

Ankara Metrosu M1 Hattı Hareket Saatlerinin Çizelgelenmesi: Bir Karar Destek Sistemi Uygulaması

Muhammet Abdullah GENÇER¹, Hacı Mehmet ALAKAŞ^{2,*}, Tamer EREN², Mustafa HAMURCU²

¹Ankara Büyük Şehir Belediyesi, EGO Genel Müdürlüğü, Raylı Sistemler Dairesi Başkanlığı, Ankara,

²Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Kırıkkale

*Correspondence: hmalagas@gmail.com

Özet: Sanayileşmenin ve iş olanaklarının artmasıyla birlikte kırsal kesimden kentsel alanlara göç yaşanmaktadır. Bu göçün sonucu olarak kentlerimizde nüfus artmaktadır. Nüfusun artması kentlerimizde ulaşım ile ilgili birçok problemi ve trafik sıkışıklığı problemini ortaya çıkarmıştır. Bu sorunların ortadan kaldırılması için ulaşım planlaması gerekmektedir. Bu problemler ortadan kaldırılırken veya azaltılırken aynı zamanda yolcu konforu ve memnuniyeti de dikkate alınmalıdır. Bunların sağlanabilmesi yolcu talebini de dikkate alarak sefer saatlerinin çizelgelenmesi ve planlanmasıyla mümkün olmaktadır. Çizelgeleme ve planlama yapabilmek için yolcu sayıları, sefer süreleri, tren kapasiteler vb. gibi birçok veriye ihtiyaç duyulmaktadır. Çalışmamızın konusu olan M1(Kızılay-Batıkent) hattı için geçmiş yılların yolcu sayıları değerlendirilip gelecek dönem tahmini yapılmıştır. Yolcu sayılarına göre hattaki tren sayısı ve sefer aralıkları uzman sistemler kullanılarak belirlenmiştir.

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

Scheduling Ankara Metro M1(Kızılay-Batıkent) Line Movement Hours: A Decision Support System Implementation

Abstract: With the increase of industrialization and job opportunities, migration from rural areas to urban areas is occurring. As a result of this migration, the population of our cities is increasing. The increase in population has caused many problems related to transportation and traffic congestion problems in our cities. In order to eliminate these problems, transportation planning is required. Passenger comfort and satisfaction should also be taken into account when these problems are eliminated or reduced. The availability of these can be achieved through the scheduling and planning of a number of times, which also take into account the demand for passengers. To make scheduling and planning, the number of passengers, the expedition times of passenger, etc. Many data are needed. For the M1 (Kızılay-Batıkent) line, which is the subject of our work, past passenger numbers are evaluated and forecasted for the next period. According to the number of passengers, the number of trains and time intervals in the line were determined by using expert systems.

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

1. Giriş

Kentlerimizde nüfusun artmasıyla birlikte toplu ulaşım planlamalarının önemi de artmaktadır. Kentsel Ulaşım Planları kısa ve uzun vadeli planlar olarak yolcu akışı tahminlerine göre şehir planlamasına dahil edilmektedir. Planlamada seçilecek ulaşım çeşidi de büyük önem taşımaktadır. Yolcu yoğunluğu tahminine göre yapılacak çalışmalar ile raylı sistem, otobüs gibi ulaşım araçları tercih edilmektedir. Yolcu yoğunluğu fazla olan yerlerde genellikle ağır raylı sistem araçları taşıma kapasitesi yüksek olduğu için tercih edilmektedir. Ayrıca ulaşım aracı seçiminden sonra saatlik, günlük, haftalık, aylık veya dönemlik olarak ulaşım planlaması da yapılmaktadır. Planlamada, yolcuların yolculuk ve bekleme sürelerinin azaltılması en önemli amaç olarak görülmektedir. Bekleme süresini doğrudan etkileyen faktörler ise sefer sayıları ve zaman aralıklarıdır. Sefer zaman aralıklarını ve sayılarını belirlemek için yapılması gerekenlerin başında, gerçekleşen dönemlerin yolcu sayılarına göre gelecek dönemleri tahmin etmek gelmektedir. Böylece yolcu davranışları ve hattaki yolcu sayısı normal koşullar altında belirlenmiş olacaktır. Yolcu sayıları sefer sürelerinin düzenlenmesi ve planlanmasına en önemli girdi parametresidir.

Sefer zamanlarının planlanması işletmedeki ilgili personel vasıtasıyla gerçekleştirilmektedir. Genellikle herhangi bir model kullanılmadan yapılan sefer çizelgelerinde personellerin tecrübelerinden yararlanılmaktadır. Sefer saatleri yolcuların yoğun olduğu saatlerde daha sık düzenlenir. Sabah işe gidiş ve akşam işten çıkış saatleri yolcu yoğunluğunun yüksek olduğu ve sefer zaman aralığının da buna bağlı olarak düşük olduğu saatlerdir. Diğer saatler ise bu saatlere göre daha az yoğunluk yaşanmaktadır. Bu iki farklı durum göz önüne alındığında eğer bir planlamacı yolcu sayısını biliyor ise hatta ne kadar araç yer alması gerektiğini hesaplayarak belirleyebilir. Ancak işe yeni başlamış tecrübesiz bir çalışan ise bu planlama operasyonunda hata yapması muhtemeldir. Bu hatanın minimize edilmesi ise uzman çalışanların tecrübelerinin tecrübesiz çalışanlara bir karar destek sistemi(KDS) kullanılarak aktarılması ile sağlanabilir. KDS uzman sistem yapısı kullanılarak hem uzman personele vereceği kararları daha hızlı vermesi hem de yeni başlayan çalışanların hatasız olarak sistemi işletmesi sağlanabilir.

KDS, bilgisayar tabanlı bilgi sistemi olarak işletme ve organizasyonlara karar verme süreçlerinde destek vermektedir. Verilerin işlenerek işletme açısından önemli analizlerin matematiksel yöntemlerle yapılmasını sağlamaktadır. KDS'ler, belirsiz ve hızla değişen rekabet ortamlarında karar vericilere; yönetim, operasyon ve çeşitli planlamalar için karar vermelerinde yardımcı olur[1]. KDS'nin bir çeşidi olan uzman sistemler en genel anlamıyla

insanın düşünme yöntemini ve mantığını taklit eden bilgisayar programlarıdır. Uzman sistemler ile karmaşık ve uzmanlık gerektiren problemler için kalıcı, düşük maliyet ve uzun vadeli çözümler sunulmaktadır. Ancak belirli süre zarfı içinde güncelleme gerekli olabilmektedir. Bu programlar amacı, içeriği ve kapsamı somutlaştırılmış belirli konularda hazırlandıkları için “uzman” sıfatıyla anılmaktadır. Uzman sistemler sayesinde çalışanlar arasında aynı durumlar için farklı kararların alınması engellenmiş olur. Bir diğer yararı ise çalışanların kendi işleri için tekrar tekrar hesaplama yapmasını engelleyerek asıl işi için daha fazla zaman ayırmasına imkân sağlamasıdır.

Bu çalışmada Ankara metrosu Kızılay-Batıkent (M1) hattındaki yolcu sayıları analiz edilerek sefer aralıklarını belirleyen bir Karar Destek Sistemi (KDS) önerilmiştir. 15 dakika aralıklarla hatta gelen yolcu sayıları belirlenerek bu sayılara göre hattaki tren sayısı ve sefer aralıkları düzenlenmiştir.

