

Toplu Ulaşım Talebi Analizinde Akıllı Kart Verilerinden Yararlanılması

Mustafa ÖZUYSAL

Dokuz Eylül Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi
İnşaat Mühendisliği Bölümü
İzmir, Türkiye
Tel: (0232) 301 70 76
E-Posta: mustafa.ozuysal@deu.edu.tr

Aylin KALPAKCI

İzmir Büyükşehir Belediyesi
ESHOT Genel Müdürlüğü
İzmir, Türkiye
Tel: (0232) 293 50 00
E-Posta: aylinalpakci@hotmail.com

Alper DERİ

İzmir Büyükşehir Belediyesi
ESHOT Genel Müdürlüğü
İzmir, Türkiye
Tel: (0232) 293 50 00
E-Posta: alperderi@hotmail.com

Pelin ÇALIŞKANELLİ

Dokuz Eylül Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi
İnşaat Mühendisliği Bölümü
İzmir, Türkiye
Tel: (0232) 301 70 02
E-Posta: pelin.caliskanelli@deu.edu.tr

Öz

Birçok büyük kentimizde kullanılmaya başlanan akıllı kart sistemleri, bir bilet ücretlendirme otomasyonu olmasının ötesinde, kentiçi toplu ulaşım talebinin analiz edilerek birçok açıdan optimizasyonuna olanak veren zengin bir veri sunmaktadır. Bu çalışmada, akıllı kart verilerini işlevsel hale getirmek amacıyla geliştirilen bazı algoritmalar ve örnek sonuçları sunulmuştur.

Kart bazında bireysel günlük yolculuk takibi, toplu ulaşım başlangıç-varış (BV) matrisi modeli, güvenilirlik analizi ve hat yoğunluk şeması, çalışmada elde edilen temel talep analizleridir. Bireysel yolculuk takibi, gün boyunca sistem kullanıcılarının ulaşım ve günlük aktivitelerine harcadığı zamanın belirlenmesi, aktarma davranışının ve dolayısıyla aktarma merkezlerinin yoğunluk ve verimlilik analizlerine olanak vermektedir. Toplu ulaşım BV matrisi, sistem kullanıcılarının hangi merkezler arasında seyahat ettiğini göstermekte, kullanıcıların etkileşimi yüksek merkezler arasında gereksiz kilometre yapmasını engelleyici hat güzergah optimizasyonlarına ışık tutmaktadır. Otobüs işletmesi için güvenilirlik analizi, her bir hattın analizi istenen bir durağa varış sürelerindeki varyasyonun belirlenmesini ve dolayısıyla talebi ve hizmet düzeyini düşüren, işletme planını aksatan durumların tespitini sağlamaktadır. Hat yoğunluk şeması ise her bir hattın hangi kesimler boyunca kullanıldığını görselleştirmekte, yoğun olmayan kesimlerin by-pass edilerek işletmedeki ölü kilometrelerin en aza indirilmesine olanak vermektedir.

Akıllı kart verilerinden elde edilebilecek talep analizleri, çalışmada sunulan örneklerle sınırlı olmayıp araştırmacı ve uygulamacıların ihtiyaçlarına göre türetilbilme olanağına sahiptir. Bu çalışma ile elektronik biletlendirme sistemlerinin ulaştırma planlaması açısından fonksiyonel hale getirilebilmesine yönelik adımlar vurgulanmıştır.

Anahtar Sözcükler: akıllı kart verileri, başlangıç-varış matrisi, güvenilirlik, talep analizi.

Literatür Özeti

Akıllı ulaşım sistemlerinin içinde yer alan akıllı kart sistemleri hem işletmeci hem de kullanıcılar tarafından büyük avantajlar sağladığından her geçen gün kullanımı yaygınlaşmaktadır (Trepanier ve diğ., 2007). Ülkemizde de ulaşım planlaması araştırma ve uygulamalarında akıllı kart verilerinden yararlanılmasına yönelik birçok kayda değer güncel çalışma yapılmaktadır (Eliyi ve diğ., 2014; Çelen, 2010; Maden, 2010; Firuzan ve diğ., 2015; Tınaztepe ve diğ., 2011). Bir validatör yardımıyla alınan biniş bilgileri araç konum sistemleriyle elde edilen bilgilerle birleştirilmekte ve ana merkeze iletilerek çeşitli yazılımlarla değerlendirilmektedir. Akıllı kart sistemlerinde genel olarak kişinin validatöre kartını göstermesi halinde sistem otomatik konum belirleme sistemleri (GPS) ile eş zamanlı çalışarak kart ID, otobüs ID, sürücü ID, durak ID, hattın yönü, hattın numarası, ücret tipi (tam, öğrenci, v.b), aktarma durumu, biniş saati ve tarihi gibi bilgiler sistem tarafından kayıt altına alınmaktadır.

Akıllı kart sistemi tüm toplu ulaşım şebekesi içerisinde yer almakta ve dahil olduğu toplu ulaşım sisteminin her elemanına ait birçok veri sağlamaktadır. Son yıllarda toplu ulaşım sistemlerinde kullanılan akıllı kart sistemlerinden elde edilen verilerin çeşitli yöntemlerle analiz edilmesiyle ilgili yapılan çalışma sayısı da artış göstermektedir. Yapılan çalışmalar elde edilen verilerin değerlendirilmesi kısa ve uzun vadeli stratejiler geliştirmek için kullanışlı olduğunu göstermektedir.

Pelletier vd. tarafından yapılan çalışmada akıllı kart bilgilerinin kullanım alanları ve ulaşım planlamasında nasıl kullanılabileceği incelenmiş ve üç temel kullanım seviyesi belirleyerek daha önce yapılan çalışmalar bu üç ana başlık altında gruplandırılmıştır (Pelletier ve diğ., 2011). Bunlar:

- Uzun vadeli planlama çalışmalarını, yolculuk talep tahminlerini ve yolcu davranışlarının analizini içeren uzun vadeli stratejik seviyedeki çalışmalar,
- Sefer çizelgelerinin düzenlenmesi ve bağımsız yolculuk davranışlarının analizini içeren taktiksel seviyedeki çalışmalar,
- İşletme performansının belirlenmesi ve çeşitli istatistiki değerlendirmelerin yapıldığı operasyonel seviyedeki çalışmalardır.

