



Matlab/Simulink Yardımıyla Çok-Araçlı Sinyalizasyon Sisteminin Simülasyonu ve Tren Zaman Çizelgesinin Tasarımı

Mehmet Taciddin AKÇAY^{1*}, İlhan KOCAARSLAN²

¹İstanbul Büyükşehir Belediyesi, Raylı Sistem Daire Başkanlığı, İstanbul/TÜRKİYE

²İstanbul Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği, İstanbul/TÜRKİYE

taciddin.akcay@ibb.gov.tr

Received/Geliş: 19.06.2019

Accepted/Kabul: 27.08.2019

Öz: Raylı ulaşım sistemlerinde fizibilite değerlerinin yakalanabilmesi ve yeterli performansın sağlanabilmesi açısından sinyal sisteminin tasarımı çok önemlidir. Sinyalizasyon sistemi, Avrupa standardı CENELEC uyarınca SIL4 (Emniyet Bütünlük Düzeyi) gibi en yüksek emniyet gereklilikleriyle uyumlu olacak şekilde tasarlanmaktadır. İşletme için operasyonların yönlendirilmesi amacıyla araç üstü sistem ile donanımlar arasında kesintisiz bir bilgi alışverişiyle gerçekleştirilir. Sinyalizasyon sistemi tasarlanırken sistemin ömrü minimum 30 yıl olarak belirlenmektedir. Sinyalizasyon sistemi tren hareketini kontrol etmek, tren güvenliğini sağlamak için kullanılmaktadır. Bu çalışmada matlab/simulink yardımıyla çok-araçlı sinyalizasyon sisteminin simülasyonu ve tren zaman çizelgesinin tasarımı yapılmıştır. Çalışma için bir raylı sistem hattına ait veriler kullanılarak sinyal sisteminin benzetimi yapılarak elde edilen sonuçlar grafikler üzerinden değerlendirilmiştir. Benzetim yardımıyla tren çakışma analizi sefer sıklığı analizi ile birlikte yapılarak sinyal sisteminin performansının ve verimliliğinin artırılması hedeflenmiştir.

Anahtar kelimeler: Matlab; Simülasyon; Sinyalizasyon; Sistem; Tren.

Simulation of Multi-Vehicle Signaling System with Matlab / Simulink and Design of Train Timetable

Abstract: The design of the signal system is very important in order to achieve feasibility values and to provide adequate performance in rail transportation systems. The signaling system is designed to comply with the highest safety requirements such as SIL4 (Safety Integrity Level) according to European standard CENELEC. It is carried out with an uninterrupted exchange of information between the on-board system and the equipment to guide the operations for the enterprise. When designing the signaling system, the life of the system is determined as minimum 30 years. Signaling system is used to control train movement and to ensure train safety. In this study, simulation of multi-vehicle signalization system with the help of matlab / simulink and the design of the train timetable were performed. For the study, the results obtained by simulating the signal system using the data of a rail system line were evaluated on the graphs. With the help of simulation, train overlap analysis is performed together with the frequency of travel analysis to increase the performance and efficiency of the signal system.

Keywords: Matlab; Signaling; Simulation; System; Vehicle.

1. Giriş

Raylı sistemler içerisinde birçok alt disiplini barındıran kompleks sistemlerin bütününden oluşmaktadır. Ulaşım güzergâh etüdleri yapılırken hatlar nüfus yoğunluğuna göre belirlenmektedir. İlgili çalışmalar neticesinde oluşturulan fizibilite raporuna göre hatlara ilişkin performans değerleri ortaya çıkmaktadır. Hatta kullanılacak araç sayısı fizibilite raporuna göre belirlenmektedir [1]. Bir

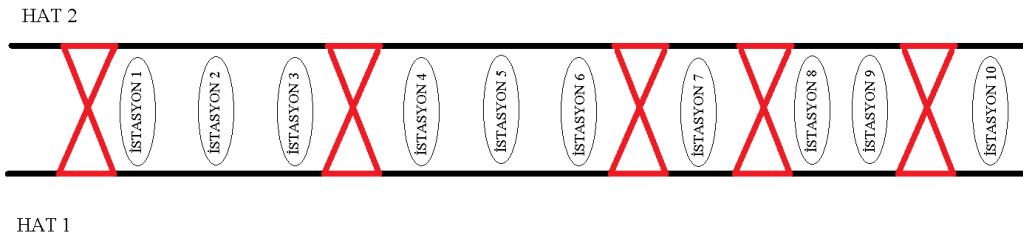
Bu makaleye atıf yapmak için

Akçay, M., T., Kocaarslan, İ., "Matlab/Simulink Yardımıyla Çok-Araçlı Sinyalizasyon Sisteminin Simülasyonu ve Tren Zaman Çizelgesinin Tasarımı" El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi 2019, 6(3); 799-807.