Çalışmamızın ilk bölümünde toplu ulaşım planları, sefer sürelerinin planlaması ve uzman sistemler hakkında bilgiler verilmiştir. İkinci bölümde toplu ulaşım ve konu hakkında daha önce yapılan çalışmalara değinilmiştir. Üçüncü bölümde çalışmamızın konusunu oluşturan M1(Kızılay-Batıkent) hattı için bilgiler verilmiştir. Dördüncü bölümde uzman sistemlerle ilgili bilgiler verilmiştir. Beşinci bölümde çalışmamızın uygulamasına değinilmiştir. Yolcu sayısı analizinin nasıl yapıldığı, yolcu sayılarına bağlı uzman sistemlerin çalışmasının nasıl yapıldığı, sefer sürelerinin belirlenmesinde uzman sistemlerin kullanılması ve yapılan çalışmanın sonuçlarıyla ilgili bilgiler gösterilmiştir. Altıncı bölümde de çalışmamızın sonucu ve önerileri hakkında çalışmalar anlatılmıştır.

2. Metro Toplu Ulaşım Sistemi

Raylı sistem taşımacılığı toplu taşımadaki payı gitgide artan ve önem kazanan ulaşım türü olmaktadır. Dünyanın birçok kentinde toplu ulaşım için raylı sistem taşımacılığı tercih edilmektedir. Teknolojinin gelişmesiyle birlikte raylı sistem taşımacılığında alternatif araç türlerinin ve kapasitelerinin artması alternatifleri de artırmıştır. Toplu ulaşım türlerine ilişkin kapasiteler Tablo 1’de verilmiştir. Bu verilere göre raylı sistemlerin diğer türlere göre kapasite bakımından öne çıktığı görülmektedir. Raylı sistemler temel olarak taşıma kapasitesiyle orantılı olarak hafif ve ağır raylı sistem olarak ayrılmaktadır. Ağır raylı sistemlerin yolcu taşıma kapasitesi, hafif raylı sistemlere oranla 2-3 kat fazla olabilmektedir.

Tablo 1. 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

Metro toplu taşıma sistemleri teknolojik, çevresel ve ekonomik özellikler göz önüne alındığında diğer toplu taşıma sistemleriyle kıyaslaması Tablo 2’de gösterilmiştir.

Tablo 2. 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

TUİK verilerine göre 2017 yılında kişi başına düşen araç sayısı il bazında değerlendirildiğinde, Ankara 4 kişiye bir araç düşmesiyle ülkemizde en fazla kişi başına araç düşen ildir. Araç sayısının artması trafik başta olmak üzere birçok sıkıntıyı ortaya çıkarmaktadır. Bu nedenle toplu taşımayı teşvik edecek çalışmalar yapılması bu sorunlarında azalmasını sağlayacaktır. Kişi başı araç türüne göre enerji tüketimi, en fazla otomobillerde, en az ise metro ve otobüs sistemlerindedir. Yakıt fiyatlarındaki artış metro ulaşımını daha tercih edilebilir hale getirmiştir. Ulaşım sistemlerine göre, km başına düşen enerji tüketimi Tablo 3’te gösterilmiştir.

Tablo 3. Ulaşım sistemlerinin yolcu-km başına enerji tüketimi

Sistem Tipi Enerji Tüketimi	Sistem Tipi Enerji Tüketimi
Otomobil	515
Dolmuş	241
Minibüs	134

Otobüs	96
Tramvay	112
Metro	97
Tren	100

Tablo 4. 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 ulaşım sistemleri açısından mevcut ticari hıza göre değerlendirildiğinde en yüksek yolcu taşıma kapasitesi Metro sistemlerine aittir. Yolcu taşıma kapasiteleri çok daha düşük olan otobüslerde ise ticari hızlar Metro ulaşım sistemlerine göre daha düşüktür. Kent içi toplu taşıma türüne göre km maliyetleri kıyaslaması Tablo 4.'de gösterilmiştir. Bununla birlikte banliyö sistemi de uygun olmakla birlikte farklı bölgelere ulaşım hattı ve tren sıklığı fazla olmaması açısından daha az yolcu taşımaktadır. Ayrıca Metro sistemlerinin kendine ait raylı yola sahip olması trafiği etkilememekte ve kaza riskini de en aza indirmektedir.

Ulaşım sistemleri arasında Metro sistemlerini daha tercih edilebilir yapan diğer faktör ise gürültü ve çevre kirliliğidir. Toplu ulaşım araçlarının hemen hepsi dizel, benzin ve gaz kullanırken metro sistemleri elektrik enerjisi kullandığından dolayı en çevreci ulaşım sistemlerinden biridir. Gürültü kirliliği açısından değerlendirildiğinde karayollarında kullanılan araçların gürültü seviyesinden daha düşük olduğu bilinmektedir. Bu faktörler göz önüne alındığında kentlerde metro toplu ulaşım sistemlerinin neden daha çok tercih daha iyi anlaşılmaktadır.

3. Literatür Araştırması

Cordeau Raylı sistem taşımacılığı için kullanılan optimizasyon yöntemlerini araştırmıştır[2]. Caprara Trenlerin istasyona geliş zaman aralıkları için farklı düğüm metotları kullanarak çözüm önerisi geliştirmiştir[3]. Ahuja Ulaşım planlamasını ele almış ve tamsayılı programlama modeliyle çözümlenmiştir[4]. Chang Tren çizelgeleme problemini genetik algoritma yöntemiyle çözmeye çalışmıştır[5]. Reimann Trenlerin farklı hızlarda seyahat sürelerini hesaplayarak kanınca kolonisi modeli ile çözmüştür[6]. Liebchen vd. Berlin

