

PAPER DETAILS

TITLE: Kentiçi Toplu Tasima Sistemlerinde Performansa Dayali Ödeme Modelinin Gelistirilmesi

AUTHORS: Sezgin TEKIN, Halim CEYLAN, Sevil KÖFTECI

PAGES: 12913-12944

ORIGINAL PDF URL: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/1837214>

Kentiçi Toplu Taşıma Sistemlerinde Performansa Dayalı Ödeme Modelinin Geliştirilmesi

Sezgin TEKİN¹

Halim CEYLAN²

Sevil KÖFTECİ³

ÖZ

Türkiye'de toplu taşıma sistemleri temel olarak üç tipte işletilmektedir: sadece kamu işletmeciliği, sadece özel işletmecilik ve karma tip (hem kamu hem de özel işletmeci). Özel işletmelerin bulunduğu toplu taşıma sistemlerinde, ayrıcalıklı yolcuların (65 yaş üstü, engelli, öğrenci vb.) ücretsiz veya indirimli ulaşımı, işletme maliyetlerinin sürekli artmasına neden olmaktadır. Bu sebeple, merkezi ve yerel yönetimler tarafından özel işletmelere sübvansiyon yapılması gündeme gelmiştir. Yapılan farklı uygulamalarda, özel işletmecilerin maliyetlerinin düşürülmesi, verimliliklerinin artırılması ve hizmet kalitesinin geliştirilmesine yönelik bir standart bulunmamaktadır. Bu çalışmada, toplu taşıma sisteminde özel toplu taşıma şirketlerinin faaliyet göstermesi için çeşitli yöntemlerle yapılacak sözleşmeler kapsamında değerlendirilmesi gereken performans kriterleri ve ödeme esasları ele alınmıştır. Örnek alınan toplu taşıma sisteminde performansa dayalı bir ödeme modelinin oluşturulması amaçlanmıştır. Bunun için literatürde uygulanan sözleşme ve ödeme modelleri değerlendirilmiş, performansa dayalı bir ödeme modeli için matematiksel bir model oluşturulmuştur. ANFIS (Adaptive Neural-Fuzzy Inference Systems) yöntemi kullanılarak örneklenen özel toplu taşıma işletmesinin önceki dönem verileri kullanılarak maliyet değerlendirmesi yapılmıştır. Belirlenen performans kriterlerinin ağırlıkları AHP (Analitik Hiyerarşi Süreci) yöntemi ile belirlenerek ödeme modeli katsayıları oluşturulmuştur. Yapılan simülasyonlar ile önerilen performansa dayalı ödeme modelinin yolcu bazlı model ile karşılaştırması yapılmıştır. Analiz çalışması ile, önerilen modelin özel taşımacıların gelir-gider oranında %37 daha iyi sonuç verdiği ve taşımacıların maliyetlerinin tamamen karşılandığı sonucu elde edilmiştir. Çalışmada önerilen yöntem kullanılarak toplu taşıma

Not: Bu yazı

- Yayın Kurulu'na 23 Haziran 2021 günü ulaşmıştır. 29 Ağustos 2022 günü yayımlanmak üzere kabul edilmiştir.
- 31 Ocak 2023 gününe kadar tartışmaya açıktır.
- <https://doi.org/10.18400/tekderg.955920>

1 Antalya Büyükşehir Belediyesi, Ulaşım Planlama ve Raylı Sistem Dairesi Başkanlığı, Antalya
sezgin.tekin@gmail.com - <https://orcid.org/0000-0001-7762-5680>

2 Pamukkale Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Denizli
halimc@pau.edu.tr - <https://orcid.org/0000-0002-4616-5439>

3 Akdeniz Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Antalya
skofteci@akdeniz.edu.tr - <https://orcid.org/0000-0002-5096-2545>

sisteminin sürekliliğinin sağlanabileceği, ilave performans ödemesi ile de hizmet kalitesinin artırılarak toplu taşıma cazip hale getirilebilecektir.

Anahtar Kelimeler: Performansa dayalı sözleşme, ANFIS, özel toplu taşıma ödeme modeli, anahtar performans göstergeleri, AHP.

ABSTRACT

Developing a Performance-Based Payment Model in Urban Public Transport Systems

In Turkey, public transportation systems are operated mainly on three types: Only public operations, only private operations, and mixed types (both public and private operators). As a result of privatization used in the last two types, free or discounted transportation of privileged passengers (Over 65 years old, disabled, students, etc.), cause continuously increasing operating costs. Although subsidies to transportation companies by central and local governments have come to the agenda, different practices are carried out. There is no standard for evaluating performance criteria and improving travel service quality in order to reduce costs of private operators, increase their efficiency and improve service quality. In this study, the performance criteria and payment principles that have to be evaluated within the scope of the contracts to be executed by various methods for the operation of private-public transportation companies in the public transportation system have been handled. Based on this, It has been aimed to establish a performance-based payment model in the sample transportation system. For this, the contract and payment models applied in the literature were evaluated, a mathematical model was established for a performance-based payment model. Cost assessment was made by using the previous period data of the private-public transportation company, which was sampled by using the ANFIS (Adaptive Neural-Fuzzy Inference Systems) method. The payment model coefficients were created by determining the weights of the determined performance criteria with AHP (Analytic Hierarchy Process) method. A simulation study was conducted to compare the proposed performance-based payment model and the applied model. As a result; it is seen that the income-expense ratio of private operators gives better results in the proposed model.

Keywords: Performance based contract, ANFIS, public transportation payment model, key performance indicators, AHP.

1. GİRİŞ

İçinde özel toplu taşıma işletmelerinin bulunduğu kentiçi toplu taşıma sistemlerinde, idareler maliyetin düşürülmesi, sefer sayılarının (taşıt/km) artırılarak hizmet kalitesinin iyileştirilmesini isterken, hizmeti sunan özel toplu taşıma kuruluşları maliyetlerini düşürerek gelirlerini artırmayı, toplu taşıma hizmetinin kullanıcısı olan yolcu ise konforun, hizmet kalitesinin artmasını ve bilet ücretinin düşük olmasını bekler. Özel taşımacıların bulunduğu toplu taşıma sisteminde tarafların beklentilerini dengelemek için günümüz koşullarında sübvansiyonlar kaçınılmaz hale gelmiştir. Özellikle Türkiye’de kentiçi toplu taşıma hizmeti veren özel toplu taşıma araçları, yasa gereği engelli ve 65 yaş üstü bireylerin ücretsiz taşınma zorunluluğu dolayısıyla devlet desteğine rağmen, nüfus yapısına bağlı olarak belirli oranlarda gelir kayıpları yaşamaktadırlar. Artan yakıt, vergi, sigorta, sürücü vb, masraflar sebebiyle, özel taşıma işletmeleri sürekli olarak yerel yönetimlere bilet ücretlerinin artırılması yönünde

baskı uygulamaktadır. Bu sebeple, devlet desteğinin yanında yerel yönetimler de verdikleri hizmetler için tüketici ve üreticinin maliyetlerini düşürmek, hizmet kalitesini ve cazibesini artırmak amacıyla doğrudan veya dolaylı olarak özel toplu taşıma kuruluşlarına çeşitli sübvansiyonlar yapmaktadır.

Toplu taşıma maliyetleri ve sübvansiyonlara ilişkin literatürde farklı yöntemlerle pek çok çalışma yapılmıştır. Örneğin; Pucher vd.(1983), sübvansiyonların toplu taşıma maliyetlerine etkilerini çoklu regresyon analizi yöntemi ile incelemiş, toplu taşıma sistemlerinin verimliliğinin geliştirilmesine yönelik öneriler getirmiştir [1]. Tisato (2000), ekonomik kazanç için maksimizasyon modelini oluştururken, tüketici kazancı ile üretici kazancının artırılmasından yola çıkmıştır. Yükleme faktörü ile otobüs sayısının değişken veya sabit olduğu 4 durum için ayrı ayrı maliyet değerlendirmesi yapmıştır [2]. Small ve Verhoef (2007), toplu taşıma maliyet hesabı için çoklu doğrusal regresyon modeli oluşturmuştur. Güzergah uzunluğu, araç-saat ve araç-km vb. parametreleri kullanarak toplu taşıma işletmecilerinin maliyetlerini incelemiştir [3]. Parry ve Small (2009), yolcu km başına optimum ücret sübvansiyonunun hesaplandığı analitik bir model oluşturmuştur. Çalışmada elde edilen sonuçlara göre mevcut sübvansiyonların verimliliği desteklediğini ifade etmiştir [4]. Mattson ve Ripplinger (2012), küçük kentleşmiş bölgelerde toplu taşıma operasyonlarının iç ve dış maliyetlerini ölçmek, marjinal maliyet fiyatlandırmasını sürdürmek için gereken sübvansiyonu tahmin etmiştir. Uzun vadeli maliyet fonksiyonunda, küçük kentsel topluluklara hizmet veren toplu taşıma kuruluşlarının ekonomik yapısını belirlemek için görünüşte ilgisiz regresyon (SUR) yöntemi kullanılmıştır [5]. Mouwen ve Ommeren (2016), hem işletme maliyetlerinin hem de sübvansiyonun hesaplandığı logaritmik bir fonksiyon denklemi oluşturmuştur. Çalışmada, uzun vadeli toplu taşıma sözleşmeleri için sözleşme yenilemeleri ve rekabetçi ihalenin yolculuk, işletme maliyetleri ve sübvansiyonları ne ölçüde etkilendiği incelenmiştir [6]. Ševrović vd.(2015), sübvansiyon dağıtım modeli önerisinde, yerel otoriteler tarafından sağlanacak sübvansiyonlardaki taşımacının bireysel paylarının tanımlanmasını amaçlamıştır. Çalışmada, bu payların fiilen yapılan işleri dikkate alarak, ilgili hatların fiili giderlerini yansıtmaya çalışılmıştır. Sübvansiyon endeksi, toplu taşıma hat sıklığı ve önem katsayısı, toplu taşıma hattındaki sübvansiyon payı hesabı için analitik formüller geliştirilmiştir [7].

Toplu taşıma sözleşmeleri ve ödeme modelleri üzerine literatürdeki az sayıdaki çalışmadan Gautier ve Yvrande-Billon (2013), stokastik maliyet sınır analizi ile dinamik bir teşvik düzenleme modeli oluşturmuşlardır. Her bir ağ operatörü ve her bir dönem için translogaritmik maliyet fonksiyonu oluşturulmuştur. Sözleşmenin türüne (maliyet artı, brüt maliyet veya net maliyet sözleşmesi) bağlı olarak, sözleşme süresi boyunca hem maliyeti düşürme düzeyini hem de yeniden maliyetlerin dağıtılması gösterilmiştir. Çalışma sonucunda, brüt maliyet sözleşmesinin maliyet minimizasyonu için en güçlü teşvikleri sağlayan sözleşme formu olduğu, öte yandan efektif bir rekabet ile birleştirilmiş bir maliyet artı modelininin, maliyet tarafında iyi sonuçlar verdiği tespit edilmiştir [8]. Hensher vd. (2012), basitleştirilmiş performansa bağlı bir ödeme (SPLP) modeli önermişlerdir. Modelde, maliyet verimliliği ve ağ etkinliğinin bir birleşimi olarak yolcu başına maliyet hesabı kullanılmıştır. İşletmeciler ile yapılacak sözleşmeler kapsamında; işletmeciler tarafından yapılacak tekliflerin ya yolcu başına dolar sübvansiyonu ya da kilometre başına dolar sübvansiyonu şeklinde olması gerektiği, bu iki değer in idare açısından parasal değer ölçüsü olacağı belirtilmiştir [9]. Canitez vd. (2019), yolcuların, işletmecilerin ve ulaşım otoritesinin beklentilerini modelleyerek İstanbul Halk Otobüsü işletmecileri için optimum ödeme modeli

önermiştir. Ticari ödeme, brüt maliyet ve performansa dayalı brüt maliyet ödeme modelleri, İstanbul bağlamındaki hizmet kalitesi sorunları nedeniyle net maliyet modeli yerine dikkate alınması gereken alternatifler olarak değerlendirilmiştir. Çalışmada doğrusal olmayan bir matematiksel programlama modeli kullanılmış, 3 farklı matematiksel model için amaç fonksiyonu ve kısıtlar belirlenmiş ve ayrı ayrı hesaplamalar yapılmıştır. Model sonuçlarına göre, İstanbul için performansa dayalı brüt maliyet ödeme modeli önerilmiştir [10].

