

T.C.
İSTANBUL AYDIN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



YÜKSEK HIZLI DEMİRYOLLARININ
ÜLKEMİZ VE BÖLGE İÇİN
EKONOMİK AÇIDAN İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ONUR ŞAHİN
(Y1313.090020)

İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı
İnşaat Mühendisliği Bilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Mehmet Fatih ALTAN

HAZİRAN 2017



T.C.
İSTANBUL AYDIN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ

Yüksek Lisans Tez Onay Belgesi

Enstitümüz İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı İnşaat Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans Programı Y1313.090020 numaralı öğrencisi **Onur ŞAHİN**'in "YÜKSEK HIZLI DEMİR YOLLARININ ÜLKEMİZ VE BÖLGE İÇİN EKONOMİK AÇIDAN İNCELENMESİ" adlı tez çalışması Enstitümüz Yönetim Kurulunun 12.06.2017 tarih ve 2017/13 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından **şub. ü. ile Tezli Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.**

Öğretim Üyesi Adı Soyadı

İmzası

Tez Savunma Tarihi : 14/06/2017

1) Tez Danışmanı: Doç. Dr. Mehmet Fatih ALTAN

2) Jüri Üyesi : Doç. Dr. Halit ÖZEN

3) Jüri Üyesi : Yrd. Doç. Dr. Yavuz DELİCE

.....
.....
.....

Not: Öğrencinin Tez savunmasında **Başarılı** olması halinde bu form **imzalanacaktır**. Aksi halde geçersizdir.

YEMİN METNİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Yüksek Hızlı Demiryollarının Ülkemiz ve Bölge İçin Ekonomik Açıdan İncelenmesi” adlı çalışmanın, tezin proje safhasından sonuçlanmasına kadarki bütün süreçlerde bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurulmaksızın yazıldığını ve yararlandığım eserlerin Bibliyografya’da gösterilenlerden oluştuğunu, bunlara atıf yapılarak yararlanılmış olduğunu belirtir ve onurumla beyan ederim. (15.02.2017)

Onur ŞAHİN

ÖNSÖZ

Bu çalışmayı, ileride ülkemizde ve dünyada gelişmekte olan yüksek hızlı demiryollarının projelendirmesinde ve maliyet hesaplarında ön proje safhasında incelenmesi maksadıyla meslektaşlarımıza ışık tutması umuduyla gerçekleştirdim. Çalışmalarım sırasında desteklerini esirgemeyip bilgi ve deneyimleri ile bana yol gösteren çok değerli danışman hocam Doç. Dr. Mehmet Fatih ALTAN'a, çalışmamın bu aşamaya gelmesinde pay sahibi olan abim Burak ŞAHİN'e teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca hayatım boyunca bana maddi ve manevi destek olan, öğrenim hayatımın mimarları babam Hüseyin ŞAHİN'e, annem Nardane ŞAHİN'e ve eşim Ceren ŞAHİN'e sonsuz sevgilerimi ve şükranlarımı sunarım.

Şubat, 2017

Onur ŞAHİN
İnşaat Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ	iv
İÇİNDEKİLER	v
KISALTMALAR	vi
ÇİZELGE LİSTESİ	vii
ŞEKİL LİSTESİ	viii
ÖZET	ix
ABSTRACT	x
1. GİRİŞ	1
2. TREN PLANLAMA MODELİ GELİŞTİRİLMESİ	3
2.1 Amaç Fonksiyonunun Formüle Edilmesi	10
2.2 Alçak ve Yüksek Bağ Kısıtları	11
2.3 Sonuçlar	13
3. YÜKSEK HIZLI TRENLERİN ÇEVRESEL ETKİLERİNİN AZALTILMASINDA AVRUPA ÖRNEĞİ	14
3.1 Sonuç ve Değerlendirme	26
4. TAYVAN YÜKSEK HIZLI DEMİRYOLU HATTI UYGULAMASI	37
4.1 Yüksek Hızlı Tren Yolcu Hizmetinin Planlanması	39
5. SONUÇLAR	43
KAYNAKLAR	48
ÖZGEÇMİŞ	50

KISALTMALAR

AB	: Avrupa Birliği
DB	: Deutsche Bank (Alman Bankası)
Db	: Desibel
EMU	: Çoklu elektrik birimleri
ERRAC	: Avrupa Demiryolu Araştırmaları Müşavirlik Konseyi
ETR	: Elettro Treno Rapido (Elektrikli Hızlı Tren)
GSYİH	: Gayri Safi Yurtiçi Hasıla
HS2	: High Speed-2 (Yüksek Hız-2)
ICE	: Inter City Express (Şehirlerarası Express)
LP	: Doğrusal Programlama
MIP	: Karma tamsayılı doğrusal programlama
MOLP	: Microsoft tabanlı bir probleme
SNCF	: Fransız Demiryolu Şirketi
SRRA	: Stratejik Demiryolu Araştırma Ajandası
TEM	: Avrupa Ötesi Otoyollar
TGV	: Train a Grande Vitesse (Yüksek Hızlı Tren)
Transaero	: Avrupa Ötesi
YHT	: Yüksek Hızlı Tren

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Planlama Düzeyleri	5
Çizelge 3.1 : Sekiz Orta Vagonlu ETR500’de Boji Kaplamalı Donanımlı Sürtünme Azaltım Etkisi	18
Çizelge 4.1 : Çeşitli Yüksek Hızlı Tren Projelerindeki Başlangıç Maliyetleri.....	40
Çizelge 4.2 : Maliyet ve Faydaların 60 Yıllık Periyottaki Şimdiki Değerleri	42

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Platformdaki Azalma.....	9
Şekil 2.2 : Kapsamlı Platformdaki Azalma	9
Şekil 2.3 : Bir Sanal Hat Eklenmesi	10
Şekil 2.4 : Orijinal ve Normalize Edilmiş Pareto Etkinlik Değerleri	13
Şekil 3.1 : Öngörülen Trans Avrupa Yüksek Hızlı Tren (YHT) Ağı	16
Şekil 3.2 : Test Edilen ETR500 Treni	18
Şekil 3.3 : ETR 500’de Kaplama Kaynaklı Gürültü Düzeyi Ölçüm Örneği	19
Şekil 3.4: DB-Bombardier İşbirliğinde Çalışılan Akustik Optimize Pantograf Sonaçları	21
Şekil 3.5 : Üç Farklı Pencere Türü İçin Tünel Çıkış Dağılımı Çalışması Örneği	23
Şekil 3.6 : Değişen Özellikler Altında Bariyerlerin Gürültü Kesim Simülasyonu....	25
Şekil 3.7 : Akustik Olarak Pürüzsüz Bir Bariyerin Tam Ölçekli Testi	25
Şekil 3.8 : Japonya’da Bir Kentiçi Raylı Sistem Hattı	27
Şekil 3.9 : Japonya’da Raylı Sistem Hizmeti	27
Şekil 3.10 : Çanakkale Köprüsü Şantiyesi.....	28
Şekil 3.11 : Çanakkale Köprüsü Güzergahı.....	29
Şekil 3.12 : Çanakkale Köprüsü Temeli Genel Görünüm	30
Şekil 3.13 : Çanakkale Köprüsü Mücavir Alanı	31
Şekil 3.14 : Çanakkale Köprüsü Karayolları Güzergahı	32
Şekil 3.15 : Çanakkale Köprüsü Boykesit	33
Şekil 3.16 : Humber Köprüsü, İngiltere.....	34
Şekil 3.17 : Nanjing Fourth Yangtze Köprüsü, Çin.....	34
Şekil 3.18 : Runyang Köprüsü, Çin	35
Şekil 3.19 : 3 Katlı Büyük İstanbul Tüneli	36

YÜKSEK HIZLI DEMİRYOLLARININ ÜLKEMİZ VE BÖLGE İÇİN EKONOMİK AÇIDAN İNCELENMESİ

ÖZET

Yüksek hızlı demiryolları 40 yılı aşkın bir geçmişe sahiptir. Demiryolları 1980'lerin sonuna kadar özellikle doğu Avrupa ve Asya'nın çeşitli yerlerinde revaçta olmaya devam etmiştir. Akabinde Fransa ve Almanya'nın öncülüğünde, özellikle yüksek hızlı demiryollarının gelişimi ile birlikte yeniden yaygınlık kazanmaya başlamıştır. Ardından bu sürece İspanya da etkili bir şekilde dâhil olmuş olup günümüz itibari ile Avrupa'da kıta sathında bir yüksek hızlı demiryolu ağından söz edilebilir.

Demiryolları, Japonya'da ise uzun yıllar ve kesintisiz bir gelişim göstermiştir. Son yıllarda uzak doğuda bu sürece Çin, Güney Kore ve Tayvan başta olmak üzere çeşitli ülkeler etkin bir şekilde dâhil olmaya başlamışlardır.

Günümüz itibari ile dünya genelinde Afrika, Asya ve Amerika kıtasında gelişimini sürdüren bir yüksek hızlı demiryolundan bahsedebiliriz. Demiryolları özellikle 1990'lı yıllardan itibaren dünya genelinde tekrar kabul görmeye başlamıştır.

Ülkemizde de Osmanlı'nın son dönemi ve Cumhuriyet'in ilk yıllarında demiryollarına ciddi yatırımlar gerçekleştirilmiştir. Fakat ardından 2000'li yılların başlarına kadar demiryollarına olan ilgi oldukça alt seviyelerde kalmıştır. 2000'li yıllar ile birlikte yüksek hızlı demiryolları ve kentiçi raylı sistemler başta olmak üzere ülkemizde demiryollarına çok ciddi yatırımlar yapılmaya başlanmış olup halen de artarak devam etmektedir.

Ulaştırma yatırımları ekonomik ve sosyal açıdan başlı başına önemli ve hayati bir role sahiptir. Ulaştırmanın birçok farklı disiplini tamamlayan bir özelliği bulunmaktadır. Ülkemizde yatırımlara ayrılan yıllık bütçelerin neredeyse yarısı ulaştırmaya ayrılmaya başlanmıştır. Yüksek hızlı demiryolları ise günümüzde şehirleri, yöreleri, ülkeleri ve bölgeleri birbirine bağlayan en aktif ulaştırma modlarından birisidir. Yüksek hızlı demiryollarının en önemli avantajlarından birisi de diğer ulaştırma modlarına nazaran daha çevre dostu olmasıdır.

Bu noktada, yüksek hızlı demiryolları başta olmak üzere demiryollarında ki en önemli unsurlardan birisi planlamadır. Planlama, demiryollarının ekonomi üzerindeki etkisinin yönünde de belirleyici olmaktadır.

Bu bağlamda ulaştırma yatırımlarının doğru planlanması ile ülkemiz ve ülkemizin merkezinde olduğu bölge, ekonomide entegre bir gelişim ortaya koyma imkanına kavuşabilecektir.

Anahtar Kelimeler: Ekonomi, Planlama, Ulaştırma Yatırımları, Yolcu Taşımacılığı, Yüksek Hızlı Tren

INVESTIGATING HIGH SPEED RAILWAYS IN TERMS OF ECONOMICS FOR TURKEY AND THE REGION MASTER THESIS

ABSTRACT

High speed railways have a history that is more than forty years. Railways have continued to be popular especially in Europe and various sides of Asia till the ends of 1980s. Then on the leadership of France and Germany, railways have gained wide currency especially with the improvement of high speed railways. Behind Spain has started to include in this phase spryly which a continental wide high speed railway network can ben mentioned in Europe nowadays.

Railways have showed a continuous development in Japan for years. In last years various countries in far east particularly China, South Korea and Taiwan have included this phase effectively. It can be mentioned that a high speed railway which has a continuos improvement in Africa, Asia and America continets too. Railways have started to be approved again on worlwide by the beginning of 1990s.

Large amounts of investments have been realised to railways on Ottoman last periods and early republic periods of Turkey too. But after this, interest to railways have remained on very low levels untill 2000s. Very important and vital investments have been started to realise to railways especially on high speed railways and urban railways in Turkey since the early 2000s and this trend still continues.

Transportation investments have rather significant and vital role on itself in terms of economy and society. Transportation has a feature that is complementing to various disciplines. Almost half of annual investment budget has started to split to transportation sector. High speed railway is one of the most active transportation mode that connects urbans, localities, countries and regions to each other. One of the most important advantages of high speed railways is being more environment friendly with respect to other modes.

At this point, one of the most significant element on railways, especially on high speed railways is planning. Planning is also determinant on the direction of the impact of railways to the economy.

In tihs context, Turkey and the region that is on the centrality of Turkey will have the ability of the possibility of integrated development on economy.

Keywords: Economy, High Speed Train, Passenger Transport, Planning, Transportation Investments

1. GİRİŞ

Son on yıllık periyotlar boyunca; Türkiye önemli ekonomik ve endüstriyel kalkınmalar gerçekleştirdi. 79 milyonu aşkın nüfuslu ülke 63230 km otoyol ve 15000 km demiryoluna sahiptir. Karayolları; yük taşımacılığının %91'i ve yolcu taşımacılığının %95'ini oluşturmaktadır. Demiryolları yük ve yolcu taşımacılıklarında ortalama %4'lerde bir paya sahip olup, geri kalan yüzdeler denizyolu ve havayolu tarafından paylaşılmaktadır. Türkiye'de yıllardan beri süregelen modlar arası dengesiz dağılım ve Karayollarında yüksek ağırlık önemli bir problemi teşkil etmiştir (Ilıcalı, 2014: 4). Cumhuriyet'in kuruluşunun ilk yıllarında; Osmanlı Dönemi'nden kalma Demiryolu Hatlarının, mevcut Türkiye Cumhuriyeti sınırları dahilinde kalanlarının üzerine; kurucu kadroların uluslar arası ve ulusal politikayı sağlıklı okumaları neticesinde, demiryollarına çok büyük yatırımlar gerçekleştirilmiş ve demiryolları Anadolu sathına başarıyla yayılmıştır. Dünya Savaşları ve takibinde Soğuk Savaş yıllarında; demiryolu hatları, bunların teknik ölçüleri (gabari vs), kendi içinde ayrı bir dünya tasarımına ve blokdaşlığı(sınırdaşlığa) işaret ediyordu. Türkiye'deki gelişmeleride bunun paralelinde okumak mümkündür. Ne varki; kurucu kadrolar sonrasında takip eden politik süreçler Türkiye'yi (dünya gelişmeleri bağlamında) karayollarına itti. İlk dönemler akıllı ve çaplı olan Karayolu yatırımları, sonrasındaki süreçte Otomotiv Sektörü'ne ve dolayısıyla 'Petrol Piyasası'na ve neticesinde Başat Emperyal Politika'ya bağımlılığı beraberinde getirmiştir. Sonrasında takip edilen politikalar, sürekli olarak 'Mevcut Karayolu Ağırlığı' üzerinden; 'otomobil'i statü olarak algılayan ve algılatan, üretmeden 'tüketim kültürü' nü hâkim kılan ve önümüzdeki sorunu 'Ulaşım Modları Dağılımı'ndada kendini bu şekilde ortaya koyacak kadar büyüyen bir tabloyla bizi karşı karşıya bırakmıştır.

Bununla beraber; dünyanın için de bulunduğu Sosyal-Ekonomik-Politik değişim süreci, Kuzey'in ve Batı'nın dengesiz bir şekilde refaha hâkim olmasını ve tek kutupluluğu-az kutupluluğu dağıtmayı en azından düşünce bazında gündeme getirmiştir. Bu bağlamda sosyo-politik anlamdada, demiryolları yeni koyduğu altyapı

imkanları-hizmet düzeyleri ve hız kısıtlarıyla; çok kutupluluk ve dengeli dağılım imkanlarının işaretini vermektedir.

Son on yıllık devlet politikaları; ulaşırmada dengeli dağılım adına tersine bir ivmelendirme geliştirmiş olup bu süreç ama yavaş ama hızlı işlemektedir. Ve yönetici kadroların; belli ölçekler belli teknik şartlar altında ‘Yüksek Hızlı Demiryolları’ na hem yatırım ve hemde planlama anlamında çok sıcak yaklaştığı görölmektedir.

Cumhuriyet’ in ilk yıllarında demiryolları odaklı bir politika olduğu bilinmektedir. Bu bağlamda; Cumhuriyet öncesi dönemde Türkiye sınırları dahilinde 4000 km hat mevcuttu. Bunun üzerine; Cumhuriyet’in ilk 20 yıllık döneminde 4000 km demiryolu ağı daha yapıldı. Buna karşın; 1950’lerle birlikte ‘anayurdu demirağlarla örme’ politikası kaldırılmış ve otoyol devri başlatılmıştır. Bu süreçte; ulaşım sistemleri arası dağılım dengesi tamamıyla karayolları lehine dönüşmüştür. 1980’lerin başlangıcıyla birlikte farklı gruplarca muhalefete karşı 2000 km otoyolu planlanıp tamamlanmış ve bunların büyük kısmı Ankara-Edirne ağı üzerindeki büyük şehirleri (TEM:Avrupa Ötesi Otoyolları, Yaklaşık 700 km) birbirine bağlamışlardır. Demiryollarının ilk yatırı maliyeti otoyollardan yüksek olabilmesine karşılık, bakım ve onarım maliyetlerini içeren toplam maliyetlerde Demiryolları daha uygun bir tercihtir. Ayrıca; çevresel etkilerde dikkate alındığında otoyollar oldukça dezavantajlı görölmektedir (İlıcılı, 2014: 4).

