

Toplu Taşıma Araçlarıyla Seyahat için Akıllı Yönlendirme

Admir Nurkovic¹, Mustafa Demirel¹, Ilgın Gökaşar², Sinan Işık^{1,3}, Cem Ersoy¹

¹Boğaziçi Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, NETLAB,

²Boğaziçi Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü,

³Boğaziçi Üniversitesi, Matematik Bölümü

E-mail: {admir.nurkovic,mustafa.demirel1,ilgin.gokasar,isiks,ersoy}@boun.edu.tr

Özet: Şehir içi trafiğindeki hızla artan araç sayısının, bu araçların seyahat ettiği yol kapasitelerinden daha fazla seviyelerde olması sebebiyle, trafik durumu büyük şehirlerde yaşayan insanların hayat kalitelerini belirleyen en önemli etkenlerden biri haline gelmiştir. Bu çalışmada, insanların toplu taşıma araçlarını kullanarak seyahat ettiği şehir içinde, kullanıcı tercihlerinin de dikkate alınarak, seyahat kalitesinin dolayısıyla hayat kalitesinin iyileştirilmesinin amaçlandığı, bir şehir içi akıllı yönlendirme sistemi tanıtılmıştır. Önerilen sistem, toplu taşıma operatörlerinden alınan anlık yol, servis durum ve zamanlama bilgilerinin yanı sıra sistemin kullanıcıları tarafından akıllı telefonları vasıtasıyla sağlanan kitle tabanlı hız, gecikme, servis iptali veya arıza durum bilgilerini de kullanarak, güvenilir yönlendirme yapmayı amaçlamaktadır. Bu çalışmada İstanbul'da Boğaz'ın hem Avrupa hem Asya yakasını ve iki köprüyü de içine alan kilit bir bölgesi çalışma alanı olarak seçilmiştir. İstanbul Büyükşehir Belediyesi Trafik Kontrol Merkezi tarafından sağlanan, Ağustos 2014-Ekim 2104 dönemine ait üç aylık yol durum bilgisi ve uyarıları kullanılarak akıllı yönlendirme sisteminin işlevselliği değerlendirilmiştir.

Anahtar Sözcükler: Toplu Taşıma, Akıllı Yönlendirme, Kitle Kaynak, Hayat Kalitesi

Smart Routing for Travel by Public Transport Vehicles

Abstract: Since the increasing number of vehicles in urban traffic is higher than the capacity of the roads that these vehicles travel over, the condition of traffic became one of the most important factor that determine the life quality of the people living in metropolitans. In this study, a smart routing system for urban area is introduced to increase the quality of travelling and hence the quality of life, by also considering the user preferences, of the people who travel by public transport vehicles. The proposed system aims to provide reliable routing by using the real-time road, service state and scheduling information from public transportation operators and also crowdsourced speed, delay, service cancellation or vehicle breakdown information supplied by the system users via their smart phones. In this study, a hot region in İstanbul contained by both European and Asian sides of Bosphorus that contains both of the bridges is selected as a working area. The functionality of the smart routing system is evaluated by using the 3-months road traffic states and notifications data for August 2104–October 2014 period provided by İstanbul Büyükşehir Belediyesi Trafik Kontrol Merkezi.

Keywords: Public Transportation, Smart Routing, Crowdsourcing, Life Quality

1. Giriş

Dünyada yapılan benzer araştırmalarda, gerçek zamanlı toplu taşıma verilerinin yolculara sağlanmasının yarattığı etkiler

- toplu taşımanın kullanımında artış [1][2],
- toplu taşıma sistemi ile alakalı memnuniyet artışı [2][3][4],
- araç bekleme zamanlarında azalma [2][3][4][5],
- belirsizliğin azalması nedeniyle araç beklemesinden kaynaklı sıkıntıda azalma [3][5],

olarak gözlemlenmiştir. Görüldüğü üzere gerçek zamanlı toplu taşıma verilerinin yolcularla paylaşımının birçok olumlu etkisi vardır.

İstanbul, uzun yolculuk sürelerinin hayat kalitesini en çok etkilediği şehirlerden birisi olması ve aynı zamanda çeşitli toplu taşıma sistemlerini barındırması sebebiyle ideal bir çalışma alanıdır. Bu çalışmada gerçek zamanlı toplu taşıma verilerini kullanarak insanların yollarda geçirdiği zamanı azaltmayı ve dolayısıyla şehir yaşamının kalitesini arttırmayı hedefleyen bir akıllı yönlendirme sistemi tanıtılmıştır.