How to cite this article

AKÇAY, M., T., KOCAARSLAN, İ., "Simulation of Multi-Vehicle Signaling System with Matlab / Simulink and Design of Train Timetable" El-Cezeri Journal of Science and Engineering, 2019, 6(3); 799-807.

raylı sistem hattının ana hedefi bir yolcu yükünü bir güzergâh noktasından başka bir güzergâh noktasına en kısa sürede ulaştırmaktır. Bu hedefin gerçekleşmesi için işletmenin verimli ve etkin bir şekilde çalışması gerekmektedir. Raylı sistemlerde sinyalizasyon sistemi yolcu yükünün hedeflenen sürede emniyetli bir şekilde taşınması için tasarlanmaktadır. Bu sayede işletme trafiği için gerekli düzenlemeler yapılmaktadır. Sinyalizasyon sistemi için en önemli parametre sefer sıklığı olarak tanımlanmaktadır. Sefer sıklığı, bir hattın bir yönünden geçen iki araç arasındaki ön tampondan ön tampona ölçülen zaman aralığıdır [2-4]. Sefer sıklığı süresi kavşakta veya rampa noktalarında araçların geçme imkanlarını belirler [5]. Hız ve sefer sıklığı bilgisi trafik mühendisliği için önemli veriler olup kalite ulaşım sistemlerinin tasarımı için gereklidir [6-8]. Bu veri modelleme ve trafik analizi için de kritik bir parametredir [9]. Teknolojinin gelişimiyle bu değer ayrıntılı ve doğru bir şekilde analiz edilebilmektedir [10-11]. Hız ve akış trafik akışının analizi için kullanılmaktadır [12]. Trafik analizi trafik akışının karakteristiğini belirleyen önemli bir unsurdur [13]. Trafik akışının davranışı suyun akışı gibi bir takım parametrelere bağlı olarak belirlenmektedir [14]. Ulaşım altyapı tasarımı ve planlaması bu parametrelere bağlıdır [15]. İşletme hız çeşitliliğini azaltarak trafik akışının harmonize edilmesi ise işletme güvenliği için çalışılan konulardandır [16]. İşletme trafiği için gerekli sefer sıklığının sağlanabilmesi için elektrifikasyon sistemi için gerekli alt yapılar hazırlanmaktadır. Araç hız profilleri ve diğer entegre sistemler ise yine bu doğrultuda oluşturulmaktadır. 11.8 km uzunluğa sahip, 10 istasyondan oluşan ve bünyesinde makas yerleşimlerini barındıran bir raylı sistem hattına ait şematik gösterim şekil 1’de gösterilmektedir.



Şekil 1. İşletme Hattına Ait Şematik Gösterim

Kırmızı bölgeler makas yerleşimlerini gösterirken siyah çizgiler hat 1 ve hat 2 bölgelerini temsil etmektedir. 10 istasyondan oluşan bir raylı sistem hattı ifade edilmiştir. Sinyal sistemi tasarlanırken araca ait hareket denklemlerinin çıkarılması gerekmektedir. (1) ile araca etkiyen net kuvvet aracın dönel kütlelerine ve ivmesine bağlı olarak çıkarılmaktadır.

$$\sum_{i=1}^n F_i = m' \times a \quad (1)$$

(2) de ise aracın ivmesi araç hızına göre hesaplanmaktadır.

$$a = \frac{dv}{dt} \quad (2)$$

Eşitlik (3) ve (4) ile aracın hareketi için gerekli cer kuvveti ve aracın hareketine karşı oluşan direnç kuvveti hesaplanmaktadır.

$$F_{cer} = F_{hareket} + F_{eğim} + F_{kurp} + ma \quad (3)$$

$$F_r = a + Bv + Cv^2 \quad (4)$$

Aracın hareket direnç kuvveti $F_{hareket}$ aracın hızına bağlı olarak artmaktadır. (5) denkleminde $V_{(t)}$ ile $x_{(t)}$ aracın hızı ile konumunu ifade etmektedir. Aracın hızı bu eşitlikle bulunmaktadır.