Türkiye’de demiryollarına yatırım Osmanlı döneminde Anadolu Merkezli olarak geniş bir coğrafyada (Hicaz Demiryolu) gerçekleştirilirken, Cumhuriyet Dönemi’ nde zamanın kısıtlı koşullarına karşı Kurucu Kadrolarca Anadolu sathına alabildiğine büyük ölçekte yayılmıştır. Takip eden yıllarda hem ülkemizde ve hem de Dünya sosyo-politiğinde Karayolu Ulaşım Modu yayılımı ve otomobil kullanım gerçeğiyle yüzleşilmiştir. Bu; Soğuk Savaş Süreci ve Kapital Merkezli kutuplaşmanın da bir sonucudur.

Neticede; Türkiye’ de bu süreçten önemli düzeyde etkilenmiştir. Maalesef; Cumhuriyet’ in ilk yıllarındaki üretim ve teknik katılım süreci, takip eden yıllarda her alanda dengeli dağılım ve büyümeyle desteklenememiştir. Bunun bir göstergesini de dengeli bir Karayolu-Demiryolu-Denizyolu dağılımını gerçekleştirilemememizde de görebilmekteyiz.

2. TREN PLANLAMA MODELİ GELİŞTİRİLMESİ

Bu tarz çalışmalarda, bir demiryolu ağı üzerinde yolcu treni planlama problemi için çok amaçlı bir optimizasyon modeli geliştirilmektedir. Bu demiryolu ağı farklı tren kapasiteleriyle çoklu platformlar üzerinde tekil ya da çoklu rayları ihtiva etmektedir. Bu kapsamda yakıt tüketim maliyetlerinin düşürülmesi demiryolu şirketinin memnuniyet ölçütünü oluşturmakta ve toplam yolculuk süresinin kısaltılması yol memnuniyeti kriteri olarak değerlendirilmektedir. Problemin çözümü iki aşamayı içermektedir. İlki ϵ -sınır yöntemini kullanarak Pareto limitinin hesaplanmasıdır. İkincisi ise üç tür mesafeli mesafe bazlı yöntemin kullanımıyla, elde edilen Pareto limitine göre, detaylı çok amaçlı optimizasyonun uygulanmasıdır. Bu bağlamda model ve çözüm metodolojisi sayısal olarak ifadelendirilmektedir.

Kamusal demiryolu ulaştırma planlaması oldukça kapsamlı bir iştir. Eş zamanlı olarak yönetilmesi gereken çok sayıda unsurun karşılıklı etkileşimine dayanmaktadır. Raylı sistem toplu taşıması trafik sistemlerinin muazzam boyutuna bağlı olarak, planlama prosesi genellikle birkaç adıma bölünmektedir. Bu kapsamda bu planlama süreci temelde taktik planlama ve stratejik planlama olarak ayrılmakta olup stratejik planlama; talep analizi, hat planlaması, tren planlamasından oluşmaktadır. Tren planlamasından itibaren taktik planlama sürecine geçilmekte olup, bu planlama düzeyinde takip eden adımlar, katener dizisi planlaması, personel planlaması ve personel görevlendirmesinden oluşmaktadır (Ampe, 1995: 115).

Bu bağlamda ilk olarak yolcu talebi değerlendirilip analiz edilmektedir. Sonuç olarak keskin bir kalkış noktasından hareketle kesin bir varış noktasına oluşmayı isteyen yolcu miktarı hesaplanmaktadır. Daha sonraki bir iş olarak hat planlaması, hangi hat ya da güzergâhların nasıl bir sıklıkta işletileceği kararlarını kapsayacak şekilde icra edilmektedir. Ardından planlamanın tren planlaması adımı hattın tüm kalkış ve varış zamanları hesaplanmaktadır.

Zaman çizelgeleri; seyahatlerin kalkış ve varış yerlerine karşılık gelen planlama sonuçlarına göre ve her bir tren için ilgili zaman çizelgelendirmesiyle formüle edilir.

Ardından hatlara atanan trenlere motor aksamının ve çalışma düzeneğinin kurulması gerekmektedir. Bu da katener dizisi planlaması olarak adlandırılmaktadır.

Benzer bir iş ise personel yönetimi olup her bir trenin gerekli sorumlularla donatıldığını garanti etmek için gerekli personel dağılımının hesaplanmasını içermektedir. Personel yönetimi unsurları; personel planlaması ve personel görevlendirmesinden oluşmaktadır. Personel planlamasında personeller trenlere atanmakta olup personel görevlendirme prosesi personel görevleri için listelerin yapılandırılması yoluna başvurmaktadır. Bütün bu adımlar birbirine sıkı sıkıya bağlıdır.

Bir adımdaki optimum çözümün hesabı bir sonraki adımdaki fizibil kararlar dizisini sınırlandırabilmektedir, dahası her bir adımdaki hesabın evrensel bir çözüme ulaşmak için, çelişkileri engellemek ve bütünlüklü bir yeniden hesap adına bütün gelecek adımlar dikkate alınmalıdır. Aynı zamanda bütün bir planlama prosesi de stratejik, taktik ve operasyonel planlama olarak üç adıma ayrılmaktadır. Bu yapılandırma Çizelge 2.1’de detaylandırılmıştır.

Bu kapsamda yapılan çalışmalarda kamusal ürünler ve hizmetler adına değerlendirme koşulları olarak verimlilik, etkinlik ve denklik olmak üzere iç ana kriter elde edilmiştir. Bu tarz çalışmalar kapsamında verimlilik ve etkinliğe odaklanılmaktadır. Verimlilik; hizmet parametreleri düzeyinin, hizmetin sağlanması için gerekli kaynaklarının maliyetine oranı olarak tanımlanmaktadır.

Şurası açık ki sabitlenmiş bir hizmet düzeyi için, verimliliğin hesabındaki temel değişken, hizmetin sağlanması için uğranılan maliyettir. Dahası verimlilik kendi maliyeti üzerinden de ölçülebilir. Genel olarak ana para maliyetinin bir yıllık marjinal maliyetten çok daha yüksek olduğu kabul edilmektedir.

Bir hizmetin etkinliği; hizmet için olan talebin memnuniyet üzerinden ölçülendirilmesidir. Bu tarz çalışmalar kapsamında verimlilik ve etkinlik, sırasıyla işletmecinin (demiryolu şirketi) ve kullanıcının (yolcu topluluğu) bakış açılarını ifade eden kriterler olarak addedilmektedir (Anderson, 2002: 2).

Çizelge 2.1 : Planlama Düzeyleri. (Anderson, 2002: 2)

Planlama Aşamaları	Zaman Aralığı	Amaç
Stratejik Düzey	5-15 yıl	Kaynak edinimi
Taktik Düzey	1-5 yıl	Kaynak tahsisi
Operasyonel Düzey	24 saat-1 yıl	Günlük planlama

Tren planlaması on yıllardır araştırmacıların dikkatini çekmekte olan demiryolu planlamasındaki en zorlu ve en önemli problemlerden birisini teşkil etmektedir. Fiziksel demiryolu ağı çok sayıda tren tarafından paylaşılmakta olup açıkçası uygun kaynakların eş güdümlü kullanımını gerekli kılmaktadır. Aynı zamanda yolcu ve yük trenlerinin eş zamanlı planlaması, kamuya sunulan hizmet düzeyi ve kalitesinde önemli bir etkiye sahip olmaktadır.

Tren planlaması insanlar tarafından kullanılan ilk elden bir tren diyagramıyla hatalı ve deneysel bir prosesle yüzyıldan fazla bir zamandır manuel olarak yapılmaktadır. Halen bu gibi bir yaklaşımla planlamanın yapıldığı birkaç ülke bulunmaktadır. Bu proseste ilk olarak demiryolu ağı, bir dizi demiryolu koridoruna dağıtılmaktadır. Her bir koridor tipik olarak sıralı istasyonlara bağlanan bir dizi hattı ihtiva etmektedir. Ardından plancılar planlama ihtiyaçlarına göre her bir koridor için ayrı olacak bir şekilde, belirlenen zaman için belirlenen treni planlamaktadır ve sonrasında belirlenen tezatları kontrol edip devre dışı bırakmaktadır. Tezadın giderilmesi bazı durumlarda diğer trenlerin yeniden planlanmasını gerektirebilmektedir. Bu yaklaşımın ilk amacı fizibil bir zaman çizelgesi üretmektir.

Sıkı rekabet demiryolu taşımacılarını; birçok ulusal demiryolunun özelleştirilmesi, serbestleşme, bilişimin atan hızı, ülke ekonomilerinde demiryollarının artan rolü gibi eğilimlerle yüz yüze getirmekte olup bütün bu koşullar kalkınma çabalarını ve daha verimli planlama tekniklerinin kullanımını güdülemektedir.

Bu teknikler iç ana grupta toplanabilir: simülasyon, matematiksel programlama ve uzmanlık sistemleri olup bununla beraber pratikte ise daha çok bu üçünün terkipleri kullanılmaktadır. Uzmanlık sistemlerinin başarılı uygulamaları olarak Iida (1988), Komaya ve Fukuda (1989), Komaya (1992) zikredilebilir. Simülasyon yaklaşımı ise Frank (1965), Peat ve diğerleri (1975), Rudd ve Story (1976), Petersen ve Taylor (1982) tarafından kullanılmıştır.

Matematiksel programlama metodolojisi ilk olarak Amit ve Goldfarb (1971) tarafından bu probleme uygulanmıştır. Matematiksel programlama yaklaşımı sadece optimizasyon modelleriyle sınırlandırılmış olmamasına karşın, takibinde optimizasyon modeliyle ilgili çalışmalar yapılmıştır. Bu çerçevede sezgisel modelleri kullanan çalışmalar da bulunmaktadır (Bonnafoos, 1987: 104).

Bununla beraber ilgili literatür yavaş bir gelişim deneyimlemiş ve yakın zamana kadar çoğu katkılar sadece basitleştirilmiş modeller ve gerçek hayat uygulamalarının karakteristikleri yetersiz bir bağıntısı olan birkaç küçük örnek düzeyinde kalmıştır. İlgili çalışmalarda demiryolu ulaştırması için önerilen optimizasyon modelleri, geniş bir uygulama sahası bulmamış, bunun yerine çoğunlukla simülasyon modelleri kullanılmıştır. Doğrusu problemin büyük boyutluluğu ve karmaşıklığı, tren planlamasında optimizasyon modellerinin geliştirilmesini engellemektedir.

Bilindiği kadarıyla, tren planlamasındaki bütün optimizasyon modelleri tek amaçlı bir formülasyona sahiptir. Tekil planlama amacı genellikle hem planlamadan sapan bir kullanıcı ve hem de tren gecikmeleri ve işletme maliyetleri gibi kullanıcı ve işletmeci amaçlarının terkipleri açısından yapılandırılmaktadır. Örneğin ilgili çalışmalarda güvenilirlik amaç fonksiyonunun maksimizasyonu ile sabit hızlı bir karma tamsayılı doğrusal programla (MIP) formülasyonu verilmiştir. Bir başka çalışmada da tren gecikmeleri ve yakıt maliyetlerinin minimizasyonu için değişken hızlı karma tamsayılı doğrusal olmayan bir değer verilmiştir. Bu iki çalışmanın bir terkiplerindeyse planlama sapmasının minimizasyonu için sabit hızlı karma tamsayılı doğrusal olmayan bir model ortaya konmuştur. Ardından yine planlama sapmasının minimizasyonu için yapılan çalışmalarda, sabit hızlı bir karma tamsayılı doğrusal programla (MIP) formülasyonu geliştirilmiştir. Takibinde de tren gecikmeleri ve işletim maliyetlerinin minimizasyonu için değişken hızlı karma tamsayılı doğrusal olmayan bir değer geliştirilmiştir.

Bununla beraber tren planlama probleminin yapısı, doğası gereği çok amaçlıdır. Bu ilk olarak; farklı paydaşlar ve sosyal bağlantıların çelişen ilgilerinin çok türünlüğüne bağlıdır. Çeşitli yakın dönem araştırmaları; ulaştırma planlama problemlerinin çok amaçlı yapısına bağlı avantajlarını göstermektedir. Çok amaçlı yaklaşım genellikle daha iyi planlama alternatifleri üretmektedir, bunun temel nedeni, ilgili faktörlerin çoğunun planlama amaçları olarak değerlendirilebilmesi ve ayrı birimlendirmelerle değerlendirilebilmesidir.

Bu anlamda; ulaştırma ağı, trafik yönetimi, havayolu hizmet planlaması, otobüs işletim planlaması, havayolu uçuş planlaması, yük treni planlaması, kentsel okul servisi planlaması, toplu taşıma ağ tasarımı, ulaştırma yatırım planlaması, havayolu personel görevlendirmesi, ulaştırma ve atama problemleri, yolcu treni hizmet planlaması, havayolu ağ tasarımı ve araç planlama problemleri konularında iyi çalışma örnekleri ortaya konulmuştur (Bouley, 1986: 2).

Bu noktada özellikle tren planlamasıyla ilgili olarak birkaç iyi çalışma örneği önemlidir. Bunlardan birisinde Kanal Tüneli boyunca Britanya demiryolu yük taşımacılığı hizmetleri için bir tren planlama modeli ortaya konulmuştur. Bu bağlamdaki tren planlaması, sıralama etkinlik detaylarıyla birlikte bir trendeki her bir vagonun kalkış ve varış özelliklerini içermektedir. Buradaki sıralama bir trenin dağılımını etkileyen bütün işletimleri içermektedir. Bu model hiyerarşik planlama prosesinin katener dizisi adımına tekabül etmektedir. 2000 yılında yapılan bir diğer çalışma ise yolcu treni hizmet planlaması için birçok amaçlı model ortaya koymaktadır. Bu kapsamda; trenin durması gereken istasyonlar alt dizisinin belirlenmesiyle hat kesimlerine ayırmaksızın bir şehirler arası yüksek hızlı tren (YHT) hattında yolcu treni hizmetlerinin optimum bir dağılımı hesaplanmaktadır. Bu model; hiyerarşik planlama prosesinin hat planlama kategorisine girmektedir.

Bu tarz çalışmalar kapsamında farklı tren kapasitelerine sahip çoklu platformlarda tekil ya da çoklu hatların bulunduğu bir demiryolu ağında, çok amaçlı bir yolcu treni planlama metodolojisi geliştirilmektedir. Raylar tek yönlü ya da çift yönlü olabilmekte ve trenler farklı kalkış ve varış noktalarına sahip olabilmektedir. Model planlama aşamasının taktik düzeyine en uyarlanabilir olanıdır.

Tren planlama problemi yapısal olarak çok amaçlı olmasına karşın, şimdiye kadar literatürdeki bütün optimizasyon modelleri tekil amaçlı bir formülasyona sahip

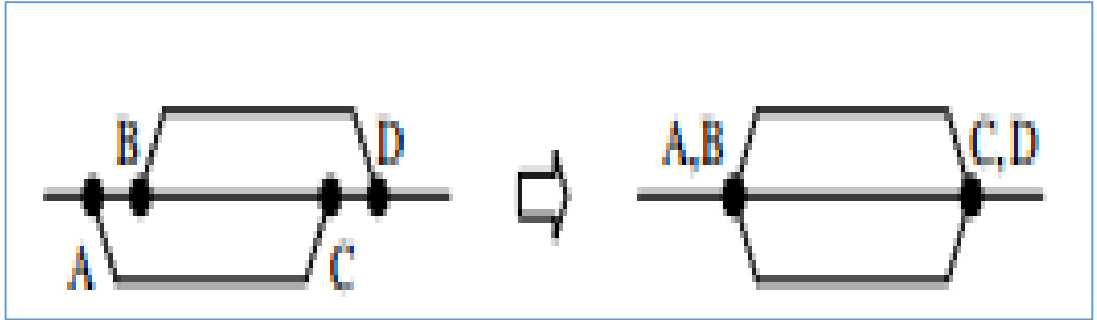
olmaktadır. Tekil planlama amacı; genellikle hem planlama sapması gibi kullanıcı açısından ve hem de tren gecikmeleri ve işletme maliyetleri gibi kullanıcı ve işletimcinin bir terkihi açısından yapılandırılmaktadır. Bu tarz araştırmalar; demiryolu şirketinin memnuniyetinin bir ölçüğü olarak yakıt tüketim maliyetlerinin azaltılmasında ve yolcu memnuniyeti kriterine bağılı olarak toplam yolculuk süresinin kısaltılmasında, yolcu treni planlama problemi için çok amaçlı bir optimizasyon modelini geliştirmektedir. Toplam yolculuk süresinin kısaltılması, tren hızlarında artışı gerektirmekteyken diğere taraftan görüldüğü üzere hızdaki artış da demiryolu şirketinin maliyetini düşürmek isteyeceğı daha fazla yakıt tüketim maliyetlerine neden olmaktadır. Dolayısıyla karar verme prosesinde bu çelişen amaçlar arasında bir seçim yapmak gerekmektedir. Bir amaç fonksiyonu olarak toplam yolculuk süresinin kısaltılması, literatürde uzun zamandır rastlanmayan yeni bir fikirdir.

