

Yayın Geliş Tarihi: 16.01.2024
Yayına Kabul Tarihi: 11.07.2024
Online Yayın Tarihi: 15.09.2024
<http://dx.doi.org/10.16953/deusosbil.1420663>

Dokuz Eylül Üniversitesi
Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi
Cilt: 26, Sayı: 3, Yıl: 2024, Sayfa: 1200-1221
E-ISSN: 1308-0911

Araştırma Makalesi

HİZMET SEKTÖRÜNDE KONTROL KARTLARI KULLANIMI: KENT İÇİ TOPLU TAŞIMA SEKTÖRÜNDE BİR UYGULAMA

Ümit KUVVETLİ*

Öz¹

Üretim sektörünün aksine istatistiksel kalite kontrol kartlarının hizmet sektöründe kullanımı oldukça sınırlıdır. Bu çalışmada, bir kentteki yaşam kalitesini etkileyen en önemli hizmet sektörlerinden olan kent içi toplu taşıma sektöründe farklı kalite kontrol kartlarının nasıl ve ne amaçla kullanılabileceği araştırılmıştır. Bu doğrultuda, örnek bir otobüs hattında 55 güne ait 715 seferdeki otobüs içi yolcu sayısı değişkeni ile 55 güne ait toplam biniş sayısı değişkenlerinin izlenmesinde Shewhart, EWMA ve CUSUM kontrol kartları kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar, kent içi toplu taşıma sektöründe taktiksel planlamalar için Shewhart, operasyonel planlamalar için ise EWMA ve CUSUM kartlarının, kalite izleme ve iyileştirme amaçlı çalışmalarda faydalı olabileceğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: İstatistiksel Kontrol Kartları, Kent İçi Toplu Taşıma, Hizmet Kalitesi, Akıllı Kart Biniş Verisi.

THE USE OF CONTROL CHARTS IN THE SERVICE SECTOR: A CASE STUDY IN THE URBAN PUBLIC TRANSPORT SECTOR

Abstract

Contrary to the production sector, the use of statistical quality control charts is quite limited in the service sector. In this study, it was investigated how and for what purpose different quality control charts can be used in the urban public transportation sector, which is one of the most important service sectors affecting the quality of life in a city. In this regard, Shewhart, EWMA and CUSUM control charts have been used to monitor the variables of the

Bu makale için önerilen kaynak gösterimi (APA 6. Sürüm):

Kuvvetli, Ü. (2024). Hizmet sektöründe kontrol kartları kullanımı: kent içi toplu taşıma sektöründe bir uygulama. *Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 26 (3), 1200-1221.

* İzmir Bakırçay Üniversitesi, İİBF, İşletme Bölümü, umit.kuvvetli@bakircay.edu.tr, ORCID ID: 0000-0002-9567-367

¹Çalışma için etik kurul iznine gerek bulunmamaktadır.

number of passengers on the bus in 715 trips of 55 days and the total number of boardings for 55 days on a sample bus route. The results show that Shewhart charts for tactical planning, EWMA and CUSUM charts for operational planning can be useful for quality monitoring and improvement in urban public transportation sector.

Keywords: *Statistical Quality Control, Urban Public Transport, Service Quality, Smart Card Boarding Data.*

GİRİŞ

Günümüzde, iş süreçlerinin etkin bir şekilde yönetilmesi ve iyileştirilmesi büyük önem taşımaktadır. Hangi sektörde yer alırsa alsın tüm işletmeler, operasyonlarını daha verimli hale getirebilmek, rekabet avantajı elde etmek ve müşteri beklentilerini karşılayabilmek için sürekli olarak süreçlerini analiz ve optimize etmek zorundadır. Bu süreçlerin yönetimi ve izlenmesi, birçok işletme açısından çeşitli zorluklar içermektedir. Kontrol kartları, yaşanan bu zorlukların çözülmesinde kullanılan, iş süreçlerinin etkin bir şekilde izlenmesini ve yönetilmesini sağlayan vazgeçilmez araçlardır.

Kontrol kartları, verilerin görsel olarak sunulduğu ve sürecin daha kolay anlaşılmasını sağlayan grafiksel araçlardır. İşletmeler, bu kartları kullanarak süreçlerinin performansını takip etmekle birlikte, süreçlerdeki sapmaları tespit edebilmekte ve gerekli düzeltici önlemleri alabilmektedir. İstatistiksel yöntemlerin kullanıldığı kontrol kartları, genellikle ölçüm verilerinin zaman içerisindeki değişimini ve verilerin eğilimini analiz ederek, süreçlerdeki istikrarı, tutarlılığı ve hataları değerlendirmede işletmelere yol gösteren araçlardır. Kontrol kartlarının temel amacı, bir sürecin istatistiksel olarak kontrol altında olup olmadığının tespit edilmesidir. Süreç, belirlenen kontrol sınırları içerisinde kaldığı ve rassallık gösterdiği sürece kontrol altında olarak değerlendirilir. Sürecin kontrol dışına çıkması ise, süreçle ilgili bir anormallik olduğunu ve gerekli düzeltici önlemlerin alınması gerektiğini işaret eder.

Kontrol kartı yaklaşımının temelleri, 1920'li yıllarda Bell Laboratuvarları'nda yapılan çalışmalara dayanmaktadır. 1924 yılında Walter A. Shewhart tarafından ileri sürülen kontrol kartlarının temel yaklaşımı (Shewhart, 1931), bir üretim sürecindeki değişkenliği istatistiksel kavramlar kullanarak tanımlamak, süreçlerdeki değişkenliği genel ve özel nedenlere ayırmak üzerinedir.

İstatistiksel kontrol kartları, günümüzde işletmeler tarafından yaygın olarak kullanılan güçlü bir araç olarak kabul edilmektedir (Montgomery, 2009). Bilindiği üzere, herhangi bir üretim sürecinde, her zaman belirli bir miktarda doğal değişkenlik bulunmaktadır. Sadece doğal değişkenliğe bağlı olarak işleyen böyle bir sürecin istatistiksel olarak kontrol altında olduğu kabul edilir. Bununla birlikte, bazı zamanlarda süreçlerin içerisinde doğal değişkenliğin dışında daha büyük değişkenlikler de yer alır. Bu tür değişkenlik kaynaklarının genellikle özel bir nedeni bulunmakta olup, böyle durumlarda sürecin istatistiksel olarak kontrol dışı olduğu

kabul edilir. Kontrol kartları, bu özel sebeplerin belirlenmesinde, onların elimine edilerek süreç performansının iyileştirilmesinde ve böylece kalitenin artırılmasında oldukça yararlı olmaktadır.

Hizmet sektörü, günümüzde hem milli gelire hem de istihdama olan katkısı nedeniyle ekonomide önemli bir rol oynamaktadır. Gelişmiş ülkelerin tamamında hizmet sektörünün payı her geçen gün artış göstermekle birlikte bu artış, gelişmişliğin ve yaşam standardının yüksek kalitede olmasının bir işareti olarak kabul edilmektedir (Firuzan vd., 2012). Rekabetin oldukça yoğun olduğu tüm sektörlerde olduğu gibi hizmet sektöründe de işletmelerin rakiplerine üstünlük kurmasının yolu müşteri beklenti ve isteklerini karşılamaktan, diğer bir ifade ile kaliteli hizmet sunmaktan geçmektedir. Bu sebeple kalite izleme, iyileştirme gibi çeşitli kalite yönetimi uygulamaları, rekabet gücünü arttırmanın bir yolu olarak giderek daha fazla ilgi görmektedir.

Kalite kontrol kartları, ilk zamanlarda üretim sektörlerindeki süreçleri izlemek için kullanılmakta iken, son yıllarda çeşitli hizmet sektörlerinde de kritik göstergelerin izlenmesinde kontrol kartlarının kullanılmaya başlandığı görülmektedir. Jumah vd. (2012) bankacılık ve finansal sistemlerde kullanılan finansal ticaret sistemlerinin performans göstergelerinden olan yıllık ortalama kazanç, ortalama yıllık volatilité ve yıllık ortalama Sharpe oranı (bir portföyün getirisini riskine oranlayarak yatırımın risk-ödül dengesini ölçen bir gösterge) değişkenlerinin izlenmesinde Shewhart kontrol kartlarını kullanmışlardır. Kamusal süreçler için yapılan bir çalışmada ise Leiva vd. (2015) Şili, Santiago’da çevresel kirliliğin izlenmesinde önemli değişkenlerden biri olan ve PM10 adı verilen partiküllerin miktarının takibinde istatistiksel kontrol kartlarından yararlanmışlardır. Bu çalışmada temel amaç, kontrol dışı olan istasyonların erken tespit edilebilmesi ve gerekli önlemlerin hızlıca alınmasına katkı sağlanması olarak belirlenmiştir. Hanslik vd. (2001) ise 1998 Dünya Kupası zamanında Fransa’daki toplumsal halk sağlığını takip etmek için günlük vaka sayısının takibinde Shewhart kartlarından yararlanmışlardır. Çalışmada epidemiyolojik süreçlerin izlenmesinde kontrol kartlarının yararlı araçlar olduğu ve sağlık yetkililerine erken uyarı sistemi sağlamak amacıyla kullanılması gerektiği vurgulanmıştır. Cerrahi operasyonların izlenmesinde Shewhart, komplikasyonları ve kanamaları takip etmek için ise CUSUM kartlarının kullanımını öneren Novoa & Varale (2020) çalışması ise sağlık sektöründe kontrol kartlarının kullanımına ilişkin çeşitli örnekler içermektedir. Sağlık sektöründe gerçekleştirilen diğer çalışmalarda ise, Altuntas vd. (2020) hasta memnuniyetini takip etmede, Öztürk vd. (2019) ise bir hastane çağrı merkezindeki kritik performans göstergelerinin izlenmesinde kontrol kartlarından yararlanmışlardır.

