



## Ankara'da Monoray projelerinin analitik hiyerarşi prosesi ve 0-1 hedef programlama yöntemleri ile seçimi

### Selecting of Monorail projects with analytic hierarchy process and 0-1 goal programming methods in Ankara

Şeyda GÜR<sup>1</sup>, Mustafa HAMURCU<sup>1\*</sup>, Tamer EREN<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Endüstri Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale, Türkiye.  
seydaa.gur@gmail.com, hamurcu.mustafa.55@gmail.com, tamereren@gmail.com

Geliş Tarihi/Received: 05.05.2016, Kabul Tarihi/Accepted: 18.07.2016  
\* Yazışılan yazar/Corresponding author

doi: 10.5505/pajes.2016.03903  
Araştırma Makalesi/Research Article

#### Öz

Hızla artan nüfus, plansız kentsel gelişme ve özel araç sayısındaki artış kentsel alanlarda trafik sorununu ortaya çıkarmıştır. Bu durum ulaşım planlarının yeniden şekillenmesine ve öneminin artmasına sebep olmuştur. Bu sebeple, toplu ulaşım sistemini daha verimli hale getirmek için yoğun çalışmalar yapılmaktadır. Bunun sonucunda alternatif ulaşım türlerine eğilim başlamıştır. Bu noktada hızlı, emniyetli ve konforlu ulaşım sistemi olarak monoray teknolojisi öne çıkmaktadır. Bu çalışmada çok ölçütlü karar verme yöntemlerinden Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) ve 0-1 Hedef Programlama yöntemleri kullanılarak Ankara Büyükşehir Belediyesi'nde belirlenen güzergâhlara en uygun ulaşım projelerinin seçimi yapılmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Analitik hiyerarşi prosesi, Hedef programlama, Proje seçimi, Kentsel ulaşım

#### Abstract

Uncontrolled increasing population, unplanned urbanization and enhancement in private vehicles number have revealed the of congestion traffic problem in urban area. These conditions have led to increase the need to remodeling the transportation plans. For this reason, a huge number of intensive studies were carried out in order to insure more efficiency to the public transport system by their different modes. One of these studies concerns the monorail service in Ankara, one of the most safe, fast and comfortable transport modes. Indeed, we made selection from several transport projects in Ankara Metropolitan Municipality using Analytic Hierarchy Process (AHP) and 0-1 Goal Programming methods.

**Keywords:** Analytic hierarchy process, Goal programming, Project selection, Urban transportation

## 1 Giriş

Artan nüfus yoğunluğu beraberinde, toplu ulaşım talebinin rahatça karşılanabilmesi için çeşitli alternatiflerin geliştirilmesine yol açmıştır. Büyük şehirlerde ulaşım yoğunluğundan kaynaklanan olumsuzlukların giderilmesi için ulaşım planlarında birçok uygulama yapılmaktadır. Aynı zamanda şehir içi ulaşım uygulamaları için de birçok alternatif bulunmaktadır. Bunlardan bir tanesi de monoray teknolojisidir.

Monoray sistemleri metrobüs, otobüs vb. karayolu toplu taşıma araçlarına kıyasla daha fazla taşıma kapasitesine sahiptir. Tek bir ray üzerinde hareket ederek güvenilir ve hızlı ulaşım imkânlarıyla da ön plana çıkmaktadır. Şehir içi toplu taşıma araçlarında kullanımı giderek yaygınlaşmaya başlayan bu sistemler çeşitli kriterler altında değerlendirilmiş ve ulaşım altyapı ağını daha verimli kullanmaya yönelik düzenlemeler yapılmıştır.

Ulaşım taleplerinin istenilen ölçüde karşılanabilmesi ve hizmet kalitesini arttırmaya yönelik proje yatırımlarında belirlenen güzergâhlara en uygun projenin seçilmesi çok önemlidir. Bu nedenle projelerin seçilmesinde çeşitli amaçları gerçekleştirilebilmek için ve en uygun alternatifin bulunabilmesi için çok ölçütlü karar verme yöntemleri ile modelleme yapılabilmektedir. Proje seçimi etkinliğinin artırılması için bu yöntemler ile modeller kurularak elde edilen sonuçlar gerçek hayata entegre edilmeli ve istenilen nitelikte ulaşım ağları oluşturulmalıdır. Kentsel alanlarda, ulaşım ağlarının düzenli ve her zaman tercih edilebilir olması gerekmektedir. Birçok yerleşim yerinin değeri kent içi ulaşım kolaylığı göz önünde bulundurularak artar [1]. Kentin ulaşım sistemindeki mevcut sorunların ve yetersizliklerin ortadan kaldırılması ve mevcut

araçların yerine her açıdan tercih edilebilecek alternatiflerin verimli kullanılmasına yönelik çözümlerin getirilmesi gerekmektedir. Ankara Büyükşehir Belediyesi'nde monoray teknolojisinin güzergâhlarına uygun projelerin seçimi için Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) yöntemi uygulanmıştır ve yolcu taşıma kapasitelerine göre ayrılan alternatiflerin ağırlıkları hesaplanmıştır. Bu ağırlıklı hedef programlama yönteminde kullanılarak güzergâhlara en uygun dizisi seçimi yapılmış, ayrılan bütçe ve talep doğrultusunda belirlenen hedeflere ulaşılmıştır.

Ulaştırma sistemi, insan ve yüklerin bir yerden başka bir yere taşınmasının, istenilen koşullara uygun sağlanması amacıyla karşılıklı etkileşimleri göz önünde bulunduran yapı olarak tanımlanmaktadır. Aynı zamanda ulaştırma sektörü ise, diğer sektörler üzerindeki üretkenliği artırarak temel amacı olan ulaştırma talebini en kısa zamanda ve en az maliyetle sunacak şekilde alt yapıyı oluşturur [2].