$$v(t) = \frac{dx}{dt} \quad (5)$$

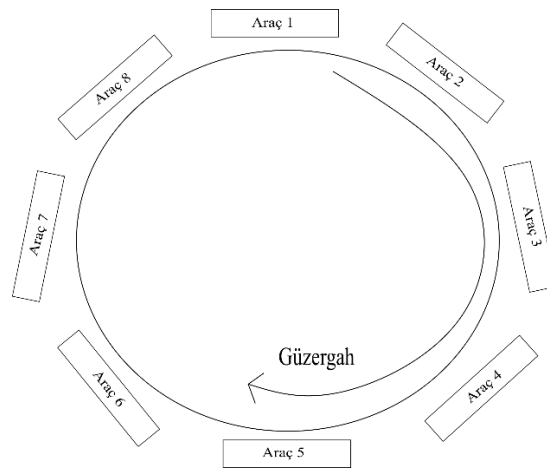
(6) ifadeside ise aracın konumu aracın ilk konumuna, ivmeye ve aracın ilk hızına bağlı olarak hesaplanmaktadır.

$$x(t) = \frac{1}{2}at^2 + v_0t + x_0 \quad (6)$$

(7)'de ise işletme trafiğinde bulunan araç sayısı bulunmaktadır. Toplam seyir süresi Δt ile ifade edilirken sefer sıklığı h sembolü ile gösterilmiştir.

$$A = \Delta t/h \quad (7)$$

Bu eşilikler yardımıyla aracın hareket denklemi hesaplanmaktadır. Şekil 2 ile işletme araç trafiğinin akışı verilmektedir. Bu çalışmada işletme yönü saat yönü olarak tanımlanmıştır.



Şekil 2. İşletme Araç Trafiğininin Akışı

Araç 1'in bulunduğu nokta başlangıç noktası kabul edilirse araç 1'in yine aynı pozisyonuna geldiği noktaya kadar geçen süreye tam tur seyir süresi denilmektedir. Bu tanım ayrıca bir periyotluk süreyi ifade etmektedir.

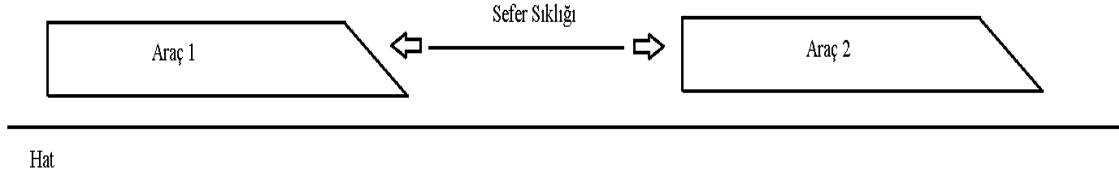
2. Materyal Ve Metod

Bu çalışmada benzetim için matlab/simulink ortamında oluşturulan araç sürüş algoritmaları kullanılarak oluşturulan modeller ile işletme simülasyonu yapılmıştır. Benzetimde raylı sistem hatıyla ilgili gerçek veriler kullanılmıştır. Sinyalizasyon sistemi modellenerek tren zaman çizelgesi oluşturulmuştur. Bu verilerle işletme simülasyonu yapılarak sistem modellenmiştir. Oluşturulan modeller araç ve işletme verileri ile dinamik hareket denklemleri kullanılarak tasarlanmıştır. Çalışma için İstinye-Kağıthane metro hattına ait veriler kullanılmıştır.

2.1. Sinyalizasyon Simülasyon Modeli

Sinyalizasyon sisteminin benzetimi için öncelikle araç hız profilleri oluşturularak seyir süresi elde edilmektedir. Hız profilleri oluşturulurken hız kısıtlamaları, makas yerleşimleri ve diğer unsurlar dikkate alınmaktadır. Hattın eğimi, kurp yerleşimleri yine araç sürüşünü etkileyerek hız profilinde çeşitli sınırlamalar getirmektedir. Örnekleme süresi benzetim için gerekli hassasiyette seçilmiştir. Araç hız profillerinin oluşturulmasından sonra araçlar arası sefer sıklığı sisteme tanımlanarak

işletme oluşturulmaktadır. Şekil 3’de Sinyalizasyon sisteminin en önemli parametrelerinden biri olan ve birbirini takip eden iki araç arasındaki zaman farkını ifade eden sefer sıklığı gösterilmektedir.



