

## Otobüs duraklarındaki yolcu iniş-biniş zamanları üzerine bir tartışma A discussion on the dwell time values at bus stops

Mustafa ÖZUYSAL<sup>1</sup>, Süheyla Pelin ÇALIŞKANELLİ<sup>1</sup>, Serhan TANYEL<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, Türkiye.  
mustafa.ozuysal@deu.edu.tr, pelin.caliskanelli@deu.edu.tr, serhan.tanyel@deu.edu.tr

Geliş Tarihi/Received: 01.12.2015, Kabul Tarihi/Accepted: 16.02.2016  
\* Yazışılan yazar/Corresponding author

doi: 10.5505/pajes.2016.17894  
Araştırma Makalesi/Research Article

### Öz

Ülkemizde toplu taşıma sisteminin en sık kullanılan türü otobüs taşımacılığıdır. Otobüs sisteminin güvenilirliği, yolculuk sürelerinin düzenli olması ve yolcuların duraklarda aldığı hizmet ile çok yakından ilişkilidir. Sağlanacak yüksek güvenilirlik ile sisteme olan talebin artması, özel taşıt kullanımının azaltılarak trafik tıkanıklıklarının önlenmesinde etkili yöntemlerden biri olacaktır. Bu çalışmada İzmir'de toplu taşıma sisteminin işletilmesinde kullanılan akıllı kart verileri ve saha gözlemlerinden yararlanılarak toplu taşıma hatlarının güvenilirliği üzerinde etkili olan yolcu iniş-biniş süreleri modellenmiştir. Yapılan analizlerde biniş servis süresinin yolcu başına 4.23 saniye, inişlerin ise yaklaşık 1.0 saniye civarında olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca duraklarda binen ve inen yolcu sayıları arasındaki farkların, bekleme süresini parabolik olarak yükselttiği sonucuna varılmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Toplu ulaşım, Akıllı kart verileri, Çoklu regresyon analizi, Güvenilirlik, Yolcu iniş-biniş süreleri

### Abstract

Urban bus transportation is the most frequently used public transportation mode in Turkey. The reliability of urban bus system is mostly related with the regularity of travel times and the service provided to passengers at bus stops. The increasing demand of bus transit which can be provided by high reliability, can be the one of the most efficient method for preventing traffic jams by decreasing private car use. In this study, passenger getting on and off times are predicted by using site observations and smart card data used at the public transportation systems in İzmir. As a result of the analysis, the service times are found as 4.23 seconds for getting on and 1.0 seconds for getting off. Besides, it is concluded that the differences between the getting on and off passenger numbers at stop increase the dwell time in a parabolic function form.

**Keywords:** Public transportation, Smart card data, Multiple regression analysis, Reliability, Passenger getting on-off times

## 1 Giriş

Şehir içi taşımacılığında yolcu memnuniyetinin ve sistem performansının en önemli göstergelerinden biri doğru planlanmış ve tarifelerine uygun işletilen toplu taşıma hatlarıdır. Hatların uygun mesafelerde ve talebe cevap verebilecek doğru güzergâhlarda işletilmesi toplu taşıma sisteminin performansının değerlendirilmesinde son derece etkilidir. Toplu taşıma sisteminin performansının değerlendirilmesi amacıyla son yıllarda en çok kullanılan ölçüt güvenilirlik ölçütüdür [1]. Güvenilirlik, hatların planlanan tarifeyle uygun çalışması, güvenli olması, talebe cevap verebilecek yeterli kapasite sunması gibi birçok faktöre bağlıdır ve hatlara ait yolculuk sürelerinin çeşitli istatistiklerinin hesaplanması ile bulunmaktadır. Bir toplu taşıma sistemine ait güvenilirliği etkileyebilecek üç temel faktör bulunmaktadır. Bunlar; hatların geçtiği güzergâhlara ait trafik koşulları, hatta ait özellikler (sefer sıklığı, sefer süresi, hatların uzunluğu vs.) ve yolcu karakteristikleri olarak gruplandırılabilir.

Şehir içi trafiğinde, tüm taşıtlar ile bir arada işletilmekte olan lastik tekerlekli toplu ulaşım araçları için güvenilirlik hesaplamalarında mevcut yol ve trafik koşullarından kaynaklanacak etkenlerin göz ardı edilmemesi gerekir. Bu etkenlerin en önemli sonucu ise, aynı hatta ve aynı yönde hizmet veren toplu ulaşım araçlarının yolculuk sürelerindeki önemli farklılıklardır.

Zirve ve zirve dışı saatlerde trafiğin farklı özelliklerine bağlı olarak yolculuk süresinde önemli değişiklikler gözlemlenmektedir; bunun sonucunda ise özellikle ilk duraktan uzaklaştıkça ve durulan durak sayısı arttıkça otobüs hatlarının güvenilirlikleri de düşmektedir. Toplu ulaşımında servis döngü süresi belirlenirken, toplu taşıma güzergâhı üzerinde yer alan

gecikme yaratıcı faktörlerin etkisi sağlıklı bir şekilde tanımlanmalıdır. Bu husus karayoluna dayalı toplu ulaşım sistemleri için daha da fazla önem taşımaktadır. Bir arterde, gecikme yaratıcı unsurlar, trafik karakteristiklerinin yanı sıra:

- Kavşaklar ve kavşakların fiziksel ve işletim özellikleri (sinyalize ve sinyalize olmayan, hemzemin veya farklı düzeyli gibi),
- Arter üzerinde bulunan yaya geçitleri ve/veya hareketliliği,
- Yol kenarı parklanmaları,
- Otobüs durakları olarak sayılabilir.

Bu unsurlar genellikle trafik akımında yaratacakları gecikme açısından ele alınmaktadır ancak toplu taşıma hatlarına ait servis süresi üzerinde de oldukça önemli etkileri olduğu açıktır. Bunun dışında, otobüs işletmeciliği gibi, karayoluna dayalı toplu ulaşım sistemlerinde, otobüslerin durakta yolcu indirme-bindirme için harcadıkları süre de doğrudan sistemin güvenilirliğini etkilemektedir. Ayrıca trafik mühendisliği çalışmalarında, özellikle sinyalize kavşak kapasitesinin belirlenmesinde Otobüs Engelleme Faktörü (bus blockage factor) etkin bir parametre olarak tanımlanmıştır [2].

Bir otobüsün durakta durmasından kaynaklanan kayıp süre, otobüsün durağa yanaşması için hızını düşürmeye başlaması ve durması arasında geçen süre (yavaşlama ve durma), otobüsün durakta harcadığı süre (dwell time) ve yolcu indirme-bindirme işlemini tamamladıktan sonra akım içinde uygun bir aralık kollayarak akıma katılmak amacıyla hızlanmaya başlaması ve trafik akım hızına erişmesi için gerekli sürelerin toplamı olarak tanımlanabilir. Bu süreler, arter üzerinde otobüslerin trafik akımını engellememeleri amacıyla yol kenarında özel otobüs ceplerinin olup olmaması veya şerit genişliklerinin farklı değerler alması koşullarında değişiklik gösterebilmektedirler.