Stratejik seviyedeki çalışmalar genel olarak akıllı kart verilerinin uzun vadeli çalışmalarda kullanımını amaçlamaktadır. Bu düzeydeki çalışmalardan biri olan Agard vd.'ye ait çalışmada, akıllı kart kullanıcılarının yolculukları sırasında izledikleri rotaların takip edilerek kullanıcı davranışlarının ve daha iyi anlaşılabilmesini belirtmiştir (Agard ve diğ., 2006). Fakat bir kentteki tüm toplu ulaşım kullanıcıları akıllı kart kullanarak seyahat etmediklerinden geneli ifade eden doğru sonuçlar elde edebilmek için akıllı kart verilerinden elde edilen bilgilerde bazı düzeltmelerin yapılması gerekmektedir.

Agard vd. akıllı kartlara ait biniş tarihi, saati ve yeri verisini kullanmış ve tipik kullanıcıları belirleyerek gün, hafta, ay, mevsim içindeki kart kullanım değişimini analiz etmiştir (Agard ve diğ., 2006). Böylece kullanıcı davranışları daha anlaşılır hale gelmiştir. Trepanier vd. ise, akıllı kartlara ait biniş tarihi, saati ve yeri verileri ile ulaşım hane halkı anketi verilerini karşılaştırmıştır (Pelletier ve diğ., 2011). Bu çalışmayla anketten elde edilen gözlem verileri, akıllı kart verileriyle kalibre edilerek anket örnekleminin doğruluk derecesinin artırılması amaçlanmıştır. Birçok araştırmacı kullanıcılara ait kartların sınıflandırılmasına yönelmiş fakat kullanıcılara ait kişisel bilgileri öncelikli olarak incelenmemiştir. Sadece Utsominia vd.'ne ait çalışmada, kullanıcılara ait demografik bilgilere ulaşarak rota ve durak/istasyon bazında yolcuların demografik profilleri çıkarılmıştır (Utsunomiya ve diğ., 2006).

Pelletier vd. tarafından yapılan çalışmada stratejik seviyedeki çalışma grubuna dahil edilebilecek bir çalışma da Lee ve Hickman yapmış olduğu çalışmadır (Pelletier ve diğ., 2011;

Lee ve Hickman, 2011). Çalışmada bir aylık bir zaman dilimi içinde duraklardaki yolcu binişleri GIS ve SQL veri tabanı yönetimi programı kullanarak incelemiş ve düzenli toplu ulaşım kullanıcılarına ait akıllı kart bilgilerinin analizlerini yapmışlardır. Gün gün düzenli yolcuların binişleri incelenmiş ve yolculuk aktivite davranışları ortaya çıkarılmıştır. Binişlere ait zamansal ve mekansal analizler ile binişler arasındaki süreler incelenmiştir. Haftanın çeşitli günleri için toplanan veriler kullanılarak toplu ulaşım sisteminin kullanım düzenliliği ve değişkenliği yolcuların gün içinde yaptıkları ilk binişten itibaren araştırılmıştır.

Taktiksel seviyedeki çalışmalarda servis planlamasını ve yolcuların iniş noktalarının belirlenmesine ait çalışmalar en sık üzerinde durulan konu olmaktadır. Yolcuların zamansal ve mekansal olarak aktarma davranışlarının belirlenmesi planlamacılar, hatların yapısının ve sefer planlamalarının yolculara uygun hale getirilecek şekilde revize edilmesine olanak sağlayacaktır. Ayrıca, akıllı kart sisteminin bilgilerinin günlük olarak elde edilmesi yeni düzenlemelerin işletim sistemi üzerindeki etkisinin değerlendirilmesine yarar sağlamaktadır (Utsunomiya ve diğ., 2006). Taktiksel kullanım grubuna giren uygulamalardan Utsunomiya vd.'ne (2006) ait çalışmada, akıllı kart kullanıcılarının kullanım geçmişleri incelenerek biniş sıklıklarını belirlenmiştir. Bu incelemeye dayanılarak, hatların sefer sıklıklarında çeşitli düzenlemelere yapılabileceği sonucuna varılmıştır. Morency vd. örneğinde ise, akıllı kartlara ait biniş tarihi, saati ve yeri verisini kullanarak mekansal bir analiz yapılmış, böylece durak kullanım sıklıkları ve yoğunlukları belirlenmiştir (Morency, 2006).

Hafta içi günlerde işletmeciler aynı sefer planlamasını kullanmalarına rağmen günden güne işletme karakteristiklerindeki değişimlerden dolayı farklı sefer çizelgelemeye ihtiyaç duyabilmektedir. Akıllı kart sisteminin sağladığı veriler kullanılarak problem hat bazında ele alınabilmektedir. Her sefere ait yolcu-yük profilleri çıkarılarak hatlara ait maksimum yükleme noktaları ve yük değerleri belirlenebilmekte ve böylece servis sıklıkları revize edilebilmektedir. Birçok toplu ulaşım sisteminde inen yolcuların sayımını yapan teknolojik altyapı bulunmadığından, inen yolcuların tespiti için çeşitli algoritmalar ve hesap yöntemleri türetilmiştir (Trepanier ve diğ., 2007).

Toplu ulaşım sistemine ait performans göstergelerinin hesaplanmasını amaçlayan operasyonel seviyedeki çalışmalarda elde edilen sonuçlar işletmelerin sistemin durumu hakkında fikir sahibi olmalarını sağlamanın yanında, yolcuların seyahat davranışlarını ve rota seçimlerini biçimlendiren etkenleri de ortaya koymaktadır. Amerika Birleşik Devletleri'nde Transportation Research Board'un 2003 yılında yayınladığı "Transit Capacity and Quality of Service", performans ölçümünü, toplu ulaşım sisteminin detay görünümünü değerlendirmek için kullanılan nitel ve nicel faktörler olarak tanımlamaktadır (TRB, 2003). Ayrıca, toplu ulaşım sistemlerinde hizmet seviyesinin belirlenmesi ve sınıflandırılması için çeşitli performans ölçüm parametrelerinden de yararlanılmaktadır. Transit Cooperative Research Program'ın 2006 yılında yayınladığı "Using Archived AVL-APC Data to Improve Transit Performance and Management" akıllı kart verileri ve otomatik konum verileri (GPS) kullanılarak toplu ulaşım sistemlerine ait sefer süreleri, planlanan sefer sürelerine bağlılık, yolculara ait bekleme sürelerinin analizi, talep analizi, sefer aralıklarının düzenliliği, seferlere ait yolcu yoğunluğu analizleri, otobüslerdeki katar oluşumları gibi işletme hızı ve gecikmelere ait analizler gibi birçok performans parametresinin hesaplanmasına ait örnekler içermektedir.