Şekil 3. Sinyalizasyon Sisteminde Sefer Sıklığı

İşletme sefer sıklığı fizibilite etüdünde çıkan değerlere uygun değerde alınarak tasarım yapılmaktadır. Araç sayısı bu değer elde edilmesi için gereken koşulları sağlayacak nitelikte olmalıdır. İstasyonlarda bekleme süresi işletmedeki raylı sistem hatlarında kullanılan bir veri olması nedeniyle 20 saniye olarak alınmıştır. Bu verilerin ardından araç trafiği modellenmektedir.

Tren zaman çizelgesi araçların ne sürede hangi konumda olacaklarını gösteren bir planı ifade etmektedir. Bu çizelge ile işletmedeki araç sayısı, sefer sıklığı, seyir süresi, istasyon konumları gibi birçok işletme verisi hakkında bilgi edinilmektedir. Raylı sistem hatlarında işletme araç trafiğinin yönetildiği yer olan kumanda merkezlerinde bu çizelge oluşturularak işletme bu şekilde yönetilmektedir. Bu planlama sayesinde fizibilite ile hesaplanan yolcu yükünün ne seviyede taşındığı ve hat kapasitesine ait bilgiler elde edilmektedir. Zaman çizelgesi hatta gerçekleşecek bir güncelleme ile hangi sonuçların doğacağını öngörülmesine de imkân sağlamaktadır. Sefer sıklığında yaşanacak bir değişim ile araçların gerekli yolcu yükünü taşıyıp taşıyamacağı hesaplanabilmektedir. Ayrıca hattın herhangi bir kısmında gerçekleşecek bir durumdan ötürü hız kısıtlaması oluşturulması halinde bunun etkileri ve seyir süresinin güncellenmesi yine bu plan ile hesaplanabilmektedir.

2.2. İşletme Simülasyonu

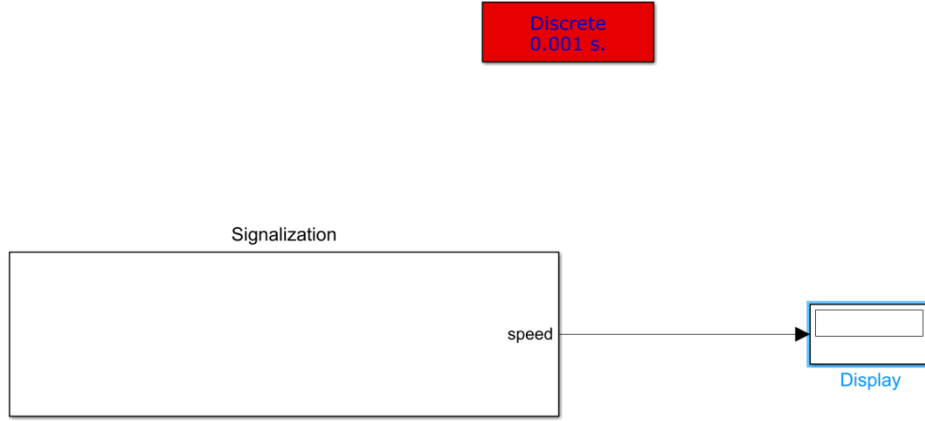
İşletme simülasyonu araç trafiğinin ve tüm işletmesel verilerin işlenerek raylı sistem hattın işletme davranışının test edildiği modellemedir. Sefer sıklığı, işletme süresi, araç sayısı, elektrifikasyon sistem yeterliliği, hat parametreleri gibi birçok unsur sisteme tanımlanarak sistem çalıştırılmaktadır. İşletme simülasyonunda araç trafiği tüm sistemlerin entegre edilmesiyle bütüncül bir operasyon yapılmaktadır.

