikkat edilmelidir.



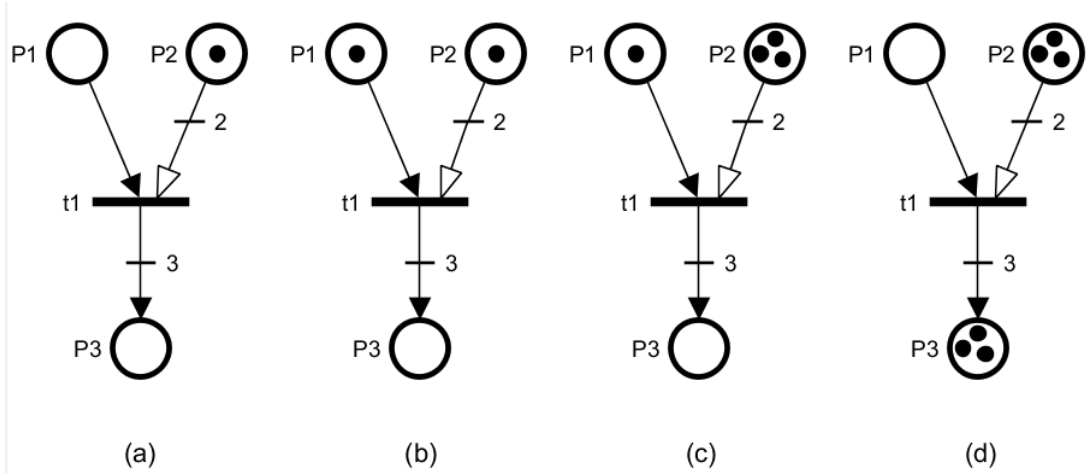
Şekil 3.8 : Yetkileme oklu bir Petri ağı: (a) t_1 geçişi açık değil. (b) Açık değil. (c) (Açık) tetiklemeden önce . (d) Tetiklemeden sonra.

Yetkileme okları Şekil 3.9 (a) ve (b)'de gösterildiği gibi sıradan iki okla da gösterilebilse de, yetkileme okları Petri ağlarını ikilemlere götürmemek anlamında sıradan oklardan farklıdır. Şekil 3.9 (c)'de gösterildiği gibi, t_1 ve t_2 geçişleri hiçbir zaman ikilem olmadan herhangi bir zamanda tetiklenebilirler, ancak $En(p_2, t_1)$ ve $En(p_2, t_2)$ yetkileme okları Şekil 3.9(d)'deki gibi sıradan oklarla yer değiştirirlerse, potansiyel bir ikilem durumu oluşturdukları açıktır.



Şekil 3.9 : (a) Yetkileme oklu bir Petri ağı. (b) Eşdeğeri. (c) İkilem yokken yetkileme oklu bir Petri ağı. (d) İkilem varken, sıradan bir Petri ağı.

Ağırlıkları yetkileme okları ile ilişkilendirmek mümkündür. Bir yerdeki jetonların sayısını test etme kabiliyetine sahip olan yetkileme okuna, ağırlıklı yetkileme oku denir. Ağırlığı k olan bir yetkileme oku ile bir geçişe bağlı olan yerdeki jetonların sayısı, k değerine eşit ya da fazlaysa geçiş açılmaktadır, jeton sayısının k değerinden az olması durumunda geçiş bloke olmaktadır. Ağırlıklı yetkileme oku bağlı olduğu yerlerdeki jeton sayısını değiştirmez (Uzam, 1998). Ağırlıklı yetkileme oku içeren, üç yerli $P = \{p_1, p_2, p_3\}$ ve bir geçişli $T = \{t_1\}$ bir Petri ağı Şekil 3.10'da görülmektedir. Bu Petri ağında $p_2 \rightarrow t_1$ oku ağırlığı 2 olan bir yetkileme okudur, $En(p_2, t_1) = 2$ 'dir. Şekil 3.10 (a)'daki Petri ağında $Pre(p_1, t_1) = 1$ ve $M(p_1) = 0$ ve $En(p_2, t_1) = 2$ ve $M(p_2) = 1$ olduğundan t_1 geçişi açık değildir. Şekil 3.10 (b)'de ise $Pre(p_1, t_1) = 1$ ve $M(p_1) = 1$ olmasına rağmen, $En(p_2, t_1) = 2$ ve $M(p_2) = 1$ olduğundan t_1 geçişi açık değildir. Şekil 3.10(c)'ye bakıldığında ise $Pre(p_1, t_1) = 1$ ve $M(p_1) = 1$ iken, $En(p_2, t_1) = 2$ ve $M(p_2) = 3$ olduğundan t_1 geçişi açıktır. t_1 geçişi tetiklendiğinde p_1 yerinden bir jeton alınır ve Şekil 3.10(d)'de gösterildiği gibi p_3 yerine 3 jeton yerleştirilir.

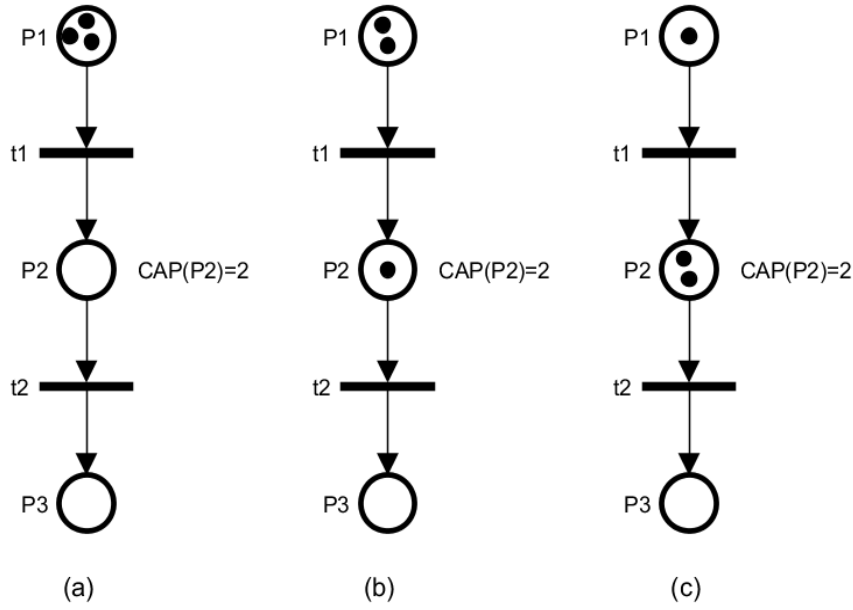


Şekil 3.10 : Bir ağırlıklı yetkileme oklu Petri ağı: (a) t_1 geçişi açık değil. (b) Açık değil. (c) (Açık) tetiklemeden önce. (d) Tetiklemeden sonra.

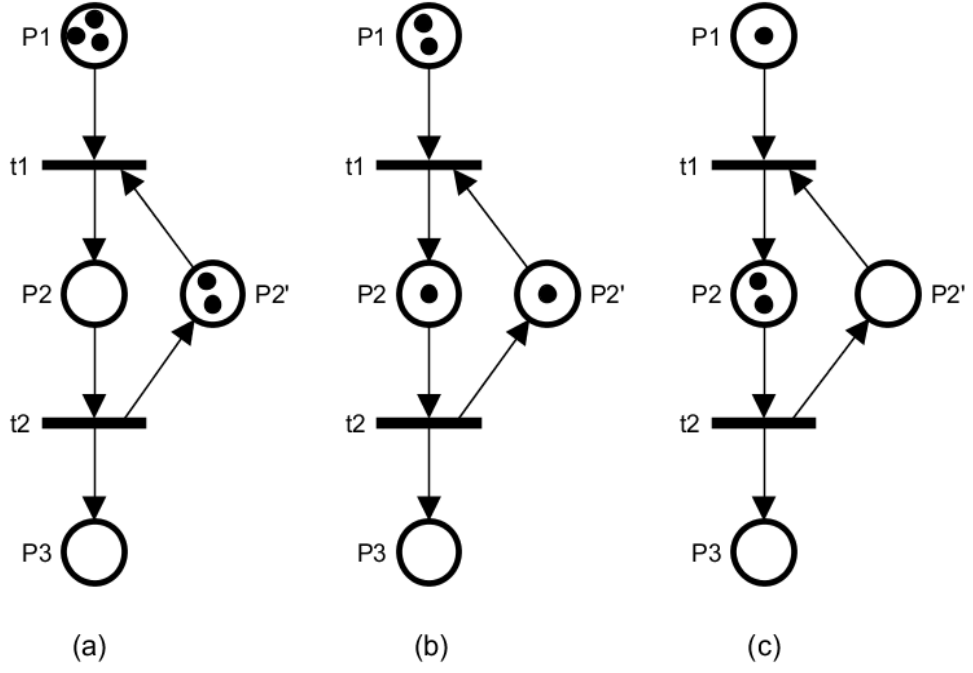
3.3.4 Sonlu kapasiteli Petri ağı

Sonlu kapasiteli bir Petri ağı, kapasiteleri (pozitif tamsayılar) yerler ile ilişkilendirilmiş bir Petri ağıdır. $CAP(p_i)$ kapasitesine sahip bir Petri ağının tetiklenmesi, ancak tetikleme sonucunda p_i 'deki jeton sayısı kapasiteyi aşmıyorsa mümkündür (Uzam, 1998). Şekil 3.11'de 2 kapasitesine sahip sonlu kapasiteli bir yer olan p_2 görülmektedir, $CAP(p_2) = 2$. Şekil 3.11(a)'da t_1 tetiklemesi Şekil

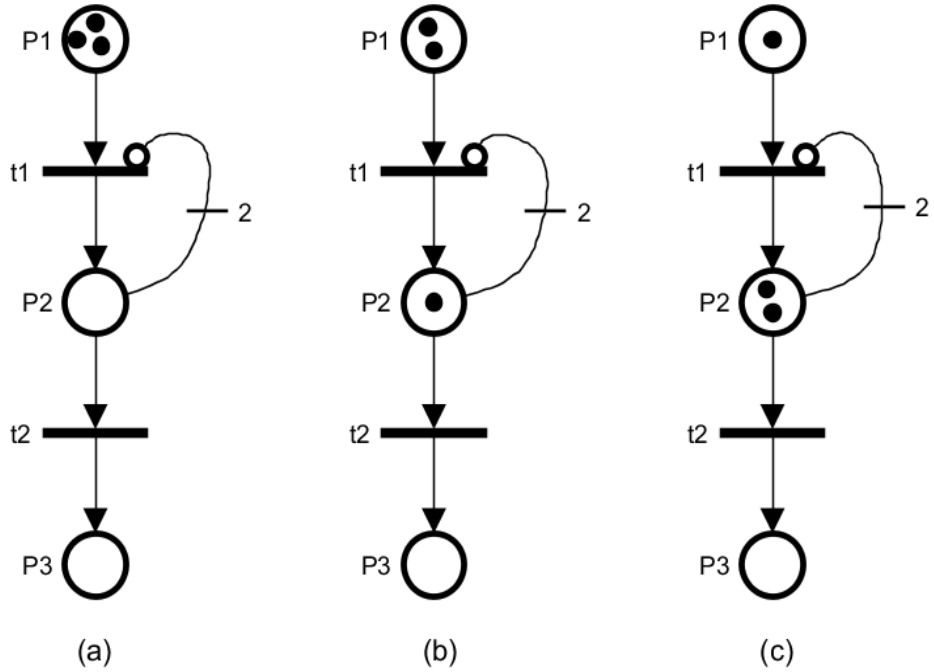
3.11(b)'de gösterilen işaretlemeye yol açar. Aynı şekilde Şekil 3.11(b)'nin tetiklenmesi Şekil 3.11(c)'deki işaretlemeye yol açar. Ancak p_2 yerindeki işaret sayısı maksimum sayıya ulaştığından, t_1 geçişi daha fazla tetiklenmez. Sonlu kapasiteli yer iki yer ile de göstermek mümkündür, p_2 ve p_2' . Bu gösterimde, Şekil 3.12'de ilk yer(p_2) yerin kendisini gösterir, $M(p_2')$ ise yerin kapasitesini gösterir. başka bir deyişle, işaretleme invariantı $M(p_2) + M(p_2') = 2$ elde edilir. Benzer bir yöntem olarak Şekil 3.13'te görüldüğü gibi, ağırlığı yerin kapasitesine eşit olan k ağırlıklı yasaklama oku kullanılarak sonlu kapasiteli bir yer gerçekleştirilebilir.



