



AHP, COPRAS ve Tamsayı Programlama Entegrasyonu ile Demiryolu Araçlarında Bakım Planlaması

Sezgin ÖZDEMİR*¹, Evrencan ÖZCAN²

¹TCDD Taşımacılık A.Ş. Genel Müdürlüğü Ankara, Türkiye

²Kırıkkale Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Kırıkkale, Türkiye

*ozdemir_sezgin@hotmail.com

(Alınış/Received: 22.11.2020, Kabul/Accepted: 28.02.2020, Yayımlama/Published: 31.07.2020)

Öz: Lojistik sektöründe demiryolu taşımacılığının güvenli, kesintisiz ve verimli olarak sağlanması, müşteri beklentilerinin zamanında ve tam olarak karşılanması amacıyla araç bakımlarının zamanında yapılması, hazır bulunurluklarının sağlanması şarttır. Bakım faaliyetleri genel olarak maliyetli ve kısıtlı kaynaklar altında yapılan işlemlerden oluşmaktadır. İşletmelerin bakım ihtiyaçlarının tam olarak karşılanması ancak sistematik ve etkin bakım planlama modellerinin kullanılması ile mümkün olmaktadır. Demiryolu araçlarının üretim ve bakım maliyetlerinin düşünüldüğünden çok daha yüksek olması, araçların kullanım ömürlerinin 70-80 yıla kadar uzaması, olası kazaların sonuçlarının düşünülenenden daha çok zararlar vermesi demiryolu araçlarının bakımının önemini ortaya çıkarmaktadır. Tüm bunların yanı sıra demiryolu işletmelerinin de bakım konusundaki tutumlarını etkileyen birçok unsur bulunmaktadır. İşletme politikası, bütçe kısıtları, kısa ve orta vadeli taşıma planları, müşteri beklentileri bu unsurların başında gelmektedir. Tüm bu sorunlar ve kısıtlar altında, bir demiryolu tren işletmecisinin bakım optimizasyonu için sahip olduğu yük vagonlarının kritiklik seviyeleri AHP-COPRAS kombinasyonu ile belirlenmiş ve bu vagonlar için bir yıllık bakım planı tam sayılı programlama modeli ile elde edilmiştir. Bu birlikteliğin oluşturduğu çözüm sayesinde işletmenin taşıma faaliyetlerini minimum düzeyde etkileyecek bir yıllık revizyon bakım planı oluşturulmuştur.

Anahtar kelimeler: Raylı Sistemler, Demiryolu Araçları, Bakım Planlaması, AHP, COPRAS

Maintenance Planning of Railway Vehicles with AHP, COPRAS and Integer Programming Integration

Abstract: In the logistics sector, maintenance of vehicles on time and ensuring their availability are essential to ensure safe, uninterrupted and efficient rail transport and to meet customer expectations in a timely and complete manner. Maintenance activities generally consist of costly and limited resources. It is only possible to meet the maintenance needs of the enterprises by using systematic and effective maintenance planning models. The production and maintenance costs of railway vehicles are higher than they are considered, the service life of the vehicles goes up to 70-80 years, and the possible accident results can be very hazardous, which shows the importance of maintenance of railway vehicles. In addition to these, there are many factors that affect the attitude of the railway enterprises on maintenance. Business policy, budget constraints, short- and medium-term transport plans and customer expectations are the most important factors. Under all these problems and constraints, the critical level of freight wagons owned by a railway train operator for maintenance optimization has been determined with the AHP-COPRAS combination and a one-year maintenance plan for these wagons has been obtained with an integer programming model. Thanks to the solution created by this cooperation, an annual revision maintenance plan has been created to minimize the transportation activities of the enterprise.

Keywords: Rail Systems, Railway Vehicles, Maintenance Optimization, AHP, COPRAS

Atif için/Cite as: S. Özdemir, E. Özcan, "AHP, COPRAS ve tamsayı programlama entegrasyonu ile demiryolu araçlarında bakım planlaması," *Demiryolu Mühendisliği*, no. 12, pp. 1-12, July. 2020. doi: 10.47072/demiryolu.678580

Demiryolu Mühendisliği

1. Giriş

Ülkemizde son yıllarda demiryolu sektörü büyük bir atağa kalkmıştır. Artan yatırım oranları, yerli üretimin yaygınlaşması ve yeni ulaştırma koridorlarının açılması, “*Ulaşan ve Erişen Türkiye*” sloganıyla devlet politikasında öncelik haline gelmiştir [1]. 2013 yılında Resmi Gazete’de yayımlanan 6461 Sayılı “*Türkiye Demiryolu Ulaştırmasının Serbestleştirilmesi Hakkında Kanun*” ile demiryolu ulaştırması serbestleşmiş ve Demiryolu Tren İşletmecisi tanımı terminolojide yerini almıştır. Bu kanun sayesinde, demiryolu taşımacılığı TDD İşletmesi Genel Müdürlüğü (TCDD)’nün tekelinden çıkmış, özel işletmeler de kendi çeken ve çekilen araçları ile ulusal demiryolu ağında yük ve yolcu taşımacılığı yapabilir hale gelmiştir [2]. Tüm bu gelişmelerin nihayetinden raylı sistemlerin önemi artmış, sektöre hizmet veren işletme, kamu kurumu ve sivil toplum kuruluşları sayısında artış gözlenmiştir. Sektörün serbestleşmesi ve hızla büyümesi sonucu rekabet her geçen gün daha da artmış ve bu durum işletmeleri daha organize ve planlı çalışmaya sevk etmiştir. Serbestleşme sonucu, işletmelerin demiryolu taşımacılığındaki ilk faaliyeti yük taşımacılığı alanında olmuş ve üç adet Demiryolu Tren İşletmecisi ulusal demiryolu ağında kendi lokomotif ve vagonları ile yük taşımacılığı hizmeti vermeye başlamışlardır.

