

46989

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TRENERARASI ÇATIŞMA YÖNETİMİNE
DAYALI TRAFİK KONTROLÜ İÇİN
BİR KARAR DESTEKLEYİCİ SİSTEM

İnşaat Y. Müh. İsmail Şahin
F.B.E., İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Ulaştırma Programında
hazırlanan

DOKTORA TEZİ

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Aydın Erel

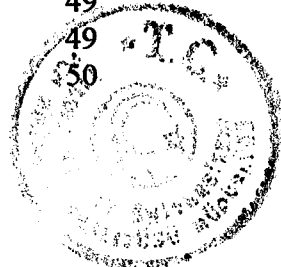
F.B.E. YÜKSEKÖĞRETİM BÜYÜK
KURUMANTASYON MERKEZİ

İSTANBUL, 1995



TRENLERARASI ÇATIŞMA YÖNETİMİNE DAYALI TRAFİK KONTROLÜ İÇİN BİR KARAR DESTEKLEYİCİ SİSTEM

SEMBOL LİSTESİ	I
ŞEKİL LİSTESİ	III
TABLO LİSTESİ	V
TEŞEKKÜR	VI
ÖZET	VII
SUMMARY	VIII
BÖLÜM 1 GİRİŞ: Amaç ve Kapsam	1
1.1 Amaç	1
1.2 Kapsam	5
BÖLÜM 2 KAYNAK ARAŞTIRMASI	8
BÖLÜM 3 DEMİRYOLU TRAFİK YÖNETİMİNİN ESASLARI	14
3.1 Giriş	14
3.2 Demiryolu Trafik Yönetimi Problemi	16
3.3 Demiryolu Trafik Yönetiminin Hiyerarşik Analizi	19
3.3.1 Trafik Yönetim Merkezi	19
3.3.2 Trafik Yönetim Bölgesi	23
3.4 Demiryolu Trafik Yönetiminin İşlevsel Analizi	24
3.5 Yeniden Çizelgeleme ve Trafik Kontrolü	26
3.5.1 Önceden Hazırlanmış Çizelge ve Gerçekleşen Çizelge	27
3.5.2 Yeniden Çizelgeleme ve Trafik Kontrolü İçin Gerekli Bilgiler	29
3.5.3 Yeniden Çizelgeleme ve Trafik Kontrolüne Yönelik Bazı Kurallar	32
BÖLÜM 4 DEMİRYOLU SİNYALİZASYONU VE TREN-TRAFİK KONTROL SİSTEMLERİ	34
4.1 Giriş	35
4.2 Trafiğin Merkezden İdaresi (TMİ) Sistemi	38
4.3 Blok Sinyal Sistemi	39
4.3.1 El-kontrollü Blok Sinyal (EBS) sistemi	40
4.3.2 Otomatik Blok Sinyal (OBS) Sistemi	41
4.4 Merkezi Trafik Kontrol (CTC) Sistemi	44
4.5 Tren Kontrol Sistemleri	46
4.5.1 Otomatik Kabin Sinyalizasyon (OKS) Sistemi	47
4.5.2 Otomatik Tren Durdurma (OTD) Sistemi	49
4.5.3 Otomatik Hız Kontrol (OHK) Sistemi	49
4.6 Otomatik Taşıt Tanımlama (OTT)	50



4.7	İleri Tren Kontrol Sistemleri (İTKS)	50
4.8	Sonuçlar ve Öngörüler	52
BÖLÜM 5	DEMİRYOLU TRAFİK KONTROLÜ PROBLEMİNİN MATEMATİKSEL MODELİ	54
5.1	Giriş	54
5.2	Genel Tanımlar ve Kullanılan Notasyon	57
5.3	Problemin Matematiksel Modeli	61
5.4	Modelin Açıklanması	65
5.5	Trafik Kontrolü Modelinin Optimal Çözümü	68
BÖLÜM 6	DEMİRYOLU TRAFİK KONTROLÜNDE ÇOK NİTELİKLİ KARAR VERME	70
6.1	Giriş	70
6.2	Çatışma Yönetimine Çok Nitelikli Karar Verme Problemi Olarak Yaklaşım	71
6.2.1	Problemin Doğrusal Programlama Modeli	74
6.3	Dinamik Öncelik Sayısının Belirlenmesine Yönelik Sayısal Bir Örnek	75
BÖLÜM 7	TRENLERARASI ÇATIŞMA YÖNETİMİNE DAYALI TRAFİK KONTROLÜ İÇİN BİR ALGORİTMA	81
7.1	Giriş	81
7.2	Sezgisel Algoritmanın Oluşturulmasında Sistem Yaklaşımı	82
7.2.1	Sistemin Durumunun Tanımlanması	83
7.2.2	Çizelgeden Sapan Trenlerin Belirlenmesi	85
7.2.3	En Erken Çatışmanın ve Parametrelerinin Belirlenmesi	85
7.2.3.1	Kesikli Olay Simülasyonu	86
7.2.3.2	Sürekli Simülasyon	88
7.2.4	En Erken Çatışmanın Alternatif Çözümleri	91
7.2.5	Alternatif Çözümlerin Değerlendirilmesi: <i>Bir İleri Bakış Yöntemi</i>	92
7.2.5.1	Zaman Aralığının Uzunluğu	92
7.2.5.2	Beklenen Varış Zamanları	93
7.2.5.2.1	Potansiyel Çatışmaların Seti	94
7.2.5.2.2	Ortalama Gecikme Süreleri	96
7.2.5.3	En İyi Alternatifin Seçimi	101
BÖLÜM 8	SAYISAL UYGULAMA ve SONUÇLARI	102
8.1	Giriş	102
8.2	Optimal (kesin) Çözüm	102
8.3	Dispeçerin Çözümü	103
8.4	Sezgisel Algoritmanın Çözümü	104
8.5	Bir Sezgisel Algoritma Uygulaması	105
8.6	Diğer Sayısal Uygulamalar	114
8.7	Sayısal Uygulama Sonuçlarına İlişkin Bazı Saptamalar	122



BÖLÜM 9 SONUÇLAR ve ÖNERİLER	125
KAYNAKLAR	128
EK1 İKİLİ LOGİT MODELİN ELDE EDİLMESİ	133
EK2 KULLANILAN KAVRAMLAR	136
ÖZGEÇMİŞ	142

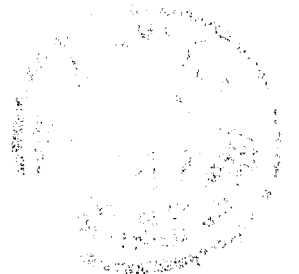


SEMBOL LİSTESİ

a_i^m	Tren i 'nin buluşma noktası m 'ye gerçekleşen varış zamanı.
A_i	Trenin bulunduğu veya varacağı buluşma noktası.
b_{ik}^m	Tren i ve tren k 'nin buluşma noktası m 'den kalkış sırasını belirleyen ikili karar değişkeni.
c	Nitelik indeksi.
C	Nitelik seti.
c_{ij}^m	Tren i ve tren j 'nin buluşma kesimi m 'yi işgal etme sırasını belirleyen ikili karar değişkeni.
CR	Kritik oran.
d_i^m	Tren i 'nin buluşma noktası m 'den gerçekleşen kalkış zamanı.
d_{ic}^m	Tren i 'nin buluşma noktası m 'deki c niteliğine ait kısmi fayda değeri.
D_{is}	Tren i ve tren s 'nin çatışması durumunda tren i 'nin ortalama gecikme süresi.
e_i^m	Tren i 'nin buluşma noktası m 'ye kadarki yığılımlı gecikme süresi.
$f_c(\cdot)$	c niteliğine ait kısmi fayda fonksiyonu.
H_s	Zaman aralığının başlangıcı.
H_c	Zaman aralığının sonu.
ΔH	Zaman aralığının uzunluğu.
i	Giden trenlerin indeksi.
I	Giden trenlerin seti.
I_s	Çizelgeden sapan giden trenlerin seti.
j	Dönen trenlerin indeksi.
J	Dönen trenlerin seti.
J_s	Çizelgeden sapan dönen trenlerin seti.
m	Buluşma noktalarının indeksi.
$(MoE)_i$	Tren i 'nin etkinlik ölçütünün (toplam gecikmesinin) değeri.
N	Buluşma noktası sayısı.
NS	Ara buluşma noktası sayısı.
$O(\cdot)$	Bir kombinatoriyal problemin zamansal güçlük fonksiyonu.
p_i	Tren i 'nin temel öncelik sayısı.
p_i^m	Tren i 'nin buluşma noktası m 'deki dinamik öncelik sayısı.
P_{ij}	Tren i ve tren j 'nin çatışması durumunda tren i 'nin bekletilme olasılığı.
S_i	Tren i 'nin varması planlanmış ve/veya durması planlanmış buluşma noktalarının seti.
$S_i(\cdot)$	Tren i 'nin potansiyel çatışmalarının seti.
$S_j(\cdot)$	Tren j 'nin potansiyel çatışmalarının seti.
$SAAT_{is}$	Tren i ve tren s arasındaki çatışmanın gerçekleşme zamanı.
SST_{is}	Çatışan trenler i ve s için sürekli simülasyonun başlama zamanı.
SW_i	Tren i 'nin yavaşlaması, bir buluşma noktasına girmesi ve tekrar normal hıza yükselmesi için kaybettiği süre.

V_i	Tren i 'nin birim buluşma kesimi uzunluğu için hesaplanan hızı.
V_{ic}^m	Tren i 'nin buluşma noktası m 'deki c niteliğinin değeri.
w_c	c niteliğinin ağırlık katsayısı.
W_i	Tren i 'nin gecikme süresi.
$x_i^{A_i}$	Tren i 'nin buluşma noktası A_i 'ye (gerçekleşmiş ya da) beklenen varış zamanı.
Z_{ij}	Karar modelinin dispeçerin karar davranışından sapma miktarı.
Ω	Önceki çatışma örneklerinde çatışmaya katılan trenlerin ve buluşma noktalarının seti.
μ^m	Buluşma noktası m 'deki hatların uzunluğu.
σ_i	Tren i 'nin ilk kalkış buluşma noktasının indeksi.
ε_i	Tren i 'nin son varış buluşma noktasının indeksi.
α_i^m	Tren i 'nin buluşma noktası m 'ye planlanmış varış zamanı.
δ_i^m	Tren i 'nin buluşma noktası m 'den planlanmış kalkış zamanı.
λ_i	Tren i 'nin uzunluğu.
τ_i^m	Tren i 'nin buluşma kesimi m 'deki (m ve $m+1$ arasındaki) tabii seyir süresi.
τ_{ik}^m	Tren i ve tren k arasında buluşma kesimi m 'deki en küçük izleme süresi.
ρ_{ij}^m	Tren i 'nin m buluşma noktasına varış zamanıyla tren j 'nin kalkış zamanı arasındaki en küçük (karşılaşma) emniyet süresi.
Ψ	Yeteri kadar büyük bir pozitif sayı.
Δt	Simülasyon adımı uzunluğu.
Δ	Komşu buluşma noktaları arasındaki mesafe.
δ	Çatışmanın buluşma noktasından uzaklığı.

(Not: Dönen trenlerin sembollerini işaretlemek üzere, yukarıdaki giden trenlerin sembolleri üzerinde 'çizgi' işareti kullanılmıştır.)



ŞEKİL LİSTESİ

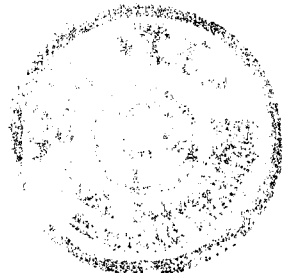
Şekil 3.1	Merkezi trafik kontrolünde demiryolu trafik yönetiminin elemanları arasındaki (hiyerarşik) ilişki	20
Şekil 3.2	A-G demiryolu kesimine ait önceden hazırlanmış çizelge	27
Şekil 3.3	Planlanmış durum ve ortaya çıkan trenlerarası çatışmalar	28
Şekil 3.4	Trafik kontrolünde 'geribesleme'	29
Şekil 4.1	İki-blok üç-görünümlü blok sinyal sistemi	42
Şekil 4.2a	Üç-blok dört-görünümlü blok sinyal sistemi	43
Şekil 4.2b	Üç-blok dört-görünümlü blok sinyal sistemi	43
Şekil 4.3	CTC ve iki-blok üç-görünümlü otomatik blok sinyal sisteminin bulunduğu tek hat üzerinde iki yönlü tren işletmeciliği; sinyaller doğu yönünde hareket için düzenlenmiştir	45
Şekil 4.4	Otomatik kabin sinyalizasyonu ve üç-blok dört-görünümlü otomatik blok sinyal sisteminin birlikte uygulanması	48
Şekil 4.5	Hareketli blok sistemi	52
Şekil 5.1	Tek hatlı demiryolu, buluşma noktaları ve trenler	58
Şekil 5.2	Tren i 'nin tabii seyir ve en küçük duruş süresi	59
Şekil 5.3	Bir izleme çatışmasının çözümü ve önegeçme durumu ($b_{ik}^m=1$)	60
Şekil 5.4	Bir karşılaşma çatışmasının çözümü ($c_{ij}^m = 1$)	60
Şekil 5.5	Buluşma noktası m 'de kapasite ihlaline bir örnek ($c_{ij}^{m-1} = 1, c_{ij}^m = 0, c_{ij}^{m-1} = 1, c_{ij}^m = 0$).	67
Şekil 5.6	Tren hareketlerinin buluşma kesimi m 'de kilitlenmesi durumu ($c_{ij}^{m-1} = 1, c_{ij}^{m+1} = 0, c_{is}^{m-1} = 1, c_{is}^{m+1} = 0, c_{ij}^{m-1} = 1, c_{ij}^{m+1} = 0, c_{is}^{m-1} = 1, c_{is}^{m+1} = 0$).	68
Şekil 7.1	Plan duyarlı bir işletmede trenlerarası çatışma yönetimine dayalı tren trafik kontrolü	84
Şekil 7.2	Sistemdeki her trenin varış noktasına beklenen varış zamanının iteratif hesabı	95
Şekil 7.3	Karşılaşma çatışması	97
Şekil 7.4	İzleme ve önegeçme çatışması	99
Şekil 8.1	5 buluşma noktası ve 6 trenin bulunduğu örnek problem: Trenler 155 ve 123 buluşma noktaları 2 ve 3 arasında çatışıyor	106
Şekil 8.2	155 ve 123 No.'lu trenler buluşma noktaları 3 ve 4 arasında çatışıyor	108
Şekil 8.3	123 ve 126 No.'lu trenler buluşma noktaları 3 ve 4 arasında çatışıyor	109
Şekil 8.4	155 ve 126 No.'lu trenler buluşma noktaları 3 ve 4 arasında çatışıyor	110
Şekil 8.5	159 ve 126 No.'lu trenler buluşma noktaları 2 ve 3 arasında çatışıyor	111
Şekil 8.6	155 ve 124 No.'lu trenler buluşma noktaları 3 ve 4 arasında çatışıyor	112
Şekil 8.7	159 ve 124 No.'lu trenler buluşma noktaları 3 ve 4 arasında çatışıyor	113
Şekil 8.8	5 buluşma noktası ve 6 trenin bulunduğu örnek problem için çatışmalardan arındırılmış, uygulanabilir çizelge	114

Şekil 8.9	Örnek problem 30'un çizelgesi (19 buluşma noktası ve 12 tren)	119
Şekil 8.10	Örnek problem 30'un dispeçer çözümü	119
Şekil 8.11	Örnek problem 30'un algoritma çözümü	120
Şekil 8.12	Örnek problem 35'in çizelgesi (19 buluşma noktası ve 20 tren)	120
Şekil 8.13	Örnek problem 35'in dispeçer çözümü	121
Şekil 8.14	Örnek problem 35'in algoritma çözümü	121



TABLO LİSTESİ

Tablo 6.1	Trenlerarası çatışma örnek ve çözümleri	80
Tablo 7.1	Kesikli olay simülasyonu	87
Tablo 8.1	5 buluşma noktası ve 6 trenin bulunduğu örnek problemin çizelge bilgileri	105
Tablo 8.2	Çatışan 155 ve 123 No.'lu trenlerin bekletilme durumları	107
Tablo 8.3	Çatışan 155 ve 123 No.'lu trenlerin bekletilme durumları	108
Tablo 8.4	Çatışan 123 ve 126 No.'lu trenlerin bekletilme durumları	109
Tablo 8.5	Çatışan 155 ve 126 No.'lu trenlerin bekletilme durumları	110
Tablo 8.6	Çatışan 159 ve 126 No.'lu trenlerin bekletilme durumları	111
Tablo 8.7	Çatışan 155 ve 124 No.'lu trenlerin bekletilme durumları	112
Tablo 8.8	Çatışan 159 ve 124 No.'lu trenlerin bekletilme durumları	113
Tablo 8.9	Kesin çözüm ve dispeçerin çözümlerinin karşılaştırılması	115
Tablo 8.10	Kesin çözüm ve algoritmanın çözümlerinin karşılaştırılması	116
Tablo 8.11	Algoritmanın ve dispeçerin çözümlerinin karşılaştırılması	117
Tablo 8.12	Üç kesikli öncelik modelin uygulaması	118



TEŞEKKÜR

Bu çalışma, yurtiçi ve yurtdışındaki bir çok kişinin değerli katkılarıyla hazırlanmıştır. 1987 yılında başlayan doktora çalışmam uzun ve yorucu, ancak son derece zevkli, eğitici ve öğretici unsurlarla dopdolu geçti. Teknik anlamda, diyebilirim ki 'çalışma konum benden çok çakti!', ama onun sayesinde ben de çok şey öğrendim.

Öncelikle, akademik kariyer yapmam konusunda beni teşvik eden, Ulaştırma Anabilim Dalı içindeki çalışmalarında her zaman destekleyici olan, ve doktora çalışmam süresince de öneri ve katkılarından sürekli yararlandığım, Danışmanım Prof. Dr. Aydın Erel'e;

Yurtdışında çalışma yapmam konusunda teşvik eden ve destekleyen ve bu konudaki yardımlarını esirgemeyen Rektörüm Prof. Dr. Turgut Uzel'e; yurtdışında bulunduğum sırada yaşadığım bazı idari şanssızlıklara karşı verdiğim mücadeledeki yapıcı katkılarından dolayı Dekanım Prof. Dr. İ. Kutay Özaydın'a;

Queen's University'de bulunduğum süre içinde, çalışmalarımın büyük bir bölümünü gerçekleştirdiğim, fakat artık mevcut olmayan Canadian Institute of Guided Ground Transport çalışanlarım tümüne, özellikle de Gordon English, Linda Thomas, Joe Jones ve Alice Pignal'e;

Yurtdışındaki çalışmalarımı Queen's'de sürdürme kararımın en önemli sebeplerinden biri olan; ancak ne yazık ki 'yıldızlarımızın bir türlü barışmadığı!'; 'state of the system' ifadesini ilk kullandığı anda zihnimde 'sistem' kıvılcımının çakmasına neden olan Prof. Dr. E.R. Petersen'a;

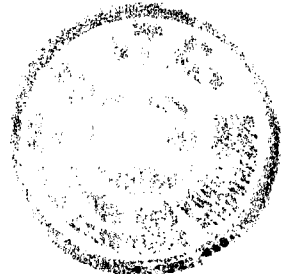
Arkadaşlık, dostluk anlayışına, ortaya koyduğu örnek davranış biçimiyle yeni anlamlar katan, Queen's, İnşaat Mühendisliği Bölümü dönem arkadaşım Dr. Lei Yu'a; ayrıca sevgili arkadaşlarım Frank Handforth, Dave Cottee ve Sesh Rao'ya;

Bilgisayar çalışmalarım sırasında yardımlarını gördüğüm, Bölüm 4 ve Bölüm 5 içindeki şekilleri, ve Bölüm 8'deki tabloları sabır ve titizlikle hazırlayan çalışma arkadaşım Y. Müh. Bülent Turan, ve (tandığım en uzun boylu bilgisayarçı olan!) End. Müh. Haldun Uyguç'a;

Çalışmalarımın özellikle uygulama bölümleri için fikir alışverişinde bulunduğum değerli arkadaşım Y. Müh. Fatih Bengi'ye, ve uygulamalarda kullandığım bilgilere erişmemde gösterdikleri kolaylıktan dolayı TCDD Birinci Bölge Başmüdürlüğü'ne;

Ve tabii ki çok sevgili aileme; beni her konuda sürekli teşvik eden ve yardımlarını esirgemeyen, destekleyici davranışlarıyla çalışmalarımın sürekliliğine çok önemli katkılarda bulunan pek sevgili kardeşlerime; bunlara ek olarak, uzun çalışma saatlerinde beni sürekli besleyen sevgili biricik anneme,

içten teşekkürlerimi sunarım.



ÖZET

Bir ulaştırma alt sistemi olan demiryolları, sistem içindeki taşımacılık payını korumak hatta artırmak durumundadır. Ancak, bunu yaparken diğer alt sistemler (özellikle karayolu taşımacılığıyla) rekabet etmek zorundadır. Rekabet edebilmenin en önemli koşulları arasında, sunulan hizmetin düzeyi (kalitesi) oldukça önemli bir yer tutar. Bir ulaştırma hizmetinin kalitesine ilişkin iki ölçüt, dakiklık ve güvenilirlik olmaktadır. Bu ölçütlerin belirli (istenilen) düzeyde tutulabilmesi, demiryolu işletmeciliğinin sürekli ve tamamlayıcı bir öğesi olan etkin trafik kontrolü ile sağlanabilir.

Bu çalışmada, trafiğın önceden hazırlanmış çizelgeye göre yürütüldüğü plan duyarlı işletmecilik koşullarındaki trafik kontrol problemi ele alınacaktır. Önceden hazırlanmış çizelge, trenlerarası çatışmaların bulunmadığı, uygulanabilir bir plandır. Ancak, planlanmamış (normal dışı) olaylar nedeniyle meydana gelen gecikmeler, trenlerarası çatışmaların ortaya çıkmasına neden olabilir. Trafik kontrolü, trenlerarası çatışmaları, çatışma gecikmelerini en küçükleyen bir yöntemle etkin bir şekilde çözerek, yeni bir (uygulanabilir) çizelge hazırlamak için uygulanır. Bu çalışmada, bu amaca yönelik olarak bir sezgisel algoritma hazırlanmıştır. Burada geliştirilen algoritma, tren dispeçerleri için bir karar destekleyici sistem olarak da kullanılabilir.

Çalışmanın ilk bölümlerinde, bu güne kadar yapılmış olan çalışmalara ilişkin kaynak araştırması yapılmış; demiryolu trafik kontrolünün esasları ortaya konmuş; ve mevcut ve geliştirilmekte olan sinyalizasyon ve tren-trafik kontrol sistemleri incelenmiştir.

Daha sonra, çalışmada ele alınan demiryolu sisteminin tanımı yapılmış, trafik kontrolü probleminin matematiksel modeli oluşturulmuştur. Günümüzde demiryolu trafik kontrolü dispeçerler tarafından yapılmaktadır. Dispeçerler, kontrol işini yıllar boyunca kazandıkları bilgi ve deneyimler ile muhakeme yeteneklerini kullanarak yerine getirirler. Bu nedenle, dispeçerlerin trenlerarası çatışma çözümlerindeki karar davranışlarını belirlemek önemlidir. Bu amaçla, TCDD şebekesinin belirli bir kesiminde çalışma yapılmış ve dispeçerlerin karar davranışlarına ilişkin bir çok nitelikli seçim modeli oluşturulmuştur.

Çalışmanın izleyen bölümünde trenlerarası çatışma yönetimine dayalı trafik kontrolü için bir sezgisel algoritma sunulmaktadır. Algoritmanın oluşturulmasında bir sistem yaklaşımı kullanılmıştır. Algoritmanın çekirdeğinde, en erken çatışma bulunmaktadır. Algoritma, bu çatışmanın alternatif çözümlerini bir sistem yaklaşımıyla değerlendirerek, her bir çözümün uygulanması durumunda sistemde meydana gelecek beklenen toplam gecikmeleri hesaplar. Daha sonra, sistemde en az gecikme (ya da çizelgeden en az sapma) oluşturacak alternatif seçilir. Bu işlem, en erken çatışmaların sırasıyla çözülmesiyle devam eder. Algoritma, etkin trafik kontrolü için gerekli olan 'dinamik öncelik sayısı' kavramını da kullanmaktadır. Üretim planlamasında 'kritik oran' olarak bilinen öncelik kuralı, her tren için belirlenen ve trenin seyri boyunca yenilene dinamik öncelik sayısının belirlenmesinde kullanılmaktadır.

Çalışmanın son iki bölümünde, sırasıyla, geliştirilen algoritmanın test edilmesine yönelik uygulamalara yer verilmiş, ve elde edilen sonuçlar ve değerlendirmeler sunulmuştur.



SUMMARY

Railways, which is a transportation sub-system, should protect market share, even try to increase it. However, railways have to compete with other sub-systems such as highways while dealing with some marketing issues. Level (quality) of service is an important element of this competitive environment. Two important measurements of quality of service are timeliness and reliability. Keeping these measurements at certain levels can be achieved by performing effective railway traffic control, which is an integral part of day-to-day operation.

In this study, we will deal with traffic control problem for schedule-responsive operations, which is carried out based on a pre-determined schedule. Pre-determined schedule is a conflict-free feasible plan. But train delays always occur in real operating conditions due to unplanned events, which in turn may cause inter-train conflicts. Traffic control is carried out for rescheduling in a fashion that minimizes the interference delays between conflicting trains. We have developed a heuristic algorithm for that purpose. The proposed algorithm can be utilized as a decision-support system for train dispatcher.

Railway traffic control is a large-scale and complex problem. Therefore, it is crucial to define the problem with complete data and without error. In earlier chapters of this study, a detailed literature search is presented; the fundamentals of railway traffic management is explored; then existing and developing railway signaling and train-traffic control systems are outlined.

We then define the railway system considered and establish the mathematical model of the traffic control problem. Presently, railway traffic control is carried out by train dispatchers. They use knowledge and skill obtained over the years and their reasoning ability to perform the duty. Therefore it is important to explore their decision behavior at problem solving in conflicting situations. For this purpose, we studied this problem in a particular section of TCDD (Turkish State Railways) and developed a decision model of train dispatchers.

A heuristic algorithm for railway traffic control based on inter-train conflict management is presented in the subsequent chapter. We have used a systems approach in establishing the algorithm. The kernel of the algorithm is immediate inter-train conflict. The algorithm evaluates the alternative resolutions of the immediate conflict and determines the expected total delay caused by each alternative. Consequently, the alternative, which causes less consequential delay, is chosen to be applied. This process is carried out in the same fashion repeatedly. The algorithm uses a new concept for this problem, the dynamic priority of train, which is modified through the journey of each train and essential for effective railway traffic control.

In the last two chapters of this study, we present some applications to test the algorithm for different problem instances, and the conclusions, respectively.

BÖLÜM 1

GİRİŞ: Amaç ve Kapsam

1.1 Amaç

Bir ulaştırma alt sistemi olan demiryolu, yüksek taşıma kapasitesi ve düşük işletme maliyeti gibi bazı önemli avantajları bulunmakla birlikte; ulaştırma sistemi içindeki rekabet ortamı, demiryolu işletmelerini maliyet faktörünü de gözönünde bulunduran etkin ve etkili bir hat işletmeciliği yapmaya zorlamaktadır. Bu bağlamda, sunulan hizmetin kalitesi de (düzeyi) demiryollarını diğer alt sistemler karşısında yarıştıracabilecek oldukça önemli bir ölçüt olmaktadır. İşletmeciliğin etkin ve etkili yöntemlerle yürütülmesi, hizmet kalitesini önemli ölçüde etkilemektedir. Etkin işletmecilik, önceden belirlenmiş hedeflere erişmekle gerçekleşebilir. Bu hedeflerin en önemlileri arasında, trenlerin kullanıcılara önceden bildirilmiş varış zamanlarında ilgili noktalara ulaşmaları bulunmaktadır. Etkili işletmecilik ise, demiryolu kaynaklarının (örneğin, personel, donanım, zaman vb.), etkin işletmecilik anlayışıyla, en iyi şekilde kullanılması anlamına gelmektedir. Sunulan hizmetin kalitesi, daha somut bir ifadeyle, tren seferlerinin dakikliği ve güvenilirliği terimleriyle açıklanabilir. Burada dakiklık, tren hareketlerinin önceden hazırlanmış çizelgeye uygun olarak düzenlendiği *plan duyarlı* işletmelerde, planlanmış zamanlara uygunluk (ortalama değer) olarak ifade edilebilir. Güvenilirlik ise, bu zamanlardan sapma miktarı (varyans ya da standart sapma) olmaktadır.

Günümüzde taşımacılık (yolcu ve yük taşımacılığı) rekabet ortamında yapılmaktadır. Bir demiryolu işletmesinin temel amacı, başlangıç ve son noktalar arasındaki taşımacılığı zamanında, ekonomik ve güvenilir olarak gerçekleştirmektir. Müşteriler açısından, varış zamanlarının bilinmesi ve güvenilir olması önemlidir. Pazar ekonomisi içindeki rekabet ortamında bu bilgilerin önemi daha da artmaktadır. Bu nedenlerle plan duyarlı tren işletmeciliği demiryolları için önemini artırmaktadır.



Jovanovic (1989)'da verilen ve konuyla ilgili oldukça çarpıcı bir bilgiye göre, MIT (Massachusetts Institute of Technology) çalışma grubu tarafından hazırlanan bir raporda, ABD'de plan duyarlı yük taşımacılığı yapan demiryollarında, çizelgede bulunan trenlerin son varış zamanlarına ilişkin sapmaların oldukça yüksek olduğu saptanmıştır. Trenlerin varış zamanlarının standart sapması, 200 mil uzunluğundaki bir seyir için 1 ila 3 saat arasında değişmekte, ortalama varış zamanları ise çizelgenin 1 ila 2 saat gerisinde kalmaktadır. Verilen bilgiler arasında, bu durumun bazı gizli endüstri kaynakları tarafından da doğrulandığı bulunmaktadır. MIT raporundaki önemli bir saptamaya göre, bir trenin seyir süresinin varyansı, trenin varış zamanının varyansını yüzde 45 oranında etkilemektedir. Varış zamanı varyansını etkileyen diğer faktörler yüzde 38 oranla trenin ilk kalkış zamanının varyansı ve yüzde 21 oranla triyaj istasyonlarındaki bekleme zamanının varyansı olmaktadır.

Seyir sürelerindeki değişim varış zamanlarını doğrudan etkilediği için, önceden planlanmış işlerin zamanında yapılması tehlikeye girecektir. Böyle bir durumda, bağlantısı olan ya da aktarma yapacak olan seferler aksayabilmekte, tren personelinin yasal çalışma süresi aşılabilmekte, ve geciken trenin lokomotif ve vagonları etkili kullanılamamaktadır. Yukarıda belirtilen raporun sonucundan da anlaşılacağı üzere, seyir sürelerindeki sapmanın kabul edilebilir sınırlar içinde kalması (bir başka deyimle, kontrol altında tutulması) etkin bir hat işletmeciliği ile sağlanabilir. Bu, demiryolu işletmeciliğinin tamamlayıcı bir parçası olan trafik planlama (çizelgeleme) ve kontrol işlemlerinin derinlemesine araştırılması için önemli bir hareket nedeni oluşturmaktadır.

Etkin bir işletmecilik için, demiryolu trafiğinin amaca uygun kontrol edilmesi zorunludur. Bu nedenle 'demiryolu trafik kontrolü' ifadesi, çalışmanın bundan sonraki bölümlerinde etkin tren-hat işletmeciliğini de temsilen kullanılacaktır. Trafik kontrolü problemi, trenlerin önceden hazırlanmış çizelgeden sapması durumunda karşımıza çıkmakta; bunun sonucu olarak da trenlerarası çatışmalar (yani, uygulanamaz tren hareketleri) meydana gelmektedir. Bu çalışmada, bir trenlerarası çatışma, iki trenin demiryolu hattı üzerinde aynı yerde aynı zamanda bulunması durumunu ifade etmektedir. Örneğin, tek hatlı bir



demiryolunda zıt yönde hareket eden iki trenin iki komşu istasyon arasında karşılaşması bir çatışma durumudur. Buna göre, optimal demiryolu trafik kontrolünün tanımı aşağıdaki şekilde yapılabilir:

Belirli bir demiryolu hattı üzerinde, gerçek işletme koşullarında (aynı ve zıt yönde) hareket etmekte olan trenlerin her birinin ilk kalkış istasyonu ve bu istasyondan en erken kalkış zamanı, (varsa) ara istasyon/sayding (istasyon ve/veya sayding)'lere varış ve buralardan kalkış zamanları, son varış istasyonu ve bu istasyona planlanmış varış zamanı; ve trafik kontrolünün amaç ya da amaçları (hedefleri) bilindiğine göre, bu amaçlara erişmek üzere demiryolu işletmesinin fiziksel kısıtlarına uygun olan, trenlerin ilk kalkış ve son varış istasyonları arasındaki hareketlerini belirleyen hareket planlarının (ya da genel olarak çizelgenin) hazırlanmasıdır.

Bir başka ifadeyle;

çatışan tren hareketlerinin çözüleceği istasyon/sayding'lerin (ya da karşılaşma/önegeçme -karşılaşma ve/veya önegeçme- yerlerinin) belirlenmesi, ve her hangi bir anda hangi trenin hangi hatta bulunması gerektiğinin saptanmasıdır.

Burada kontrole ilişkin amaçlar, tren gecikmelerinin en küçüklenmesi, tren hareketlerinin güvenliği (fiziksel kısıtlamalar bu amacı da kapsamaktadır) ve etkili hat kapasitesi kullanımı olmaktadır.

Demiryolu trafik kontrolü, 'NP-complete' (Nondeterministic Polynomial-complete) sınıfına giren bir kombinatoriyal optimizasyon problemidir. Bu yapıdaki bir problemin çözümü için harcanması gereken süre ve gerekli bilgisayar hafızası, problem boyutuyla üstel olarak artmaktadır. Küçük boyutlu problemler, mevcut optimizasyon teknikleri (matematiksel programlama, simülasyon vb.) kullanılarak uygun sürede çözülebilirken; daha büyük problemlerin çözümü oldukça uzun süre (günümüz bilgisayar teknolojisiyle saatler, günler bazen haftalar hatta yıllar) almaktadır.



Demiryolu trafik kontrolü günümüzde deneyimli karar vericiler (trafik kontrolörleri, dispeçerler) eliyle yürütülmektedir. Dispeçerler, yıllar boyunca kazandıkları bilgi ve deneyimlerini, ayrıca muhakeme özelliklerini kullanarak trenlerarası çatışmaları çözmektedirler. Bunu yaparken, doğal olarak problemi basitleştirme (ya da kolaylaştırma) yolunu seçmektedirler. Örneğin, trenlere öncelik sırasına göre hat kesimlerini kullanma izni vermektedirler. Öncelik kuralları belirli ölçüde kolaylık sağlarken, optimal çözümden uzaklaşılması gibi bir olumsuzluğu da beraberinde getirmektedir. Sunulan hizmetin düzeyi ile optimal çözümün doğrusal ilişkisi düşünüldüğünde, kullanılan öncelik kurallarının akılcı olması ve optimale yakın çözümler üretmeye yardımcı olması gerekmektedir. Bu da ancak trenlere ait önceliklerin sürekli yenilenmesi (düzeltilmesi) ile mümkündür. Yani, trenlerin erken veya geç seyirleri durumunda, bunların öncelikleri yenilenmelidir.

Trafik kontrolünde, gözlem ve denetime dayanan, trenlerin gerçek zamanlı (real-time) (o andaki ve izleyen zamanlardaki, yani sürekli) ve doğru hız ve yer bilgileri, modern anlamdaki tren (ve hat) işletmeciliği için gereklidir. Bu, gelişmiş sinyalizasyon ve trafik kontrol sistemlerinin kullanılmasıyla mümkündür.

Bilindiği gibi ülkemiz demiryollarının büyük bir bölümü (yaklaşık % 95'i) tek hatlıdır. Tren hareketleri ağırlıklı olarak Merkezi Trafik Kontrolü (yaygın kısaltmasıyla CTC) ve Trenlerin Merkezden İdaresi (TMI) sistemleriyle düzenlenmektedir. TCDD'nin bir plan duyarlı işletme olduğunu belirtmek hatalı değildir. Özellikle, (hem yolcu hem de yük taşımacılığı bakımından) trafiğin yoğun olduğu İstanbul-Ankara demiryolu bağlantısı üzerindeki tren hareketleri, önceden hazırlanmış çizelgeye uygun olarak düzenlenmektedir. Bu nedenle, çalışmada ara istasyon/sayding'lerin bulunduğu, tren hareketlerinin CTC sistemi ve otomatik blok sistemi kurallarına göre düzenlendiği tek hatlı bir demiryolu ele alınmış ve plan duyarlı bir tren işletmeciliği yapıldığı kabul edilmiştir.

Buna göre çalışmanın amacı, yukarıda belirtilen koşullar altında ortaya çıkan bir trenlerarası çatışma durumunda, dispeçeri, vereceği kararlarda destekleyecek bir sistem geliştirmektir. Böyle bir karar destekleyici sistem, esas olarak demiryolu sistemini



tanımlayan bir bilgi tabanı ve bir sezgisel algoritmadan oluşmaktadır. Burada geliştirilen sezgisel algoritma bir sistem yaklaşımı kullanılarak oluşturulmuştur; yeteri kadar büyük boyutlu problemler için kısa sürede 'yeteri kadar iyi' (optimale yakın) sonuçlar vermektedir.

1.2 Kapsam

Çalışmanın ikinci bölümünde, demiryolu trafik kontrolü problemine yönelik olarak yapılmış olan bazı çalışmalara ilişkin kaynak araştırması sunulmaktadır.

Üçüncü bölümde, demiryolu trafik yönetiminin esasları açıklanmaktadır. Burada, trafik yönetimi probleminin tanımı yapılmakta; yönetimin, bir sistem yaklaşımı ile eleman ve alt elemanları tanıtmakta ve aralarındaki hiyerarşik ilişki ortaya konulmaktadır. Daha sonra, yönetim sırasında yapılan işler gruplandırılarak, trafik yönetiminin işlevsel analizi sunulmaktadır. Demiryolu trafik yönetimi içindeki önemli işlevlerden olan 'yeniden çizelgeleme' ve 'trafik kontrolü' ayrıca ele alınarak, sonraki bölümlerde sunulan sezgisel algoritma için bir hazırlık yapılmaktadır.

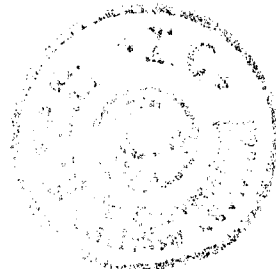
Dördüncü bölümde, demiryolu sinyalizasyonu ve tren-trafik kontrol sistemleri genel hatlarıyla ve trafik kontrolü problemi çerçevesinde tanıtılmaktadır. Bu sistemler, değişik ülkelerdeki demiryolları tarafından kullanılmaktadır. Demiryolu trafik kontrolünde kullanılan bazı teknik ve güvenlik kuralları (kısıtlamaları) bu sistemler tarafından belirlenmektedir. Bu nedenle, değişik sistemlere ilişkin özelliklerin bilinmesi, problemin eksiksiz tanımlanması bakımından zorunludur.

Çalışmanın beşinci bölümünde, demiryolu sisteminin trafik kontrolü problemi çerçevesinde tanımı yapılmakta ve problemin matematiksel modeli oluşturulmaktadır. Burada sunulan model, 0-1 karışık tamsayılı programlama sınıfına girmekte ve modelin açıklanması bölüm içinde yapılmaktadır.



Altıncı bölüm, demiryolu trafik kontrolünde TCDD'nin uyguladığı yöntemin araştırılmasına ayrılmıştır. Günümüzde, trenlerarası çatışmalar nedeniyle ortaya çıkan kontrol zorunluluğu deneyimli dispeçerler tarafından yerine getirilmektedir. Bu nedenle, dispeçerlerin karar davranışının belirlenmesi, problemin eksiksiz olarak tanımlanabilmesi bakımından zorunlu görülmüştür. Bu amaçla, tren dispeçerleriyle yüz yüze görüşülmüş ve yaptıkları işler gözlenmiştir. Dispeçerlerin karar davranışının matematiksel modelinin oluşturulması amacıyla bir çok nitelikli seçim modeli hazırlanmış, ve model doğrusal programlama tekniği ile çözülmüştür. Modelde, trenlere ait (trafik kontrolünde önemli olduğu düşünülen) altı adet nitelikten yararlanılmıştır. Bu niteliklerin, her trenin çatışma anındaki durumunu en iyi tanımlayan nitelikler olmasına dikkat edilmiştir. Doğrusal programlama modelinin çıktısı, bu niteliklere ait ağırlık katsayılarıdır. Kabul edilen hipotez gereği, hesapta kullanılan niteliklerin değerleriyle, ilgili ağırlık katsayılarının çarpımlarının toplamı, trenlerin '*dinamik öncelik sayıları*' olmakta; dispeçer, bu sayıları trenlerarası çatışmaların çözümünde kullanmaktadır. Bu konuda ilk kez yapılan böyle bir çalışmanın sonuçları oldukça umut verici ve olumludur. Gözlemlerden elde edilen bilgilerden faydalanılarak oluşturulan model, dispeçerlerin karar davranışlarını yüzde 85 başarıyla taklit edebilmektedir.

Çalışmanın yedinci bölümünde, geliştirilen sezgisel algoritma ayrıntılı olarak açıklanmaktadır. Algoritmanın oluşturulmasında bir sistem yaklaşımı kullanılmıştır. Böylece, algoritmanın çekirdeğinde bulunan en erken çatışmanın alternatif çözümlerinin sistemdeki diğer trenler üzerindeki etkileri (potansiyel çatışmaların da ele alınmasıyla) belirlenebilmekte, ve en iyi alternatif sistemde en az gecikme oluşturacak çözüm olarak seçilmektedir. En erken çatışmaların bu şekilde, sırasıyla çözülmesiyle, etkin bir trafik kontrolü sağlanmış olmaktadır. Bu çalışmada, çatışmaların bu şekilde ele alınıp çözülmesi, '*çatışma yönetimi*' olarak adlandırılmıştır. Yine ilk kez bu çalışmada, dinamik öncelik sayısı kavramına yer verilmiştir. Böylece, trenlerin öncelikleri, geçirdikleri seyir evrelerinin ışığı altında değiştirilebilmektedir. Etkin trafik kontrolü için gerekli olan bu özellik de, geliştirilen algoritmanın sunduğu bir başka yenilik olmaktadır.



Sekizinci bölüm, çeşitli boyutlardaki ve değişik çizelge bilgilerinden oluşan örnek problemlerin çözümüne ayrılmıştır. Uygulamada, bu çalışmada ifade edilen üç çözüm yöntemi kullanılmıştır: optimal (kesin) çözüm, dispeçerin çözümü ve sezgisel algoritmanın çözümü. Elde edilen sonuçlar daha sonra, trenlerin çizelgeden sapma (etkinlik ölçütünün değeri), toplam bekleme süreleri ile hesaplama süreleri gözönünde bulundurularak karşılaştırılmaktadır.

Dokuzuncu ve son bölümde, çalışmanın genel bir değerlendirmesi yapılmakta ve problemin kapsamının genişletilmesine ilişkin bazı öneriler sunulmaktadır.



BÖLÜM 2

KAYNAK ARAŞTIRMASI

Demiryolu trafik kontrolü problemi, yirmi yılı aşkın bir süredir araştırmacıların ilgisini çekmesine karşın, problemin çözümüne ilişkin çalışma sayısı fazla değildir. Özellikle tek hatlı demiryolları için optimal tren trafik kontrolü problemini tanımlayan formülasyonlar ve çözüm yordamları oldukça sınırlı sayıdadır. Bunun en önemli nedenlerinden biri, problemin oldukça zor ve karmaşık olması, teknik deyimle 'kombinatoryal' sınıfa girmesidir. Yani, problemin optimal çözümünü klasik matematik tekniklerini kullanarak bulmak neredeyse olanaksız olmakta, sezgisel algoritmalar yardımıyla bulunan yaklaşık çözümlerle yetinmek zorunlu olmaktadır. Aşağıda, bu konuda yapılmış olan çalışmalar incelenmiş; böylece problemin tanımlanmasına ve çözümüne ilişkin yaklaşımlar belirlenerek, mevcut durum saptanmaya çalışılmıştır.

Amit ve Golfarb (1971) demiryolu trafik kontrol problemini İsrail Demiryolları açısından ele almışlardır. Sundukları modelde, hat üzerinde iki yöndeki tren hareketlerine izin verilmekte, ve hat kullanımı ve zamansal sınırlamalara ilişkin kısıtlar oluşturulmaktadır (örneğin, en erken ve en geç kalkış zamanları, en büyük bekleme zamanları ve seyir süreleri). Hat kullanımına ilişkin kısıtlar, bir yöndeki trenlere öncelik verilmedikçe, doğrusal olmamaktadır. Bu nedenle yazarlar, bu karmaşık problemi çözmek için bir sezgisel teknik önermektedirler.

Szpigel (1973), problemi matematiksel program olarak ele alan ve bazı çözüm yöntemleriyle sayısal testleri sunan ilk araştırmacılar arasındadır. Bu çalışmada, optimal trafik kontrol problemi, iş-atölye (job-shop) çizelgelemesinin özel bir durumu olarak ele alınmış; trenlerin işleri ve hat kesimlerinin ise makineleri temsil ettiği kabul edilmiştir. Bu yaklaşımda, karşılaşma, önegeçme ve tren izleme kısıtları, çizelgeleme kararlarındaki sıralama ve öncelik kısıtlarına karşılık gelmekte; problemin amacı da ağırlıklandırılmış seyir sürelerinin toplamını en küçükleme olmakta, bu da makine çizelgeleme problemindeki işlerin tamamlanma zamanlarını en küçüklemeye karşılık gelmektedir.



Szpigel tarafından kullanılan çözüm yöntemi, makine çizelgeleme problemi için standart dal-sınır algoritması içinde, doğrusal programlamaya dayanan kısıt yaratma yöntemini uygulamaktadır. Szpigel tarafından önerilen dallanma mantığı, sadece tren trafik hacminin düşük olduğu durumlarda kullanılabilir. Bu yöntemle, çok küçük problemlerin çözümü dahi (örneğin, 5 hat kesimi -komşu istasyon/saydın'lar arasındaki kesim- ve 10 tren), IBM/360 bilgisayarıyla 30 (CPU) dakikadan fazla zaman almaktadır.

Szpigel'in çalışması, erişebildiğimiz kaynaklar içinde, demiryolu trafik kontrolü probleminde iş-atölye çizelgeleme modelinin kullanıldığı ilk ve son çalışmadır. Tek hatlı kesimler, zıt yönde hareket eden trenler gözönüne alındığında, tek iş kapasiteli makinelere benzetiliyorsa da; bu kesimler, aynı yönde hareket eden birden çok trenin (işin) -sınıfına bağlı olarak- tutulabildiği tampon yerler olmakta ve çift hatlı kesimler ise, her iki yönde (işlerin en küçük zaman aralıklarıyla gelmeleri durumunda) oldukça yüksek bir kapasite sunabilmektedir.

Demiryolu trafik kontrolü problemi için uygulamaya yönelik bir model, ilk olarak Sauder ve Westerman (1983) tarafından yayımlanmıştır. ABD'de bulunan Norfolk-Southern Demiryolu Şirketi'nde geliştirilen bu model, bilgisayar destekli trafik kontrolünün bir uygulamasıdır. Kullanılan algoritmaya ilişkin detaylı bir açıklama olmamasına rağmen, düğümlerin değerlendirilmesinde deterministik simülasyon modelinin kullanıldığı, derinlemesine ilerleyen bir dal-sınır tekniğinden faydalandığı düşünülmektedir. Ancak, çözümdeki dallanma tekniği makalede açıklanmamaktadır. Yazarlar, ilk olarak doğrusal programlamaya dayalı bir model üzerinde çalışmışlarsa da, hesaplama süresinin uzunluğu nedeniyle bu yöntemden vazgeçmişlerdir. Bu modelin amacı, tren gecikmelerinin ağırlıklı toplamının en küçüklenmesinin yanında, trenlerin planlanmış hareketlerinden sapmaların (yani, trenin gerçek varış zamanının planlanmış zamanı aşma miktarının) ağırlıklı toplamının en küçüklenmesidir.

Bu model herhangi bir amaç fonksiyonunu da kabul etmektedir. Çözümdeki zaman aralığı altı saat olarak seçilmiş ve yirmi saatlik bir ileri bakış zaman aralığı kullanılmıştır.



Norfolk-Southern şirketi bu modeli kendi şebekesinin trafik hacminin az ve orta düzeyde olduğu bir bölümünde uygulamış ve işletme maliyetlerinde önemli ölçüde tasarruf sağlandığını belirtmiştir. Ancak, bu model yüksek trafik hacimlerinde ve geniş zaman aralıklarında kullanılamamaktadır.

Demiryolu trafik kontrolü problemi için, amacın ağırlıklı tren gecikmeleri toplamının en küçüklenmesi olduğu bir matematiksel programlama formülasyonu, Petersen ve ark. (1986) tarafından sunulmaktadır. Aynı çalışmada, problemin NP-hard ve kombinatoryal olduğu, bundan dolayı çözüm süresinin problemin boyutuyla üstel olarak arttığı belirtilmekte, ve bu zorluğu göstermek amacıyla bir örnek verilmektedir: sadece tren karşılaşmalarının ele alındığı ve 40 adet karşılaşmanın bulunduğu, görece olarak küçük bir örnek (her bir yönde 15 adet trene karşılık gelmektedir) için, $2^{40} \cong 10^{12}$ adet uygulanabilir potansiyel çözüm ya da karşılaşma planı vardır. Saniyede 1 milyon planı değerlendirebilen bir süper bilgisayar dahi olsa, böyle bir örneği çözebilmek 12 günden fazla zaman almaktadır; trenlerin önegeçmeleri de gözönüne alındığında, çözüm süresi her bir ek önegeçme için iki ya da üç katına çıkabilmektedir. Doğal olarak, böyle bir durum tüm çözümlerin ayrı ayrı değerlendirilmesi durumunda karşımıza çıkmaktadır. Bir çok gerçek yaşam örnek problemi için, tek tek değerlendirmesi yapılan gerçek düğüm sayısı burada belirtilenden çok daha küçük olacaktır; çünkü, bilinen en iyi çözümün maliyetinden daha büyük maliyeti olan çözümler değerlendirmeye alınmayacaktır. Ancak, değerlendirilmesi gereken düğümlerin sayısı, dal-sınır ağacındaki olası en fazla düğüm sayısının bir fonksiyonu olarak karşımıza çıkmaktadır. Petersen ve ark., modelin gerçek yaşam örnek problemlerinde kullanılabilmesi için sezgisel çözüm algoritmaları geliştirilmesini önermektedirler.

Sauder ve Westerman (1983) modeline benzer bir yaklaşım Kraft (1987) tarafından sunulmaktadır. Ancak, bu model önegeçmeleri (ve çift hatlı kesimleri) ele almamaktadır.

