

KENTİÇİ OTOBÜS TAŞIMACILIĞINDA YENİ BİR MODEL ÖNERİSİ VE SİMÜLASYON TEKNİĞİ İLE PERFORMANS DEĞERLEMESİ

Erdal YILMAZ

Marmara Üniversitesi, İ.İ.B.F., İşletme Bölümü, Öğretim Görevlisi, Dr.

A NEW MODEL FOR URBAN BUS TRANSPORTATION AND PERFORMANCE EVALUATION WITH SIMULATION TECHNIQUE

Abstract: One of the essential problems of a city is the problem of transportation and one basic subject of this problem is the public transportation. The key role in the public transportation system belongs to the bus transportation. From this approach, the subject of this paper is "The Line Planning in Urban Transportation", and within which the current condition is analyzed and new model suggestions are developed. The comparison between the current status and proposed models is made by the support of simulation technique regarding the determined performance criteria. This study concentrates on the line-planning problem and analyzes in detail the current status of Istanbul. In this study, current problems and disadvantages are tried to be determined and then new methods are suggested for the line between Kadıköy-Sahrayı Cedit that was chosen as an application field.

Keywords: Urban Bus Transportation, Line Planning, Simulation.

KENTİÇİ OTOBÜS TAŞIMACILIĞINDA YENİ BİR MODEL ÖNERİSİ VE SİMÜLASYON TEKNİĞİ İLE PERFORMANS DEĞERLEMESİ

Özet: Ulaşım problemi, bir kent için temel sorun alanlarından birisidir ve problemin temel unsurlarından birisi de toplu taşıma sistemidir. Toplu taşıma sisteminde ise kilit rol karayolu ve otobüs taşımacılığındadır. Bu yaklaşımla çalışmamızın konusu olarak "Kentiçi Otobüs Taşımacılığında Hat Planlaması" konusu ele alınmış, çalışma kapsamı içerisinde mevcut durum incelenerek hat planlaması problemi çerçevesinde yeni model önerileri getirilmiştir. Önerilen modeller ile mevcut durum arasındaki kıyaslama belirlenen performans ölçütleri kapsamında benzetim tekniği yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma İstanbul ili özelinde hat planlama problemine odaklanmaktadır. Uygulama alanı olarak Kadıköy-Sahrayı Cedit hattı seçilmiştir. Uygulama alanına yönelik olarak öncelikle mevcut durum incelenmiş sonrasında ise çözüm olarak iki alternatif senaryo önerilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kentiçi Otobüs Taşımacılığı, Hat Planlama, Simülasyon.

I. GİRİŞ

Nüfusun ve motorlu taşıt sayılarının hızlı artış düzeyleri günümüzde, ulaşım problemini kent yaşantısı içerisinde en önemli sorunlardan birisi haline getirmiştir. Özellikle anakentlerde kent merkezlerine yapılan baskı geçtiğimiz yüzyıl boyunca her geçen gün artış göstermiş ve günümüze gelindiğinde artık merkezlerin taşımakta güçlük çektiği bir noktaya ulaşmıştır. Ulaşım sorununda en büyük çözüm seçeneği olan toplu taşıma sistemlerine ilişkin klasik yaklaşımlar bu ağır baskıyı hafifletebilme yeteneğini ne yazık ki gösterememiş ve alternatif bakış açılarının ortaya konulmasını zorunlu hale getirmiştir. Bu yaklaşımla daha önceleri sıcak bir şekilde karşılanmayan "aktarmalı yolculuk" yapma fikri kentiçi ulaşım taşımacılığı sisteminde kaçınılmaz olarak uygulamaya sokulmuştur [1]. Bu amaçla özellikle karayollarında ortaya çıkan yoğunluğu alternatif ulaşım araçlarına kaydırabilmek çabası ile raylı sistemleri ve eğer mümkünse deniz taşımacılığını lastik tekerlekli ulaşım ile uyumunu sağlayabilecek, aktarmalı sistemler tasarlanmaya başlanmıştır.

En ideal çözüm, uyumlu bir şekilde çalışan karayolu-deniz ve raylı sistem ulaşım araçları ile trafik

yoğunlukları düşürülmüş, toplam ulaşım süreleri kısaltılmış ve ulaşım konforu yükseltilmiş sistemlerin hayata geçirilmesidir [2]. Ancak raylı taşımacılık sistemleri ekonomik olarak, deniz ulaşımı ise gerek coğrafi gerekse ekonomik olarak her güzergâh için uygulamaya konulabilecek sistemler değildirler.

Bu nedenle benzer alternatif bir bakış açısının kentiçi otobüs taşımacılığı sistemine uyarlanmasının faydalı olabileceği noktasından hareketle çalışmamızda kentiçi otobüs taşımacılığında hat düzenlemesi problemine ilişkin yeni iki model önerisi ortaya konulmaya çalışılmıştır. Yeni yaklaşım ile ortaya konulan model İstanbul ili Kadıköy merkezli otobüs hatları için detaylı olarak tanımlanarak, belirlenen performans ölçütleri çerçevesinde mevcut durum ile önerilen modeller kıyaslanmıştır. Değerlendirme sırasında kentiçi ulaşım problemlerinin karmaşık ve belirsizlik içeren yapısına çok uygun olan ve bu alanda yapılan çalışmalarda da yoğun olarak benzetim tekniği kullanılmıştır [3-6].

Bu noktada çalışmamızda öncelikle problem tanımlanarak mevcut durum ve önerilen modeller ortaya konulmaya çalışılmış, bu aşamanın ardından oluşturulacak benzetim modeli için gerekli veriler

derlenerek benzetim programı oluşturulmuş ve program çalıştırılarak performans değerleri belirlenmeye çalışılmıştır. Mevcut durum ile önerilen modeller elde edilen benzetim çıktıları yardımıyla kıyaslanmış, bulgular son bölümde değerlendirilmeye çalışılmıştır.

II. HAT PLANLAMASI PROBLEMİ VE YENİ BİR MODEL ÖNERİSİ

Çalışmamızın konusunu oluşturan “hat planlaması” problemi, sistemde kaç farklı hat olacağı ve bu hatlardaki otobüslerin hangi rotaları kullanarak hangi sıklıkta hangi duraklar arasında sefer yapacağı ile ilgilidir. Çok temel bir soruya cevap araması itibari ile aslında tüm sistemin yapısını birebir etkileyen geniş kapsamlı bir soru olan hat planlaması dolaylı olarak sefer sıklıklarına, toplam sefer sürelerine, sistemde kaç adet otobüsün ve personelin çalışacağına, günlük toplam kaç kişinin sistemden yararlanacağına ve sistemin işletme maliyetinin ne olacağına vb. ilişkin cevapları da bünyesinde barındırmaktadır. Bu açıdan bakıldığı zaman hat planlaması, toplu taşıma sisteminin bütününe etkileyen bir unsur olarak karşımıza çıkmaktadır.

Hat planları oluşturulurken tüm dünyada yaygın olarak kullanılan mevcut yöntem, temel bir prensibe dayanmaktadır: “müşterilerin mümkün olan en az aktarma ile ulaşımını” gerçekleştirebilmelerini sağlayabilmek. Bunu mümkün kılabilmek için ise, mevcut durumda, çok değişik bölgeler arasında direkt otobüs hatları tanımlanmıştır. Bu durum ise aktarma sayısını azaltmakla beraber, örn. İstanbul ili genelinde yine de yolculukların %60’tan fazlası aktarmalı olarak gerçekleştirilmektedir, [7] sistemde bazı problemlere neden olmuştur. Bu problemler arasında başlıcaları;

- otobüslerin ulaşım sürelerinin ve hat uzunluklarının fazlalığı,
- yolcuların durakta bekleme sürelerinin yüksekliği,
- duraklarda ortaya çıkan yolcu birikimleri,
- yolcu almak ve indirmek için durağa yanaşan otobüslerin oluşturduğu kuyruklar,
- otobüslerdeki yolcuların otobüslere homojen dağılamaması, bunun sonucunda otobüslerin doluluk oranlarının dengesizliği,
- çok fazla hatlı, çok fazla sayıda otobüsün heterojen olarak trafiğe çıkışları sonucunda özellikle merkezlere yakın ana arterlerde trafik yoğunluğunun artması, vb.

Doğal olarak yeni bir model önerebilmek için yola

çıkış noktamız mevcut sisteme ilişkin eleştirilerin ortadan kaldırılması olmuştur ve bu hedef doğrultusunda otobüs taşımacılığında hizmet veren şirketlerin amaçlarının yeniden tanımlaması gerekmektedir. Mevcut durum itibari ile “en az sayıda aktarma ile seyahat” olarak özetleyebileceğimiz amaç yerini; “toplam ulaşım sürelerinin minimize edildiği, otobüs doluluk oranlarının birbirine daha yakın olduğu, planlaması ve kontrolü daha kolay, hizmet kalitesi yüksek, buna karşın taşıma maliyetleri daha düşük bir taşıma sistemi tasarlamak” amacına bırakmalıdır.

Bu amaca yönelik olarak geliştirilen yeni model için ortaya konulması gereken temel prensipler ise şu şekilde sıralanabilir:

- Şehir merkezlerine yakın aktarma yapılabilecek duraklara sahip,
- Uzun ve çok sayıda hattın yerini alacak daha kısa, daha az sayıda ve daha esnek hatlardan oluşan,
- Şehir merkezlerine yakın bölgelerde ring sefer esasına göre çalışan ve her durakta durmayan, dolayısıyla çok daha hızlı,
- Şehir merkezlerindeki kalabalığı en kısa zamanda bu merkezlerin dışına aktarmayı hedefleyen,
- Daha esnek olan yapısı sayesinde diğer toplu taşıma araçları ile (ray ve deniz taşımacılığı) uyumu kolaylıkla yapılabilen, bir sistem.