Şekil 3.11 : Sonlu kapasiteli bir Petri ağı : (a) İlk işaretleme (t_1 açıktır). (b) t_1 'in tetiklenmesinden sonraki işaretleme (t_1 ve t_2 açıktır). (c) t_1 'in tetiklenmesinden sonraki işaretleme (sadece t_2 açıktır).



Şekil 3.12 : İki yerle gösterilen sonlu kapasiteli bir yer.(a) İlk işaretleme (t_1 açık). (b) t_1 'in tetiklenmesinden sonraki işaretleme(t_1 ve t_2 açık). (c) t_1 'in tetiklenmesinden sonraki işaretleme(sadece t_2 açıktır).

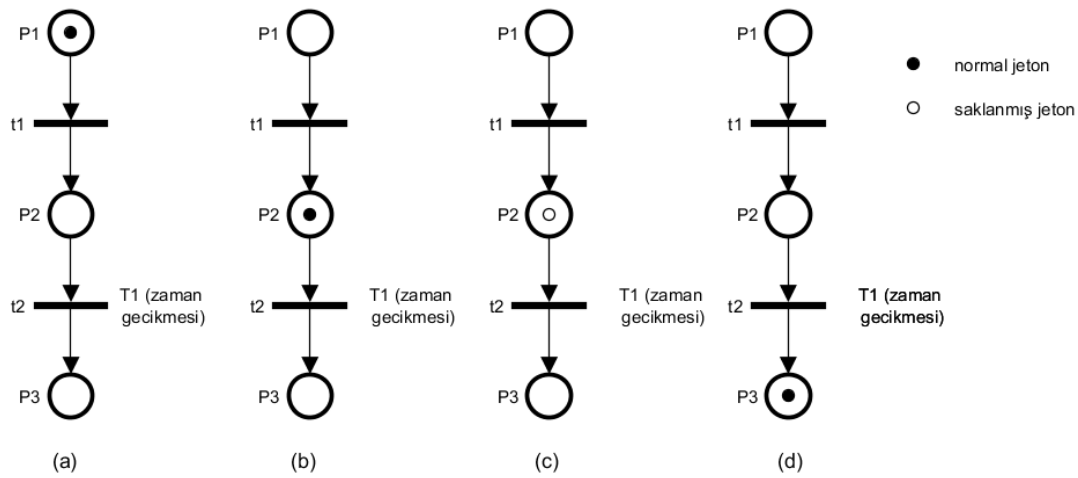


Şekil 3.13 : Ağırlıklı yasaklama okuyula sonlu kapasiteli bir yer gösterimi (a). İlk işaretleme(t_1 açık). (b). t_1 'in tetiklenmesinden sonraki işaretleme (t_1 ve t_2 açık). (c). t_1 'in tetiklenmesinden sonraki işaretleme (t_2 açık).

3.3.5 Zamanlı Petri ağı

Sıradan Petri ağları zaman kavramını içermezler, ağın zamansal gelişiminden ziyade modellenen sistemin lojik yapısını modellerler. Ancak ayırık olay yaklaşımındaki zaman modellemesi ihtiyacından dolayı Petri ağlarına zaman kavramı getirilmiştir. Genel olarak iki çeşit zamanlı Petri ağı vardır; zamanlı-yer Petri ağları, zamanlı-geçiş Petri ağları (Uzam, 1998). Bu çalışmada zamanlı-geçiş Petri ağı (Timed-Transition-Petri-Net, TTPN) kullanılmıştır

$TTPN = (PN, \tau)$ işaretli bir Petri ağıdır ve τ geçişler kümesinden negatif olmayan rasyonel sayılar kümesine ait bir fonksiyondur. $\tau(t_i) = T_i = t_i$ ile ilişkilendirilmiş zamanlamadır. Bu durumda bir jeton iki vaziyet alabilir. t_i zamanlı geçişi için saklanabilir veya saklanmayabilir. Zamanlı bir geçişin tetiklenme koşulları oluştuğunda, jeton T_i süresi kadar saklanır ve T_i zamanı geldiğinde tetiklenme gerçekleşir. Saklanmış olan jeton giriş yerinden alınıp çıkış yerine yerleştirilir (Uzam, 1998). Şekil 3.14'te bir zamanlı geçiş Petri ağı örneği ve tetikleme evreleri görülmektedir.



Şekil 3.14 : Zamanlı geçiş Petri ağının tetiklenmesi.

3.4 Temel Tasarım Modülleri

Bu kısımda temel olan bazı tasarım modüllerinin anlatımına yer verilmiştir. Bu modüller spesifikler ve uygulamada bir sorunla karşılaşıldığında uygulanabilirler. Bu yüzden yüksek veya düşük seviyeli sistemlerin inşasında faydalıdırlar (Uzam, 1998).

3.4.1 Ardışıklık

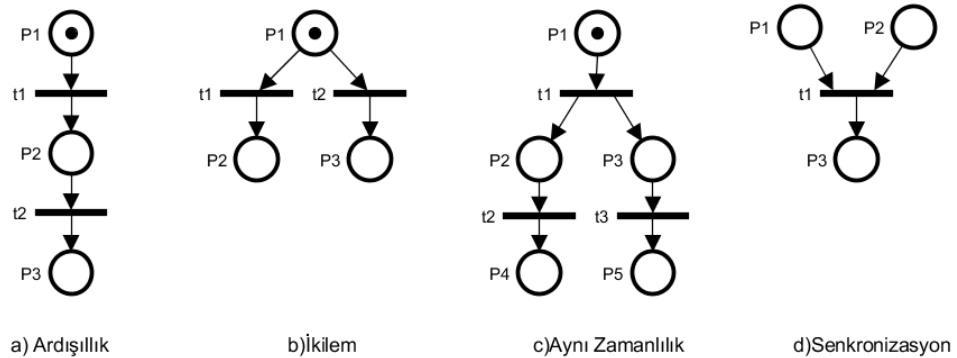
Ardışıklık, genel anlamında olduğu gibi Petri ağlarında da peşpeşe işlemler sırasını ifade etmektedir. Geçişler bir aktivitenin sonunu gösterdikleri gibi, bir sonraki aktivitenin başlangıcını da ifade ederler (Uzam, 1998). Şekil 3.15(a)'da görüldüğü gibi t_2 'nin ancak t_1 'den sonra atışlenebileceğine dikkat edilmelidir.

3.4.2 Aynı zamanlılık ve senkronizasyon

Bir sistemde bazı olaylar aynı zamanda gerçekleşiyor olabilir. Örneğin, bir üretim hattındaki iki ayrı makine, eşzamanlı çalışarak iki farklı parçayı üretebilirler. Aynı zamanda, bir sistemdeki iki olayın senkron halde de gerçekleşmesi mümkündür. Yine bir üretim hattını örnek verilecek olursa, hattın sonunda ayrı ayrı üretilmiş parçaların birbirine monte edilmesi gerekebilir. Modellenmekte olan sistem tarafından gerek duyulmadıkça olayları senkronize etmeye gerek yoktur.(Uzam, 1998) Şekil 3.15 (c) ve (d)'de aynı zamanlılık ve senkronizasyon içeren Petri ağları görülmektedir

3.4.3 İkilem

Bir Petri ağında bir yer birden fazla geçişi açtığı zaman, bu ikileme yol açar. Mevcut yerdeki jeton geçişlerden birini açtığı anda sonraki yere akacağından, diğer geçiş açılmayacaktır. Yani ikilem durumunda sadece bir geçiş açılabilir. Bu nedenle bir Petri ağında meydana gelebilecek ikilemlerin çözümleri gerekmektedir.(Uzam, 1998). Şekil 3.15(b)'de ikileme sahip bir Petri ağı görülmektedir.

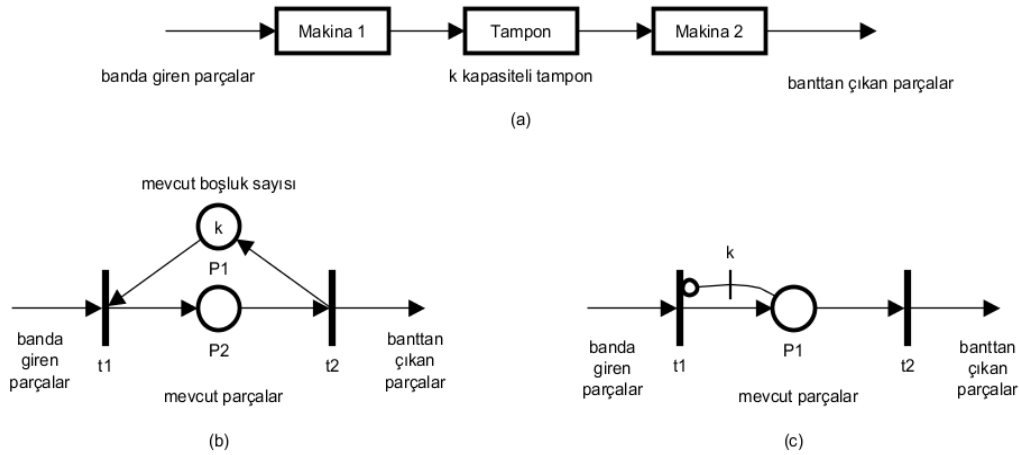


Şekil 3.15 : (a) Ardışıklık (b) İkilem (c) Aynı zamanlılık (d) Senkronizasyon.

3.4.4 Tampon (buffer)

İmalat sırasında tamponlar, iş parçalarının işlemler arasında geçici olarak depolanmasını sağlarlar. Şekil 3.16(a)'da gösterilen Makine 1 ile Makine 2 arasındaki tamponun k adet parça taşıyabileceği görülmektedir. Olası bir Petri ağı tampon modeli Şekil 3.16(b)'de görülmektedir. Bir parça tampon bölgesine girip t_1 geçişi açılınca p_1 yerinden bir jeton alınıp p_2 yerine iletilecektir. Aynı şekilde bir parçanın tampon bölgesini terk etmesi durumunda t_2 geçişi açılıp, p_2 yerinden çıkan bir jeton p_1 yerine iletilecektir. İlk durumda, p_1 yerindeki jeton sayısı tampon bölgenin alabileceği jeton sayısını göstermektedir ve p_1 yerinde jeton kalmadığı zaman tampon bölge dolmuş demektir.

Şekil 3.16(c)'de gösterildiği gibi, bir tamponu bir yer ve bir ağırlıklı yasaklama oku ile de gerçeklemek mümkündür. p_1 yerindeki jeton sayısı, ağırlıklı yasaklama okunun ağırlık değeri olan k 'ya ulaştığı zaman t_1 geçişi kapanacak ve p_1 yerinden bir jeton eksilene kadar t_1 geçişi kapalı kalacaktır.

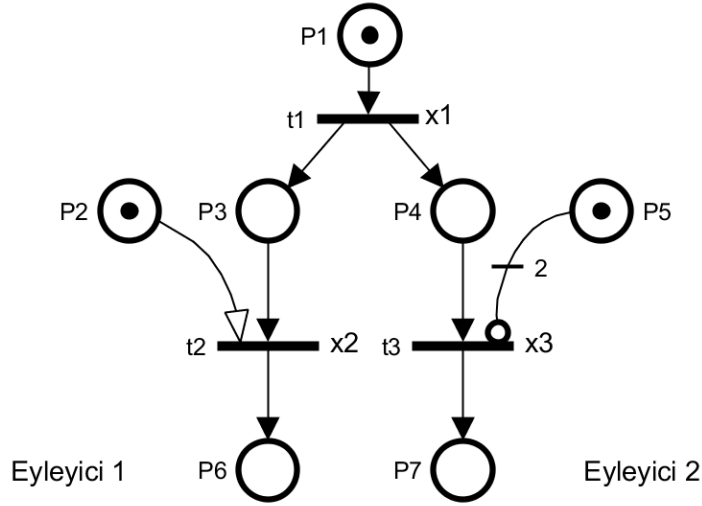


Şekil 3.16 : (a). Bir imalat sisteminde tampon. (b) İki yerle oluşturulmuş tampon modeli. (c) Bir yer ve bir ağırlıklı yasaklama okuyla oluşturulmuş tampon modeli.