Rekabetçi ihale veya Anlaşmalı Sözleşme türlerinden herhangi biri ile tedarik edilen ve özel işletmecilere yapılan ödemenin temeli ödeme modelidir. Bu ödeme modeli işletmecinin sözleşmenin ömrü boyunca nasıl davranacağını belirleyecektir. Literatürde yer alan temel ödeme modelleri; Brüt Maliyet Sözleşmeleri, Net Maliyet Sözleşmeleri, Brüt Maliyet+Destek Teşvik Sözleşmeleri, Ticari Ücret Sözleşmeleri, Brüt Maliyet+Destek Hizmet Teşvik Sözleşmeleri, Brüt Maliyet+Ekonomik Tabanlı Destek Teşvik Sözleşmeleri, Yönetim sözleşmesi (Maliyet-artı sözleşmesi) ve Basitleştirilmiş performansa bağlı bir ödeme (SPLP) modelidir. Türkiye’de de en çok kullanılan temel ödeme modellerinden Net Maliyet Modeli; minimum destek olarak da bilinir. Hem üretim hem de gelir riski işletmeci tarafından karşılanır. Beklenen toplam işletme maliyetleri ve gelirler arasındaki fark, yerel idarenin işletmeciye ödediği fiyatı belirler. Maliyetler ve gelirler arasındaki beklenen fark ile gerçekleşen farkın karşılık gelmediği maliyetlerin sorumluluğu işletmeci tarafından üstlenilir [11]. Brüt maliyet sözleşmelerinde ise üretim riski işletmeci tarafından üstlenilirken, gelir riski idare sorumluluğundadır. İşletmecilere, sabit miktarda hizmetin üretimini için mutabık kalınan bir bedel ödenir. Gelirler yerel idareye tahakkuk eder. Gerçekleşen üretim maliyetleri ile beklenen üretim maliyetleri arasındaki fark, işletmecinin sorumluluğundadır. Ticari ücret sözleşmeleri; yolcu başına ortalama maliyet ve genellikle minimum hizmet seviyesine bağlı düzenleyici onaylı sözleşmelerdir [12]. Yönetim sözleşmesi, net maliyet sözleşmesinin tersidir. Yönetim sözleşmesinde hem üretim hem de gelir riskleri işletmeci yerine yerel idare tarafından karşılanmaktadır. Yerel yönetim ulaşım gelirlerini toplamakta ve işletmecilerin üretim maliyetini önceden belirlenmiş bir oranda artırarak tamamen geri ödemektedir. Kâr, gerçekleşen gelir ve maliyetlerden bağımsız olduğu için, bu sözleşme işletmeciler için risksizdir [8]. Günümüzde en çok kullanılan sözleşme modeli kalite ve performans kriterlerine göre ödül/ceza sisteminin uygulandığı kalite teşvikli brüt maliyet sözleşmeleri ve performansa dayalı sözleşmelerdir. Brüt sözleşmelerin net sözleşmelere göre bazı avantajları vardır. Brüt maliyet sözleşmeleri, entegre ücretlerin uygulanmasını kolaylaştırmaktadır. Çünkü işletmeciler ve ulaşım modları arasında gelir tahsis etme ihtiyacı ortadan kalkar. Net maliyet sözleşmelerinde, genel olarak işletmeciler desteğin büyümesi için daha büyük bir avantaja sahiptir. Çünkü işletmeciler bilet ücreti gelirini ellerinde tutarak, yolcu sayısının artması durumunda gelirlerini de artırmış olurlar. İşletmeci açısından en risksiz olan yönetim sözleşmesi maliyetlerin sürekli artış gösterdiği ekonomilerde önemli hale gelmektedir. Çünkü gelir kaybı yaşayan işletmeciler idareye desteğin artması yönünde baskı uygulayacaktır. Bu sebeple çalışmada hizmet kalitesinin artırılması için yönetim sözleşmesine ilave olarak ödül/ceza sistemi ile desteklenen bir model önerilmiştir.

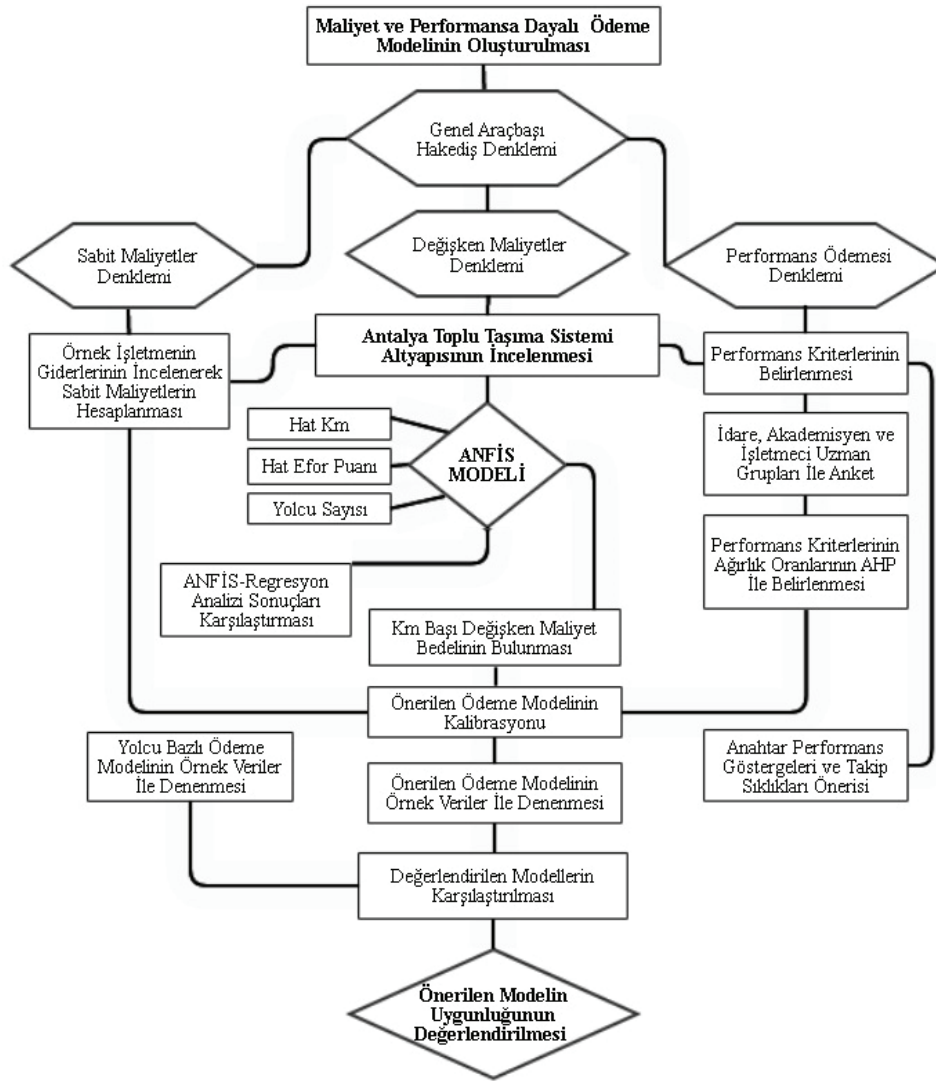
Literatürde toplu taşıma sistemlerinde performans ölçümleri, hizmet standartları ve ölçüm teknikleri ile anahtar performans göstergeleri (APG) üzerine pek çok çalışma bulunmaktadır. Fielding vd. (1978) çalışmalarında, 3’ü verimlilik (araç başına araç-saat geliri vb.), 4’ü etkinlik (araç başı toplam yolcu vb.) ve 2’si tüm ölçümler (yolcu geliri başına işletme gideri vb.) olmak üzere 3 ana kategori altında toplam 9 adet performans ölçümü belirleyerek bunları California’da 46 toplu taşıma kuruluşuna uygulamıştır [13]. Attanucci vd. (1979), toplu

taşıma hizmet performansı göstergelerini güzergah bazında değerlendirmek için kullanılan kriterleri tespit etmek üzere, hizmet tasarımı, işletme performansı ve verimlilik altında 21 adet performans göstergesi tanımlanmıştır. Çalışmada en sık kullanılan gösterge tanımı zamanlama uyumu (0-5 dk gecikme), gelir/maliyet karşılama oranı ve km başına yolcudur [14]. Harris County Metropolitan İdaresi ve UMTA (1984), performans göstergelerini kategorize etmiş ve toplu taşıma kurumları tarafından geliştirilen kriterlerin özetini sunmuştur. Çalışmada sunulan 21 adet göstergeden öne çıkanları; yolcu güvenliği, sefer kaybı ve müşteri şikayetleri, yolcu başına maliyet göstergeleridir [15]. Nakanishi (1997), NYCT (New York şehri taşımacılığı)'nin OTP (On Time Performance-zamanlama performansı) ve servis düzenliliğini içeren otobüs performans göstergelerini açıklamıştır. Ayrıca çalışmada, zaman tarifesine dayalı olmayan göstergeler önerilmektedir [16]. Randall vd.(2006), 6 adet performans ölçütünden ve öznetelik gruplarından oluşan APG Sistemine, otobüs kıyaslama için “Emniyet ve Güvenlik” ile bağımsız bir APG olarak “Çevre” ölçütünü dahil etmişlerdir. Ayrıca çalışmada araç büyüklüklerindeki farklılıkların performans ölçümlerini etkileyebildiği, araç başına yolcu sayısı ve yakıt tüketimi dikkate alındığında ölçümler farklı çıkabildiğini belirterek Kapasite Normalizasyonu kavramı getirilmiştir [17]. Son olarak Türkiye’de yapılan bir çalışmada, Kocaman vd. (2011), 16 adet performans göstergesini 5 ana başlık altında toplamışlardır. Çalışmada, kapasite kullanımı, hizmet sıklığı, seyahat süresi verimliliği, hız limitini aşan otobüs sayısı vb. değerlendirme kriterleri önerilmiştir [18]. Literatürde tespit edilen anahtar performans göstergeleri değerlendirilmiş, çoğunlukla ele alınmış olan kriterler belirlenmiştir. Bu kriterlerden, çalışmada örnek alınan toplu taşıma sisteminde erişilebilir, ve takip edilebilir nitelikte olan 6 adet performans kriteri seçilmiştir.

Literatürdeki tespit edilen çalışmaların çoğunda, sübvansiyonları ve toplu taşıma işletmelerinin maliyetlerini etkileyen etmenler analiz edilmiş, bazılarında ise ödeme modellerinin etkinliği test edilmiş, modeller birbirleri ile karşılaştırılmıştır. İncelenen çalışmalarda, özel taşımacılara sübvansiyonun veya ödemelerin nasıl yapılacağına ilişkin araç bazlı ödemeye yönelik bir model örneği tespit edilmemiştir. Yapılan çalışmada, hem işletmecilerin değişken maliyetlerinin bir sezgisel algoritma yardımıyla hesaplanması hem de performans ödemelerinde dikkate alınacak performans kriterlerinin literatürdeki Anahtar Performans Göstergeleri (APG) dikkate alınarak zenginleştirilmesi, ödemeye yönelik bir matematiksel model oluşturulması amaçlanmıştır. Bu amaçla, ANFIS yöntemi kullanılarak özel toplu taşıma işletmesinin değişken maliyetleri değerlendirilmiş ve km başı maliyet hesabı yapılmıştır. Çalışmada belirlenen performans kriterlerinin ağırlıkları AHP (Analitik Hiyerarşi Süreci) yöntemi kullanılarak belirlenmiş, ödeme modelinin kalibrasyonu yapılmıştır. Yapılan simülasyonlar ile önerilen performansa dayalı ödeme modelinin sonuçları yolcu bazlı modelin sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

2. ÇALIŞMADA KULLANILAN YÖNTEM

Önerilen model özel toplu taşıma araçlarının maliyetlerine ilave olarak performansları dikkate alınarak belirli oranda yapılacak ek ödeme esasına dayanmaktadır. Çalışmada izlenen yönetime ilişkin hazırlanan akış şeması Şekil 1’de verilmiştir.



Şekil 1 - Çalışma Yöntemi Akış Şeması

2.1. ANFİS ve AHP

Çalışmada ulaşım maliyet değerlendirmesi için kullanılan ANFİS yöntemi, bulanık çıkarım sistemi'nin adaptif ağırlara uyarlanmış hali olarak tanımlanabilir. Bu yöntem, Jang (1993) tarafından doğrusal olmayan fonksiyonların modellenmesi, kontrol sisteminde doğrusal olmayan bileşenlerin belirlenmesi ve kaotik zaman serilerinin tahmininde kullanılması için geliştirilmiştir [19]. ANFİS yöntemi MATLAB yazılımında Bulanık Mantık Modülünde bir

Kullanıcı Arayüzü aracılığıyla kullanıma sunulmuştur [20]. Yöntem, ulaşım desteği [21], rota planlaması [22] ve otobüs hizmet kalitesi tahmini [23] gibi ulaşım konularında yaygın olarak kullanılmaktadır.

Literatürde toplu taşıma maliyet ve sübvansiyon hesaplamalarında genellikle matematiksel ve istatistiksel modellerin kullanıldığı, sezgisel algoritma kullanımının sınırlı olduğu tespit edilmiştir. ANFİS yöntemi, modern yöntemler arasında tahmin konusunda başarılı sonuçlar vermesi nedeniyle tercih edilen bir yöntem haline gelmiştir. Özellikle, girilen veriler ile kendi oluşturduğu kurallar çerçevesinde öğrenme yapabildiği gibi eğer-ise dilsel ifadeleri yardımıyla da uzman kişiler tarafından yeni kurallar da eklenebildiği için esnek ve dışarıdan müdahaleye açık bir yapıya sahiptir. Çalışmada, km başı değişken maliyet hesabının bir minimizasyon veya maksimizasyon problemi olmaması, kullanılan bazı verilerin sözel ifadelerden oluşması, veri gruplarının büyüklüklerinin birbirlerinden farklı olması, doğrusal olmayan bir problem yapısının bulunması sebepleriyle sezgisel algoritma ve bulanık mantık kullanılması yöntemi tercih edilmiştir. Bu özelliklerine uygun olarak çalışmada da ANFİS yöntemi, önceki dönemlere ait gerçek veriler yardımıyla en uygun maliyetin tahmininde kullanılmıştır. Aynı zamanda, güzergahın eğim durumu, trafik durumu gibi sözel veriler de ilave edilerek yeni kurallar eklenmiştir. ANFİS modeli ile regresyon analizi hata oranları literatürde yer alan 3 farklı istatistiksel hata testi (MSE, RMSE ve MAPE) hesaplanarak değerlendirilmiş, ANFİS modelinin daha düşük hata oranlarına sahip olduğu tespit edilmiştir. Çalışma kapsamında yapılan ön analizlerde YSA (Yapay Sinir Ağları) ve benzeri algoritmalar da denenmiş, neticede ANFİS metodunun daha anlamlı sonuçlar verdiği değerlendirilerek, çalışmada kullanılmasına karar verilmiştir.

