

ANKARA METROSU M1 (KIZILAY-BATIKENT) HATTI HAREKET SAATLERİNİN ÇİZELGELENMESİ

M.Abdullah GENÇER¹, Tamer EREN^{2*}

¹ABB, EGO Genel Müdürlüğü, Raylı Sistemler Dairesi Başkanlığı, abduhahgencer_71@hotmail.com

²Kırıkkale Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü, tamereren@gmail.com

Geliş Tarihi: 2016-04-20 Kabul Tarihi: 2016-06-27

Öz

Nüfusun artmasıyla birlikte kent içi yolcu sayısının da artmasıyla yolcu konforu, memnuniyeti önem kazanmıştır. Dolayısıyla toplu taşıma araçlarının sefer zamanlarının yolcu talebini de karşılayarak en uygun şekilde çizelgelenmesi de önem kazanmıştır. Toplu taşıma için ulaşım planları yapılırken bazı faktörlerin hesaplanabilmesi için ulaşım bilgisine ihtiyaç vardır. Ulaşım bilgileri kullanılarak talep tahmini çalışmalarıyla birlikte yolcu sayısı gelecek dönemler için yaklaşık olarak tahmin edilmektedir. Bu çalışma Ankara M1 (Kızılay-Batıkent) metro hattı için altı farklı talep tahmin yöntemi kullanılarak hata ortalamaları kıyaslanıp en az hata ortalamasına sahip talep tahmin yöntemiyle gelecek dönem tahmini yapılmıştır. Gelecek dönem tahminlerine göre gün içinde yolcu yoğunluğuna göre zaman çizelgelenmesi yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Ankara Metro Hattı, Talep Tahmini, Toplu Ulaşım, Zaman Çizelgeleme

ANKARA METRO LINE MOVEMENT HOURS BE SCHEDULED M1 (KIZILAY-BATIKENT)

M.Abdullah GENÇER¹, Tamer EREN^{2*}

¹ABB, EGO General Directorate, Rail Systems Department, abduhahgencer_71@hotmail.com

²Kırıkkale University, Department of Industrial Engineering, tamereren@gmail.com

Abstract

Increase the number of passenger comfort with increased population urban passenger satisfaction has gained importance. Therefore, optimal scheduling time to meet the demand of public transport passengers of the time gained importance. transportation plan for transit transport information is needed in order to calculate while some factors. The number of passengers is estimated to be around for future periods with demand forecast study using contact information. This work Ankara M1 (Kızılay-Batıkent) average error using six different methods to estimate demand for metro line will be compared with the minimum error method with an average term demand forecasts estimate is made. When scheduling is done according to the density of passengers throughout the day according to the estimates of future periods.

Keywords: Ankara Metro Line, Forecasting, Public Transportation, Time Scheduling

1. Giriş

Teknolojinin hızla gelişmesi ulaşım sorunlarını da ülkemizde ve dünyada beraberinde getirmiştir. Otomobil sayılarının hızla arttığı kentlerimizde, işletilen raylı sistemlerin atıl kalmasına veya istenilen düzeyde kullanılmamasına yol açmıştır. 1950 'li yıllarda raylı sistemlerle ilgili planlama yapılmaması aksine otomobillerin ulaşım yollarını kolaylaştıracak yollar inşa edilmesi ilerleyen

zamanda özel otomobil kullanımını gün geçtikçe arttırmıştır. Özel otomobil kullanılmasının artışına bağlı olarak yakıt tüketimi de artmakta böylece gelirlerin de yurtdışına çıkmasına neden olmaktadır. Bu sorunlar göz önüne alındığında toplu taşıma sistemlerinin kullanılmasını özendirme için otomobil kullanımının azaltılmasına yönelik çalışmalar yapılmalıdır. Böylece raylı sistemlerin kullanımında da artış olacaktır [1].

*Sorumlu yazar: Adres: Endüstri Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Kırıkkale Üniversitesi, 71450, Kırıkkale, tamereren@gmail.com

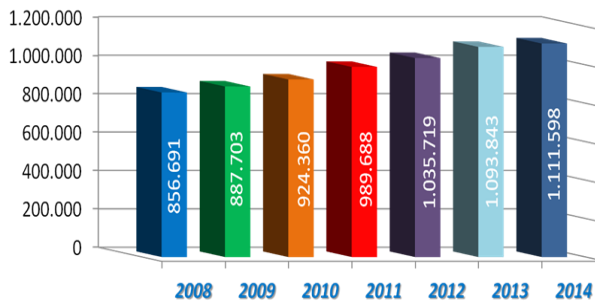
Ülkemizde 1960'lı yıllarda karayolunun geliştirilmesine yönelik alt yapı çalışmaları toplu taşıma sistemlerini geri plana atmıştır. Avrupada ise bu gelişmeler fark edilip raylı sistemler geliştirilmeye özen gösterilmiştir. 19. Yüzyılda Esenler hattının açılmasıyla başlamıştır[2].

Son yıllarda ülkemizde raylı sistemler konusunda önemli gelişmeler olmuştur. Toplu taşıma sistemleri arasında işletme maliyetlerinin ve kaza risklerinin düşük olması raylı sistemleri daha ön plana çıkarmıştır. Teknolojik, ekonomik ve çevresel faktörlere göre toplu taşıma sistemleri kıyaslanmış ve numara verilip sıralanmıştır. Toplu taşımanın bahsedilen faktörlere göre en iyi olandan başlayarak sıralanması Tablo 1. de gösterilmiştir.

Tablo 1. Bazı Toplu Taşıma Sistemlerinin Faktörlere göre sıralanması

Toplu Ulaşım Aracı	Teknolojik		Ekonomik	Çevresel
	Kapasite	Hız		
Otomobil	3	1	3	2
Minibüs/ Otobüs	2	3	2	3
Metro	1	2	1	1

Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) 2012 yılı verilerine göre, ülkemizin en kalabalık kenti 13,8 milyonluk nüfusu (yüzde 18,3) ile İstanbul olup, sırasıyla 5 milyonluk nüfusuyla Ankara (yüzde 6,6) ve 4 milyonluk nüfusu ile İzmir (yüzde 5,3) takip etmektedir. Toplam nüfusu 23 milyona yakın olan bu üç şehir ülke nüfusunun da yaklaşık %30 una sahiptir. Ülkemizin toplam nüfusu 2023 yılı itibariyle yaklaşık 84 milyona ulaşacağı öngörülmektedir [3]. Ülkemizde nüfusun artmasının yanı sıra araç sayısındaki değişim de dikkat çekmektedir. 2012 yılında kayıtlı otomobil sayısı toplam yaklaşık 8,5 milyona ulaşmıştır. Toplam payın büyük kısmını 3,6 milyon araçla İstanbul, Ankara ve İzmir oluşturmaktadır. Şekil 1. de Ankaradaki otomobil sayısının yıllara göre değişimi gösterilmektedir. Grafiğin (çubukların) üstündeki rakamlar otomobil sayılarını göstermektedir [3].



Şekil 1. Ankaradaki Otomobil Sayısının Yıllara göre değişimi

başlayan raylı sistem çalışmaları 70'li yıllarda yaşanan enerji sıkıntıları bu konuda çalışmaları arttırmıştır. Ülkemizde de raylı sistemler çalışmaları 1989 yılında Aksaray-

Kent içi ulaşım planlama çalışması yapılırken maliyet ve fizibilite unsuru diğer ulaşım sistemleri arasında sıralanarak en uygun olan toplu ulaşım tercih edilmelidir. Uygulanacak veya tercih edilecek ulaşım sistemi diğer ulaşım sistemlerine entegre edilmelidir. Tablo 2. de bir yönde saatlik yolcu sayılarına göre sabit bekleme süresi baz alınarak tercih edilecek ulaşım sistemi gösterilmektedir [4]. Yolcu yoğunluğu ve enerji faktörü de maliyetlendirme açısından etkilidir. Tablo 3'te ulaşım sistemi türüne göre km maliyeti yer almaktadır[1].