Kentsel ulaşım yatırımları, sisteme birçok yönden etkisi olan ve bu yönlerinin dikkate alınması gereken bir problem olmaktadır. Bu nedenle ulaştırma sistemleri için yatırım yapılacak projeler farklı bölgelerin büyümesini teşvik edici olması yönünden önemli bir etkiye sahiptir. Ulaştırma projeleri seçimi için yapılan çalışmaların, yolculuk taleplerini karşılamaya yönelik uygun alternatiflerin belirlenmesi, yatırım/işletme maliyetlerinin azaltılması ve güzergâhların kullanılabilirliğini arttırmaya yönelik amaçları bulunmaktadır. Seçilmek istenen projeler, şehir ve bölgelerde güzergâhların yapısına uygun olmalıdır. Bu noktada nüfus yoğunluğunun fazla olduğu alanlarda ulaşım sisteminin hızlı, ekonomik, konforlu ve güvenilir şekilde olması monoray teknolojisi alternatifini öne çıkarmaktadır. Bu teknolojinin tercih edilmesini sağlayan

özellikler dikkate alındığında modern ulaşım sistemi olması, çevre dostu ve düşük işletme maliyetine sahip olması, kurulduğu şehir için prestij kaynağı durumunda olması gibi gelmektedir. Monoray sistemlerinde istenen güzergâhlara uygun projelerin değerlendirilmesi sürecini etkileyen birçok faktör bulunmaktadır ve bu süreç çok kritik olup, amaçtan maksimum faydayı sağlayacak kriterlerin belirlenmesi çok önemlidir. Ulaşım talebinin karşılanması için alternatif projeler içerisinde maliyet faktörü göz önünde bulundurulmuş olarak uygun seçimin yapılması gerekmektedir.

Bu çalışma altı bölümden oluşmaktadır. Çalışmanın ikinci ve üçüncü kısmında uygulamada kullanılan yöntemler anlatılmıştır. Dördüncü kısmında literatürde yapılan çalışmalara yer verilerek beşinci kısımda uygulama yapılmıştır. Son bölüm ise sonuç kısmından oluşmaktadır.

## 2 Analitik hiyerarşi prosesi

Karar verme durumlarında her bir karar, beraberinde başka ihtiyaçları ve bu ihtiyaçlardan doğan problemlerin çözümüne yönelik faaliyetleri gerekli kılar [3]. Karar verme problemleri yapı itibarıyla çok amaçlıdır ve bu amaçları yerine getirmek için belirli kısıtlar altında birçok matematiksel model ile çözümlenmeler yapılmıştır.

Analitik Hiyerarşi Prosesi, grupların kendi aralarında çözümü yapmaları için fikirlerinin paylaşıldığı ve en iyi sonuca ulaşmada hedef ve alternatiflerin analiz edildiği uygulama alanı çok geniş olan bir modeldir [4].

AHP'de ele alınan problem hiyerarşik bir biçimde yapılandırılmaktadır. Hiyerarşinin oluşturulmasının ardından kriterlerin birbirlerine karşı önem düzeylerinin hesaplanması yapılır. Karar verici Saaty [5] tarafından oluşturulan 1-9 skalasını temel alarak kriterler arasındaki önem derecesine karar verir. Analitik Hiyerarşi Yöntemi ile karar verme süreci kısaca aşağıdaki aşamalardan oluşmaktadır:

**Adım1:** Problem tanımlanması yapılarak kriterler ve alternatifler belirlenir. Bu kriter ve alternatiflere göre hiyerarşik yapı oluşturulur.

**Adım2:** Hiyerarşi oluşturulduktan sonra Saaty tarafından oluşturulan skala kullanılarak uzman görüşüne dayalı ikili karşılaştırmalar yapılır. Bu işlem, karar vericinin tüm kriterler ve seçenekler üzerinde ayrı ayrı yargı sahibi olmasını sağlar.

**Adım3:** Oluşturulan karşılaştırma matrisi normalize edilir. Bunun için sütun toplamaları alınır ve her değer kendi sütun toplamına bölünür. Böylece normalize matris elde edilir.

**Adım4:** Normalize işlemi yapıldıktan sonra hiyerarşideki karşılaştırılan öğelere ilişkin öncelik veya ağırlık vektörlerinin hesaplanması yapılır.

**Adım5:** Ağırlıklar elde edildikten sonra karar vericinin hiyerarşideki öğeleri ikili olarak karşılaştırırken tutarlı davranıp davranmadığını ölçmek için her bir ikili karşılaştırma matrisindeki yargıların tutarlılık oranının hesaplanması gerekir. Tutarlılığa yakınlık göstergesi olarak nitelendirilen "Tutarlılık indeksi (CI)" hesaplanır.

**Adım 6:** CI değeri hesaplandıktan sonra, CI'nın rassallık indeksine (RI) oranıyla "tutarlılık oranı (CR)" elde edilir. AHP uygulamalarında, CR'nin 0.1'den daha az olması, yapılan uygulamanın tutarlı olduğunu gösterir [6].