Petersen ve Taylor (1988), bir kanaldaki gemilerin çizelgeleme problemi için bir formülasyon ve çözüm yöntemi sunmaktadırlar. Bu problem, önegeçme bulunmayan



demiryolu trafik kontrolü problemine benzemekte, kanalda kot değişimi yapılan kesimler, demiryolu problemindeki tek hatlı kesimlere benzetilebilmektedir. Modelin amacı gemi gecikmeleri toplamının en küçüklenmesidir. Yazarlar, belirli bir gemi sıralaması için (sabit tamsayı değişkenlerle); alt problemi oluşturan zamansal sürekli değişkenlerin özel bir yapıda bulunduğunu, bunu da tek geçişli dinamik programlama kullanılarak çözümlerin olanaklı olduğunu belirtmektedirler. Daha sonra, ana problem için yaklaşık çözüm yöntemi üzerinde durulmakta, ve gemilerin, kot değişim kesimlerini kullanım sırası belirlenmektedir. Bu sezgisel algoritma lokal optimal çözümleri yeteri kadar kısa süre içinde üretmekle birlikte (algoritmanın zamansal gücüğü bir polinomdur); yazarlar, bu çözüm yönteminin kalitesine ilişkin her hangi bir sayısal bulgu ortaya koymamaktadırlar. Doğal olarak, önerilen yöntem sadece, amaç fonksiyonunun doğrusal olduğu durumlar için kullanılabilir.

Jovanovic (1989) demiryolu trafik kontrolü problemi için en kapsamlı matematiksel modeli sunmuş ve bu model için çözüm yordamları önermiştir. Modelin amacını, trenlerin önceden hazırlanmış çizelgeden en az sapma gösterecek şekilde hareketlerini sağlamak oluşturmaktadır. Çalışmada iki kesin ve bir de sezgisel çözüm algoritması sunulmaktadır. Algoritmalar gerçek yaşamdan alınmış örnek problemler için çalıştırılmış ve karşılaştırması yapılmıştır. Bu çalışmada tam iteratif (complete-enumeration) çözüm yöntemini iyileştirmek amacıyla geliştirilen en düşük sınır değerine dayalı eleme (lower bound-based pruning) algoritması oldukça olumlu sonuçlar vermiş; ve büyük boyutlu problemler için dahi kısa sürede optimale yakın çözümler üretebilmiştir. Ancak, bu çalışmada trenlerin sadece karşılaşmalarına izin verilmiş, önegeçme çatışması bulunmadığı kabul edilmiştir.

Optimal demiryolu trafik kontrolüne değişik bir yaklaşım, optimal tren seyir modeli olarak Kraay ve ark. (1991) tarafından ortaya konulmuştur. Bu modelin amacı, tren gecikmelerinin en küçüklenmesinden başka, trenin hat boyunca (seyir hızını değiştirmek yoluyla) seyir durumunu belirlemek ve fiziksel kısıtlar altında yakıt tüketimini en küçüklemektir. Optimal seyir modeli, gecikmelerin en küçüklenmesini amaçlayan geleneksel trafik kontrol probleminden daha zordur; çünkü amaç fonksiyonunun değeri,



trenin saydngler arasındaki seyir süresinin artmasıyla azalmaktadır ki, bu modeldeki tamsayı değişkenlerine sabit değerler verildiği altproblem oldukça zor, doğrusal olmayan bir optimizasyon problemidir. Kraay ve ark. sunulan, doğrusal olmayan karışık tamsayı matematiksel program için üç alternatif çözüm yordamını test etmişlerdir: tam iteratif (complete-enumeration) algoritma, uygulanabilir küme üretimine dayalı kesin algoritma, ve üretilmiş uygulanabilir küme filtrelemesine dayalı bir sezgisel algoritma. Bu çalışmada sunulan sezgisel algoritmanın ilk uygulamaları, çözümü olan küçük boyutlu problemler için optimal çözümün yeterli bir yaklaşıklıkla tahmin edilebileceğini göstermektedir.

Demiryolu trafik kontrolü problemine farklı bir yaklaşım Japon araştırmacılar tarafından ortaya konmuştur. Problemi uzman sistemler tekniğini kullanarak çözmeyi hedefleyen ESTRAC sisteminin geliştirilmesine 1982 yılında başlanmıştır. ESTRAC (Expert System for Train Traffic Control), bilgi mühendisliği teknolojisinin, demiryolu şebekelerindeki yeniden çizelgeleme problemine ilk uygulamasıdır. Bu sistemin kronolojik olarak üç versiyonu bulunmaktadır: ESTRAC-I (Araya ve ark., 1983), ESTRAC-II (Araya ve Fukumori, 1985) ve ESTRAC-III (Komaya ve Fukuda, 1989).

İlk versiyon olan ESTRAC-I, bir istasyondaki tren sıralamasını değiştirmek için kullanılan sezgisel kuralların bilgisayar uygulaması olup, bir üretim sistemi gibi çalışmaktadır. ESTRAC-I her bir istasyonu kullanacak olan trenlerin sıralamasını yeteri kadar kısa bir zamanda yapabilmektedir. Ayrıca, belirlenmiş olan tren sıralaması dal-sınır yöntemiyle değerlendirilerek, toplam gecikme en küçüklenmektedir. ESTRAC-I, sadece küçük ve basit demiryolu şebekelerine uygulanabilmesine karşın, yeni bir teknoloji olan bilgi mühendisliğinin, yeniden çizelgeleme problemine uygulanması açısından önemli bir başlangıçtır.

İkinci versiyon olan ESTRAC-II, deneyimli dispeçerlerin gerçek işletme koşullarında kullandıkları yeniden çizelgeleme yöntemlerinin (kurallarının) bir bilgisayar uygulamasıdır. Bu pratik kuralları elde edebilmek amacıyla, bir bilgisayar destekli sistem geliştirilmiştir. Bu sistemde çizelgeler bilgisayar ekranı üzerinde görüntülenmekte ve değişiklikler bir fare



(mause) yardımıyla yapılmaktadır. Böylece, herhangi bir normal dışı durum çizelgeye tanıtılıp, bilgi olarak girilebilmektedir. Daha sonra, bu normal dışı durum karşısında dispeçerden yeni bir çizelge hazırlaması ve yaptığı değişikliklerin mantığını açıklaması istenmiştir. Bu çalışmalar kayda alınmış ve sonradan bunlar üzerinde detaylı bir çalışma yapılmıştır. ESTRAC-II, dispeçerin uyguladığı yöntemlerden faydalanarak, bunları etkili bir şekilde yeniden çizelgelemede kullanmıştır. ESTRAC-II, büyük ve karmaşık demiryolu ağlarının yeniden çizelgelemesi problemlerine uygulanabilme potansiyeline sahiptir.

Son versiyon olan ESTRAC-III, ESTRAC-II'nin geliştirilmesi aşamasında elde edilmiş olan, deneyimli dispeçerin yeniden çizelgelemede kullandığı problem çözümü tekniğine dayanmaktadır. ESTRAC-III sisteminde, yeni bir simülasyon yöntemi geliştirilmiştir. Bu yöntem, birbiriyle ilişkili olan trenlerin bölgesel hareketlerini öngören temel simülasyon ünitesiyle, bölgesel yeniden çizelgeleme kararlarını yöneten "IF - THEN" kurallarını birleştirmektedir. Böylece, deneyimli bir dispeçerin problem çözme tekniği bilgisayar ortamında taklit edilebilmektedir. ESTRAC-III sisteminin büyük ve karmaşık demiryolu şebekelerine uygulanmasıyla elde edilen sonuçların ışığı altında, bu sistemin karar verici konumundaki dispeçerleri, verdikleri kararlarda etkin ve etkili bir şekilde destekleyebildiği kanıtlanmıştır. ESTRAC-III sistemi için verilen örnek çözümlerde sadece önegeçme çatışmaları dikkate alınmış olup, karşılaşma çatışmalarından söz edilmemektedir.

Bu çalışmada, problemin çözümüne yönelik olarak yararlanılan diğer yardımcı kaynaklar şunlardır: Assad (1980), Cherniavsky (1972), Eisele (1985), Harker (1990), Iida (1988), Jovanovic ve Harker (1989), Jovanovic ve Harker (1990), Peat, Marwick, Mitchell (1977), Petersen ve Taylor (1982), Rudd ve Story (1976) ve Wong ve Rosser (1978).



BÖLÜM 3

DEMİRYOLU TRAFİK YÖNETİMİNİN ESASLARI

3.1 Giriş

Demiryolu ulaştırmasının, kendisini oluşturan trafiğin hareket özellikleri sebebiyle, diğer ulaştırma türleri arasında özel bir yeri vardır. Demiryolu trafiğini oluşturan taşıtlar (yolcu ve yük trenleri, iş katarları, lokomotif ve vagon dağıtım dizileri vd.) izli bir taşım yolu üzerinde tek-boyutlu hareket olanağına sahiptirler. Bu kısıtlı hareket olanağı taşıt hareketlerine ilişkin kesin bir güvenliğin sağlanmasını zorunlu kılmaktadır. Demiryolu hattının taşıtlar tarafından ortaklaşa kullanılıyor olması, etkili taşıt hareketleri yoluyla etkin bir işletmecilik gerçekleştirilmesi konularını gündeme getirmektedir. Sözü edilen bu kavramlar, yani demiryolu taşıtlarının güvenli, etkin ve etkili hareketleri, demiryolu trafik yönetiminin hedefleri arasında önemli bir yer tutmaktadır. Bu hedeflere trafik yönetimi için gerekli araçlar kullanılarak erişilmektedir. Genel anlamda, demiryolu trafik yönetimi uygun araçlar (veya kaynaklar, örneğin personel, demiryolu hattı, trafik kontrol sistemi, demiryolu taşıtları, zaman vd.) yardımıyla belirli hedeflere (örneğin güvenli, etkin ve etkili taşıt hareketlerini gerçekleştirmek) erişmek için kullanılan bir işlemler bütünüdür. Yukarıda sözü edilen kaynaklar girdi olarak düşünüldüğünde, varılan hedefler çıktı olmaktadır. Yönetimin başarı derecesi çıktıların girdilere oranı olarak ölçülmekte olup; bu, işletmenin verimliliğinin bir göstergesi olmaktadır. Demiryolu kaynaklarının ne ölçüde iyi kullanıldığının ölçütü etkililik (ya da etkili kullanım) olmaktadır. Ancak, biz bu çalışmada, istenilen (planlanmış) hedeflere erişilip erişilmediğinin bir göstergesi olan etkinlik ölçütüyle ilgileneceğiz.

Demiryolu trafik yönetiminde çizelgeler büyük önem taşırlar. Tren hareketlerinin şematik olarak gösterildiği çizelge bir yol-zaman grafiğidir. Genellikle, yatay ekseninde zaman ve düşey ekseninde ise yol (istasyon/saydınç'ler) işaretlenir. Tren hareketleri çizelge üzerinde eğik olarak çizilmiş doğru parçaları ile temsil edilir; yatay çizgiler ise beklemleri gösterir. Belirli uzunluktaki dönemler (örneğin 6 ay) için hazırlanan çizelgelerin oluşturulması bir



ön çalışmayı gerektirir. İstem tahmini, potansiyel kullanıcıların sosyo-ekonomik yapısı ve işletmenin kaynakları gözönünde bulundurularak hazırlanan çizelgeler; sunulan hizmetin belirli bir düzeyde (yani, kaliteli) olmasıyla birlikte, işletme maliyetlerinin de en küçüklenmesi (minimizasyonu) amaçları doğrultusunda oluşturulur. Bu bilgilerin ışığı altında, işletilecek tren türlerinin belirlenmesinin ardından, bu trenlere kaynak (örneğin, personel, lokomotif, vagon vd.) ataması yapılır. Daha sonra, isteme uygun olarak her trenin hareket planı oluşturulur. Hareket planı, her trenin ilk kalkış istasyonundan hareket zamanı ve son varış istasyonuna varış zamanı; durması istenen istasyonlara varış ve/veya bu istasyonlardan kalkış zamanlarıyla, duruş süreleri; ve ardışık istasyon/sayding'ler arasındaki tabii (normal) ve en küçük seyir süreleri bilgilerini içerir. Belirli bir demiryolu hattı (şebekesi) üzerinde hareket edecek olan trenlerin hareket planlarının bir araya getirilmesiyle çizelge (orer) oluşturulur. Trenler arası çatışmaların bulunmadığı, karşılaşma/önegeçme yer ve zamanlarının da belirlenmiş olduğu bu çizelgelerde, istasyon/sayding hatlarının kullanımına ilişkin bilgiler de yer alır. Taktik (orta vadeli) anlamı olan bu çizelgeler, üst düzey yöneticilerin katkısıyla deneyimli işletme ve planlama personelinin ortak çalışması sonucu, kesin şeklini alır.

Ulaşım hizmetinin düzenli olarak sunulduğu demiryolu işletmelerinde, bu hizmet önceden hazırlanmış çizelgeye uygun olarak yürütülür. Bu yöntemi *plan duyarlı işletmecilik* olarak adlandırabiliriz. Sunulan hizmetin etkinlik düzeyi, bu çizelgeye uygunluğun bir göstergesi olup; etkinliğin ölçütü, tren hareketlerinde olan gecikme değeriyle ölçülmektedir. Önceden hazırlanmış çizelgeye uygun olarak yürütülen plan duyarlı işletmecilik, normal dışı (planlanmamış) bir olay meydana gelene kadar devam eder. Planlanmamış olayların ortaya çıkmasıyla, plan duyarlı işletmecilik kuralları yerini *talep duyarlı işletmecilik* kurallarına bırakır. Düzensiz trafik koşullarının yarattığı olumsuzluk, ne işletmeci ne de kullanıcı tarafından arzu edilen bir durumdur. Uluslararası Demiryolları Birliği (IUR) Genel Sekreteri Jean Bouley'in de belirttiği gibi, demiryolu müşterileri yüklerinin, düzensizlikler sebebiyle bazen bir gün, bazen iki gün, diğer zamanlar üç gün gecikmeyle teslim edilmesini artık kabul etmemekteler (Bouley, ?).



Yük taşımacılığı açısından bakıldığında, demiryolu işletmelerinin pay almaya çalıştığı iki önemli pazarı, büyük hacimli yükler ve lojistik zincirin tamamlayıcı halkalarını meydana getiren ürünler oluşturmaktadır. İlk gruba, üretimin her aşamasında en az stok yapmanın ekonomik açıdan anlamlı ve gerekli olduğu malzemeler girer. İkinci grup, fabrikalar arasında taşınan ve üretim işleminin ilerleyen aşamalarında tamamlayıcı bir yeri olan malzemeler veya parçaları içerir. Bu ve benzeri zaman duyarlı pazarlar, güvenilir, tam zamanlı (Just-In-Time) yük teslimini talep ederler. Yük taşımacılığının küresel boyutta artma eğilimi gösterdiği bu günlerde, demiryolu şirketleri, pazar paylarını ve kazançlarını artırmak için müşterilerine yüzde yüz güvendikleri bir yük taşımacılık hizmeti sunmak zorundadırlar (Welty, 1991).

İzleyen kısımlarda, demiryolu trafik yönetimi probleminin tanımı verilmekte; sonra, problemin hiyerarşik ve işlevsel analizi yapılmakta; ardından, trafik yönetiminin ana işlevleri olan yeniden çizelgeleme ve trafik kontrolü işlevleri (işlemler bütünü) üzerinde durulmaktadır.

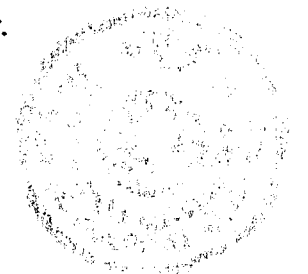
3.2 Demiryolu Trafik Yönetimi Problemi

Bir işletmeye ait demiryolu şebekesi, fiziki sınırları belirli alt bölgelere ayrılır. Her bölge, trafik yönetimi açısından birbirinden bağımsız olmasına rağmen, özellikle anahat trenlerinin, ilk kalkış ve son varış istasyonları arasında bulunan ardışık yönetim bölgelerinden geçmesi sebebiyle, bölgeler arasında sürekli bilgi iletişimi vardır. Her bölgenin bir trafik yönetim merkezi bulunmakta; bölge içindeki tren (ve diğer taşıt) hareketleri bu merkez tarafından gözlenmekte ve kontrol edilmektedir. Bölgeye giren ve bölgeden çıkan trenlerle, ara istasyon/sayding'lere varan ve bu noktalardan kalkan trenlerin numaraları, varış-kalkış yer ve zamanları düzenli olarak kaydedilir. Böylece, herhangi bir anda bölgede bulunan trenlerin nerede olduklarına ilişkin bilgi edinilebilir. Trenlerin o ana kadarki hareket bilgileriyle birleştirilen bu bilgiler, trenlerin bundan sonraki (gelecekteki) hareketlerine ilişkin tahmin (öngörü) yapılmasında kullanılır. Trenlere ait bu bilgiler trafik kontrol sistemi ya da haberleşme donanımı aracılığıyla yönetim merkezine iletilir. Tren

hareketlerine ilişkin kontrol işleminin (örneğin bir trenin istasyon/sayding yan hattına alınması için yol tanzimi -tren rotalaması) uzaktan kumanda edilebilen makas ve sinyaller yardımıyla yapıldığı Merkezi Trafik Kontrol (yaygın kısaltmasıyla, CTC) sisteminde, bölge içindeki hatların işgal durumu, makasların pozisyonu (anahat veya yan hat için düzenlenmiş olduğu) ve sinyallerin görünüşlerine ilişkin bilgiler, kontrol sistemine ait panoda görülebilir. Bu pano üzerinde, yönetim bölgesi içinde kalan demiryolu hatlarının çizilmiş bir modeli bulunmaktadır. Hat, makas ve sinyal bilgileri pano üzerindeki hat modelinin ilgili yerlerinde bulunan renkli ve ışıklı göstergeler aracılığıyla belirlenir. Bakım personeli için yapılan yol-zaman tahsisleri de bu pano üzerinde işaretlenerek, gerekli güvenlik ve kısıtlama sağlanmış olur.

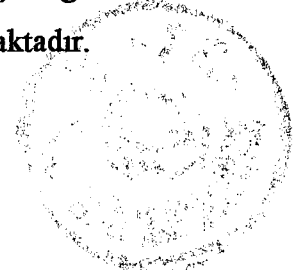
Demiryolu trafik yönetimine ilişkin işlemler trafik kontrolörü (yaygın adıyla dispeçer, tren dispeçeri) eliyle yürütülür. Stratejik olanlar dışında (örneğin çizelgeden tren çıkarma veya çizelgeye tren ekleme vb.), yönetime ilişkin tüm kararları dispeçer verir. Bir yönetici pozisyonunda olan dispeçer, yönetim işinde aktif görev yapan personel/donanım'dan sürekli bilgi alır; topladığı diğer bilgilerin de ışığı altında gerekli kararları verir ve yine bu personel/donanım aracılığıyla verdiği kararları uygular. Dispeçer verdiği kararlarda, demiryolu trafik yönetimine ilişkin hedefleri, yönetmelikleri, kuralları ve emirleri gözönünde bulundurmaktadır.

Her demiryolu işletmesinin trafik yönetimine ilişkin kurallarının başında 'güvenlik' yer alır. Trafik kontrol işleminin hattın belirli noktalarında bulunan operatörler aracılığıyla yürütüldüğü hatlarda, dispeçerin tren kazalarını önleme konusunda tam sorumluluğu vardır. En büyük hata, operatörlere gönderilen kontrol emirlerinin çatışmasıdır; yani, çatışan tren hareketlerine yol açacak emirlerdir (örneğin zıt yönde hareket eden iki trenin komşu iki istasyon arasında seyretmesine izin verilmesi vb.). Diğer bir önemli hata, planda yapılan değişikliğin yolda çalışmakta olan personele bildirilmemesidir. Güvenli bir trafik akışının sağlanabilmesi için, trafiğin sinyal/işaret'lerle yönetildiği bölgelerde bir tren durdurulacaksa, dispeçer doğru kontrol emrini zamanında göndermeli; operatör gerekli sinyal/işaret düzenlemesini yapmalı; ve makinist bu sinyal/işaret'e uymalıdır.



Yönetim işleminin önceden hazırlanmış çizelgeye göre yürütüldüğü plan duyarlı işletmelerde, bölge içindeki tren (ve diğer taşıt) hareketleri dispeçer tarafından düzenlenir. Dispeçer bu düzenlemeleri önceden hazırlanmış çizelgeye göre yaparken, yönetim merkezinde bulunan araçlardan (örneğin trafik kontrol sistemi, telsiz, telefon vd.) faydalanır. Gözlem ve bilgi toplama etkinliklerine dayanan trafik yönetimi, normal koşullar altında pek zor olmamakta; ancak, planlanmamış, normal dışı durumların ortaya çıkmasıyla (örneğin bir veya birden çok trenin gecikmesi durumunda) oldukça zor bir probleme dönüşmektedir. Dispeçer, normal koşullar altında, çizelgedeki tren hareketlerine uygun olarak yol düzenleme işlemini yapar. Gelişmiş teknolojiyle donatılmış yönetim merkezlerinde, dispeçerin bu fonksiyonu, uygun yazılımları kullanan bilgisayarlar tarafından yerine getirilmektedir; ancak, tren hareketlerindeki gecikmeler, önceden hazırlanmış çizelgenin aynen uygulanmasını olanaksız kılmaktadır. Bu durumda, dispeçer devreye girmekte, özellikle çizelgeye uygun olmayan tren hareketlerinin yeniden planlanması ve gerekli kontrol işlemlerini yerine getirmektedir. Bu yeniden planlama işlemi, demiryolu ulaştırmasının özel yapısı nedeniyle, genellikle hat üzerinde bulunan diğer trenleri de etkilemekte ve onların hareketlerinin de yeniden planlanmasını zorunlu kılmaktadır.

Bir trenin, değişik sebeplerle hareket planına uygun olmayan seyiri, trenin çizelgeden sapmasına neden olmakta; böylece, trenlerarası çatışmaların ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Trenlerarası çatışmalar yeteri kadar önceden saptanmalı ve çizelgede gerekli düzenlemeler yapılarak, yeni çizelge hayata geçirilmelidir. Burada, çizelgeden sapmaların saptanması ve çizelgede yapılan değişikliğin uygulanması 'kontrol'; çizelgenin, değişiklik yapılarak uygulanabilir hale getirilmesi ise, 'yeniden çizelgeleme' işlemlerini oluşturmaktadır. Trenlerin hareket planlarının yenilenmesi (ya da yeniden çizelgeleme), belirlenen güvenlik ve etkinlik hedefleri doğrultusunda, trenlerin karşılaşma/önegeçme yer ve zamanlarının belirlenmesi, hangi trenin hangi hatta ve ne kadar süreyle bulunması gerektiğinin saptanması anlamına gelmektedir. Burada etkinlik ölçütü, trenlerin, hareket planlarından (çizelgeden) toplam sapma miktarı, bir başka deyimle, çatışma gecikmeleri toplamı olmaktadır. Bu gecikmelerin en küçüklenmesi de amacı oluşturmaktadır.



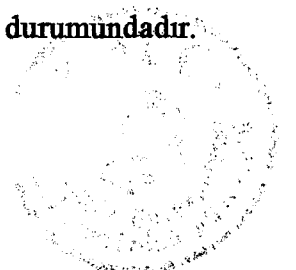
Görüldüğü gibi, demiryolu trafik yönetimi oldukça zor bir problem olarak karşımıza çıkmaktadır. Bölgenin herhangi bir yerinde bulunan potansiyel bir çatışmanın çözümünün, bölgenin başka kesimlerinde hareket etmekte olan diğer bazı trenleri etkileyebileceği gözönüne alındığında, problemin ne kadar karmaşık ve büyük boyutlu olduğu daha iyi anlaşılmaktadır.

3.3 Demiryolu Trafik Yönetiminin Hiyerarşik Analizi

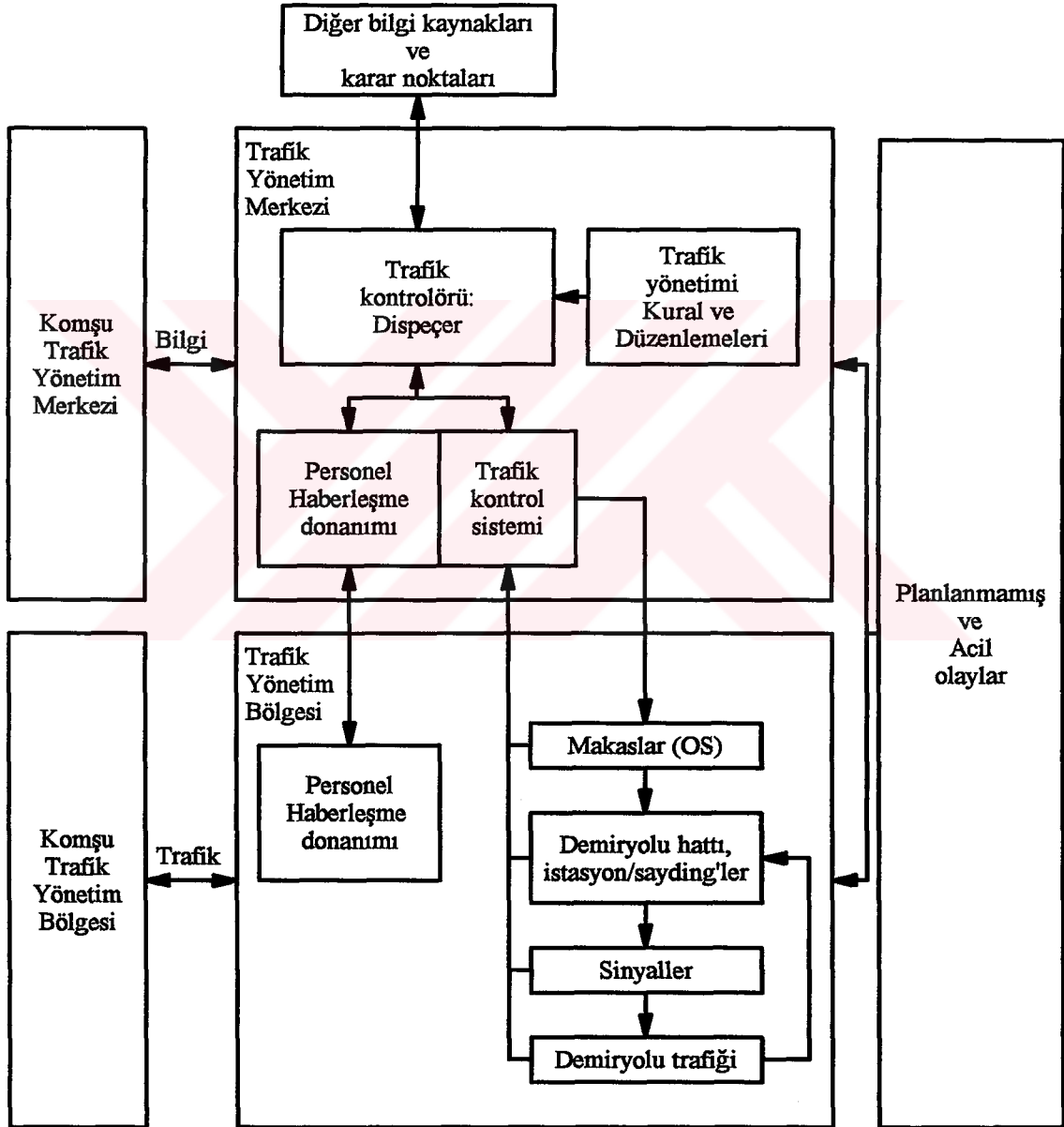
Bu kısımda, demiryolu trafik yönetimi hiyerarşik bir yapıda ele alınıp analizi yapılacaktır. Trafik yönetimi, genellikle belirli bir düzende ele alınan işlemler bütünüdür. Bu nedenle yapılacak analizin hiyerarşik yapıda olması da normaldir. Demiryolu trafik yönetiminin iki önemli yapısal elemanı Trafik Yönetim Merkezi ve Trafik Yönetim Bölgesidir. Bu iki eleman arasındaki bilgi akışı, trafik yönetiminin gerçekleşmesinde esas rolü oynar. Şekil 3.1’de gösterildiği gibi, bu iki yapısal elemanın kendi iç yapıları, bir birleriyle olan ilişkileri ve bir bütün olarak demiryolu trafik yönetimine olan katılımları, hiyerarşik bir yapıda açıklanmaktadır.

3.3.1 Trafik Yönetim Merkezi

Trafik Yönetim Merkezi, adından da anlaşılacağı gibi, yönetimin gerçekleştiği yerdir. Yönetim işlemi fiziki sınırları belirli bir demiryolu kesimi için yürütülür. Yönetim merkezi binası genellikle bölge içinde yer alır. Merkezde bilgi alışverişini gerçekleştirmek üzere haberleşme araçları bulunur. Gelişmiş yönetim merkezlerinde gözlem ve kontrol amacıyla bir trafik kontrol sistemi de yer alır. Bazı bölgelerde iki farklı trafik kontrol sistemi (örneğin, kontrol işleminin hat boyundaki personel aracılığıyla yapıldığı TMI ve kontrolün bir merkezden uzaktan kumanda edilebilen makaslar ve sinyaller aracılığıyla yapıldığı, CTC), bölgenin değişik kesimlerindeki trafiği kontrol etmek amacıyla kullanılabilir. Trafik yönetimi işi trafik kontrolörü (dispeçer) tarafından yürütülür. Haberleşme ve kontrol sistemini aktif olarak kullanan dispeçer, üst yönetimle bilgi ve karar alışverişi yaptığı gibi, diğer yönetim merkezleri ve ilgili personelle de sürekli iletişim kurmak durumundadır.

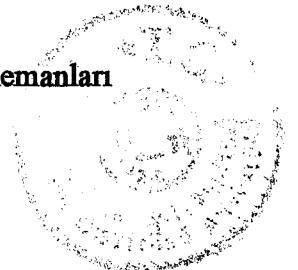


CTC sistemiyle donatılmış yönetim merkezi ve yönetim bölgelerinde dispeçer, bölge içindeki trafiğin durumuyla (örneğin, her trenin bulunduğu yer) hattın durumuna ilişkin bilgilere, (örneğin, hat kesimlerinin işgal durumu, makasların pozisyonu ve sinyallerin görünüşü) kontrol sistemini gözleyerek erişebilir. Bölge içinde gerçekleşen trafik hareketlerine ilişkin yol-zaman çizelgesi dispeçer tarafından elle ya da kontrol sistemi



Şekil 3.1

Merkezi trafik kontrolünde demiryolu trafik yönetiminin elemanları arasındaki (hiyerarşik) ilişki.

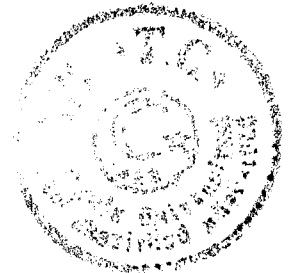


tarafından otomatik olarak çizilir. Bu çizelge, bölge içindeki trafiğin geçmişte nasıl bir hareketlilik gösterdiği konusunda bilgiler içerdiği için, trafiğin gelecekte nasıl bir durum alacağı konusunda da dispeçere bir fikir verir. Böylece, trafik yönetiminin amaçları doğrultusunda (örneğin, tren hareketlerindeki gecikmenin en küçüklenmesi vd.) kararların alınabilmesi için destekleyici bir unsur elde edilmiş olur.

Dispeçer, dinamik ve sürekli değişim gösteren bir yönetim işiyle ilgilenmek durumundadır. Ancak, genel hatlarıyla, dispeçer mesaisinin başlangıcında, ilk olarak yönetim bölgesinin durumunu anlamaya çalışır; mesai süresince, (planlanmamış ve acil olaylar nedeniyle) değişen işletme koşullarında karşılaşılan problemleri çözerek devam eder; bölgenin son durumunu gözden geçirerek, yarım kalan işlerini tamamlar ve görevi bir sonraki dispeçere devreder.

Aşağıda bir tren dispeçerinin, trafiğin yoğun olmadığı bir gündeki 15 dakikalık zaman diliminde yaptığı işlerin listesi verilmiştir (Devoe, 1974):

- 8:46 Teknisyen merkezdeki telefon problemi hakkında bir şey soruyor.
- 8:46 Dispeçer telsizle D_'yi arıyor ve trenin S_ ve A_ arasında ışığını yanık bırakmasını tavsiye ediyor.
- 8:46-8:47 Manevra lokomotifi W_ hareket etmek istiyor; fakat, yol açılana kadar beklemesi isteniyor.
- 8:47 CTC'de yol tanzimi yapıyor.
- 8:47 E_ A&T'nin harekete hazır olduğunu rapor ediyor.
- 8:47 Gerçek zamanlı hareket planını işaretliyor.
- 8:48 Tren tablosunu dolduruyor.
- 8:48-8:51 Dispeçer bir şey konuşmak için şef dispeçerin odasına gidiyor.
- 8:51 Merkezdeki tren sorumlusu iki tren ve bir lokomotif hakkında bir şey soruyor.
- 8:51-8:52 C_'deki biri trenlerin yerini soruyor; iş hakkında tartışıyor.
- 8:51 Biri dispeçeri arıyor, dispeçer meşgul.



- 8:52 M_'deki biri yol-zaman limitlerini istiyor; beklemesi söyleniyor.
- 8:52 Dispeçer telsizle C_'yi arıyor, yanıt yok.
- 8:52-8:53 Tren tablosunu dolduruyor.
- 8:53 Dispeçer telsizle B_'yi arıyor, yanıt yok.
- 8:53-8:55 H_'ye C_'den K_'ye kadar olan yol-zaman limitleri veriliyor; Form W ve bakım taşıtları hakkında tartışma.
- 8:54 Biri dispeçeri arıyor, dispeçer meşgul.
- 8:55 Biri dispeçeri arıyor, dispeçer meşgul.
- 8:55-8:56 J_ OS'i geçen bir tren ve trenin yükü hakkında tartışıyor.
- 8:56-9:00 Bir kişi demiryolunda karşıdan karşıya bir makine geçirmek istiyor; trenlerin yerini tartışıyor.
- 8:56 J_ trenin yüklenme problemi olduğunu söylüyor.
- 8:57 Cer atölyesi onarımlar hakkında şef dispeçerle görüşmek istiyor.
- 8:58 Dispeçer C_'ye trenlerin yerini tekrar bildiriyor ve yolun ne zaman hazır olacağını soruyor.
- 8:58-8:59 Dispeçer telsizle bir treni arıyor; bir başka trenin yerini soruyor.
- 8:59-9:00 Tren dispeçeri telsizle arıyor; kırık bir rayı rapor ediyor; dispeçer raporu tekrarlatıyor; rapor aynı; trenin numarasını alıyor.
- 9:00 Biri dispeçere, B_'ye emrin burada olduğunu söylemesini istiyor.
- 9:00 B_ telsizle kendisi için makasın hazırlanmasını istiyor.

Bu listeden de anlaşılacağı gibi, yapılan iş özveri isteyen bir çalışmadır. Dispeçer neredeyse sürekli bir gerilim altında, bilgilerin karmaşık bileşimini değerlendirerek, kritik kararlar alır ve beklenmedik durumlara karşılık verir. Çalışma ortamı genellikle idealden uzak, rahat olmayan ve gürültülü bir yerdir.

3.3.2 Trafik Yönetim Bölgesi

Trafik Yönetim Bölgesi, daha önce de belirtildiği üzere, fiziki sınırları belirli bir demiryolu kesimidir. Bölge içinde bir veya daha çok paralel hat olabileceği gibi, bir (alt) sebekte de



bulunabilir. Bölgenin diğer (komşu) yönetim bölgeleriyle olan bağlantısı, genellikle terminal istasyonları aracılığıyla sağlanır. Bölge içinde kalan hat(lar) boyunca istasyon/sayding'ler bulunur. Trafik yönetimi açısından bu yerler, trenlerin karşılaşma/önegeçme yaptıkları noktalar olmaktadır. Bölge içindeki trafiğin güvenli hareketi, hat boyunca bulunan işaret/sinyal'ler aracılığıyla düzenlenir. Bu düzenleme, trafik kontrol sisteminin izin verdiği kurallar çerçevesinde yapılır. Trafik Yönetim Bölgesi içindeki trafiğin hareketi Trafik Yönetim Merkezi tarafından sürekli izlenir. İki tren arasında bir karşılaşma ya da önegeçme gerçekleştirileceği zaman, trenler bu işlemin yapılacağı yere varmadan önce gerekli hazırlıklar yapılmalıdır. Bu amaçla, dispeçer, öncelikle, kullanılacağı istasyon/sayding'in ilgili yan hattının işgal edilmiş olup olmadığını kontrol eder. Eğer hat işgal edilmemişse ilgili makası doğru pozisyona getirir; daha sonra da, ilgili sinyalin 'ilerle' görünüşünü almasını sağlar. Bu işlemleri bitirdikten sonra da tüm hazırlıkların tamam olup olmadığını kontrol eder. Dispeçer sorumlu olduğu bölgeyi çok iyi tanımak zorundadır. Özellikle, yüksek eğimli kesimlerin, küçük yarıçaplı kurbaların ve hız kısıtlaması uygulanan kesimlerin yerlerini bilmek zorundadır.

Her bölgenin Trafik Yönetim Merkezi kendi bölgesi içinde bulunan (hareket etmekte olan) demiryolu trafiğinden sorumludur. Trafik, başlangıç ve son noktası bölge içinde olan, bölgesel trafik olabileceği gibi; komşu bir bölgeden gelip, bölgeyi katettikten sonra bir başka komşu bölgeye geçen, bölgeler arası (uzunyol) trafiği de olabilir. Demiryolu trafiği, hareket halindeki yolcu ve yük trenleri, demiryolu tesislerinin bakım ve onarımını yapan iş katarları ve demiryolu şebekesi içindeki lokomotif ve vagon dağıtımını gerçekleştiren dizilerden oluşur. Daha önce de belirtildiği gibi, bu taşıtların hareketleri plan duyarlı ya da talep duyarlı işletmecilik koşulları altında düzenlenir.

Belirli koşullar için önceden hazırlanmış çizelge, gerçek işletme koşullarında, istenmeyen normal dışı durumların oluşmasıyla (örneğin, bir veya daha çok trenin gecikmesi) değişikliğe zorlanır (uğrar). Önceden hazırlanmış çizelge gözlem ve kontrol işini yürüten tren dispeçeri eliyle yeniden düzenlenir. Yeniden çizelgeleme adımı verebileceğimiz bu işlem, trenlerin karşılaşma/önegeçme yer ve zamanlarının yeniden düzenlenmesidir.



Böylece, yeniden çizelgelemeyle, (bazı) trenlerin istasyon/sayding kalkış ve varış zamanları da yenilenmektedir. Yeniden çizelgeleme belirli hedeflerini sağlamalıdır.

3.4 Demiryolu Trafik Yönetiminin İşlevsel Analizi

Dispeçer, bir mesai süresince çeşitli işlerle ilgilenmek zorundadır. Birbirine benzer olan işlerin bir araya getirilmesiyle, bunların işlevsel anlamda tanımını ve analizini yapmak olanaklıdır. Bu amaç doğrultusunda, “dispeçer şu anda ne yapıyor?” sorusuna yanıt oluşturan en az sayıdaki açıklayıcı terim araştırılmıştır. Böylece, yapılan işlerin tümünü içeren aşağıdaki işlevler tanımlanabilmiştir (Devoe, 1974):

- Tren hareketlerini izleme ve koordinasyon,
- Kayıt tutma,
- Planlanmamış olayları ele alma,
- Acil durumları ele alma,
- Plan hazırlama, ve
- Tren hareketlerini başlatma ve durdurma.

Tren hareketlerini izleme ve koordinasyon, trafik yönetimi için gerekli bilgilerin elde edilmesi ve bunların ışığı altında ilgili birimler arasında gerekli koordinasyonun sağlanması işlevini yerine getirir. Dispeçer, trafiğe ilişkin bazı bilgileri CTC panosundan aldığı gibi, telefon ve telsiz cihazlarını da kullanarak topladığı bilgilerle bölgenin durumunu saptar ve iş akışının sürekliliği ve güvenliği için gerekli koordinasyonu sağlar.

Kayıt tutma, tren işletilmesine ilişkin bilgilerin teknik ve idari anlamda (belirli bir süre için de olsa) saklanması işlevini yerine getirir. Her demiryolu işletmesinde belirli işler için hazırlanmış formlar bulunmaktadır. Bilgilerin kaydı, bu formlar üzerinde bulunan boşlukları doldurarak yapılır. Ayrıca, dispeçerin telefon ve telsiz görüşmeleri de manyetik bantlara kaydedilerek belirli bir süre saklanır. Kaydı yapılan bilgiler arasında: gönderilen emirlerin içerikleri ve ilgili personelin adları, yer ve zaman bilgileri; trenlerin belirli

noktalardaki kalkış-varış zamanları, trenlerdeki boş ve dolu vagon sayıları, tren ağırlıkları; tren personelinin görevde kaldığı süre; bakım ve onarım işleri için ayrılan yol-zaman limitleri; gecikme ve hava durumuna ilişkin raporlar yer alır.

Planlanmamış olayları ele alma, adından da anlaşılacağı üzere, önceden planlanmamış (normal dışı) olaylar için yapılması gerekli işleri kapsar. Bir 'planlanmamış olay', mevcut planların yenilenmesini zorunlu hale getirebilir. Böyle bir olayla ilgilenilmesi, planlanmış diğer olayların zamanında ele alınmamasına, ve bazı kararlar için gerekli olan bilgilerin doğruluğu ve geçerliliğinin kaybolmasına neden olabilir. Planlanmamış olaylar arasında lokomotif arızası, raydan çıkma, katar kopması, tren personelinin hastalanması, bakım personelinin başladığı işi bitirebilmek için daha fazla zaman istemesi, kötü hava koşulları ve haberleşmedeki aksaklıklar sayılabilir.

Acil durumlarla planlanmamış olaylar arasındaki temel farklılık, acil durumlarda yaşam ve mülkiyetin tehlike sınıra yaklaşmış olmasıdır. Tipik bir acil durum ani olarak oluşur ve dispeçerin zaman yitirmeden olaya müdahale etmesini gerektirir. 'Planlanmamış' olarak sınıflandırılan bir olay acil duruma dönüşebilir. Sel ve yoğun kar yağışı acil durumlar arasında sayılabilir. Burada belirtilmesi gereken önemli nokta, önlem alınmadığı takdirde potansiyel bir tehlikenin varlığıdır.

Plan hazırlanması mesai öncesinde başlar ve mesai süresince devam eder. Bu işlev, trafiğin etkin kontrolü için zorunlu, diğer işlevlerin gereğince yerine getirilmesi için bir ön koşuldur. Bu işlev içinde tren hareketleriyle ilgili kayıtların gözden geçirilmesi, donanımın kontrol edilmesi, trafiğin durumunun saptanması ve önceden hazırlanmış planların anlaşılması sayılabilir. Planlanmamış ya da acil bir durumla karşılaştığında, dispeçer mevcut durumun tanımlanması amacıyla gerekli bilgileri toplar ve bölge içinde doğabilecek potansiyel problemleri saptar. Bu işlem altında kontrol işlevinin can damarını oluşturan bir 'geribesleme' dir. Daha sonra bu problemleri önleyecek gerekli planlamayı yapar. Örneğin, trenlerin gecikmesi ve önceden hazırlanmış çizelgeden sapma göstermeleri sebebiyle doğabilecek potansiyel çatışmaların önlenmesi için yeni bir karşılaşma/önegeçme

planının (yeni bir çizelge) hazırlanması gereklidir. Dispeçerin günlük işleri arasında oldukça önemli bir yer tutan (yeniden) çizelgeleme, işletme için belirlenmiş bir etkinlik ölçütü gözönünde bulundurularak yapılır.

Tren hareketlerini başlatma ve durdurma, önceden (ya da yeniden) hazırlanmış hareket planlarının (trenlerin hareket planları çizelgeyi oluşturur) uygulanması, bir başka deyimle trafik kontrol işleminin gerçekleştirilmesi işidir. CTC sisteminin kullanılarak makas ve sinyallerin uzaktan kontrolü; kontrole ilişkin emir ve bilgilerin iletilmesi amacıyla haberleşme donanımının kullanılması bu işlev içinde yer alır.

Yapılan gözlemler bir dispeçerin, yukarıda belirtilen ilk dört işlev için mesai süresinin yaklaşık olarak yüzde 80; plan hazırlama için yüzde 4; ve tren hareketlerini başlatma ve durdurma için ise yüzde 16'sını harcadığı saptanmıştır (Steiner, 1978).

3.5 Yeniden Çizelgeleme ve Trafik Kontrolü

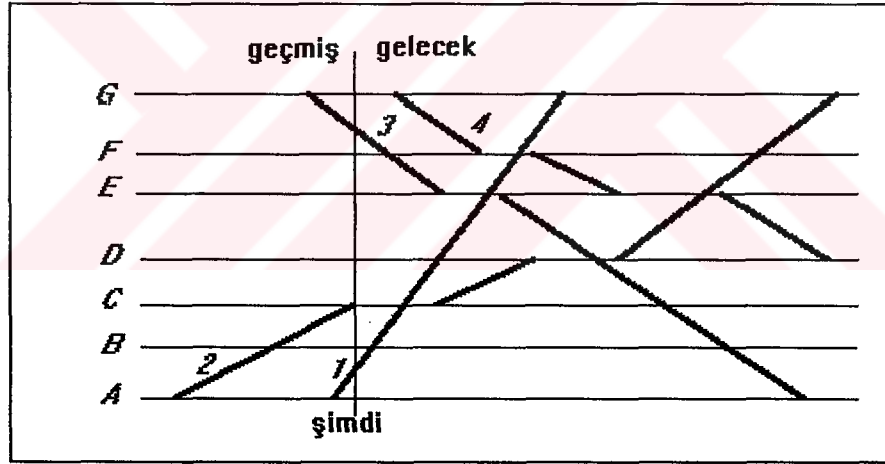
Bu kısımda dispeçerin, planlanmamış olaylar karşısında, önceden hazırlanmış çizelgeyi yenilemesi (yeniden çizelgeleme) ve tren hareketlerini başlatma ve durdurma (trafik kontrolü) işlevleri daha detaylı olarak ele alınacaktır.

Çizelgeler (trafik planları), her tren için planlanmış bir hat kullanımı ve hareket planıyla birlikte; diğer trenlerle olan karşılaşma/önegeçme'lerin yer ve zamanlarını içerir. Her bölge içindeki trafiğe ait çizelgelerin bir araya gelmesiyle, belirli bir demiryolu hattına ya da şebekesine ait çizelge (taktik trafik planı) oluşturulur. Bu nedenle, bir bölgeye ait çizelgede yapılacak olan değişikliğin, taktik trafik planı gözönünde bulundurularak yapılması gereklidir.



3.5.1 Önceden Hazırlanmış Çizelge ve Gerçekleşen Çizelge

Şekil 3.2, A-G istasyonları arasında kalan tek hatlı bir demiryolu kesiminin önceden hazırlanmış çizelgesini göstermektedir. Burada trenlerin geçmişte gerçekleşmiş hareketleriyle, gelecek için planlanmış hareketlerini görmek mümkündür. Tren çizgilerinin 'şimdi' çizgisiyle kesişimi, trenlerin şu andaki gerçek pozisyonlarını göstermektedir. 'şimdi' çizgisinin solunda yer alan tren çizgileri, yakın geçmişteki tren hareketlerine ait doğru kayıtlardır. Çizginin sağında bulunan tren çizgileri, yakın gelecekte uygulanması öngörülen tren hareketlerini göstermektedir. Şekilden görüldüğü gibi mevcut planda trenler arasında hiçbir çatışma bulunmamaktadır: Tren 1 C'de tren 2'nin önüne geçmekte; tren 3 ile E'de, tren 4 ile de F'de karşılaşmaktadır. Bu önegeçme ve karşılaşmaların tümünde, tren 1'in öncelikli olarak ilerlemesine izin verilmektedir.

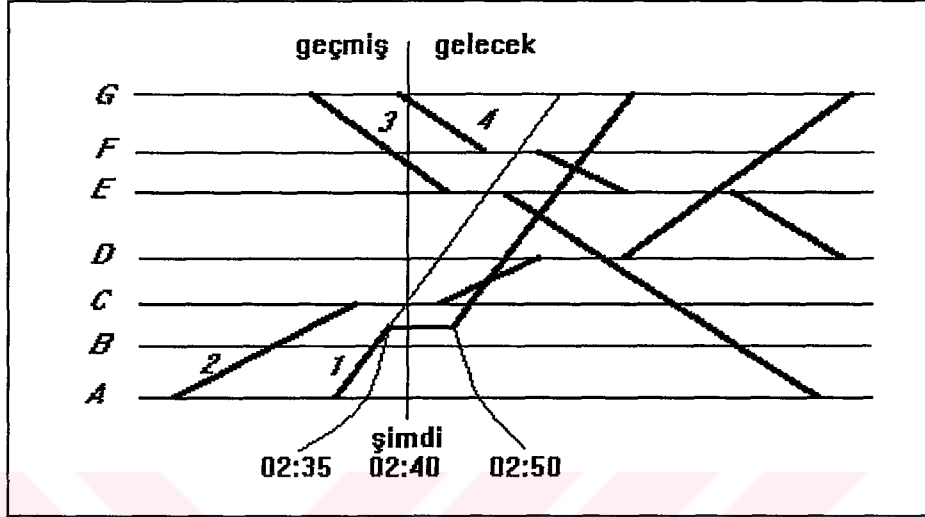


Şekil 3.2 A-G Demiryolu kesimine ait önceden hazırlanmış çizelge

Ancak, demiryolu trafiği dinamik ve zaman içinde değişim gösteren bir yapıya sahiptir. Örnek olarak Şekil 3.3'deki durumu inceleyelim: Yüksek önceliği olan tren 1'in beklenmedik bir şekilde saat 02:35'te B ve C istasyonları arasında durmak zorunda kaldığını kabul edelim. Saat 02:40'ta trenin makinisti durumu dispeçere bildirir ve saat



02:50'de normal seyrine tekrar başlayabileceğini söyler. Şekilde dispeçerin bu bilgiyi kaydetmesinden hemen sonra, saat 02:40'ta trafiğin durumu gösterilmektedir.



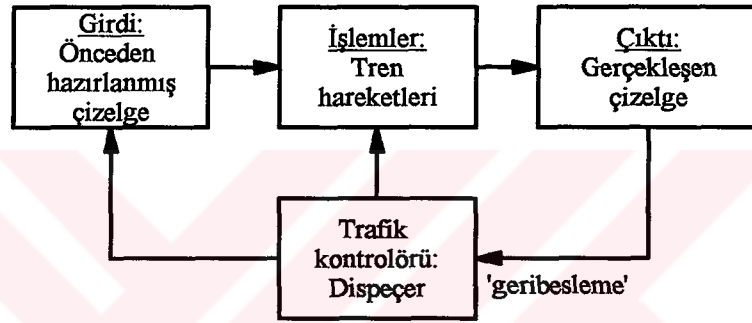
Şekil 3.3 Planlanmamış durum ve ortaya çıkan trenlerarası çatışmalar

Şekil 3.3'ten de görülebileceği gibi, Tren 1 saat 02:50'de normal seyrine başlamasıyla, tren 2 ile 'izleme ve önegeçme çatışması,' trenler 3 ve 4 ile de 'karşılaşma çatışması'na girecektir. Bu potansiyel çatışmalar, trenlerin şimdiki durumları dikkate alınarak, işletme ve güvenlik kısıtlarıyla, etkinlik ölçütünün (örneğin, trenlerin planlanmış varış zamanlarından sapmalarının toplamı) ışığı altında çözümlenerek yeni bir çizelge oluşturulur. (Belirlenmiş etkinlik ölçütünün tercihen optimum yada 'yeteri kadar iyi' değerini aldığı) yeni bir çizelge, uygulanabilir karşılaşma/önegeçme'lerin hangi trenler arasında, nerede (istasyon veya saydın) ve ne zaman yapılacağını yanıtlarını içermelidir.