İstanbulda halihazırda kullanımda olan akıllı yönlendirme uygulamaları bulunmaktadır. Moovit [6] ve Trafi [7] en popülerleri arasındadır. Moovit ve Trafi otobüs, metrobüs, feribot, vapur, deniz motoru, dolmuş, minibüs, metro, hafif metro, tramvay ve funikülere ait gerçek zamanlı verileri kullanıcıya sunmaktadır. Ayrıca kullanıcılar-
dan gelen verilerle öngörülen seyahat süresi tahminleri güncellenmektedir. Uygulamalar kullanıcılar-
dan ve uygulamanın kendisinden gelen toplu taşımayla ilgili duyurular ve haberlerin (hat değişiklikleri, gecikmeler vb.) bulunduğu bir bölüm de içermektedir. Dünyadaki uygulamalara bakıldığında temel fark bisikletler ve taksilerin sisteme entegre edilmiş olmasındadır. Uygulamalar, kullanıcı

hızlı ulaşımı tercih ettiğinde metro ve taksi kullanarak rota verebilmekte ve kullanıcıya rotanın maliyetini hesaplayıp söyleyebilmektedir. Ayrıca kullanıcı düşük karbon emisyonuna öncelik vermek isterse uygulama bu kısıtı gözönünde bulundurarak hesaplamalarını yaparak en uygun rotayı önerebilmektedir.

Akıllı Yönlendirme Sisteminin benzerlerinden farkı kullanıcılara sunulan yönlendirme hizmetinin güvenilirliğinin yüksek olması ve buna karşın enerji verimli olmasıdır. Sistem hem toplu taşıma operatörlerinden hem de toplu taşıma kullanıcılarından aldığı bilgileri çeşitli güvenilirlik yöntemleri kullanarak harmanlar. Aynı zamanda sistem kullanıcılarından toplanan yollar hakkında ki bilgileri güvenilir kılmak amacıyla veri toplanan kullanıcı sayısını ve kullanıcı başına toplanacak veri miktarını dinamik olarak belirler. Kullanıcıların akıllı telefonlarının kısıtlı enerjileri vardır. Dinamik hesaplamalar içinde sistem kullanıcıların kısıtlı enerji kaynakları da eniyileme parametresi olarak gözönünde bulundurulur. Enerji hesaplamalarında akıllı telefonların anlık batarya doluluk seviyeleri ve veri aktarımı ile ilgili enerji kullanım tahminleri gözönünde bulundurulur. Burada amaç bilgi paylaşımı yapan kullanıcıların batarya kullanımını açısından memnuniyetsiz olmamalarını sağlamak ve dolayısıyla sisteme katılımlarının devamını sağlamaktır. Sistemin güvenilirliği kullanıcı katılımının artması ve devamı ile direk olarak ilgili olduğu için enerjinin verimli kullanılması ve kullanıcı memnuniyeti güvenilirlik için ilk şarttır.

Takip eden bölümde Akıllı Yönlendirme Sistemi'nin çalışma prensibi sistemin mimarisini oluşturan bileşenler ve bileşenlerin birbirleriyle olan ilişkileri tanımlanarak detaylandırılacaktır. Sistemin başarımını değerlendiren yöntemleri ve sonuçları anlatıldıktan sonra olası gelecek çalışmalardan bahsedilerek bildiri sonlandırılacaktır.

2. Akıllı Yönlendirme Sistemi Mimarisi

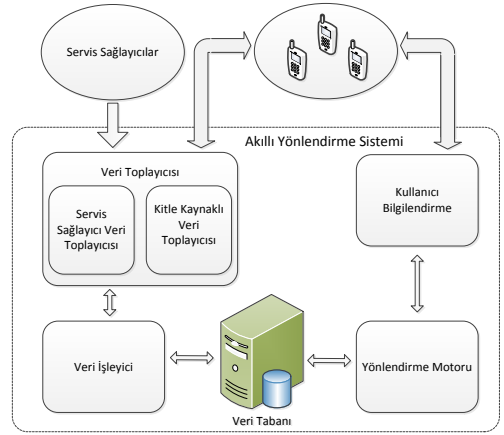
Akıllı yönlendirme sistemi Veri Toplayıcı, Veri Tabanı, Veri İşleyici, Yönlendirme Motoru ve Kullanıcı Bilgilendirme olmak üzere dört ana bileşenden meydana gelmektedir (Şekil 1.) Ana bileşenlerin görevleri ve birbirleriyle olan ilişkileri takip eden alt başlıklar altında detaylandırılacaktır.