## 3 Hedef programlama yöntemi

İnsanlar gerçek hayatta karşılaştıkları problemler gereği sürekli olarak karar vermek ve bu problemleri çözmek zorundadırlar [4]. Bu durumlarda karar verici problemlerin çözümüne yönelik karar verirken birden çok kriteri göz önünde bulundurmak gerekmektedir yani çok kriterli karar verme yöntemleri devreye girmektedir. Hedef programlama, verme yöntemleri içinde çok fazla uygulama alanı olan yöntemdir. Hedef programlama modelinin formülasyonunda öncelikle karar değişkenleri belirlenir. Karar değişkenleri, hedef programlama yönteminde ele alınan uygulama alanına dikkat edilerek belirlenmelidir [3]. Hedef Programlama modeli oluşturulurken amaç fonksiyonu, kısıtlar, karar değişkenleri belirlenerek formülasyon yapısı oluşturulur.

Hedef programlamadaki amaç, ulaşılmak istenen hedefler arasındaki sapmaları minimize etmektir. Doğrusal programlamanın simplex algoritmasında yer alan bu gibi sapmalar aylak değişkenler olarak isimlendirilirken, bu sapma değişkenler Hedef Programlamada yeniden anımlandırılırlar. Sapma değişkenler her bir hedeften hem pozitif yönde hem de negatif yönde sapmalar şeklinde iki boyutta gösterilir. Amaç fonksiyonu yalnızca bu sapma değişkenlerden oluşturulur. Formülasyonun genel gösterim ise şu şekildedir:

$$\text{Min } Z = [P_1 w_1 (d_1^+, d_1^-) + \dots + P_k w_k (d_k^+, d_k^-)] \quad (1)$$

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j - d_i^+ + d_i^- = b_i \quad (\forall i) \quad (2)$$

$$d_i^+, d_i^-, x_j \geq 0 \quad (3)$$

$$i = 1, \dots, m, \quad j = 1, \dots, n$$

Burada,  $x_j$  karar değişkenleri,  $b_i$  i-nci hedef için istenilen değer, n karar değişkenlerinin toplam sayısı m ise toplam kısıt sayısıdır.  $P_k$ : öncelik  $w_k$  ağırlık ve  $a_{ij}$ : parametrelerdir. Hedef programlamada amaç, hedefler arasındaki sapmaların minimize yapılması olduğu için bu sapma değişkenleri hem negatif hem pozitif yönde olmak üzere iki boyutta gösterilir. Aynı anda hem pozitif hem de negatif sapma oluşamaz dolayısıyla sapma değişkenlerin en az bir tanesinin sıfıra eşit olması gerekmektedir. İstenmeyen sapma değişkenlerin oluşturulmasından hemen sonra hedef programlama formülasyonu kurulur.

$$d_i^+ : \quad \text{pozitif sapma değişkeni} \quad i = 1, \dots, m$$

$$d_i^- : \quad \text{negatif sapma değişkeni} \quad i = 1, \dots, m$$

Belirlenen bütün değişkenler arasından pozitif veya negatif yönde sapma değişkenleri minimize edilmeye çalışılır [7].

Çok amaçlı programlama teknikleri arasında yer alan hedef programlama birçok amacı aynı anda gerçekleştirecek tek model ortaya koymaktadır. 0-1 hedef programlama ise hedef programlamayı daha özele indirgeyerek karar verme sürecine dahil etmektedir.

#### 4 Literatür taraması

Ulaştırma projeleri seçiminde çok kriterli karar verme yöntemlerinin kullanımı yaygındır. Bu çalışmada mevcut kentsel ulaşım türlerine alternatif olan monoray için kentsel alanda proje seçimi yapılmıştır. Literatürde, kentsel alanlarda toplu ulaşımında monoray kapasitesi belirleme üzerine yapılmış bir çalışma bulunmamaktadır. Bu çalışma bu alanda yapılabilecek çalışmalara örnek bir uygulama özelliği taşımaktadır.