Altyapıların düğümlerden (istasyonlar, kavşaklar, köprüler, geçişler vs) ve bunları birbirine bağlayan hatlardan oluştuğı kabul edilmektedir. Her bir tren bilgisi; trenlerin hizmet verdiği bütün orta mesafeli istasyonlar dahil olmak üzere, istasyon kalkış ve varış bilgilerini ihtiva etmektedir. Aynı zamanda altyapının aşağıdaki kurallara göre dağıldığı varsayımı yapılmaktadır:

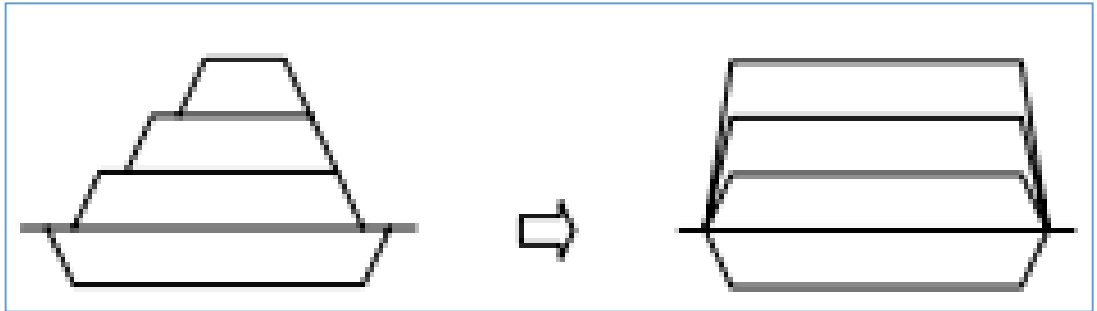
- Düğümler (istasyonlar, kavşaklar vs) dizisi, birbirine bağlanan düğüm çiftlerinden oluşmaktadır. Bir istasyonun mevcut durumunda, iki düğüm noktası paralel hatlarla birbirine bağlanmakta olup bu hatların sayısı platform sayısına eşittir.
- Birden fazla tren kapasitesine sahip her bir platform, belirli sayıdaki alt hatlara bölünmektedir. Bu alt hatların sayısı platform kapasitesine eşittir. Her bir platformun kapasitesinin; platform uzunluğu, tren uzunluğu ile diğere güvenlik ve teknik bağıntılar gibi kesin değerlendirmelere göre önceden belirlenmiştir.
- Şekil 2.1’de iki platformlu bir istasyon gösterimi bulunmaktadır. Basitleştirmek adına AB ve CD ayrı birer kesit olarak değerlendirilmemiştir. Bu kesitlerin uzunluklarının genellikle herhangi bir tren uzunluğuna göre oldukça kısa olmasından dolayı bu düşüşün genele haiz olmadığını belirtmek

gerekir. Benzer bir düşüş, daha kapsamlı bir platform yapısında da uygulanmış olup Şekil 2.2’de gösterilmiştir.

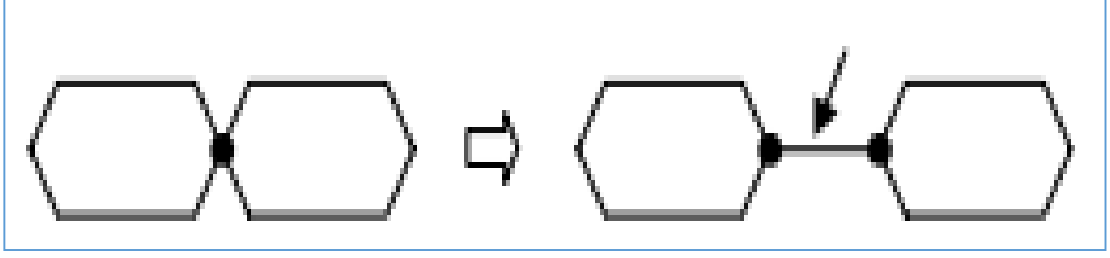
- Bu gibi düğüm noktaları, trenlerin sadece doğudan batıya hareket ettiği ya da benzeri bir yolla ayarlanmıştır.
- Birden fazla gelen ve giden hattın bulunduğu, dağıtımli bir demiryolu ağının düğüm noktalarında, bire eşit olan herhangi bir düğüm noktasının gelen ve giden hat sayılarının en az bir tanesinde bir sanal hat tanımlanabilir. Bu durum Şekil 2.3’te gösterilmiştir. Bu sanal hattaki tren seyahat süresi sıfıra eşit olacaktır. Bu kuralın ihmal edilebileceği ve bu modelde zorunlu olmadığı da not edilmelidir.



Şekil 2.1 : Platformdaki Azalma. (Evans, 1976: 29)



Şekil 2.2 : Kapsamlı Platformdaki Azalma. (Evans, 1976: 29)



Şekil 2.3 : Bir Sanal Hat Eklenmesi (Evans, 1976: 29)

2.1 Amaç Fonksiyonunun Formüle Edilmesi

İlk amaç fonksiyonu demiryolu şirketlerinin bakış açısını destekler mahiyette ortaya çıksa da bununla beraber, enerji tüketiminden ve özellikle de fosil yakıtlardan tasarruf çevresel ve ekonomik sonuçlara sahiptir.

Bir yolcu ya da yük trenini harekete geçirmek için gerekli yük miktarı, dirençle orantılıdır. Direncin hesaplanmasında, demiryolu mühendisliği kapsamında ve saha çalışmalarından bilinen çeşitli yöntemler bulunmaktadır. Tren direnci genellikle tren ağırlığından Euro/ton olarak hesaplanmakta olup söz konusu birçok faktörün fonksiyonu olmakta ve fakat bunlarla sınırlandırılmamaktadır: (1) katener direnci, (2) flanş direnci, (3) dingil (eksenel) direnci, (4) ray direnci, (5) hava direnci, (6) kurb direnci ve (7) kot direncidir. İlk tren direnç modelleri 1910-1940 yıllarında geliştirilmiştir. Bu bulgular en nihayetinde, tren direncinin hesaplanmasında günümüzde halen kullanımda olan, Davis bağıntısının geliştirilmesine önyak olmuştur. Amerikan Demiryolu Mühendisliği Birliği öncülüğünde 1970 yılında kapsamlı bir tren direnç bağıntısı geliştirilmiş olup yukarıda tanımlanan etkilerin birçoğuyla ilintili katsayılar bu bağıntıda yer almaktadır. 1982'de ki çalışmalarda detaylandırılan bu direnç bağıntıları çoğu tren performans simülatörleri ve analitik modelleriyle birleştirilmiştir (Anthony, 1980: 205).

İkinci amaç fonksiyonuysa seyahat süresine hastır. Bu fonksiyon genel olarak kullanıcı ilgilerini yansıtmakta olup bununla beraber demiryolu şirketleri aynı zamanda katener dizisinin daha verimli kullanımına bağlı olarak zamandan tasarrufla da ilgilenmektedir. Seyahat süresinden tasarrufun değerlendirilmesiyle ilgili yürütülen yüzlerce çalışma bulunmaktadır. Yolcular etkinliklerini sürdürebilmek adına varış noktalarına mümkün olabildiğince vakitli ulaşmak isterler. Bütün bir toplumun bakış açısından, aynı zamanda her bir seyahat süresinde kaydedilen azalmaya da çeşitli nedenlerden dolayı olumlu bakılmaktadır. İlk olarak eğer bu gibi

azalmalar üretkenlik etkinliklerine dönüştürülebilirse, Gayri Safi Yurtiçi Hasıla'da (GSYİH) potansiyel bir artış sonucunu doğuracaktır. İkinci olarak seyahat konforunun ve şartlarının gelişimi gibi, sosyal refah artışına yardımcı olacaktır. Bu noktada 2001 yılından itibaren daha detaylı çalışmalar yapılmaya başlanmıştır.

Her bir tren, belirlenen istasyonlarda yolcuların trene biniş ya da trenden inişlerine izin verecek miktar ve şekilde duruşlara göre planlanmaktadır. Bu planlı duruşlar, stratejik tren programı planlamasınca önceden belirlenmektedir. Her bir önceden belirlenmiş istasyona varmakla birlikte yeni bir alt seyahat başlamış olmaktadır. Bu kapsamda söz gelimi k treninden kaynaklı M(k) kadar alt seyahat gerçekleşmektedir.

Tren planlama probleminden çözümlenen herhangi bir zaman çizelgesi, üç tür ana kısıtı karşılamak durumundadır: devamlılık kısıtları, seyahat süresi ve bekleme süresi kısıtları ile güvenlik kısıtları. Hesaplamanın geri kalanı bu kısıtların formüle edilmesi ile ilgilidir. Formülasyonun bu kısmı büyük ölçüde hali hazırdaki literatürde de yer almaktadır. Ancak formülün kapsamlılığı nedeniyle her bir çalışmada tekraren detaylı çözümlemesinde kolaylık adına fayda vardır (Assad, 1980: 101).

Modelde sefer aralığı kısıtları iki ardışık olay arasındaki minimum zaman aralığının tespiti için kullanılmaktadır. Daha önce tartışıldığı üzere; herhangi bir demiryolu ağında kavşaklar, hemzemin geçitler ve istasyonlar gibi bütün fiziksel düğüm noktaları birer hattı taşınmaktadır. Bu düğüm noktalarındaki sefer aralığı kısıtları, herhangi bir hattaki belirli bir zaman aralığında sadece bir trenin seferine imkân vermektedir. Bununla beraber, demiryolu ağına birden fazla gidiş ve geliş hatları olarak dağıtılan bazı düğüm noktalarında, sefer aralığı kısıtları aynı ya da karşıt yönden gelen trenlerin herhangi bir karşılaşma ihtimaline imkân tanımamaktadırlar.

2.2 Alçak ve Yüksek Bağ Kısıtları

Bu kısıtlar; trenlerin kalkış noktalarından, planlanan kalkış zamanlarından önce kalkmamalarını ve varış noktalarına da planlanan varış zamanlarından sonra varmamalarını sağlamaktadır. Stratejik tren programlama planına göre, trenler ilgili düğüm noktasından belirlenen zamandan geç kalkamazlar ve ilgili düğüm noktasına da belirlenen zamandan erken varamazlar. Bu kapsamda problemin çözümü iki adımdan oluşmaktadır. İlki; Pareto etkinlik değerinin hesaplanmasırken ikincisi ise,

elde edilen Pareto etkinliği bazlı olarak detaylandırılmış çok amaçlı optimizasyonun uygulanmasıdır.

Pareto etkinliğinin oluşturulmasında, çok amaçlı karar verme literatüründe, değişen çok sayıda yöntem bulunmasına (parametrik yöntemin ve uyarlanabilir araştırma yönteminin versiyonları gibi) karşın, bu tarz çalışmalarda, uygulamasının çok basit olması ve konveks olmayan fizibil bölge problemlerinde uygulanabilir olması nedeniyle ϵ -sınır yöntemi kullanılmıştır. ϵ -sınır yöntemi aşağıdaki şekilde formüle edilmektedir:

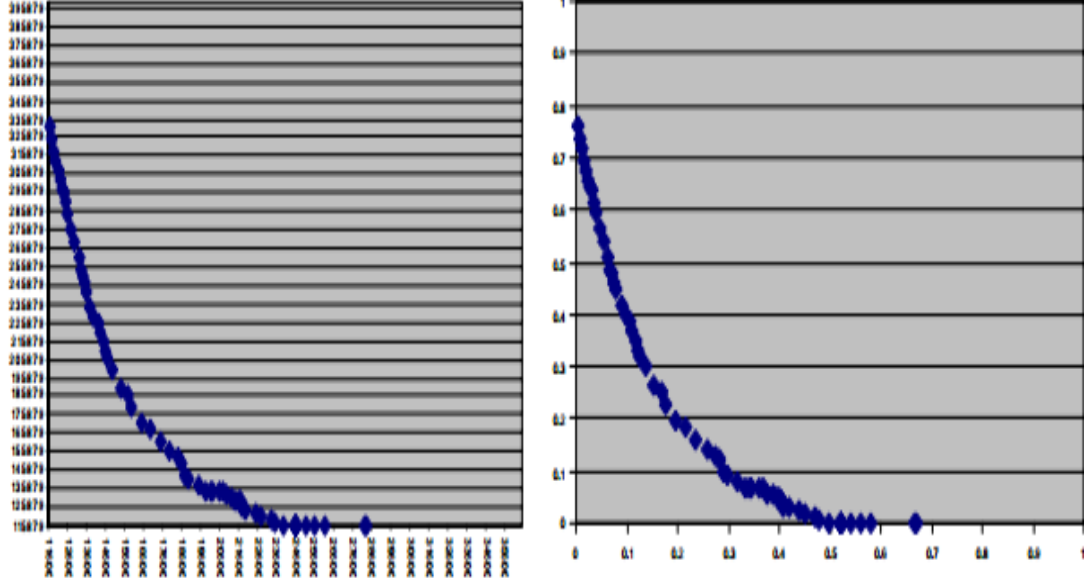
$$\text{Minimum } \varphi_2(x)$$

$$\Phi_1(x) < \epsilon$$

$$x \in X$$

Burada ϵ bir parametredir. ϵ 'un sistematik olarak değişen değerleriyle, bu problemin optimum çözümleri Pareto etkinlik noktalarını vermektedir. Φ_1 'deki tekrarlı artışla ve her seferinde Φ_2 'nin yeniden optimizasyonu ile, (Φ_1, Φ_2) noktaları Pareto etkinliğini vermektedir.

Herhangi bir çok amaçlı analizde, ilk olarak amaç fonksiyonunun normalize edilmesi gerekmektedir. Yakıt tüketim maliyeti değer, seyahat süresinin yolcu-zaman biriminde ölçeklendirildiği parasal birimde verilmektedir. Ayrıca bu amaçlar doğrudan karşılaştırılmazlar. Normalizasyon işlemi bu amaçları genel bir memnuniyet ölçeğine dönüştürmektedir. Buradaki hesaplamalar için j. amaç fonksiyonunun maksimizasyonu ve minimizasyonu ile tekil amaçlı optimizasyon problemi çözümlenir. Bu normalizasyon prosedürüne dayalı olarak, yeni Pareto etkinliği $[0,1]$ ölçeğinde şekillendirilir (Assad, 1982: 282). Mesafe bazlı yöntemler ideale en yakın noktaya olan minimum mesafeye göre ya da ideale göre en kötü olan noktaya maksimum mesafeye göre fizibil çözümler bulmaktadır. Pratikteki uygulamalarda genellikle üç mesafe tipi seçilmektedir. Mevcut durumda ideal nokta (0,0) olarak oluşurken, en kötü muhtemel amaç vektörü (1,1) olarak oluşmuştur. Bir Pareto etkinlik çözümlerinde aşağıdaki şekil 2.4'teki gibi bir çözümler sonucunu elde edilmektedir.



Şekil 2.4 : Orijinal ve Normalize Edilmiş Pareto Etkinlik Değerleri. (Bellman vd, 1970: 141)

Gerçek bir problem verili bir zaman aralığında yüzlerce trenin sevk edildiği bir demiryolu ağında, binlerce hattan oluşabilmektedir. Bu sayısal örnekler gerçek hayattaki bir problemin bir kısmı gibi yorumlanabilmesine karşın, esasen modellerin uygulanabilirliğini ve çözüm metodolojisini göstermektedir. İlginç tarafı ise, ölçülen zamanın hat sayılarından ziyade tren sayılarına daha hassas olmasıdır.

2.3 Sonuçlar

Bu tarz çalışmalar tekil ve çoklu rayları ve farklı tren kapasitelerindeki çoklu platformları barındıran bir demiryolu ağında yolcu treni planlama problemi için çok amaçlı optimizasyon geliştirmektedir. Bu kapsamda demiryolu şirketinin memnuniyet ölçüsü yakıt tüketim maliyetlerinin düşürülmesiyle kullanıcı memnuniyet kriteri olarak ise toplam yolculuk süresinin kısaltılması bulunmaktadır. Problem çözümü iki adımdan oluşmaktadır. İlk olarak ϵ -sınır yöntemi kullanılarak Pareto etkinliği hesaplanmış ve ikinci olarak da Pareto etkinliği bazlı olarak üç tip mesafe kullanımını içeren mesafe bazlı yöntemle detaylı çok amaçlı optimizasyon uygulanmıştır. Bu kapsamda model, çözüm yöntemi ve sonuçlar ortaya konmuştur. Çözümlerin hassasiyeti de ayrıca sınanmıştır. Modellerin uygulanabilirliği ve çözüm prosedürü değerlendirilmiştir.

3. YÜKSEK HIZLI TRENLERİN ÇEVRESEL ETKİLERİNİN AZALTILMASINDA AVRUPA ÖRNEĞİ

Bu tarz çalışmalar; demiryollarında yüksek hızlı tren (YHT) trafiğinin çevresel etkileriyle ilgili çeşitli araştırmaların sonuçlarını değerlendirmektedir. Çevre dostu yaklaşımlarla ilgili en çok öne çıkan anahtar kelimeler enerji tasarrufu ve gürültü düzeyinin düşürülmesidir. Ulusal ve buna bağlı olarak Avrupa Birliği (AB) gereksinimlerini takip etmek için ve Avrupa demiryolu trafiğinin çevre dostluğunu güçlendirmek için, demiryolu şirketleri ve üreticileri bu alandaki çalışmalarını değerlendirmek için her geçen gün daha fazla bir araya gelmektedirler.

280 km/saat dolaylarındaki bir seyahat hızı akımı gürültüyü önemli ölçülerde tetiklemekte olup bu nedenle trenlerde akım farklılaşmasından kaçınılmalıdır zira bu durum aynı zamanda trenin ayrodinamik direncini de azaltmaktadır. Boji kaplamaları aynı zamanda hem ayrodinamik dirençte azalmalara ve hem de yersel olarak, boji alanındaki yüksek düzeyli türbülans kaynaklı ayrodinamik gürültüye neden olmaktadır. Benzer bir yolla; pantografin çatki yapısının hava akış hattı da yüksek hızlarda üretilen gürültünün azaltılmasını sağlamaktadır (Bowerman vd, 1995: 107).