İnsan kaynakları süreçlerinde ise, istatistiksel kontrol kartlarının sosyal hizmet verilerinin değerlendirilmesi (Orme & Cox, 2001) ve personel performansının izlenmesi (Dey vd., 1994) amaçlı kullanıldığı görülmektedir. Gessa

vd. (2022) çalışmalarında ise İspanya'daki 3 lisans programına ait çeşitli performans göstergelerinin izlenmesi için Shewhart kontrol kartlarını kullanmışlardır. Bununla birlikte eğitim süreçlerinin izlenmesinde farklı istatistiksel kontrol kartlarının kullanıldığı çeşitli çalışmalar da literatürde yer almaktadır (Debnath & Shankar, 2014; Bi, 2018; Carlucci vd., 2019; Sivena & Nikolaidis, 2019). Bu sektörlerin dışında ise, Schuh vd. (2017) farklı askeri birliklerde meydana gelen yaralanmaların karşılanma oranını takip etmek için Shewhart u kartından yararlanmışlardır. Benzer amaçla yapılan bir başka çalışmada ise, Chen vd. (2015) Tayvan'daki bir hizmet işletmesinde müşteri şikayetlerini nitel kontrol kartları ile takip etmişlerdir. Leiva vd. (2018) ise hizmet sektöründe kaliteyi etkileyen birçok farklı değişken olduğunu ve bu değişkenlerden hizmete erişim süresi, hizmet süresi, markanın güvenilirliği (Colosimo & Semeraro, 2002) gibi spesifik kalite karakteristiklerinin kalite kontrol kartları aracılığıyla izlenebileceğini belirtmişlerdir.

Ulaşım sektörü açısından değerlendirildiğinde ise, kontrol kartları ile ilgili çalışmaların genellikle trafik kazaları ve trafik yoğunluğu üzerine olduğu görülmektedir. Münz ve Carle (2008), Almanya, Belçika ve Lüksemburg'un bazı eyaletlerinde trafikte yaşanan anomalilerin belirlenmesinde kontrol kartlarından yararlanmışlardır. Baradaran ve Dashtbani (2014) ise İran'ın Tahran kentindeki bir otoyolda günün yoğun saatlerindeki hız ve akış verilerini kullanmışlar ve istatistiksel kontrol kartları aracılığıyla bir karar destek sistemi oluşturmuşlardır. Rebisz (2013) Polonya, Ukrayna ve İsveç'te meydana gelen trafik kazalarını Shewhart kontrol kartları ile analiz etmiş ve ülkelerin kaza oranlarını öngörmeye çalışmıştır. Trafik kazaları ile ilgili bir başka çalışmada ise Schuh vd. (2014) CUSUM kartlarından yararlanmışlardır.

Kent içi toplu taşıma, kentlilerin yaşam kalitesini etkileyen, toplumun her kesimi tarafından kullanılan, yerel yönetimlerin başarılarının değerlendirilmesinde yüksek ağırlığa sahip bir hizmet alanıdır. Kentlerin gelişmişlik seviyeleri değerlendirilirken toplu taşımanın yaygınlık derecesi önemli bir kuvvet çarpanıdır. Günümüzde, kentsel nüfusun artışı, kent içi trafik yoğunluğu ve çevresel etkenlerden dolayı toplu taşımanın önemi hızla artmaktadır. Bu durum, literatürde kent içi toplu taşıma ile ilgili çalışma sayısının son yıllarda artış göstermesine sebep olmuştur. Bu çalışmaların içerisinde kent içi toplu taşımada hizmet kalitesi (Laisak vd., 2021; Wang vd., 2020; Gündoğdu vd., 2021) ve müşteri memnuniyeti (Jomnonkwao & Ratanavaraha, 2016; Yazid vd., 2020, Weng vd., 2023) ile ilgili olan birçok çalışma yer almaktadır. Ayrıca son zamanlarda makine öğrenmesi, veri madenciliği, sinir ağları, karar ağaçları gibi çeşitli istatistiksel yöntemler ile (dell'Olio vd., 2018, Garrido vd., 2014; Perrucca & Salini, 2014; de Ona vd., 2012; van Cranenburgh vd. 2022; Ruiz vd., 2024) toplu taşımadaki kalite düzeyi ölçülmeye çalışılmaktadır. Yapılan bu çalışmalar örnek olarak belirlenen gün, hat, bölge için sonuçları vermekte olup, hizmetin sürekliliği düşünüldüğünde elde edilen sonuçların izlenebilirlik açısından eksik kaldığı görülmektedir. Çeşitli istatistiksel kalite kontrol kartlarının kullanımının, söz konusu bu eksikliğin giderilmesinde katkı sağlayacağı öngörülmektedir.

Kent içi toplu taşıma sektöründe kontrol kartlarının kullanımı araştırıldığında ise mevcut çalışmaların oldukça sınırlı olduğu görülmektedir. Bu konuda ulaşılan tek çalışmada Rafique vd. (2016) Hindistan'daki bir otobüs hattında otobüslerin başlangıç ve bitiş durakları arası yolculuk sürelerini Gage R&R ve $\bar{X} - R$ kontrol kartı kullanarak analiz ettikleri ve sürecin iyileştirilmesi gerektiği sonucuna ulaştıkları görülmektedir. Bununla birlikte, kent içi toplu taşıma sektöründe otobüslerin varış sürelerinin (parkur sürelerinin) yanı sıra, yolcuların duraklarda bekleme süreleri, günlük kaza sayısı, arıza/bakım sayıları, şikayet sayıları gibi kritik göstergeler ile birlikte müşteri memnuniyetini gösteren çeşitli değişkenlerin kontrol kartları aracılığıyla izlenmesi, analiz edilmesi olasıdır. Ancak ilgili verilere ulaşmada yaşanan zorlukları, literatürde bu konudaki çalışmaların sınırlı sayıda olmasının bir sebebi olarak göstermek mümkündür.

Kent içi toplu taşıma sektöründe sunulan hizmetin kalitesini etkileyen bilgilendirme, konfor, erişilebilirlik, uygunluk, zaman, müşteri hizmetleri, güvenlik ve çevresel etki gibi birçok faktör (TSE, EN 13816, 2014) bulunmaktadır. Bu faktörlerin yanı sıra, kent içi toplu taşıma sektörü değişkenliğin oldukça fazla olduğu bir yapıya sahiptir. Kent içi toplu taşıma hizmeti verilen ulaşım aracı (metro, tramvay, otobüs vb.), servis sıklığı, araç türü (solo, körüklü vb.), hizmet süresi, güzergah gibi birçok değişken hizmet kalitesi üzerinde direkt etkiye sahiptir.

Ülkemizde birçok kentte her biri farklı karakteristik özelliklere sahip onlarca, büyükşehirlerde ise yüzlerce otobüs hattı bulunmaktadır. Her bir otobüs hattında çalışan araç türü, yolcu sayısı, güzergah uzunluğu, servis sıklığı vb. birçok farklılık kentlilere sunulan hizmet kalitesini olumlu ya da olumsuz yönde etkilemekte ve işletmeleri her hat özelinde sunulan hizmet kalitesini izlemeye, takip etmeye zorlamaktadır. Otobüs ile gerçekleştirilen kent içi toplu taşıma hizmetinde, hizmet kalitesini etkileyen birçok faktör (Firuzan vd., 2012; Gökaşar vd., 2018; Özkan & Alp, 2020) bulunmaktadır. Otobüs yaşı ve fiziksel özellikleri, servis sıklığı, bilgilendirme, ücret politikası, durakta bekleme süresi ve otobüs içi yolcu yoğunluğu bu faktörlerden bazıları olup, her faktörün kontrol altında olması, sunulan hizmet kalitesinin sürekliliği ve güvenilirliği açısından oldukça önemlidir.

Kent içi toplu taşıma sektöründe kalitenin ve müşteri memnuniyetinin ölçülmesinin yanı sıra, bu kavramların sürekli izlenmesi ve memnuniyetsizlik yaratan noktaların hızlıca tespit edilerek iyileştirilmesi oldukça önemlidir. Bu noktada istatistiksel kontrol kartlarının yararlı olup olmayacağını belirlemek için kent içi toplu taşımada en önemli hizmet kalitesi göstergelerinden biri olan otobüs içi yolcu yoğunluğu değişkeni örnek olarak ele alınmıştır. Söz konusu değişken, bir otobüsün başlangıç noktasından bitiş noktasına giderken, otobüs içinde ulaşılan maksimum yolcu sayısı olarak tanımlanmıştır. Bu değişkenin, olması gerekenden fazla değerde olması yolcuların sıkışık, konforsuz şekilde yolculuk etmeleri, olması gerekenden az değerde olması ise kamu kaynaklarının verimsiz kullanılması anlamına gelmektedir. Bu nedenle, söz konusu değişkenin sürekli olarak izlenmesi

ve gerekli yerlerde hızlıca sürece müdahale edilmesi oldukça kıymetlidir. Bu çalışmada, örnek olarak seçilen bir otobüs hattında otobüs içi yolcu sayısı ve günlük biniş sayısı değişkenleri, istatistiksel kontrol kartları aracılığıyla analiz edilmiştir. Çalışmanın temel amacı, çeşitli istatistiksel kontrol kartlarının, günümüzün en önemli hizmet sektörlerinden bir tanesi olan kent içi toplu taşıma sektöründe uygulanabilirliğini araştırmaktır.

Çalışma, kent içi toplu taşıma gibi önemli bir hizmet sektöründe istatistiksel kontrol kartlarının kullanıldığı ilk çalışmalardan bir tanesidir. Bu yönü ile literatüre katkı sağlamayı hedefleyen çalışma, uygulayıcılara da kalitenin sürekli izlenmesi, aksayan yönlerin erken tespit edilebilmesi ve hızlı müdahale imkanı sağlaması açısından fayda sağlayacaktır. Çalışmanın bundan sonraki bölümü, çalışmada kullanılan veri ve yöntem ayrılmıştır. Yöntem ile ilgili detay formüllerin sayfa kısıtı ve literatürde kolayca bulunabilmesi sebebi ile sınırlı tutulduğu çalışmada veri ve yöntem kısmını uygulama bölümü takip etmektedir. Çalışmanın son kısmı ise tartışma ve sonuç bölümüne ayrılmıştır.