Tekrar Şekil 3.3'teki duruma dönecek olursak; tren 1'in B-C istasyonları arasında planlanmamış duruşuna ilişkin bilgi trafik yönetim merkezine eriştiği anda, yeniden çizelgeleme ve kontrol işlevleri aktif hale gelir. Tren 1'in saat 02:50'de normal seyrine devam etmesi durumunda, önceden hazırlanmış çizelgeden 15 dakikalık bir sapma yapacağı bilinmektedir. Bu bilginin elde edildikten sonra değerlendirilmesi; bir başka



deyimle, Tren 1'in 02:50'de normal seyirine başladıktan sonra, belirli genişlikteki bir zaman aralığı içinde, diğer trenlerle olan ilişkisinin belirlenmesi 'kontrol' işlevinin başlangıç bölümünü oluşturur. Bir 'geribesleme' olan bu işlem, tren 1'in sistemdeki diğer trenlerle çatışmaya girip girmeyeceğinin belirlenmesi amacıyla yapılır (Şekil 3.4). Bu örnekte, tren 1, trenler 2, 3 ve 4 ile çatışmaya girmektedir. Yeniden çizelgelemeyle bu çatışmalar çözülerek; yeni çizelgeye uygun olarak, tren hareketlerinin başlatılması/durdurulması gibi kontrol işlemleri yerine getirilir. Görüldüğü gibi kontrol ve yeniden çizelgeleme iç içe bulunmaktadır.



Şekil 3.4 Trafik kontrolünde 'geribesleme'

3.5.2 Yeniden Çizelgeleme ve Trafik Kontrolü için Gerekli Bilgiler

Yeniden çizelgeleme ve trafik kontrolü için oldukça yüklü bir bilgi yığınına gereksinim vardır. Bu bilgileri şu şekilde sınıflandırmak mümkündür:

- Kurallar ve düzenlemeler,
- yol geometrisi bilgileri,
- hat bilgileri,
- trafik bilgileri,
- trafik kontrol sistemi bilgileri,
- durum bilgileri ve etkinlik ölçütü.

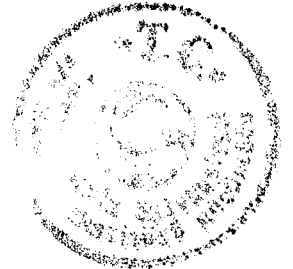


Dispeçer işletmenin yönetimine ilişkin kural ve düzenlemeleri bilmek zorundadır. Bunlar içinde güvenlikle ilgili olanlar da bulunmaktadır. Dispeçer bölgeye ait olan çizelgeyi çok iyi tanımalı ve gerekli bilgiyi hemen okuyabilmelidir. Diğer bilgi kaynaklarının yer ve içeriklerini de bilmek zorundadır.

Dispeçer yönettiği bölgenin geometrik özelliklerini çok iyi bilmelidir. Mümkünse bölgeyi bir lokomotif üzerinde seyahat ederek tanımalıdır. Bölgedeki yol kesimlerinin eğimi, eğriliği, dar ve alçak geçişleri (örneğin yarmalar, tüneller ve altgeçitler) ve bunların yerleri hakkında bilgi sahibi olmak durumundadır. Yolun özel geometriye sahip ve yapısal olarak kötü kesimleri de bu gruba dahildir.

Bölge içinde kalan demiryolu hattının sınırları; hat boyunca yer alan istasyon, saydın, triyaj istasyonu ve kavşak noktalarının yer, sınırları ve kapasiteleri; bu kesimler arasında uzanan hat kesimlerinin kullanım tercihleri; izin verilen yasal en yüksek hız ve belirli kesimlerdeki hız kısıtlamaları; hemzemin geçit ve köprülerin yer ve özellikleri; trenlerin durmaması gereken ve telsiz haberleşmesinin sınırlı yapılabildiği hat kesimleri; endüstri kuruluşlarının yer ve özellikleri; ve tren hareketlerini etkileyen diğer unsurlar, hat bilgileri arasında yer alır.

Plan duyarlı bir işletmede demiryolu trafiğinin büyük bir bölümünü, belirli bir amaçla sefere konmuş olan ve çizelgeye (taktik trafik planı) uygun olarak işletilen trenler oluşturur. Her trenin numarası, ilk kalkış ve son varış istasyonları, planlanmış ilk kalkış ve son varış zamanları, ve seyri boyunca belirli noktalara varış ve bu noktalardan kalkış zamanları; dolayısıyla, belirli istasyonlardaki duruş süresi bilinmelidir. Trenlerin içeriğine ilişkin olarak lokomotif tipi (dizel, elektrikli), uzunluğu, tonajı, temel öncelik sayısı, boş ve dolu vagon sayısı, fren bilgileri, arıza durumu, tehlikeli madde, bozulabilir yük içeriği bilinmesi gerekenler arasındadır. Trenin durumuna ilişkin olarak ta yeri, hızı, yönü, seyir bilgileri (belirli noktalar arasındaki tabii ve en kısa seyir süreleri), kalkıştan varışa kadar işgal edeceği hat kesimleri ve istasyon platformları bilinmelidir.



Dispeçer, yönetimindeki tüm trenlerin lokomotiflerinin bazı teknik özelliklerini katar hızlarını tahmin etmek, hızlanma ve yavaşlama yeteneklerini belirlemek, arızalanma olasılığını tahmin etmek için bilmek zorundadır. Dispeçer, bütün demiryolu arabalarının, özellikle aşırı yüksek ve geniş olanların, boyut ve ağırlıklarını bilmelidir. Boyut bilgileri gabari kontrolü için zorunludur. Tren uzunluklarının bilinmesi, sayding uzunluklarıyla uyumun sağlanması açısından önemlidir.

Dispeçer, bölgesinde bulunan sinyalizasyon ve trafik kontrol sisteminin özellikleriyle; bunların kullanımına ilişkin kural ve düzenlemeleri bilmek zorundadır. Kontrol sisteminin izin verdiği en küçük izleme ve güvenlik süreleri her tren çifti ve hat kesimi için bilinmelidir. Dispeçer, hat boyunca yerleştirilmiş olan makas, sinyal, hemzemin geçit ve hareketli köprülerin durumlarını bilmelidir. Hat kesimlerinin işgal durumu, OS'lerin (On Switch; istasyon/sayding'lerin giriş ve çıkışlarındaki makas bölgeleri) işgal edilmesine ait sıralama, bakım ve onarım işleri için ayrılan yol (-zaman) limitleri, geçerli hareket yönü gibi bilgiler, kontrol sistemi aracılığıyla elde edilir.

Dispeçer, hizmetinde olan bütün haberleşme araçlarını tanımalı ve kullanabilmelidir. Kullanılan haberleşme kanallarını çok iyi bilmeli; arıza durumunda ilgili personeli gerekli yere yönlendirebilmeli; ve haberleşme problemlerinde yedek kanalları kullanabilmelidir.

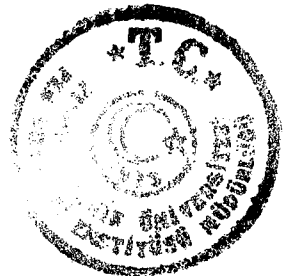
Durum bilgileri aracılığıyla bölgenin genel görünümü ve trafiğin etkinliği hakkında bilgi sahibi olunabilir. Her hangi bir anda, bölgedeki trafiğin, hattın, kontrol sisteminin durumuna ait bilgiler bölgenin genel durumunu yansıtmaktadır. Bunlara, özellikle tren personelinin durumuna ilişkin bilgileri de eklemek gerekir; personelin göreve başladığı saat, ilk kalkış ve seyir sırasındaki gecikme, ve mesai süresi personel bilgileri arasında yer alır.

3.5.3 Yeniden Çizelgeleme ve Trafik Kontrolüne Yönelik Bazı Kurallar

Aşağıdaki kurallar demiryolu işletmelerinde yeniden çizelgeleme ve güvenli trafik kontrolünün gerçekleştirilmesi amacıyla uygulanmaktadır. Ancak, bunlar kesin kurallar olmayıp işletmeler arasında farklılık göstermektedir (Devoe, 1974):



- Bir trenin diğer bir trene göre sınıf, yön veya özel bir hak dolayısıyla önceliği vardır.
- Özel hak emirle verilir; sınıf ve yön çizelgede belirlidir.
- Özel hak, sınıf ve yöne göre ustunluge sahiptir.
- Yön, aynı sınıftaki trenlerin önceliğinin belirlenmesinde kullanılır.
- Birinci sınıf trenler ikinci sınıf, bunlarda uuncu sınıf trenlere göre önceliklidir.
- Düzenli işleyen trenler ihtiyari trenlere göre önceliklidir.
- Aksi belirtilmedikçe, bir tren ilk hareket istasyonundan önceliğe sahip tüm trenlerin planlanmış varış zamanından ya da planlanmış kalkış zamanından önce kalkmamalıdır.
- Bir tren uygun sinyal verilene kadar kalkmamalıdır.
- Aksi belirtilmedikçe, iki ihtiyari trenin karşılaşması durumunda, ustunlugu olmayan yönde hareket eden tren saydingte bekletilmelidir.
- Bir buluşma noktasında, ustunlugu olmayan tren saydingte bekletilmeli ve ana hattı, ustun trenin zamanından en az beş dakika önce boşaltmalıdır.
- Aksi belirtilmedikçe, bir tren planlanmış zamanından önce hareket etmemelidir.
- İki veya çok hatlı kesimlerdeki hatların yönlere tahsisi önceden belirlenmiş kurallara göre yapılır.
- Bir karşılaşma için hazırlık yapılırken, eğer pratik ise, buluşma noktasma ilk varan treni yan hatta yönlendirmek, iyi bir buluşma gerçekleştirmek ve zaman kazanmak bakımından önerilebilir.
- Yol düzenlenmesi için hazırlanmadığı durumlarda, makaslar normal pozisyonda ve sinyaller 'dur' gorunüşunde tutulmalıdır.
- Makas ve sinyaller, en yakın tren hareketinde gecikme olmaması için, yeteri kadar önceden hazırlanmalı; ve tren, makası geçer geçmez normal pozisyona getirilmelidir.



BÖLÜM 4

DEMİRYOLU SİNYALİZASYONU VE TREN-TRAFİK KONTROL SİSTEMLERİ

Aşağıdaki üç kural 3 Nisan 1858 tarihli eski Tallahassee, Rensacola ve Georgia Demiryolları yönetmeliğinden alınmıştır:

Kural 8. Genel bir kural olarak, iki tren istasyonlar arasında karşılaşırsa, istasyonlardan birine en yakın olan geri döner. Herhangi bir anlaşmazlık, makinistler tarafından değil, kondüktörler tarafından çözüme kavuşturulur. Trenlerin ortaya yakın bir yerde karşılaşması durumu, kuralın daha ağır olan tren lehine kullanılmasını gerektirir.

Kural 12. Karanlıkta seyreden bir trenin herhangi bir sebeple yolda kalması durumunda, trene arkadan yaklaşacak bir başka trenin güvenle durabileceği bir mesafeye, hemen kırmızı ışık yerleştirilmelidir. Yeşil bir ışıkta önden yaklaşan bir treni durdurmak için aynı şekilde konmalıdır. Her iki yönde 800 metre yeterli bir güvenlik mesafesidir. Trenin bulunduğu yerde de, yolun ortasında ateş yakılmalı ve ateşle, kırmızı ve yeşil ışığın sürekli yanık kalması için başında birer personel bulundurulmalıdır.

Kural 16. Lokomotifin bacasının, trenin güvenli seyirini önleyecek biçimde, arızalanması durumunda kondüktör, trenini ilk istasyonda bırakmalı ve lokomotifini onarım için Tallahassee 'ye göndermelidir.

History and Development of Railway
Signalling, Communication and Signal
Section, AAR, 1953.

4.1 Giriş

Günümüzdeki sinyalizasyon ve trafik kontrol sistemleri, geçmişte kullanılan sistemlerin gelişmiş biçimleridir. Tren trafiğinin artması, demiryollarını daha güvenli ve etkin hizmet sunabileceği yeni sistemler geliştirmeye zorlamıştır. Bir başka sebep ise, trafik hacminin elle kontrol edilen sistemlerin kapasite sınırına erişmiş olmasıdır. Bu nedenle, özellikle demiryolu trafik kontrol sistemlerinin otomatikleştirilmesine yönelik yeni fikir ve uygulamalar ortaya çıkmıştır.

Demiryolu taşıtları (trenler, iş katarları, lokomotif ve vagon dağıtım dizileri vd.) tek-boyutlu ve izli bir yolda hareket ederler. Bu nedenle, iki veya daha çok taşıtın (buradan itibaren genel olarak 'tren' denilecektir) aynı yol üzerinde hareket etmesi, trenler arasında önden veya arkadan çarpışmayı önleme gibi bir güvenlik problemini doğurmaktadır. Demiryollarının ilk zamanlarında, tren trafiği, ellerinde işaretler olan demiryolu polisleri tarafından kontrol edilirdi. Trenler birbirlerini zaman aralığı (time-headway) esasına göre izlemekteydiler. Bir tren geçtikten sonra, polis 10 dakika süreyle tehlike sinyalini, sonra 5 dakika süreyle de dikkat sinyalini, güvenli bir izleme için gösterirdi. Fakat bu yöntem, öndeki trenin, polisin görüş mesafesi dışına çıktıktan sonra arızalanıp durması durumunda işe yaramamaktaydı. Bu problem, telgraf ve daha sonra telefonun demiryollarında kullanılmasıyla giderildi. Bu yeni yöntemde, yol üzerinde belirli noktalarda bulunan operatörler (istasyon/sayding hareket memurları), trenlerin kendi noktalarına kalkış ve varışlarıyla ilgili olarak, kendi aralarında ve kontrol merkezindeki dispeçerle haberleşebilmekteydiler. Bu, mesafe aralığı (distance-headway) yöntemi olmaktadır.

Mesafe aralığı yönteminde, iki komşu istasyon arasında sadece bir trenin bulunmasına izin verilmektedir. Öndeki trenin komşu istasyona varışıyla ilgili bilgi geldikten sonra, operatör, aynı yönde bir başka trenin hareketine izin vermektedir. TCDD'de Trafiğin Merkezden İdaresi (TMI) (Timetable and Train Order) adıyla uygulanan bu sistem, günümüzde bazı ülkelerdeki demiryolları tarafından halen kullanılmaktadır. İnsan

kaynağı-yoğun olan bu kontrol yöntemi, sinyal, blok ve güvenlik anahtarlama (interlocking) gibi özel devre ve düzeneklerin kullanılmasıyla önemini yitirmiştir.

İşaretlemede semafor oldukça yaygın bir sinyal tipi olarak kullanılmaktaydı. Semafor günümüzde de bir çok demiryolu işletmesi tarafından kullanılmaktadır. En basit tanımıyla, semafor, bir direk üzerine monte edilmiş bir (veya iki) koldan oluşmaktadır. Gündüz, semafor kollarının pozisyonu sinyalin görünüşü (anlamı) hakkında bilgi verirken; gece, bu görevi renkli ışıklar yerine getirmektedir. İlk semafor tipi sinyaller mekanik olarak çalıştırılmaktaydılar; önceleri direk üzerinde bulunan bir kol veya manivelayla; daha sonraları uzaktaki bir noktaya (kontrol merkezine) uzatılan çelik halatlar yardımıyla çalıştırılırlardı. Sonraki uygulamalarda, semafor kolunu hareket ettirmek amacıyla elektrik motoru kullanılmıştır. Semafor kolu sinyal görünüşü için kullanılır. Örneğin, tek-kol üç-görünümlü semafor uygulamalarında, yatay kol kırmızı (dur); 45° eğimli kol sarı (yavaşla, yaklaş); ve dikey kol yeşil (ilerle) anlamına gelmektedir. Semaforlar ilk olarak istasyonlarda giriş ve çıkış sinyali; sonraları blok sinyali olarak kullanılmıştır. Semaforların günümüzde halen kullanılıyor olmasına karşılık, renkli ışıklı elektrikli sinyaller daha yaygın olarak uygulanmaktadır.

Blok sinyal sistemi mesafe aralığı esasına göre çalışır. Bloklar demiryolu hattının ardışık olarak parçalara bölünmesiyle oluşturulur. Blok sinyalleri her bloğun girişine yerleştirilir. El kontrollü Blok Sinyal (EBS) sistemi olarak adlandırılan ilk blok sistemi, artan trafik hacmi ve buna bağlı olarak seyir güvenliğinin sağlanması amacıyla uygulanmıştır. EBS sisteminde, bir veya ard arda sıralanmış bloklar, telgraf, telefon veya diğer haberleşme donanımıyla elde edilen bilginin ışığı altında, operatörler (hareket memurları) tarafından elle kontrol edilen blok sinyallerinin yönetimindedir.

Demiryolu trafik kontrol sistemlerinin modernizasyonu, Otomatik Blok Sinyal (OBS) sistemiyle başlamıştır. OBS sisteminde blok içindeki bir trenin varlığı, yol devreleri yardımıyla elektrikselsel olarak algılanır ve ilgili blok sinyalinin görünüşü belirlenir. OBS sistemi kullanmanın ana amacı, daha sık tren işletebilmektir. İlk kullanımdan sonra,

OBS'nin, sunulan hizmet düzeyini arttırdığı, daha etkin personel kullanımını sağladığı ve işletme güvenliğini arttırdığı saptanmıştır. Böylece, OBS daha yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır.

Trafik yoğunluğunun artmasıyla, arazideki donanımla daha hızlı haberleşmek gerekmiştir. Merkezi trafik kontrol düşüncesi ortaya atıldıktan sonra, demiryolu şirketleri her bir sinyal ve makas için uzaktan kontrol donanımları kullanmışlardır. Fakat, bu yöntem oldukça pahalı olup, pratik değildi; çünkü, her sinyal ve makas kontrol merkezine tek tek tellerle bağlıydı.

Kodlanmış bilgi iletimi bu olumsuzluğu ortadan kaldırmıştır. Bu yöntemde, çok sayıda sinyal ve makas bir çift tel üzerinden kontrol edilebilmektedir. Bu sistem Merkezi Trafik Kontrolü (yaygın kısaltmasıyla CTC, Centralized Traffic Control) olarak adlandırılır. Maliyetinin yüksek olması sebebiyle, CTC önceleri pek yaygınlaştırılmamıştır. Ancak, bu olumsuzluk istasyonlarda bulunan operatörlerin fonksiyonlarını yitirip, işlerine son verilmesiyle ortadan kaldırılmıştır. Bu yaklaşım, CTC'nin kullanımını önemli ölçüde arttırmıştır. Tren trafiğinin kontrolü, kontrol bölgesindeki dispeçerler tarafından trenlerin hareketleriyle, hatların durumunun kontrol merkezinden gözlenmesi yoluyla gerçekleştirilir. CTC'nin geliştirilmesiyle yol düzenleme fonksiyonuna, trafiğin düzenlenmesi, gecikme izlenmesi, yolcu bilgi panolarının yazımı, istasyon seslendirmesi, tren personeli, lokomotif ve vagon yönetimi, ve bilgi iletimi gibi önemli merkezi fonksiyonlar eklenmiştir.

Bilgisayarlı CTC sistemleri, tüm bu işlerin daha etkin bir şekilde yapılması için dispeçere yardımcı olur. Bunlar, bilgisayarın ürettiği çizelgeleri (orer) ekranda görüntüler ve dispeçerin, bölgesindeki tren hareketlerini gözleyebilmesine olanak sağlar. İlgili personel ve yük bilgileri, dispeçer tarafından bilgi sistemine girilir. Bilgisayarın hafızasında bulunan hazır formlar ve 'boşluğu doldur' teknikleri, kayıt ve bilgi giriş işlerini basitleştirir. Teknik ve idari personel, hafızada hazır olarak bulunması sebebiyle, geçerli olan çizelgelere her an erişip görüntüleyebilir.



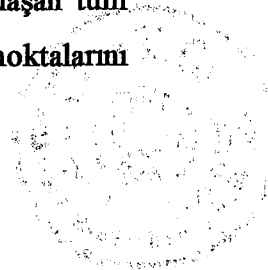
Kuzey Amerika'daki demiryolu şirketleri İleri Tren Kontrol Sistemleri (Advanced Train Control Systems, ATCS)'ni uygulamaya koyma hazırlığı içindedirler. Burada, geleneksel sinyalizasyon ve emirler prosedürlerini daha iyi bir sistemle yer değiştirmek amaçlanmaktadır. Dijital radyo haberleşmesini kullanan bu yeni sistem, bazı ek yeteneklerle mevcut donanım ve prosedürleri geliştirecek, daha güvenli ve etkin bir işletmecilik yapılmasına izin verecektir. Bu yeni sistemde, hareket yetkisi kontrol kabininde bulunan bilgisayar aracılığıyla makiniste verilmektedir.

Amerikan Demiryolları Birliği (Association of American Railroads, AAR) ve Kanada Demiryolları Birliği (Railway Association of Canada, RAC) ortaklaşa, merkezi kontrol, bilgi iletişimi, lokomotif ve diğer hat donanımı için ATCS'nin standart ve özelliklerini belirleyip, geliştirmektedirler. Burlington Northern, Canadian National, Canadian Pacific Railways, CSX, Norfolk Southern ve Union Pacific Railways, ATCS düşüncesini uygulayan denemeler yapmaktadırlar. Bu yeni uygulamanın önemli amaçları arasında, değişik tren işletim sistemi uygulayan demiryollarına ait şebekeler arasındaki uyumunun sağlanması, ve değişik firmaların yedek parçalarını kullanım olanağının yaratılması bulunmaktadır.

Herhangi bir demiryolu sinyalizasyon ve trafik kontrol sisteminin iki temel amacı vardır: güvenlik ve etkinlik. Bu bölümde, mevcut ve gelişmekte olan sinyalizasyon ve kontrol sistemleri, işletim prensipleri, güvenlik ve etkinlik ölçütleri bakımından sunulmaktadır.

4.2 Trafiğin Merkezden İdaresi (TMI) Sistemi

Karanlık bölge olarak adlandırılan ve TMI sistemiyle kontrol edilen hat boyunca belirli noktalarda operatörler (hareket memurları) bulunur. Bölge içindeki tren hareketleri dispeçer tarafından önceden hazırlanmış çizelgeye göre düzenlenir. Operatörler, haberleşme sistemini kullanarak, kontrol noktasına yaklaşan ve ayrılan trenlerin numaralarını ve diğer tren bilgilerini dispeçere iletirler. Dispeçer, kendisine ulaşan tüm bilgileri değerlendirerek karşılaşma ve önegeçmelerin gerçekleşeceği buluşma noktalarını



(istasyon/sayding) belirler; sonra, haberleşme sistemini kullanarak verdiği kararları operatörlere bildirir. Herhangi bir yanlış anlamayı ve dolayısıyla hatayı önlemek için, emirler standart halde oluşturulmuş ve kurallar dikkatlice yazılmıştır. Operatör, yaklaşan bir trene teslim edilecek bir emir varsa, bulunduğu istasyonun dışına bunu belirten bir işaret yerleştirir (veya mevcut sinyali uygun pozisyona getirir). Operatör duran trene, kurallara uygun bir şekilde, ilgili emri verir.

TMİ sisteminde mesafe aralığı yöntemi kullanılır. Operatörler, kontrol merkezindeki dispeçerle görüşebildiği gibi, diğer kontrol merkezlerindeki operatörlerle de haberleşebilir. Bu, tren hareketleri için belirli bir güvenlik sağlar. TMİ sisteminin temel kuralı, öndeki trenin komşu istasyona vardığına ilişkin bilgi gelmeden, arkadaki izleyen trenin bulunduğu istasyondan kalkışma izin verilmemesidir. Bunun anlamı, aynı yönde hareket eden iki tren arasındaki en küçük izleme mesafesi, komşu iki istasyon arasındaki mesafe olmaktadır.

4.3 Blok Sinyal Sistemi

Demiryollarında hat kapasitesini arttırmak gerektiğinde, TMİ sisteminden farklı bir sistemin uygulanması zorunlu olmuştur. TMİ sisteminin uygulandığı tek hatlı yollarda, iki komşu istasyon arasında sadece bir tren bulunmasına izin verildiği için, bu yöntem hat kapasitesinin bir düşmanı olarak görülmüştür. Bu bağlamda, hat kapasitesini arttırmak amacıyla, iki komşu istasyon arasında, aynı anda birden fazla trenin hareketine izin veren güvenli bir sistemin olup olamayacağı sorusu gündeme gelmiştir. Demiryolu hattının 'blok' olarak adlandırılan parçalara bölünerek, bir trenin işgal mesafesini kısaltmak fikri bu şekilde ortaya çıkmıştır. Bu fikir, blok sinyalizasyonunu alternatif bir sistem olarak doğurmuştur. Blok sinyal sistemi, demiryolu sinyalizasyonu ve trafik kontrolünün esasını oluşturur. Her blok, girişinde, kendi (ve kendinden sonraki bir ya da iki bloğun) işgal durumunu gösteren bir blok sinyaline sahiptir. Blok sinyal sisteminin amacı, aynı yönde hareket eden tren trafiğini düzenlemektir. Bu şekilde, aynı yöndeki iki tren arasındaki en küçük izleme mesafesi de sağlanmış olmaktadır.



Blok sinyal sisteminin işletim prensibi şöyledir: Bir blok bir tren tarafından işgal edilirse, aynı yöndeki bir başka trenin aynı bloğa girmesi yasaklanır; ya da, görüş mesafesinde durabilecek bir hızda blok içine girmesine ve bu hızda ilerlemesine izin verilir. Aşağıda blok sinyal sisteminin iki yaygın uygulaması olan El kontrollu Blok Sinyal (EBS) ve Otomatik Blok Sinyal (OBS) sistemleri anlatılmaktadır.

4.3.1 El kontrollu Blok Sinyal (EBS) sistemi

El kontrollu Blok Sinyal sistemi, TMI üzerinde olumlu, destekleyici bir özelliğe sahiptir. Demiryolu hattı blok kesimlerine bölünmüş olduğundan, her blok için ilgili sinyali kontrol eden bir operatör bulunmaktadır. Operatörler kendi noktalarıyla her iki yöndeki komşu buluşma noktalarına varan ve buralardan hareket eden trenlerin zamanlarını kaydetmek zorundadırlar. Böylece, blokların işgal durumunu sürekli izlemek mümkün olmaktadır. Bir operatör, kendi bloğunun sinyalini yaklaşan bir trene açabilmek için, bloğun diğer ucundaki operatörün iznini almak zorundadır. EBS güvenli bir sistem olmasına karşın, bazı kısıtlamalar sebebiyle, hat kapasitesini arttıran veya ekonomik bir sistem değildir. İlk, EBS sistemi, bir sonraki sinyalin görünüşü hakkında bilgi vermemektedir. Bu yüzden, tren hızları yaklaşım blok sinyali kullanılmadığı takdirde, sinyal görüş mesafesinde güvenle durabilecek düzeyde kalmaktadır. Blok boyları önemli bir problem olarak karşımıza çıkmaktadır. Küçük istasyonlardaki (buluşma noktaları) personel, mesai süresini doldurduğunda, blok boylarının açık olan istasyonlar arasındaki mesafelere ulaşması da hat kapasitesini kısıtlamaktadır.

Böyle bir durumda, arkadaki izleyen trenin, öndeki tren tarafından işgal edilmiş olan bloğa girmesine ve görüş mesafesinde durabilecek bir hız düzeyine seyretmesine izin verilir. Buna 'izinli bloklama' adı verilir. İkinci olarak, hat kapasitesi blok uzunluğuyla direkt olarak ilişkili olduğundan, blok boylarının kısa tutulması, personel (insan kaynağı) sayısının, dolayısı ile de masraflarının ve personel kaynaklı kaza olasılığının artması anlamına gelmektedir. Bu kabul edilemez bir durumdur.



EBK sisteminde, aynı yönde hareket eden iki trenden arkadakinin hız kısıtlaması yapmaksızın öndekini izleyebilmesi için, aralarındaki en küçük izleme mesafesinin, bir işgal edilmemiş blok olması gerekmektedir.

4.3.2 Otomatik Blok Sinyal (OBS) Sistemi

Otomatik Blok Sinyal sistemi, ilk tren sezinleme (detection) teknikleri uygulanmaya başladığından bu yana kullanılmaktadır. EBS sisteminin kısıtlayıcı özellikleri, blok sinyallerinin görünüşlerinin tren hareketleriyle değiştiği OBS sisteminin uygulanmasıyla ortadan kaldırılmıştır. EBS sisteminin insan yoğun bir sistem olmasına karşın, OBS daha ekonomik ve güvenli bir sistemdir.

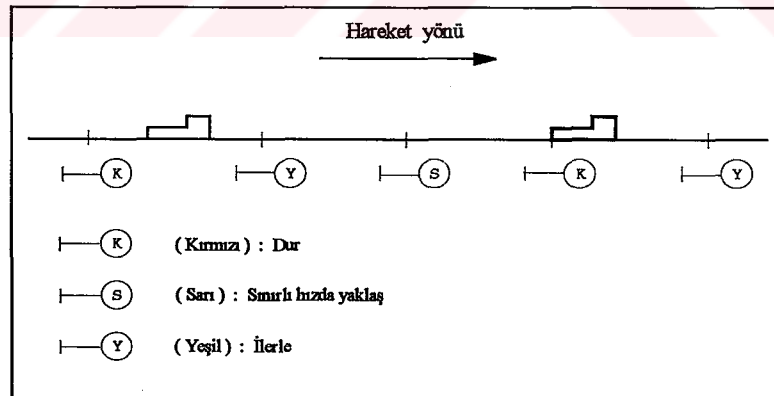
Demiryolu hatlarının güvenliğini ve kapasitesini arttırmak için, bir trenin varlığını otomatik olarak sezinlemek amacıyla çeşitli teknikler kullanılmaktadır. Yaygın olarak kullanılan teknikler arasında dingil sayma, yol devresi, kodlu yol devresi vd. bulunmaktadır. Dingil sayma tekniğinde, bir trenin dingilleri belirli bir bloğun giriş ve çıkışında sayılır; eğer sonuç aynıysa, tren bloğu tamamen terk etmiş sayılmaktadır. Diğer teknikler aşağıdaki paragraflarda anlatılmaktadır.

Yol devreleri bir trenin blok içindeki varlığını sezinlemek amacıyla kullanılır. Her blok komşu bloklardan elektriksel olarak yalıtılmıştır. Basit olarak ifade etmek gerekirse, bloğu oluşturan raylara elektrik akımı uygulanır. Blok içinde bulunan tekerlek ve dingillerin iki ray arasında kısa devre yapmasıyla trenin varlığı sezinlenir ve böylece ilgili bloğun sinyali kontrol edilir. Bir bloğun işgal edilmesi veya ray kırılması gibi bir yol problemi olması durumunda, bu bloğa ait sinyal 'işgal edilmiş blok' görünümünü alır. Daha karmaşık teknikler kullanılarak, bir bloğun sinyali, kendisini izleyen bir veya daha çok sayıdaki bloğun işgal durumuna göre de kontrol edilebilir; buna çok-görünümlü blok sinyal sistemi denir. Sinyallerin görünüş sayılarıyla birlikte aynı yönde hareket eden iki tren arasında bulunması gereken işgal edilmemiş blok sayısı, sistemler arasında farklılık gösterir. Bu teknikle, tren makinisti girmek üzere olduğu ve bir sonraki bloğun işgal durumu hakkında

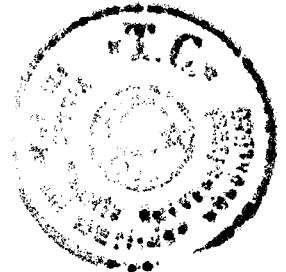


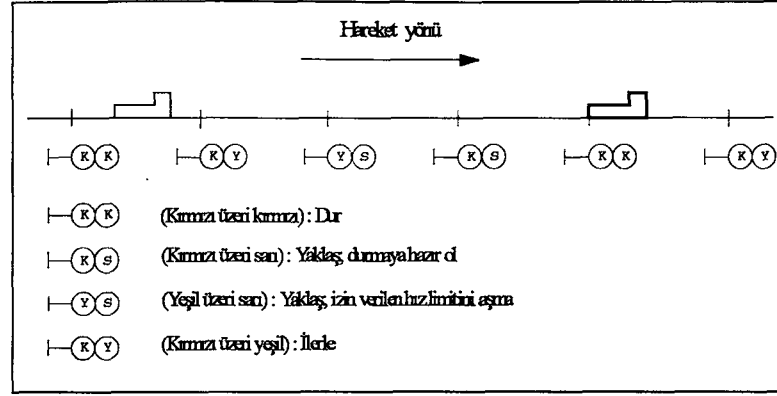
bilgilendirilir. Çok görünüşlü blok sinyal sistemlerinin iki yaygın uygulaması bulunmaktadır:

- İki-blok üç-görünüşlü sinyalizasyon: Aynı yönde hareket eden trenlerden arkadaki trenin öndeki treni hız kısıtı yapmaksızın izleyebilmesi için, aralarında işgal edilmemiş en az iki blok bulunması gerekir (Şekil 4.1).
- Üç-blok dört-görünüşlü sinyalizasyon: Çeşitli demiryolları farklı renk kombinasyonlarını kullanmaktadır. Aynı yönde hareket eden iki trenden öndekinin hız kısıtı yapmaksızın hareket edebilmesi için, aralarında işgal edilmemiş en az üç blok bulunmalıdır (Şekil 4.2a ve b). Bu yöntemde, işgal edilmemiş gerekli blok sayısı üç olmasına rağmen, en küçük izleme mesafesinin toplam uzunluğu, iki-blok üç-görünüşlü sinyalizasyondakinden kısadır. Bunun nedeni, blok uzunluklarının kısa olmasıdır (iki-blok üç-görünüşlü sinyalizasyondaki blok uzunluğunun yaklaşık yarısı kadar). Bu sinyalizasyon tekniği, özellikle yüksek hızlı tren işletilen hatlardaki, uzun frenleme mesafeleri sebebiyle, güvenliği arttırmak amacıyla tavsiye edilmektedir.

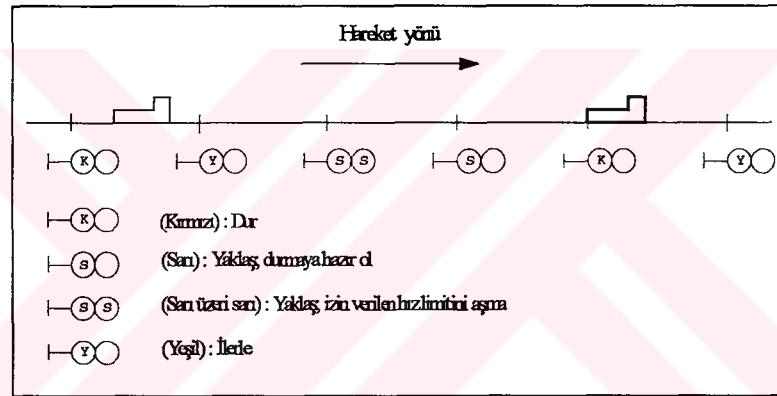


Şekil 4.1 İki-blok üç-görünüşlü blok sinyal sistemi.



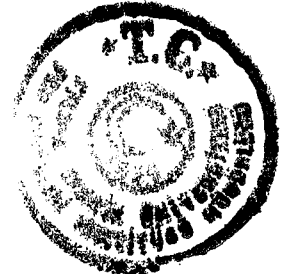


Şekil 4.2a Üç-blok dört-görünümlü blok sinyal sistemi.



Şekil 4.2b Üç-blok dört-görünümlü blok sinyal sistemi.

Blok uzunlukları Otomatik Blok Sinyal sisteminde bir kaç yüz metre, bir kaç kilometre veya daha uzun olabilir. Bu uzunluklar, her demiryolu tarafından kendi gereksinim ve standartlarına uygun olarak belirlenir. Blok uzunluğunu belirleyen en önemli faktörlerden biri, trenlerin frenleme ya da duruş mesafesidir. Duruş mesafesi, hız, yolun boyuna eğimi, karp yarıçapı, tren uzunluğu ve ağırlığıyla değişmektedir. Diğer bir faktör güvenlik mesafesidir. Bu mesafeyi belirlemek oldukça güçtür. Güvenlik mesafelerinin, tren yükü, frenlerin durumu gibi değişen şartlara uygun büyüklükte olması gerekmektedir. Duruş mesafesinin yaklaşık yüzde 10'u, en küçük güvenlik mesafesi için yeterli bir tahmin

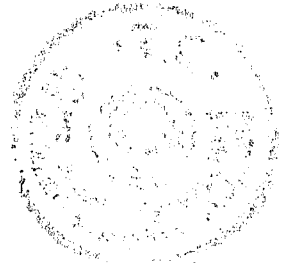


olmaktadır. Duruş ve güvenlik mesafelerinin toplamı en küçük blok uzunluğu olarak tanımlanmaktadır.

4.4 Merkezi Trafik Kontrol (CTC) Sistemi

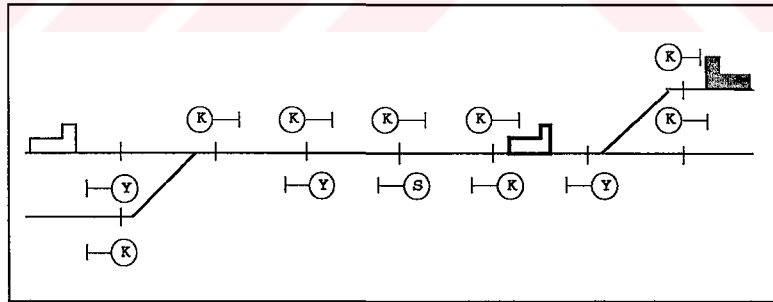
Trafik kontrolü açısından bakıldığında, Merkezi Trafik Kontrol (yaygın olarak kullanılan kısaltmayla, CTC, Centralized Traffic Control) sistemi aşağıdaki gibi tanımlanabilir: Sınırları belirli bir demiryolu bölgesi içindeki tren hareketlerinin kontrolü ve yönlendirilmesine ait işlerin, kontrol yetkisiyle donatılmış bir merkezde bulunan tren dispeçerinin, trafik kontrol sistemi kanalıyla, istasyon ve saydinglerin uç noktalarında bulunan ve uzaktan kontrol edilebilen makas ve sinyalleri kullanmasıyla, gerçekleştirildiği bir sistemdir.

Bilgi iletişimi CTC sistemi için esastır. Tren dispeçeri, kontrol ettiği bölge içindeki personelle telsiz ve telefon aracılığıyla haberleşir; CTC panosu yardımıyla da bölgedeki hatların işgal durumunu, sinyallerin görünüşünü ve makasların pozisyonunu da ışıklı göstergeler yardımıyla gözler. CTC sisteminin, tren hareketlerine ait doğru ve sürekli bilgi sunması sebebiyle, dispeçere, bölgenin etkin yönetimi için oldukça önemli bir araç verilmiş olur. CTC sistemi, tren dispeçerine tüm istasyon/sayding'lerin sinyal ve makaslarını kontrol olanağını verir. Bölgedeki bir tren için yol tanzimi yapmak gerektiğinde, dispeçer önündeki klavye yardımıyla gerekli kontrol mesajını göndererek bu işlemi gerçekleştirir. Dispeçer klavyenin tuşlarına uygun bir sırada bastığı takdirde, kontrol sistemi dijital elektrik sinyalleri üreterek, bunları iletişim hattı üzerinden yola gönderir. Bu sinyaller ilgili donanımlar tarafından algılanır ve işlenir. Yol tanzimi gerçekleştirildikten sonra, yeni duruma ait bilgi arazideki donanım tarafından merkeze aynı yolla iletilir ve CTC panosu üzerindeki ilgili ışıklı gösterge uyarılır. CTC sistemi kullanıcı hatalarına karşı güvenli olarak tasarlanmıştır. Örneğin, dispeçer bir tren tarafından işgal edilmiş bir yola, ikinci bir tren için kısıtlamasız bir sinyalle yol tanzim edemez. Veya, dispeçer Otomatik Blok Sinyali'nin izin verdiği sinyal görünüşünden daha az kısıtlı bir sinyali açamaz.



CTC sistemi ilk uygulandığında, tek hatlı demiryollarında işletilen trenlerin gecikmelerini azaltarak hat kapasitesini artırmıştır. Uzun yıllardan bu yana bir çok demiryolu tarafından başarılı bir şekilde uygulanmaktadır. Sistem özellikle trafiğin yoğun olduğu ve karmaşık hat yapısına sahip demiryollarında (çift ve çok hatlı) oldukça etkindir. Sistem tren hareketleri hakkında sürekli yenilenen bilgi sunduğundan, dispeçer potansiyel çatışmaları önceden belirler ve uygulanabilir karşılaşma/önegeçme planlarını hazırlar. Sistemin merkezi kontrol özelliği, önceden istasyonlarda yol tanzimi işini yapan elemanlara olan gereksinimi ortadan kaldırmıştır. Bu, insan hatalarından doğan kazaları da büyük ölçüde azaltmıştır.

Otomatik Blok Sinyal sistemi genellikle CTC sisteminin bir parçası olarak, aynı yönde hareket eden tren trafiğini düzenlemek amacıyla kullanır. CTC ve OBS sistemlerinin bir arada kullanılmasının bir başka avantajı ise, her bir hat üzerinde, sinyal sisteminin izin vermesi durumunda, iki yönde tren hareketlerine izin vermesidir. CTC sistemini iki yönlü tren işletmeciliği, çift hatlı demiryollarında önegeçme gecikmelerini azaltarak hat kapasitesinin etkin kullanılmasına yardımcı olup, yeni bir hattın eklenmesini gereksiz kılar (Şekil 4.3).



Şekil 4.3 CTC ve iki-blok üç-görünümlü otomatik blok sinyal sisteminin bulunduğu tek hat üzerinde iki yönlü tren işletmeciliği; sinyaller doğru yönünde hareket için düzenlenmiştir.

CTC sisteminin kontrolü altındaki bölgenin sınırları genişleyip trafik yoğunluğu arttıkça, tren dispeçerinin iş yükü de artmıştır. Geleneksel CTC sisteminde, dispeçer bir mesaisinin yaklaşık yüzde 80'ini bilgi alma ve kayıt tutma, kalan kısmını ise plan hazırlama ve tren



hareketlerinin kontrolü için harcar. Bu nedenle, sinyal donanımı üreticileri ve demiryolu işletmeleri, klasik CTC tekniğini geliştirerek iş yükü artan dispeçere yardımcı olmak ve kontrol bölgesinin sınırlarını genişletmek amacıyla çalışmalar başlatmışlardır.

Günümüzde kurulan CTC sistemleri, kontrol yazılımıyla bütünleşik olan yönetim bilgi sistemi ve tren işletilmesine ilişkin bir çok kuralı içerir. Böylece, gelişen teknolojiyle birlikte, sisteme yenilenme olanağı da kazandırılmış olmaktadır. Kullanılan CRT (cathode ray tube) teknolojisi, geleneksel CTC panolarının gösterdiği bilgiden daha fazlasını sunar. Sistem, dispeçere tren çizelgelerini ve hareketlerini, hat işgal durumlarını, sinyal görünüşlerini, makas pozisyonlarını ve tren personel bilgilerini sürekli olarak gözleme olanağını verir. Kullanımı kolay arayüz (arabirim - interface) aracılığıyla dispeçer ile sistem arasında yapıcı bir iletişim gerçekleştirilir.

Daha ileri düzeylerinde, sistem trenlerin beklenen varış zamanlarını hesaplayabilir, rotalama yapabilir ve gecikmeleri azaltmak için karşılaşma/önegeçme planları hazırlayabilir. Önceden planlanmış sürekli yapılan işler, dispeçerin müdahalesine gerek kalmaksızın, bilgisayar tarafından yapılır. Otomatik çalışma modunun kapasitesi dışında kalan ve çatışan kararlarda, tren dispeçeri müdahale ederek ilgili düzenlemeyi yapar.

4.5 Tren Kontrol Sistemleri

Demiryolu sinyalizasyon sistemleri yol kenarına yerleştirilmiş yol boyu sinyalleri aracılığıyla yolun işgal durumunu bildirirler. Otomatik Blok Sinyal sistemleri bu amaçla blok sinyallerini kullanırlar. Tren kontrol sistemleri ise gerekli bilgiyi lokomotif içindeki donanım aracılığıyla makinistin kullanımına sunarak, hattın güvenlik ve kapasitesini artırır.

Bilindiği gibi, tren makinistleri treni hareket ettirmenin yanında bir çok işle de ilgilenmek zorundadırlar. Bunlar genel olarak gözlem ve kontrol olarak sınıflandırılabilir. Gözlenenler arasında lokomotif donanımı, sinyal görünüşleri, yol üzerindeki engeller, eğim



işaretleri, korna çalınması gereken yerleri gösterir tablo, kilometre ve diğer yol bilgileri bulunur. Gerekli tüm bilgileri elde ettikten sonra, makinist, treni bu bilgilerin ışığı altında güvenle hareket ettirir. Trenin seyir hızı yükseltildiğinde, yol boyu sinyallerini gözlemek oldukça güçleşir. Yoğun sis ve kar yağışı gibi kötü hava koşulları da gözlemi güçleştiren unsurlar arasındadır. Bunlara ek olarak, makinistin hata yapması da göz önüne alınır, Tren Kontrol Sistemleri trenin güvenle işletilmesi için oldukça önemli bir role sahiptir. Bu sistemler aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir:

1. Otomatik Kabin Sinyalizasyonu (OKS) sistemi
2. Otomatik Tren Durdurma (OTD) sistemi
3. Otomatik Hız Kontrol (OHK) sistemi

4.5.1 Otomatik Kabin Sinyalizasyon (OKS) Sistemi

Otomatik Kabin Sinyalizasyon sistemi, blok işgal bilgisini kabin içerisinde makiniste sunar. İki tür OKS uygulaması vardır: Kesikli OKS ve Sürekli OKS sistemi.

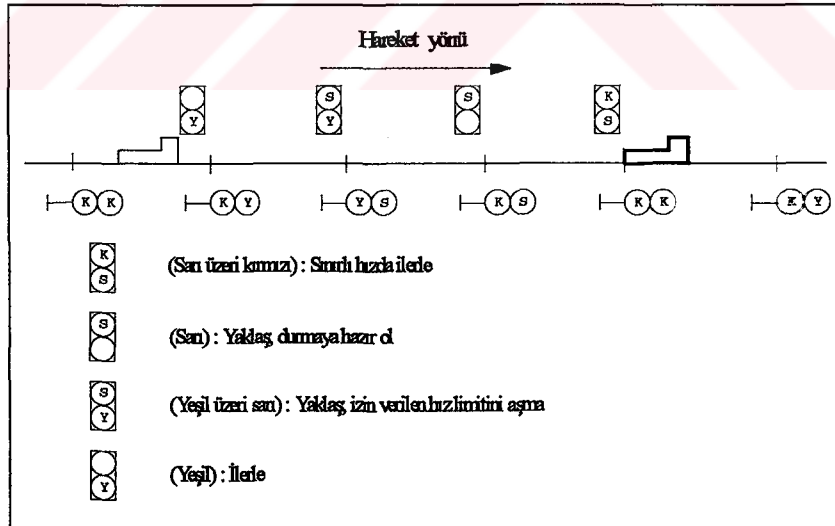
Kesikli OKS sistemi, Sürekli OKS sistemine göre daha az güvenli olup sunduğu bilgi miktarı daha azdır. Yol boyu sinyalleriyle aynı bilgiyi gösterir. Kabin içi sinyal görüntülerinin yenilenmesi sürekli olmayıp, sadece her bloğun girişinde, yani kesikli olarak değiştirilir. Sistemin çalışma prensibi, bir alıcı ve bir verici arasındaki elektromanyetik etkileşimle gerçekleşir. Yolboyu vericisi tarafından üretilen yolboyu sinyaline ait bilgi, lokomotif üzerine monte edilmiş olan alıcı tarafından algılanır. Kesikli OKS sistemiyle donatılmış olan bir lokomotif bir bloğa yaklaşırken, daha önce kaydedilmiş olan bilgi, bloğun vericisinden önce iki rayın arasına veya yolun kenarına yerleştirilmiş olan bir (elektro)mıknatıs yardımıyla silinir. Tren, mıknatısı geçtikten sonra, vericinin bulunduğu yere varır. Lokomotifte monte edilmiş olan alıcı, ilgili bloğun girişinden hemen önce yerleştirilmiş olan verici üzerinden geçerken bilgiyi alır. Kabinde bir gösterge ve sesli uyarı düzeneği vardır. Gösterge en son geçilen yolboyu sinyalinin görünüşünü gösterir. Bu özellik, makiniste son geçilen sinyalin görünüşünü anımsatma açısından önemlidir.



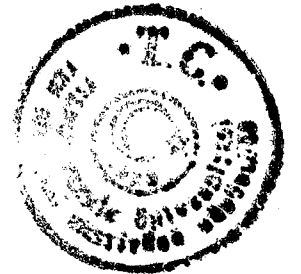
Sesli uyarı düzeneği, az kısıtlı sinyalden daha kısıtlı bir sinyal görünüşüne geçildiğinde uyarı sesi çıkartır. Makinist, sesli uyarıyı duyduğunda fren uygulamak zorundadır.

Kesikli OKS sisteminin sakıncası, değişen durumlar hakkında makiniste anında bilgi sunamamasıdır. Bu, özellikle uzun blokların bulunduğu hatlarda etkin kapasite kullanımını olumsuz etkilemesi bakımından önemlidir.

Sürekli OKS sistemi kesikli olana benzemektedir. Fakat bu sistem, hareket yönünde bulunan bir sonraki sinyale ait gerçek zamanlı (real-time) bilgiyi sürekli olarak makiniste sunan kodlu yol devrelerini kullanır. Bu, hat kapasitesini artıran önemli bir özelliktir. Önde hareket eden bir tren nedeniyle kısıtlı bir görünüş alan bir blok sinyalini gören makinist, kısıtlamanın azaldığı (veya kalktığı) sinyalini alana kadar treni kısıtlı bir hızda kullanır. İzleyen trenin aynı blokta bulunduğu sırada, bir sonraki blok boşalırsa, Sürekli OKS sistemi bu durumu kodlu ray devreleri aracılığıyla algılar ve bilgiyi arkadaki trenin makinistine anında sunarak, trenin hızını hemen artırması sağlanır (Şekil 4.4).



Şekil 4.4 Otomatik kabin sinyalizasyonu ve üç-blok dört-görünümlü otomatik blok sinyal sisteminin birlikte uygulanması.



Sürekli OKS sistemi, sürekli bilgi akışı sayesinde hattın etkinliğini artırmasına rağmen, sistem gerekli kontrol işlemini yapması konusunda makiniste bağımlıdır.