Diğer yandan binen ya da inen yolcu sayısının fazla olması da bu süreyi arttırıcı özelliğe sahiptir. Qu ve diğ. [3], yolcu inme-binme sürelerinin otobüs hatlarının güvenilirliğini etkileyen en önemli unsurlardan birisi olduğunu bulmuşlardır.

İniş-biniş sürecini etkileyen faktörlerin kapı genişliği ve adedi, binişte ve inişte basamak bulunma durumu, koltuk sayısı, ayakta duran yolcular için ayrılan alan gibi araç karakteristikleri ile ücret toplama sistemi (ön-ödemeli durak sistemi, otobüs içi ödeme ve kart dolun sistemleri vb.) özelliklerine bağlı olduğu çeşitli araştırmacılar tarafından vurgulanmıştır [4-6]. Levine ve Torng alçak tabanlı otobüs tasarımının yolcu iniş-biniş süresini %13~15 kısalttığı sonucuna ulaşmışlardır [7]. Dorbritz ve diğ. otobüs üzerinde ücret toplama sürecinin, toplam yolculuk süresinin yaklaşık %20'sine ulaşabildiğini, ücret toplama süresinin yüksek varyasyonlar gösterebildiğini ve servis güvenilirliği üzerinde güçlü bir etkisi olduğunu ortaya koymuştur [8]. Sun ve diğ. farklı otobüs güzergâhlarında yolcu iniş-biniş davranışını, farklı otobüs doluluk oranı ve otobüs karakteristiklerine göre modellemişlerdir [9]. El-Geneidy ve Vijayakumar ise körüklü otobüslerin iniş-biniş süresi ve servis süresi üzerindeki etkisini araştırmışlar ve körüklü otobüslerin, tek parça gövdeli otobüslere kıyasla iniş-biniş süresini kısalttığını, ancak bu süre kazancının toplam servis süresini etkilemediğini bulmuşlardır [10].

TCQSM (Transit Capacity and Quality of Service Manual)'de de literatürdeki çalışmalara paralel olarak, otobüslerin durakta bekleme sürelerine, beş faktörün etki ettiği belirtilmiştir [11]:

**-Yolcu inme-binme talebi:** En çok hacme sahip kapıdan hizmet alan yolcuların sayısı, tüm yolcuların hizmet alma süresini etkileyen ana faktördür. Yoğun bir şekilde kullanılan kapıda binme ve inme oranı bütün yolcuların hareketleri ile ilişkili olup, binme/inmenin ne kadar süreceği ile ilgili bilgi verir.

**-Otobüs durak alanı (spacing):** Durağın küçük olması bir noktadan fazla yolcu binmesini sağlar. Küçük duraklar, yolcu yürüme mesafesinin uzamasına yolcu hizmet süresi ve ona bağlı olarak otobüsün durakta bekleme süresinin artmasına yol açar.

**-Ücret ödeme işlemi (süreci):** Ücretin verilmesi için ortalama zaman, her bir yolcunun binme süresi için ana etkidir. Bazı ücret alım tipleri yolcuların birden daha fazla kapıdan binmesini ve yolcuların hızlı hizmet almalarını sağlar.

**-Araç tipi:** Basamakların yükseltilmesi ya da alçaltması, biniş ve inişte yolcuların toplam hizmet alma sürelerini etkilemektedir.

**-Araç içinde dolaşım:** Ayakta yolcu olması durumunda binen yolcuların ücret ödeme bölgesini boşaltmaları daha uzun zaman alabilir.

Otobüslerin bekleme sürelerinin sağlıklı bir şekilde hesaplanabilmesi için, detaylı arazi çalışmaları yapılmalıdır. Özellikle otobüslerin belirli bir hat üzerinde hizmet vermeleri, saha çalışmalarının etkililiğini arttırıcı bir unsur olarak tanımlanmıştır. TCQSM'de verilerin toplanmasında takip edilmesi gereken işlem sırası aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır [11]:

1. İncelenen durumda, her bir araç için tanımlayıcı özellikler, geliş numarası,
2. Aracın tam durma zamanı,

3. Kapıların tam olarak açıldığı zaman,
4. Binen ve inen yolcu sayısı,
5. Binen ya da inen ana akımın bittiği zaman (akım değerinin hesaplanabilmesi için),
6. Ayakta kalan yolcu sayısı (binen yolcu akımı durduğunda),
7. Kapıların tam olarak kapandığı an,
8. Aracın harekete başladığı an,
9. Tekerlekli sandalyeli yolcuların mevcut olması gibi özel şartlar da not edilmelidir.

Yapılan gözlemlerden yararlanarak otobüsün bekleme süresinin hesaplanabilmesi için yine TCQSM'de aşağıdaki bağıntının kullanılabileceği vurgulanmıştır:

$$t_d = P_a t_a + P_b t_b + t_{oc} \quad (1)$$

Burada;

- $t_d$  : Ortalama otobüs durma süresi (saniye),  
 $P_a$  : Her otobüs için en yoğun şekilde iniş yapılan kapıdaki inen yolcu sayısı,  
 $t_a$  : İnen yolcunun hizmet süresi (saniye/yolcu),  
 $P_b$  : Her otobüs için en yoğun şekilde biniş yapılan kapıdaki binen yolcu sayısı,  
 $t_b$  : Binen yolcu hizmet süresi (saniye/yolcu),  
 $t_{oc}$  : Kapı açma ve kapma süresi,

olarak tanımlanmıştır.

HCM 2000'de [12] hızlanma ve yavaşlama sürelerinin 5'er saniye, otobüsün durakta durma süresinin ise 15-60 saniye olarak alınması önerilmiştir. Aynı zamanda kapıların açılıp kapanması için de 2-5 saniye arası süre alınması öngörülmüştür.

Otobüslerin hızlanma ve yavaşlama süreleri, araçların motor güçlerine, büyüklüklerine ve ağırlıklarına göre çeşitli bağıntılar yardımıyla hesaplanabilmektedir. Bu konu, çalışmanın ilerideki bölümlerinde daha detaylı olarak irdelenecektir.

Kapıların açılması ve kapanma süreleri ile ilgili olarak Qu ve diğ. [3] çalışmasında 2.0 saniye değerinin alınmasının uygun olduğunu belirtmiştir.

Yolcuların binme süresi, ücret ödeme işlemi ile doğrudan ilgilidir. Ceder [13], ödeme türüne göre biniş sürelerinin 1.5~6.5 saniye arasında değişebildiğini belirtmiştir. Qu ve diğ. [3] ise çalışmalarında, otobüse binişlerde akıllı kart kullanılması durumunda yolcu başına 3.0 saniyelik bir biniş süresi gözlemlenmiştir. Yine Qu ve diğ. [3] çalışmasında, kağıt bilet ile binenlerin 20 saniye, engellilerin binişlerinde ise 45 saniyelik bir süreye ihtiyaç duyulduğu bulunmuştur.

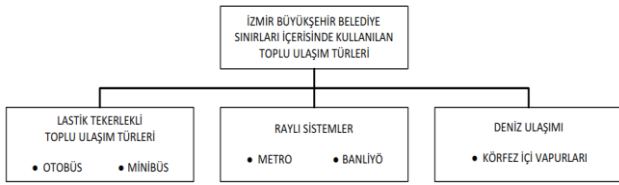
İniş sürelerinde ise, yolcuların bagaj taşıyıp taşımadıkları veya taşıdıkları bagajların büyüklüğü gibi unsurlar öne çıkmaktadır. Ceder [13], bagaj taşımayan yolcuların ortalama 1.5 saniye, bagaj taşıyan yolcuların ise 3.0~5.0 saniye aralığında bir süreye ihtiyaç duyduklarını vurgulamıştır.

