

## RAYLI ULAŞIM SİSTEMLERİNDE SİNYALİZASYON SİSTEMİ İÇİN YER SEÇİMİ

Emre Yazıcı<sup>1\*</sup>, Hacı Mehmet Alakaş<sup>2</sup>, Murat Gökdemir<sup>3</sup> ve Kenan Karaisli<sup>4</sup>

<sup>1,2,3,4</sup>Endüstri Mühendisliği, Kırıkkale Üniversitesi, Türkiye

\*(emreyazici92@hotmail.com)

**Özet** – Demiryollarında sinyalizasyon sistemleri hatların durumuyla ilgili makinistlere bilgi vermek amacıyla kullanılan mekanik ve elektronik cihazların oluşturduğu sistemlerdir. Demiryollarında ulaşımın güvenli ve hızlı yapılabilmesi için iyi bir sinyalizasyon sistemi önem arz etmektedir. Bu kapsamda ele alınan çalışmada bir demiryolu güzergahında demiryolu sinyalizasyon sistemlerinin konumlandırılması için yer seçimi problemi ele alınmıştır. Problemin yapısında birden fazla alternatif ve çeşitli kriterlerin bulunması nedeniyle Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemleri ile probleme çözüm önerisi sunulmaktadır. Sinyalizasyon sistemlerinin kurulumunu etkileyen kriterlerin değerlendirilmesi için Analitik hiyerarşi prosesi (AHP) yöntemi ile kriterlerin ağırlıkları hesaplanmıştır. Ardından alternatif sinyalizasyon noktalarının değerlendirilmesi için PROMETHEE (Preference ranking organization method for enrichment evaluation) yöntemi ile sıralamalar elde edilmiştir. Elde edilen sıralamalara göre her güzergah için bir alternatif sinyalizasyon yeri seçilmiştir.

*Anahtar Kelimeler – Raylı Sistemler, Sinyalizasyon Sistemi, Sinyal Yeri Seçimi*

### I. GİRİŞ

Günümüz toplumunda her geçen gün artan nüfusla birlikte güvenlik, sağlık ve eğitim gibi sorunların yanı sıra ulaşım önemli bir sorun haline gelmiştir. Ulaşımında karayolu, demiryolu, denizyolu ve havayolu gibi çeşitli alternatifler bulunmaktadır. Demiryolu sistemleri ulaşım sistemlerinde toplu taşımacılık için ilk ve önemli unsurları arasında yer almaktadır. Son zamanlarda özellikle büyükşehirlerde nüfus yoğunluğunun artması ile birlikte şehir içi ulaşımında raylı sistemler ile demiryolu taşımacılığının kullanımı oldukça artmıştır. Yolcu taşımacılığı ile birlikte ağır ve büyük hacimli yüklerin taşınması ile de yük taşımacılığı için de önemli bir alternatiftir.

Demiryolu taşımacılığı, küresel boyutta kalkınma üzerinde artan bir etkiye sahiptir. Güvenlik, çevre, enerji ve ekonomik ihtiyaçlara bağlı olarak ulaştırma sektörü içerisinde her geçen gün daha fazla önem kazanmaktadır. Sürdürülebilir ekonomik büyüme için katkı sunan demiryollarının

artan önemine binaen özellikle şehir içi raylı sistemler ve yüksek hızlı tren işletmeciliğine için yatırımlar her geçen gün artmaktadır. Dünyada ticaretin küreselleşmesine dayalı olarak inşa edilen ulaştırma ağları içerisinde, uluslararası demiryolu koridorları; emniyetli, maliyetinin ucuz, kullanım ömrünün uzun olması, konforlu ulaşım ve çevre dostu olması nedeniyle kitlesel yüklerin taşınmasında rakipsiz konuma gelmektedir.

Demiryolu sistemlerinin artan bu kullanımı ile trafik yoğunluğu artmıştır. Artan trafik yoğunluğundan demiryolunda ulaşımın kontrol edilmesi için sinyalizasyon sistemleri kullanılmaktadır. Trafikinin akıcı bir şekilde yönetilmesi ülkemizde konvansiyonel hat tren işletmeciliğinde tek hat bulunması demiryolu trafiğinin yönetilmesini zorlaştırmakta ve bunun için aynı hat üzerinde birden fazla demiryolu aracının aynı yönde emniyetli bir şekilde seyrine izin veren sinyalizasyon sisteminin önemli bir yeri vardır.

Raylı ulaşımda sinyalizasyon sisteminin amacı hat kabiliyetini arttırarak her türlü taşımanın hızlı ve emniyetli yapılmasını sağlar. Bu sistem ile tren sevkleri sinyallerle otomatik yapılmakta insan hatası en aza indirilerek tren kazalarının önüne geçilmesi hedeflenmektedir. Aynı zamanda sinyalizasyon sistemine bağlı emniyet devreleri demiryolu ulaşımını daha da güvenilir hale getirmektedir. Bu nedenle demiryolu taşımacılığında sinyalizasyon sistemlerinin konumlandırılması önemli bir problemdir. Bu kapsamda ele alınan çalışmada bir demiryolu güzergahındaki çeşitli noktalar için sinyalizasyon sistemlerinin yer seçimi problemi ele alınmaktadır.