Belirlenen temel prensipler doğrultusunda çalışmamız kapsamında iki farklı senaryo ile yeni bir model önerisi ortaya konulmaya çalışılmıştır. Senaryolara ilişkin tanımlamalar ve beklenen avantajlar şu şekilde özetlenebilir:

Senaryo 1: Mevcut durumdaki tüm hatlara ilişkin ana duraklar şehir merkezlerindeki ana duraklardan alınarak şehir merkezlerine ve ana arterlere yakın, belirlenecek “aktarma durakları”na alınacaktır. Böylece çok değişik bölgelere giden farklı tabelalara ait otobüslerin şehir merkezlerine girişleri engellenecektir. Değişik bölgelerden aktarma duraklarına toplanan yolcular ise şehir merkezine gitmek için belirlenmiş ve çok sık bir şekilde hareket eden tek bir hatta ait otobüse binerek şehir merkezine ineceklerdir.

Bu senaryodan beklenen avantajlar şu şekilde sıralanabilir:

- Şehir merkezlerindeki yolcu ve otobüs yoğunluğunun azalması,
- Otobüs doluluk oranlarının birbirine

yaklaştırılması,

- Planlama, koordinasyon ve kontrol kolaylığı,
- Bütünsel bir toplu taşıma sistemine uyumunu kolaylaştırmak,
- Normal trafiğin yükünü azaltmak,
- Otobüslerin etkin kullanımı ile maliyet avantajı sağlamak ve hizmet kalitesini arttırmak,
- Şehir merkezlerindeki büyük ve hantal ana durak yapısını daha küçük, estetik ve esnek bir hale getirebilmek,

Senaryo 2: Senaryo 1'den farklı olarak senaryo 2'de aktarma durağı ile şehir merkezi arasında hareket etmek üzere belirlenen tek hat üç bölünerek hatlara ait tabelalar üç farklı renk ile tanımlanacaktır (örn. Kırmızı, yeşil ve mavi). Ana durak-aktarma durağı arasında kalan otobüs durakları da sırası ile aynı renklere göre bölünecektir. Üç farklı renkte tabelalara sahip otobüsler sadece kendi renklerindeki duraklarda duracaklardır.

Bu senaryo ile senaryo 1'de beklenen avantajlara ek olarak,

- Toplam ulaşım sürelerindeki azalışlar,
- Duraklardaki bekleme zamanlarını minimize edilmesi,
- Küçük oranlarda da olsa yakıt tasarrufu sağlanması, beklenmektedir.

III. SİMÜLASYON MODELİ

Kantitatif analiz araçlarından en geniş kullanım alanına sahip olan benzetim, gerçek sistemin özelliklerini, görünüşünü ve karakterini matematiksel bir model olarak kopyalamaya çalışır. Burada amaç, çeşitli olayların sisteme olan etkilerini tahmin edebilmeye yönelik deneylerin yapılabilmesidir [8].

Simülasyon deneysel problem çözme tekniğidir, bir optimizasyon tekniği değildir. Çözüm tek bir kesin cevap sunmaz. Simülasyon modeli "yaparak öğren" prensibini somutlaştırır. Bunun yerine karar vericiye çözümlerini test edebileceği bir model sunar [9]. Bu açıdan benzetim daha çok modellenen sistemin performans ölçülerini tahmin etmede kullanılan bir yöntem olarak ifade edilebilir [10].

Simülasyon tekniğinin geçmişi Çin'deki 5000 yıl öncesinin savaş oyunlarına (weich) kadar götürülebilir ki bu noktadan itibaren 1900'lerin ikinci yarısına kadar bu

teknik, bütün askeri güçlerce savaş stratejilerinin test edilmesinde, askeri amaçla kullanıla gelmiştir. [11]

İkinci Dünya Savaşı sırasında, büyük matematikçi John von Neumann'ın bir niceleyici teknik olarak "Monte Carlo Simülasyonu"nu geliştirmesi ile bu savaş oyunu yeni bir yaklaşım kazandı. Los Alamos Laboratuvarı'ndaki çok karmaşık ve çok pahalı fizik problemlerinin çözümü için kullanılan benzetim tekniğinin yaygınlaşması ise bilgisayarlardaki gelişmelere paralel olarak ilerledi [11]. 1950'lerde işletme problemlerine de uygulanmaya başlayan benzetim tekniği için önceleri yalnızca genel amaçlı programlama dilleri (örn. Fortran, Pascal) kullanıldı [12]. 1960'lara gelindiğinde kullanımı yaygınlaşan bu teknik için özel bilgisayar dilleri de geliştirilmeye başlandı (GPSS ve SIMSCRIPT, vb.) ve bu diller zaman içerisinde giderek daha gelişkin bir hâl aldı (SLAM II, GPSS/H, GPSS/PC, SIMAN IV., SIMAN V. vb.) [13]. Özellikle 1980'lerden sonra yaygınlaşan bilgisayar kullanımı ile benzetim çözümleri giderek daha yaygın bir şekilde kullanılmaya başlandı. 1980'lerin sonlarında ve 1990'larda ulaşılan teknolojinin de yardımıyla grafik modeller ve animasyonlarla desteklenmiş benzetim yazılımları geliştirildi. Bu alandaki önemli bir gelişme de Microsoft Windows işletim sistemi üzerinde çalışan benzetim programlarının (örn. Witness, ProModel, Arena, vb.) kullanılmaya başlanmasıydı [12].

Simülasyon model geliştirme süreci aşağıdaki aşamalara ayrılabilir [8,14].

Amaçların ve tüm proje planlarının oluşturulması ile problemin formülasyonu; bütün çalışmalar öncelikle problemin açık ve anlaşılır bir şekilde tanımlanması ile başlamalıdır [8]. Bu ilk adımda, belirlenen amaçlar ve tanımlanmış belirli sorunlar doğrultusunda problem formüle edilerek, araştırmacının gereksinim duyacağı veriler ve kaynaklar belirlenecektir. Ayrıca performans ölçüm kriterleri de çalışma başlamadan önce tanımlanmış olmalıdır. [14]

Verilerin derlenmesi; ihtiyaç duyulan veriler, eğer var ise, çalışmanın amaçları ve oluşturulacak modelin gereksinimleri doğrultusunda belirlenmeli ve toplanmalıdır [8]. Burada önemli olan iki nokta; modelde ihtiyaç duyulacak tüm verilerin eksiksiz olarak derlenmesi ve tesadüfi girdi değişkenleri içeren problemlerde verilerin istatistikî olarak anlamlı veriler olmalarıdır. Bu aşamada elde edilen verilerin çalışmanın sonucunda belirleyici unsurlardan olacağı unutulmamalıdır.

Modelin oluşturulması; çalışmanın amacı ve toplanan veriler doğrultusunda probleme ilişkin matematiksel modelinin tanımlanması çalışmanın üçüncü adımını oluşturacaktır. Ancak modelin oluşturulması aşamasının başlamasını çok katı anlamda algılamak gerekir. Modelin oluşturulması ne kadar erken başlarsa o kadar faydalıdır. Çünkü verilerin toplanması ve modelin

oluşturulması birbirlerini tamamlayıcı iki aşama olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu adımda incelenen sisteme ilişkin değişkenler, parametreler, ilişkiler, vb. tüm unsurlar belirlenerek, sistem matematiksel olarak ifade edilecektir. Bu noktada belirtilmesi gereken bir nokta da ortaya konulan modelin doğru ya da yanlış olarak değerlendirilmesinden çok yararlı ve yararsız olarak değerlendirilmesinin daha doğru olacağıdır [12].

Simülasyon modelinin oluşturulması sırasında verilmesi gereken bir karar da ne kadar detaylı ve geniş bir model oluşturulacağına belirlenmesidir. Bu soru için kesin kısıtlamalar yapmak oldukça zordur. Ancak modelin basitten başlanılarak geliştirilmesi, adım adım karmaşık sorunların ve ilişkilerin modele eklenmesi, çalışmanın amacını karşılayabilecek bir düzeye gelindiğinde de modelin sınırlarının oluşturulması gerekliliği basit bir şekilde dile getirilebilir.

Verilerin derlenmesi ve matematiksel modelin oluşturulması çalışmanın en zorlu, hataya açık ve önemli iki aşaması olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu noktada yapılabilecek bir hata çalışmanın devamını anlamsız bir hale getirebilecektir.

Bilgisayar Programının Oluşturulması; gerçek hayattaki bir sistemin modelinin oluşturulabilmesi, belirli ölçülerde kabuller yapılmış olsa bile, çok geniş bir bilgi gereksinimini ve karmaşık bir ilişkiler ağının tanımlanmasını gerekli kılacaktır. Bu noktada bilgisayarlardan yararlanılması özellikle benzetim tekniğinin kullanımı açısından oldukça önemlidir. Bilgisayar programının oluşturulması yorucu, maliyetli ve uzun süreli bir çalışmayı gerektirmektedir. Bu nedenle bu aşamada yapılabilecek bir hata telafisi zor gelişmelere neden olabilmektedir [8].

Bu aşamada verilmesi gereken ilk karar hangi bilgisayar dilinin ya da programının tercih edilmesi gerektiğidir. İhtiyaçlar doğrultusunda genel amaçlı bilgisayar dillerinden biri seçilebileceği gibi benzetim dillerinden biri ya da özel amaçlı benzetim programlarından biri de çalışma için tercih edilebilir [13]. Doğal olarak bu üç alternatifin de birbirlerine göre avantaj ve dezavantajları söz konusudur. Bu ilk adıma ilişkin tercihlerin hangi ölçütlere göre yapılması gerektiği bölüm 2,6'da detaylı olarak incelenecektir. Bilgisayar dilinin ya da programının seçimini oluşturulmuş olan matematiksel modelin bilgisayara aktarılması aşaması izleyecektir.