Tablo 2. Saatte bir yöne yolcu kapasitesi

Yolcu taşıma sistemi	Yolcu kapasitesi (Yolcu/saat/yön)
Banliyö Treni / Metro	40.000-60.000
Hafif Raylı Sistem (LRT / HRS)	15.000-22.000
Körüklü Otobüs (özel yolda)	12.000-20.000
Körüklü Otobüs	10.000-15.000
Otobüs	8.000-12.000
Minibüs	6.000-10.000
Otomobil	2.000-5.000

Tablo 3. Ulaşım sistemine göre km maliyeti

Kent İçi Ulaşım Sistemleri Türü	Maliyeti (Milyon ABD Doları/Km)
Özel yollu otobüs	3-13
Hafif Raylı Sistem	13-40
Metro (Hemzemin- Viyadük)	30-100
Metro (Yeraltı)	45-320

Toplu taşıma sistemlerinin karşılaştırılması teknolojik, ekonomik ve çevresel özellikler olarak ayrılabilir. Teknolojik özelliklere bakıldığında kapasiteleri ve ticari hızı bakımından en yüksek olan raylı sistemlerdir. Yolcu sayısı 12 bin düzeyine ulaşana kadar en uygun ulaşım türü otobüslerdir. Metrobüslerde bu sayı 48 bin düzeyindedir.

Raylı sistemler hafif ve ağır raylı sistemler olarak ayrılır. Hafif Raylı Sistemlerin saatteki maksimum yolculuk kapasitesi yaklaşık 30.000-40.000 yolcu/yön şeklindedir. Hafif raylı sistemlerin ortalama ticari hızı 45 km/sa, maksimum seyir hızı 80 km/sa dir. Hemzemin, viyadük ve tünel olarak inşa edilebilirler. İstasyon platform uzunluğu 100 m ve araç genişliği 2650 mm'dir. Yolculuk taleplerinin yüksek olduğu ana ulaşım sistemlerinde tercih edilmekte daha yüksek yolcu kapasitesi olan yerlerde yüksek kapasiteli sistemlere entegre edilmektedir[5].

Raylı sistemler trafikten etkilenmeyen ayrı hatlara sahip olabildiğinden hem güvenli olan hem yüksek ticari hızlarda kullanılabilen sistemlerdir. Enerjileri genellikle 750V-1500V katener, rijit katener ve 3. ray sistemleriyle sağlanır[5].

Ağır Raylı Sistemler ise bir çok açıdan Hafif Raylı Sistemlerle benzer olmasına rağmen yolcu kapasitesi (70.000 yolcu/saat/yön, maksimum yolcu kapasitesi 100.000 yolcu/saat/yön) açısından ayrılmaktadır. Büyük şehirlerde en yüksek yolculuk taleplerinin tespit edildiği hatlarda metro sistemleri tercih edilmektedir[5].

2. Literatür Araştırması

Konuyla ilgili çalışmalara baktığımızda ülkemizde çalışma olmadığını ya da çok az olduğunu çalışmaların bir çoğunun yabancı kaynaklar olduğunu görmekteyiz. Raylı sistemler zaman çizelgeleme ve tahmin çalışması üzerine çalışma olmadığını, çizelgeleme üzerine ise çoğunlukla yabancı kaynaklı çalışmalar olduğunu görmekteyiz.

Raylı sistem ağları için planlama yapılırken kalkış ve varış saatleri, sefer sayıları, yolcu sayıları belirlenir. Bunların haricinde mutlaka uyulması gereken kapasite kısıtları da belirlenmelidir. Raylı sistem problemlerini önceleri tecrübeli kişiler çözerdi. Özellikle 1990 yılından sonra problemlerin çözülmesi için farklı yöntem ve teknikler geliştirilmeye başlandı[8].

Planlama, periyodik ve periyodik olmayan şeklinde ayrılmaktadır. Periyodik çizelgeler belli zamanlı ve planlı olarak saatlerin belirlendiği çizelgelerdir. Planlı olmasından dolayı değiştirilmesi güç olmaktadır. Avrupa ülkelerinin çoğunluğu bu sistemi kullanmaktadır. Periyodik olmayan çizelgeler belli takvim zamanlarına göre belirlenmeyen çizelgelerdir. ABD ve Avusturya gibi ülkelerde kullanılmaktadır[8].

Zaman çizelgeleme problemlerinde kısıtlar, katı ve yumuşak kısıtlar olmak üzere ayrılır. Katı kısıtlar mutlaka uyulması gereken kısıtlar olmasıyla birlikte yumuşak kısıtlar çizelgeye etki etmesine rağmen mutlaka uyulması gerekmez. Kısıtlamalar minimum sefer aralığı, bekleme süresi, yolcu kapasitesi vb. faktörlerdir.

Klemt ve Stemme[11] çalışmasında toplu taşıma kalitesi döngüleri, erişilebilirlik ve direkt ilişkiler gibi farklı özelliklerle karakterize etmişlerdir. Domschke[12] istasyonlarda aktarma yollarını değiştirmek istediğiniz yolcuların bekleme sürelerini minimize etme problemi olarak kabul etmişlerdir. Bookbinder ve Désilets [13] de otobüslerin stokastik seyahat sürelerini hesaplamak

için optimizasyon modeli ile birlikte bir simülasyon prosedürü kullanmışlardır. Daduna ve Voß [14] bekleme süresini minimum aktarma bölgeleri sürelerini eşitlemek için bir ders çizelgeleme problemi önermişlerdir. Chakroborty vd. [15] kentsel ulaşım ağının yolcu planlaması ve durakta bekleyen yolcuların bekleme süresini ve genel transfer süresini minimize eden bir optimizasyon problemi olarak formüle etmişlerdir. Palma ve Lindsey [16] Yolcu toplam zaman gecikme maliyetlerinin en aza indirilmesi sorunu formüle edilmiştir ve birinci dereceden optimalite koşulları belirlemişlerdir. Ceder [17] Çalışma kaynaklarını (gerekli filo boyutu) en aza indirerek yolcu talebi ile araç kalkış saatleri arasında, toplu taşıma tarifeleri ve araç planlaması oluşturulmasını birleştirmeyi denerler. Ceder ve Tal [18] takvim içinde verimli otobüs senkronizasyon tasarımı problemi ele almışlardır. Deb vd. [19] de NSGA-II (Sıralama Genetik Algoritma II) olarak adlandırılan olmayan bir egemen sıralama tabanlı algoritma önermişlerdir. Zhao vd. [20] gerçek zamanlı olarak çeşitli duraklarda sevk otobüsün dinamik koordinasyonun sağlanması için otobüslerin hareketine dayalı bir dağıtık kontrol yaklaşımı sunmuşlardır. Castelli vd. [21] ulaşım ağları planlaması için sezgisel prosedür tabanlı bir Lagrange yumuşatması sunmuşlardır. Zhao [22] sezgisel bir yaklaşımla, analiz ve otobüs seferleri için otobüs sürücüsü zamanlama problemlerini gerekli sürücülerin sayısını tahmin etmek için geliştirmişlerdir. Shröder ve Solhenbach[23] toplu taşıma transfer kalitesinin iyileştirilmesini ele almışlardır. Liu ve Shen [24] bölgesel otobüs işletme modeline göre, iki seviyeli bir programlama kurmuşlardır. Üst modelde, gerekli araçların sayısı ve yolculuk toplam süresini en aza indirmek için tasarlanmış bölgesel otobüs araç çizelgeleme, araç zinciri çalışma süresi ile zamanlama sorunu bir sınıf olarak formüle edilir. Amaç her bağlantı durağı toplam yolcu transfer süresini en aza indirmek ve mutlak çözümler için bir dizi bağlantı durağı göstermektedirler. Guihaire ve Hao[25], ağıın tasarım ve zamanlanması için geçiş planlamada çok önemli stratejik ve taktik adımlar gözden geçirmişlerdir. İlk olarak stratejik ve taktik geçiş planlaması hedeflerini sergilerler. Daha sonra alt problemleri tanımlayıp yapılandırmak için bir terminoloji kurmaya çalışmışlardır.