metrosunda tamsayıli modelleme kullanarak çözmeye çalışmışlardır[7]. Danescu Romanya ve Moldova'da hat üzerindeki farklı zaman aralıklarında gelen trenler için matematiksel model geliştirmişler ve gecikme sürelerini en küçüklemeye çalışmıştır[8]. Gültekin ve Eren Tren bekleme sürelerini en aza indirmeyi amaçlayan Yeniçubuk-Çetinkaya hattını ele almışlar ve tamsayıli programlama modeli önermişlerdir[9]. Gençer ve Eren Yolcuların bekleme sürelerini en aza indirmek için talep tahmin yöntemlerini de kullanarak zaman çizelgelemesi oluşturmuşlardır[10]. Halim vd. Yolcu bekleme sürelerini en aza indirmek için çizelgeler oluşturmuş ve bunların simülasyonu uygulamışlardır[11]. Fournier vd. Enerji transferlerini doğrusal olmayan bir yaklaşım kullanarak, trenleri senkronize etmeyi amaçlayan sezgisel algoritma sunmuşlardır[12]. Hassannayebi vd. Kapasite ve kaynak kısıtlamalarına bağlı olarak yolcu başına ortalama bekleme süresinin en aza indirilmesi için Lagrangian yaklaşımı önerilmiş ve problem çözmüşlerdir[13]. Yin vd. Yolcuların gecikmesini, toplam seyahat süresini ve trenlerin işletme maliyetlerini ortaklaşa azaltmak için stokastik bir programlama modeli geliştirmişlerdir[14]. Modeli çözmek için bir dinamik programlama tabanlı algoritma tasarlamışlardır. Das Gupta vd. Enerji tüketimini optimize etmek için iki aşamalı bir doğrusal optimizasyon modeli önermişlerdir[15]. Yang vd. Enerji tüketiminin en aza indirilmesi ve bekleme süresi azaltmak için Genetik algoritma kullanmışlardır[16]. Yin vd. Enerji tüketimini ve yolcu bekleme sürelerini en aza indirmek için tamsayı programlama ve Karma-tamsayıli programlama modeli formüle etmişlerdir[17]. Lagrangian gevşeme (LR) tabanlı sezgisel algoritma ile çözmüşlerdir. Wei ve Zhenzhou[18] Tren gecikmelerini en aza indirmek için karma bir tamsayıli doğrusal olmayan programlama (MINLP) modeli geliştirmişler ve modeli genetik algoritma (GA) ile çözmüşlerdir. Xin vd. Transfer senkronizasyonlarını en üst düzeye çıkarmak için karma bir tamsayıli doğrusal olmayan programlama modeli ve hibrid optimizasyon algoritması kullanmışlardır[19]. Hassannayebi E. vd. Yolcuların bekleme sürelerini en aza indirmek için çok amaçlı stokastik programlama modeli geliştirmişlerdir[20]. Wang vd. Hem yolcu süresini hem de trenin karbon salımını azaltmak için iki hedefli bir zaman çizelgesi optimizasyon modeli geliştirmişlerdir[21]. Zhou vd. Enerji tüketimini en aza indirmek için tren kontrolü ve zaman çizelgesi üzerinde entegre bir optimizasyon modeli geliştirmişlerdir[22]. Keping vd. Seyahat sürelerini optimize etmek için algoritma geliştirmişlerdir[23]. Shi vd. Tren zaman çizelgesini optimize etmek için toplam yolcu bekleme süresini en aza indirecek tamsayıli doğrusal programlama, melez algoritma ve CPLEX yöntemi kullanmışlardır[24].

Tektaş M. vd. Uzman sistemler, bulanık mantık, yapay sinir ağları ve genetik algoritma yöntemlerini kullanarak trafik kontrol problemleri üzerine araştırma yapmışlardır[25]. İncekara H. İnternet teknolojisinden yararlanarak gerçekleştirilen web ara yüzü bulanık uzman sistem tasarımı ile tıbbi tahlil sonuçları analiz etmiştir[26]. Durduran ve Sarı Coğrafi bilgi sistemleri kullanılarak kazaların analizi ve önlenmesi için bir çalışma yapmışlardır[27]. Hu ve Sheng KDS ile toplu taşıma ve yük taşıma araçlarını planlamış, bilgi yönetimi sistemi ile optimizasyonunu gerçekleştirmişlerdir[28]. Çolakoğlu ve Küçükpehlivan Bisiklet yolları için güzergah belirlenmesini sağlayacak bir karar destek modeli geliştirmişlerdir[29]. Lin vd. Kargo hizmetlerinde rota problemlerinin çözümünde melez komşu arama algoritması geliştirmişlerdir[30]. Lam vd. Lojistikte ürün özelliklerini ve müşteri taleplerini dikkate alan şirketlerin fayda analizlerinin yapılmasını sağlayan KDS geliştirmişlerdir[31]. Başoğlu ve Bulut Elektrik piyasası ve mevsimsel koşullara göre sinir ağları ve uzman sistemler kullanan hibrit bir sistem geliştirilmişlerdir[32].

Karacasu Ulaşım araçlarının türleri ve sayılarına göre ulaşım planlaması yapmıştır[33]. Macharis vd. Yöneylem araştırması modelleme tekniklerini kullanarak farklı ulaşım modlarıyla ilgili üç modellemeyle vaka analizi yapmışlardır[34]. Caris vd. Karar destek modellerinde güncel eğilimler arasında çevresel kaygıların ortaya çıkması, dinamik modellerin geliştirilmesi ve Yöneylem Araştırması tekniklerinin yenilikçi uygulamalarındaki büyüme yer vermişlerdir[35]. Sprenger ve Mönch Birçok gıda şirketinin filolarının nakliye maliyetlerini azaltmak için bir karar destek sistemi uygulamışlardır[36]. Sun vd. Çevrimiçi veri yolu varış tahmini için hem gerçek hem de gerçek zamanlı akış verilerini kullanarak karar destek sistemi uygulamışlardır[37]. Yang vd. Varyans teorisine dayanan son tren tarifesi için bir optimizasyon modeli oluşturarak önerilen çizelgeleme problemini çözmek için özel olarak tasarlanmış operatörler ile bir tabu arama (TS) algoritması kullanmışlardır[38].

Toplu Taşıma Sistemleri üzerine yapılan çalışmalarda amaç fonksiyonlarının genellikle bekleme sürelerinin ve maliyetlerinin minimize edilmesi olarak dikkate alındığı görülmektedir. Konuyla ilgili çalışmalara bakıldığında metrolarda çizelgelemeyi de kapsayan bir KDS uygulaması çalışmasına literatürde rastlanmamaktadır.

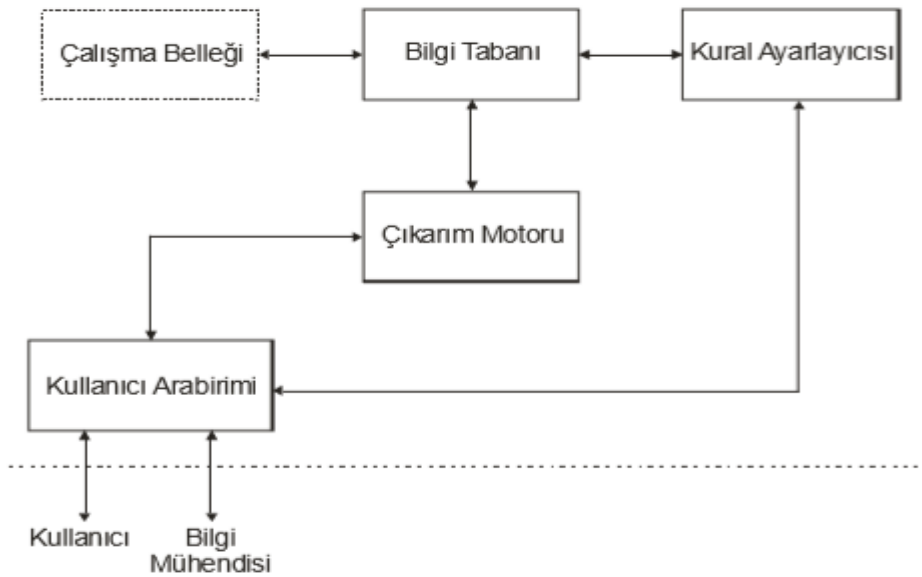
4. Uzman Sistemler

Uzman sistemler, planlama, teşhis, tercüme, özetleme, danışma gibi insan tecrübelerine dayanan bazı aktiviteleri gerçekleştirmek için hazırlanan bilgisayar programlarıdır. Uzman sistemler, otomatik düşünme tekniğini kullanırlar. Bir sistem olarak bilimsel veya ticari bir

problemin çözümünü üstlenirler. Bu teknikler, çok net olan matematiksel modellerden daha esnek yapıya sahip, algoritma ve heuristik yöntemlerin otomasyonudur.

