

Ankara'da AHP ve PROMETHEE Yaklaşımıyla Monoray Hat Tipinin Belirlenmesi

Merve TAŞ¹ Şeyda Nur ÖZLEMİŞ² Mustafa HAMURCU³

Tamer EREN⁴

Özet

Çok kriterli karar verme yöntemleri, hemen hemen her alanda olduğu gibi kentsel ulaşım da kullanılmaktadır. Bu çalışma, kentsel ulaşım planlarında yer alan monoray ulaşım hattının kararıyla ilgilidir. Monoray, zeminden yükseltilmiş kolonlarla, kendi özel hattı boyunca hizmet veren kentsel bir toplu taşıma aracıdır. Bu ulaşım sisteminin kurulması tek hat tipi ve çift hat tipi olmak üzere ve yol güvenliği bakımından çeşitlilik göstermektedir. Bu çalışmada, Çok kriterli karar verme yöntemlerinden AHP ve PROMETHEE kullanılarak alternatif hat tipi seçenekleri arasından en uygun hat tipi seçimi yapılmıştır.

Anahtar kelimeler: Monoray, monoray hattı, Ankara, AHP, PROMETHEE

¹Lisans, ²Lisans, ³Araş.Gör., ⁴Doç.Dr.,

^{1,2,3,4}Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği,

E-mail: ¹mrv.tas.12@gmail.com, ²seydaozelemis@gmail.com,

³hamurcu.mustafa.55@gmail.com, ⁴tamereren@gmail.com

Abstract

Multicriteria decision making methods are used in urban transport such as in almost every area. This study is about the decision of line for monorail transport which takes place in urban transportation plans. The monorail is an urban public transport vehicle that services along its own private line on its elevated columns. The establishment of this transportation system is varied in terms of single road, double road and road safety. In this study, the most suitable line selection was made from between the alternative line options using AHP and PROMETHEE from multicriteria decision making methods.

Key words: Monorail, monorail route, Ankara, AHP, PROMETHEE

Giriş

Kentsel ulaşım problemi, makineleşmeyle artan otomobil talepleri ve karayolu yetersizliği ile birlikte kendini göstermeye başlamıştır. Artan yerleşkeler, nüfus ve iş alanlarıyla insan yaşamındaki ulaşım problemi karmaşık bir hal almıştır. Bu durum kentsel planlama faaliyetlerini takiben kentsel ulaşım planlaması faaliyetlerini de gerekli kılmıştır. Özel otomobil kullanımı ile artan trafik problemi toplu taşımayla aşılmaya çalışılmış ve bu noktada diğer ulaşım araçlarına kıyasla daha güvenilir, konforlu ve hızlı diyebileceğimiz çevreye duyarlı, metro, tramvay, monoray gibi ray sistemli ulaşım araçlarının kullanımı yaygınlaşmıştır.

Ray sistemli ulaşım araçlarından olan monoraylar, yüksek seviyeli kolonlara asılı bir şekilde inşa edilen üst yollardan giderler. Kullanılan ray yolu monoraya alttan ve üstten olmak üzere iki türlü inşa edilebilmektedir. Monorayların tek hat üzerinden ilerlemesi diğer raylı sistemlerden ve ulaşım araçlarından daha güvenli bir yolculuk sağlamaktadır. Ayrıca diğer alternatiflerden daha düşük inşaat ve bakım maliyetini gerektirmesi ve çevre dostu olması monorayları daha cazip hale getirmektedir. Günümüzde özellikle Japonya, Malezya, Avrupa, Rusya, Kore, Çin, Brezilya, Birleşik Arap Emirlikleri, Suudi Arabistan, Singapur, İran ve ABD’de ki birçok ülkede monoray sistemleri kullanılmaktadır. İnşası devam eden ya da planlanan birçok monoray projesi mevcuttur.

Ankara’da ulaşım özel otomobil ve taksi dışında minibüs, otobüs, servis araçları ve raylı sistemlerle sağlanmaktadır. Ulaşım talebi genel olarak kamu kurumlarına, eğitim kurumlarına, eğlence merkezlerine ya da iş merkezlerine olmaktadır. Ulaşımın günlük hayattaki işleri aksatmaması adına trafik sorunu yapılan ulaşım planlamaları ile çözülmeye çalışılmaktadır. Monorayların bu soruna çözüm olabileceği düşünülmektedir.

Monoray sistemi seçilen hat tipine göre tek ve çift yönlü olabilmektedir. Hat tipinin seçimi bölgesel güvenlik, arazi kullanımı ve ekonomik açıdan önem arz etmektedir. Bu çalışmada Ankara’da kurulacak

monoray sistemi için hat tipi belirlenmesi söz konusudur. Problemin çözümünde Çok kriterli karar verme yöntemlerinden Analitik Hiyerarşi Prosesi(AHP) ve Preference Ranking Organization Method For Enrichment Evaluations(PROMETHEE)'dan yararlanılacaktır. Çözüm önce AHP yöntemiyle gerçekleştirilecek daha sonra elde edilen ağırlıklar kullanılarak PROMETHEE ile de çözülecektir.

Çalışmanın birinci bölümde kentsel toplu ulaşım ve alt yapı projeleri incelenmiş, konu ile ilgili literatür çalışmalarına değinilmiştir. İkinci bölümde çok kriterli karar verme yöntemleri ele alınmış, AHP ve PROMETHEE yöntemleri uygulama alanlarıyla ilgili literatür ve yöntem adımlarından bahsedilmiştir. Üçüncü bölüm problem çözümüne ilişkin AHP ve PROMETHEE uygulamalarından ve son bölüm ise çalışmanın sonuç kısmından oluşmaktadır.

1. Kentsel Toplu Ulaşım ve Alt Yapı Projeleri Seçimi

Kentsel toplu ulaşım araçları yolcular açısından değerlendirilirken karar verme kriterlerinin başında seyahat süresi gelmektedir. Takiben bilet ücretleri, durak aralıkları, taşıt hızı ve iniş-biniş koşulları tercihleri üzerinde etkili olmaktadır. Akad ve Gedizlioğlu (2007) AHP yaklaşımıyla simülasyon destekli toplu taşıma türü seçimini otobüs yolu ve tramvay seçenekleri ile gerçekleştirmişlerdir. Debrezion vd. (2009), çalışmalarında demiryolu kullanıcılarının seçeneklerini modellerken, istasyona erişim, seyahat süresi, bekleme süresi, hat ağ ilişkisi, istasyonlar arası mesafe, tren hızları, hizmet kalitesi, park yerlerine yakınlık, bisiklet ve araç otopark kapasitesi, otoparklara yakınlık, posta kodu alanlarından erişilebilirlik, en sık seçilen istasyona olan uzaklık, toplu taşıma araçlarının sıklığı (araç/saat), toplu taşıma ulaşım süresini kullanmışlardır.