Wong vd. [26] kentsel toplu taşıma raylı sistemlerde, tüm yolcular için en az gecikme ile sorunsuz kavşak sağlayan koordineli çizelgeleri tasarlamışlardır. Zhao ve Zeng [27] de rota ağ tasarımı, araç yolculuğu ve takvim atama dahil geçiş ağlarını optimize etmek için bir metasezgisel yöntem sunmuşlardır. Kwan ve Chang [28] kitle hızlı transit kullanıcılarının genellikle kendi hedeflerine ulaşmak için farklı tren hatları arasında aktarma yapması gerekmektedir. Tarife eşitleme

transferler sırasında gecikmeleri en aza indirir. Toplam yolcu memnuniyetsizliği indeksi vasıtasıyla takvim senkronizasyonu için yeni bir önlem formüle etmişlerdir. Lodwick ve Untiedt [29] değişkenlerin ve kısıtlamaların sadece birkaç optimum çözüm (temel değişkenler ve aktif kısıtlamalar) için gerekli olduğunu, deterministik normatif kriter (objektif fonksiyonu) varsayarak, matematiksel programlama modeli geliştirmişlerdir.

Guiharo ve Hao [30] toplu taşıma ağlarında geleneksel sıralı planlama süreci ile ilgili özgün bir sorun ile ilgilenmişlerdir. Bu sorun eski araç ve sürücü programları oluşturmadan şebekenin tarifelerini değiştirmek amaçlamışlardır. Guihaire ve Hao[31], ağ çizelgeleme ve araç çizelgeleme genellikle ayrı sorunlar olarak kabul edilir. Bu iki adımın önemli özelliklerini birleştirerek araç maliyetlerinde iyileştirmeler getiren tarifeleri yeniden tanımlamak için eşzamanlı bir çözüm yaklaşımı önermişlerdir. Li vd. [32] toplam faydayı maksimize etmek için periyodik çizelgeleme sorununu çözmeye çalışmışlardır. Tetreault ve El-Geneidy [33] sınırlı-stop hatları dikkate alınarak çalışan sürelerini tahmin etmek için bir model önermişlerdir. Salicrú [34] çalışmasında transit tarifeleri kullanarak yolların iyileştirilmesi zamanlaması üzerine odaklanmışlardır. Analitik geliştirme ve mikro simülasyonlara dayalı çalışma zamanı değerlerinin üretilmesi için yeni bir yaklaşım sunmuşlardır. Tilahun ve Ong [35] çok amaçlı optimizasyon problemi otobüs çizelgeleme modeli yolcuların ihtiyacına uygun bulanık tercih tabanlı genetik algoritma kullanarak bunu çözmek için nasıl ele alınacağını örnekle ele almışlardır.

Ibarra-Rojas ve Rios-Solis [36] yolcu transferlerini kolaylaştıracak ve ağ boyunca otobüs demetleştirmesini önleyecek, eşitleme sayısını maksimize edecek bu ağın çizelgeleme problemini formülize etmişlerdir. Hassold ve Ceder [37] problemi çözmek için birden fazla araç tipleri ile çizelgeler oluşturup, ağ tabanlı prosedür kullanmışlardır. Liebcen ve Stiller[38] optimizasyon problemlerini çözmek için genel bir araç bir örnekleme yaklaşımı sunmuşlardır. Ceder [39] bu çalışmada çoklu araç boyutlarını kullanarak Otobüs tarifeleri oluşturmak için çok amaçlı bir metodoloji önermişlerdir. Ibarra-Rojas vd. [40] planlama düzeyinde belirli bir ağ tasarımı için çizelgeleme ve araç planlaması sorununu, filo büyüklüğü ile ilgili işletme maliyetlerini en aza indirmek amacıyla iyi zamanlanmış transferlerle yolcu sayısını arttırmaya çalışmışlardır. Ibarra-Rojas vd. [41] otobüs transit ağı planlama ve çizelgeleme altproblemi tüm gün boyunca hatların tüm geziler için kalkış saatlerini belirlemişlerdir. Tüm gezilerin kalkış saatlerini belirten çoklu dönem senkronizasyon sorunu için otobüs çizelgeleme (MSBT) önermişlerdir.

3. Raylı Sistemlerde Zaman Çizelgeleme

Zaman çizelgeleme problemi malzeme veya sermayenin belli kısıtlar altında belli zaman aralıklarına atanan problem tipidir. Bilinen algoritmalar yerine, alternatif ve farklı algoritmalar kullanılması karmaşık yapısından dolayı problem çözümlerini zorlaştırmaktadır. Karmaşık yapısından dolayı günümüze kadar uğraşıla gelen konu olmuştur. [6].

Zaman çizelgeleme şimdiye kadar bir çok farklı alanda çözüm yöntemi olarak kullanılmıştır. Eğitim kurumlarında sınav ve ders programı çizelgeleme, makine çizelgeleme, üretim çizelgeleme bu çalışma alanlarından birkaçıdır. Özellikle son zamanlarda, tren seferlerinin çizelgelenmesi, çalışma saatlerinin çizelgelenmesi, proje çizelgeleme, spor müsabakalarında çizelgeleme, tedarikçilerin çizelgelenmesi, eğitim programlarının çizelgelenmesi konularında çokça çalışmaya rastlanmaktadır[7]. Çizelgeleme çalışmaları 1980 yıllarda başlamış ve bu çalışmalar özellikle 2000 yılından sonra çok ölçütlü çizelgeleme çalışmaları ile devam etmiştir[8].

Tren çizelgeleme problemleri karmaşık problem türü olduğundan operasyonel planlama gerektirir. Yolcu akışının zamanında olması, seyahat süresi, bekleme süresi ve tren kapasitesi operasyonel planlamaya dahil edilmesi gereken konulardır. Operasyonel sürecin optimizasyonu seyahat sürelerinin minimize edilmesi hedefidir.

Toplu taşıma planlamaları karmaşıklığı nedeniyle ayrıca ağ planlaması, hat planlaması ve çizelgeleme, araç ve ekip planlama sorununu da beraberinde getirir. Yolcu sayısının tahmini için istatistiksel yöntemler kullanılır. Sınırlı sayıda araçla yolcu talebini karşılamak maliyetleri düşürür. Asıl amaç bekleme sürelerini en küçükleme ve yolcu talebini en az trenle işletebilmektir. Bekleme süresi, tren istasyona geldikten sonra yolcuların hepsinin binmesini sağlayacak minimum süre olmalıdır. Gün içerisinde yolcu yoğunluğuna göre belli zaman aralıkları vardır.

Periyodik olarak gün içerisindeki zaman aralıkları;

- i. Sabah zirve saatleri
- ii. Öğle saatleri
- iii. Öğleden sonra pik saatler
- iv. Akşam saatleri
- v. Hafta sonu saatleri

4. Talep Tahmini

Geleceğe yönelik kararların belirlenmesi için üretilen mal veya hizmetin tahmininin doğru yapılması işletmelerin kendi geleceklerine yön vermesi açısından önemlidir. Planlamaların

yapılabilmesi tahminlerin doğru yapılmasına bağlıdır. Planlamaların doğru yapılması İşletmelerin devamlılığını sağlamakta piyasada yer edinmesine ve yüksek kar marjları sağlamasında önemli etkenlerdir. İşletmelerin geleceğe yönelik kararlar alırken bunları tesadüfe bırakmaması, tahmin yaparken istatistiksel yöntemler kullanması planlamaların ve kararların daha sağlıklı alınmasını sağlayacaktır [9].