Performans parametrelerinin yolcular açısından en önemlilerinden biri olan güvenilirlik, toplu ulaşım sisteminin, bir çizelgelemeye ya da daha önceden belirlenmiş sefer aralıklarına ve sabit bir seyahat süresine bağlı kalma kabiliyeti olarak da tanımlanabilir. Başka bir deyişle sistemin dakiklık ve düzenlilik performansı olarak açıklanabilir (Chen ve diğ., 2009).

Güvenilirlik, toplu ulaşım sisteminin işletme karakteristikleriyle ilişkili olan servis kalitesi ölçme yöntemidir. Yolcuların bekleme süreleri servis sıklığından çok sefer tarifesinin

güvenilirliğinden etkilenmektedir (Liu ve Sinha, 2007). Abkowitz ve Lepofsky ise güvenilirliği; toplu ulaşım işletmecilerinin ve yolcuların karar verme süreçlerini etkileyen servis özelliklerindeki süreklilik olarak tanımlamıştır (Abkowitz ve Lepofsky, 1990). Güvenilirlikle ilgili yapılan çalışmalarda temel olarak toplam seyahat süresinin ve temel bileşenlerinin tahmin edilmesi konusu incelenmektedir.

Literatürdeki örneklerden de anlaşıldığı gibi, akıllı kart sisteminin sağladığı verilerden, günlük işletme kararlarından uzun projeksiyonlu stratejik planlara kadar birçok alanda yararlanılabilmektedir. Bu çalışmada, özellikle orta vadeli taktiksel planlamalarda kullanılabilecek veri işleme uygulamalarından örnekler sunulmuştur. Çalışma kapsamında, İzmir Büyükşehir Belediyesi ESHOT Genel Müdürlüğü'nün desteğiyle temin edilen akıllı kart kullanım ve durak-yoğunluk verileri kullanılmıştır. Matlab matematiksel programlama dili kullanılarak geliştirilen algoritmalarından elde edilen bulgular, ArcGIS coğrafi bilgi sistemi yazılımı yardımıyla görselleştirilmiştir.

Veri

Çalışmada kullanılan akıllı kart veri setleri iki temel türdedir: durak yoğunluk verileri ve akıllı kart kullanım verileri. Durak yoğunluk verileri, ID ve plaka ile tanımlanan her bir otobüsün ait olduğu güzergahtaki her bir durağa ulaştığı zaman, hareket yönü (gidiş veya dönüş), ulaştığı durağın bu yöne göre sıra numarası, durağa varış ve ayrılış zamanı, dakika cinsinden durakta geçirdiği süre ve varsa o durakta binen yolcu sayısı verilerini içermektedir. Durak yoğunluk veri setinde hafta içi her bir gün yaklaşık 650.000 satırlık durak detayı içermektedir ve her bir güne ait veri yaklaşık 85 MB'lık dijital boyuta sahiptir.

Akıllı kart kullanım verileri ise her bir kart ID'sinin bir gün boyunca gerçekleştirdiği tüm kullanım hareketlerini, binilen hat no, yön, biniş zamanı, ücret tipi, aktarma durumu, durak ID ve otobüs ID olarak sağlayan veri tabanı dosyalarından oluşmaktadır. Akıllı kart kullanım verisi, hafta içi bir gün için yaklaşık 1.500.000 kullanım içermektedir ve yaklaşık 225 MB boyuta sahiptir. Bir günde kullanılan akıllı kart (özgün ID) sayısı ise yaklaşık 450.000'dir. Teorik olarak, bu 450.000 kullanıcının yarısının gidiş ve dönüşlerinde birer aktarma yaptığı, diğer yarısının aktarmasız yolculuk yaptığı kabul edilseydi toplam kullanım sayısı 1.350.000 ($225.000 \times 4 + 225.000 \times 2$) civarı gerçekleşecekti ki bu değer 1.500.000 kullanımın altında kalmaktadır. Dolayısıyla "1"den fazla aktarmanın sıklıkla karşılaşılmayacağı düşünülürse, kullanıcıların en az yarısının aktarmalı yolculuk yaptığı söylenebilir. Yüksek aktarma kullanımının muhtemel sebebi, İzmir'de ilk binişten sonra 90 dakika içinde yapılan aktarmaların ücretsiz olmasıdır.

Durak yoğunluk verisi ham durumda, durak ID'lerinin kayda değer bir kısmında "99999" numarasını veren geçersiz kayıtlara sahiptir. Bunun sebebi, otobüsün durakta yolcu almakta olan diğer otobüslerden dolayı, durağa yeteri kadar (duraktaki GPS sinyaline girmeden) yaklaşmadan veya durağı geçtikten sonra durup yolcu almasından kaynaklanmaktadır. En son kolonda yer alan otobüs ID verisi yardımıyla, kent kart kullanım verisi ile durak yoğunluk verisi ilişkilendirilebilmekte ve tanımsız durak ID verileri düzeltilebilecektir.