VERİ VE YÖNTEM

Veri

Çalışmada, uygulama olarak İzmir’de kent içi toplu taşıma hizmeti verilen bir otobüs hattında, otobüs içi yolcu yoğunluğu değişkeni farklı istatistiksel kontrol kartları aracılığıyla analiz edilmiştir. Otobüs içi yolcu yoğunluğu değişkeni, bir sefer (otobüsün başlangıç noktasından bitiş noktasına gitmesi) boyunca otobüs içindeki maksimum yolcu sayısı olarak tanımlanmıştır. Söz konusu değişken, bir otobüs hattında verilen hizmetin kalitesini etkileyen, yolcuların yolculuklarını oturarak, ayakta ya da sıkışık şekilde yapmalarını belirleyen oldukça önemli bir değişkendir. Buna karşın, söz konusu değişkeni tam olarak ölçebilmek oldukça zordur. Bu zorluğun temel sebebi, yolcuların biniş yaptıkları durağın akıllı kartlar (İzmirimkart, İstanbulkart vb.) aracılığıyla bilinebilmesine karşın, yolcuların iniş yaptıkları durağa ilişkin veri bulunmamasıdır. Son yıllarda çeşitli ücretlendirme stratejileri (İstanbul metrobüs, İzmir İzban vb.) doğrultusunda yolcular, iniş yaptıkları durak/istasyonda da akıllı kartları kullanmakta ve böylece her durak/istasyon için biniş ve iniş yapan yolcu sayısını öğrenmek dolayısıyla araç içindeki yolcu sayısını (biniş yapan toplam yolcu sayısı - iniş yapan toplam yolcu sayısı) ölçmek mümkün olmaktadır. Söz konusu ücretlendirme stratejilerinin otobüslerde de kullanılmasına yönelik uygulamalar henüz oldukça sınırlı sayıda olup, mevcut uygulamalarda da çeşitli sebepler (ücretsiz yolculuklar vb.) ile iniş bilgilerine tam olarak ulaşılamamaktadır. Bu durum, yolcuların iniş yaptıkları durağın ya da istasyonun çeşitli varsayımlara dayalı olarak tahmin edilmesini gerektirmektedir. Literatürde akıllı kart verilerini kullanarak yolcuların iniş yaptıkları durağı tahmin eden çeşitli çalışmalar (Kim & Lee, 2017; Krishnakumari vd., 2019; Nasiboğlu vd., 2012; Yap vd., 2018; Huang vd. 2020, Kang vd., 2021; Cerqueira vd., 2022) bulunmaktadır.

Otobüs içi yolcu yoğunluğu, varyasyonun oldukça fazla olduğu bir değişkendir. Yapılan seferin hangi mevsim (yaz, kış vb.), hangi gün (hafta içi, cumartesi ya da pazar), günün hangi zamanında (sabah, öğle, akşam vb.) hangi yönde (gidiş, dönüş) olduğuna bağlı olarak bu varyasyon artış göstermektedir. Bu sebeple, çalışmada hafta içi günleri, sabah saatleri ve örnek olarak incelenen hatta kent merkezine gidiş yönünde yapılan seferler çalışma kapsamına alınmıştır. Yolcu sayısının en fazla olduğu bu aralığa ait veriler ve oluşturulacak kontrol kartları, benzer şartlara sahip durumlarda sunulan hizmetin kalitesini yansıtması açısından daha uygun olacaktır.

Çalışmada, İzmir’de kent içi toplu taşıma hizmeti verilen bir otobüs hattında Ocak-Mart 2023 dönemi içerisinde, hafta içi günleri, yolcu sayısının en fazla olduğu 07:00-09:00 saatleri arasında kent merkezi yönüne doğru gerçekleştirilen seferlere ait veriler kullanılmıştır. Bu aralığın seçilme sebebi, yolcu sayısının ve yolcu şikayetlerinin en fazla olduğu saat aralığı olmasıdır. Söz konusu otobüs hatlarında mesafe bazlı ücretlendirme stratejisi bulunmakta olup, yolcular biniş ve iniş yaptıkları duraklarda kişiselleştirilmiş akıllı kartlarını kullanmaktadır. Böylelikle güzergah üzerindeki her durakta binen ve inen yolcu sayısı bilinmektedir. Bu durum, otobüs içi yolcu sayısının hesaplanmasına olanak vermekte olup, yolcuların bir kısmının iniş verilerinde eksiklik olması, bu yolcular için iniş yapılan durakların tahmin edilmesini gerektirmiştir. İniş bilgisi olmayan yolcuların oranı yaklaşık %15 olup, bu yolcuların iniş yaptıkları durak bilgisi, Nasiboğlu vd. (2012), Kuvvetli vd. (2014a), Kuvvetli vd. (2014b) tarafından yapılan çalışmalarda anlatılan yöntem ile %80’in üzerinde bir başarı yüzdesi ile tahmin edilmiştir.

Yöntem

Çalışmada Shewhart, EWMA ve CUSUM kartları kullanılmıştır. Walter A. Shewhart tarafından geliştirilen Shewhart kontrol kartları, süreçlerdeki değişkenliğin izlenmesinde yaygın olarak kullanılan kartlardır. Bu kontrol kartları, sürecin istatistiksel olarak kontrol sınırları içinde olup olmadığını değerlendirmek için kullanılır. Genellikle süreç ortalamasını ve süreç değişkenliğini izlemek için kullanılan bu kartların $\bar{X} - R$ ve $\bar{X} - S$ olmak üzere iki türü vardır. \bar{X} kartları süreç ortalamasının izlenmesinde kullanılırken, R ve S kartları süreçlerdeki değişkenliğin takibinde yarar sağlamaktadır. Shewhart kartlarında iki farklı kontrol kartı kullanılmasının temel sebebi, örneklem ortalamasının aynı olması durumunda bile standart sapmanın (S) veya değişim aralıklarının (R) büyük olmasının sürecin kontrol dışı olmasını sağlamasıdır. Hem ortalama hem de değişkenlik kartlarında ilgili gözlemin belirlenen limitler dışında olması, sürecin özel bir nedenden dolayı kontrol dışında olduğu şeklinde yorumlanır. Bununla birlikte, Shewhart kontrol kartları, son gözleme odaklanmakta ve sürecin genel yapısını yansıtmamaktadır. Bu nedenle bu kartlar, süreçteki yaklaşık 1.5σ ve altındaki değişimlere (Firuzan & Kuvvetli, 2012) duyarsız hale gelmektedir. Süreçlerdeki küçük değişimler ile

ilgilenildiğinde kümülatif toplam (CUSUM) ve üstel ağırlıklandırılmış hareketli ortalama (EWMA) kontrol kartları tercih edilmektedir (Montgomery, 2009).

CUSUM kartları, örneklem ortalamalarındaki küçük ancak sürekli olan kaymalara karşı Shewhart kontrol kartlarının yetersiz kalması sebebiyle, alternatif olarak geliştirilen kontrol kartlarından bir tanesidir. Page (1954) tarafından geliştirilen CUSUM kartları, örneklem ortalaması ile sürecin hedef değeri olarak tanımlanan bir değer arasındaki farkların birikimli toplamına dayanan bir yöntemdir. Örneklem ortalamaları yerine bireysel gözlem değerlerinin kullanıldığı bu yöntemde genellikle Barnhard (1959) tarafından önerilen ve V maskesi adı verilen yöntem ile kontrol sınırları belirlenmektedir. Örneklem değerlerinin hedef değerden sapmalarının kümülatif toplamının kart üzerine işaretlenmesi ile oluşturulan CUSUM kartları, süreçlerdeki küçük ama sürekli kaymaların tespit edilmesinde Shewhart kartlarına kıyasla daha başarılıdır. Buna karşın, süreçteki kayma miktarının fazla olduğu durumlarda Shewhart kartları daha başarılı performans göstermektedir.

CUSUM kartlarında temel yaklaşım, gözlemlerin kontrol altındaki bir süreçte hedef değer etrafında rassal dağılacaktır. 0 noktasından başlayan kartlarda, zaman çizelgesi olan X eksenini boyunca gözlemler hedef değerden sapma miktarları toplanarak işaretlenir. Sistem, doğru ve olumlu sonuçları ödüllendirirken, yanlış ve olumsuz sonuçların cezalandırılmasına dayanmaktadır. Kontrol altındaki bir süreçte rasgele varyasyonların sebep olduğu sapmalar sayısal olarak dengelenecektir. Sürecin kontrol dışında olduğu, hedef değerden tek yönlü sapmaların olduğu durumlarda ise, sapmaların toplamı istatistiksel olarak anlamlı hale gelene kadar birikmeye devam edecektir. Bu yaklaşım, tanımlanan hedef değerden uzaklaşmaya başlayan sürecin kalitesinde herhangi bir küçük ama sürekli değişimi tespit edilebilir hale getirmektedir.

EWMA (Üstel Ağırlıklı Hareketli Ortalama) kontrol kartları, süreç ortalamalarındaki küçük ama sürekli sapmalara karşı olan hassasiyeti sebebiyle Shewhart kontrol kartlarına alternatif olarak kullanılan bir diğer yöntemdir. S.W. Robert (1959) tarafından geliştirilen EWMA, zamanla eskiyen gözlemlere daha düşük, yeni gözlemlere ise daha yüksek ağırlıklar vererek, eski ve yeni gözlemler arasında bir denge sağlamaktadır. Süreç ortalamalarındaki küçük sapmaları belirlemek amacı CUSUM ile aynı olmakla birlikte, kullanım kolaylığı açısından CUSUM'a kıyasla daha kolaydır. Genellikle bireysel gözlemlerin kullanıldığı EWMA kartlarında örneklem ortalamalarının da kullanılması mümkündür.