AHP yöntemi, çok kriterli karar süreçlerindeki karışıklığı gidermek için önerilen bir karar verme tekniğidir. Literatürde özellikle toplu ulaşım; otobüs hizmet sunumu kalite analizi [24], toplu taşımada optimum bilet ücreti belirleme [25] ve toplu taşımada operasyonel verimlilik ve hizmet kalitesi analizi [26] vb. birçok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır.

Hizmet kalitesinin artırılması ve yolcu memnuniyetinin sağlanması amacıyla araçların performanslarına göre ödenecek ilave performans bedelinin tayin edilebilmesi için çalışma kapsamında uygun görülen ve ölçülebilir performans kriterleri belirlenmiştir. Kriterlerin önem derecelerinin belirlenebilmesi için, her bir kriterin diğerine göre öneminin tespit edilmesi gerekmektedir. Bu sebeple çalışmada, kriterlerin ikili karşılaştırmalarının yapılması amacıyla Analitik Hiyerarşik Süreç (AHP) tekniğinin kullanılmasına karar verilmiştir. Modelde performans kriter katsayısı olarak kullanılan ağırlıkların belirlenmesi için 3 farklı uzman grubuna anketler yapılmış, elde edilen anket verileri AHP kullanılarak değerlendirilmiş ve tespit edilen kriter ağırlıkları ödeme modeline işlenmiştir.

2.2. Ödeme Model Yapısı

Önerilen ödeme modeli; maliyet ve performans temelinde iki aşamadan oluşmaktadır. Birincisi; toplu taşıma işletmelerinin sabit ve değişken maliyetlerinin hesaplanması, ikincisi ise Performans kriterlerinin değerlendirilmesi ve katsayılarının hesaplanmasıdır. İlk bölümde toplu taşıma araçlarının mevcut maliyet kalemlerinin belirlenmesi ve araçların güncel maliyet tablosunun oluşturulabilmesi için, örnek özel otobüs işletmelerinin maliyet tabloları değerlendirilmiş, tüm maliyet kalemlerinin dahil edildiği bir doğrusal model yapısı oluşturulmuştur.

$$H_i = (SM_i + KM_i * DM) * KN_i + P_i - C_i \quad (1)$$

Model denkleminde “H” hakediş bedeli olup, araç bazlı ödemeyi temsil etmektedir. “SM”, araçların belirli süreler çalışmasa dahi ödemek zorunda oldukları (şoför, vergi, muayene, muhasebe, hat bedeli, oda aidatı, amortisman vb) sabit giderleri, “DM”, araçların çalışmalarına bağlı (yakıt, bakım, yıkama vb) giderleri ifade etmektedir. “KM”, her bir aracın katettiği aylık km’yi gösterirken, “P” ise, araçların verdiği hizmetin kalitesine (taşıdıkları km başına yolcu sayısı, dakiklık, yolcu memnuniyeti, güvenlik, çevre duyarlılığı vb.) bağlı olarak ödenmesi beklenen performans bedelidir. “KN”, sistemde farklı cinslerde araç bulunması durumunda hesaplanacak kapasite normalizasyon değerini, “C” ise araçların dönem içinde aldıkları cezaları sembolize etmektedir.

Kentiçi özel lastik tekerlekli toplu taşıma araçlarının tüm sabit giderleri değerlendirilerek oluşturulan sabit maliyet “SM” formülü aşağıda verilmiştir.

$$SM_i = \sum_{i=1}^n \zeta_i + A_i + VK_i + VB_i + ST_i + SK_i + M_i + AD_i + AO_i + MH_i \quad (2)$$

Denklemden; “ ζ ” araçlarda çalışan şoförlerin aylık maaş ve sigorta bedelleri toplamını, “A” araç bedelinin kullanım ömrü boyunca aylık maliyeti olan amortisman bedelini, “VK” Katma Değer vergisini (KDV), “VB” Motorlu Taşıtlar vergisini (bandrol), “ST” trafik sigortasını, “SK” ise araç KASKO bedelini ifade etmektedir. “M” yıllık araç muayene bedelini gösterirken, “AO” ve “AD” Oda ve Belediye hat bedeli aidatlarını göstermektedir. “MH” ise muhasebe giderlerini belirtmektedir. Sabit maliyetler, araçların cinslerine ve yaşlarına göre değişkenlik gösterebilmekle birlikte, homojen filolarda ortak bir değer de hesaplanabilir.

Değişken maliyetler ise, araçların çalışma durumuna bağlıdır. En önemli maliyet kalemi olan yakıt maliyeti katedilen mesafeye bağlı olduğu için km başı bir değişken maliyet hesabı yapılması uygun bulunmuştur. Değişken maliyetler içerisinde yer alan yakıt, bakım, lastik değişimi, vb. maliyetler, araçların ay boyunca çalıştıkları hatların durak sayısı, eğim durumu, yolcu sayısı, trafik durumu, sefer dışı boş km. vb. özelliklerine bağlı olarak farklılık göstermektedir. Bu sebeple araçların çalıştıkları güzergah özelliklerine göre farklı birim maliyetler ortaya çıkmaktadır. Örneğin; eğimsiz, seyrek durak aralığına sahip ve merkeze uğramayan transit bir güzergah ile kent merkezine giren, sık durak aralıklarına sahip, yüksek yolcu potansiyeli bulunan bir güzergahın işletme maliyetleri birbirinden farklıdır. Bu durumda, farklı güzergahlarda çalışan işletmecilere eşit değişken maliyet hesabı yapılması doğru olmamaktadır. Özel taşıma işletmelerinin birden çok ve farklı özelliklere sahip güzergahlarda, karma çalışması durumunda da karmaşık bir yapı ortaya çıkmakta, maliyet değerlendirmesi için matematiksel bir hesaplama modeli ile yaklaşım mümkün olamamaktadır. Bunun için öncelikle değişken maliyetleri doğrudan veya dolaylı olarak etkileyen, modele dahil edilecek değişkenler belirlenmiş, aşağıdaki denklem elde edilmiştir.

$$DM = \frac{1}{n} * \sum_{i=1}^n \frac{YB_i + BS_i + BY_i + BL_i + BA_i + BK_i}{KM_i} * \omega_i(KM, HEP, YS) \quad (3)$$

Denklemden; “KM” araç başı aylık yapılan kilometreyi, “YB” araçların yaptığı kilometre karşılığında kullanılan yakıt bedelini, “BS” bakım ve sanayi giderini, “BY” araç yıkama bedelini, “BL” lastik bakım, yenileme giderini, “BA” akü bakım veya değiştirme giderini ifade etmektedir. “ ω ” sembolü ile gösterilen değişken maliyet katsayısı ise ANFİS yöntemi

ile hesaplanacak olan model tarafından oluşturulan düzeltme katsayısıdır. ANFİS modelinde, yukarıda bahsedilen değişken maliyetleri dolaylı olarak etkileyen model girdileri olarak “HEP” hat efor puanı, “KM” aylık km ve “YS” yolcu sayısı girdileri kullanılmıştır.

Performans ödemesi, araçların verdiği hizmetin kalitesine bağlı olarak ödenmesi beklenen bedeldir. Giriş bölümünde anahtar performans göstergeleri (APG) olarak bahsedilen, toplu taşıma sistemlerinde literatürde tespit edilen performans kriterleri değerlendirilmiş, araçların hizmet kalitesini doğrudan etkileyebilecek, ölçülebilir ve takip edilebilir 6 adet performans kriteri belirlenmiştir. Burada amaç; toplu taşıma sisteminin veya işletmelerin performans değerlendirmesinden ziyade araçların performanslarının ölçülmesi ve buna bağlı olarak ödüllendirilmesidir. Toplu taşıma araçlarının taşıdıkları km başına yolcu sayısı her türde (ücretsiz, indirimli vb.) yolcunun azami şekilde taşınmasını desteklerken, dakiklik araçların zaman tarifesine uyumunu ve sisteme güvenilirliği sağlamayı, yolcu yükü araçların belirli doluluk oranlarını aşmadan seyahat kalitesini artırmayı, yolcu memnuniyeti sürücü davranışlarını düzeltmeyi ve hizmet kalitesini artırmayı, güvenlik yolcuların sağlıklı ve huzurlu seyahat etmesini sağlamayı, çevre duyarlılığı ise toplu taşıma sistemindeki araçların çevre dostu araçlara dönüşmesini desteklemeyi amaçlamaktadır. Bu doğrultuda belirlenen performans kriterleri ile aşağıdaki performans ödemesi denklemi oluşturulmuştur.

$$P_i = \sum_{i=1}^n \beta_1 * VK_i + \beta_2 * DK_i + \beta_3 * YK_i + \beta_4 * \text{ÇK}_i + \beta_5 * GK_i + \beta_6 * MK_i \quad (4)$$

Denklemden; “VK” verimlilik (yolcu/km) kriterini, “DK” dakiklik kriterini, “YK” yolcu yükü (doluluk) kriterini, “ÇK” çevre kriterini, “GK” yolcu güvenliği kriterini, “MK” ise yolcu memnuniyeti kriterini ifade etmektedir. “β1...6” değerleri, değerlendirilen performans kriterlerinin önem derecelerini göstermekte olup, kriterlerin önem dereceleri toplu taşıma karar vericileri uzman grupları ile yapılan anketlerin AHP yöntemi ile değerlendirilmesiyle belirlenmiştir.

$$P_{max} = (SM + DM * MHS) * \%P_o \quad (5)$$

Bir aracın tüm performans kriterlerinden tam puan alması kaydıyla elde edebileceği azami tutar (P_{max}) olacaktır. P_{max} değeri, maliyet toplamalarının sözleşme kapsamında belirlenecek performans oranı (P_o) ile çarpılması ile tespit edilir. Oluşturulan Performans denkleminde “MHS” araçların aylık bazda görevlendirileceği asgari hizmet seviyesini (aylık km) ifade eder. Çalışmada bu değer örnek alınan toplu taşıma sisteminde önceki dönem çalışma verileri dikkate alınarak 7800 km/ay olarak alınmıştır. “ P_o ” değeri ise %10 olarak kabul edilmiştir.

Toplu taşıma sisteminde, araç cins/kapasite farklarının bulunması durumunda; sabit maliyetlerde araç amortismanı, vergi değerleri vb değerlerde farklılık olabileceği gibi, değişken maliyetlerde km yakıt bedeli, bakım maliyetlerinde de farklılıkların olması beklenmektedir. Performans kriterlerinde ise kapasiteye bağlı olarak yolcu/km ve doluluk kriterlerinin ayrı değerlendirilmesi gerekmiştir. Bu sebeple, değişken maliyetler toplamında ve performans kriterlerinin değerlendirilmesinde “Kapasite Normalizasyonu” yapılması uygun bulunmuştur. Yapılan literatür taramasında; kapasite normalizasyonundan bahsedilmekle birlikte, araç sınıflarının karşılaştırılacağı kriterler ve hesapta kullanılacak parametreler ile ilgili bir bilgi tespit edilememiştir. Literatürdeki bu eksiklik sebebiyle, farklı araç gruplarına adil bir gelir dağılımı sağlanabilmesi için önceki dönem verileri kullanılarak kapasite normalizasyonu hesabı için aşağıdaki formül oluşturulmuştur.

$$KN_i = \frac{\frac{1}{n} \sum_j C_j + (Y_j * B_i) + (KM_j * YT_i)}{\frac{1}{m} \sum_{ij} C_{ij} + (Y_{ij} * B_i) + (KM_{ij} * YT_i)} \quad (6)$$

Denklemden; “C” araç sınıfının yolcu kapasitelerini (outran+ayakta), “Y” araç sınıfındaki araçların (önceki dönemde) taşıdıkları yolcu sayılarını, “KM” katedilen km değerlerini, “YT” araç sınıfının ortalama km başı yakıt tüketim değerlerini göstermektedir. Eğer gelir havuzu içerisinde, araç cinsleri arasında taşınan yolcu ücretlerinde farklılıklar bulunuyorsa, farklı araç sınıflarının bilet ücretinin (B) de hesaba katılması gerekecektir. Son olarak; hakediş tutarını artırmaması için tüm araç sınıfları [0,1] aralığında normalize edilmesi gerekmektedir.

Çalışmada, yukarıda verilen denklemlerle, örnek alınan Antalya kent merkezi toplu taşıma sisteminde çalışan özel toplu taşıma işletmelerinden olan şirketin 56 adet aracının önceki dönem verilerinden örneklem alınarak en uygun aylık maliyetin çıkarılması ve buna göre almaları gereken toplam ödeme miktarının tayin edilmesi amaçlanmıştır. Çalışmada, aldıkları yakıt miktarı, sanayi, bakım giderleri, sigorta, vergi vb.düzenli veriler tutulan ve nispeten kurumsal bir yapıya sahip olan özel toplu taşıma şirketine ait 56 adet aracın verilerinin kullanılması tercih edilmiştir. Toplu taşıma sisteminde yer alan diğer özel toplu taşıma araçları otobüsçüler odasına bağlı olarak çalışan şahıs araçları olduğu ve bu araçlara ait veri elde etme imkanı bulunmadığı için çalışmada sadece şirket araçları dikkate alınmıştır. İlk olarak, 56 adet aracın aylık araç başı sabit maliyet hesabı yapılmış, sonrasında da araçların 2 aylık değişken maliyetleri ANFİS ile eğitilerek test edilmiş, modelden elde edilen yeni maliyet değerlerine göre km başı değişken maliyet değeri hesaplanmıştır. Devamında performans ödemesinin hesaplanabilmesi için performans kriterlerinin ağırlıkları AHP metodu ile belirlenmiştir. Son olarak; elde edilen değerler ile örnek şirket araçlarının önceki dönem verileri kullanılarak simulasyon yapılmış, önerilen model ile yolcu bazlı destekleme modelinin etkinliklerinin karşılaştırması yapılmıştır.