Ulaşım problemlerinde genellikle erişilebilirlik, nüfus, maliyet, arazi kullanımı, görsel etki ve kamulaştırma baz alınan kriterlerdendir. Hamurcu ve Eren'de (2016), Ankara'da monoray hattı için rota seçimini AHP ve TOPSİS yöntemleri ile gerçekleştirirken bu kriterlere yer vermişlerdir.

Ankara Büyükşehir Belediyesi'ndeki ulaştırma projelerinin seçimi için ANP ve 0-1 tam sayılı hedef programlama yöntemlerini kullanan Hamurcu vd. (2016), ulaşım altyapı geliştirme çalışmalarının kentsel sorunlara çözüm olabileceğini çevresel, sosyal ve ekonomik kriterleri kullanarak öne sürmektedirler.

Çok kriterli karar verme yöntemleriyle raylı sistem projelerinin sıralanması ve monoray teknolojisi seçimi, kentsel ulaşımında güzergâh belirleme için kullanılan kriterler üzerine literatür araştırması, monorayın Türkiye'de potansiyel uygulanabilirliği ve Türkiye'de kentsel toplu ulaşım için 'Land Airbus' önerisi üzerinde çalışan Hamurcu ve Eren (2015, 2016a,b,c), aynı zamanda Hamurcu vd. (2016) ile birlikte raylı sistem projelerinin seçimi üzerinde de çalışmışlardır.

Gencer vd. (2015), Ankara M1-metro hattı için talep tahmini, Gür vd. (2016) Ankara'da monoray projelerinin AHP ve hedef programlama ile seçimi ve Hamurcu ve Eren, (2015) çok kriterli karar verme yöntemi ile monoray güzergah seçimi çalışmalarında bulunmuşlardır.

Kentsel ulaşım araçlarına erişim kolaylığı, güzergah üzerindeki konut mülk değerlerine etki etmektedir. Bowes ve Ihlantfeldt (2001), demiryolu ulaşım istasyonlarının konut mülk değerlerine etkilerinin belirlenmesi üzerine yaptıkları çalışmalarında, bireysel parsel verilerini, nüfus yoğunluğu, satış tarih ve fiyatları ve istasyon çevresi boş konut yoğunluğu gibi kriterlerin üzerinde dururken, Hess ve Almeida (2007) ise konut mülklerinin demiryolu ulaşım istasyonlarına olan yakınlığın etkisini değerlendirmek adına istasyonlara erişilebilirlik, ekonomi, mimari ve çevre, istasyon çevresi emlak fiyatları, nüfus yoğunluğu, evlerin istasyona yakınlığı gibi faktörleri göz önünde bulundurmuşlardır.

Günümüzde artık sürdürülebilir ve çevre dostu ulaşım kaynaklarına yapılan yatırımlar üzerine, Awasthi vd. (2011), çok kriterli karar verme yaklaşımlarından Bulanık TOPSIS'le ulaşımın sürdürülebilirlik değerlendirmesi üzerinde çalışmışlardır.

Kenndy (2007), monoray teknolojisinin güvenlik avantajının yanı sıra, raylı sistemin bakım ve onarımı hususuna değinmiştir. Hajiani ve Marathe (2013) monorayların ulaşımda trafik güvenliğine ve tıkanıklığına düşük maliyetli, düşük enerji tüketimli ve düşük gürültüde çözüm olduğundan bahsetmişlerdir. Timan (2015), monoray sistemlerinde maliyet ve performansı optimize etmeye yönelik, Liu vd. (2014) monoray ulaşım sisteminin uygulanması ve geliştirilmesi üzerine bir çalışma ortaya koymuşlardır.

Saat ve Serrano (2015), yüksek hızlı demiryolu rota seçimini, Parekh vd. (2012), monoraya geçiş sistemine genel bakışı ele almıştır.

2. Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri

Optimizasyon problemlerinin genelinde kullanımı tercih edilen çok kriterli karar verme yöntemleri, temelde problem çözmeye odaklı, belirlenen kriterler ve alternatifler arasında karşılaştırma ve sıralamaya dayalı yöntemlerdir. Çalışmada kullanılmak üzere seçilen yöntemler; AHP ve PROMETHEE'dir.

2.1. Analitik Hiyerarşi Prosesi(AHP)

Çok kriterli karar verme yöntemlerinden Analitik Hiyerarşi Süreci(AHP) yöntemi, belirlenen alternatif ve kriterler arasında hiyerarşik bir yapı oluşturmaya çalışarak problemleri modeller. Çözümü istenen problemde ilk önce hedefe karar verilir. Bir sonraki aşamada kriter ve varsa alt kriterler çıkarılarak, problemin hiyerarşik yapısı oluşturulur.

Önem skalasına göre kriterler arası yapılan ikili karşılaştırmalar sonucu elde edilen matris b_{ij} ve w değerleri bulunarak normalize edilir. Normalize edilen verilerin tutarlılık kontrolü yapılarak sonuç kontrol edilir. CR değeri 0,10'dan küçükse tutarlı, büyükse tutarsız kabul edilir. Kullanılacak AHP yönteminin adımları Tablo 1'de gösterilmektedir.