3.5 Otomasyon Petri Ağları

İmalat sistemleri gelişip kompleks hale geldikçe, ayrık olan kontrol sistemlerinin (Discrete Event Control Systems – DECS) tasarımı için etkin bir otomasyon aracı bulmak daha önemli hale gelmektedir. Petri ağları tasarım kolaylıkları gibi avantajları ile bu tip ihtiyaçlarda öne çıkmaktadırlar. Bu bölümde otomasyon Petri ağları (Automation Petri Nets – APN) DECS için bir tasarım şekli olarak

anlatılacaktır. Sıradan Petri ağları sensör ve aktivatörlerle çalışmadığından, APN’de Petri ağları biçimsel olarak sensör okumaları ve faaliyetleri içerecek şekilde genişletilmektedir. Bunun için geçişlere sensör okumaları yerleştirilirken, yerlere de faaliyetler atanır (Uzam, 1998). Şekil 3.17’de bir otomasyon Petri ağı gözükmemektedir.



Şekil 3.17 : Otomasyon Petri ağı (APN).

Biçimsel olarak bir APN şu şekilde tanımlanabilir (3.3).

$$APN = (P, T, Pre, Post, In, En, \chi, Q, M_0) \quad (3.3)$$

Burada

- $P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$ sonlu sayıda boş olmayan yerler kümesidir.
- $T = \{t_1, t_2, \dots, t_n\}$ sonlu sayıda boş olmayan geçişler kümesidir.
- $Pre: (PxT) \rightarrow N$ yerlerden geçişlere yönelmiş sıradan okları ifade eder.
- $Post: (PxT) \rightarrow N$ geçişlerden yerlere yönelmiş sıradan okları ifade eder.
- $In: (PxT) \rightarrow N$ yerlerden geçişlere olan yasaklama oklarını ifade eder.
- $En: (PxT) \rightarrow N$ yerlerden geçişlere olan yetkileme okunu ifade eder.
- $\chi = \{\chi_1, \chi_2, \dots, \chi_m\}$ geçişlerle ilişkilendirilmiş sonlu sayıda boş olmayan tetikleme kümesidir.
- $Q = \{q_1, q_2, \dots, q_n\}$ yerlere atanabilir, sonlu sayıda faaliyetler kümesidir.
- $M_0: P \rightarrow N$ ilk işaretlemesidir.

APN'ler iki tip düğümden oluşurlar, geçişler ve durumlar. APN'de sıradan oklar, yasaklama okları ve yetkileme okları olmak üzere 3 tip ok kullanılır. Yerler durumları gösterirken, geçişler olayları göstermektedirler. Yerlere atanan faaliyetler (Q) impuls ya da seviye faaliyetleri olabilirler. Tetikleme koşulları, sensor okumaları gibi dış olaylar olarak kabul edilmektedir. Bir t geçişi ile ilişkilendirilmiş bir χ tetikleme koşulu bir Boolean değişkenidir, ilgili t geçişinin tetiklenmesine izin verilmeyen durumlarda 0, geçişin açılmasına izin verilen durumlarda ise 1 olabilir. APN'nin her işareti, yerlerdeki siyah noktalarlar gösterilen jetonların sayılarıyla gösterilmektedir. Açık geçişlerin tetiklenmesiyle oluşan jetonların mevkiler arasındaki hareketi, APN'nin gelişimini gösterir. Jetonların akışını yöneten kurallar şu şekilde belirlenmişlerdir (Uzam, 1998):

Açılma kuralları: APN'de bir geçişin tetiklenmek için açık olmasını üç kural belirler.

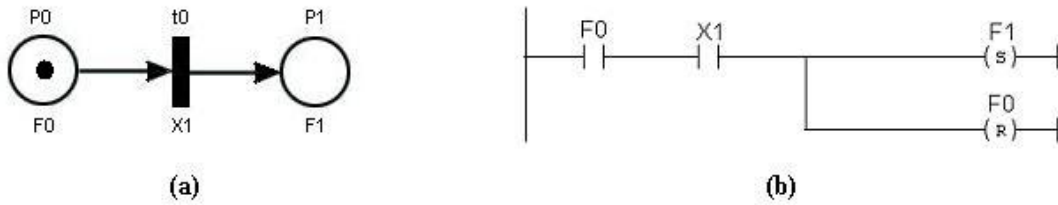
- i. Eğer bir t geçişinin giriş yeri, geçişe yönlenmiş sıradan bir okla bağlıysa, giriş yeri p en az p 'yi t 'ye bağlayan yönlenmiş sıradan okun ağırlığına eşit sayıda jeton içerdiğinde, t geçişi açıktır (Uzam, 1998).
- ii. Eğer bir t geçişinin giriş yeri geçişe bir yetkileme okuyla bağlıysa, giriş yeri p en az p 'yi t 'ye bağlayan yetkileme okunun ağırlığına eşit sayıda jeton içerdiğinde t geçişi açıktır (Uzam, 1998).
- iii. Eğer bir t geçişinin giriş yeri geçişe bir yasaklama oku ile bağlıysa, giriş yeri p , p 'yi t 'ye bağlayan yasaklama okunun ağırlığından daha az sayıda jeton içerdiğinde t geçişi açıktır (Uzam, 1998).

Tetikleme kuralları: APN'de açık bir t geçişi t 'nin tetiklenmesi, bir sensör okumasının pozitif seviyesi veya sıfır seviyesine bağlı olabilen dış tetikleme koşulu χ 'e bağlıdır. Bir tetikleme koşulu olan χ , 'AND', 'OR' ve 'NOT' lojik operatörleri sayesinde birden çok sensör okumasına sahip olabilir. $\chi = 1$ olduğunda, t geçişi açık olduğu her zaman tetiklenir. Açık bir t geçişi tetiklendiğinde, her p giriş yerinden p 'yi t 'ye bağlayan, yönlenmiş sıradan okun ağırlığına eşit sayıda jetonu çıkarır. Aynı zamanda her p çıkış yerine t 'yi p 'ye bağlayan yönlenmiş okların ağırlığına eşit sayıda jeton yerleştirir. Bir t geçişi tetiklendiğinde, t geçişine yetkileme veya yasaklama oklarıyla bağlı olan giriş yerlerinin işaretlerinde değişim

olmaz. Zamanlı APN'ler de normal Petri ağlarındaki gibi düşünülebilir (Uzam, 1998).

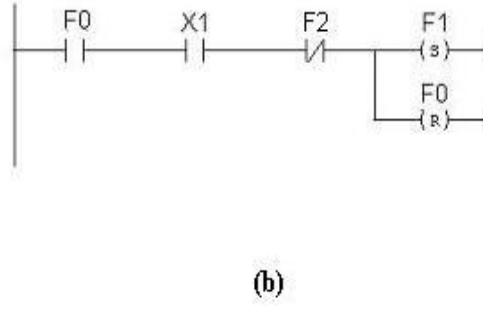
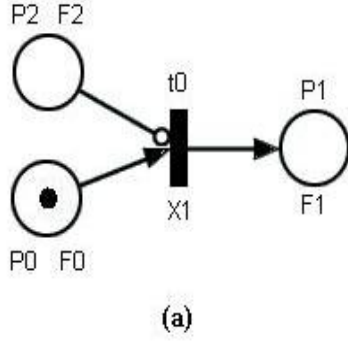
3.6 Petri Ağlarının Merdiven Diyagramına Dönüştürülmesi

Petri ağlarından basamak diyagramlarına geçiş için IEC3113-3 standardından onaylı, Jeton Aktarma Mantığı (Token Passing Logic – TPL) adında bir metot sunulmuştur (Uzam ve Jones, 1998). Bu sayede modeli Petri ağı ile oluşturulan bir sistemin, kolaylıkla merdiven diyagramına dönüşümü mümkün olmuştur. Anlatılacak bu metotta, Şekil 3.18(a)'da gösterildiği gibi jetonları temsil etmek için bir yerdeki jeton sayısı 1'den büyükse o yere bir sayıcı (Counter), jeton sayısı 1'i geçmiyorsa bir bayrak (Flag) atanmaktadır. Zaman gecikmelerini temsilen ise, açma gecikmeli zamanlayıcılar(On Delay Timer) kullanılır (Jones ve diğ., 1996). Bundan sonra, Petri ağı modelinden merdiven diyagramına dönüşüm yapılabilir. Jeton aktarımlarını temsil etmek için, jetonun alındığı yerde bayrak varsa resetlenir, sayıcı varsa sayıcının değeri bir azaltılır. Jetonun yerleştirildiği yerde ise bayrak varsa setlenir, sayıcı varsa sayıcının değeri bir arttırılır (Uzam ve Jones, 1996). Şekil 3.18'de basit bir Petri ağından merdiven diyagramına dönüşüm gösterilmiştir.

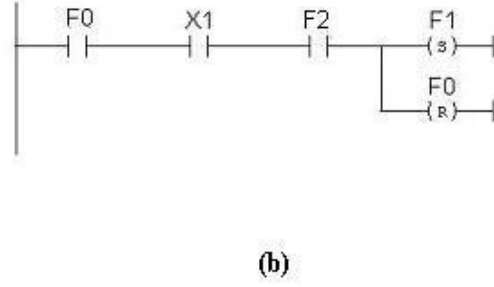
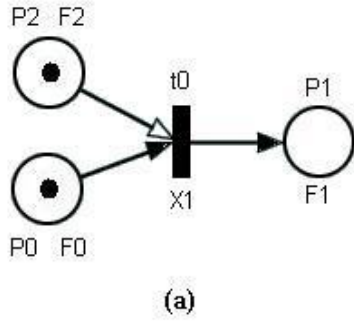


Şekil 3.18 : (a) Basit bir Petri ağı. (b) Basit bir Petri ağının merdiven diyagramı.

Yasaklama ve yetkileme oku kullanılmış olan petri ağlarının merdiven diyagramı dönüşümünde de benzer bir metot kullanılır. Petri ağında olduğu gibi, merdiven diyagramına dönüşüm yapılırken de yasaklama ve/veya yetkileme oklarının işareti tetiklemeden sonra aynı kalır (Uzam ve Jones, 1996). Şekil 3.19'da yasaklama oku içeren bir Petri ağı ve merdiven diyagramı gözükmektedir. Şekil 3.20'de ise yetkileme oku içeren bir Petri ağı ve merdiven diyagramı gözükmektedir.



Şekil 3.19 : (a) Yasaklama oklu bir Petri ağı. (b) Yasaklama oklu bir Petri ağının merdiven diyagramı.



Şekil 3.20 : (a) Yetkileme oklu bir Petri ağı. (b) Yetkileme oklu bir Petri ağının merdiven diyagramı.

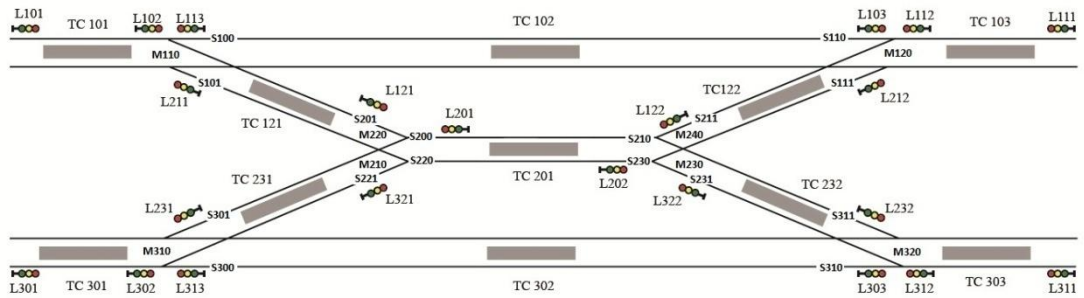
4. ÖRNEK BİR DEMİRYOLU BÖLGESİNİN PETRİ AĞLARI İLE SİNYALİZASYONU

4.1 Giriş

Demiryollarının ve sinyalizasyonun gelişimine ve yapılarına göz atıp, Petri ağları hakkında bilgi sunulduktan sonra, bu bölümde örnek bir demiryolu bölgesinin Petri ağları kullanılarak sinyalizasyonunun gerçekleştirilmesi, aşamaları ile anlatılacaktır. İlk olarak üzerinde çalışılan sistem tanıtılacak, daha sonra tasarıma yer verilecektir. Tasarım Petri ağları ile yapılmış olup, Petri ağları ile yapılan tasarım TPL ile merdiven diyagramına dönüştürülüp PLC’de gerçekleştirilecektir. Tasarım ve uygulama kolaylığı açısından, rezervasyon, makaslar, sinyaller ve genel geçer kurallar olarak 4 ayrı fonksiyon bloğu oluşturulacak, daha sonra hepsi bir fonksiyon bloğunda birleştirilecektir.