Tablo 1. Araç Verilerinden Bir Kısım

Araç Özellikleri	
Maksimum İşletme Hızı	80 km/sa
Tren konfigürasyonu	4 araçlı dizi
Tren Uzunluğu	90 m
Maksimum Hızlanma İvmesi	1.1 m/s ²
Maksimum Hızlanma İvmesi (0 – 35 km/s)	1.1 m/s ²
Durağan Halden 80 km/s Hıza Kadar olan Ortalama Hızlanma İvmesi	0.6 m/s ²
Dizi Yolcu Sayısı	1080

Araç hız-konum profillerinin oluşturulması, ortalama hız analizi, tren zaman çizelgesinin oluşturulması, tren çakışma analizi tümüyle işletme simülasyonunda çözülen konuları içermektedir. Performans analizi ile sistemin işletilebileceği minimum sefer sıklığı bu benzetim ile ortaya çıkmaktadır. İşletme simülasyonunda sinyalizasyon sistemine ait sınırlamalar kullanılarak yeterlilik

koşulları test edilmektedir. Depo sahası için gerekli alan, işletme yönü, hat numaralandırmaları yine bu operasyon ile ortaya çıkmaktadır. Araç sayıları, yedek araç sayıları, işletmedeki ticari hız, maksimum hız, seyir süresi, ortalama hız gibi işletmesel veriler bu analiz ile ortaya çıkmaktadır. Bu benzetimin başarısını arttırmak için makas yerleşimi, hat profili gibi aracın seyri için gerekli verilerin sağlıklı bir şekilde sisteme tanıtılması gerekmektedir. Tablo 1 ile araç verilerine ait örnek bir tablo verilmektedir.



Şekil 4. İşletme Yönü

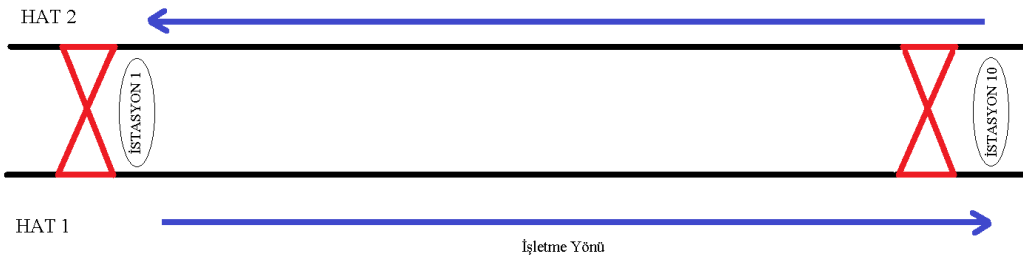
Araçlara ait veriler kullanılarak araçlara ait hız profilleri oluşturulup işletme kurgusu gerçekleştirilmektedir. Sisteme ait benzetim ekranı şekil 4 ile verilmektedir. Araca ait hızlar elde edilerek sisteme ait plan oluşturulmaktadır.

3. BULGULAR

İşletme benzetimi için seyir süresi ve ortalama hız analizi, araç hız konum profillerinin oluşturulması, sefer sıklığı analizi ve tren çakışma analizi yapılmıştır. Bu durumlara ait çalışmalar grafikler üzerinden anlatılmıştır.

3.1. Seyir Süresi ve Ortalama Hız Analizi

Seyir süresi bekleme süreleri dahil olmak üzere istasyonlar arasında bir tam turun gerçekleşmesi ile elde edilen süreyi ifade etmektedir. Bu çalışmada işletme yönü hat 1 yönünde istasyon 1'den istasyon 10'a doğru iken hat 2 yönünde istasyon 10'dan istasyon 1'e doğrudur. Şekil 5'de işletme yönü mavi okla gösterilmektedir.