Geçerlilik, Doğrulama ve Kalibrasyon; geçerlilik, bilgisayar programının benzetim modelini temsil etme yeteneği olarak tanımlanabilir. Eğer söz konusu geçerlilik düzeyi yetersiz görülürse bilgisayar programının oluşturulması aşamasına geri dönülmesi ve aksaklıkların ortadan kaldırılması gerekecektir. Ancak geçerlilik düzeyinin belirlenmesi çalışma sırasında karşılaşılabilecek problemler içerisinde en zorlu olanlardan birisidir. Bu

nedenle geçerlilik düzeyi saptanırken ancak kestirimsel verilere ulaşmak mümkün olacaktır. Geçerlilik düzeyinin belirlenmesine yönelik olarak önerilen yöntemleri şu şekilde açıklamak mümkündür [15];

➤ Simülasyon modeli sadece birkaç deney için kısa bir süre çalıştırılarak belirli bir çıktıya ulaşılır. Bu çıktılar, elle yapılan çözümlerle karşılaştırılarak model ile program arasında bir uyumsuzluk olup olmadığının tespit edilmesini sağlar,

➤ Simülasyon çıktıları eğer mümkünse gerçek hayattaki durum ile kıyaslanırlar. Doğal olarak bu, var olan bir sistem üzerine yapılan çalışmalar için söz konusu olacaktır.

Yeni sistemlerin tasarımında geçerlilik düzeyine ilişkin kesin sonuçlara ulaşmak için belirli bir yöntem yoktur. Bu noktada benzetim programını geliştiren kişi/kişilerin deneyimlerine güvenmek gerekebilecektir [15].

Simülasyon modeli, gerçek hayatta varolan bir sistemi matematiksel olarak kopyalama amacı ile oluşturulmaktadır [16]. Bu "benzetimin" başarı düzeyi modelin doğrulanması olarak tanımlanmaktadır. Başka bir deyişle doğrulama, oluşturulan model ve modelin davranışlarının, gerçek sistem ve davranışları ile karşılaştırılması sürecidir. Tam bir doğrulama, kusursuz bir modelleme anlamına gelecektir ki bu pratikte imkânsızdır. Bu nedenle modelin doğrulanması söz konusu olduğu zaman ancak başarısızlığı minimum seviyeye indirmek temel amaç olmalıdır [12]. Geçerlilik ve doğrulama birbirlerinden bağımsız iki kavram olarak tanımlansa da genellikle model oluşturulurken eş zamanlı olarak sürece dâhil edilirler.

Kalibrasyon, model ile gerçek sistemin adım adım karşılaştırılması sürecidir. Model ile gerçek sistemin karşılaştırılması sonucu belirlenen sapmalar modelde yapılan değişikliklerle ortadan kaldırılır ve düzeltilmiş model gerçek sistemle karşılaştırılır, belirlenen sapmalar modelde değişiklikler yapılmasına neden olur ve süreç bu şekilde devam eder [8].

Deneysel Tasarım; benzetim tekniği bir optimizasyon tekniği değildir. Bunun yerine karar vericiye çözümlerini test edebileceği bir model sunar [9]. Buradaki çözümler değişik senaryolarla tanımlanmaktadır. Senaryo analizi, değişik girdi setlerine göre oluşan çıktıların performans değerlemelerinin yapıldığı istatistiksel bir analizdir [14]. Böylece çok küçük bir nakit ve zaman maliyeti ile pek çok alternatif senaryonun denenerek performans değerlemelerinin yapılması mümkün olmaktadır. Bu aşamadaki önemli nokta ise oluşturulacak senaryoların mümkün çözümler setini tam olarak kapsayacak şekilde oluşturulabilmesidir. Aksi durumda çözümden beklenen sonuçların

alınmaması söz konusu olabilecektir.

Programın Çalıştırılması ve Analizi; tasarımı için performans ölçüm değerlerinin tahmin edilebilmesi amacıyla yönelik olarak programın işletilmesi ve bu süreci izleyen analizlerin gerçekleştirilmesi gerekecektir [8].

Dokümantasyon ve Raporlama; programın çalıştırılması ve çıktılarının analiz edilmesi aşamasını gerçekleştiren çalışmaya ilişkin raporların hazırlanması aşaması izlenecektir. Çalışmanın sonuçlarının hayata geçirilmesi noktasında hazırlanan bu raporlar büyük öneme sahiptirler. Çalışmanın hangi koşullarda ve aşamalarla gerçekleştirildiği, hangi kabuller çerçevesinde yapıldığı, nasıl sonuçlar elde edildiği ve bu sonuçlar çerçevesinde ortaya konulan çözüm önerileri gibi tüm detaylar bu raporların kapsamında yer almalıdır.

Tüm bu aşamalara ilişkin belirtilmesi gereken iki nokta mevcuttur; birinci olarak, aşamalara ilişkin sıralamalar katı bir zorunluluk değildir. İkinci olarak ise benzetim modelinin oluşturulması aşamalarının ilki yani *problemin formülasyonu* bir bilim olduğu kadar aynı zamanda sanattır da. Temel olarak kaynaklara, probleme, çalışmayı yapan kişilere bağlıdır [14].

IV. İSTANBUL KADIKÖY MERKEZLİ HATLAR ÖRNEĞİ

Şehirler büyüdükçe doğal olarak tek güzergâhlı otobüsler ihtiyacı karşılayamayacaklar, bu ihtiyacı gidermeye yönelik şehrin çeşitli bölgelerinden çeşitli bölgelerine, değişik rotaları (güzergâhları) izleyen değişik hatlar konulacaktır. Şehir büyüdükçe bu hatların ve durakların sayısı artacak, kalabalıklaştıkça da sefer sayıları çoğalacaktır.

Bu doğal işleyiş İstanbul ili için de bu şekilde gerçekleşmiş, şehir coğrafi olarak genişledikçe hat ve durak sayısı da buna paralel olarak artmıştır. Yine şehrin kalabalıklaşmasının yanı sıra taşımacılık politikalarında yapılan tercihler sonucunda ulaşımın ağırlıklı olarak karayollarına kaydırılmasının ardından bu hatlardaki sefer sayıları da giderek artmıştır. Örneğin çok gerilere gitmeksizin; 1993'te 428 hat ve 3131 durak sayısına sahipken İETT 2001 yılına gelindiğinde hat sayısını 526'ya durak sayısını ise 7408'e çıkartmıştır [7].

Otobüs seferlerinin ve diğer lastik tekerlekli toplu ulaşım araçlarının şehirlerin çekim alanları olan kent merkezlerine girmeleri bu noktalarda büyük bir baskı yaratmaktadır. İstanbul'un Kadıköy ilçesi de bu durum için iyi bir örnektir.

Anadolu yakasında sefer yapan hat sayısı 154'tür ve bunların 75'i Kadıköy'den hareket etmektedir. Başka bir deyişle Anadolu yakasındaki toplam hat sayısının

nerdeyse yarısı (%48,7) Kadıköy merkezlidir. Bu sayılara bir de Boğaz geçişli 4 hattı da eklersek durum daha da kötüleşmektedir (%51,2) [7].

Şehir merkezlerinde oluşan baskı karayollarını kullanarak seyahat eden herkesi etkilemektedir. Çünkü şehir merkezlerindeki ana arterlerde trafik yoğunluğunun artmasına sebep olmaktadır. Fakat mevcut yaklaşımın ortaya çıkarttığı olumsuzluklar bununla sınırlı kalmamakta, aynı zamanda söz konusu toplu taşıma araçları semtin karakterine ve görüntüsüne de "olumsuz" bir katkı yapmaktadır. Kadıköy'ün merkezinde deniz kenarında iki farklı otobüs ve dolmuş (minibüs) ana durakları, tüm çirkinlikleri ile kapladıkları geniş alanlara karşın söz konusu 79 değişik hattın ve değişik güzergâhlı dolmuşların ana duraklığı için yetersiz kalmaktadır.

Ayrıca söz konusu 79 hattın da, Kadıköy'ü iç bölgelere bağlayan mevcut 2 yolu kullanmaları hem bu yollardaki trafik yoğunluğunu arttırmakta hem de bu güzergâhlar üzerinde bulunan otobüs duraklarında uzun kuyruklara neden olmaktadır.

Bu çerçevede, çalışmamız kapsamını oluşturan, Kadıköy-Sahrayı Cedit güzergâhında çalışan otobüslere ilişkin mevcut durum şu şekilde özetlenebilir:

Kapsam içerisindeki tüm hatların Kadıköy'deki ana durakları ortaktır. Bu hatlardan ring sefer yapan 4 tanesi Kadıköy'den hareket edip, değişik güzergâhları izledikten sonra tekrar Kadıköy'e dönmektedir. Geriye kalan 17 hat, 14 değişik son durağa gitmektedir (Tablo.1).

Tablo.1: S.Cedit Güzergâhını Kullanan Hatlar

İlk Durak	Son Durak	Hat No.
Kadıköy	Kadıköy	ER1
Kadıköy	Kadıköy	ER2
Kadıköy	Kadıköy	GZ1
Kadıköy	Kadıköy	GZ2
Kadıköy	Alt Bostancı	10,10B,10S
Kadıköy	Ataşehir	19M
Kadıköy	Birlik Mah.	14B
Kadıköy	Esenkent	17M
Kadıköy	Ferhat Paşa	19Y-19C
Kadıköy	Fındıklı Mah.	19F
Kadıköy	Kayışdağı	19K
Kadıköy	Küçükbakkalköy	7
Kadıköy	Küçükyalı Loj.	17L
Kadıköy	Pendik	17
Kadıköy	Sarıgazi	19S
Kadıköy	U.Mumcu Mah.	17S
Kadıköy	Yeni Sahra	21Y
Kadıköy	Yeşil Bağlar	16Y

Kaynak: İETT, 2003.