Proje seçimi ve kullanılan yöntemlerle ilgili literatür çalışmaları incelenerek bu kısımda gösterilmiştir. Aboul-Ela ve diğ. [8], hedef programlama yöntemini kullanarak ulaştırma sistemlerini değerlendirmişlerdir. Tsamboulas ve diğ. [9], Yunanistan'da ulaştırma projelerinin değerlendirilmesi için AHP ve ELECTRE yöntemlerini bütünlük olarak kullanmışlardır. Chien ve diğ. [10], kapasite, bütçe kısıtlamaları gibi kriterleri göz önüne alarak geliştirdikleri metodoloji ile bir hizmet bölgesinde optimal otobüs güzergahı belirleme problemini ele almışlardır. Yedla ve Shrestha [11], çalışmalarında AHP yöntemini kullanarak alternatif ulaşım seçeneklerinin seçimi için çeşitli nitel kriterlerin etkisini incelemişlerdir. Yang [12], bulanık AHP yöntemini kullanarak belirledikleri kriterler ile Tayvan'da ulaşım projelerini değerlendirmişlerdir. Li ve diğ. [13], ulaşım talebini karşılamak için oluşturulan toplu taşıma sistemlerinde güzergâh seçimi için yapılan uygulamada Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ile AHP yöntemi entegre edilmiştir. Beiler ve diğ. [14], demiryolu ağında Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ile AHP yöntemini birleştirerek alternatif projelerin değerlendirildiği bir uygulamaya yapmışlardır. [15], AHP yöntemini kullanarak ulaşım projelerinin seçimini yapmıştır. Gerçek ve diğ. [16], AHP yöntemini kullanarak İstanbul'da alternatif ulaşım projelerinin seçimini yapmışlardır. Shang ve diğ. [17], ulaştırma projelerinde AHP yöntemini kullanarak seçim yapmışlardır. Cheng ve Li [18], proje seçiminde ANP yöntemini kullanmışlardır. Mishra [19], bir üretim sisteminde makine-araç seçimi için bulanık hedef programlama ve tavlama benzetimi yöntemlerini kullanarak çeşitli kısıtlar ve amaçlar altında optimum sonuca ulaşmışlardır. Su ve diğ. [20], ulaşım projelerinde AHP yöntemini kullanarak sıralama ve seçim yapmışlardır. Ahern ve Anandarajah [21], demiryolu projeleri için hedef programlama yöntemi kullanılarak seçim yapmışlardır. Tripathy ve Biswal [22], proje seçimi için 0-1 hedef programlama yöntemi kullanmışlardır. Wey ve Wu [23], ulaştırma sistemlerinde proje seçimi için ANP ve 0-1 tam sayılı hedef programlama yöntemleri kullanmışlardır. Alp [24], karayolu kent içi toplu taşıma sisteminde hedef programlama yöntemini kullanmıştır. Ravi ve diğ. [25], lojistik projelerinin seçiminde ANP ve hedef programlama yöntemleri kullanmışlardır. Şelih ve diğ. [26], karayolu alt yapı projelerinde proje seçimini AHP yöntemini kullanarak yapmışlardır. Arslan [27], ulaştırma projelerinde AHP ve bulanık sistemleri kullanarak bir uygulama yapmıştır. Chang ve diğ. [28], çalışmalarında ANP, Bulanık Delphi ve 0-1 hedef programlama yöntemleri kullanılarak tarihi Alishan Orman Demiryolu için proje seçimi yapmışlardır. Begicevic ve diğ. [29], ANP yöntemini kullanarak yükseköğretim kurumlarında proje seçimi yapmışlardır. Teng ve diğ. [30], ulaştırma projelerinde Bulanık AHP yöntemini kullanmışlar ve bir uygulama yapmışlardır. Nandi ve diğ. [31], AHP yöntemini kullanarak inşaat sektöründe proje seçimi yapmışlardır. Bilgen ve Şen [32], otomotiv sektöründe bulanık AHP yöntemini kullanarak proje

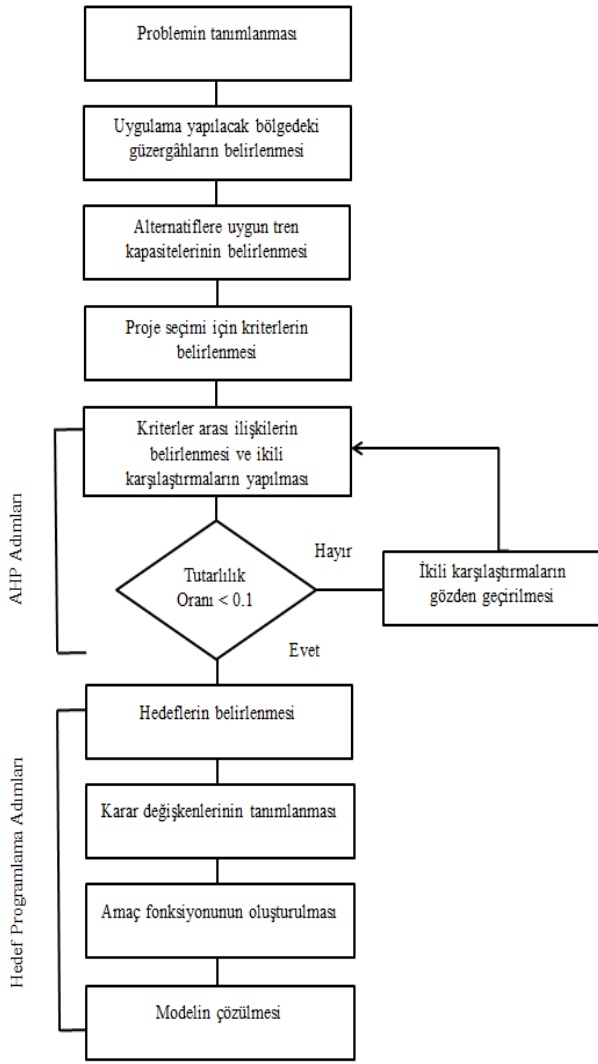
seçimi yapmışlardır. Görgülü ve diğ. [33], yatırım projelerinin seçiminde ANP ve TOPSIS yöntemlerini kullanmışlardır. Ivanovic ve diğ. [34], karayolu ulaşımında ANP yöntemini kullanarak proje seçimi yapmışlardır. Jones ve diğ. [35], AHP yöntemini kullanarak kentsel ulaşım projelerinde sürdürülebilirliği değerlendirerek sıralama yapmışlardır. Özbek ve Eren [36], ANP ile üçüncü parti lojistik firma seçimiyapmışlardır. Shiau [37], Tayvan'daki 23 ilçede ulaşım hizmetlerini geliştirmek için AHP yöntemini kullanmıştır. Mandic ve diğ. [38], demiryolu projelerinde AHP yöntemini kullanarak sıralama yapmışlardır. Barfod ve Salling [39], AHP/Smarter yöntemlerini kullanarak ulaşım altyapı projelerini değerlendirmişlerdir. Hamurcu ve Eren [40], çok ölçütlü karar verme yöntemleri ile bir uygulama yapmışlardır. Hamurcu ve diğ. [41], çok ölçütlü karar verme yöntemlerinden ANP ve hedef programlama yöntemini kullanarak bir uygulama yapmışlardır. Hamurcu ve Eren [42], yatırım projesi seçimi için çok ölçütlü karar verme yöntemlerinden AHP ve hedef programlama yöntemlerini kullanmışlardır. Hamurcu ve Eren [43], monoray güzergâh seçimlerinde AHP ve TOPSIS yöntemlerini kullanmışlardır. Özder ve Eren [44], ANP ve hedef programlama yöntemlerini kullanarak akademik personel seçimi yapmışlardır.