Tüm taşımacılık modlarında olduğu gibi demiryolu taşımacılığında da kullanılan araçların belirli kurallar ve uygulamalara uyması zorunludur. Yük taşımalarında kullanılan demiryolu araçlarının revizyon bakımları belli bir periyotta kesin olarak yaptırılmak zorundadır. Revizyon bakım süresi dolan vagonlar hiçbir suretle ulusal demiryolu ağında kullanılamamaktadır. Ancak işletmelerin finansal durumları, kısa ve orta vadeli programları ve müşteri talepleri gibi bir takım nedenlerden dolayı sahip oldukları vagonların tamamının revizyon bakımlarını zamanında yaptırmayıp erteleyebilmektedirler.

Bu çalışmada büyük bir Demiryolu Tren İşletmecisinin sahip olduğu vagonların revizyon bakım planları belirli kısıtlar altında oluşturulacaktır. Problemin ilk kısmında geçmiş deneyimler ve uzman görüşleri alınarak kriterler belirlenecek, bu kriterler Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerinden AHP ile ağırlıklandırılacak daha sonra vagon tipleri arasındaki önem ağırlıklarına COPRAS yöntemi aracılığıyla ulaşılabilecektir. Elde edilen sonuçlar kullanılarak, vagonlar arasındaki önem ağırlıkları baz alınıp bir yıllık revizyon bakım planlaması oluşturulacaktır.

2. Bakım Optimizasyonu

Bakım çalışmaları, işletmelerin finansal olarak en fazla güçlük çektiği faaliyetlerin başında gelmektedir. Özellikle raylı sistemlerde araçların bakım maliyetleri tüm maliyet kalemleri arasında ilk sırada yer almaktadır. Lojistik sektöründe her geçen gün değişen müşteri beklentileri demiryolu işletmelerini bu değişikliğe ayak uydurmaya zorunda bırakmaktadır. İlk adımı bu değişim esnekliğe sahip olma ve kesintisiz bir demiryolu taşıma hizmeti sağlayabilme oluşturmaktadır. Müşteri beklentilerini sağlamak her zaman emre hazır araç filosuna sahip olmakla mümkündür. Fakat işletmelerin belli kısıtlara sahip olması bu durumu zorlaştırmakta, tüm beklentilerin zamanında karşılanamamasına yol açmaktadır. Yaşanacak olumsuz durumları minimize etmek ancak planlı ve etkin bir bakım optimizasyonu ile sağlanabilir.

Böylelikle:

- Müşteri taleplerine zamanında cevap verilmesi,
- Şirketin bakıma ayrılan bütçesinin verimli şekilde değerlendirilmesi,
- Müşteri kayıplarının ve diğer taşıma modlarına kaçışların önüne geçilebilmesi,
- Olası kazaların engellenmesi,
- Tren hazırlama ve tren üstü personellerin iş güvenliği sağlanacaktır.

3. Literatür Araştırması

Raylı sistemler alanında bakım ile ilgili yapılan çalışmalara bakıldığında genelde altyapı olarak adlandırılan demiryolu hatlarının inşası, bakım ve onarımı ile ilgili olduğu, demiryolu araçlarında bakım planlamasına ait çok yaygın bir çalışma olmadığı görülmektedir. Bu alan çoğunlukla malzeme bilimine yönelik sağlamlık, uygunluk, dayanıklılık gibi işlevlerin incelenmesi çalışmalarından oluşmaktadır. Raylı sistemlerde bakım alanında yapılan literatür incelemesi bu bölümde verilmiştir.