Kadıköy-Sahrayı Cedit güzergâhı üzerinde toplam

10 ara durak mevcuttur ve bu ara durakları 25–30 değişik tabelaya sahip otobüs kullanmaktadır (Tablo.2)

Tablo.2. Durakların hat yoğunlukları

	K.Köy- S.Cedit	Kapsam Dışı Hatlar	Boğaz Hatları- Üsküdar	Toplam
K. Çarşı	21	6	0	27
K. Altyol	21	6	0	27
Yoğurtçu	21	6	0	27
Belediye	21	6	3	30
Ziverbey	21	6	3	30
Kuyubaşı	21	6	3	30
Fakülteler	21	6	3	30
Mazharbey	21	6	3	30
Çemenzar	21	6	3	30
Göztepe	21	0	4	25
S. Cedit	21	0	4	25

Kaynak: İETT, 2003

Tablo.2’de görülen ve Kadıköy-Sahrayı Cedit güzergâhını ortak kullanan 21 hat aynı zamanda çalışmamızın uygulama alanını oluşturmaktadır. Söz konusu 21 hatta ek olarak Kadıköy’den hareket etmesine karşın Sahrayı Cedit’te gelmeden belirli bir noktada güzergâh değiştiren hatlar ve Kadıköy kalkışlı olmadıkları halde çalışma kapsamındaki belirli durakları kullanan hatlar da eklendiğinde çalışma kapsamını oluşturan Kadıköy Sahrayı Cedit güzergâhını 30’a yakın değişik tabelalı otobüs kullanmaktadır. Bu otobüslerin farklı sefer sıklıkları (Tablo.3), seyahat sürelerindeki ve taşınacak yolcu sayılarındaki belirsizlikler de hesaba katıldığında sistemin ne kadar karmaşık bir yapı olduğu rahatlıkla görülebilecektir.

Buna göre çalışmamız kapsamı içerisinde yer alan hatlar bir gün içerisinde Kadıköy’den ve Sahrayı Cedit’ten 432 kalkış gerçekleştirmektedirler. Saat 6’da seferlerin başladığı ve en son saat 23’e kadar çalışan hatlar olduğu düşünülürse Kadıköy’den yaklaşık 2, 3 dakikada bir kalkış olmaktadır. Doğal olarak bu sefer sıklıkları ‘yoğun’ saatlerde artış gösterecektir. Söz konusu 432 sefer İETT ve Özel Halk Otobüsü olmak üzere toplam 69 otobüsün kullanılması ile gerçekleştirilmektedir.

Tablo.3. Hatlara Göre Günlük Sefer ve Çalışan Otobüs Sayıları

Hat No.	Günlük Sefer Sayısı	Çalışan Otobüs Sayısı
10	26	4
10B	44	7
10S	14	-
14ÇK	12	3
17	26	6
17L	14	3
17S	6	2
19ES	12	3
19F	61	9
19K	26	4
19M	22	3
19S	45	9
19V	2	1
19Y	24	4
21B	21	4
21Y	13	3
ER1	14	1
ER2	14	1
GZ1	18	1
GZ2	18	1
Toplam	432	69

Kaynak: İETT, 2003.

Böylesi bir sistem temel bazı olumsuzlukları bünyesinde barındırmaktadır:

➤ Öncelikle böylesi bir sistemin planlanması ve kontrolü oldukça güçtür,

➤ Otobüsler hatlara göre belirli aralıklarla sefere çıkmalarına karşın değişik hatlara sahip otobüsler için tam bir uyum gerçekleştirilememekte bu durum ise hem duraklarda yolcuların ortalama bekleme sürelerini arttırmakta hem de durağa yanan otobüslerin bir kuyruk oluşturmalarına neden olmaktadır,

➤ Ana arterlerde trafik yoğunluğunu arttırmaktadır,

➤ Şehir merkezlerinde geniş otobüs ana duraklarına ihtiyaç duyulmaktadır,

➤ Otobüslerin güzergâh uzunluklarının fazlalığı nedeniyle sefer süreleri artmakta bu durum ise hem sefer sürelerindeki belirsizliği arttırmakta hem de sistemin kontrolünü güçleştirmektedir,

➤ Farklı hatları kullanan yolcuların yoğunluklarındaki farklılıklar otobüslere ait kapasite kullanım oranlarında da farklılıklara neden olacaktır (yolcuları otobüslere homojen olarak dağılmamaları nedeniyle),

➤ Hat sayıları arttıkça toplu taşıma araçları arasında bir koordinasyon sağlanması o derece güçleşecek ve hatta belirli bir noktadan sonra imkânsız hale gelecektir.

Tüm bu olumsuzlukların ortadan kaldırılabilmesi amacıyla tanımlanan yeni amaç doğrultusunda ortaya konulmaya çalışılan yeni modele ilişkin iki senaryo şu şekilde oluşturulmuştur:

Senaryo 1: Önerilen model ile öncelikle çok sayıdaki hat numaralarının azaltılması ve hat uzunluklarının makul seviyelere indirilebilmesi amacıyla tüm hatlar yeniden tanımlanacaktır.

Bu amaçla öncelikle çalışmanın kapsamı içerisinde kalan tüm hatların ana durak tanımlamaları değiştirilecektir. Kadıköy Kumluk ana durağı yerine, tüm bu hatlar için, yeni oluşturulacak olan Sahrayı Cedit durağı ana durak haline getirilecektir. Burada amaç, şehir içi trafik yoğunluğuna girmeyecek ve daha kısa mesafelerde sefer yapacak olan otobüslerin verimliliğinin ve esnekliğinin artırılmasıdır. S.Cedit aktarma durağı ile Kadıköy Kumluk durağı arasında ise kaldırılan tüm hatların yerine tek bir otobüs hattı tesis edilecektir. Böylece otobüslerin sefer süreleri kısaltılarak hatların daha esnek bir yapıya kavuşması hedeflenmektedir.

Kadıköy'den çok sık bir şekilde kalkan tek otobüse binen yolcular hızlı bir şekilde kent merkezinden dışarıya aktarılmış olacaklardır. S. Cedit durağından daha ileri bölgelere gidecek olan yolcular ise bu durakta aktarma yaparak yolculuklarına devam edeceklerdir. Aynı şekilde Kadıköy'e gelişlerde de S. Cedit durağında aktarma yapmak söz konusu olacaktır.

Senaryo 2: Senaryo 1 kapsamında önerilen modele çok benzeyen senaryo 2'de de yine aynı yaklaşımla mevcut hatların ana durakları K.Kumluk yerine S.Cedit olarak değiştirilecektir. Ancak senaryo 1'de tanımlanan tek numaralı hat yerine oluşturulacak üç yeni hat sadece Kadıköy-Ziverbey-Sahrayı Cedit arasında sefer yaparak çalışacaktır. Bu üç yeni hat herhangi bir hat numarası almayacak sadece belirli renklerle ifade edilecektir (Örn. Mavi, Kırmızı ve Yeşil gibi). Bununla beraber güzergâh üzerindeki duraklar da aynı şekilde renklendirilecek, renkli tabelalı otobüsler sadece kendi renklerini taşıyan duraklarda duracaklardır.

Bu uygulamaya geçişteki temel amaç, şehir merkezindeki yoğunluğun en kısa zamanda şehir merkezinin dışına aktarılmasıdır. Sadece üç adet hat tanımlanacağı için şehir merkezindeki yolcular çok kısa bir süre için durakta bekledikten sonra istedikleri otobüse binecekler ve her durakta durmadıkları için çok kısa bir zaman içerisinde gidecekleri yerlere ulaşacaklardır. Aktarma yapacak olan yolcular ise herhangi bir renkte otobüse binerek yine hızlı bir şekilde aktarma yapacakları

duraklara ulaşacaklardır.

Önerilen yöntemle ilişkili ortaya çıkması beklenen avantajlar şu şekilde sıralanabilir;

- Şehir merkezlerindeki yolcu ve otobüs yoğunluğunun azalması,
- Toplam ulaşım sürelerindeki azalışlar,
- Otobüs doluluk oranlarının birbirine yaklaştırılması,
- Planlama, koordinasyon ve kontrol kolaylığı,
- Bütünsel bir toplu taşıma sistemine uyumunu kolaylaştırmak,
- Normal trafiğin yükünü azaltmak,
- Duraklardaki bekleme zamanlarını minimize etmek,
- Otobüslerin etkin kullanımı ile maliyet avantajı sağlamak ve hizmet kalitesini arttırmak,
- Şehir merkezlerindeki büyük ve hantal ana durak yapısını daha küçük, estetik ve esnek bir hale getirebilmek,

Görülebileceği gibi önerilen sistemin, mevcut sisteme göre hiçte azımsanmayacak avantajlar sağlaması beklenmektedir. Tüm bu avantajlara karşın bazı durumlar için belirli dezavantajların ortaya çıkması ihtimali vardır:

- Uzun mesafeli seyahat eden yolcuların aktarma yapma zorunluluğundaki artış,
- Şehir merkezine doğru gelirken ana durak-aktarma merkezi arasındaki akışta mevcut duruma ek hiçbir avantajın yaratılmayacak olmasına karşın (süre ve doluluk oranı bazında), aktarma merkezinden sonrası için ancak avantajlardan yararlanılabilmemesi,
- Çalışma kapsamı içerisindeki güzergâhta diğer bir toplu taşıma aracı olarak çalışan minibüslerin bu sisteme uyumunun güçlüğü.