Bireysel Günlük Yolculuk Takibi ve BV Matrisi

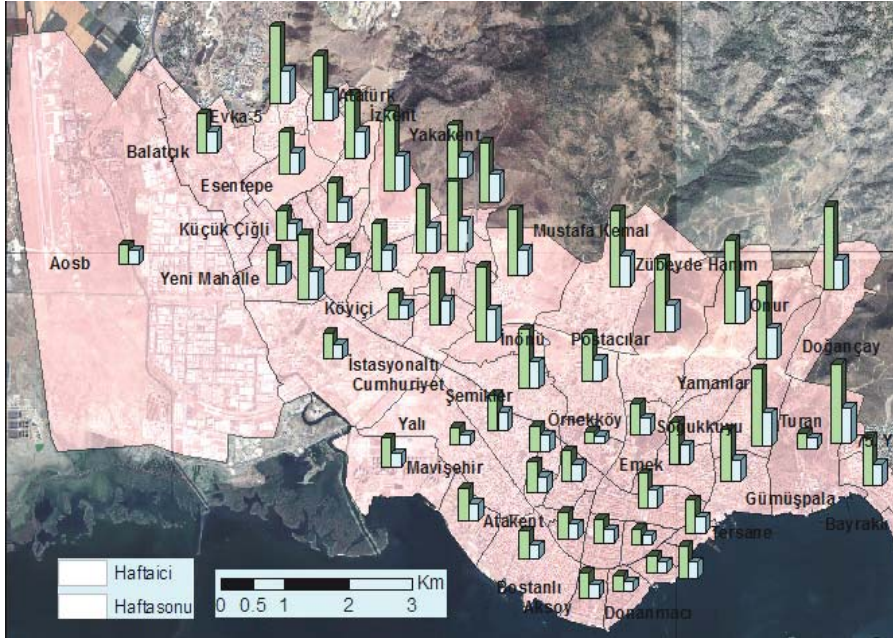
Toplu ulaşımın her bir kullanıcı tarafından ne sıklıkla kullanıldığı, aktarma olanaklarından yararlanılıp yararlanılmadığı gibi sistem işletmecileri tarafından bilinmek istenen temel soruların cevaplanabilmesi ve daha gelişmiş analiz süreçlerine geçilebilmesi açısından ilk adım, bireysel günlük yolculuk takibidir. Bu amaçla geliştirilen algoritma kısaca şu aşamalardan oluşmaktadır:

1. Akıllı kart kullanım verisindeki kart basışlarına ait kart ID numaralarını çekmek ve özgün değerlerden oluşan bir vektör haline getirmek
2. Özgün ID vektörü nün her bir değerini sırayla ele alıp kullanım verisi içindeki bu ID'ye ait basışları listelemek
3. Bir ID'ye ait kullanımları gün içindeki basış zamanlarına göre sıralamak
4. Sıralanan kullanımların zaman, binilen durak/hat, aktarma durumu gibi temel verilerini zaman sırasıyla satır vektörü halinde kaydetmek
5. Bir sonraki ID numarasına geçerek 2. adımdan itibaren son özgün ID'ye kadar işlemleri tekrarlamak

Bu algoritma sonucu ulaşılan veri yapısı, BV matrisi tahmini başta olmak üzere birçok analize imkan vermektedir. Her bir kart kullanıcısının gün içinde ilk gerçekleştirdiği yolculuklar belirlendiğinden, ilk binişin ikamet konumuna yakın olacağı kabulü ve binilen durağın koordinatlarının elde edilmesi halinde, akıllı kart kullanım istatistiklerinin konumsal analizi rahatlıkla yapılabilmektedir. Şekil 1'de, değinilen algoritma birer günlük haftaiçi ve haftasonu akıllı kart kullanım verisi kullanılarak, her bir kart ID'sinin gün içindeki ilk kullanıldığı durak konumuna göre, İzmir kent merkezinin kuzey yerleşimi için yapılan, kart kullanımının konumsal dağılım istatistiklerinden bir örnek görülmektedir.

BV matrisi, toplu ulaşım kullanıcılarının hangi bölgeler arasında yolculuk yaptığını göstermektedir. İstenilen düzeyde bölgeleme yapıp her bir durak ve istasyonun hangi bölge sınırları içinde olduğu tanımlandıktan sonra, bireysel günlük yolculuk takibi verisinden hareketle BV matrisi, bir takım ilave analizlerle elde edilebilmektedir. BV algoritmasında, gün içinde yapılan son aktarmasız yolculuğun başlangıç noktası, günün ilk yapılan yolculuğunun (aktarma varsa aktarmalı son yolculuğun) hattına ait durak listesi ile çakıştırılmakta; çakışan en yakın durak çiftinin arasında makul bir yürüme mesafesi var ise yolculuğun bu çakışan durak ile günün başında biniş yapılan durak çifti arasında gerçekleştirildiği kabul edilmektedir. Bu uygulama ile, düzenli yolculuk olarak tanımlayabileceğimiz, gün içinde bir noktadan başlayıp gün sonunda aynı durakta biten yolculukların tahmini sağlanmıştır. Kişinin sabah ilk biniş yaptığı durak/istasyon' un koordinat bilgisiyle son binişini gerçekleştirdiği otobüs/metro/vapur hattı durakları arasında ilişki kurularak düzenli yolculuklar elde edilmiştir.

Örnek uygulamada haftaiçi bir güne ait akıllı kart sistemine kayıtlı 1.398.065 biniş verisi işlenmiş, bu veri özgün ID no.suna dönüştürüldüğünde 495.559 bireysel takip verisi elde edilmiştir. Binışlerin aktarma durumları incelendiğinde 1.398.065 binışin 936.068'i aktarmasız, 461.997' si ise aktarmalı olarak yapıldığı ortaya çıkmıştır. Yani tüm binışlerin %66,95'i aktarmasız olarak gerçekleştirilmektedir. Bir gün içerisinde sadece bir yolculuk yapan 99.065 bireysel veri BV tahmininde değerlendirme dışı bırakılmıştır. Otobüslerin duraklarda kuyruklanma hareketleri sebebiyle 76.107 binışin durak bilgisine erişilememiştir. Bu binış sayısı kişi sayısına çevrildiğinde 67.619 kişiyi ifade etmektedir. Yapılan analizler sonucunda yolculuk yapan 495.559 kişiden (kart sayısı) 221.323'ünün (% 44,66) düzenli yolculuk yaptığı ortaya çıkmıştır. Bu değer analizi yapılabilen 328.875 kişinin % 67'sini oluşturmaktadır. Dolayısıyla geliştirilen algoritmanın, yaklaşık her üç kullanıcıdan ikisinin yolculuk davranışını rahatlıkla takip edebildiği söylenebilir.