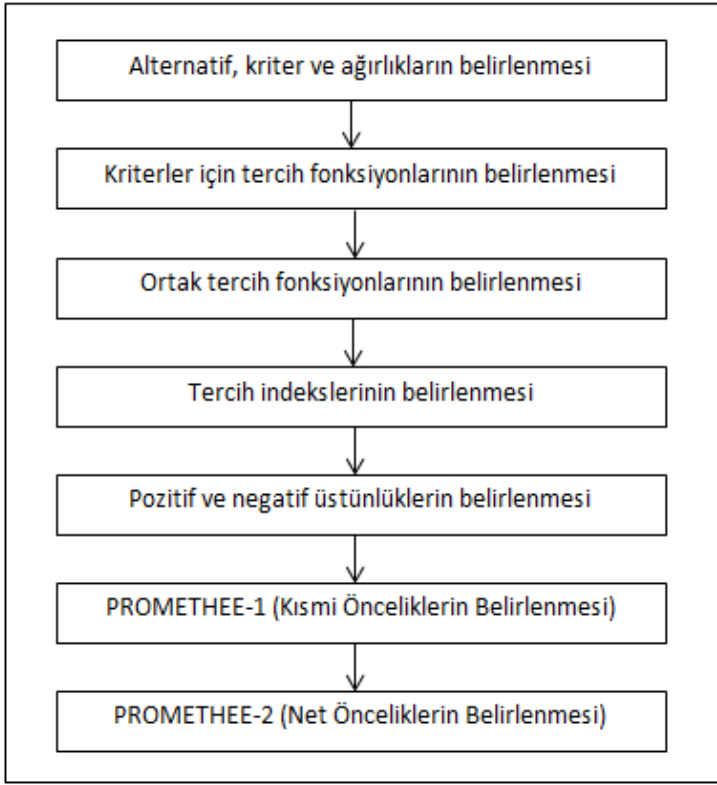
Tablo 1: AHP Adımları

Adım 1. Problemin belirlenmesi ile hedef, kriter ve alternatifler arasındaki hiyerarşi modeli kurulur.
Adım 2. Kriter ve alternatiflerin kendi aralarında ikili karşılaştırmaları yapılır.
$\begin{bmatrix} a_{11} & \dots & a_{1m} \\ \vdots & \dots & \vdots \\ a_{n1} & \dots & a_{nm} \end{bmatrix}$
Adım 3. Karşılaştırma sonuçları normalleştirilerek öz vektörler bulunur.
$b_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}}, w = \frac{\sum_{j=1}^n b_{ij}}{n}$
Adım 4. Ağırlıkların ve tutarlılık oranının bulunması ($CR > 0,10$ ise matris tutarsız kabul edilir.)
$CR = \frac{CI}{RI}$
Adım 5. Kriterlerin ağırlıkları ile her bir kriter için alternatiflerin ağırlıklarının matris çarpımının yapılması sonucu alternatiflerin ağırlıklarının bulunması ve sıralanması

Baek vd. (2005) yeni bir demiryolu istasyonu açma fizibilitesini değerlendirirken, Amin ve Mohajeri (2010) demiryolu istasyonu için en uygun yer seçimi sorununu çözerken, Saengkhaio ve Piantanakulchai (2003), Tayland'da alternatif otoyol hizalama vaka çalışmasında, Sivilevicius ve Maskeliunaite (2010), yolcuların demiryolu ulaşımı ile ilgili sorunlarının çözümüne ve ulaşım kalitesini yükseltmeye yönelik çalışmalarında AHP yaklaşımını kullanmışlardır. Wey (2015) en uygun metro istasyon alanı seçimini bulanık AHP kullanarak gerçekleştirmiştir.

2.2.PROMETHEE

Jean Pierre Brans (1982) tarafından geliştirilmiş Çok kriterli karar verme yöntemlerindedir. Yöntem daha sonra PROMETHEE-1 ve PROMETHEE-2 yöntemleri eklenerek geliştirilmiştir. Diğer karar yöntemlerinden her bir değerlendirme faktörünü kendi içinde incelemesiyle ayrılmaktadır. Öngörülen 6 farklı tercih fonksiyonlarından uygun bulunan fonksiyonlarla değerlendirme başlar. Yönteme ilişkin akış şeması Şekil 1'de verildiği gibidir.



Şekil 1. PROMETHEE Yöntem Akışı

PROMETHEE yöntemi 7 aşamadan oluşmaktadır:

1.Aşama: Karar noktaları ve değerlendirme faktörlerinin tanımlanıp değerlendirme faktörlerinin önem ağırlıklarının belirlendiği veri tablosu oluşturulur. Oluşturulacak veri tablosu örneği Tablo 2'deki gibidir.

Tablo 2: Veri Matrisi

		Değerlendirme Faktörleri				
		f_1	f_2	f_3	...	f_k
Karar Noktaları	A	$f_1(A)$	$f_2(A)$	$f_3(A)$...	$f_k(A)$
	B	$f_1(B)$	$f_2(B)$	$f_3(B)$...	$f_k(B)$
	C	$f_1(C)$	$f_2(C)$	$f_3(C)$...	$f_k(C)$

Ağırlıklar	w_i	w_1	w_2	w_3	...	w_k

2.Aşama: Kriterler için tercih fonksiyonları tanımlanır. Tercih fonksiyonları Tablo 3'te verilen fonksiyonlardan seçilmektedir.

Tablo 3: Tercih Fonksiyonları

	Fonksiyon	Parametre
Birinci Tip (Olağan)	$P(d) = \begin{cases} 0, & \forall x \leq 0 \\ 1, & \forall x \geq 0 \end{cases}$	---
İkinci Tip (U Tipi)	$P(d) = \begin{cases} 0, & x \leq l \\ 1, & x \geq l \end{cases}$	l
Üçüncü Tip (V Tipi)	$P(d) = \begin{cases} \frac{x}{m}, & x \leq m \\ 1, & x \geq m \end{cases}$	m
Dördüncü Tip (Seviyeli)	$P(d) = \begin{cases} 0, & x \leq q \\ \frac{1}{2}, & q < x \leq q + p \\ 1, & x > q + p \end{cases}$	q,p
Beşinci Tip (Doğrusal)	$P(d) = \begin{cases} 0, & x \leq s \\ \frac{(x-s)}{r}, & s < x \leq s+r \\ 1, & x > s+r \end{cases}$	s,r
Altıncı Tip (Gaussian)	$P(d) = \begin{cases} 0, & x \leq 0 \\ 1 - e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}}, & x > 0 \end{cases}$	σ

3.Aşama: Alternatifler için ortak tercih fonksiyonları eşitlik (1) ile belirlenir.

$$P(a, b) = \begin{cases} 0 & , f(a) \leq f(b) \\ P[f(a) - f(b)], & f(a) > f(b) \end{cases} \quad (1)$$

4.Aşama: Ortak tercih fonksiyonlarından hareketle alternatif çiftleri için tercih indeksleri eşitlik (2) ile hesaplanır.

$$\pi(a, b) = \frac{\sum_{i=1}^k w_i * P_i(a, b)}{\sum_{i=1}^k w_i} \quad (2)$$

5.Aşama: A alternatifi için pozitif ve negatif üstünlük eşitlik (3) ve (4) ile hesaplanır.

$$\Phi^+(a) = \frac{1}{n-1} \sum \pi(a, b) \quad (3)$$

$$\Phi^-(a) = \frac{1}{n-1} \sum \pi(b, a) \quad (4)$$

6.Aşama: PROMETHEE-1 ile alternatifler için kısmi öncelikler belirlenerek alternatiflerin birbirlerine göre tercih edilme durumlarının incelemesi yapılır. a ve b gibi iki alternatif için kısmi önceliklerin belirlenmesine ilişkin 3 durum söz konusudur.

1.durum: (5), (6) ve (7) da verilen koşullarda a alternatifi b alternatifine tercih edilir.