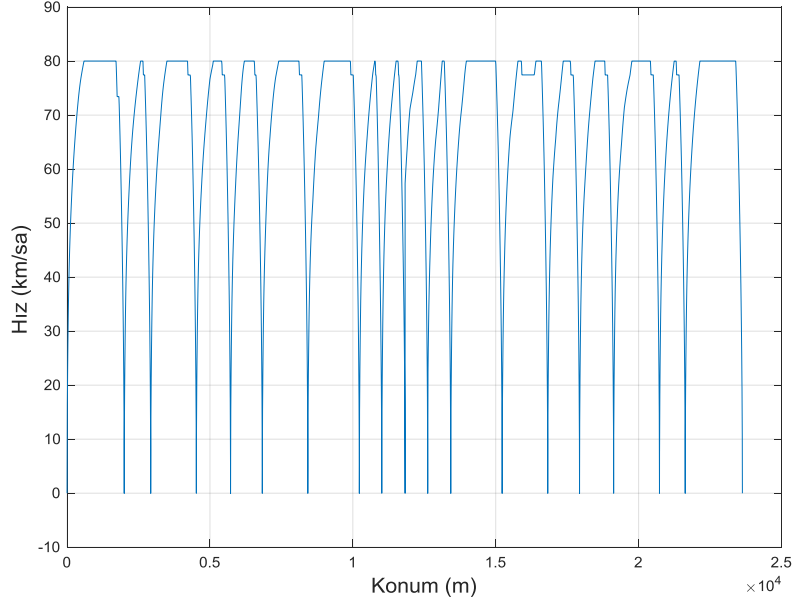
Şekil 5. İşletme Yönü

Bu çalışmada işletme süresi hız kısıtlamaları ve diğer unsurlar hesaba katıldığında 1864.8 saniye çıkmıştır. Ortalama hız ise güzergâh ve seyir süresi dikkate alındığında 45.55 km/sa olarak

hesaplanmıştır. Bu hız ticari hızı ifade etmekte olup maksimum ve minimum değerler dışında seyahat boyunca etkili olan hız anlamına gelmektedir.

3.2. Araç Hız-Konum Profillerinin Oluşturulması

Şekil 6'da araca ait hız konum profili gösterilmektedir. Şekilde görüldüğü üzere aracın hızı maksimum olan hız 80 km/sa ile minimum hız olan 0 km/sa arasında değişmektedir.



Şekil 6. Araç Hız-Konum Profili

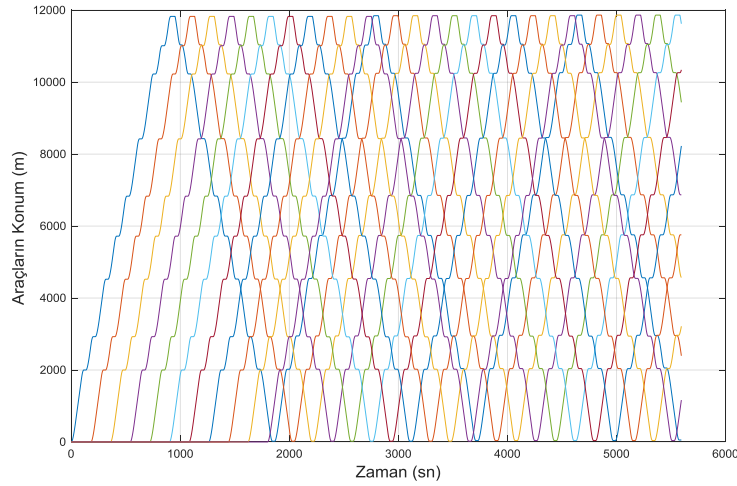
0 konumu referans noktasını göstermekte olup aracın işletmeye başladığı noktayı temsil etmektedir. Araç maksimum işletme hızına ulaştığı andan itibaren bir süre bu hızını korurken istasyon bölgesine yaklaşırken yavaşlamaya başlamaktadır. Bu sürenin kısalığı arada uzunluğu ise istasyonlar arası mesafeye bağlı olarak değişmektedir.

3.3. Sefer Sıklığı Analizi

İşletme simülasyonu için çok önemli bir değer olan sefer sıklığı süresi sinyalizasyon sisteminin tasarımı için de çok kritiktir. Tren zaman zaman çizelgesi sefer sıklığına bağlı olarak oluşturulmaktadır.

Bu çalışmada 180 saniye sefer sıklığına sahip bir sinyal sisteminin bulunduğu hat için çalışma yapılmıştır. Şekil 7'de 180 saniye sefer sıklığına göre oluşturulan tren zaman çizelgesi gösterilmektedir.