2.1. Veri Toplayıcı

Akıllı yönlendirme sistemi, toplu taşıma sisteminin iki ana oyuncusu olan servis sağlayıcılar ve müşterilerden elde edilecek verileri kaynaştırarak kullanıcılarına güvenilir bir yönlendirme sağlayabilmeyi amaçlamaktadır. Veri Toplayıcı bileşeninin ana görevi toplu taşıma sistemi servis sağlayıcıları ve servis kullanıcılarından gelen verileri toplayıp veri tabanına depolamaktır. İki kaynaktan veriler Servis Sağlayıcı Veri Toplayıcısı ve Kitle Kaynaklı Veri Toplayıcısı isimli alt bileşenler vasıtasıyla toplanmaktadır.

Servis Sağlayıcı Veri Toplayıcısı

İstanbul'da karayolu, raylı sistemler ve deniz yolu ile toplu taşıma servisi sağlayan kamu ve devlet tarafından işletilen servis sağlayıcılar bulunmaktadır. Bu alt bileşenin amacı farklı servis sağlayıcılardan arıza, kaza, gecikme gibi servis durumları ile ilgili bilgileri toplamak ve daha sonra işlenilmek üzere veri tabanına depolamaktır. Bu bileşenin görevini uygun bir şekilde yerine getirebilmesi için karşısında çeşitli zorluklar bulunmaktadır. Öncelikle servis sağlayıcıların bahsi geçen servis durum bilgilerini tam zamanlı ve güvenilir bir şekilde topluyor olmaları gerekmektedir. İstanbul'da toplu taşıma araçlarına getirilen GPS ve kamera taşıma zorunluluğu bu bilgilerin toplanabilirliği konusunda kolaylık sağlamaktadır. Ancak yine de bu verilerin servis sağlayıcılar tarafından güvenilir ve vakitli bir şekilde işlenip raporlanması gerekmektedir. Diğer bir zorluk servis sağlayıcılarla toplanan servis durum bilgilerini paylaşımı konusunda



Şekil 1. Akıllı Yönlendirme Sistemi Mimarisi

yapılması gereken işbirliği anlaşmalarıdır. Farklı servislerin ve farklı tipte servis sağlayıcıların olması işbirliği anlaşmalarında çeşitlilikler olmasını gerektirecektir. Son olarak veri paylaşımı anlaşması sonrası farklı servis sağlayıcılar tarafından paylaşılacak olan verinin farklı yapılarda gelebilecek olması da bu alt bileşenin ilgilenmesi gereken zorluklardan biridir.

İstanbul'da toplu taşıma servis sağlayıcısı olmayan ancak toplu taşıma ile ilgili veri sağlayabilecek diğer bir kurum da İstanbul Büyükşehir Belediyesi Trafik Kontrol Merkezi'dir. TKM, İstanbul'da toplu taşıma araçlarının da yoğunlukla kullandığı ana arterlere yerleştirilen kameralar ve algılayıcılar vasıtasıyla yol hızı, araç sayısı, trafik kazası, araç arızası ve yol çalışması gibi bilgilere ulaşmakta ve bu bilgilerin bir kısmını sabit ve mobil uygulamaları üzerinden kullanıcıları ile paylaşmaktadır [8].

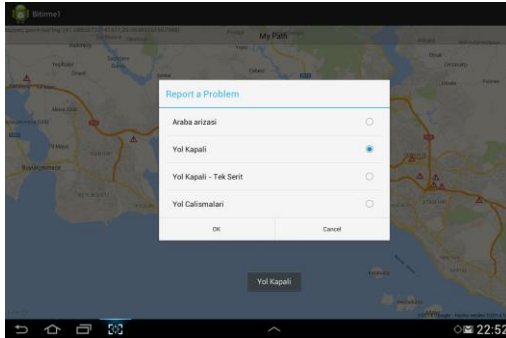
Kitle Kaynaklı Veri Toplayıcısı

Sistemin mobil kullanıcılarından alınan veriler kitle kaynaklı veri olarak adlandırılmaktadır. Kullanıcıların akıllı telefonlarına yükledikleri uygulama vasıtasıyla iki çeşit veri toplanmaktadır. İlki, sıklığı sistem tarafından enerji verimliliği ve

güvenilirlik konuları hesaba katılarak dinamik şekilde sistem tarafından belirlenen GPS bazlı lokasyon verisi, diğeri ise kullanıcıların bir arayüz (Şekil 2.) vasıtasıyla sisteme ilettikleri, toplu taşıma araçları ile seyahatlerine ilişkin seyahat edilen hat, araç arızası, servis gecikmesi veya iptali gibi durumlarla ilgili geri bildirim verileridir.