Yukarıdan da anlaşılacağı gibi, bir otobüs hattının güvenilirliği büyük oranda yolcu inme-binme sürelerine bağlıdır. Çalışma kapsamında, İzmir kenti özelinde kullanılan akıllı kart sistemi verilerinden ve seçilen yedi otobüs hattında yapılan pilot çalışmalardan elde edilen sonuçlardan

yararlanılarak; yolcuların otobüslere iniş-biniş süreleri irdelenmiş; inen ve binen yolcu sayılarına bağlı olarak duraklarda kaybedilen zamanı tahmin etmeye yarayan bir bağıntı önerilerek sonuçlar tartışılmıştır.

## 2 Çalışma alanının tanıtılması

Türkiye'nin üçüncü büyük şehri olan İzmir, 11.973 km<sup>2</sup> yüzölçümüne sahip olup toplam il nüfusu 3.965.232 kişidir. Toplam nüfusun %91'lik bir kesimi ise metropoliten alan sınırları içinde yaşamaktadır [14]. Büyükşehir Belediyesi sınırları içerisinde 21 ilçe 743 mahalle yer almaktadır. Kent içindeki toplu ulaşım hizmeti lastik tekerlekli toplu ulaşım araçları (otobüs, minibüs ve taksi-dolmuş), raylı sistemler (Banliyö Demiryolu-İZBAN ve Hafif Raylı Sistem-METRO) ve körfez içi vapur hatları ile sağlanmaktadır (Şekil 1). Yukarıda bahsedilen toplu ulaşım türlerinden minibüsler dışındaki tüm türler İzmir Büyükşehir Belediyesi tarafından işletilmektedir.



Şekil 1: İzmir Büyükşehir Belediyesi sınırları içerisinde kullanılan toplu ulaşım türleri.

Mevcut durumda kentte 336 otobüs hattı, 1450 otobüs ve 6700'e yakın otobüs durağı ile karayoluna dayalı toplu ulaşım hizmeti sağlanmaktadır. Ayrıca 11.2 km uzunluğunda 12 istasyondan oluşan hafif raylı sistem hattı bulunmakta ve 79 km uzunluğunda 31 adet istasyon ile banliyö demiryolu sistemi bulunmaktadır. Körfez kenti olan İzmir'de 8 iskele kullanılarak; 15 adet vapur hattı ve 23 adet gemi ile körfez içi deniz ulaşımı hizmeti verilmektedir.

Kent içinde 2011 yılı Aralık ayı itibariye hafta içi günlük ortalama biniş sayısı 1.378.729, Cumartesi günleri ortalama biniş sayısı 1.127.050 ve Pazar günleri ortalama biniş sayısı ise 780.155'dir. Toplam binişlerin yaklaşık %77'sini otobüsler, yaklaşık %2'sini vapurlar, %11'ini HRS (Metro) ve %9'unu banliyö demiryolu (İZBAN) hattı oluşturmakta ve biniş bilgilerinin dağılımından karayoluna dayalı toplu ulaşım sisteminin ne kadar yaygın olduğu açıkça anlaşılmaktadır. Tablo 1'de Mayıs 2012 ayına ait akıllı kart verilerine göre hesaplanan haftalık ortalama biniş istatistikleri verilmiştir.

Tablo 1: Akıllı kart verilerine göre ulaşım türlerine ait yolcu biniş türü bazında hafta içi ortalama yolcu sayıları ve oranları (7-11 Mayıs 2012'ye ait veriler).

Ulaşım Türü	Biniş Türü				İndirimli Biniş	Toplam
	Tam	Öğrenci	Serbest	3-5 Biniş		
Otobüs	601.210	321.015	146.867	8.057	10.627	1.087.776
Metro	103.066	61.608	12.252	2.561	1.373	180.860
İzban	98.941	38.646	10.736	1.864	1.966	152.153
Vapur	27.746	5.984	2.711	1.515	274	38.230
Toplam	830.964	427.254	172.566	13.997	14.239	1.459.019

Analiz bölgesinin sınırları belirlenirken:

- İzmir Ulaşım Ana Planı çalışmaları kapsamında belirlenen merkez kent sınırları içerisinde yer alması,

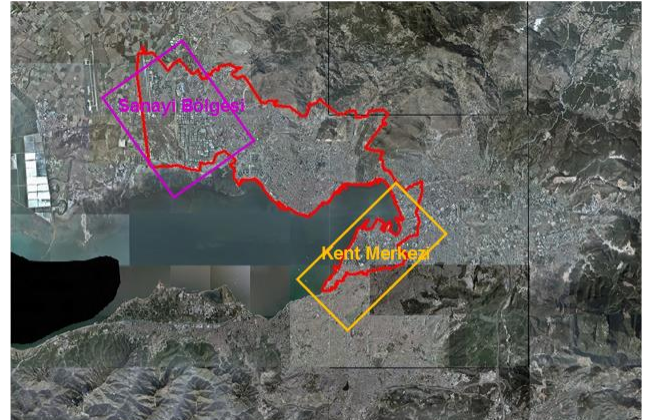
- Bölgeden başlayan yolculukların büyük bir oranının yine analiz bölgesi içinde sonlanması,
- Aynı arter üzerinde benzer hedef noktalarına ulaşan birçok otobüs hattının bulunması (yolcuların seçim yapabilmesi için alternatiflerin bulunması),
- Birden çok toplu ulaşım türünün analiz bölgesi içerisinde yer alması (yolcuların seçim yapabilmesi için alternatiflerin bulunması),
- Analiz bölgesi içerisindeki mahallelere toplu ulaşım hizmeti sağlayan otobüs hatlarına ait güzergâh ve durakların büyük bir çoğunluğunun (mahallelerden kent merkezine ulaşan hatlar) analiz bölgesi içerisinde yer alması,
- Analiz bölgesi içerisindeki yolculukların konut başlangıçlı olması,

kriterleri esas alınmıştır.

Analiz bölgesi metropoliten kent merkezini kapsayacak biçimde, kent yerleşim alanının kuzey bölümünü içermekte, bölge içerisinde Çiğli, Karşıyaka, Bayraklı ve Konak ilçelerine dâhil olan 74 mahalle yer almaktadır. Analiz bölgesinde organize sanayi bölgesi, çeşitli yoğunluklarda konut alanları, merkezi çalışma alanları ve ticaret tesisleri gibi farklı arazi kullanım dokuları bulunmaktadır (Şekil 2).