Uzman sistemler, uzmana ait programlanabilen kararların tamamı ile programlanamayan kararların bir kısmının bilgi sistemini üstlenmekle görevlidir. Uzman sistemlerin karar destek sistemleri oluşturmasını takiben, uygun kararları otomatik olarak vermesi, onları zeki sistemler olarak tanımlamamızın en önemli nedenidir. Araştırma ve sezme gibi metotları kullanması otomatik düşünme yeteneğinin bir sonucudur.

Uzman sistemler; belirli bir konuda bilgiyi toplayan ve depolayan, bunları kullanarak bir sonuç elde eden, belirli problemler için çözümler öneren yazılımlardır. Buna göre; uzman sistemler çok kapsamlı veri tabanlarına sahip olmalı, verileri analitik ve sezgisel yöntemler kullanarak işleyebilmeli, değerlendirebilmeli, bunlardan yeni bilgiler elde edebilmeli, seçenekler oluşturarak, kendisine sunulan problemi çözebilmelidir. Bir uzman sistemin yapısı Şekil 1’de gösterilmiştir.



Şekil 1: Uzman sistemin yapısı

Yazılım ayrıca çözüm için kullandığı yöntemi de göstermelidir.

Bir uzman sistemin temel yapısında;

Veri Tabanı: Tüm kural ve gerçeklerin tanımlandığı kısımdır.

Açıklama Araçları: Kullanıcıya çözüme nasıl ulaşıldığına dair açıklamaların yapıldığı kısımlardır.

Problem Çözme Araçları: Belirlenen strateji doğrultusunda kural ve gerçekleri kullanarak çözüm üreten kısımdır.

Bilgi Değiştirme Aracı: Tanımlı gerçek ve kuralları değiştirerek veri tabanını oluşturur.

İletişim Ekranı: Kullanıcı ile yazılım arasındaki program ara yüzüdür.

Uzman sistemler sadece verileri kullanıcıya sunmakla kalmayıp, bunları tanımlı kuralları kullanarak bilgiye dönüştürmekte ve uygulanabilir hale getirmektedirler. Aynı zamanda analitik modelleri kurulamayan birçok gerçek hayat probleminin, sezgisel modellerle ifadesini ve çözümünü mümkün kılmaktadır. Uzman sistemler, problem çözmeye farklı alternatifler getirerek, işlerin ve işlemlerin çalışma boyutunu değiştirmektedir.

Uzman sistemlerin genel özellikleri; Karmaşık görevlerin uygulanmasındaki uygun zeki davranışı, tam ve kesin olmayan bilgi ve veriyle ilgilenme kabiliyeti, çözüm için problem alanlarında verimli bir şekilde araştırma yeteneği, sistemin veri tabanının okunabilirliği, sistem kabiliyeti, sonuçları belirlenme ve açıklama kabiliyetidir.

Sonuç olarak; uzman sistemler karar verecek uzman bilgisinin ve uzman kişilerin sınırlı olması durumunda kişilere yardımcı olabilecek yazılımlardır. Yazılımların kullanılabilmesi için koşullar aşağıdakilerden biri veya birkaçı olabilir; Uzman insan sayısının az olması ve uzman kişinin bulunmasının zorluğu, aşırı iş yükünden ötürü insanların zihnen ve bedenen yorulabilmesi, insan hafızasının sınırlı olması ve unutkanlık, ruhsal duruma göre kararlarındaki farklılaşmalar, çok miktardaki verinin insan zekâsı ile kısa sürede değerlendirilememesi, insanın sorumluluk almaktan çekinmesi.

Yazılımların insana kıyasla yukarıda açıklanan üstünlükleri olsa da uzman sistemlerin de sınırları bulunmaktadır. Doğası algoritmalara dayanmaktadır ve makina gücü ile sınırlı güce sahiptirler, uzman kişilerin sahip olduğu sezgisel birikimden yoksundurlar ve değişken koşullara kolayca uyum sağlayamamaktadırlar. Aynı zamanda sağlayacakları çözüm, sahip oldukları veri tabanı ile sınırlıdır. Bu veri tabanının eksiksiz olarak tamamlanması ise çok zordur.

5. Uygulama

Yoğun nüfuslu yerleşim yerlerinde yolcu akışının da yoğun olduğu düşünüldüğünde raylı sistem hatları yolcu taşıma kapasitesi yüksek olduğundan ulaşım planlamasında öncelikli olarak tercih edilmektedir. Raylı sistem ulaşımı otomobille kıyaslandığında kişi başı enerji tüketimi neredeyse %80 tasarruf sağlamaktadır. Maliyet açısından bakıldığında Ağır Raylı

metro hatları ulaşım yoğunlukla yer altı tünelleriyle sağlanacağından diğer ulaşım türlerine göre maliyeti yüksektir. Günümüzde dünyanın bütün ülkelerindeki nüfus yoğunluğu fazla olan şehirlerinde raylı sistem hatları mevcuttur[10].

Ankara Metro sistemi 3'lü veya 6'lı araç kullanımına imkân sağlamaktadır. M1(Kızılay-Batıkent) hattının haritada gösterimi Şekil 2'de gösterilmektedir[10].



Şekil 2. M1(Kızılay-Batıkent) Haritası

Ankara Metrosunda işletilen (M1) Kızılay- Batıkent hattı 14,661 km'dir. Sistem minimum 90 saniyelik servis aralıkları ile çalışmasına ve 80 km hıza ulaşılmasına imkân sağlamaktadır. Hat boyunca karşılaşılan maksimum eğim %3, yaklaşık 3.5 km'si viyadük ve 7.1 km'si yeraltı tünelleridir. Hatlarda ayrıca acil durumlar için yolcuların tahliyesine imkân verecek yürüme yolları bulunmaktadır. İstasyonların uzunluğu 140m olup bazı istasyonlarda iki taraflı yolcu iniş-biniş sağlayacak platform, bazılarında ise orta platform bulunmaktadır[10].

Ankara Metrosu İşletmesi, Otomatik Tren Kumandası (ATC) sistemiyle işletilmektedir. Bu sistemde, tren konumunu belirleme işlevini yapan ATC sistemi tam otomatik, yarı otomatik ve sürücü modu olmak üzere üç farklı kullanım çeşidi vardır. Trenin işletme kodu tam otomatiktir ancak depo sahasında genellikle sürücü modu kullanılır[10].

Ankara Metro İşletmesi'nde, çevre ile M1(Kızılay-Batıkent) hattında 12 adet, M2 (Kızılay-Çayyolu) hattında 11 adet, M3(Batıkent-Sincan) hattında 11 adet olmak üzere toplam 34 adet yolcu istasyonu bulunmaktadır. Bu hatlarda bulunan istasyon isimleri sırasıyla Tablo 5'te gösterilmiştir.