V. MODELİN SİMÜLE EDİLMESİ VE ÇIKTILARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Simülasyon çalışmamızda, kentiçi ulaşımında mevcut sistemi iyileştirme çabaları doğrultusunda ortaya konulan yeni model senaryoları ile mevcut duruma ilişkin performans değerlerinin belirlenmesi hedeflenmektedir.

Bu hedefe yönelik olarak sisteme ilişkin temel

performans ölçütleri belirlenirken, söz konusu ölçütler üç farklı perspektiften ele alınmıştır: Otobüsleri kullanan yolcular, İETT ve ÖHO ile Otobüs taşımacılık sistemini kullanmayan ancak ortak trafik ve yaşam alanını paylaşan kentliler. Her bir paydaş açısından belirlenen temel performans ölçütleri şu şekilde sıralanabilir:

➤ *Otobüsleri Kullanan Yolcular Açısından:* Seyahat süreleri, Durakta ortalama bekleme zamanları, Otobüslerin doluluk oranları, Entegre bir ulaşım sistemi sağlayabilme yeteneği ve Güvenilirlik.

➤ *İETT ve ÖHO Açısından:* Seyahat süreleri, Otobüslerin ortalama yolculuk süreleri, Otobüslerin Doluluk oranları, Yolcuların otobüslere homojen dağılımı, Kullanılan toplam otobüs sayısı, Entegre bir ulaşım sistemi sağlayabilme yeteneği, Enerji verimliliği ve Güvenilirlik.

➤ *Otobüs Taşımacılık Sistemini Kullanmayan Ancak Ortak Trafik ve Yaşam Alanını Paylaşan Kentliler Açısından:* Otobüslerin Trafiğe Çıkış Hızı, Enerji verimliliği (çevre kirliliği açısından), Çevre düzenlemeleri.

Simülasyon çalışması kapsamında sisteme ilişkin belirlenen temel performans ölçütleri kısaca ele alınırsa:

➤ *Seyahat süreleri (hareket durağından hedef durağa ulaşma);* kentiçi toplu taşıma sistemleri belirli bir noktadan (hareket durağı) belirli bir noktaya (hedef durak) ulaşımı sağlama hedefine yönelik sistemlerdir. Doğal olarak, bu ulaşım esnasında harcanacak toplam süre sistemin temel performans ölçütlerinden biri olarak önemli bir yere sahiptir. Yolcunun hareket durağına geldiği andan itibaren hedef durağa varıncaya kadar (otobüs bekleme, gerekiyorsa aktarma için yapılan bekleme zamanları, seyahat süresi dâhil olmak üzere) ihtiyaç duyulacak süreyi ifade edecektir.

➤ *Ortalama bekleme zamanı;* yolcu, hareket ya da aktarma durağına geldiği zaman belirli bir süre durakta binmek istediği otobüsün gelmesini bekleyecektir. Bu bekleme süresinin uzunluğu sistemin işleyişi hakkında fikir verebilecek bir performans ölçütü olarak tanımlanmıştır.

➤ *Otobüslerin ortalama yolculuk süreleri;* kentiçi ulaşımı sağlayan otobüsler ana duraklarından hareket ettikten sonra belirli bir güzergâhta ilerleyerek ve güzergâh üzerinde kendileri için belirlenmiş özel duraklardan yolcu olarak ve indirerek son durağa ulaşırlar. Ana durak ve son durak arasındaki harcanan toplam süre gerek yapılan yolculuğun kalitesi açısından gerekse sistemin kontrolü ve ihtiyaç duyulacak otobüs sayısının belirlenmesi açısından büyük önem arz edecektir. Ana durak-son durak-ana durak hareket süresi uzadıkça sistemin kontrolü de o ölçüde zorlaşacak ve sistem esnekliğini kaybederek katı bir özellik kazanacaktır.

Ayrıca bu durum ihtiyaç duyulan otobüs sayısında (hizmet kalitesinde bir artış yaratmaksızın) büyük bir artışa neden olabilecektir.

➤ *Otobüs doluluk oranları;* otobüs doluluk oranları hem verilen hizmet kalitesi açısından hem de otobüslerin verimli kullanımı açısından önemli bir göstergedir. Yüksek doluluk oranları otobüslerin verimli kullanıldığını ifade edebilecek olmasına karşın bu oranın belirli limitlerin üzerine çıkması hizmet kalitesinde ciddi sıkıntılara yol açacaktır.

➤ *Yolcuların otobüslere homojen dağılımı;* doluluk oranları açısından ele alınması gereken bir önemli nokta da; hizmet veren otobüsler arasındaki doluluk oranlarının farklılık göstermesidir. Yolcuların otobüslere homojen dağılımının sağlanabileceği modeller hayata geçirilebildiği takdirde ilave bir otobüs ihtiyacı yaratılmaksızın hem otobüslerin etkin kullanımı sağlanmış olacak hem de hizmet kalitesinde bir artış yaratılabilecektir.

➤ *Kullanılan toplam otobüs sayısı;* sistem içerisinde ihtiyaç duyulan otobüs sayısı gerek yatırım gerekse işletim maliyetlerini doğrudan etkileyecektir. Bu açıdan, eğer daha hızlı ve esnek bir toplu taşıma sistemi oluşturulabilirse benzer yolcu talebini daha az sayıda otobüs ile karşılamak mümkün olabilecek, böylelikle sistemde gerek maliyet avantajı gerekse kalite artışı sağlanabilecektir.

➤ *Entegre bir ulaşım sistemi sağlayabilme yeteneği;* günümüz anakentlerinde ulaşım hizmeti tek bir toplu taşıma sistemi ile (örn. yalnızca otobüs) verilecek düzeyin çok üstüne çıkmıştır. Bugünkü gelinen noktada raylı sistemler (metro, banliyö, hafif raylı sistemler), mümkünse deniz taşımacılığı (vapurlar, feribotlar, motorlar, vb.) ve lastik tekerlekli sistemler (araba, otobüs, dolmuş, taksi, vb.) bir bütün olarak anakentlerde ulaşım hizmetini karşılamayı hedeflemektedir. Ortak hedefe yönelmiş bu sistemlerin bütünsel bir bakış açısı ile ele alınması ve birbirlerine kolaylıkla uyumlaştırılacak modellerin ortaya konulabilmesi ulaşım sisteminin etkinliği açısından önem arz edecektir. Birbirleri ile uyumlu hareket çizelgelerinin belirlenmesi, duraklar arası geçişlerin kolaylaştırılması, birbirlerini tamamlayan hatların oluşturulması gibi çalışmalara kolay adapte edilebilecek kentiçi ulaşım modellerinin tanımlanması günümüzde gelinen noktada kentiçi ulaşım sisteminde ana hedeflerden biri olmalıdır.

➤ *Otobüslerin Trafiğe Çıkış Hızı;* Otobüslerin ana duraklarından hareket saatleri birbirinin aynı ya da birbirlerine çok yakın olursa bunun doğal sonucu hareket saati geldiği zaman otobüslerin şehir trafiğinde ve duraklarda bir yoğunluk yaratacak olmasıdır. Özellikle kent merkezlerinde zaten yoğun olan trafik bunun sonucunda daha da artacak, duraklarda otobüs kuyrukları

oluşacaktır. Dolayısıyla otobüsler kendi yarattıkları yoğunluk içerisinde sıkışacaklardır. (Bu yaklaşımın uygulanması mevcut durum içinde sefer hareket saatlerinin yeniden düzenlenmesi ile de kolayca gerçekleştirilebilecek olmasına karşın uygulamada böyle bir çaba içerisinde bugüne kadar girilmemiştir.)

➤ *Enerji verimliliği*; kentiçi ulaşım araçlarının çalışabilmesi için değişik enerji kaynakları kullanılabilir (mazot, benzin, elektrik, vb.). Bu enerji kaynaklarının hem maliyet yaratma hem de çevre kirliliğine neden olmak gibi iki önemli olumsuz etkisi söz konusudur. Bu nedenle daha etkin bir sistem ile sağlanacak enerji tasarrufu hem taşıma maliyetlerinin temel unsurlarından olan yakıt tüketiminde bir azalma sağlarken hem de temiz bir çevre için önemli bir adım atılmasına katkıda bulunacaktır.

➤ *Güvenilirlik*; kentiçi ulaşım sistemleri çok büyük ve karmaşık, ihtimali yapılar olarak karşımıza çıkmaktadır. Oysa sistemin yapılan planlar çerçevesinde işlemesi hem sistemin kontrolü açısından önemlidir hem de yolculara sunulan hizmetin kalitesi noktasında belirleyici unsurlardan biridir. Kentiçi ulaşım sisteminde zaman önemli bir unsurdur ve zaman çizelgesinden meydana gelebilecek sapmalar ne kadar az olursa sistem de o derece güvenilir olacaktır.

➤ *Çevre Düzenlemeleri*; Kentiçi ulaşım araçları olarak otobüsler ilk hareketleri için geniş bir arazide yer alan ana duraklara ihtiyaç duymaktadırlar. Bu durum ise özellikle şehir merkezlerinde bir kirlenmeye sebep olmaktadır. Hat sayısı ile doğru orantılı olan ana durakların fiziksel olarak küçültülebilmeleri şehir merkezleri açısından önemli bir avantaj sağlama potansiyeline sahiptir.

