

Toplu Ulaşımında Akıllı Kart Verilerinin Analizi ile Yolcu Yoğunluğunun Tahmin Edilmesi*

Ahmet Can Diker¹, Efendi Nasiboğlu², Elvin Nasibov³

^{1,2}Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, Türkiye

³Ege Üniversitesi, İzmir, Türkiye

¹dikerahmetcan@gmail.com, ²efendi.nasibov@deu.edu.tr, ³elvin.nasibov@netsis.com.tr

Özet — Gelişmiş ve gelişmekte olan şehirlerde nüfusun hızla artması ulaşım sorunlarını da beraberinde getirmektedir. Toplu ulaşımında kullanılan akıllı kartlardan (Smart Card) günlük milyonlarca veri toplanabilmekte ve bu verilerin analizi ile biniş-iniş sayıları tahmini yapılabilmektedir. Çalışmada İzmir şehri model olarak ele alınmış, yolculuk zinciri ve rasgele atama yöntemlerinden bahsedilmiştir. Bu yöntemlerin uygulanması sonucu yolcu yoğunluğunun tahmin edilmesine yönelik hesaplamalar ele alınmıştır.

Anahtar Kelimeler— akıllı kart, veri analizi; yolculuk zinciri; yolcu yoğunluğu, toplu taşıma/ulaşım.

I. GİRİŞ

Şehir içi ulaşımında kullanılan akıllı kartlar, akıllı şehirlere doğru giden yolda en önemli adımlardan biridir. Gelişmiş şehirlerde her gün toplu ulaşım araçlarında akıllı kartlar ile yapılan işlem (transaction) sayısı milyonları bulmaktadır. Bu verilerin analiz edilmesi kısa ve uzun vadede yolcu alışkanlıklarının belirlenmesi için önemlidir. Depolanan verinin gün geçtikçe artması toplu ulaşımında yolcuların hareket desenlerini çıkarmayı mümkün kılarsa da ortaya çıkan büyük verinin analizi de işlem maliyetini artırmakta ve daha etkin çözümler aranmaktadır.

Gelişmiş ve gelişmekte olan şehirlerde nüfusun hızla artması, yerel yönetimleri toplu ulaşım hizmet kalitesini artırmaya zorlamakta ve bunun bir sonucu olarak kısa ve uzun vadeli planlar yapılmaktadır. Toplu ulaşımında akıllı kart verileri 2000’li yılların başından itibaren ulaşım planlama amacıyla kullanılmaya başlanmıştır [1-3]. Bagchi ve arkadaşları, İngiltere’de iki ayrı otobüs firmasına ait akıllı kartların otobüslerde sadece binişlerde kart kullanıldığını belirtmişler ve bu sebeple iniş bilgisinin elde edilmesine ilişkin zorlukları dile getirmişlerdir [1]. Bagchi ve White, diğer bir çalışmada yolculuk alışkanlıklarını akıllı kart verilerinden elde ettiği istatistikleri kullanarak incelemişlerdir [3]. Morency ve arkadaşları Gatineau, Quebec’te 10 aylık biniş verileri için k-ortalama kümeleme yöntemini kullanarak yolcu alışkanlıklarını belirlemeye çalışmışlardır [4]. Bu ve benzeri çalışmaların odaklandığı ana nokta, toplu ulaşım sistemlerinin birçoğunda akıllı kartların sadece girişlerde kullanılması sebebiyle inişe ait bir bilginin mevcut olmamasıdır. Dolayısıyla iniş bilgisinin tahmin edilmesi gereklidir. Iniş tahmininin yapılması ile biniş, iniş ve aktarma noktalarına (durak, istasyon, ya da iskele) ait istatistikleri değerlendirilerek başlangıç-bitiş (origin-destination) matrisleri oluşturula

bilmektedir. Iniş bilgisinin tahmininde yöntemlerin birçoğu yolculuk zinciri (trip-chaining) yöntemine dayanır. Yolculuk zinciri yöntemi yolcuların gün içindeki yaptıkları hareketleri ardışık olarak inceler ve bir önceki yolculuğun inişini bir sonraki biniş yerine göre tayin eder. Literatürde yolculuk zinciri mantığına dayanan farklı yöntemlerin geliştirildiği birçok çalışma vardır [1-8]. Zhao ve arkadaşları, raylı sisteme ve otobüse ait biniş verilerinden yolculuk zinciri yöntemi ile iniş tahminini gerçekleştirilmiştir [5]. Trépanier ve arkadaşları 2007 yılında Gatineau, Quebec’te otobüs biniş verilerinde yolculuk zinciri yöntemini veri tabanında programlayarak %66 doğruluk oranı ile iniş bilgisini tahmin etmiştir [6]. Nasiboğlu ve arkadaşları, İzmir toplu ulaşım sisteminde durakların birleşmesi ile oluşan bölgeler için yolculuk zincirini yöntemini kullanarak bölge bazında biniş-iniş yoğunluğunu tahmin etmişlerdir [7].