EWMA kontrol kartlarındaki ortalama değeri, sonraki gözlemlerin tahmin edilmesinde de kullanmak olasıdır. Bu durum sürecin kontrol dışına çıkmasından önce sürece müdahale edilmesine olanak sağlamaktadır. EWMA kartının avantajlarından bir tanesi otokorelasyonlu ve normal dağılmayan veri setleri için de iyi bir performans gösteriyor olmasıdır (Carson & Yeh, 2008). Geçmiş gözlem değerlerine göre mevcut gözlem değerlerine verilen ağırlığın küçük olduğu durumlarda, süreçlerdeki küçük kaymaların belirlenmesinde EWMA kartları

Shewhart kartlarına göre oldukça başarılıdır. Ancak belirlenen ağırlığın küçük olduğu durumlarda, süreçte yaşanabilecek büyük ve ani bir değişimin tespit edilmesi zorlaşmakta ve EWMA kartının dezavantajını oluşturmaktadır.

EWMA ve CUSUM kontrol kartlarının avantajı önceki gözlem değerlerinin kontrol noktalarını etkilemesidir (Oktay, 1994). EWMA kontrol kartlarının CUSUM kontrol kartlarından üstünlüğü, hata derecelerini birikimli olarak ele alırken önceki gözlemleri derecelendirmesi veya ağırlıklandırmasıdır. Buna karşın CUSUM kontrol kartlarının üstünlüğü ise gözlem değerlerini toplama usulü birikimli olarak ele almasıdır.

Yalnızca son değeri kullanması, tüm gözlemlerden elde edilen bilgiyi kullanmaması Shewhart kontrol kartının en büyük dezavantajı ve süreçteki küçük kaymalara karşı duyarsız hale gelmesinin temel sebebidir. Bu dezavantajının giderilmesi için kullanılan CUSUM ve EWMA kartları ise süreçlerdeki küçük ama kalıcı değişimleri belirlemede kullanılır. Bu kartlardan hangisinin kullanılması gerektiği veri tipine, veri yapısına ve olasılık dağılımına bağlıdır. Tüm kontrol kartlarının nasıl hesaplanacağı ile ilgili literatürde birçok kaynak (Doğan & Doğan, 2019; Montgomery, 2009 Novoa & Varela, 2020; Türkmen & Akyurt, 2018) bulunmakta olup, bu çalışmada ilgili formüllere yer verilmemiştir.

UYGULAMA

Çalışmanın uygulama aşamasında, örnek olarak belirlenen bir otobüs hattında Ocak-Mart 2023 dönemi, hafta içi günleri, saat 07:00-09:00 saatleri arasında gerçekleştirilen seferlere ait veriler (bkz. Tablo 1) kullanılmıştır. Söz konusu tarih aralığında 65 hafta içi gün bulunmaktadır. Shewhart kontrol kartlarının kullanılması için gerekli olan temel varsayımlar verilerin normal dağılması ile sürecin stabil halde olması gerekliliğidir. İlgili tarih aralığındaki 10 hafta içi gün (23 Ocak-3 Şubat arası) ilköğretim ve ortaöğretim okullarının sömestr tatili olduğundan ve bu tarihteki biniş sayılarının okulların açık olduğu döneme kıyasla daha düşük olmasından dolayı, Shewhart kontrol kartı kullanımı için gerekli olan sürecin stabil olma varsayımının sağlanmadığına karar verilmiş ve ilgili dönem veriden çıkartılmıştır. Diğer bir gereksinim olan normal dağılım varsayımının kontrolü için yapılan Kolmogorov-Smirnov testi sonucu ($p = 0.823$) ise verilerin normal dağılım gösterdiği görülmektedir.

Tablo 1. Tarih ve seferlere göre otobüs içi maksimum yolcu sayıları (ilk 5 gün)

Günler	Seferler													\bar{X}	S
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13		
02.01.2023	53	45	60	69	56	55	47	62	73	46	43	72	62	57,2	10,3
03.01.2023	91	50	41	48	73	69	53	61	51	75	41	47	50	58,9	15,1
04.01.2023	43	62	42	67	60	56	42	40	56	35	64	48	52	51,3	10,4

05.01.2023	59	74	57	52	45	90	55	58	60	50	65	57	52	59,5	11,6
06.01.2023	48	68	60	53	68	57	65	54	62	56	66	51	54	58,6	6,7

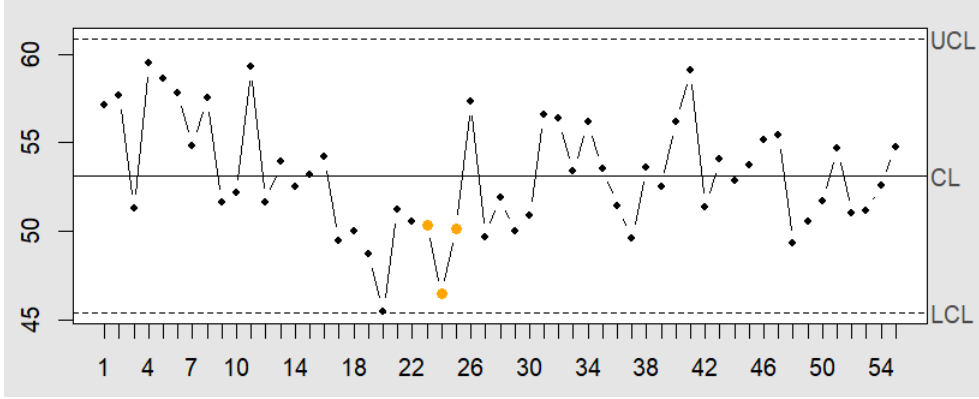
Uygulama aşamasında ilk önce, otobüs içi maksimum yolcu sayısı değişkeni için $\bar{X} - S$ kontrol kartı çizilmiştir. Bunun için, veri setinde bulunan 55 hafta içi günde, sabah 07:00-09:00 arasında kent merkezi yönüne doğru gerçekleştirilen seferlerdeki maksimum yolcu sayısı değerleri hesaplanmış (bkz. Tablo 1) ve kontrol kartları bu değerler kullanılarak oluşturulmuştur. Sefer ortalamalarına göre oluşturulan $\bar{X} - S$ kontrol kartları Şekil 1 ve Şekil 2’de gösterilmiştir.

Şekil 1 incelendiğinde, belirtilen saatlerde ve yönde otobüs içi yolcu sayısının ortalama 53.1 olduğu görülmektedir. Bununla birlikte bir sefer için otobüsteki yolcu sayısının maksimum değerinin 45 ile 61 arasında olması, bu değişken açısından sürecin kontrol altında olduğu şeklinde yorumlanmalıdır. Bu değerler, normal şartlar altında bir seferde ortalama 53 yolcu taşındığını ve bu yolcu sayısının 45 ile 61 arasında olmasının söz konusu otobüs hattı için olağan olduğu anlamına gelmektedir. Belirtilen yön ve saat aralığı için, otobüs içi maksimum yolcu sayısının 61’den fazla olmasını yolcuların normale kıyasla daha fazla kişi ile yolculuk yapmaları ve daha düşük kalitede hizmet alması, 45’den az olmasını ise yolcuların normale kıyasla daha kaliteli hizmet alması, daha rahat şekilde yolculuk etmeleri şeklinde yorumlamak mümkündür. Sürecin bu şekilde devam etmesi halinde, tüm seferlerin %19’unda otobüs içi maksimum yolcu sayısının kontrol alt limiti olan 45’in altında, %20’sinde ise kontrol üst limiti olan 61’in üstünde gerçekleşmesi, seferlerin %61’inde ise belirtilen kontrol limitleri içerisinde olması beklenmektedir.

Üretim sektöründe bir sürecin kontrol altında olması tek başına yeterli değildir. Sürecin aynı zamanda müşteri ile yapılan sözleşme limitlerine, spesifikasyonlarına ne derece uygun olduğunun da bilinmesi gerekmektedir (Montgomery, 2009). Süreç yetenek endeksleri olarak adlandırılan C_p , C_{pk} ve benzeri amaçla kullanılan diğer istatistiksel göstergeler, mevcut sürecin belirlenen spesifikasyonlara ne kadar uygun olduğunun bir ölçüsü olarak kullanılmaktadır. Uygulamanın gerçekleştirildiği kent içi toplu taşıma sektörü, kamusal bir hizmet alanı olup mevcut kaynakların en verimli şekilde kullanılmasının gerektiği bir sektördür. Otobüslerin yolcu yoğunluğunun olması gereken değerden fazla olması verilen hizmetin kalitesinin düşük olması anlamına gelirken, otobüsün taşınması gereken minimum yolcu sayısından daha az yolcu ile seferlerini tamamlaması da kamu kaynaklarının verimsiz kullanılmasına sebep olmaktadır. Uygulamada, üretim sektörü benzeri bir spesifikasyon limitleri olmamasına karşılık, çalışmada bu limitlerin 30 ile 70 olduğu varsayılmış ve bu değerlere göre süreç yeteneği hesaplanmış, $C_p = 0.717$ ve $C_{pk} = 0.605$ olarak elde edilmiştir. Bu değerler ilgili otobüs hattının belirlenen spesifikasyonları karşılamadaki durumunu göstermekte olup, mevcut veriler ışığında tüm seferlerin %95,9’unda spesifikasyon değerleri

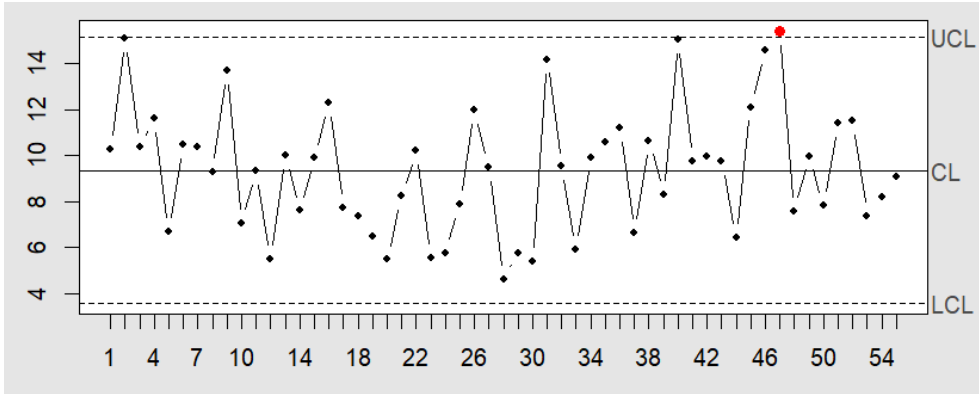
arasında ve %4.1'inde spesifikasyonlar dışında kalmasının beklenmesi gerektiği anlamı taşımaktadır.