Tablo 5. Ankara Metrosu Hat Bilgileri

Hat	Hat Uzunluğu	İstasyon Sayısı	İşletmeye açılış tarihi	Yolcu kapasitesi(Yolcu/Saat Yn)	Araç Sayısı
Kızılay-Batıkent	14.661 km	12	2.12.1997	70.000	108
Kızılay-Çayyolu	16.590 km	11	13.03.2014	66.000	144
Batıkent-Sincan	15.360 km	11	12.02.2014	70.000	6
Keiren-AKM	9.223 km	9	05.01.2017	66.000	60
Ankaray (AŐTİ-Dikimevi)	8.527 km	11	30.08.1996	27.000	33

Her istasyonda yolcu geçişleri turnikelerle sağlanmaktadır. Turnikelerde bulunan manyetik kart cihazları sayesinde yolcu giriş ıkışları birçok faktöre göre belirlenebilmektedir. İstasyona girişler kart okutmadan giriş yapılamayacak şekilde tasarlanmıştır. Bu da yolcu sayılarının kolaylıkla belirlenmesini sağlamaktadır.

İstasyonlardaki yolcu geçişlerine göre sezonluk, aylık ve günlük olarak tren işletme planı değişebilmektedir. Nadiren zel günler için nadiren ayrı izelge planı oluşturulmaktadır. Bu belirlenen tren işletme çizelgeleri programa yüklenerek çizelgeye göre çalışması sağlanır. M1(Kızılay-Batıkent) hattı istasyonlar arası mesafe ve sreler Tablo 6'de gösterilmektedir. İlk tren seferi Kızılay'dan 06:00'dan, son tren seferi yine Kızılay'dan gece 01:00'de hareket etmektedir.

M1 - BATIKENT KIZILAY HATTI İSTASYONLAR ARASI MESAFE							
KIZILAY	→	BATIKENT	MESAFE	SÜRE (80 km/h)	SÜRE (65 km/h)		
KIZILAY	→	SIHHIYE	905 m.	00:01:20	80 sn.	00:01:26	86 sn.
SIHHIYE	→	ULUS	1.335 m.	00:01:41	101 sn.	00:01:49	109 sn.
ULUS	→	KÜLTÜRMERKEZİ	808 m.	00:01:14	74 sn.	00:01:14	74 sn.
KÜLTÜRMERKEZİ	→	AKKÖPRÜ	1.158 m.	00:01:30	90 sn.	00:01:35	95 sn.
AKKÖPRÜ	→	İVEDİK	1.689 m.	00:02:01	121 sn.	00:02:37	157 sn.
İVEDİK	→	YENİMAHALLE	1.192 m.	00:01:35	95 sn.	00:01:37	97 sn.
YENİMAHALLE	→	DEMETEVLER	986 m.	00:01:22	82 sn.	00:01:26	86 sn.
DEMETEVLER	→	HASTANE	968 m.	00:01:26	86 sn.	00:01:24	84 sn.
HASTANE	→	MACUNKÖY	1.497 m.	00:01:45	105 sn.	00:02:05	125 sn.
MACUNKÖY	→	OSTİM	1.875 m.	00:02:12	132 sn.	00:02:30	150 sn.
OSTİM	→	BATIKENT	1.700 m.	00:02:34	154 sn.	00:02:35	155 sn.
			14.113 m.	00:18:40	1.120 sn.	00:20:18	1.218 sn.
BATIKENT	→	KIZILAY	MESAFE	SÜRE (80 km/h)	SÜRE (65 km/h)		
BATIKENT	→	OSTİM	1.700 m.	00:02:05	125 sn.	00:02:21	141 sn.
OSTİM	→	MACUNKÖY	1.875 m.	00:02:06	126 sn.	00:02:23	143 sn.
MACUNKÖY	→	HASTANE	1.497 m.	00:01:50	110 sn.	00:02:08	128 sn.
HASTANE	→	DEMETEVLER	968 m.	00:01:17	77 sn.	00:01:28	88 sn.
DEMETEVLER	→	YENİMAHALLE	986 m.	00:01:23	83 sn.	00:01:30	90 sn.
YENİMAHALLE	→	İVEDİK	1.192 m.	00:01:30	90 sn.	00:01:36	96 sn.
İVEDİK	→	AKKÖPRÜ	1.689 m.	00:02:05	125 sn.	00:02:03	123 sn.
AKKÖPRÜ	→	KÜLTÜRMERKEZİ	1.158 m.	00:01:32	92 sn.	00:01:35	95 sn.
KÜLTÜRMERKEZİ	→	ULUS	808 m.	00:01:13	73 sn.	00:01:14	74 sn.
ULUS	→	SIHHIYE	1.335 m.	00:01:41	101 sn.	00:01:49	109 sn.
SIHHIYE	→	KIZILAY	905 m.	00:01:42	102 sn.	00:01:53	113 sn.
			14.113 m.	00:18:24	1.104 sn.	00:20:00	1.200 sn.

Tablo 6. M1(Kızılay-Batıkent) İstasyonlar Arası Mesafe ve Süreler

Genellikle yolcu yoğunluğunun fazla veya az olduğu zamanlar için 6'lı araç kullanılmaktadır. 6'lı araçların toplam kapasitesi m²'de 4 yolcu bulunması durumunda yaklaşık 1294 olup yoğun saatlerdeki yolcuların büyük kısmı taşınmaktadır. Mevcut 108 aracın 96'sı hizmet vermekte kalan araçlar genellikle bakıma dahil edilmektedir. Tablo 7'de kış sezonu için mevcut işletme programı örneği gösterilmektedir.

ANKARA METROSU M1-M2-M3-M4 HATLARI 2017-2018 KIŞ DÖNEMİ TREN İŞLETME PROGRAMLARI					
M1 HATTI 2017-2018 KIŞ DÖNEMİ TREN İŞLETME PROGRAMI					
M1 HAFTA İÇİ	SAATLER		FİLO	SERVİS ARALIĞI	
	06:00	07:00	6 x 6	9 dk.	540 sn.
	07:00	09:15	12 x 6	4 dk.	240 sn.
	09:15	16:00	8 x 6	7 dk.	420 sn.
	16:00	20:00	11 x 6	5 dk.	270 sn.
	20:00	00:00	6 x 6	9 dk.	540 sn.
M1 CUMARTESİ	SAATLER		FİLO	SERVİS ARALIĞI	
	06:00	07:30	6 x 6	9 dk.	540 sn.
	07:30	19:30	9 x 6	6 dk.	360 sn.
	19:30	00:00	6 x 6	9 dk.	540 sn.
M1 PAZAR	SAATLER		FİLO	SERVİS ARALIĞI	
	06:00	07:00	6 x 6	9 dk.	540 sn.
	07:00	19:30	9 x 6	6 dk.	360 sn.
	19:30	00:00	6 x 6	9 dk.	540 sn.
	00:00	00:30	4 x 6	15 dk.	900 sn.

Tren kalkış saatleri Batıkent'e göredir.
Kızılay son treni 01:00'de hareket edecektir.

Tablo 7. Mevcut İşletme Programı Örneği

5.1. Yolcu sayıları ve analizi

Kızılay-Batıkent (M1) hattı ele alınarak istasyona gelen günlük yolcu sayıları hesaplanmıştır. Yapılan çalışmada yolcu sayıları analiz edilmiştir. Bu hat için istasyonlara gelen toplam yolcu sayısına göre tren sefer süreleri belirlenmiştir. Hafta içi, Cumartesi ve Pazar günleri için sabah 06:00 akşam 23:00 saatleri arasındaki ortalama yolcu sayıları Tablo 8’de gösterilmiştir[10].