4.2 Sinyalizasyonu Yapılan Demiryolu Bölgesinin Tanıtılması

Bu tez çalışmasında Petri ağları kullanılarak sinyalizasyonu yapılan demiryolu bölgesi, Şekil 4.1’de görüldüğü gibi 11 ray devresi, 8 makas, 22 adet 3 durumlu sinyal ve 20 olası yol güzergahına sahiptir.



Şekil 4.1 : Sinyalizasyonu yapılan demiryolu bölgesi.

Trafik Kumanda Merkezi(TKM) tarafından gelen rezervasyon istekleri tasarlanacak program ile kontrol edilecek, ray devrelerinin uygun olması durumunda bu istek olumlu karşılanıp, istenen yol rezerve edilecek ve bölgedeki sinyaller gerekli

durumlara alınacaklardır. Bu tipte bir demiryolu bölgesi için TKM tarafından gelebilecek 20 adet yol isteği olabilir. Tren ya olası transit yol güzergahlarından biri için istekte bulunabilir (12 farklı kombinasyon) ya da tren orta bölgedeki TC201 kodlu ray bloğunda bekleme yapmak ve sonrasında hatta geri dönmek için istekte bulunabilir (8 farklı kombinasyon). Örneğin TKM, demiryolu bölgesine yaklaşan bir tren için TKM TC301 – TC302 – TC303 yolunu isteyebilir. Ya da TC201’de duraklayacak bir tren için TKM ilk olarak TC103 – TC122 – TC201 isteğinde bulunup, daha sonra trenin çıkışı için TC121 – TC101 yolunu rezerve etmek isteyebilir. Programın yazımı sırasında kolaylık olması için ray devrelerine Çizelge 4.1’deki gibi atamalar yapılmıştır.

Çizelge 4.1 : Ray devresi/sembol atamaları.

Ray devresi	TC 101	TC 102	TC 103	TC 121	TC 122	TC 201	TC 231	TC 232	TC 301	TC 302	TC 303
Sembol	A	B	C	H	J	G	I	K	D	E	F

Demiryolu bölgesindeki makaslar, kontaktörler ve sensörlerle kontrol edilmektedirler. Hareket etmesi gereken makas için, hareket yönündeki kontaktör çekilip, ilgili sensör görülünce makas motoru durdurulmaktadır.

4.3 Programın Tasarımı

Bu tez çalışmasında, bir önceki konuda bahsedilen 20 olası yol yerine, sadece çizelge 4.2’de görülen 4 olası yol ele alınıp tasarım yapılmıştır. Kolaylıkla 20 yol için genişletme yapılabilir olup, bu tez çalışmasında algoritmanın doğruluğunu test etmek için 4 yolun yeterli olduğu düşünüldüğünden, diğer 16 yol eklenmemiştir. Çizelge 4.2’de de görüldüğü gibi, Yol 1 ile Yol 2, Yol 3 ile Yol 4, Yol 2 ile Yol 1 ve Yol 4, Yol 4 ile Yol 3 ve Yol 2 çakışmaktadırlar.

Çizelge 4.2 : Tasarımda ele alınan 4 yol.

Yol 1	C – B – A
Yol 2	C – J – G – H – A
Yol 3	D – E – F
Yol 4	D – I – G – K – F

Giriş kısmında da belirtildiği gibi, bu tez çalışmasında demiryolu bölgesinin sinyalizasyonunu sağlayacak olan program, fonksiyon blokları şeklinde yazılmıştır. Bunlar sırasıyla rezervasyon, makaslar, genel geçer kurallar ve sinyallerdir. Rezervasyon bloğu ve makaslar bloğu sonucunda rezerve edilen bölgeler için,

sinyaller bloğu yardımı ile blok girişlerindeki sinyaller gerekli durumlara alınacaklardır. Son olarak genel geçer kurallar ile kontrol edilip, program çevrimi tamamlanacaktır.

4.3.1 Rezervasyon bloğu

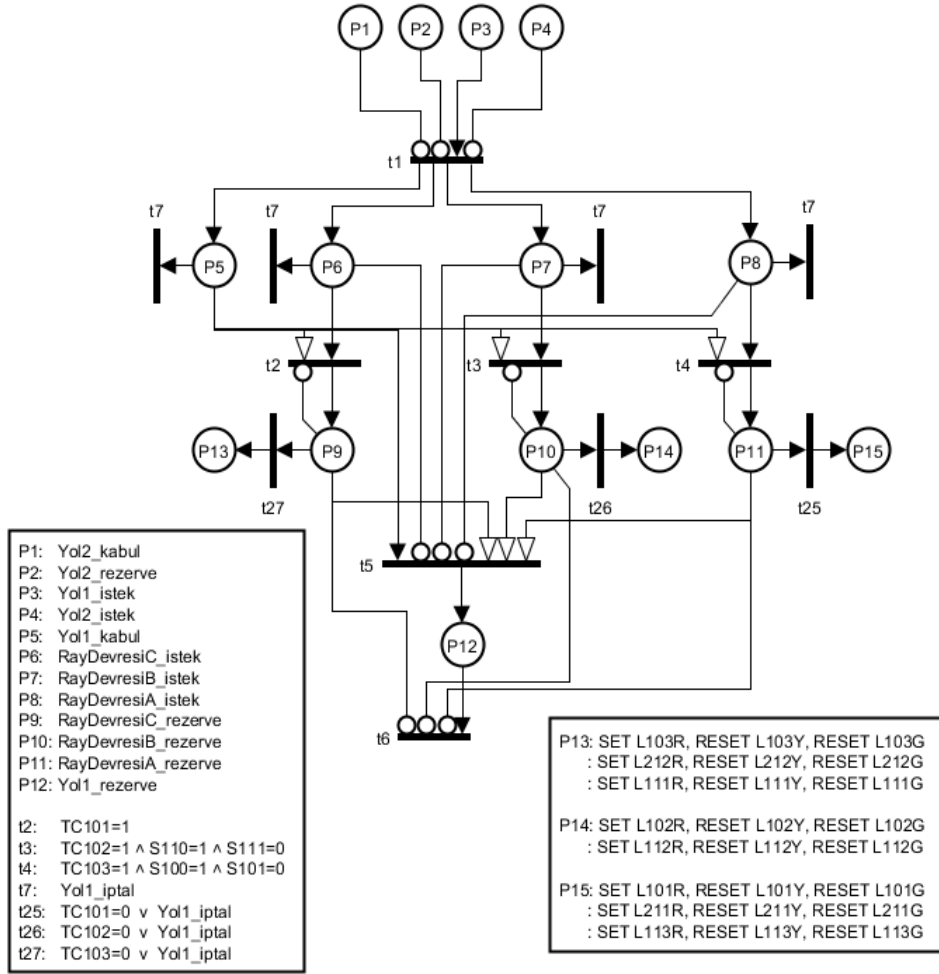
Rezervasyon bloğu oluşturulurken her yol isteği ayrı ayrı incelenmiştir. Öncelikle her yol isteği için ayrı bir bit ayrılıp, istek gelmesi durumunda bu bit setlenmektedir. Bu sayede TKM'deki operator isteği girdikten sonra istek bilgisi kod içinde saklanmaktadır. Ayrıca her yol için, yolun hazır olduğunu bildiren bir bit ayrılmıştır. Yol isteği geldikten sonra yol hazır hale geldiğinde, bu bit setlenmekte ve TKM yolun hazır olduğunu anlamaktadır. Rezervasyon bloğunun tasarımı TKM yol olarak istekte bulunmuş olsa da, yol isteği ray bölgeleri açısından incelenmiştir. Yani istekte bulunan yol üzerindeki her ray bölgesi ayrı ayrı kontrol edilip rezerve edilmektedir. Yol üstündeki tüm ray bölgelerinin müsait olması yolun da müsait olması anlamına gelecektir.

Yol isteklerinin çakışmalarını önlemek için, birbirleri ile çakışma riski olan yollar, birbirlerine yasaklama okları ile bağlanmışlardır. Örneğin 1 numaralı yol isteğinin işleme konulabilmesi için, 2 numaralı yol için halihazırda bir istek gelmemiş olmalıdır. Bir yol isteği geldiği zaman, o yol içindeki ray devrelerine birer jeton atılır ve bu şekilde rezervasyon için uygun olup olmadığı kontrol edilmesi gerektiği belirtilir. Bir ray devresinin rezerve edilebilmesi için, önceden başka bir yol için rezerve edilmemiş olması, ray bölgesinin meşgul olmaması ve ray devresine girişte makas olması durumunda, makasın doğru konumda olması gerekir. Her ray devresi teker teker rezervasyon için kontrol edildikten sonra, hepsinin hazır olması durumunda, yolun hazır olduğunu beliren bit setlenir.

TKM'nin rezervasyon isteğini manuel olarak iptal etme ihtiyacı olabileceğinden (hatalı yol isteği, yolda bir engel vb.), bir rezervasyon iptal girişi rezervasyon bloğuna eklenmiştir. Kurulu veya kurulmakta olan yol için bir iptal isteği geldiğinde, yol ile ilgili değişkenler sıfırlanırlar.

Rezerve edilen bir yolun, kullanımdan sonra rezervasyonunun da kaldırılması gerekmektedir. Yani bir yol rezerve edilip tren o yolda ilerlerken, geçtiği ray bölgelerindeki rezervasyonların kaldırılması gerekir. Bu yüzden trenin ray bölgesine girdiği zaman oluşan çıkan kenar işareti kullanılarak, ray devresinin rezervasyonu

iptal edilir. Sinyaller fonksiyon bloğu da, ışıkların durumlarını rezervasyon durumlarına göre değiştirdiğinden, ilgili bloğun girişlerindeki ışıklar otomatik olarak gerekli konumlara alınırlar. Yol 1 için tasarlanan rezervasyon fonksiyon bloğunu oluşturmak için üretilen Petri ağı Şekil 4.2’de görülmektedir. Bu çizimde mantıksal ve işareti için $\wedge$, mantıksal veya işareti için $\vee$ gösterimi kullanılmıştır. Diğer 3 yol için olan fonksiyon blokları da bu şekile benzer yapıda oluşturulmuştur.

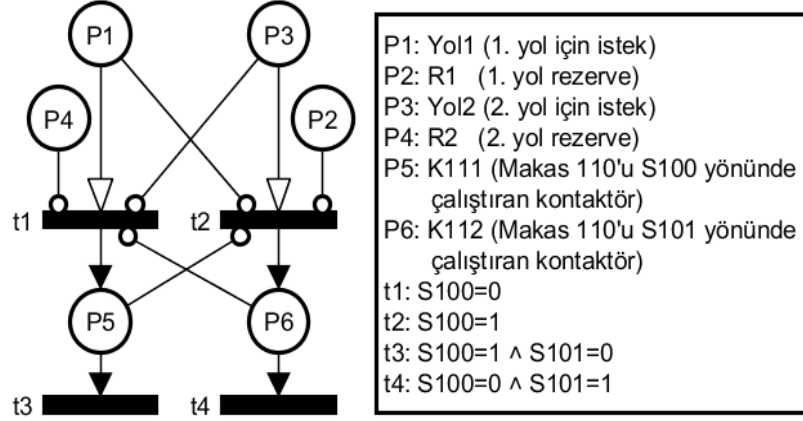


Şekil 4.2 : Rezervasyon bloğunu oluşturmak için üretilen PA.

4.3.2 Makaslar bloğu

Makaslar bloğunda, gelen bir yol rezervasyon isteği doğrultusunda, pozisyon değiştirmesi gereken makasların hareketi sağlanır. TKM’den gelen bir yol rezervasyonu isteği için, makas doğru pozisyonda değilse, ilgili kontaktör çekilir ve makas motoru çalıştırılır. Makas motorları iki yönde çalıştığından, bir yönün kontaktörü çekili iken diğer kontaktörün boşta olması gerekir. Makasın istenilen konuma geldiği bilgisi, sensör yardımı ile okunduktan sonra, makas motoru

durdurulur. Makas 110 için tasarlanmış fonksiyon bloğunu oluşturmak için üretilen Petri ağı Şekil 4.3'te görülmektedir. Diğer makas blokları da benzer şekilde oluşturulmuştur.



Şekil 4.3 : Makas bloğunu oluşturmak için üretilen PA.