Şekil 1. Otobüs İçi Maksimum Yolcu Sayısı için \bar{X} Kontrol Kartı



S kartı incelendiğinde ise, günlük ortalama s.sapma değerinin 9.35 olduğu ve bu değer 3.6 ile 15.1 arasında değişmesinin beklendiği görülmektedir. Buna karşın, 55 günlük veride bazı günlerin belirlenen limitlere çok yakın olduğu ve genel olarak değişkenliğin fazla olduğu anlaşılmaktadır. Her ne kadar çalışmada hafta içi verileri kullanılmış olsa da günler arasındaki olağan farklılıklar (semt pazarları vb.) bu değişkenliğin sebebi olarak düşünülebilir.

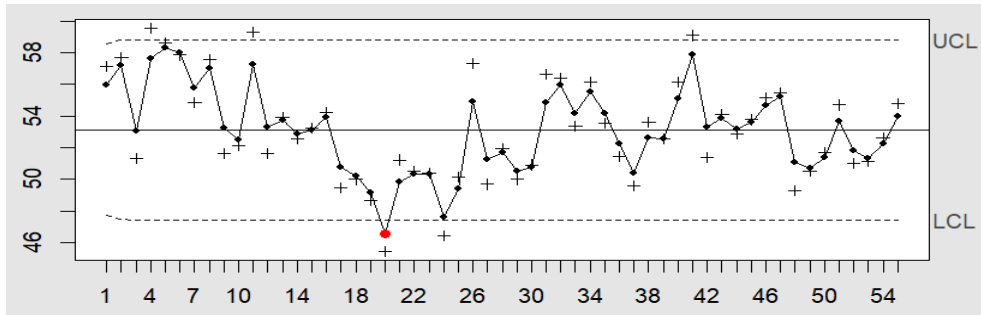
Şekil 2. Otobüs İçi Maksimum Yolcu Sayısı için S Kontrol Kartı



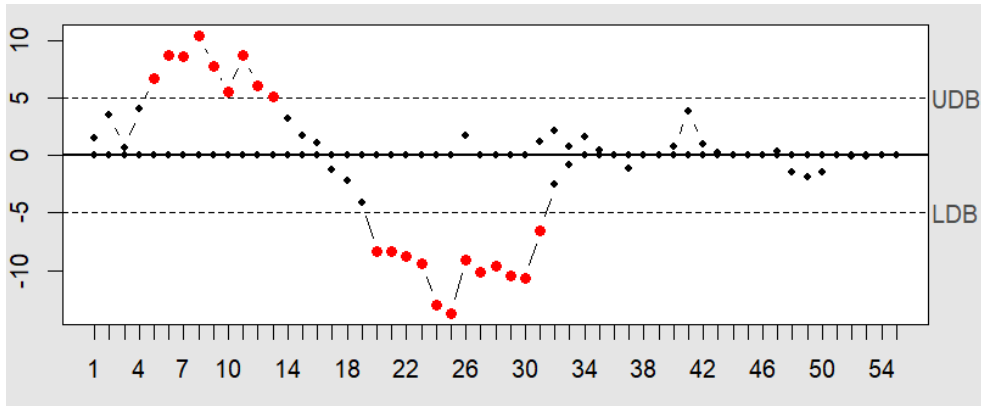
Otobüs içi maksimum yolcu sayısı değişkeni için $\bar{X} - S$ kontrol kartından sonra aynı değişken için EWMA ve CUSUM kartları çizilmiş ve Şekil 3 ile Şekil 4'de gösterilmiştir. EWMA kartının oluşturulmasında, en son gözlemlerin ağırlığı (λ), sunulan hizmetin yapısı ve değişkenliği göz önünde bulundurularak 0.7 olarak kabul edilmiştir. Şekil 3 incelendiğinde, Shewhart kartında limitler içinde kalan bazı

günlerin EWMA kartında limitlere daha yakın olduğu ve hatta bir noktanın kontrol dışı kaldığı görülmektedir. EWMA kartının son günlerde gerçekleşen seferlere daha çok ağırlık vermesi bu durumun temel sebebi olup, EWMA kartının süreçteki küçük kaymaların tespitinde daha başarılı olduğunu söylemek mümkündür. CUSUM kartı incelendiğinde ise, Shewhart kontrol kartında tamamı limitler içinde yer alan toplam 21 gözlemin kontrol limitleri dışında olduğu görülmektedir. Bu durumu, yolcu sayılarındaki küçük ama sürekli değişimlerin tespitinde CUSUM kartının Shewhart kartına göre daha başarılı olduğuna örnek olarak göstermek olasıdır.

Şekil 3. Otobüs İçi Maksimum Yolcu Sayısı için EWMA Kontrol Kartı



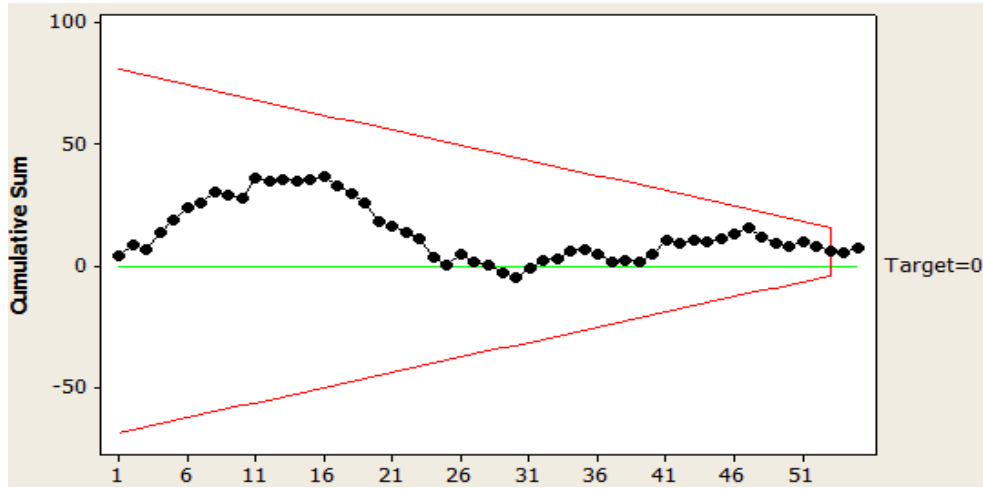
Şekil 4. Otobüs İçi Maksimum Yolcu Sayısı için CUSUM Kontrol Kartı



CUSUM kontrol kartlarında, sürecin kontrol altında olup olmadığını belirlemenin bir diğer yolu V maskesi prosedürüdür (Montgomery, 2009). V maskesinin temel amacı, süreç ortalamasının hedef değerden sapma gösterip göstermediğinin tespit edilmesidir. CUSUM grafiğinde yukarı doğru oluşan trend, süreç ortalamasından pozitif yönde bir kaymanın olduğunu gösterir iken, aşağı yönde oluşan trend, süreç ortalamasından negatif olarak uzaklaşıldığını göstermektedir. CUSUM kontrol kartında, tüm gözlem noktalarının V maskesinin kolları arasında kalması, sürecin kontrol altında olması anlamına gelmektedir. Herhangi bir gözlemin V maskesi dışında kalması ise sürecin kontrol dışı olduğu şeklinde yorumlanır. Uygulamada, süreç ortalamasında herhangi anlamlı bir kayma

olup olmadığını tespit edebilmek için, hedef değerın süreç ortalaması olduğu varsayımı altında CUSUM kontrol kartında V maskesi prosedürü çalıştırılmış ve elde edilen grafik Şekil 5’de gösterilmiştir. V maskesi prosedürüne göre süreç ortalaması kontrol altında bulunmaktadır. Bununla birlikte, bazı dezavantajları ve uygulama problemleri sebebiyle V-maskesi prosedürünün kullanılması konusunda literatürde çeşitli görüş ayrılıkları bulunmaktadır (Montgomery, 2009).