Tablo 8. Ortalama Gerçekleşen Yolcu Sayısı Örneği

Hafta	Ortalama Gerçekleşen Yolcu Sayısı		
	H. içi	Cumartesi	Pazar
1	176894	126984	88728
2	171122	149064	103359
3	176383	145605	99637
4	166772	130607	72289
5	178997	162787	111325

Yolcu dağılımının gün içerisinde 06:00-23:00 saatleri arasında her 15 dk da bir gelen yolcu sayısı Tablo 9’da gösterilmiştir. Tatil günleri için yolcu yoğunlukları da ayrıca değerlendirilerek hesaplanmıştır[10].

Tablo 9. Saat Aralıklarına Göre İstasyonlara Gelen Yolcu Sayısı

Saat/ Dakika	hafta içi				Cumartesi				Pazar			
	0	15	30	45	0	15	30	45	0	15	30	45
6	517	1242	2242	3285	398	799	1306	1722	228	433	690	802
7	4298	5197	5743	6084	1977	2492	2461	3288	877	1006	954	1321
8	5745	4392	3242	2656	3060	2488	2013	2079	1295	1282	1139	1179
9	2213	1868	1733	1633	1805	1771	1483	1373	1310	1125	1060	923
10	1537	1507	1509	1652	1470	1585	1585	1694	1059	1202	1218	1259
11	1711	1731	1880	2135	1798	1906	2204	2263	1389	1674	1582	1853
12	2048	2103	2156	2166	2689	2748	3124	3393	1957	2309	2353	2475
13	2127	2191	2297	2272	3755	3708	3619	3465	2568	2500	2515	2402
14	2099	2317	2293	2345	3371	3234	3404	3376	2313	2243	2310	2354
15	2772	3090	2953	3292	3491	3668	3588	3666	2364	2236	2429	2751

16	3596	3553	3693	4647	3983	3899	4037	4402	2628	2725	2621	2656
17	4584	4431	4597	5236	4240	3839	3658	3755	2684	2432	2286	2421
18	4898	4552	3847	3343	3522	3398	3001	2909	2217	1949	1970	1888
19	2863	2335	1811	1899	2498	2248	1906	1786	1630	1386	1266	1351
20	1560	1237	1099	1239	1642	1375	1323	1341	1192	1047	860	865
21	1092	1027	964	1185	1129	1003	1211	1346	836	768	768	959
22	855	482	336	393	1059	621	528	39	830	449	309	39

Yolcuların hangi duraklar arası yolculuk yapacağı veya nereden inip-bineceği konusu belirsizlik oluşturmaktadır. Bu belirsizlik yolcuların konforunu ve güvenliğini sağlamak için oluşturulan planlamalar ve modeller açısından karmaşıklık oluşturur. Tabii ki belirsizlikleri ve karmaşıklıkları azaltmak için günümüzde farklı yöntem ve stratejiler geliştirilmektedir. Karar Destek Sistemlerinin alt yöntemi olan Uzman Sistemler bu yöntemlerden birisidir. Planlama açısından karar vericiye yardımcı olan ve karar vermeyi kolaylaştıran sistemlerden birisidir. Karmaşıklıkların ortadan kaldırılması açısından karar vericiye alternatif çözümler arasından uygun olanı ya da olanları seçmesine olanak sağlar. Burada önemli olan verinin ve bilginin sağlanması, anlamlı olmasıdır.

Ankara Metrosu hatlarında trenlerin seferleri yolcu yoğunluğuna göre planlanıp belirlenmelidir. Sefer zamanlarının yolculara göre planlanması, trenlerin istasyona zamanında gelmesini sağlamaktadır. Yani yolcuların istasyonda bekleme zamanları minimum olmalıdır. Bekleme zamanlarını indirmek için bazı faktörler değerlendirilir. Bu faktörlerin kullanılarak bekleme zamanları azaltacak uzman sistem kullanılmaktadır.

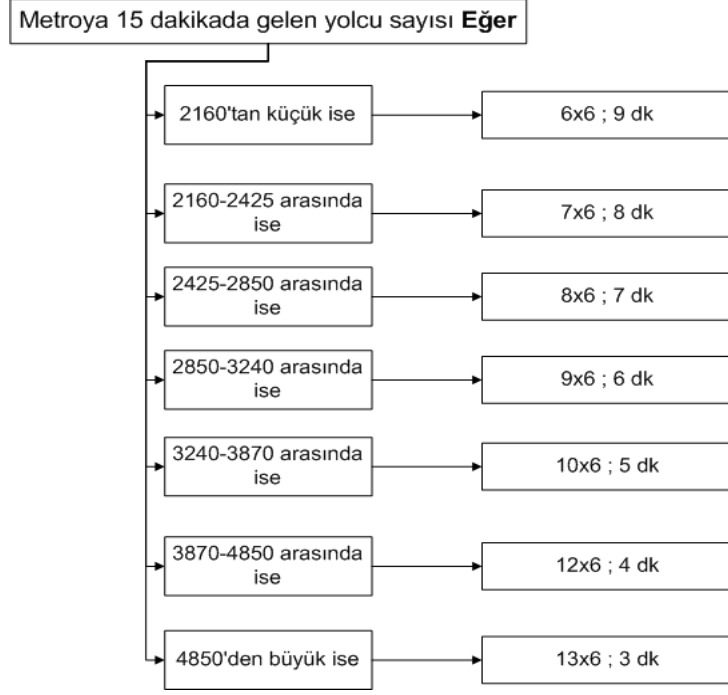
5.2. Saat aralıklarına göre hattaki tren düzeninin uzman sistem ile belirlenmesi

Ankara Metrosu tren işletmesini hafta içi günleri, cumartesi, pazar ve tatil günleri olarak ayırabiliriz. Gerçeğe daha yakın olması açısından buradaki belirlenen günlerin farklı zamanlardaki ortalaması alınmıştır. Yolcuların yoğunluklarına göre belirlenen saat aralıkları hatta verilecek tren sayısını belirler. Yolcu yoğunluğu herhangi bir istasyona her 15 dk'da bir gelen yolcu sayısı olarak belirlenmiştir. Buradaki saat aralıkları hatta vereceğimiz treni dolayısıyla sefer süresini değiştirecektir. Önemli olan diğer husus sefer sürelerini etkileyeceği için vagon kapasitesidir. Metro trenlerinin kapasitesi bir sefer için 2000-2500 kişiyi bulsa da bu yolcu konforu açısından uygun bir durum değildir. Dolayısıyla Yolcu konforunu da değerlendirip kapasite m² başına 4 yolcu (6'lı dizix4 kişi) 1.294 kişi olarak hesaplanmıştır. Her bir vagonun kapasitesi yaklaşık 215 olarak düşünülmüştür. Mevcut Tren İşletme Programı Şekil 4'te gösterilmiştir[10].

Tablo 10. Mevcut tren işletme programı

Hafta İçi Programı	CH 1	Saatler	Filo	Servis aralığı		Sefer süresi	
		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

Hatta verilecek tren setinin hesaplaması şu şekildedir. Her 15 dk da gelen yolcu sayısı kapasiteyi doldurunca hatta bir tren seferi daha eklenir. Yani $(900 \text{ sn} * 1294) / (15\text{dk içinde gelen yolcu sayısı})$ olarak hesaplanır. Her 15 dk da Tren kapasitesini (1294) aşan yolcular için sefer sayısı arttırılır. Dolayısıyla yolcu sayısı veya yoğunluğuyla tren seferi doğru orantılı olarak artar. Şekil 3.'te yolcu sayısına göre hesaplanan tren sefer aralığı verilmiştir. Örneğin 10 adet 6'lı trenin 5 dk da bir hareket etmesi gerekmektedir[10].