Talep, belli bir zamanda ve yerde tüketicilerin satın alabilecekleri mal ve hizmet miktarıdır. Talebi etkileyen tüketicilerin gelir düzeyleri ve zevkleri, mal ve hizmetin fiyatı, mesafe, zaman gibi faktörlerden etkilenebilmektedir. Talep tahmini ise ürüne ve hizmete yapılan taleplerin gelecek dönemler için tahmin edilmesidir. Talep tahmini işletmeler için ürün ve hizmetin tahminlere göre belirlenmesi açısından işlevseldir. Talep tahmini gerçekleşen veriler üzerinden yapılmasına rağmen bir çok faktörün etkisindedir. [9].

Talep tahminleri kısa, orta ve uzun vadeli tahminler olarak ayrılmaktadır. Kısa vadeli tahminler günlük ya da haftalık, orta vadeli tahminler haftalık ya da aylık, uzun vadeli tahminler aylık ya da yıllık olarak değerlendirilirler[9].

Talep yöntemleri yöntem açısından kalitatif ve kantitatif olarak ayrılır. Kalitatif yöntemler daha çok kişilerin tecrübelerinden yararlanılarak istatistiksel teknik kullanılmadan yapılır. Kantitatif yöntem bunun aksine istatistiksel yöntemler kullanılarak yapılan yöntemlerdir[9].

4.1.Basit ortalama yöntemi

Geçmiş verilerin ortalamasının gelecekteki tahmin değerlerine yakın olması beklenen tahmin yöntemidir. Geçmiş dönem verileri ortalaması alınarak bulunur [10].

4.2.Hareketli ortalama yöntemi

Geçmişteki verilerin ortalaması yakın döneme daha çok ağırlık verilerek gelecek tahmini yapılır [10].

$$D_t^* = \sum_{i=1}^n D_{t-i}$$

$D_t^* = t$. Dönem için tahmini talep değeri (Hareketli Ortalama)

$D_{t-i} = t$. Dönemden i . Dönem öncesinin gerçekleşen talep değeri

n : Hareketli Ortalamada göz önüne alınacak dönem sayısı

4.3.Ağırlıklı ortalama yöntemi

Gelecek dönem tahmini yapılırken dönemlere farklı ağırlıklandırma yapılır. Dönem sayısı, dönem sayıları toplamına oranlanıp dönem sayısı ile

çarpılır. Bu şekilde bulunan ağırlıklandırma ile gelecek dönem tahmin edilir[10].

$$D^* = \sum_{i=1}^n (W_i * D_i) / \sum_{i=1}^n W_i$$

D^* = Tahmini Talep değeri (Ağırlıklı Ortalama)

$D_i = i$. Dönem için gerçekleşen talep değeri

$W_i = i$. Dönem gerçekleşen talep değerinin tahmine etkisi (i . Dönemin ağırlık katsayısı)

n = Eldeki geçmiş dönem veri sayısı

Diğer koşullar şu şekildedir.

$$0 < W_i < 1 \quad (i=1,2,3,\dots,n)$$

$$\sum_{i=1}^n W_i = 1$$

4.4.Ağırlıklı hareketli ortalama yöntemi

Ağırlıklı ve Hareketli ortalama yöntemlerinin birleşimi kullanılarak gelecek dönem tahmin edilir. En yakın döneme daha yüksek ağırlık verilir[10].

$$D_{t,i}^* = \sum_{i=1}^n (W_i * D_{t-i})$$

$D_{t,i}^* = t$ dönem için tahmini Talep değeri (Ağırlıklı Hareketli Ortalama)

$D_{t-i} = t$. Dönemden i . dönem öncesinin gerçekleşen talep değeri

$W_i = i$. Dönem gerçekleşen talep değerinin tahmine etkisi (i . Dönemin ağırlık katsayısı)

n = Eldeki geçmiş dönem veri sayısı

Diğer koşullar şu şekildedir:

$$0 < W_i < 1 \quad (i=1,2,3,\dots,n)$$

$$\sum_{i=1}^n W_i = 1$$

4.5.Üssel düzeltme yöntemi

Geçmişteki dönemlerin hepsi hesaplamaya dahil edilir. Geçmiş dönemlere verilen ağırlıklar yakın geçmişte daha yüksek tutularak hareketli ortalaması alınır. Hesaplama yapılırken bir önceki tahmini talep değerine, bir önceki dönemde gerçekleşen tahmin hatasının eklenmesiyle bulunur[10].

$$D_{t+1}^* = \alpha * D_t + (1-\alpha) * D_t^*$$

$D_{t+1}^* = t+1$ dönem için tahmini Talep değeri (Üssel Düzeltme Yöntemi)

$D_t = t$. Dönemde gerçekleşen talep değeri

$D_t^* = t$. Dönem tahmin değeri

$$0 \leq \alpha \leq 1$$

α katsayısının uygun seçilmesi hata ortalamasını değiştireceğinden belirlenecek katsayı oldukça önemlidir.

4.6.Regresyon (en küçük kareler yöntemi)

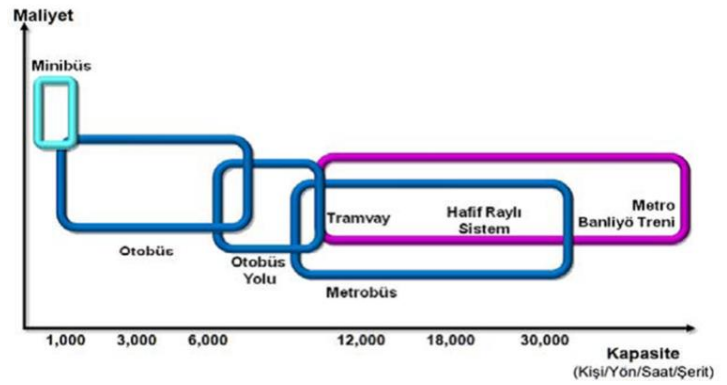
Seriye en uygun doğru veya eğrinin, geçmiş veriler için formülle uygulanmasıyla bulunacak değerler arasındaki farkların karelerinin toplamını en küçükleyen doğru veya eğridir. X bağımsız ve Y bağımlı değişkeni arasındaki doğrusal ilişki $Y = a + bX$ denklemi ile ifade edilerek parametrelerin (a ve b) bulunmasıdır. Parametreler bulunduktan sonra

bağımsız değişkenin alacağı değer yerine koyulup bağımlı değişken tahmin edilir[10].

5. Uygulama

Bu uygulama çalışmasında ilk olarak; Ankara ulaşımı, metro trenleri ve yapılan çalışma hakkında bilgiler verilmiştir. Daha sonra talep tahmin ve zaman çizelgesi çalışması gösterilmiştir. Çalışmamız ülkemizin ikinci büyük nüfus yoğunluğuna sahip toplu ulaşım ihtiyacın gün geçtikçe arttığı Ankara'da M1 (Kızılay-Batıkent) hattında yapılmıştır. Talep tahmin çalışmamız zaman çizelgesinin altyapısını oluşturmaktadır. Yolcu memnuniyeti ve talebinin yolcu ihtiyaçlarını karşılaması düşüncesi ile gelecekteki çalışmalarımıza temel oluşturacaktır. Yolcu sayıları Haziran 2014-Ekim 2015 ayları arasında kapsamaktadır. Bu aylar da dahil olmak üzere günlük bazda yolcu sayıları değerlendirilip gelecek dönem tahmin edilmeye çalışılmıştır[42].