4.3.3 Sinyaller bloğu

Sinyaller bloğunda, hat boyunca olan tüm sinyallerin alacakları durumlar belirlenir. Bloğun başında, güvenlik amacıyla tüm sinyallerin durumları kırmızıya çevrilir, sonrasında her yol isteği için o yol güzergahındaki ray bölgelerinin rezervasyonlarına göre gerekli sinyallerin durumları değiştirilir. Sinyallerin yakılmasında dikkat edilen husus rezerve edilen yolların ardışıklığıdır. Bir sinyalden sonra tek bir ray bloğu rezerve edilmişken, sonrasındaki ray bloğu rezerve edilmemişse, o sinyal bir sonraki sinyalin kırmızı olabileceğini göstermek amacıyla sarı durumuna alınır. Eğer bir sinyalden sonra en az iki blok rezerve edilmişse, o sinyal sonraki iki bloğun rezerve olduğunu ve en az iki blok boyunca kırmızı sinyal olmadığını bildirecek şekilde yeşil durumuna alınır.

Bu çalışmada kullanılan sinyaller 3 durumlu olduğundan, bir durumun set edilmesi durumunda diğer iki durumun resetlenmesi gerekmektedir. Örneğin L101 sinyalinin kırmızı durumunu gösteren lambası yanarken, sarı ve yeşil durumlarını gösteren lambaların yanmaması gerekmektedir.

Sinyaller bloğunda sinyallerin durumlarını değiştiren kodun yazımında Petri ağları ile tasarım yapmak gerekli görülmemiştir. Bunun yerine her yol isteği için basit bir çizelge oluşturulup, bu çizelge yardımıyla merdiven diyagramına dönüşüm gerçekleştirilmiştir. Çizelge 4.3'te Yol 1 isteği için sinyallerin durumlarını gösteren

çizelge, Çizelge 4.4'te de Yol 2 isteği için sinyllerin durumlarını gösteren çizelgeye yer verilmiştir. Yol 3 için olan çizelge Yol 1 ile ve Yol 4 için olan çizelge Yol 2 ile mantık benzerliği taşıdığından, sadece bu iki çizelgeye yer verilmiştir.

Çizelge 4.3 : Yol 1 için sinyallerin rezervasyonlara göre durumları.

R_1											*	*
Vol_1	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*		
R_C							*	*	*	*	*	*
R_B				*	*	*				*	*	*
R_A		*	*		*	*		*	*		*	*
R_A_1_I		*			*			*			*	
L111	R	R	R	R	R	R	Y	Y	Y	G	G	G
L112	R	R	R	Y	G	G	R	R	R	Y	G	G
L113	R	G	Y	R	G	Y	R	G	Y	R	G	Y

Çizelge 4.4 : Yol 2 için sinyallerin rezervasyonlara göre durumları.

[illegible]

4.3.4 Genel geçer kurallar bloğu

Elektrikli ulaşım sistemlerinde sinyalizasyon gerçekleştirirken, dikkat edilmesi gereken, genel geçer kurallar bulunmaktadır. Bu kurallar, her ne durum olursa olsun uygulanması gereken, temel kurallardır. Genel geçer kurallar bloğunda bu kurallar incelenmiştir. Bu bloktaki kurallar, diğer tüm kurallardan daha öncelikli olduğundan dolayı, bu blok programın en sonuna yerleştirilir ve çevrim sonunda çıkış işaretleri değiştirilmeden önce bu kuralların geçerlilikte kalması sağlanır.

Bir ray devresinin meşgul olması durumunda, o ray bölgesine girişi işaret eden tüm sinyallerin kırmızı olması gereklidir. Diğer bir deyişle, sinyalin önünde tren varsa, sinyal kırmızı yanmalıdır. Aynı şekilde, eğer bir sinyalin önündeki makas ne reverse ne de normal konumda ise (ortada kalmışsa) veya hareket halindeyse, o sinyalin kırmızı yanması gerekmektedir, aksi taktirde kaza kaçınılmaz olur.

Genel geçer kurallardan biri de makasların hareketi ile ilgilidir. Bir makasın üzerinde tren varsa, makas hareket etmemelidir. Ancak bu genel geçer kuralın, makas bloğunun içinde, makasları harekete geçiren komutların içinde uygulanması uygun görülmüştür. Eğer bir makasın üzerinde tren bulunuyorsa, ilgili makasın motorunu harekete geçirecek olan kod çalışmamaktadır.

4.4 Diğer Bloklar İle Haberleşme

st kısımda anlatılan 4 fonksiyon bloğu, bir başka fonksiyon bloğu içine yerleştirilerek bu tez çalışmasında incelenen demiryolu bölgesi için gerekli sinyalizasyonun çalışmasını sağlar. şu anki yapı itibarı ile, oluşturulan program demiryolu bölgesinin yatay olarak genişlemesi halinde kolayca diğer bloklar ile haberleşebilmektedir. Bunu sağlamak için, demiryolu bölgesinin 4 ucundaki ray devrelerinin rezervasyon bilgileri fonksiyon bloğunda giriş ve çıkış olarak tanımlanmışlardır. Bu ekleme sayesinde, ışıkların durumları bir sonraki ray devresi göz önüne alınarak değiştirilebilmektedir. Örneğin, Yol 1 için A ray devresinin rezerve olması durumunda, bir sonraki ray devresi ile haberleşme olmaması halinde A'dan sonra gelen ray devresinin müsait olmaması olasılığından dolayı L113 ışığının sarı durumunda bulunması gerekmektedir. Eğer A bloğundan sonra gelen ray devresinin rezerve olup olmadığı bilgisine sahip olunursa, bu durumda L113 ışığı sonraki bloğun durumuna göre yeşil durumuna alınabilir.

5. ÖRNEK BİR DEMİRYOLU BÖLGESİNİN ANKLAŞMAN TABLOSU YARDIMIYLA PETRİ AĞLARI KULLANILARAK SİNYALİZASYONU

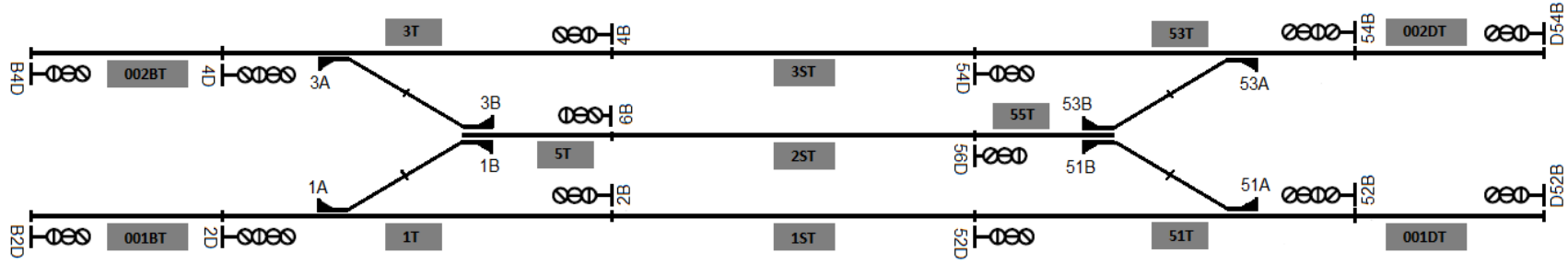
5.1 Giriş

Bu bölümde, bir önceki bölümde sinyalizasyonu yapılan demiryolu bölgesinin gerçeğe uygun hale getirilmiş bir versiyonunun sinyalizasyonu, bir anlaşman tablosu kullanılarak gerçekleştirilecektir. Bir önceki bölümdeki gibi tasarım Petri ağları kullanılarak yapılacak olup, TPL yöntemi ile merdiven diyagramına dönüştürülerek PLC’de programlanacaktır. Tasarım ve uygulama kolaylığı açısından, cavaplama, rezervasyon, makaslar, ışıklar ve genel geçer kurallar olarak 5 ayrı fonksiyon bloğu oluşturulacak, daha sonra hepsi bir fonksiyon bloğunda birleştirilecektir.

5.2 Sinyalizasyonu Yapılan Demiryolu Bölgesinin Tanıtılması

Şekil 5.1’de gösterilen sinyalizasyonu gerçekleştirilecek istasyon bölgesinde 13 adet ray devresi, her biri ikişer makastan oluşan 4 adet S makas, 8 tane 3 durumlu yüksek sinyal, 2 adet 3 durumlu cüce sinyal ve 4 adet 4 durumlu yüksek sinyal bulunmaktadır. Bu istasyon bölgesi için, Çizelge 5.1 ve Çizelge 5.2’de sunulan anlaşman tablosunda yer alan önceden belirlenmiş 20 adet yol için istek yapılabilir. Bu yollar, istasyona giriş ve çıkış olmak üzere gruplanmış 16 adet yol ve istasyona yaklaşmak için kullanılan 4 adet yoldan oluşmaktadır. Bu yollar tek tek istenebileceği gibi, birlikte de istenebilirler. Örneğin bir tren, 2ST olarak adlandırılan istasyon yolunda beklemek için istasyona batı kanadından geldiğinde, öncelikle B2D ışığını kullanarak 001BT yoluna girer ve sonrasında 2D ışığını kullanarak 2ST istasyon yoluna ulaşır. Bu istasyon yolundan istasyonun doğu kanadına çıkış yapmak istediğinde ise, 56D ışığını dikkate alarak 001DT yoluna ulaşır.

Demiryolu bölgesinin doğu ve batısında kalan, çizimde yer almayan kısımların da sinyalli oldukları varsayılmış, ancak bu sinyallerin renk bildirimleri bilinmediğinden çıkış yollarında tek tip, sarı renkte sinyal bildirimi verilmesi uygun görülmüştür.



Şekil 5.1 : Sinyalizasyonu yapılan demiryolu bölgesi.

Çizelge 5.1 : Anlaşman tablosu, Yol 1 - Yol 8.

Tanım			Sinyal ve Bildirimi		Bir Sonraki Sinyal ve Durumu		Ray Devresi Durumları		Makaslar ve Konumları		Kilitlenecek Ray Devreleri, Yol ve Sinyaller						
İsim	Güzergâh																
Yol1	GİRİŞ SİNYALİ	001BT-1ST	2D	Y	52D S veya Y	1ST: Boş	1T: Boş	1N	1T	Yol13	2B						
				S	52D K												
				SK								1ST: Dolu					
Yol2		001BT-2ST		SY	56D S veya SY	2ST: Boş						1T: Boş 5T: Boş	1R 3N	1T 5T	Yol14 Yol15	6B	
				SS	56D K												
				SK													2ST: Dolu
Yol3		002BT-2ST	SY	56D S veya Y	2ST: Boş	3T: Boş 5T: Boş	1N 3R	3T 5T									
			SS	56D K													
			SK						2ST: Dolu								
Yol4		002BT - 3ST	Y	54D S veya Y	3ST: Boş				3T: Boş	3N	3T	Yol16	4B				
			S	54D K													
			SK											3ST: Dolu			
Yol 5	ÇIKIŞ SİNYALİ	1ST-001BT	2B	S		1T: Boş 001 BT: Boş	1N	1T						Yol17	2D B2D		
Yol 6		2ST-001BT	6B	S		1T: Boş 5T: Boş 001 BT: Boş	1N R3	1T 3T									
Yol 7		2ST-002BT	6B	S		3T: Boş 5T: Boş 002 BT: Boş	1R 3N	1T 3T						Yol18	4D B4D		
Yol 8		3ST-002BT	4B	S		3T: Boş 002 BT: Boş	3N	3T									

Çizelge 5.2 : Anlaşman tablosu, Yol 9 - Yol 20.