Şekil 1 Özgün ID Numaralarının Haftaiçi ve Haftasonu Kullanım Dağılımı.

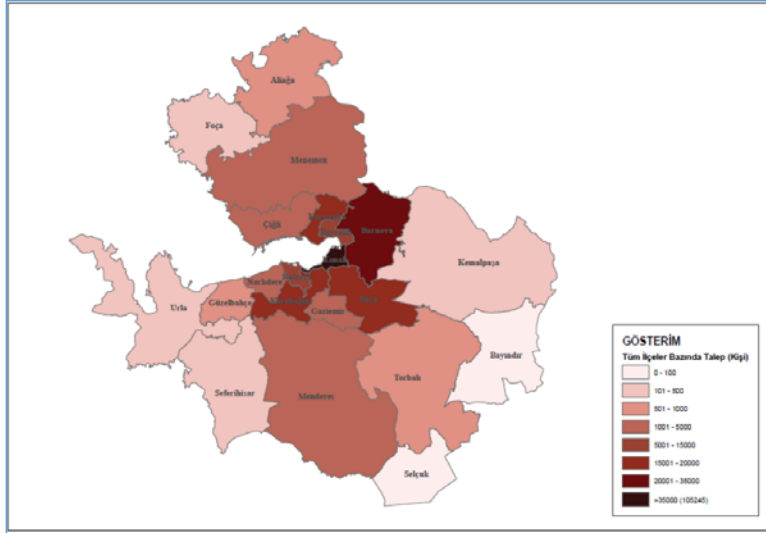
Elde edilen BV matrisi, mahalle bazından ilçe bazına da dönüştürülebilmektedir. İzmir kenti örneği üzerinde ilçe yolculuk talepleri incelendiğinde, özellikle kent merkezi başta olmak üzere eğitim ve sağlık tesislerinin bulunduğu bölgelerde bir yığılma görülmüştür. Mahalle bazlı kişi talepleri tekrar kendi içinde gruplandırılmış ve ilçe bazında kişi talepleri elde edilmiştir (Şekil 2). İlçeler bazındaki dağılım incelendiğinde düzenli yolculuk yapan 221.323 kişiden 105.245'inin tüm İzmir kenti içinden Konak ilçesine geldiği ve tekrar yolculuklarına başladıkları noktalara geri dönüş yaptıkları görülmektedir. Yani toplam talebin yaklaşık % 47' si kent merkezine doğrudur.

Hat Yoğunluk Şeması

Toplu ulaşım yolculuklarının, hizmete açılan sistem ağı üzerinde hangi kesimlerde yoğunluklara sebep olduğu ve hangi kesimlerde istenilen yolcu sayısına ulaşamadığı, özellikle otobüs güzergahı tasarımında oldukça önemlidir. Akıllı kart kullanım verileri kullanılarak elde edilen bireysel takip verileri üzerinden yapılacak bir sınama-atama algoritmasıyla toplu ulaşım ağı yoğunluklarının ortaya konması mümkündür. Bu amaçla geliştirilen algoritmanın temel aşamaları aşağıdaki gibidir:

1. Her bir özgün ID için bir döngü açılması
2. Özgün ID'nin ilk yolculuğundan başlayarak ardışık iki yolculuğunun ele alınması
3. Sonraki yolculuğun biniş durağının yürüyüş mesafesi içinde, önceki yolculukta binilen hatta ait durakların aranması
4. Sınama doğrulanırsa ilk yolculuğun, biniş durağı ile çakıştırılan durak arasında olduğunun belirlenmesi, belirlenen durak çiftleri arasındaki yolcu hacmine "1" yolcu ilave edilmesi

5. Sınama doğrulanmazsa bir sonraki ardışık yolculuk çiftine geçilmesi
6. Özgün ID nin son yolculuğuna gelindiğinde, sonraki yolculuk binişi olarak günün ilk yolculuğunun referans alınması
7. İşlemlerin her özgün ID için tekrarlanması
8. Elde edilen yolcu yoğunluklarının, GIS ortamında çizilen ve her bir ardışık durak çiftini bağlayan linkler ile ilişkilendirilmesi



Şekil 2 BV Tahminine Göre Yolculuk Taleplerinin İlçelere Dağılımı.

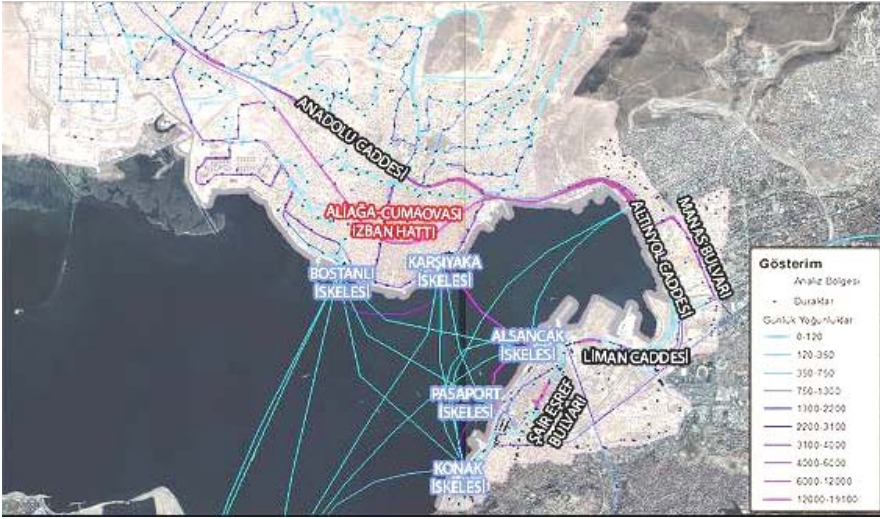
Örnek uygulamada günün ikinci yolculuğunun başladığı durak ile ilk yolculuğun yapıldığı hatta ait duraklar arasında yapılan mesafe hesabında en küçük uzaklık 800 metrenin altında ise; ilk yolculuğun, ilk binilen durak ile bu en küçük mesafeyi veren durak arasında olduğu kabul edilmekte; bu çift arasındaki hat parçasında yer alan tüm kesimlere birer yolculuk yoğunluğu ilave edilmektedir. Daha önce değinilen 99999 kodlu tanımsız duraklar nedeniyle yolculuk rotası belirleme çalışmalarında da bir miktar veri kaybolabilmektedir. İşlenebilen verilerden elde edilen yoğunluklar aşağıda örneklenmiştir.