Oktar, ulaşımın ve raylı sistemlerin verimli bir bakıma bağlı olduğu ve bunun için yönetimin ekibince destek gösterilmesi, etkin bir araç bakım ekibinin oluşturulması, araçlarının bakım zamanının takip edilmesi ve belirli bir bakım politikasına sahip olunması, bakım birimlerinin standart bakım politikasına uygun hale getirilmesi ve tüm detaylara uygulanması, önceden belirlenen iş akışının takip edilmesi ve kurum kültürünün oluşturulması, bakımda çalışan personelin eğitimi olması, iş sağlığına öncelik verilmesi ve verilerin takip edildiği bir sistemin olmasını vurgulamıştır [3]. Çak ve diğ. yaptıkları çalışmada yolcu vagonları ile ilgili teknik bilgileri, bakımlarında yapılan işlemleri, vagonların yaş grubunun yüksekliğinden kaynaklanabilecek riskleri ve bakımın önemini anlatmıştır [4]. Bergquist ve Söderholm, raylar için kestirimci bakım tipi uygulamasında "Z tipi" kontrol grafiklerinin kullanımını esas alan bir çalışma gerçekleştirmiştir [5]. Taciroğlu, demiryolu hat oturmalarının matematiksel olarak modellendiği araştırmaları incelemiş ve bu modele dayanarak oturmalara neden olan faktörleri belirlemiştir [6]. Budai ve diğ., kısa ve uzun vadeli projelerin belirli bir dönem için gereken önleyici bakım çizelgeleme problemini ele almıştır [7]. Farrington ve diğ., demiryolu bakımında güven sorunu ile ilgili çözümler sunmuştur [8]. Eskandarzadeh ve diğ., çift hatlı bir demiryolu üzerinde bakım işi çizelgesiyle minimum sayıda tren iptal edilmesini sağlayacak bir iş programı üzerine çalışmalar yapmışlardır [9]. Arenas ve diğ., Demiryolu altyapı bakımını en iyi şekilde yönetmek amacıyla Fransız demiryollarının zaman çizelgesini yeniden düzenlemişlerdir [10]. Nappi R. bakım faaliyetlerinin üretim, hizmet sağlama ve işletme alanları ile ilgili kısımlarını etkili bir şekilde bütünleştirmek ve kullanmak için bakımın amaçlarını açıkça tanımlamış ve demiryolu sektörüne uygulamıştır [11]. Kour ve diğ., demiryolu sektöründe daha iyi bakım ve daha fazla çalışma süresi elde etmek amacıyla bulut ve web tabanlı uygulamaları kullanarak e-Bakım çözümleri geliştirmişlerdir [12]. Zoeteman ve Esveld, demiryolu reformları ve çeşitli Avrupa altyapı projelerinde uygulanan Ar-Ge çalışmalarına değinmiş ve Avrupa düzeyinde araştırmacıların işbirliğinin Avrupa demiryollarındaki bakım mühendisleri için bir forum aracılığıyla gerçekleştirilebileceğini vurgulamıştır [13]. Higgins, trenlerdeki gecikmeleri en aza indirmek ve sefer süresini azaltmak için bakım faaliyetlerinin ve bakım ekiplerinin etkin olarak belirlenmesine yönelik bir model ortaya koymuştur [14]. Macedo ve diğ., demiryolu altyapısının verimli koşullarda sürdürülmesi, düşük maliyetlerle bakım hizmetlerinin yürütülmesi ve önleyici demiryolu bakım faaliyetlerinin programlanması için tamsayı model geliştirmiştir [15]. Yang ve diğ., demiryolu uygulamalarında kapasite, güvenilirlik ve verimliliği büyük ölçüde artıracak, sistematik ve otomasyona dayalı bir bakım planı oluşturacak modern çözümler sunarak karar vericilere kolaylık sağlamıştır [16].

4. Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) ve COPRAS Yöntemi

Literatürde Çok Kriterli Karar Verme yöntemlerinden AHP ve COPRAS ile ilgili birçok çalışma mevcuttur. Demiryolu taşımacılığını da kapsayan ulaştırma sektöründe çalışmalar; tedarikçi seçimi, ulaştırma modu seçimi, firma yer seçimi, depo yer seçimi gibi problemler üzerine yoğunlaşmıştır [17 - 22].

4.1. Analitik hiyerarşi prosesi (AHP) yöntemi

AHP yönteminde ilk olarak karar verenin amacına yönelik kriterler ve ona bağlı alt kriterler oluşturulur. Öncelikle amaç belirlenir ve bu amaç doğrultusunda seçimi etkileyen kriterler ortaya konur. Daha sonra kriterlere bağlı olarak muhtemel alternatifler belirlenir. Sonuç olarak hiyerarşik yapı oluşturulmuş olur [23]. AHP yönteminin aşamaları aşağıdaki gibidir [24].

Adım 1-Modelin Kurulması ve Problemin Tanımlanması: AHP yönteminde karar vermeye etki eden objektif ve sübjektif tüm etmenler konusunda uzman kişilerin tecrübelerine dayanılarak belirlenmektedir. Bu bilgiler sonucunda kriterler, alt kriterler ve alternatifler belirlenir ve hiyerarşik yapı oluşturulur.

Adım 2-İkili Karşılaştırma Matrisinin Oluşturulması: Hiyerarşik yapı oluşturularak toplanan veriler Tablo 1’de verilen ikili karşılaştırmalar ölçeğinden faydalanılarak ikili karşılaştırmalar matrisi elde edilir.

Tablo 1. İkili karşılaştırmalar ölçeği

Önem Değerleri	Değer Tanımları
1	Her iki faktörün eşit öneme sahip olması durumu
3	1. Faktörün 2. faktörden daha önemli olması durumu
5	1. Faktörün 2. faktörden çok önemli olması durumu
7	1. Faktörün 2. faktöre göre çok güçlü bir öneme sahip olması durumu
9	1. Faktörün 2. faktöre göre mutlak üstün bir öneme sahip olması durumu
2,4,6,8	Ara değerler

Adım 3- Kriter Ağırlıklarının ve Alternatiflerinin Puanlarının Belirlenmesi: İkili karşılaştırma matrisi kullanılarak her bir alternatifin önem ağırlığı hesaplanır. Bu amaçla, ikili karşılaştırma matrisindeki her bir hücrenin değeri, bulunduğu sütunun toplamına bölünerek matris normalleştirilir. Normalleştirilmiş matrisin her bir sütun toplamı 1 olur. En son, her bir satırın ortalaması bulunarak öz vektör elde edilmiş olur.

Adım 4-Tutarlılık Oranının Hesaplanması: (CI) olarak ifade edilen tutarlılık indeksini hesaplamak için aşağıdaki formül kullanılır.

$$CI = \frac{\lambda \max - n}{n - 1} \quad (1)$$

$$CR = CI/RI \quad (2)$$

Formülde CI Tutarlılık İndeksini, $\lambda \max$ matristeki en büyük öz vektörü, n ise her bir matrisin eleman sayısını göstermektedir. (CR) olarak ifade edilen Tutarlılık oranı hesaplamak için ise tutarlılık indeksinin aynı boyuttaki matrisinin karşılığı olan ve Tablo 2’ de gösterilen indekslere oranlanmasıyla elde edilir.