Simülasyon modelinin oluşturulması sırasında ihtiyaç duyulan veriler ise şu şekilde belirlenmiştir:

- Mevcut duruma ilişkin hareket çizelgeleri,
- Günlük seferdeki toplam otobüs sayısı,
- Mevcut durumda sefer başlangıç ve bitiş zamanları,
- Duraklara ilişkin yolcu sayıları ('yoğun' ve yoğunluk dışı saatlerde, hatlara göre)
- Duraklar arası seyahat süreleri,
- Duraklar arası mesafeler,
- Durağa yanaşma süresi,
- Duraktan ayrılma süresi,

- Bir yolcu binme süresi,
- Bir yolcu inme süresi.

Verilerin derlenmesi büyük oranda İETT'den alınan destek yardımıyla sağlanmıştır. Bu aşamada mevcut duruma ilişkin hareket çizelgeleri, günlük seferdeki toplam otobüs sayısı, duraklar arası mesafeler, sefer başlangıç ve bitiş zamanlarına ilişkin veriler İETT'den, hazır verilerden elde edilmiştir. Çalışmada ihtiyaç duyulan ve geniş bir saha çalışmasını zorunlu kılan; duraklara ilişkin yolcu sayılarına ('yoğun' ve yoğunluk dışı saatlerde, hatlara göre) ilişkin veriler ise İETT'nin yaptırdığı (Mart-Temmuz 2002) bir proje kapsamında derlenen verilerden elde edilmiştir.

Çalışma kapsamında durakların yolcu ağırlıklarının belirlenmesi hedefine yönelik olarak Kadıköy ana duraktan (Kumluk) hareket eden 86 sefer yoğunluk dışı saatlerde 58 sefer 'yoğun' saatlerde olmak üzere toplam 144 seferde gözlemler gerçekleştirilmiştir. Benzer şekilde Kadıköy ana durak (Kumluk) yönüne hareket eden 101 sefer yoğunluk dışı saatlerde, 37 sefer 'yoğun' saatlerde olmak üzere toplam 138 sefer gözlemlenmiştir. Bu gözlemler sonucunda her bir durak için yolcu yoğunluklarına ilişkin verilere ulaşılmıştır. Duraklar arası seyahat süreleri, durağa yanaşma, duraktan ayrılma, bir yolcu için otobüse binme ve otobüsten inme sürelerine ilişkin olarak İETT'den ya da İstanbul kentiçi ulaşımı ile ilgili herhangi bir kurumdan (UKOME, BelBim, vb.) herhangi bir veri elde etmek mümkün olmamıştır. Bu nedenle çalışmamız kapsamında otobüslerde zaman ölçümleri yapılarak (Mayıs 2003) ihtiyaç duyulan verilere ulaşılmıştır. Bu ölçümleme çalışması sırasında her iki yönde olmak üzere, tesadüfi olarak belirlenen otobüslerde ve zamanlarda, toplam 40 otobüste ve 440 durakta gözlemler gerçekleştirilmiştir.

Yolcu sayılarına (inen/binen), durağa yanaşma ve duraktan ayrılma sürelerine ilişkin durak bazında elde edilen veriler ile duraklar arası seyahat süreleri, otobüse binme ve otobüsten inme sürelerine ilişkin veriler BestFit 4.5 adlı bilgisayar programı yardımıyla işlenerek her bir veri için 'yoğun'-yoğunluk dışı saatlerde dağılım değerlerine ulaşılmıştır.

Mevcut durumda, İETT ve ÖHO olmak üzere, çalışma kapsamına dâhil olan hatlarda bir gün içerisinde 432 sefer yapılmakta olduğu ve bu amaçla toplam 69 otobüsün seferde kaldığı belirlenmiştir. Seferler saat sabah 06.00'da başlamakta ve kademeli olarak saat akşam 23.00'te bitirilmektedir (istisna birkaç hat hariç). Yoğun saatler Kadıköy'e doğru sabah 07:30-10:00, Sahrayı Cedit'e doğru 16:00-20:00 aralıkları olarak belirlenmiştir

Kentiçi ulaşım problemleri genel karakteristikleri açısından dinamik ve belirsiz yapılardır. Sistemin büyüklüğü ve karmaşıklığı dolayısıyla belirli kabuller

yapmadan sistemin benzetim modelini kurmak ancak çok büyük bütçeli projeler ile mümkün olabilmektedir. Çalışmamızın yapısı ise uygulama alanımızı belirli kabullerle sınırlandırmayı bir zorunluluk haline getirmektedir. Bu noktada yapılan kabuller şu şekilde sıralanabilir:

➤ Mevcut durumdaki durakların yolcu yoğunluklarının önerilen modelde de değişmeyeceği kabul edilmiştir.

➤ Haftanın değişik günlerinde, günün her saatinde ve her hat özelinde verilerde (yolcu sayıları ve ortalama sefer süreleri) meydana gelen değişimler sadece uygulamanın gerçekleştirildiği ana arterde genel olarak, “yoğun” ve “yoğunluk dışı” saatler için incelenmiştir.

➤ Önerilen sistemde varolan ve tüm duraklarda durarak duraklar arası yolcu taşınmasını sağlayan “beyaz tabelalı” otobüsler, benzetim modeline dâhil edilmemiştir.

➤ Mevcut sistemde Belediye-S.Cedit durakları arasında ana arteri kullanan ve çalışma kapsamı dışında tutulan 3 hatta (2 Üsküdar-Bostancı, 112 Beşiktaş/Taksim-Bostancı ve 128 Mecidiyeköy-Bostancı) ilişkin veriler benzetim modelinde kullanılmamıştır.

➤ Modele ilişkin veriler mevcut durumdaki çizelgeler, araştırma sonuçları vb. kıyaslanmasının yanı sıra sadece üç durakta bir durmanın sağlayacağı avantajları test edebilmek amacıyla tüm veriler aynı olmak üzere otobüslerin tek tabelalı ve her durakta durduğu koşulu ile ve üç durakta bir durduğu üç renkli tabelalı senaryolar için sistemin benzetim modeli kurularak performansları kıyaslanmıştır. Burada mevcut durumunun tam anlamıyla benzetim modelinin oluşturulması ve önerilen modelle kıyaslanması yukarıda da sayılan kabullerin varlığından dolayı ve şu anda mevcut 22 hat için yeterli verilerin elde edilememesi dolayısıyla mümkün olmamaktadır.

Elde edilen veriler ve yapılan kabuller çerçevesinde sistemin modelinin oluşturulması sırasında öncelikle başlangıç koşulları tanımlanmıştır. Başlangıç saati olan 07.30’dan itibaren benzetim gerçekleştirildiği için başlangıç durumunda otobüsler hareket edecekleri ana duraklarda hazır haldedirler. Otobüslerin garajlardan ana duraklara gelişleri önerilen model ile mevcut durum arasında büyük bir fark yaratmadığı için ihmal edilmiştir. Planlanan ilk hareket zamanı ile benzetim başlamaktadır. Bu noktada model hareket saatinin trafik açısından ‘yoğun’ saat olup olmadığına bakmakta ve buna uygun olarak ortalama bir seyahat süresi belirleyerek bir sonraki durağa varış zamanını tespit etmektedir. Durağa yanaşma sırasında yavaşlamadan kaynaklanan zaman kaybı da dikkate alınarak durağa yanaşan otobüse yine ‘yoğun’ saati olup olmaması durumuna göre tesadüfi olarak belirlenecek inen/binen yolcu sayıları ile bir yolcu için

inme/binme süreleri üzerinden otobüsün durakta durma süresi hesaplanmaktadır. Durağa varış zamanı ile otobüsün durakta durma zamanının toplamı ile otobüsün duraktan hareket zamanı belirlenmektedir. Duraktan ayrılma sırasında ortaya çıkacak zaman kaybı da dikkate alınarak ‘yoğun’ saat olup olmaması durumuna göre belirlenecek ortalama seyahat süresi yardımıyla otobüsün bir sonraki durağa varış zamanı hesaplanmıştır. Mevcut durumdan ve senaryo 1’den farklı olarak senaryo 2’de otobüs her durakta değil üç durakta bir duracağı için akış da bu şekilde gerçekleştirilmiştir.

Aktarma durağına gelen otobüs tüm yolcularını indirerek bu sefer ters yönde hareket için hazırlanacaktır. Bu noktada aktarma durağından daha ileri bir durağa gidecek yolcuların aktarma için beklemeleri gerekecektir. Modele ilişkin bir çevrim aktarma yapacak yolcuların otobüse binme zamanının belirlenmesi ile sona erecektir. Bunun nedeni aktarma durağından sonra mevcut durum ile önerilen metot arasında hiçbir farkın olmamasıdır.

Oluşturulan modelin formülasyonu için Crystal Ball 2000 Academic Edition benzetim programı kullanılmıştır. Crystal Ball, MS Office Excel üzerinden makrolar ile çalışmaktadır. Simülasyon modelinin oluşturulması sırasında gerekli bazı araçlar makrolar yardımıyla Excel dosyalarına aktarılmıştır. Excel üzerinde normalde çalışan tüm araçlar, özellikle formüller Crystal Ball ile de çalışmaktadır. Bunlara ek olarak bazı temel formüller programa eklenmiştir. Örneğin Monte Carlo benzetimi için gerekli olan, dağılımlara uygun tesadüfi sayı üretme yeteneği, Excel’de çok sınırlı bir şekilde yer almasına karşın Crystal Ball’da hemen tüm dağılımlar için mevcuttur. Bunlara ek olarak Crystal Ball ile istenilen sayıda deney gerçekleştirmek ve bu deneylere ait istatistikî raporları elde etmek mümkün olmaktadır.