Munigaza & Palma (2012) Santiago, Chile de büyük bir ulaşım ağında biniş verilerinin yaklaşık %80’inin iniş yer ve zamanını tahmin etmişlerdir [8]. Yolculuk zinciri yöntemi varsayım tabanlı bir yöntemdir ve bu sebeple varsayımlar, ele alınan şehrin toplu ulaşım sisteminin karakterine uygun olarak oluşturulur. Yolculuk zinciri mantığı ile oluşturulmuş yöntemler, her ne kadar birçok şehir için farklı varsayımlar için uygulanmış olsa da bu yöntemlerin direkt olarak uygulanamayacağı durumlarda mevcuttur. İzmir toplu ulaşım sisteminde yolculuk zincirinin uygulanmadığı gün içinde tek biniş ve aynı akıllı kart ile aynı araç içerisinde birden fazla kez işlem yapıldığı durumlar mevcuttur. Bu çalışmada İzmir şehri için yolculuk zinciri yönteminin uygulanması ve bu yöntemin uygulanmadığı durumlar için önceden elde edilmiş hareket desenlerinin kullanılabilmesi rasgele atama yöntemi önerilecektir. Ayrıca, önerilecek yöntemler ile tahmin edilen iniş bilgisi ile araç içi yolcu yoğunluğunun tahmin edilmesine yönelik hesaplamalarda ele alınacaktır. Çalışmanın II. Kısımında öncelikle akıllı kart verisine ilişkin bazı bilgiler verilecek ve kalanında yolculuk zinciri yöntemine ilişkin varsayımlara değinilecektir. III. Kısımında rasgele atama yöntemine ilişkin hesaplamalar ve yolcu yoğunluğuna ait hesaplamalar ele alınacaktır. Son kısımda ise yöntemlere ilişkin yorumlar yapılacaktır.

II. YOLCULUK ZİNCİRİ YÖNTEMİ İLE İNİŞ BİLGİSİNİN TAHMİN EDİLMESİ

Çalışmada ele alınan veriler İzmir toplu ulaşımında iki ana veri kaynağından elde edilmektedir. Bunlardan ilki araç, istasyon ve iskele girişlerinde akıllı kartların okutulması

*Bu çalışma TÜBİTAK tarafından 113E535 Nolu araştırma projesi kapsamında desteklenmektedir.

amacıyla kullanılan validatörler; diğeri ise otobüslerde bulunan, otobüslerin konum bilgisinin elde edilmesini sağlayan GPS alıcılarıdır. Akıllı kart verilerinde her bir işlem için kart numarası, ücret tipi (öğrenci/öğretmen, tam, engelli, 60 yaş üstü ve personel), aktarma durumu, biniş zamanı, aracın hat numarası, hattın yönü (Gidiş, Dönüş), araç türü (otobüs, metro ve vapur), aracın ID’si ve şoför ID’si gibi alanlar bulunmaktadır. Akıllı kartlardan elde edilen veriler bir gün için yaklaşık 1.5 milyon işlemde oluşmaktadır. Bunun haricinde GPS alıcılarından da her 12 saniyede bir otobüslerin yerine ilişkin konum verisi alınmaktadır. Bu veriler ise günlük yaklaşık 15 milyon civarındadır. Akıllı karta ait işlemlerde, yolcunun hangi durakta biniş yaptığının bilgisi bulunmamaktadır. Bu durumda biniş verileri ile GPS verileri eşleştirilerek yolcunun hangi durakta biniş yaptığını belirlenmektedir.

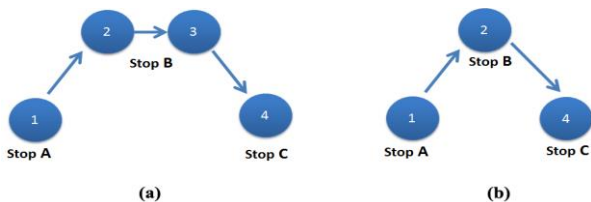
Çalışmada ele alınan toplu ulaşım sisteminde, biniş bilgisinin olması, fakat iniş bilgisinin olmaması sebebiyle iniş tahmininin yapılması gerekmektedir. İniş tahmini yapabilmek için geliştirilen yöntemlerinin temelinde yolcuların ardışık hareketlerini inceleyen yolculuk zinciri yaklaşımı kullanılmaktadır [6-8]. Bu yöntem varsayımlara dayanan bir yöntemdir ve iki ana varsayımdan oluşmaktadır. Bunlardan ilki: “bir önceki yolculuğun iniş durağı, bir sonraki binişin başladığı yerdir” düşüncesidir. İkinci varsayımın temelinde ise “yolcular gün sonunda güne başladıkları yere dönerler” düşüncesi yer almaktadır. Bu varsayımlar İzmir toplu ulaşım sistemi için aşağıdaki şekilde yazılabilir:

Varsayım 1. Yolcular, biniş yaptıkları hattın üzerinde, bir sonraki biniş yaptıkları durağa en yakın durakta inerler.

Varsayım 2. Yolcular, gün sonunda yolculuklarını ilk biniş yaptıkları durakta sonlandırırılar.

Varsayım 1’de sonraki binişe en yakın durağın bulunmasında yürüme mesafesinin kabul edilebilir olması gereklidir. Bu mesafenin kabul edilebilir olması amacıyla literatürde farklı çalışmalarda yürünebilecek mesafe kısıtı; Zhao ve arkadaşları tarafından 400 metre, Trépanier ve arkadaşları tarafından 2000 metre, Munizaga ve Palma tarafından 1000 metre olarak ele alınmıştır [5, 6, 8]. Bizim çalışmada yürünebilecek mesafe kısıtı 1000 metre olarak belirlenmiştir. Çalışmada İzmir toplu ulaşım sisteminde iniş tahminine yönelik bir yöntem önerileceğinden, bu sistemi yansıtan varsayımlar da burada ele alınacaktır. Çünkü, literatürdeki çok az sayıda çalışmada ele alınan ‘günde tek biniş durumu’ [9, 10] ve ‘aynı kart ile aynı seferde birden fazla işlem yapılması durumu’ gibi durumlar İzmir toplu ulaşım sisteminde görülmektedir. Günde tek biniş durumunda yolculuk zinciri, yolcunun aynı gün içinde ardışık hareketleri olmaması sebebiyle uygulanmamaktadır.

Şekil 1. Aynı kart ile aynı seferde birden çok işlem yapılması durumuna ilişkin örnek



Aynı kart ile aynı seferde birden çok işlem yapılması ise yolcunun kartını başka yolcular için kullanması ile gerçekleşmektedir. Örneğin bir yolcunun günlük 4 işlemi Şekil 1.a’daki gibi olsun. Bu durumda yolcu ilk binişini Stop A’dan yaptıktan sonra 2. ve 3. binişlerini Stop B’den yapmakta ve son olarak da Stop C’de biniş yaptığını görülmektedir. Yolculuk zinciri mantığına göre bu yolcunun Stop A’dan Stop B’ye, Stop B’den Stop B’ye ve Stop B’den Stop C’ye gittiği söylenebilir. Şekil 1.a’da yolcuya ait 2. biniş işleminin kendi tarafından yapıldığı, 3. binişte ise yolcunun kartını başkası için kullandığı düşünülebilir. Çalışmada bir hattın aynı seferi üzerinde aynı kart ile yapılan işlemlerden ilki yolcunun yolculuk zincirinde kalacak, diğerleri ise her biri ayrı tek binişler olacak şekilde işlem görecektir. Bu durumda, gerçek yolculuk zincirindeki gidişler sırasıyla Stop A’dan Stop B’ye, Stop B’den Stop C’ye şeklinde olacaktır (Şekil 1.b). Yukarıda ele alınan iki durumdaki verilere ait iniş tahmini III. Kısımda anlatılacak rasgele atama yöntemi ile yapılacaktır.

Yolculuk zinciri kullanılmasına rağmen özellikle Varsayım 1’deki yürüme mesafesi kriterinden dolayı iniş durağı tahmin edilemeyen biniş verileri bulunmaktadır. Bu veriler de yukarıda bahsedilen iki durum gibi rasgele atama yöntemi ile değerlendirilecektir.