Bir yüksek hızlı trenin (YHT) tünele girişi basınç dalgası oluşturmaktadır. Tünel çıkışına yansıtıldığında, bir basınç dalgası parçası, çevreleyen ortamda işletmeye mâni olmayacak düzeyde dağıtılabilmektedir. Gürültü rahatsızlığının önlenmesinde bir dizi teknik çözüm geliştirilmiştir. Saha testleri; bir gürültü bariyerinin akustik bölümünün gayet iyi çalıştığını ve bariyer etkisinin geliştirilebildiğini göstermektedir.

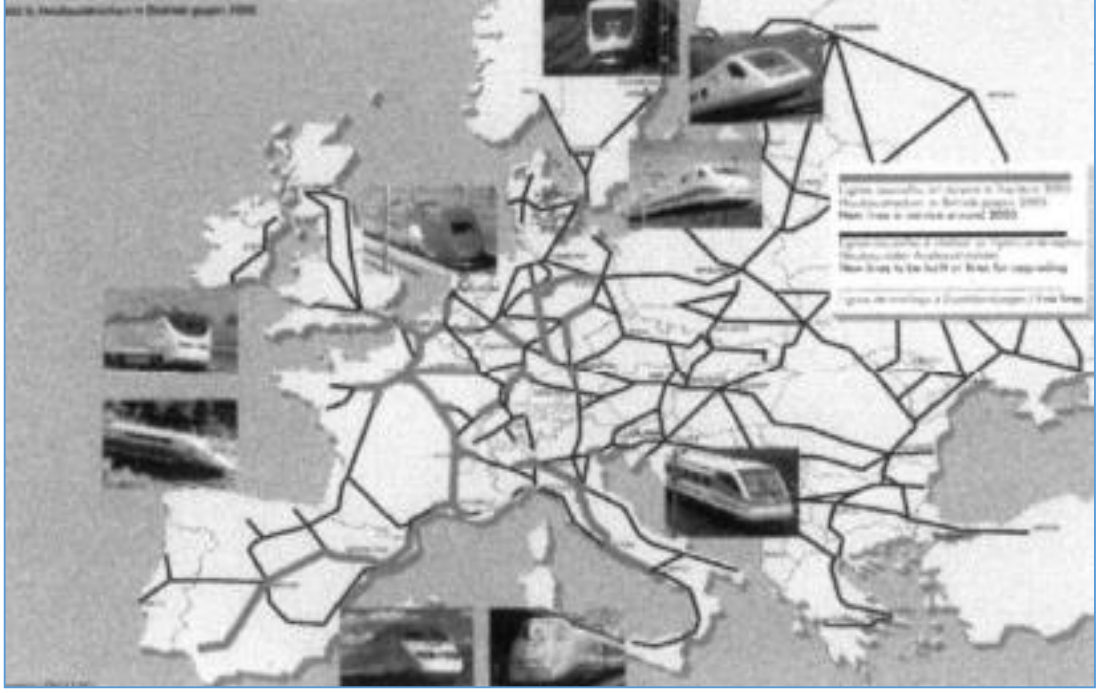
Son birkaç on yıldır Avrupa'da hareketlilik sürekli olarak bir gelişme kat etmekte ve sıklıklı yıllık %10'un üzerinde büyüme oranları kaydedilmektedir. Dahası Avrupa Komisyonu demiryollarında daha fazla yolcu taşınması için açık politik işaretler vermektedir. Bu politika önümüzdeki birkaç on yılda Avrupa demiryolu şirketleri için açık bir zorluk anlamına gelmektedir. Sınırların ortadan kalkmasıyla Avrupa'da hareketlilik değerlerindeki kayda değer artış gelecek on ila yirmi yılda trafik hacminin ikiye katlanması sonucunu doğuracaktır. Bu hareketlilik artışının

karşılanmasında verimli bir Trans Avrupa ulaştırma koridoru zaruri olduğundan ve otoyol ağı sosyo ekolojik sınırlarına ulaştığından, demiryolu ağı güçlendirilecektir. Bunun bir parçası olarak etkili bir yüksek hızlı tren (YHT) ağı güçlendirme kapsamında anahtar bir rol oynayacaktır. Şekil 3. 1'de Avrupa'da 200 km/saat'in üzerinde sefer hızlarında planlanan yüksek hızlı tren (YHT) hatları gösterilmektedir.

Avrupa Birliği (AB) müktesebatının takip edilmesi ve Avrupa demiryolu trafiğinin çevre dostu yapısının güçlendirilmesi için, farklı ulusal demiryolu şirketleri temel araştırma konularının çözümlenmesi için bir araya gelmektedirler. Dahası Avrupa Demiryolu Araştırmaları Müşavirlik Konseyi (ERRAC) Stratejik Demiryolu Araştırma Ajandası'nı (SRRA) tanımlamış olup çevre alanında çalışmalarını oluşturmaya başlamıştır (Bussieck vd, 1997: 54).

Demiryolu şirketlerinin işletimindeki yüksek hızlı trenler (YHT) çevre dostu yapıyı sağlamak için kapsamlı bir iş performansı ile karşı karşıyadır. Bu işler demiryolu işletimcilerinin ilgi alanlarına üç ana grup şeklinde aşağıdaki gibi tasnif edilebilirler:

- Düşük enerji tüketimi, örneğin ayrodinamik sürtünmenin düşürülmesinin bir sonucu olarak
- Düşük gürültü emisyonu, örneğin tren konturunun ayrodinamik optimizasyonu yoluyla
- Altyapıyla etkileşimin arttırılması, örneğin tünel çıkışlarındaki mikro basınç dalgalarının sınırlandırılması ve gürültü bariyeri verimliliğinin arttırılması yoluyla



Şekil 3.1 : Öngörülen Trans Avrupa Yüksek Hızlı Tren (YHT) Ağı. (Bussieck vd, 1997: 420)

Sadece ulusal demiryolu sisteminin özel koşullarıyla teknik çözümler geliştirildiğinden, diğer ülkelerin ulusal kurallarıyla uyumlu olmayabilir, söz konusu araştırmalar belirtilen problemlere ışık tutmakta olup birçok durumda anlaşılır uluslararası bir yaklaşım gösterebilmektedir. Mevcut durumda ICE, TGV, ETR500 gibi Avrupa yüksek hızlı trenleri (YHT) 280 km/saat'lerdeki planlı hızları yakalayabilmektedirler. Hatta birkaç TGV güzergâhı günümüzde 300 km/saat hızlarda seyredebilmekte ve yakın dönemde işleme alınan ICE3 hattı bu ticari hızları yeni Köln-Frankfurt güzergâhında yakalamaktadır. Dolayısıyla demiryolu trafiğindeki hız artış eğilimi, kesintiye uğramadan devam edecek görünmektedir. Yüksek hızlı trenlerin (YHT) gelecek üretimi, 350 km/saat'lerin üzerindeki maksimum işletim hızlarına sahip olacaklardır. Demiryolu trafiğinin bu gelecek gelişimi, eğer çevresel kabul edilebilirlik yeterince dikkate alınır, sadece ekonomik bazlı olarak etkilenebilir (Bussieck vd, 1997: 420).

Hızda, yukarıda belirtilen 280 km/saat'ten 350 km/saat'lere kaydedilmesi muhtemel artış, örneğin yüksek hızlı trenleri (YHT) teknolojisinin mevcut durumuna göre, sürtünme kayda alındığında dahi işletimsel enerji maliyetlerinde %60'lara varan artışlara neden olacaktır. Trenin ivmelenme kabiliyetinin artışıyla birlikte, çekiş ekipmanları artık daha fazla lokomotifte yoğunlaştırılmayacak fakat çoklu elektrik

birimleri (EMU) vasıtasıyla tren uzunluğu boyunca dağıtılacaktır. Bu durum hem trenin toplam ağırlığını azaltmakta ve son bağlantıda koltuklu bir taşıt katkısıyla tren taşıma kapasitesini de arttırmaktadır.

Çekici lokomotifli trenlere kıyasla sürtünme ve gürültüdeki dikkate değer azalma, hava dış akış hattı tasarımıyla sağlanmaktadır. Bütün bir trende; ayrodinamik açıdan pürüzsüzlük, uygun tasarlanmış taşımlar arası geçit, kapılar, pencereler ve iniş binişlerin akıcı tasarımı uygulanmıştır. Sürtünmedeki potansiyel azalma, çoktan gerçekleştirilmiş olup örneğin ICE'de bu zemin altı kaplamalarıyla sağlanmıştır. Bu uygulama aynı zamanda eş zamanlı olarak trenlerde ayrodinamik gürültü emisyonunu da azaltmaktadır.

Bir başka sürtünme azaltma aracı istenilen bir hava akımının üretilmesi için trenlerin dış konturuyla ankastre boji kaplamasını içermektedir. 1930'lardan itibaren yakın dönemlere kadar Japon Shinkansen 300X araştırma trenleriyle yürütülen çalışmaları %10 dolaylarındaki bu gibi kaplamalar olmaksızın bir referans konfigürasyonuna bağlı olarak potansiyel hava direnci tasarrufları tanımlanmaktadır. Güncel Avrupa yüksek hızlı tren (YHT) güzergahları için işletim maliyetlerinin baz alınmasıyla yapılan hesaplamayla, boji kaplamaları değişen yüksek hızlı tren (YHT) filolarında yıllık enerji giderlerinde 5 ile 10 milyon Euro arasında tasarruflar sağlamaktadır. Almanya (DB), İtalya (FS) ve Fransa'ya (SNCF) bağlı demiryolları, yurtiçi iletim koşullarında Avrupa tasarımı yüksek hızlı trenlerin (YHT) sürtünme ve gürültü emisyonunda düşüş potansiyelinin sistematik değerlendirmesinin icrasına karar vermiştir. Bu kurumlar, İtalyan tren üreticisi BREDA ile iş birliği halinde ortak bir araştırma girişiminde çeşitli boji kaplamalarının ayrodinamik etkilerini araştırmaktadır. ETR500 orta mesafe tren taşıması rüzgâr tüneline incelenmiş olup optimizasyon durumuna bağlı olarak yaklaşık %20 ayrodinamik sürtünme potansiyeli görülmektedir. Şekil 3.2'de test edilen bir ETR500 treni gösterilmektedir.



Şekil 3.2 : Test Edilen ETR500 Treni. (Claessens, 1994: 117)

Bu bulgular 2000 yılı Ekim ayında İtalya’da Direttissima yüksek hızlı tren (YHT) hattında yapılan tam ölçekli testlerde onaylanmıştır. Sekiz orta vagonlu bir ETR500 tren dizisi yenilenebilir donanımlı boji kaplamalarıyla bütünüyle donatılmış ve aşağı indirme yöntemiyle, hava direnci azaltımı ise %10’dan fazla oranlarda elde edilmiş olup bu aslında rüzgâr tüneli sonuçlarını destekler mahiyettedir. Sonuçlar Çizelge 3.1’de gösterilmektedir.

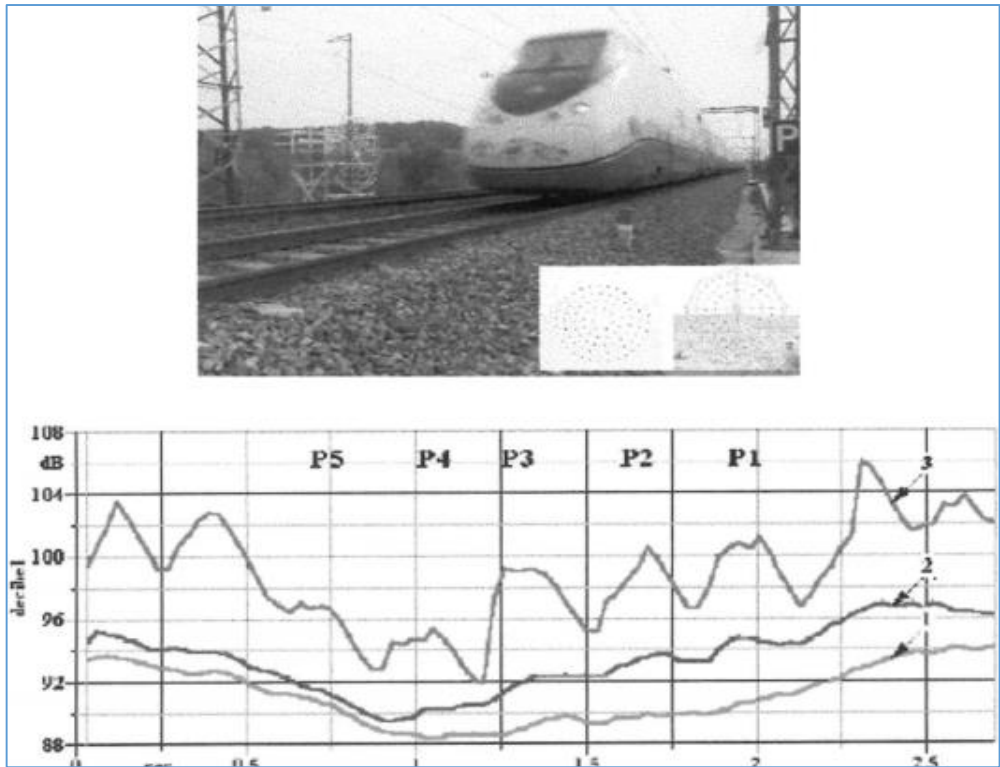
Çizelge 3.1 : Sekiz Orta Vagonlu ETR500’de Boji Kaplamalı Donanımlı Sürtünme Azaltım Etkisi. (Claessens, 1994: 117)

Hız (km/saat)	Standart Tren (kN)	Kaplamalar (kN)	Sürtünme Değişimi (kN)	Sürtünme Değişimi (%)
150	22,8	20,7	-2,1	-9,2
200	35,4	31,7	-3,7	-10,5
250	51,6	45,8	-5,8	-11,3
280	63,0	55,8	-7,3	-11,6
300	71,4	63,0	-8,4	-11,7

300 km/saat'lerdeki hızlarda, boji etekleri %12 dolaylarında bir hava direnci azaltımını sağlamaktadır. Sadece üç ortak vagonlu daha kısa trenlerdeki ilave testlerle tren uzunluğunun sürtünme üzerindeki etkisinin sayısallaştırılması imkânı elde edilmiştir. Eteksiz boji'lere kıyasla, ayrodinamik sürtünmede uzun trenler daha avantajlıdır (Claessens, 1994: 117).

Testte kullanılan kaplamalar ayrodinamik olarak optimize edilmemiştir çünkü hedef, donanımın iyileştirilmesinde uygun eteklerin araştırılmasıdır. Dahası hatta daha olumlu bir etki bu gibi kaplama türleri için yeni bir tren üretiminin gelişim prosesinde beklenmekte olup ilk başlangıç aşamasından itibaren bütünlüleyici bir unsur olarak yapılandırılmaktadır.

250 km/saat'lerdeki hızlarda aynı zamanda ayro akustik kaynaklar katener gürültüsü olarak ortaya çıkmaktadır. Seyir hızının 280 km/saat'lerden 350 km/saat'lere çıktığı durumlarda geçiş gürültü düzeylerinde 6 dB(A)'lık artışlar olacağı hesaplanmaktadır. Ayrıca demiryolu işletimlerdeki çevresel düzenlemelerin gelecekte daha sıklıkla ama daha toleranslı yapılacağı düşünülmektedir. Bu durum saha araştırmalarında geniş bir girişim aralığına işaret etmekte ve karayolu ile havayolu ulaştırmalarına karşı kendini gerçekleştiren bir demiryolunun gelişimi için gerekli olmaktadır.



Şekil 3.3 : ETR 500' de Kaplama Kaynaklı Gürültü Düzeyi Ölçüm Örneği.
(Claessens, 1994: 117)

Ayrıca boji kaplamaları, boji alanındaki yüksek türbülans düzeyinden kaynaklı yerel ayrodinamik gürültü düzeyinde düşüşü sağlamakta olup bu durum demiryolu araçları için gürültü emisyonu etkilerinde istenen bir durumdur. Eğer etekler yeterli miktarlarda uzanıyorsa ve ilaveten içerden gürültü emilimli malzeme ile kaplanıyorsa, aynı zamanda tekerlek-ray etkileşiminden kaynaklı gürültü düzeyinde de belirli miktar bir düşüş beklenmektedir. Bu toplamda, 3 dB(A)'lık bir kaydedilmiş gürültü düzeyi düşüşüne işaret etmektedir. Yukarıda Şekil 3.3'te ETR500 treni için kaplamalar vasıtasıyla elde edilen gürültü düşüş düzeyleri için deneysel bir test örneği paylaşılmıştır.

Modern pantograflar rijit ve pimli eklemeli kurgusal yapıdadır. Bu gibi ardışık unsurların döngülü akımları birbirleriyle etkileşime girmekte ve ayrodinamik kuvvetlerin etkisiyle büyük zaman dalgalanmalarına neden olmaktadır. Ardından, pantograf iletim şeritleriyle iletim teli arasındaki bu iletim kuvvetinin eş dalgalanma sonuçları hem kontak yapma etkileri ve hem de yüzey sürtünmesinden kaynaklı önemli ölçülerde yıpranmaya neden olmaktadır.