2.3. Çalışma Alanı ile İlgili Genel Bilgiler

Çalışma kapsamında çalışma alanı olarak hem özel hem de kamu işletmecilerinden oluşan toplu taşıma sistemine ve elektronik ücret toplama sistemine sahip Antalya ili seçilmiştir. Antalya ili, büyükşehir statüsünde olup, 2018 nüfus sayımına göre kent merkezi toplam 1,344,248 kişilik nüfusa sahiptir. Antalya Ulaşım Ana Planı (AUAP 2015) verilerine göre, Antalya ilindeki otomobil sahipliği oranı Türkiye ortalamasının üstündedir. Şekil 2’de gösterilen kent merkezi toplu taşıma sisteminde toplam yolculukların sadece %24,5’i toplu taşıma ile gerçekleşmektedir. Bu nedenle, toplu taşıma sisteminin cazip hale getirilmesi ve verimliliğinin artırılması için özellikle Antalya ili seçilmiştir.

Antalya Kent merkezi toplu taşıma sisteminde özel ve belediye araçlarından oluşan bir hat ve gelir havuzu ile çalışılmaktadır. Çizelge 1’de kent merkezi toplu taşıma sisteminde çalışan mevcut araç sayıları verilmiştir.

2018 yılından itibaren, minibüs cinsi araçlar ile ihale kapsamında çalışan 10 adet otobüs dışında diğer araçların tamamı hat-gelir havuzu içerisinde çalışmaktadır. 2018-2019 yılları arasında belediye meclis kararı kapsamında “km bazlı ve performansa dayalı bir ödeme modeli” ile ödemeler yapılmışken, 2019 Ekim ayından itibaren “Performansa dayalı yolcu başına destekleme modeli”ne geçilmiştir.



Şekil 2 - Antalya İli Kent Merkezi Toplu Taşıma Ağ Haritası

Çizelge 1 - Antalya Kent Merkezi 2019 Yılı Lastik Tekerlekli Toplu Taşıma Aracı Sayısı

Araç türü	Özel İşletme	Belediye
Minibüs	26	50
8,5 metre otobüs	0	41
12 metre otobüs	499	185
Toplam	525	276

Ülkemizde kentiçi toplu taşıma hizmeti veren özel toplu taşıma araçlarında, yasa gereği engelli ve 65 yaş üstü bireylerin ücretsiz taşınma zorunluluğu bulunmaktadır. Antalya ili emekli kesimin tercih ettiği bir yerleşim yeridir. Ayrıca buraya diğer illerden emekli olarak yerleşenlerin nüfus içinde oranı yıl geçtikçe artmaktadır. Bu sebeple, taşımacılara yapılan araç başı 1000 TL/ay (273.97\$) olan gelir desteği ödemesi yetersiz kalmaktadır. Antalya Kent Merkezi Toplu Taşıma Sisteminde toplam ücretsiz taşınan yolcu sayısının toplam yolcu sayısı içindeki payı yaklaşık %12 olup, gelir desteği ödemesi düşüldükten sonra ücretsiz taşınan yolculardan kaynaklı araç başı gelir kaybı aylık ortalama 3822 TL (1047,123 \$) bulunmaktadır. Ücretsiz taşınan yolcuların yanında öğrenci, emekli, öğretmen gibi indirimli taşınan yolcuların taşımacılara ortalama 5.221 TL (1.430,38\$2) araç başı maliyeti de eklendiğinde, taşımacıların ücretsiz ve indirimli yolcuları taşıma karşılığında üstlendikleri toplam gelir kaybı 9.043 TL (2.477,53 \$2) olarak hesaplanmaktadır. Görüleceği üzere, kentiçi özel toplu taşıma işletmeleri, işletme maliyetlerinin dışında gelir kayıpları da yaşamaları nedeniyle yeterli düzeyde bilet geliri elde edilemeyen toplu taşıma sistemlerinin sürekliliği için idareler tarafından gelir desteği yapılması veya özel taşımacıların maliyetlerini karşılayabilecek gelirin sağlanması zorunlu hale gelmektedir. Bu amaçla çalışmada, özel taşımacıların maliyetlerinin üstünde performanslarına bağlı olarak ek bir kazanç elde edecekleri bir ödeme modeli önerisi getirilmiştir.

2.4. ANFİS ile Değişken Maliyetlerin Değerlendirilmesi

Değişken maliyetler içerisinde yer alan yakıt, bakım, lastik değişimi, vb. maliyetler, araçların ay boyunca çalıştıkları hatların durak sayısı, eğim durumu, yolcu sayısı, trafik durumu, sefer dışı boş km. vb. özelliklerine bağlı olarak farklılık göstermektedir. Bu sebeple araçların çalıştıkları güzergah özelliklerine göre farklı birim maliyetler ortaya çıkmaktadır. Örneğin; eğimsiz, seyrek durak aralığına sahip ve merkeze uğramayan transit bir güzergah ile kent merkezine giren, sık durak aralıklarına sahip, yüksek yolcu potansiyeli bulunan bir güzergahın işletme maliyetleri birbirinden farklıdır. Bu sebeple öncelikle değişken maliyetleri doğrudan veya dolaylı olarak etkileyen, modele dahil edilecek değişkenler belirlenmiştir. Elde edilen veriler doğrultusunda, toplam değişken maliyet değerini en çok etkileyen değişkenin yakıt bedeli olması, yakıt bedelinin de en önemli ölçüsünün katedilen km olması ve km başı maliyet hesabı yapılacak olması dolayısıyla öncelikle km girdisi ANFİS modeline eklenmiştir. Bunun dışında, dolaylı olarak yakıt ve bakım maliyetlerini etkileyen, araçların çalıştığı güzergahların özellikleri değerlendirilmiş ve 3 adet hat efor kriteri belirlenmiştir.

Durak Sayısı: Hat efor kriterlerinden Durak sayısı, araçların durma, kalkma sayısını artırması dolayısıyla yakıt maliyetini artırdığı için km başına durak sayısı olarak modele dahil edilmiştir.

Eğim durumu: Hattın güzergahı üzerinde arazi yapısından kaynaklı eğimli yolların varlığını ifade etmektedir. Hatlar Google Earth yükseklik profili verisi yardımıyla güzergah üzerindeki ortalama eğim değerlerine göre az, orta ve yüksek olarak 1-3 arasında puanlanmıştır. Puanlamada ortalama eğimin % 0-% 0,70 aralığında olduğu güzergahlar 1 puan, eğimin %0,80-% 1,3 aralığında olduğu güzergahlar 2 puan, eğimin % 1,4'den daha fazla olduğu güzergahlar ise 3 puan olarak sınıflandırılmıştır.

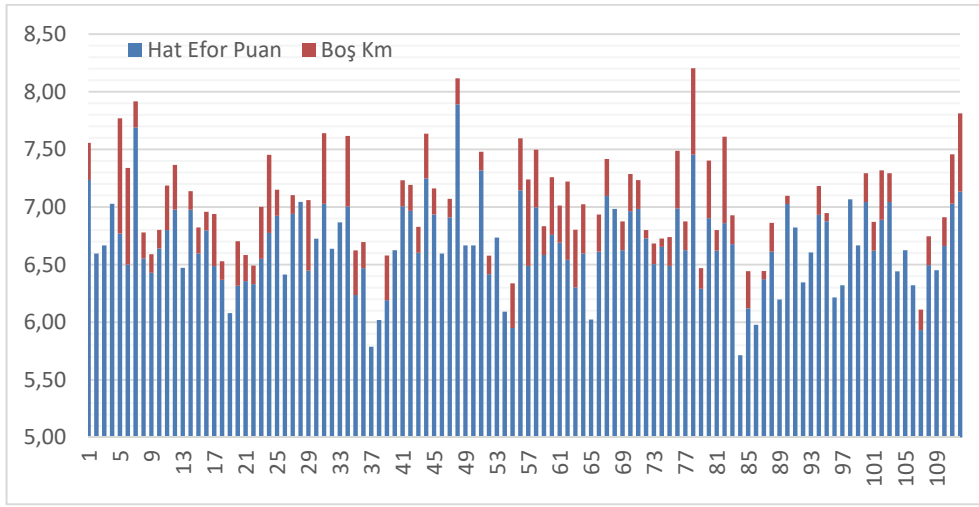
Trafik Durumu: Hattın güzergahının kent merkezine girmesi, trafik yoğunluğunun yüksek olduğu ana yollardan geçmesi veya trafik ışıklarının sayı ve süresi gibi farklı durumlara bağlı değişebilen ulaşım süresine göre hesaplanmıştır. Trafik durumu puanı, hattın zirve saatteki ulaşım süresinin güzergah uzunluğuna bölümünden elde edilen km başı sefer süresine göre az, orta ve yüksek trafik yoğunluğu olarak 1-3 arasında puanlanmıştır. Km başı sürenin 0-2,5 dakika arası 1 puan, 2,51-3 dakika arası 2 puan, 3,01-4 dakika arası 3 puan olarak sınıflandırma yapılmıştır.

Yapılan denemelerde, 56 adet araç verisinin ANFİS modeli için yeterli olmadığı tespit edilmiş, birbirine benzer özellikte iki aylık (Ocak, Şubat 2019) veri kullanılmış, toplam 112 veri seti ile çalışılmıştır. Araçların iki ay boyunca çalıştığı hatlara ait gün bazında hat efor katsayıları toplanmış ve hat efor puanı hesaplanmıştır. Çalışmada kullanılan 56 adet aracın çalıştıkları 9 adet güzergaha ait özellikler ve verilen hat efor katsayıları Çizelge 2'de verilmiştir.

Ayrıca çalışılan hatta ait tarifelerde boş km (başladığı yerde sonlanmayan çalışma tarifeleri dolayısıyla ilk sefere gitmek için katedilen mesafe) var ise 1 puan verilerek ay genelindeki gün bazında boş km puanı hesaplanmıştır. ANFİS'e girdi olarak kullanılan hat efor puanı ve boş km puanı daha sonra ANFİS'de girdi sayısının azaltılarak daha doğru sonuç alınmasını sağlamak adına birleştirilmiştir. Şekil-3'de 112 adet Hat Efor Puanı ve Boş Km Puanı verisinin grafiği verilmiştir.

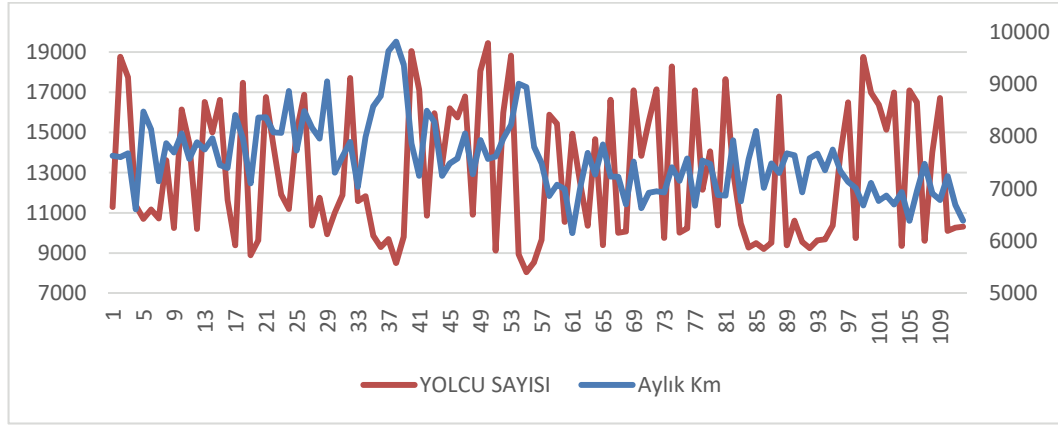
Çizelge 2 - Hat Efor Katsayıları Tablosu

Hattı	Hat Km	Durak Sayısı	Durak Sayısı/Km	Eğim Durumu	Trafik Durumu	HEK
CV39	21	61	2,90	2	2	6,90
FL82	53	168	3,17	3	2	8,17
KC06	51	136	2,67	1	3	6,67
KF52	48	120	2,50	3	1	6,50
LC07	62	154	2,48	1	3	6,48
MC58	44	129	2,93	3	1	6,93
TCS46	69	170	2,46	1	2	5,46
TCS46A	71	162	2,28	1	2	5,28
VC57	62	175	2,82	2	1	5,82



Şekil 3 - Hat Efor Puanı ve Boş Km Puanı Grafiği

Değişken maliyetleri etkileyen hat efor puanı dışında, doğrudan yakıt maliyeti ile ilişkili katedilen aylık km verisi ile yolcu sayısı verisi de modele girdi olarak eklenmiştir. Yolcu sayısı hem araçların taşıdıkları yükü ve dolayısıyla yakıt sarfiyatını etkilemesi, hem de duraklarda durma ve bekleme sürelerini etkilemesi dolayısıyla işletme maliyetleri ile kuvvetli ilişkili olarak değerlendirilmiştir. Veri seti eğitim ve test verisi olarak 2 kısma ayrılmıştır. Rastgele olarak veri serisinin %72'si olan 80 adet girdi eğitim verisi, kalan 32 adet girdi ise test verisi olarak ayrılmıştır. Girdi verileri; Aylık Km, Hat Efor Puanı ve Yolcu sayısı iken çıktı verisi Değişken Maliyet Toplamları/km'dir. Şekil-4'te 112 adet aracın Yolcu Sayısı ve Aylık Km verisinin grafiği verilmiştir. Verilerin cins ve birimlerinin farklı olması dolayısıyla tüm veriler 0-1 aralığındaki değerler ile normalize edilerek çalışılmıştır.