Ankara'da günlük yolculuklar incelendiğinde %37 minibüs, %23 belediye otobüsleri, %20 servis, %10 halk otobüsü, %9 Raylı sistemler, %33 otomobil ve %6 taksi kullanıldığı EGO verilerine göre görülmektedir. Ulaşım türlerine göre saatte tek yönde yolcu maliyetleri Şekil 2. de gösterilmektedir. Grafikte altındaki rakamlar tek yönde maksimum yolcu kapasitesini göstermektedir. Grafikte yukarı doğru çıkıldıkça ise maliyetlerin arttığı görülmektedir [5].



Şekil 2. Ulaşım türlerine göre tek yönde saatte yolcu maliyetleri

Nüfusun dünyada ve ülkemizde büyük çoğunluğu kentlerde yaşamaktadır. Kentsel yaşamdan dolayı bu alanlarda ulaşım da ayrı sorun olmaktadır. Kentsel ulaşım sorununun başında özel araç kullanımının teşviki ve ulaşım maliyetlerinin eşit dağılmaması yer almaktadır. Otomobil kullanımı trafik sıkışıklığını arttırmakta, çevre ve gürültü kirliliğine neden olmaktadır. Bu problemlerin ortadan kaldırılması toplu ulaşımı özendiren ve kolaylaştıran sistemlerin-planlamaların gelmesine politikalar geliştirilmesine bağlıdır. Ankara Büyükşehir Belediyesi raylı sistem ağ haritası Şekil 3'de gösterilmektedir. A1 Aşti-Dikimevi hafif raylı sistem hattını, M1 Kızılay-Batıkent metro hattını, M2 Kızılay-Çayyolu metro hattını, M3 Batıkent-Sincan metro hattını ve T1 Yenimahalle-Şentepe teleferik hattını ve istasyonlarını göstermektedir.



Şekil 3. Ankara Büyükşehir Belediyesi Raylı Sistemler Ağ Haritası

5.1. Raylı ulaşım sistemleri

Tramvaylar genelde 1–2 ve 3 araçlı diziler halinde, hemzemin ve trafikle birlikte işletilebilmektedir. Araçlar uzunlukları 14–21 metre arasında, 100-180 yolcu taşıma kapasitesine sahiptir. İstasyonlar arası mesafeleri daha kısa ve ticari işletme hızları diğer raylı sistemlere göre daha düşüktür[4].

Hafif Raylı Sistemler tramvay sistemlerinin geliştirilmesiyle ortaya çıkmış bir raylı sistemlerdir. Metro sistemlerine göre daha düşük kapasiteli, tramvaya göre daha yüksek kapasitelidir. Hafif raylı sistemler genellikle metrolar gibi genellikle hemzemin olarak işletilirler. Hafif raylı sistem araçları 18-42 metre uzunluğunda, 250 yolcu kapasitesine sahiptirler. Ticari hızları Metrolara yakın olmakla birlikte 18-40 km/s arasında değişmektedir[4].

Metro sistemleri Raylı sistemler arasında en yüksek yolcu kapasitesine sahip ulaşım türü olup tren seti başına 2000'den fazla yolcu kapasitesiyle işletilebilmektedir. Metro araçları 120-150 yolcu kapasiteli, ticari hızları 25-60 km arasında değişmektedir. Sefer aralıkları 90 sn'e düşürüldüğünde saatte tek yönde 100.000 yolcu kapasitesine ulaşabilme imkanına sahiptir. Metro sistemleri yüksek yolcu taşıma kapasitesine rağmen daha yüksek yapım maliyeti getirmektedir[4].

5.2. Ankara metro araçlarının özellikleri

Ankara Metrosu, Otomatik Tren Kumandası (ATC) sistemiyle işletilmektedir. Bu sistem trenin anlık hızı, ağırlığı, eğimi, konumu vb. bilgileri VOBC'ye aktararak hesaplar. Sistemin en büyük avantajı, hattaki tren sayısının ve işletme aralığının artırılıp azaltılabilesidir. Yarı otomatik sistemlerde yavaşlama hızlanma gibi hareketlerin tümü, sürücü tarafından yapılır. ATC sistemi; otomatik, yarı otomatik ve sürücü kontrollü olarak işletilebilmektedir. Ana hatta Otomatik moda işletilirken depo sahasında sürücü kontrollü olarak işletilmektedir. Bütün modlar için sürücü yine bulunmaktadır fakat sürücü hızlanma, boşta gitme,

yavaşlama ve kapı açma-kapama gibi, tren fonksiyonlarını kumanda eder[28].

Araçlar A ve B aracı olarak ayrılır. A araçları motorlu B araçları motorsuzdur. İki adet A ve bir adet B aracı ile 3 lü dizi şeklinde veya aynı durum olacak şekilde 6 lü dizi şeklinde çalışabilir. Yoğun yolcu akışına sahip zamanlarda 6 lü dizi tercih edilmektedir[28].

5.3. Talep tahmini

70 haftalık yolcu sayıları alınmış ilk 9 haftanın yolcu sayıları istatistiksel açıdan sapma oranı yüksek olduğundan çıkartılıp 61 hafta üzerinden veriler analiz edilmiştir. Talep tahmin çalışması yapılırken Basit ortalama, Hareketli Basit ortalama, Ağırlıklı ortalama, Ağırlıklı hareketli ortalama, Üstel Ağırlıklı Hareketli ortalama ve Regresyon yöntemleri olarak altı farklı yöntem kullanılmıştır [42].

Üstel Ağırlıklı Hareketli Ortalama Yönteminde önceki dönemler için $\alpha=0,1$ değeri alınmıştır. Pazartesi $\alpha=0,8$, Salı $\alpha=0,4$, Çarşamba $\alpha=0,6$, Perşembe $\alpha=0,1$, Cuma $\alpha=0,2$, Cumartesi $\alpha=0,8$, Pazar $\alpha=0,7$ olarak belirlenmiştir. α katsayısı en az hata veren değere göre belirlenmiştir[43]. Aynı dönemler için 17-61 hafta arasında tahmini yapılan veriler gerçekleşen değerlerle kıyaslanıp en az hata ortalaması hesaplanan yöntem ile sonraki 14 hafta tahmin edilmiş ve Tablo 4. de gösterilmiştir[43].

Gelecek dönem tahminleri yapılırken Üstel Ağırlıklı Hareketli Ortalama Yönteminde en yakın 16 haftanın ortalaması $\alpha=0,1$ ile önceki dönem tahmini $1-\alpha=0,9$ çarpımı ile hesaplanmıştır. Pazartesi $\alpha=0,8$, Salı $\alpha=0,4$, Çarşamba $\alpha=0,6$, Perşembe $\alpha=0,1$, Cuma $\alpha=0,2$, Cumartesi $\alpha=0,8$, Pazar $\alpha=0,7$ olarak belirlenmiştir[43].