Analiz bölgesi içinde yer alan Anadolu Caddesi, Altinyol, Cemal Gürsel Caddesi gibi önemli arterler bölgenin kent ile bağlantısını sağlamaktadır. Bölgedeki toplu ulaşım, otobüs sistemi temelli olarak İzmir Banliyö raylı sistemi, vapur sistemi türlerine dayanmaktadır. Analiz bölgesi sınırları içerisinde toplam 60 adet otobüs hattı bulunmakta, bunlardan 45'i analiz bölgesi sınırları içerisinde başlayıp yine analiz bölgesi sınırları içerisinde sonlanmaktadır. Bahsi geçen bu hatların bir kısmı kent merkezine bağlantı sağlarken, bir kısmı analiz bölgesi içerisindeki yerleşimlerin farklı ulaşım türlerine (vapur, İZBAN ve metro) olan bağlantısını sağlamaktadır.

Çalışma kapsamında kullanılan veriler İzmir Büyükşehir Belediyesi ESHOT Genel Müdürlüğü Akıllı Kart Şube Müdürlüğü'nden temin edilen Mayıs, Ekim, Kasım, Aralık 2012 ve Ocak, Şubat 2013 aylarını içeren bilgilerdir. Gerekli veriler ayların her gününe ait detaylı Access Database dosya formatından elde edilmiştir. ESHOT Genel Müdürlüğü tarafından analiz bölgesi hatlarında köklü düzenlemelerin yapılmadığı, dolayısıyla yolcu hareketlerini köklü şekilde değiştirebilecek dışsal faktörlerin oluşmadığı zaman kesitleri dikkate alınmaya çalışılmıştır.



Şekil 2: Analiz bölgesi sınırları.



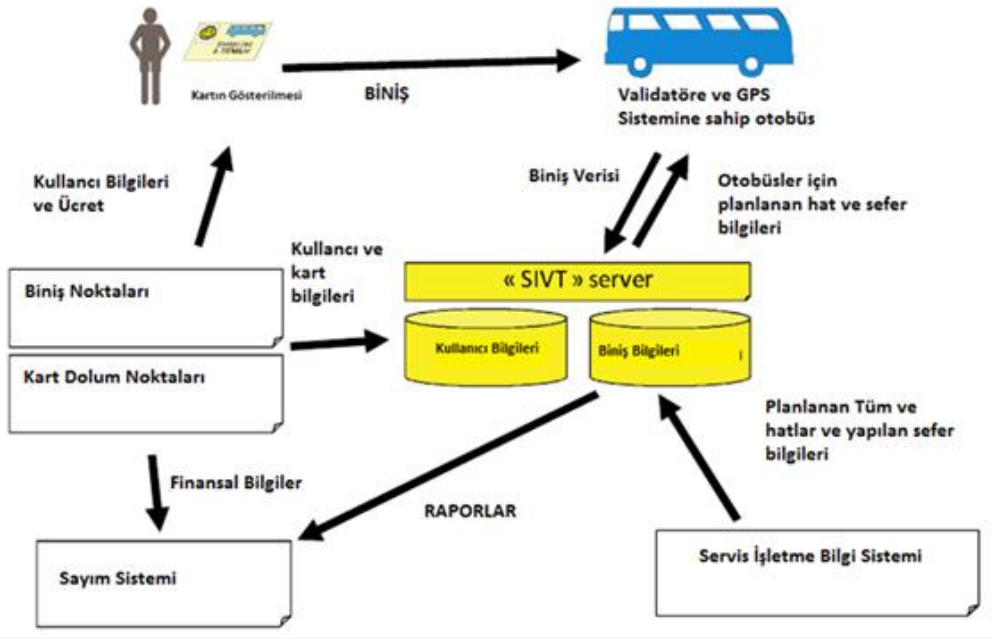
### 3 Analizler

ESHOT Genel Müdürlüğü tarafından İzmir kentinde ücret toplama amacıyla kullanılmakta olan akıllı kart verileri, otobüslerin takip ettikleri güzergâh üzerinde bulunan duraklara geliş ve ayrılma süreleri ile otobüse binen yolcu sayılarını da kaydetmektedir. Şekil 3'te tipik bir akıllı kart sisteminin veri akış şeması görülmektedir. Çalışma kapsamında elde edilen verilerin veri tabanı ortamındaki görünümü ise Şekil 4'te sunulmuştur.

Akıllı kartlar tarafından kaydedilen verilerde yer alan durağa varış ve ayrılış zamanları, otobüsün durağa yaklaşırken yavaşlaması, durakta durması ve kapıları açması, yolcuların iniş-binişlerini tamamlamaları, otobüsün kapılarını kapatması ve harekete geçerek duraktan ayrılması sürelerinin tamamını içermektedir. Şekil 3'te görüldüğü gibi validatör ve GPS aygıtına

sahip olan otobüsün konumu dinamik olarak her saniye belirlenmekte; validatöre takılı bulunan ve hat verilerine sahip sürücü kartında kayıtlı durak koordinatlarına belirli bir mesafe (30 m) yaklaşıldığı an durağa varış zamanı kaydedilmekte, otobüs 30 m'lik yarıçaptan çıktığı an ise ayrılış zamanı kaydedilmektedir.

Çalışma kapsamında analiz bölgesi içinde başlayıp biten hatlardan yedi tanesi seçilerek, bekleme süreleri ile ilgili bazı analizler yapılmıştır. Bu hatlar seçilirken, hatlar bir arada değerlendirildiğinde, analiz bölgesinin tamamına yakınına hizmet eden, konut, ticaret ve sanayi gibi farklı seyahat amaçlarını karşılayabilecek hatlar olmasına ve analiz bölgesi içinde kalan önemli arterleri de kullanan güzergâhları içermesine dikkat edilmiştir. Seçilen hatlar:



Şekil 3: Tipik bir akıllı kart sisteminin veri akış şeması [15].