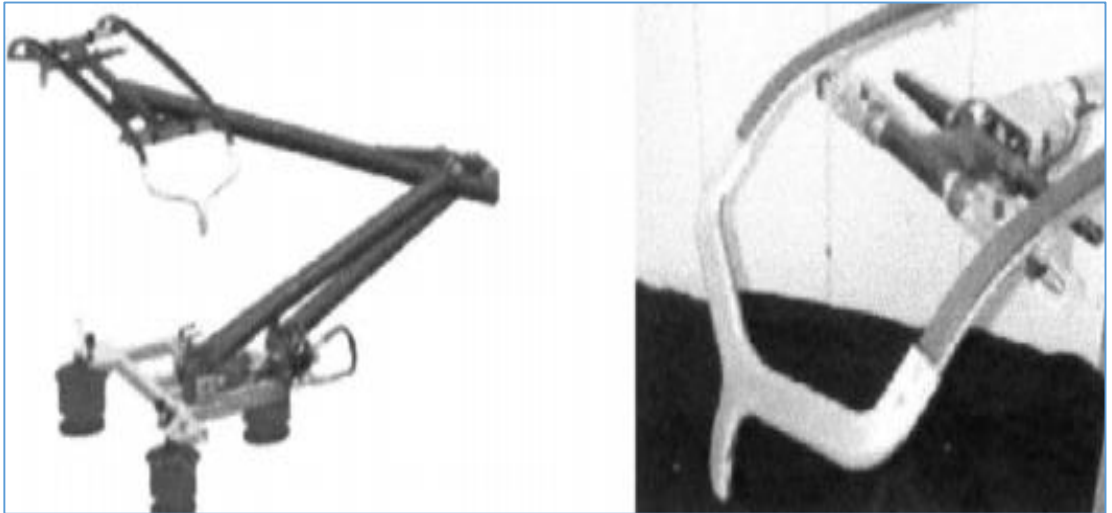
Rijit ya da hareket edebilir birleşimli yapısal çatkıdaki küçük ölçekli ayırık yapılar da aynı zamanda nispeten geniş bantlı gürültü yayılımına neden olmaktadır. Pantografin trenin üzerindeki korumasız yerleşimi dikkate alındığında, gürültü üretimi konvansiyonel gürültü bariyerleri gibi pasif gürültü engeli vasıtalarıyla düşürülememektedir. Aksine pantografin bu özel karakteristiği, proje onay prosedürünün sıklıkla yüksek hızlarda tamamlanmayacağı kabulünde, ray-tekerlek alanındaki bir ses kaynaklı olarak mevcut gürültü bariyerlerinin durumuyla ilgilidir. Bu elbette yatırım maliyetlerinde önemli miktarlardaki bir artış sorununa da işaret etmektedir.

Katener gürültüsüyle bağlantılı olarak, 2m yüksekliğindeki bir gürültü bariyerinin gürültü kesme etkisi 10 dB dolaylarındadır. Bununla beraber, artan hızlarla, toplam gürültü miktarı içerisindeki pantograf gürültüsü oranı da artmaktadır. Ayrodinamik gürültü kaynaklarının yayılı gürültü çıktısı; seyir hızının yaklaşık 6. kuvveti şeklinde artmakta olup diğer taraftan katener gürültüsü de hızın 3. kuvveti olarak artmaktadır. Bu tren gürültüsünün, artık gürültü bariyeriyle kesilemeyen kısmının artmaya devam ettiği anlamına gelmektedir. Çok yüksek hızlar için (tren uzunluğu ve pantograf sayısından bağımsız olarak) pantograf gürültü unsuru her şeye karşın baskın

olabilmektedir. Bu durumda gürültü bariyerinin gürültü kesme etkisi 10 dB(A)'nın altına düşmektedir (Cohon, 1978: 4).

Pantografların gelecek tasarımları, sürekli olarak gürültü düzeylerini daha aşağı değerlere çekecektir. Bu durum; mevcut gürültü engellerinin kurulum etkinliğini koruyacak ve önemli yatırım maliyeti tasarrufları da sağlayacaktır. Demiryolu üreticisi Bombardier ile DB iş birliğinde yürütülen bir projede, DB tarafından geliştirilen bir yarı ampirik bir simülasyon aracı vasıtasıyla ayro akustik optimizasyon yapılmıştır. Bu aracın temeli; büyük bir Strouhal sayısı veri dizisine, türbülanslı bağıntı uzunluğuna ve geometrik konfigürasyon bazlı düzensiz kaldırma kuvveti katsayısına dayanmaktadır. Bir güç çatkısı simülasyonu, yerel gürültü emisyonu adım adım bir mantıkla hesaplanmış ve minimize edilmiştir. Bu noktada bütünlük açısından, gelecek pantografların aynı zamanda, değişen iletim kuvvetleri ve yıpranmaların azaltılması için aktif olarak kontrol edileceğini vurgulamak gerekir.

DB ve Bombardier tarafından, pantograf başının akustik optimizasyonu ve ayak bölgesinin kaplanması yoluyla diz bölgesindeki akustik optimizasyonu yoluyla gürültü üretiminde kaydedilmesi hedeflenen toplam 10 dB(A)'lık düşüş için yapılan ortak çalışmanın sonuçları Şekil 3.4'te paylaşılmıştır. Dahası, pantograf başı ve katener arasındaki iletim kuvveti değişimi, aktif kontrolle düşürülmüş olup bu durum yıpranmayı da azaltmakta olup sonuç olarak yapılması gerekli bakımları da ertelemektedir.



Şekil 3.4 : DB-Bombardier İşbirliğinde Çalışılan Akustik Optimize Pantograf Sonuçları. (Cohon, 1978: 4)

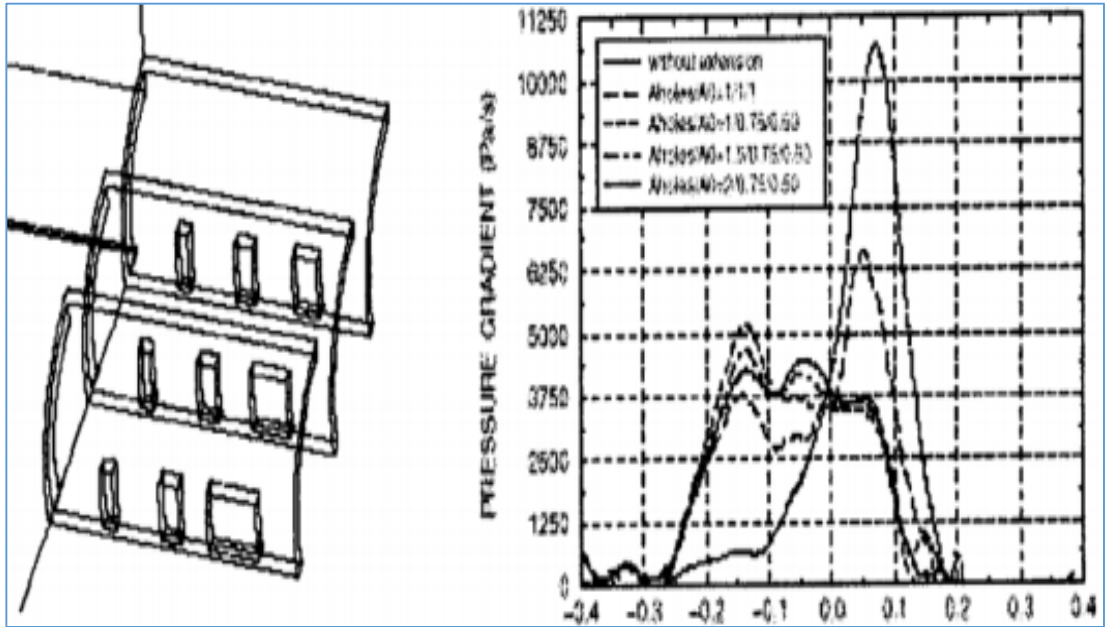
Tünellerde basınç dalga etkileri genelde üç fenomene ayrılmaktadır. Tren tünele girdiğindeki basınç dalgası üretimi, tünel boyunca basınç dalgasının yolu üzerinden takip etmektedir. Sonuç olarak basınç dalgasının yansımaya kısmı ise tünel çıkışında ortaya çıkmakta olup çevredeki ortama yayılmaktadır. Çok pürüzsüz ve uzun tünellerde, bu emisyon ray yakınlarındaki insanları (tren hızı tünel akımındaki ses hızından oldukça düşük olmasına karşın ortaya çıkan bu fenomen çoğu zaman ses bombası olarak adlandırılmaktadır) rahatsız edebilecek düzeyde duyulabilir bir mikro basınç dalgası ortaya çıkarmaktadır. Avrupa TRANSAERO projesi dahilinde hedef, tünel çıkışında tahliye olan basınç dalgasının tünel içerisinde üretimi ve dönüşümünün takip edilmesidir.

Mikro basınç dalga etkisi; bir sağlama verisinin oluşturulması ve tünel çıkışında örneğin kaput ve boşluklar gibi yapısal önlemlerin geliştirilmesiyle trende basınç aktarımı için sayısal araçların sağlaması için İtalya'daki Terranuova Le Ville tüneline tam ölçekli testlerle meydana getirilmiştir. Bu kolay bir iş değildir çünkü Avrupa'daki uygun tünellerin çoğu standart balastlı raylarla donatılmış olup sonuç olarak ses bombası olarak adlandırılan üretim için çok yüksek sayılabilecek bir etki oluşturan sönümleme etkisi göstermektedir.

Bütün basınç dalgası etkileri için bir veri tabanının oluşturulmasında, tam boyutlu bir test dizisi, tünel boyunca farklı hızlarda sefer halindeki iki farklı ETR500 treninde yürütülmüştür. Duyulabilir bir ses bombası etkisinin üretimi için her iki tren de tünelde paralel seyretmelidir. Tünel toplam uzunluğu boyunca hem içerideki etkilere (basınç, hız, sıcaklık) ve hem de dışarıdaki etkilere (ses yayılımları: mikrofon etkisi ve dalgaları) kapsamlı olarak donatılmış olup bunun nedeni basınç dalga etkilerinin bütünüyle engellenmesidir.

Bilgisayar simülasyon teknikleriyle, basınç dalgası üretimi viskoz (kivamlı) olmayan akım hareketlerinin üç boyutlu denge hesaplamaları için bir kod kullanılarak incelenmiş ve parametrik bir çalışma giriş basınç dalgasının minimizasyonu için tünel girişleri ve kaputlarının optimize bir tasarımı için yürütülmüştür. 1/35 ölçekli bir basınç dalgası üreticisi modeli kullanılmıştır. Böylelikle basınç dalgalarının hesabı için geliştirilen aksel simetrik, viskoz olmayan akım hareketi için bir bilgisayar kodunun geçerliliği sağlanmıştır. Dalga yayılımı tek boyutlu bir kodla hesaplanmakta, pürüzsüz ve pürüzlü duvarlarda değişken yüzey sürtünme fenomenine odaklanmakta ve bir model ekipmanında deneysel olarak

incelenmektedir. Dalga yayılımı 1/130 ölçekli piston sürüş modelli basınç dalga üreticisi kullanılarak çalışılmış olup klasik MacCormack sonlu hız algoritması bazlı olarak iki boyutlu akım hareketinin doğrusallığı bir bilgisayar koduyla hesaplanmıştır. Bu farklı yöntemlerin bir optimizasyon prosesinden sonra, kullanılan bütün modelleme teknikleri tam ölçekli testlerden elde edilen referans verileriyle çok iyi bir uyum göstermiştir. Bu araçların kullanımıyla parametrik çalışmalarda bir dizi teknik çözümlemenin geliştirilmesi mümkün olmaktadır. Tünel girişlerindeki kaportaların çeşitli terkipleri test edilmiş olup bazı etkin tasarımların oluşturulmasının mümkün olduğu görülmüştür. Nispeten daha küçük sabit alanlı kaporta basınç seviyesini %50'nin altına düşürebilmektedir. İlgili çalışma örneği Şekil 3.5'te detaylı olarak görülmektedir (Current vd, 1986: 187).



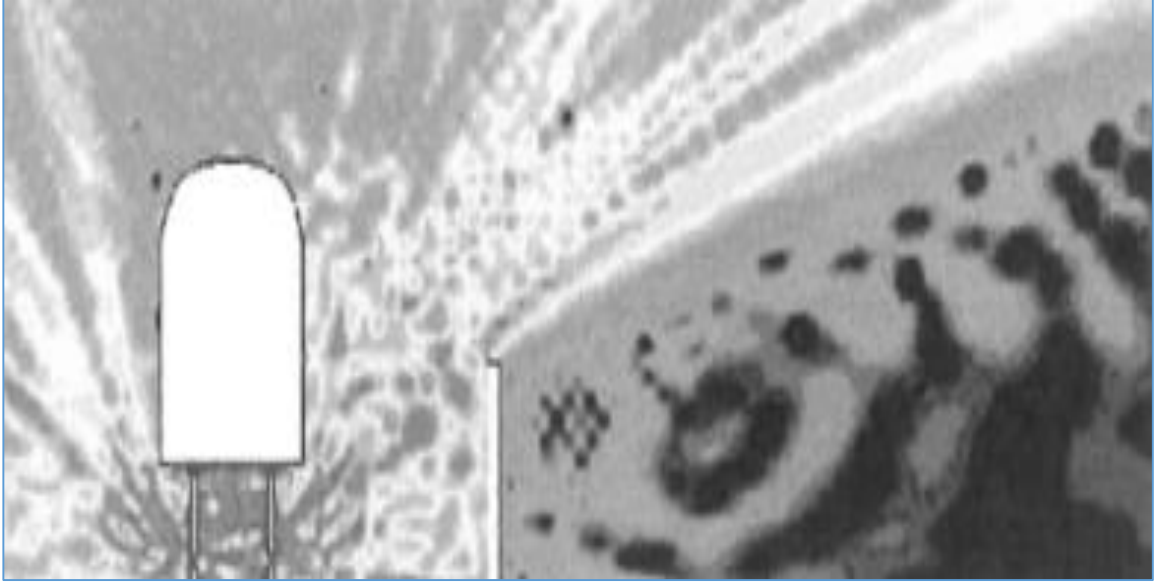
Şekil 3.5 : Üç Farklı Pencere Türü İçin Tünel Çıkış Dağılımı Çalışması Örneği.
(Current vd, 1986: 187)

Bilgisayar hesaplamaları ve model testlerinin yüksek hassasiyeti, daha iyi çözümlene planlarında üç boyutlu akım etkilerinin yeniden üretiminde dahi yeterlidir. Daha sonraki çalışmalar, tünel içinde yayılan mikro basınç dalgalarında tünel çıkışı ve bölge levhalarına yakın boşluklardaki dağılım etkisinin sayısallaştırılmasıyla ilgili yürütülmektedir. Boşluklar tünel çıkışlarında çoklu dalga etkisi oluştururken, bölge levhalarının prensibi, tüp içerisindeki tünel ve duvar sürtünmesinden etkilenen dalga sayılarının yansımalarını arttırmaktır. Buradan hareketle yapısal bir teoride geliştirilebilir.

Amaç tünelin dışındaki bir noktadaki boşluk olmaksızın, maksimum basıncın maksimum basınç boşluğuna oranını minimize etmektir. Bu yöntemle elde edilen en iyi sonuçların maksimum basınç büyüklüğünde, tünel çıkışından olan mesafe boşluğunun uzunluğu ve çapı gibi bir dizi parametre raporlanmıştır. Çemberin içerisindeki yatay bir duvar mikro basıncı düşürebilir ve boşluk yerleşimi tünel çıkışına daha yakın seçilebilir. Ayrıca basınç dalga yayılımının gelişiminde tünel içindeki düşey bölge levhalarının etkisi önemli görülmüş olup deneysel olarak hesaplanmıştır. Farklı yüksekliklerdeki bölgesel levhaların özel konfigürasyonu; bölgesel levhalarla kesitsel bir bloklaşma artışı ve mücavir levhalarla mesafe azalışı ile dalga boylarında azalma göstermektedir. Komşu levhalar arasında %15'lik ve 15 cm'lik (1/130'luk model ölçeğinde) bir kesit kaybı ile dalga yükselme prosesi bütünüyle devre dışı bırakılmıştır (Current vd, 1986: 187).

Katener gürültüsüyle ilgili olarak, 2m yüksekliğindeki bir gürültü bariyerinin tipik gürültü kesme düzeyi yaklaşık olarak 10 dB(A)'dır. Gürültü bariyerlerinin kurulumu 1 milyon Euro/km maliyetlere kadar ulaşabilmektedir ve bu önemli yatırım maliyetini gerekçelendirebilmek için gürültü bariyerleri mümkün olduğunca etkili olmalıdır. 3 ile 4 m yüksekliğindeki gürültü bariyerleri mücavir alandaki meskunların görüş açısını kapattığından etkin olarak görülemez. Dahası böyle bir durumda tren yolcuları pencerelerden dışarda seyirlik bir görüş alanına sahip olamamakta bu da müşteri memnuniyetini etkileyen bir unsur olmaktadır.

Yayılan ve kırılmaya uğrayan gürültü, gürültü bariyerlerinin koruma etkisini azaltmaktadır. Bariyer etkinliğinin sistematik bir artışı için gürültü yayılım özelliklerinin iyi bir şekilde kavranması gereklidir. Bu etki duvarın yapısıyla baskılandığından, çeşitli detaylı konfigürasyonlar, sınır değer yöntemi vasıtasıyla incelenmektedir. Şekil 3. 6'daki gibi bir konfigürasyon adım adım mantığına göre sonraki optimizasyonlar için bir başlangıç tercihi sağlamaktadır.



Şekil 3.6 : Değişen Özellikler Altında Bariyerlerin Gürültü Kesim Simülasyonu. (Current vd, 1986: 187)

Şekil 3.7’de de kullanıma hazır bir örneğin yerinde testi gösterilmektedir.