Formülde RI rassal indeks oranlarını ifade etmektedir. Tablo 2’de farklı büyüklükteki matrisler için olan Rassal İndeks Serileri gösterilmiştir.

Tablo 2. Rassal indeks serileri

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
RI	0	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51	1,48	1,56	1,57	1,59

Tutarlılık oranı; karar verenin her bir kriteri değerlendirme sırasında kullanılabilen, son kararın etkinliği ve geçerliliği için önemli bir kavramdır. Karar matrislerinin tutarlı olması için $CR < 0,10$ olması beklenir. CR değerinin sıfıra yakın olması karşılaştırmaların tutarlı olduğunu ifade eder. CR değerinin belirlenmesinin ardından karşılaştırmaların tutarlılık oranının sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilir. Sağlanamaması halinde karar vericiden puanlamalarını düzelmesi istenir. Tutarlılık sağlandıktan sonra ikili karşılaştırma matrislerinden göreceli ağırlıklar hesaplanmaktadır. Son aşamada ise hiyerarşik yapıya göre en düşük seviyedeki alternatiflerin en üst seviyedeki amaca göre ağırlıkları elde edilir.

4.2. COPRAS yöntemi

COPRAS yöntemi ise Zavadskas ve Kaklauskas tarafından 1996 yılında geliştirilmiştir. Kriterlerin faydalı ve faydasız oluşlarını göze alarak seçeneklerin değerlendirilmesi ve sıralanması yapılmaktadır. Bu yöntemin diğer ÇKKV yöntemlerinden farkı ise, seçeneklerin birbirleriyle kıyaslanması ve birbirlerine olan üstünlüğün yüzdesel olarak gösterilebilmesidir. Yöntemin aşamaları aşağıdaki gibidir [25].

Adım 1- Karar matrisinin oluşturulması: Karar matrisi eşitlik (3)'de gösterildiği gibi formüle edilerek oluşturulur.

$$X = \begin{bmatrix} X_{11} & X_{12} & \dots & X_{1m} \\ X_{21} & X_{22} & \dots & X_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ X_{n1} & X_{n2} & \dots & X_{nm} \end{bmatrix} \quad (3)$$

Adım 2- Karar matrisinin normalleştirilmesi: Adım 1' de oluşturulan karar matrisi Eşitlik (4) kullanılarak normalleştirilir. Burada ki q_i kriter ağırlıklarını göstermektedir. COPRAS yönteminde kriter ağırlıklarının belirleme aşaması olmayıp, ağırlıklar AHP ya da basit bir puanlama yöntemi kullanılarak belirlenir.

$$d_{ij} = \frac{x_{ij}q_i}{\sum_{j=1}^n x_{ij}}, \quad i = 1, m; \quad j = 1, n \quad (4)$$

Her bir kriterin x_i 'ye göre ağırlıklandırılmış d_{ij} değerlerinin toplamı ilgili kriterin ağırlık değeri olan q_i 'ye eşit olup bu hesaplama eşitlik (5)'de gösterilmektedir.

$$q_{ij} = \sum_{j=1}^n d_{ij}, \quad i = 1, m; \quad j = 1, n \quad (5)$$

Adım 3- Ağırlıklı indekslerin toplanması: Faydasız kriterlere göre hesaplanan S_{-j} değerinin küçük, aynı şekilde faydalı kriterlere göre hesaplanan S_{+j} değerinin ise büyük olmasının amaca ulaşmada daha olumlu etkisi olmaktadır.

$$S_{+j} = \sum_{i=1}^m d_{+ij}, \quad S_{-j} = \sum_{i=1}^m d_{-ij} \quad i = 1, m; \quad j = 1, n \quad (6)$$

Adım 4- Seçeneklerin göreceli önem değerinin hesaplanması: Karşılaştırması yapılan her bir seçeneğin göreceli önem değeri olan Q_j , Eşitlik (7) kullanılarak hesaplanır. Elde edilen Q_j değerleri büyükten küçüğe doğru sıralanır. Q_j değerinin büyük olması göreceli önem değerinin de o derece büyük olduğu anlamına gelir.

Demiryolu Mühendisliği

$$Q_j = S_{+j} + \frac{S_{-min} \sum_{j=1}^n S_{-j}}{S_{-j} \sum_{j=1}^n \frac{S_{-min}}{S_{-j}}}, \quad j = 1, n \quad (7)$$

Adım 5- Seçeneklerin fayda derecesinin belirlenmesi: Her bir seçeneğin fayda derecesi fayda Eşitlik (8) kullanılarak belirlenir. En iyi seçeneğin fayda derecesi 100 puan olmuş olur ve diğer seçenekler bu puana göre oranlanır.

$$N_j = \frac{Q_j}{Q_{max}} * 100\% \quad (8)$$

5. Uygulama

Bu çalışmada, büyük bir Demiryolu Tren İşletmecisinin kullanmış olduğu yük vagonlarının bakım planlaması belirli kısıtlamalarla oluşturulması amaçlanmıştır.

Demiryolu taşımacılığı sektöründe yapılacak tüm faaliyetler için gerçek veya kamu tüzel kişiliklerin yapacağı faaliyetlere uygun olan yetki belgesini/belgelerini (DB2) Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı Demiryolu Düzenleme Genel Müdürlüğü'nden almaları zorunludur. Ulusal demiryolu ağı altyapısını kullanım hakkı için ilgili mevzuat kapsamında tanımlanan bir emniyet yönetim sistemini kurması ve Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı'ndan emniyet sertifikası alması gerekmektedir.

Demiryolu Tren İşletmecileri kullanmış oldukları yük vagonlarını yönetmelik gereği her 5 yılda bir revizyon bakımı yaptırmakla zorunludur, aksi halde ulusal demiryolu ağında bu vagonları kullanamamaktadır. Bu uygulama doğrultusunda işletmelerin vagon bakımlarını yaptırmaktaki amacı, öncelikle yasal mevzuatı yerine getirmek aynı zamanda müşterilerin beklentilerini dikkate alan, iş güvenliğini önceleyen, bakıma ayrılan bütçeyi optimal bir şekilde kullanan ve lojistik faaliyetlerini minimum derecede etkileyen bir bakım planlaması oluşturmaktır.

Uygulamada, vagonlarının revizyon bakımlarını yaptıracak bir Demiryolu Tren İşletmesi ele alınmıştır. İşletmenin envanterinden 10 farklı türden 3.900 adet vagonun revizyon bakım süresi gelmiş fakat bunlardan sadece 1.095 adedinin bakımını yaptırabilecektir. Revizyon bakımı yaptırılacak vagon sayısı işletmenin üst yönetimi tarafından yıllık olarak yapılan bütçe planında 1.095 adet olarak belirlenmiştir. Problemin çözümünde ihtiyaç duyulan verilere işletmenin kurumsal kaynak yönetimi bilgi sistemlerinden, bakımların yapıldığı fabrikadan ve işletme deneyimlerinden elde edilen bilgilerden ulaşılmıştır.

5.1. AHP yöntemi ile kriterlerin ağırlıklarının belirlenmesi

Vagonların önem ağırlıklarının belirlenmesi amacıyla ilk olarak altı adet kriter belirlenmiş ve ağırlıkları AHP yöntemiyle hesaplanarak elde edilmiştir. Bu kriterler; vagonların kullanımlarından elde edilen gelir (K1), taşımaldaki kullanım oranı(K2), rotasyon süresi(K3), tüm vagonlar içindeki tamirlik oranı(K4), bakım maliyeti(K5) ve yurtdışında kullanılabilir durumu(K6) olarak tanımlanmıştır. Son olarak karar vericiden kriterleri ikili olarak karşılaştırması istenmiş ve oluşturulan karar matrisi Tablo 3'de verilmiştir.

Demiryolu Mühendisliği

Tablo 3. Karar matrisi

	K1	K2	K3	K4	K5	K6
K1	1	7/9	7/2	7/8	7/1	7/3
K2	9/7	1	9/2	9/8	9/1	3
K3	2/7	2/9	1	1/4	2/1	2/3
K4	8/7	8/9	4	1	8/1	8/3
K5	1/7	1/9	1/2	1/8	1	1/3
K6	3/7	1/3	3/2	3/8	3/1	1

Tutarlılık Oranı: 0,039

Karar matrisinin tutarlılık oranı olan $CR < 0,10$ olduğu için karar matrisi tutarlıdır. AHP yöntemi aşamalarına göre tutarlılık sağlandıktan sonra karar matrisi normalize edilmiş ve Tablo 4’de verilmiştir.

Tablo 4. Normalize karar matrisi

	K1	K2	K3	K4	K5	K6
K1	0,22	0,21	0,22	0,22	0,25	0,24
K2	0,43	0,41	0,38	0,44	0,29	0,36
K3	0,05	0,06	0,05	0,05	0,07	0,03
K4	0,22	0,21	0,22	0,22	0,25	0,30
K5	0,03	0,05	0,03	0,03	0,04	0,02
K6	0,05	0,07	0,11	0,04	0,11	0,06

Son olarak normalize edilmiş karar matrisinden elde edilen ağırlıklar Tablo 5’de verilmiştir.

Tablo 5. AHP yöntemi ile elde edilen kriter ağırlıkları

Kriterler	Ağırlıklar
K1 Vagonların kullanımlarından elde edilen gelir	0,22
K2 Taşımalardaki kullanım oranı	0,38
K3 Rotasyon süresi	0,05
K4 Tüm vagonlar içindeki tamirlik oranı	0,23
K5 Bakım maliyeti	0,03
K6 Yurtdışında kullanılabilme durumu	0,07

5.2. COPRAS yöntemi ile vagonların önem ağırlıklarının belirlenmesi

AHP yöntemi ile revizyon bakımı yapılacağı vagonların seçiminde etkili olan kriterlerin ağırlıkları hesaplanmış ve COPRAS yöntemi kullanılarak vagonların önem ağırlıkları sıralaması belirlenmiştir. Bir yıl boyunca revizyon bakım süresi dolacak olan vagonlar tespit edilmiş ve böylece toplam 10 alternatif belirlenmiştir.

COPRAS yönteminde, hem niteliksel hem de niceliksel kriterler bir arada değerlendirilebilmektedir. Faydalı kriterlerin yüksek olması amaca ulaşmada daha iyi olduğu ve amaca olumlu etki ettiği ifade etmektedir. Uygulamada faydalı kriterler; Vagonların kullanımlarından elde edilen gelir, Tüm taşımalardaki kullanım oranı, Kendi vagon türü içindeki tamirlik oranı, Yurtdışında kullanılabilme durumu kriterleridir. Bunun yanında kriter değerlerinin

Demiryolu Mühendisliği

düşük olması ile seçimi olumlu yönde etkileyecek olanlara ise faydasız kriterler denir. Bunlar ise, Rotasyon süresi ve Kendi vagon türü içindeki tamirlik oranı kriterleridir.

COPRAS yönteminin ilk adımında eşitlik (3)' te gösterildiği gibi karar matrisi oluşturulmuş ve karar matrisi kullanılarak eşitlik (4) yardımıyla normalize edilmiş karar matrisine dönüştürülmüştür. Daha sonra AHP yönteminden elde edilen kriter ağırlıkları kullanılarak eşitlik (5) yardımıyla ağırlıklı normalize edilmiş karar matrisi elde edilmiş ve Tablo 6'da değerler verilmiştir.

Tablo 6. Ağırlıklı normalize edilmiş karar matrisi

Alternatifler	K1	K2	K3	K4	K5	K6
A1	0,006	0,005	0,007	0,045	0,003	0,015
A2	0,003	0,002	0,005	0,012	0,004	0,015
A3	0,001	0,000	0,030	0,036	0,004	0,015
A4	0,028	0,018	0,003	0,011	0,003	0,000
A5	0,025	0,009	0,003	0,029	0,003	0,015
A6	0,076	0,140	0,001	0,019	0,004	0,000
A7	0,014	0,046	0,001	0,016	0,003	0,000
A8	0,041	0,130	0,001	0,010	0,003	0,015
A9	0,011	0,005	0,002	0,045	0,003	0,000
A10	0,020	0,028	0,001	0,008	0,004	0,000

Ağırlıklı normalize edilmiş karar matrisi oluşturulduktan sonra faydalı kriterler için S_{i+} ve faydasız kriterler için S_{i-} değerleri eşitlik (6) yardımı ile hesaplanmış daha sonra her alternatif için göreceli önem değeri Eşitlik (7) yardımıyla hesaplanmıştır.

Maksimum Q_i değerine 100 puan verilerek 10 farklı alternatif 0-100 puan aralığında derecelendirilmiş, büyükten küçüğe sıralanmış ve oluşan tercih sırası Tablo 7' de verilmiştir.

Tablo 7. Alternatiflerin tercih sırası

Tercih Sırası	Alternatifler	P_i
1	Fas	100
2	Sg	86
3	Eanoss	43
4	Hbbillnss	39
5	Ks	37
6	Sp	35
7	Els	29
8	Za	29
9	Tadns	28
10	Uadgs	20

Performans indeksi olan P_i için 100 değeri en iyi alternatif anlamına gelmektedir. Tercih sırası, performans indeks değerlerinin büyükten küçüğe doğru sıralanması ile elde edilmiştir. Tablo 7'de verilen değerler incelendiğinde, en iyi alternatifin % 100 performans indeksine sahip A6 (Fas), en kötü alternatifin ise % 15 performans indeksine sahip A2 (Uadgs) olduğu görülmektedir. Bulunan ağırlıklar matematiksel modelde katsayı olarak kullanılacaktır.

5.3. Matematiksel modelin kurulması

Problemin çözülmesi için oluşturulan amaç fonksiyonu, kısıtlar ve notasyonlar bu kısımda belirtilmiştir.

Varsayımlar

- 10 adet vagon tipinin tümünden seçim yapılması zorunludur.
- Bakıma gönderilecek vagon sayısı Önem Ağırlığına göre seçilmelidir.
- Bakıma gönderilecek vagon sayısı, Bakım Süresi gelen vagon sayısı fazla olamaz.

Tablo 8. Bakım süresi dolan vagon adedi

i	Alternatifler	Adet
1	Fas	1.298
2	Sg	473
3	Eanoss	106
4	Hbbillnss	839
5	Ks	566
6	Sp	171
7	Els	317
8	Za	122
9	Tadns	34
10	Uadgs	64
Toplam		3.990

Karar Değişkenleri ve Notasyonlar

P_i : i vagon tipinin önem ağırlığı (Tablo 7' de gösterilmiştir)

I_i : i vagon tipinden bakım süresi dolan vagon sayısı.(Tablo 8' de gösterilmiştir)

X_i : i vagon tipinden bakıma gönderilecek vagon sayısı.

Kısıtlar

- Bakıma gönderilecek toplam vagon sayısının finansal kısıtlardan dolayı belirlenen 1095 adede eşit veya daha az olması kısıtı.

$$\sum_{i=1}^{10} X_i \leq 1095$$

- Bakıma gönderilecek vagon sayısının, bakım süresi dolan vagon sayısından daha az olması gerekliliği kısıtı.

$$X_i \leq I_i \quad \forall_i$$

- Bakıma gönderilecek vagon sayısının 0' dan büyük ve tamsayı olması kısıtı.

$$X_i \geq 0 \text{ ve tamsayı} \quad \forall_i$$

- Tadns vagon tipinin kullanım özelliğinden dolayı spesifik olması ve ikamesi olmadığından dolayı bu tipden bakım süresi dolan tüm vagonlarının revizyon bakımına gönderilmesi kısıtı.

$$X_9 \geq I_9$$

Demiryolu Mühendisliği

Amaç Fonksiyonu Tablo 7’ de gösterilen P_i değerleri ile 10 adet vagonun önem ağırlıkları elde edilmiş ve modelde karar değişkenlerinin katsayısı olarak belirlenmiştir.

$$Z_{\max} \sum_{i=1}^{10} P_i * X_i$$

6. Bulgular

Uygulamada, her bir vagonun birbirinden farklı özelliklere ve öneme sahip olmasından dolayı AHP ve COPRAS yöntemleri tercih edilmiştir. COPRAS yöntemi ile elde edilen ağırlıklar her vagon tipi için ayrı ayrı tanımlanmış, amaç fonksiyonu ve belirlenen tüm kısıtlar modelin çözümünde dikkate alınmış, bakım süresi dolan vagon sayıları tanımlanmış ve problem çözülmüştür. Çözümün sonuçları Tablo 9’da verilmiştir.

Tablo 9. Bakıma gönderilecek vagon çizelgesi

i	Alternatifler	Adet
1	Fas	418
2	Sg	308
3	Eanoss	77
4	Hbbillnss	63
5	Ks	57
6	Sp	51
7	Els	35
8	Za	35
9	Tadns	34
10	Uadgs	17
Toplam		1.095

Tablo 9’ da verilen modelin çözümü sonucunda elde edilen bilgiler sayesinde, işletme bir yıl boyunca her bir vagon tipinden ne kadarını revizyon bakımına göndermesi gerektiğini bilecektir.

Sonuçlar incelendiğinde, ÇKKV yöntemleri ile belirlenen ağırlıkların ve bakımı gelen toplam vagon sayılarının tutarlı oranda olduğu gözlemlenmektedir. Ayrıca modelde istenen tüm kısıtlamaların ve uygunluk koşullarının yerine getirildiği görülmektedir. Bu sayede işletme, ekonomik koşulları gereğince optimal bir şekilde araçlarının bakımını yaptıracaktır. Ayrıca, bakım planlamasının önceden yapılması sayesinde lojistik faaliyetleri en düşük oranda etkilenecek şekilde taşımacılık hizmetlerini devam ettirebilecektir.

7. Sonuç ve Öneriler

Demiryolu taşımacılığında önce güvenliğin sağlanması sonra da etkin, verimli ve kaliteli bir taşımacılık hizmetinin verilmesi müşterilerin birinci sıradaki beklentisi olduğu kadar firmaların da misyonları arasındadır. Tüm bunları bir arada sağlayabilmenin koşulu demiryolunda kullanılan araçların bakımlarının tam olarak sağlanmasından geçmektedir. Bu çalışma da müşteriler etkin bir taşımacılık hizmeti verilebilmesi adına bakım yaptırılacak vagonların seçiminde optimal bir çözüm uygulanmıştır.

Demiryolu araçlarının bakım planlaması çalışmalarına bakıldığında literatürde kapsamlı çalışmaların yapılmadığı, çalışmaların demiryolu hattı yapımı alanlarında olduğu

gözlemlenmektedir. Uygulama, önceki çalışmalardan farklı olarak hem demiryolu araçlarının bakımını hem de belirli kısıtlar altında yapılacak bakım faaliyetlerini konu edinmiştir.

Uygulamadaki model, farklı karakteristik özelliklere ve kısıtlara sahip olan işletmeler için daha sonra geliştirilebilir, amaca özel daha farklı ve yeni kısıtlar eklenilebilir, model güncelleştirilerek benzer işletmeler için etkin bakım planlamaları oluşturulabilir.