Şekil 3. Yolcu sayısına (Her 15 dk) göre sefer sıklığını belirleyen uzman sistem

$$(900 * 1.294) / 2160 = 540 \text{ s}$$

$$(900 * 1.294) / 2425 = 480 \text{ s}$$

Her 15 dk için gelen yolcu sayıları ne kadar sürede kapasiteyi (1.294) tamamlar.

Hesaplanması Denklem 1'de gösterilmiştir.

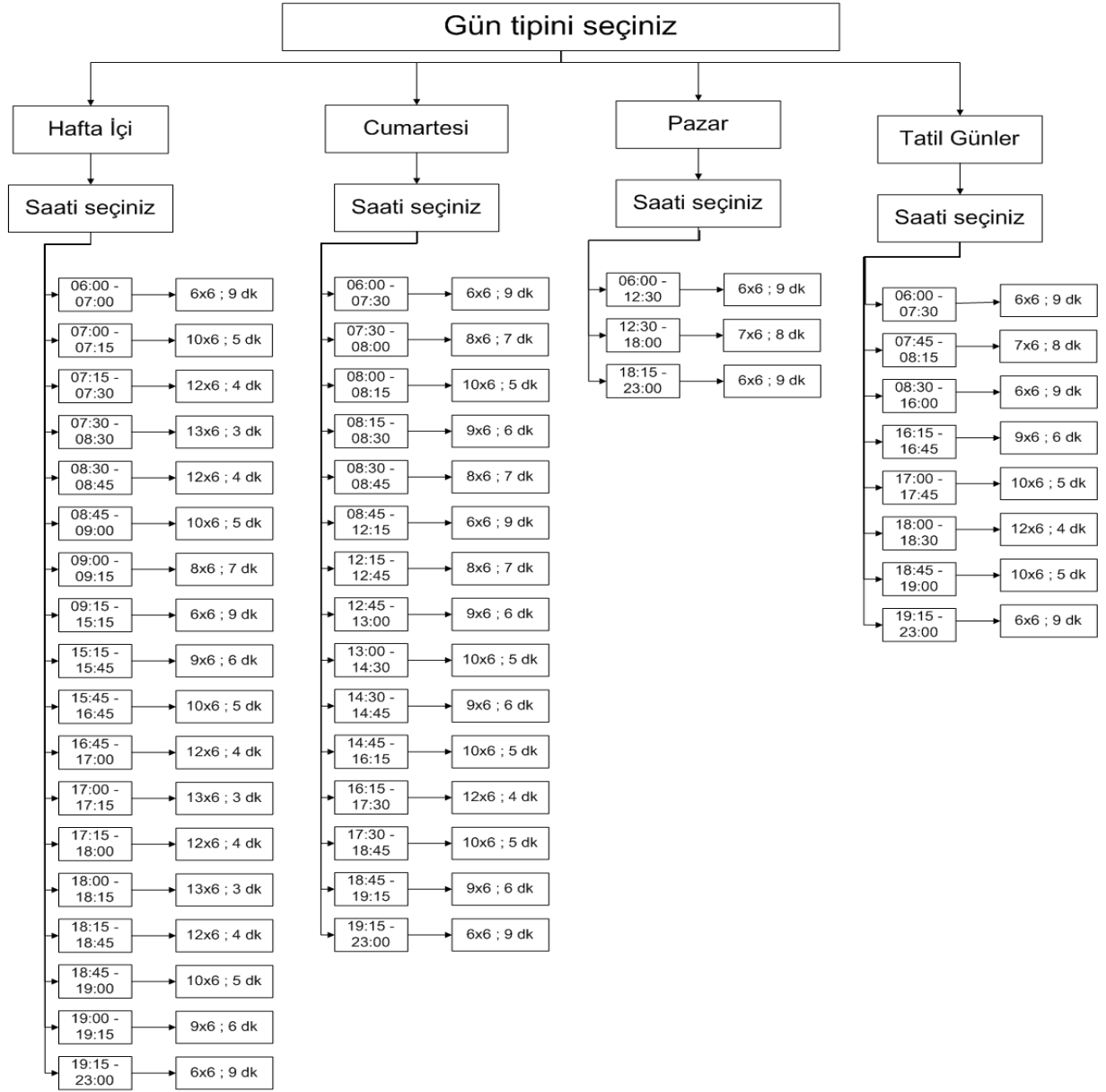
$$C = 1294 \text{ kişi}$$

$$P = 900 \text{ sn}$$

$$N = \text{İstasyona Gelen Yolcu Sayısı}$$

$$(C * P) / N$$

(1)



Şekil 4. Gün ve Saat Aralıklarına Göre Hatta Hangi Aralıkla Tren Verileceğini

Şekil 4’de Hafta içi, Cumartesi, Pazar ve Tatil günleri ayrı hesaplanmış ve Tablo 9’daki veriler kullanılarak her 15 dk da kaç trenin kullanılacağı denklem 1’e göre hesaplanıp sonucunda Şekil 6’daki veriler elde edilmiştir.

6. Sonuç

Uzmanlar tarafından oluşturulan karar destek sistemi yapısıyla ulaşım planlamada daha hızlı ve doğru kararların verilmesi sağlanabilir. Karmaşık yapıya sahip olan ulaşım planlama alanında karar destek sistemlerinin yaygınlaştırılması ile kentsel ulaşımın iyileştirilmesinde hızlı kararların alınması sağlanacaktır. Bu çalışmada da uzman sistemler kullanılarak bir metro hattı için araç sayısı ve tipi belirlenmiştir. Oluşturulan sistem ile günün özellikleri (hafta sonu, hafta içi vb.) ve gün içinde saatlik değişimler dikkate alınarak araç sayısı ve aracın tipine karar verilmiştir.

Çalışmada Ankara Metro İşletmesi Batıkent-Sincan (M1(Kızılay-Batıkent)) hattı için yaklaşık haftalık yolcu verileri analiz edilmiş ve yolcuların gün içindeki dağılımı incelenmiştir. Yolcuların hafta içi günleri, gün içerisindeki dağılımları incelendikten sonra hafta içi tüm günlerde benzer bir dağılım izlediği fakat Cumartesi ve Pazar günleri farklılık gösterdiği belirlenmiştir. 15'er dk'lık yolcu yoğunluğuna göre çizelgeleme çalışması yapılmış ve mevcut çizelgeyle kıyaslanmıştır. Bu veriler karar almayı kolaylaştırmak için karar sistemi haline getirilmiştir. Özellikle son yıllarda Ankara Metro hatları çalışması, ulaşım planlama gibi konularda gelişmekte olduğundan yapılan bu çalışma bundan sonra oluşturulacak metro güzergahları, ulaşım türleri ve ulaşım planlamalarına kaynaklık edecektir. Bu çalışmada önerilen yöntemin diğer ulaşım türleri ve diğer hatlar için de uygulanabilirliği araştırılabilir ve yöntem yaygınlaştırılabilir.