Şekil 3.7 : Akustik Olarak Pürüzsüz Bir Bariyerin Tam Ölçekli Testi. (Current vd, 1986: 187)

Şekil 3.7’de akustik bariyerlerin ne kadar iyi çalıştığı görülmekte olup bu bariyer ray mesafesi ve yüksekliğe bağlı olarak 3 dB(A)’e varan bir gürültü kesim etkisine sahip olabilmektedir. Düşük maliyetlerde bir endüstriyel üretim prosesinde hazırlanacak bir bariyerin geliştirilmesiyle ilgili çalışmalar sürmektedir. Benzeri bir saha testi Freiburg şehrinde yürütülmekte olup Almanya Federal Gürültü Azaltma Programı tarafından da desteklenmektedir.

3.1 Sonuç ve Değerlendirme

Avrupa’daki demiryolu şirketleri düşük çevresel etkili demiryolu trafiğine olan kamusal talebi karşılamak için ana çalışmalar yürütmektedir. Enerji tüketiminde olduğu gibi gürültünün üretimi ve dönüşümü aşamaları Avrupa demiryolu müteahhitleri ve üreticilerinden profesyonellerle beraber çeşitli projelerde ele alınmıştır. Ortak araştırma projeleri genel bir bilgi temeli sağlamakta ve tren tasarımı ve işletimi için mevcut ulusal yasaların ve rehberliğin uyumunu güçlü bir şekilde desteklemektedir. Sonuç olarak, bu problemlerin çözülmesi, gelecekteki Trans Avrupa Yüksek Hızlı Demiryolu Ağının verimli birlikte işletilebilirliğinin sağlanması için gereklidir. Bu kapsamda ülkemizde, bölgemizde ve dünya genelinde yüksek hızlı demiryolları başta olmak üzere, çevreci yaklaşımlar dahilinde önemli projeler geliştirilmektedir. Belirtildiği gibi, demiryollarının çevre perspektifinde güncel tartışma konusu demiryolu kaynaklı gürültü üzerinden devam etmektedir. Ancak karayolu ulaştırma projeleri ve havayolu ulaştırma projeler de farklı farklı fazları için çevreci yaklaşımlar bağlamında yoğun bir şekilde değerlendirilmektedir.



Şekil 3.8 : Japonya’da Bir Kentiçi Raylı Sistem Hattı. (Miyako vd, 1997: 577)



Şekil 3.9 : Japonya’da Raylı Sistem Hizmeti (Miyako vd, 1997: 577)



Şekil 3.10 : Çanakkale Köprüsü Şantiyesi. (Kızıldaş, 2016: 3)



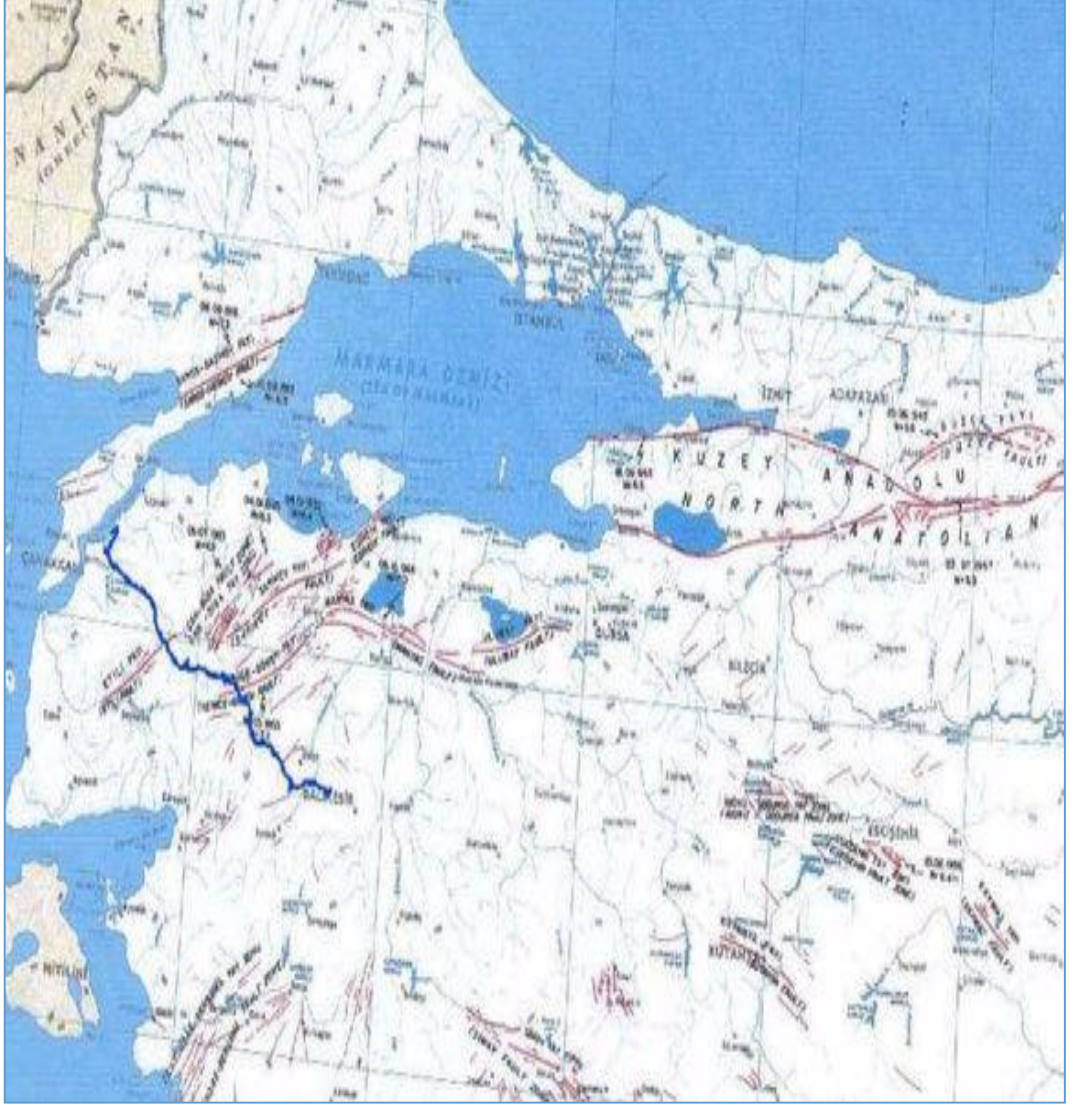
Şekil 3.11 : Çanakkale Köprüsü Güzergahı. (Kızıldaş, 2016: 3)



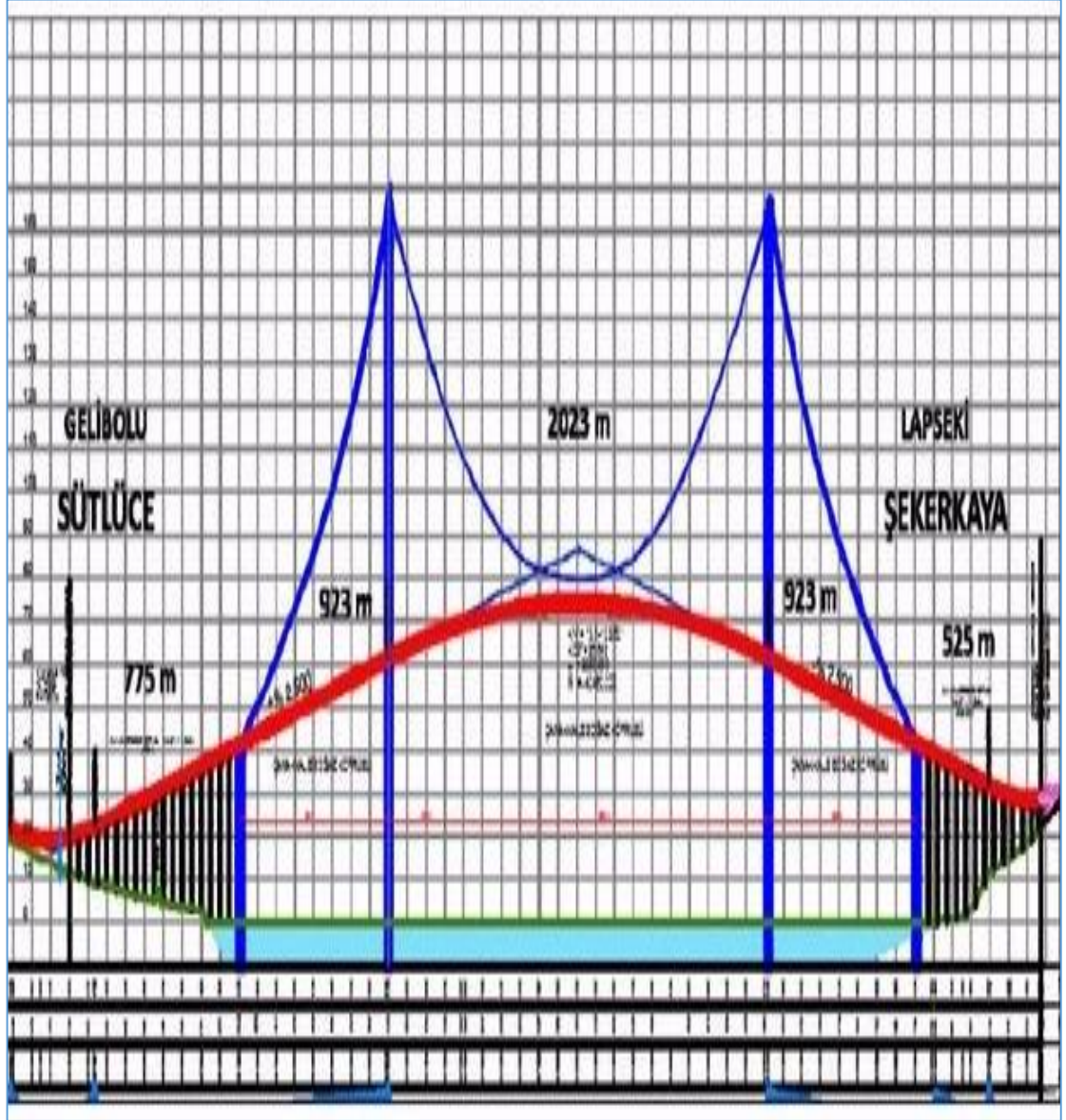
Şekil 3.12 : Çanakkale Köprüsü Temeli Genel Görünüm. (Kızıldaş, 2016: 3)



Şekil 3.13 : Çanakkale Köprüsü Mücavir Alanı. (Kızıldaş, 2016: 3)



Şekil 3.14 : Çanakkale Köprüsü Karayolları Güzergahı. (Kızıldaş, 2016: 3)



Şekil 3.15 : Çanakkale Köprüsü Boykesit. (Kızıldaş, 2016: 3)



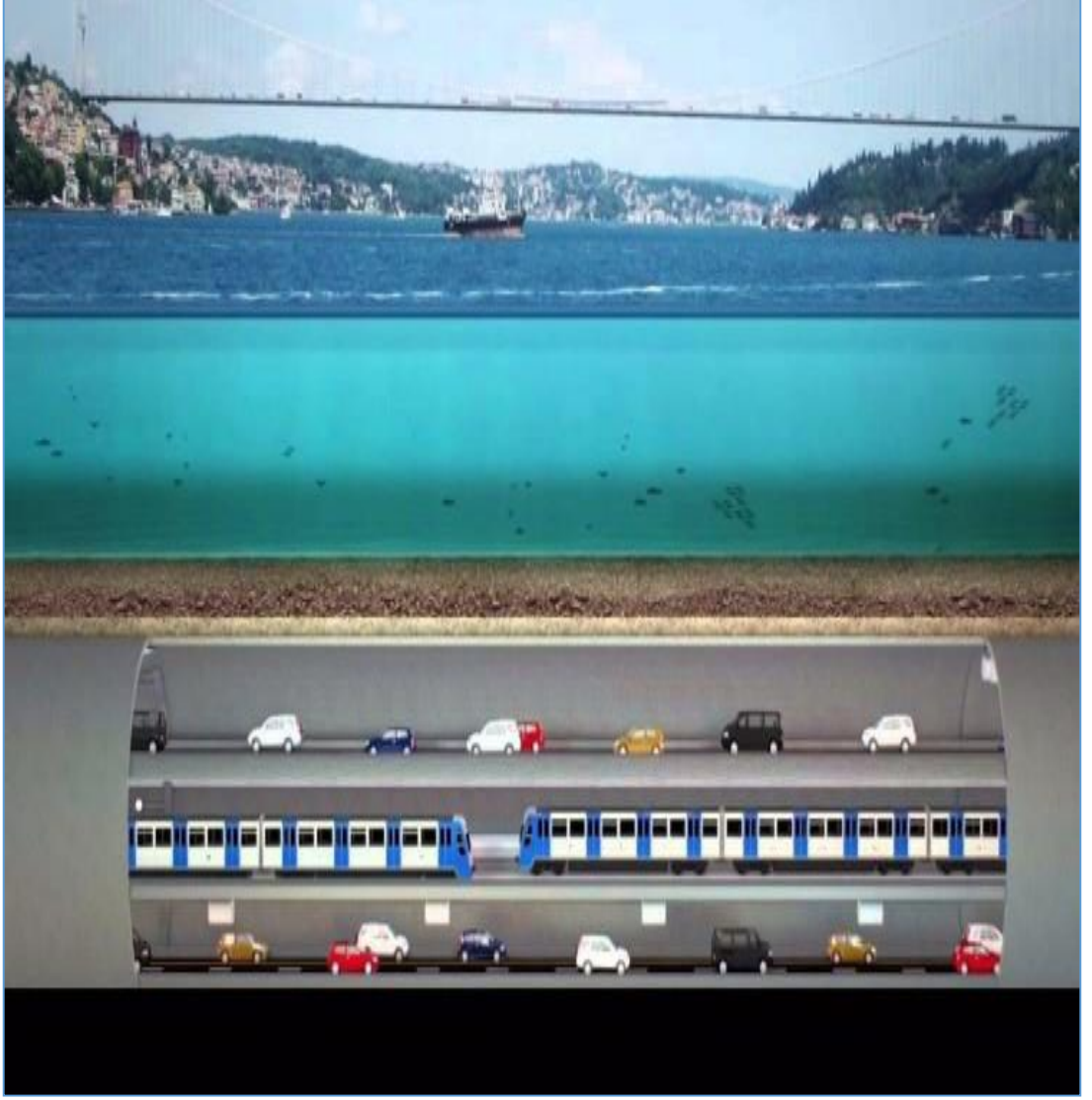
Şekil 3.16 : Humber Köprüsü, İngiltere. (Kızıлтаş, 2016: 3)



Şekil 3.17 : Nanjing Fourth Yangtze Köprüsü, Çin. (Kızıлтаş, 2016: 3)



Şekil 3.18 : Runyang Köprüsü, Çin. (Schulte-Werning vd, 1999: 3)



Şekil 3.19 : 3 Katlı Büyük İstanbul Tüneli. (Kızıлтаş, 2016: 3)

4. TAYVAN YÜKSEK HIZLI DEMİRYOLU HATTI UYGULAMASI

Bu tarz çalışmalar kapsamında; etaptan bağımsız olarak şehirler arası bir yüksek hızlı tren (YHT) hattında yolcu treni hizmetlerinin optimum dağılımında çok amaçlı bir planlama modeli geliştirilmektedir. İşletmecinin toplam işletim maliyetinin minimizasyonu ve yolcunun toplam seyahat süresi kaybının minimizasyonu, modelin iki planlama amacıdır. Verili bir yüksek seyahat talebi ve belirli bir yüksek işletim kapasitesi için model; tren dur kalk çizelge planı, hizmet sıklığı ve filo büyüklüğü dahil en iyi tren hizmet planını hesaplamak için bir bulanık mantık matematiksel programlama yaklaşımıyla çözülmüştür. Modelin etkinliğini göstermesi için Tayvan'da yapılacak bir yüksek hızlı tren (YHT) sistemiyle ilgili ampirik bir çalışma yürütülmüştür. Mevcut durum çalışması; verili bir seyahat talebi için optimum bir dur kalk çizelge dizisinin her zaman için üretilebileceğini göstermektedir. En iyi planlama çıktısının elde edilmesi için, dur kalk çizelgelerinin sayısı ve türü esnek olarak planlanmalı ve planlamacılar tarafından sıklıkla yapıldığı şekliyle belirli durak tasarımlarıyla kısıtlanmamalıdır (Schulte-Werning vd, 1999: 3).

Yolcu treni hizmetlerinin işletimi, düzenli zaman aralıklarına, periyodik ya da döngüsel tren çizelgelerine temellendirilmektedir. Tren çizelgelerinin planlanması, demiryolu işletim planlamasındaki en önemli işi oluşturmaktadır. Matematiksel programlama yöntemi; tren çizelgesi planlama prosesinde artış gösteren optimizasyon problemlerine uygulanmaktadır. Tren çizelgelemesi ve planlamasındaki optimizasyon problemlerinin çoğu, tekil amaçlı yaklaşımlarla yürütülmektedir. Tekil planlama amacı genellikle hem işletimci açısından (maliyet, kar, kapasite vs.) ve hem de kullanıcı açısından (zaman, mesafe, hizmet düzeyi vs.) yapılandırılmaktadır. Bununla beraber tren çizelgesi planlama problemi yapısal olarak çok amaçlıdır. Bu ilk elden farklı paydaşlar ve sosyal nedenlerce şekillenen ilginin çoklu yapısına bağlıdır. Çok amaçlı planlama teknikleri; karar alıcıya, tamamıyla tekil amaçlı yaklaşım temelli amaçların nispi değerlerinin açık değerlendirme imkanını sınımak için geliştirilmiştir.