Önerilen model doğrultusunda ortaya konulan benzetim modeli Crystal Ball yardımıyla bilgisayara aktarılarak 8 farklı dosya yardımıyla formüle edilmiştir. Oluşturulan modelin bilgisayar yardımıyla 1000 deney için işletilmesinin ardından elde edilen sonuçlar şu şekilde ortaya çıkmıştır [17]:

Mevcut durum, senaryo 1 ve senaryo 2 söz konusu performans ölçütleri açısından değerlendirildiği zaman ortaya şöyle bir tablo çıkmaktadır:

Sistemin Güvenilirliği; bir hizmet sektörü olan taşımacılık sisteminin güvenilir olması hizmet kalitesi açısından temel belirleyici unsurlardan birisidir. Otobüslerin zaman çizelgelerine sadık kalabilmeleri, durakta bekleme ve seyahat sürelerine ilişkin çizelge değerleri ile gerçekleşen değerler arasında ortaya çıkacak farkın minimize edilmesi hizmet kalitesinde önemli bir artış sağlayacaktır.

Bu açıdan senaryo 1 ile senaryo 2

değerlendirildiğinde, sefer sürelerine ilişkin uç zaman aralıklarına bakılmıştır. Her hat için ortaya çıkan maksimum süreler incelenmiş ve senaryo 1'e oranla senaryo 2'de ortalama %26,4 (her iki yön için) oranında bir iyileşme sağlandığı gözlenmiştir. Gün bazında gerçekleşen maksimum sürelerdeki bu iyileşmenin yanı sıra benzetim boyunca ortaya çıkan maksimum değerlerinin maksimum ve minimum değerleri incelenmiş, minimum-maksimum değer aralığında da %52,4 (her iki yön için ortalama) oranında bir gerileme olduğu belirlenmiştir. Ayrıca ortaya çıkan maksimum sefer sürelerine ilişkin maksimum değerlerde de senaryo 2 için %41 oranında bir iyileşme söz konusudur.

Buradan da rahatlıkla söylenebileceği gibi senaryo 2, senaryo 1'e ve dolayısıyla mevcut duruma göre %26,4-%52,4 oranında aşırıklardan arındırılmıştır. Bu da sistemin senaryo 2 için daha güvenilir olduğu anlamını taşımaktadır.

Ortalama Sefer Süreleri; Taşımacılık sisteminde gerek kaynak ihtiyacı gerek hizmet kalitesi gerekse ortaya çıkan maliyetler açısından önemli bir ölçüt olarak ortalama sefer süreleri karşımıza çıkmaktadır. Çalışmamız kapsamında sefer süreleri ana duraktan hareket-hedef durağa varış arasında geçen zamanı ifade etmektedir.

Senaryolar ve mevcut durum arasında ortalama sefer süreleri açısından bir inceleme yapıldığı zaman görülmektedir ki; Kadıköy Kumluk-Sahrayı Cedit yönünde %20,15 oranında (Tablo.4), Sahrayı Cedit-Kadıköy Kumluk yönünde ise %18,94 oranında bir iyileşme senaryo 2 ile sağlanmaktadır (Tablo.5). Buradan,

ortalama %18,8 oranında meydana gelen iyileşme mevcut duruma oranla senaryo 2'nin kaynak kullanımında %18,8 oranında bir iyileşme yaratacağı ve buna paralel olarak benzer bir oranda tasarruf sağlanabileceği söylenebilir.

Ortalama sefer sürelerine ilişkin inceleme biraz daha detaylandırılarak, yoğun saat-yoğun dışı saatler için de süreç incelendiğinde yine benzer bir durumla karşı karşıya kalınmaktadır. Senaryo 2, diğer alternatiflere oranla, 'yoğun' saatte, Kadıköy Kumluk-Sahrayı Cedit yönünde %12,93 oranında (Tablo.4), Sahrayı Cedit-Kadıköy Kumluk yönünde ise %19,61 (Tablo.5) oranında daha avantajlıdır. Aynı şekilde yine senaryo 2, yoğunluk dışı saatlerde de Kadıköy Kumluk-Sahrayı Cedit yönünde %18,40 oranında (Tablo.4), Sahrayı Cedit-Kadıköy Kumluk yönünde ise %11,20 oranında bir iyileşme sağlamaktadır (Tablo.5).

Ortalama Duraklama Süresi ve Oranı; sefer süreleri ortaya çıkarken otobüslerin normal trafik akışı içerisindeki hareketlerinin yanı sıra duraklarda durmalarından kaynaklanan zaman kayıpları da belirleyici olmaktadır. Senaryo 2 ile mevcut durum ve senaryo 1 arasındaki en büyük farklılıkta bu noktada ortaya çıkmaktadır. Senaryo 2, otobüslerin her durakta değil sadece kendileri için tanımlanmış duraklarda (senaryo 2 için 3 durakta bir) durmalarını önermektedir. Bu durum ise doğal olarak senaryo 2 için duraklama zamanlarında mevcut duruma ve senaryo 1'e göre önemli düşüşler sağlamaktadır. Kadıköy Kumluk-Sahrayı Cedit yönünde %57,80 oranında (Tablo.4), Sahrayı Cedit-Kadıköy Kumluk yönünde ise %43,50 oranında (Tablo.5) ortalama duraklama zamanlarında azalma sağlanmıştır.

Tablo.4. Hareket Sürelerine Göre Senaryolar Arasındaki Farklar

Hareket Süreleri	Kadıköy Kumluk – Sahrayı Cedit		
	Fark*	Fark**	Fark***
Ortalama Sefer Süresi	+03,86%	+20,15%	+16,95%
Yoğun Saat Ort. Sefer Süresi	-01,11%	+12,93%	+13,80%
Yoğun Saat Dışı Ort. Sefer Süresi	+04,80%	+18,40%	+14,30%
Ortalama Duraklama Süresi	+16,10%	+57,80%	+49,60%
Ortalama Duraklama Oranı	+13,13%	+49,99%	+42,40%

*Mevcut Durum ile Senaryo 1 arasındaki performans farklarını senaryo 1 lehine verir.

** Mevcut Durum ile Senaryo 2 arasındaki performans farklarını senaryo 2 lehine verir.

*** Senaryo 1 ile Senaryo 2 arasındaki performans farklarını senaryo 2 lehine verir

Tablo.5. Hareket Sürelerine Göre Senaryolar Arasındaki Farklar

Hareket Süreleri	Sahrayı Cedit – Kadıköy Kumluk		
	Fark*	Fark**	Fark***
Ortalama Sefer Süresi	-02,27%	+18,94%	+20,73%
Yoğun Saat Ort. Sefer Süresi	-00,98%	+19,61%	+16,80%
Yoğun Saat Dışı Ort. Sefer Süresi	-05,20%	+11,20%	+15,60%
Ortalama Duraklama Süresi	-13,50%	+43,50%	+50,10%
Ortalama Duraklama Oranı	-10,94%	+35,08%	+41,40%

*Mevcut Durum ile Senaryo 1 arasındaki performans farklarını senaryo 1 lehine verir;

**Mevcut Durum ile Senaryo 2 arasındaki performans farklarını senaryo 2 lehine verir

***Senaryo 1 ile Senaryo 2 arasındaki performans farklarını senaryo 2 lehine verir

Başka bir ifade ile mevcut durumda ve senaryo 1'de otobüsler seyahat sürelerinin yaklaşık %33'ünü duraklarda durmak için harcarken senaryo 2'de bu oran %16'ya gerilemektedir. Duraklama sürelerinin toplam sefer süreleri içerisindeki payı oransal olarak incelendiğinde (her iki yön için) yaklaşık %42 oranında bir iyileşme sağlandığı gözlenmiştir.

Enerji Verimliliği; Çalışma kapsamında enerji tüketim miktarlarına yönelik olarak herhangi bir ölçümleme ya da test yapılmamıştır. Ancak otobüslerin daha kısa sürede seferlerini tamamlamaları ve bunu yaparken de daha az sayıda durakta durmaları ve dolayısıyla daha az sayıda duraktan hareket etmelerinin enerji tasarrufu sağlayacağı varsayımı ile senaryo 2'nin gerek ortalama sefer süreleri gerekse ortalama duraklama zamanları ve duracağı durak sayıları göz önünde tutulduğunda mevcut duruma ve senaryo 1'e oranla daha avantajlı olduğu söylenebilir.

Otobüslerin Trafiğe Çıkış Hızı; Mevcut durumda tanımlı çok sayıda hat belirli zamanlarda, aynı anda ya da birbirlerine çok yakın zamanlarda ana duraklarından hareket etmektedir. Bu durum özellikle şehir merkezlerindeki trafikte ve duraklarda yoğunluklara ve tıkanmalara neden olmaktadır. Bu nedenle hem şehir trafiğine bir yük eklenmekte hem de otobüsler kendi kendilerini sıkıştırmaktadır. Mevcut duruma alternatif olarak önerilen her iki senaryo da ana duraklarda otobüs çıkışlarını homojen bir hale getirebilecek niteliktedirler. Tanımlanan tek bir hat ya da üç hat belirli aralıklarla (uygulamamızda, mevcut durumdaki yolcu taşıma kapasitesini sabit tutabilmek üzere, yoğun saatlerde 2dk., yoğunluk dışı saatlerde ise 3dk.'da bir olarak belirlenmiş sürelerde) ana duraktan hareket edeceği için bu durum trafikte ya da duraklarda bir yığılmaya sebep olmaksızın akışın devam etmesini sağlayacaktır.

Her ne kadar mevcut yöntemde de otobüs hareket saatlerinde yapılacak bir düzenleme ile bu homojen akışı sağlamak mümkünse de önerilen yöntemlerde bu planlamayı gerçekleştirmek zaten sürecin doğal bir parçasıdır.