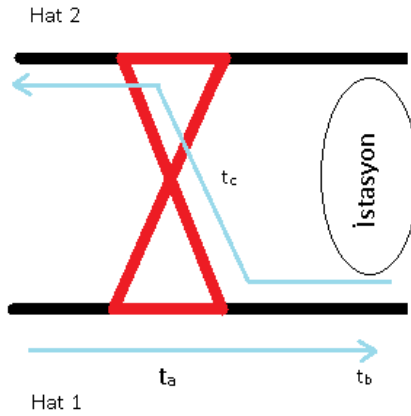
Bu çalışmada 180 saniye sefer sıklığından dolayı 11 araçlı bir diziyeye ihtiyaç oluşmaktadır. Şekilde görüldüğü gibi araçlar arasında sefer sıklığı süresi kadar zaman farklı bulunmaktadır. Bu işlem her bir periyotta devam etmekte olup işletme süresi boyunca sürmektedir. Sefer sıklığı analizi ile işletmenin kullanabileceği maksimum araç sayısı ve bunların dizilişi ortaya çıkmaktadır. Hangi aracın hangi sürede nereden geçeceği yine bu analiz ile ortaya çıkmaktadır.



Şekil 7. Tren Zaman Çizelgesi

3.4. Tren Çakışma Analizi

Tren çakışma analizi araçların işletilmesi için gerekli minimum sefer sıklığı süresinin sağlanması için çok önemlidir. Bu analizde elde edilen süre minimum sefer sıklığı süresinin teyidi için önemlidir. Şekil 8 ile tren çakışma analizine ait şekil verilmektedir.



Şekil 8. Tren Çakışma Analizi

(8) ile minimum sefer sıklığı süresinin teyidi için gerekli denklem verilmektedir. T_a aracın hat 1 makas bölgesinden istasyon bölgesine gitmesi için gereken süreyi, t_b istasyon bölgesinde geçen süreyi, t_c ise aracın istasyon bölgesinden hat 2 makas bölgesine gitmesi için gereken süreyi ifade etmektedir.

$$t_{min} = t_a + t_b + t_c \quad (8)$$

Bu çalışma için bu değer hesaplandığında 180 saniyeden düşük değer çıktığı teyit edilmiştir. $120 < 180$ olduğu için minimum sefer sıklığı sağlanabilmektedir.

4. Benzetim Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Benzetim sonuçları ile ilgili bilgiler tablo 2 ile verilmektedir. İşletme simülasyonu ile elde edilen analiz sonuçları ile operasyonun performans kriterleri belirlenmiştir. İşletme yapılırken bu verilerden elde edilen sonuçlara göre planlama yapılmalıdır.

Tablo 2. Benzetim Sonuçlarıyla İlgili Bilgiler ve Öneriler

Analiz Adı	Sonuç	Değerlendirme	Öneri
Seyir Süresi ve Ortalama Hız Analizi	1864.8 sn – 45.55 km/sa	Kabul Edilebilir Ticari Hız	Ticari Hız Belirli Periyotlarla Kontrol Edilmelidir
Araç Hız-Konum Profillerinin Oluşturulması	0 ile 80 km/sa aralığı	Araç Tasarım Limitlerinin İçinde Fizibilite	Hız Kısıtlamaları Gerçekleşmesi Durumunda Güncellenmelidir
Sefer Sıklığı Analizi	180 sn	Değerine Uygun	Yolcu Taşıma Kapasitesi Ölçülmelidir
Tren Çakışma Analizi	120 sn	<sefer sıklığı, başarılı sonuç	Sefer Sıklığı Performansı İle Test Edilmelidir

5. Sonuçlar

Bu çalışmada matlab/simulink yardımıyla çok-araçlı sinyalizasyon sisteminin simülasyonu ve tren zaman çizelgesinin tasarımı yapılmıştır. Çalışma için 10 istasyon oluşan ve 11.8 km uzunluğa sahip bir demiryolu hattı tercih edilerek çeşitli durumlara ait analizler yapılmıştır. İşletme benzetimi yardımıyla araç hız-konum profilleri oluşturulmuş olup seyir süresi ile aracın ortalama hızı, sefer sıklığı ve tren çakışma durumları analiz edilmiştir. Fizibilite değerlendirmesi ile elde edilen yolcu kapasitesi hesabına uygun olarak istenen sefer sıklığının sağlanıp sağlanmadığının kontrolü işletme simülasyonu ile yapılmaktadır. Bu hat için istenen 180 saniye sefer sıklığı 11 araçla elde edilmiştir. Ticari hız ise 45.55 km/sa elde edilerek raylı sistem hatlarında istasyonlar arası erişim açısından başarılı olarak kabul edilen bir değerdir. Tren çakışma analizi ile elde edilen 120 saniye ile minimum sefer sıklığı süresi elde edilmiştir. Bu analiz ile raylı sistem hattında gerekli modernizasyonların yapımı ile elde edilebilecek minimum sefer sıklığı süresi hesaplanmaktadır. İşletme simülasyonu yapılırken aracın hareketi için gerekli olan cer gücü ihtiyacının cer merkezleri tarafından sorunsuz olarak karşılandığı kabul edilmektedir. Raylı sistem hatlarının sayısı arttıkça hatlar arası entegrasyonlar gerçekleşmekte ve değişen yolcu yükü için fizibilite değerleri güncellenmektedir. Bundan ötürü işletme simülasyonu hem yeni tasarlanan hatlar için hem de mevcut hatlar için çok kritik bir çalışmadır. Tüm bu hatların performansı, verimliliği ve başarılı bir işletme için bu çalışmanın sağlıklı bir şekilde yapılması gerekmektedir.

Kaynaklar

- [1]. Kocaarslan, İ., Akçay, M., T., Ulusoy, S., E., Bal, E., Tiryaki, H., “Creation of a dynamic model of the electrification and traction power system of a 25 kV AC feed railway line together with the analysis of different operation scenarios using Matlab/Simulink”, Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences, 2017,25: 4254-4267.
- [2]. Riccardo, R., Massimiliano, G., “An empirical analysis of vehicle time headways on rural two-lane two-way roads”, Procedia - Social and Behavioral Sciences, 2012, 54: 865 – 874.
- [3]. Suweda, I., W., “Time Headway Analysis to Determine the Road Capacity”, Jurnal Spektran, 2016, 4 (2): 71-75.
- [4]. Nakamura, H., “Analysis of minimum train headway on a moving block system by genetic algorithm”, Transactions on the Built Environment, 1998, 34: 1014-1022.
- [5]. Jang, J., Park, C., Kim, B., Choi, N., “Modeling of Time Headway Distribution on Suburban Arterial: Case Study from South Korea”, ”, Procedia - Social and Behavioral Sciences, 2011, 16: 240 – 247.

- [6]. Maurya, A., K., Das, S., Dey, S., Nama, S., “Study on Speed and Time-headway Distributions on Two-lane Bidirectional Road in Heterogeneous Traffic Condition”, *Transportation Research Procedia*, 2016, 17: 428 – 437.
- [7]. Maurya, A., K., Dey, S., Das, S., “Speed and Time Headway Distribution under Mixed Traffic Condition”, *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, 2015, 11: 1774-1792.
- [8]. Minh, C., C., Sano, K., Matsumoto, S., “The Speed, Flow and Headway Analyses of Motorcycle Traffic”, *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, 2005, 6: 1496 – 1508.
- [9]. Badhrudeen, M., Ramesh, V., Vanajakshi, L., “Headway Analysis using Automated Sensor Data under Indian Traffic Conditions”, *Transportation Research Procedia*, 2016, 17: 331 – 339.
- [10]. Kong, D., Guo, X., “Analysis of vehicle headway distribution on multi-lane freeway considering car–truck interaction” *Advances in Mechanical Engineering*, 2016, 8 (4): 1–12.
- [11]. Moriyama, Y., Mitsuhashi, M., Hirai, S., Oguchi, T., “The Effect on Lane Utilization and Traffic Capacity of Adding an Auxiliary Lane”, *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 2011, 16: 37 – 47
- [12]. Yamuna, S., “Study of Traffic Flow Characteristics for Heterogeneous Traffic”, *IOSR Journal of Engineering (IOSRJEN)*, 2014, 4 (5): 41-51.
- [13]. Faheem, H., Hashim, I., H., “Analysis of Traffic Characteristics at Multi-lane Divided Highways, Case Study from Cairo-Aswan Agriculture Highway”, *International Refereed Journal of Engineering and Science (IRJES)*, 2014, 3 (1): 58-65.
- [14]. Mathew, T., V., Rao, K., V., K.,” *Fundamental Parameters of Traffic Flow*”, *Introduction to Transportation Engineering*, NPTEL, May 3, 2007.
- [15]. Horvat, R., Kos, G., Sevrovic, M., “Traffic Flow Modelling On The Road Network in the Cities”, *Tehnicki vjesnik*, 2015, 22 (2): 475-486.
- [16]. Geistefeldt, J., “Capacity effects of variable speed limits on German freeways”, *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 2011, 16: 48 – 56.