Bu kapsamda yapılan çalışmalarda 1986 yılında çok amaçlı analiz kullanılarak ulaştırma planlaması literatürünün sistematik bir değerlendirmesi ortaya konmuştur. Bu tarz çalışmalar genellikle daha iyi planlama alternatifleri sunmakta olup bunun temel nedeni, ilgili faktörlerin özdeş olmayan birimlerde değerlendirilmesi ve planlama amaçları olarak dikkate alınmasıdır. Bazı yakın dönem çalışmaları da aynı zamanda, özellikle ulaştırma ağı başta olmak üzere, ulaştırma planlama problemlerinin çok amaçlı yapısıyla ilgili avantajlar göstermektedir.

Demiryolu işletim sistemlerinin kapsamlılığına bağlı olarak, hiyerarşik olarak yapılanmış bir planlama prosesi genellikle tren çizelgelerinin üretimi ve takibinde uygulanmaktadır. Bir demiryolu ağı sisteminde, tren çizelgesinin asli yapısı, sabit bir zaman aralığında iki terminal istasyonunu birbirine bağlayan bir hat üzerinde hizmet veren tren sayısını hesaplayan bir hat planı hüviyetidir. Etaplı olmayan bir demiryolu hattı için, yolcu treni planlaması bütün bir seyahat planlaması için temelde dur kalk çizelgelerinin hesaplanmasıyla ilgilidir.

Bir demiryolu hattındaki tren seyahati için dur kalk çizelgesi trenin durduğu istasyonların bir dizi veya alt dizisinin belirlemektir. Tren planlama probleminin bu sınıfı için, en genel yaklaşım dinamik programlamayı kullanarak verili performans kriterine bağlı olarak imkân dahilindeki bütün dur kalk çizelgelerinden en iyisinin bulunmasıdır. Dur kalk çizelgeleri; çeşitli zon şemalarına, yerel ve ekspres tren karşılaştırmalarına, belirli dur kalk unsurlarına ve değişen sayıdaki demiryolu taşıtlarına göre yapılandırılmaktadır. Tam dur, atlamalı dur, kesimli dur gibi belirli sayıdaki dur kalk çizelgeleri, tanımlanmış ve çalışılmıştır. Araştırma sonuçları göstermektedir ki zon bazlı dur kalk çizelgeleri, banliyö ev-iş yolculuğu demiryolu hatlarında çoktan teke türünde seyahat talebi için, tam dur ve atlamalı dur çizelgelere göre çeşitli avantajlara sahiptir (Schulte-Werning vd, 1999: 3).

İspatlı avantajlarına rağmen, zon bazlı dur kalk yaklaşımı banliyö ev-iş yolculuğu sistemleri hariç demiryolu hatları için uygulanabilir değildir. Bunun nedeni tipik zonlama gösterimlerinin, bir ya da birkaç şehir merkezi istasyonunda yolcu hacminin çoğunluğunu üretildiği ya da çekildiği bir demiryolu hattı için özellikle uyarlanmış olmasıdır. Aslında bu tarz araştırmalar kapsamında ampirik bir çalışma yürütülmekte olup bu kapsamda bir şehirler arası yüksek hızlı tren (YHT) hattında çoktan çoğa

kalkış varışlı (O-D) yolcu hizmeti için en iyi dur kalk çizelge planı özel hiçbir zonlama gösterimi oluşturulmaksızın, çeşitli dur kalk çizelge türlerinin bir terkiibi ortaya konmaktadır.

Bunun devamında, ilk olarak yüksek hızlı tren (YHT) hattında yolcu treni hizmetlerinin planlama prosesi için hiyerarşik bir çatki ortaya konmaktadır. Ardından bir çoklu programlama modeli olarak ana taktik düzey planlama kararları formüle edilmektedir. Son olarak Tayvan'da kurulacak yüksek hızlı tren (YHT) sistemindeki bir ampirik çalışma, çeşitli planlama senaryoları altındaki etkilerin sınanması için ve modelin nasıl çalışacağını göstermek için bir düzen ortaya konmuştur. Tayvan yüksek hızlı tren (YHT) hattı için tren hizmet planlamalarında belirli sonuçlar ortaya konmuş ve değerlendirilmiştir.

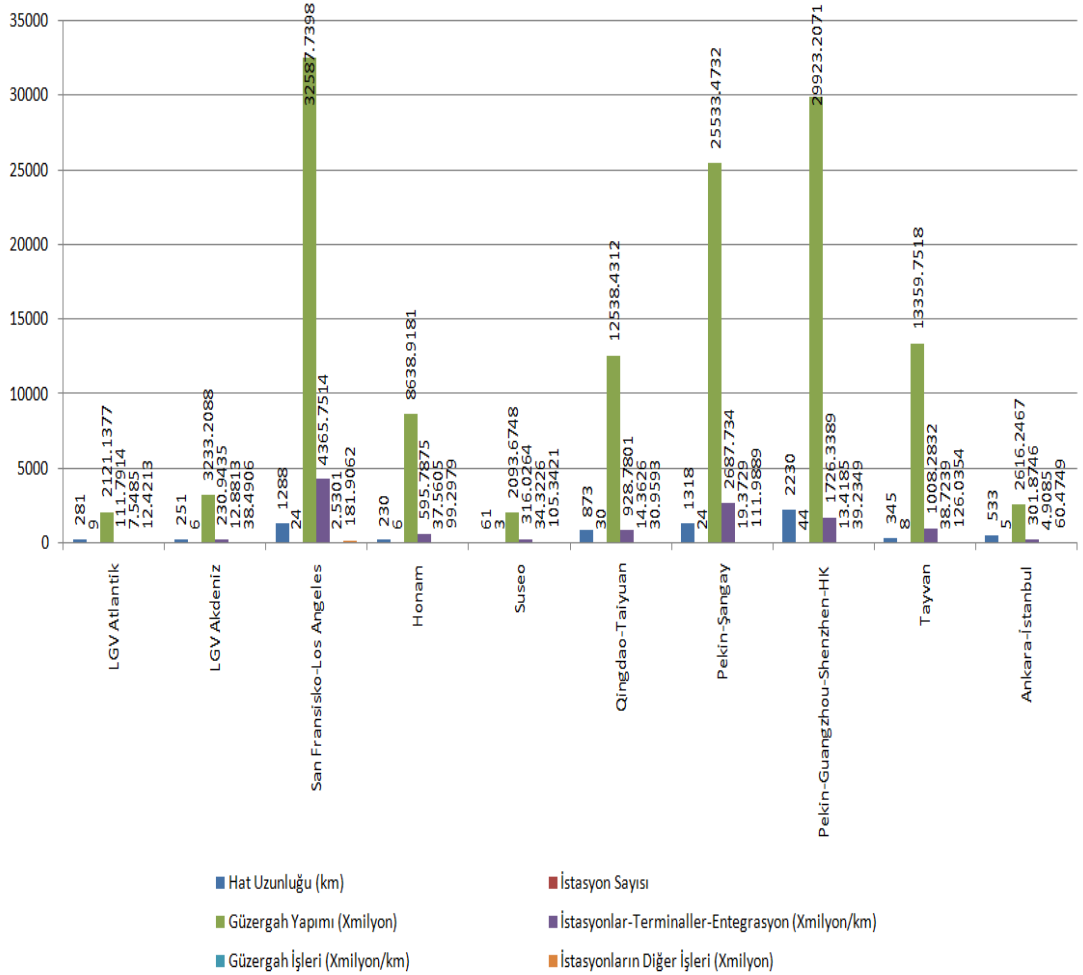
4.1 Yüksek Hızlı Tren (YHT) Yolcu Hizmetinin Planlanması

Yüksek hızlı tren (YHT) sistemleri 800 km'ye kadarki seçili güzergâh ta da koridorlarda tercih edilen bir şehirlerarası yolculuk ulaştırma modu olarak değerlendirilmektedir. Yüksek hızlı tren (YHT) işletimi daha yüksek hacim ve sıklıkta yolcu hizmetleri sağladığından dolayı geleneksel demiryolu sistemlerinden daha koordineli bir planlamayı gerektirmektedir. Tren planlaması bağlamında yüksek hızlı tren (YHT) seyahatleri, optimize bazlı bir model tarafından etkin bir planlamayı gerektirmektedir. (Schulte-Werning vd, 1999: 3).

Şehirlerarası bir yüksek hızlı tren (YHT) hattında yolcu tren hizmetlerinin sağlanmasıyla ilgili kesin planlama kararları hiyerarşik bir yapıda kurulmayı gerektirmektedir. Karar aşamalarının sınıflandırılması 1965 yılında yapılan ilgili çalışmalarda önerilen çatkiya göre temellendirilmektedir. Bu tarz çalışmalar ana taktik kararların desteklenmesi için tren hizmetlerinin planlanmasında optimum bir modelin gelişimine odaklanmaktadır. Taktiksel kararlar, seyahat talebinin karşılanması adına uygun kaynakların dağıtımıyla ilgili bir konudur. Tren hizmet planı sırasıyla; (a) sefer için ihtiyaç duyulan tren sayısını (hizmet sıklığı), (b) her bir trenin duracağı (dur kalk çizelge olanı) istasyon sayısını ve (c) gerek duyulan minimum tren sayısını (filo büyüklüğü) belirlemektedir. Bir planlama aralığı, yapılandırılacak tren çizelgelendirmesinin belirlenmesi için normalde sabit zaman

aralıklarına (saatlik bir bazda) bölünmektedir. Dur kalk çizelge planı ve hizmet sıklığı, işletim periyodu olarak adlandırılan belirli zaman aralıkları için belirlenmektedir. Filo boyutu planlama aralığı için belirlenmektedir. Tren hizmet planı; seyahat talebinin O-D çiftleri, istasyon kurulumları, işletim kapasiteleri ve planlama parametrelerini içeren çeşitli stratejik kararlar temel alınarak oluşturulmaktadır. Plan; günlük tren işletimlerinde işletim kararlarının desteklenmesinde temel bir kılavuz olarak kullanılmaktadır. Aşağıda Çizelgede çeşitli yüksek hızlı tren projelerindeki başlangıç maliyetleri verilmiştir.

Çizelge 4.1 : Çeşitli Yüksek Hızlı Tren Projelerindeki Başlangıç Maliyetleri.
(Schulte-Werning vd, 1999: 3)



Yolcu hizmetlerinin sağlanmasında etkin planlama, dengelenmiş bir arz ve talebi gerektirmektedir. Talep açısından, yolcu memnuniyeti demiryolu hizmetinin başarılı işletimi için anahtardır. Güvenlik ve konfor faktörlerinden ayrı olarak, demiryolu seyahatinin seçiminde yolcuların temel ilgisi güvenilirliktir. Güvenilirlik hizmet

sıklığıyla ve seyahat süresiyle ilgilidir. Tren çizelge planlaması bağlamında; yolcu seyahat sürelerini minimize eden tren çizelgeleri yolcu ihtiyaçlarını karşılayabilmektedir. Etaplı olmayan bir şekilde bir demiryolu hattında, yolcuların seyahat süresi genellikle bekleme süreleri, sürüş süreleri ve tren dur kalk sürelerinden oluşmaktadır. Optimum tren dur kalk çizelgelerinin hesaplanması için taktiksel planlama modelinde, yolcuların seyahat süresi kayıplarını yansıtması için sadece tren dur kalk sürelerinin dikkate alınması gerekmektedir. Bu durum aşağıdaki kurulum ve kabullere bağlıdır: (a) trenler sabit ve basılı zaman çizelgeleri (Tayvan yüksek hızlı tren (YHT) hattında) bazlı olarak işletilmektedir ve yolcuların herhangi bir bekleme süresi olmaksızın istasyonlara ulaştıkları kabul edilmektedir, (b) bekleme süresi, detaylı zaman çizelgelerinin belirlendiği işletim planlama modelince dikkate alınmaktadır, (c) herhangi iki istasyon arasındaki yolcu sürüş süresi; sabit, dur kalk planlamasından ve işletim modundan bağımsız kabul edilmektedir.

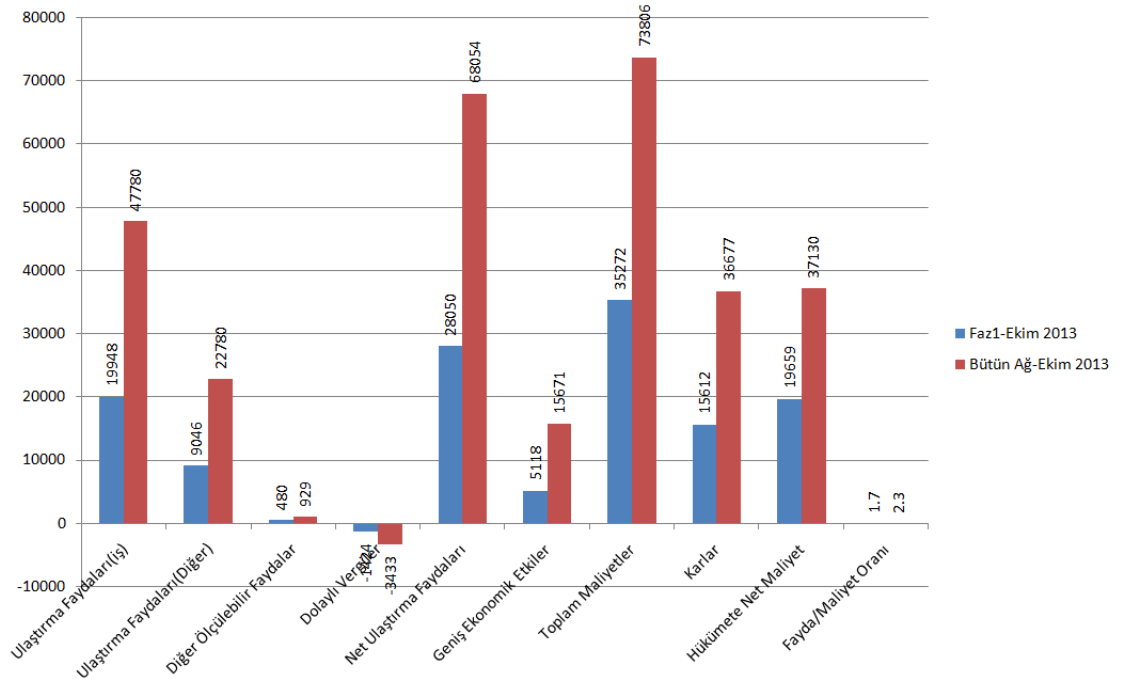
Ampirik çalışma aynı zamanda 10 istasyon durumu için de uygulanmıştır. Modelin etkinliğine ve optimum tren hizmet planının göstergelerine göre, sonuçlar 7 istasyonlu durumla benzerdir. Daha az duraklı dur kalk çizelgeleri, daha yüksek yolcu hacimlerinin bulunduğu istasyonların hizmetinde kullanılabilir. Diğer taraftan; çok dur kalklı çizelgelerin, daha düşük yolcu hacimli istasyonlar arasında hizmette kullanılması daha uygundur. Dur kalk çizelge türlerinin optimum durma sayısının 10 istasyonlu durumda 6 olup 7 istasyonlu durumla aynı olduğu vurgulanmaya değer bir noktadır. Bunun nedeni ilave 3 istasyonun seyahat talebinin nispeten az olması ve hatta dağılıma etkisinin çok az olmasıdır. Bu durum; dur kalk çizelge planının seyahat talebi unsurları ve hacmi tarafından ciddi oranda etkilendiği gerçeğini yansıtmaktadır.

Söz konusu çalışma optimum dur kalk çizelge dizilerinin hesaplanması durumu için uygulanmaktadır. Aslında model, plancılarca sıklıkla önerilen çeşitli özel tren dur kalk gösterimlerinin oluşturulmasında da kullanılabilir. Bu modelin; dur kalk çizelgesinin sabit bir dizisinden optimum bir tren hizmet planı oluşturabileceği anlamına gelmektedir. Bu aynı zamanda literatürde yaygın bir şekilde çalışılan bir planlama senaryosudur.

Dur kalk çizelge planının planlama amaçlarına göre tren hizmet planını nasıl etkilediğinin sınanması için ilk olarak, 7 istasyonlu durum için modeldeki dur kalk çizelge türlerinin sayısı sınırlandırılmıştır. Bu; işletimcinin daha yönetilebilir bir dur kalk çizelge planını tercih edebileceğinden, daha pratik bir gösterge olmaktadır. Bu da belirli sayıdaki bir dur kalk türüyle modelin çözümlenmesi şeklinde uygulanmaktadır. Bu değişim aralığı (dur kalk türü sayısı) 1 ile 10 aralığında sınanmıştır. Burada kritik değer ve 7 ve üstü olarak hesaplanmıştır. Bu durum değişen sayıdaki dur kalk çizelge türlerinin, farklı seyahat talebi unsurlarını karşılama gerekliliğiyle ilgilidir.

Açıkça; çeşitli hizmet türlerinin bir terkihi, gerek duyulan minimum işletim maliyeti ve minimum seyahat süresi kaybı arasındaki en iyi dengeyi kurabilecek bir tren dur kalk çizelgesi planıca gerçekleştirilmektedir. Bunu takiben şehirlerarası bir demiryolu hattında genel yolcu treni planlama problemi için en dengeli tren hizmet planının üretilmesi için birçok amaçlı planlama modeli formüle edilmektedir. Aşağıda yer alan Çizelge 4.2’de Birleşik Krallık’taki HS2 yüksek hızlı tren hattındaki ekonomik değerlemeler verilmektedir.