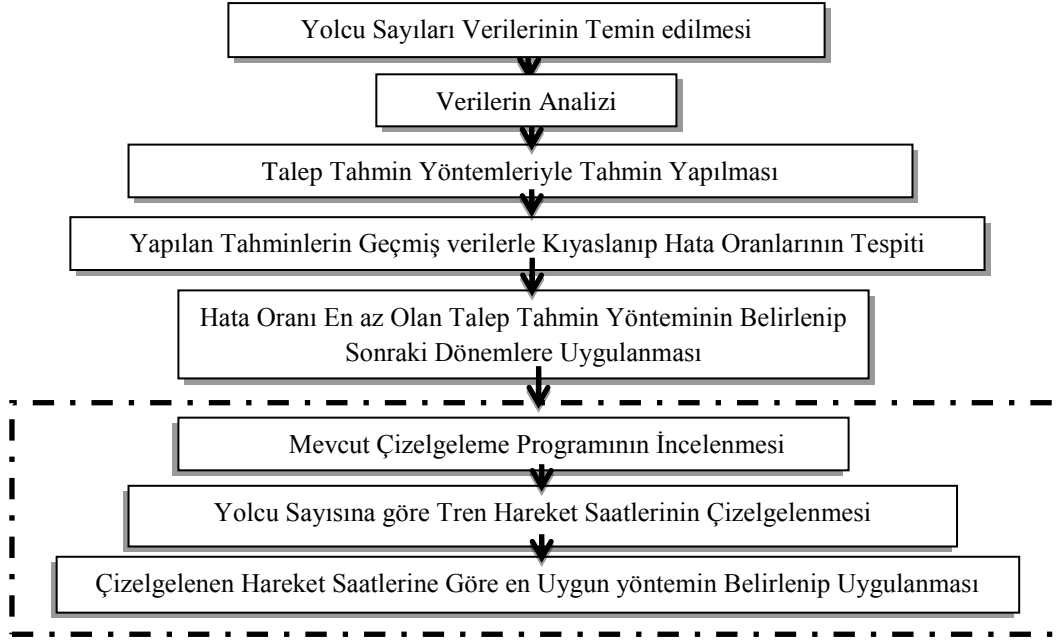
5.4. Zaman çizelgeleme

Talep tahmin çalışmamızdan sonra Ankara M1 (KIZILAY-BATIKENT) metro hattı için zaman çizelgeleme işlemi yapılmıştır. Yapılan çalışmanın akış şeması Tablo 5.'de gösterilmektedir[43].

Tablo 4. Talep tahmin yöntemlerinin sonuçlarının karşılaştırılması

Günlere göre Ortalama Hata Değerleri	Basit Ort.	Hareketli Basit Ort.	Ağırlıklı Ort.	Ağırlıklı Hareketli Ort.	Üstel Ağırlıklı Hareketli Ort.	Regresyon
Pazartesi	14345	11456	11963	10584	6193	13714
Salı	16813	13921	14599	13236	11673	16503
Çarşamba	14993	13455	13792	12778	9021	14319
Perşembe	21646	19642	19581	18668	17767	21850
Cuma	20071	17157	18180	16340	14974	19448
Cumartesi	20402	17762	18723	16937	13728	18641
Pazar	18075	17676	17937	17096	13419	16143

Tablo 5. Yapılan çalışmanın akış şeması



Hafta içi, Cumartesi ve Pazar günleri için gerçekleşen 14 haftalık ortalama yolcu sayıları Tablo 6 da gösterilmiştir. Mevcut tren işletme programı hafta içi, cumartesi ve Pazar günlerine göre hangi saat aralıklarında hat'ta ne kadar filo (12 araçx6'lı seri) verileceğini belirtir. Mevcut tren işletme programı Tablo 7'da gösterilmiştir. [43].

Tablo 6. Ortalama Gerçekleşen Yolcu Sayısı

Hafta	Ortalama Gerçekleşen Yolcu Sayısı		
	H.İçi	Cumartesi	Pazar
1	176894	126984	88728
2	171122	149064	103359
3	176383	145605	99637

4	166772	130607	72289
5	178997	162787	111325
6	179158	159395	109615
7	180787	163817	113787
8	180150	164526	108200
9	179606	165360	112072
10	181791	165877	118458
11	181182	166571	112451
12	178272	152200	102207
13	167020	125927	84593
14	173785	149955	99021

Tablo 7. Mevcut tren işletme programı

Program	Hafta	Saatler	Filo	Servis aralığı		Sefer süresi	
Hafta içi Programı	CH 1	06:00:00 - 07:05:15	6 x 6 araç	480 sn.	00:08:00	2.880 sn.	00:48:00
		07:00:00 - 09:02:10	12 x 6 araç	240 sn.	00:04:00	2.880 sn.	00:48:00
		09:02:10 - 16:10:00	7 x 6 araç	450 sn.	00:07:30	3.150 sn.	00:52:30
		16:10:00 - 20:00:00	10 x 6 araç	300 sn.	00:05:00	3.000 sn.	00:50:00
		20:00:00 - 00:20:00	6 x 6 araç	540 sn.	00:09:00	3.240 sn.	00:54:00
Cumartesi Programı	CH 2	Saatler	Filo	Servis aralığı		Sefer süresi	
		06:00:00 - 07:07:41	6 x 6 araç	540 sn.	00:09:00	3.240 sn.	00:54:00
		07:07:41 - 20:11:03	9 x 6 araç	360 sn.	00:06:00	3.240 sn.	00:54:00
		20:11:03 - 00:20:00	6 x 6 araç	520 sn.	00:08:40	3.120 sn.	00:52:00
Pazar Programı	CH 3	Saatler	Filo	Servis aralığı		Sefer süresi	
		06:00:00 - 07:37:40	6 x 6 araç	560 sn.	00:09:20	3.360 sn.	00:56:00
		07:37:40 - 18:57:40	7 x 6 araç	480 sn.	00:08:00	3.360 sn.	00:56:00
		18:57:40 - 00:20:00	6 x 6 araç	560 sn.	00:09:20	3.360 sn.	00:56:00

Tablo 8. de gelecek dönem hafta içi, cumartesi ve pazar tahminleri gösterilmiştir. Filo büyüklüğü (sefer sayısı x dizi sayısı), istasyona ne kadar sürede bir tren geleceği mevcut servis aralığı ve sefer süresi görülmektedir [43].

Tablo 8. Ortalama Tahmin Değeri

Hafta	Ortalama Tahmin Değeri		
	H.içi	Cumartesi	Pazar
1	169793	150740	106652
2	177151	163630	111454
3	178623	166208	112414
4	178917	166723	112606
5	178976	166826	112644
6	178988	166847	112652
7	178990	166851	112654
8	178990	166852	112654
9	178991	166852	112654
10	178991	166852	112654
11	178991	166852	112654
12	178991	166852	112654
13	178991	166852	112654
14	178991	166852	112654

Resmi ve dini tatiller dışındaki günler 15 dk'lık verilere ayrılıp incelendiğinde hafta içi günlerinin gün içindeki yoğunluğu aynı şekilde dağılmaktadır. Aynı durum Cumartesi ve Pazar günleri için de görülmektedir.

Aynı dağılımından dolayı hafta içi yolcu sayılarının ortalaması alınarak hesaplamaya dahil edilmiştir. Çizelgeleme yaparken trenlerin alabileceği, yolcu konforunu da sağlayacak şekilde maksimum yolcu belirlenmiştir. Kapasite vagon için m² başına 4 yolcu olduğunda 6'lı dizi için 1294 kişi, m² başına 6 yolcu olduğunda yine 6'lı dizi için 1758 kişi düşünülmektedir. Dolayısıyla yolcu memnuniyeti de göz önünde bulundurularak maksimum yolcu taşıyacak miktar hesaplanmıştır[43]. Trenlerin sefer aralığı sistemin izin verdiği şekilde 90 saniyedir. Fakat Kızılay ortak istasyonunda M1 (Kızılay-Batıkent) ve M2 (Kızılay-Çayyolu) trenleri için ayrı hat olduğundan, sinyalizasyon altyapı çalışmaları devam ettiğinden servis aralığını 3 dk olarak işletilebilmektedir[43].

Tablo 9 da örnek hafta içi hesaplaması gösterilmiştir. Her 15 dk için gelen yolcular tabloda gösterilmiştir. m² x 4 Kişi 1.294 kapasiteye göre hesaplandığında (900snx1.294)/251 sayısı bize 1.294 kapasitenin dolması için kaç sn gerektiğini belirtir ki bu sayı Tablo 9 da 4640 bulunmuştur. Bu şekilde hesaplandığında m² x 6 Kişi olursa kapasite 6304 sn olarak bulunmuştur.