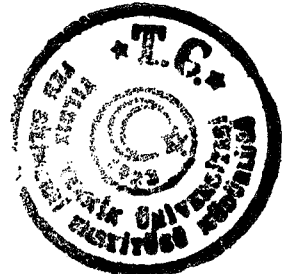
4.5.2 Otomatik Tren Durdurma (OTD) Sistemi

Kabin siyalizasyon sistemiyle birlikte kullanılabilen Kesikli veya Sürekli Otomatik Tren Durdurma sistemleri bir süreden beri hizmettedir. Kesikli OTD sistemi tren hızını hattın belirli noktalarında (örneğin, her bloğun girişinde) kontrol edebilir. Sürekli OTD sistemi ise tren hızını sürekli olarak kodlu yol devreleri aracılığıyla kontrol eder. Manyetik alıcı ve verici OTD sistemlerinin iki temel elemanıdır. Kapalı ve açık olmak üzere iki çalışma konumu bulunmaktadır. Sistem açık olduğunda, makinist kısıtlı görünüşlü bir sinyali ihlal ederse, OTD sistemi otomatik olarak devreye girer ve frenleme sistemini harekete geçirerek treni durdurur. OTD sistemiyle başlatılmış olan bir tam durdurma işlemini iptal etmek mümkün değildir. Böylece, kısıtlı görünüşlü bir sinyali ihlal etmek kesinlikle mümkün değildir. OTD sisteminin kapalı olması, trenin kontrolünün tamamıyla makiniste bulunması anlamına gelir.

4.5.3 Otomatik Hız Kontrol (OHK) Sistemi

Otomatik Hız Kontrol sisteminin prensibi, gerçek hızla geçerli hız limitinin karşılaştırılması esasına dayanır. Trenin gerçek hızı geçerli hız limitini aştığında, OHK sistemi trenin hızını limit düzeyine düşürür. Kurba, makas ve istasyon geçişi gibi bazı yerlerde, uyulması gereken hız kısıtlamaları vardır. Bunlara ek olarak, kısıtlı görünüşlü bir sinyal de belirli ve düşük bir hızda geçilmelidir. Kısıtlı görünüşlü bir sinyalin hız düşürülmeksizin geçilmesi durumunda, lokomotif kabininde bulunan bilgisayar bu durumu belirleyerek, trenin gerçek hız ve yerine bağlı olarak, hızını gerekli düzeye otomatik olarak düşürür.

OHK sistemi, izin verilmeyen yüksek hız sebebiyle meydana gelebilecek çarpışmaları ve raydan çıkmaları önleme bakımında oldukça etkilidir. Makinistin yapabileceği hatalara karşı koruma sağlaması yönünden de oldukça önemli bir işleve sahiptir.



4.6 Otomatik Taşıt Tanımlama (OTT)

Taşıt tanımlama ve yer belirleme, bilgisayarlı otomatik trafik kontrolünün temel elemanlarından biridir. Bu güne kadar çeşitli teknikler denenmiştir. Görsel yolla taşıt numarası okunması geleneksel yöntemlerin başında gelmektedir. Son zamanlarda bazı otomatik yöntemler denenmeye başlanmıştır. Örneğin, renkli etiket kullanımı yaygın olarak kullanılmasına karşın, yeterli görülmemektedir. Bu yöntemde, yansıtıcı renkli şeritlerin değişik kompozisyonlarından oluşan etiketler vagon ve lokomotiflerin yan taraflarına yerleştirilmektedir. Hat boyunca belirli noktalara yerleştirilmiş olan foto-elektrikli tarama cihazlarıyla, her taşıt geçişinde bu etiketler okunur ve okumalar elektrik sinyallerine dönüştürülür. Bu sinyaller merkezi bir bilgisayara gönderilerek, sistemdeki her taşıtın yeri hakkında sürekli bilgi edinilir. Günümüzde bu sistem sadece bir kaç demiryolu tarafından kullanılmakta, ancak araştırma ve geliştirme devam etmektedir.

Günümüzde en gelişmiş olan OTT, Siemens tarafından geliştirilmiş olan SICARID sistemidir. Bu sistemde, raylar arasına yerleştirilmiş olan bir verici, sinyal üreterek demiryolu taşıtlarına monte edilmiş olan bir pasif alıcıyı uyarır. Bu arada, taşıt karşılık olarak kendisine ait bir tanım kodunu yine raylar arasına yerleştirilmiş olan bir başka alıcıya bildirir; o da bu sinyali merkezi bir bilgisayara ileterek trenin ilerleyişi hakkında bilgi alınmasını sağlar.

4.7 İleri Tren Kontrol Sistemleri (İTKS)

Giriş bölümünde de belirtildiği gibi, İleri Tren Kontrol Sistemleri projesi Kuzey Amerika'da demiryolu endüstrisi tarafından başlatılmış olan ve dijital radyo haberleşmesinin kullanıldığı bir çalışmadır. Bilgi haberleşmesi ve hareketli (mobil) bilgisayarların ortaklaşa kullanılmasıyla, geleneksel yol boyu sinyallerini ve tren kontrolüne ilişkin sesli ve yazılı iletişimi ortadan kaldırmaktadır. Bu yeni sistemde, hareket yetkisi bilgi haberleşmesi yoluyla lokomotif içindeki bilgisayara iletilerek görüntülenmesi sağlanır. Kabindeki bilgisayar, trenin hareketlerini hız limitleri ve hareket yetkisi kısıtlarına göre

izler ve bunlardan birinin ihlal edilmesi durumunda treni durdurur. Ayrıca, kabindeki bilgisayar hız ve yer bilgilerini, planlama ve kontrol amacıyla, düzenli olarak merkezdeki bilgisayara iletir.

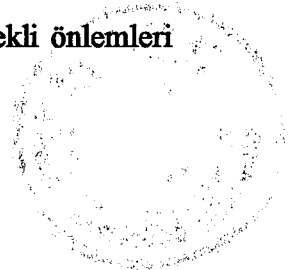
Bu güne değin hiç bir demiryolu şirketi İTKS'yi şebeke bazında uygulayabilmiş değildir. Çünkü sistemin değişik birimleri değişik demiryolları tarafından denenmektedir. Sistemin performansı ve yetenekleri halen tartışılmaktadır. Yeni eklemelerle 29 temel özellik belirlenmiştir. İTKS'nin temel birimleri arasında kabin bilgisayarı ve lokomotifin performans göstergeleri, çok duyarlı (sensor) alıcı-verici veya uydu bağlantılı yer bilgi sistemi, makas kontrolü için arayüz (interface), dijital bilgi radyosu ve güçlü merkezi kontrol sistemi yer alır.

Tren işletmeciliği, etkin trafik planlaması ve yönetimi, dinamik yol haritası hazırlanması, lokomotif durum bilgileri ve vagon dağıtımı gibi tren bilgilerinin sunulması sayesinde daha verimli hale getirilmektedir. Lokomotifin performansına ilişkin bilgiler aynı zamanda trafik kontrol merkezine de iletilerek bazı öngörülerin yapılabilmesine olanak tanır.

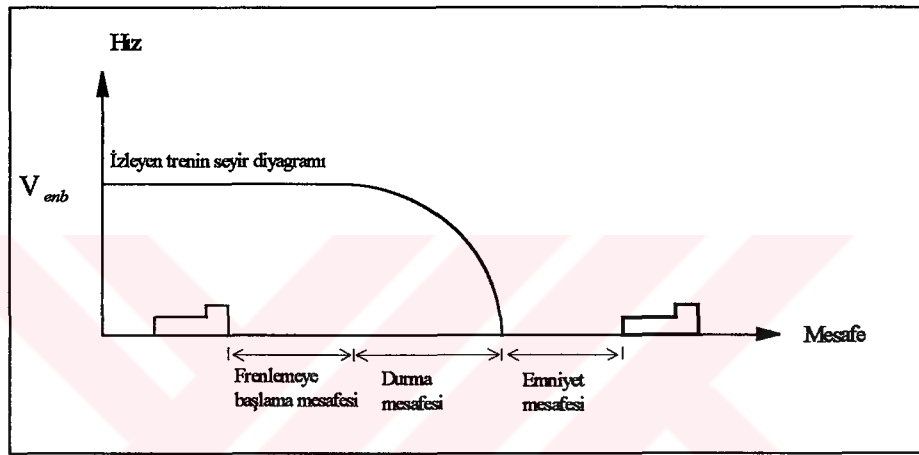
Yapılan işler için sürekli rapor verilmesi de önemli özelliklerinden biridir. Bu sistem, tren personeline, yapılan işleri aşamalı bir şekilde gerçek zamanlı olarak merkezi kontrol sistemine bildirme olanağını tanır. Bu, sesli haberleşmeden daha hızlı ve sağlıklı olmakta, müşterilerin de gönderdikleri yükler hakkında gerçek zamanlı bilgi almalarına olanak sağlamaktadır.

İTKS, bilgi iletişimini gerçekleştirmek için GPS (Global Positioning System) kullanabilecektir. Bununla ilgili çalışmalar sürdürülmektedir. Yol boyunca yerleştirilmiş alıcı ve vericiler de potansiyel bir kullanılma şansına sahiptir.

Kuzey Amerika'daki demiryolu trafiğinde ağırlık yük taşımacılığında olup, tren uzunlukları 2 kilometre kadardır. Trenler normal hızda seyrederken görüş mesafesinde duramazlar. Bu nedenle, makinist bölgeyi çok iyi tanımak zorunda ve gerekli önlemleri



zamanında almak durumundadır. İTKS, trenlerin durma mesafelerine bağlı olarak dinamik bir şekilde oluşturulan hareketli blok sistemini kullanacaktır. Hareketli blok sisteminde, trenler birbirlerini daha kısa mesafelerle ve daha güvenle izleyebileceklerdir. Arkadaki trenin öndekini; kendi frenleme mesafesinde izlemesine olanak sağlamaktadır. Bu yenilik, hat kapasitesini artırması yanında, hareket yetkisine ilişkin bütünlüğü sağlamakta ve kuvvetlendirmektedir (Şekil 4.5).



Şekil 4.5 Hareketli blok sistemi.

İTKS demiryolu çalışanlarının verimliliğinin artması yanında, hat kapasitesi ve taşıt kullanımının da etkin yürütülmesini sağlayacaktır. İTKS'nin bu verimlilik artışı tren hareketlerine ilişkin gerçek zamanlı bilginin elde edilmesi ve ilgili kontrol işlemlerinin bu bilgilerin ışığı altında gerçekleştirilmesine bağlıdır. Sonuç, daha etkin ve etkili bir tren işletmeciliğidir.

4.8 Sonuçlar ve Öngörüler

Demiryolu işletmeleri diğer ulaştırma modlarıyla aynı pazarı paylaşmak zorunda olduklarından, pazar payını artırmak için teknik gelişimini sağlamak zorundadırlar. Demiryolu trafik kontrol sistemi bu gelişmenin oldukça önemli parçalarından biridir.



Demiryolu işletmelerinin, daha az elemanla kullanılabilen esnek ve ekonomik kontrol sistemlerini geliştirmeleri gerekmektedir. Mevcut sistemlerin daha gelişmiş ve bilgisayarlı olanlarla değiştirilmesi yönünde eğilim ağır basmaktadır. İnsan kaynaklı hataları önlemek için, Uzman Sistemlerin (Expert Systems) güvenlik sistemleri içinde değişik şekillerde kullanımı düşünülmektedir. Test edilen dijital bilgi radyosu haberleşmesi, arıza-güvenlikli (fail-safe) ve güvenilir bilgi iletişimi sunmaktadır. Merkezi kontrolün karştı olarak, tren kontrol yetkisinin makiniste aktarılmasına ilişkin bazı işaretler de bulunmaktadır. Trafik kontrol sistemlerinde kullanılan donanımın güvenilirliği belirli bir düzeye erişmiş olup; bundan böyle, demiryolu işletmeleri, yeni teknolojiler ortaya çıktıkça kullanmak üzere, kontrol sistemlerini yazılım ağırlıklı oluşturma eğilimindedirler. Bu yaklaşımın doğal sonucu olarak, işletmelerdeki güvenliğin ve verimliliğin artması beklenmektedir.



BÖLÜM 5

DEMİRYOLU TRAFİK KONTROLÜ PROBLEMİNİN MATEMATİKSEL MODELİ

5.1 Giriş

Bu bölümde demiryolu trafik kontrolü problemi bir sistem yaklaşımıyla ortaya konulacak ve sistemin elemanları arasındaki ilişkiler matematiksel olarak ifade edilip; trafik kontrolü probleminin matematiksel modeli kurulacaktır. Sistemin bir kesimi için verilen kararın, sistemin diğer kesimlerini de etkiliyor olması, yöntem olarak sistem yaklaşımı kullanılmasını gerekli kılmaktadır. Bu nedenle, öncelikle 'sistem' sözcüğünü tanımlamakta yarar vardır. Mize ve ark. (1971), sistemi 'birbiriyle karşılıklı ilişki veya bağımlılık gösteren elemanların (bileşkenlerin) kümesi' olarak tanımlamışlardır. Önceki bölümlerde demiryolu trafik yönetiminin hiyerarşik analizi yapılmış; böylece, yukarıdaki tanıma uygun olarak sistem elemanları tanıtılmış, ve karşılıklı ilişki ve bağımlılıkları ortaya konmuştur. Burada, trafik kontrolü işlevine doğrudan katılan sistem elemanları ele alınıp, modellenecektir. Bu bileşenler: demiryolu hattı, demiryolu trafiği ve trafik kontrol sistemidir (elemanların kendileri de birer sistemdir). Aşağıda bu elemanların trafik kontrolü problemi çerçevesinde tanımları yapılmıştır:

Demiryolu hattı (şebekesi), fiziki sınırları belirli bir yönetim bölgesi içinde kalan, üzerinde demiryolu taşıtlarının hareket ettiği ve kullanımının özel bazı kurullarla sınırlandırılmış olduğu izli bir taşın yoludur. Bölgenin komşu yönetim bölgeleriyle bağlantısı, hat üzerinde bulunan terminal istasyonları aracılığı ile sağlanır. Bu istasyonlar (bu çalışmadaki kabul gereği) tek hatlı bir demiryolu ile birbirlerine bağlanmışlardır. Hat boyunca istasyonlar bulunmakta, ayrıca, trenlerin sadece buluşma ve önegeçme yapabildikleri sayding denilen özel hat kesimleri de yer almaktadır. Yerleri belirli olan bu istasyon ve saydinglerin kilometreleri ve ara uzaklıkları bilinmektedir. Her istasyon ve sayding'in bir anahat ve bir de yan hattın olduğu kabul edilmiştir. Uç istasyonlardaki hat sayısı sınırlanmamıştır. İstasyon ve saydinglerin uç kesimlerinde makaslar bulunmakta; trenler yan hatta bu



makaslar yardımıyla alınmaktadır. Bu makaslar arasındaki mesafe (yani, istasyon veya sayding uzunluğu) belirli olup, buralarda durdurulacak trenlerin belirlenmesinde önemli rol oynarlar. Uzunluğu istasyon veya sayding uzunluğundan büyük olan trenlerin buralarda durmasına izin verilmez. Tren işletilmesinde olumsuz etkiye sahip olan büyük eğimli kesimlerin, küçük yarıçaplı kurbaların ve diğer engellerin yerlerinin bilinmesi, daha iyi bir trafik kontrolü için gereklidir.

Demiryolu taşıtlarının tümü bu çalışmada tren olarak adlandırılmıştır. Bunlar programlı olarak işletilen trenler oldukları gibi, bakım amaçlı katarlar veya lokomotifler ve vagon dağıtımını yapan diziler de olabilir. Taşıtlar gerekli tüm özellikleriyle bilinmektedir. Demiryolu hattında her iki yönde hareket eden her trenin numarası, (işletme tarafından atanan) temel öncelik sayısı, ilk kalkış ve son varış istasyonları, başlangıç istasyonundan planlanmış hareket saati, planlanmış duruşunun olduğu ara istasyonlara varış ve bu istasyonlardan hareket saati, dolayısıyla bu istasyonlardaki en az duruş süresi, son varış istasyonuna planlanmış varış zamanı, ardışık istasyon ve/veya saydingler arasındaki seyir süreleri, ve uzunluğu bilinmektedir.

Trafik kontrol sistemi bir bütün olarak demiryolu sisteminin can damarını oluşturmaktadır. Demiryolu trafiğinin güvenli ve etkin yönetimi bu sistem aracılığıyla sağlanmaktadır. Daha önceki bölümlerde anlatıldığı gibi, günümüzde uygulanmakta olan farklı trafik kontrol sistemleri vardır. Sistemin seçimi trafiğin hacmi (tren sayısı) ve niteliğine (trenlerin türü, hızı, vb.) bağlıdır. Ele alınan bölgede hareket eden trenler, bu bölgenin trafik kontrol merkezi tarafından yönetilirler. Tren hareketlerini başlatma ve durdurma, hat boyunca belirli yerlerde yerleştirilmiş sinyaller/işaretler yardımıyla gerçekleştirilir. İstasyon ve sayding uçlarındaki makaslar yardımıyla, trenlerin gerektiğinde yan hatları kullanması sağlanır. Bu çalışmada, trafik kontrol sisteminin izin verdiği, aynı yönde hareket eden trenler arasında bulunması gereken en küçük izleme süreleri ve zıt yönde hareket eden trenler arasındaki en küçük güvenlik süreleriyle ilgileneceğiz. İki tren arasındaki en küçük izleme süresi, trenlerin aynı istasyondan hareket zamanları arasındaki fark olup, büyüklüğü arkadaki trenin hız kısıtı yapmaksızın öndekini izlemesi şartına bağlıdır. Zıt yönlü iki tren



arasındaki en küçük güvenlik süresi ise, trenlerden birinin istasyona varış, diğerinin kalkışı arasında olması gereken zaman aralığıdır. Bu sürelerin içerisinde, kontrol işleminin gerçekleşmesi sırasında meydana gelen iletişim zaman kayıpları ve diğer güvenlik süreleri bulunmaktadır.

Demiryolu trafik kontrolü problemi trenlerarası çatışmalar şeklinde ortaya çıkmaktadır. Bilindiği gibi, trenlerarası çatışma, iki trenin aynı demiryolu kesimini aynı zamanda kullanması durumudur. Özel durumlar dışında pratik olarak mümkün olmayan böyle bir durumun yeteri kadar önceden belirlenip, gerekli önlemlerin alınması zorunludur. Buna göre, trafik kontrolü problemi trenlerin hareket planlarından (çizelgeden) sapmaları durumunda, bunların karşılaşma/önegeçme yer ve zamanlarının yeniden belirlenmesi, hangi trenin hangi hatta ve ne kadar süreyle bulunması gerektiğinin saptanmasıdır. Bu oldukça zor, karmaşık ve büyük boyutlu bir problemdir. Demiryolu hattının bir kesimindeki çatışma çözümü, hattın diğer kesimlerdeki bazı tren hareketlerini de etkilemektedir. Problemin zorluk derecesini artıran bu durum, sistem yaklaşımı kullanılmasını zorunlu kılmaktadır. Problemin çözümü belirli kısıtlar altında belirli hedeflere erişmeyi gerektirmektedir. Giriş bölümünde belirtildiği üzere, bu çalışmada, Merkezi Trafik Kontrol sistemi ve Otomatik Blok Sinyal sistemi bulunan tek hatlı bir demiryolunda, ulaştırma hizmetinin önceden hazırlanmış çizelgeye uygun olarak sunulduğu trafik kontrol problemi ele alınacaktır.

Modelin oluşturulabilmesi için gerekli olan elemanlar belirlendiğine göre, bu elemanları temsil eden değişkenlerin tanımlanması gereklidir. Genel olarak bunlar, bağımsız değişkenler, bağımlı değişkenler ve karar değişkenleridir. Basitliği sağlamak için modelde kontrol edilemeyen değişken bulunmadığı kabul edilmiştir. Model, trafiğin önceden hazırlanmış çizelgeye uygun olarak yönetildiği problem için oluşturulduğundan, modeldeki bağımsız değişkenler trenlerin, ilk kalkış istasyonu ve diğer bazı noktalardan hareket zamanları, istasyon/sayding'ler arasındaki seyir süreleri olmaktadır. Bağımlı değişkenler, trenlerin son varış istasyonu ve diğer bazı noktalara varış zamanları olmaktadır. Sonuç değişkenleri olarak da adlandırılabilir olan bağımlı değişkenler, sistemin etkinlik

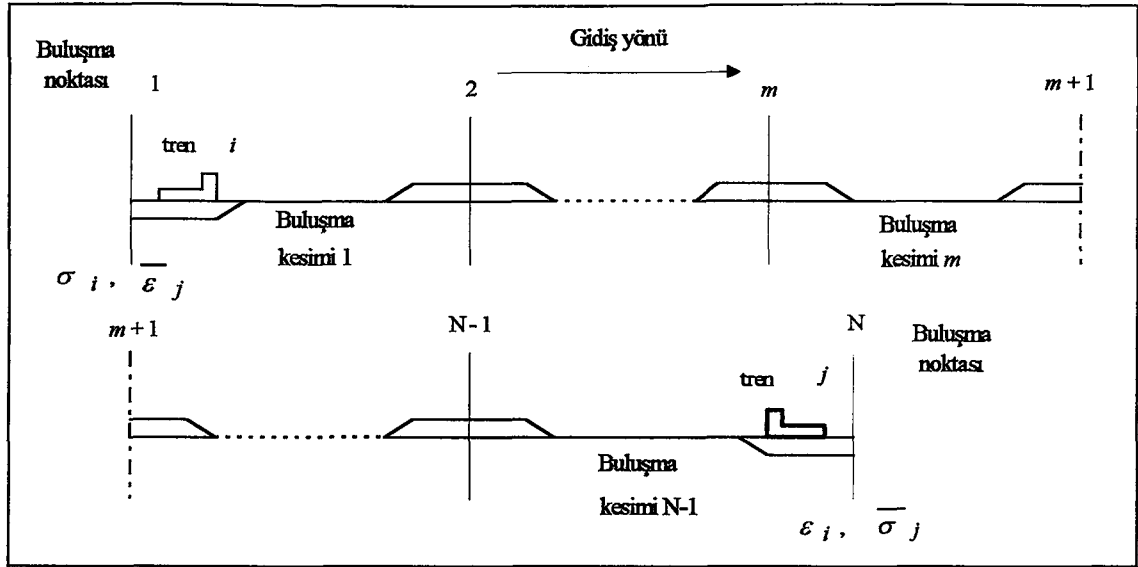
düzeyini yansıtır. Karar değişkenleri ise, trenlerin istasyon/sayding'ler arasında kalan hat kesimlerini kullanım sırasını belirlemektedir.

Matematiksel model bir amaç fonksiyonuyla, kısıtlardan meydana gelir. Amaç fonksiyonu, hedef olarak belirlenen etkinlik ölçütü olmakta ve en küçüklenmesi istenmektedir. Bu modelde her trenin son varış istasyonuna ve varsa ara istasyonlara gerçekleşen varış zamanının (bağımlı değişken) planlanmış (çizelgede belirlenmiş) zamandan (pozitif) farkının toplamları belirlenir. Sistemdeki her trene ait bu farkların toplamı amaç fonksiyonunu oluşturur; ve bu değer en küçüklenmesi amaçlanır. Matematiksel modelde bulunan kısıtlar, *plan dıyarl* işletmenin gerektirdiği kısıtlar (kalkış ve varış zamanı kısıtları), teknolojik kısıtlar (seyir süresi, en küçük duruş süresi, hat kullanım kısıtları), ve güvenlik kısıtları (karşılaşma, ve izleme ve önegeçme kısıtları) olmaktadır. Demiryolu trafik kontrolü probleminin modeli deterministik olup; ilişkilerin tümü doğrusaldır.

5.2 Genel Tanımlar ve Kullanılan Notasyon

Bu çalışmada tek hatlı bir demiryolu ele alınmış ve Jovanovic (1989)' da bulunan notasyonlar kullanılmıştır. Tek hatlı demiryolu, tren hareketlerinin tek-boyutla sınırlandırıldığı izli bir taşın yoludur. Hattın uç istasyonlarıyla, hat boyunca bulunan ara istasyon ve saydingler buluşma noktası olarak adlandırılmıştır. Buluşma noktaları gidiş yönünde sırasıyla ve ' m ' indeksiyle numaralanmış; ilk istasyona 1 ve son istasyona N indeks sayıları verilmiştir (Şekil 5.1). Her buluşma noktası, m 'de, her birinin uzunluğu μ^m ile belirli, iki hat (anahat + yan hat) bulunmaktadır. Bir tren yan hatta, uygun şekilde düzenlenmiş makas(lar) üzerinden geçer. Bir buluşma noktasında durdurulacak trenin uzunluğu, buluşma noktasının uzunluğundan küçük yada eşit olmak zorundadır. Hat boyunca hız kısıtlaması uygulanan kesimler de bilinmektedir.

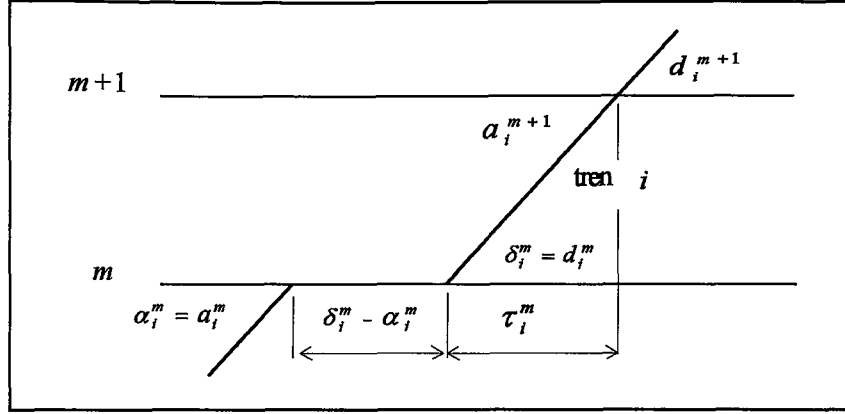
Giden trenlerin kümesini I ve dönen trenlerin kümesini ise J ile gösterelim. Giden tren i 'ye ait bazı özellikler aşağıdaki gibidir: Trenin ilk kalkış buluşma noktasının indeksi σ_i ve son



Şekil 5.1 Tek hatlı demiryolu, buluşma noktaları ve trenler.

varış buluşma noktasının indeksi ε_i olmakta; tren i 'nin, hareket yönünde sıralanmak üzere, belirli bir zamanda varması planlanmış ve/veya durması planlanmış buluşma noktalarının kümesi S_i , ($\sigma_i, \varepsilon_i \in S_i$); planlanmış varış zamanı α_i^m ve planlanmış kalkış zamanı δ_i^m (buna göre, planlı duruşun yapıldığı buluşma noktasındaki en küçük duruş süresi $\delta_i^m - \alpha_i^m$ olmaktadır), $\forall m \in S_i$; trenin uzunluğu λ_i ; ve tabii seyir süreleri $\tau_i = (\tau_i^{\sigma_i}, \dots, \tau_i^m, \tau_i^{m+1}, \dots, \tau_i^{\varepsilon_i-1})$ olmakta, burada τ_i^m buluşma noktaları m ve $m+1$ arasındaki (ya da buluşma kesimi m) tabii seyir süresini göstermekte (Şekil 5.2); ve trenin, sistemdeki diğer trenler üzerindeki görece önemi, temel öncelik sayısı indeksi, p_i ile gösterilmiştir. Temel öncelik sayısı, genellikle trenin hıza ve hareket yönüne göre işletme tarafından atanır; sayının küçük olması trenin önceliği olduğu anlamına gelmektedir. Çalışmanın ileri kısımlarında, trenin ağırlıklandırılmış bazı niteliklerinin kombinasyonu ile oluşturulan bir başka öncelik indeksi, *dinamik öncelik sayısı*, p_i^m tanımlanacaktır.

Dönen tren j 'nin ilgili özellikleri de sırasıyla $\bar{\sigma}_j, \bar{\varepsilon}_j, \bar{S}_j, \bar{\delta}_j^m, \bar{\alpha}_j^m, \bar{\lambda}_j, \bar{p}_j, \bar{p}_j^{m+1}$, ve $\bar{\tau}_j = (\bar{\tau}_j^{\bar{\varepsilon}_j}, \dots, \bar{\tau}_j^m, \bar{\tau}_j^{m+1}, \dots, \bar{\tau}_j^{\bar{\sigma}_j-1})$, burada $\bar{\tau}_j^m$ buluşma noktaları $m+1$ ve m arasındaki (buluşma kesimi m) tabii seyir süresini göstermektedir.

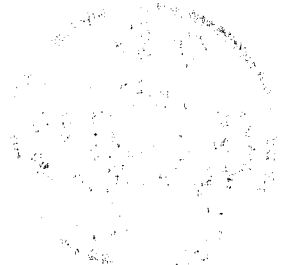


Şekil 5.2 Tren i 'nin tabii seyir ve en küçük duruş süresi.

Trafik kontrol sistemine ilişkin olarak kullanılan indeksler de aşağıdaki gibidir: Giden tren k 'nin giden tren i 'yi, buluşma noktaları m ve $m+1$ arasında, hız kısıtı yapmaksızın izleyebilmesi için gerekli en küçük izleme süresi η_{ik}^m olmakta ($i, k \in I$) (Şekil 5.3); ve dönen trenler j ve r arasındaki en küçük izleme süresi $\bar{\eta}_{jr}^m$ olmaktadır ($j, r \in J$). Ayrıca, giden tren i 'nin m buluşma noktasına varış zamanıyla dönen tren j 'nin m 'den kalkış zamanı arasındaki fark en küçük güvenlik (karşılaşma) süresi, ρ_{ij}^m (Şekil 5.4); ve dönen tren j ile giden tren i arasındaki en küçük karşılaşma süresi, ρ_{ji}^m olmaktadır. Bir tren için yol tanzim etmek ve/veya sinyal açmak üzere harcanan süre trafik kontrol sisteminin özellikleriyle ilgilidir ve bu süre en küçük izleme ve karşılaşma süreleri içinde tanımlanmıştır. En küçük izleme ve karşılaşma sürelerinin hesaplanmasına ilişkin deterministik bir yöntemin detayları Şahin (1987)'de bulunabilir.

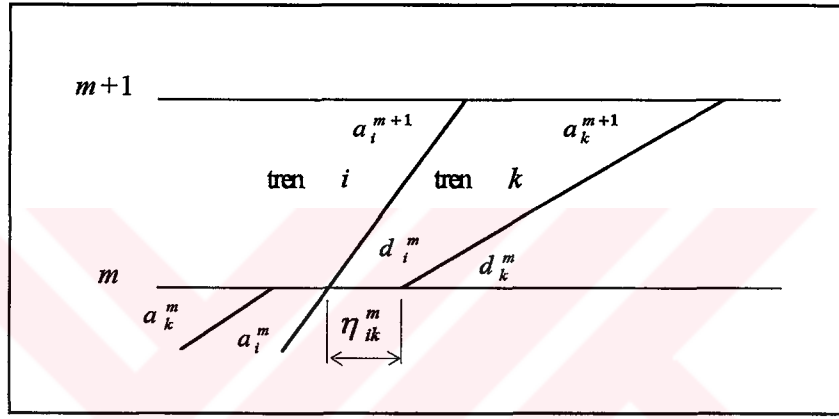
Modelde ikili karar değişkenleri olan $b_{ik}^m, \bar{b}_{jr}^m, c_{ij}^m$ için açıklama aşağıda verilmiştir:

$b_{ik}^m=1$ eğer gidiş yönündeki tren i , buluşma noktası m 'den, gidiş yönündeki tren k 'den önce hareket ederse; aksi taktirde
 $=0$ yani, tren k tren i 'den önce hareket ederse.

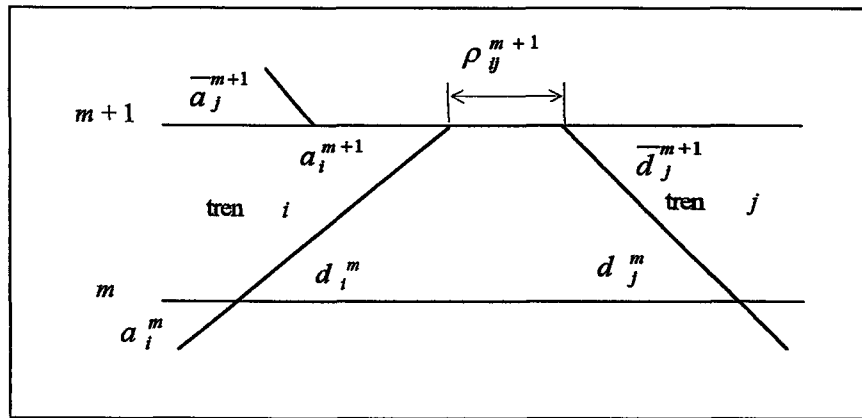


$\bar{b}_{jr}^m = 1$ eğer dönüş yönündeki tren j , buluşma noktası m 'den, dönüş yönündeki tren r 'den önce hareket ederse; aksi takdirde
 $=0$ yani, tren r tren j 'den önce hareket ederse.

$c_{ij}^m = 1$ eğer gidiş yönündeki tren i , m ve $m+1$ noktaları arasındaki kesimi (buluşma kesimi m) dönüş yönündeki tren j 'den önce kat ederse; aksi takdirde
 $=0$ yani, tren j tren i 'den önce kat ederse.



Şekil 5.3 Bir izleme çatışmasının çözümü ve önegeçme durumu ($b_{ik}^m=1$).



Şekil 5.4 Bir karşılaşma çatışmasının çözümü ($c_{ij}^m = 1$).



İkili karar değişkenleri, trenlerin (buluşma noktaları arasındaki) hat kesimlerini kullanma sırasını belirlemektedir. Bu değişkenler sıfır (0) ya da bir (1) değerini almaktadır. Model içinde bu değişkenlere sabit bir değer atanmadığı takdirde, model, bu ikili değişkenlerin alacağı değerleri, amaç fonksiyonunun en küçüklenmesi durumu için belirleyecektir. Bir başka deyimle, serbest bırakılan ikili değişkenler, tüm trenlerin aynı ve sabit temel öncelik sayısına sahip olduğu durum için değerlendirilirler. Böylece, çatışma halindeki iki trenden her birinin, hareket planı içinde kalan buluşma kesimlerini hemen kullanma yada bekleme olasılığı yüzde 50 olmaktadır. Ancak, model, belirli kesimlerde belirli trenlere öncelik verilmesine olanak tanımaktadır. Örneğin, tren i 'nin tren j ile buluşma kesimi m 'de karşılaşma çatışmasına girmesi durumunda, tren i 'nin bu çatışmadan etkilenmemesi için $c_{ij}^m=1$ olması gerekmektedir. Modele bir kısıt olarak eklenecek bu eşitlik yardımıyla, istenen durum gerçekleştirilmiş olur. Benzer işlem, aynı yönde hareket eden tren çiftleri için de yapılabilir. Fakat, bu işlemin modeldeki kısıt sayısını artıracığı unutulmamalıdır.

Yardımcı sürekli değişkenler, a_i^m ve d_i^m , sırasıyla, tren i 'nin buluşma noktası m 'deki gerçekleşen varış ve kalkış zamanlarını göstermektedir. Benzer şekilde, \bar{a}_j^m, \bar{d}_j^m tren j 'nin buluşma noktası m 'deki gerçekleşen varış ve kalkış zamanlarını göstermektedir. Gidiş yönündeki tren i 'nin, hareket planındaki sapma sebebiyle, buluşma noktası m 'ye gecikmeli olarak varması, her $m \in S_j$ için pozitif değişken e_i^m ile gösterilir; ve tren j 'nin gecikmesi \bar{e}_j^m ile gösterilir. Ψ , model gereği, ikili karar değişkenlerini içeren kısıtların aktif olup-olmamasını etkileyen, yeteri kadar büyük bir pozitif sayı (örneğin, 48 saat, Jovanovic, 1989) olarak kabul edilmiştir.

5.3 Problemin Matematiksel Modeli

Amaç fonksiyonu:

$$\text{En küçük } z = \sum_{i \in I} \sum_{m \in S_i} e_i^m + \sum_{j \in J} \sum_{m \in S_j} \bar{e}_j^m \quad (5.1)$$



Kalkış ve varış zamanı kısıtları:

$$d_i^m \geq \delta_i^m \quad \forall i \in I, m \in S_i \quad (5.2)$$

$$a_i^m \leq \alpha_i^m + e_i^m \quad \forall i \in I, m \in S_i \quad (5.3)$$

$$\bar{d}_j^m \geq \bar{\delta}_j^m \quad \forall j \in J, m \in \bar{S}_j \quad (5.4)$$

$$\bar{a}_j^m \leq \bar{\alpha}_j^m + \bar{e}_j^m \quad \forall j \in J, m \in \bar{S}_j \quad (5.5)$$

Seyir süresi kısıtları:

$$a_i^{m+1} \geq d_i^m + \bar{a}_i^m \quad \forall i \in I, m = \sigma_i, \dots, \varepsilon_i - 1 \quad (5.6)$$

$$\bar{a}_j^m \geq \bar{d}_j^{m+1} + \bar{a}_j^m \quad \forall j \in J, m = \bar{\varepsilon}_j, \dots, \bar{\sigma}_j - 1 \quad (5.7)$$

En küçük duruş süresi kısıtları:

$$d_i^m \geq a_i^m + \delta_i^m - \alpha_i^m \quad \forall i \in I, m \in S_i \quad (5.8)$$

$$\bar{d}_j^m \geq \bar{a}_j^m + \bar{\delta}_j^m - \bar{\alpha}_j^m \quad \forall j \in J, m \in \bar{S}_j \quad (5.9)$$

Gidiş yönündeki trenler için izleme ve önegeçme kısıtları:

$$d_i^m - d_k^m \geq \eta_{ik}^m - \psi b_{ik}^m \quad (5.10)$$

$$\forall i, k \in I, i \neq k, m \in \langle \langle \sigma_i, \dots, \varepsilon_i - 1 \rangle \cap \langle \sigma_k, \dots, \varepsilon_k - 1 \rangle \rangle$$

$$d_k^m - d_i^m \geq \eta_{ik}^m - \psi(1 - b_{ik}^m) \quad (5.11)$$

$$\forall i, k \in I, i \neq k, m \in \langle \langle \sigma_i, \dots, \varepsilon_i - 1 \rangle \cap \langle \sigma_k, \dots, \varepsilon_k - 1 \rangle \rangle$$



$$a_k^m - d_i^m \geq \eta_{ik}^m - \psi(1 - b_{ik}^m) \quad (5.12)$$

$$\forall i, k \in I, i \neq k, m \in \langle \langle \sigma_i + 1, \dots, \varepsilon_i - 1 \rangle \cap \langle \sigma_k + 1, \dots, \varepsilon_k - 1 \rangle \rangle$$

$$a_i^m - d_k^m \geq \eta_{ik}^m - \psi b_{ik}^m \quad (5.13)$$

$$\forall i, k \in I, i \neq k, m \in \langle \langle \sigma_i + 1, \dots, \varepsilon_i - 1 \rangle \cap \langle \sigma_k + 1, \dots, \varepsilon_k - 1 \rangle \rangle$$

$$b_{ik}^m = b_{ik}^{m-1} \quad \forall i, k \in I, i \neq k, m \in \langle m: m \notin \langle \sigma_k + 1, \dots, \varepsilon_k - 1 \rangle, \mu^m < \lambda_k \rangle \quad (5.14)$$

Dönüş yönündeki trenler için izleme ve önegeçme kısıtları:

$$\bar{d}_j^m - \bar{d}_r^m \geq \bar{\eta}_{jr}^m - \psi \bar{b}_{jr}^m \quad (5.15)$$

$$\forall j, r \in J, j \neq r, m \in \langle \langle \bar{\varepsilon}_j + 1, \dots, \bar{\sigma}_j \rangle \cap \langle \bar{\varepsilon}_r + 1, \dots, \bar{\sigma}_r \rangle \rangle$$

$$\bar{d}_r^m - \bar{d}_j^m \geq \bar{\eta}_{jr}^m - \psi(1 - \bar{b}_{jr}^m) \quad (5.16)$$

$$\forall j, r \in J, j \neq r, m \in \langle \langle \bar{\varepsilon}_j + 1, \dots, \bar{\sigma}_j \rangle \cap \langle \bar{\varepsilon}_r + 1, \dots, \bar{\sigma}_r \rangle \rangle$$

$$\bar{a}_r^m - \bar{d}_j^m \geq \bar{\eta}_{jr}^m - \psi(1 - \bar{b}_{jr}^m) \quad (5.17)$$

$$\forall j, r \in J, j \neq r, m \in \langle \langle \bar{\varepsilon}_j + 1, \dots, \bar{\sigma}_j - 1 \rangle \cap \langle \bar{\varepsilon}_r + 1, \dots, \bar{\sigma}_r - 1 \rangle \rangle$$

$$\bar{a}_j^m - \bar{d}_r^m \geq \bar{\eta}_{jr}^m - \psi \bar{b}_{jr}^m \quad (5.18)$$

$$\forall j, r \in J, j \neq r, m \in \langle \langle \bar{\varepsilon}_j + 1, \dots, \bar{\sigma}_j - 1 \rangle \cap \langle \bar{\varepsilon}_r + 1, \dots, \bar{\sigma}_r - 1 \rangle \rangle$$

$$\bar{b}_{jr}^m = \bar{b}_{jr}^{m+1} \quad \forall j, r \in J, j \neq r, m \in \langle m: m \notin \langle \bar{\varepsilon}_j + 1, \dots, \bar{\sigma}_j - 1 \rangle, \mu^m < \bar{\lambda}_r \rangle \quad (5.19)$$

Karşılaşma kısıtları:

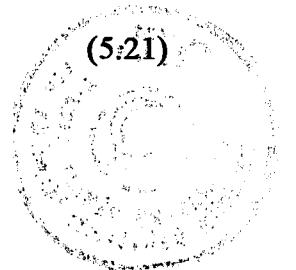
$$d_i^m - \bar{a}_j^m \geq \rho_{ij}^m - \psi c_{ij}^m \quad (5.20)$$

$$\forall i \in I, j \in J, m \in \langle \langle \sigma_i, \dots, \varepsilon_i - 1 \rangle \cap \langle \bar{\varepsilon}_j, \dots, \bar{\sigma}_j - 1 \rangle \rangle$$

$$\bar{d}_j^{m+1} - a_i^{m+1} \geq \rho_{ij}^{m+1} - \psi(1 - c_{ij}^m)$$

$$\forall i \in I, j \in J, m \in \langle \langle \sigma_i, \dots, \varepsilon_i - 1 \rangle \cap \langle \bar{\varepsilon}_j, \dots, \bar{\sigma}_j - 1 \rangle \rangle$$

(5.21)



$$c_{ij}^m \leq c_{ij}^{m-1} \quad \forall i \in I, j \in J, m \in \langle \langle \sigma_i + 1, \dots, \varepsilon_i - 1 \rangle \cap \langle \bar{\varepsilon}_j + 1, \dots, \bar{\sigma}_j - 1 \rangle \rangle \quad (5.22)$$

$$c_{ij}^m = c_{ij}^{m-1} \quad \forall i \in I, j \in J, m \in \langle m: m \notin \langle S_i \cup \bar{S}_j \rangle, \mu^m < \lambda_i, \bar{\mu}^m < \bar{\lambda}_j \rangle \quad (5.23)$$

İstasyon ve sayding kapasitesi kısıtları:

$$(c_{ij}^{m-1} - c_{ij}^m) + (c_{il}^{m-1} - c_{il}^m) \leq 1 \quad (5.24)$$

$$\forall i, l \in I, i \neq l, j \in J, m \in \langle \langle \sigma_i + 1, \dots, \varepsilon_i - 1 \rangle \cap \langle \sigma_l + 1, \dots, \varepsilon_l - 1 \rangle \cap \langle \bar{\varepsilon}_j + 1, \dots, \bar{\sigma}_j - 1 \rangle \rangle$$

$$(c_{ij}^{m-1} - c_{ij}^m) + (c_{is}^{m-1} - c_{is}^m) \leq 1 \quad (5.25)$$

$$\forall i \in I, j, s \in J, j \neq s, m \in \langle \langle \sigma_i + 1, \dots, \varepsilon_i - 1 \rangle \cap \langle \bar{\varepsilon}_j + 1, \dots, \bar{\sigma}_j - 1 \rangle \cap \langle \bar{\varepsilon}_s + 1, \dots, \bar{\sigma}_s - 1 \rangle \rangle$$

$$(b_{kl}^{m-1} - b_{kl}^m) + (b_{il}^{m-1} - b_{il}^m) \leq 1 \quad (5.26)$$

$$\forall i, k, l \in I, i \neq k \neq l, m \in \langle \langle \sigma_i + 1, \dots, \varepsilon_i - 1 \rangle \cap \langle \sigma_k + 1, \dots, \varepsilon_k - 1 \rangle \cap \langle \sigma_l + 1, \dots, \varepsilon_l - 1 \rangle \rangle$$

$$(\bar{b}_{pj}^m - \bar{b}_{pj}^{m-1}) + (\bar{b}_{rj}^m - \bar{b}_{rj}^{m-1}) \leq 1 \quad (5.27)$$

$$\forall j, p, r \in J, j \neq p \neq r, m \in \langle \langle \bar{\varepsilon}_j + 1, \dots, \bar{\sigma}_j - 1 \rangle \cap \langle \bar{\varepsilon}_p + 1, \dots, \bar{\sigma}_p - 1 \rangle \cap \langle \bar{\varepsilon}_r + 1, \dots, \bar{\sigma}_r - 1 \rangle \rangle$$



Hattın kilitlemesini önleyen kısıtlar:

$$(c_{ij}^{m-1} - c_{ij}^{m+1}) + (c_{is}^{m-1} - c_{is}^{m+1}) + (c_{lj}^{m-1} - c_{lj}^{m+1}) + (c_{ls}^{m-1} - c_{ls}^{m+1}) \leq 2 \quad (5.28)$$

$$\forall i, l \in I, i \neq l, j, s \in J, j \neq s, m \in \langle \langle \sigma_i + 1, \dots, \varepsilon_i - 2 \rangle \rangle$$

$$\cap \langle \sigma_i + 1, \dots, \varepsilon_i - 2 \rangle \cap \langle \bar{\varepsilon}_j + 1, \dots, \bar{\sigma}_j - 2 \rangle \cap \langle \bar{\varepsilon}_s + 1, \dots, \bar{\sigma}_s - 2 \rangle \rangle$$

Ayrıca,

$$e_i^m \geq 0 \quad \forall i \in I, m \in S_i \quad (5.29)$$

$$\bar{e}_j^m \geq 0 \quad \forall j \in J, m \in \bar{S}_j \quad (5.30)$$

$$b_{ik}^m, \bar{b}_{jr}^m, c_{ij}^m = 1, 0 \quad \forall i, k, l \in I, j, p, r \in J$$

5.4 Modelin Açıklanması

Amaç fonksiyonu:

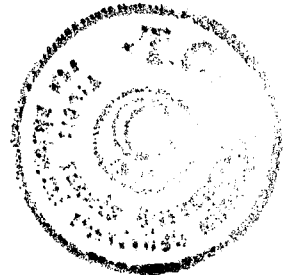
Amaç fonksiyonu (5.1), hatta işletilen tüm trenlerin belirli buluşma noktalarında gerçekleşen varış zamanlarının, planlanmış varış zamanlarından sapmalarının (e_i^m, \bar{e}_j^m) toplamının en küçüklenmesidir.

Kalkış ve varış zamanı kısıtları:

Kısıtlar (5.2)-(5.5), trenlerin belirli noktalarda planlanmış zamandan daha erken kalkmasını önlediği gibi, geç varma durumlarında sapma değişkenleri (e_i^m, \bar{e}_j^m) aracılığıyla, trenlerin belirli noktalardaki gecikmelerini gözönünde bulundurur.

Seyir süresi kısıtları:

Kısıtlar (5.6) ve (5.7), trenlerin performansına bağlı olarak, buluşma noktaları arasındaki tabii seyir sürelerini belirler (Şekil 5.2).



En küçük duruş süresi kısıtları:

Kısıtlar (5.8) ve (5.9), trenlerin belirli noktalarda, süresi önceden saptanmış beklemeleri yapmasını zorunlu kılar; bu süre yolcu veya yük hizmetleri için tahsis edilmiştir (Şekil 5.2).

Gidiş yönünde hareket eden trenler için izleme ve önegeçme kısıtları:

Kısıtlar (5.10) ve (5.11), bir buluşma noktasından kalkan ve aynı yönde hareket eden iki trenin hareket zamanları arasında en küçük izleme süresi bulunmasını zorunlu kılar. Eğer tren i buluşma noktası m 'den tren k 'den önce hareket ederse, $b_{ik}^m=1$ olur, dolayısıyla kısıt (5.11) aktiftir. $b_{ik}^m=0$ olması durumunda kısıt (5.10) aktiftir (Şekil 5.3).

Kısıtlar (5.12) ve (5.13), bir buluşma noktasından kalkan ve aynı buluşma noktasma varan iki tren arasında en küçük izleme süresi bulunmasını zorunlu kılar. Ayrıca, bu kısıtlar kalkan tren ile bunu izleyen tren arasında bırakılan süre sayesinde, yan hattın, aynı anda, bir den fazla tren tarafından işgal edilmesini önler. Kısıt (5.12), tren k 'nin tren i 'nin önüne geçtiği noktadan önceki buluşma noktaları için geçerli olup, kısıt (5.13) ise, tren k tren i 'nin önüne geçtikten sonraki noktalar için geçerlidir.

Kısıt (5.14), yan hat uzunluğu, önüne geçilecek trenin uzunluğundan kısa olan buluşma noktaları (istasyonlar ve sayding'ler) için uygulanır. Bu noktalar, her iki tren için de önceden planlanmış bir duruşun yapılmadığı noktalardır.

Dönüş yönündeki trenler için izleme ve önegeçme kısıtlarının açıklaması, gidiş yönündeki trenlerinki ile aynıdır.

Karşılaşma kısıtları:

Kısıtlar (5.20) ve (5.21), trenlerin tek hat üzerinde karşılaşmalarını önler. Karşılaşmaya sadece buluşma noktalarında izin verilir. Eğer tren i buluşma noktaları m ve $m+1$ arasındaki kesimi tren j 'den önce kat ederse, $c_{ij}^m = 1$ olur, dolayısıyla kısıt (5.21) aktiftir.

Tersi gerçekleşirse, $c_{ij}^m = 0$ olur ve kısıt (5.20) aktiftir (Şekil 5.4).

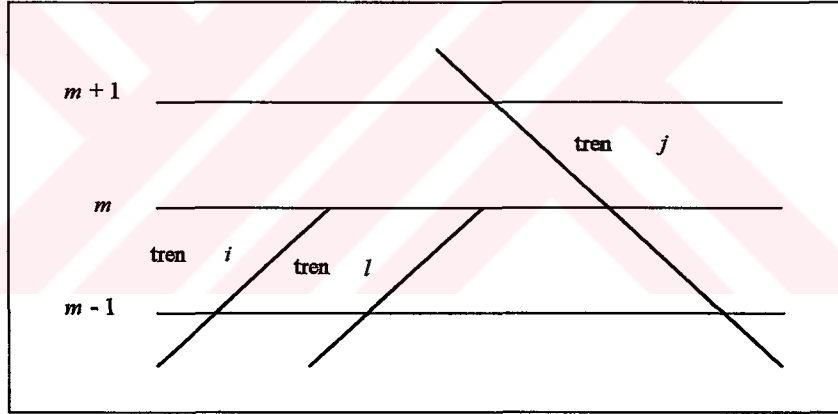


Kısıt (5.22), ikili karar değişkeni c_{ij}^m 'nin mantıksal tutarlılığını sağlar; yani, verilen bir çift tren sadece bir kez karşılaşabilir.