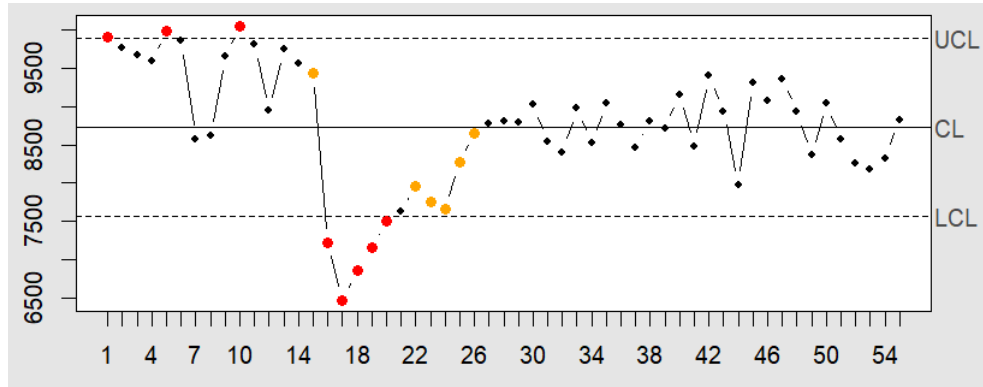
Şekil 5. Günlük Ortalama Otobüs İçi Maksimum Yolcu Sayısı için V Maskesi



Kent içi toplu taşıma sektöründe akıllı kart verileri kullanılarak yapılan çalışmaları stratejik, taktiksel ve operasyonel olmak üzere 3 başlık altında toplamak mümkündür (Pelletier vd, 2011). Garaj lokasyonu belirleme, filoya eklenmesi gereken otobüs tipi ve sayısı gibi uzun dönemli çalışmaların stratejik, hizmet verilecek hatlara yönelik güzergah, otobüs tipi ve gerekli otobüs sayısının belirlenmesi gibi daha çok orta vadeli süreçlerin takip edildiği çalışmaların taktiksel ve günlük/saatlik yolcu yoğunluğuna bağlı olarak otobüs hareket saati belirlenmesi gibi daha kısa vadeli faaliyetlerin gerçekleştiği operasyonel başlıklarda, çeşitli kalite kontrol kartlarını, sürecin takibini yapmak ve aksayan noktalara hızlı müdahale edebilmek için kullanmak mümkündür. Yukarıda örnekleri bulunan otobüs içi yolcu yoğunluğu vb. değişkenlerin kalite kontrol kartları ile izlenmesi operasyonel açıdan işletmelere fayda sağlarken, çeşitli kalite kontrol kartlarının kent içi toplu taşıma sektöründe taktiksel süreçlerin izlenmesinde de kullanılması olasıdır. Taktiksel süreçlere örnek olarak, yukarıda verileri kullanılan otobüs hattındaki günlük toplam binış sayısını takibi X-MR kontrol kartı aracılığıyla yapılabilir. Şekil 6, ilgili otobüs hattındaki günlük toplam binış sayısına ilişkin oluşturulan X kontrol kartını göstermektedir. Şekil 6, incelenen hattaki günlük toplam binış sayısının

8.730 olduğunu ve bu değer 7.560 ile 9.890 arasında değişebileceğini ancak bu değerler dışında kalmasının özel bir sebep ile olabileceğini göstermektedir. Şekil 6 incelendiğinde, Ocak ayı başındaki günlerde otobüs hattında gerçekleşen toplam biniş sayısının üst limite yakın hatta bazı günler üst limitin de üstünde olduğu, buna karşın sömestr tatili sonrasında alt kontrol limiti dışında yer aldığı, bir sonraki hafta itibariyle genel ortalamaya yaklaştığı ve sonraki süreçte ortalama etrafında limitler dahilinde hareket ettiği görülmektedir. İlgili kontrol kartı, otobüs hatlarının en temel verimlilik göstergesi olan toplam biniş sayısındaki özel sebeplere bağlı değişikliği tespit etmede istatistiksel kalite kontrol kartlarının başarılı sonuç verdiğini göstermektedir. Herhangi bir otobüs hattındaki günlük toplam biniş sayısının kontrol dışında süreklilik göstermesi, otobüs hattında düzenleme yapılması gerektiğini göstermesi açısından önemlidir. Böylelikle kamu kaynaklarının en iyi şekilde kullanılabilmesine katkı sağlanmış olacaktır.

Şekil 6. Günlük Biniş Sayısı için X Kartı

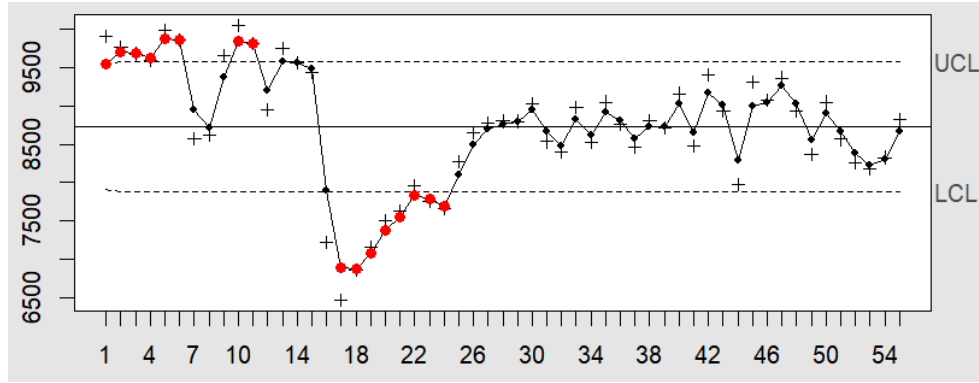


Günlük biniş sayısı değişkeni için oluşturulan EWMA kartı ise Şekil 7'de gösterilmiştir. Shewhart kontrol kartında 8 güne ait veriler kontrol dışı olarak değerlendirilirken, EWMA kartında 16 güne ait veri kontrol limitleri dışında kalmaktadır. Bu durumun temel sebebi, EWMA kartının küçük sapmaları tespit etmekteki başarısı ve limitlerin belirlenmesinde son günlerinin verilerine daha yüksek ağırlıklar vermesidir. EWMA kontrol kartlarında limitler dışında kalan günlerin, okulların ara dönem tatili sonrasında günler olması, bu kontrol kartlarının yolcu sayısındaki küçük ama anlamlı değişikliklerin belirlenmesinde kullanılabilir olduğunu göstermektedir. EWMA kontrol kartlarının, günlük biniş sayısının takibinde kullanılması, ilk kontrol dışı sinyallerin geldiği günlerde sürece müdahale edilebilmesi adına oldukça yararlı olacaktır.

Kent içi toplu taşıma hizmeti veren işletmeler, hizmet verdikleri yüzlerce otobüs hattında her gün gerçekleşen biniş sayısını takip etmekte olup, biniş sayıları her gün bir önceki günden farklı olmaktadır. Söz konusu farklılıkların anlamlı olup olmadığı, doğal ya da özel sebeplerden kaynaklı olup olmadığı belirlenmesi açısından istatistiksel kontrol kartları, salt sayıları takip etmeye kıyasla karar

vericilere daha fazla yardımcı olacaktır. Böylelikle ilgili değişikliklerin (araç ekleme/azaltma, otobüs tipi (solo/körüklü) değişimi, saat planlaması vb.) hızlıca gerçekleştirilme fırsatı elde edilecektir. Benzer şekilde yapılan değişikliklerin binış sayısı başta olmak üzere diğer kritik kalite göstergeleri üzerindeki etkisini izlemek mümkün olacaktır.

Şekil 7. Günlük Binış Sayısı için EWMA Kartı



TARTIŞMA VE SONUÇ

İstatistiksel kalite kontrol kartları, ürün ya da hizmetlerin belirli standartlara uygunluğunu değerlendirmek ve süreç kontrolünü sağlamak için tasarlanmış araçlardır. Çeşitli istatistiksel kontrol kartlarının birçok farklı üretim sektöründe uygulamaları literatürde yer almasına karşın, hizmet sektöründe kalite kontrol kartlarının kullanımı hala sınırlı sayıdadır. Bununla birlikte mevcut uygulamaların birçoğu eğitim (Carlucci vd., 2019; Sivena & Nikolaidis, 2019; Gessa vd., 2022), sağlık (Öztürk vd., 2019, Noava & Varale, 2020, Altuntaş vd., 2020) finans (Jumah vd., 2012) gibi temel sektörlerde gerçekleştirilmiştir. Bu sektörlerin yanı sıra trafik kazalarının (Rebisz, 2013; Schuh vd., 2014) ve trafik yoğunluğunun (Baradaran & Dashtbani, 2014) izlenmesi amacıyla ulaşım sektöründe de kalite kontrol kartlarının kullanımına ilişkin çalışmalar sınırlı sayıda da olsa literatürde bulunmaktadır. Bununla birlikte, kent içi toplu taşıma sektörü gibi önemli bir hizmet sektöründe istatistiksel kalite kontrol kartlarının kullanıma ilişkin çalışma sayısı ise çok daha sınırlıdır. Bu çalışma, literatürdeki bu boşluğun doldurulmasına katkı sağlamak amaçlı tasarlanmıştır. Kent içi toplu taşıma sektöründe, hizmet kalitesinin sürekli ölçülmesi ve izlenmesi kolay değildir. Buna karşın, söz konusu sektörde hizmet kalitesini etkileyen ve ölçülebilen birçok farklı değişken bulunmaktadır. Özellikle otobüs ile sunulan kent içi toplu taşıma sektöründe, otobüs içi yolcu yoğunluğu değişkeni hizmet kalitesi üzerinde en çok etkiye sahip değişkenlerden bir tanesidir. Bu çalışmada, bir otobüs hattında gerçekleştirilen seferlerde (otobüsün başlangıç noktasından bitiş noktasına gitmesi) otobüs içindeki yolcu sayısının maksimum

değeri Shewhart, EWMA ve CUSUM kontrol kartları ile izlenmiştir. İzmir’de hizmet veren bir otobüs hattındaki 55 hafta içi güne ait veriler kullanılarak gerçekleştirilen çalışma sonuçları, istatistiksel kalite kontrol kartlarının diğer hizmet sektörlerinde olduğu gibi kent içi toplu taşıma sektöründe de etkin bir şekilde kullanılabilceğini ve özellikle kent içi toplu taşıma hizmeti veren işletmelerin sundukları hizmet kalitesinin izlenmesine ve iyileştirilmesine yardımcı olabileceğini göstermektedir.