2.2. Veri Tabanı

Veri Tabanında depolanan en önemli bilgi bütün toplu taşıma araçlarınca kullanılan toplu taşıma ağıdır. Ağ, yönlendirilmiş çizge ile modellenmiştir ve her durak bir düğüm ve her durak arası yönlendirilmiş yay olarak düşünülmüştür. Modelde her düğüm ve yay özdeşleyici numaralara sahiptir. Ayrıca her durak ve yay ait olunan otobüs, metrobüs, metro, deniz otobüsü veya yürüme gibi taşıma yöntemlerine ait taşıma tipleri ile eşleştirilmişlerdir. Bu eşleştirmelerin amacı kullanıcılara tercihlerine göre yönlendirme sağlayabilmek ve yönlendirme hesaplarında parasal maliyeti kullanıcıya sunabilmektir. Duraklar arası yolları temsil eden yayların akıllı yönlendirme için en önemli özelliklerinden biri hızlarıdır. Yayların hızları kullanıcılar ve servis sağlayıcılardan toplanan verilerin Veri İşleyici tarafından işlenmesi ile dinamik olarak belirlenmektedir. Kaza, sis benzeri çeşitli sebeplerden dolayı aktif olmayan yayların hız bilgileri sisteme ait özel bir değer ile temsil edilmiştir.



Şekil 2. Trafik durumu geribildirim arayüzü

Veri Tabanında depolanan başka bir veri türü de toplu taşıma ağı üzerinde ki hatlarla ilgilidir. Her taşıma tipine ait her hat geçtikleri yollar (yaylar) ve duraklar (düğüm) ile birlikte depolanmaktadır. Ayrıca bu hatlara ait servis zaman bilgileri de servis sağlayıcılardan elde edilip veri tabanında depolanmaktadır. Hatlar ile ilgili bütün bu bilgiler Veri İşleyici tarafından güncel tutulmakta ve Yönlendirme Motoru tarafından kullanıcıya akıllı seyahat önerileri hesaplamada kullanılmaktadır.

Veri Tabanında ayrıca Veri İşleyici tarafından işlenen, servis sağlayıcılar ve kullanıcılardan toplanan servis durum bilgileri de depolanmaktadır. Her servis durum bilgisinin özdeşleyici numara, tip, lokasyon, geçerlilik süresi ve durum bilgi özeti gibi özellikleri vardır. Servis durum bilgileri Kullanıcı Bilgilendirme bileşeni tarafından kullanıcılar için güncel uyarı listesi hazırlama ve harita üzerinde gösterim amaçlı kullanılmaktadır.

Kullanıcılar ile ilgili bilgiler de Veri Tabanında depolanmaktadır. Yönlendirme Motoru hesaplamalarında kullanıcı tercihlerini de göz önünde bulundurabilir. Kullanıcı, seyahatlerinde kısa yolu, deniz yolunu veya ucuz olan yolu tercih edebilir. Mobil uygulama ile elde edilen bu gibi özel kullanıcı tercihleri sistem Veri Tabanında depolanmaktadır.

2.3. Veri İşleyici

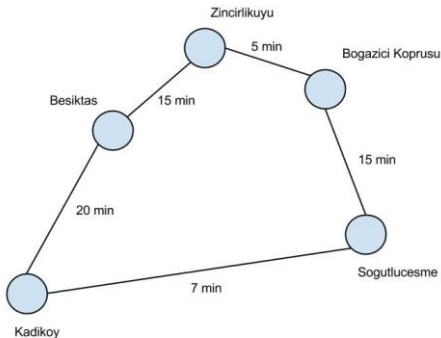
Servis Sağlayıcı Veri Toplayıcısı ile toplanan veriler Veri İşleyicisi bileşeni ile işlenir ve etkilenen yollar ve hatlar belirlenerek Veri Tabanında ilgili bilgilerin güncellenmesi sağlanır. Kitle Kaynaklı Veri Toplayıcısı ile kullanıcılardan toplanan bilgiler öncelikle bir doğruluk sınavı aşamasından geçirilirler. Doğruluğu anlaşılan bilgiler eğer sistem durumu ile ilgiliyse etkilenen yollar ve hatlar ile ilgili bilgiler Veri Tabanında güncellenir. Doğruluğu anlaşılan bilgiler eğer GPS bazlı lokasyon verisi ise yol hız bilgilerinin

hesaplanması ve güncellenmesi amacıyla tam zamanlı işlenirler.