Kısıt (5.23), trenlerden herhangi birinin yan hatta sığmaması durumunda, böyle bir karşılaşmayı önlemek amacıyla kullanılmıştır. Veya buluşma noktası, trenlerden biri için olumsuz bir konumda bulunabilir; örneğin, büyük eğimli bir kesimde bulunan buluşma noktası ağır yük trenleri için uygun bir buluşma yeri değildir. Bu kısıt yardımıyla, örneğin dispeçer belirli bir tren çifti için uygun buluşma yerlerini önceden saptayabilir.

İstasyon ve sayding kapasitesi kısıtları:

Kısıtlar (5.24)-(5.27), planlanmamış bir önegeçme veya karşılaşmanın yapılacağı bir buluşma noktasında, aynı anda ikiden fazla trenin bulunmasını önler (Şekil 5.5).



Şekil 5.5 Buluşma noktası m 'de kapasite ihlaline bir örnek

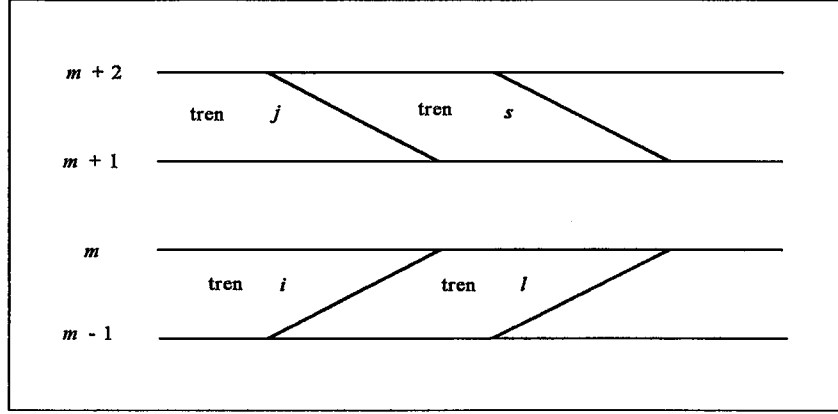
$$(c_{ij}^{m-1} = 1, c_{ij}^m = 0, c_{ij}^{m-1} = 1, c_{ij}^m = 0).$$

Hattın kilitlenmesini önleyen kısıtları:

Kısıt (5.28), tek hatlı kesimlerde karşılaşılacak bir olumsuz durum olan, hattın trenler tarafından bloke edilmesini önlemek amacıyla kullanılmıştır. Örneğin, planlanmamış buluşma ve/veya önegeçme yapılacak iki komşu buluşma noktasının her birinde aynı yönde harekete hazır ikişer tren bulunması hattı kilitler. Pratikte, istenmeyen böyle bir



durumla karşılaştığında, trenlerden birinin normal hareket yönüne zıt yönde hareket ettirilerek, uygun olan komşu buluşma noktasında, kilitlenme çözülene kadar bekletilmesi gerekmektedir (Şekil 5.6).



Şekil 5.6 Tren hareketlerinin buluşma kesimi m' de kilitlenmesi durumu

$$(c_{ij}^{m-1} = 1, c_{ij}^{m+1} = 0, c_{is}^{m-1} = 1, c_{is}^{m+1} = 0, \\ c_{ij}^{m-1} = 1, c_{ij}^{m+1} = 0, c_{is}^{m-1} = 1, c_{is}^{m+1} = 0).$$

5.5 Trafik Kontrolü Modelinin Optimal Çözümü

Yukarıda sunulan model literatürde 0-1 karışık tam sayılı doğrusal program sınıfına girmektedir. Böyle bir modelin klasik tekniklerle çözülebilmesi çok zor görünmektedir. Çünkü, tek hatlı bir demiryolu üzerindeki tren trafiğinin kontrolü bir kombinatoryal problemdir. Yani, çözüm için gerekli süre ve hafıza gereksinimi problemin boyutuyla üstel olarak artan, ve zamansal güclüğü $O(2^n)$ olan NP-Complete (Nondeterministic Polynomial-Complete) bir problemdir (Garey ve Johnson, 1979). Problemin boyutu karşılaşma/önegeçme'lerin (yani trenlerarası çatışmaların) sayısına bağlı olup; çatışmaların sayısı da, hattın uzunluğuna, trafik yoğunluğuna, trenlerin hıza ve farklılığına, ve kabul edilen zaman aralığına bağlıdır. Tek hatlı bir demiryolu üzerinde n adet çatışmanın bulunduğu bir problem için, en az 2^n adet uygulanabilir çözüm bulunabilir (sayısal olarak, $n=10$ olduğunda, en az 1024 adet uygulanabilir çözüm bulunmakta; $n=100$ olduğunda,

uygulanabilir çözümlerin sayısı en az $1.27 \cdot 10^{30}$ olmaktadır). Küçük boyutlu problemler için simülasyon ve matematiksel programlama gibi mevcut optimizasyon teknikleri yardımıyla optimal çözümler bulunabilirken, büyük boyutlu problemlerin aynı tekniklerle çözümü uzun hesaplama sürelerini gerektirir.

Bu noktaya kadar, demiryolu trafik kontrolü problemine yönelik olarak sunulan bilgiler çerçevesinde, problemin boyutu ve zorluk derecesi hakkında bilgi edinilmiştir. Problemin optimal çözümüne erişmek, klasik tekniklerle pratik olarak mümkün olmadığı için, *'yeteri kadar iyi'* çözümler üreten sezgisel yordamlar hazırlanmalıdır. Bu çalışmanın amacı da, böyle bir sezgisel algoritma geliştirmek ve bunu gerçek yaşam örnekleriyle test etmektir.



BÖLÜM 6

DEMİRYOLU TRAFİK KONTROLÜNDE ÇOK NİTELİKLİ KARAR VERME

6.1 Giriş

Demiryolu trafik kontrolünün amacı, sınırları belirli bir bölge içinde bulunan demiryolu hattı veya hatları üzerindeki trenlerin (gerçek zamanlı olarak) güvenli ve etkin hareketlerini sağlamaktır. Bölge içindeki trafikten sorumlu olan trafik yönetim merkezinde bulunan trafik kontrolörü (dispeçer) bu amaca yönelik olarak çalışır. Demiryolu trafiği, genellikle, önceden hazırlanmış çizelgeye uygun olarak yönetilir. Mevcut çizelgeden bir sapma olduğunda, demiryolu trafiği kolaylıkla içinden çıkılmaz, karmaşık bir hal alabilir. Dispeçer, böyle bir problemin ortaya çıkması durumunda, çözüm için anahtar bir role sahiptir.

Günümüzde, modern sayılabilecek tekniklerle donatılmış demiryolu trafik yönetim merkezlerinde sürekli yapılan düzenli işler bilgisayarlar tarafından yürütülür; örneğin, plana uygun hareket eden trenlere yol tanzim edilmesi gibi. Ancak, plandan sapma olması durumunda, dispeçerler araya girmekte, karar verme (planlama) ve kontrol işlevleri bu elemanlar aracılığıyla yerine getirilmektedir.

Dispeçerlerin günümüzde halen, karar verme işlevinin anahtar elemanı olmalarının sebepleri vardır. Bir çok karar verme problemi gibi, demiryolu trafik kontrolünde karar verme de oldukça karmaşık ve çözümü zor bir problemdir. Dispeçerler bu tür problemlere ilişkin çözümlere, uzun yıllar boyunca kazanmış oldukları özel bilgi ve deneyimleri yardımıyla varırlar. Bu nitelikteki kişileri bulmak oldukça zordur. Ayrıca, deneyimsiz dispeçerleri yetiştirmek de oldukça uzun zaman almaktadır. Bu sebeplerden dolayı, bir dispeçerin karar davranışını, önceki karar örneklerinden faydalanarak, taklit etmek amacıyla bir otomatik öğrenme tekniği geliştirmek faydalı olacaktır. Bunun için, önceki



karar örneklerini özel bir yapıda ortaya koymak amacıyla detaylı bir çalışma yapmak gerekmektedir.

Önceden hazırlanmış çizelgeden sapma olması, trenlerarası çatışmaların ortaya çıkmasına neden olmakta, karar verme zorunluluğu bu noktada kendini göstermektedir. Dispeçer uygulanabilir bir trafik kontrol işlevini yerine getirmek için bu çatışmaları çözmek zorundadır. Trenlerarası çatışmaların çözümüne ilişkin zorluk daha önce belirtilmişti. İki tren arasında gerçekleştiği kabul edilen bir çatışmanın çözümünde optimale erişmek pratik olarak neredeyse olanaklı olmadığına göre, bazı basitleştirici kurallardan faydalanılarak optimuma yakın bir çözüm bulunabilir. Dispeçerin trenlerarası çatışmaları çözerken uyguladığı yöntem de budur: basitleştirmek. Örneğin, işletme tarafından trenlere atanmış olan temel öncelik sayıları, bir çok durumda, iki alternatif çözümü olan bir çatışmanın çözüm sayısını bir'e indirmekte; böylece, dispeçerin karar verme işlevi basitleştirilmiş olmaktadır. Trenlerarası çatışmaların çözümüne ilişkin tüm bu çabaları 'çatışma yönetimi' olarak adlandırmak hatalı olmasa gerektir. Bu çalışmada, dispeçerin, trenlerarası çatışma çözümünde (veya çatışma yönetiminde) uyguladığı karar davranışının çok nitelikli modelinin oluşturulması amaçlanmıştır; değişik niteliklerin ağırlıklarının belirlenmesi için de doğrusal programlama tekniğinden faydalanılmıştır.

6.2 Çatışma Yönetimine Çok Nitelikli Karar Verme Problemi Olarak Yaklaşım

Çatışma yönetimi probleminin çok nitelikli karar verme problemi olarak modelini kurabilmek için, öncelikle buluşma noktaları m ve $m+1$ (buluşma kesimi m) arasında çatışmaya giren her tren çiftinin, n adet nitelikten oluşan birer vektör olarak tanımlanması gerekmektedir. Örneğin, çatışmaya giren giden tren i ve dönen tren j sırasıyla, $(V_{i1}^m, V_{i2}^m, \dots, V_{in}^m)$ ve $(\bar{V}_{j1}^{m+1}, \bar{V}_{j2}^{m+1}, \dots, \bar{V}_{jn}^{m+1})$ vektörleriyle gösterilmekte; burada $i \in I$ ve $j \in J$, m her iki trenin de hareket planında bulunmakta; V_{in}^m (\bar{V}_{jn}^{m+1}), n niteliğinin aldığı değer olmakta; vektör, giden tren için m ve dönen tren için de $m+1$ buluşma noktası için



tanımlanmaktadır. Kabul edilen niteliklerin kümesi de $C=\{1,2,\dots,c,\dots,n\}$ olmaktadır. Doğal olarak, çatışma halinde olmayan herhangi bir trenin, hareket planı üzerinde bulunan herhangi bir buluşma noktası için de nitelik vektörünü oluşturmak olanaklıdır. Bu tür bir vektör özellikle, demiryolu sisteminin durumunu tanımlamak için faydalıdır. Vektörü oluşturan nitelikler, çatışmanın çözümlenmesinde önemli, gözönünde bulundurulması gereken nitelikler olmalıdır. Bunlar arasında, çatışmaya katılan her trenin:

- temel öncelik sayısı
(işletme tarafından trenin hızına ya da özel önemine bağlı olarak atanan sabit bir sayı);
- aktif çatışmaya kadar olan yığılımlı gecikme süresi
(aktif çatışmaya girmeden önceki istasyon/sayding'ten gerçek kalkış zamanıyla, planlanmış zamanı arasındaki fark);
- kalan planlanmış süresi
(trenin son varış istasyonuna planlanmış varış zamanıyla, aktif çatışmadan önceki istasyon/sayding'ten gerçek kalkış zamanı arasındaki fark);
- kalan en az toplam seyir süresi
(trenin aktif çatışmadan önceki istasyon/sayding ile son varış istasyonu arasında, izin verilen en büyük hızda hareket etmesi durumundaki en küçük seyir süresi);
- personel değişimi için kalan süresi
(trenin personel değişiminin yapılacağı istasyona planlanmış varış zamanıyla, aktif çatışmadan önceki istasyon/sayding'ten gerçek kalkış zamanı arasındaki fark);
- aktif çatışmaya kadar girdiği çatışmaların sayısı ve/veya bu çatışmaların kaç adedinde bekletildiği
(ilk kalkış zamanıyla aktif çatışma anına kadar girdiği çatışmaların sayısı ve/veya bu çatışmaların kaç adedinde bekletildiği);
- aktif çatışmadan sonraki potansiyel çatışma sayısı



(aktif çatışmadan sonra, belirli bir zaman aralığı içinde, örneğin trenin son varış zamanına kadar, gerçekleşmesi beklenen çatışmaların sayısı);

- gidiş yönünde yolun boyuna eğimi
(aktif çatışmanın gerçekleştiği hat kesiminin boyuna eğimi);
- bekletilmesi olası istasyon/sayding'te boş hat bulunup bulunmadığı ve/veya hat uzunluğunun yeterli olup olmadığı
(trenin, aktif çatışma sebebiyle bekletilebileceği istasyon/sayding'in uygun olup olmadığı);
- miyopik çözümdeki gecikmesi
(trenin, aktif çatışmanın çözülmesi için bekletilmesi durumunda, sadece bu çatışmada kaybettiği süre);

sayılabilir. Burada, 'aktif çatışma', gerçekleşmesi beklenen 'en erken çatışma' olmaktadır.

Yukarıda verilen listedeki niteliklerden temel öncelik sayısı dışında kalanların, trenin seyiri boyunca değişik değerler alabildiği belirtilmelidir. Bu nitelikler, model içinde ayrı olarak tanımlanabildikleri gibi, uygun kombinasyonlar biçiminde de modele katılabilir. Modelin oluşturulmasının ardındaki hipotez, dispeçerin karar modelinin, oluşturulan modele uygun olduğu ve dispeçerin, iyi kararlar alabilmesi için, bir çok nitelikli fayda fonksiyonunu (utility function) ağırlıklar kullanarak oluşturduğudur (Şahin, 1995).

Aşağıda Oral ve Kettani (1989) ve Potvin ve ark. (1992)'de sunulduğu gibi, çok nitelikli seçim prosesinin üç adımı açıklanmaktadır:

Değerlendirme adımı: Nitelik vektörü $(V_{i1}^m, V_{i2}^m, \dots, V_{ic}^m, \dots, V_{in}^m)$ tren i 'nin buluşma noktası m 'deki durumunu tanımlamaktadır. Gerçek trafik koşullarında dispeçer, karar verirken bu nitelikleri etkin olarak kullanır; ancak, gerçek değerine bağlı olarak her bir niteliğe subjektif, negatif olmayan bir sayı, d_{ic}^m atar. Bu dönüşüm, kısmi fayda fonksiyonu, $d_{ic}^m = f_c(V_{ic}^m)$, olarak adlandırılan bir fonksiyon yardımıyla ifade edilebilir. Bu çalışmada $d_{ic}^m = f_c(V_{ic}^m) = w_c * V_{ic}^m$ olarak kabul edilmiştir; burada w_c , c niteliğinin ağırlık katsayısıdır.



Birleştirme adımı: Bu kısmi faydaların (d_{ic}^m) toplanmasıyla, dispeçer, tren i 'nin buluşma noktası m 'ye göre genel fayda sayısını, p_i^m , veya bu çalışmada adlandırıldığı gibi, *dinamik öncelik sayısını* elde etmiş olur. Birleştirme işlemi aşağıdaki gibidir:

$$p_i^m = \sum_c d_{ic}^m = \sum_c w_c * V_{ic}^m$$

Sonuçlandırma adımı: Bir trenlerarası çatışmanın iki tren arasında gerçekleşebileceği kabulünden hareketle, buluşma noktaları m ve $m+1$ arasında (buluşma kesimi m), çatışmaya katılan (tren çifti, örneğin) tren i ve tren j 'nin önceki adımda belirlenen genel (subjektif) fayda değerleri (dinamik öncelik sayıları) karşılaştırılarak önceliği olan tren belirlenir. Eğer

$$p_i^m > \bar{p}_j^{m+1}$$

olduğunu kabul edersek, tren i 'nin tren j 'ye göre önceliğinin olduğu belirlenir.

6.2.1 Problemin Doğrusal Programlama Modeli

Dispeçerin önceki çatışma kararlarının gözlenmesiyle elde edilen trenlerin nitelik değerleri V_{ic}^m ve V_{jc}^{m+1} , ve çatışan tren çiftlerine ilişkin tercih kararlarının kümesi $\Omega = [(i,j),m]$, Srinivasan ve Shocker (1973a, b) modeli olarak bilinen doğrusal programlama modeli içinde kullanılarak, her bir nitelik c için görelî ağırlık değeri tahmin edilebilir (buradaki küme gösteriminde, dispeçerin tren i 'ye tren j 'ye göre öncelik verdiği kabul edilmiştir):

$$\text{Min } \sum_{(i,j) \in \Omega} Z_{ij} \quad (6.1)$$

Kısıtlar:

$$\sum_c w_c (V_{ic}^m - \bar{V}_{jc}^{m+1}) + Z_{ij} \geq 0, \forall [(i,j),m] \in \Omega \quad (6.2)$$

$$\sum_{(i,j),m \in \Omega} w_c (V_{ic}^m - \bar{V}_{jc}^{m+1}) = 1 \quad (6.3)$$

$$Z_{ij} \geq 0, \forall (i,j) \in \Omega \quad (6.4)$$



$$w_c \geq 0, \forall c \in C$$

Burada tahmin edilen, ağırlık, w_c değişkenleridir. Z_{ij} değişkenleri, modelin, karar verici uzman tarafından belirtilen seçimden sapmasının büyüklüğünü gösterir. Amaç fonksiyonu optimumda 0 değerine eşit olduğunda (yani, tüm Z_{ij} 'ler sifıra eşit), belirlenen w_c ağırlık kümesi, dispeçerin seçimlerini tam olarak yansıtmaktadır. Çünkü,

$$\sum_c w_c (V_{ic}^m - \bar{V}_{jc}^{m+1}) \geq 0, \forall [(i, j), m] \in \Omega \Leftrightarrow p_i^m - \bar{p}_j^{m+1} \geq 0, \forall [(i, j), m] \in \Omega.$$

Amaç fonksiyonunun değerinin sıfırdan büyük olması durumunda, bir veya daha çok pozitif Z_{ij} bulunmakta ve ilgili tercihler taklit edilememiş olmaktadır. Bu durumda dispeçer tarafından seçilen trenin dinamik öncelik sayısı, diğer treninkinden küçük olmakta, ve model karar problemini doğru olarak yansıtmamaktadır. Kısıt (6.3), önemsiz sayılan çözümleri ($w_c=0, \forall c$) önlemek için kullanılır.

6.3 Dinamik Öncelik Sayısının Belirlenmesine Yönelik Sayısal Bir Örnek

Bu kısımdaki sayısal örnek, Şahin (1995)'de sunulan esaslar doğrultusunda hazırlanmıştır. Modelin geçerliliğini test etmek amacıyla, Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları (TCDD)'nden gerçek trafik hareketlerine ilişkin bilgiler elde edilmiştir. Test bölgesi olarak İstanbul-Ankara demiryolu bağlantısının tek hatlı olan Arifiye-Eskişehir kesimi seçilmiştir. Uzunluğu yaklaşık 163 kilometre olan ve hat boyunca 17 ara istasyon/sayding (veya genel adıyla buluşma noktası) bulunan bu kesimin seçilmesinin önemli bir nedeni vardır. İstanbul ve Ankara terminallerinden kalkan trenler (her iki yönde 6'şar adet olmak üzere) 00:00 - 06:00 zaman aralığında bu bölge içinde buluşmaktadırlar. Bu durum, tren dispeçerleri için, trenlerarası çatışmaların çözümlenmesine yönelik bir çok kararın alındığı, oldukça yoğun sayılabilecek bir mesai anlamına gelmektedir.

Bu çalışmada her bir trenin, altı nitelikli bir vektör ile temsil edildiği kabul edilmiştir. Bu nitelikler aşağıdaki gibidir:



1. Temel öncelik sayısı,
2. Aktif çatışmaya kadar olan yığışimli gecikme,
3. Kalan planlanmış süre,
4. Kritik oran,
5. Miyopik çözümdeki gecikme ve
6. Aktif çatışmadan sonraki potansiyel çatışma sayısı.

Modelde her trenin geçmiş (V_2), şimdiki (V_3, V_4, V_5) ve gelecekteki (V_6) durumuna ilişkin nitelikler kullanılmıştır. Temel öncelik sayısı her trenin hızına bağlı olarak atanan sabit bir sayıdır. Genel kural, en hızlı trene en küçük sayının atanması şeklindedir. Aktif çatışmaya girmeden önceki istasyon/sayding'ten gerçek kalkış zamanıyla, planlanmış kalkış zamanı arasındaki fark, trenin bu noktaya kadar olan yığışimli geçikmesidir. Kalan planlanmış süre, trenin son varış istasyonuna planlanmış varış zamanıyla, çatışmadan önceki istasyon/sayding'ten gerçek kalkış zamanı arasındaki fark olmaktadır.

Bazı nitelikler, diğerlerinin kombinasyonu ile de oluşturulabilir. Kritik oran bunun en güzel örneğidir. Kritik oran, üretim planlamasında yaygın olarak kullanılan öncelik belirleme kurallarından biri olup, aşağıdaki gibi ifade edilir (Adam ve Ebert, 1986):

$$CR = \frac{\text{Kalan planlanmış süre}}{\text{Kalan en az toplam seyir süresi}} = \frac{\alpha_i^s - d_i^{A_i}}{\min(\sum_{m=A_i, \dots, q}^m t_i^m)}$$

Kritik oran, trenin durumunu, planlanmış son varış zamanına kalan sürenin, kalan en küçük seyir süresine oranı olarak tanımlayan dinamik bir kuraldır. Küçük bir kritik oran, bir acil durum göstergesi olarak, trenin çizelgeden daha fazla geri kalmasını önlemek için, kısıtlamasız ilerlemesi gerektiği anlamına gelir.

Trenin girdiği çatışmanın kendi aleyhine çözümlenmesi durumunda, bu trenin, buluşma noktasında diğer trenin yolu boşaltıncaya kadar bekletilme süresi, miyopik çözümdeki gecikmesi olmaktadır. Trenin aktif çatışmadan sonra, son varış noktasına kadar,



girebileceği potansiyel çatışmaların sayısı da, uygulamada gözönüne alınan nitelikler arasında yer almaktadır.

Test bölgesi içindeki tren trafiği, Eskişehir’de bulunan CTC (Centralized Traffic Control) merkezi tarafından, dispeçer aracılığıyla kontrol edilmektedir. CTC sisteminin aktif elemanlarından biri tren-graf (train-graph)’tır. Tren-graf, zamanın yatay ve mesafenin (istasyon/sayding kilometreleri) dikey ekseninde bulunduğu ve zamanın ilerleme yönünde otomatik olarak hareket eden bir çizelgedir. Bölge içinde bulunan istasyon/sayding’lerin iki ucunda yer alan her bir makas (switch), elektriksel olarak duyarlı bir eleman olup, üzerinden bir demiryolu taşıtı geçmesi durumunda, merkezdeki tren-graf cihazını uyarıp, makas üzerinde bulunan (OS = On Switch) trenin numarasını ilgili yer-zaman koordinatına bastırır. Böylece bölge içinde bulunan bütün trenlerin izleri tren-graf üzerinde belirlenmiş olur. Tren-graflar, gerçekleşen tren hareketlerini yansıttıkları için, her bir trenin her hangi bir andaki durumu tanımlanabilmekte; böylece, önceden hazırlanmış çizelgeyle karşılaştırma yoluyla, yukarıda sözü edilen nitelik değerlerinin bazıları belirlenebilmektedir.

Bu çalışmada 4 farklı işletme gününe ait tren-graflardan faydalanılmıştır. Seçilen zaman aralığında çözümlenmiş olan 90 adet trenlerarası çatışma modelde tanımlanmıştır. Tablo 6.1 ele alınan çatışmalardan bazı örnekleri göstermektedir. Tabloda, çatışmaya giren tren çiftlerinden, ilerlemesine izin verilen üst satırda, çatışma çözümü için bekletilen ise alt satırda yazılı olan trendir.

Tren çiftlerinden oluşturulan çatışma kümesi ve ilgili çatışma çözümlerinden faydalanarak, önceki kısımda verilen doğrusal programlama modeli yardımıyla, tren dispeçerlerinin karar davranışının modelleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Doğrusal programlama modelinin çıktıları, amaç fonksiyonunun değeri ve her bir niteliğin ağırlık katsayısıdır. Daha önce de belirtildiği gibi amaç fonksiyonunun değeri, dispeçerin önceki çatışma çözümlerindeki tercihleri doğrultusunda oluşturulan tren çiftlerine ait kısıtların ihlal edilmesinin toplam

büyükliğini göstermektedir. Modelin yukarıda belirtilen giriş bilgilerine ilişkin çıktısı aşağıdaki gibidir:

Amaç fonksiyonunun değeri: 0.09265719 ve

$w_1=0.2196$, $w_2=0.1465$, $w_3=0.0526$, $w_4=0.3586$, $w_5=0.2227$, $w_6=0.0000$.

Modelin katsayılara ilişkin çıktısı, yaygın olan pratik uygulamaya oldukça uygun görünmektedir. TCDD'de tren trafiği önceden hazırlanmış çizelgeye göre yürütüldüğü için, TCDD *plan duyarlı* bir hizmet sunmaktadır. Bu nedenle, kritik oran niteliğinin diğerlerine göre baskın çıkması ($w_4=\% 35.36$), tren trafiğinin çizelgeye uygun yürütülmeye çalışıldığının bir göstergesi olarak anlaşılmalıdır. Çünkü, her trenin, önceden saptanmış varış zamanında son noktaya varması istenmektedir. Hatta yığışımli gecikme niteliği ($w_2=\% 14.65$)'nin de bu amaca hizmet ettiği söylenebilir. Yani, tren dispeçeri toplam % 50 kadarlık bir oranda, trenlere ait hazır zamansal bilgilerden faydalanmaktadır. Trenin kalan seyir süresine ilişkin niteliğin payı ($w_3=\% 5.26$) pek büyük görünmese de, kararlarda belirli bir ağırlığı bulunmaktadır. Temel öncelik sayısı niteliği de belirli bir ağırlıkla ($w_1=\% 21.96$) modelde yer almaktadır; bu da, bir anlamda işletme kararlarının dispeçerler üzerindeki etkisini göstermektedir.

Bu sonuçta dikkat edilmesi gereken oldukça önemli diğer iki nitelik, trenin miyopik çözümdeki gecikmesi (w_5) ve potansiyel çatışmaların sayısı (w_6) olmaktadır. Kararlarında miyopik çözüme % 22.27'lik bir ağırlık vermesi, dispeçerin uygulanabilir bir çözüme kısa yoldan varmayı amaçladığını göstermektedir. Üzerinde durulması gereken oldukça ilginç bir diğer nokta da, dispeçerin kararlarında, trenlerin aktif çatışmadan sonraki potansiyel çatışmalarını hiç dikkate almamış olmasıdır. Doğaldır ki, dispeçerin potansiyel çatışmaları da dikkate alan bir değerlendirme yaklaşımı, trafik kontrolü gibi dinamik ve büyük boyutlu bir problem için çok zordur. Ancak, bizce bu nitelik oldukça önemlidir. Çünkü, trafik kontrolü problemine bir bütün olarak yaklaşılması, aktif çatışmanın çözümünün sistemdeki diğer trenlerin üzerindeki etkilerinin belirlenmesiyle doğrudan ilişkilidir. Bu nedenle,

sistemin etkin kontrolü için aktif çatışmaya katılan trenlerin potansiyel çatışmalarının da dikkate alınması gerekmektedir.

Yukarıda verilen ağırlıklar yardımıyla çatışmaya katılan trenlerin genel fayda değerlerini (ya da *dinamik öncelik sayılarını*) belirlemek mümkündür. Örneğin, çatışmaya katılan giden yöndeki tren i ve dönen yöndeki tren j için buluşma kesimi m 'ye göre dinamik öncelik sayıları:

$$p_i^m = \sum_c w_c * V_{ic}^m \text{ ve } \bar{p}_j^{m+1} = \sum_c w_c * \bar{V}_{jc}^{m+1}$$

olmaktadır.

Tablo 6.1'de, örnekteki bazı trenlere ait dinamik öncelik sayıları hesaplanmış ve sunulmuştur. Model oluşturulurken yapılan kabul gereği, dinamik öncelik sayısı büyük olan trenin ilerlemesine izin verilmektedir. Bu kabulden dolayı, ilerlemesi istenen çatışan bir trenin dinamik öncelik sayısı hesaplanırken, sayısal değeri küçük olması istenen niteliğin işaretinin katsayısının negatif (-) alınması gerekmektedir. Örneğin, genel bir kural olarak, temel öncelik sayıları hızlı trenden yavaş trene doğru, artan bir sırada atanır. Ancak, hızlı ve yavaş iki trenin karşılaşması durumunda, normal şartlarda hızlı olanın ilerlemesine izin verilebilmesi için, bu trenin öncelik sayısının büyük olması gerekmektedir. Bu durum temel öncelik sayısının katsayısının işareti negatif alınarak gerçekleştirilebilir. Benzer şekilde, kalan planlanmış süre (w_3) ve kritik orana (w_4) ait katsayıların işaretleri de negatif olmalıdır.

Geliştirilen model, dispeçer tarafından alınan kararların yeniden üretilmesi konusunda oldukça başarılı sonuçlar vermiş ve pratikteki uygulamayı oldukça iyi bir yaklaşıklıkla, yüksek sayılabilecek bir düzeyde ortaya koymuştur. Model % 85 başarıyla, 90 çatışmanın 77'sinde dispeçerin karar davranışını aynen taklit etmiştir. Bu model, trenlerarası aktif çatışmaların çözümünde miyopik bir çözümleme aracı olarak kullanılabilir. Ancak, aktif çatışmaların alternatif çözümlerinin değerlendirilmesinde, trenlerin potansiyel

çatışmalarının da dikkate alınması, sistem genelinde etkin bir trafik kontrolü için zorunludur. İzleyen bölümde, çatışmaya giren trenlerin potansiyel çatışmalarını da bir *ileri bakış yöntemiyle* saptayıp, aktif çatışmanın alternatif çözümlerini buna göre değerlendiren bir sezgisel algoritma sunulmaktadır.

Tablo 6.1 Trenler-arası çatışma örnek ve çözümleneleri

Çatışan Tren No	Temel Öncelik S	Yığılmış Gecikme	Kalan Pln. Süre	Kritik Oran	Miyopik Gecikme	Potansiyel Çat. Sayısı	Dinamik Öncelik S	AÇIKLAMA
	0.0769	0.1430	0.0268	4.5390	0.2000	1.0000		Ölçek katsayıları
125	20	4	115	1.075	9	0	-1.76	Temel öncelik sayısının önemi
170	70	13	37	1.028	12	0	-2.10	
161	60	10	84	1.037	8	1	-2.25	Kritik oran ve yığılmış gecikmenin önemi
124	20	-5	104	1.600	14	5	-2.57	
151	50	11	104	0.963	6	2	-2.06	Modelle uyumsuz çözümlene
126	20	-2	51	1.109	12	2	-1.72	
125	20	-1	120	1.143	12	0	-1.85	Temel öncelik sayısı ve miyopik çözüm ilişkisi
170	70	14	36	1.000	3	0	-2.43	
161	60	-9	127	1.134	16	3	-2.51	Miyopik çözümün etkisi
156	50	-2	60	1.132	3	3	-2.68	
161	60	3	63	1.167	8	0	-2.58	Potansiyel çatışmalar etkili olmalı
170	70	-1	138	1.211	6	5	-3.10	
126	20	4	54	1.000	12	3	-1.42	Karar açısından sorunsuz bir çatışma
151	50	-1	107	1.092	6	2	-2.53	
151	50	17	76	0.854	11	1	-1.50	İlginc ve aykırı bir çözümlene
124	20	33	45	0.682	11	3	-0.33	

- Not:
1. Çatışan tren çiftlerinden, dispeçerin ilerlemesine izin verdiği tren üst satıra, beklettiği tren alt satıra yazılmıştır.
 2. Dinamik öncelik sayılarının hesabında, temel öncelik sayısı, kritik oran ve kalan planlanmış sürenin ağırlık katsayılarının işareti negatif (-) alınmıştır.
 3. Dinamik öncelik sayılarının hesabında, farklı nitelikler arasında ölçek birliğini sağlayan katsayılar kullanılmıştır.

BÖLÜM 7

TRENERARASI ÇATIŞMA YÖNETİMİNE DAYALI TRAFİK KONTROLÜ İÇİN BİR ALGORİTMA

7.1 Giriş

Tren trafik kontrolü problemleri trenlerarası çatışmalar şeklinde ortaya çıkar. *Plan duyarlı* demiryolu işletmelerinde tren hareketleri, trenlerarası çatışmaların bulunmadığı önceden hazırlanmış çizelgelere göre düzenlenir. Belirli koşullar için planlanmış olan tren trafiğinin her hangi bir nedenle aksaması, demiryolu sistemini çatışmalar sebebiyle ortaya çıkan gecikme artışları nedeniyle düzensizliğe sürükleyebilir. Bu nedenle, aksamalar sebebiyle ortaya çıkan bir çatışma zamanında ve etkin bir şekilde çözümlenmelidir. Basit olarak iki tren arasındaki çatışma, bunların aynı yerde aynı zamanda (eş zamanlı) bulunması durumunda ortaya çıkar. Trenlerin eş zamanlı olarak aynı demiryolu kesimini (örneğin iki komşu istasyon arasındaki tek hatlı kesim) kullanması durumu, gerekli işlemleri yapabilmek için yeteri kadar önceden saptanmalıdır. Çatışmaları tren gecikmelerinin en küçüklenmesi ve tren hareketlerinin güvenliğinin sağlanması gibi amaçlar çerçevesinde çözümlenmek; böylece, karşılaşma ve önegeçmelerin yerlerini ve her hangi bir anda sistemdeki trenlerin hangi hatta bulunması gerektiğini belirlemek için optimal kontrol tekniği kullanılacaktır. Çatışma çözümlenmesi günümüzde halen, bilgi, deneyim ve muhakeme yetenek ve birikimlerini kullanan insan uzmanlar (dispeçerler) eliyle yapılmaktadır. Dispeçer bir çatışma durumuyla karşılaştığında, çatışmayı, trenlerin hareketli olması ve trafiğin sürekli konum değiştirmesi nedeniyle, çok kısa sürede çözmek zorundadır. Bu tür kararlar sonuca çabuk erişmeyi gerektirdiğinden, dispeçer tarafından bulunan çözümlerin etkin işletmecilik açısından her zaman iyi sonuç verdiği söylenemez. Çünkü, alternatif çözümlerin tümünün dispeçer tarafından değerlendirildiğini söylemek mümkün değildir. Çatışma çözümüne ilişkin tüm bu çabalar çatışma yönetimi olarak adlandırılmıştır.

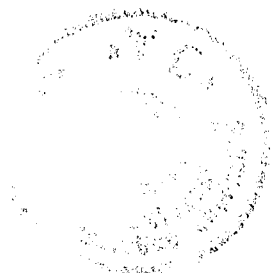
Bilgimiz dahilinde, bu konuda yapılmış olan çalışmaların hiç birisi geniş bir uygulama alanı bulamamıştır. Bunun iki önemli nedeni vardır: İlki, bu çözümleri özellikle çevrim dışı (off-line) kullanacak olan tren dispeçerlerinin bu tür uygulamaları pratik ve teknik açıdan

yeterli bulmayışları; ikincisi, geliştirilen çözüm yordamlarının, büyük boyutlu olan ve karmaşık bir yapıya sahip bulunan problemin bu olumsuzluklarının üstesinden gelebilecek yetenek ve kapasitede olamayışlarıdır. Belirtilen ilk olumsuzluk, özellikle çevrim dışı çözümler için, kullanımı kolay Karar Destekleyici Sistemlerin sunulmasıyla giderilebilir. İkinci olumsuzluğun üstesinden gelmek amacıyla bu çalışmada, 'yeteri kadar iyi' bir sonuca kısa sürede erişen ve zamansal güçlüğü $O(2n)$ (polinom) olan bir sezgisel algoritma sunulmaktadır. Bir sonraki kısımda detaylı olarak anlatılan bu sezgisel algoritmanın hazırlanmasında bir sistem yaklaşımı kullanılmıştır.

7.2 Sezgisel Algoritmanın Oluşturulmasında Sistem Yaklaşımı

Demiryolu trafik kontrolü büyük boyutlu ve karmaşık bir problemdir. Demiryolu sisteminin karmaşık iç ilişkilerini ve dinamiklerini ortaya koyabilmek amacıyla 'sistem yaklaşımı' yöntem olarak seçilmiştir. Ayrıca, demiryolu hattının bir kesimindeki *potansiyel* bir çatışmanın çözümünün, hattın diğer kesimlerindeki etkisini, sistem yaklaşımıyla ortaya koymak oldukça uygundur. Bu yaklaşım, genel hatlarıyla, sistemin demiryolu trafik kontrolü problemi çerçevesinde tanımlanmasıyla başlar. Bu tanım çalışmanın önceki bölümlerinde yapılmıştır. Sonra, sistemin elemanları arasındaki matematiksel ilişkiler oluşturulmuştur. Örneğin demiryolu hattıyla trenler arasındaki ilişki aşağıdaki gibi tanımlanabilir: Tren i 'nin buluşma noktası m 'deki planlanmış (veya gerçek) kalkış zamanı δ_i^m verildiğinde, trenin bir sonraki buluşma noktası $m+1$ 'e varış zamanı $a_i^{m+1} = \delta_i^m + t_i^m$ (veya $a_i^{m+1} = a_i^m + t_i^m$) olarak tanımlanır; ve buluşma noktası m 'de karşılaşan tren çifti i ve j arasındaki en küçük karşılaşma (güvenlik) süresi ρ_{ij}^m , sistemin tüm elemanlarının etkili olduğu bir özelliğe sahiptir.

Bu aşamada, kontrol probleminin etkinlik ölçütünü belirlemek durumundayız. Bu çalışmada, belirli bir zaman aralığında sistemde bulunan trenlerin gerçek (ya da beklenen) varış zamanlarının planlanmış zamanlardan sapmalarının (gecikmelerin) toplamı etkinlik ölçütü olarak kabul edilmiştir. Buna göre amaç, problemde ele alınan trenlerin



gecikmelerinin en küçüklenmesi olmaktadır. Şekil 7.1 plan duyarlı bir demiryolu işletmesinde trenlerarası çatışma yönetimine dayalı trafik kontrol işlemini göstermektedir.

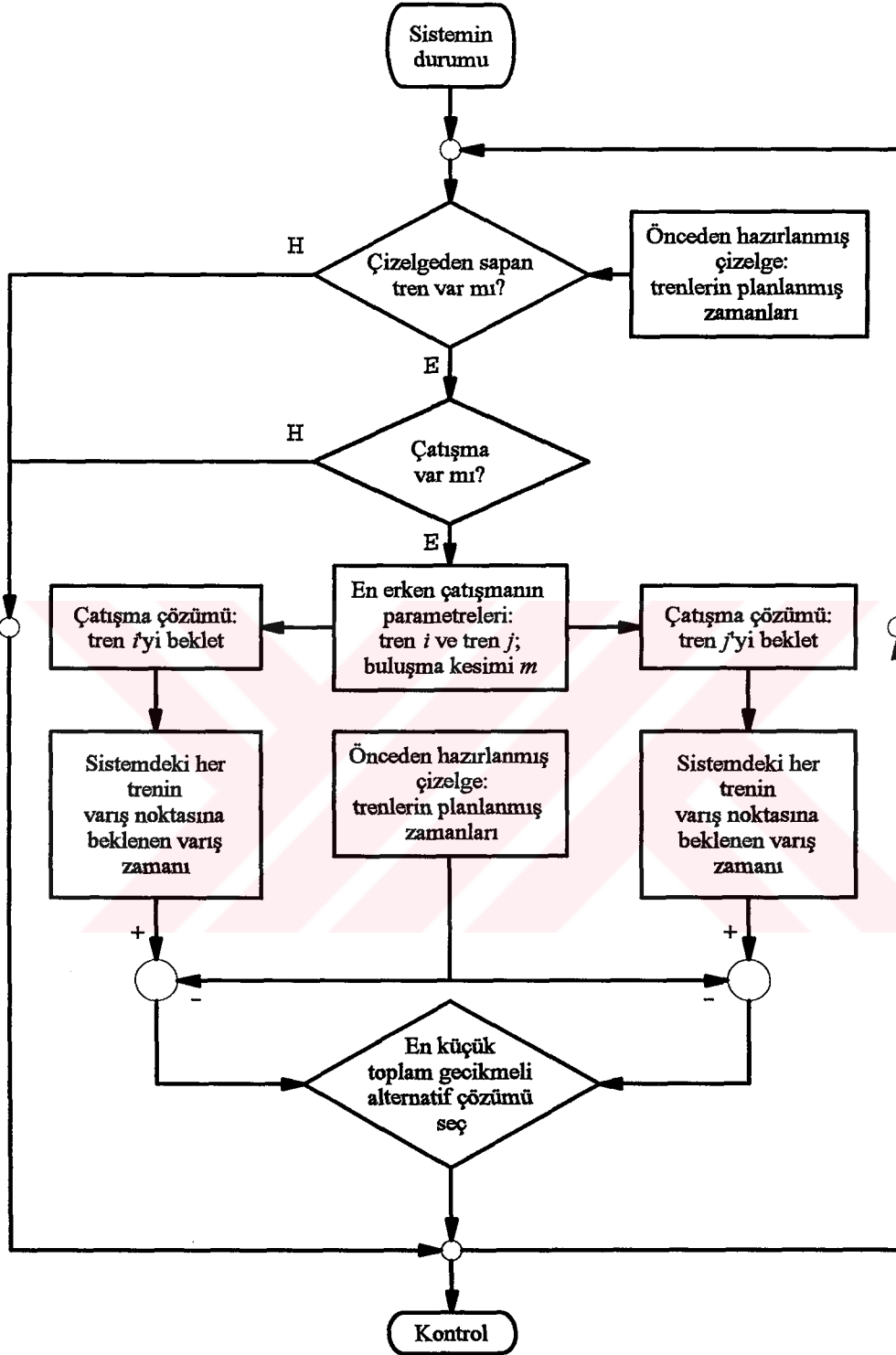
7.2.1 Sistemin Durumunun Tanımlanması

Her hangi bir anda önceden hazırlanmış çizelgeden sapma olup olmadığı, sistemin o andaki gerçek durumuyla, çizelgede belirlenmiş, olması gereken durumunun karşılaştırılmasıyla bulunabilir. Sistemde bulunan trenlere ait bazı bilgiler, sistemin durum bilgileri olarak kullanılabilir. Her hangi bir anda giden tren i 'ye ait aşağıdaki bilgiler, demiryolu sisteminin durumunu tanımlamak için kullanılmaktadır (dönen tren j 'ye ait ilgili bilgiler de durum tanımının tamamlanması için elde edilmelidir):

- A_i : Trenin bulunduğu buluşma noktası; eğer seyir halindeyse, gelecek buluşma noktası. Henüz seyirine başlamadıysa kalkış istasyonu $A_i \in (\sigma_i, \dots, \varepsilon_i)$,
- ε_i : Son varış buluşma noktası (normal olarak hattın ilk veya son noktası)
- $x_i^{A_i}$: Eğer tren A_i noktasındaysa, bu noktaya varış zamanı; eğer seyir halindeyse, gelecek buluşma noktasına beklenen varış zamanı,
- $p_i^{A_i}$: Buluşma noktası A_i 'de *dinamik öncelik sayısı*.

Bu çalışmada, tren önceliklerinin belirlenmesine yönelik yeni bir yöntem sunulmuştur. Günümüzdeki uygulamaya, etkin işletmecilik anlayışıyla bakıldığında, trenlerarası çatışmalarla bunların çözümleri arasında bir boşluk bulunmaktadır. Çatışma çözümlerine ilişkin kararlarda trenlerin temel öncelik sayılarının yaygın olarak kullanıldığı bilinmektedir. Ancak, optimal trafik kontrolünü gerçekleştirebilmek için trenlerin önceliklerine dinamik bir özellik kazandırılmalıdır. Bir başka deyimle, trenin önceliği, geçirdiği seyir evreleri dikkate alınarak yenilenmeli (değiştirilmeli)'dir.





Şekil 7.1 Plan duyarlı bir işletmede trenlerarası çatışma yönetimine dayalı trafik kontrolü



7.2.2 Çizelgeden Sapan Trenlerin Belirlenmesi

Bu çalışmada ele alınan demiryolu sisteminin bir plan duyarlı işletme olduğu kabul edilmiştir. Böylece, önceden hazırlanmış bir çizelgenin varlığı söz konusudur. Demiryolu sisteminin durumunu tanımladıktan sonra, giden tren i 'nin durum değişkeni $x_i^{A_i}$, aynı trenin buluşma noktası A_i 'deki planlanmış varış zamanı $\alpha_i^{A_i}$ ile karşılaştırılarak, çizelgeden sapma olup olmadığı belirlenir. Çizelgeden sapan giden trenlerin kümesini I_s ($I_s \in I$) ile gösterelim. Aynı işlemin dönen trenler için de yapılması gerektiğinden, çizelgeden sapan dönen trenlerin kümesini J_s ($J_s \in J$) ile gösterelim; burada,

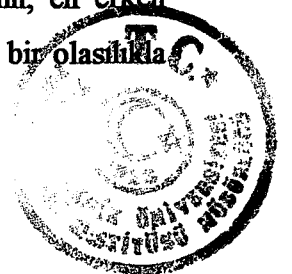
$$I_s = \langle i: x_i^{A_i} \neq \alpha_i^{A_i}, i \in I, A_i \in \langle \sigma_i, \dots, \varepsilon_i - 1 \rangle \rangle \text{ ve}$$

$$J_s = \langle j: \bar{x}_j^{A_j} \neq \bar{\alpha}_j^{A_j}, j \in J, A_j \in \langle \bar{\varepsilon}_j, \dots, \bar{\sigma}_j - 1 \rangle \rangle.$$

7.2.3 En Erken Çatışmanın ve Parametrelerinin Belirlenmesi

Pratik anlamda, bir trenlerarası çatışma, zıt yönde hareket etmekte olan iki trenin tek hatlı bir demiryolu üzerinde komşu iki buluşma noktası arasında karşılaşması, veya aynı yönde hareket etmekte olan iki trenden (arkada) hızlı olanın (önde) yavaş olanı yakalaması durumunda meydana gelir. Bu çalışmada sunulan sezgisel algoritma her defasında bir çatışmayı belirler ve çözer; bu çatışma da zamansal olarak, gerçekleşen en erken çatışma olmaktadır. En erken çatışmanın, zaman içinde daha sonra gerçekleşeceği öngörülen diğer (*potansiyel*) çatışmalara göre gerçekleşme olasılığının daha yüksek olduğunu kabul etmek pek de hatalı değildir. Tren trafiğinin zamanla konum değiştirmesine rağmen, en erken çatışmaya katılacak trenleri, çatışmanın yeri ve zamanını analitik olarak yüksek bir güvenle tahmin etmek mümkündür.

Çözümlemede en erken çatışmanın başlangıç olarak seçilmesinin nedenini anlamak için, bu çatışmada yer alan trenlerin *potansiyel çatışmalarını* ele almak durumundayız (burada, en erken çatışma da bir potansiyel çatışmadır.) Trenin potansiyel çatışmalarının, en erken çatışma'dan önce çözülmesi durumunda, en erken çatışmanın çözümü büyük bir olasılıkla



(kendilerine öncelik verilmiş olan) potansiyel çatışma çözümlerini geçersiz kılacak; böylece, hesaplama için harcanan çabaların büyük kısmı boşa gitmiş olacaktır. Bu açıklamadan çıkarılabilecek sonuç, bir trenin en erken çatışmasının trenin potansiyel çatışmalarından bağımsız olduğu, potansiyel çatışmaların ise en erken çatışmaya bağımlı olduğudur. Sistemde, çizelgeden sapan farklı trenlerin en erken çatışmaları bulunabilir. Bu durumda, bu çatışmalar arasından da en erken olanı çözümlenmek üzere seçilir. Sezgisel algoritma en erken çatışmaları, sırasıyla ve her defasında bir çatışma olmak üzere, belirleyip çözümler ilerler.

En erken çatışmanın parametrelerini belirlemek amacıyla, sırasıyla *kesikli olay ve sürekli simülasyon* kullanılmıştır. Burada parametreler, çatışmaya girecek trenler, çatışmanın yeri (buluşma kesimi) ve zamanı olmaktadır. Çizelgeden sapan her trenin en erken çatışmasına katılan tren ve çatışmanın olacağı buluşma kesimi, kesikli olay simülasyonu yardımıyla bulunur. Çatışmanın kesin yer ve zamanı sürekli simülasyon kullanılarak belirlenir.

7.2.3.1 Kesikli Olay Simülasyonu

Simülasyon yordamını açıklamadan önce yapılması gereken bazı tanımlar vardır. Bunlar *eleman, olay, giriş değişkeni ve gelecek olay listesi (GOL)*'dir (Bank ve Carson, 1984).

Simülasyona esas olan sistem *elemanları* daha önce modelde tanımlanmış olan trenler, buluşma noktaları (istasyon/saydın'ler) ve buluşma (noktaları arasındaki hat) kesimleridir. Bir trenin bir buluşma noktasından kalkışı, bir buluşma noktaya varışı *olay* olarak adlandırılır. Trenin iki ardışık olayı, örneğin kalkış-varış (seyir) veya varış-kalkış (durma) arasındaki ilişki *giriş değişkeni* ile sağlanır. Örneğin tren *i*'ye ait olaylar aşağıdaki gibidir:

$$a_i^{m+1} = a_i^m + \tau_i^m \text{ ve } a_i^m = a_i^m + (\delta_i^m - \alpha_i^m)$$

Burada, *varış olayı* a_i^{m+1} ve *kalkış olayı* a_i^m olmakta; *giriş değişkenleri* ise *seyir süresi* τ_i^m ve *duruş süresi* $(\delta_i^m - \alpha_i^m)$ ile gösterilmektedir.