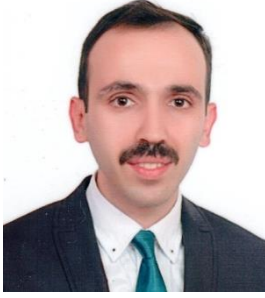
Kaynakça

- [1] "Demiryolu," *Ulaşan ve Erişen Türkiye 2019*, vol. 10, pp. 223–384, 2019.
- [2] Resmi Gazete, May 2013. [Online]. Available: <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2013/05/20130501.htm>, [Accessed January 20, 2020].
- [3] Ş. Oktar, "Demiryollarında Araç Bakım ve Onarımı," *Demiryolu Mühendisliği*, No. 1, pp. 38–40, Dec. 2014.
- [4] R. Çak, S. Aslanlar, and M. Z. Çelebi, "Demiryolları İle Yolcu Taşımacılığı ve Yolcu Vagonu Onarımı," *SAU Fen Bilim. Enstitüsü Dergisi*, vol. 1, pp. 142–146, 2002.
- [5] B. Bergquist and P. Söderholm, "Data Analysis for Condition-Based Railway Infrastructure Maintenance," *Qual. Reliab. Eng. Int.*, vol. 31, no. 5, pp. 773–781, 2015.
- [6] M. V. Taciroğlu, "Demiryolu Hat Oturmasının Matematiksel Modelleri ve Hat Oturmasına Etki Eden Parametrelerin İncelenmesi," *Mühendislik Bilim. ve Tasarım Dergisi*, vol. 4, no. 3, p. 239, 2016.
- [7] G. Budai, D. Huisman, and R. Dekker, "Scheduling preventive railway maintenance activities," *J. Oper. Res. Soc.*, vol. 57, no. 9, pp. 1035–1044, 2006.
- [8] T. Farrington-Darby, L. Pickup, and J. R. Wilson, "Safety culture in railway maintenance," *Saf. Sci.*, vol. 43, no. 1, pp. 39–60, 2005.
- [9] S. Eskandarzadeh, T. Kalinowski, and H. Waterer, "Maintenance scheduling in a railway corridor," *22nd Int. Congr. Model. Simulation.*, pp. 1–25, 2019.
- [10] D. Arenas, P. Pellegrini, S. Hanafi, and J. Rodriguez, "Timetable rearrangement to cope with railway maintenance activities," *Comput. Oper. Res.*, vol. 95, pp. 123–138, 2018.
- [11] R. Nappi, "Integrated Maintenance: Analysis And Perspective Of İnnovation İn Railway Sector," pp. 1–7, 2014.
- [12] R. Kour, P. Tretten, and R. Karim, "Maintenance solution through online data analysis for railway maintenance decision-making," *J. Qual. Maint. Eng.*, vol. 20, no. 3, pp. 262–275, 2014.
- [13] A. Zoeteman and C. Esveld, "State of the art in railway maintenance management: Planning systems and their application in Europe," in *Conference Proceedings - IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics*, vol. 5, pp. 4165–4170, 2004.
- [14] A. Higgins, "Scheduling of Railway Track Maintenance Activities and Crews," *J. Oper. Res. Soc.*, vol. 49, no. 10, p. 1026, 1998.
- [15] R. Macedo, R. Benmansour, A. Artiba, N. Mladenović, and D. Urosevic, "Scheduling preventive railway maintenance activities with resource constraints," *Electron. Notes Discret. Math.*, vol. 58, pp. 215–222, 2017.
- [16] F. Yang, E. Stewart, and C. Roberts, "A Framework for Railway Maintenance Function Allocation," *2018 Int. Conf. Intell. Rail Transp. ICIRT 2018*, pp. 1–5, 2019.
- [17] E. C. Özcan, S. Ünlüsoy, and T. Eren, "A combined goal programming – AHP approach supported with TOPSIS for maintenance strategy selection in hydroelectric power plants," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 78. Elsevier Ltd, pp. 1410–1423, 2017.
- [18] H. Arslan, "Ahp-Vikor Yöntemi İle Etkin Tasarrufa Yönelik En İyi Tedarikçi Seçimi," *Elektron. Sos. Bilim. Derg.*, vol. 16, no. 63, pp. 1203–1217, 2017.
- [19] Ö. Görçün, "İstanbul Kentinde Silivri - Sabiha Gökçen Havalimanı Arası Ulaşım Alternatiflerinin AHP TOPSIS Yöntemleri ile Analizi," *İdealkent*, vol. 10, no. 27, pp. 800–823, 2019.
- [20] K. Toker and A. Görener, "Lojistik yönetimi kapsamında ulaştırma modunun seçimi" *Kırıkkale Üniversitesi Kütüphane Kaynakları*. [Online]. [Accessed: 07-Jan-2020]. Available: <http://0210a3dfs.y.http.eds.b.ebscohost.com.proxy.kirikkale-elibrary.com/eds/detail/detail?vid=0&sid=d78bb128-666f-45bd-b967-3b8c92bb4cc6%40pdc-v-sessmgr04&bdata=Jmxhbm9dHImc210ZT11ZHMtbG12ZQ%3D%3D#AN=155574&db=uvt>.
- [21] S. Unlu, A. Serim, A. Kelimeler, and A. Serim, "Tesis Yeri Seçiminde Farklı Bir Yaklaşım: Bulanık

Analitik Serim Süreci," *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, vol. 12, no. 2, pp. 2–35, 2010

- [22] A. Aktepe and S. Ersöz, "AHP-VIKOR ve MOORA Yöntemlerinin Depo Yeri Seçim Probleminde Uygulanması," *Endüstri Mühendisliği Derg.*, vol. 1, no. 2, pp. 2–15, 2014.
- [23] R. W. Saaty, "The analytic hierarchy process-what it is and how it is used," *Math. Model.*, vol. 9, no. 3–5, pp. 161–176, doi: 10.1016/0270-0255(87)90473-8, 1987.
- [24] T. L. Saaty, "How to make a decision : The Analytic Hierarchy Process," vol. 48, 1990.
- [25] A. Kaklauskas, E. K. Zavadskas, and S. Raslanas, "Multivariant design and multiple criteria analysis of building refurbishments," *Energy Build.*, vol. 37, no. 4, pp. 361–372, 2005.

Özgeçmiş



Sezgin ÖZDEMİR

1987 yılında Bartın’da doğdu. 2004 yılında Karabük Mustafa Yazıcı Lisesi’nden mezun oldu. 2010 yılında İstanbul Üniversitesi Ulaştırma ve Lojistik, 2016 yılında Hoca Ahmet Yesevi Üniversitesi Endüstri Mühendisliği bölümlerinde lisans eğitimlerini tamamladı. Yüksek lisans eğitimine Kırıkkale Üniversitesi Endüstri Mühendisliği bölümünde devam etmektedir. 2012 yılından beri TCDD Taşımacılık A.Ş.’de çalışmaktadır.

E-Posta: ozdemir_sezgin@hotmail.com



Evrencan ÖZCAN

Aslen Kırşehirli olan Dr. Özcan 1980 Ankara doğumludur. Lisans, Yüksek Lisans ve Doktora derecelerini sırasıyla 2003, 2007 ve 2013 yıllarında Gazi Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümünden almıştır. Özel sektörde 7 yıl devam eden mühendislik tecrübesinin ardından, 2010 yılında Elektrik Üretim A.Ş.’ye atanan Dr. Özcan, Ocak 2018’den bu yana Kırıkkale Üniversitesi’nde Dr. Öğretim Üyesi unvanı ile meslek hayatına devam etmektedir.

E-Posta: evrencan.ozcan@kku.edu.tr

Beyanlar

Bu makalede bilimsel araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Tüm yazarların eşit oranda katkısı olmuştur.