GPS bazlı lokasyon verisi seyahatin gerçekleştiği yol bilgisinin yanı sıra o yolda ki trafik akış hızı ile ilgili de bilgi vermektedir. Bütün sistem kullanıcılarından toplanan lokasyon verileri sayesinde gerçek zamanlı olarak toplu taşıma ağında trafik akış hızı haritası elde edilebilmektedir. Sistemde bir kullanıcıdan hangi sıklıkta veri toplanacağı seyahat ettiği yol ile ilgili bilginin güncellik seviyesi ve toplanan veri miktarı ile belirlenir. Burada amaç kullanıcıların akıllı telefonlarında ki sınırlı pil ömürlerini verimli bir şekilde kullanmaktır. Eğer pil seviyeleri belli bir seviyenin altında ise kullanıcılardan periyodik lokasyon verisi toplanmaz, sadece kullanıcı yönlendirme isteğinde bulunduğu zaman lokasyon bilgisi alınır.

2.3. Yönlendirme Motoru

Dinamik yol akış hızı bilgileri Yönlendirme Motorunun en önemli girdisidir. Diğer önemli girdiler kullanıcı tercihleri, taşıma tipi, yol uzunluğu ve taşıma ücretleridir. Yönlendirme motoru birden fazla kısıtı kullanarak kullanıcı tarafından belirlenen başlangıç ve varış noktaları arasında ki seyahat alternatiflerini hesaplar ve sonucu Kullanıcı Bilgilendirme bileşenine aktarır. Şekil 3. te Zincirlikuyu ve Kadıköy başlangıç ve varış noktaları olmak üzere iki farklı alternatif ve yolculuk süreleri örnek bir senaryo olarak verilmiştir.



Şekil 3. Seyahat alternatifleri

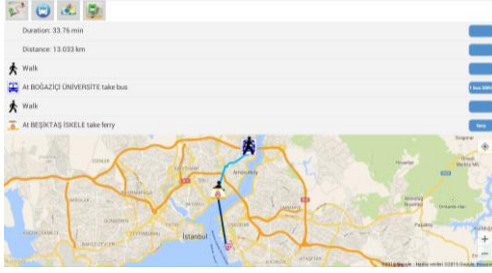
2.4 Kullanıcı Bilgilendirme

Kullanıcının akıllı telefonunun bir arayüzü vasıtasıyla başlattığı iki nokta arasındaki rota sorgusu sistemin Kullanıcı Bilgilendirme bileşenine ulaşır. Kullanıcı Bilgilendirme bileşeni kullanıcılardan gelen rota isteklerini Yönlendirme Motoruna iletir. Alternatif rotalar Yönlendirme Motoru tarafından hesaplandıktan sonra hesaplama sonuçları kullanıcıya iletilmek üzere tekrar Kullanıcı Bilgilendirme bileşenine aktarılır. Kullanıcının rota sorgusu ile ilgili tüm sonuçlar detayları ile birlikte bu bileşenin bir alt bileşeni sayılabilecek olan kullanıcı akıllı telefonunda ki uygulamaya iletir. Uygulama çeşitli gösterim arayüzleri ve filitreler vasıtasıyla kullanıcıya farklı açılardan rota sorgusuyla ilgili bilgilendirme sağlar.