Planlanmış zamandan sapma gösteren her trene ait olaylar her buluşma noktası için, trenin hareket yönüne göre sırasıyla belirlenir. Örneğin, önceden hazırlanmış seyir planından sapma gösteren ve m buluşma noktasında bulunan ($m+1$ buluşma noktasına doğru hareket edecek olan) tren i 'ye ait gelecek olaylar (d_i^m, a_i^{m+1}) olarak belirlenir. Sistemdeki diğer trenlere ait, buluşma noktaları m ve $m+1$ arasındaki (buluşma kesimi m), benzer olaylar da karşılaştırma yapabilmek amacıyla saptanır. Trenlere ait olaylar, tren i 'nin hareket yönünde bulunan buluşma noktaları için üretilir. Trenlerin bu kalkış ve varış olay çiftleri *gelecek olaylar listesi*'ni oluşturur. Liste, ilk çatışma saptandığında yada tren i 'nin son istasyona varışıyla son bulur. Tablo 7.1, d_i^m anında çizelgeden sapan tren i 'nin ve diğer trenlerin *GOL*'sini, ve çatışmanın varlığına ilişkin bilgiyi gösterir. Bir çatışmanın varlığının belirlenebilmesi için trenlerin gelecek olaylarının karşılaştırılması gereklidir. Bu işlem, tren hareketlerinin uygulanabilir (fizibil) olup olmadığının belirlenmesidir. Örneğin çizelgeden sapan tren i ($i \in I$) ve diğer trenler k ve s ($k \in I$ ve $s \in J$)'nin hareketlerinin uygulanabilirlik testi aşağıdaki gibi yapılır:

Tablo 7.1 Kesikli olay simülasyonu

Buluşma N./ buluşma ke.	Çizelgeden sapan tren	Çizelgeden sapan trene ait <i>GOL</i>	Sistemdeki diğer trenlere ait <i>GOL</i>	Çatışma var mı?
m	$i(i \in I_s)$	d_i^m, a_i^{m+1}	$d_k^m, a_k^{m+1} \quad k \in I, i \neq k$ $\bar{d}_s^{m+1}, \bar{a}_s^m \quad s \in J$	var/yok var/yok

Aşağıdaki eşitsizliklerin her ikisinin de aynı anda ihlal edilmesi, aynı yönde hareket eden (giden) tren i ve tren k arasında bir çatışma (izleme ve önegeçme çatışması) bulunduğu anlamına gelir:

$$d_i^m - d_k^m \geq \eta_{ki}^m \quad \text{ve} \quad d_k^m - d_i^m \geq \eta_{ik}^m;$$

Çatışmanın varlığını göstermek için aşağıdaki özel gösterimden faydalanılabilir:

$i // k = 1; m$: tren i ve tren k arasında, buluşma kesimi m 'de çatışma var,
 $i // k = 0; m$: çatışma yok.

Benzer şekilde, aşağıdaki eşitsizliklerin her ikisinin de aynı anda ihlal edilmesi, zıt yönde hareket eden tren i ve tren s arasında bir çatışma (karşılaşma çatışması) bulunduğu anlamına gelir:

$$d_i^m - \bar{a}_s^m \geq \rho_{si}^m \quad \text{ve} \quad \bar{d}_s^{m+1} - a_i^{m+1} \geq \rho_{ij}^{m+1};$$

$i \times s = 1; m$: tren i ve tren s arasında, buluşma kesimi m 'de çatışma var,
 $i \times s = 0; m$: çatışma yok.

Kesikli olay simülasyonunun sonucu olarak, her tren i ($i \in I_s$) ve her tren j ($j \in J_s$)'nin katıldığı en erken çatışmanın parametrelerinin kümesini, sırasıyla

$$S_i(k, s; m) = \langle k, s: i // k = 1, m; i \times s = 1, m; i \in I_s, k \in I, i \neq k; s \in J \rangle,$$

$$S_j(k, s; m) = \langle k, s: j \times k = 1, m; j \setminus s = 1, m; k \in I; j \in J_s, s \in J, j \neq s \rangle.$$

olarak gösterelim.

7.2.3.2 Sürekli Simülasyon

Önceki kısımda, önceden hazırlanmış çizelgeden sapan her trenin en erken çatışmasına ait parametrelerin kümesi, $S_i(k, s; m)$ ve $S_j(k, s; m)$ olarak belirlenmişti. Şimdi, bu kümeler içinden en erken çatışmanın bulunup parametrelerinin belirlenmesi gerekmektedir. Simülasyon, çatışan trenlerden birinin kalkış zamanında başlayıp, önceden belirlenmiş Δt simülasyon adımı uzunluğuyla devam eder. Her simülasyon zamanında, çatışmaya giren trenlerin buldukları yer hesaplanarak karşılaştırılır. Trenler aynı yerde aynı zamanda buldukları zaman, simülasyon zamanı kaydedilir ve bu tren çifti için simülasyon

tamamlanır. Son olarak, en erken çatışma aday çatışmalar arasından çözümlenmek üzere seçilir. Çizelgeden sapan tren i 'nin en erken çatışmasına ait parametreler aşağıdaki gibidir:

$$\{i; k \text{ veya } s; m: \text{enk}[\{\text{tren } i \text{ ve tren } k \text{ arasında çatışmanın gerçekleştiği zaman}\}, \\ \{\text{tren } i \text{ ve tren } s \text{ arasında çatışmanın gerçekleştiği zaman}\}], i \in I_s, k, s \in S_i(k, s; m), \\ i \neq k, m \in \langle \sigma_i, \dots, \varepsilon_i - 1 \rangle \cap \langle \sigma_k, \dots, \varepsilon_k - 1 \rangle \text{ veya } m \in \langle \sigma_i, \dots, \varepsilon_i - 1 \rangle \cap \langle \bar{\varepsilon}_j, \dots, \bar{\sigma}_j - 1 \rangle \}.$$

Simülasyonun çalışmasına ait detaylı açıklama aşağıda verilmektedir. Sürekli simülasyonun başlayacağı zaman, karşılaşma, ve izleme ve önegeçme çatışmaları için (simülasyon süresini en azda tutmak amacıyla) aşağıdaki şekilde belirlenir:

Karşılaşma çatışması için:

Çatışan trenler: i ve s

Buluşma kesimi: m (buluşma noktaları m ve $m+1$ arası)

Simülasyonun başlama zamanı:

$SST_{is} = d_i^m : (\bar{a}_s^m - d_i^m) \leq (a_i^{m+1} - \bar{d}_s^{m+1})$; aksi taktirde,

$SST_{is} = \bar{d}_s^{m+1} : (\bar{a}_s^m - d_i^m) > (a_i^{m+1} - \bar{d}_s^{m+1})$ olmaktadır.

İzleme ve önegeçme çatışması (giden tren çifti) için:

Çatışan trenler: i ve k

Buluşma kesimi: m (buluşma noktaları m ve $m+1$ arası)

Simülasyonun başlama zamanı:

$SST_{ik} = d_i^m : (a_i^{m+1} - d_i^m) \leq (a_k^{m+1} - d_k^m)$; aksi taktirde,

$SST_{ik} = d_k^m : (a_i^{m+1} - d_i^m) > (a_k^{m+1} - d_k^m)$ olmaktadır.

Dönen trenler arasındaki izleme ve önegeçme çatışmaları için de benzer işlem yapılır.)

Sürekli simülasyon süresince aranması gereken bilgi, daha önce de belirtildiği gibi, en erken çatışmaya katılan trenlerin ve bu çatışmanın yer ve zamanının kesin olarak saptanmasıdır. Bu amaçla, potansiyel bir çatışma içinde bulunan tren çiftlerinin birim

buluşma noktası aralığı için hızları belirlenir. Örneğin, bir karşılaşma çatışması için, trenler i ve s 'nin hızları:

$$V_i = 1/(a_i^{m+1} - d_i^m); \quad \bar{V}_s = 1/(\bar{a}_s^m - \bar{d}_s^{m+1})$$

olarak belirlenir. Simülasyon hızı, seçilen simülasyon adımı uzunluğu ile belirlenir (örneğin, $\Delta t=1$ dakika). Daha sonra trenler hareket zamanları d_i^m ve \bar{d}_s^{m+1} itibariyle aktif hale getirilir ve her bir simülasyon adımı, $SAAT_{is}$ ($SAAT_{is}=SAAT_{is}+\Delta t$) için, kendi hızlarına bağlı olarak aldıkları yol aşağıdaki şekilde hesaplanır:

Karşılaşma çatışması için:

$$SST_{is}=d_i^m \text{ ise; } l_i = SAAT_{is} * V_i; \quad \bar{l}_s = [(\bar{a}_s^m - d_i^m) - SAAT_{is}] * \bar{V}_s$$

$$SST_{is}=\bar{d}_s^{m+1} \text{ ise; } l_i = [(a_i^{m+1} - \bar{d}_s^{m+1}) - SAAT_{is}] * V_i; \quad \bar{l}_s = SAAT_{is} * \bar{V}_s$$

olmaktadır. Tren i ve tren s 'nin çatışma halinde olması için, trenlerin buluşma kesimi m içinde aynı yerde aynı zamanda bulunmaları gerek ve yeter şarttır. Bunun için $l_i = \bar{l}_s$ olmalıdır.

İzleme ve Önegeçme çatışması için:

$$SST_{ik}=d_i^m \text{ ise; } l_i = SAAT_{ik} * V_i; \quad l_k = [(d_i^m - d_k^m) + SAAT_{ik}] * V_k$$

$$SST_{ik}=d_k^m \text{ ise; } l_i = [(d_k^m - d_i^m) + SAAT_{ik}] * V_i; \quad l_k = SAAT_{ik} * V_k$$

olmaktadır. Tren i ve tren k 'nin çatışma halinde olması için, trenlerin buluşma kesimi m içinde aynı yerde aynı zamanda bulunmaları gerek ve yeter şarttır. Bunun için $l_i = l_k$ olmalıdır. Benzer şekilde aynı işlemler gerekirse dönen tren çiftleri için de yapılmalıdır.

Yukarıdaki işlem, sürekli simülasyon uygulanacak tüm çatışmalar için tekrar edilir ve en erken gerçekleşen çatışmaya katılan tren çifti ve çatışmanın gerçekleşeceği buluşma kesimi belirlenir:

$$\{i, s \text{ veya } i, k; m: \text{enk}\{(SST_{is} + SAAT_{is}), (SST_{ik} + SAAT_{ik})\}\}.$$



7.2.4 En Erken Çatışmanın Alternatif Çözümleri

Tek hatlı bir demiryolunda çatışmalar zıt ve aynı yönde hareket eden tren çiftleri arasında olmaktadır. Zıt yönde hareket eden tren i ve tren s 'nin komşu buluşma noktaları m ve $m+1$ arasında karşılaşması nedeniyle olacak çatışmanın iki çözümü vardır:

1. Tren i çatışmadan önce ayrıldığı istasyonda, tren s 'nin buluşma kesimi m 'yi boşalttığı zamana (yani, en küçük karşılaşma/güvenlik süresi) kadar bekletilir;
2. Tren s çatışmadan önce ayrıldığı istasyonda, tren i 'nin buluşma kesimi m 'yi boşalttığı zamana (yani, en küçük karşılaşma/güvenlik süresi) kadar bekletilir.

Aynı yönde hareket eden giden trenler i ve k 'nin (ya da dönen trenler j ve s 'nin) komşu buluşma noktaları m ve $m+1$ arasında buluşması nedeniyle olacak çatışmanın iki çözümü vardır:

1. Tren i (j) çatışmadan önce ayrıldığı buluşma noktasında, komşu buluşma noktasına, tren k (s)'nin ardından, hız kısıtı yapmaksızın varabilmesi için gerekli en küçük izleme süresi kadar bekletilir;
2. Tren k (s) çatışmadan önce ayrıldığı buluşma noktasında, komşu buluşma noktasına, tren i (j)'nin ardından, hız kısıtı yapmaksızın varabilmesi için gerekli en küçük izleme süresi kadar bekletilir.

Burada, trenin bekletileceği buluşma noktasında işgal edilmemiş en az bir hat bulunduğu kabul edilmiştir.

7.2.5 Alternatif Çözümlerin Değerlendirilmesi: *Bir İleri Bakış Yöntemi*

En erken çatışmanın alternatif çözümlerini değerlendirmek amacıyla, sistemdeki trenlerin belirli bir zaman aralığı içindeki hareketlerine ilişkin olarak yapılan öngörüler kullanılmaktadır. Bir başka deyimle, her trenin son varış noktasına kadar geçireceği



evreler, gireceği potansiyel çatışmalar ve bunların çözümleriyle birlikte ele alınmakta; ve trenin son varış noktasına ne zaman varacağı tahmin edilmektedir. Hesaplanan bu zamanlar daha sonra önceden hazırlanmış çizelgedeki zamanlarla karşılaştırılarak, sistemde en küçük gecikme toplamı oluşturan alternatif çözüm seçilmektedir. Algoritma iki önemli unsurunu ilk kez bir arada kullanmaktadır: *İleri bakış yöntemi ve dinamik öncelik sayılarını* kullanan trenlerarası çatışma yönetimi. Daha önceki bölümlerde gösterildiği üzere, dispeçerin karar davranışına ilişkin seçim modelini başarılı olarak oluşturulmuştur. Ancak, çatışma çözümlerinde sadece dinamik öncelik sayılarının kullanımı, mevcut pratiği yansıtmamasına rağmen, etkin işletmecilik açısından uygun olmayabilir. Bu nedenle, sözü edilen tüm bu konuları etkili bir yapıda içinde barındıran bir sezgisel algoritma geliştirilmiştir. Algoritma aşağıdaki kısımlarda açıklanmaktadır.

7.2.5.1 Zaman Aralığının Uzunluğu

Demiryolu trafik kontrol problemi belirli bir zaman aralığı için çözülür. Problem, ya şu andaki (şimdiki) zaman ya da belirli bir normal dışı durumun giderileceği beklenen zaman, H_s 'de başlar. Zaman aralığının sonunu $H_e = H_s + \Delta H$ ile gösterelim; burada ΔH zaman aralığının uzunluğu olup, büyüklüğünün belirlenmesi için çeşitli kriterler kullanılır. Zaman aralığının çok dar seçilmesi, algoritmanın miyopik kararlar vermesine neden olacağı için, seçilen alternatifin sistemdeki diğer trenler üzerindeki (olumsuz) etkisini gözardı edecektir. Çok geniş seçilen zaman aralığı ise, hesaplama açısından oldukça yüklü olup; ayrıca, zaman içinde nasıl bir durum alacağı yüksek kesinlikle bilinmeyen uzaktaki tren hareketlerini (deterministik olarak) gözönüne alacağı için, olumlu sonuçlar vermeyebilir. Bu nedenlerle, zaman aralığı uygun bir uzunlukta seçilmelidir. Aşağıda bu amaca yönelik olarak iki öneri sunulmaktadır:

1. Zaman aralığı, şu andaki zaman ya da en erken çatışmadan sonra, trenlere ait en az bir kaç planlanmış varış/kalkış zamanını kapsayacak uzunlukta seçilmeli, veya



2. Zaman aralığı, şu andaki zaman ya da en erken çatışmadan sonra, şu anda sistemde olan trenlerin sistemi terk ettiği anda son bulmalıdır.

7.2.5.2 Beklenen Varış Zamanları

Şu anda buluşma noktası A_i 'de olan tren i 'nin, son varış noktasına (ya da planlanmış varışının olduğu bir buluşma noktasına) beklenen varış zamanını aşağıdaki gibi hesaplayabiliriz:

$$x_i^a = a_i^{A_i} + (d_i^{A_i} - a_i^{A_i}) + \sum_{m \in \{A_1, \dots, A_n\}} \tau_i^m + \sum_{s \in S_i(s)} D_{is} + \sum_{k \in S_i(k)} D_{ik}$$

burada,

- x_i^a : Tren i 'nin son varış noktası ε_i 'ye beklenen varış zamanı,
 $a_i^{A_i}$: Tren i 'nin buluşma noktası A_i 'ye gerçek varış zamanı,
 $d_i^{A_i}$: Tren i 'nin şu anda bulunduğu buluşma noktası A_i 'den gerçek kalkış zamanı,
 $(d_i^{A_i} - a_i^{A_i})$: En erken çatışmanın çözümü sebebiyle buluşma noktası A_i 'de beklenen tren i 'nin gecikme süresi.
 τ_i^m : Tren i 'nin buluşma noktaları m ile $m+1$ arasındaki tabii seyir süresi,
 $S_i(s), S_i(k)$: Tren i 'nin sırasıyla, çatışmaya girdiği zıt yöndeki s ve aynı yöndeki k trenlerinin kümesi,
 D_{is}, D_{ik} : Tren i 'nin sırasıyla, tren s ve tren k ile girdiği potansiyel çatışmalardan dolayı ortalama gecikme süreleri,

Yukarıda verilen, tren i 'nin beklenen varış zamanı eşitliğinde bulunan ikinci terim, trenin buluşma noktası A_i 'deki gecikme süresini; üçüncü terim, trenin buluşma noktaları A_i ve ε_i arasındaki tabii seyir süresini; dördüncü terim, trenin ortalama karşılaşma gecikmelerinin toplamını; ve son terim, trenin ortalama izleme ve önegeçme gecikmelerinin toplamını



göstermektedir. Tren i 'nin, potansiyel çatışmalarından dolayı maruz kaldığı gecikmelerinin toplamı:

$$D_i = \sum_{s \in S_i(s)} D_{is} + \sum_{k \in S_i(k)} D_{ik}$$

olmaktadır. Benzer şekilde, tren j 'nin beklenen varış zamanı aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

$$\bar{x}_j^{\bar{a}} = \bar{a}_j^{A_j} + (\bar{d}_j^{A_j} - \bar{a}_j^{A_j}) + \sum_{m \in \langle A_j, \dots, \bar{a}_j - 1 \rangle} \bar{v}_j^m + \sum_{k \in \bar{S}_j(k)} D_{jk} + \sum_{s \in \bar{S}_j(s)} D_{js}.$$

(Not: Hesap kolaylığını sağlamak amacıyla trenlerin ara buluşma noktalarında yolcu ve yük hizmetleri için planlanmış duruşunun olmadığı kabul edilmiştir.)

7.2.5.2.1 Potansiyel Çatışmaların Kümesi

Bir trenin potansiyel çatışmalarının kümesi, sadece tren çiftleri arasında çatışma olup olmadığının belirlendiği (çatışma parametrelerinin saptanmasına gerek olmadığı) makro düzeyde oluşturulacaktır. Çatışmaların belirlenebilmesi amacıyla, trenlerin gerçek kalkış zamanları ve ilgili buluşma noktalarına beklenen varış zamanları, karşılaştırma yapmak üzere dikkate alınır.

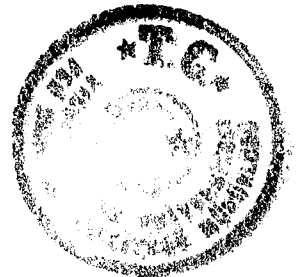
Böylece, tren i 'nin trenler s ve k ile girdiği potansiyel (karşılaşma, ve izleme ve önegeçme) çatışmalarının kümesi, sırasıyla,

$$S_i(s) = \langle s: d_i^{A_i-1} < \bar{x}_s^{A_i-1} \text{ ve } \bar{d}_s^{A_i+1} < x_i^{A_i+1} \rangle;$$

$$S_i(k) = \langle k: d_k^{m-1} < d_i^{m-1} \text{ ve } x_i^{\bar{a}} < x_k^{\bar{a}} \text{ veya}$$

$$d_i^{m-1} < d_k^{m-1} \text{ ve } x_k^{\bar{a}} < x_i^{\bar{a}}; m = \text{enk}(A_i, A_k) \rangle$$

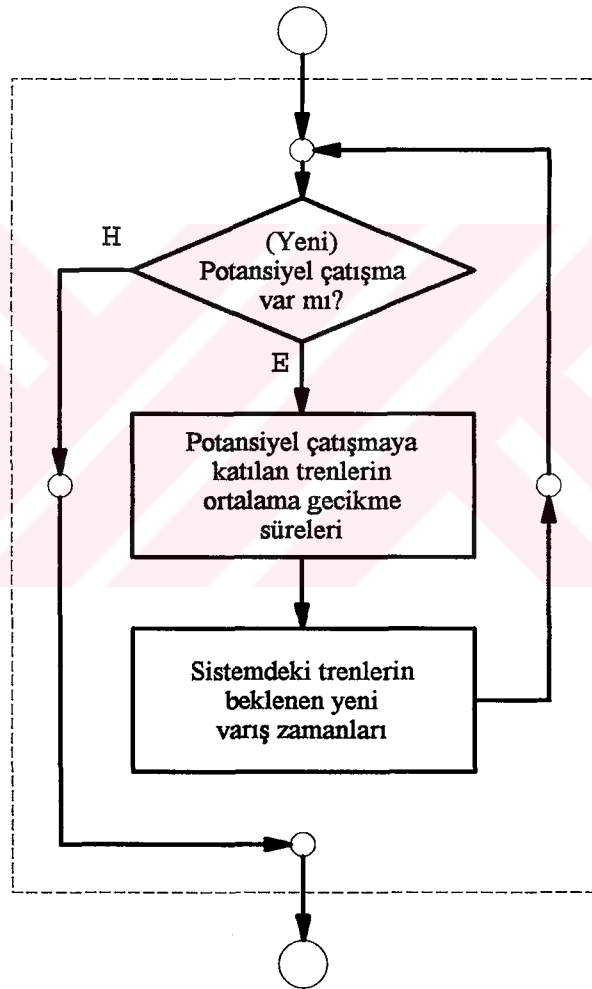
ve tren j 'nin potansiyel çatışmalarının kümesi



$$\bar{S}_j(k) = \langle k: d_k^{A_k-1} < \bar{x}_j^{A_k-1} \text{ ve } \bar{d}_j^{A_j+1} < x_k^{A_j+1} \rangle;$$

$$\bar{S}_j(s) = \langle s: \bar{d}_s^{m+1} < \bar{d}_j^{m+1} \text{ ve } \bar{x}_j^{\bar{\sigma}_j} < \bar{x}_s^{\bar{\sigma}_j} \text{ veya } \bar{d}_j^{m+1} < \bar{d}_s^{m+1} \text{ ve } \bar{x}_s^{\bar{\sigma}_j} < \bar{x}_j^{\bar{\sigma}_j}; m = \text{enb}(A_j, A_s) \rangle$$

olmaktadır. Burada belirtilmesi gereken önemli nokta, potansiyel çatışmalar kümesinin trenlerin beklenen varış zamanlarıyla bağlantılı olarak iteratif bir hesaplama tarzında oluşturulduğudur (Şekil 7.2).



Şekil 7.2

Sistemdeki her trenin varış noktasına beklenen varış zamanının iteratif hesabı.

7.2.5.2.2 Ortalama Gecikme Süreleri

Ortalama gecikme sürelerinin hesabında Petersen (1974) ya da English ve Schwier (1977)'de sunulan analitik modeller kullanılabilir. Ancak, bu çalışmada ortaya konan dinamik öncelik sayısı kavramı, verilen analitik modellere uygun bir şekilde katılmakta; bu amaçla, tren çiftleri için tanımlanan yeni bir kavram, *kesikli öncelik* tanıtılmaktadır. Kesikli önceliklerin hesaplanabilmesi için üç farklı modelden faydalanılmıştır: ikili logit model, doğrusal model 1 ve doğrusal model 2. Aşağıda sunulan ikili logit model EK 1'de oluşturulmuştur (diğer modeller Bölüm 8'de sunulacaktır.) Buna göre, çatışan trenler i ve j için ikili logit model:

$$P_{ij} = \frac{e^{4.832215V_i}}{e^{4.832215V_i} + e^{4.832215V_j}}$$

Burada, P_{ij} , tren i 'nin tren j ile girdiği çatışma nedeniyle bekletilme olasılığını vermektedir. Benzer şekilde tren j 'nin bekletilme olasılığı $P_{ji} = 1 - P_{ij}$ olmaktadır.

Aşağıda Petersen (1974)'den alınan karşılaşma, ve izleme ve önegeçme gecikmelerinin modelleri ve açıklamaları, sırasıyla bulunmaktadır:

Karşılaşma Gecikmeleri

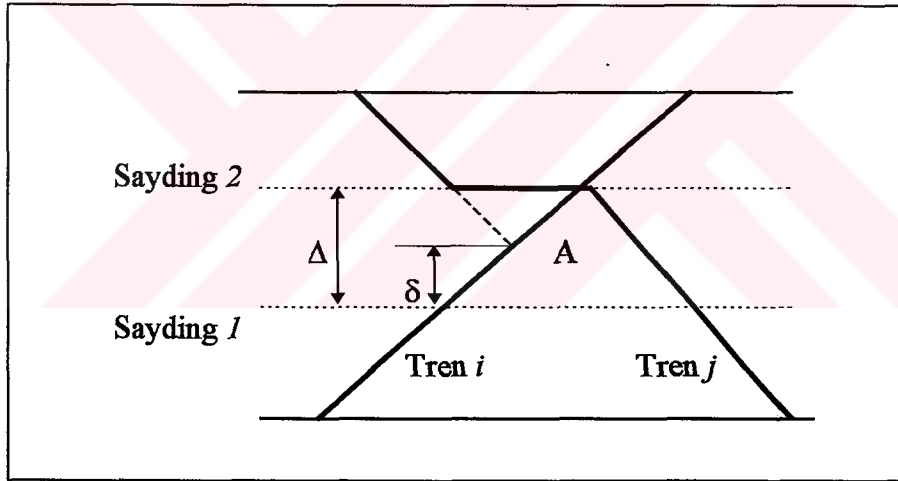
Bu kısımda her karşılaşma sonucu meydana gelen ortalama gecikme süresinin ifadesi çıkartılacaktır. Kabul gereği, ele alınan demiryolu kesiminde, aralarındaki mesafe (Δ) eşit olan NS adet sayding (buluşma noktası) bulunmaktadır. Tren i 'nin yavaşlaması, saydinge girmesi ve tekrar normal hızına yükselmesi için kaybettiği süre SW_i ile ifade edilir.

Şekil 7.3 tren j 'nin tren i 'yi beklediği bir karşılaşma çatışmasının çözümünü göstermektedir. Tren j sayding 2'de beklememiş olsaydı, trenler, gösterildiği gibi sayding

I' 'den δ mesafesindeki A noktasında karşılaşacaklardı. Bu durumda tren i gecikmemekte, fakat tren j 'nin gecikmesi

$$W_i = \left(\frac{\Delta - \delta}{\Delta} \right) \left(\frac{\sum_{m \in \langle \bar{a}_i, \bar{a}_i - 1 \rangle} \bar{t}_i^m + \sum_{m \in \langle \bar{e}_j, \bar{e}_j - 1 \rangle} \bar{t}_j^m}{NS + 1} \right) + SW_j \text{ , olmaktadır.}$$

Şimdi, P_{ij} 'nin, tren i 'nin tren j 'yi bekleme olasılığı olduğunu kabul edelim. Bu durum şu şekilde yorumlanabilir: Eğer A çatışma noktası, sayding I' 'den $P_{ij}\Delta$ mesafesi içindeyse, tren i tren j 'yi bekler; aksi takdirde, tren j tren i 'yi bekler. Tren i 'nin ortalama gecikmesini hesaplamak için, A noktasının bu mesafe içinde herhangi bir yerde olma olasılığından hareketle, bir ortalama değer bulunur. A noktasının sayding I' 'den δ mesafesinde olması durumunda, tren i 'nin gecikmesi:



Şekil 7.3 Karşılaşma çatışması

$$W_i = \begin{cases} \frac{\delta}{\Delta} \left(\frac{\sum_{m \in \langle \bar{a}_i, \bar{a}_i - 1 \rangle} \bar{t}_i^m + \sum_{m \in \langle \bar{e}_j, \bar{e}_j - 1 \rangle} \bar{t}_j^m}{NS + 1} \right) + SW_i; & \delta < P_{ij}\Delta \\ 0; & \text{aksi takdirde} \end{cases}$$

bu ifadenin ortalaması alınırsa,



$$D_{ij} = \frac{1}{\Delta} \int_0^{\Delta} W d\delta \quad \text{veya}$$

$$D_{ij} = P_{ij} \left(\frac{P_{ij} \left(\sum_{m \in \langle \alpha_i, \dots, \alpha_i-1 \rangle} \bar{t}_i^m + \sum_{m \in \langle \bar{\alpha}_j, \dots, \bar{\alpha}_j-1 \rangle} \bar{t}_j^m \right)}{2(NS+1)} + SW_i \right) \text{ olur.}$$

Benzer şekilde, tren j 'nin ortalama karşılaşma gecikmesi:

$$D_{ji} = P_{ji} \left(\frac{P_{ji} \left(\sum_{m \in \langle \alpha_i, \dots, \alpha_i-1 \rangle} \bar{t}_i^m + \sum_{m \in \langle \bar{\alpha}_j, \dots, \bar{\alpha}_j-1 \rangle} \bar{t}_j^m \right)}{2(NS+1)} + SW_j \right) \text{ olur.}$$

Burada, $P_{ji} = 1 - P_{ij}$ olduğu tekrar anımsanmalıdır.

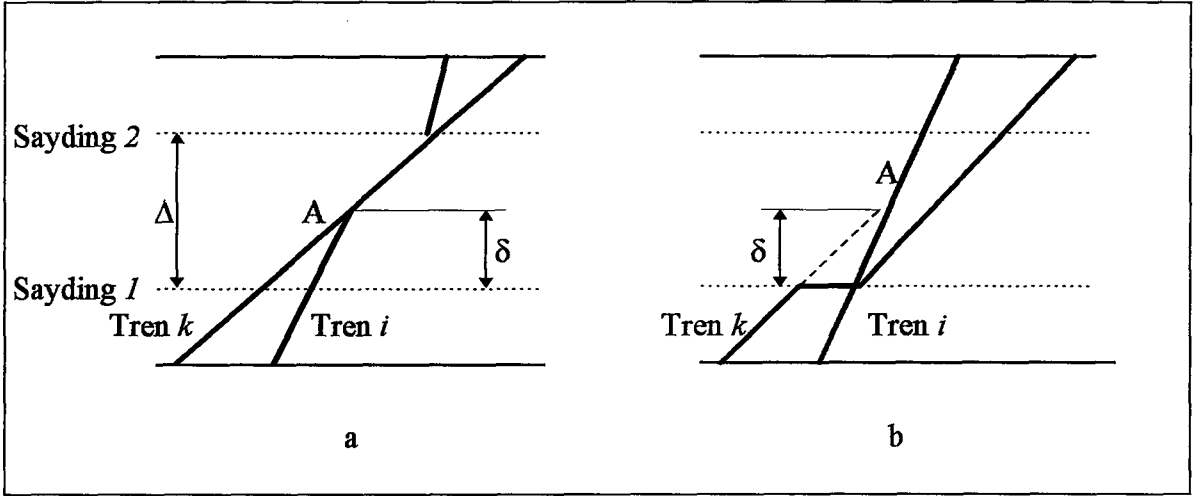
P_{ij} , tren i 'nin tren j 'ye göre bir karşılaşma sırasındaki üstünlüğünü göstermektedir. Eğer $P_{ij}=0.2$ ise, tren i ve tren j arasındaki karşılaşmaların yüzde 20'sinde tren i tren j 'yi bekler. Tren i 'nin bu yüzde 20'lik gecikmeleri rastgele seçilmeyip, girdiği karşılaşma çatışmalarının yüzde 20'sinde en az gecikmeye uğrayacak şekilde bekletilir. Bir başka yorum ise, tren i 'nin bekletilmesinin, A çatışma noktasının sayding I 'den, sayding aralığının yüzde 20'si kadar uzaklıkta olması durumunda gerçekleşecektir.

İzleme ve Önegeçme Gecikmesi

Şekil 7.4 a ve b'de görüldüğü gibi, tren i ve tren j arasındaki çatışma için iki durum sözkonusudur. Şekil 7.4a'da, tren i gecikerek tren k 'yi, önegeçmenin gerçekleşeceği bir sonraki saydinge kadar, izler. Bu durumda gecikmeler:

$$W_i = \left(\frac{\Delta - \delta}{\Delta} \right) \left(\frac{\sum_{m \in \langle \alpha_k, \dots, \alpha_k-1 \rangle} \bar{t}_k^m + \sum_{m \in \langle \alpha_i, \dots, \alpha_i-1 \rangle} \bar{t}_i^m}{NS+1} \right) + \frac{SW_k}{2},$$

$W_k = SW_k$ olmaktadır.



Şekil 7.4 İzleme ve önegeçme çatışması

İkinci durum Şekil 7.4b'de görülmekte ve tren k , sayding 1'de tren i geçene kadar beklemektedir. Gecikmeler aşağıdaki gibidir:

$$W_i = 0$$

$$W_k = \frac{\delta}{\Delta} \left(\frac{\sum_{m \in \{\sigma_k, \dots, \sigma_k - 1\}} v_k^m - \sum_{m \in \{\sigma_i, \dots, \sigma_i - 1\}} v_i^m}{NS + 1} \right) + SW_k.$$

P_{ik} 'nin, tren i 'nin tren k tarafından geciktirilme olasılığı olduğunu kabul edelim, $(\sum v_i^m < \sum v_k^m)$. Böylece, $(\sum v_i^m > \sum v_k^m)$ için $P_{ik} = 1 - P_{ki}$ elde edilir.

Bu ifadenin ortalaması alınrsa, tren i 'nin ortalama gecikmesi elde edilir:

$$D_{ik} = \frac{1}{\Delta} \int_{(1-P_{ki})\Delta} W_i d\delta$$

$$D_{ik} = P_{ik} \left(\frac{\sum_{m \in \langle \sigma_k, \dots, \varepsilon_k - 1 \rangle} \tau_k^m - \sum_{m \in \langle \sigma_i, \dots, \varepsilon_i - 1 \rangle} \tau_i^m}{2(NS+1)} + \frac{SW_k}{2} \right); \quad \sum_{m \in \langle \sigma_i, \dots, \varepsilon_i - 1 \rangle} \tau_i^m < \sum_{m \in \langle \sigma_k, \dots, \varepsilon_k - 1 \rangle} \tau_k^m.$$

Benzer şekilde, tren k 'nin ortalama gecikmesi:

$$D_{ki} = \frac{1}{\Delta} \int_0^{\Delta} \delta \left(\frac{\sum_{m \in \langle \sigma_k, \dots, \varepsilon_k - 1 \rangle} \tau_k^m - \sum_{m \in \langle \sigma_i, \dots, \varepsilon_i - 1 \rangle} \tau_i^m}{(NS+1)} + SW_k \right) d\delta + \frac{1}{\Delta} \int_{P_{ki}}^{\Delta} SW_k d\delta$$

veya

$$D_{ki} = (P_{ki})^2 \left(\frac{\sum_{m \in \langle \sigma_k, \dots, \varepsilon_k - 1 \rangle} \tau_k^m - \sum_{m \in \langle \sigma_i, \dots, \varepsilon_i - 1 \rangle} \tau_i^m}{2(NS+1)} \right) + SW_k; \quad \sum_{m \in \langle \sigma_k, \dots, \varepsilon_k - 1 \rangle} \tau_k^m > \sum_{m \in \langle \sigma_i, \dots, \varepsilon_i - 1 \rangle} \tau_i^m$$

olur. Burada, $P_{ki}=1-P_{ik}$ olmaktadır. P_{ik} , tren i 'nin tren k 'nin önüne geçmesi durumunda, tren i 'nin tren k 'ye göre önceliğini ifade eder. P_{ik} , ayrıca, tren k 'nin tren i 'nin önüne geçmesi durumuna ilişkin olarak, tren i 'nin bekleme olasılığını da gösterir. Fakat, $P_{ik}=0.3$ ise, tren i , kendisine en az gecikme yaptıracak şekilde, çatışmaların sadece yüzde 30'unda geciktirilir. Yani, tren i , çatışma noktasının bir sonraki saydingten, sayding aralığının en çok yüzde 30'u kadar uzakta olması durumunda bekletilir. Ayrıca, $P_{ki}=1-P_{ik}$ olmaktadır.

Ortalama izleme ve önegeçme gecikme ifadeleri benzer şekilde dönen tren çiftleri için de yazılabilir:

$$D_{js} = P_{js} \left(\frac{\sum_{m \in \langle \bar{\varepsilon}_s, \dots, \bar{\sigma}_s - 1 \rangle} \bar{\tau}_s^m - \sum_{m \in \langle \bar{\varepsilon}_j, \dots, \bar{\sigma}_j - 1 \rangle} \bar{\tau}_j^m}{2(NS+1)} + \frac{SW_s}{2} \right); \quad \sum_{m \in \langle \bar{\varepsilon}_j, \dots, \bar{\sigma}_j - 1 \rangle} \bar{\tau}_j^m < \sum_{m \in \langle \bar{\varepsilon}_s, \dots, \bar{\sigma}_s - 1 \rangle} \bar{\tau}_s^m; \text{ ve}$$

$$D_{sj} = (P_{sj})^2 \left(\frac{\sum_{m \in \langle \bar{\varepsilon}_s, \dots, \bar{\sigma}_s - 1 \rangle} \bar{\tau}_s^m - \sum_{m \in \langle \bar{\varepsilon}_j, \dots, \bar{\sigma}_j - 1 \rangle} \bar{\tau}_j^m}{2(NS+1)} \right) + SW_s; \quad \sum_{m \in \langle \bar{\varepsilon}_s, \dots, \bar{\sigma}_s - 1 \rangle} \bar{\tau}_s^m > \sum_{m \in \langle \bar{\varepsilon}_j, \dots, \bar{\sigma}_j - 1 \rangle} \bar{\tau}_j^m.$$



7.2.5.3 En İyi Alternatifin Seçimi

Algoritmanın bu son aşamasında, en erken çatışmanın çözümüne ilişkin alternatiflerden biri etkinlik ölçütünün aldığı değere göre seçilir.

Bu aşamaya kadar, kabul edilen zaman aralığı içinde sistemde bulunan her trenin (ilgili buluşma noktalarına) beklenen varış zamanları belirlenmiştir. Önceden de belirtildiği gibi, bu çalışmada plan duyarlı işletmecilik ile ilgilenilmektedir, ve etkinlik ölçütü, her trenin (son varış noktasına) beklenen varış zamanının planlanmış zamandan (pozitif) sapmalarının (gecikmelerin) toplamı olmaktadır. Matematiksel olarak etkinlik ölçütü MoE, aşağıdaki gibi verilmektedir:

$$\text{MoE} = \sum_{i \in I} \text{enb}[(x_i^a - \alpha_i^a), 0] + \sum_{j \in J} \text{enb}[(\bar{x}_j^{\bar{a}} - \bar{\alpha}_j^{\bar{a}}), 0].$$

En erken çatışmanın iki farklı alternatif çözümü üretilmiş olduğundan, iki tane de MoE olmak durumundadır; örneğin, çatışan trenler i ve j 'nin MoE'leri sırasıyla $(\text{MoE})_i$ ve $(\text{MoE})_j$ olsun.

Böylece, alternatifler arasından seçim yapabilmek için gerekli ve yeterli bilgi elde edilmiş olmaktadır. En erken çatışmanın alternatif çözümü için bekletilen ve sonuç olarak sistemde en az gecikmeye neden olan tren seçilir:

bekletilmek üzere seçilen tren: $\{i \text{ veya } j: \text{enk}[(\text{MoE})_i, (\text{MoE})_j]\}$.

Algoritma, en erken çatışmanın çözümünden sonra yeni bir çatışma olup-olmadığının belirlenmesi amacıyla başa dönerek, en erken çatışmanın çözümünden hemen sonra sistemin durumunu tanımlar ve yeni bir çatışmanın bulunup bulunmadığını araştırır; ve işlem bu şekilde sürdürülür.



BÖLÜM 8

SAYISAL UYGULAMA ve SONUÇLARI

8.1 Giriş

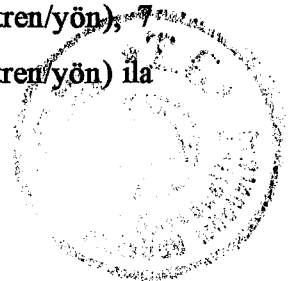
Bu bölümde, daha önceki bölümlerde demiryolu trafik kontrolü probleminin çözümüne yönelik olarak sunulan üç yöntem, farklı boyutlardaki ve değişik çizelge bilgilerini (örneğin, planlanmış kalkış ve varış zamanları, seyir süreleri) içeren örnek problemler için test edilmektedir. Bu yöntemler, optimal (kesin) çözüm, dispeçerin çözümü ve sezgisel algoritmanın çözümü olmaktadır.

Dispeçerin çözüm yöntemi ve sezgisel algoritmanın bilgisayar uygulamaları BASIC programlama dilinde hazırlanmıştır. Bilgi girişini ve rapor almayı kolaylaştırmak amacıyla bir kullanıcı arayüzü (user interface) de program içinde oluşturulmuştur. Optimal (kesin) çözümler ise LINDO (Schrage, 1991) paket programı yardımıyla bulunmuştur. Bilgisayar programları Pentium 90 Mhz işlemcili PC (kişisel bilgisayar) üzerinde çalıştırılmıştır.

Örnek problemlerde bulunan buluşma noktalarındaki hat sayısı ve uzunluklarının, bu noktalarda bekleyen trenler için yeterli olduğu kabul edilmiştir. Bu kabulün yapılmasının nedeni, kesin çözümü bulunacak olan örnek problemlerin matematiksel programın boyutunu sınırlamak; böylece çözüm sürelerinin kısaltılmasını sağlamaktır. Uygulamalarda en küçük izleme ve en küçük karşılaşma (güvenlik) süreleri sırasıyla, 10 ve 2 dakika olarak alınmıştır. Trenlerin ara buluşma noktalarında planlanmış duruşlarının olmadığı kabul edilmiştir. Bu çalışmadaki örnek problemler rastgele oluşturulmuştur.

8.2 Optimal (kesin) Çözüm

Daha önce de belirtildiği gibi, demiryolu trafik kontrolü problemi NP-complete sınıfına giren bir kombinatoriyal problem olup, sadece küçük boyutlu problemler için optimal (kesin) çözüm, kabul edilebilir süreler içinde bulunabilmektedir. Optimal çözüm için yapılan sayısal uygulamalar, boyutları 5 buluşma noktası ve 6 tren (3 + 3 tren/yön), 7 buluşma noktası 8 tren (5 + 3 tren/yön), 8 buluşma noktası ve 9 tren (5 + 4 tren/yön), 10 buluşma noktası ve 8 tren (4 + 4 tren/yön) ila



19 buluşma noktası ve 6 tren (3 + 3 tren/yön) arasında olan örnek problemleri içermektedir. Ayrıca, değişik çizelge bilgileri için de optimal çözümler bulunmaktadır. Bu problemler için harcanan süre 30 saniye ile 125 dakika arasında değişmektedir. Optimal çözümü bulunan örnek problemlerin matematiksel programlarında, izleme ve önegeçme ikili değişkenlerine sabit değerler atanmış; böylece, bu problemlerde trenlerin önegeçmeleri önlenerek birbirlerini belirli bir sırada izlemeleri sağlanmıştır. Böyle bir kısıtlamaya gidilmesinin nedeni, çözüm sürelerini kabul edilebilir sınırlar içinde tutmaktır. Örneğin, 5 buluşma noktası ve 6 tren (3 + 3 tren/yön) bulunan bir örnek problem için hem önegeçme değişkenlerine sabit değerlerin atandığı (önegeçmeye izin verilmediği) hem de bunların serbest bırakıldığı (önegeçmelere izin verildiği) çözümler bulunmuş; ilk çözüme 29 saniyede erişilirken, ikincisine 651 saniyede (ilk çözümün yaklaşık 20 katı) erişilebilmiştir. Bu yapılırken, aynı yönde hareket eden trenler arasında yeteri kadar büyük izleme süresi bulunmasına dikkat edilmiştir.

8.3 Dispeçerin Çözümü

Dispeçerin çözüm yöntemi, Bölüm 6'da oluşturulan çok nitelikli seçim modelini kullanmaktadır. Dispeçerin çatışma çözümlerindeki karar davranışının modeli olan bu matematiksel ifade, bu çalışmada 'dinamik öncelik sayısı' olarak adlandırılmıştır. Zıt yönde hareket etmekte olan ve buluşma kesimi m 'de çatışan tren i ve tren j için dinamik öncelik sayıları:

$$P_i^m = -0.2196V_{i1}^m + 0.1465V_{i2}^m - 0.0526V_{i3}^m - 0.3586V_{i4}^m + 0.2227V_{i5}^m + 0.0V_{i6}^m$$

$$P_j^{m+1} = -0.2196V_{j1}^{m+1} + 0.1465V_{j2}^{m+1} - 0.0526V_{j3}^{m+1} - 0.3586V_{j4}^{m+1} + 0.2227V_{j5}^{m+1} + 0.0V_{j6}^{m+1}$$

olmaktadır. İlgili nitelik değerleri belirlenip yerlerine konulduğunda, dinamik öncelik sayısı büyük olan trenin çatışmadan etkilenmeden seyirine devam etmesi sağlanır; diğer tren ise bekletilir.

Yukarıda verilen matematiksel model, TCDD'den alınan bilgilerden yararlanılarak oluşturulmuştur. Bu nedenle, matematiksel model TCDD'deki ilgili dispeçerlerin karar davranışlarının bir modeli olmaktadır. Çatışmaların dinamik öncelik sayıları kullanılarak



çözülmesi ile elde edilen sonuçlar, mevcut durumun saptanması bakımından oldukça önemlidir. Örnek problemlerin bu yöntemle çözümü, diğer yöntemlerle karşılaştırma olanağı yaratmak amacıyla da yapılmıştır.

8.4 Sezgisel Algoritmanın Çözümü

Bölüm 7’de sunulan sezgisel algoritma da örnek problemler için çalıştırılmıştır. Ortalama gecikme sürelerinin hesabında kullanılan kesikli önceliklerin belirlenmesinde üç farklı modelden faydalanılmıştır. Bu modellerin ilki ikili logit model’dir. Buna göre, tren i ’nin tren j ile girdiği potansiyel çatışmada bekletilmek üzere seçilme olasılığına ilişkin model aşağıda verilmektedir (ayrıca, bkz. EK 1):

$$P_{ij} = \frac{e^{4.832215V_i}}{e^{4.832215V_i} + e^{4.832215V_j}}$$

Ayrıca iki farklı doğrusal model için de örnek problemler çözülmüştür. Tren i ’nin tren j ile girdiği potansiyel çatışmada bekletilmek üzere seçilme olasılığına ilişkin birinci doğrusal model:

$$P_{ij} = w(V_i - V_j) + 0.5$$

olmaktadır. Bölüm 6’da kullanılan bilgilerden faydalanılarak, sadece kritik oran niteliğine ait değerler hesaba katılarak en küçük kareler yöntemiyle regresyon analizi yapılmış, ve $w=0.73531$ (kritik oranlar farkının katsayısı, ağırlığı) olarak hesaplanmıştır.

İkinci doğrusal model ise, trenlerin sadece kritik oranlarının değerlerine bağlı olarak aşağıdaki şekilde oluşturulmuştur. Buna göre, tren i ’nin tren j ile girdiği potansiyel çatışmada bekletilmek üzere seçilme olasılığına ilişkin doğrusal model:

$$P_{ij} = \frac{V_i}{V_i + V_j}$$



olmaktadır. Her üç modeldeki gözlem sayısı 89'dur. Yapılan güvenilirlik testleriyle, tüm model sonuçlarının çatışan tren çiftlerinden 71 adedi için (% 80 başarıyla) dispeçerin verdiği kararlara uygunluk gösterdiği saptanmıştır.

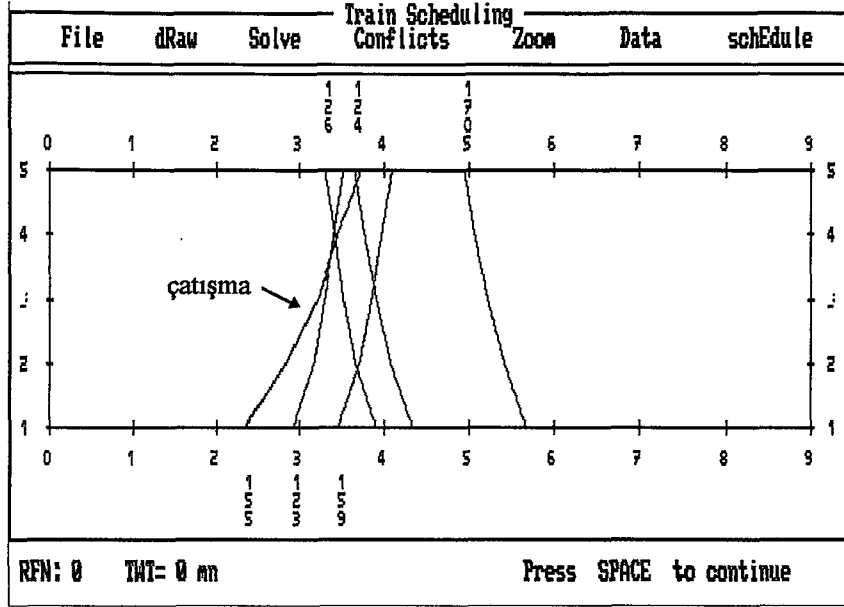
8.5 Bir Sezgisel Algoritma Uygulaması

Sayısal uygulamanın genel sonuçlarını sunmadan önce, küçük boyutlu bir örnek problemin sezgisel algoritma ile çözümü, en erken çatışmaların çözüm aşamalarından faydalanılarak yapılacaktır. Bu amaçla, 5 istasyon ve 6 tren (3 + 3 tren/yön) bulunan bir örnek problem hazırlanmıştır. Bu problemde trenlerin hem karşılaşma hem de önegeçme yapmalarına izin verilmiştir. Çözümde kesikli önceliklerin hesabı için ikinci doğrusal model kullanılmıştır. Trenlerin son varış noktalarına planlanmış varış zamanları en küçük varış zamanlarından büyük olup; aralarındaki fark, trenin, gireceği çatışmalar nedeniyle bekletilmekten en az etkilenmesi amacıyla oluşturulmuş bir 'esneklik' süresi olmaktadır. Etkinlik ölçütü (MoE), trenlerin son varış noktalarına (giden trenler için 5 ve dönen trenler için 1) gerçek varış zamanlarının, planlanmış varış zamanlarından (pozitif) sapmalarının toplamıdır. En erken çatışmaya katılan trenlerin sırasıyla bekletilmesi durumunda, sistemde en küçük MoE oluşturan tren bekletilmek üzere seçilmektedir. Örnek problemin çizelge bilgileri Tablo 8.1'de bulunmaktadır. Problemin çözüm aşamalarını Şekil 8.1 ile Şekil 8.8 arasındaki çizelgeler ve Tablo 8.2 ile Tablo 8.8 arasındaki, çizelgeleme bilgilerinin bulunduğu tablolar oluşturmaktadır. Burada Şekil 8.1 çatışmaların bulunduğu çizelgeyi, Şekil 8.8 ise çatışmalardan arındırılmış, uygulanabilir çizelgeyi göstermektedir.