Kullanılan Otobüs Sayısı; Mevcut durumda bir gün içerisinde 432 sefer yapılmakta ve bunun için 69 otobüs seferde tutulmaktadır. Belirlenen performans ölçütleri açısından değerlendirildiği zaman senaryo 2 hedeflendiği gibi mevcut duruma ve senaryo 1'e oranla sistemde iyileşmeler sağlamaktadır. Ancak burada belirtilmesi gereken bir nokta da aktarma zorunluluğudur. Senaryo 1 ve senaryo 2 mevcut duruma getirdikleri alternatifte, Sahrayı Cedit'e bir aktarma durağı konulmasını önermektedir. Bu durum ise aktarma yapacak yolcu sayısında bir artışa sebep olacaktır. Mevcut durumun tespitine yönelik yapılan gözlemler sonucunda elde edilen bulgulara göre bu güzergâhta hizmet verilecek olan yolcuların ortalama %60'ı Sahrayı Cedit durağından

aktarma yapmak zorunda kalacaktır.

Belirlenen performans ölçütlerinde sağlanan avantajlar ile aktarma zorunluluğu arasında bir tercih yapmak gerekliliği çalışmanın başından beri bilinen ve dile getirilen bir ikilemdi. Çalışmanın amacı bu konuda bir karar vermek değil sadece bu değerlendirme sürecinde ihtiyaç duyulacak ölçütlerin alacağı değerlerin belirlenmesinden ibarettir. Performans ölçüt değerlerinin ortaya konulması ile bu amaç yerine getirilmiştir.

VI. SONUÇ

Kentiçi ulaşım sistemlerine alternatif bir bakış açısı ile temel ulaşım sorunlarına çözüm önermeyi hedefleyen çalışmamızda, kentiçi otobüs taşımacılığında hat planlaması probleminde odaklanılmıştır. Mevcut duruma alternatif iki farklı senaryo önerilmiş ve alternatif olarak önerilen modellere ilişkin beklenen avantajlar ve belirlenen performans ölçütlerine göre modeller arası karşılaştırmalar ortaya konulmaya çalışılmıştır. Bu amaçla bir performans değerlendirme tekniği olarak benzetim yönteminden yararlanılmıştır. Önerilen senaryolara ilişkin benzetim modelleri oluşturularak program işletilmiş, belirlenen performans ölçütleri için elde edilen veriler değerlendirilmiştir.

Mevcut durum senaryo 1 ile kıyaslandığı zaman ortalama sefer sürelerinde bir artış olduğu belirlenmiştir (ortalama %1). Küçük oranlarda gerçekleşen bu artışın sebebi senaryo 1'de, daha az sayıda kullanılan otobüsle aynı sayıda yolcu taşınmasının otobüs başına düşen yolcu sayısını arttırması bu durumun ise yolculuk sürelerini olumsuz yönde etkilemesidir. Buna karşın senaryo1'de beklenen sefer sürelerine, duraklama sürelerine, doluluk oranlarına ilişkin minimum ve maksimum değerler birbirine daha yakın çıkmıştır. Başka bir ifade ile söz konusu performans ölçütlerine ilişkin aralık genişlikleri senaryo 1'de mevcut duruma oranla önemli azalışlar (%90 civarı) göstermiştir. Bu durum ise önerilen yöntemde sistemin güvenilirliğinin daha yüksek olacağı anlamına gelmektedir. Ayrıca sistemdeki belirsizliklerin azalması planlama ve kontrol süreçlerini de basitleştirecek, kaynak kullanımında etkinliği arttıracaktır. Bu ek olarak otobüslerin daha homojen bir şekilde trafiğe çıkması, hali hazırda mevcut sistemde böyle bir uygulamaya geçilmediği için şehir merkezinde ve ana arterlerdeki trafikte bir rahatlama da yaratacaktır.

Senaryo 2 için bir değerlendirme yapıldığında ise senaryo 1'in sağladığı tüm avantajların senaryo 2 için de geçerli olduğu görülmüştür. Bu avantajlara ek olarak senaryo 2'de sefer sürelerine ve duraklama sürelerine ilişkin değerlendirmeler de çok olumludur. Simülasyon sonuçlarında, sefer sürelerinde %30, duraklama sürelerinde %50'lere varan oranlarda düşüşler olacağı belirlenmiştir.

Bu çerçevede yapılan değerlendirme de mevcut durum ile senaryo 1 ve 2 değerlendirildiğinde önerilen yöntemlerin mevcut duruma göre gerek hareket süreleri açısından, gerek taşıman yolcu sayıları açısından ve gerekse kaynak kullanımını açısından daha avantajlı olduğu görülmüştür. Ayrıca tüm toplu taşımacılık sistemi açısından bakıldığı zaman önerilen yöntemlerin mevcut duruma göre esnek yapısı ile diğer sistemlere uyumunun daha kolay olduğu görülmektedir. Tüm bunlara ek olarak önerilen yöntemde şehir merkezindeki ana durak büyüklükleri çok büyük oranda azalacağı için şehircilik anlayışı açısından da önerilen yöntemler büyük bir avantaja sahip gözükmektedirler.

Önerilen yöntemlere karşı yapılabilecek en önemli eleştiri ise artan aktarma zorunluluğudur. Ancak toplam seyahat sürelerinin azaltıldığı ve hizmet kalitesinin artırıldığı bir ortamda yolcular aktarma yapma dezavantajını göz ardı edebileceklerdir. Doğal olarak sistemde radikal bir değişim öneren yöntemlerin uygulanması söz konusu olursa çok kapsamlı bir halkla ilişkiler çalışmasına ihtiyaç duyulacağı açıktır.

Her geçen gün gerek nüfus ve gerekse coğrafi olarak büyüyen kentlerde toplu taşıma sistemi de buna paralel olarak büyümekte ve karmaşıklaşmaktadır. Mevcut sistem ve bakış açıları bu büyüklükler için her zaman iyi sonuçlar vermemekte, ulaşım problemine çözüm olması gereken unsurlar başlı başına bir problem olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu nedenle farklı bakış açıları ile sorunları belirlemek, uzun vadeli, kalıcı ve gelecekteki çözümlere temel oluşturabilecek çözümleri bugünden tesis edebilmek kentler ve kentliler açısından hayati bir önem arz etmektedir. Bu yaklaşım ile çalışmamızda, kentiçi otobüs taşımacılığında alternatif bir hat planlaması yaklaşımı önerilmiştir.

YARARLANILAN KAYNAKLAR

- [1] Bayrakdar, Z., Camkesen, N. & Akyıldız, G. (2001). İstanbul'da Ulaşım Sorununun Çözümü için Mevcut Toplu Taşıma Sistemleri Nasıl Kullanılmalı? *İstanbul Kentiçi Ulaşım Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, 75-83.
- [2] Bozdoğan, R., Polat, H.İ. & Uçur, C. (2001). İstanbul'un Ulaşım Sorununa İstanbul Büyükşehir Belediyesi'nin Çözümleri (Ulaşım Konsepti). *İstanbul Kentiçi Ulaşım Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, 39-50.
- [3] Febbara, A.D. & Sacone, S. (1996). Modelling and Performance Analysis of Urban Transportation Networks. (Eds. Bianco, L. & Toth, P.). *Advanced Methods in Transportation Analysis*. Berlin: Springer-Verlag.
- [4] Qiao, F., Yang, H. & Lam, W.H.K. (2001). Intelligent Simulation and Prediction of Traffic Flow Dispersion. *Transportation Research Part B*, Vol. 35, 843-863.
- [5] Çetin, N., Nagel, K., Raney, B. & Voellmy, A. (2002). Large-scale multi-agent transportation simulations. *Computer Physics Communications*, 147(1-2), 559-564.
- [6] Fu, L. (2002). A Simulation Model for Evaluating Advanced Dial-A-Ride Paratransit Systems. *Transportation Research Part A*, 36, 291-307.
- [7] İstanbul Kentiçi Ulaşım Şurası. (2002). *Kent ve Ulaştırma Planlaması Komisyonu 1. Taslak Raporu*, İstanbul Büyükşehir Belediyesi.
- [8] Banks, J. (1996). *Discrete-Event System Simulation*. 2nd Ed. New Jersey: Prentice Hall Inc.
- [9] Fishwick, P.A. (1995). *Simulation Model Design and Execution: Building Digital Worlds*. New Jersey: Prentice Hall.
- [10] Taha, H. (2000). (Çev. Baray, A. & Esnaf, Ş.). *Yöneylem Araştırması*. İstanbul: Literatür Yayınevi.
- [11] Kleijnen, J.P.C. & Groenendaal, W. (1992). *Simulation: A Statistical Perspective*. NY: John Wiley & Sons.
- [12] Harrington, H.J. & Tumay, K. (2000). *Simulation Modeling Methods*. NY: McGraw Hill.
- [13] Mchaney, R. (1991). *Computer Simulation: A Practical Perspective*. San Diego, California: Academic Press.
- [14] Eldabi, T., Irani, Z., Paul, R.J. & Love, E.D. (2002). Quantitative And Qualitative Decision-Making Methods in Simulation Modelling. *Management Decision*, 40(1), 64-73.
- [15] Taylor, B.W. (1993). *Introduction To Management Science*. 4th Ed. Boston: Allyn and Bacon .
- [16] Render, B. & Stair, R.M. Jr. (2000). *Quantitative Analysis for Management*. 7th Ed. New Jersey: Prentice Hall.
- [17] Yılmaz, E. (2003). Kentiçi Otobüs Taşımacılığında Hat Planlaması ve Simülasyonla Bir Çözüm Önerisi. *Yayınlanmamış Doktora Tezi*. İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.

Erdal YILMAZ (erdalyilmaz@marmara.edu.tr) has Ph.D. of Production Management at Istanbul University Social Sciences Institute. His research areas are group technology, lean manufacturing, axiomatic design, supply chain management, logistics management and urban transportation systems.