Şekil 4 - Yolcu Sayısı ve Aylık Km Grafiği

2.5. Performans Kriterleri Değerlendirmesi

Öncelikle elde edilebilen veriler ve literatürdeki örnekler dikkate alınarak, toplu taşıma sisteminde özel taşımacıların performanslarının ölçülebileceği performans kriterleri belirlenmiş ve belirlenen kriterler ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Çalışmada, örnek işletmeci grubunun 56 adet aracına ait Ocak 2019 verileri kullanılmıştır. Performans verilerin aylık olarak değişkenlik gösterebileceği ve ödemeye esas veriler olması gerektiği için, ödeme yapılacak aya ait olması gerekmektedir. Bunlar;

Verimlilik (Yolcu/km) Kriteri (VK): Toplu Taşıma araçlarının verimliliği yani km başına maliyeti karşılayacak oranlarda yolcu taşınması değerlendirilmiştir. Çalışmada, örnek alınan araçların aylık taşıdıkları yolcu sayıları ve toplam aylık km değerleri alınarak yolcu/km değeri hesaplanmıştır. Hesaplanan yolcu/km değerleri 0-1 aralığında normalize edilerek verimlilik katsayısı (VK) oluşturulmuştur.

Dakiklik Kriteri (DK): Literatürde toplu taşıma sisteminin güvenilirliği veya hizmet düzenliliği olarak da geçen bir kavramdır. Nakanishi (1997)'ye göre hizmet düzenliliği olarak geçen kriter ± 5 dk olarak tanımlanmış olup, araçların %50'sinden fazlasının bu sürelerle uyması beklenmektedir [16]. Zirve saatlerdeki trafik sıkışıklığı, durak sayısının fazla

Çizelge 3 - Dakiklik Kriteri Skalası

Aylık Gecikilen Sefer Sayısı	Dakiklik Değeri (DK)
0-10	1
11-30	0.8
31-50	0.6
51-70	0.4
71-90	0.2
90-	0

olması, araç kalkış noktalarında (depolamalarda) araç bekleme sürelerinin yetersiz oluşu dolayısıyla bazı güzergah ve saatlerde gecikmeler artmaktadır. Literatürdeki hizmet düzenliliği ve güvenilirliğine ilişkin verilen ± 5 dk gecikme süresine uyularak, örnek alınan işletmeciler grubuna ait özel toplu taşıma araçlarının başlangıç-bitiş saatlerine ve duraklara erişimlerine bakılmış, planlanan süre ile gerçekleşen süreler arasındaki gecikme süreleri elde edilmiştir. Araçların aylık gecikilen sefer sayıları hesaplanarak örnek alınan 56 adet aracın aylık gecikme sayıları ile eşit aralıklı dakiklik skalası oluşturulmuştur. Performans ödemesinde dikkate alınan dakiklik değerleri skalası Çizelge 3’de verilmiştir.

Yolcu Yüğü (Doluluk) Kriteri (YK): Yolcu memnuniyeti ve araçlarda konforlu seyahat koşullarının sağlanmasında önemli öğelerden biri de araçlardaki doluluğun kontrolüdür. Bunun için, hem belirlenen kapasite üzerinde yolcu taşınmasının engellenerek yolcu konforunun sağlanması, hem de duraklarda bekleme süresinin düşürülmesi amaçlanmıştır. Çalışmada araç içerisindeki maksimum yolcu yükünün tespiti için binen-inen yolcuların da sayılabildiği Şekil 5’te gösterilen yolcu sayım cihazından faydalanılmıştır. Örnek alınan toplu taşıma sistemi için, yapılan gözlemler doğrultusunda konforlu yolculuk için algılanan doluluk, ayakta yolcu sayısının %70’i ile oturan yolcu sayısı toplamına (28+52) karşılık gelen 80 kişi olarak kabul edilmiştir. Puanlama için kullanılacak skala değeri olarak ise; doluluğun konfor sınırının altında kalması durumunda 1 puan, sınırın aşılması durumunda ise 0 puan olarak kabul edilmiştir.



Şekil 5 - (a) Yolcu Sayım Cihazı İşlemci, (b) Yolcu Sayım Cihazı Kızılötesi sensör

Çevre Kriteri (ÇK): Toplu taşıma araçlarının emisyon ve çevreye duyarlılığının değerlendirildiği bir kriterdir. Bunun için, AB Emisyon Standartları dikkate alınarak araçların motor tipi ve yaşına göre Çizelge 4’deki değerlendirme skalası oluşturulmuştur.

Çizelge 4 - Çevre Kriteri Skalası

Araç Yaşına Göre Motor Tipi	ÇK Puanı
EURO4 motor veya altı (2008 model altı)	0
EURO5 motor (2009-2013 model arası)	0.5
EURO6 motor (2014 model ve üstü)	1

Yol/yolcu güvenliği Kriteri (GK): Yol/yolcu güvenliği, toplu taşıma araçlarının trafik ve yolcu güvenliğini tehlikeye sokacak şekilde, izin verilen hız limitlerinin üstüne çıkılması ve aylık bazda karışıklı kaza sayılarını kapsamaktadır. Çalışmada, hız limitleri ile ilgili veri elde edilemediği için kaza ve sanayi kayıtlarından elde edilen kaza verileri kullanılmıştır. Aylık araç bazlı kaza sayılarına göre Çizelge 5’de verilen puan skalası oluşturulmuştur.

Çizelge 5 - Güvenlik Kriteri Skalası

Kaza Sayısı/ay	GK Puan
0 kaza/ay	1
1 kaza/ay	0,75
2 kaza/ay	0,5
3 kaza/ay	0,25
4- kaza/ay	0

Yolcu Memnuniyeti Kriteri (MK): Yolcu memnuniyetinin tespiti için farklı uygulamalar bulunmasına rağmen genellikle gizli müşteri (araca yolcu gibi binen idare görevlisi veya anketör) tespitleri, anketler ve çağrı merkezi kayıtlarından faydalanılabilmektedir. Çalışmada, çağrı merkezi kayıtları üzerinden çalışma yapılan şirket araçlarına ait cezaya dönüşen şikayet sayıları dikkate alınarak değerlendirme yapılmıştır. Aylık alınan ceza sayısına göre Çizelge 6’daki yolcu memnuniyet kriteri skalası oluşturulmuştur.

Çizelge 6 - Yolcu Memnuniyet Kriteri Skalası

Aylık Cezaya Dönüşen Şikayet Sayısı	Memnuniyet Kriteri (MK) Puanı
0	1
1-3	0,75
4-6	0,5
7-9	0,25
9-	0

Ceza Kesintisi (C): Toplu taşıma sistemi içerisinde çalışan işleticilere (özel veya kamu araçları) ait araçlara, çalışılan ay içerisinde yönetmelikler veya yaptırım cetveli kapsamında kesilen idari yaptırım cezaları ödenecek destek bedellerinden düşülür. Çalışmada da, çağrı merkezine gelen şikayetler veya denetimler neticesinde tespit edilen cezalar aylık hakediş bedellerinden kesilmiştir.

2.6. Performans Kriterlerinin Önem Derecelerinin AHP ile belirlenmesi

Performans Kriterleri’nin ödeme sistemi kapsamında dağıtımının yapılmasında kullanılmak üzere ağırlıklarının, yani dağıtım katsayılarının belirlenebilmesi için AHP (Analitik Hiyerarşik Süreç) yöntemine uygun, kriterlerin ikili karşılaştırmalarına dayanan bir anket düzenlenmiştir. Çevrimiçi olarak düzenlenen anket formu EK-1’de verilmiştir. Yerel yönetimlerde, özellikle ulaşım birimlerinde görev yapan karar vericiler ve uzman personel,

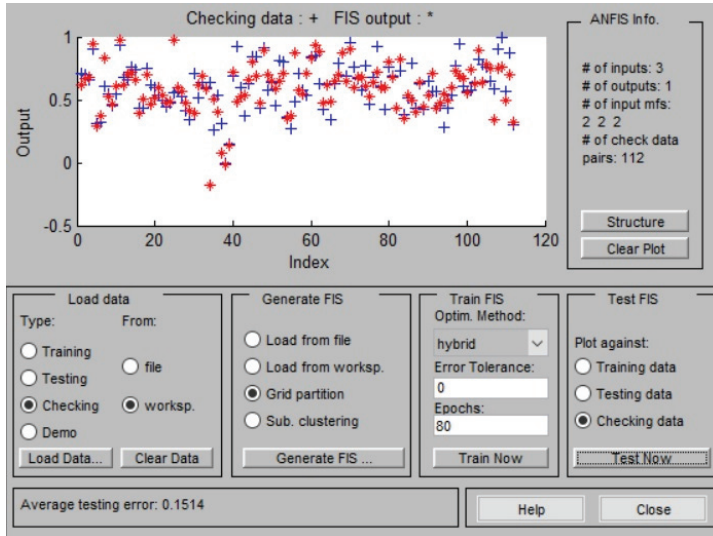
ulaşım ve ilgili konularda uzmanlaşmış akademisyenler ile işletmeciler grubu (özel ve kamu adına belediye iştirakleri) ile toplam 40 adet anket yapılmıştır. Anket grupları idare (belediye), işletmeciler ve akademik olarak 3'e bölünmüş, her bir anket grubu önce kendi grubu içinde, daha sonra toplu olarak değerlendirilmiştir. Performans kriterlerinin önem derecelerine ilişkin katılımcı yargıları alınmış ve veriler excel altında çalışan Goepel (2018) tarafından hazırlanan AHP hesaplama makrosu ile değerlendirilmiştir [27]. Uzman gruplarının tek bir yargı matrisinde birleştirilmesi ve kriterlerin ağırlıklarına ilişkin ortak bir değerlendirme yapılması gerektiği için aşağıda verilen Mikhailov (2004)'ün birleştirilmiş karar matrisi formülü kullanılmıştır [28]. Denklem 7'de görülen karar matrisi formülünde, 1–9 aralığında verilen her bir ikili karşılaştırma değerinin doğal logaritmalarının (ln) toplamalarının ağırlık toplamalarına bölümü ile oluşturulan birleştirilmiş logaritmik matrisin üssü alınmış, birleştirilmiş grup yargı matrisi oluşturulmuştur. Her bir grubun birleştirilmiş yargı matrisleri de ayrı anketler gibi ele alınarak 3 grup için tekrar bir değerlendirme yapılmıştır.

$$c_{ij} = \exp \frac{\sum_{n=1}^N w_n \ln a_{ij(n)}}{\sum_{n=1}^N w_n} \quad (7)$$

3. ANALİZ VE BULGULAR

3.1. ANFİS Modelinin Kurulması ve Sonuçlarının Değerlendirilmesi

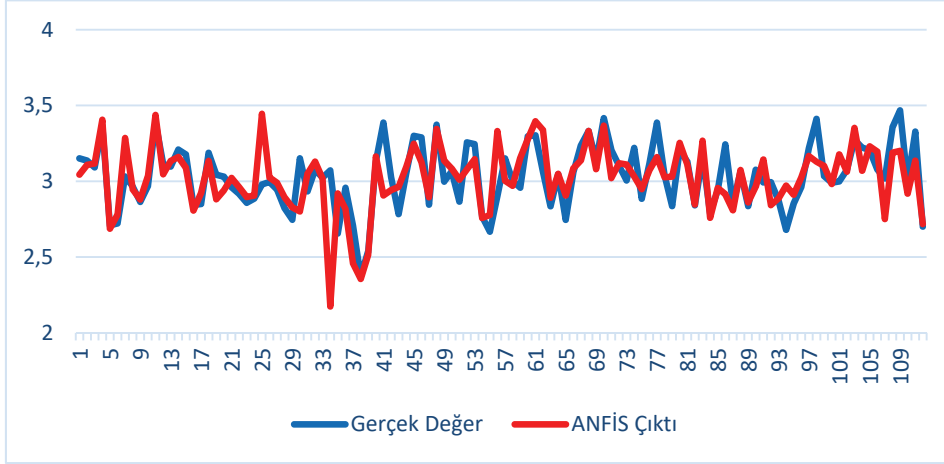
Değişken maliyetlerin değerlendirmesi amacıyla kurulan ANFİS modeli için, MATLAB ANFİS Editörü kullanılmış, her girdi için iki üyelik fonksiyonunun seçilerek, her bir üyelik fonksiyonu türü için 80 iterasyon eğitim yaptırılmıştır. Eğitim sonucunda çıktı fonksiyonunu en az hata ile açıklayan üyelik fonksiyonu yamuk üyelik fonksiyonu olup, hata oranı 0,0828 olarak bulunmuştur.



Şekil 6 - ANFİS Çıktı Verisi-Test Verisi Karşılaştırması

Eğitim işleminden sonra, ayrılan test verileri ile yapılan test işlemi sonucunda ortalama test hatasının (MSE) 0,1514 olduğu bulunmuştur. Şekil 6’da model çıktısı ile test verileri karşılaştırılması gösterilmektedir. Şekilde yıldız (*) sembolü ile gösterilenler ANFİS model çıktı verisi iken mavi artı sembolü gerçek test verilerini göstermektedir.

Model sonucunda, Şekil 7’de verilen 112 adet eğitim ve test verisinin çıktı değerlerinden oluşan toplu taşıma ödeme sisteminin değişken maliyetlerinin model karşılıkları elde edilmiştir.



Şekil 7 - Gerçek Değer-ANFİS Modeli Sonuç Çıktıları Karşılaştırması

ANFİS model sonucunun elde edilmesinden sonra modelden değişken maliyet birim bedelinin elde edilebilmesi için arzu edilen model girdileri belirlenmiştir. Çizelge 7’de örnek toplu taşıma sisteminde özel işletmelerin çalışacağı minimum aylık hat km, çalışacakları hat gruplarının efor puanı ve aylık arzu edilen yolcu sayısı değerleri ve karşılığı olan ANFİS normalize değerleri verilmiştir. Gerçek değerler [0-1] aralığında lineer transformasyon yöntemiyle normalize edilmiştir.