Tanım		Sinyal ve Bildirimi		Bir Sonraki Sinyal ve Durumu		Ray Devresi Durumları		Makaslar ve Konumları		Kilitlenecek Ray Devreleri, Yol ve Sinyaller		
İsim	Güzergâh											
Yol 9	ÇIKIŞ SINYALI	1ST-001DT	52D	S			51T: Boş 001 DT: Boş	51N	51T	Yol19	52B D52B	
Yol 10		2ST-001DT	56D	S			51T: Boş 55T: Boş 001 DT: Boş	51R 53N	51T 55T			
Yol 11		2ST-002DT	56D	S			53T: Boş 55T: Boş 002 DT: Boş	51N 53R	53T 55T	Yol20	54B D54B	
Yol 12		3ST-002DT	54D	S			53T: Boş 002 DT: Boş	53N	53T			
Yol 13	GİRİŞ SINYALI	001DT-1ST	52B	Y	2B S veya Y	1ST: Boş	51T: Boş	51N	51T	Yol1	52D	
Yol 14				S	2B K							
				SK								1ST: : Dolu
		001DT-2ST		Y	6B SS veya SY	2ST: Boş	51T: Boş 53T: Boş	51R 53N	51T 53T	Yol2	56D	
S				6B K								
SK					2ST: Dolu							
Yol 15		002DT-2ST	54B	Y	6B SS veya SY	2ST: Boş	51T: Boş 53T: Boş	51N 53R	51T 53T	Yol3	56D	
S				6B K								
SK					2ST: Dolu							
Yol 16		002DT-3ST		Y	4B S veya Y	3ST: Boş	53T: Boş	53N	53T	Yol4	54D	
				S	4B K							
				SK								3ST: Dolu
Yol 17	GİRİŞ SINYALI	BG1-001BT	B2D	Y	2D S,Y,SS veya SY		001BT: Boş			Yol5 Yol6		
S				2D K								
Yol 18		BG2-002BT	B4D	Y	4D S,Y,SS veya SY		002BT: Boş			Yol7 Yol8		
				S	4D K							
Yol 19		DG1-001DT	D52B	Y	52B S,Y,SS veya SY		001DT: Boş			Yol9 Yol10		
				S	52B K							
Yol 20		DG2-002DT	D54B	Y	54B S,Y,SS veya SY		002DT: Boş			Yol11 Yol12		
				S	54B K							

5.3 Algoritmanın Tasarımı

Şekil 5.1'deki istasyon bölgesinin anlaşılan yazılımını gerçekleyecek olan algoritma, tasarım ve takip kolaylığı sağlaması nedeniyle, bir tek blok olarak tasarlanmak yerine, cevaplama, rezervasyon, makaslar, sinyaller ve genel geçer kurallar olmak üzere 5 ayrı blok ile tasarlanmıştır.

5.3.1 Cevaplama bloğu

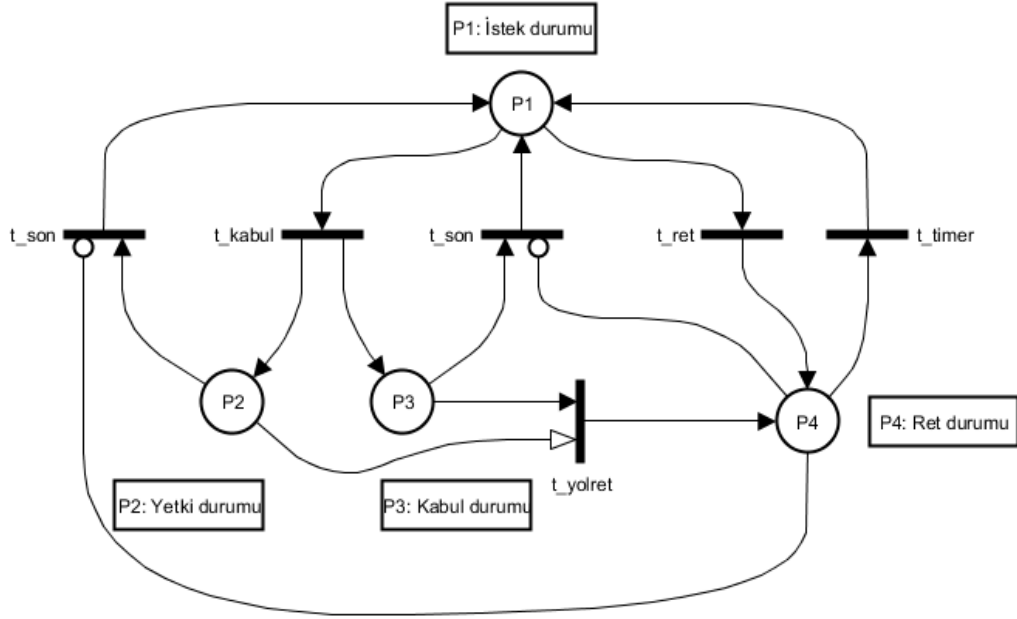
İlk durumda iken bir yol isteği geldiği zaman, öncelikle istekte bulunulan yol ile çakışan önceden rezerve edilmiş ya da rezerve edilmekte olan bir yol bulunup bulunmadığı ve ilgili tüm ray devrelerinin boş olması kontrol edilir. Eğer istekte bulunulan yol ile çakışan önceden rezerve edilmiş ya da rezerve edilmekte olan bir yol varsa veya boş olması gereken ray devrelerinden biri boş değilse, rezervasyon isteği reddedilir. Örneğin bir giriş güzergahı olan 001BT – 1ST yolu için meşgul olmaması gereken ray devresi, 1T ray devresidir. Tren 001BT – 1ST yolu için istekte bulunurken 001BT ray devresi üzerinde olabileceğinden, bu ray devresinin boş olma şartı aranmaz. Aynı şekilde, varış yapacağı ray devresi istasyon içinde olduğundan ve istasyon içlerinde bulunan ray devrelerinde trenlerin birbirlerine eklenmesi gibi istekler bulunabileceğinden dolayı, 1ST ray devresinin de meşgul olmama koşulu aranmaz.

Başka bir örnek olarak, 1ST – 001BT yolu istendiğinde, tren istekte bulunduğu sırada 1ST ray devresinde olabileceğinden bu ray devresinin meşgul olmama şartı aranmaz. Trenin üstünden geçeceği makas bölgesi olan 1T ray devresinin meşgul olmaması gereklidir ve bunun yanında bu yol bir ana hatta çıkış yolu olduğundan dolayı, çıkış yapılacak olan varış ray devresi, yani 001BT'nin de meşgul olmaması gerekir.

Bu bilgiler ışığında; bir yol için rezervasyon isteği geldiği zaman, ray devrelerinin meşgulliyetini değerlendirirken istekte bulunulan yolun giriş ya da çıkış yolu olması önem kazanmaktadır. Bu sebeple rezervasyon isteğinin kabulü için ray devreleri kontrol edilirken bu koşula dikkat edilir.

Cevaplama bloğundaki Petri ağının ilk durumundaki jeton, bir rezervasyon isteği geldiği zaman eğer istek olumlu bulunursa, isteğin kabul edildiğini bildiren kabul ve yetki yerlerine geçer. Aksi taktirde, jeton ret yerine geçer. Bir yol rezervasyon isteği

yapıldığında önce kabul edilip, ardından yol hazırlanırken veya hazırlanmışken reddedilebilir. Örneğin bir makas yol rezerve edildikten sonra hataya düşebilir veya ray devrelerinden bir veya birkaçı meşgul duruma düşebilirler. Bu durumda Petri ağındaki jeton, kabul yerinden ret yerine geçer. Ancak yetki yerinde güzergah ile ilgili işlemler sonlanana kadar kalmaya devam eder. Cevaplama bloğunun Petri ağı çizimi şekil 5.2’de görülmektedir.

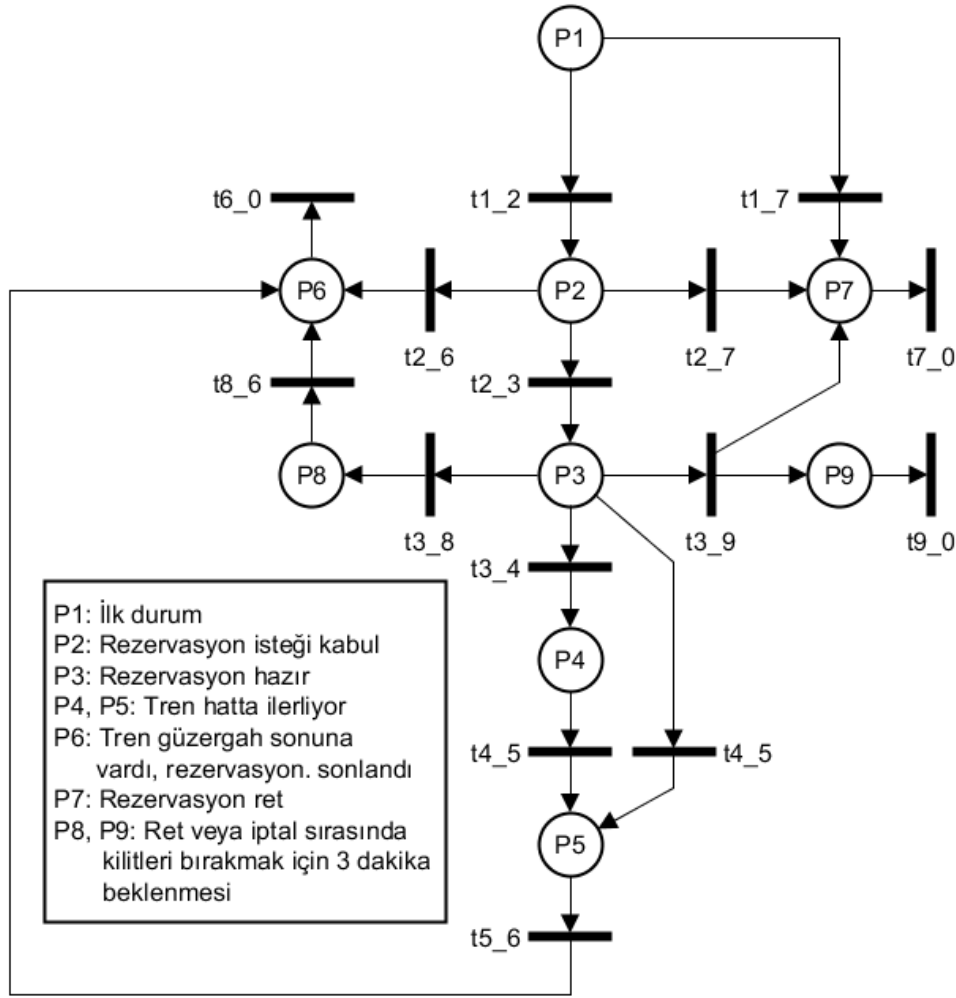


Şekil 5.2 : Cevaplama bloğu PA.

5.3.2 Rezervasyon bloğu

Anklaşman algoritmasının en önemli kısmı olan rezervasyon bloğunda, bir önceki örnekten farklı olarak, genel bir algoritma tasarımına gidilmiştir. Bu genel algoritma sayesinde, tüm olası yol istekleri için tek bir fonksiyon bloğu kullanılacak olup, blok girişine her yol için ayrı değişkenler atanacaktır. Rezervasyon bloğu’nun PA Şekil 5.3’de görülmektedir.

Cevaplama bloğu çıkışındaki yetki değişkeni, rezervasyon bloğuna girilip girilmeyeceğine karar veren değişkendir. Yetki değişkeninin kurulu olması durumunda, rezervasyon bloğu aktif olur ve rezervasyon için gereken işlemler uygulanmaya başlarlar.



Şekil 5.3 : Rezervasyon bloğu PA.

Eğer yol rezervasyon isteği geldikten sonra ilgili hiçbir ray devresi meşgul değilse, rota ve makaslar kilitli değilse ($t_{1,2}$), bu durumda yolu rezerve etme işlemine başlanır ve makasların durumu kontrol edilir. Makaslardan uygun konumda olmayanlar için, gerekli konumlarına istek yapılır. Makaslar bloğu ilgili makasları gerekli konuma alır ve bu bilgiyi rezervasyon bloğuna iletir. Tüm makaslar hataya düşmeden doğru konuma ulaştığında, ilgili tüm ray devreleri hala boş ise ($t_{2,3}$) yol rezerve edilir. Bu aşamada makaslar ve çakışabilecek olası diğer yollar kilitlenir. Aksi halde, yani makasların istenilen konuma ulaşamaması durumu veya ilgili ray devrelerinden herhangi birinin meşgul olması durumunda ($t_{2,7}$), yol rezervasyon isteği reddedilir.

Yol rezerve edildikten sonra, ilgili sinyalin bildirim verebilmesi için, sinyal bloğuna girilir ve ilgili sinyal rezerve edilmiş yol için uygun bildirimini verir.