III. RASGELE ATAMA YÖNTEMİ İLE İNİŞ TAHMİNİ

Yolculuk zinciri ile iniş durağı tahmininin yapılamadığı durumlarda biniş-iniş sayıları dengelenmediği için otobüs içi yoğunluk hakkında bir tahmin yapılamayacaktır. Bu sebeple tahmin edilemeyen veriler için Varsayım 1 ve Varsayım 2 kullanılarak tahmin edilen biniş-iniş bilgilerin kullanılması düşünülmüştür. Varsayım 1 ve Varsayım 2’nin tüm günleri içeren veri seti üzerinde uygulanması sonucunda varsayımlara uyan tüm biniş durağı, biniş yapılan hat ve iniş durağı şeklinde üçlüler olarak elde edilecektir. Bu üçlüler genel yolcu akış tahmini bilgisini barındırmaktadır. Yolcuların benzer akış desenini izleyebileceği düşüncesiyle genel yolcu akış desenine ait özet bilgilerin kullanılacağı rasgele atama yöntemi geliştirilmiştir. Bu yöntemde iniş tahmini yapılamayan bir işlem için; öncelikle biniş hat ve durak bilgisi alınır. Önceden Varsayım 1 ve Varsayım 2 ile elde edilmiş bilgiler içinden ele alınan hattın durağından biniş yapanlara ait ortalama iniş sayıları kullanılarak iniş yapılabilecek durakların olasılıkları bulunur. Bilgisayarda uniform dağılımla üretilen 0 ile 1 arasında rasgele sayıya göre iniş duraklarından hangisinin seçileceği belirlenir.

Aşağıdaki işaretlemeleri kabul edelim. S duraklar kümesinde s herhangi durağı belirtirken ($s \in S$), L hatlar kümesinde l herhangi bir hattı gösterebilir ($l \in L$). Herhangi bir hattın üzerindeki durağın sıra numarası aşağıdaki ilişki gibi gösterilsin:

$$O(l, s) = \begin{cases} \geq 1, & s \text{ durağının } l \text{ hattındaki sıra numarası,} \\ 0, & l \text{ hattında } s \text{ durağı bulunmuyor.} \end{cases} \quad (1)$$

$S(l)$; l hattının geçtiği duraklar kümesi olsun. Açık ki:

$$S(l) = \{s \in S : O(l, s) > 0\} \quad (2)$$

sağlanmaktadır. Burada l hattının toplam durak sayısı $|S(l)|$ ile işaretlenecektir.

s_i durağından l hattıyla s_j durağına yapılan yolculuğu $0 < O(l, s_i) < O(l, s_j)$ koşulu sağlanmak üzere $\langle l, s_i, s_j \rangle$ üçlüsü (deseni) şeklinde gösterelim. Ayrıca, herhangi bir d gününde l hattıyla s_i durağından s_j durağına yolculuk yapanların toplam sayısını $MC_d(l, s_i, s_j)$ ile gösterelim. Ele alınacak rasgele atama yönteminde, $\langle l, s_i, s_j \rangle$ günlük toplamalarının ortalaması \overline{MC} kullanılacak ve bu ortalamalar aşağıdaki gibi yazılacaktır:

$$\overline{MC}(l, s_i, s_j) = \frac{\sum_{d=1}^D MC_d(l, s_i, s_j)}{D}, \quad (3)$$

burada $d = 1, 2, \dots, D$, D veri analizinde kullanılan gün sayısıdır.

L hattının duraklarını $(s_{l_1}, s_{l_2}, \dots, s_{l_{|S(l)|}})$ olarak işaretleyelim. Hareket sayıları ortalamalarının (\overline{MC}) olasılıkları aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$P(l, s_{l_i}, s_{l_j}) = \frac{\overline{MC}(l, s_{l_i}, s_{l_j})}{\sum_{k=i+1}^{|S(l)|} \overline{MC}(l, s_{l_i}, s_{l_k})}, \quad j = i + 1, \dots, |S(l)|, \quad (4)$$

burada $P(l, s_{l_i}, s_{l_j})$, l hattının i . sıradaki durağından j . sıradaki durağına yapılacak yolculuğun olasılığını belirtmektedir.

Bilgisayarda rasgele sayılar üreticisini kullanarak iniş duraklarını tahmin etmek için $u \in (0, 1]$ aralığında uniform üretilen rasgele sayı kullanılacaktır. İniş durağı,

$$\sum_{k=i}^j P(l, s_{l_i}, s_{l_k}) < u \leq \sum_{k=i+1}^{j+1} P(l, s_{l_i}, s_{l_k}), \quad (5)$$

$$j = i, \dots, |S(l)| - 1,$$

koşulunu sağlayan $s^* = s_{l_{j+1}}$ durağı olarak gösterilir. Burada $P(l, s_{l_i}, s_{l_i}) = 0$ olduğu kabul edilmiştir.