Bir günlük veri üzerinde çalıştırılan algoritma sonucunda, seçilen analiz bölgesi içerisindeki kullanıcıların akıllı kart verileri toplam 1.216.792 yolculuk yoğunluğu olarak atanmıştır. Bu sayı, 33.276 adet gidiş-dönüş hareketinin duraklar arası kesimler üzerinden geçiş sıklığını göstermektedir. Bu yoğunluğun %90'ını lastik tekerlekli toplu taşıma araçları-ESHOT oluştururken, %7'sini Banliyö-İZBAN hattı, %2'sini körfez içi vapur hattı, %1'ini ise Hafif Raylı Sistem-Metro hattı oluşturmaktadır. İzmir geneli hesaplandığında yoğunluk artacağı gibi, yüzdeliklerde değişimler olacaktır.

Günlük yolculuklar mahallelere göre incelendiğinde, analiz bölgesinin kuzeyinde yer alan mahallelerde yoğunlukların daha düşük ve sifıra yakın olduğu sonucu çıkmıştır. Genel olarak yoğunluklar Anadolu Caddesi, Aliğa-Cumaovası İZBAN hattının Bayraklı-Mavişehir kesimi ve Karşıyaka-Alsancak, Bostanlı-Karşıyaka, Alsancak-Pasaport vapur seferleri üzerinde görülmektedir (Şekil 3).

Konum-Zaman Grafikleri ve Güvenilirlik Analizi

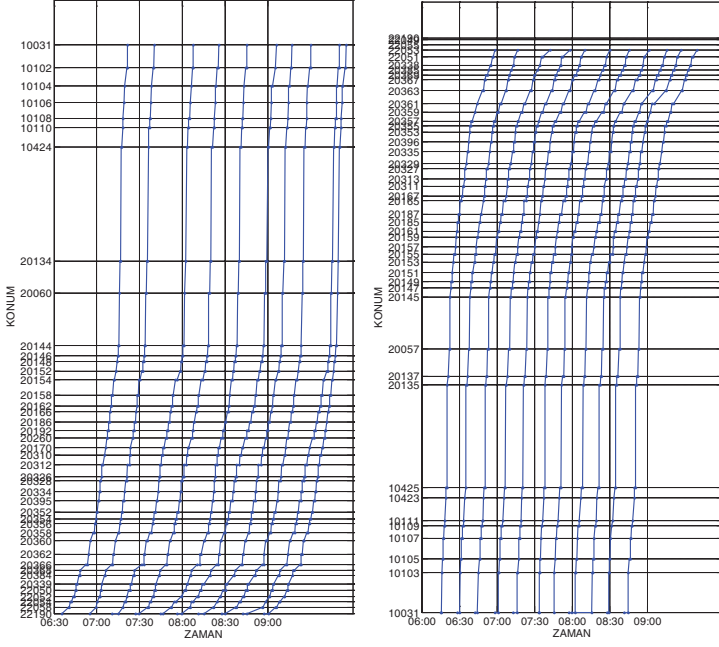
Durak yoğunluk verilerinin en etkin biçimde kullanılacağı temel analiz konum-zaman grafikleridir. Trafik ve yolcu yoğunluğundan kaynaklanan işletme süresi kayıplarının en çok yaşandığı bölgeleri arter bazında belirlemek amacıyla, her bir otobüs hattının duraklara varış ve ayrılış zamanlarından yararlanılabilmektedir. Analiz edilen hatların durak listesi ve her bir durak arasındaki uzaklık verisi ile de konum bilgisi sağlanabilecek, böylece durakta bekleme ve hareket halindeki konum değişimleri çizdirilebilecektir. Grafiklerin daha iyi incelenebilmesi için, gidiş ve dönüş yönleri ile sabah ve akşam zirve saat hareketlerinin ayrı ayrı incelenmesi daha sağlıklı olacaktır. Örnek uygulama olarak, bir günlük durak yoğunluk verisinden yararlanılarak 121 no.lu Mavişehir-Konak hattının sabah zirve saat (06:00-09:00) ve akşam zirve saat (16:00-19:00) dilimlerinde kent merkezine gidiş ve dönüş yönü için ayrı ayrı konum-zaman grafikleri oluşturulmuştur (Şekil 4). Şekillerde yatay eksen zamanı, düşey eksen ise durak ID numaraları ile belirtilen durakların başlangıca uzaklıklarını göstermektedir. Grafikler incelendiğinde, hangi yön ve saatlerde takip aralıklarının düzensizleştiği ve hattın hangi kesiminden sonra düzensizleşmenin baş gösterdiği rahatlıkla anlaşılabilir.



Şekil 3 Analiz Bölgesi Yolculuk Yoğunluklarının Yüksek Olduğu Güzergahlar.

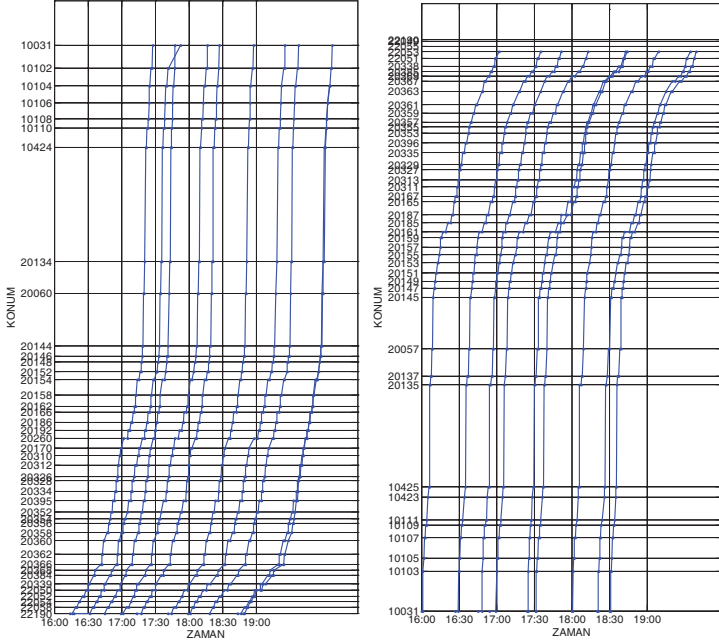
Seyahat süresindeki değişkenlik yolcuları iki farklı şekilde etkilemektedir:

- Güvenilir olmayan servislerin toplam seyahat süresi ve bekleme süresinin tahmin edilememesi,
- Güvenilir olmayan servislerin, yolcuların faydasızlığı minimize edilmesini amaçlayan en uygun seyahat seçeneği kararını vermesini engellemesi.