Çalışmada sinyalizasyon sistemlerinin yerleştirileceği konumların belirlenmesi karar vericiler için önemli bir karar problemi niteliğinde ve karar sürecini etkileyen birden fazla kritere dikkate edilmektedir. Bu nedenle problem çok kriterli karar verme (ÇKKV) problemi olarak incelenmektedir. Çok kriterli karar verme problemleri için literatürde yaygın kullanılan çözüm yöntemleri bulunmaktadır. Bunlardan birisi de kriter ağırlıklarının hesaplanması için kullanılan AHP yöntemidir [1]–[3]. AHP yöntemi hesaplama kolaylığı ve alternatifler arasındaki hiyerarşik yapının gösterimi gibi avantajları nedeniyle bu çalışmada kriter ağırlıklarının hesaplanmasında seçilen yöntemdir. Diğer taraftan alternatiflerin sıralanmasında ise PROMETHEE yöntemi tercih edilmiştir. PROMETHEE yöntemi karar vericileri her bir alternatifin kriterlere göre değerlendirilmesinde kriterlerin yapısını dikkate alması avantajı sunmaktadır. Bu avantaj alternatiflerin sıralanmasında PROMETHEE yönteminin tercih edilmesini sağlamıştır.

Yer seçimi problemi literatürde yaygın olarak çalışılan konular arasındadır. Literatürde özellikle bir tesis, işletme veya toplanma yerlerinin belirlenmesi gibi çeşitli konularda çalışmalar bulunmaktadır. Bu çalışmalar arasında kargo firması için yer seçimi [4], itfaiye istasyon yeri seçimi [5], toplanma merkezi seçimi [6], güneş enerji santrali kurulum yeri seçimi [7], enerji depolama yeri seçimi [8] ve medikal depo yeri seçimi [9] gibi çeşitli amaçlar ile çalışmalar yapılmıştır. Literatürdeki bu çalışmalar yer seçim problemini birden fazla alternatif ve kriterin dikkate alınması gerektiği önemli karar problemi olarak tanımlamaktadır [4]. Bu kapsamda yapılan çalışmalar yöntem açısından çeşitlenmekle birlikte

hibrit yöntemlerin yaygın olarak kullanıldığı görülmektedir. Bu problemlerin çözümünde ÇKKV yöntemleri en uygun alternatifin belirlenmesinde etkin çözüm yöntemi olarak tercih edilmektedir. Bunun yanında kümeleme analizi [6] ve coğrafi bilgi sistemleri [5] gibi çeşitli yöntemlerde tercih edilmiştir.

Son yıllarda yapılan çalışmalarda kuruluş yerlerinin seçiminde doğaya zarar vermeyecek faktörleri dikkate alan çalışmalar dikkat çekmektedir. Özellikle kimyasal vb. unsurların muhafaza edileceği depolarda olası risklere karşı doğaya zarar vermeyecek şekilde planlama yapılması dikkat çekmektedir. Bu çalışmalarda sürdürülebilirlik kavramı ön plana çıkmaktadır [10].

Çalışmanın sonraki bölümünde literatürdeki çalışmalar özetlenerek üçüncü bölümde sinyalizasyon sistemleri hakkında bilgiler sunulmaktadır. Dördüncü bölümde çalışmada kullanılan çözüm yöntemleri hakkında bilgiler verilmektedir. Beşinci bölüm çalışmanın uygulama bölümü ve son bölüm ise sonuç bölümüdür.

## II. SİNYALLER

Sinyal üzerinde iki, üç veya dört renkli lambası bulunan çelik boru, konsol veya köprüler üzerine yerleştirilmiş çeşitli renk bildirimleri vererek demir yolu trafiğini düzenleyen araçlardır. Yüksek sinyal üç veya dört lambalı olan 3-3,8 metre yüksekliğinde boru direkler veya arazinin ve gabarinin uygun olmadığı yerlerde konsollar ve köprüler üzerine yerleştirilmiş ana yol üzerinde bulunan sinyalleri ifade eder. Cüce sinyal boyları kısa çelik borular üzerine ve barınma yollarının çıkışlarına yerleştirilmiş sinyalleri ifade eder. Sinyaller anlamlarına boyutlarına ve renk sayılarına göre farklı anlamlar taşımaktadır.

Bunlardan üçlü sinyallerin renk anlamları, eğer tek yeşil yeşil sinyal bildiriyorsa gireceği bloğun serbest olduğunu ifade eder, eğer bu istasyon giriş sinyali ise durmadan geçilebileceğini ifade eder. En az iki blok serbesttir anlamı taşır. Sarı sinyal gireceği bloğun serbest olduğunu ifade eder eğer istasyon giriş sinyali ise gireceği yol serbesttir anlamı taşır. Bir sonraki sinyal kırmızı olacağı öngörülerek hızın 65 km'nin altına düşürülmesi gereklidir. Kırmızı sinyal gireceği bloğun meşgul olduğunu ve derhal durmayı gerektirir. İstasyon çıkış sinyali ise çıkış kapalıdır anlamı taşır. Yüksek sinyallerde dörtlü sinyaller ise istasyon giriş

çıkışlarında bulunur. Bu sinyaller tek ya da iki renk bir arada yanabilir. İki sarı bir kırmızı birde yeşil lamba vardır. Yeşil ana hattan durmadan geç anlamındadır. En az iki bloğun boş olduğunu ifade eder. Sarı bir dur bildirisi veren işarete gidildiğini dikkatin artırılmasını ve işaretin durumuna göre gerektiğinde durmak için hızın azaltılmasını bildirir. Bir bloğun boş olduğunu ifade eder. Kırmızı gireceği bloğun meşgul olduğunu ve derhal durmayı gerektirir. İstasyon giriş sinyali ise giriş kapalıdır anlamı taşır. Durmayı gerektirir. Sarı üzeri yeşil ışık başka yola sapmak suretiyle blok serbesttir. Makaslardan sapma yaparak izin verilen hızda ilerle anlamı taşır. İstasyon barınma yoluna geçeceğini de ifade eder. Hız 30 km'nin altında olmalıdır.

Sarı üzeri sarı ışık başka yola sapmak suretiyle blok serbesttir. Makaslardan saparak, izin verilen hızla ve ilk sinyal önünde durabilecek şekilde ilerle anlamı taşır. Sarı üzeri kırmızı ışık CTC(Sinyalizasyon sistemine bağlı olmayan yol) harici yola gireceğini bildirir.