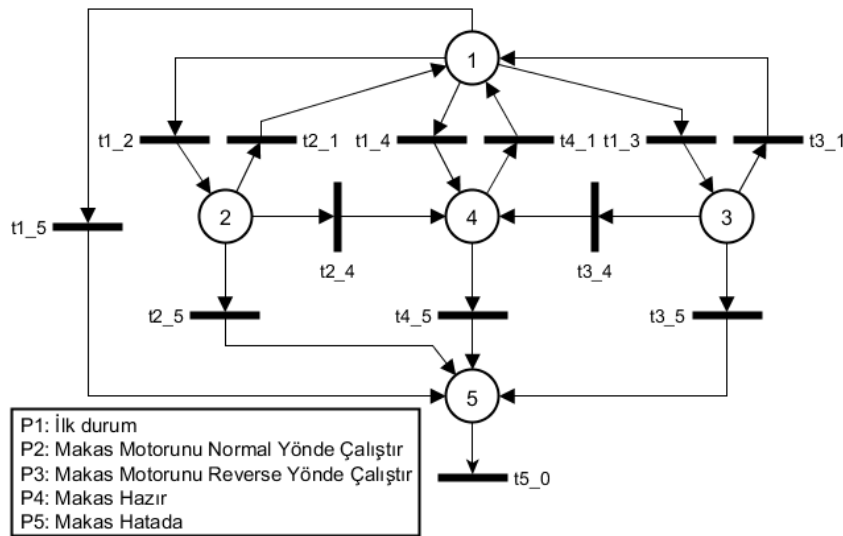
Bu noktadan sonra, tren ilgili sinyali geçince (t_{3_4} veya t_{4_5}) , sinyal derhal kırmızıya döner, ancak rezervasyon ve kilitler tutulmaya devam ederler. Trenin yol boyunca ilerleyişi takip edilir ve tren varış ray devresine ulaşp, bir önceki ray devresinden çıktığı zaman (t_{4_5}) rezervasyon ve kilitler bırakılır.

Rezervasyon bloğunun işleyişi sırasında herhangi bir anda rezervasyon iptali (t_{2_6}) için istek gelebilir. Tren ışığı geçip, istekte bulunulan yolda ilerlerken rezerve edilen yol üzerindeki rezervasyonu iptal etmek(t_{3_6}) kazalara sebebiyet verebileceğinden, istekte bulunulan yoldaki ilgili ray devrelerinden herhangi biri dolu iken yapılan rezervasyon iptal istekleri dikkate alınmaz. Diğer durumda, istek kabul edilir ve ışığın hemen kırmızıya çekilmesi için ilgili değişken sıfırlanır. Ardından güvenlik nedeniyle kilitler bırakılmadan önce 180 saniye beklenir(t_{8_6}) ve kilitler çözülür.

Bir yol rezerve edildikten sonra, makaslardan birinden hata işareti gelirse yol isteği reddedilir (t_{3_9}) ve sinyal durumunu kırmızıya çekmek için ilgili değişken sıfırlanır. Sonrasında iptal koşullarında olduğu gibi kilitler bırakılmadan önce 180 saniye beklenir(t_{9_0}) ve kilitler çözülür.

5.3.3 Makaslar bloğu

Makaslar bloğu, bir yol için rezervasyon isteği geldiğinde, ilgili makasların istenilen konuma getirilmesini sağlar. Rezervasyon bloğunda olduğu gibi, bu blokta da genel bir yapıya gidilmiştir. Makaslar bloğunu oluştururken kullanılan PA Şekil 5.4'te verilmiştir.



Şekil 5.4 : Makaslar bloğu PA.

Makaslar bloğu ilk durumda iken, normal veya reverse yönde bir makas isteği rezervasyon bloğundan ulaştığında, ilgili makas eğer istenilen konumda değilse ve makasın bağlı bulunduğu ray devresi meşgul değil ise (t_{1_2} veya t_{1_3}), makas motoru ilgili yönde çalıştırılır. Bu aşamada makasın bulunduğu ray devresi meşgul duruma geçerse, makas dilinin ortada kalmaması için makas motorunun hareketi durdurulmaz. Makas istenilen pozisyona geldiğinde (t_{2_4} veya t_{3_4}), ki bu aşamadaki konum kontrolü iki algılayıcının bilgileri beraber değerlendirilerek yapılır, makas motoru durdurulur ve hazır bilgisi üretilir. Eğer makas istek geldiğinde zaten istenilen konumda ise (t_{1_4}), hazır bilgisi hemen üretilir. Makas hareket halinde iken makasa ilişkin istek bilgisi sıfırlanırsa (t_{2_1} veya t_{3_1}), makas hareketini tamamlar ancak PA ilk duruma geri döner.

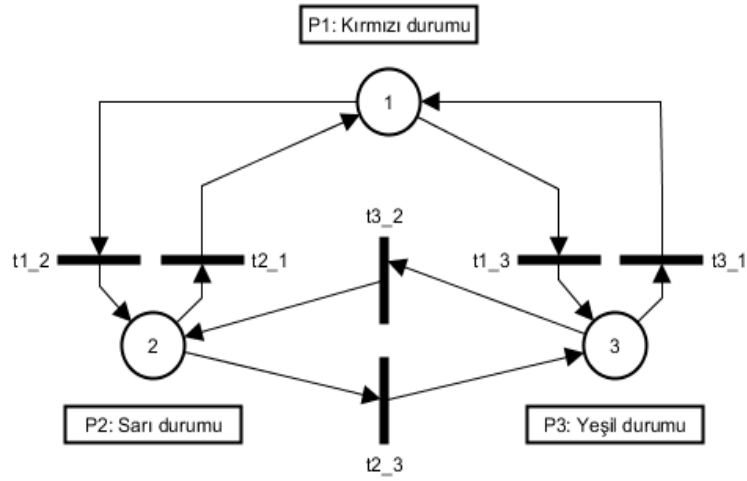
Makasın herhangi bir sebepten dolayı istenilen konuma belirli bir süre içinde (örneğin 10 saniye) ulaşmaması durumunda (t_{2_5} veya t_{3_5}) makas motorunun yanmaması için makas motoru durdurulur ve makasa ilişkin hata bilgisi üretilir. Makasın algılayıcılarından ikisinin de lojik 1 değerini vermesi halinde de (t_{1_5} veya t_{4_5}), yine hata bilgisi üretilir. Hata bilgisi üreten makas, kendisini içeren bir yol için istek gelene kadar hata durumunda kalır.

İlgili yol için rezervasyon sonlandığında (t_{4_1}), makas bloğu hazır yerinden çıkıp, ilk yere döner ve yeni komut bekler.

5.3.4 Sinyaller bloğu

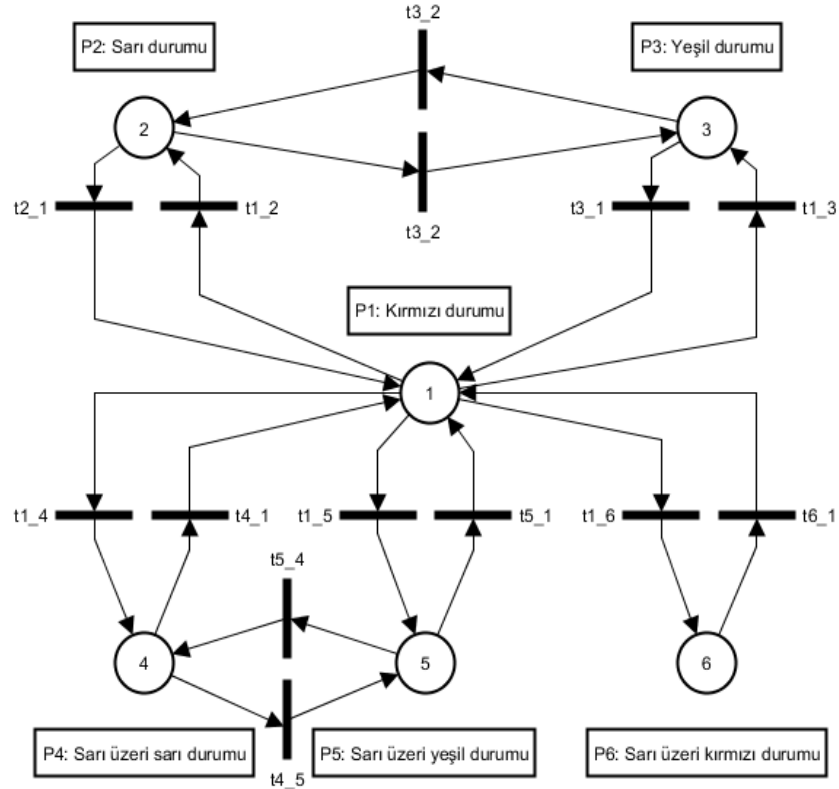
Bu tez çalışmasının beşinci bölümündeki sinyallerin bildirim değiştirme koşulları, Çizelge 5.1 ve Çizelge 5.2'deki örnek anlaşılan tablosuna göre düzenlenmiştir. Örnek demiryolu bölgesinde üç tip sinyal kullanımına gidilmiştir: demiryolu bölgesine yaklaşma sinyalleri ve sapma olmayan çıkışlar için 3'lü yüksek sinyal, istasyon girişleri için 4'lü yüksek sinyal ve barınma yollarından saparak yapılacak çıkışlar için 3'lü cüce sinyal.

3'lü yüksek sinyallerin Petri Ağları normalde kırmızı yerde bulunup, buna ek olarak rezervasyon şekline göre sarı veya yeşil yerlerine geçebilmektedirler. 3'lü sinyallere ilişkin PA Şekil 5.5'te görülmektedir (Birol ve Söylemez, 2010).



Şekil 5.5 : 3'lü yüksek sinyal için PA (Birol ve Söylemez, 2010).

4'lü yüksek sinyallerin Petri ağları da normalde kırmızı yerinde bulunup, buna ek olarak rezervasyon şekline göre sarı, sarı üzeri sarı, sarı üzeri yeşil, sarı üzeri kırmızı ve yeşil yerlerine geçebilmektedirler. 4'lü yüksek sinyallere ilişkin PA Şekil 5.6'te görülmektedir (Birol ve Söylemez, 2010).



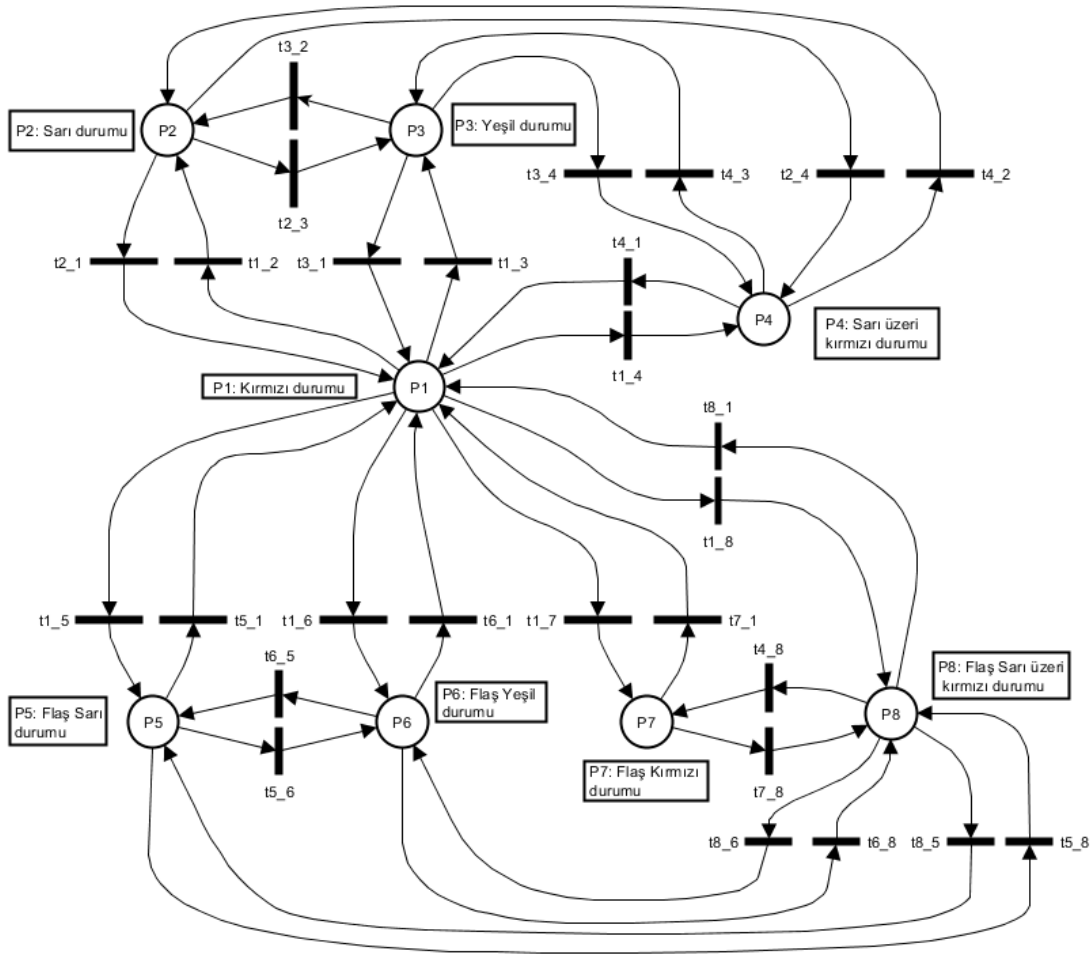
Şekil 5.6 : 4'lü yüksek sinyal için PA (Birol ve Söylemez, 2010).