- $\Phi^+(a) > \Phi^+(b)$ ve $\Phi^-(a) < \Phi^-(b)$ (5)
- $\Phi^+(a) > \Phi^+(b)$ ve $\Phi^-(a) = \Phi^-(b)$ (6)
- $\Phi^+(a) = \Phi^+(b)$ ve $\Phi^-(a) < \Phi^-(b)$ (7)

2.durum: Koşul (8) sağlanıyorsa, a alternatifi ile b alternatifi farksızdır.

- $\Phi^+(a) = \Phi^+(b)$ ve $\Phi^-(a) = \Phi^-(b)$ (8)

3.durum: Koşul (9) ve (10) dan herhangi biri sağlanıyorsa, a alternatifi b alternatifi ile karşılaştırılmaz.

- $\Phi^+(a) > \Phi^+(b)$ ve $\Phi^-(a) > \Phi^-(b)$ (9)
- $\Phi^+(a) < \Phi^+(b)$ ve $\Phi^-(a) < \Phi^-(b)$ (10)

7.Aşama: PROMETHEE-2'de eşitlik (11) ile alternatiflerin tam öncelikleri belirlenir.

- $\Phi(a) = \Phi^+(a) - \Phi^-(a)$ (11)

Eğer;

$\Phi(a) > \Phi(b)$ ise, a alternatifi daha üstündür,

$\Phi(a) = \Phi(b)$ ise, a ve b alternatifi farksızdır.

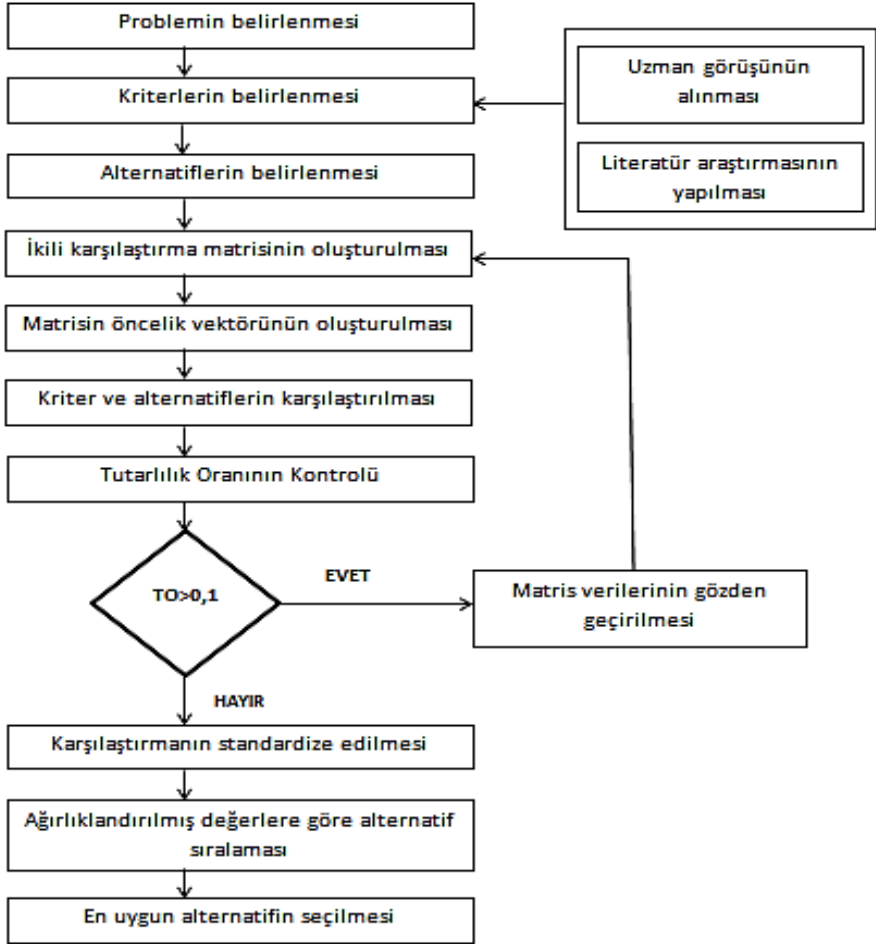
PROMETHEE, literatürde çok farklı alanlarda kullanılmaktadır. Albadvi vd. (2007) hisse senedi alım ve satımında, Dağdeviren ve Eraslan (2008) tedarikçi seçiminde, Özgüven (2012) internet alışveriş sitelerinin değerlendirilmesinde, Ulucan ve Atıcı (2009) enerji projelerinin seçiminde, Kücü (2007) personel seçiminde, Çelik ve Ustasüleyman (2014) Türkiye'deki 3 GSM operatörü için hizmet kalite performansı değerlendirmesinde, Soba (2012) otomobil seçimi yaparken, Bedir ve Eren (2015) perakende sektöründe personel seçiminde, Özder vd. (2016) Kırıkkale Üniversitesi Endüstri Mühendisliği bölümünde yüksek lisans öğrencileri için ders seçimi yaparken, Taşkın ve Eren (2016) UEFA Şampiyonlar Ligi 2014-2015 sezonunda gol sıralamasında ilk 6 sırada yer alan futbolcuların performans değerlendirmesini yaparken çok kriterli karar verme yönteminden yararlanmışlardır.

3. Uygulama

3.1.AHP Çözümü

Ankara'da kurulacak monoray hattı için hat tipi seçimi problemi, belirlenen kriter ve alternatifler doğrultusunda AHP yaklaşımı ile çözülmüştür.

Uzman görüşü ve literatür taraması sonucu kriter ve alternatifler belirlenmiş, belirlenen 6 kriter ve 3 alternatif ikili karşılaştırmalar sonucu ağırlıklandırılmıştır. Elde edilen değerlerin tutarlılık analizi yapılarak ağırlıklandırılan alternatifler sıralanmış ve en uygun alternatif seçilmiştir. Çalışmada izlenen metodoloji sıralaması Şekil 2'de verildiği gibidir.