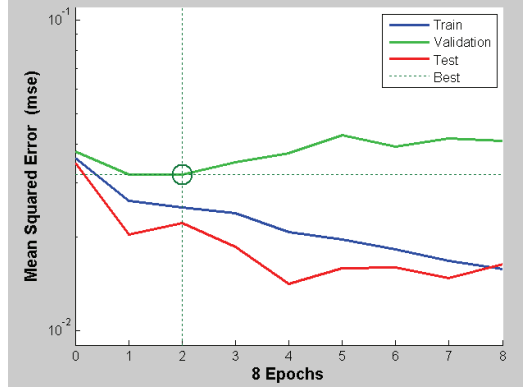
Çizelge 7 - ANFİS Model Girdileri Gerçek ve Normalize Değerleri

Girdi		Gerçek Değer	Normalize Değer
X1	Aylık Km	7,800 km	0.45
X2	Hat Efor Puanı	6,72	0.48
X3	Yolcu Sayısı	13,050	0.439

Elde edilen sonuç değeri “ans=0.5069”, oluşturulan modele göre km başına değişken maliyet birim bedelinin normalize edilen karşılığını vermektedir. Gerçek değere dönüştürüldüğünde, model sonucu değişken maliyet değeri 2,927 TL/km olarak hesaplanmıştır.

Çalışmada, kurulan ANFİS Modelinin etkinliğinin test edilebilmesi için YSA (Yapay Sinir Ağları) yöntemi ve çoklu regresyon analizi de yapılarak elde edilen sonuçlar önce ANOVA testi ile sınanmış, sonra literatürde kullanılan 3 farklı istatistiksel yöntem ile karşılaştırılmıştır.

Çalışmada kullanılan girdi ve çıktı verileri MATLAB Yapay Sinir Ağları Editörü (nntool) ile 1000 iterasyon eğitilmiş, eğitim sonunda Çizelge 9’da verildiği gibi ortalama test hatasının (MSE) 0,030721 olduğu bulunmuştur.



Şekil 8 - YSA Modeli Test Hatası Grafiği

Çalışmada, doğrusal bir model kullanılması durumunda kurulan ANFİS modelinden daha iyi bir sonuç verip vermeyeceğinin karşılaştırılabilmesi için Denklem 8’de model denklemi verilen regresyon modeli kurulmuştur.

$$Y_{reg} = 0,0964945 * X_1 + 0,6899267 * X_2 + 0,4724878 * X_3 \quad (8)$$

Çizelge 8’de, değişken maliyet sayısal değişkeninin 3 farklı model grubu altında ANOVA testi ile karşılaştırılması için SPSS programında yapılan normallik testi sonuçları gösterilmiştir. Çalışmada herbir grup için veri sayısı 30’dan büyük olduğu için “Kolmogorov-Smirnov” testinin anlamlılık değerine bakılmıştır. Burada Regresyon ve YSA model sonuçları eşik değer olan %5 anlamlılık değerinden küçük ($p < 0,05$) olduğu için normal dağılıma sahip değildir. Bu sebeple ANOVA testi uygulanamamıştır.

Çizelge 8 - SPSS Kolmogorov-Smirnov ve Shapiro-Wilk Normallik Analizi Sonuçları

Model		Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
DeğişkenMaliyet	Gercek Değer	.044	112	.200*	.989	112	.501
	ANFIS	.077	112	.095	.950	112	.000
	Regresyon	.106	112	.003	.947	112	.000
	YSA	.109	112	.002	.920	112	.000

Çizelge 9’da ise ANFİS modeli ile çoklu regresyon sonuçlarının karşılaştırma tablosu verilmiştir. Sonuçta ANFİS modelinin YSA ve regresyon analizine göre daha küçük hata oranlarına sahip olduğu görülmektedir.

Çizelge 9 - ANFİS-YSA-Regresyon Modelleri Hata Oranları Karşılaştırması

Hata Türü	Kullanılan Yöntemler		
	ANFİS	YSA	Regresyon
MSE	0,02757	0,030721	0,05289
RMSE	0,16603	0,175275	0,22998
MAPE	3,57%	4,39%	5,95%

3.2. Anket Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Anket çalışması sonucunda elde edilen tüm gruplara ait değerlendirme verileri Çizelge 10’da verilmiştir. Tüm uzman gruplarının birleştirilmiş ortak değerlendirmesine göre güvenlik ve dakiklik kriterleri en önemli kriterler olarak bulunmuştur.

Çizelge 10 - Tüm Gruplar Uzman Anketleri Ortak Değerlendirme Verileri

NO:	λ	Kriterlerin Ağırlık Oranları						
		TO	DK	VK	YK	ÇK	GK	MK
1.Belediye	6.039	0.6%	22.1%	8.9%	11.6%	13.8%	28.3%	15.2%
2.İşletmeci	6.034	0.5%	18.2%	9.3%	10.8%	10.2%	24.7%	26.8%
3.Akademik	6.077	1.2%	17.4%	11.8%	10.8%	19.0%	30.6%	10.3%
Birleştirilmiş								
Σ	6.019	0.3%	19.5%	10.2%	11.2%	14.1%	28.5%	16.4%

Hesaplanan kriter ağırlık oranları önerilen model denkleminde performans kriterlerinin katsayıları olarak kullanılmıştır. Çalışma yapılan döneme ait km’ler, elde edilen performans verileri ve cezalara göre bir hakediş hesabı simülasyonu yapılmıştır. Daha sonra aynı dönem verileri ile YDM modeli simülasyonu da yapılarak, elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

3.3. Model Simülasyonu

Çalışmada önerilen modele ilişkin daha önce sabit maliyetler ve km başı değişken maliyetler hesaplanmış, performans kriterlerinin ağırlıkları tespit edilmiştir. Elde edilen veriler ile önerilen modelin çalıştırılması durumunda araç başı dağıtılacak ödeme tutarlarının belirlenebilmesi için bir model simülasyon çalışması yapılmıştır.

$$H_i = (12.073 \text{ TL} + (KM_i * 2,927 \text{ TL}) + (0,1951 * DK + 0,1016 * VK + 0,1124 * YK + 0,1414 * \text{ÇK} + 0,2851 * GK + 0,1645 * MK) - C_i \quad (9)$$

Çalışmada kullanılan 56 adet örnek işletmeci şirket aracına önerilen model formülüne göre bir hakediş hesabı yapılmıştır. Araçlarının tamamı aynı cins ve kapasitede olması ve ücret farklılığı da bulunmaması sebebiyle kapasite normalizasyonu yapılmamıştır. Performans ödemesinin üst limiti, maliyetler toplamının (sabit ve değişken maliyet toplamı) %10'u ve aylık minimum hizmet seviyesi (MHS) 7800 km olduğu kabul edilerek;

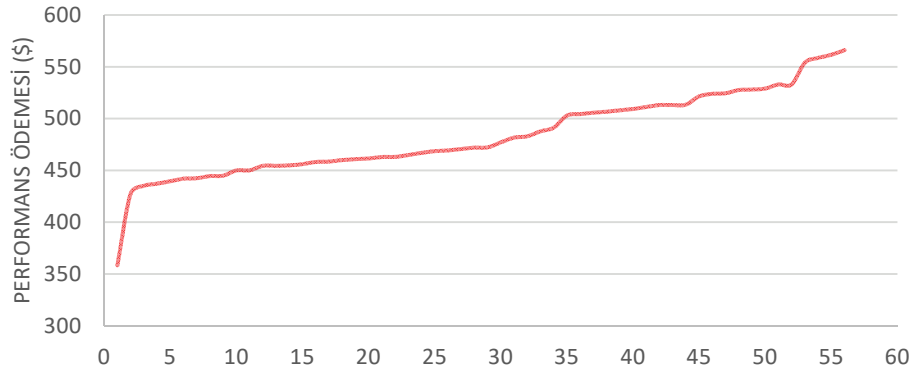
$$\text{Toplam maliyet} = 12.073 + 7800 * 2,927 = 34.903,6 \text{ TL (6.155,84 \$}^\dagger\text{)} \quad (10)$$

$$\text{Maksimum Performans Ödemesi (Pmax)} = 34.903,6 * 0,1 = 3.490,36 \text{ TL (615,58 \$15)} \quad (11)$$

Çizelge 11'de görüleceği üzere; toplam ödeme tutarları 33.707,79 TL (5.944,94 \$15) ile 43.291,89 TL (7.635,25 \$15) arasında değişirken, performans ödeme tutarları ise 2031,96 TL (358,37 \$†) ile 3209,89 TL (566,12 \$16) arasındadır. Çizelgeye göre, araçların hiçbirisinin maksimum performans ödemesi miktarına ulaşamadığı görülmektedir. Şekil 9'da ise araçların performans ödemelerinin grafiği verilmiştir. Burada, araçlara yapılacak ek ödemelerin herbir aracın performansına bağlı olarak farklılık gösterdiği görülmektedir.

Çizelge 11 - Önerilen Model Simülasyon sonuçları

	TL/ay		\$/ay	
	Min.	Maks.	Min.	Maks.
KM	6608.5 min.		9814.5 maks.	
Sabit Maliyet (SM)	12073	12073	2129.3	2129.3
Değişken Maliyet (DM)	19343.08	28727.04	3411.5	5066.5
Performans Ödemesi (P)	2031.963	3209.886	358.4	566.1
Toplam Ödeme (H)	33707.79	43291.89	5944.9	7635.3



Şekil 9 - Önerilen Model Araçbaşı Aylık Performans Ödemesi

† TCMB 2019 yılı ortalama dolar kuru 5,67 TL/dolar olarak hesaplanmıştır.

‡ TCMB 2019 yılı ortalama dolar kuru 5,67 TL/dolar olarak hesaplanmıştır.

Antalya ilinde mevcut durumda uygulanmakta olan Performansa Dayalı Yolcu Başına Destekleme Modeli (YDM) için alınan 13.09.2019 tarih ve 562 sayılı Antalya Büyükşehir Belediyesi meclis kararında; özel toplu taşıma araçlarının taşıdıkları yolcu başına destek tutarları indirimli yolcu, öğrenci, aktarma yolcusu ve serbest yolcu (ücretsiz) başına 0,30 TL olarak belirlenmiş ve yolcu başına destek tutarlarının aylık olarak taşımacıların çalışma payları oranında taşımacılara dağıtılacağı belirtilmiştir. Alınan karara uygun olarak çalışmada kullanılan veriler ile ikinci bir simülasyon çalışması yapılmıştır. Bunun için öncelikle YDM Model yapısı oluşturulmuş tur. Denklem 12’de her bir aracın aylık hakediş bedeli (Hi) formülü , Denklem 13’de ise araç başı yolcu desteği (Di) formülü görülmektedir.

$$H_i = HG_i + D_i \quad (12)$$

$$D_i = \text{ÇO}_i * \frac{Y_i * DB}{\sum \text{ÇO}} \quad (13)$$

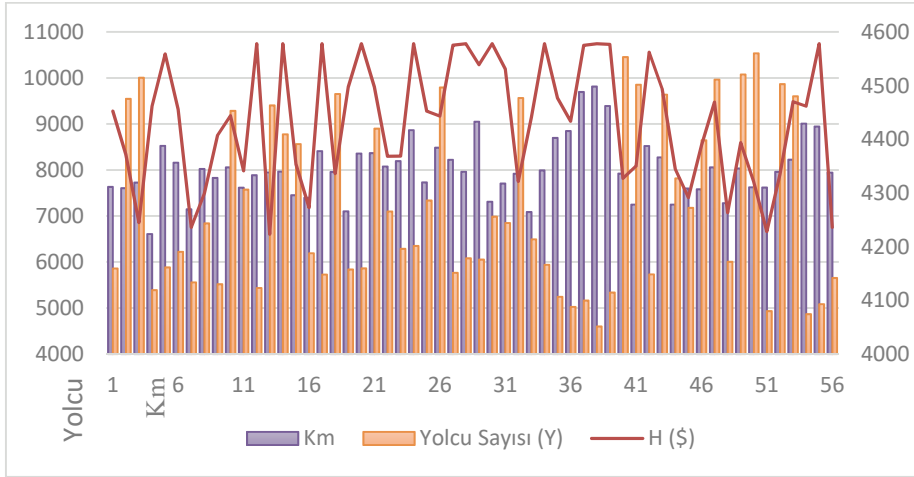
Denklemlerde; “H” toplam ödeme bedelini, “HG” günlük bilet gelirlerinin (hakediş) aylık toplamını, “D” yolcu destek bedelini, “ÇO” çalışma oranını, “Y” yolculuk sayısını ve “DB” yolcu başına belirlenen destek bedelini göstermektedir.

Çalışmada, örnek işletmeci şirkete ait 56 adet aracın çalışma yapılan aydaki yolculuk sayılarının yolcu türlerine göre dağılımı incelenmiş, destek alacak indirimli, öğrenci, aktarma ve serbest yolculuklar ayrılmıştır. Destek ödenecek toplam yolculuk sayısı 403.904 yolculuk karşılığında, işletmeci grubun 121.171,2 TL (21.370,58 \$\$) desteğe hak kazanacağı hesaplanmıştır. Çalışılan her hattın yolculuk sayıları farklı olabildiği için yolcu başına destek filo bazında, çalışma oranına göre dağıtılmıştır. YDM Modeline göre destek verildiği taktirde çalışma yapılan ayda örnek işletmeci şirket bünyesindeki 56 adet aracın alacağı minimum ve maksimum destek bedelleri ve toplam ödeme tutarları Çizelge 12’de verilmiştir. Şekil 10’da ise; araçların aylık km, taşıdıkları yolcu sayısı ve model simülasyonu neticesinde tespit edilen ödeme tutarları gösterilmiştir. Grafikten görüleceği üzere, araçların farklı km ve yolcu sayıları bulunmasına rağmen elde edecekleri bedeller birbirine yakın değerlerdedir.