#### 5 Uygulama

Toplu taşımacılıkta kullanılan ve son zamanlarda önemini gittikçe arttığı görülen monoray, şehir içi raylı sistem ulaşım çeşitlerinden birisidir. Monorayın diğer alternatiflere göre maliyetinin az olması ve yapım aşamasının kısa sürmesi nedeniyle kentsel ulaşım sistemlerinden özellikle raylı sistemlerden olan metro ve tramvay hatlarından daha avantajlı bir duruma girer.

Ankara ilinde belirlenen şehir içi ulaşım güzergâhlarında AHP ve 0-1 hedef programlama yöntemleri birlikte kullanılmış ve bölgeye en uygun projenin seçilmesine yönelik bir uygulama yapılmıştır. Ankara Büyükşehir Belediyesinin ilgili biriminde görev yapan uzman personel görüşleri doğrultusunda monoray kurulması uygun olan 4 güzergâh ve her güzergâh için 3 farklı proje olmak üzere 12 adet proje (G1K: 1. Güzergâh küçük araç monoray, G10: 1. Güzergâh orta boy araç monoray, G1B: 1. Güzergâh büyük araç monoray, G2K, G20, G2B, G3K, G30, G3B, G4K, G40, G4B) belirlenmiştir. Şekil 1'de uygulama adımları gösterilerek çalışmada izlenen yollar açıkça belirtilmiştir.

Mevcut kurulu yolların genişletilmeye müsait olmaması ve nüfus artışından doğan ulaşım sorununun çözülmesinde önerilen monoray projelerinin seçilmesi için çok ölçütlü karar verme yöntemleri kullanılmıştır. Uygulama yapılan Ankara ilinde güzergâhlar belirlenerek ulaşım sorununun yapısını oluşturan kriterler ve alternatifler arasındaki ilişkiler kurulmuştur. Alternatif 12 projenin içinden en iyi çözümü getirmesi istenen projelerin seçimi, AHP ve 0-1 hedef programlama yöntemleri ile yapılmıştır. Buna göre; bu projelerin seçilmesi durumunda çevreye olan sosyo-ekonomik etkisi (SE), projelerin yatırım maliyeti (YM), taşıma kapasitesi (TK), bölgesel nüfus yoğunluğu (BNY) ve bölgedeki ulaşım talebi (UT) kriterler olarak belirlenmiş ve Şekil 2'de hiyerarşik yapısı gösterilmiştir. Bu kriterler altında alternatifler değerlendirilmiş ve ikili karşılaştırma matrisleri oluşturularak tutarlılık analizleri yapılmıştır. Bu kriterler baz alınarak güzergahlara uygun monoray projelerinin seçimi yapılmıştır.



Şekil 1: Akış şeması.

Kriterler arasında etkileşim değerlendirilerek ikili karşılaştırma matrisleri oluşturulmuş ve tutarlılıkları hesaplanmıştır. Tablo 1’de kriterlerin karşılaştırma matrisi örnek olarak verilmiş ve tutarlılık oranı 0.1’den küçüktür. Her bir kriter alternatiflerle değerlendirilmiş ve önceliklendirilmesi yapılmıştır.

Tablo 1: Kriterlerin ikili karşılaştırma matrisi.

KRİTERLER	YM	SE	TK	BNY	UT
YM	1	5	2	3	5
SE	0.2	1	0.25	0.333	3
TK	0.5	4	1	0.5	3
BNY	0.333	3	2	1	5
UT	0.2	0.333	0.333	0.2	1

Bu sonuçlara göre alternatiflerin öncelik değerleri Tablo 2’de verilmiştir. Tablo 2’deki G1-K ifadesi güzergâh 1 için küçük boy treni ifade ederken, G1-O güzergâh 1 için orta boy treni ve G1-B ifadesi ise güzergâh 1 için büyük boy treni ifade etmektedir. Diğer ifadeler benzer şekilde gösterilmektedir.

Tablo 2: Alternatiflerin öncelik değerleri.

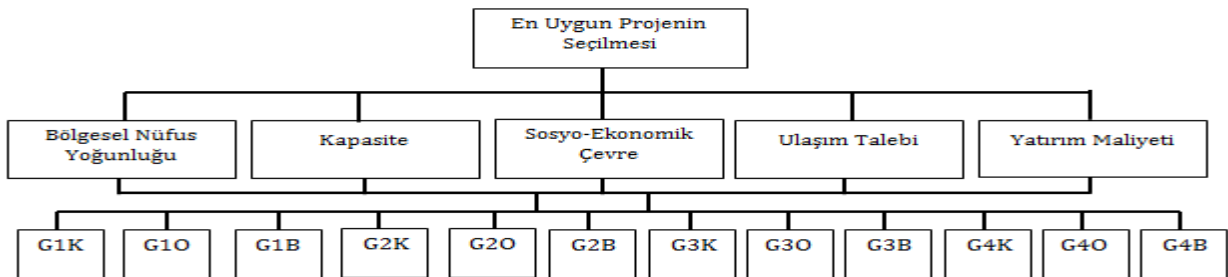
Alternatifler	Öncelik Vektörleri
G1K	0.095765
G1O	0.078453
G1B	0.080197
G2K	0.099201
G2O	0.082918
G2B	0.100546
G3K	0.073132
G3O	0.067999
G3B	0.082921

Kriterler için oluşturulan ikili karşılaştırma matrisinin tutarlılık oranı 0.069421244 olarak hesaplanmıştır. Bu değer 0.1’den küçük olduğu için karşılaştırma matrisinin tutarlı olduğunu göstermektedir.