BUS_ID	PLAKA	STOP_ID	DURAK_ADI	YON	SIRA	VARIS_ZAMANI	AYRILIS_ZAMANI	ZAMAN	YOLCU_SAYISI
28243	FU423	10001	Bahribaba	Gidis	1	01.11.2012 03:47:00	01.11.2012 03:47:00		0
26499	DA7287	10634	Cumhuriyet Lisesi	Donus	18	01.11.2012 03:50:08	01.11.2012 03:50:16		0.13
26499	DA7287	10636	Soğut	Donus	17	01.11.2012 03:50:44	01.11.2012 03:50:50		0.1
26499	DA7287	10638	Kızılöç	Donus	16	01.11.2012 03:50:55	01.11.2012 03:51:03		0.13
26499	DA7287	10640	Paşa Köprüsü	Donus	15	01.11.2012 03:51:25	01.11.2012 03:51:38		0.22
26499	DA7287	10642	Karabağlar	Donus	14	01.11.2012 03:51:51	01.11.2012 03:52:01		0.17
26499	DA7287	10652	Sinem	Donus	13	01.11.2012 03:52:37	01.11.2012 03:52:47		0.17
26499	DA7287	10654	Semt Garajı	Donus	12	01.11.2012 03:52:59	01.11.2012 03:53:07		0.13
26499	DA7287	10660	Serbest Bölge 2	Donus	10	01.11.2012 03:55:44	01.11.2012 03:55:53		0.15
26499	DA7287	10662	Leylak	Donus	9	01.11.2012 03:55:58	01.11.2012 03:56:06		0.13
26499	DA7287	10664	Ulaştırma	Donus	8	01.11.2012 03:56:28	01.11.2012 03:56:36		0.13
26499	DA7287	10666	Askeri Lojmanlar	Donus	7	01.11.2012 03:57:08	01.11.2012 03:57:18		0.17
26499	DA7287	10668	Çağdaş Eğitim	Donus	6	01.11.2012 03:57:30	01.11.2012 03:57:38		0.13
26499	DA7287	10670	Gaziemir İlçe Emniyet	Donus	5	01.11.2012 03:58:00	01.11.2012 03:58:30		0.5
26499	DA7287	10674	Emlak Bankası Evleri	Donus	3	01.11.2012 03:59:22	01.11.2012 03:59:29		0.12
26499	DA7287	10676	Seçkinler Sitesi	Donus	2	01.11.2012 03:59:38	01.11.2012 03:59:46		0.13
26499	DA7287	13016	Havalimanı Dış Hatlar Geliş	Donus	1	01.11.2012 04:03:22	01.11.2012 04:05:02		1.67
26499	DA7287	13016	Havalimanı Dış Hatlar Geliş	Donus	1	01.11.2012 04:07:38	01.11.2012 04:08:21		0.72
30355	BEJ62	10001	Bahribaba	Donus	1	01.11.2012 04:43:52	01.11.2012 04:43:52		0
28330	DA7461	30001	Bornova Metro	Gidis	1	01.11.2012 04:34:28	01.11.2012 04:41:18		6.83
28330	DA7461	30272	Ege Üniversitesi Hastanesi	Gidis	2	01.11.2012 04:42:05	01.11.2012 04:42:12		0.12
28330	DA7461	30511	Otogar	Gidis	3	01.11.2012 04:46:31	01.11.2012 04:49:51		3.33
26270	93431	40307	Gediz Atölye	Donus	1	01.11.2012 05:13:16	01.11.2012 05:46:45		33.48
29465	DA7458	10323	Montrö	Gidis	2	01.11.2012 05:03:39	01.11.2012 05:03:53		0.23
29465	DA7458	10554	Vasif Çnar	Gidis	3	01.11.2012 05:04:12	01.11.2012 05:04:37		0.42
29465	DA7458	10106	Dokuz Eylül Rektörlük	Gidis	4	01.11.2012 05:06:11	01.11.2012 05:06:23		0.2
29465	DA7458	10104	Sosyal Sigortalar Kurumu	Gidis	5	01.11.2012 05:07:18	01.11.2012 05:07:28		0.17
29465	DA7458	10102	İskele	Gidis	6	01.11.2012 05:08:39	01.11.2012 05:08:48		0.15
29465	DA7458	10185	Asansör	Gidis	7	01.11.2012 05:10:30	01.11.2012 05:10:57		0.45

Şekil 4: Durak yoğunluk verisi örneği.

- 126 Karşıyaka İskele-Cumhuriyet Mahallesi,
- 222 Mavişehir Aktarma-Karşıyaka,
- 461 Bostanlı İskele-Bahriye Üçok,
- 147 Gümrük-Postacı,
- 198 Gümrük-Doğançay,
- 121 Mavişehir Aktarma-Konak,
- 227 Bostanlı İskele-Atatürk Organize Sanayi Bölgesi,

hatlarıdır. Bu hatlardan üçü (126, 222 ve 461) Girne Caddesi'nden geçmektedir. İki (147 ve 198) Anadolu Caddesi'ni kullanarak Gümrük'e ulaşmaktadırlar. 227 no.lu hat ise diğer hatlardan tamamen farklı bir güzergâh takip etmektedir. 121 no.lu hat, analiz bölgesi içinde en fazla yolcu taşıyan hatlardan birisidir.

Seçilen otobüs hatlarının standart hafta içi bir güne ait akıllı kart verileri kullanılarak, binen yolcu sayısı ile otobüsün durağa varışı ve ayrılması arasında geçen zaman verileri arasında doğrusal regresyon analizi yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 2'de verilmiştir.

Tabloda **katsayı**, binen yolcu başına biniş süresini (saniye), **sabit** ise regresyon sabitini ifade etmekte, italik yazılı değerler ise katsayı ve sabitlere ait "t" testi değerlerini göstermektedir. "t" istatistiklerinin, olasılık testinde yaklaşık %95 anlamlılığa denk gelen "2" değerinden oldukça büyük olması, regresyondaki açıklayıcı değişkenlerin durak süreleri üzerinde oldukça etkili olduğunu göstermektedir. Regresyon katsayısının "1" değerine çok yaklaşmaması ise açıklayıcı değişkenlerin gerekli ancak yetersiz olduğunu, trafik kompozisyonu, yol ve durak geometrik özellikleri gibi bazı gözlemlenemeyen parametrelerin de ilişkiye dâhil edilmesi gerektiğini düşündürmektedir.

**Sabit** değerinin, incelenen hatta seyahat eden otobüslerin durağa yaklaşırken yavaşlama ve ayrılırken hızlanma süreleri ile kapıların açılma ve kapanma sürelerini içerdiği söylenebilir. Bu varsayımın doğruluğunu irdelemek amacıyla Akçelik ve Besley [16] tarafından önerilmiş olan hızlanma ve yavaşlama ivmeleri bağıntıları kullanılmıştır. Bir taşıtın ivmelenme süresi aşağıdaki bağıntı kullanılarak bulunabilir:

$$t_a = (v_s - v_b)/a_{ort} \quad (2)$$

Tablo 2: Binen yolcu sayısı ile otobüsün durağa varışı ve ayrılması arasında geçen zaman verileri arasında yapılan doğrusal regresyon analizi sonuçları.

Hat	Katsayı	Sabit	R <sup>2</sup>
126 Karşıyaka İskele-Cumhuriyet Mah.	4.13 <i>11.04</i>	33.10 <i>20.36</i>	0.43
222 Mavişehir Aktarma-Karşıyaka	4.46 <i>12.38</i>	34.66 <i>27.75</i>	0.31
461 Bostanlı İskele-Bahriye Üçok	7.97 <i>22.16</i>	30.61 <i>14.79</i>	0.59
147 Gümrük-Postacı	3.80 <i>16.12</i>	38.08 <i>30.67</i>	0.24
198 Gümrük-Doğançay	4.77 <i>10.12</i>	31.24 <i>17.59</i>	0.25
121 Mavişehir Aktarma-Konak	4.38 <i>62.84</i>	31.25 <i>55.41</i>	0.58
227 Bostanlı İskele-Atatürk O.S.B.	5.30 <i>32.00</i>	28.37 <i>31.22</i>	0.60

Bağıntıda  $t_a$  ivmelenme süresi (sn.);  $v_s$  ivmelenme sonundaki hız (km/sa);  $v_b$  ivmelenme başlangıç hızı (km/sa) ve  $a_{ort}$  ortalama ivmelenme oranıdır (km/sa/sn). Akçelik ve Besley [16], araçları hafif ve ağır araç olarak iki ayrı grupta toplamışlardır. Hafif taşıtlara ait  $a_a$  değeri, bağıntı [3] kullanılarak hesaplanabilir:

$$a_{aHA} = f_{aHA}[p_1 + p_2(v_s - v_b)^{0.5} - p_3v_b] \quad (3)$$

Burada  $a_{aHA}$  hafif taşıtlar için ivmelenme oranı (km/sa/sn);  $f_{aHA}$  kavşaklarda hafif taşıtlar için düzeltme katsayısı ve  $p_1, p_2$  ve  $p_3$  Tablo 3'te hafif taşıtlar için verilen ivmelenme oranı ölçeklendirme katsayılarıdır. Ağır araçlar için, ortalama ivmelenme oranı ( $a_{aAA}$ ) bağıntı (4)'te verildiği şekilde ifade edilebilmektedir.