Tablo 8.1 5 buluşma noktası ve 6 trenin bulunduğu örnek problemin çizelge bilgileri

Tren No	Hareket yönü	Planlanmış kalkış zamanı (dak.) δ_i^1, δ_j^5	Seyir süreleri (dak.) τ_i^m, τ_j^m				En küçük varış zamanı	Esneklik (dak.)	Planlanmış varış zamanı (dak.) α_i^5, α_j^1
			1-2	2-3	3-4	4-5			
155	1 → 5	141	30	22	14	16	223	9	232
123	1 → 5	175	15	8	6	7	211	2	213
159	1 → 5	207	15	9	7	8	246	4	250
126	5 → 1	198	7	6	8	15	234	4	238
124	5 → 1	218	8	8	11	16	261	2	263
170	5 → 1	296	8	9	12	15	340	4	344





Şekil 8.1 5 istasyon ve 6 trenin bulunduğu örnek problem: Trenler 155 ve 123 buluşma noktaları 2 ve 3 arasında çatışıyor

Şekil 8.1’de görülen çizelgeye ait Tablo 8.1’deki bilgiler sezgisel algoritmaya tanıtıldıktan sonra, algoritma, en erken çatışmayı belirler. Bu çizelgede 155 ve 123 No.’lu trenler buluşma noktaları 2 ve 3 arasında bir izleme ve önegeçme çatışmasına girmekte, bu da çizelgedeki en erken çatışma olmaktadır. En erken çatışmanın alternatif çözümlerinin belirlenmesi amacıyla, 155 ve 123 No.’lu trenlerin sırasıyla bekletilme durumlarına ilişkin bilgiler Tablo 8.2’de verilmiştir. Trenlerin beklenen varış zamanlarının belirlenmesine kadar olan aşamaların sonuçları bu tabloda gösterilmiştir.

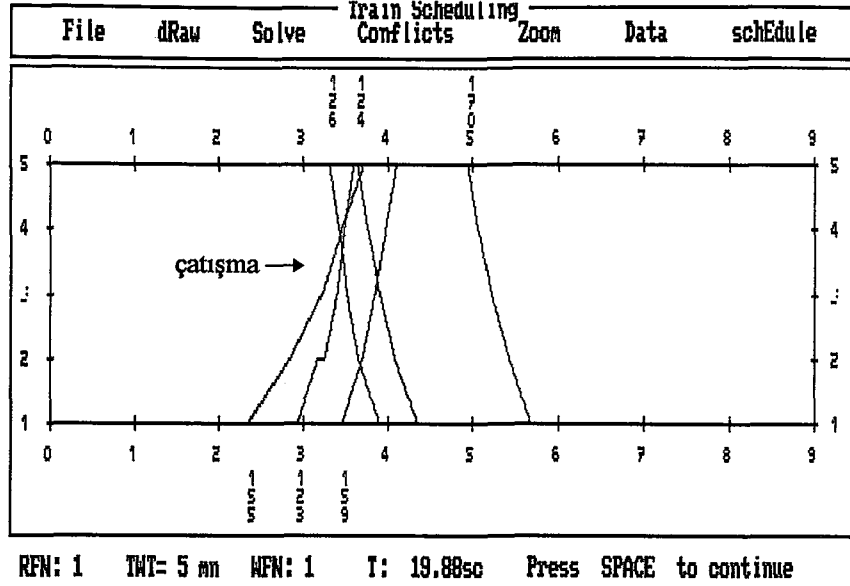
Tablodaki bilgilerin daha iyi anlaşılabilmesi amacıyla, sadece 155 No.’lu trenin bekletilmesi durumunda elde edilen sonuçlara ilişkin bazı açıklamalar yapılacaktır. 155 No.’lu trenin 123 ile girdiği en erken çatışmanın alternatif çözümlerinden biri, 155’in buluşma noktası 2’de bekletilmesidir. Bu trenin çatışma nedeniyle bekleme süresi 29 dakika olmaktadır. Tablo 8.1’de verilen bilgiye göre 155 No.’lu trenin esnekliği 9 dakikadır (bunun anlamı, çatışmadan önce hiç zaman yitirmediği için, trenin çatışmadan önce kalktığı buluşma noktasındaki kritik oranının değeri: $(232 - 141) / (223 - 141) = 1.11$ olmaktadır.) Bu nedenle, trenin bekleme sonrasındaki kritik oranı 0.62 değerini almaktadır. Şekil 8.1’den görülebileceği üzere, 155 No.’lu trenin 123 ile girdiği

çatışmadan sonra 124 ve 126 No'lu trenler ile de potansiyel çatışmaları bulunmaktadır. Ancak, en erken çatışmanın alternatif çözümü gereği bu tren 29 dakika bekletildiği için yeni bir potansiyel çatışma yaratılmakta, 155 No.'lu tren 159 ile de çatışmaya girmektedir. Böylece 155'in potansiyel çatışmalarının kümesinde 159, 126 ve 124 No.'lu trenler bulunmaktadır. Potansiyel çatışmalar nedeniyle trenin ortalama gecikme süresi 16.87 dakika olarak hesaplanmıştır. Buna göre 155 No.'lu trenin buluşma noktası 5'e beklenen varış zamanı $268.87 (= 223 + 29 + 16.87)$ olmaktadır. Tablonun son sütununda gösterilen, trenin çizelgeden sapma miktarı (MoE) da, trenin planlanmış varış zamanının beklenen varış zamanından çıkarılması ile $36.87 (= 268.87 - 232.00)$ dakika olarak elde edilmektedir (bu farkın sıfırdan küçük olması durumunda, çizelgeden sapma sıfır olarak alınmaktadır.)

Tablo 8.2'de en erken çatışma nedeniyle 155 ve 123 No.'lu trenlerin bekletilmesi durumlarında çizelgeden toplam sapma süreleri sırasıyla 55.66 ve 22.94 dakika olmaktadır. Bu nedenle, en erken çatışmanın çözümü olarak, bekletilmesi durumunda çizelgede en az sapma oluşturan 123 No.'lu tren bekletilmek üzere seçilir. Böylece, Şekil 8.2'de gösterilen çizelge elde edilir.

Tablo 8.2 Çatışan 155 ve 123 No.'lu trenlerin bekletilme durumları

Bekletilen tren : 155							
Tren No	Planlanmış varış zamanı	Çatışma nedeniyle bekleme süresi	Kritik oran	Potansiyel çatışmaların kümesi	Ortalama gecikme süresi	Beklenen varış zamanı	Çizelgeden sapma : MoE
155	232	29	0.62	{159,126,124}	16.87	268.87	36.87
123	213	---	1.06	{126}	1.23	212.23	0.00
159	250	---	1.10	{155,126,124}	8.31	254.31	4.31
126	238	---	1.11	{155,123,159}	10.96	244.96	6.96
124	263	---	1.05	{155,159}	9.52	270.52	7.52
170	344	---	1.09	---	0.00	340.00	0.00
						Toplam MoE :	55.66
Bekletilen tren : 123							
Tren No	Planlanmış varış zamanı	Çatışma nedeniyle bekleme süresi	Kritik oran	Potansiyel çatışmaların kümesi	Ortalama gecikme süresi	Beklenen varış zamanı	Çizelgeden sapma : MoE
155	232	---	1.30	{123,126,124}	19.96	242.96	10.96
123	213	5	0.86	{155,126,124}	3.31	219.31	6.31
159	250	---	1.10	{126,124}	2.78	248.78	0.00
126	238	---	1.11	{155,123,159}	5.90	239.90	1.90
124	263	---	1.05	{155,123,159}	5.77	266.77	3.77
170	344	---	1.09	---	0.00	340.00	0.00
						Toplam MoE :	22.94

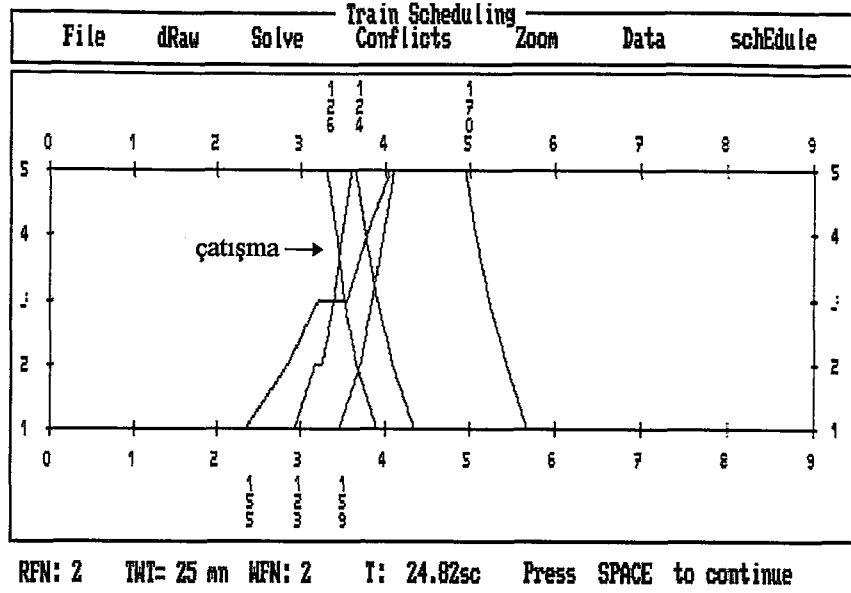


Şekil 8.2 155 ve 123 No.'lu trenler buluşma noktaları 3 ve 4 arasında çatışıyor

Tablo 8.3 Çatışan 155 ve 123 No.'lu trenlerin bekletilme durumları

Bekletilen tren : 155							
Tren No	Planlanmış varış zamanı	Çatışma nedeniyle bekleme süresi	Kritik oran	Potansiyel çatışmaların kümesi	Ortalama gecikme süresi	Beklenen varış zamanı	Çizelgeden sapma : MoE
155	232	20	0.63	{126,124}	3.92	246.92	14.92
123	213	---	0.86	{126}	0.99	216.99	3.99
159	250	---	1.10	{126,124}	2.78	248.78	0.00
126	238	---	1.11	{155,123,159}	8.73	242.73	4.73
124	263	---	1.05	{155,159}	6.93	267.93	4.93
170	344	---	1.09	---	0.00	340.00	0.00
						Toplam MoE :	28.57
Bekletilen tren : 123							
Tren No	Planlanmış varış zamanı	Çatışma nedeniyle bekleme süresi	Kritik oran	Potansiyel çatışmaların kümesi	Ortalama gecikme süresi	Beklenen varış zamanı	Çizelgeden sapma : MoE
155	232	---	1.56	{123,126,124}	24.74	247.74	15.74
123	213	8	0.15	{155,126,124}	0.24	224.24	11.24
159	250	---	1.10	{126,124}	2.74	248.74	0.00
126	238	---	1.14	{155,123,159}	8.58	242.58	4.58
124	263	---	1.05	{155,123,159}	8.33	269.33	6.83
170	344	---	1.09	---	0.00	340.00	0.00
						Toplam MoE :	38.39

Tablo 8.3'de Şekil 8.2'deki en erken çatışma nedeniyle 155 ve 123 No.'lu trenlerin bekletilmesi durumlarında çizelgeden toplam sapma süreleri sırasıyla 28.57 ve 38.39 dakika olmaktadır. Bu nedenle, en erken çatışmanın çözümü olarak, bekletilmesi durumunda çizelgede en az sapma oluşturan 155 No.'lu tren bekletilmek üzere seçilir. Buna göre Şekil 8.3'de gösterilen çizelge elde edilir.



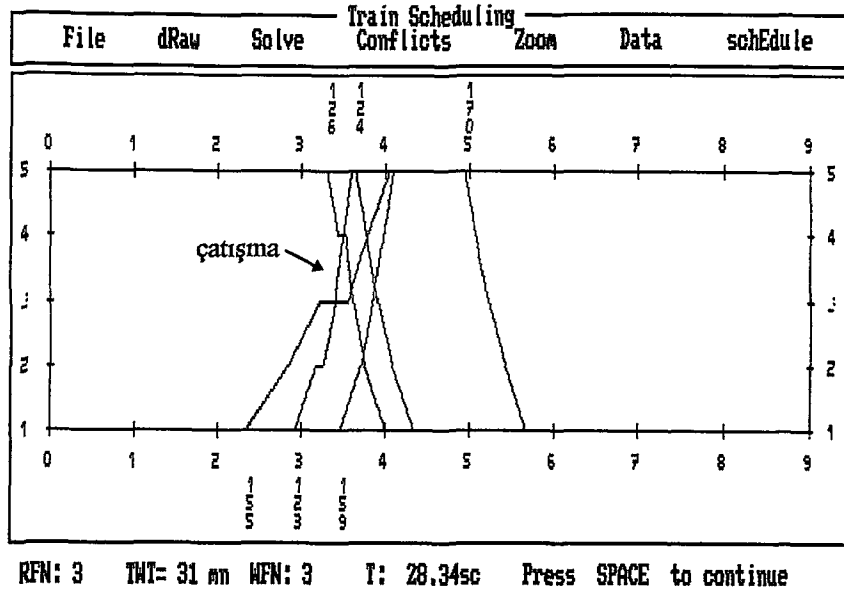
Şekil 8.3 123 ve 126 No.'lu trenler buluşma noktaları 3 ve 4 arasında çatışıyor

Tablo 8.4 Çatışan 123 ve 126 No.'lu trenlerin bekletilme durumları

<i>Bekletilen tren : 123</i>							
Tren No	Planlanmış varış zamanı	Çatışma nedeniyle bekleme süresi	Kritik oran	Potansiyel çatışmaların kümesi	Ortalama gecikme süresi	Beklenen varış zamanı	Çizelgeden sapma : MoE
155	232	---	0.63	{126,124}	3.87	246.87	14.87
123	213	10	0.00	{124}	0.09	226.09	13.09
159	250	---	1.10	{126,124}	3.96	249.96	0.00
126	238	---	1.14	{155,159}	7.31	241.31	3.31
124	263	---	1.05	{155,123,159}	14.72	275.72	12.72
170	344	---	1.09	---	0.00	340.00	0.00
						Toplam MoE :	43.99
<i>Bekletilen tren : 126</i>							
Tren No	Planlanmış varış zamanı	Çatışma nedeniyle bekleme süresi	Kritik oran	Potansiyel çatışmaların kümesi	Ortalama gecikme süresi	Beklenen varış zamanı	Çizelgeden sapma : MoE
155	232	---	0.63	{126,124}	4.33	247.33	15.33
123	213	---	0.57	---	0.00	216.00	3.00
159	250	---	1.10	{126,124}	4.30	250.30	0.00
126	238	6	0.93	{155,159}	6.30	246.30	8.30
124	263	---	1.05	{155,159}	6.98	267.98	4.98
170	344	---	1.09	---	0.00	340.00	0.00
						Toplam MoE :	31.61

Tablo 8.4'de Şekil 8.3'deki en erken çatışma nedeniyle 123 ve 126 No.'lu trenlerin bekletilmesi durumlarında çizelgeden toplam sapma süreleri sırasıyla 43.99 ve 31.61 dakika olmaktadır. Bu nedenle, en erken çatışmanın çözümü olarak, bekletilmesi durumunda çizelgede en az sapma oluşturan 126 No.'lu tren bekletilmek üzere seçilir. Buna göre Şekil 8.4'de gösterilen çizelge elde edilir.



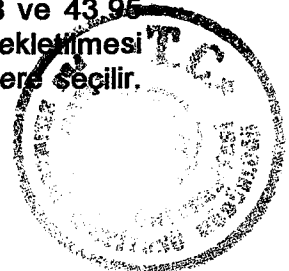


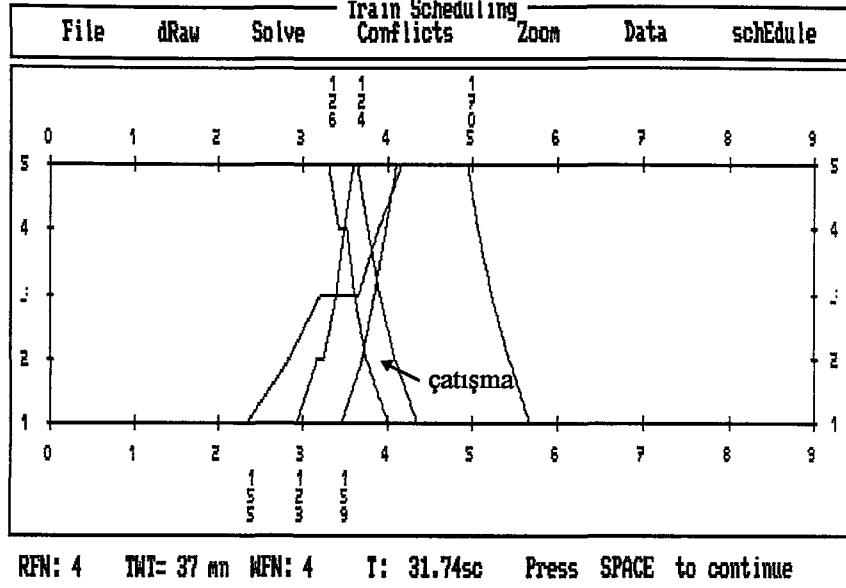
Şekil 8.4 155 ve 126 No.'lu trenler buluşma noktaları 3 ve 4 arasında çatışıyor

Tablo 8.5 Çatışan 155 ve 126 No.'lu trenlerin bekletilme durumları

Bekletilen tren : 155							
Tren No	Planlanmış varış zamanı	Çatışma nedeniyle bekleme süresi	Kritik oran	Potansiyel çatışmaların kümesi	Ortalama gecikme süresi	Beklenen varış zamanı	Çizelgeden sapma : MoE
155	232	6	0.43	{159,124}	1.83	250.83	18.83
123	213	---	0.00	---	0.00	216.00	3.00
159	250	---	1.17	{155,126,124}	8.24	254.24	4.24
126	238	---	0.91	{159}	1.64	241.64	3.64
124	263	---	1.05	{155,159}	8.57	269.57	6.57
170	344	---	1.09	---	0.00	340.00	0.00
						Toplam MoE :	36.28
Bekletilen tren : 126							
Tren No	Planlanmış varış zamanı	Çatışma nedeniyle bekleme süresi	Kritik oran	Potansiyel çatışmaların kümesi	Ortalama gecikme süresi	Beklenen varış zamanı	Çizelgeden sapma : MoE
155	232	---	0.63	{124}	2.02	245.02	13.02
123	213	---	0.00	---	0.00	216.00	3.00
159	250	---	1.17	{126,124}	6.49	252.49	2.49
126	238	18	0.31	{159}	0.55	258.55	20.55
124	263	---	1.05	{155,159}	6.89	267.89	4.89
170	344	---	1.09	---	0.00	340.00	0.00
						Toplam MoE :	43.95

Tablo 8.5'de Şekil 8.4'deki en erken çatışma nedeniyle 155 ve 126 No.'lu trenlerin bekletilmesi durumlarında çizelgeden toplam sapma süreleri sırasıyla 36.28 ve 43.95 dakika olmaktadır. Bu nedenle, en erken çatışmanın çözümü olarak, bekletilmesi durumunda çizelgede en az sapma oluşturan 155 No.'lu tren bekletilmek üzere seçilir. Buna göre Şekil 8.5'de gösterilen çizelge elde edilir.



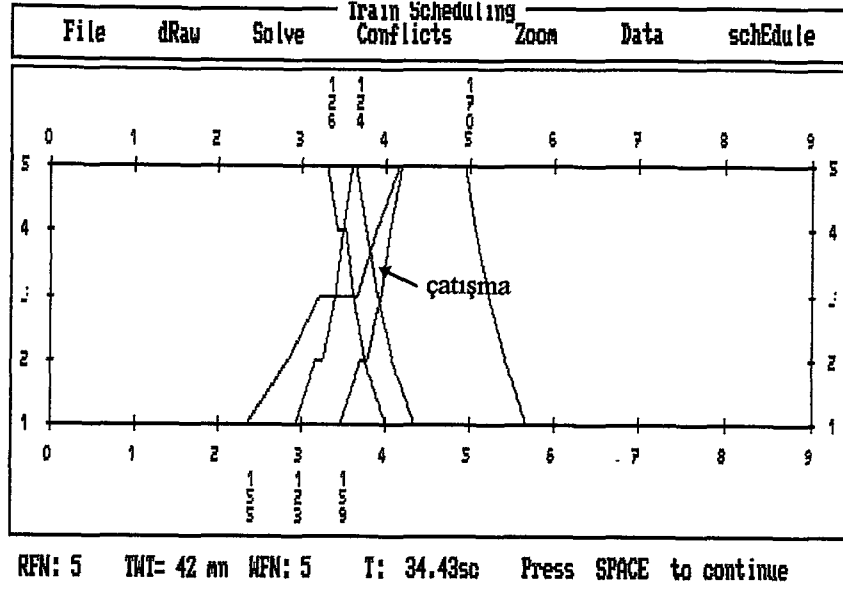


Şekil 8.5 159 ve 126 No.'lu trenler buluşma noktaları 2 ve 3 arasında çatişiyor

Tablo 8.6 Çatışan 159 ve 126 No.'lu trenlerin bekletilme durumları

Bekletilen tren : 159							
Tren No	Planlanmış varış zamanı	Çatışma nedeniyle bekleme süresi	Kritik oran	Potansiyel çatışmaların kümesi	Ortalama gecikme süresi	Beklenen varış zamanı	Çizelgeden sapma : MoE
155	232	---	-0.06	{124}	0.05	249.05	17.05
123	213	---	0.00	---	0.00	216.00	3.00
159	250	5	0.96	{124}	1.91	252.91	2.91
126	238	---	0.87	---	0.00	240.00	2.00
124	263	---	1.06	{155,159}	14.50	275.50	12.50
170	344	---	1.09	---	0.00	340.00	0.00
						Toplam MoE :	37.46
Bekletilen tren : 126							
Tren No	Planlanmış varış zamanı	Çatışma nedeniyle bekleme süresi	Kritik oran	Potansiyel çatışmaların kümesi	Ortalama gecikme süresi	Beklenen varış zamanı	Çizelgeden sapma : MoE
155	232	---	0.43	{159,124}	1.74	250.74	18.74
123	213	---	0.00	---	0.00	216.00	3.00
159	250	---	1.17	{155,124}	5.34	251.34	1.34
126	238	16	0.22	---	0.00	256.00	18.00
124	263	---	1.05	{155,159}	8.21	269.21	6.21
170	344	---	1.09	---	0.00	340.00	0.00
						Toplam MoE :	47.29

Tablo 8.6'da Şekil 8.5'deki en erken çatışma nedeniyle 159 ve 126 No.'lu trenlerin bekletilmesi durumlarında çizelgeden toplam sapma süreleri sırasıyla 37.46 ve 47.29 dakika olmaktadır. Bu nedenle, en erken çatışmanın çözümü olarak, bekletilmesi durumunda çizelgede en az sapma oluşturan 159 No.'lu tren bekletilmek üzere seçilir. Buna göre Şekil 8.6'da gösterilen çizelge elde edilir.



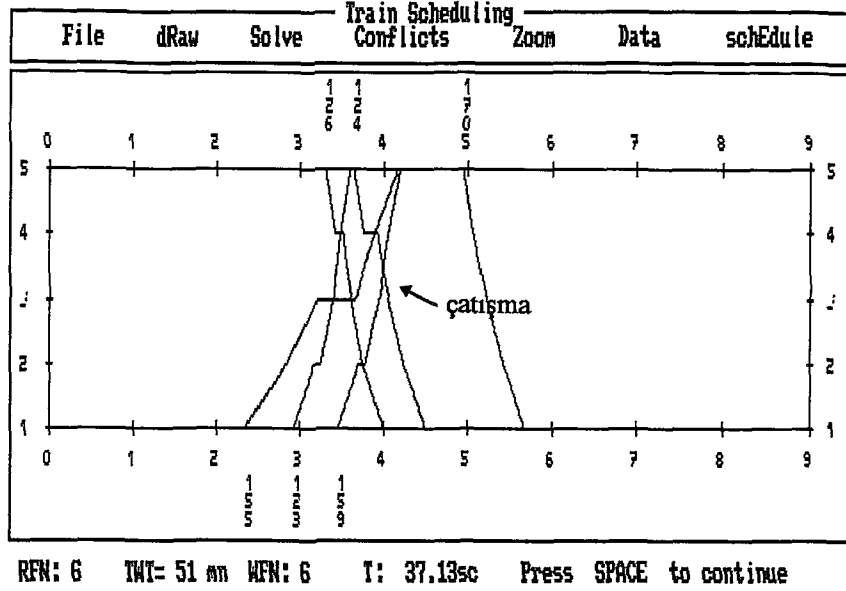
Şekil 8.6 155 ve 124 No.'lu trenler buluşma noktaları 3 ve 4 arasında çatışıyor.

Tablo 8.7 Çatışan 155 ve 124 No.'lu trenlerin bekletilme durumları

Bekletilen tren : 155							
Tren No	Planlanmış varış zamanı	Çatışma nedeniyle bekleme süresi	Kritik oran	Potansiyel çatışmaların küm esi	Ortalama gecikme süresi	Beklenen varış zamanı	Çizelgeden sapma : MoE
155	232	17	-0.13	{159}	0.00	266.00	34.00
123	213	---	0.00	---	0.00	216.00	3.00
159	250	---	0.97	{155,124}	1098.00	261.98	11.98
126	238	---	0.87	---	0.00	240.00	2.00
124	263	---	1.06	{159}	2.43	263.43	0.43
170	344	---	1.09	---	0.00	340.00	0.00
						Toplam MoE :	51.41
Bekletilen tren : 124							
Tren No	Planlanmış varış zamanı	Çatışma nedeniyle bekleme süresi	Kritik oran	Potansiyel çatışmaların küm esi	Ortalama gecikme süresi	Beklenen varış zamanı	Çizelgeden sapma : MoE
155	232	---	-0.06	---	0.00	249.00	17.00
123	213	---	0.00	---	0.00	216.00	3.00
159	250	---	0.96	{124}	2.24	253.24	3.24
126	238	---	0.00	---	0.00	240.00	2.00
124	263	9	0.80	{159}	1.67	271.67	8.67
170	344	---	1.09	---	0.00	340.00	0.00
						Toplam MoE :	33.91

Tablo 8.7'de Şekil 8.6'daki en erken çatışma nedeniyle 155 ve 124 No.'lu trenlerin bekletilmesi durumlarında çizelgeden toplam sapma süreleri sırasıyla 51.41 ve 33.91 dakika olmaktadır. Bu nedenle, en erken çatışmanın çözümü olarak, bekletilmesi durumunda çizelgede en az sapma oluşturan 124 No.'lu tren bekletilmek üzere seçilir. Buna göre Şekil 8.7'de gösterilen çizelge elde edilir.





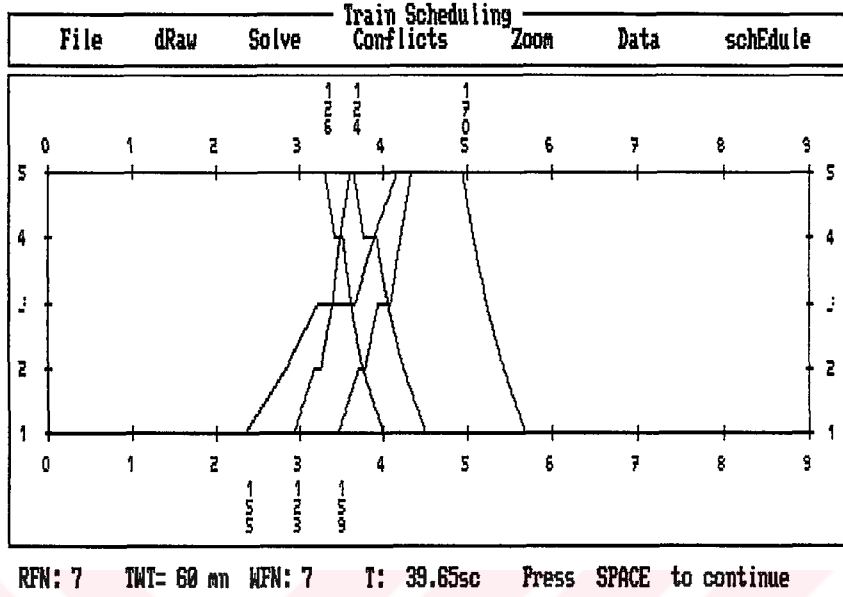
Şekil 8.7 159 ve 124 No.'lu trenler buluşma noktaları 3 ve 4 arasında çatışıyor

Tablo 8.8 Çatışan 159 ve 124 No.'lu trenlerin bekletilme durumları

Bekletilen tren : 159							
Tren No	Planlanmış varış zamanı	Çatışma nedeniyle bekleme süresi	Kritik oran	Potansiyel çatışmaların kümesi	Ortalama gecikme süresi	Beklenen varış zamanı	Çizelgeden sapma : MoE
155	232	---	0.00	---	0.00	249.00	17.00
123	213	---	0.00	---	0.00	216.00	3.00
159	250	9	0.00	---	0.00	260.00	10.00
126	238	---	0.00	---	0.00	240.00	2.00
124	263	---	0.74	---	0.00	270.00	7.00
170	344	---	1.09	---	0.00	340.00	0.00
						Toplam MoE :	39.00
Bekletilen tren : 124							
Tren No	Planlanmış varış zamanı	Çatışma nedeniyle bekleme süresi	Kritik oran	Potansiyel çatışmaların kümesi	Ortalama gecikme süresi	Beklenen varış zamanı	Çizelgeden sapma : MoE
155	232	---	0.00	---	0.00	249.00	17.00
123	213	---	0.00	---	0.00	216.00	3.00
159	250	---	0.00	---	0.00	251.00	1.00
126	238	---	0.00	---	0.00	240.00	2.00
124	263	10	0.51	---	0.00	280.00	17.00
170	344	---	1.09	---	0.00	340.00	0.00
						Toplam MoE :	40.00

Tablo 8.8'de Şekil 8.7'deki en erken çatışma nedeniyle 159 ve 124 No.'lu trenlerin bekletilmesi durumlarında çizelgeden toplam sapma süreleri sırasıyla 39.00 ve 40.00 dakika olmaktadır. Bu nedenle, en erken çatışmanın çözümü olarak, bekletilmesi durumunda çizelgede en az sapma oluşturan 159 No.'lu tren bekletilmek üzere seçilir. Buna göre Şekil 8.8'de gösterilen çizelge elde edilir.

Görüldüğü gibi Şekil 8.8'deki çizelgede hiç bir çatışma bulunmamakta; böylece uygulanabilir bir çizelge elde edilmiş olmaktadır.

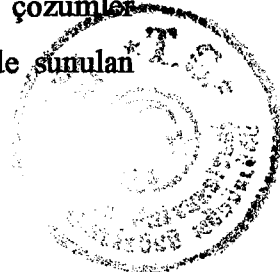


Şekil 8.8 5 buluşma noktası ve 6 trenin bulunduğu örnek problem için çatışmalardan arındırılmış, uygulanabilir çizelge

8.6 Diğer Sayısal Uygulamalar

Bu bölümde, farklı boyut ve çizelge bilgilerinden oluşan toplam 35 adet örnek problem ele alınmış ve çözülmüştür. Küçük boyutlu örnek problemler 1 - 26 için optimal (kesin) çözüm, dispeçerin çözümü ve algoritmanın çözümleri; daha büyük boyutlu örnek problemler 27 - 35 için ise dispeçerin ve algoritmanın çözümleri ayrı ayrı bulunmuştur.

Tablo 8.9 ve Tablo 8.10'da küçük boyutlu örnek problemlerin kesin çözümleri ile aynı problemler için dispeçerin ve sezgisel algoritmanın çözümlerine ilişkin sonuçlar gösterilmiş ve karşılaştırılmıştır. Görelî olarak büyük boyutlu örnek problemler (örneğin, problemin büyüklüğünün ölçüsü olarak belirli bir zaman aralığında işletilen toplam tren sayısı olabilir) için dispeçerin ve sezgisel algoritmanın çözümleri bulunmuş ve sonuçları karşılaştırmalı olarak Tablo 8.11'de, küçük boyutlu problemler ile birlikte gösterilmiştir. Tablo 8.12 sezgisel algoritma içinde kullanılan üç farklı 'kesikli öncelik modeli'nin, çözümler üzerindeki etkisini göstermek amacıyla hazırlanmıştır. Tablo 8.10 ve 8.11'de sunulan

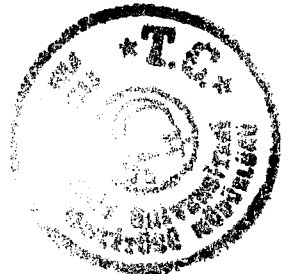


algoritmanın çözümlerinde kullanılan kesikli öncelik modeli, görel olarak daha iyi sonuçlar veren ikinci doğrusal modeldir.

Görel büyüklükteki örnek problemler 30 ve 35 için de dispeçer ve sezgisel algoritmanın çözümlerine ilişkin çizelgeler Şekil 8.9 ve Şekil 8.14 arasında yer almaktadır. Boyutları sırası ile 19 buluşma noktası ve 12 tren (6 + 6 tren/yön) ile 19 buluşma noktası ve 20 tren (10 + 10 tren/yön) olan bu problemlerin çözümlerine ilişkin sonuçlar karşılaştırmalı olarak Tablo 8.11 ve Tablo 8.12’de verilmektedir.

Tablo 8.9 Kesin çözüm ve dispeçerin çözümlerinin karşılaştırılması

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Örnek problem no	Buluşma noktası sayısı	Tren sayısı	Çözülen ortalama çatışma sayısı	Kesin çözüm			Dispeçerin çözümü					
				Optimal MoE (dak.)	Toplam bekleme süresi (dak.)	Hesaplama süresi (sn) (HS)	En iyi MoE (dak.)	Optimal'den sapma: % MoE	Toplam bekleme süresi (IBS) (dak.)	Optimal'den sapma: % IBS	Hesaplama süresi (sn)	Hesaplama sürelerinin oranı: (12 / 7) % HS
1	5	3+3	4	3	15	29	3	0.00	13	-13.33	0.22	0.76
2	5	4+3	8	7	32	82	7	0.00	32	-3.03	0.45	0.55
3	5	4+4	8	7	33	183	7	0.00	32	-3.03	0.44	0.24
4	5	5+4	12	8	34	404	8	0.00	52	-52.94	0.61	0.15
5	5	5+5	12	8	52	664	8	0.00	52	0.00	0.71	0.11
6	5	4+5	9	11	33	34	21	90.91	43	-30.30	0.55	1.62
7	5	4+4	15	57	122	265	94	64.91	142	16.39	0.99	0.37
8	5	5+4	8	29	73	134	44	51.72	73	0.00	0.61	0.46
9	5	5+5	11	49	94	292	49	0.00	93	-1.06	1.04	0.36
10	5	3+3	7	39	60	651	39	0.00	60	0.00	0.33	0.05
11	7	3+3	8	3	44	103	5	66.67	45	2.27	0.48	0.47
12	7	4+3	11	8	63	300	8	0.00	55	-12.70	0.85	0.28
13	7	4+4	13	8	66	1075	11	37.50	82	24.24	1.15	0.11
14	7	5+4	17	10	65	2469	11	10.00	85	-30.77	1.32	0.05
15	7	3+3	4	7	32	9	18	157.14	41	28.13	0.28	3.11
16	7	4+5	9	5	45	210	33	60.00	87	-31.25	0.77	0.37
17	7	4+4	11	36	110	687	36	0.00	98	-10.91	1.04	0.15
18	10	3+3	12	1	102	530	1	0.00	81	-20.59	0.82	0.15
19	10	4+3	30	4	116	1673	4	0.00	100	-13.79	1.37	0.08
20	10	4+4	35	4	114	753	5	25.00	127	11.40	2.20	0.05
21	10	3+3	8	0	70	110	2	-	65	-7.14	0.60	0.55
22	10	4+3	11	3	112	1380	19	53.33	99	-11.61	1.27	0.09
23	12	3+3	10	0	111	564	0	0.00	76	-31.53	0.93	0.16
24	19	3+3	10	0	141	2640	0	0.00	74	-47.52	1.34	0.06
25	12	3+3	11	0	91	900	16	-	90	-1.10	0.82	0.09
26	19	3+3	11	0	148	3269	0	0.00	80	-45.95	1.21	0.04
ORTALAMA:								68.22		2.09		0.40



Tablo 8.10 Kesin çözüm ve algoritmanın çözümlerinin karşılaştırılması

1	2	3	4	5			6	7	8	9	10	11	12	13
Örnek problem no	Buluşma noktası sayısı	Tren sayısı	Çözülen ortalama çatışma sayısı	Kesin çözüm			Algoritmanın çözümü							
				Optimal MoE (dak.)	Toplam bekleme süresi (dak.)	Hesaplama süresi (HS) (sn)	En iyi MoE (dak.)	Optimal'den sapma: % MoE	Toplam bekleme süresi (TBS) (dak.)	Optimal'den sapma: % TBS	Hesaplama süresi (HS) (sn)	Hesaplama sürelerinin oranı: (12 / 7) % HS		
1	5	3+3	4	3	15	29	3	0.00	13	-13.33	0.32	1.10		
2	5	4+3	8	7	33	82	7	0.00	32	-3.03	0.82	1.00		
3	5	4+4	8	7	33	183	7	0.00	32	-3.03	0.93	0.51		
4	5	5+4	12	8	39	409	8	0.00	32	-32.94	1.81	0.45		
5	5	5+5	12	8	52	664	8	0.00	52	0.00	2.14	0.32		
6	5	4+3	9	11	35	84	11	0.00	31	-6.06	0.93	2.74		
7	5	4+4	15	57	122	265	62	8.77	106	-13.11	2.53	0.95		
8	5	5+4	8	29	73	134	29	0.00	54	-26.03	1.02	0.90		
9	5	5+5	11	49	94	292	61	24.49	91	-3.19	2.25	0.77		
10	5	3+3	7	39	60	651	39	0.00	60	0.00	0.6	0.09		
11	7	3+3	8	3	44	103	3	0.00	43	-2.27	0.83	0.81		
12	7	4+3	11	8	63	300	8	0.00	55	-12.70	1.6	0.53		
13	7	4+4	13	8	66	1075	8	0.00	58	-12.12	2.36	0.22		
14	7	5+4	17	10	65	2469	12	20.00	86	-32.31	3.63	0.15		
15	7	3+3	4	7	32	9	8	14.29	33	3.13	0.38	4.22		
16	7	4+3	9	5	48	210	6	20.00	48	0.00	1.21	0.58		
17	7	4+4	11	36	110	687	38	5.56	100	-9.09	2.09	0.30		
18	10	3+3	12	1	102	530	1	0.00	76	-25.49	1.73	0.33		
19	10	4+3	30	4	116	1673	4	0.00	91	-21.55	5.16	0.31		
20	10	4+4	35	4	114	7538	4	25.00	98	-14.04	4.67	0.06		
21	10	3+3	8	0	70	110	0	0.00	39	-44.29	1.1	1.00		
22	10	4+3	11	3	112	1390	3	0.00	57	-9.11	2.08	0.15		
23	12	3+3	10	0	111	564	0	0.00	84	-24.32	1.76	0.31		
24	19	3+3	10	0	141	2640	0	0.00	58	-5.67	2.57	0.09		
25	12	3+3	11	0	91	900	0	0.00	64	-29.67	1.75	0.19		
26	19	3+3	11	0	148	3269	0	0.00	55	-6.84	2.3	0.09		
ORTALAMA:								4.54	-13.30	0.70				

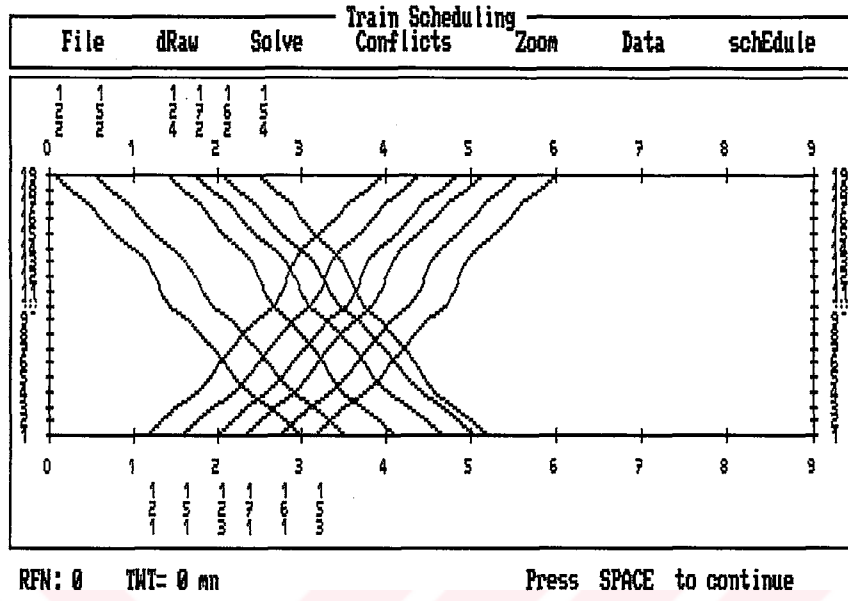


Tablo 8.11 Algoritmanın ve dispeçerin çözümlerinin karşılaştırılması

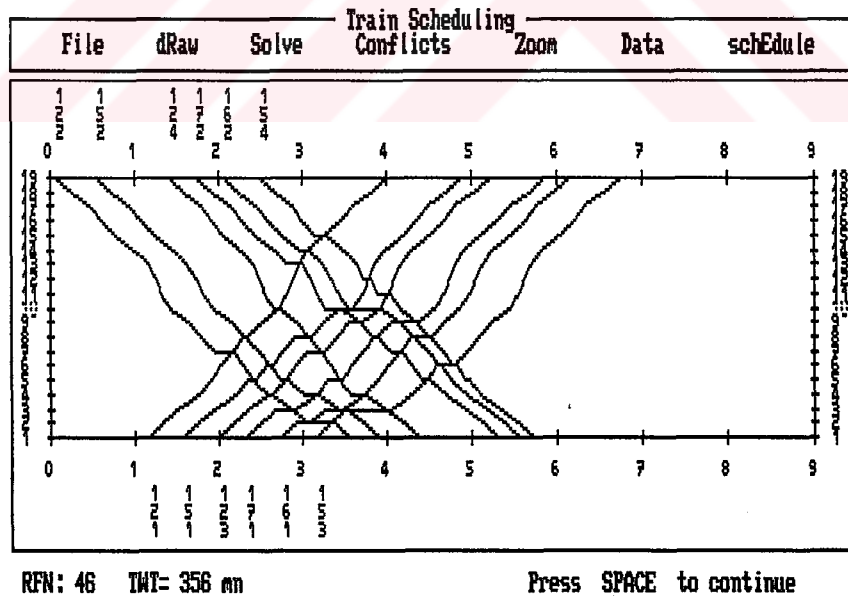
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Ornek problem no	Buluşma noktası sayısı	Tren sayısı	Çözülen ortalama çatışma sayısı	Algoritmanın çözümü			Dispeçerin çözümü					
				En iyi MoE (dak.)	Toplam bekleme süresi (TBS) (dak.)	Hesaplama süresi (HS) (sn)	En iyi MoE (dak.)	Algoritmanın çözümünden sapma: % MoE	Toplam bekleme süresi (TBS) (dak.)	Algoritmanın çözümünden sapma: % TBS	Hesaplama süresi (HS) (sn)	Hesaplama sürelerinin oranı: (12 / 7) % HS
1	5	3+3	4	3	13	0.32	3	0.00	13	0.00	0.22	68.75
2	5	4+3	8	7	32	0.62	7	0.00	32	0.00	0.45	54.88
3	5	4+4	8	7	32	0.93	7	0.00	32	0.00	0.44	47.31
4	5	5+3	12	8	52	1.81	8	0.00	52	0.00	0.61	33.70
5	5	5+5	12	8	52	2.14	8	0.00	52	0.00	0.71	33.18
6	5	4+3	9	11	31	0.00	21	90.01	43	38.71	0.55	59.14
7	5	4+4	15	62	106	2.53	94	51.61	142	33.96	0.99	39.13
8	5	5+3	8	29	54	1.2	44	51.73	73	35.19	0.61	50.83
9	5	5+5	11	61	91	2.25	49	-19.67	93	2.20	1.04	46.22
10	5	3+3	7	39	60	0.6	39	0.00	60	0.00	0.33	55.00
11	7	3+3	8	3	43	0.83	5	66.67	43	4.65	0.48	57.83
12	7	4+3	11	8	55	1.6	8	0.00	55	0.00	0.83	51.88
13	7	4+4	13	8	58	2.36	11	37.50	82	41.38	1.15	48.73
14	7	5+3	17	12	86	3.95	11	-8.33	85	-1.16	1.32	33.42
15	7	3+3	4	8	33	0.38	18	125.00	41	24.24	0.28	73.68
16	7	4+3	9	6	48	1.21	25	483.33	87	81.25	0.77	63.64
17	7	4+4	11	38	100	2.09	36	-5.26	98	-2.00	1.04	49.76
18	10	3+3	12	1	76	1.75	1	0.00	81	6.58	0.82	46.86
19	10	4+3	30	4	91	5.16	4	0.00	100	9.89	1.37	26.55
20	10	4+4	35	5	98	4.67	5	0.00	127	29.59	2.20	47.11
21	10	3+3	8	0	39	1.1	2	-	65	66.67	0.60	54.55
22	10	4+3	11	3	57	2.08	19	533.33	99	73.68	1.27	61.06
23	12	3+3	10	0	84	1.76	0	0.00	76	-9.52	0.93	52.84
24	19	3+3	10	0	58	2.37	0	0.00	74	27.59	1.54	64.98
25	12	3+3	11	0	64	1.76	16	-	90	40.63	0.82	46.59
26	19	3+3	11	0	55	2.8	0	0.00	80	45.45	1.21	43.21
27	19	6+6	58	132	406	73.22	172	30.30	436	7.39	29.00	39.61
28	19	6+6	52	108	368	62.01	136	25.93	393	7.34	26.64	42.96
29	19	6+6	54	123	384	61.96	118	-4.07	361	-5.99	24.88	40.15
30	19	6+6	52	24	281	67.94	90	275.00	356	26.69	22.73	33.46
31	19	6+6	34	30	260	32.68	40	33.33	297	14.23	18.62	56.98
32	19	6+6	35	58	276	34.82	67	90.00	313	13.41	15.60	44.80
33	19	6+6	28	20	230	24.44	75	275.00	306	33.04	13.30	54.42
34	19	6+6	58	40	282	62.06	149	273.50	399	41.49	20.16	32.48
35	19	10+10	118	372	845	679.54	482	29.57	965	14.20	138.91	20.44
ORTALAMA:							72.54		20.02		47.89	

Tablo 8.12 Üç kesikli öncelik modelin uygulaması

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Ornek problem no	Buluşma noktası sayısı	Tren sayısı	Logit model				Doğrusal model 1				Doğrusal model 2			
			Çatışma sayısı	En iyi MoE (dak.)	Toplam bekleme süresi (TBS) (dak.)	Hesaplama süresi (HS) (sn)	Çatışma sayısı	En iyi MoE (dak.)	Toplam bekleme süresi (TBS) (dak.)	Hesaplama süresi (HS) (sn)	Çatışma sayısı	En iyi MoE (dak.)	Toplam bekleme süresi (TBS) (dak.)	Hesaplama süresi (HS) (sn)
1	5	3+3	4	3	13	0.33	4	3	13	0.33	4	3	13	0.32
2	5	4+3	8	8	34	0.82	8	7	32	0.82	8	7	32	0.82
3	5	4+4	8	8	34	0.93	8	7	32	0.45	8	7	32	0.93
4	5	4+4	12	9	54	1.87	12	8	52	1.88	12	8	52	1.81
5	5	5+5	12	9	54	2.14	12	8	52	2.14	12	8	52	2.14
6	5	4+3	9	13	34	0.99	9	11	30	0.93	9	11	31	0.93
7	5	4+4	15	61	105	2.53	15	62	106	2.53	15	62	106	2.53
8	5	4+4	8	29	54	1.21	8	29	54	1.21	8	29	54	1.20
9	5	5+5	10	54	83	2.03	11	62	92	2.25	11	61	91	2.25
10	5	3+3	11	30	62	1.04	7	39	60	0.66	7	39	60	0.60
11	7	3+3	8	3	43	0.83	8	3	43	0.82	8	3	43	0.83
12	7	4+3	11	9	56	1.59	11	8	55	1.60	11	8	55	1.60
13	7	4+4	13	8	58	2.36	13	8	58	2.36	13	8	58	2.36
14	7	3+4	17	11	85	3.95	17	11	66	3.95	16	12	86	3.63
15	7	3+4	4	7	32	0.39	4	7	32	0.44	4	8	33	0.38
16	7	4+3	9	6	47	1.26	9	5	46	1.20	9	6	48	1.21
17	7	4+4	11	38	100	2.09	11	41	104	2.09	11	38	100	2.09
18	10	3+3	12	1	76	1.76	12	1	76	1.77	12	1	76	1.73
19	10	4+3	30	4	91	5.16	30	4	91	5.16	30	4	91	5.16
20	10	4+4	35	5	118	8.29	35	5	118	8.24	19	5	98	4.67
21	10	3+3	8	0	39	1.10	8	0	39	1.10	8	0	39	1.10
22	10	4+3	10	3	63	1.87	11	3	57	2.09	11	3	57	2.08
23	12	3+3	10	0	72	1.59	10	0	62	1.59	11	0	84	1.76
24	19	3+3	10	0	58	2.36	10	0	58	2.36	10	0	58	2.37
25	12	3+3	11	0	64	1.75	11	0	64	1.76	11	0	64	1.76
26	19	3+3	12	0	55	2.85	12	0	55	2.86	10	0	55	2.80
27	19	6+6	60	109	396	76.56	57	138	410	72.61	57	132	406	73.22
28	19	6+6	64	297	559	83.82	52	322	587	134.40	52	108	368	62.01
29	19	6+6	51	127	388	60.75	50	127	388	59.98	51	123	384	61.96
30	19	6+6	114	26	289	141.21	73	24	281	86.18	58	24	281	67.94
31	19	6+6	50	33	272	52.73	31	30	259	31.58	32	30	260	32.68
32	19	6+6	47	70	326	47.77	37	50	296	40.09	34	38	276	34.82
33	19	6+6	27	17	228	23.39	28	20	229	24.55	28	20	230	24.44
34	19	6+6	63	73	331	64.41	29	38	233	29.33	68	40	282	62.06
35	19	10+10	128	379	864	699.86	120	308	781	630.38	126	372	843	679.54
ORTALAMA:				42.00	149.69	37.25		40.26	143.74	33.19		35.37	140.00	32.79

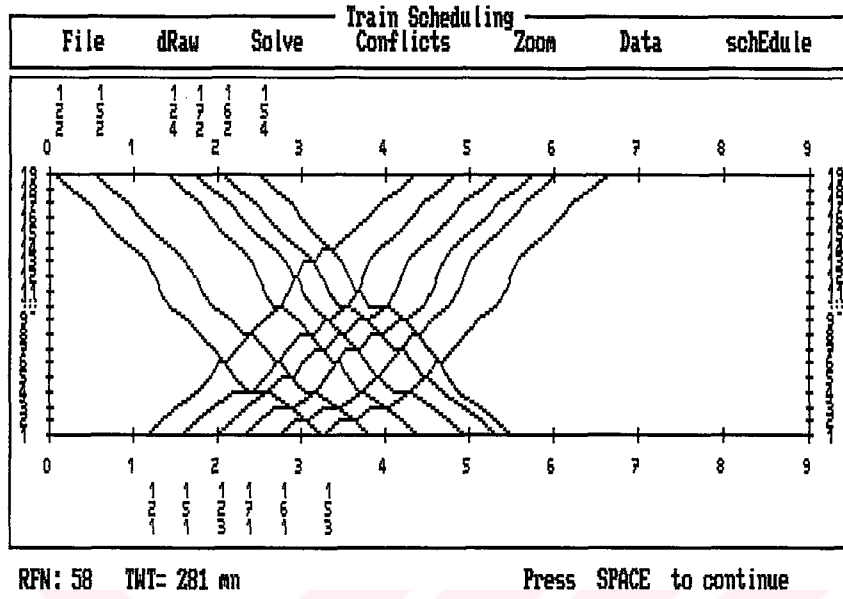


Şekil 8.9 Örnek problem 30'un çizelgesi (19 buluşma noktası ve 12 tren)

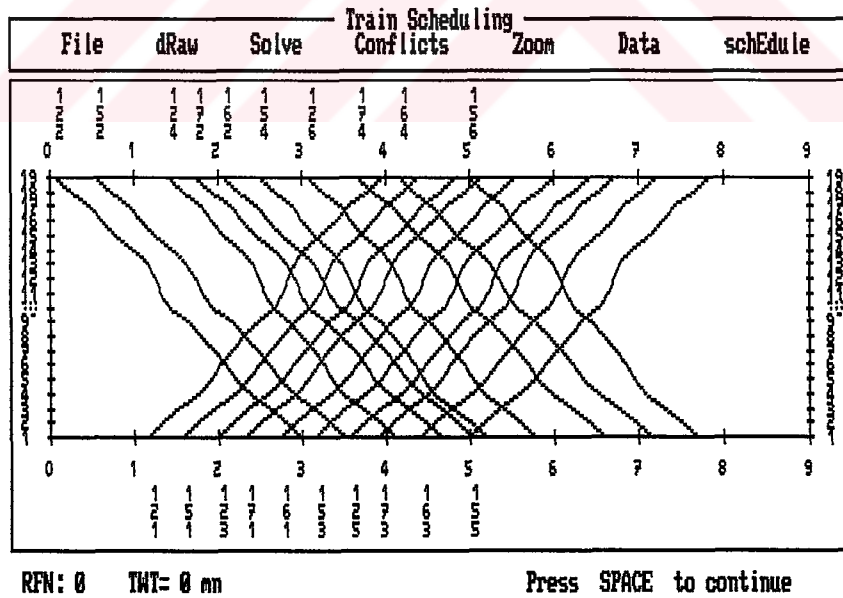


Şekil 8.10 Örnek problem 30'un dispeçer çözümü



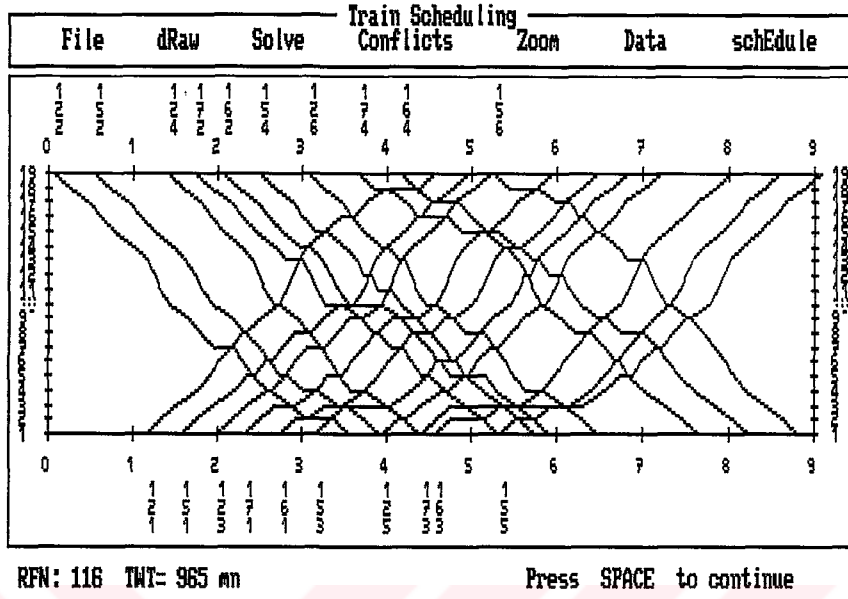


Şekil 8.11 Örnek problem 30'un algoritma çözümü

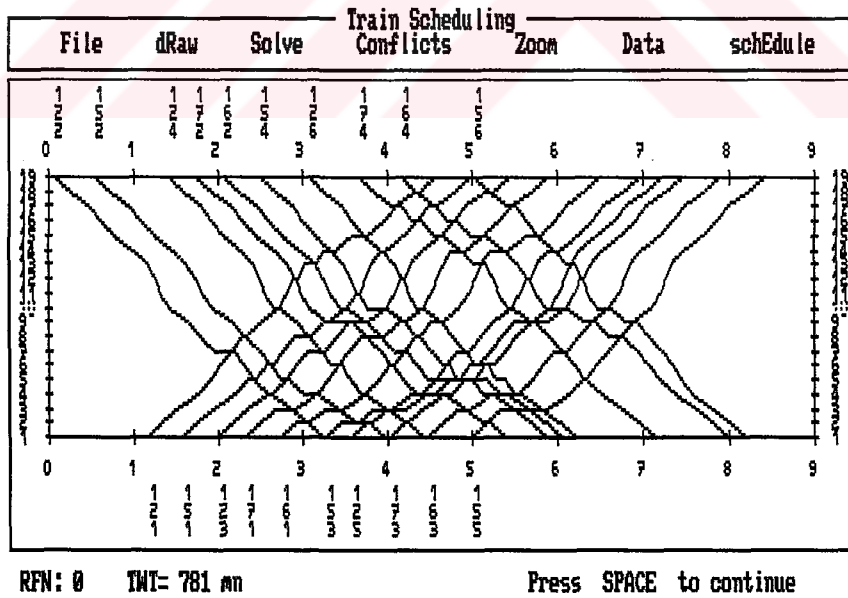


Şekil 8.12 Örnek problem 35'in çizelgesi (19 buluşma noktası ve 20 tren)





Şekil 8.13 Örnek problem 35'in dispeçer çözümü.