Şekil 2. Çalışma Metodolojisi

3.1.1. Alternatiflerin belirlenmesi

Çalışmada değerlendirilmek üzere Şekil 3'teki çift ve tek yön bindirme tipi ile tek yön asma tipi kullanılacaktır. Bindirme tipi sistemler, asma tipi sistemlere göre görsel imaj açısından daha fazla uyum göstermektedir. Çünkü askı tipi sistemler, altlarından geçen motorlu taşıtlar sebebiyle kamufraj ve daha yüksekte kurulum gerektirmektedir. Bindirme tipi sistemlerde ulaşım beton veya çelik hat yolu üzerinden lastik tekerleklerle yapılırken asma tipinde kamufle edilen bojilerle

gerçekleşmektedir. Bojilere elektrik akışı kiriş içindeki üçüncü ray yardımıyla sağlanır. Bojilerin hava şartlarından etkilenmemesi için kutu kesitli kirişler kullanılır.



a

b



c

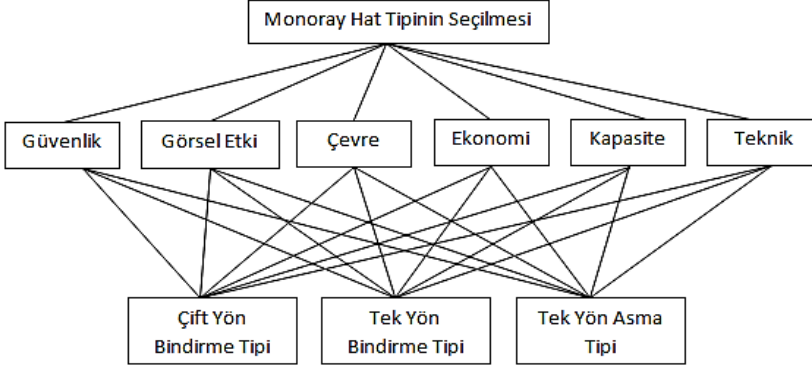
Şekil 3. Hat Tipleri: a) Çift Yön Hat Tipi, b) Tek Yön Hat Tipi ve c) Tek Yön Askı Tipi

Hat ağ yapısı, hattın tek-çift yön olma durumundan etkilenmektedir. Güvenilir bir ulaşım için hat yön tipi de oldukça önemlidir. Hattın tek ve çift yön olma durumunda kullanılacak hat ağ yapısı olası çarpışma ve kazalara olanak vermeyecek şekilde tasarlanmalıdır. Hat tipi seçiminde, güzergah üzerinde kullanılacak alan ile maliyet kısıtları da etkin rol oynamaktadır.

3.1.2. Kriterlerin belirlenmesi

Hat tipi seçiminde, seçimi etkileyecek kriterler mevcuttur. Bu kriterlerin etki alanlarını incelediğimizde kriterlerin kurulum kaynaklı, çevresel kaynaklı, kapasite ve teknik açılarından farklılıklar gösterip görsel

olarak birbirlerinden ayrıldıklarını görebiliriz. AHP yönteminde kullanılacak hiyerarşi Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 4. Problem Hiyerarşisi

Monoray hat tipi seçimine yönelik belirlenen kriterler ve kriterlerin problemde kullanım kapsamaları Tablo 4'te gösterildiği gibidir.

Tablo 4: Kriter Kapsamları

Kriterler	Kriterlerin Kapsamları
Güvenlik	Ray sistemli ulaşım aracının kullanımından kaynaklanan kazaları, sistemin kurulum aşamasında alınması gereken güvenlik önlemlerini, seyahat süresi boyunca yolcuların güvenliğinin ve yaya güvenliğinin sağlanmasını ve kaza risklerinin azaltılmasını kapsamaktadır.
Görsel etki	Çevre ile görsel uyumluluk ile kent imajına etki alanını kapsamaktadır.
Ekonomi	Ray sistemli ulaşım aracının kurulum, bakım-onarım, yatırım ve arazi maliyetleri gibi ekonomik alanları kapsamaktadır.
Çevre	Enerji ve yakıt kullanımı, gürültü ve kirlilik oluşturma durumu, doğal kaynakların kullanımını kapsamaktadır.
Kapasite	Ray sistemli ulaşım hattının çevresindeki nüfus yoğunluğuna bağlı olarak değişen ulaşım talebini ele alır.
Teknik	Kullanılacak raylı araçların teknik donanım yönünden farklılıklarını içeren durumları ele alır. Hat tipine göre değişen raylı araç tiplerini ele alır.

3.1.3. AHP ile kriter ağırlıklarının belirlenmesi

Belirlenen kriterlerin her biri, ayrı ayrı belirlenen alternatiflerle karşılaştırılmış ve kriterlerin öz vektörleri bulunmuştur. Öz vektör ve karşılaştırma matrisinin matris çarpımı ile CI değerleri bulunarak elde

edilen değerlerle CR değeri bulunarak tutarlılık oranları hesaplanmıştır. AHP ile kriter ağırlığı belirleme aşamasına ilişkin kriter karşılaştırmaları Tablo 5'te verilmektedir.

Tablo 5: Kriterlerin Karşılaştırma Matrisi

	Güvenlik	Görsel etki	Ekonomi	Çevre	Kapasite	Teknik
Güvenlik	1,000000	5,000000	0,333334	7,000000	3,000000	2,000000
Görsel etki	0,200000	1,000000	0,200000	2,000000	0,333334	0,200000
Ekonomi	3,000000	5,000000	1,000000	3,000000	3,000000	0,500000
Çevre	0,142857	0,500000	0,333334	1,000000	0,333334	0,200000
Kapasite	0,330000	3,000000	0,333334	3,000000	1,000000	0,500000
Teknik	0,500000	5,000000	2,000000	5,000000	2,000000	1,000000
Toplam	5,176190	19,500000	4,200000	21,000000	9,666667	4,400000

Kriter karşılaştırmasında güvenlik kriterinin önem derecesi görsel etki, çevre, kapasite ve teknik kriterlerinden üstün tutulmuş, ekonomi kriteri güvenliğe göre az üstün derecelendirilerek seçimin ekonomik yönüne vurgu yapılmak istenmiştir. Teknik kriteri görsel etki ve çevre kriterlerinden kuvvetli derecede üstün ağırlıklandırılmış, kapasite yönünden ise görsel etki ve çevre kriterlerinden az üstünlük diğer kriterlerle ise az önemde düşük derecelendirme yapılmıştır. Teknik yönün kapasiteye ve ekonomiye, görsel etkinin çevreye, güvenliğin teknik yöne düşük önemde üstün olduğu varsayılarak derecelendirme yapılmıştır.

Tablo 6: Karşılaştırma Matrisinin Normalize Edilmesi

	Güvenlik	Görsel Etki	Ekonomi	Çevre	Kapasite	Teknik	Satır Ort.
Güvenlik	0,1932	0,2564	0,0794	0,3333	0,3103	0,4545	0,2711
Görsel Etki	0,0386	0,0513	0,0476	0,0952	0,0345	0,0455	0,0521
Ekonomi	0,5796	0,2564	0,2381	0,1429	0,3103	0,1136	0,2734
Çevre	0,0276	0,02564	0,0794	0,0476	0,0345	0,0455	0,0433
Kapasite	0,0644	0,1539	0,0794	0,1429	0,1034	0,1136	0,1095
Teknik	0,0966	0,2564	0,4761	0,2381	0,2069	0,2273	0,2502
Toplam	1	1	1	1	1	1	1

Karşılaştırma matrisinin normalize edilmesiyle kriter ağırlıkları Tablo 6'daki gibi bulunmuştur.

Hesaplanan kriter ağırlıkları ve tutarlılık analizi değerleri Tablo 7’de verilmektedir.

Tablo 7: Kriter Ağırlıkları Ve Tutarlılıkları

Kriterler	Alternatif Hat Tipleri	Kriter Öz Vektörleri	CI	CR	Tutarlılık
Güvenlik	Çift Yön Tipi	0,10616	0,31966	3,01120	0,03337
	Tek Yön Tipi	0,63335	1,94562	3,07197	
	Asma Tipi	0,26050	0,79008	3,03297	
Görsel Etki	Çift Yön Tipi	0,26050	0,79008	3,03297	0,03337
	Tek Yön Tipi	0,10616	0,31966	3,01120	
	Asma Tipi	0,63335	1,94562	3,07197	
Ekonomi	Çift Yön Tipi	0,72351	2,27259	3,14108	0,05674
	Tek Yön Tipi	0,08331	0,25106	3,01366	
	Asma Tipi	0,19319	0,58781	3,04272	
Çevre	Çift Yön Tipi	0,30915	0,92854	5,88563	0,05737
	Tek Yön Tipi	0,10959	0,32889	1,76112	
	Asma Tipi	0,58126	1,74749	2,66595	
Kapasite	Çift Yön Tipi	0,20000	0,60000	2,38235	0,05931
	Tek Yön Tipi	0,20000	0,60000	3,76744	
	Asma Tipi	0,60000	1,80000	3,05660	
Teknik	Çift Yön Tipi	0,25185	0,76667	3,04412	0,04647
	Tek Yön Tipi	0,15926	0,48148	3,02326	
	Asma Tipi	0,58889	1,82222	3,09434	

Alternatifler kriterlere göre değerlendirilirken tek yön bindirme tipinin çift yön bindirme tipine göre daha güvenli, asma tipinin çift yön bindirme tipine göre daha güvenli olduğu kabul edilmiştir. Görsel etki bakımından tek yön asma tipinin derecesi çift ve tek yön hat tipinden daha kuvvetli, çift yön hat tipi de tek yön hat tipinden daha kuvvetli kabul edilmiştir. Ekonomik yönden en maliyetli hat tipi çift yön bindirme tipi, daha sonra tek yön asma tipi ve en ekonomik hat tipi ise tek yön bindirme tipidir. Teknik yönden tek yön asma tipi diğer hat tiplerinden daha önemli, çift yön bindirme tipi, tek yön bindirme tipinden oldukça daha az önemlidir. Kapasite açısından çift yön ve tek yön bindirme tipine eşit önem, asma tipine daha fazla önem verilmiştir. Kriterlerin alternatiflere göre karşılaştırılmasına ilişkin veriler Tablo 8’de verilmiştir.

Tablo 8: Kriterlerin Alternatiflere Göre Karşılaştırılması

Kriterlere Göre Alternatifler	Alternatiflerin Karşılaştırması			Alternatiflerin Normalize Edilmesi			
	Çift Yön	Tek Yön	Asma	Çift Yön	Tek Yön	Asma	Ortalama
Görsel Etki							
Çift Yön	1,000000	3,0000	0,3334	0,230769	0,3333	0,2174	0,260498
Tek Yön	0,333334	1,0000	0,2000	0,076923	0,1111	0,1304	0,106156
Asma	3,000000	5,0000	1,0000	0,692308	0,5556	0,6522	0,633346
Toplam	4,333334	9,0000	1,5334	1,000000	1,0000	1,0000	1,000000
Güvenlik							
Çift Yön	1,000000	0,2000	0,3334	0,111112	0,1304	0,0769	0,106156
Tek Yön	5,000000	3,0000	3,0000	0,555556	0,6522	0,6923	0,633346
Asma	3,000000	0,3334	1,0000	0,333334	0,2174	0,2308	0,260498
Toplam	9,000000	1,5334	4,3334	1,000000	1,0000	1,0000	1,000000
Ekonomi							
Çift Yön	1,000000	7,0000	5,0000	0,744681	0,6364	0,7895	0,723506
Tek Yön	0,142857	1,0000	0,3334	0,106383	0,0910	0,0526	0,083308
Asma	0,200000	3,0000	1,0000	0,148936	0,2728	0,1579	0,193186
Toplam	1,342857	11,0000	6,3334	1,000000	1,0000	1,0000	1,000000
Çevre							
Çift Yön	1,000000	3,0000	0,5000	0,300000	0,3334	0,2941	0,30915
Tek Yön	0,333334	1,0000	0,2000	0,100000	0,1111	0,1176	0,109586
Asma	2,000000	5,0000	1,0000	0,600000	0,5556	0,5882	0,581264
Toplam	3,333334	9,0000	1,7000	1,000000	1,0000	1,0000	1,000000
Kapasite							
Çift Yön	1,000000	1,0000	0,3333	0,200000	0,2000	0,2000	0,200000
Tek Yön	1,000000	1,0000	0,3333	0,200000	0,2000	0,2000	0,200000
Asma	3,000000	3,0000	1,0000	0,600000	0,6000	0,6000	0,600000
Toplam	5,000000	5,0000	1,6667	1,000000	1,0000	1,0000	1,000000
Teknik							
Çift Yön	1,000000	2,0000	0,3333	0,222222	0,3333	0,2000	0,251852
Tek Yön	0,500000	1,0000	0,3333	0,111111	0,1667	0,2000	0,159259
Asma	3,000000	3,0000	1,0000	0,666667	0,5000	0,6000	0,588889
Toplam	4,500000	6,0000	1,6667	1,000000	1,0000	1,0000	1,000000

Yapılan karşılaştırmalar ve hesaplamalar sonucunda Tablo 9'daki alternatif ağırlıkları bulunmuştur.

Tablo 9: Alternatif Ağırlıkları

	Hat Tipleri	Alternatiflerin Ağırlıkları	Yüzde(%) Oran	Sıralama
	Çift Yön Tipi	0,333954	33,4	2
Alternatifler	Tek Yön Tipi	0,265150	26,5	3
	Asma Yön Tipi	0,400895	40,1	1

Alternatif ağırlıklarını büyükten küçüğe sıraladığımızda alternatif sıralaması; tek yön asma tipi, çift yön bindirme tipi ve tek yön bindirme tipi şeklindedir. En iyi alternatif tek yön asma tipi ve sıralama sonundaki alternatif tek yön bindirme tipi olarak bulunmuştur.

3.2.PROMETHEE Yöntemi Çözümü

AHP yönteminden elde edilen ağırlık ve karşılaştırmalar Visual PROMETHEE programında kullanılarak çözüm gerçekleştirilmiştir. Programda kriterlerin tercih fonksiyonları güvenlik, ekonomi ve kapasite kriterlerinde U tipi, diğer kriterlerde olağan tip tercih fonksiyonu olarak seçilmiştir. U tipinde alt sınır 3 olarak belirlenmiştir. Çözüme ilişkin veriler Şekil 5'de verildiği gibidir.

File Edit Model Control PROMETHEE-GAIA GDSS GIS Custom Assistants Snapshots Options Help

	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Scenario1	güvenlik	görsel etki	çevre	ekonomi	kapasite	teknik
Unit	unit	unit	unit	unit	unit	unit
Cluster/Group	◆	◆	◆	◆	◆	◆
Preferences						
Min/Max	max	max	max	max	max	max
Weight	0,27	0,05	0,27	0,04	0,11	0,25
Preference Fn.	U-shape	Usual	Usual	U-shape	U-shape	Usual
Thresholds	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute
- Q: Indifference	3,00	n/a	n/a	3,00	3,00	n/a
- P: Preference	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
- S: Gaussian	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
Statistics						
Minimum	2,00	2,00	1,00	1,00	3,00	1,00
Maximum	5,00	5,00	5,00	5,00	6,00	5,00
Average	3,33	3,33	2,67	3,00	4,00	2,67
Standard Dev.	1,25	1,25	1,70	1,63	1,41	1,70
Evaluations						
<input checked="" type="checkbox"/> tek yön bindirme ...	5,00	2,00	1,00	1,00	3,00	1,00
<input checked="" type="checkbox"/> gift yön bindirme ...	3,00	3,00	5,00	3,00	3,00	2,00
<input checked="" type="checkbox"/> tek yön asma tipi	2,00	5,00	2,00	5,00	6,00	5,00

a

PROMETHEE Flow Table

Rank	action	Phi	Phi+	Phi-
1	gift yön bindirme tipi	0,2187	0,5819	0,3633
2	tek yön asma tipi	0,1841	0,5921	0,4079
3	tek yön bindirme tipi	-0,4028	0,2712	0,6740

b

Şekil 5. a) PROMETHEE Veri Girişi, b) PROMETHEE Sıralaması

	Tek Yön Asma Tipi		Çift Yön Bindirme Tipi		Tek Yön Bindirme Tipi		
Φ^+	0,4608	→	Φ^+	0,4247	→	Φ^+	0,0000
Φ^-	0,1367		Φ^-	0,1512		Φ^-	0,5975

Şekil 6. Kısmi Sıralama

Şekil 5 ve Şekil 6 birlikte değerlendirilecek olursa tek yön asma tipi, çift yön bindirme tipine göre, çift yön bindirme tipi, tek yön bindirme tipine göre daha üstündür. Kısmi öncelikler incelendiği zaman tek yön asma tipinin Φ^+ değerinin çift ve tek yön bindirme tiplerinden daha iyi olduğu, çift yön bindirme tipinin ise tek yön bindirme tipinden daha iyi olduğu görülmektedir. Yine aynı şekilde tek yön asma tipinde Φ^- değerinin daha iyi sonuç verdiği görülmektedir. En iyi alternatif tek yön asma tipi, ardından çift yön bindirme tipi ve en son tek yön bindirme tipidir. PROMETHEE’de bulunan sonuçlar AHP’de bulunan sonuçlarla uyusmaktadır.

Sonuç

Ankara’da artan ulaşım taleplerine bağlı olarak ulaşım kaynaklarının planlanması ve artırılmasına yönelik çalışmalarda da artış görülmektedir. Monoray kullanımının, daha güvenli, çevre dostu ve düşük maliyetli olması, alternatiflere göre tercih edilmesini sağlamaktadır. Ülkemizde kullanımının artırılmasına yönelik devam eden ihaleler mevcuttur. Bu kapsamda Ankara’da Mamak ve Dikmen’e, Etlik ve Bilkent’e yapılması planlanan yapı-şlet-devret modeli monoray yapımı düşünülmektedir.

Monoray hat tipinin belirlenmesi problemi monoray kullanım ve yapımına karar verildikten sonra karşımıza çıkarmaktadır. Problemden güvenlik, görsel etki, ekonomi, çevre, kapasite ve teknik kriterleri ile, çift yön bindirme tipi, tek yön bindirme tipi ve tek yön asma tipi hat modelleri alternatifleri kullanılmıştır. Problem AHP ve PROMETHEE yaklaşımı ile

incelenmiştir. Hat tipi seçiminde kullanılacak alternatiflerden en iyi seçimin tek yön asma tipi modeli olduğuna karar verilmiştir.

Ray sistemli ve monoray kullanımı seçim problemlerinde, hat tipi seçimi problemlerinde, istasyon yer seçimi problemlerinde, alternatif güzergah belirleme ve istasyon seçimi problemlerinde çok kriterli karar verme yöntemleri kullanılabilir.

Kaynakça

Akad, M., Gedizlioğlu, E., (2007), " Toplu Taşıma Türü Seçiminde Simülasyon Destekli Analitik Hiyerarşi Yaklaşımı", İTÜ dergisi, 6(1), s. 88-98.

Albadvi, A., Chaharsooghi, S.K., Esfahanipour, A., (2007), "Decision Making in Stock Trading: An Application of PROMETHEE", European Journal of Operational Research, 177, s. 673-683.

Atıcı, K., B., ve Ulucan, A., (2009), "Enerji Projelerinin Değerlendirilmesi Sürecinde Çok Kriterli Karar Verme Yaklaşımları ve Türkiye Uygulamaları", Hacettepe Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 27(1), s. 161-186.

Awasthi, A., Chauhan, S., S., Omrani, H., (2011), "Application Of Fuzzy TOPSIS In Evaluating Sustainable Transportation Systems", Expert Systems with Applications, 38, s. 12270-12280.

Baek, J., H., Song, K., H., vd., (2005), "Development Of The Feasibility Evaluation Model For Adding New Railroad Station Using AHP Technique", Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, 6, s. 292-302.

Bedir, N., Eren T., (2015), "AHP-PROMETHEE Yöntemleri Entegrasyonu ile Personel Seçim Problemi: Perakende Sektöründe Bir Uygulama", Social Sciences Research Journal, 4(4), s. 46-58.

Bowes, D., R., Ihlanfeldt, K., R., (2001), "Identifying the Impacts of Rail Transit Stations on Residential Property Values".

Brans, J. B., Mareschal, B., Vincke, P., (1984), "PROMETHEE: a new family of outranking methods in multicriteria analysis" Operational Research, IFORS 84, s.477-490.

Çelik, P., Ustasüleyman, T., (2014), "Electre I Ve Promethee Yöntemleri İle Gsm Operatörlerinin Hizmet Kalitesinin Değerlendirilmesi", International Journal of Economic and Administrative Studies, 12, s. 137-160.

Çubuk, M.K., Türkmen, M., (2003), "Ankara'da Raylı Ulaşım", Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 18(1), s.125-144.

Dağdeviren, M., Erarslan, E., (2008), "PROMETHEE Sıralama Yöntemi ile Tedarikçi Seçimi", Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 23 (1), s. 69-75.

Debrezion, G., Pels, E., Rietveld, P., (2009), "Modelling the joint access mode and railway station choice".

Gencer, M.A., Hamurcu, M., Eren, T., (2015), "Ankara M1- Metro Hattı İçin Talep Tahmini", Transist 8. Uluslararası Ulaşım Teknolojileri Sempozyumu ve Fuarı, 17-19 Aralık, İstanbul.

Gür Ş., Hamurcu M., Eren T., (2016), "Ankara'da Monoray Projelerinin Analitik Hiyerarşi Prosesi Ve 0-1 Hedef Programlama İle Seçimi", Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, (Basımda).

Hamurcu, M., Eren, T., (2015), "Monoray ve Türkiye'de Potansiyel Uygulanabilirliği", Transist 8. Uluslararası Ulaşım Teknolojileri Sempozyumu ve Fuarı, 17-19 Aralık, İstanbul.

Hamurcu, M., Eren, T., (2015), "Ankara Büyükşehir Belediyesi'nde Çok Kriterli Karar Verme Yöntemi İle Monoray Güzergâh Seçimi". Transist 8. Uluslararası Ulaşım Teknolojileri Sempozyumu ve Fuarı Bildiri Özetleri Kitabı, s. 401-409.

Hamurcu, M., Eren, T., (2016), "A Multicriteria Decision-Making For Monorail Route Selection In Ankara", International Journal of Industrial Electronics and Electrical Engineering, 4(5), s. 121-125.

Hamurcu M., Gür Ş., Özder E.H., Eren T., (2016), "A Multicriteria Decision Making For Monorail Projects with Analytic Network Process and 0-1 Goal Programming.". International Journal Of Advances In Electronics And Computer Science (IJAECs), 3(7), s. 8-12.

Hamurcu, M., Eren, T., (2016a), "Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleriyle Raylı Sistem Projelerinin Sıralanması", 3rd International Symposium on Railway Systems Engineering (ISERSE'2016), 13-15 Ekim, Karabük, Türkiye.

Hamurcu, M., Eren. T., (2016b), "Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri Kullanılarak Monoray Teknolojisi Seçimi" Transist 9. Uluslararası Ulaşım Teknolojileri Sempozyumu ve Fuarı, 1-3 Aralık, İstanbul.

Hamurcu, M., Eren. T., (2016c), "Kentsel Ulaşımında Güzergâh Belirleme İçin Kullanılan Kriterler: Literatür Araştırması" Transist 9. Uluslararası Ulaşım Teknolojileri Sempozyumu ve Fuarı, 1-3 Aralık, İstanbul.

Hamurcu, M., Alağaç, H.M. ve Eren. T., (2016), "Raylı Sistem Projelerinin Seçiminde Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerinin Kullanımı" Transist 9. Uluslararası Ulaşım Teknolojileri Sempozyumu ve Fuarı, 1-3 Aralık, İstanbul.

Hess, B., D., Almeida, T., M., (2007), "Impact of Proximity to Light Rail Rapid Transit on Station-area Property Values in Buffalo, New York".

Kennedy, R.R., (2007), "Considering monorail rapid transit for north American cities", The Monorail Society, 41, s. 2-43.

Kücü, H., (2007), "Promethee Sıralama Yöntemi İle Personel Seçimi Ve Bir İşletmede Uygulanması", Department of Industrial Engineering, Gazi University.

Liu, X., Sun, H. ve Lui, F., (2014), "Study on the Application and Development of Monorail Transit System", International Journal of Engineering Research and Technology, 3(5), s. 213-216.

Marathe, R., Hajiani, N. D., (2013), "A Review of Research on Monorail as an Alternative Mass Rapid Transit System", International Journal of Science and Research (IJSR), 4(2), s. 275-277.

Mohajeri, N., Amin, G., R., (2010), "Railway station site selection using analytical hierarchy process and data envelopment analysis", Computers & Industrial Engineering, 59, s. 107-114.

Taşkın, A., Eren, T., (2016), "UEFA Şampiyonlar Ligi'nde Forvet Oyuncularının Performanslarının Çok Ölçütlü Karar Verme Yöntemleri İle Değerlendirilmesi", CBÜ Sosyal Bilimler Dergisi, 14(1).

Parekh, A., J., Raval, N. G., Dodiya, D., (2012), "Overview of monorail rapid transit system", Journal of Information, Knowledge and Research in Computer Engineering, 2(2), s. 285-291.

Piantanakulchai, M., Saengkhaio, N., (2003), "Evaluation Of Alternatives In Transportation Planning Using Multi-Stakeholders Multi-Objectives AHP Modeling", Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, 4, s. 1613-1628.

Saat, M. R., ve Serrano, A., (2015), "Multicriteria high-speed rail route selection: application to Malaysia's high-speed rail corridor prioritization", Transportation Planning and Technology, 38(2), s. 200-213.

Sivilevicius, H., Maskeliunaite, L., (2010), "Transport", 25(4), s. 368–381.

Soba, M., (2012), "PROMETHEE Yöntemi Kullanarak En Uygun Panelvan Otomobil Seçimi ve Bir Uygulama", Journal of Yasar University, 28 (7), s. 4708-4721.

Timan, P. E., (2015), "Why Monorail Systems Provide a Great Solution for Metropolitan Areas", Urban Rail Transit, 1(1), s. 13-25.

Özder, H., Bedir, N., Eren T., (2016), "Course Selection with AHP & PROMETHEE Methods for Post Graduate Students: An Application in Kirikkale University Graduate School of Natural and Applied Sciences", MATEC Web of Conferences 6 , ICIEA.

Wey., W. M., (2015), "Smart growth and transit-oriented development planning in site selection for a new metro transit station in Taipei, Taiwan", Habitat International, 47, s. 158-168.