$$a_{aAA} = f_{aAA} \left[ \frac{p_1 + p_2PWR(v_s - v_b)^{0.5} + PWR^{0.5}(p_4 - p_3v_b)}{-(p_5v_s^{0.5} + p_6G_r)/PWR} \right] \quad (4)$$

Burada;  $G_r$  yaklaşım derecesi (%),  $p_1, p_2, p_3, p_4, p_5$  ve  $p_6$  Tablo 3'te ağır taşıtlar için verilen ivmelenme oranı ölçeklendirme katsayılarıdır.  $PWR$  ise, aşağıdaki bağıntı ile hesaplanan gücün ağırlığa oranı olarak tanımlanır.

$$PWR = 1000 \frac{P_{maks}}{M_{AA}} \quad (5)$$

Denklem (5)'te,  $P_{maks}$ ; motor gücü,  $M_{AA}$ ; ağır taşıt kütlesi (kg)'dir.

Tablo 3: İvmelenme oranı ölçeklendirme değerleri [9].

	$f_a$	$p_1$	$p_2$	$p_3$	$p_4$	$p_5$	$p_6$	$P_{maks}$	$M_{AA}$	$PWR$
HA	1.8	2.08	0.127	0.005	-	-	-	-	-	-
AA	2.2	0.09	0.002	0.001	0.15	0.42	0.126	130	11000	11.8

Akçelik ve Besley [16], ağır araçların yavaşlama oranlarının hesaplanması amacıyla bağıntı (6)'yı kullanmışlardır:

$$a_d = f_{dAA} \left[ \frac{p_1 + p_2(v_b - v_s)^{0.5} - p_3v_s}{-p_4M_{AA}^{0.5} + p_5v_b + p_6G_r} \right] \quad (6)$$

Bağıntıda  $f_{dAA}$ , ağır araçlar için yavaşlama düzeltme faktörünü,  $p_1, p_2, p_3, p_4, p_5$  ve  $p_6$  ise Tablo 4'te verilmiş olan kalibrasyon parametrelerini ifade etmektedir. Araçların yavaşlama süreleri ise aşağıdaki bağıntıdan bulunabilmektedir:

$$t_d = (v_b - v_s)/a_{ort} \quad (7)$$

Tablo 4: Yavaşlama oranı ölçeklendirme katsayıları [8].

	$f_a$	$p_1$	$p_2$	$p_3$	$p_4$	$p_5$	$p_6$	$P_{maks}$	$M_{AA}$	$PWR$
HA	1.8	1.71	0.238	0.003	-	-	-	-	-	-
AA	2.5	1.63	0	0.005	0.00182	0.00622	0.0666	130	11000	11.8

Akçelik ve Associates'te [17], hafif taşıtların ağırlıklarının 1.100-2.700 kg aralığında, ağır taşıtların ağırlıklarının ise 5.500-38.000 kg arasında değiştikleri belirtilmiştir. En yüksek motor güçleri hesaplamalarda hafif ve ağır taşıtlar için sırasıyla 85 kW ve 130 kW olarak alınmıştır. Tanyel ve diğ. [18], İzmir'deki otobüslere ait ortalama taşıt karakteristiklerini Tablo 5'te sunulduğu şekilde belirlemişler ve hesaplarında kullanmışlardır.

Bağıntılardan da anlaşılacağı gibi, hızlanma ve yavaşlama süreleri otobüsün durmadan önceki ve kalkıştan sonraki hızına

bağlıdır. Tablo 6'da farklı hızlar ve farklı otobüs tipleri için hızlanma-yavaşlama süreleri hesaplanmıştır. Tablo incelendiğinde, otobüslerin hızlarının ortalama 20~30 km/saat olması durumunda, regresyon analizlerinden hesaplanan değerlere yakın sonuçlar bulunabileceği anlaşılmıştır. Ancak ESHOT Genel Müdürlüğü tarafından temin edilen verilerde, otobüslerin hızları ile ilgili bir bilgi bulunmamaktadır. Bu sebeple, otobüs hızlarına bağlı olarak yavaşlama ve durma sürelerinin gerçek verilerle karşılaştırılması mümkün olmamıştır.

Regresyon analizlerinden elde edilen diğer bir sonuç da, yolcu başına ortalama binme süresidir. Bu değer in arazi verileri ile tanımlanabilmesi için bir pilot çalışma gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, hafta içi sabah zirve saatlerinde birer gün olmak üzere 121, 126, 147 ve 227 numaralı hatlarda yolcuların iniş ve biniş süreleri ile ilgili gözlemler yapılmıştır.

Tablo 5: Hesaplamalarda kullanılan farklı taşıt türlerine ait karakteristikler [18].

Taşıt Sınıfı	Uzunluk (m)	Yüklü Ağırlığı (kg)	Maks. Motor Gücü	PWR
Otomobil	5.00	1.300	91	70.0
Minibüs	6.20	4.500	105	23.3
Körüksüz Otobüs Tip 1	11.88	18.000	184	10.2
Körüksüz Otobüs Tip 2	11.91	17.500	184	10.5
Körüklü Otobüs	17.94	28.000	260	9.3

Tablo 6: Farklı otobüs tipleri için hızlanma ve yavaşlama süreleri.

Taşıt Türü	Hız (km/sa)	Hızlanma süresi (sn.)	Yavaşlama süresi (sn.)	Toplam
Körüksüz Otobüs Tip 1	20	19.09	5.30	24.39
	30	29.95	7.63	37.58
	40	41.54	9.79	51.33
	50	53.84	11.79	65.63
Körüksüz Otobüs Tip 2	20	18.51	5.29	23.80
	30	28.89	7.62	36.51
	40	39.88	9.77	49.65
	50	51.45	11.76	63.21
Körüklü Otobüs	20	21.21	5.52	26.73
	30	33.92	7.94	41.86
	40	47.92	10.16	58.08
	50	63.20	12.22	75.42

Gözlemlerde dikkate alınan hususlar aşağıda sıralanmaktadır:

- Gözlemler, sabah zirve saatlerde her bir hat için seçilen bir gidiş yönü için gerçekleştirilmiştir,
- Hatlarda servis sunan otobüslerin özelliklerine göre otobüsün her bir kapısında birer gözlemci görevlendirilmiştir,
- Gözlemciler, otobüsün kapısını açtığı anda ellerindeki kronometreleri çalıştırmaya başlamış, kapılar kapandığında ise durdurmuşlardır. Böylece kapıların

açılması ve kapanması için gereken süreler, gözlem dışı bırakılmıştır,

- Aracın ön kapısından binen yolcular sayılmıştır. Zirve saatlerde yolcu yoğunluğu sebebiyle arka kapıdan yolcu alınması uygulanan seferler, gözlem dışı bırakılmıştır,
- Otobüsün diğer kapılarından inen yolcular sayılmıştır. Binen yolculara benzer şekilde, ön kapıdan yolcu inmesi durumunda, veri değerlendirme dışı bırakılmıştır,
- Büro çalışmasında, otobüse binen yolcular gözlemlendiği şekilde analizlere katılmışlardır. Ancak arka kapılardan en fazla yolcunun indiği kapıya ait yolcu iniş sayısı analizlere dâhil edilmiştir,
- Ön ve arka kapıların açık kalma süreleri ayrı ayrı kaydedilmiş, sadece en uzun süreli açık kalan kapının süresi analizlere dâhil edilmiştir.