Şekil 8.14 Örnek problem 35'in algoritma çözümü.



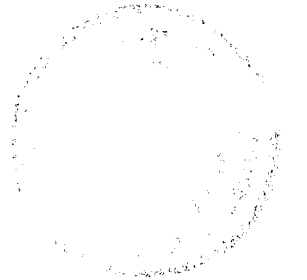
8.7 Sayısal Uygulama Sonuçlarına İlişkin Bazı Saptamalar

- Sezgisel algoritma, kesikli öncelik modelleri ikinci doğrusal, birinci doğrusal ve ikili logit kullanıldığında sırasıyla 21, 19 ve 13 kez optimal çözümü yakalayabilmiştir.
- Sezgisel algoritma içinde kullanılan üç farklı kesikli öncelik modeline ilişkin sonuçlar Tablo 8.12’de özetlenmiştir. Her üç modelin de algoritmanın ortalama performansına etkisi çok farklı olmamakla birlikte, etkinlik ölçütünün değeri, trenlerin toplam bekleme süreleri ve hesaplama süresi karşılaştırıldığında (her üç kriter için de) sırasıyla ikinci doğrusal model, birinci doğrusal model ve ikili logit model daha iyi sonuçlar vermektedir.
- Kesin çözümler ile algoritmanın çözümleri Tablo 8.10’da özetlenmiştir. Algoritmanın çözümünde etkinlik ölçütünün optimal çözümden en büyük sapma miktarı sadece 1 dakika (% 25.00) olmakta (problem no. 20); trenlerin toplam bekleme sürelerinin karşılaştırılmasıyla da, algoritmanın çözümünün % 62.84 daha küçük (problem no. 26) ya da % 52.94 daha büyük (problem no. 4) olduğu gözlenmiştir.
- Kesin çözümler ile algoritmanın çözümleri karşılaştırıldığında, algoritmanın, etkinlik ölçütünde ortalama % 4.54 gibi oldukça küçük bir pozitif sapma (% 95.46 başarılı) bulunduğu, ve toplam bekleme sürelerinin ise ortalama % 13.30 daha küçük olduğu belirlenmiştir. Bu sonuçlar oldukça çarpıcı ve olumludur.
- Algoritmanın çözümlere, kesin çözümlerin hesaplama sürelerinin ortalama % 0.70’inde eriştiği saptanmıştır. Tablo 8.10’da görüleceği gibi, örnek problem 20 için optimal çözüm 7538 saniyede (yaklaşık 125 dakika) bulunurken, algoritmanın çözüm yöntemiyle, optimal MoE’den 1 dakikalık sapma gösteren çözüme sadece 4.67 saniyede erişilmiştir.
- Dispeçerin çözüm yöntemiyle küçük boyutlu problemlerin optimal çözümü 14 kez yakalanabilmiştir.



- Kesin çözümler ile dispeçerin çözümleri Tablo 8.9'da özetlenmiştir. Burada etkinlik ölçütünün (MoE, çizelgeden pozitif sapmaların toplamı) optimal çözümden en büyük sapma miktarı 30 dakika (% 600.00) olmakta (problem no. 16); trenlerin toplam bekleme sürelerinin karşılaştırılmasıyla dispeçerin çözümünün % 47.52 daha küçük (problem no. 24) ya da % 81.25 daha büyük (problem no. 16) olduğu gözlenmiştir.
- Yine kesin çözümler ile dispeçerin çözümleri karşılaştırıldığında, dispeçerin, etkinlik ölçütünde ortalama % 68.22 (% 31.78 başarılı) ve toplam bekleme sürelerinde ise ortalama % 2.09 daha büyük olduğu belirlenmiştir.
- Dispeçerin çözümlere, kesin çözümlerin hesaplama sürelerinin ortalama % 0.40'ında eriştiği saptanmıştır. Tablo 8.9'da görüleceği gibi, örnek problem 20 için optimal çözüm 7538 saniyede (yaklaşık 125 dakika) bulunurken, dispeçerin çözüm yöntemiyle, optimal MoE'den 1 dakikalık sapma gösteren çözüme sadece 2.20 saniyede erişilmiştir.
- Sezgisel algoritma ile dispeçerin çözümlerinin sonuçları Tablo 8.11'de özetlenmiştir. Buna göre, algoritmanın çözümü ile karşılaştırıldığında, dispeçerin kararlarında etkinlik ölçütü bakımından ortalama % 72.54 ve toplam bekleme süreleri bakımından ise ortalama % 20.02 oranlarında sapmalar gözlenmiştir. Dispeçerin çözüm yöntemiyle, kararların sezgisel algoritmaya göre daha hızlı verildiği de gözlemler arasındadır ki bunun nedeni, algoritmanın potansiyel çatışmaları da araştıran oldukça yüklü bir hesaplama yapmasıdır.
- Örnek problemlerin tümü için algoritmanın çözümlerinde çizelgeden sapma (MoE) toplamı 1238 dakika ve trenlerin toplam bekleme süresi 4900 dakika olarak belirlenmiştir. Aynı problemler için dispeçerin çözümlerinde ilgili süreler sırasıyla 1800 dakika ve 5705 dakikadır. Buna göre, sezgisel algoritmanın kullanılması durumunda çizelgeden sapmalar 562 dakika ve trenlerin bekleme süreleri de 805 dakika azalmaktadır. Bu zaman tasarrufları dispeçerin çözümündeki çizelgeden sapma toplamının % 31.22'si ve bekleme süreleri toplamının ise % 14.11'i olmaktadır.

- **Örnek problemlerde toplam 305 adet tren bulunmaktadır. Dispeçerin çözümünde her bir trenin çizelgeden ortalama sapma süresi 5.90 dakika ve ortalama bekleme süresi 18.71 dakika; aynı süreler algoritmanın çözümünde sırasıyla 4.06 ve 16.07 dakika olmaktadır.**

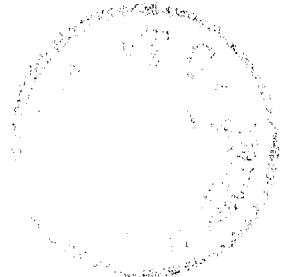


BÖLÜM 9

SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu çalışmada trenlerin önceden hazırlanmış çizelgeden sapma göstermesi durumunda ortaya çıkabilecek trenlerarası çatışmaların belirlenmesi, ve bu çatışmaların, trenlerin planlanmış varış zamanlarından en az sapma oluşturacak şekilde çözülmesi problemleri ele alınmıştır. Bir başka deyimle, trenlerarası çatışmaların çözümüne yönelik olarak, yeni bir karşılaşma/önegeçme planı (yeni bir çizelge) hazırlamak bu çalışma kapsamında yer almaktadır. Demiryolu trafik kontrolü problemi uzun bir süredir araştırmacıların ilgisini çekmesine karşın, problemin çözümüne yönelik olarak sunulan çalışma sayısı pek fazla değildir. Sunulan çalışmalar, yapılan kabuller (problemin kapsama ilişkin kısıtlamalar) ve uygulamadaki zorluklar nedeniyle sınırlı ölçüde ilgi toplayabilmiştir. Burada sunulan yöntem, probleme farklı bir yaklaşım ortaya koymakla birlikte, bazı yenilikleri de içermektedir. Bu yeniliklerden bazıları aşağıda verilmektedir:

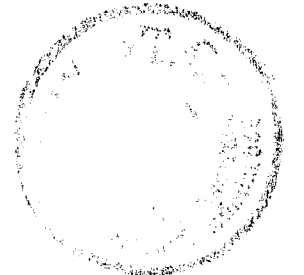
- Sunulan sezgisel algoritma bir sistem yaklaşımı kullanılarak oluşturulmuştur. Böylece, tanımlanan demiryolu sisteminin herhangi bir kesiminde saptanan bir trenlerarası çatışmanın çözümü, sistemin diğer kesimlerinde bulunan trenler üzerindeki etkisi dikkate alınarak gerçekleştirilmektedir.
- Trenlerin öncelikleri, geçirdikleri seyir evreleri dikkate alınarak yenilenmekte (değiştirilmekte); böylece, optimal kontrol için önemli bir özellik algoritma içinde tanımlanmış olmaktadır.
- Algoritma, hem karşılaşma hem de izleme ve önegeçme çatışmalarını çözmek üzere tasarlanmıştır.
- Sunulan model, değişik formdaki amaç fonksiyonlarını (etkinlik ölçütlerini) kullanabilecek esnekliğe sahiptir.



- Bu çalışmada ilk kez, tren dispeçerlerinin trenlerarası çatışma çözümlemesinde uyguladıkları karar davranışlarının matematiksel modeli çok nitelikli seçim modeli olarak oluşturulmuştur. Model çıktısı, gerçek kararlar ile önemli bir uyum göstermektedir.
- Sezgisel algoritma, görelî büyüklükteki örnek problemler için oldukça kısa sürede ‘yeteri kadar iyi’ yeni çizelgeler üretebilmektedir.

Bunlarla birlikte, algoritma aşağıdaki öneriler doğrultusunda geliştirilebilir:

- Algoritma, (iki yönlü tren hareketlerine izin veren sinyalizasyonlu) çift ve çok hatlı demiryolu kesimlerindeki çatışma çözümlerini de yapabilecek şekilde genişletilebilir.
- Trenlerin istasyon hatlarını kullanım öncelikleri belirlenip, özellikle yolcu trenlerinin planlanmış peronlarda bekletilmeleri sağlanmalıdır.
- Sezgisel algoritma, yapılabilecek küçük değişikliklerle taktik çizelgelerin (trafik planlarının) oluşturulması aşamasında, uygulanabilir tren hareketlerinin planlanması amacıyla da kullanılabilir.
- Algoritmanın kapsamı genişletilerek şebeke düzeyinde optimal trafik kontrolü yapılabilmelidir.
- Kesikli öncelikler için, daha iyi sonuçlar üretebilen yeni modeller araştırılmalıdır.
- Sezgisel algoritmanın çözüm kalitesi üzerinde doğrudan etkili olan ortalama gecikme sürelerinin hesabının daha detaylı hale getirilmesi için, sinyalizasyonun (özellikle izleme durumlarında) ve ikiden çok trenin karşılaşma ve



önegeçmelerinin etkisi gözönüne alınabilir. Modeldeki bu tür bir genişletme, özellikle trafiğin yoğun olduğu hatlar için algoritmanın daha kesin sonuçlar verebilmesi bakımından önemlidir.

- Sezgisel algoritma, CTC gibi trafik kontrol sistemleriyle uyumlu hale getirilip, çevrim içi çatışma çözümleme yordamı olarak da tasarlanabilir.
- Prototipi hazırlanmış olan karar destekleyici sistem, kullanımı kolay profesyonel bir paket program olarak tekrar oluşturulup, çevrim dışı kullanım için dispeçerlerin hizmetine sunulabilir.



KAYNAKLAR

Abbott, R.K. (1975) Operation of Hight Speed Passenger Trains in Rail Freight Corridors, *Federal Railroad Administration*, September 1975.

Adam, E.E., Jr. ve R.J. Ebert (1986) Production and Operations Management; Concepts, Models, and Behavior, Prentice-Hall.

Amit, I. ve D. Goldfarb (1971) The Timetable Problem for Railways, *Developments in Operations Research*, Vol. 2, Gordon and Breach, New York, s. 379-387.

Araya, S., K. Abe ve K. Fukumori (1983) An Optimal Rescheduling for Online Train Traffic Control in Disturbed Situations, *Proceedins of the 22nd IEEE Conference on Decision and Control*, s. 489-494.

Araya, S. ve K. Fukumori (1985) ESTRAC-II: An Expert System for Train Traffic Control in Disturbed Situations, *Advances in Artificial Intelligence*, T. O'Shea (Ed.), Elsevier Science Publishers B.V. (North-Holland), s. 23-32.

Armstrong, J. (1957) All About Signals, A special reprint of articles from the June and July 1957 issues of TRAINS, *the magazine of railroading*, Kalmbach Publishing Co.

Assad, A.A. (1980) Models for Rail Transportation, *Transportation Research*, Vol. 14A, s. 205-220.

Banks, J. ve J.S. Carson, II (1984) Discrete-Event System Simulation, Prentice-Hall International Series in Industrial and Systems Engineering edited by W.J. Fabrycky and J.H. Mize.

Barwell, F.T. (1983) Automation and Control in Transport, Pergamon Press Ltd.

Ben-Akiva, M. ve S.T. Lerman (1985) Discrete Choice Analysis, The MIT Press, Cambridge, Massachusetts.

Bouley, J. (?) Just in Time, ?.

Burns, R.D., ve D.B. Turner (1989) Safety and Productivity Improvement of Railroad Operations by Advanced Train Control Systems, *IEEE/ASME Joint Railroad Conference*, April 25-27, 1989, Philadelphia, PA.

Cherniavsky, A.L. (1972) A Program for Timetable Compilation by a Look-Ahead Method, *Artificial Intelligence*, 3, s. 61-76.



Cole, N.M. (1977) Computers in Railroad Control The Progress and The Promise, *Joint ASME/IEEE/AAR Railroad Conference*, March 30-April 1, 1977, Washington D.C.

Devoe, D.V. (1974) An Analysis of the Job of Railroad Train Dispatcher, PB-233 597, prepared for Federal Railroad Administration.

Eisele, D.O. (1985) Interface Between Passenger and Freight Operations, *Transportation Research Record* 1029, In Railroad Productivity, s. 17-22.

English, G.W. ve C. Schwier (1977) Eastern Canada Railway Line Capacity Study, CIGGT Report No. 77-16.

Ford, R. ve D. Haydock (1992) Signalling and Timetabling in *Planning Passenger Railways* edited by Nigel G Harris ve Ernest W Godward, p. 117-129, Transport Publishing Company, January 1992, Great Britain.

Garey, M.R. ve D.S. Jonhson (1979) Computers and Intractability: A Guide to the Theory of NP-completeness, W.H. Freeman, San Francisco.

Harker, P.T. (1990) Use of Advanced Train Control Systems in Scheduling and Operating Railroads: Models, Algorithms, and Applications, *Transportation Research Record* 1263, In Rail Freight Transportation, s. 101-110.

Heard, B.D. (1988) High and Very High Speed Operation in British Railways, *Rail International*, October 1988, pp. 31-36.

Iida, Y. (1988) Timetable Preparation by A.I. Approach, *Proceeding of European Simulation Multiconference*, Nice, France, s. 163-168.

Jovanovic, D. (1989) Improving Railroad On-Time Performance: Models, Algorithms and Applications, A Ph.D. Dissertation in Systems, The University of Pennsylvania.

Jovanovic, D. ve P.T. Harker (1989) SCAN: A Decision Support System for Railroad Scheduling, *IEEE/ASME Joint Railroad Conference*, Philadelphia, PA, s. 97-105.

Jovanovic, D. ve P.T. Harker (1990) A Decision Support System for Train Dispatching: An Optimization-Based Methodology, *Journal of the Transportation Research Forum*, Vol. XXXI, No. 1, s. 25-37.

Kanafani, A.K. (1983) Transportation Demand Analysis, McGraw-Hill, Inc.

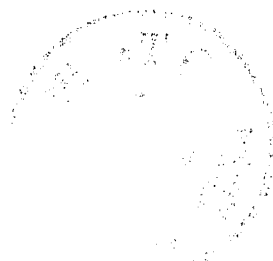
Komaya, K. ve T. Fukuda (1989) ESTRAC-III: An Expert System for Train Traffic Control in Disturbed Situations, *IFAC Control, Computers, Communications in Transportation*, Paris, France, s. 147-153.



- Kraay, D., P.T. Harker ve B. Chen (1991) Optimal Pacing of Trains in Freight Railroads: Model Formulation and Solution, *Operations Research*, Vol. 39, No. 1, Ocak-Şubat, s. 82-99.
- Kraft, E.R. (1987) A Branch and Bound Procedure for Optimal Train Dispatching, *Journal of the Transportation Research Forum*, Vol. XXVIII, No. 1, s. 262-276.
- Means, J.B. (1978) Computer Controlled Dispatching System, *Joint ASME/IEEE/AAR Railroad Conference*, April 11-13, 1978, St. Paul, MN.
- Miyachi, M. (1988) The Development of the Speed Verification Type ATS with the Transponder, *Quarterly Report of RTRI*, Vol. 29, No. 3, August 1988, pp. 103-106.
- Mize, J. H., C.R. White ve G.H. Brooks, (1971) Üretim Planlama ve Kontrol, çeviri: Ayhan Toraman ve Sıtkı Gözlü, Teknik Üniversite Matbaası, Gümüşsuyu, 1984.
- Moody, H.G. (1991) Advanced Train Control Systems Design and Use, *Proceedings of the 1991 IEEE/ASME Joint Railroad Conference*, May 21-23, St. Louis, Missouri.
- Moore-Ede, B. (1990) Advanced Train Control Systems Revolutionize Rails, *Rail International*, November 1990, pp. 10-16.
- Oral, M. ve O. Kettani (1989) Modelling the Process of Multiattribute Choice, *J. of Opl. Res. Soc.*, Vol. 40, No. 3, sayfa 281-291.
- Ozeki, M., S. Naganuma ve N. Inada (1974) Railway Traffic Control System, *Information Processing 74*, North-Holland Publishing Company.
- Peat, Marwick, Mitchell (1977) Train Dispatching Simulation Model: Capabilities and Description, Peat, Marwick, Mitchell & Co.
- Petersen, E.R. (1974) Over-the-road Transit Time for a Single Track Railway, *Transportation Science*, Vol. 8, No. 1, sayfa 65-74.
- Petersen, E.R. ve A.J. Taylor (1982) A Structured Model for Rail Line Simulation and Optimization, *Transportation Science*, Vol. 16, No. 2, s. 192-206.
- Petersen, E.R., A.J. Taylor ve C.D. Martland (1986) An Introduction to Computer-Assisted Train Dispatch, *Journal of Advanced Transportation*, Vol. 20, No. 1, s. 63-72.
- Petersen, E.R. ve A.J. Taylor (1988) An Optimal Scheduling System for the Welland Canal, *Transportation Science*, Vol. 22, No. 3, Ağustos, s. 173-185.
- Potvin, J-Y., G. Dufour ve J-M. Rousseau (1992) Simulating Vehicle Dispatching with Linear Programming Models, *Centre de recherche sur les transports*, University of Montreal, Quebec, Canada, Publication No. 816.



- Rudd, D.A. ve A.J. Story (1976) Single Track Railway Simulation New Models and Old, *Rail International*, June 1976, s. 335-342.
- Sasaki, T. (1988) Train Operations Control in the Future, *Rail International*, January-February 1988, pp. 49-51.
- Sasaki, T. (1988) Development of Signalling Systems in Japan and Their Future Prospects, *Japanese Railway Engineering*, No. 108, December 1988, pp. 14-18.
- Sauder, R.L. ve W.W. Westerman (1983) Computer Aided Train Dispatching: Decision Support Through Optimization, *Interfaces*, Vol. 13, No. 6, s. 24-37.
- Schrage, L. (1991) LINDO, An Optimization Modelling System, Fourth Edition, The Scientific Press.
- Srinivasan, V. ve A.D. Shocker (1973a) Linear Programming Techniques for Multidimensional Analysis of Preferences, *Psychometrica*, Vol. 38, sayfa 337-369.
- Srinivasan, V. ve A.D. Shocker (1973b) Estimating the Weights of Multiple Attributes in a Composite Criterion Using Pairwise Judgements, *Psychometrica*, Vol. 38, sayfa 473-493.
- Steiner, F.T. (1978) Computer-Aided Dispatching, Bulletin 334, Union Switch & Signal Division, Westinghouse Air Brake Company.
- Şahin, İ. (1987) Demiryolu Hat Kapasitesi Analizi İçin Deterministik bir Model, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Üniversitesi, İstanbul.
- Şahin, İ. (1995) Railway Traffic Control Based on Inter-Train Conflict Management, yayımlanmamış çalışma, *Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Müh. Bölümü, Ulaştırma Anabilim Dalı*.
- Szpigel, B. (1973) Optimal Train Scheduling on a Single Track Railway, *OR'72*, North-Holland, s. 343-352.
- Taylor, S.F. (1978) FRA Research for Development of a Universal Signal and Train Control System for U.S. Railroads -- A Progress Report, *Joint ASME/IEEE/AAR Railroad Conference*, April 11-13, 1978, St. Paul, MN.
- TCDD (1995) Haydarpaşa-Ankara ve Arifiye-Adapazarı Kısımları Trenlerinin Kalkış ve Varışlarını Gösterir Tarife.
- Welty, G. (1988) BN and ARES: "Control" in a New Dimension, *Railway Age*, May 1988, pp. 24-26.



Welty, G. (1988) ATCS: More than "train control", *Railway Age*, August 1988, pp. 45-49.

Welty, G. (1991) Precision Train Scheduling, *Railway Age*, Ağustos 1991, sayfa 27-34.

Wong, O. ve M. Rosser (1978) Improving System Performance for a Single Line Railway with Paasing Loops, *New Zealand Operational Research*, Vol. 6, No. 2, s. 137-155.

-, (1989) CSXT gains 20,000-mile control, *Progressive Railroading*, May 1989, pp. 33-36.

-, (1991) Electronics Increasing Role in Railroading, *Progressive Railroading*, December 1991, pp. 24-36.

-, (1992) ATCS Evolving on Railroads, *Progressive Railroading*, December 1992, pp. 24-32.



EK 1 İKİLİ LOGİT MODELİN ELDE EDİLMESİ

Bir potansiyel çatışmaya gireceği öngörülen iki trenin bekletilmek üzere seçilme olasılıkları, trenlerin durumlarına ilişkin bilgiler yardımıyla, ikili logit model kullanılarak belirlenebilir. Modelleme için Bölüm 6'da kullanılan bilgilerden faydalanılacaktır. Sezgisel algoritmanın etkinlik ölçütü, plan duyarlı bir işletme için, sistemdeki trenlerin gerçek varış zamanlarının planlanmış olanlardan sapmalarının toplamı ve amaç ta bu toplamın en küçüklenmesi olduğu için, bu amaca erişmede kritik oran niteliği son derece önemli ve etkili olmaktadır. Bu saptama, Bölüm 6'da elde edilen sonuçlarla da doğrulanmaktadır. Bu nedenlerle, ikili logit modelin oluşturulmasında, sadece kritik oran niteliği kullanılacaktır.

Potansiyel çatışma içindeki tren i ve tren j 'nin, bekletilmek üzere seçimine ilişkin model aşağıda verilmektedir:

$$P_{ij} = \frac{e^{-wV_i}}{e^{-wV_i} + e^{-wV_j}}$$

Burada, P_{ij} tren i 'nin tren j ile gireceği çatışma nedeniyle bekletilme olasılığını vermektedir (ayrıca, $P_{ji} = 1 - P_{ij}$). V_i ve V_j , sırasıyla tren i ve tren j 'nin, sistemin durumunun tanımlandığı andaki kritik oranlarının değerleri; w , her iki tren için de aynı olan ve tahmin edilmesi gereken parametre (kritik oranın katsayısı) olmaktadır. Kritik oran katsayısının işaretinin eksi (-) alınmasının nedeni, kritik oran değeri küçük olan trenin bekletilme şansının azaltılmasıdır.

Gözleme dayanan bilgilerin ışığı altında parametre değerinin tahmin edilmesi için, yaygın olarak kullanılan 'maximum likelihood' yönteminden faydalanılacaktır (Kanafani, 1983).

N adet gözlem için likelihood fonksiyonu

$$\Lambda = \prod_{n=1}^N \frac{e^{-wV_{i(n)}}}{e^{-wV_{i(n)}} + e^{-wV_{j(n)}}} \text{ ve}$$



log-likelihood fonksiyonu

$$\Lambda^* = -w \sum_{n=1}^N V_{i(n)} - \sum_{n=1}^N \ln(e^{-wV_{i(n)}} + e^{-wV_{j(n)}})$$

olmaktadır. Parametrenin değeri, log-likelihood fonksiyonunun parametreye (w) göre birinci dereceden türevinin alınıp sifira eşitlenmesiyle elde edilecek doğrusal olmayan denklemin kökünün hesaplanmasıyla bulunabilir. Yani,

$$\frac{d\Lambda^*}{dw} = 0.$$

Açık olarak,

$$\frac{d\Lambda^*}{dw} = -\sum_{n=1}^N V_{i(n)} + \sum_{n=1}^N \frac{V_{i(n)} e^{-wV_{i(n)}} + V_{j(n)} e^{-wV_{j(n)}}}{e^{-wV_{i(n)}} + e^{-wV_{j(n)}}} = 0.$$

Yukarıdaki denklem iteratif işlemler uygulanarak çözülmüş ve kök, tahmin edilmek istenen parametre değeri olarak hesaplanmıştır. Buna göre, parametrenin değeri

$$w = -4.832215$$

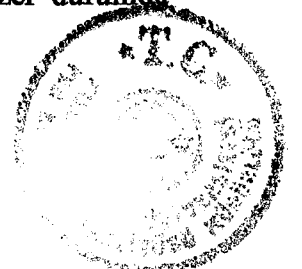
olarak bulunmuştur.

Sonucun güvenilirliğini test etmek üzere likelihood oran testi kullanılacaktır (Ben-Akiva ve Larman, 1985). Bir başka deyimle, aşağıdaki hipotezler test edilecektir:

$$H_0: w = 0$$

$$H_1: w \neq 0$$

Bu testte log-likelihood fonksiyonunun kısıtlanmış ve kısıtlanmamış modelleri karşılaştırılır. Kısıtlanmış model, parametre değerinin sıfır olduğu, sıfır hipotezini temsil eder; kısıtlanmamış model ise, parametrenin sıfırdan farklı olduğu durumu ifade eder. Kısıtlanmış ve kısıtlanmamış modeller için log-likelihood fonksiyonunun alacağı maksimum değerleri, sırasıyla Λ_0^* ve Λ_w^* olarak gösterelim. Buradaki özel durumda



sadece bir parametre bulunmaktadır; bu nedenle, Λ_0^* hesabında kullanılacak kısıt sayısı da $r = 1$ olmaktadır. Böylece,

$$\Lambda_w^* \geq \Lambda_0^*$$

olduğu açıktır.

Kısıtlamanın doğru olduğunu belirleyen, sıfır hipotezinin test istatistiği $-2(\Lambda_0^* - \Lambda_w^*)$ olmakta, bu da asimptotik olarak dağılım gösteren ve serbestlik derecesi r olan χ^2 dağılımıdır. Böylece, istatistiksel olarak $-2(\Lambda_0^* - \Lambda_w^*)$ 'büyük' ise, kısıtlamayı doğru kabul eden sıfır hipotezi reddedilir. Bu çalışmada,

$$\Lambda_w^* = -48.34001 \quad (w = -4.832215) \text{ ve} \\ \Lambda_0^* = -61.69004 \quad (w = 0);$$

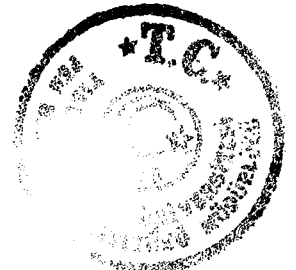
test istatistiği ise

$$-2(\Lambda_0^* - \Lambda_w^*) = -2(-61.69004 + 48.34001) = 26.70006$$

olarak hesaplanır. Serbestlik derecesi 1 ve 0.001 anlamlılık düzeyi (%99.999 güvenlik) için $\chi_{1,0.001}^2$ dağılımı, 10.828 değerini almaktadır.

$$-2(\Lambda_0^* - \Lambda_w^*) > \chi_{1,0.001}^2$$

olduğu için sıfır hipotezi reddedilir.



EK 2

KULLANILAN KAVRAMLAR

Algoritma (algorithm): Algoritma, problem çözmek gibi bir işlevi olup, belirli bir amaca erişmek üzere hazırlanan ve aralarında mantıksal ilişkiler bulunan adımlar dizini. Bir algoritma; deterministik adımlardan oluşmalı, sonlu sayıdaki adımlardan sonra işlemi tamamlamalı, ve kesin olmayan olayları ele alabilecek esnekliğe sahip olmalıdır.

Amaç fonksiyonu (objective function): Problem çözümünde optimal değeri bulunmak istenen hedefin matematiksel ifadesi. Burada amaç, ya istenen hedefi en büyük yapmak (örneğin, demiryolu sisteminin verimliliği, etkinliği vb.) ya da istenmeyen çıktıları en küçük yapmak (örneğin, sistemdeki trenlerin toplam çatışma gecikmeleri vb.)'tır.

Beklenen varış zamanı (expected time of arrival): Sistemdeki bir trenin, bulunduğu buluşma noktasından gerçek kalkış zamanı ile, bu noktayla son varış noktası arasındaki tabii seyir süresi ve yine bu iki nokta arasında gireceği potansiyel çatışmalar sebebiyle yapacağı gecikmelerin toplamı.

Blok Sinyal Sistemi (block signal system): Aynı yönde hareket eden tren trafiğini, hat boyunca belirli aralıklarla yerleştirilmiş, tren hareketleriyle eşgüdümlü olarak çalışan sinyaller aracılığıyla düzenleyen; iki tren arasında işletme güvenliği ve hat kapasitesi bakımından en uygun mesafenin bulunmasını sağlayan bir sistem. El kontrollü ve Otomatik Blok Sinyal sistemleri uygulanmaktadır.

Buluşma kesimi (meet section): Komşu buluşma noktalarını (istasyon/sayding) birleştiren demiryolu hattı.

Buluşma noktası (meet point): Demiryolu hattı üzerinde bulunan istasyon veya sayding'lerin genel adı.

Çatışma (conflict): Bkz. Trenlerarası çatışma.

Çatışma gecikmesi (interference delay): Çatışma çözümü için, çatışan trenlerden birinin, ilerlemesine izin verilen diğer trenin hattı boşalttığı zamana kadar, buluşma noktasında bekletilme süresi.

Çizelge (schedule): Bir trafik yönetim bölgesi içinde işletilen trenlerin hareket planlarının toplu olarak gösterildiği, karşılaşma ve önegeçme bilgilerini içeren, normal koşullarda çatışma bulunmayan, ve genel olarak yatayda zamanın, düşeyde yolun (istasyon/sayding yerlerinin) işaretlendiği bir grafik.

Çok nitelikli seçim (multi-attribute choice): Sistemdeki her trenin belirli niteliklerle tanımlanabildiği kabul edilen, ve çatışan trenlerden bekletilen ve ilerlemesine izin verilen trenin, bu niteliklerin aldığı (ağırlıklı) değerlere göre belirlendiği bir yöntem.

Çözüm yordamı (solution/resolution procedure): Bir çözüm yordamı, belirli bir işlevi yerine getirmek üzere bir araya getirilmiş bir komutlar dizisidir.

Dinamik öncelik sayısı (dynamic priority number): Çatışma çözümünde faydalanılan ve trenlere ait bazı nitelikleri ağırlıkları ile birlikte içeren bir matematiksel fonksiyonun aldığı değer. Bu fonksiyon, aynı zamanda, karar verici konumundaki tren dispeçerinin çatışma çözümündeki karar davranışının matematiksel modelidir.

El kontrollü Blok Sinyal (EBS) sistemi (manual block signal system): Hat boyunca belirli yerlerde bulunan mekanik blok işaretinin (semafor) ilgili operatör aracılığıyla kontrol edildiği blok sistem.

En erken çatışma (immediate conflict): Trenler arası potansiyel çatışmalar arasında en erken gerçekleşmesi beklenen çatışma.

En küçük güvenlik (karşılaşma) süresi (minimum safety headway): Zıt yönde hareket eden iki trenden birinin bir buluşma noktaya varış zamanıyla, diğer trenin aynı noktadan kalkış zamanı arasındaki fark.

En küçük izleme süresi (minimum following headway): Bir buluşma noktasından aynı yönde hareket eden iki trenden, arkadaki trenin hız kısıtı yapmadan öndekini izleyebilmesi için, bu noktadan kalkış zamanları arasında bulunması gereken en küçük süre.

Etkinlik ölçütü (measure of effectiveness): Bir problem çözümünde hedef olarak belirlenmiş olan ölçüt (örneğin, sistemdeki trenlerin toplam çatışma gecikmeleri vb.).

Gerçekleşen çizelge (actual schedule): Gerçek işletme koşullarında, önceden hazırlanmış çizelgede bulunan trenlerin izlenmiş oldukları hareket planlarının bütünü. Gerçekleşen çizelgenin, önceden hazırlanmış çizelgenin aynısı (veya buna uygun) olması istenir.

Geribesleme (feedback): Demiryolu trafik kontrolünün en önemli özelliklerinden biri. Trafik yönetim bölgesi içinde gerçekleşen tren hareketlerine ilişkin bilgilerin, değerlendirilmek üzere trafik yönetim merkezine iletilmesi.

Hareket planı (operating plan): Trenin, ilk kalkış istasyonundan kalkış zamanı ile son varış istasyonuna varış zamanını, ara istasyon/saydın'lara varış ve kalkış zamanlarını içeren plan.

Hareket planından sapma (deviation from operating plan): Gerçek işletme koşullarında, tren hareketlerinin çizelgede belirlenmiş olan hareket planından, zamansal farklılık göstermesi (örneğin, gecikmesi).

Hedef (goal): Bir problemin çözümünde elde edilmek istenen çıktı(lar) (örneğin, tren hareketlerinin güvenliğini sağlamak, trenlerin varış noktalarına zamanında varmalarını sağlamak vb.).

İleri bakış yöntemi (look-ahead method): Trafik kontrolünde, bir kesim için verilen bir kararın, sistemin diğer kesimlerine olan etkisinin belirli genişlikteki bir zaman aralığı için belirlenmesinde kullanılan yöntem.

İleri Tren Kontrol Sistemleri (İTKS) (advanced train control system): Kuzey Amerika'da geliştirilmekte olan, günümüz bilgisayar ve haberleşme teknolojisini kullanan, gerçek zamanlı bir kontrol sistemi.

İstasyon (station): Demiryolu hattının belirli kesimlerinde, yolcu ve yük hizmetlerinin verildiği ve trafik akışının düzenlenmesi sırasında karşılaşma/önegeçme işlemlerinin yapıldığı yerler.

İzleme ve önegeçme çatışması (following and overtaking conflict): Aynı yönde hareket etmekte olan iki trenden izleyen (arkadaki) trenin öndeki trene, kontrol sisteminin izin verdiği en küçük izleme mesafesini aşır, daha fazla yaklaşması durumu.

Karar destekleyici sistem (decision-support system): Yönetim işleminde, karar verici konumunda bir insanın bulunması durumunda, özellikle, büyük boyutlu, karmaşık, kombinatoryal problemlerin çözümünde karar vericiye alternatif çözümler sunan bilgisayar sistemi.

Karşılaşma çatışması (meet conflict): Zıt yönde hareket etmekte olan iki trenin tek hatlı bir demiryolu üzerinde komşu iki buluşma noktası arasında karşılaşması durumu.

Karşılaşma/Önegeçme planı (meet/pass plan): Trenlerarası çatışma çözümleri için gerçekleştirilen karşılaşma/önegeçme'lerin (buluşmaların) yer ve zamanını, hangi trenin hangi hattı ne kadar süreyle işgal edeceğini gösteren plan.

Kesikli olay simülasyonu (discrete-event simulation): Her hangi bir anda sistemi tanımlayan durum değişkenlerinin sadece zaman içindeki kesikli noktalarda değiştiği bir sistem modelleme tekniğidir.

Kesikli öncelik (discrete priority): İki tren arasında gerçekleşen bir çatışmanın çözümü için her bir trenin bekletilme olasılığı.

Matematiksel model (mathematical model): Ele alınan bir sistemin elemanları arasındaki matematiksel ilişkiler kümesi.

Merkezi Trafik Kontrol (CTC) Sistemi (centralized traffic control system): Belirli bir bölge içindeki demiryolu trafiğinin, uzaktan kontrol edilebilen makas ve sinyaller aracılığıyla bir merkezden yönetildiği sistem.

Miyopik çözüm (myopic solution/resolution): Bir trenlerarası çatışmanın çözümünün sadece bu çatışmaya katılan trenler gözönünde bulundurulması işlemi.



Miyopik gecikme (myopic delay): Bir trenlerarası çatışmanın çözümü için çatışmaya katılan trenlerden birinin ilgili buluşma noktasında bekletilme süresi.

Ortalama çatışma gecikmesi (average interference delay): Çatışan trenlerin ortalama seyir süresi ve dinamik öncelik sayısına (ya da kesikli önceliğine) bağlı olarak hesaplanan ortalama bekleme süresi.

Otomatik Blok Sinyal (OBS) Sistemi (automatic block signal system): Aynı yönde hareket etmekte olan tren trafiğinin, tren hareketlerine bağlı olarak çalışan otomatik sinyallerle düzenlendiği sistem.

Otomatik Hız Kontrol (OHK) Sistemi (automatic speed control system): Gerçek tren hızının, hat kesimi için belirlenmiş olan hız limitini aşması durumunda, trenin hızını düşürmek amacıyla otomatik frenlemeye başlatıldığı sistem.

Otomatik Kabin Sinyalizasyon (OKS) Sistemi (automatic cab signaling system): Yol boyu sinyallerine ilişkin bilginin, yine sinyaller aracılığıyla lokomotif içinde makiniste sunulduğu sistem.

Otomatik Taşıt Tanımlama (OTT) (automatic vehicle identification): Lokomotif ve vagonları tanımlayıcı işaretlerin bir okuyucu yardımıyla okunup, bilginin ilgili merkeze iletildiği sistem. Bu sistemle, her demiryolu taşıtının bulunduğu yer belirlenebilmektedir.

Otomatik Tren Durdurma (OTD) Sistemi (automatic train stopping system): Bir trenin dur işaret/sinyal'ini ihlal etmesi durumunda otomatik olarak durdurulduğu sistem.

Önceden hazırlanmış çizelge (pre-established schedule): İstemi karşılamak üzere, geçmiş taşımacılık bilgileri ve demiryolu işletmesinin kaynakları gözönünde bulundurularak, işletilecek tren türlerinin ve zamanlarının belirlendiği çizelge.

Plan duyarlı işletmecilik (plan-responsive operations): Tren trafiğinin önceden hazırlanmış çizelgeye uygun olarak yürütüldüğü işletmecilik türü.

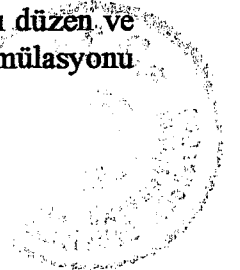
Planlanmamış durum (normal dışı durum) (abnormal situation): Rassal olarak ortaya çıkan, önceden planlanmamış olay.

Potansiyel çatışma (potential conflict): Gelecekte gerçekleşmesi beklenen çatışma.

Sayding (siding): Trenlerin karşılaşma ve önegeçme işlemlerinin yapıldığı, birden çok paralel hattan oluşan demiryolu kesimi.

Sezgisel algoritma (heuristic algorithm): Problem çözümünde, probleme özel bazı kurallar kullanılarak oluşturulan ve optimale yakın çözümler üreten algoritma.

Simülasyon (simulation): Sayısal bir teknik olan simülasyon, bir sistemin farklı düzen ve senaryolar için gösterdiği performansın gözlenmesi için yapılan deneyler. Simülasyonu



yapılacak olan sistemin bir modeli oluşturulur (örneğin, matematiksel modeli), ve belirli bir zaman aralığı için deney uygulanır.

Simülasyon adımı (simulation step): Simülasyonun gerçekleştirileceği zaman aralığı. Sürekli simülasyonda bu adımın uzunluğu sabit olup; kesikli olay simülasyonunda adım uzunluğu, ardışık olaylar arasındaki süre olmaktadır.

Sistem (system): Belirli bir amaca erişmek üzere bir araya getirilmiş, birbirleriyle karşılıklı ilişki veya bağımlılık gösteren elemanların (bileşkenlerin) kümesi.

Sistemin durumu (state of system): Zaman içinde belirli bir anda sistemi tanımlamak için gerekli değişkenler kümesi (ve bu değişkenlerin aldığı değerler).

Sistem yaklaşımı (systems approach): Sistemin belirli bir bölümünde yapılan bir değişikliğin, sistemin bütünü üzerindeki etkisini belirlemeye yönelik bir yaklaşım.

Sürekli simülasyon (continuous simulation): Simülasyon işleminin belirli uzunluktaki zaman aralıklarıyla gerçekleştirildiği simülasyon türü.

Talep duyarlı işletmecilik (demand-responsive operations): Tren trafiğinin önceden hazırlanmış çizelgeye göre değil de, mevcut talebe göre yönetildiği işletmecilik türü.

Temel öncelik sayısı (basic priority number): Her trene hızına, önemine ve hareket yönüne göre işletme tarafından atanan gerçek bir sayı. Temel öncelik sayısı, trenler arası çatışmaların çözülmesine ilişkin kararlarda önemli bir rol oynar.

Trafiğin Merkezden İdaresi (TMI) Sistemi (timetable and train order system): Sınırları belirli bir bölge içindeki tren trafiğinin, dispeçer tarafından gönderilen kontrol emirlerinin hat boyundaki operatörler (hareket memurları) aracılığıyla uygulanmasıyla yönetildiği trafik kontrol sistemi.

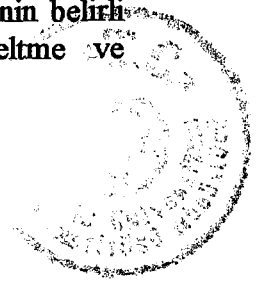
Trafik kontrolü (traffic control): Trafiğin gözlenmesi, gerekli düzeltme ve düzenlemelerin planlanması ve bunların uygulanmasına ilişkin işlemler bütünü.

Trafik kontrol sistemi (traffic control system): Trafik kontrolünü gerçekleştirmek için gerekli donanım.

Trafik yönetim bölgesi (traffic management territory): Fiziki sınırları belirli, içinde bir veya daha çok paralel hattın, ya da bir (alt) şebekenin bulunduğu demiryolu kesimi.

Trafik Yönetimi (traffic management): Tren trafiğinin belirli amaçlar doğrultusunda oluşturulan plan(lar)a göre yürütüldüğü, ve haberleşme ve gözlem yoluyla bilgi alış verişinin esas olduğu işlevler bütünü.

Trafik yönetim merkezi (traffic management centre): Trafik yönetim bölgesinin belirli bir yerinde bulunan ve bölge içindeki trafiğin gözlendiği, gerekli düzeltme ve



düzenlemelerin planlandığı, ve gerekli kontrol emirlerinin ilgili yerlere gönderildiği merkez.

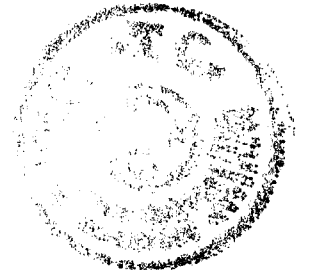
Tren (train): İlk kalkış ve son varış istasyonları ve zamanlarıyla, ağırlığı, uzunluğu, türü (yolcu, yük) gibi özellikleri belirli; bir veya daha çok lokomotif tarafından çekilen vagon dizisi.

Tren Kontrol Sistemleri (train control systems): Tren hareketinin güvenliğini sağlamak üzere kullanılan; hız limitlerinin aşılması ve kırmızı sinyalin geçilmesi durumlarında, sırasıyla, hız kontrolü ve durdurma gibi donanımları otomatik olarak devreye sokan sistemler.

Trenlerarası çatışma (inter-train conflict): İki trenin aynı yerde aynı zamanda bulunması durumu. Örneğin, tek hatlı bir demiryolu hattında zıt yönde hareket eden iki trenin komşu iki istasyon/sayding arasında karşılaşması bir çatışma durumudur.

Yeniden çizelgeleme (rescheduling): Normal dışı olayların ortaya çıkması sebebiyle bir veya daha çok trenin hareket planından saparak, Önceden hazırlanmış çizelgenin uygulanamaz olması durumunda, bu çizelgenin yenilenerek uygulanabilir hale getirilmesi.

Zaman aralığı (time horizon): Yeniden çizelgeleme ya da planlamanın gerçekleştirildiği, ve başlangıç ve sonu belirli aralık.



YÜKSEKÖĞRETİM KURU
BİLİM VE ARAŞTIRMA MERKEZİ

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi	26 Ocak 1963	
Doğum yeri	Bakırköy, İstanbul	
Lisans	1980 - 1985	İnşaat Mühendisliği, Yıldız Teknik Üniversitesi
Y. Lisans	1985 - 1987	Ulaştırma Programı, İnşaat Müh., F.B.E., Yıldız Teknik Üniversitesi
Arş. Görv.'liliği	1985 -	Devam ediyor. İnşaat Müh. Bölümü, Yıldız Teknik Üniversitesi
Doktora	1987 - 1995	Ulaştırma Programı, İnşaat Müh., F.B.E., Yıldız Teknik Üniversitesi
Ödül	1989	Milli Prodüktivite Merkezi, Teşvik Ödülü
Burs	1990 - 1994	Canadian Institute of Guided Ground Transport, Queen's University, Kanada'da ulaştırma mühendisliğinin çeşitli konularında bilgi artırma ve araştırma
Ödül	1992	Seçkin öğrenci olarak davet, International Intermodal Expo'92, Atlanta, Georgia, A.B.D.
Ödül	1995	Lisans Üstü öğrencileri arası makale yarışmasında üçüncülük ödülü, 37. Transportation Research Forum yıllık konferansı, Chicago, A.B.D., Makalenin adı: Railway Traffic Control Based On Inter-Train Conflict Management.