Kaynakça

- [1].Rainer R. K; Cegielski C. G. Introduction to Information Systems: Enabling and Transforming Business. Hoboken: John Wiley & Sons.2010.
- [2].Cordeau J. F; Toth P; Vigo D. A survey of optimization models for train routing and scheduling. Transportation science, 32(4), 1998: 380-404.
- [3].Caprara A; Fischetti M; Toth P. Modeling and solving the train timetabling problem. Operations research, 50(5), 2002: 851-861.
- [4].Ahuja R. K; Liu, J; Orlin J. B; Sharma D; Shughart L. A. Solving real-life locomotive scheduling problems. Transportation Science, 39(4), 2005: 503-517.
- [5].Chang S. C; Chung Y. C. From timetabling to train regulation—a new train operation model, Information and Software Technology, 47(9), 2005: 575-585.
- [6].Reimann M; Leal J. E; ACO for the single line train scheduling problem. In Proceedings of MIC. 2009.
- [7].Liebchen, C; Stiller S. Delay resistant timetabling. Public Transport 4, 2012: 55–72
- [8].Danescu, E. Integration and interoperability of rail transport in europe, implications of the network in Romania and Moldova, DH 34-08.00. 14-Nord Economy, International Economic Relations, 2013.
- [9].Gültekin N; Eren T. Demiryolu Çizelgeleme Probleminin Modellenmesi Ve Çözümü." Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi 29.2, 2014.
- [10]. Eren T; Gencer M.A. Ankara Metrosu M1 (Kızılay-Batıkent) Hattı Hareket Saatlerinin Çizelgelenmesi. Academic Platform-Journal of Engineering and Science 4.2, 2016.
- [11]. Halim H. I; Sakr A. M; Walid M. A. Metro timetable optimization from passenger perspective based on simulation models and incomplete data of passenger flow. Computational Intelligence (SSCI), 2016 IEEE Symposium Series on. IEEE, 2016.
- [12]. Fournier D;, et al. Metro Energy Optimization through Rescheduling: Mathematical Models and Heuristic Algorithm Compared to MILP and CMA-ES. Diss. Inria Saclay Ile de France, 2016.
- [13]. Hassannayebi E; Zegordi S.H; Yaghini M. Train timetabling for an urban rail transit line using a Lagrangian relaxation approach. Applied Mathematical Modelling 40.23-24, 2016: 9892-9913.

- [14]. Yin J; et al. Energy-efficient metro train rescheduling with uncertain time-variant passenger demands: An approximate dynamic programming approach. *Transportation Research Part B: Methodological* 91, 2016: 178-210.
- [15]. Gupta S. D; Tobin J. K; Pavel L. A two-step linear programming model for energy-efficient timetables in metro railway networks. *Transportation Research Part B: Methodological* 93, 2016: 57-74.
- [16]. Yang X; et al. Bi-objective programming approach for solving the metro timetable optimization problem with dwell time uncertainty. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review* 97, 2017: 22-37.
- [17]. Yin J.; et al. Metro train rescheduling by adding backup trains under disrupted scenarios. *Frontiers of Engineering Management* 4.4, 2017: 418-427.
- [18]. Wei L; Zhenzhou Y. A Robust Timetabling Model for a Metro Line with Passenger Activity Information. *Information* 8.3, 2017: 102.
- [19]. Xin G.; et al. Multiperiod-based timetable optimization for metro transit networks. *Transportation Research Part B: Methodological* 96, 2017: 46-67.
- [20]. Hassannayebi E; et al. Train timetabling at rapid rail transit lines: a robust multi-objective stochastic programming approach. *Operational Research* 17.2, 2017: 435-477.
- [21]. Wang H.; et al. Metro timetable optimisation for minimising carbon emission and passenger time: a bi-objective integer programming approach. *IET Intelligent Transport Systems*, 2018.
- [22]. Zhou Y.; et al. Integrated Optimization on Train Control and Timetable to Minimize Net Energy Consumption of Metro Lines. *Journal of Advanced Transportation*, 2018.
- [23]. Keping L; Huang H; Schonfeld P. Metro Timetabling for Time-Varying Passenger Demand and Congestion at Stations." *Journal of Advanced Transportation*, 2018.
- [24]. Shi Jungang; et al. Service-oriented train timetabling with collaborative passenger flow control on an oversaturated metro line: An integer linear optimization approach. *Transportation Research Part B: Methodological* 110, 26-59,2018.
- [25]. Tektaş M; Akbaş A; Topuz V. Yapay Zeka Tekniklerinin Trafik Kontrolünde Kullanılması Üzerine Bir İnceleme.2006.
- [26]. İncekara H. Tıbbi tahlil sonuçlarının analizinde web ara yüzü bulanık uzman sistem tasarımı, Doctoral dissertation, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.2010
- [27]. Durduran S. S; Fatih S. Konya İlinde Meydana Gelen Bisiklet Kazalarının Karar Destek Sistemleri Yardımıyla Web Tabanlı Mekânsal Analizi. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 26(1), 23-32.2011.

- [28]. Hu Z.H; Sheng Z.H. A decision support system for public logistics information service management and optimization. *Decision Support Systems*, 219-229.2014.
- [29]. Çolakoğlu A; Küçükpehlivan G. Kullanıcı odaklı bisiklet yolu güzergâhı belirlenmesi için karar destek modeli önerisi. VIII. Mimarlıkta Sayısal Tasarım Ulusal Sempozyumu, İzmir, İYTE.2014.
- [30]. Lin C; Choy K; Ho, G; Lam H; Pang G. K; Chin K. A decision support system for optimizing dynamic courier routing operations. *A decision support system for optimizing dynamic courier routing operations*, 6917–6933.2014.
- [31]. Lam H; Choy K; Ho G; Cheng S. W.; Lee C. A knowledge-based logistics operations planning system for mitigating risk in warehouse order fulfillment. *International Journal of Production Economics*, 1-17.2015.
- [32]. Başoğlu B; Bulut, M. Kısa dönem elektrik talep tahminleri için yapay sinir ağları ve uzman sistemler tabanlı hibrit sistem geliştirilmesi. *Journal of the Faculty of Engineering & Architecture of Gazi University*, 32(2).2017.
- [33]. Karacasu M; Kentiçi Otobüs Taşımacılığında Özelleştirme İçin Bir Karar Destek Modeli Önerisi: Eskişehir Örneği, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi İstanbul, Türkiye, 2003.
- [34]. Macharis C; Caris A; Jourquin B; Pekin, E. A decision support framework for intermodal transport policy. *European Transport Research Review*, 3(4).2011, 167-178.
- [35]. Caris, A; Macharis, C; Janssens, G. K. Decision support in intermodal transport: A new research agenda. *Computers in industry*, 64(2).2013, 105-112.
- [36]. Sprenger, R.; Mönch, L. A decision support system for cooperative transportation planning: Design, implementation, and performance assessment. *Expert Systems with Applications*, 41(11). 2014, 5125-5138.
- [37]. Sun, F., Dubey, A., White, J., & Gokhale, A. Transit-hub: A smart public transportation decision support system with multi-timescale analytical services. *Cluster Computing*, 2017.
- [38]. Yang Shuo; et al. MILP formulations and a TS algorithm for reliable last train timetabling with uncertain transfer flows. *Journal of the Operational Research Society* 69.8. 2018, 1318-1334.