Tablo 9. Örnek Çizelgeleme

Hafta İçi Günü 15 DK Yolcu Binişleri							
Saat	Gelen Yolcu	6 Araç m ² x 4 Kişi 1.294 kişi	6 Araç m ² x 6 Kişi 1.758 kişi	Uygulanan Program m ² x 4 Kişi	Uygulanan Program m ² x 6 Kişi	Uygulanan Program m ² x 4 Kişi	Uygulanan Program m ² x 6 Kişi
06:00	251	4640	6304	9 dk.	6 x 6	9 dk.	6 x 6
06:15	517	2253	3060	9 dk.	6 x 6	9 dk.	6 x 6

6 x6 ise 6'lı aracın hatta 6 servis bulunduğunu bulduğunu belirtir. m² x 4 Kişi yani 1.294 kapasite olarak hesaplanıp 6x6 sefer uygulandığında 9 dk da bir trenin gelmesi demektir ve kapasiteyi neredeyse doldurmaktadır. m² x 6 Kişi 1.758 kişi olursa da yine kapasiteyi neredeyse doldurduğunu ve henüz ek tren seferine ihtiyaç olmadığını gösterir. 6x6 ve 9 dk da yolcu sayısını karşılıyorsa bu şekilde devam eder bu kapasite dolduktan sonra 7x6 veya 8x6 şeklinde uygulanıp 9 dk nın altında trenin gelmesi sağlanır ve benzer şekilde hesaplanarak devam eder.

Hafta içi, Cumartesi ve Pazar günleri talep tahminleri yapıp günler 15 dakikalık yolcu sayılarına göre veriler analiz edilmiştir. Analize göre hatta verilecek önerilen servis aralığı belirlenmiştir. Hafta içi günleri için Tablo 10, Cumartesi günleri için Tablo 11., Pazar günleri için Tablo 12 de gösterilmiştir. Ayrıca bazı günlerin

Kurban bayramı günlerine denk gelmesi sebebiyle aynı çalışma bu tatiller için aynı önerilen çizelgeleme Tablo 12. de gösterilmiştir[43].

62-78 haftalar tahmin edildikten sonra gerçekleşen 15 dk'lık yolcu sayılarına yakın verilerle gün içerisinde aynı dağıldığı düşünülerek hatta ne kadar filo ve servis aralığı verileceği hesaplanmıştır. Hesaplama 15 dk içinde gelen yolcu sayısı tren kapasitesini ne kadar sürede dolduracağı şeklindedir. Burada bahsedilen kapasite m² başına 4 ve 6 yolcu için sırasıyla 1.294 ve 1.758 kişiye göre hesaplanmıştır. Her doldurulan kapasite için hatta bir tren ilave edilecektir. Sonuç olarak hatta verilecek tren dizisi ve servis aralığı hesaplanmaktadır[43].

Tablo 10. Önerilen Hafta İçi Normal (15 dk) Zaman Çizelgesi

Hafta İçi Normal (15 dk) Zaman Çizelgesi		
Saatler	Filo	Servis Aralığı
06:00-06:45	6 x 6	9 dk
07:00	10 x 6	5 dk.
07:15	12 x 6	4 dk.
07:30-08:15	13 x 6	3 dk.
08:30	12 x 6	4 dk.
08:45	10 x 6	5 dk.
09:00	8 x 6	7 dk.
09:15-15:00	6 x 6	9 dk
15:15	9 x 6	6 dk.
15:30	9 x 6	6 dk.
15:45-16:30	10 x 6	5 dk.
16:45	12 x 6	4 dk.
17:00	13 x 6	3 dk.
17:15-17:45	12 x 6	4 dk.
18:00	13 x 6	3 dk.
18:15	12 x 6	4 dk.
18:30	12 x 6	4 dk.
18:45	10 x 6	5 dk.
19:00	9 x 6	6 dk.
19:15-23:00	6x6	9 dk

Tablo 12. Önerilen Pazar Günleri Normal Zaman Çizelgesi

Pazar Günleri Normal Zaman Çizelgesi		
Saatler	Filo	Servis Aralığı
06:00-12:30	6x6	9 dk
12:30-18:00	7 x 6	8 dk.
18:15-23:00	6x6	9 dk

Tablo 11. Önerilen Cumartesi Günleri Normal Zaman (15 dk.) Çizelgesi

Cumartesi Günleri Normal Zaman (15 dk.) Zaman Çizelgesi		
Saatler	Filo	Servis Aralığı
06:00-07:15	6x6	9 dk
07:30	8 x 6	7 dk.
07:45	8 x 6	7 dk.
08:00	10 x 6	5 dk.
08:15	9 x 6	6 dk.
08:30	8 x 6	7 dk.
08:45-12:00	6x6	9 dk
12:15	8 x 6	7 dk.
12:30	8 x 6	7 dk.
12:45	9 x 6	6 dk.
13:00-14:15	10 x 6	5 dk.
14:30	9 x 6	6 dk.
14:45-16:00	10 x 6	5 dk.
16:15-17:15	12 x 6	4 dk.
17:30-18:30	10 x 6	5 dk.
18:45	9 x 6	6 dk.
19:00	9 x 6	6 dk.
19:15-23:00	6x6	9 dk

Tablo 13. Önerilen Tatil Günleri (15dk) Zaman Çizelgesi

Tatil Günleri (15 dk) Zaman Çizelgesi		
Saatler	Filo	Servis Aralığı
06:00-07:30	6x6	9 dk
07:45-08:15	7 x 6	8 dk.
08:30-16:00	6x6	9 dk
16:15	9 x 6	6 dk.
16:30	9 x 6	6 dk.
16:45	9 x 6	6 dk.
17:00	10 x 6	5 dk.
17:15	10 x 6	5 dk.
17:30	10 x 6	5 dk.
17:45	10 x 6	5 dk.
18:00	12 x 6	4 dk.
18:15	12 x 6	4 dk.
18:30	12 x 6	4 dk.
18:45	10 x 6	5 dk.
19:00	10 x 6	5 dk.
19:15-23:00	6x6	9 dk

6. Sonuçlar ve Öneriler

Bu çalışmada; raylı sistemler ve toplu ulaşım, Talep tahmin yöntemleri ve çizelgeleme için genel bilgiler sunulmuştur. M1 (KIZILAY-BATIKENT) Metro hattı yolcu sayıları analiz edilmiştir. Öngörülen ve gerçekleşen yolcu sayıları kıyaslanarak en yakın değer veren talep tahmin yöntemiyle gelecek dönemlerin yolcu sayıları tahmin edilmiştir. Tahmini yapılan günlerin yolcu sayıları gerçekleşen günlerin 15 dk'lık yolcu sayıları baz alınarak çizelgeleme çalışması yapılmıştır.

Yapılan çalışmanın diğer Metro hatları için temel oluşturacağı düşünülmektedir. Kızılay-Çayyolu (M2), Batıkent-Sincan (M3), Tandoğan-Keçiören (M4) hatları da çizelgeleme çalışmasına dahil edilecek karmaşık entegre sistem çözülmeye çalışılacaktır.

Çalışmamız sonucunda sefer sayıları hafta içi %13,5 artmış, cumartesi ve Pazar günleri sırasıyla %8 ve %10,5 azalmıştır. Toplamda sefer sayısı azalmasına rağmen yolcu sayısının arttığı görülmektedir.