Sinyal tipleri görünüşlerine göre ikili cüce renkli sinyaller altta yeşil üstte kırmızı olacak şekildedir. Üçlü cüce renkli sinyallerin altta yeşil, ortada sarı, üstte kırmızı olacak şekildedir. Üçlü yüksek renkli sinyaller ise altta kırmızı, ortada sarı, üstte yeşil renk bulunur. Dörtlü yüksek renkli sinyaller ise en altta sarı, üstünde kırmızı, onun üstünde yeşil ve en üstte sarı ışık bildirisine sahip sinyallerdir. Bunlardan bazı sinyal örnekleri aşağıda gösterilmiştir.



Şekil 1. Tekrarlama sinyali



Şekil 2. İstasyon çıkış sinyali

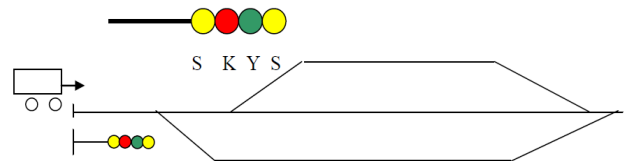


Şekil 3. Üçlü cüce sinyal



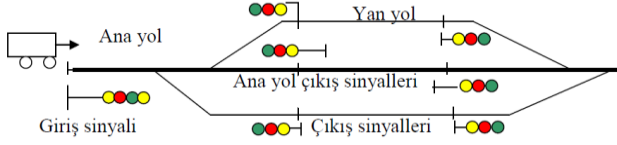
Şekil 4. Dörtlü cüce sinyal

Fonksiyonlarına göre sinyal tiplerinden giriş sinyalleri genelde istasyonun her iki girişinde (Doğu giriş, batı giriş) bulunan giriş sinyalleri, 4'lü yüksek sinyallerden oluşmuştur. Merkezden direk kumanda edilebilirler, aynı zamanda istasyonlarda yerel kumanda masalarından da kumanda edilebilir. Alttan itibaren sarı, kırmızı, yeşil, sarı renkler üst üste dizilmiştir. Giriş sinyali şekil 5'te gösterilmiştir.



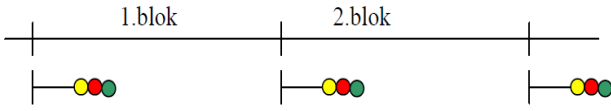
Şekil 5. Giriş sinyalleri

Çıkış sinyalleri istasyonun her iki çıkış tarafında bulunur. Ana hat üzerindedir. Üç renkli yüksek; çift hatlı ise dört renkli yüksek olurlar. Yan yolların çıkışlarında ise üç renkli cüce sinyaller bulunur. Çıkış sinyali Şekil 6’da gösterilmektedir.



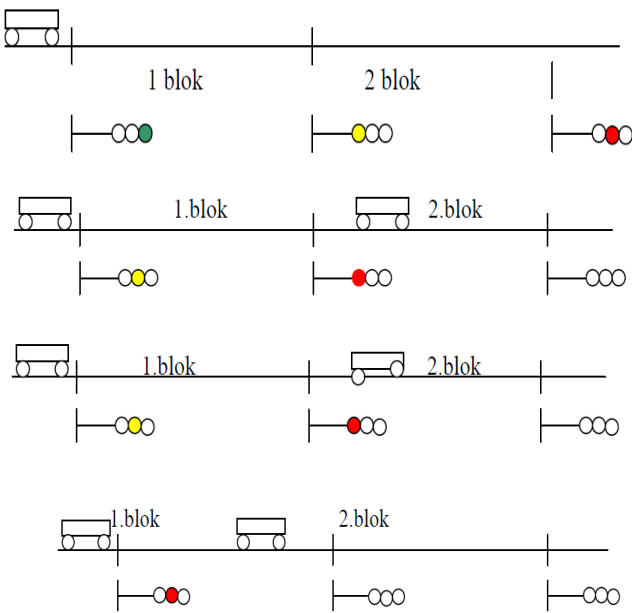
Şekil 6. Çıkış sinyalleri

Blok sinyalleri istasyonlar arasında açık hatta bulunan blokların girişine konmuş olan 3’lü yüksek sinyallerdir. Bu sinyaller kendinden bir sonraki sinyalin durumuna göre otomatik olarak renk bildirisi verir. Bloklar yaklaşık 2 km uzunluğundadır. Blok sinyalleri şekil 7’de gösterilmektedir.



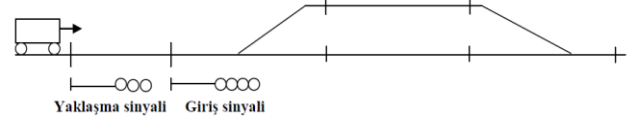
Şekil 7. Blok sinyalleri

Otomatik bloklarda ilerleyen trenler, blokların meşguliyetlerine göre renk bildirisi veren blok sinyallerine göre ilerler. Otomatik blok sinyalleri şekil 8’de gösterilmiştir.



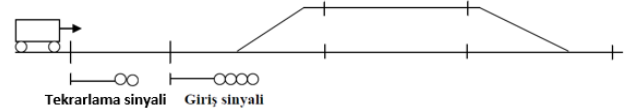
Şekil 8. Otomatik blok sinyalleri

Yaklaşma sinyalleri her istasyon giriş sinyalinin bir öncesinde bulunan kumandalı blok sinyalidir. Yaklaşık giriş sinyaline uzaklığı 1500 m kadardır. Yaklaşma sinyali şekil 9’da gösterilmiştir.