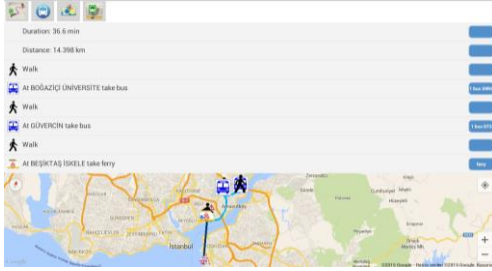
3. Sistem İşlevselliğinin Değerlendirilmesi

Sistemin işlevselliğinin değerlendirilmesi amacıyla TKM'den, toplu taşıma operatörlerinden ve kullanıcılardan alınan verilerin kullanıldığı, başlangıç noktası Boğaziçi Üniversitesi ve varış noktası Kadıköy olan üç farklı senaryo için yönlendirme önerisi hesaplanmıştır. Senaryolar için yönlendirme sistemi tarafından hesaplanan rotaların ilgili kullanıcı bilgilendirme arayüzleri Şekil 4'te sunulmuştur.

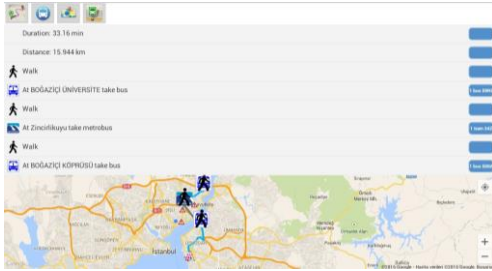
Şekil 4.a'da, 29 Aralık 2014 Pazartesi günü, TKM'den alınan yol durum bilgilerine göre, saat 10:46'da sistem tarafından hesaplanan yönlendirme önerisinin ekran görüntüsü verilmiştir. Şekil 4.b'de, kullanıcılardan alınan Barbaros Bulvarı ile ilgili uyarı değerlendirilerek sistem tarafından hesaplanan farklı bir yönlendirmenin sonucu verilmiştir. Şekil 4.c'de ise Beşiktaş-Kadıköy arasında hizmet veren vapur hattı için operatörden alınan sefer iptal uyarısının değerlendirildiği yeni bir yönlendirme yapılmıştır.



(a)



(b)



(c)

Şekil 4. Farklı senaryolar için yönlendirme önerileri

Yönlendirme önerileri ekran görüntülerinde rota gösteriminin yanı sıra rotanın uzunluğu, seyahatin tahmini süresi, ve seyahat sırasında kullanılacak toplu taşıma yöntemleri verilmiştir. Kullanıcıların toplu taşıma araçlarına erişim için yürüme süreleri gereken mesafeler ve süreleri de dikkate alınmıştır.

4. Sonuç

Bu çalışmada, İstanbul trafiğinin sorunlarına çözüm sunabileceği düşünülen bir uygulama geliştirildi. Gerekli veri elde edilebilirse, bu çalışmanın rahatlıkla başka şehirlere de uygulanabileceği öngörülebilir. Yeteri kadar veri sağlanabildiğinde, geliştirilen bu uygulamanın gelecekle ilgili trafik tahminleri

yapabilecek duruma getirilmesi planlanmaktadır.

Teşekkürler

Bu çalışmada yer alan veriler İstanbul Büyükşehir Belediyesi Trafik Kontrol Merkezi tarafından sağlanmıştır. Bu bildiri Boğaziçi Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü ve Akıllı Ulaşım Sistemleri (Trafik Kontrol) Laboratuvarını ortak çalışmasının bir ürünüdür.

5. Kaynaklar

- [1] L. Tang, P. Thakuriah, "Ridership effects of real-time bus information system: A case study in the City of Chicago," *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, Volume 22, pp. 146-161, 2012.
- [2] B. Ferris, K. Watkins, A. Borning, "OneBusAway: results from providing real-time arrival information for public transit," *In Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, ACM, New York, NY, USA, 1807-1816.
- [3] K. Dziekan, K. Kottenhoff, "Dynamic at-stop real-time information displays for public transport: effects on customers," *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, Volume 41, Issue 6, pp. 489-501, 2007.
- [4] K. E. Watkins, B. Ferris, A. Borning, G. Scott Rutherford, David Layton, "Where Is My Bus? Impact of mobile real-time information on the perceived and actual wait time of transit riders," *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, Volume 45, Issue 8, pp. 839-848, 2011.
- [5] C. Brakewood, S. Barbeau, K. Watkins, "An experiment evaluating the impacts of real-time transit information on bus riders in Tampa, Florida," *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, Volume 69, pp. 409-422, 2014.
- [6] Moovit, <http://www.moovitapp.com/turkish/>
- [7] Trafi, <http://www.trafi.com/>
- [8] İstanbul Büyükşehir Belediyesi, Trafik Kontrol Merkezi, <http://tkm.ibb.gov.tr>