3'lü cüce sinyallerin Petri Ağları normalde kırmızı yerde bulunup, buna ek olarak rezervasyon durumuna göre sarı, yeşil, sarı üzeri kırmızı, flaş sarı, flaş yeşil veya flaş

kırmızı yerlerine geçebilmektedirler. 3'lü cüce sinyal için PA Şekil 5.7'te görülmektedir.

Rezervasyon isteğinde bulunulan yol hazır hale gelip rezerve edildiğinde, ray devreleri durumu kontrol edilip sinyal bildirimleri değiştirilir. Örneğin bir giriş güzergahı olan 001BT – 1ST güzergahının rezerve olduğu durum için, 1T ve 1ST ray devreleri boş ise ve bir sonraki sinyal olan 54B sinyali kırmızı ise 2D sinyali sarı bildirim verecektir. 54B sinyalinin sarı veya yeşil olması durumunda, 2D sinyalinin bildirimi yeşil olacaktır. Ancak 1ST ray devresinin meşgul olması durumunda, 2D sinyali bir sonraki sinyal olan 54B sinyalinin durumunu gözetmeksizin, istasyon yolunun meşgul olduğunu ve trenin her an durabilecek gibi ilerlemesini bildiren sarı üzeri kırmızı durumuna geçer.

Tüm sinyal yanma koşulları için, ilgili yol için yapılmış rezervasyon iptal edildiği veya trenin sinyali geçtiği durumlarda sinyal derhal kırmızıya döner.



Şekil 5.7 : 3'lü cüce sinyal için PA.

5.3.5 Genel geçer kurallar bloğu

Elektrikli ulaşım sistemlerinde sinyalizasyon gerçekleştirirken, dikkat edilmesi gereken, genel geçer kurallar bulunmaktadır. Bu kurallar, her ne durum olursa olsun uygulanması gereken, temel kurallardır. Genel geçer kurallar bloğunda bu kurallar incelenmiştir. Bu bloktaki kurallar, diğer tüm kurallardan daha öncelikli olduğundan dolayı, bu blok programın en sonuna yerleştirilir ve çevrim sonunda çıkış işaretleri değiştirilmeden önce bu kuralların geçerlilikte kalması sağlanır. Bu bloktaki algoritma, PA kullanılarak tasarlanmamıştır.

Bir ray devresinin meşgul olması durumunda, o ray bölgesine girişi işaret eden tüm ışıkların kırmızı olması gereklidir. Diğer bir deyişle, ışığın önünde tren varsa ışık kırmızı yanmalıdır. Aynı şekilde, eğer bir ışığın önündeki makas ne reverse ne de normal konumda ise (ortada kalmışsa veya hareket halindeyse), o ışığın kırmızı yanması gerekmektedir, aksi taktirde kaza kaçınılmaz olur. 2D sinyali için genel geçer kural kodu (5.1)'deki gibi oluşturulmuştur.

$$\overline{1T} + 1T * (1N * 1R + \overline{1N} * (\overline{1R} + 1R * \overline{5T})) + S_2D_K = S_2D_K \quad (5.1)$$

Ayrıca genel geçer kurallar bloğunda, bir sinyalin bildirimi kırmızı ise, diğer durumlarının resetlenmesini içeren algoritmaya da yer verilmiştir, böylece kırmızı bildirimi veren sinyalin aynı anda başka bildirim vermesinin önüne geçilmiştir.

Diğer tüm sinyaller için de aynı yaklaşım ile kurallar oluşturulup, hepsi genel geçer kurallar bloğunda birleştirilmişlerdir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, demiryolları, demiryollarındaki sinyalizasyon sistemleri ve tarihleri hakkında genel bilgi verilmiştir. Örnek bir demiryolu bölgesinin sinyallenmesi hedeflenip, tasarım yöntemi olarak Petri ağları seçilmiştir. Tasarıma geçmeden önce Petri ağları anlatılmış ve Petri ağlarından PLC programlanmasını gerçeklemeye olanak veren TPL yöntemi hakkında bilgi verilmiştir.

Belirlenen örnek demiryolu bölgesi için ilk oluşturulan şema, her ray devresinden sonra sinyaller (3 durumlu) içeren, genel bir şema yapısındadır. Bu yapıdaki demiryolu bölgesi için, her ray devresini ayrı ayrı rezerve edip, toplamda da istenen yolu rezerve eden bir yapıya gidilmiştir. TKM, demiryolu bölgesini kullanacak tren için sadece belirli yolları isteyebilecektir. Ancak bu yollar arasında birbirini içeren alternatifler de bulunabilirler, önce ana hat yollarından birinde bekleyip sonra ilerleyecek trenin isteyeceği iki yolun demiryolu bölgesini transit geçmek isteyen bir tren için istenen yolun alt yolları olması gibi.

Aynı demiryolu bölgesi için oluşturulan, gerçeğe daha uygun olan tasarımda ise, istenebilecek yolların girişlerine sinyaller konulmuştur. Bu sayede sinyal sayısı azalırken, daha kullanılabilir bir yapı elde edilmiştir. İlk tasarımdan farklı olarak, ikinci tasarımda tek tip sinyal yerine, hem 3 durumlu hem 4 durumlu sinyaller kullanılmıştır. Ayrıca bu tasarımda demiryolu bölgesinden durmadan geçecek tren için özel olarak bir yol oluşturulmamış olup, bu isteğin TKM tarafından iki aşamalı olarak (demiryolu bölgesine giriş ve çıkış) yapılması sağlanmıştır. Bu sayede demiryolu bölgesi içinde istenebilecek olası yol sayısı azaltılmıştır. Sinyallenecek demiryolu bölgesinin sinyallenme şartlarını içeren bir anlaşıman tablosu oluşturulup, bu sayede tasarımda daha formal bir yöntem kullanılmıştır. Anlaşıman tablosunun avantajları, tüm demiryolu bölgesi için gerekli makas pozisyonlarını, sinyallerin olası durumlarını ve kilitlenmesi gereken makas ve rotaları içermesi, bunların tek bir tabloda takip edilebilmesidir. İkinci tasarım yöntemi bu nedenle birinciye oranla öne çıkmaktadır.

İkinci tasarım yönteminde, tüm yol istekleri için kullanılacak tek bir rezervasyon bloğu oluşturulduğundan genel bir yapı oluşturulmuş olup, hem programlama açısından, hem de kontrol ve sertifikasyon açısından kolaylık sağlanmaktadır. Ayrıca makaslar ve ışıklar için de genel bloklar olduğundan dolayı, bu bloklar, yeni demiryolu bölgelerini sinyallerken üzerlerinde değişiklik yapılmadan kullanılabileceklerdir.

Her iki algoritmada da sinyalizasyonun gerçekleştirilmesinde merdiven diyagramları ile programlanabilen PLC yazılımı kullanılmıştır.

6.1 Çalışmanın Uygulama Alanı

Bu çalışmada anlatılan sinyalizasyon uygulamaları, otomatik sürüş bulunmayan, sinyallenmiş tüm demiryolu uygulamalarında gerçekleştirilebilir. Benzer demiryolu bölgeleri için temel olarak aynı algoritma yapısı kullanılabilecek olup, daha fazla sayıda ana hat bulunduran demiryolu bölgeleri için rezervasyon bloğunun algoritmasında genişleme yapılması gerekebilir.

6.2 İleri Çalışmalar

Bu tez çalışmasında konu edilen sinyalizasyon uygulamaları geliştirilerek çizimi yapılan bir istasyon planı için sinyalizasyonu otomatik olarak oluşturacak bir algoritma geliştirilebilir. Böylece, istasyona özel tasarım yapmak yerine ilgili ray devrelerine özel tasarım yapıp, bu ray devrelerini birbirlerine ekleyerek istasyon bütünü sinyallenebilir. Örneğin, düz raylar ve makasların sinyalizasyonu ayrı algoritmalar ile oluşturulup, daha sonra bunların birleştirilmesi ile tüm istasyon yapısı ortaya çıkartılabilir.

KAYNAKLAR

- Berkmen E.**, 1963: *Demiryollar Çekim*, İkinci Baskı, Teknik Üniversite Matbaası İstanbul.
- Birol B. ve Söylemez M. T.**, 2010: Petri Ağları Kullanılarak Demiryolu Sinyalizasyonu İçin Genel Algoritma Oluşturulması, *TOK 2010* (gönderildi), Gebze, Kocaeli.
- Cassandras C.G. ve Lafortune S.**, 2007: *Introduction to Discrete Event Systems*, 2nd Edition, 2007: Springer.
- Desrochers A.A. ve Al-Jaar R.Y.**, 1995: *Applications of Petri Nets in Manufacturing Systems, Modelling, Control and Performance Analysis*, IEEE Press, New York, ISBN:0-87942-295-5.
- Hall, S.**, 2001 *Modern Signalling Handbook*, 3rd Edition, 2001: Ian Allen Publishing.
- Jones A. H., Uzam M. ve Ajlouni N.**, 1996: Design Of Discrete Event Control Systems For Programmable Logic Controllers Using T-Timed Petri Nets. *Proceedings of the 1996 IEEE International Symposium on Computer-Aided Control System Design - CACSD'96*, Dearborn, MI, ABD, Eylül 15 - 18, sf. 212 - 217.
- Leduc O.**, 1970. *Demiryol Dersleri*, İkinci Baskı İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Matbaası, Çeviren: Mehmet Bozkurt sf. 5.
- Peterson J. L.**, 1981, *Petri Net Theory and the Modelling of Systems*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ.
- Petri, C. A.**, 1962: Kommunikation mit Automaten Schriften des Rheinisch Westfälischen Inst. für Intrumentelle Mathematik an der Universität Bonn, Translation by C. F. Green, Applied Data Research Inc., *Suppl 1 to Tech report*, RADC-TR-65-337, NY.
- Söyler H. ve Açıkbaş S.**, 2005: Raylı Toplu Taşımda Sinyalizasyon Sistemleri, *Elektrik-Elektronik- Bilgisayar Mühendisliği 11. Ulusal Kongresi*.
- Trenlerin Hazırlanması ve Trafiğine Ait Yönetmelik**, 2003, TCDD.
- TS EN 50128**, 2002: Demiryolu Uygulamaları - Haberleşme, Sinyalizasyon ve İşlem Sistemleri - Demiryolu Kontrol ve Koruma Sistemleri İçin Yazılım, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- Url-1**, < <http://www.tcdd.gov.tr/genel/acilistarihleri.htm> > alındığı tarih 2010.
- Url-2**, < <http://www.foxnews.com/story/0,2933,263542,00.html> > alındığı tarih 2010.
- Url-3**, < http://en.wikipedia.org/wiki/Axle_counter >, alındığı tarih 2010.
- Url-4**, < <http://www.karaca.tr.gg> >, alındığı tarih 2008.

- Uzam M. ve Jones A.H.**, 1996: Design of a Discrete Event Control System for a Manufacturing System Using Token Passing Ladder Logic, *Proceedings of the CESA'96 IMACS Multiconference, Symposium on Discrete Events and Manufacturing Systems*, Lille, Fransa, Temmuz, sf. 513-518.
- Uzam M. ve Jones A.H.**, 1998: Discrete Event Control System Design Using Automation Petri Nets And Their Ladder Diagram Implementation, *the International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Ekim, vol. **14**, no. 10, sf. 716-728.
- Uzam M.**, 1998: Petri-Net Based Supervisory Control Of Discrete Event Systems And Their Ladder Logic Diagram Implementations, *Doktora Tezi*, University of Salford, İngiltere.
- Zhou M.C. ve DiCesare F.**, 1993: *Petri Net Synthesis for Discrete Event Control of Manufacturing Systems*, Boston, MA, Kluwer Academic Publishers.

ÖZGEÇMİŞ

VESİKALIK
FOTO

Ad Soyad: Berkin Birol

Doğum Yeri ve Tarihi: Fatih, 1984

Adres: Bahçelievler / İstanbul

Lisans Üniversitesi: İstanbul Teknik Üniversitesi

Yayın Listesi:

Birol B., Söylemez M.T., 2010: Petri Ağları Kullanılarak Demiryolu Sinyalizasyonu İçin Genel Algoritma Oluşturulması. TOK 2010 (gönderildi) Kocaeli, Türkiye