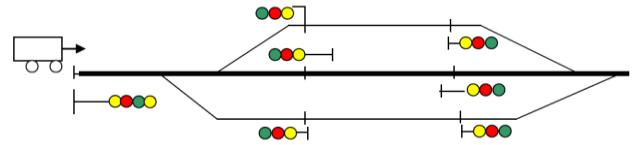
Şekil 9. Yaklaşma sinyali

Tekrarlama sinyali belirli bir uzaklıktan görülemeyen, sinyalleri 400 m mesafeye kadar konulan ve bu sinyalin durumuna göre renk bildirisi veren iki renkli altında yeşil üstünde beyaz siyah renkli T harfi levha bulunan sinyalleri ifade eder. Tekrarlama sinyali yeşil ise tekrar edilen sinyalin açık olduğunu beyaz ise kapalı olduğunu belirtir. Tekrarlama sinyali şekil 10’da gösterilmiştir.



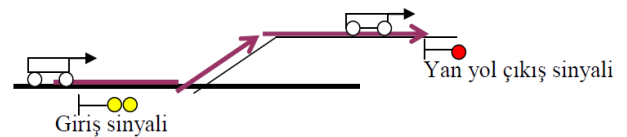
Şekil 10. Tekrarlama sinyali

Blok sinyal devreleri bir sinyalden diğerine ulaşabilmek ve bilgi gönderebilmek için birden fazla blok (ray devresi) kullanılabilir. Tren bloğa basınca röle kısa devre ediyor. Bu arada batarya bloğu besliyor. Blok sinyali kırmızıya dönüyor. Bloğu terk edinceye kadar sinyal kırmızı kalıyor şeklinde çalışır.

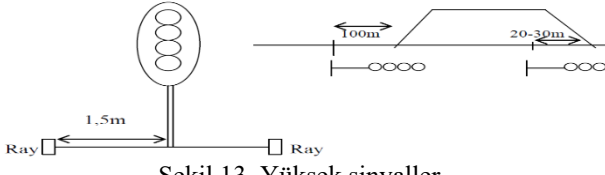


Şekil 11. Blok sinyal devreleri

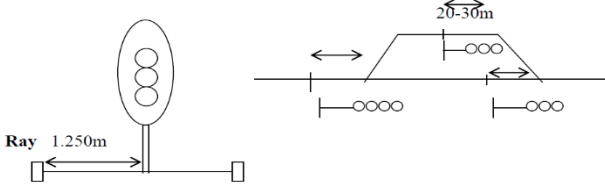
Giriş sinyali yeşil veya tek sarı ise tren ana hat çıkışına kadar gelir. Eğer sinyal kırmızı ise bekler.



Şekil 12. Giriş sinyali



Şekil 13. Yüksek sinyaller



Şekil 14. 3'lü cüce sinyali

Sinyalsiz yol yukarıda gösterildiği gibi hat boyunca montajı yapılacak sinyal cihazlarının yukarıdaki ölçülere göre yerleştirilmesi gerekir. Aksi hâlde tren hattın geçerken çarpabilir. Tesisata bağlı olmayan yol sonuna konulur. Yandaki tesisata bağlı olan yol sinyali yanar söner şeklinde yanarsa eğer yol bu hatta tanzimlidir anlamı taşımaktadır.

### III. ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YÖNTEMLERİ

Çok kriterli karar verme yöntemi karar verme sürecinde kriterlerin ve alternatifleri analitik bir değerlendirme süreci ile değerlendirilmesi ile karar vericilere çözüm sunmaktadır. Karar verme sürecini etkileyen birden fazla kararın ve birden fazla alternatifin bulunması halinde literatürde yaygın olarak kullanılan bir yöntemler bütünüdür. Kriterlerin değerlendirilmesinde kriterlerin birbirine üstünlüklerini hesaplamaya yönelik AHP ve ANP gibi çeşitli yöntemler vardır. Alternatiflerin değerlendirilmesinde ise alternatiflerin birbirine göre sıralamasını hesaplamaya yönelik olarak TOPSIS, PROMETHEE, ELECTRE, DEMATEL ve VIKOR gibi çeşitli yöntemler mevcuttur. Bu çalışmada problemin çözümü için AHP-PROMETHEE yöntemleri hibrit bir şekilde kullanılmıştır.

#### A. AHP Yöntemi

AHP Yaklaşımı, 1970'li yılların başlarında Thomas L. Saaty tarafından geliştirilen, belirli hiyerarşiye göre düzenlenen kriterleri içeren, bu

kriterlerin ağırlıklarını değerlendiren, kriterlere göre alternatifleri karşılaştıran ve sıralama yapılmasını sağlayan bir yaklaşımdır (Hu ve Peng, 2008: 1095). AHP, bir problemin çok kriterli öğelerinin öncelik durumunu bir hiyerarşi içerisinde belirlemeye ve temsil etmeyi sağlayan sistematik bir yaklaşımdır [14].

Aşama 1: Modelin Kurulması ve Problemin Formüle Edilmesi: AHP yaklaşımında karar sürecini etkileyen tüm nicel ve nitel faktörler anket çalışması veya bu konuda uzman kişilerin görüşlerine başvurularak belirlenmektedir. Sonrasında elde edilen bilgiler sonucunda amaç, kriterler, alt kriterler ve alternatifler belirlenerek hiyerarşik bir yapı oluşturulmaktadır.

Aşama 2: İkili Karşılaştırmalar Matrisinin Oluşturulması: Hiyerarşik yapı oluşturulduktan sonra Tablo 1'deki ikili karşılaştırmalar ölçeği kullanılarak veriler toplanmakta ve ikili karşılaştırmalar matrisi elde edilmektedir

Derecesi	Değer Tanımları	Açıklaması
1	Eşit önemli	Her iki faaliyet amaca eşit katkıda bulunur.
3	Orta önemli	Tecrübe ve değerlendirmeler sonucunda bir faaliyet diğerine göre biraz daha tercih edilir.
5	Güçlü önemli	Tecrübe ve değerlendirmeler sonucunda bir faaliyet diğerine göre çok daha tercih edilir.
7	Çok güçlü önemli	Bir faaliyet diğerine göre çok güçlü şekilde tercih edilir.
9	Son derece önemli	Bir faaliyet diğerine göre mümkün olan en yüksek derecede tercih edilir.
2,4,6,8	Ara değerler	Bir değerlendirmeyi yapmakta sözler yetersiz kalıyorsa, sayısal değerlerin ortasında bir değer verilir.