Çalışmada, örnek olarak ele alınan otobüs hattındaki günlük toplam biniş sayısı değişkeninin de oluşturulan kontrol kartları aracılığıyla izlenebileceği belirlenmiştir. Günlük biniş sayısının takibinin yanı sıra, kontrol kartları aracılığıyla izlenmesi, kent içi toplu taşıma sektörünün yapısı da göz önüne alındığında, karar vericiler için yol gösterici olacaktır. Yolcu sayısındaki anlamlı değişimlerin özellikle Shewhart kontrol kartı ile izlenmesi hem yolcu mağduriyetinin önlenmesi hem de kamusal kaynakların en iyi şekilde kullanılması açısından etkin bir karar destek sistemi olacaktır. Bununla birlikte, kontrol kartlarının uygulandığı diğer sektörlerde elde edilen Shewhart kontrol kartlarının süreçlerdeki büyük, EWMA ve CUSUM kartlarının ise küçük ama sürekli kaymalarının tespitinde daha başarılı olduğu gözleminin (Montgomery, 2009) kent içi toplu taşıma sektörü içinde geçerli olduğu ve faydalı sonuçlar ürettiği görülmektedir. Bu özelliğin bir sonucu olarak kent içi toplu taşıma sektöründeki otobüs tipi, güzergah gibi daha taktiksel planlamalar için Shewhart, hareket saati planlaması gibi operasyonel planlamalar için EWMA ya da CUSUM kartlarının daha uygun olduğunu söylemek mümkündür.

Çalışmada sadece tek bir otobüs hattında, belirli bir zaman aralığında ve tek yön için toplanan verilerin kullanılması çalışmanın sınırlarını oluşturmaktadır. Bununla birlikte, farklı otobüs hatları, farklı zaman dilimleri (yaz/kış vb.) ve saat aralıkları (sabah/akşam vb.) ile gerçekleştirilecek çalışmalar bu alandaki literatüre katkı sağlayacaktır. Özellikle üretim sektöründe otomatik olarak oluşturulan ve sürecin izlendiği kalite kontrol kartları, kent içi toplu taşıma hizmeti veren işletmeler açısından hatlardaki yolcu sayılarının ve hizmet kalitesinin takibi açısından örnek olabilir. Benzer şekilde işletmeler, farklı hatlardaki toplam biniş sayısı, otobüs içi yolcu sayısı, durakta bekleme süresi, ücretsiz yolcu oranı gibi akıllı kartlar aracılığıyla sürekli ölçülmesi mümkün olan değişkenlerin takibinde istatistiksel kalite kontrol kartlarını kullanabilirler. Böylelikle sürekli ölçülen ancak doğal ya da özel sebepten kaynaklandığı bilinmeyen değişimlerin hızlıca tespit edilebilme olasılığı artmış olacaktır. Ayrıca, kent içi toplu taşıma sektöründe arıza/bakım oranları, şikayet sayıları, kaza sayıları (Kuvvetli & Firuzan, 2021) gibi diğer önemli göstergelerin izlenmesinde de kalite kontrol kartları oldukça yarar sağlayacaktır. Son olarak, otobüs sayısını arttırma/azaltma, sefer saatlerini değiştirme gibi operasyonel değişikliklerin kritik kalite göstergeleri üzerindeki etkisini izlemede kalite kontrol araçları kullanılabilir. Tüm bu olası faydalarının yanı sıra farklı kontrol kartlarının kullanılması, farklı karakterdeki hatların örnek olarak incelenmesi gibi gelecek çalışmalar literatüre katkı sağlama potansiyeli taşımaktadır.

Bu çalışmada da olduğu gibi, geleneksel olarak kalite kontrol kartları az sayıda veriye dayanarak oluşturulmakta ve sürecin takibi bu verilerden elde edilen limitlere göre gerçekleştirilmektedir. Ancak günümüzde veri toplama işi giderek daha fazla değişkeni kapsayacak şekilde birçok modern sistem tarafından otomatik olarak gerçekleştirilmektedir. Bilgisayar ve bilgi teknolojilerindeki hızlı ilerleme nedeniyle, otomatik veri toplama giderek yaygınlaşmakta ve manuel veri yaklaşımlarından uzaklaşmaktadır (Ou vd., 2014; Aykroyd vd., 2019). Dijital araçlar, sensörler, GPS verileri gibi günümüz teknolojileri sayesinde büyük ölçekli veri setleri verimli, hızlı ve otomatik olarak toplanabilmektedir. Büyük Veri olarak adlandırılan bu durum, sıklıkla farklı veri kaynaklarından elde edilen büyük, çeşitli ve karmaşık veri setlerini tanımlamak için kullanılmaktadır (Baesen, 2014). Büyük Veri, diğer birçok yaklaşımda olduğu gibi süreç izleme kavramının da güncellenmesini gerektirmektedir. Değişken ve veri miktarı arttıkça geleneksel süreç izleme araçlarının yetersiz kalacağı kabul edilmektedir (Woodall, 2014; Aykroyd vd., 2019). Günümüzde kent içi toplu taşıma sektöründe yer alan işletmeler, akıllı kartlar ile gerçekleştirilen biniş verileri, otobüslere ve duraklara ait konum verileri, otobüslerde kullanılan çeşitli sensörler ile elde edilen sıcaklık, hız vb. veriler gibi birbirleriyle ilişkili birçok veri setlerine sahiptirler. Bu özelliği kent içi toplu taşıma sektörünü, Büyük Veri çağında hizmet sektöründe kalitenin izlenmesi için yapılacak potansiyeli yüksek çalışmalarda öne çıkarmaktadır.

Yazar Katkı Oranı ve Çıkar Çatışması Beyanı: Çalışma tek yazarlı olup, katkı oranı %100'dür ve herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

TEŞEKKÜR: Çalışma kapsamında veri desteği sağlayan İzmir Büyükşehir Belediyesi ESHOT Genel Müdürlüğü Ulaşım Planlama Daire Başkanlığı İstatistik Şube Müdürlüğü'ne teşekkür ederim.

KAYNAKÇA

Altuntas S., Dereli T. & Kaya İ. (2020). Monitoring patient dissatisfaction: a methodology based on SERVQUAL scale and statistical process control charts, *Total Quality Management & Business Excellence*, 31 (9-10), 978-1008, DOI:10.1080/14783363.2018.1457434.

Aykroyd R.G., Leiva V., & Ruggeri F. (2019). Recent developments of control charts, identification of big data sources and future trends of current research, *Technological Forecasting and Social Change*, 144, 221-232.

Baesen, B. (2014). *Analytics in a Big Data World: The Essential Guide to Data Science and Its Applications*. New York: Wiley.

Baradaran, V., & Dashtbani, H. (2014). A decision support system for monitoring traffic by statistical control charts. *Management Science Letters*, 4, 1661-1670.

Barnard, G. A. (1959). Control charts and stochastic processes. *Journal of the Royal Statistical Society. B (Methodological)*, 21 (2), 239–271.

Bi, H.H. (2018). A robust interpretation of teaching evaluation ratings. *Assessment and Evaluation in Higher Education*, 43 (1), 79-93.

Carlucci, D., Renna, P., Izzo, C. & Schiuma, G. (2019). Assessing teaching performance in higher education: a framework for continuous improvement. *Management Decision*, 57 (2), 461-479.

Carson P. K. & Yeh A. B. (2008). Exponentially weighted moving average (EWMA) control charts for monitoring an analytical process. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 47 (2), 405-411.

Cerqueira, S., Arsenio, E. & Henriques, R. (2022). Inference of dynamic origin–destination matrices with trip and transfer status from individual smart card data. *European Transport Research Review*, 14, 42. <https://doi.org/10.1186/s12544-022-00562-1>.

Chen K.S., Chang T.C., Wang K.J. & Huang C.T. (2015). Developing control charts in monitoring service quality based on the number of customer complaints, *Total Quality Management & Business Excellence*, 26 (5-6), 675-689, DOI:10.1080/14783363.2013.874198

Colosimo, B.M. & Semeraro, Q. (2002). A Bayesian control chart for service quality control. *Proceeding of the Joint Statistical Meetings, Section on Quality and Productivity*, 57, Arizona, US.

de Oña, J., de Oña, R. & Calvo, F. (2012). A classification tree approach to identify key factors of transit service quality. *Expert Systems with Applications*. 39, 11164–11171. <http://dx.doi.org/10.1016/j.eswa.2012.03.037>.

Debnath, R.M. & Shankar, R. (2014). Emerging trend of customer satisfaction in academic process. *The TQM Journal*, 26 (1), 14-29.

dell’Olio, L., Ibeas, A., de Oña, J. & de Oña, R. (2018). Chapter 9 - Data mining approaches. In: dell’Olio, L., Ibeas, A., de Oña, J., de Oña, R. (Eds.), *Public Transportation Quality of Service*. Elsevier, (ss. 155–179). <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-08-102080-7.00009-4>.

Dey, M.L., Sluyter, G.V. & Keating J.E. (1994). Statistical process control and direct care staff performance. *Mental Health Administration*, 21 (2), 201-209.

Doğan İ. & Doğan N. (2019). EWMA kontrol çizelgeleri ve sağlık alanında kullanımına genel bir bakış. *Türkiye Klinikleri Journal of Biostatistics*, 11 (1), 72-82.

Firuzan A.R., Alpaykut S. & Kuvvetli Ü. (2012). Bulanık servqual yaklaşımıyla toplu taşımada kalitenin ölçülmesi. *Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 29, 78-94.

Firuzan, A.R. & Kuvvetli, Ü. (2012). 1.5 sigma kaymanın istatistiksel nedenleri üzerine bir araştırma. *İstanbul University Econometrics and Statistics e-Journal*, 0 (16), 1-11.

Garrido, C., de Oña, R. & de Oña, J. (2014). Neural networks for analyzing service quality in public transportation. *Expert Systems with Applications*, 41, 6830–6838. <http://dx.doi.org/10.1016/j.eswa.2014.04.045>.

Gessa A., Marin E. & Sancha P. (2022). A practical application of statistical process control to evaluate the performance rate of academic programmes: implications and suggestions, *Quality Assurance in Education*, 30 (4), 571-588.