Tablo 2’ye göre hedef programlamada kullanılacak olan alternatiflerin öncelik değerleri: (G1K, G1O, G1B, G2K, G2O, G2B, G3K, G3O, G3B, G4K, G4O, G4B) = (0.095765, 0.078453, 0.080197, 0.099201, 0.082918, 0.100546, 0.073132, 0.067999, 0.082921, 0.102407, 0.052353, 0.084109).

Yapılan çalışmada mevcut 4 güzergâh ve farklı taşıma kapasitesine sahip monoray projeleri olmak üzere toplamda 12 proje içinden seçim yapılabilmesi için varsayımlar ve hedefler belirlenmiştir. Belirlenen bu hedefler şu şekildedir:

- (1) Seçilen mevcut projeler için ayrılan bütçe miktarı maksimum 684.000.000 \$’dır,
- (2) Her bir proje için ayrılan yolcu kapasitesi Tablo 3’te ayrı ayrı verilmiştir. Güzergahlar için talep miktarları sırası ile; 2650, 3385, 5420 ve 4760 adet/saat’tir. Aynı zamanda bu güzergâh boyunca mevcut talebi karşılayacak projelerin seçimi amaçlanmıştır.



Şekil 2: Hiyerarşik yapı.

Tablo 3: Güzergâhlara uygun trenlerin taşıma kapasitesi ve yatırım maliyeti.

		Taşıma Kapasitesi (saatlik)	Maliyet (*10 <sup>6</sup> \$)
Güzergâh 1	Küçük Boy Tren	1200	155
	Orta Boy Tren	4350	337
	Büyük Boy Tren	5300	352
Güzergâh 2	Küçük Boy Tren	1600	180
	Orta Boy Tren	2950	120
	Büyük Boy Tren	5600	385
Güzergâh 3	Küçük Boy Tren	2680	220
	Orta Boy Tren	4600	320
	Büyük Boy Tren	5800	450
Güzergâh 4	Küçük Boy Tren	2100	160
	Orta Boy Tren	2540	205
	Büyük Boy Tren	4200	311

Aday projeler içinden her güzergâha sadece bir adet seçilmesi kısıtı eklenerek model oluşturulur. Karar değişkeni  $X_{ij}$  i. Güzergâh için seçilecek olan j. Proje şeklinde iki indisli olarak tanımlanmış ve ilgili parametreler, güzergâhlar ayrı ayrı incelenerek sapmalar göz önünde bulundurulmuştur. Bu veriler ve daha önceden hesaplanmış AHP değerlerine göre 0-1 hedef programlama modeli oluşturulmuş, Tablo 4'te matematiksel model gösterilmiştir ve LINDO 6.1 [45] paket programı yardımıyla çözüme ulaşılmıştır.

Aşağıdaki model kurularak çözüme gidilmiştir ve istenilen bütün hedefler sağlanarak sonuçlar elde edilmiştir. Tablo 5'de seçilen, güzergâhlara göre belirlenen taşıma kapasitesine sahip trenler ve kullanılan kaynak miktarı ile kapasite miktarı gösterilmiştir.

Elde edilen sonuçlara göre 4 güzergâh için 3 alternatif arasından 1, 3 ve 4. güzergâhlar için küçük boy tren; 2. güzergâh için orta boy tren alternatifi seçilmiş ve belirlenen hedeflerden istenmeyen yönde herhangi bir sapma oluşmamıştır.

Tablo 4: 0-1 Hedef programlama formülasyonu.

0-1 HP Formülasyonu	Hedefler
Min Z=	
P1 ( $d_1^+$ )	Bütçe için belirlenen hedef
P2 ( $0.095765d_2^+ + 0.078453d_3^+ + 0.080197d_4^+ + 0.099201d_5^+ + 0.082918d_6^+ + 0.100546 d_7^+ + 0.073132d_8^+ + 0.067999d_9^+ + 0.082921d_{10}^+ + 0.102407d_{11}^+ + 0.052353d_{12}^+ + 0.084109d_{13}^+$ )	AHP ağırlıkları ile seçilen projeler
P3( $d_{14}^+ + d_{15}^+ + d_{16}^+ + d_{17}^+$ )	Kapasite için belirlenen hedef
subject to	
$155x_{11} + 337x_{12} + 352x_{13} + 180x_{21} + 120x_{22} + 385x_{23} + 220x_{31} + 320x_{32} + 450x_{33} + 160x_{41} + 205x_{42} + 311x_{43} + d_1 - d_1^+ = 684$	Projeler için ayrılan maksimum bütçe
$x_{11} + d_2^- - d_2^+ = 1$	Seçilmesi İstenen Proje 1/1
$x_{12} + d_3^- - d_3^+ = 1$	Seçilmesi İstenen Proje 1/2
$x_{13} + d_4^- - d_4^+ = 1$	Seçilmesi İstenen Proje 1/3
$x_{21} + d_5^- - d_5^+ = 1$	Seçilmesi İstenen Proje 2/1
$x_{22} + d_6^- - d_6^+ = 1$	Seçilmesi İstenen Proje 2/2
$x_{23} + d_7^- - d_7^+ = 1$	Seçilmesi İstenen Proje 2/3
$x_{31} + d_8^- - d_8^+ = 1$	Seçilmesi İstenen Proje 3/1
$x_{32} + d_9^- - d_9^+ = 1$	Seçilmesi İstenen Proje 3/2
$x_{33} + d_{10}^- - d_{10}^+ = 1$	Seçilmesi İstenen Proje 3/3
$x_{41} + d_{11}^- - d_{11}^+ = 1$	Seçilmesi İstenen Proje 4/1
$x_{42} + d_{12}^- - d_{12}^+ = 1$	Seçilmesi İstenen Proje 4/2
$x_{43} + d_{13}^- - d_{13}^+ = 1$	Seçilmesi İstenen Proje 4/3
$x_{11} + x_{12} + x_{13} \leq 1$	Güzergâh 1 için en fazla bir proje seçilmesi
$x_{21} + x_{22} + x_{23} \leq 1$	Güzergâh 2 için en fazla bir proje seçilmesi
$x_{31} + x_{32} + x_{33} \leq 1$	Güzergâh 3 için en fazla bir proje seçilmesi
$x_{41} + x_{42} + x_{43} \leq 1$	Güzergâh 4 için en fazla bir proje seçilmesi
$1200x_{11} + 4350x_{12} + 5300x_{13} + d_{14}^- - d_{14}^+ = 2650$	Güzergâh 1 için saatlik talep miktarı
$1600x_{21} + 2950x_{22} + 5600x_{23} + d_{15}^- - d_{15}^+ = 3385$	Güzergâh 2 için saatlik talep miktarı
$2680x_{31} + 4600x_{32} + 5800x_{33} + d_{16}^- - d_{16}^+ = 5420$	Güzergâh 3 için saatlik talep miktarı
$2100x_{41} + 2540x_{42} + 4200x_{43} + d_{17}^- - d_{17}^+ = 4760$	Güzergâh 4 için saatlik talep miktarı
$x_{11} + x_{12} + x_{13} + x_{21} + x_{22} + x_{23} + x_{31} + x_{32} + x_{33} + x_{41} + x_{42} + x_{43} >= 1$	Seçilmesi istenen projelerin birden fazla olma kısıtı
$X_j = 0 \text{ or } 1 \text{ } j=1, 2, \dots, 12$	

Tablo 5: Kullanılan kaynak ve kapasite miktarı.

Seçilen Projeler	Kullanılan Kaynak Miktarı	Kullanılan Kapasite Miktarı
1. Güzergâh/ Küçük boy tren	155 (*10 <sup>6</sup> ) \$	1200
2. Güzergâh/ Orta boy tren	120 (*10 <sup>6</sup> ) \$	2950
3. Güzergâh/ Küçük boy tren	220 (*10 <sup>6</sup> ) \$	2680
4. Güzergâh/ Küçük boy tren	160 (*10 <sup>6</sup> ) \$	2100

## 6 Sonuç

Yatırım maliyetleri açısından büyük kaynaklar gerektiren, ekonomik ve sosyal yaşamı etkileyen güzergâhlara göre ulaştırma projelerinin seçiminde uygun metodolojilerin kullanılması, projelerin değerlendirilme sürecini daha sağlıklı kılmaktadır. Bu noktada çok ölçütlü karar verme yöntemleri seçim sürecinde belirlenen kriterler ve alternatifler arasındaki ilişkileri değerlendirmede sıklıkla kullanılmaktadır.

Şehir içi ulaşım sistemlerinde otobüs, metro vb. karayolu taşımacılığında kullanılan diğer alternatiflerle kıyaslaması yapıldığında avantajlı durumda olan monoray teknolojisi, ulaşım talebini karşılamak için geliştirilen modern, konforlu ve hızlı ulaşım araçlarıdır. Bu teknolojiye projelerin değerlendirilmesi aşamasında birçok soruna karşılaşılabilmektedir. Bu sorunların çözümlenmesinde ve bağımlılıkların belirtilmesinde uzman grupların görüşleri çok etkili olmaktadır.

Bu çalışmada monoray teknolojisinin kullanılacağı alternatif güzergâhlarda taşıma kapasitesine göre belirlenen projelerin kriterler arasındaki ilişkileri AHP ve 0-1 hedef programlama yöntemleri birlikte kullanılarak gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre en uygun projelerin seçimi yapılmıştır.

## 7 Kaynakça

- [1] Toraman D. Mekânsal Çok Ölçütlü Karar Analizi: Ulaştırma İçin Güzergâh Seçenekleri. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2009.
- [2] Akgüngör AP, Demirel A. "Türkiye'deki ulaştırma sistemlerinin analizi ve ulaştırma politikaları". *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences*, 10(3), 423-430, 2011.
- [3] Ergün D. Hedef Programlama ile Üretim Planlaması. Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2006.
- [4] Özkan Ö. Personel Seçiminde Karar Verme Yöntemlerinin İncelenmesi: AHP, ELECTRE ve TOPSIS Örneği. Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, Türkiye, 2007.
- [5] Saaty T. *The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resources Allocation*. New York, USA, McGraw, 1980.
- [6] Aydın G. Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) ve Bir Sanayi İşletmesinde Uygulanması. Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, Türkiye, 2008.
- [7] Özder E. Tedarikçi Seçiminde Analitik Ağ Süreci ve Hedef Programlama Tekniklerinin Entegrasyonu: Örnek Olay Çalışması. Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale, Türkiye, 2015.