Çizelge 4.2 : Maliyet ve Faydaların 60 Yıllık Periyottaki Şimdiki Değerleri (milyon euro) (Schulte-Werning vd, 1999: 3)



5. SONUÇLAR

Bulanık matematiksel programlama; en dengeli çözümün elde edilmesinde Microsoft tabanlı bir probleme (MOLP) uygulanabilecek etkili bir yaklaşım olarak kendini ispatlamıştır. 1970 yılında ilgili çalışmalarda bulanık karar almaya dayalı olarak, bu yaklaşımın bulanık özelliği, MOLP probleminin amaç fonksiyonunun, tekil amaçlı doğrusal programlama (LP) problemine eşit olan bir bulanık limit olarak dikkate alındığı gerçeğine dayanmaktadır. Bir bulanık limit; kendisine karşılık gelen amaç fonksiyonuna göre bir çözüm uzayı (örneğin fizibil çözüm) ortaya koymaktadır. Bu limit; üye fonksiyonunun amaç fonksiyonu memnuniyet düzeyini ortaya koyduğu bir bulanık dizi olarak modellenmektedir. Bir amaç fonksiyonunun üyelik fonksiyonu değeri genellikle 0 (en düşük memnuniyet dereceli çözümlerde) ile 1 (en yüksek memnuniyet dereceli çözümlerde) arasında doğrusal olarak değiştiği kabul edilmektedir.

Doğrusal programlama (LP) problemine eşit olan amaç fonksiyonu, orijinal MOLP probleminin amaç fonksiyonunun üyelik fonksiyonunun kesişimine göre tanımlanmakta olan amaçlar arası dengenin bütün bir memnuniyet derecesini maksimize etmektedir. İlk olarak 1978 yılında yapılan bir araştırmada, MOLP probleminin hem amaçları ve hem de kısıtlarını karşılamada en iyi denge kararının alınması için bir doğrusal programlama (LP) probleminin (bir MOLP probleminin bütün amaç fonksiyonlarından dönüştürülerek) bulanık limitin kümelenmesinde 1970 yılında Bellman ve Zadeh tarafından ortaya konan maksimum-minimum işletimcisi kullanılmıştır. Bu işletimcideki sorun, baskın olmayan bir çözümü garanti edememesi ve bütünüyle dengeleyici olmamasıdır. Amaç fonksiyonlarının kümeli üyeli fonksiyonları arasında tam bir dengenin başarılabilmesi ve baskın olmayan bir çözümün sağlanabilmesi için, 1994 yılında ortaya konulmuş olan arttırılmış minimum-maksimum yaklaşımı kullanılmaktadır ki bu yaklaşım 1978 yılında Zimmermann'ın geliştirdiği yaklaşımın bir uzantısıdır. Optimum tren hizmeti planlamasında MOLP modelinin çözüm algoritması ortaya konmuştur.

Bulanık matematiksel programlamayla, MOLP problemleri doğrusal programlama (LP) problemleri gibi kolaylıkla çözülebilmektedir. Ayrıca; optimum tren hizmeti

planlama modelinin çözümünde bu yaklaşımın kullanımının bir avantajı, amaçların değerlerinin ölçümünde kullanılan birimlerce etkilenmeyen en dengeli çözümü teşkil ediyor olmasıdır. Modelin çözümünün bir sonucu olarak; optimum dur kalklı çizelge planı, optimum hizmet sıklığı ve optimum filo boyutu eş zamanlı olarak üretilmektedir. Ayrıca her bir dur kalk planındaki istasyonlar arasında hizmet verilen yolcu hacmi de hesaplanabilmektedir (Schulte-Werning vd, 1999: 3).

Bu kapsamda Tayvan'daki yüksek hızlı tren (YHT) sisteminden hareketle yolcu treni hizmetinin planlanması için bir model geliştirilmiştir. Önerilen yüksek hızlı tren (YHT) sistemi, adanın batı koridoru boyunca, etaplar olmaksızın, 340 km dolaylarında bir şehirlerarası yolcu hizmeti hattıdır. Taipei ve Kaohsiung olmak üzere iki büyük şehrin 5 ila 8 orta istasyonla birbirine bağlanması önerilmektedir. Sistemin işletim planına bağlı stratejik kararlar Tayvan Yüksek Hızlı Demiryolu Büro'sunca modelin girdisi olan politik ve ekonomik kararlar alınmıştır. Tayvan yüksek hızlı tren (YHT) hattında, terminal istasyonundan yaklaşık 15 km mesafede bir depo alanı kurulmuştur. Terminale ilgili hesaplama süreleri, terminal istasyonu ile depo alanı arasındaki seyir süresini de kapsamalıdır. Planlanan saatlik yolcu hacmi, 2020 yılı için 08:00-18:00 saatlerini kapsayan planlama aralığı için günlük seyahat talebi hesaplarından türetilmiştir (Mancini vd, 2001: 3).

MOLP modelinin en dengeli çözümü, sırasıyla iki tekil amacın optimum çözümleri arası dengenin sağlanmasıyla elde edilmektedir. Toplam işletim maliyetinin minimizasyonu için, sistem daha az dur kalk çizelge türleriyle daha az tren seferlerine yönelmek durumunda kalacaktır. Bunun nedeni seyahat talebinin daha fazla durağa sahi dur kalk çizelgesiyle büyük oranda örtüşüyor olmasıdır. Toplam seyahat süresi kayıplarının minimizasyonu durumunda, daha az duraklı dur kalk çizelgeleri için daha çok tren seferi önerilmektedir. Bu çelişen iki amaç arasındaki dengeyi sağlamak için yapılan bir teşebbüste, en dengeli çözüm, dur kalk çizelge planındaki tren sefer sayılarıyla durak sayıları arasında yakalanmıştır. Sonuç olarak; işletim maliyetinin minimizasyonunun optimum çözümünde %11,1'lik bir seyahat süresi kaybı azalması ile seyahat süresi kaybının minimizasyonunun optimum çözümü için işletim maliyetinde de %3,2'lik bir azalma kaydedilmektedir.

Ardından sabitlenmiş bir çizelge dizisinden oluşturulan bir plana göre senaryolar sınanmıştır. Tayvan yüksek hızlı tren (YHT) sisteminin planlamasında, 7 istasyonlu çizelge türü dikkate alınmıştır. Önerilen alternatif dur kalk gösterimleri 4-7 dur kalklı

çizelge türlerinden terkipler şeklinde oluşturulmuştur. İlk olarak bütünüyle 7 istasyonlu çizelge türlerinde oluşan gösterge dikkate alınmıştır. Modelin girdisi olarak verili bu 7 istasyonlu çizelge türüyle, optimum plan ortaya çıkarılmış olup bu plan daha önce ortaya konan planların bir dengesine göre oluşturulmuştur (Mancini vd, 2001: 3).

Arz tarafında; demiryolu işletmecisi bütün bir işletim maliyetinin minimizasyonunu talep edebilir. Bu; seyahat talebini karşılamak için gerekli minimum tren seyahat sürelerini optimum dağıtan bir tren hizmet planınca başarılıdır. İşletimci ve yolcu arasındaki gereksinimleri dengelemek için, iki planlama amacı dikkate alınmaktadır: (a) işletmecinin toplam işletim maliyetinin minimizasyonu ve (b) yolcunun toplam seyahat süresi kaybının minimizasyonudur. Bir tren seyahatının işletim maliyeti, sabit bir genel maliyet ve seyahat mesafesine bağlı değişen bir maliyetten teşekkül etmektedir. İşleticinin toplam işletim maliyeti; seyahat talebini karşılaması gereken bütün tren seyahatlerinin sabit ve değişken işletim maliyetlerinin toplamı olarak tanımlanmaktadır. Yolcular için; eğer yolcuların inip binmediği bir orta istasyonda tren durursa, bir seyahat süresi kaybı söz konusu olmaktadır. Yolcuların toplam seyahat süresi kaybı; bütün tren seyahatlerince hizmet verilen bütün yolcular için, orta istasyonlardaki durmalardaki zaman kayıplarının toplamı olarak tanımlanmaktadır. Birbiriyle çelişen iki planlama amacı; genel olarak dur kalk çizelgelerinden etkilenmektedir. Bu amaç; çoktan teke talebin bir banliyö hattında dur kalk çizelgelerinin optimum hesaplaması için 1969 yılındaki çalışmalarda kullanılan iki kriterle uyum göstermektedir. Bir şehirlerarası demiryolu hattında, yolcu treni hizmetlerinin talep unsuru, çoktan çoğadır. Diğer bir deyişle; yolcular hizmet veren hatla, çok farklı kalkış noktalarından(istasyonlar) taşınmakta ve çok farklı varış noktalarına (istasyon) sevk edilmektedir. Verili bir işletim periyodu süresince, verili bir seyahat talebinin karşılanması için, bütün dur kalklı hizmetler daha az sayıdaki tren seyahatine dağıtmakta olup bu da toplam işletim maliyetini düşürmektedir. Bununla beraber orta istasyonlardaki dur kalklardan dolayı ilave zaman gereksinimine bağlı yolcu toplam seyahat sürelerinde artış kaydedilecektir. Eğer daha az sayıdaki dur kalklarla ekspres ve/veya atlamalı dur hizmeti sağlanırsa, yolcular daha az seyahat süreleri harcayacaklardır. Bu da daha fazla tren seferleri gerektirdiğinden, toplam işletim maliyetini arttıracaktır.

Optimum planın her bir dur kalk çizelgesi için hizmet sıklığı, yerel hizmetlere önceliği olan atlamalı dur hizmetleri ya da ekspreslerin bir göstergesi gibi görünmektedir. Bu genel olarak; uzun mesafeli yolcuların seyahat taleplerinin kısa mesafeli yolcularinkinden büyük olması gerçeğine bağlıdır. Plancılarca sıklıkla önerilene benzer bir optimum planın, verili bir dur kalk çizelgesinden hareketle oluşturulabiliyor olmasına karşın, normalde imkân dahilindeki en iyi planlama çıktısı olduğu söylenemez. Bunun nedeni sabitlenmiş dizili dur kalk çizelgelerinin istasyonlar arasında etkin bir dağılım yapamama ihtimalidir.

Tayvan yüksek hızlı tren (YHT) hattı için önerilen alternatif dur kalk gösterimi için verili dur kalk çizelgesi türlerinin 6'dan 4' düşmesiyle, verili optimum plana kıyasla, işletim maliyetleri %4,8 ile %24,2 arasından artarken seyahat süresi kayıpları da %12,5 ile %96,7 arasında artmaktadır. Belirlenen dizilerin aynı sayıda dur kalk çizelgelerine sahip olduğu durumlar için, ekspres hizmetleri için planlar daha iyi performans göstermektedir. Bunun nedeni 1 ve 7 istasyonları arasında nispeten daha yüksek olan yolcu hacimlerinin varlığı ile orta istasyonlar olmaksızın dur kalk çizelgelerinin daha iyi hizmet veriyor olmasıdır (Mancini vd, 2001: 3).

Tayvan yüksek hızlı tren (YHT) hattı için tren dur kalk çizelgelerinin önerilen sayısı ve hizmet türüne göre yürütülen çalışmayla edinilen bulgular, hacim ve seyahat talebi unsurlarına göre esnek planlanmalıdır. Geliştirilen model, verili bir seyahat talebi için optimum bir dur kalk çizelge dizisi hesabında kullanılabilir. Eğer pratikteki nedenlerden dolayı sabitlenmiş bir dur kalk çizelge dizisinin belirlenmesi gerekiyorsa, mümkün olduğunca hizmet türü ve/veya sayısına göre optimum dur kalk çizelge dizisi kurulmalıdır. Herhangi bir durumda 1 ve 7 istasyonları arası (iki büyük şehir arasında) ekspres hizmetler bu şehirlerarasındaki nispeten büyük seyahat taleplerini karşılamalıdır.

Yolcu tren hizmetlerinin etkin planlaması hem işletimcinin ve hem de yolcunun gereksinimlerini dikkate almak durumundadır. Bu tarz çalışmalar kapsamında; hem işletmecinin toplam işletim maliyetinin minimizasyonu ve hem de yolcunun toplam seyahat süresi kaybının minimizasyonu için çok amaçlı bir programlama modeli ortaya konmaktadır. Model; optimum dur kalk çizelge planı, hizmet sıklığı ve filo boyutunu içeren en dengeli tren hizmet planının üretimi için bulanık matematiksel programlama kullanılarak çözülebilmektedir. Tayvan yüksek hızlı tren (YHT) hattında yürütülen ampirik çalışma; modelin etkinliğini göstermektedir. Verili bir

seyahat talebi için, belirli bir hizmet türüyle ya da olmaksızın, optimum bir dur kalk çizelge dizisi hesabında model kullanılabilir. Ampirik çalışma sonuçları 6 dur kalklı çizelge türünün tren hizmet planını önermekte olup bu planın Tayvan yüksek hızlı tren (YHT) hattı için en dengelisi olduğunu ortaya koymaktadır. En iyi planlama çıktısı, belirli dur kalk çizelgeleriyle sınırlandırılmamış olan optimum plandır. Belirli dur kalk çizelgelerinin önerilmiş olduğu uygulamalı planlama dizilerinde, planın iyileştirilmesinde önerilen dur kalk çizelgeleri, hizmet türü ve/veya sayısına göre optimum diziye uygulanmaktadır. Uygulamada iki büyük şehir arasında ekspres hizmetleri Tayvan yüksek hızlı tren (YHT) hattı için kullanılabilir.

Bir planlama kararı desteği olarak model, uygulamalı planlama amaçları için çeşitli planlama senaryolarıyla sınanarak kullanılabilir. Bu durum, bir şehirlerarası demiryolu hattında çoktan çoğa talebin yolcu treni hizmeti planlamasında genel bir uygulamadır (Mancini vd, 2001: 3).

KAYNAKLAR

İlcalı, Mustafa, '**Yüksek Hızlı Demiryolları, Ulaştırmadaki Yenilikler ve Türkiye**', Taşıma Dünyası, 2014: 4.

Ampe, F., **Technopole development in Euralille**, in: D. Banister (Ed.) Transport and Urban Development, 1995: 115.

Anderson, J., **Government ends scoping study on east coast very high speed train network**. Media release by The Hon. Johan Anderson MP, Australian Deputy Prime Minister, Minister for Transport and Regional Services, 2002: 2.

Bonnafous, A. **The regional impact of the TGV**, Transportation, 14, 1987: 104.

Bouley, J., **Innovative areas: high speeds, in: ECMT, European Conference of Ministers of Transport**, European Dimension and Future Prospects of the Railways (Paris: ECMT); 1986: 2.

Evans, S.P., **Derivation and analysis of some models for combining trip distribution and assignment**. Transportation Research 10, 1976: 29.

Anthony, R.N., 1965. **Planning and Control Systems: a Framework for Analysis**. Harvard University, Boston. Assad, A.A., 1980a. Models for rail transportation. Transportation Research 14 A, 205-220.

Assad, A.A., 1980b. **Modelling of rail networks: toward a route/makeup model**. Transportation Research 14 B, 101-114.

Assad, A.A., 1982. **A class of train-scheduling problems**. Transportation Science 16, 281-310.

Bellman, R.E., Zadeh, L.A., 1970. **Decision-making in a fuzzy environment**. Management Science 17, 141-164.

- Bowerman, R., Hall, B., Calamai, P., 1995. **A multi-objective optimization approach to urban school bus routing: Formulation and solution method.** *Transportation Research* 29A, 107-123.
- Bussieck, M.R., Kreuzer, P., Zimmermann, U.T., 1997a. **Optimal lines for railway systems.** *European Journal of Operational Research* 96, 54-63.
- Bussieck, M.R., Winter, T., Zimmermann, U.T., 1997b. **Discrete optimization in public rail transport.** *Mathematical Programming* 79, 415-444.
- Claessens, M.T., 1994. **A mathematical programming model to determine a set of operation lines at minimal costs.** In: Murthy, T.K.S., Mellitt, B., Brebbia, C.A., Sciutto, G., Sone, S. (Eds.), *Computers in Railways IV, Railway Operations*, vol. 2. Computational Mechanics Publications, Southampton, UK, pp. 117-123.
- Cohon, J.L., 1978. **Multiobjective Programming and Planning.** Academic Press, New York.
- Current, J., Min, H., 1986. **Multiobjective design of transportation networks: Taxonomy and annotation.** *European Journal of Operational Research* 26, 187-201.
- Miyako, A. and Yamamoto, Y. **Investigation of running resistance of high speed trains.** In *Proceedings of the World Congress on Railway Research (WCRR '97)*, Vol. E, Florence, Italy, November 1997, pp. 577-579.
- Kızıldaş, Mehmet Çağrı, **'Yüksek Hızlı Demiryolu Analizleri'**, *Ulaştırma Dünyası*, 2016: 3.
- Schulte-Werning, B., Matschke, G., Willaime, A., Malfatti, A., Mancini, G. and Pecorini, M. **High speed trains with bogie fairings: European research into reducing aerodynamic drag and noise.** In *Proceedings of the World Congress on Railway Research (WCRR '99)*, Tokyo, Japan, 1999.
- Mancini, G., Malfatti, A., Violi, A. and Matschke, G. **Effects of experimental bogie fairings on the aerodynamic drag of the ETR 500 high speed train.** In *Proceedings of the World Congress on Railway Research (WCRR 2001)*, Cologne, Germany, 21-27 November 2001.

ÖZGEÇMİŞ

Ad – Soyad : Onur ŞAHİN
Doğum Tarihi ve Yeri : 1988, Samsun
E-posta : onur7@yahoo.com



ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2011, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği
- **Lisans** : 2014, Anadolu Üniversitesi, İşletme Fakültesi, İşletme

MESLEKİ DENEYİM:

- **2013 –** : Kontrol Mühendisi, İSKİ Genel Müdürlüğü, İstanbul