Yukarıdaki prensipler doğrultusunda toplanan veri grupları çoklu regresyon analizi kullanılarak değerlendirilmiştir. Analizlerde, binen ve inen yolcu sayıları bağımsız, kapıların açık kalma süresi ise bağımlı değişken olarak analizlere katılmıştır. Buna göre elde edilen regresyon analizi sonuçları her bir hat için aşağıdaki şekilde elde edilmiştir:

121 Mavişehir Aktarma-Konak:

$$t_k = 4.03N_{binen} + 0.95N_{inen} \quad R^2 = 0.92 \quad (8)$$

126 Karşıyaka İskele-Cumhuriyet Mahallesi:

$$t_k = 3.64N_{binen} + 0.80N_{inen} \quad R^2 = 0.99 \quad (9)$$

147 Gümrük-Postacı:

$$t_k = 3.60N_{binen} + 0.91N_{inen} \quad R^2 = 0.98 \quad (10)$$

227 Bostanlı İskele-Atatürk Organize Sanayi Bölgesi:

$$t_k = 5.52N_{binen} + 2.09N_{inen} \quad R^2 = 0.98 \quad (11)$$

Yukarıdaki bağıntılarda  $t_k$ , kapının açık kalma süresini,  $N_{binen}$ , binen yolcu sayısını ve  $N_{inen}$  de inen yolcu sayısını ifade etmektedir. Bağıntılarda,  $N_{binen}$  ve  $N_{inen}$  değişkenlerinin önünde yer alan değerler, bir yolcuya ait biniş ve iniş sürelerini göstermektedir.

Bağıntı 8~11'de verilen regresyon analizleri, otobüs içinde gerçekleştirilen gözlem verilerine dayanmakta olup sadece kapıların açık olduğu net süreyi ve bu süre boyunca binen ve inen yolcu sayısı gözlemlerini içermektedir. Tablo 2'deki regresyonlar ise akıllı kart verilerinde, otobüslerdeki GPS alıcılarının duraklardaki vericiye ait sinyali algıladığı süreyi içermektedir. Dolayısıyla bu süreye, otobüsün durağa yaklaşması, durakta beklemesi ve duraktan bir miktar uzaklaşması da dâhildir. Gözlemlerden elde edilen süreler daha net bir veriye dayandığından, iniş ve biniş yolcu sayıları ile akıllı kart sürelerine kıyasla daha güçlü bir ilişki sağlamaktadır.

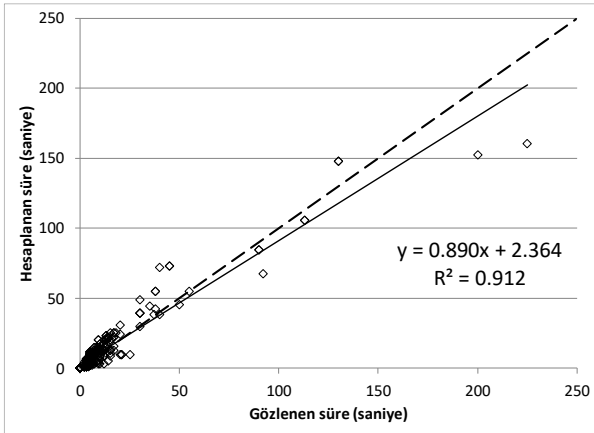
Bağıntı 8~11 incelendiğinde, en uzun biniş ve iniş sürelerinin 227 numaralı hatta en kısa sürelerin ise 126 numaralı hatta gözlemlendiği anlaşılmaktadır. Bu hatları kullanan yolcuların karakteristikleri (cinsiyet, yaş, eşya taşıma ve/veya çocuk arabasının taşınması gibi) ile ilgili olmakla birlikte, çalışma kapsamında bu tür bir veri toplanmamıştır. Görüldüğü gibi, denklemlerin  $R^2$  değerleri oldukça yüksek çıkmıştır.

Çalışmanın sonraki aşamalarında da kullanmak amacıyla tüm gözlem verileri birlikte analiz edilerek aşağıdaki bağıntı elde edilmiştir.

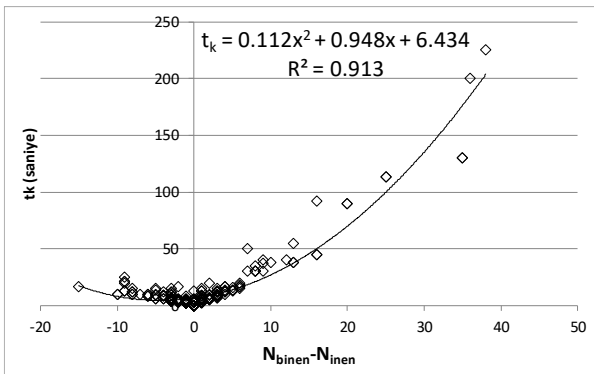
$$t_k = 4.23N_{binen} + 1.05N_{inen} \quad R^2 = 0.93 \quad (12)$$

Şekil 5'te gözlenen süreler ile (12) bağıntısından hesaplanan değerler karşılaştırılmıştır. Şekilden de görülebileceği gibi (12) bağıntısı, gözlenen değerlere çok yakın sonuçlar vermektedir. Bu da (12) bağıntısının çalışmanın sonraki aşamalarında kullanılabileceğini göstermektedir. Yine (12) bağıntısı incelendiğinde yolcu başına biniş süresinin 4.23 saniye, yolcu başına iniş süresinin ise 1.05 saniye olduğu söylenebilir. Yolcu biniş süreleri, Ceder'in [13] tanımladığı aralığa uymakla birlikte Qu ve diğ. [3] tarafından önerilmiş değerden oldukça büyüktür. Yolcu iniş süresinin ise (yolcuların yük taşımadığı kabul edilerek) Ceder'in [13] önerdiği değerlerin altındadır.

12 no.lu bağıntı, binen yolcu sayısının, inen yolcu sayısına oranla inme-binme sürelerinin hesaplanmasında daha etkili olduğunu göstermektedir. Aslında binen ve inen yolcular, gözlemlenen süreyi ortak olarak kullanmaktadır. Bu durumda binen ve inen yolcu sayıları arasındaki farkın, binme-inme süreleri üzerinde etkili olduğu söylenebilir. Bu yaklaşım doğrultusunda, " $t_k$ " süresi Şekil 6'daki ampirik bağıntı ile de hesaplanabilir. Bulunan parabolik bağıntı, binen ve inen yolcu sayıları birbirine yakın olduğunda, durakta bekleme süresinin 15-20 saniye düzeyinde kaldığını, ancak binen farkının 10 yolcudan fazla düzeyde olduğunda, durakta bekleme süresinin 1 dakika ve üzerine yükselebileceğini göstermektedir.