Çizelge 12 - YDM Modeli Simülasyon Sonuçları

	TL		\$	
	Min.	Maks.	Min.	Maks.
KM	6608.5		9814.5	
Desteklenen Yolcu (Y)	4600		10536	
Bilet Geliri (HG)	21801.73	23784.39	3845.1	4194.8
Yolcu Başı Toplam Destek (D)	2117.165	2172.258	373.4	383.1
Toplam Ödeme (H)	23945.97	25956.65	4223.3	4577.9

§ TCMB 2019 yılı ortalama dolar kuru 5.67 TL/dolar olarak hesaplanmıştır.



Şekil 10 - YDM Modeli Km-Yolcu Sayısı-Toplam Ödeme (araç/ay)

3.4. Önerilen Modelin Mevcut Model ile Kıyaslanması

Simülasyon neticesinde önerilen Performans Bazlı Modelde, 56 adet aracın hasılat gelirleri 1,286,527.18 TL (226900,74 \$**) iken, yapılacak ödeme miktarı 2,139,553.3 TL (377.346,27 \$19) olarak hesaplanmıştır. Bu durumda gelirin ödemeyi karşılama oranı %60, destekleme oranı %40 olmaktadır. Karşılaştırma yapılan YDM modelinde ise; yapılacak ödeme miktarı 1,407,698 TL (248.271,32 \$19) olarak hesaplanmış, gelirin gideri karşılama oranı ise % 91 olarak tespit edilmiştir. Bu durumda destekleme oranı da % 9 olarak hesaplanmıştır. Performans Bazlı modelin bir maliyet artı model türü olması sebebiyle maliyetleri tamamıyla kapsamakta ve performansa bağlı olarak da ilave ödemeler içermektedir. Bu sebeple, önerilen modelde araç başı gelir/gider oranı %100'ün üzerindedir. Bunun yanında, yolcu desteği modelinde aylık araç başı ödemelerin maliyetlerin çok altında kaldığı, araç başı gelir gider oranının %72'de kaldığı görülmektedir. Çizelge 13'de her iki model için maliyet ve ödeme değerleri verilmiştir.

Çizelge 13'de, önerilen modelde toplam hasılatın ödemeyi karşılama oranının nispeten düşük olduğu görülmektedir. Bu durumda idarenin %40 oranında özel taşıma işletmelerine bir sübvansiyon yapması gerekecektir. Böyle bir uygulama, idare açısından maliyetli olsa da, işletmecinin maliyetlerinin karşılanabileceği ve buna bağlı olarak toplu taşıma sisteminin sürekliliğinin sağlanabileceği bir uygulamadır. İdare, optimum planlama yaklaşımı ile işletmecilerin yapacağı minimum hizmet seviyesini (katedilen km) düşürerek maliyetlerde iyileştirme sağlayabilir.

Önerilen Performans Bazlı model ile toplu taşıma hizmetinin hedefi olan hizmet kalitesinin ve performansının artırılması amaçlanmıştır. Modelde değişken maliyetler içerisinde önerilen km başı ödeme ile aylık katedilen yolun maliyeti ödenmektedir. Böylelikle hem yolcu sayısı az olan güzergahlarda da çalışılması desteklenebilecek, hem de farklı

** TCMB 2019 yılı ortalama dolar kuru 5,67 TL/dolar olarak hesaplanmıştır.

uzunluklardaki güzergahlarda çalışılması durumunda adaletli gelir dağıtımı yapılabilecektir. Önerilen modelde kullanılan Asgari Hizmet seviyesi kavramı, sözleşme kapsamında taşıma filosundaki araçların çalışması gereken aylık katedecekleri mesafeyi ve buna bağlı ortalama maliyetlerini belirlenmesini sağlamaktadır. Performans kriterlerinde değerlendirilen yolcu/km kavramı ise araçların verimliliklerinin değerlendirilmesine ve taşınan yolcu sayısına bağlı olarak ödüllendirilmesine imkan sağlayacaktır. Önerilen modelde önemli bir yer tutan Performans değerlendirmesinin amacı belirlenen standartlara uygun ve düzgün çalışan taşımacıların teşvik edilmesi ve buna bağlı olarak hizmet kalitesinin artırılması sağlamaktır. Böylelikle hizmet kalitesinin artışına bağlı olarak toplu taşımanın cazibesinin ve kullanımının artırılması hedeflenmektedir. Önerilen modelde ele alınan tüm ödeme esasları ve standartların taşımacılar ile yapılacak olan sözleşme ve taahhütlerle garanti altına alınması gerekmektedir. Sözleşmelerle taahhüt altına alınan ödeme modelinde sözleşme süresince değişen şartlar karşısında tarafların çıkarlarına göre değişiklik yapmasının önüne geçilerek sistemin sürekliliği sağlanabilecektir. İncelenen modellerin içerdiği özelliklerin karşılaştırması Çizelge 14’de gösterilmiştir.

Çizelge 13 - Değerlendirilen Modellere Ait Maliyet-Ödeme Hesapları

	Önerilen Model		Yolcu Desteği Modeli	
	TL/ay	\$/ay	TL/ay	\$/ay
Ort.Ödeme/araç	38,206.3	6,738.3	25,137.5	4,433.4
Sabit+ Değişken Maliyet/araç	34,903.6	6,155.8	34,903.6	6,155.8
Gelir/Gider Oranı (%) /araç	109%		72%	
Toplam Destek	853,026.2	150,445.5	121,171.2	21,370.6
Toplam Hasılat	1,286,527.2	226,900.7	1,286,527.2	226,900.7
Toplam Ödeme	2,139,553.4	377,346.3	1,407,698.4	248,271.3
Hasılatın Ödemeyi Karşılama Oranı	60%		91%	

Çizelge 14 - Çalışma Kapsamında Değerlendirilen Modellerin Karşılaştırması

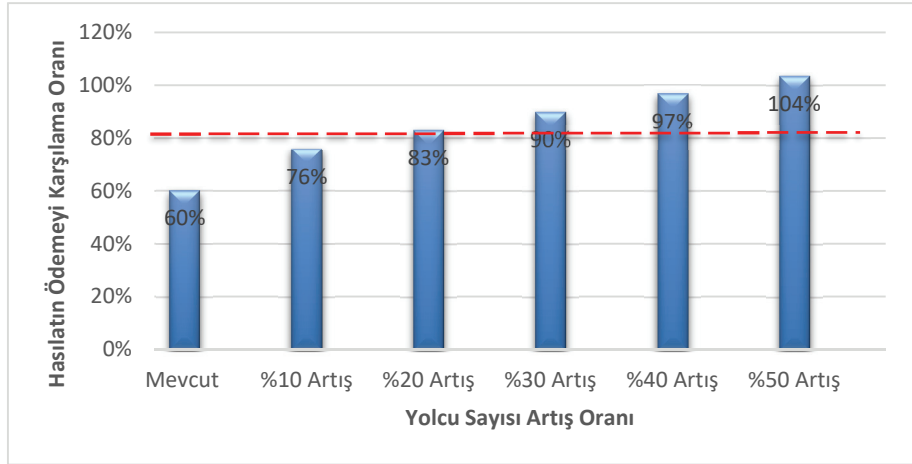
	Önerilen Model	YDM Modeli
Km başı ödeme	√	–
Asgari Hizmet Seviyesi	√	–
Garanti km	–	–
Yolcu/km	√	–
Yolcu bazlı destek	–	√
Performans Değerlendirmesi	√	–
Sözleşme-taahhüt	√	–

YDM modelinin idare bütçesi açısından avantajlı olmasına rağmen çalışma yapılan aydaki araç ve sefer sayıları dikkate alındığında, Çizelge 13’de görüleceği üzere araç başı ödenecek

bedeller aylık sabit ve değişken maliyetlerin çok altında kalmaktadır. Bu durum, modelin işletmeciler açısından sürdürülebilir olmayacağı anlamına gelmektedir. Çizelge 14’de, çalışma kapsamında değerlendirilen YDM modelinde sadece yolcu bazlı desteğin bulunduğu görülmektedir. Yalnızca yolcu taşınmasının teşvik edilmesi, yolcu kapma yarışları, sefer saatlerine uyulmaması, yolcunun az olduğu saatlerde çalışmama eğilimine yol açmaktadır. Bu durumun ise hizmet kalitesinin yitirilmesine sebep olacağı değerlendirilmektedir.

Çizelge 15 - Yolcu Sayısına Bağlı Destek ve Hasılatın Ödemeyi Karşılama Oranı Değişimi

Yolcu Sayısı Artış Oranı		Toplam Destek	Toplam Hasılat	Toplam Ödeme	Hasılatın Ödemeyi Karşılama Oranı	Doluluğu Aşan Araç Sayısı
Mevcut	TL/ay	853.026,2	1.286.527,2	2.139.553,4	60%	0
	\$/ay	150.445,5	226.900,7	377.346,3		
%10 Artış	TL/ay	513.758,4	1.625.794,9	2.139.553,4	76%	0
	\$/ay	90.609,9	286.736,3	377.346,3		
%20 Artış	TL/ay	365.958,9	1.773.594,5	2.139.553,4	83%	3
	\$/ay	64.543,0	312.803,3	377.346,3		
%30 Artış	TL/ay	218.159,3	1.921.394,0	2.139.553,4	90%	14
	\$/ay	38.476,1	312.803,3	377.346,3		
%40 Artış	TL/ay	70.359,8	2.069.193,6	2.139.553,4	97%	19
	\$/ay	12.409,1	338.870,2	377.346,3		
%50 Artış	TL/ay	- 77.439,7	2.216.993,1	2.139.553,4	104%	20
	\$/ay	- 13.657,8	364.937,1	377.346,3		



Şekil 11 - Önerilen Model Yolcu Sayısı Artışı-Hasılatın Ödemeyi Karşılama Oranı

Çizelge 15 ve Şekil 11’de, önerilen modelin yolcu sayısı artışına bağlı olarak hasılatın ödemeyi karşılama oranlarındaki değişimi gösterilmiştir. Buna göre önerilen model ile yolcu sayısının %30 oranında artması durumunda yolcu desteği modelindeki hasılatın ödemeyi karşılama oranı elde edilmekte, yaklaşık % 45 civarında bir artış sağlanması durumunda ise idarenin desteğine gerek kalmayacağı görülmektedir. Önerilen modelin yolcu sayısına duyarlı olduğu ve gelir artışına bağlı olarak destekleme oranının da düştüğü gözlenmektedir. Bununla birlikte Çizelge 15’te, yolcu sayısının %20 ve üzeri artışında araçların bir kısmı performans kriterlerinden Yolcu Yüğü (Doluluk) kriteri değerini (80 kişi) aştığı (ort. 23500 yolcu/ay), bu sebeple, hizmet kalitesini düşürmeyecek düzeyde yolcu artışının sağlanabileceği ve desteğin devam etmesi gerekeceği anlaşılmaktadır.

4. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Çalışmada, örnek alınan Antalya ili lastik tekerlekli toplu taşıma sisteminde, özel toplu taşıma araçlarının maliyetleri hesaplanmış, maliyetlerine ilave olarak araçların performanslarına bağlı ek ödeme yapılmasına dair bir matematiksel model geliştirilmiştir. Modelde, km başı birim maliyetin (değişken işletme maliyetlerinin) hesaplanmasında sezgisel algoritmalarından faydalanılmıştır. Ayrıca modele göre, taşımacılara maliyetlerinin üzerinde ödenecek performans bedelinin belirlenmesi için, üç ayrı uzman grubu ile yapılan anketler AHP tekniğinden faydalanılarak değerlendirilmiş ve elde edilen değerler ödeme modelinde performans ödeme katsayısı olarak kullanılmıştır. Önerilen model sonuçları, Türkiye’de çoğunlukla kullanılan yolcu bazlı destek modeli sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

Özel toplu taşıma işletmeleri, işletme maliyetlerini karşılayamamaları durumunda bilet ücretinin artırılması yönünde sürekli olarak idarelere baskı uygulamaktadır. Bu baskının ortadan kaldırılması amacıyla önerilen model literatürdeki yönetim sözleşmesinin (maliyet-artı sözleşmesi) bir benzeri olarak işletme maliyetlerinin karşılanması ve üstüne ilave bedel ödenmesine dayandırılmıştır. Böylelikle işletmelerin maliyet kaybı ortadan kalkacaktır. Önerilen model, Türkiye’de bazı şehirlerde kullanılan YDM modeli ile karşılaştırılmış, neticede önerilen modelin özel taşımacıların gelir-gider oranında %37 daha yüksek sonuç verdiği, taşımacıların maliyetlerinin tamamen karşılandığı ve böylelikle toplu taşıma sisteminin sürekliliğinin sağlanabileceği görülmüştür. Ayrıca, ilave performans ödemesi ile de hizmet kalitesinin artırılarak toplu taşımanın cazip hale getirilebileceği ortaya konmuştur. Önerilen model kapsamındaki maliyet hesaplaması ile önceki dönem verileri kullanılarak gelecek dönemlere ilişkin yaklaşık işletme maliyetlerinin hesaplanabileceği ve toplu taşıma işletmesinin yıllık bütçesinin de oluşturulabileceği düşünülmektedir. Özellikle 2020 yılında yaşanan pandemi sürecindeki gibi toplu taşıma sisteminin kapasite altı çalıştırıldığı, yolculuk sayılarının ve dolayısıyla bilet gelirlerinin önemli ölçüde düştüğü durumlarda toplu taşıma sistemi sürekliliğinin sağlanabilmesi için özel toplu taşıma işletmelerinin desteklenmesinin önemli olduğu düşünülmektedir. Ayrıca, önerilen modelin yolcu sayısına artışına dolayısıyla gelir artışına bağlı olarak destekleme oranının da düştüğü gözlemlenmiştir. Yapılan çalışmada, yolcu sayısının %45 artış göstermesi durumunda idarenin gelir desteği yapmasına gerek kalmayacağı bulunsu da, hizmet kalitesini düşürmeyecek düzeyde yolcu artışının gerçekleşebileceği, belirli bir düzeyden sonar araç ilavesi gerekeceği bu durumda da desteğin devam etmesi gerekeceği tespit edilmiştir.

Elde edilen tüm sonuçlara göre; özellikle özel taşımacıların bulunduğu kentiçi lastik tekerlekli toplu taşıma sistemlerinde, işletmelerin maliyet kaygısından kurtarılması, bilet ücret artışlarının önüne geçilmesi ve böylelikle toplu taşıma sisteminin sürekliliğinin sağlanabilmesi amacıyla bir ödeme modeli önerilmiştir. Önerilen ödeme modeli aynı zamanda taşımacı performanslarının ödüllendirilerek toplu taşıma hizmet kalitesinin artırılmasını ve buna bağlı olarak tercih edilebilirliğinin artırılmasını amaçlamaktadır. Çalışmada nüfusa göre toplu taşıma kullanım oranı düşük olan bir yerleşim seçilerek, kullanım oranının artırılması hedeflenmiştir. Yapılan çalışmanın, Türkiye’de yerel yönetimlerin toplu taşıma hizmetlerinde performansa dayalı ödeme modellerinin kullanımının yaygınlaşmasının önünü açacağı, yeni çalışmalara ışık tutacağı düşünülmektedir. Çalışmada önerilen performans kriterlerinin başka şehirlerde, farklı toplu taşıma sistemlerinde ortaya çıkabilecek farklılıklara bağlı olarak başka parametrelerin eklenebileceği düşünülmektedir. İleriki araştırmalarda özellikle pandemi gibi yolcu sayısını ve dolayısıyla bilet gelirlerini olumsuz yönde etkileyen olağanüstü koşulların etkisinin de incelenmesinin faydalı olacağı düşünülmektedir. Ayrıca modelin uygulanmasında en önemli kısıt olan yerel yönetim bütçelerinin idarelerin asli görevi olan toplu taşıma hizmetini sübvansetme anlamında güçlendirilmesi ve ek kaynaklar sağlanması konusu da araştırılmalıdır.

Teşekkür

Yazarlar, çalışma verileri için Antalya Büyükşehir Belediyesi, Ulaşım Planlama ve Raylı Sistem Dairesi Başkanlığına teşekkür ederler.

Kaynaklar

- [1] J. Pucher, A. Markstedt, ve I. Hirschman, “Impacts of subsidies on the costs of urban public transport (USA).”, *Journal of Transport Economics & Policy*, c. 17, sayı 2, ss. 155–176, 1983.
- [2] P. Tisato, “A comparison of optimisation formulations in public transport subsidy”, *International Journal of Transport Economics*, 2000.
- [3] K. A. Small ve E. T. Verhoef, *The economics of urban transportation*. 2007.
- [4] I. W. H. Parry ve K. A. Small, “Should urban transit subsidies be reduced?”, *American Economic Review*, 2009, doi: 10.1257/aer.99.3.700.
- [5] J. Mattson ve D. Ripplinger, “Marginal cost pricing and subsidy of small urban transit”, *Transportation Research Record*, 2012, doi: 10.3141/2274-08.
- [6] A. Mouwen ve J. Van Ommeren, “The effect of contract renewal and competitive tendering on public transport costs, subsidies and ridership”, *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 2016, doi: 10.1016/j.tra.2016.03.003.
- [7] M. Ševrović, D. Brčić, ve G. Kos, “Transportation Costs and Subsidy Distribution Model for Urban and Suburban Public Passenger Transport”, *PROMET - Traffic&Transportation*, 2015, doi: 10.7307/ptt.v27i1.1486.

- [8] A. Gautier ve A. Yvrande-Billon, “Contract Renewal as an Incentive Device. An Application to the French Urban Public Transport Sector”, *Review of Economics and Institutions*, 2013, doi: 10.5202/rei.v4i1.88.
- [9] D. A. Hensher, C. Mulley, ve N. Smith, “Towards a simplified performance-linked value for money model as a reference point for bus contract payments”, *Research in Transportation Economics*, 2013, doi: 10.1016/j.retrec.2012.06.018.
- [10] F. Canitez, D. Çelebi, M. Deveci, ve Y. Kuvvetli, “Selecting an optimal contractual payment model for Istanbul’s public bus operators using non-linear mathematical programming”, *Research in Transportation Economics*, 2019, doi: 10.1016/j.retrec.2019.100750.
- [11] W. Roy ve A. Yvrande-Billon, “Ownership, contractual practices and technical efficiency: The case of urban public transport in france”, *Journal of Transport Economics and Policy*, c. 41, sayı 2, ss. 257–282, 2007.
- [12] D. A. Hensher ve E. Houghton, “Institute Of Transport Studies The Australian Key Centre in Transport Management”, 2004.
- [13] G. J. Fielding, R. E. Glauthier, ve C. A. Lave, “Performance indicators for transit management”, *Transportation*, 1978, doi: 10.1007/BF00168037.
- [14] J. Attanucci, L. Jaeger, ve J. Becker, “Bus Service Evaluation Procedures : A Review”, Washington, D.C., 1979.
- [15] Metropolitan Transit Authority of Harris County (Metro), “Bus Service Evaluation Methods A Review”, Washington, D.C., 1984.
- [16] Y. J. Nakanishi, “Bus performance indicators: On-time performance and service regularity”, *Transportation Research Record*, 1997.
- [17] E. Randall, B. Condry, ve M. Trompet, “International bus system benchmarking: Performance measurement development, challenges, and lessons learned”, 2006.
- [18] B. Kocaman; S. Kumbar; T. Tezer; Ö. Yılmaz, “Performance Measurement and Determination of Performance Indicators in Public Transport: Kocaeli Application”, içinde *TRANSIST 2011 IV. Transportation Symposium And Exhibition Presentations*, 2011, ss. 230–244, [Çevrimiçi]. Available at: <https://www.iett.istanbul/webimage/file/sempozyumlar/Transist2011Bildiri.pdf>.
- [19] J. R. Jang, “ANFIS Adaptive-Network-based Fuzzy Inference System”, *IEEE Transactions on Systems Man and Cybernetics*, sayı June 1993, 1993, doi: 10.1109/21.256541.
- [20] A. Yücel, “Integrated neural fuzzy logic approach in supplier selection problem”, Yıldız Technical University, 2010.
- [21] D. Pamučar, V. . Lukovac, Ve S. Pejčić-Tarle, “Application Of Adaptive Neuro Fuzzy Inference System In The Process Of Transportation Support”, *Asia Pacific Journal of Operational Research*, c. 30, sayı 02, 2013, doi: <https://doi.org/10.1142/S0217595912500534>.

- [22] D. Pamučar, S. Ljubojević, D. Kostadinović, ve B. Đorović, “Cost and risk aggregation in multi-objective route planning for hazardous materials transportation—A neuro-fuzzy and artificial bee colony approach”, *Expert Systems with Applications*, c. 65, ss. 1–15, 2016, doi: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2016.08.024>.
- [23] R. Islam, S. R. Musabbir, I. U. Ahmed, M. Hadiuzzaman, M. Hasnat, ve S. Hossain, “Bus service quality prediction and attribute ranking using probabilistic neural network and adaptive neuro fuzzy inference system”, *Canadian Journal of Civil Engineering*, c. 43, sayı 9, ss. 822–829, 2016, doi: 10.1139/cjce-2016-0119.
- [24] S. Duleba, T. Mishina, ve Y. Shimazaki, “A dynamic analysis on public bus transport’s supply quality by using AHP”, *Transport*, c. 27, sayı 3, ss. 268–275, 2012, doi: 10.3846/16484142.2012.719838.
- [25] M. Deveci, F. Canitez, ve N. Ç. Demirel, “Setting The Optimal Transit Fare in Public Transportation By Using Analytical Hierarchy Process (AHP): The Case of IETT , Istanbul”, sayı 1059, 2016.
- [26] S. Güner, “Operational Efficiency and Service Quality Analysis in Public Transportation Systems”, *Journal of Transportation and Logistics*, c. 2, sayı 2, ss. 34–48, 2017, doi: 10.22532/jtl.358727.
- [27] K. Goepel, “Implementation of an Online software tool for the Analytic Hierarchy Process (AHP-OS)”, *International Journal of the Analytic Hierarchy Process*, 2018, doi: 10.13033/ijahp.v10i3.590.
- [28] L. Mikhailov, “Group prioritization in the AHP by fuzzy preference programming method”, *Computers and Operations Research*, 2004, doi: 10.1016/S0305-0548(03)00012-1.

EK-1 AHP Uzman Anket Formu

Değerli Katılımcı,

Ankette, belirlenen Toplu Taşıma Performans Kriterlerinin uzman (karar vericiler, akademisyenler, STK temsilcileri) bakış açısıyla AHP metodu ile önem derecelerinin belirlenmesi amaçlanmaktadır. Anket formunun doldurulmasında aşağıdaki hususlara dikkat edilmesi istenmektedir.

- Kriterler ikili karşılaştırma esasına göre derecelendirilir.
- Her karşılaştırma kendi içinde bağımsız olarak değerlendirilir.
- İkili karşılaştırmalar aşağıdaki skala değerlerine göre yapılacaktır.

Ankete katılan kişi, kendi değerlendirmesine göre ikili karşılaştırmada hangi kriteri daha önemli buluyorsa, önem derecesini belirtmek için o kriter tarafındaki skala değerini işaretleyecektir. Örneğin; Ankete katılan kişiye göre "dakiklik" kriteri "konfor" kriterinden Kuvvetli derecede önemli ise "dakiklik" tarafındaki "5" işaretlenecektir.

Toplu Taşıma Performans Kriterlerinin adı ve açıklamaları aşağıda verilmiştir.

PERFORMANS.....PERFORMANS KRİTERLERİ AÇIKLAMASI

KRİTERİ

Dakiklik..... Toplu Taşıma araçlarının duraklara zamanında gelmesi.

Verimlilik (Yolcu/km)..... Toplu Taşıma araçlarının verimli çalışması (km başına maliyeti karşılayacak oranlarda yolcu taşınması)

Yolcu yükü (doluluk)..... Konforlu yolculuk (Araçların kabul edilebilir doluluk oranı altında çalışması).

Çevre..... Çevreye duyarlı, düşük emisyonlu araçlarla taşıma.

Güvenlik..... Yol/yolcu güvenliği (hız limitlerinin aşılma durumu, karışılan kaza sayıları)

Memnuniyet.....Yolcu Memnuniyeti (Cezaya Dönüşen Şikayet Sayıları)

1. Verilen skala değerleri ve açıklamalara göre kriterleri ikili olarak karşılaştırınız. *

Skala

Değeri.....Tanımı

1.....Eşit Derecede Önemlidir.

3.....Biri Diğetine Göre Çok Az Önemlidir.

5.....Kuvvetli Derecede Önemlidir.

7.....Çok Kuvvetli Derecede Önemlidir.

9.....Aşırı Derecede Önemlidir.

2,4,6,8.....Ortalama Değerler

	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Dakiklik	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Verimlilik (Yolcu/km)
	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Dakiklik	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Yolcu Yüğü (doluluk)
	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Dakiklik	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Çevre
	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Dakiklik	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Güvenlik
	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Dakiklik	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Memnuniyet
	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Verimlilik (Yolcu/km)	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Yolcu yüğü (doluluk)
	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Verimlilik (Yolcu/km)	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Çevre

	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Verimlilik (Yolcu/km)	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Güvenlik
	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Verimlilik (Yolcu/km)	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Memnuniyet
	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Yolcu yükü (doluluk)	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Çevre
	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Yolcu yükü (doluluk)	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Güvenlik
	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Yolcu yükü (doluluk)	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Memnuniyet
	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Çevre	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Güvenlik
	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Çevre	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Memnuniyet
	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Güvenlik	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Memnuniyet

EK-2 İndis Listesi

AUAP	: Antalya Ulaşım Ana Planı
ANFİS	: Uyarlanabilir Bulanık Sinir Ağları Sistemi (Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System)
AHP	: Analitik Hiyerarşik Proses
APG	: Anahtar Performans Göstergeleri
PDS	: Performansa Dayalı Sözleşmeler
SPLP	: Basitleştirilmiş Performansa Bağlı Ödeme Modeli
MHS	: Minimum Hizmet Seviyesi
YSA	: Yapay Sinir Ağları
YDM	: Performansa Dayalı Yolcu Başına Destekleme Modeli
VK	: Verimlilik (Yolcu/km) Kriteri
DK	: Dakiklik Kriteri
ÇK	: Çevre Kriteri
YK	: Yolcu Yüğü (Doluluk) Kriteri
GK	: Yol/yolcu güvenliği Kriteri
MK	: Yolcu Memnuniyeti Kriteri
TO	: Tutarlılık Oranı
H	: Toplam ödeme bedeli
D	: Yolcu Destek Bedeli
HG	: Günlük Bilet Geliri
SM	: Sabit Maliyet
DM	: Değişken Maliyet
MSE	: Ortalama Karesel Hata (Mean Square Error)
RMSE	: Ortalama Hata Kareleri Toplamı Kökü (Root Mean Square Error)
MAPE	: Ortalama Mutlak Yüzde Hata (Mean Absolute Percentage Error)