Aşama 3: Kriter Ağırlıklarının ve Alternatiflerin Skorlarının Belirlenmesi: İkili karşılaştırma matrisleri yardımıyla her karar alternatifinin ağırlığı hesaplanmaktadır. Bu doğrultuda, ikili karşılaştırma matrisindeki her bir sütun değeri, bulunduğu sütun toplamına bölünerek matris normalleştirilmektedir. Normalleştirilmiş matristeki her sütunun toplam değeri 1 olmaktadır. Son olarak satırda yer alan değerlerin ortalamaları bulunarak özvektörler elde edilmektedir

Aşama 4: Tutarlılık Oranının Hesaplanması: Tutarlılık oranını (CI) hesaplamak için aşağıdaki formüller kullanılabilir.

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

Formülde CI, Tutarlılık İndeksini,  $\lambda_{max}$  matristeki en büyük özvektörü, n ise her bir matrisin eleman sayısını göstermektedir.

Tutarlılık oranı (CR) ise tutarlılık indeksinin aynı boyuttaki matrise karşılık gelen rastgele indekse(RI) oranlanmasıyla elde edilir;

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

Aşağıda farklı büyüklükteki matrisler için oluşturulan rassal indeks tablosu verilmiştir.

Tablo 2. Rassallık Göstergesi Tablosu

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	1	1	1	1	1
R	0	0	0.	0.	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.
I			5	9	1	2	3	4	4	4	5	5	5	5	5
			8	0	2	4	2	1	5	9	1	3	6	7	9

Tutarlılık oranı 0,10 den küçük ise matrisin tutarlı yani karar vericilerin yargılarının tutarlı olduğu kabul edilir.

#### B. PROMETHEE Yöntemi

1982 yılında PROMETHEE yöntemi ile alternatiflerin sıralanması için kriterlerin yapılarına göre tercih fonksiyonları belirlenir. Tercih fonksiyonları belirlenirken kriterlerin nicel ve nitel olması gibi özellikleri dikkate alınarak altı farklı tercih fonksiyonundan uygun olanı seçilir. Bu tercih fonksiyonları olağan tip (birinci tip), U tipi (ikinci tip) V tipi (üçüncü tip), seviyeli (dördüncü tip), lineer (beşinci tip) ve Gaussian tipi (altıncı tip) fonksiyonlardır.

PROMETHEE yöntemi 7 adımdan oluşmaktadır [11].

**Adım1:** Veri matrisi oluşturmak için, kriterler, değerlendirme faktörü ve ağırlıklar belirlenir.

**Adım2:** Her bir kriter için tercih fonksiyonu belirlenir.

**Adım3:** Alternatifler için tercih fonksiyonları belirlenir.

**Adım4:** Alternatifler için tercih endeksi belirlenir.

**Adım5:** Pozitif ve negatif değerler alternatifler için belirlenir.

**Adım6:** Kısmi sıralama PROMETHEE 1 ile belirlenir.

**Adım7:** Tam sıralama PROMETHEE 2 ile tespit edilir.

#### IV. SİNYAL YERİ SEÇİM PROBLEMİNİN ÇÖZÜMÜ

B Çalışmada ele alınan problem bir gerçek hayat problemidir. Bir demiryolu güzergahında makinistler sinyalizasyon sistemlerinin konumlandırılması için yer seçimi yapmak istemektedir. Bu nedenle sinyalizasyon yerlerinin seçiminde etkili olan çeşitli kriterler bulunmaktadır. Sinyallerin makinistin görüş açısına uygun yerlere yerleştirilmesi, fren mesafesinin baz alınması, sonradan yapılaşma ve arazi şartları, mevsimsel etki kriterleri göz önünde bulundurulmalıdır. Sonradan yapılaşmada karayolu köprüleri, katener hattı direkleri gibi görüşe engel olacak oluşumlardan sonra gerekiyorsa eğer sinyal yerleri değiştirilmelidir. Rampaların yoğun olduğu bölgelerde trenlerin hızı azalacağı için sinyal sayısının artırılması peşinden gelen başka bir trenin beklemesini en aza indireceği için yolcu trenleri de yolcuların geç kalmasını engelleyecek yük trenlerinde yükün zamanında yerine ulaşmasını sağlayacak aynı zamanda tren personelinin verim alarak çalışması sağlanarak boş beklemlerin önüne geçilmiş olacaktır.

Tablo 4. Kriter açıklamaları

Kriterler	Açıklamaları
<b>Arazi yapısı</b>	Arazi yapısının dengesiz olduğu bölgelerde virajlı yollarda virajın sonuna konulan sinyal gözükmez bu yüzden tekrarlama sinyali kullanılır.
<b>Mevsim şartları</b>	Kış aylarında yağın kardan dolayı cüce sinyallerin görülmesi zorlaşmaktadır bu yüzden bu sinyallerin boyu uzatılmalıdır.
<b>Görüş mesafesi</b>	Tünellerin sonuna konulan sinyaller görüş mesafesi azaldığından görülmesi azalır.
<b>Yapılaşma şartları</b>	Zamanla tren raylarının etrafına kurulan binalar ileride ki sinyali görmemize engel olur.
<b>Maliyet</b>	İleride sinyal olduğunu bize belirten tekrarlama sinyalleri fazladan yapıldığı için ekstra bir maliyet oluşturur.

#### A. AHP Yöntemi ile Kriter Ağırlıklarının Hesaplanması

Kriter ağırlıklarının hesaplanması için bölüm 4.1'de açıklanan AHP yöntemi adımları sırasıyla uygulanmıştır. Kriter ağırlıklarının hesaplanmasında karşılaştırma matrisinin oluşturulması için üç farklı makinistten görüş alınmıştır. Uzmanlar hakkındaki bilgiler Tablo XX'de özetlenmektedir.

Tablo 5. Uzman bilgileri

Uzman No	Yaş	Eğitim Seviyesi	Deneyim Yılı
1	39	Lisans	12
2	37	Ön Lisans	5
3	45	Lisans	14

Uzmanlar beş farklı kriter için değerlendirme yapmışlardır. Bu değerlendirmelere ilişkin karşılaştırma matrisi Tablo 6'da sunulmaktadır.

Tablo 6. Uzmanların karşılaştırma matrisleri

Uzman	K1			K2			K3			K4			K5		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
K1	1	1	1	4	3	2	2	4	4	3	3	4	4	3	3
K2	4	0,20	1	1	1	5	4	3	3	2	5	4	3	3	
K3	3	0,14	0,14	0,20	0,25	0,17	1	1	1	5	3	2	5	5	
K4	5	0,25	0,20	0,33	0,50	0,20	0,33	0,20	1	1	1	3	4	3	
K5	0	0,33	0,17	0,25	0,33	0,33	0,20	0,20	0,33	0,17	0,33	1	1	1	

Tablo 6'da sunulan uzman değerlendirmeleri AHP yönteminde kullanılmak üzere geometrik ortalamaları alınmıştır. Böylelikle her uzmanın her bir kriter için yapmış olduğu değerlendirmeler tek bir sayıya indirgenmiştir. Sonuç olarak AHP yönteminde kullanılmak üzere elde edilen karşılaştırma matrisi Tablo 7'de yer almaktadır.

Tablo 7'de en alt satırda uzmanların değerlendirmelerinin tutarlılığına ilişkin sonuçlar yer almaktadır. CR değeri tutarlılık sonucunu göstermektedir.  $CR \leq 0,10$  olmalıdır. Elde edilen sonuç 0,07 değeri ile karşılaştırma matrisinin tutarlı olduğunu göstermektedir. Diğer taraftan tablonun son sütünü ise AHP yönteminin sonucunu göstermektedir. AHP yöntemine göre kriterler arasında önem düzeyi en yüksek kriter %41'lik önem düzeyi ile arazi yapısı kriteridir. Bu kriteri sırasıyla %25'lik önem düzeyi ile mevsim şartları, %17'lik önem düzeyi ile görüş mesafesi, %10'luk önem düzeyi ile yapılaşma şartları ve son olarak %6'lık önem düzeyi ile maliyet kriteri takip etmektedir.

Tablo 7: Karşılaştırma matrisi ve kriter ağırlıkları

Kriterler	Arazi Yapısı	Mevsim Şartları	Görüş Mesafesi	Yapılaşma Şartları	Maliyet	Ağırlıklar		
	Arazi Yapısı	1,00	2,88	3,17	3,30	3,30	0,410	
Mevsim Şartları	0,17	1,00	3,91	3,11	0	0,252		
Görüş Mesafesi	0,19	0,20	1,00	3,11	5,00	0,173		
Yapılaşma Şartları	0,23	0,32	0,24	1,00	3,30	0,105		
Maliyet	0,22	0,30	0,20	0,26	1,00	0,060		
<b>TOPLAM</b>	<b>1,81</b>	<b>4,71</b>	<b>8,53</b>	<b>10,78</b>	<b>15,91</b>	<b>1,00</b>		
<b>RI= 1,12</b>					<b>CI= 0,081</b>		<b>CR= 0,07</b>	

### B. PROMETHEE Yöntemi ile Alternatiflerin Sıralanması

PROMETHEE yöntemi ile sinyal yerleşim sisteminin öncelik değerleri hesaplanmıştır. İlk olarak 3 uzmanın görüşü alınarak veri matrisi oluşturulmuştur. Alınan görüşlerin geometrik ortalaması hesaplanarak ikili karşılaştırma matrisi oluşturulmuştur. AHP yöntemi ile elde edilen kriter ağırlıkları PROMETHEE yönteminin sıralama işleminde kullanılmıştır. PROMETHEE yöntemi uygulanmadan önce tercih fonksiyonları belirlemek için uzman görüşleri ve literatürde yapılan çalışmalardan faydalanılmıştır.

Tablo 8: PROMETHEE kriter ölçekleri

Kriter	Değerlendirme Açıklamaları
Arazi Yapısı	Arazi yapısı kriteri arazinin düzgün ve görüşe engel olmadığı bölgelerde iyi, arazinin dengesiz, dağlık ve virajlı olduğu bölgelerde orta, dağlık görüşe engel sonradan yapılaşma, tüneller bölgesi, dağlık ve ağaçlandırılmış alanlarda sinyalin geç gözükmeye ise kötü olarak 1- 5 skalasında seviyeli bir şekilde değerlendirilmiştir. değerlendirilmiştir.
Mevsim Şartları	Mevsim şartları kriteri kış şartlarının hafif geçtiği bölgelerde iyi yağışın normal seviyede olduğu sisli ve yağışlı gün sayısının az olduğu bölgelerde orta kar yağışının fazla ve sisli gün sayısının çok olduğu bölgelerde ise görüş mesafesinin azalması kötü olarak 1- 5 skalasında seviyeli bir şekilde değerlendirilmiştir. değerlendirilmiştir.
Görüş Mesafesi	Görüş mesafesi kriteri görüşün açık olduğu bölgelerde iyi görüşe engel olan sonradan yapılaşma tüneller bölgesinin az, dağlık arazinin orta seviyede olduğu yerlere orta,

	sonradan yapılaşma fazla ormanlık arazinin sık oluşu tüneller bölgesinin ve dağların görüşü kapattığı yerlerde fren mesafesi kısılacığı için kötü olarak 1- 5 skalasında seviyeli bir şekilde değerlendirilmiştir. değerlendirilmiştir.
Yapılaşma Şartları	Yapılaşma şartları kriteri bölgede yapılaşma yok ise iyi, sonradan yapılaşma başladı ise orta, sonradan yapılaşmanın yaygın olduğu ve sinyallerin görüşünün kısıtlandığı yerlerde ise kötü olarak 1- 5 skalasında seviyeli bir şekilde değerlendirilmiştir. değerlendirilmiştir.
Maliyet	Maliyet kriteri sinyal yeri belirlendikten sonra kurulum maliyeti az olan yerlere iyi, maliyetin orta seviyede olduğu yerlere kurulumda orta, kurulum maliyeti fazla olan ve tekrarlama sinyali gerekli olan yerlerde ise kötü olarak 1-5 skalasında linear olarak değerlendirilmiştir.

PROMETHEE uygulaması için Visual PROMETHEE paket programı kullanılmıştır. Programın veri giriş ekranı Şekil 15'te yer almaktadır. Problemin çözümü için veri matrisi paket programa girilmiştir. Her bir kriter için tercih fonksiyonları belirlenmiştir. Nitel yapıdaki kriterler için level nicel yapıdaki kriterler için linear tipi tercih fonksiyonu seçilmiştir.

Unit	Arazi Yapısı	Mevsim Şartları	Görüş Mesafesi	Yapılaşma Şa...	Maliyet
Cluster/Group	Nitel	Nitel	Nitel	Nitel	Nitel
Preferences					
Min/Max	min	min	max	min	min
Weight	0,41	0,25	0,17	0,10	0,06
Preference Fn.	Level	Level	Level	Level	Linear
Thresholds	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute
- Q: Indifference	1	5	5	1	1
- P: Preference	5	5	5	5	2
- S: Gaussian	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
Statistics					
Minimum	2	2	1	2	1500
Maximum	5	4	5	4	2300
Average	3	3	3	3	1824
Standard Dev.	1	1	1	1	215
Evaluations					
Alternatif 1	3	2	2	3	1500
Alternatif 2	2	2	1	4	1550
Alternatif 3	2	4	5	3	1600
Alternatif 4	4	3	3	4	1640
Alternatif 5	3	3	2	2	1680
Alternatif 6	2	3	3	3	1710
Alternatif 7	3	3	2	3	1720
Alternatif 8	2	2	3	2	1760
Alternatif 9	4	2	4	4	1790

PROMETHEE yöntemine göre elde edilen sonuçlar Şekil 19'da özetlenmektedir. Şekilde 19'da yer alan Phi+ (Pozitif üstünlük) değerleri ile Phi- (Negatif üstünlük) değerlerinin farkları alınarak Phi (Tam üstünlük) değerleri elde edilmektedir. PROMETHEE yöntemi sinyal yeri seçimi için öncelik sıralamaları elde edilmiştir. Bu sıralamalara göre Alternatif 3 olarak adlandırılan

nokta öncelikli sinyal konumlandırılması yapılacak yer olarak belirlenmiştir. Sinyal yerleri bütünüyle değerlendirilmiş olup öncelik sıralamaları elde edilmiştir. Bu öncelik değerleri dikkate alınarak sonraki çalışmalar için bir matematiksel model ile sinyallerin sayısı ve kapsayacağı alanlar dikkate alınarak bir planlama yapılabilir.

Rank	Car	Phi	Phi+	Phi-
1	Alternatif 3	0,1219	0,1294	0,0075
2	Alternatif 2	0,1163	0,1331	0,0169
3	Alternatif 8	0,1008	0,1270	0,0262
4	Alternatif 6	0,0994	0,1181	0,0187
5	Alternatif 1	0,0728	0,0728	0,0000
6	Alternatif 5	0,0592	0,0742	0,0150
7	Alternatif 14	0,0558	0,1045	0,0488
8	Alternatif 11	0,0488	0,0994	0,0506
9	Alternatif 7	0,0278	0,0503	0,0225
10	Alternatif 12	-0,0097	0,0316	0,0413
11	Alternatif 13	-0,0172	0,0278	0,0450
12	Alternatif 4	-0,0525	0,0488	0,1013
13	Alternatif 10	-0,0680	0,0427	0,1106
14	Alternatif 9	-0,0900	0,0300	0,1200
15	Alternatif 15	-0,1350	0,0075	0,1425
16	Alternatif 17	-0,1369	0,0000	0,1369
17	Alternatif 16	-0,1934	0,0037	0,1972

## V. SONUÇLAR

Demiryolu sinyalizasyon sistemleri hattın kullanılabilirliği ve sürdürülebilirliği açısından önem taşımaktadır. Konvansiyonel ve hızlı tren hatlarında taşımacılığın güvenli bir şekilde sağlanması için sinyalizasyon sistemleri makinistler için önemli sistemlerden birisidir. Sinyalizasyon sistemlerinin uygun yerlere konumlandırılması ile makinistler yolculuğu daha rahat bir şekilde yöneterek güvenli bir taşımacılık yapabilmektedir. Bununla birlikte trenlerin karşılıklı olarak birbirlerini denetleyebilmelerine bağlı olarak trafik emniyeti sağlanmaktadır.

Çalışmada söz konusu bu sinyalizasyon sistemlerinin uygun yerlere konumlandırılması ele alınmaktadır. Lalabel-Irmak güzergahı arasında bulunan istasyonlar arazi yapısı, mevsim şartları, görüş yapısı, yapılaşma şartları ve maliyet kriterleri dikkate alınarak değerlendirilmiştir. Çalışmada öncelikle AHP yöntemi ile bu kriterler değerlendirilmiştir. En önemli kriter olarak arazi yapısı belirlenmiştir. Alternatif noktaların belirlenmesi için PROMETHEE yöntemi ile sıralamalar elde edilmiştir. Sıralamalara göre öncelikli olarak sinyalizasyon sisteminin yerleştirileceği konum olarak Alternatif 3



belirlenmiştir. Elmadağ-kurbağalı arası istasyonunun sinyalizasyon yerleşiminin bu bölge için arazi yapısının nispeten düz olması, dağlık arazinin az oluşu, tüneller bölgesi olmayışı görüş mesafeni arttırması ve böylece uygun frenleme mesafesi için uygun zamanlamayı operatöre sunmaktadır. Sonradan yapılaşma başlangıcı olan bölgede karayolu bağlantı köprüleri ve hemzemin geçitler uygunluk göstermektedir. Kılıçlar istasyonu mevsime göre bazı görüş kısıtlanmalarına sebep olan meteorolojik faktörler (sis, yoğun kar yağışı vb.) Elmadağ istasyonu gibi dağlık ve yüksek rakımlı istasyonlara göre daha az olduğu için uygunluk göstermektedir. Sinyal yerleşim bölgesine ulaşımın kolay olması ve şehir merkezine yakınlığı kurulum maliyetini de düşürmektedir. Sinyallerin erken görüşe uygun konumlandırılması rampa çıkarken makinistin hızını ayarlaması bakımından önemlidir. Uygun sinyal yerleşimi ile bölgemiz rampa çıkış güzergâhında olduğu için trenlerin bekleme süresini en aza indirerek aynı hat üzerinde birden fazla demiryolu aracının seyrine izin verilmesini amaçlamaktadır. Böylece taşınan yük ya da yolcuların başlangıç noktasından varış noktasına en az tehikle ulaştırılması sağlamakla birlikte demiryolu trafiği rahatlatacak, boş bekleme süresini azaltarak hem personelin verimli çalışması sağlanacak hem de yakıt tasarrufu sağlanmış olacaktır.

## KAYNAKLAR

- [1] E. Yazıcı, S. İ. Üner, A. Demir, S. Dinler, and H. M. Alakaş, 'Evaluation of supply sustainability of vaccine alternatives with multi-criteria decision-making methods', *Int. J. Health Plann. Manage.*, 2022, doi: 10.1002/HPM.3481.
- [2] V. Petrova, 'Using the analytic hierarchy process for LMS selection', 2019, doi: 10.1145/3345252.3345297.
- [3] K. Kabassi and A. Martinis, 'Sensitivity Analysis of PROMETHEE II for the Evaluation of Environmental Websites', *Appl. Sci. 2021, Vol. 11, Page 9215*, vol. 11, no. 19, p. 9215, Oct. 2021, doi: 10.3390/AP11199215.
- [4] M. Yücel And A. Ulutaş, 'Çok Kriterli Karar Yöntemlerinden Electre Yöntemiyle Malatya'da Bir Kargo Firması İçin Yer Seçimi', *Sos. Ekon. Araştırmalar Derg.*, Vol. 9, No. 17, Pp. 327–344, Jun. 2009, Accessed: Jan. 28, 2023. Available: <https://Dergipark.Org.Tr/Tr/Pub/Susead/Issue/28418/302593>.
- [5] T. Erden And M. Zeki Coskun, 'Coğrafi Bilgi Sistemleri Ve Analitik Hiyerarşi Yöntemi Yardımıyla Determination Of Aseismic Deformation Of Marmara Region With Gps View Project', In *13. Türkiye Harita Bilimsel Ve Teknik Kurultayı*, Apr. 2011, Accessed: Jan. 28, 2023. Available: <https://www.researchgate.net/publication/260122821>.
- [6] H. İbrahim Çiçekdağı And Ş. Kırış, 'Afet İstasyonu Ve Toplanma Merkezi İçin Yer Seçimi Ve Bir Uygulama', *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilim. Enstitüsü Derg.*, No. 28, Pp. 67–76, 2012.
- [7] N. Y. Aydın, E. Kentel, and H. S. Duzgun, 'GIS-based site selection methodology for hybrid renewable energy systems: A case study from western Turkey', *Energy Convers. Manag.*, vol. 70, pp. 90–106, Jun. 2013, doi: 10.1016/J.ENCONMAN.2013.02.004.
- [8] Y. Wu *et al.*, 'Optimal location selection for offshore wind-PV-seawater pumped storage power plant using a hybrid MCDM approach: A two-stage framework', *Energy Convers. Manag.*, vol. 199, p. 112066, Nov. 2019, doi: 10.1016/J.ENCONMAN.2019.112066.
- [9] S. Yapıcı, R. Yumuşak, and T. Eren, 'Çok kriterli karar verme yöntemleri ile medikal depo yeri seçimi', *Trak. Üniversitesi İktidasi ve İdari Bilim. Fakültesi Derg.*, vol. 9, no. 2, pp. 203–221, 2020, Accessed: Feb. 03, 2023. [Online]. Available: <https://dergipark.org.tr/en/pub/trakyaiibf/issue/58472/746821>.
- [10] M. Ergün, S. Korucuk, And S. Memiş, 'Sürdürülebilir Afet Lojistiğine Yönelik İdeal Afet Depo Yeri Seçimi: Giresun İli Örneği', *Çanakkale Onsekiz Mart Univ. J. Grad. Sch. Nat. Appl. Sci.*, Vol. 6, No. 1, Pp. 144–165, May 2020, Doi: 10.28979/Comufbed.686301.
- [11] J.-P. Brans and Y. De Smet, 'PROMETHEE METHODS', in *Multiple criteria decision analysis*, New York: Springer, 2016, pp. 187–219.