Şekil 5: Gözlenen ve hesaplanan biniş-iniş süreleri.



Şekil 6:  $N_{binen} - N_{inen}$  değerlerine bağlı olarak  $t_k$  değerinin hesaplanması.

#### 4 Sonuç ve öneriler

Yeni elektronik akıllı kart sistemleri, toplu ulaşım servis sürelerinin analizinde araştırmacılara, önceki sistemlere göre çok daha geniş ve detaylı bir bakış açısı sağlamaktadır. Bu

çalışmada, akıllı kart verileri ve örnek olarak seçilen hatlarda yapılan arazi gözlemleri kullanılarak, kentçi otobüs hatlarının güvenilirliğini etkileyen önemli unsurlardan birisi olan yolcu biniş-iniş süreleri modellenmeye çalışılmıştır. Analizler sonucunda, İzmir kentindeki akıllı kart verileri kullanılarak yapılan binişlerin yolcu başına 4.23 saniye gibi bir değere ulaşabildiği görülmüştür. Yine yapılan analizler, inen yolcuların ise yaklaşık 1.0 saniye içerisinde iniş hareketlerini tamamlayabildiklerini göstermiştir. İniş-biniş süresinin servis süresinin önemli bir kısmını oluşturduğu düşünüldüğünde, bu sürenin doğru olarak modellenebilmesi tarifelerin oluşturulmasında uygulayıcılara büyük kolaylık sağlayacaktır. Toplu ulaşım servis sürelerinin hesaplanmasında ve bir sonraki adım olarak hatların güvenilirliklerinin belirlenmesinde elde edilen değerler model girdisi olarak kullanılabilir. Diğer taraftan, akıllı kart verilerinin, sadece binen yolcu sayısını verdiği bilinmektedir. İnen yolcu sayısına sistemden erişmek mümkün değildir. Hâlbuki inen yolcu sayısı, başlangıç-varış analizlerinin kalibrasyonu açısından da yararlı olabilecek bir veridir. Çalışmada önerilmiş olan ampirik bağıntılardan yararlanılarak, her durakta inen yolcu sayısının tahmin edilmesi mümkün olabilecektir.

Analiz edilen durakların kent içindeki konumu, arazi kullanışı bakımından, yolculuk amaçlarını ve durakta bekleyen yolcu yoğunluğunu etkileyecektir. Örneğin konutsal yerleşimlerden sabah saatlerinde çıkan iş ve eğitim amaçlı yolculuklar için gerçekleştirilen binişler durak ve otobüs yoğunluğundan daha az etkilenerek seri hareket etme eğilimiyle gerçekleştirilebilecek, akşam saatlerinde merkezi iş alanından çıkan yolculuklar için ise varış süresi kısıtı daha esnek olduğundan, otobüsün yoğunluğu vb. faktörler iniş-biniş süresi üzerinde daha etkili olabilecektir. Dolayısıyla takip eden çalışmalarda, iniş ve binişlerin gerçekleştiği durakların çevresinde hizmet ettiği arazi kullanışı ve yolcu profiline göre analizlerin detaylandırılmasının faydalı olacağı düşünülmektedir. Ayrıca bu çalışmada kapsam dışı tutulan, ücret toplama sistem tipi, otobüs geometrik özellikleri gibi etkenlerin de ilerleyen çalışmalarda göz önünde bulundurulmasında yarar görülmektedir.

#### 5 Teşekkür

Bu çalışma, TÜBİTAK tarafından desteklenen 112M117 no.lu ve "Akıllı Kart Verilerine Dayalı Güvenilirlik Ölçütlerinin Toplu Ulaşım Atama Modellerine Entegrasyonu" başlıklı araştırma projesinde elde edilen bulguları içermektedir. Bu bağlamda, sağladığı proje desteği için TÜBİTAK'a ve veri temininde verdiği destek için İzmir Büyükşehir Belediyesi ESHOT Genel Müdürlüğü'ne teşekkür ederiz.

#### 6 Kaynaklar

- [1] Chen X, Yu L, Zhang Y, Guo J. "Analyzing urban bus service reliability at the stop, route, and network levels". *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 43(8), 722-734, 2009.
- [2] Transportation Research Board. *Highway Capacity Manual*. Transportation Research Board, National Research Council, Washington DC, US, 2010.
- [3] Qu X, Oh E, Weny J, Jin S. "Bus travel time reliability analysis: A case study". *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Transport*, 167(3), 178-184, 2014.



- [4] Fletcher G, El-Geneidy, A. "The effects of fare payment types and crowding on dwell time: A fine-grained analysis". *Transportation Research Record: Journal of Transportation Research Board*, 2351, 124-132, 2013.
- [5] Fernández R, Zegers P, Weber G, Tyler N. "Influence of platform height, door width, and fare collection on bus dwell time". *Transportation Research Record: Journal of Transportation Research Board*, 2143, 59-66, 2010.
- [6] Tirachini A. "Estimation of travel time and the benefits of upgrading the fare payment technology in urban bus services". *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 30, 239-256, 2013.
- [7] Levine JC, Torng GW. "Dwell-time effects of low-floor bus design". *Journal of Transportation Engineering*, 120(6), 914-929, 994.
- [8] Dorbritz R, Lüthi M, Weidmann U, Nash A. "Effects of onboard ticket sales on public transport reliability". *Transportation Research Record: Journal of Transportation Research Board*, 2110, 112-119, 2009.
- [9] Sun L, Tirachini A, Axhausen KW, Erath A, Lee DH. "Models of bus boarding and alighting Dynamics". *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 69, 447-460, 2014.
- [10] El-Geneidy A, Vijayakumar N. "The effects of articulated buses on dwell and running times". *Journal of Public Transportation*, 14(3), 63-86, 2011.
- [11] Transit Cooperative Research Program (TCRP). *Transit Capacity and Quality of Service Manual*. 3<sup>rd</sup> ed. TCRP Report 165, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, DC, US, 2013.
- [12] Transportation Research Board (TRB). *Highway Capacity Manual*. Transportation Research Board, National Research Council, Washington DC, US, 2000.
- [13] Ceder A. *Public Transit Planning and Operation*. 1st ed. Oxford, UK, Elsevier, 2007.
- [14] Türkiye İstatistik Kurumu. "Seçilmiş Göstergelerle İzmir 2011". Türkiye İstatistik Kurumu Matbaası, Ankara, Türkiye, 2012.
- [15] Trepanier M, Morency C, Agard B. "Calculation of transit performance measures using smartcard data". *Journal of Public Transportation*, 12(1), 79-96, 2009.
- [16] Akçelik R, Besley M, Roper R. "Fundamental Relationships for Traffic Flows at Signalized Intersections". ARRB Transportation Research Ltd., Research Report ARR: 340, 2000.
- [17] Akçelik and Associates. *aaSIDRA User Guide*. Akçelik and Associates Pty. Ltd., Melbourne, Australia, 2004.
- [18] Tanyel S, Çalışkanelli SP, Aydın MM, Utku SB. "Yuvarlakada kavşaklardaki ağır araç etkisinin incelenmesi". *Teknik Dergi*, 24(4), 6479-6504, 2013.