Rasgele atama yöntemi uygulanarak iniş durağı önceki yöntemle tahmin edilemeyen veriler tahmin edilebilir. l hattına s_{l_i} durağından binen ve s_{l_j} durağından inenlerin tahmini sayısı $X(l, s_{l_i}, s_{l_j})$ matrisinde saklansın. Bu matris kullanılarak herhangi bir duraktan otobüs çıktığı anda o otobüs içindeki yolcu yoğunluğu tahmin edilebilir.

l hattının s_{l_i} durağından biniş yapan yolcuların sayısı $B(s_{l_i})$ ile gösterilsin ve aşağıdaki gibi hesaplansın:

$$B(s_{l_i}) = \sum_{k=i+1}^{|S(l)|} X(l, s_{l_i}, s_{l_k}). \quad (6)$$

burada l hattının son durağında biniş yapılamayacağından $B(s_{l_{|S(l)|}}) = 0$ olduğu kabul edilir.

l hattının s_{l_i} durağında iniş yapanların toplam sayısı da $A(s_{l_i})$ ile gösterilsin ve aşağıdaki gibi tanımlansın:

$$A(s_{l_i}) = \sum_{k=1}^{i-1} X(l, s_{l_k}, s_{l_i}). \quad (7)$$

burada l hattının ilk durağında iniş yapılamayacağından $A(s_{l_1}) = 0$ olarak kabul edilmiştir.

Denklem (6) ve Denklem (7) kullanılarak l hattının aracı s_{l_i} durağından ayrıldığı anda araç içindeki yolcu sayısı aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$C(s_{l_i}) = \sum_{k=1}^i (B(s_{l_i}) - A(s_{l_i})). \quad (8)$$

SONUÇ VE YORUMLAR

Toplu ulaşımında akıllı kart verileri kısa ve uzun vadeli planlar yapmak için oldukça elverişlidir. Özellikle nüfusu kalabalık şehirlerde toplu ulaşım verileri günlük milyonları bulmakta ve bu sebeple büyük hacimli verilerinde analizini zorlaştırmaktadır. 4.5 milyon nüfuslu Türkiye'nin 3. Büyükşehir olan İzmir'in toplu ulaşım sisteminin model olarak ele alındığı bu çalışmada, yolcuların hareket desenlerinin elde edilmesi için yolculuk zinciri ve rasgele atama yöntemi birlikte önerilmiştir. Herhangi bir hattın herhangi bir durağından bir başka durağına seyahat eden yolcuların sayılarının bu yöntemleri ile tahmin edilerek araç içi yolcu yoğunluğunun hesaplanması mümkündür. Araç içi yoğunluğun tahmin edilmesi, ele alınan hattın otobüs kapasite ve sefer sayısı planlamasına yardımcı olacağı düşünülmektedir. Ayrıca yapılan bu ve benzeri çalışmaların, son yıllarda popüler bir konu olan akıllı şehir uygulamalarına da katkı sunacağı düşünülmektedir.

REFERENCES

- [1] M. Bagchi, S. D. Gleave, and P. R. White, "Use of public transport smart card data for understanding travel behavior," European Transport Conference, 2003.
- [2] M. Bagchi and P. R. White, "What role for smart-card data from bus systems?," Proceedings of the ICE – Municipal Engineer, 157 (1), 39-46, 2004.
- [3] M. Bagchi and P. R. White, "The potential of public transport smart card data," Transport Policy, 12, 464-474, 2005.
- [4] C. Morency, M. Trépanier, and B. Agard, "Analysing the variability of transit users behaviour with smart card data," Proceedings of the IEEE ITSC 2006.
- [5] J. Zhao, A. Rahbee, and N. H. M. Wilson, "Estimating a rail Passenger Trip origin-destination matrix using automatic data collection systems," Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering, 22 (5), 376-387, 2007.
- [6] M. Trépanier, N. Tranchant, and R. Chapleau, "Individual trip destination estimation in a transit smart card automated fare collection system," Journal of Intelligent Transportation Systems, 11(1), 1-14, 2007.
- [7] E. Nasiboğlu, Ü. Kuvvetli, M. Özkılıçık, and U. Eliyi "Origin-Destination matrix generation using smart card data: A case study for İzmir," Proc. IV International Conference "Problems of Cybernetics and Informatics" (PCI'2012), 188-191, 2012.
- [8] M. A. Munizaga and C. Palma, "Estimation of a disaggregate multimodal public transport origin-destination matrix from passive smartcard data from Santiago, Chile," Transportation Research Part C, 24, 9-18, 2012.
- [9] M. A. Munizaga, F. Devillaine, C. Navarrete, and D. Silva, "Validating travel behavior estimated from smart card," Transportation Research Part C, 44, 70-79, 2014.
- [10] W. Wang, J. P. Attanucci, and N. H. M. Wilson, "Bus passenger origin-destination estimation and related analyses using automated data collection systems," Journal of Public Transportation, 14 (4), 131-150, 2011.