Gökaşar I, Buran B. & Dündar D. (2018). Kent içi otobüs memnuniyet anketi verileri ve faktör analizinden yararlanılarak otobüslerin hizmet kalitesinin modellenmesi: İETT örneği. *Pamukkale Üniversitesi Muhendislik Bilimleri Dergisi*, 24 (6), 1079-1086.

Gündoğdu F. K., Duleba S., Moslem S. & Aydın S. (2021). Evaluating public transport service quality using Picture fuzzy analytic hierarchy process and linear assignment model, *Applied Soft Computing*, 100, 106920.

Hanslik, T., Boelle, P. & Flahault, A. (2001). The control chart: An epidemiological tool for public health monitoring. *Public Health*, 115, 277–281.

Huang, D., Jun Y., Shiyu S., Zhekang L., Luyun Z. & Cheng G. (2020). A Method for Bus OD Matrix Estimation Using Multisource Data, *Journal of Advanced Transportation*, 5740521, <https://doi.org/10.1155/2020/5740521>.

Jomnonkwao, S., & Ratanavaraha, V. (2016). Measurement modelling of the perceived service quality of a sightseeing bus service: An application of hierarchical confirmatory factor analysis. *Transport Policy*, 45, 240–252. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2015.04.001>

Jumah, J. A. B., Burt, R. P. & Buttram, B. (2012). An exploration of quality control in banking and finance. *International Journal of Business and Social Science*, 3, 273–277.

Kang J.M., Ataeian, S. & Amiripour, S.M.M. (2021). A procedure for public transit OD matrix generation using smart card transaction data. *Public Transportation*, 13, 81–100. <https://doi.org/10.1007/s12469-020-00257-7>.

Kim K. & Lee I. (2017). Public transportation alighting estimation method using smart card data. *Journal of Korean Society for Railway*, 20 (5), 692-702.

Krishnakumari P., Lint H.v., Djukic T. & Cats O. (2019). A data driven method for OD matrix estimation. *Transportation Research Procedia*, 38, 139-159.

Kuvvetli, Ü., Diker, A.C., Eliiyi, U., Ozkılıç, M. & Nasiboğlu, E. (2014a) Akıllı Kart Verileri ile OD Matrisi Oluşturmada Kullanılan BölgeBazlı ve Hat Bazlı

Yaklaşımların Karşılaştırılması: İzmir Örneği. *Yöneylem Araştırması ve Endüstri Mühendisliği* 34. Ulusal Kongresi, Bursa, Türkiye. (Temmuz 2014)

Kuvvetli, Ü., Eliiyi, U., Nasiboğlu, E., Diker, A.C., Osmanoğulları, E. & Ozkılıç, M. (2014b). İniş Duraklarının Akıllı Kart Verileri Kullanılarak Tahmin Edilmesi İçin Hat Bazlı Yaklaşım İzmir Örneği, *TRANSİST, 7. Uluslararası Ulaşım Teknolojileri Sempozyumu ve Fuarı*. (107-113), İstanbul, Türkiye. (Aralık 2014)

Kuvvetli, U., & Firuzan, A. R. (2021). Kent İçi Toplu Taşımada Belediye Otobüslerinin Karıştığı Trafik Kazalarının Lojistik Regresyon ile İncelenmesi. *Trakya Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 23 (1), 321-336. <https://doi.org/10.26468/trakyasobed.773099>

Laisak, A. H., Rosli, A., & Sa'adi, N. (2021). The effect of service quality on customers' satisfaction of Inter-District Public bus companies in the Central Region of Sarawak, Malaysia. *International Journal of Marketing Studies*, 13 (2), 53–67. <https://doi.org/10.5539/ijms.v13n2p53>

Leiva, V., Marchant, C., Ruggeri, F. & Saulo, H. (2015). A criterion for environmental assessment using Birnbaum-Saunders attribute control charts. *Environmetrics*, 26, 463–476.

Leiva, V., Lillo, C. & Morrás, R., (2018). On a business confidence index and its data analytics: a Chilean case. In: Oliveira, T., Kitsos, C., Oliveira, A., Grilo, L.M. (Eds.), *Recent Studies on Risk Analysis and Statistical Modeling*. Springer, Switzerland, (ss.61–78).

Montgomery, D. C. (2009). *Introduction to Statistical Quality Control*. New York: Wiley.

Münz, G., & Carle, G. (2008). Application of Forecasting Techniques and Control Charts for Traffic Anomaly Detection.

Nasiboglu E., Kuvvetli U, Ozkilkic M. & Eliiyi, U. (2012). Origin-destination matrix generation using smart card data: Case study for Izmir. *2012 IV International Conference. Problems of Cybernetics and Informatics (PCI)*, Baku, Azerbaijan, (1-4). DOI:10.1109/ICPCI.2012.6486315.

Novoa N. M. & Varela G. (2020). Monitoring surgical quality: the cumulative sum (CUSUM) approach, *Mediastinum*, 4 (4), 35118272.

Oktay, E. (1994). *Shewart, Cusum ve Ewma kontrol grafiklerinin şeker sanayiine uygulanması üzerine bir deneme*. (Doktora Tezi). Atatürk Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Erzurum.

Orme, J.G. & Cox, M.E. (2001). Analyzing single-subject design data using statistical process control charts. *Social Work Research*, 25 (2), 115-127.

Ou, Y., Hu, J., Li, X. & Le, T. (2014). MIMO EWMA-CUSUM condition-based statistical process control in manufacturing processes. *Proceedings of IEEE Emerging Technology and Factory Automation. IEEE*, pp. 1–8.

Özkan B. & Alp S. (2020). Toplu ulaşımda hizmet kalitesi: İstanbul’da yolcu memnuniyeti araştırması, *Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Uygulamaları Dergisi*, 3 (2), 94-111.

Öztürk H. Murat N. & Eevli S. (2019). Quality Control Charts for Monitoring Performance of Hospital Call Center. *Sigma*, 37 (4), 1396-410.

Page E.S. (1954). Continuous Inspection Schemes. *Biometrika*, 41(1), 100-115.

Pelletier, M. P., Trépanier, M., & Morency, C. (2011). Smart card data use in public transit: A literature review, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 19 (4), 557–568.

Perucca, G., & Salini, S. (2014). Travellers’ Satisfaction with Railway Transport: A Bayesian Network Approach. *Quality Technology & Quantitative Management*, 11 (1), 71–84. <https://doi.org/10.1080/16843703.2014.11673326>

Rafique M.Z., Rahman M.N., Saibani N., Arsad N., Mughal I.A. & Hanif S. (2016). Quality check for customer benefit in bus transport system through statistical control charts and gauge R&R. *International Journal of Applied Engineering Research*, 11 (1), 101-104.

Rebisz B. (2013). The Study of the Dynamics of Traffic Accidents using The control charts. *Modern Management Review*, 20 (3), 135-144.

Roberts, S.W. (1959). Control charts test based on geometric moving averages. *Tech- nometrics: A Journal of Statistics for the Physical, Chemical, and Engineering Sciences*, 1, 239–250.

Ruiz E., Yushimito W. F., Aburto L. & Cruz R. (2024). Predicting passenger satisfaction in public transportation using machine learning models. *Transportation research Part A: Policy and Practice*, 181,103995.

Shewhart, W.A. (1931). *Economic control of quality of manufactured product*. New York: D. Van Nostrand Company.

Sivena, S., & Nikolaidis, Y. (2019). Improving the quality of Higher Education teaching through the exploitation of student evaluations and the use of control charts. *Communications in Statistics - Simulation and Computation*, 51 (3), 1289–1312. <https://doi.org/10.1080/03610918.2019.1667390>.

Schuh A, Canham-Chervak M. & Jones B.H. (2017). Statistical process control charts for monitoring military injuries. *Injury Prevention*, 23, 416-422.

Schuh A., Camelio J.A. & Woodall W.H. (2014). Control charts for accident frequency: a motivation for real-time occupational safety monitoring, *International Journal of Injury Control and Safety Promotion*, 21 (2), 154-162, DOI: 10.1080/17457300.2013.792285.

Türk Standartları Enstitüsü. (2014). TS EN 13816: 2002, Ulaştırma-Lojistik ve Hizmetler Toplu taşıma-Hizmet Kalitesinin Tarifi, Hedefi ve Ölçümü Standardı. Ankara, Türkiye.

Türkmen B.C. & Akyurt İ.Z. (2018). Çanakkale kale seramik işletmesi karo üretiminde $\bar{X} - S$, cusum ve ewma kalite kontrol grafiklerinin uygulanması. *Akademik Bakış Dergisi*, 66, 376-395.

van Cranenburgh, S., Wang, S., Vij, A., Pereira, F., & Walker, J. (2022). Choice modelling in the age of machine learning - Discussion paper. *Journal of Choice Model*. 42, 100340. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jocm.2021.100340>.

Wang, Y., Zhang, Z., Zhu, M., & Wang, H. (2020). The impact of service quality and customer satisfaction on reuse intention in urban rail transit in Tianjin, China. *SAGE Open*, 10 (1). <https://doi.org/10.1177/215824401989880>.

Weng, J., Yu, J., Di, X., Lin, P., Wang, J.-J. & Mao, L.-Z.. (2023). How does the state of bus operations influence passengers' service satisfaction? A method considering the differences in passenger preferences. *Transport. Research. Part A: Policy Practice* 174, 103734.

Woodall, W. (2014). Discussion of "latent structures-based multivariate statistical process control: a paradigm shift". *Quality Engineering*, 26, 92-95.

Yap M., Cats O. & Arem B.v. (2018). Crowding valuation in urban tram and bus transportation based on smart card data. *Transportmetrica A: Transport Science* 16 (1), 23-42.

Yazid, M. F., Ali, A. M., & Manaf, S. A. (2020). Customer satisfaction in public transport service. *European Journal of Molecular & Clinical Medicine*, 7 (3), 4108-4127.