7. Kaynaklar

- [1] Ocak, İ., & Manisalı, E., 2006. "Kentsel raylı taşıma üzerine bir inceleme (İstanbul örneği)". Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 10(2), 51-59.
- [2] Gündüz, A. Y., Kaya, M., & Aydemir, C., 2011. "Kent içi ulaşımında karayolu ulaşımına alternatif sistem: raylı ulaşım sistemi". Akademik Yaklaşımlar Dergisi, 2(1).
- [3] TÜİK, Türkiye İstatistik Kurumu, 2012, <http://www.tuik.gov.tr>
- [4] Baştürk, G., Kent içi raylı toplu taşıma sistemleri incelemesi ve dünya örnekleri ile karşılaştırılması. Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı, Ulaştırma ve Haberleşme Uzmanlığı Tezi, 2015.
- [5] ABB, Ankara Büyükşehir Belediyesi EGO Genel Müdürlüğü Brifing Raporu, 2014.
- [6] Kamlıoğlu Öztürk, Z., & Sağır Özdemir, M., 2005." Çok ölçütlü çizelgeleme problemleri: gelinen nokta ve potansiyel araştırma alanları".
- [7] Ögüt, K. S., & Evren, G., 2006. "Türkiye'de kentsel raylı sistemlerin gerekliliği ve uygulamada dikkat edilecek konular".
- [8] Peeters, L., 2003. "Cyclic railway timetable optimization" (No. EPS-2003-022-LIS). Erasmus Research Institute of Management (ERIM).
- [9] Bulut Ş. (2006). Orta Ölçekli Bir İşletmede Talep Tahmin Yöntemlerinin Uygulanması sorunlar. Yayınlanmamış Yüksek Lisans tezi, Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırıkkale, Türkiye.
- [10] Tanyaş, M., Baskak, M., "Üretim Planlama ve Kontrol, İrfan Yayıncılık", 3. Baskı İstanbul 2003, s.79-s.116.
- [11] Klemm, W.D., Stemme, W., Schedule synchronization for public transit networks. In: Proceedings of the 4th International Workshop on Computer- Aided Scheduling of Public Transport. Springer Verlag, Hamburg, Germany, pp. 327-335. 1988.
- [12] Domschke, W., Schedule synchronization for public transit systems. OR Spectrum 11, 17-24. 1989.
- [13] Bookbinder, J.H., Désilets, A., Transfer optimization in a transit network. Transportation Science 26, 106-118. 1992.
- [14] Daduna, J.R., Voß, S., Practical experiences in schedule synchronization. In: Daduna, J., Branco, I., Paixão, J. (Eds.), Computer-Aided Scheduling of Public Transport, Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems, vol. 430. Springer, Berlin, pp. 39-55. 1995.
- [15] Chakroborty, P., Deb, K., Subrahmanyam, P.S., Optimal scheduling of urban transit systems using genetic algorithms. Journal of Transportation Engineering 121, 544-553. 1995.
- [16] Palma, A.D., Lindsey, P., Optimal timetables for public transportation. Transportation Research Part B 35, 789-813. 2001.
- [17] Ceder, A., Efficient timetabling and vehicle scheduling for public transport. In: Voß, S., Daduna, J.R. (Eds.), Computer-Aided Scheduling of Public Transport, Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems, vol. 505. Springer, Berlin Heidelberg, pp. 37-52. 2001.
- [18] Ceder, A., Tal, O., Designing synchronization into bus timetables. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board 1760, 28-33. 2001.
- [19] Deb, K., Pratap, A., Agarwal, S., Meyarivan, T., A fast and elitist multiobjective genetic algorithm: NSGA-II. Transactions on Evolutionary Computation 6, 182-197. 2002.
- [20] Zhao, J., Bukkapatnam, S., Dessouky, M., Distributed architecture for real-time coordination of bus holding in transit networks. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems 4, 43-51. 2003.
- [21] Castelli, L., Pesenti, R., Ukovich, W., Scheduling multimodal transportation systems. European Journal of Operational Research 155, 603-615. 2004.
- [22] Zhao, L., Heuristic method for analyzing driver scheduling problem. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics A 36, 521-531. 2006.

- [23] Schröder, M., Solchenbach, I., Optimization of Transfer Quality in Regional Public Transit. Technical Report 84. Berichte des Fraunhofer Instituts für Techno-und Wirtschafts. 2006.
- [24] Liu, Z., Shen, J., Regional bus operation bi-level programming model integrating timetabling and vehicle scheduling. *Systems Engineering - Theory & Practice* 27, 135–141. 2007.
- [25] Guihaire, V., Hao, J.K., Transit network design and scheduling: a global review. *Transportation Research Part A* 42, 1251–1273. 2008.
- [26] Wong, R., Yuen, T., Fung, K., Leung, J., Optimizing timetable synchronization for rail mass transit. *Transportation Science* 42, 57–69. 2008.
- [27] Zhao, F., Zeng, X., Optimization of transit route network, vehicle headways, and timetables for large-scale transit networks. *European Journal of Operational Research* 186, 841–855. 2008.
- [28] Kwan, C.M., Chang, C.S., Timetable synchronization of mass rapid transit system using multiobjective evolutionary approach. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C: Applications and Reviews* 38, 636–648. 2008.
- [29] Lodwick, W., Untiedt, E., Introduction to fuzzy and possibilistic optimization. In: Lodwick, W., Kacprzyk, J. (Eds.), *Fuzzy Optimization, Studies in Fuzziness and Soft Computing*, vol. 254. Springer, Berlin Heidelberg, pp. 33–62. 2010.
- [30] Guihaire, V., Hao, J.K., Improving timetable quality in scheduled transit networks. In: *Proceedings of the 23rd international conference on Industrial engineering and other applications of applied intelligent systems, IEA/AIE '10*, pp. 21–30. 2010(a).
- [31] Guihaire, V., Hao, J.K., Transit network timetabling and vehicle assignment for regulating authorities. *Computers and Industrial Engineering* 59, 16–23. 2010(b).
- [32] Li, Z.C., Lam, W., Wong, S., Sumalee, A., An activity-based approach for scheduling multimodal transit services. *Transportation* 37, 751–774. 2010.
- [33] Tétreault, P., El-Geneidy, A., Estimating bus run times for new limited-stop service using archived AVL and APC data. *Transportation Research Part A* 44, 390–402. 2010.
- [34] Salicrú, M., Fleurent, C., Armengol, J., Timetable-based operation in urban transport: run-time optimisation and improvements in the operating process. *Transportation Research Part A* 45, 721–740. 2011.
- [35] Tilahun, S., Ong, H., Bus timetabling as a fuzzy multiobjective optimization problem using preference-based genetic algorithm. *PROMET - Traffic & Transportation* 24, 183–191. 2012.
- [36] Ibarra-Rojas, O., Rios-Solis, Y., Synchronization of bus timetabling. *Transportation Research Part B* 46, 599–614. 2012.
- [37] Hassold, S., Ceder, A., Multiobjective approach to creating bus timetables with multiple vehicle types. *Transportation Research Record* 2276, 56–62. 2012.
- [38] Liebchen, C., Stiller, S., 2012. Delay resistant timetabling. *Public Transport* 4, 55–72.
- [39] Hassold, S., Ceder, A., Public transport vehicle scheduling featuring multiple vehicle types. *Transportation Research Part B* 67, 129–143. 2014.
- [40] Ibarra-Rojas, O., López-Irarragorri, F., Rios-Solis, Y., Multiperiod synchronization bus timetabling. *Transportation Science*. <http://dx.doi.org/10.1287/trsc.2014.0578>, in press. 2015.
- [41] Ibarra-Rojas O., J., Delgado, F., Giesen R., Muñoz J.C., , Planning, operation, and control of bus transport systems: A literature review. *Part B* 77 (2015) 38–75, 2015
- [42] İBB, İstanbul Büyükşehir Belediyesi İstanbul Elektrik Tramvay ve Tünel (İETT) Transist Bildiri Kitabı 2015, Ankara M1 Metro Hattı için Zaman Çizelgelemesi, s.474.
- [43] Gençer M.A., 2016. “Ankara Metrosu M1 (Kızılay-Batıkent) Hattı Hareket Saatlerinin Çizelgenmesi”. Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi.