

*Industrial Engineering Article*  
/  
*Endüstri Mühendisliği Makalesi*



**Research Article / Araştırma Makalesi**  
**A SIMULATION BASED SCHEDULING IN BUS RAPID TRANSIT SYSTEM**

**Engin PEKEL<sup>\*</sup>, Selin SONER KARA**

*Yıldız Teknik Üniversitesi, Makine Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Yıldız-İSTANBUL*

**Received/Geliş: 24.12.2014 Revised/Düzelme: 08.01.2015 Accepted/Kabul: 14.01.2015**

---

**ABSTRACT**

Population density difference between regions has continued to increase sharply. It has happened with the impact of factors such as Industry, suitable climatic conditions, tourism and transportation and the public transport has become more mixed. It is clear that this mixed theme should be boosted for both ones who service and ones who get service, if this recovery was happened with a stochastic schedule based on simulation, it will make the system more optimal. Having carried out the system to be modeled by using Arena simulation software in the scope of this study, the system will be analyzed with diverse scenarios. However, it is required some data such as inter-arrival times of passengers, inter-stops times, capacity of bus in order to run the model and statistical distributions of some of them will be determined. With the success of an optimal scheduling, it's aimed to meet the required capacity for the passengers who received service in the Metrobus line.

**Keywords:** Bus rapid transit, simulation, modeling, scheduling, public transport.

**HIZLI ULAŞIM SİSTEMİNDE SİMÜLASYON BAZLI ÇİZELGELEME**

**ÖZET**

Bölgeler arasındaki nüfus yoğunluk farkı çok yüksek bir şekilde artmaya devam etmektedir. Bu durum endüstrinin yaygınlığı, uygun iklim koşulları, turizm ve ulaşım faktörlerinden dolayı meydana gelmekte ve sonucunda toplu taşıma sistemi karmaşık bir hale dönüşmektedir. Bu karmaşık yapının hem hizmet veren hem de hizmet alan için iyileştirilme gerekliliği ortada olup bunun benzetim tabanlı stokastik bir çizelgeleme ile gerçekleştirilmesi sistemi daha ideal hale getirecektir. Bu çalışma kapsamında Arena simülasyon programı kullanılarak sistemin modellenmesi gerçekleştirildikten sonra farklı senaryolar ile analiz yapılacaktır. Fakat sistemin çalıştırılması için yolcuların gelişler arası süresi, duraklar arası süre, otobüs kapasiteleri gibi bazı verilere ihtiyaç duyulacak ve bunlardan bazılarının istatistiksel dağılımları belirlenecektir. İdeal bir çizelgeleme oluşturulmasıyla, Metrobüs hattında hizmet alan yolcular için gerekli kapasitenin karşılanması hedeflenmektedir.

**Anahtar Sözcükler:** Toplu taşıma, hızlı ulaşım sistemi, simülasyon, modelleme.

---

**1. GİRİŞ**

Bir hızlı ulaşım sistemi, çok fazla otobüs yoğunluklu olan bir sistemdir. Böyle bir sistemin, genellikle daha özel tasarlanması gerekir çünkü daha iyi hizmet vermesi amaçlanmaktadır. Hızlı ulaşım sistemi, gündelik gecikmeleri ortadan kaldıracak ve sistemin kalitesini arttıracak bir altyapıya sahip olmalıdır. Hızlı ulaşım sistemi, hizmet verme sürecini kendine ayrılan özel bir yol

---

<sup>\*</sup> Corresponding Author/Sorumlu Yazar: e-mail/e-ileti: pekelc@hotmail.com, tel: (212) 383 28 87

üzerinden sağlamaktadır. Bu sistem, hafif raylı ve metro sistemine benzer özellikleri barındırmaktadır. Normal otobüs seferlerine göre çok daha hızlı ve kolay olduğundan, yollara daha iyi bir hizmet sunmaktadır. Özellikle kalabalık şehirlerde meydana gelen yoğun trafığa takılma sorununu ortadan kaldırmaktadır. Hızlı ulaşım sistemini tanımlayan beş temel özellik bulunmaktadır. Bu özellikler, çok önemli derecede hızlı seyahati sağlamanın yanında daha güvenli seyahat olanağı tanımaktadır. Bu özellikler aşağıda gösterildiği gibidir [1];

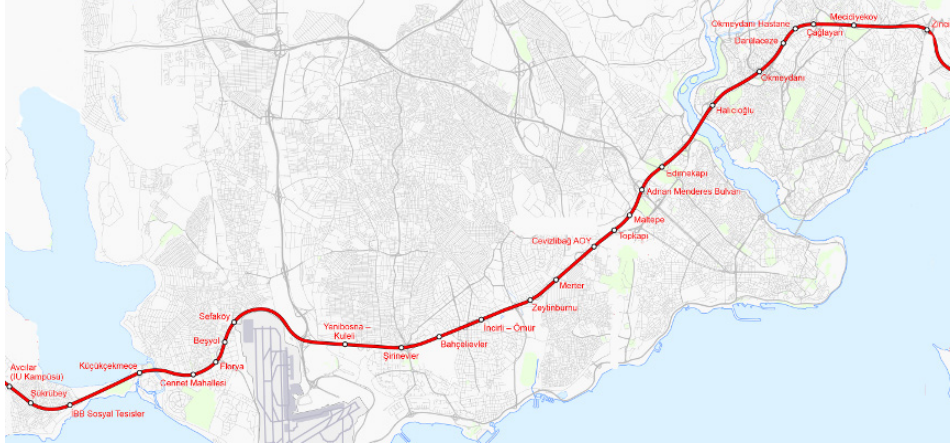
- Tahsis edilen geçiş hakkı: Ayrılan yolu, sadece otobüslerin kullanabilmesi anlamına gelmekte olup, yoğun trafikten kaynaklanan gecikmeleri ortadan kaldırmaktadır
- Otobüs yolunun düzenlenmesi: Park eden, bekleyen ya da dönmeye çalışan araçlardan ayıran bir düzenlemenin yapılmasıdır
- Turnikedeki ödeme: Ücret ödemesi, daha otobüse binmeden önce yapıldığından, otobüste ödeme işlemi için kuyruk oluşması önlenmiş olmaktadır
- Kesişim düzenlenmesi: Kapalı olmayan yollarda, hızlı ulaşım sistemine geçiş üstünlüğünün verildiğinden, gecikmelerin engellenmesi sağlanmaktadır
- Biniş platform seviyesi: İstasyonların yükseklik seviyesi ile otobüsün yükseklik seviyesinin aynı olması, engellilerin daha rahat kullanımına olanak tanımaktadır.

Hızlı ulaşım ve toplu taşıma sistemi ile ilgili yapılan birçok çalışma mevcuttur. Gunawan ve arkadaşları, sistem performansını değerlendirmek için etkili ve verimli bir araç öneren bir sayısal model çalıştılar. Bu çalışma aynı zamanda ayrık-olay tabanlı olup, vissim programında modelin uygulamalarını gösteriyordu. Bunlara ek olarak, hem hızlı otobüs ulaşım sistemi dinamiklerini modelleyen hemde güçlü bir kullanımı olan simülasyon modeli olacağını savundular [2]. Papageorgio ve arkadaşları, trafik simülasyon modeli vasıtasıyla hızlı ulaşım sistemini planlayıcı bir yaklaşım önerdiler. Önerilen yaklaşım, geçerli bir trafik ağı modelini geliştirmeye ve nihai olarak bir takım hızlı ulaşım senaryolarını değerlendirme üzerine yoğunlaşmıştır. Bahsedilen BRT senaryoları bölünmüş şeritlerini içermekte ve sinyal kontrolünü yürütmektedir [3]. Rangarajan ve arkadaşları, hızlı ulaşım sistemi kurulmadan önce ve kurulduktan sonraki gerçek davranışsal istatistikleri kullandılar ve Pune'de kurulan yeni hızlı ulaşım sistemini temel ayrık olay simülasyonunu kullanarak simüle ettiler. Bu simülasyon çeşitli açılardan değerlendirilmiştir. Üstelik, yeni sistemin fizibilite analizi mevcut şartlar göz önünde tutularak yapılmıştır [4]. Li ve arkadaşları, hızlı ulaşım sistemleri üzerine tek şeritli otobüs yolunu çalıştılar. Çalışma, tek şeritli olanların çift şeritli olanlara göre uygulanabilir olduğunu savunmakta olup, bunun sebeplerini ise maliyet ve fiziksel kısıtlardan kaynaklandığını belirttiler. Toplam seyahat zamanını ve bekleme zamanını en aza indirecek amaç dahilinde, hızlı ulaşım otobüslerinin senkronizasyon gereksinimlerini tanımlayacak bir optimizasyon modeli öne sürdüler. Öne sürülen modelin etkileri VISSIM tabanlı bir simülasyon modelinde çalıştırılarak incelenmiştir [5]. Abdelghany ve arkadaşları, yaptıkları çalışmada, kentsel ulaştırma ağlarındaki hızlı ulaşım sistemi hizmetlerinin planlanmasını ve değerlendirilmesini destekleyecek bir dinamik simülasyon modelini sunmuşlardır. Sunulan simülasyon modeli yolcuların biniş süresini azaltacak geliştirilmiş otobüs durakları ve trafiğin sıkıştığı kesişim noktalarında sinyalizasyon önceliklendirme gibi farklı karakterleri barındırmaktadır. Bu çalışma kapsamında birden fazla deney yapılmış ve farazi hızlı ulaşım sistemine olan etkileri üzerine çalışılmıştır [6].

## **2. GERÇEK OLAY: İSTANBUL'DA HIZLI ULAŞIM SİSTEMİ**

Metrobüs, İstanbul'da hizmet veren bir hızlı ulaşım hattıdır. Metrobüs, metroya benzer bir şekilde duraklara zamanında ulaşabilen ve metroda olduğu gibi peronlardan yolcu iniş ve binişlerinin gerçekleştirildiği kendine ait yollarda ilerleyen bir sistemdir. Metrobüs sistemi, ilk olarak Topkapı-Avcılar hattında hizmet vermeye başlamıştır. Diğer ekspres yollara göre yüksek gelişme potansiyeli gösteren, yatırım ve işletme maliyeti açısından diğer raylı sistemlere oranla oldukça düşük olan ve kurulumu çok daha kısa sürede tamamlanan Metrobüs sistemi seyahat süresini

azaltarak yolculara zamandan tasarruf sağlamaktadır. Yapımına 2007 yılı başında başlanan 18,3 kilometrelik hat, sekiz aylık bir süreçte tamamlanarak hizmete sunulmuştur. Günümüzde, toplam uzunluğu 52 kilometreyi bulan 44 istasyonlu Beylikdüzü-Söğütlüçeşme metrobüs hattında yolculuk süresi ortalama olarak 100 dakika ve günlük ortalama 800 bin yolcu taşınmaktadır. Metrobüs sisteminde farklı tipte araçlar bulunmaktadır. Bu araçlar Capacity, Phileas, Citaro, Conecto, Karsan şeklindedir. Sistemde mevcut olan araç sayıları sırasıyla, 250, 50, 100, 85, 50 olmak üzere toplamda 535 adet araç bulunmaktadır. Araç tipleri sırasıyla, 165, 258, 160, 160, 155 yolcu kapasitesine sahiptirler [7]. Çalışma kapsamında incelenecek olan hattın haritası Şekil 1’de gösterilmiştir.



Şekil 1. Metrobüs sisteminde incelenen hattın haritası

### 3. SİMÜLASYON MODELİNİN KURULMASI

Metrobüs sistemine ait simülasyon modelinin kurulması Arena paket programında yapılmıştır. Arena, sistemin modellenmesine imkan vermek için bazı modüller sunmaktadır. Sistemin modellenmesi için gerekli olan Arena modülleri aşağıda verilmiştir.

#### 3.1. Oluşturma Modülü

Sistemde bulunan varlıklar için bir başlangıç noktasıdır. Varlıklar, belirli bir çizelge kullanılarak oluşturulacağı gibi varışlar arası zaman aralıklarına bağlı olarak da oluşturulabilirler. Çizelge 1’de sistemde tanımlanan 2 farklı varlığın tipleri ve özellikleri görülmektedir. Entity 1 sisteme gelen yolcuları, Entity 2 Zincirlikuyu-Avcılar arasında çalışan Metrobüs hattını temsil etmektedir. Çizelge 1’de görülen “toavcilar\_arr(k)” ifadesi araçların hangi zaman aralığında sisteme alınacağını gösterirken, “fromzinc\_quant(k)” ifadesi ise araçlar sisteme girerken hangi miktarda olacağını belirtmektedir. Bu iki ifade “k” indeksi vasıtasıyla, zamana bağlı olarak farklı değerler almaktadır.

#### 3.2. Karar Modülü

Karar modülü, sistem içerisinde karar verme işlemini gerçekleştirilebilmesini sağlar. Bu modül karar verebilmek için bir veya daha fazla koşula ve bir veya daha fazla olasılık değerine dayanan çeşitli seçenekleri barındırır. Eğer Metrobüsün kapasitesi durakta bekleyen yolcu sayısından küçükse bir sonraki durakta kapasite 0, tam tersi ise bir sonraki duraktaki kapasite mevcut kapasiteden bulunan durakta bekleyen yolcu sayısının çıkartılması ile bulunacaktır.

Çizelge 1. Simülasyon modeline ait varlık tipleri ve özellikleri

Varlık Tipi	Değer	Gelen varlık sayısı	Maks. Varışlar	Değer tipi
Entity 1	1	Her bir istasyon için farklıdır	Infinite	Constant
Entity 2	toavcilar_arr(k)	fromzinc_quant(k)	Kullanıcı kontrollü	Expression

### 3.3. Atama Modülü

Atama modülü sistemde içerisinde bazı özel tanımlamalar ve hatta küçük çaplı denklemler yazmamızı olanak sağlayan modüllerdir. Bu modülün etkili bir şekilde kullanılması sistem içerisinde çok esnek modeller kurmamıza yardımcı olmaktadır. Tek bir atama modülü içerisinde birden çok atama işlemini gerçekleştirebiliriz.

Kurulan modelde gelecek istasyonlarda mevcut olacak kapasitelerin nasıl belirleneceği aşağıdaki denklemlerde gösterilmektedir.

$$C_{n-1} \geq Q_n \rightarrow C_n = C_{n-1} - Q_n \quad (1)$$

$$C_{n-1} < Q_n \rightarrow C_n = 0 \quad (2)$$

$C$  : Kapasite

$Q$  : Kuyrukta bekleyen yolcu sayısı

$n$  : Aktivitenin olduğu durak

### 3.4. Geciktirme Modülü

Geciktirme modülü sistem içerisinde bulunan varlığın belirlenen bir zaman boyunca geciktirilmesini sağlar. Bir varlık delay modülüne vardığında zaman gecikme ifadesi değerlendirilir ve varlık belirlenen zaman boyunca bu modülde kalır. Bu modül, Metrobüs'ün durakları yolcu alırken ve indirirken harcayacağı zamanı ifade etmesi kısmında kullanılmıştır.

### 3.5. Bırakma Modülü

Bu modül belirlenen miktardaki varlıkların gruplarından ayrılmasını ve ayrılan varlıkların modelde bulunan bir diğer modüle gönderilmesini sağlar. Bırakma modülünün quantity sekmesinde ifade sistemden ayrılacak varlıkların miktarını, starting rank gruptan ayrılacak varlıkların başlangıç yerini ve member attributes ise temsili varlık özellik değerlerini nasıl atanacağını belirleme metodudur.

### 3.6. Alma Modülü

Bu modül, kuyrukta bulunan belirli bir sıradaki varlıkları belirlenen bir sıradan başlayarak kaldırmayı sağlar. Başlama sırası değeri ile miktarın toplamı seçilen kuyruktaki varlıkların sayısını aşmamalı aksi durumda sistemde hata sonucunu verecektir. Bu modül vasıtasıyla, Metrobüs'ün hangi durakta ne kadar yolcu kapasitesine sahip olduğu ve ne kadar yolcu alabileceği belirlenebilecektir.

### 3.7. Arama Modülü

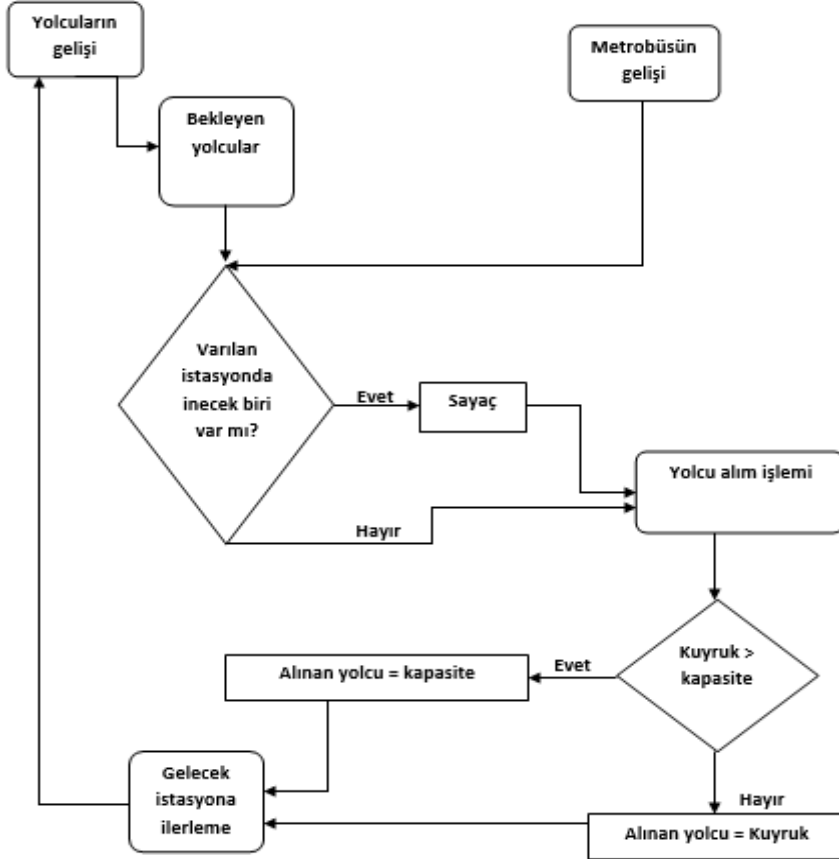
Arama modülü sistemde bulunan varlıkların sıralarını ya da belirli arama şartını sağlayan J genel değişkeninin değerini bulmak için bir kuyruğu, grubu veya ifadeyi tarayarak bulur. Yığın içindeki varlıkların aranmasına birinci değerden başlanması için başlangıç değerine 1 verilip, aramanın sonlanacağı değer ise yığın içindeki tüm varlıkların taranmasıyla olacaktır. Daha önceden

sistemde tanımlanmış olan yolcuların hangi istasyonda ineceğini gösteren özellikler atanmıştır. Yolcuların hangi durakta inecekleri “varis” adlı parametreye bağlanmıştır. Burada “varis” değeri bir olan yolcular bu istasyonda inecek yolcuları göstermekte olup durum sağlanırsa yolcuların indirilmesi sağlanacaktır.

### 3.8. Tutma Modülü

Bu modül sistemdeki bir varlığı ya bir uyarı gelinceye kadar ya da belirli bir durum sağlanıncaya dek tutar. Eğer belli bir durumu sağlayıncaya kadar tutulacak ise belirlenen şart sağlanmadığı müddetçe varlığın bırakılması gerçekleşmeyecektir. Kurulan simülasyon modelinde, yolcuların bekleme durumu ancak durağa Metrobüs geldiği zaman değişecektir. Yani, Metrobüs gelene kadar geçecek sürede yolcular beklemeye devam edecektir. Bunu sağlamak için, tutma modülünde sonsuz bekleme kısmı seçilmelidir.

Metrobüs simülasyon modelinin kurulması için gerekli olan Arena modüllerinin işlevi ve kendi modelimizde nasıl kullanılacağı anlatılmıştır. Sistemin daha iyi anlaşılması açısından, modelin akış diyagramının verilmesi uygun görülmüştür. Modelin akış diyagramı şekil 2’de gösterilmiştir.

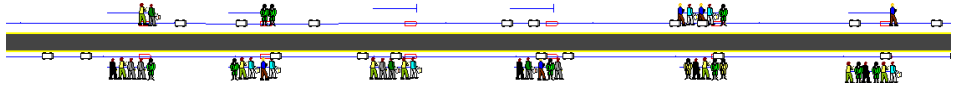


Şekil 2. Metrobüs sistemin akış diyagramı

Bu akış diyagramı hangi noktalarda nasıl düşünmemiz ve sistemi nasıl bütünlüyci bir biçimde kurmamız gerektiğini göstermesi açısından son derece önemli olup, sistemin anlaşılması açısından yol göstericidir. Örnek olarak, yolcuların sisteme gelişlerinin bir dağılıma uyması gerektiği görülmektedir. Dolayısıyla belirli bir dağılıma uydurulma çalışması yapılması gerektiğinden, bu işlemi gerçekleştirmek için Arena'nın veri analizi kısmı kullanılmıştır. Yolcu alınması sırasında ise mevcut yeni yolcu alma kapasitenin varılan duraktaki yolcu kuyruğundan fazla olup olmamasına göre alınabilecek yolcu miktarı belirlenecektir. Örnek olarak, mevcut kapasite 5 birim iken kuyruktaki bekleyen yolcu sayısı 10 ise alınabilecek yolcu sayısı kapasite kadar yani 5 birimdir.

#### 4. MODELİN DOĞRULANMASI

Modelin doğrulanması, modelin hedeflediğimiz gibi davrandığını temin eden bir işlemdir. Daha genel bir ifade ile modelin çalıştırılması olarak bilinen aşamadır. Modelin doğrulanması ise kurduğumuz modelin gerçek sistemdeki gibi çalıştığını temin eden bir işlemdir. Çalışan bir simülasyon modeline sahip ya da en azından tamamlanmış komponentlerimiz varsa modelin tasarlandığı gibi çalışıp çalışmadığından emin olmak isteriz. Bu çok kolay bir işlem gibi görünebilir fakat kurulan model ve sistem çok daha karmaşık bir yapıya sahipse modelin doğrulanması ve onaylanması daha zor bir hale dönüşebilir [8]. Eğer modellenen sistemin doğrulanması yapılmak isteniyor ise öncelikle bir animasyonu hazırlanmalıdır. Daha açık bir ifade ile doğrulama fazından önce modelin animasyonunun hazırlanması gerekir. Hazırlanan animasyon yeterince detaylı bir şekilde kurulmalı ki sistem içerisinde meydana gelen olayları görmemize olanak tanınmalıdır. Bu sayede model çalıştırıldığında sistemin gerçek sistemdeki gibi davranıp davranmadığını çok daha rahat bir biçimde gözlem yapabilir ve test edebiliriz. Şekil 3'de Metrobüs modeline ait animasyon görüntüsüdür.



Şekil 3. Metrobüs simülasyon modeline ait Arena animasyon görüntüsü

Bu simülasyon çalışması sadece Zincirlikuyu-Avcılar arasında bulunan duraklar için kurulmuş olup bir günde bu duraklarda aktif olan yolcu sayısı yaklaşık olarak 450 bin civarı bulunmuş olup çizelge 2'de görülmektedir. Metrobüs'ün mevcut koşulları düşünüldüğünde elde sonuçların gayet uyumlu olduğu görülmektedir.

Çizelge 2. Metrobüs sistemindeki yolcu miktarlarının karşılaştırılması

Verinin ait olduğu kısım	Minimum	Maksimum
İ.E.T.T'den alınan veriye göre günlük gelen yolcu sayısı	436,893	448,497
Simülasyon modelinin sonucunda ortaya çıkan günlük yolcu sayısı	446,589	450,911

#### 5. ALTERNATİF SENARYOLAR VE ANALİZİ

##### 5.1. Alternatif Senaryoların Geliştirilmesi

Alternatif senaryoların geliştirilmesi ve uygulanması gerçekten uzun zaman alan bir süreçtir. Bu süreci en aza indirecek arayüz formunun oluşturulmasıyla farklı senaryoların oluşturulması daha kolay bir hale gelmiştir. Farklı senaryolar üretilirken temel olarak tek bir Metrobüs hattı üzerine yoğunlaşmıştır. Bu hatta Zincirlikuyu-Avcılar arasında hizmet vermektedir. Simülasyon modeli Arena programı üzerinden yürütülmüş olup altı farklı senaryo için 10 replikasyon yapılmıştır.

Dolayısıyla Metrobüs sisteminin bir günlük simülasyonu her bir senaryo için yaklaşık 10 saat sürmüştür. Her bir senaryonun çalıştırılıp sonuçların elde edilmesi ile birlikte geniş kapsamlı veri setine ulaşılmış olup detaylı analizler yapılmıştır.

Bu detaylı analizleri vermeden önce, bu analizlerin elde edilmesi sırasında her bir senaryo 10 kez çalıştırılıp ve sonuç olarak bu değerler içerisinde çok iyi sonuçlar olduğu gibi çok kötü sonuçlarda bulunmuştur. Dolayısıyla analizlerin değerlendirilmesi sırasında 4 farklı küme oluşturma yoluna gidilmiştir.

**Çizelge 3.** Senaryoların değerlendirilmesi için oluşturulan dört farklı kümenin detayları

$B_z$	$W_z$	$B_a$	$W_a$
Zincirlikuyu-Avcılar	Zincirlikuyu-Avcılar	Avcılar-Zincirlikuyu	Avcılar-Zincirlikuyu
En iyi	En kötü	En iyi	En kötü

Altı farklı senaryoya ait maksimum araç sayısı ve kalkışlar arasındaki sürenin ne kadar olduğu çizelge 4’de gösterilmiştir. Her bir senaryo için kalkıştaki araç sayısı aynıdır.

**Çizelge 4.** Altı farklı senaryoya ait maksimum Metrobüs sayısı ve sefer aralıkları

Saatler	Senaryo 1		Senaryo 2		Senaryo 3		Senaryo 4		Senaryo 5		Senaryo 6	
	Maks. metrobüs	Zaman aralığı(s n)	Maks. metrobüs	Zaman aralığı	Maks. metrobüs	Zaman aralığı	Maks. metrobüs	Zaman aralığı	Maks. metrobüs	Zaman aralığı	Maks. metrobüs	Zaman aralığı
0-5	18	300	18	250	18	200	18	180	25	300	30	180
5-6	100	180	100	150	100	100	100	60	125	60	150	60
6-9	200	120	200	90	200	60	200	60	225	60	250	60
9-15	150	150	150	150	150	100	150	90	175	90	200	90
15-20	200	120	200	90	200	60	200	60	225	60	250	60
20-22	150	150	150	120	150	90	150	60	150	60	175	60
22-24	100	180	150	150	150	100	150	90	150	90	175	90

## 5.2. Alternatif Senaryoların Analizi

Alternatif senaryolar geliştirilip ve detaylı olarak açıklandıktan sonra altı farklı senaryonun her durak için elde edilen kuyrukta bekleyen ortalama yolcu sayısı aşağıda gösterilen çizelgelerde verilmiştir. Çizelge 5, Avcılar yönü için geçerli olmak üzere her durakta bekleyen yolcu sayısını gösterirken, çizelge 6 ise Zincirlikuyu yönü için geçerli olup her durakta bekleyen yolcu sayısını göstermektedir. Çizelge 5 ve 6’da gösterilen koyu ifadeler çok sık kullanılan aktarma istasyonlarını belirtmektedir. Çizelge 5’de Avcılar yönü için 4.senaryo 6.senaryoya göre biraz daha iyi sonuç vermekte fakat aralarında çok küçük fark bulunduğundan ihmal edilebilir derecededir. Nitekim Zincirlikuyu yönü için çizelge 6 incelendiğinde, 6.senaryonun 4.senaryoya göre son derece üstün olduğu görülmektedir. 6.senaryo sadece 4.senaryoya göre üstün değil, aynı zamanda diğer senaryolara göre de son derece iyi olduğu görülmektedir.

Hem çizelge 5 hem de çizelge 6 incelendiği zaman, 6.senaryonun aktarma istasyonları dahil bir çok Metrobüs istasyonunda daha iyi sonuç verdiği görülmektedir. 6.senaryonun daha iyi sonuç vermesi, istasyonlarda bekleyen yolcu sayılarının daha az olması anlamını taşımaktadır. Bu çalışma kapsamında, metrobüs hattının sadece Avcılar-Zincirlikuyu arasında çizelgeleme yapıldığından, 5.senaryo Metrobüs sisteminin mevcut durumunu yakın bir şekilde temsil etmektedir.



Çizelge 5. Avcılar yönü ve her durak için ortalama bekleyen yolcu sayısı

Duraklar	Sce-1	Sce-2	Sce-3	Sce-4	Sce-5	Sce-6
Zincirlikuyu	19,07	17,19	13,18	12,25	12,66	12,21
<b>Mecidiyeköy</b>	<b>14,35</b>	<b>13,06</b>	<b>9,66</b>	<b>8,5</b>	<b>8,74</b>	<b>8,74</b>
Çağlayan	3,16	3,04	1,91	1,76	1,75	1,81
Hastane	1,38	1,27	0,85	0,73	0,76	0,74
Perpa	2,43	2,16	1,42	1,28	1,26	1,3
Okmeydanı	1,14	1,03	0,72	0,59	0,61	0,61
Halıcioğlu	1,46	1,33	0,87	0,79	0,83	0,78
Ayvansaray	1,94	1,63	0,98	0,86	0,94	0,89
<b>Edirnekapı</b>	<b>5,80</b>	<b>5,49</b>	<b>3,49</b>	<b>3,28</b>	<b>3,17</b>	<b>2,96</b>
Bayrampaşa	3,02	3,43	1,37	1,25	1,27	1,13
Topkapı	1,51	1,2	0,43	0,35	0,38	0,35
<b>Cevizlibağ</b>	<b>38,85</b>	<b>31,95</b>	<b>4,56</b>	<b>3,79</b>	<b>4</b>	<b>4</b>
Merter	35,78	32,96	1,63	1,43	1,47	1,48
Zeytinburnu	44,28	32,58	4,25	2,97	2,85	2,75
İncirli	67,71	51,94	4,37	2,28	2,55	2,62
Bahçelievler	75,27	68,96	3,7	3,15	2,48	2,54
<b>Şirinevler</b>	<b>168,11</b>	<b>167,55</b>	<b>9,49</b>	<b>6,76</b>	<b>10,15</b>	<b>5,75</b>
<b>Yenibosna</b>	<b>191,89</b>	<b>140,4</b>	<b>12,18</b>	<b>4,52</b>	<b>5,64</b>	<b>6,07</b>
Sefaköy	167,28	99,07	10,04	6,07	10,27	5,6
Beşyol	180,40	120,73	7,65	5,55	8,99	5,88
Florya	65,87	58,8	3,25	4,05	4,45	3,13
Cennet	87,42	80,54	6,18	5,86	10,19	6,43
Küçükçekmece	15,78	14,52	2,04	1,66	2,53	1,86
İbb	15,71	15,23	1,92	2,37	3,5	1,67
Şükrübey	69,57	63,75	4,57	6,57	16,74	6,15

Çizelge 6. Zincirlikuyu yönü ve her durak için ortalama bekleyen yolcu sayısı

Duraklar	Sce-1	Sce-2	Sce-3	Sce-4	Sce-5	Sce-6
Avcılar	15,03	15,72	11,17	11,03	10,26	9,7
Şükrübey	7,14	7,01	4,98	5	4,4	4,1
İbb	3,43	3,42	2,41	2,43	2,14	1,9
Küçükçekmece	3,23	3,17	2,77	2,4	1,99	1,87
Cennet	4,93	5	5,1	4,54	3,14	2,71
Florya	2,48	2,41	2,39	2,07	1,58	1,36
Beşyol	4,32	4,21	3,65	3,66	2,84	2,49
Sefaköy	10,51	10,63	11,21	11,78	7,39	5,57
<b>Yenibosna</b>	<b>10,60</b>	<b>11,23</b>	<b>10,44</b>	<b>12,04</b>	<b>7,36</b>	<b>6,71</b>
<b>Şirinevler</b>	<b>38,74</b>	<b>40,38</b>	<b>27,15</b>	<b>31,46</b>	<b>20,53</b>	<b>13,81</b>
Bahçelievler	18,38	20,89	11,97	13,73	7	4,69
İncirli	17,98	37,23	7,61	8,49	6,25	6,12
Zeytinburnu	37,26	48,63	21,52	17,6	8,7	7,68
Merter	23,52	28,4	8,2	9,83	4,47	3,17
<b>Cevizlibağ</b>	<b>59,25</b>	<b>83,96</b>	<b>20,55</b>	<b>21,39</b>	<b>12,15</b>	<b>8,55</b>
Topkapı	2,32	2,61	1,25	1,92	0,85	0,67
Bayrampaşa	51,00	87,44	13,77	14,62	7,64	4,39
<b>Edirnekapı</b>	<b>182,55</b>	<b>245,84</b>	<b>47,3</b>	<b>37,48</b>	<b>20,96</b>	<b>12,12</b>
Ayvansaray	45,09	36,03	10,4	8,91	4,65	3,33
Halıcioğlu	123,35	115,08	20,64	14,15	7,47	4,23
Okmeydanı	113,34	135,27	22,59	10,31	6,43	3,01
Perpa	11,86	12,57	3,96	6,92	3,77	3,4
Hastane	13,60	12,62	3,11	4,31	2,36	1,99
Çağlayan	3,99	4,11	2,98	3,05	2,53	2,42
<b>Mecidiyeköy</b>	<b>14,12</b>	<b>14,91</b>	<b>11,75</b>	<b>10,87</b>	<b>9,78</b>	<b>9,05</b>

Alternatif senaryoların analizi kısmında özellikle ilgilendiğimiz araç, kuyrukta bekleyen ortalama yolcu sayısıdır. Bizim için istenen durum maksimum en iyi iki ya da üç senaryonun seçilmesidir. Bu durumu sağlamak içinde tüm kümeler içerisinde bulunan bir senaryonun bulunması ve bu senaryonun tüm kümeler içerisinde en iyi değere sahip olması gerekmektedir. Çizelge 7'den yola çıkarak, 4. ve 5. senaryoların iyi sonuç verdiği görülmektedir. 4, 5 ve 6. senaryolarda elde edilen APIQ değerleri birbirine oldukça yakındır. APIQ değeri, her durak göz önüne alınarak hesaplanan kuyrukta bekleyen ortalama yolcu sayısını göstermektedir.

**Çizelge 7.** Avcılar yönü ve en iyi senaryo için kuyrukta bekleyen ortalama yolcu sayısı

	1.Senaryo	2.Senaryo	3.Senaryo	4.Senaryo	5.Senaryo	6.Senaryo
APIQ	30	25	2.97	2.23	2.22	2.29

Çizelge 8'de gösterilen değerler incelendiğinde, 5. ve 6. senaryoların daha iyi değerler ürettiği görülmektedir. Çizelge 8'den sadece en iyi iki değer alınmış olmasının temel nedeni seçilen değerlere daha yakın değerler mevcut değildir. Halbuki çizelge 7'de üç değerde birbirine çok yakın olduğundan üç senaryoda alınmıştır.

**Çizelge 8.** Zincirlikuyu yönü ve en iyi senaryo için kuyrukta bekleyen ortalama yolcu sayısı

	1.Senaryo	2.Senaryo	3.Senaryo	4.Senaryo	5.Senaryo	6.Senaryo
APIQ	19.8	19.41	6.61	6.15	4.56	3.54

Çizelge 8 ve Çizelge 9 incelendiği zaman, her iki yön için en iyi durumu sağlayan senaryo 6.senaryo olarak bulunmaktadır. Bu noktadan hareketle, en iyi olasılıkların meydana gelmesi durumunda 6.senaryonun seçilmesinin makul olduğudur. Eğer çizelge 7'de 6.senaryo dahil edilmemiş olsaydı, en iyi sonucu veren senaryo seçilmeden elenmiş olacaktı.

$$B_z \cap B_a = \{x: x \in B_z \wedge x \in B_a\}$$

$$B_z \cap B_a = \{6.Senaryo\}$$

**Çizelge 9.** Avcılar yönü ve en kötü senaryo için kuyrukta bekleyen ortalama yolcu sayısı

	1.Senaryo	2.Senaryo	3.Senaryo	4.Senaryo	5.Senaryo	6.Senaryo
APIQ	51.2	41.19	4.42	3.54	4.72	3.49

Çizelge 9'da en kötü olasılıkların oluşması sonucunda meydana gelecek ortalama kuyruk uzunluğu değerleri görülmektedir. Buradaki değerlerin sadece Avcılar yönü için geçerli olduğu unutulmamalıdır. Çizelge 9'da görüldüğü üzere, 4 ve 6.senaryo en iyi senaryolar olarak görülmektedir.

**Çizelge 10.** Zincirlikuyu yönü ve en kötü senaryo için kuyrukta bekleyen ortalama yolcu sayısı

	1.Senaryo	2.Senaryo	3.Senaryo	4.Senaryo	5.Senaryo	6.Senaryo
APIQ	32.7	39.55	11.55	10.79	6.66	5.00

Çizelge 10'da Zincirlikuyu yönü için en kötü olasılıkların oluşması durumunda ortaya çıkacak ortalama kuyruk uzunlukları görülmektedir. En iyi senaryo olarak 5 ve 6.senaryolar seçilecektir. Çizelge 9 ve çizelge 10'u sağlayan kesişim senaryosu ise 6.senaryo olarak bulunmaktadır.

$$W_z \cap W_a = \{x: x \in W_z \wedge x \in W_a\}$$

$$W_z \cap W_a = \{6.senaryo\}$$

Bu aşamaya kadar yapılan işlemler, hem en iyi olasılıkların meydana gelmesi durumunda ortaya çıkacak en iyi kesişim senaryosunu hem de en kötü olasılıkların meydana

gelmesi durumunda ortaya çıkacak en iyi kesişim senaryosunu bulmak olmuştur. Bundan sonraki kısım, tüm kesişim kümesini bulmak olacaktır. Her tür durum karşısında bize en iyi sonuç veren 6.senaryo olmuştur.

$$B_z \cap B_a \cap W_z \cap W_a = \{6.senaryo\}$$

### 5.3. Belirlenen İdeal Senaryonun Detayları

Çalışma sonucunda bulunan en ideal senaryo 6.senaryo olmuştur. Çizelge 11'de 6.senaryoya ait detaylı çizelgeleme sonuçları bulunmaktadır. 06:00-09:00 zaman aralığında, Avcılar'dan Zincirlikuyu yönüne doğru ilerleyecek araçlar her 60 saniye 3 adet otobüs halinde yollanması gerekirken, tam tersi istikamet için 2 adet otobüs yollanması yeterli olacaktır. 6.senaryo ve Zincirlikuyu yönü için, en iyi olasılıkların oluşması halinde kuyrukta bekleyen ortalama yolcu sayısı 3.54, en kötü olasılıkların sonucunda ise 5 olarak gerçekleşmektedir. Zincirlikuyu yönünde, en kötü ihtimalle kuyrukta bekleyen yolcu sayısı yaklaşık 5 kişi olurken, en iyi şartlar altında bekleyen yolcu sayısı yaklaşık 4 kişi olacaktır. 6.senaryo ve Avcılar yönü için, en iyi olasılıkların oluşması halinde kuyrukta bekleyen ortalama yolcu sayısı 2.29, en kötü olasılık altında bu değer 3.49 olarak gerçekleşmektedir. Avcılar yönü için, kuyrukta bekleyen ortalama yolcu sayısı en iyi şartlarda yaklaşık olarak 2 kişi, en kötü şartlar altında yaklaşık olarak 3 kişi olacaktır.

Çizelge 11. 6.senaryoya ait çizelgeleme sonuçları

Hat	Zaman dilimleri				
		Kalkışlar arası süre (sn)	Maksimum Metrobus sayısı	Zincirlikuyu yönü için her kalkıştaki araç sayısı	Avcılar yönü için her kalkıştaki araç sayısı
Entity 2 (Zincirlikuyu- Avcılar)	00:00-05:00	180	30	1	1
	05:00-06:00	60	150	1	1
	06:00-09:00	60	250	3	2
	09:00-15:00	90	200	2	2
	15:00-20:00	60	250	2	3
	20:00-22:00	60	175	2	2
	22:00-00:00	90	175	1	1

## 6. SONUÇ

Bu çalışma kapsamında 6 farklı senaryo geliştirilmiştir. Yukarıda bahsettiğimiz 4 farklı küme için maksimum 2 ya da 3 senaryo seçilmiştir. Uygulanan bazı eleme aşamalarından sonra ise, 6.senaryo en iyi senaryo olarak bulunmuştur. 5.senaryonun mevcut Metrobüs sistemi olarak baz alındığında, 6.senaryonun mevcut sistemden daha iyi sonuç verdiği belirlenmektedir. Bununla birlikte, hem Metrobüs sisteminde hizmet alanlar hem de hizmet verenler açısından bir iyileştirme olacağı görülmektedir. Gelecek çalışma olarak, modele maliyet faktörünün eklenmesi sistemin daha etkin çalışmasına olanak tanıyacaktır. Bu açıdan, simülasyon modelinde maliyet faktörünün eklenmemiş olması çalışmanın zayıf yönünü göstermektedir.

Bu simülasyon modeli üzerinden yapılacak olan çalışma, farklı hat tiplerinin uygulanması ve başarısının ölçülmesi olacaktır. Bu çalışmanın, iyi sonuçlar vermesi hedeflenen çalışmanın başarılı olması açısından son derece önemli bir göstergedir. Bir sonraki çalışma, geliştirilen simülasyon modelinin maliyet faktörü ile birlikte tüm Metrobüs sistemine başarılı bir şekilde entegre edilmesi olacaktır.

**REFERENCES / KAYNAKLAR**

- [1] Institute for Transportation & Development Policy, What is BRT, [www.itdp.org/library/standards-and-guides/the-bus-rapid-transit-standard/what-is-brt/](http://www.itdp.org/library/standards-and-guides/the-bus-rapid-transit-standard/what-is-brt/), 14 Aralık 2014.
- [2] Gunawan F.E., Suharjito, Gunawan A.A.S., “Simulation Model of Bus Rapid Transit”, EPJ Web of Conferences, 68, 1-7, 2014.
- [3] Maimaris A., Papageorgiou G., Loannou P., et al., “Planning for effective bus rapid transit systems: A scenario simulation modelling based approach”, Control in Transportation Systems 13th IFAC Symposium on Control in Transportation Systems, 13, 366-371, 2012.
- [4] Rangarajan A., “Modelling, simulation and feasibility analysis of bus rapid transit system in Pune, India”, International Journal of Industrial and Systems Engineering, 11,81-96, 2012.
- [5] Li J. Q., Song M. K., Li M., et al., “Planning for Bus Rapid Transit in Single Dedicated Bus Lane”, Transportation Research Record, 2,76-82, 2009.
- [6] Abdelghany K. F., Mahmassani H. S., Abdelghany A. F., “A Modelling Framework for Bus Rapid Transit Operations Evaluation and Service Planning”, Transportation Planning and Technology, 30,571-591,2009.
- [7] İ.E.T.T, Metrobüs Sistemi Temel Elemanları. Available from:<http://metrobus.iett.gov.tr/tr/metrobus/pages/metrobus-sistemi-temel-elemanlari/297>[accessed December 14, 2014].
- [8] Kelton W. D., Sadowski R. P., Swets N. B., Simulation with Arena, 5.baskı, McGraw-Hill, New York, A.B.D, 2010, 2-3.