(a)

(b)



(c)

(d)

Şekil 4 121 No.lu Mavişehir Aktarma - Konak Hattına Ait Konum-Zaman Grafikleri.

(a) sabah zirve kent merkezi yönü, (b) sabah zirve dönüş yönü,
(c) akşam zirve kent merkezi yönü, (d) akşam zirve dönüş yönü

Dolayısıyla güvenilirlik kaybı, özellikle otobüs toplu ulaşım sistemi kullanıcılarının eğilim ve davranışlarını, talebe yansıtacak boyutta etkileyebilmektedir. Güvenilirliği hesaplamının literatürde değinilen en basit yolu, bir hattın ele alınan bir durağa varış sürelerinin ortalamasının standart sapmasına bölümü şeklindedir (Chen ve diğ., 2009):

$$RT_i = \mu_{ti} / \sigma_{ti} \quad (1)$$

Burada;

RT_i : Yolculuk süresi esaslı güvenilirlik (Reliability based on Travel Time)

μ_{ti} : i. hatta incelenen otobüslerin yolculuk sürelerinin ortalaması

σ_{ti} : i. hatta incelenen otobüslerin yolculuk sürelerinin standart sapmasıdır.

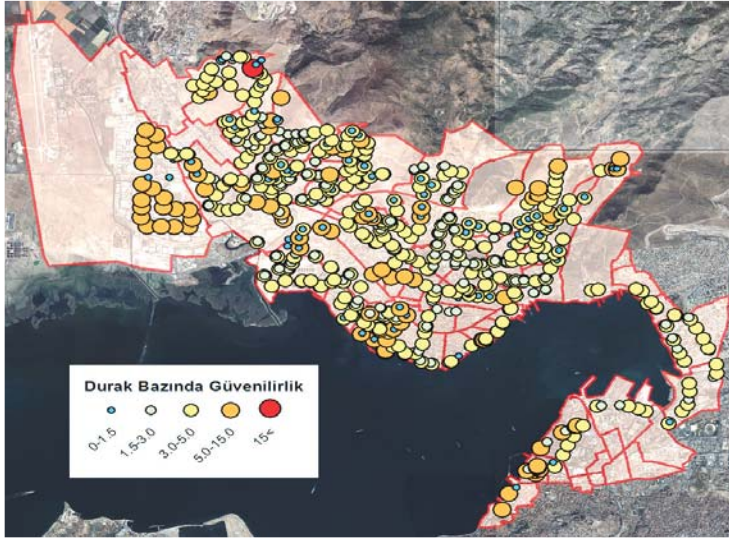
Basitçe varyasyon katsayısının tersi şeklinde olan ifade, varyasyon ortalamaya göre büyüdükçe daha düşük güvenilirlik hesaplanmasını ifade etmektedir. Durak bazında güvenilirliğin durak yoğunluk verileri kullanılarak hesaplanması için geliştirilen birinci algoritmada sırasıyla aşağıdaki adımlar uygulanmıştır:

1. Her hatta ait bir döngü oluşturulması
2. Sıradaki hattın her bir iş gününe ait bir döngü oluşturulması
3. Sıradaki hat ve gün için durak-yoğunluk verisinden ilgili verinin çekilmesi
4. Gidiş ve dönüş yönleri için bir döngü oluşturulması
5. Sıradaki yön için durak sayısının belirlenmesi
6. Yönün ilk durağı için hareket zamanının durak-yoğunluk verisinden çekilmesi
7. O yön için 2. duraktan başlayarak son durağa kadar sürecek bir döngü oluşturulması
8. Sıradaki durağa varış zamanının durak yoğunluk verisinden çekilmesi
9. Sıradaki durağa varış süresinin hesaplanması ve ilgili hat-gün-yön-durak vektörüne kaydedilmesi
10. Sırasıyla durak, yön ve gün döngülerinin çevrimi
11. Vektörler içinde veriden kaynaklanan sebeplerle yanlış hesaplanan ($0, >120dk$ vs.) sürelerin elenmesi
12. Elde edilen vektörlerin ortalama, standart sapma ve güvenilirliklerinin hesaplanması
13. Her bir hattın yönleri ve durak dizisi için kaydedilmesi
14. Hat döngüsünün çevrilmesi

Durak bazında güvenilirliğin hesaplanmasındaki ikinci aşama, ilk algoritmada elde edilen hatlara özel güvenilirliğin, o duraktan geçen tüm hatlar dikkate alınarak genelleştirilmesidir. Bu amaçla oluşturulan ikinci algoritmanın aşamaları aşağıdaki gibidir:

1. Hat durak listelerinin girilmesi ve her bir durak için hesap yapacak bir döngü oluşturulması
2. Sıradaki durak için toplam güvenilirlik, toplam geçiş sayısı ve duraktan geçen hat sayısı değişkenlerinin başlangıç değeri olarak "0" tanımlanması
3. Her bir hattın gidiş ve dönüşü için döngü oluşturulması
4. Sıradaki hat/yön için ilgili durağın hat listesinde aranması
5. Bulunduğu takdirde duraktan geçen hat sayısına "1" ilave edilmesi, toplam geçiş sayısına bulunan geçiş sayısının ilave edilmesi, toplam güvenilirliğe bulunan güvenilirliğin eklenmesi
6. Hat/yön döngüsünün çevrilmesi
7. Hat/yön döngüsü bittikten sonra, ilgili durak için toplam güvenilirliğin toplam geçiş sayısına bölümüyle ağırlıklandırılmış durak genel güvenilirliğinin elde edilmesi
8. İlgili durak için güvenilirlik, hat ve geçiş sayılarının kaydedilmesi
9. Durak döngüsünün çevrilmesi

Örnek uygulama olarak İzmir kent merkezinin kuzey kesimi için hesaplanan ağırlıklandırılmış durak güvenilirlik ölçütünün dağılımı Şekil 5'te verilmiştir. Az sayıda ve uzun aralıklarla otobüs geçen AOSB bölgesinde güvenilirliğin yüksek düzeyde çıkması (5-15) dikkat çekicidir. Bu bölgeye yakın birkaç hareket noktasının yer alması ve buraya ulaşan hatların kent merkezinden değil, genellikle bölgeye yakın olan Bostanlı İskele civarından aktarmalı yolcu taşınması bu durumda etkindir. Çok sayıda hat ve sık otobüs seferi gözlemlenen Girne Caddesi, Konak-Alsancak ve Altınyol koridorunda güvenilirliğin düşük ve orta düzeyde olması (1,5-5) trafik yoğunluğundan bu kesimlerin oldukça etkilendiğini göstermektedir.



Şekil 5 Analiz Bölgesi Duraklarının Ağırlıklandırılmış Güvenilirlik Ölçütü.

Sonuç

Çalışmada sunulan örnek algoritma ve sonuçlar, literatürde yeralan özellikle orta vadeli planlama uygulamalarında akıllı kart verilerinden üst düzeyde yararlanılabileceğini göstermektedir. Bireysel yolculuk takibi, konumsal akıllı kart kullanım istatistiklerinin incelenmesini sağlanmasının yanı sıra, BV matrisi ve hat yoğunluk şeması kurulması aşamalarına da öncülük etmektedir. BV matrisi ve hat yoğunluk şemaları, otobüs toplu taşımacılığı için taktiksel ve stratejik (uzun vadeli) adımların atılmasında, özellikle güzergah optimizasyonu açısından ışık tutmaktadır. Konum-zaman grafikleri ve güvenilirlik analizi ise otobüs işletmelerinde karşılaşılan ve talep kaybına sebep olabilecek hizmet düzeyi düşüşlerinin görselleştirilip irdelenmesi açısından, operasyonel plan çalışmalarında oldukça önemli araçlardır. Literatürden verilen diğer örnekler, araştırma ve uygulama çalışmalarında akıllı kart verilerinden, sunulan örneklerden çok daha çeşitli boyutlarda yararlanılabileceğini göstermektedir.

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.

Kaynaklar

- Abkowitz, M. and Lepofsky, M. (1990) Implementing Headway-Based Reliability Control on High Frequency Transit Routes. Journal of Transportation Engineering (116-1), pp. 49-63.
- Agard B., Morency C. and Trepanier M. (2006) Mining Public Transport User Behaviour from Smart Card Data. 12th IFAC Symposium on Information Control Problems in Manufacturing - INCOM 2006, May 17-19, Saint-Etienne, France.
- Chen X., Yu L., Zhang Y. and Guo J. (2009) Analyzing Urban Bus Service Reliability at The Stop, Route, and Network Levels. Transportation Research Part A (43), pp. 722-734.
- Çelen, M. (2010) Toplu Ulaşımında Akıllı Sistemler (Akyolbil) Transist 2010: Ulusal Toplu Ulaşım Sempozyumu ve Sergisi, s. 209-214, 02-03 Aralık 2010, İstanbul.
- Eliyi U., Kuvvetli, Ü., Nasiboğlu, E., Diker, A.C., Osmanoğulları, E. ve Ertaç, M. (2014) İniş Duraklarının Akıllı Kart Verileri Kullanılarak Tahmin Edilmesi İçin Hat Bazlı Yaklaşım: İzmir Örneği. Transist 2014: 7. Uluslararası Ulaşım Teknolojileri Sempozyumu ve Fuarı, s. 107-113, 19-20 Aralık 2014, İstanbul.
- Firuzan, A.R., Yıldıztepe, E. ve Kuvvetli, Ü. (2015) Toplu Taşıma Hizmetlerinin Değerlendirilmesinde Akıllı Kart Verilerinin Kullanımı. XVII. Akademik Bilişim Konferansı, 4-6 Şubat 2015.
- Lee, G. and Hickman, M. (2011) Travel Pattern Analysis Using Smart Card Data of Regular Users. 90th TRB Annual Meeting, January 23-27.
- Liu R. and Sinha S. (2007) Modelling Urban Bus Service and Passenger Reliability. The Third International Symposium on Transportation Network Reliability (INSTR), The Hague-The Netherlands.
- Maden, H. (2010) Elektronik Bilet Uygulamaları ve İstanbul Kart. Transist 2010: Ulusal Toplu Ulaşım Sempozyumu ve Sergisi, s. 248-252, 02-03 Aralık 2010, İstanbul.
- Morency, C., Trepanier, M. and Agard, B. (2006) Analysing the Variability of Transit Users Behaviour with Smart Card Data. The Ninth International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems, September, Toronto, Canada.
- Pelletier, M. P., Trépanier, M. and Morency, C. (2011) Smart Card Data Use in Public Transit: A Literature Review. Transportation Research Part C (19), pp. 557-568.
- Tınaztepe, S., Selanik, M., Kuvvetli Ü., Özkılçık, M., Osmanoğulları, E. (2011) Akıllı Kart Verileri ile Hat Planlaması. Transist 2011: IV. Ulaşım Sempozyumu ve Sergisi, s. 356-369, 01-02 Aralık 2011, İstanbul.
- TRB (2003) Transit Capacity and Quality of Service Manual. Transit Cooperative Highway Research Program (TCRP) Report 165, Washington, DC.
- Trepanier, M., Tranchant, N. and Chapleau, R. (2007) Individual Trip Destination Estimation in a Transit Smart Card Automated Fare Collection System. Journal of Intelligent Transportation Systems: Technology, Planning, and Operations, (11-1), pp. 1-14.
- Utsunomiya, M., Attanucci, J. and Wilson, N. (2006) Potential Uses of Transit Smart Card Registration and Transaction Data to Improve Transit Planning. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board (1971), pp. 119-126.