- [8] Aboul-Ela MT, Wilson FR, Stevens AM. "On the use of mathematical programming in the evaluation of transport policies". *Transportation Planning and Technology*, 7(4), 267-273, 1982.
- [9] Tsamboulas D, Yiotis GS, Panou KD. "Use of multi criteria methods for assessment of transport projects". *Journal of Transportation Engineering*, 125(5), 407-414, 1999.
- [10] Yedla S, Shrestha RM. "Multi-Criteria approach for the selection of alternative options for environmentally sustainable transport system in Delhi." *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 37(8), 717-729, 2003.
- [11] Yang CP. "Primary influential factors in the management of public transportation projects in Taiwan". *Canadian Journal of Civil Engineering*, 34(1), 1-11, 2007.
- [12] Li YT, Huang B, Lee DH. "Multimodal, Multicriteria Dynamic Route Choice: A GIS-Microscopic Traffic Simulation Approach". *Annals of GIS*, 17(3), 173-187, 2001.
- [13] Chien S, Yang Z, Hou E. "Genetic algorithm approach for transit route planning and design". *Journal of Transportation Engineering*, 127(3), 200-207, 2001.
- [14] Beiler MRO, Treat, C. "Integrating GIS and AHP to prioritize transportation infrastructure using sustainability metrics". *Journal of Infrastructure Systems*, 21(3), 2014.
- [15] Ferrari P. "A method for choosing from among alternative transportation projects". *European Journal of Operational Research*, 150(1), 194-203, 2003.
- [16] Gerçek H, Karpak B, Kılınçaslan T. "A multiple criteria approach for the evaluation of the rail transit networks in Istanbul". *Transportation*, 31(2), 203-228, 2004.
- [17] Shang JS, Tjader Y, Ding Y. "A unified framework for multi criteria evaluation of transportation projects". *Engineering Management, IEEE Transactions on* 51(3), 300-313, 2004.
- [18] Cheng EW, Li H. "Analytic network process applied to project selection". *Journal of Construction Engineering and Management*, 131(4), 459-466, 2005.
- [19] Mishra S, Prakash, Tiwari MK, Lashkari RS. "A fuzzy goal-programming model of machine-tool selection and operation allocation problem in FMS: A quick converging simulated annealing-based approach". *International Journal of Production Research*, 44(1), 43-76, 2006.
- [20] Su CW, Cheng MY, Lin FB. "Simulation-Enhanced approach for ranking major transport projects". *Journal of Civil Engineering and Management*, 12(4), 285-291, 2006.
- [21] Ahern A, Anandarajah G. "Railway projects prioritization for investment: application of goal programming". *Transport Policy*, 14(1), 70-80, 2007.
- [22] Tripathy BB, Biswal MP. "A zero-one goal programming approach for project selection". *Journal of Information and Optimization Sciences*, 28(4), 619-626, 2007.
- [23] Wey WM, Wu KY. "Using ANP priorities with goal programming in resource allocation in transportation". *Mathematical and Computer Modeling*, 46(7), 985-1000, 2007.
- [24] Alp S. Doğrusal Hedef Programlama Yöntemi Kullanılarak Kent içi Otobüsle Toplu Taşıma Sistemi İçin Bir Model Oluşturulması ve Uygulanması. Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2008.
- [25] Ravi V, Shankar R, Tiwari MK. "Selection of a reverse logistics project for end-of-life computers: ANP and goal programming approach". *International Journal of Production Research*, 46(17), 4849-4870, 2008.

- [26] Šelih J, Kne A, Srđić A, Žura M. "Multiple-Criteria decision support system in highway infrastructure management". *Transport*, 23(4), 299-305, 2008.
- [27] Arslan T. "A hybrid model of fuzzy and AHP for handling public assessments on transportation projects". *Transportation*, 36(1), 97-112, 2009.
- [28] Chang YH, Wey WM, Tseng HY. "Using ANP priorities with goal programming for revitalization strategies in historic transport: A case study of the alishan forest railway". *Expert Systems with Applications*, 36(4), 8682-8690, 2009.
- [29] Begičević N, Divjak B, Hunjak T. "Decision-Making on prioritization of projects in higher education institutions using the analytic network process approach". *Central European Journal of Operations Research*, 18(3), 341-364, 2010.
- [30] Teng JY, Huang WC, Lin MC. "Systematic budget allocation for transportation construction projects: A case in Taiwan". *Transportation*, 37(2), 331-361, 2010.
- [31] Nandi S, Paul S, Phadtare M. "An AHP-Based construction project selection method". *Decision*, 38(1), 91-118, 2011.
- [32] Bilgen B, Şen M. "Project selection through fuzzy analytic hierarchy process and a case study on six sigma implementation in an automotive industry". *Production Planning & Control*, 23(1), 2-25, 2012.
- [33] Görgülü İ, Korkmaz M, Eren T. "Analytic network process and TOPSIS methods with selection of optimal investment strategy". *Journal of Engineering and Natural Sciences*, 31, 203-213, 2013.
- [34] Ivanović I, Grujičić D, Macura D, Jović J, Bojović N. "One approach for road transport project selection". *Transport Policy*, 25, 22-29, 2013.
- [35] Jones S, Tefe M, Appiah-Opoku S. "Proposed framework for sustainability screening of urban transport projects in developing countries: A case study of Accra, Ghana". *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 49, 21-34, 2013.
- [36] Özbek A, Eren T. "Analitik ağ süreci yaklaşımıyla üçüncü parti lojistik (3PL) firma seçimi". *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 27(1), 95-113, 2013.
- [37] Shiau TA. "Evaluating sustainable transport strategies for the counties of taiwan based on their degree of urbanization". *Transport Policy*, 30, 101-108, 2013.
- [38] Mandić D, Jovanović P, Bugarinović M. "Two-phase model for multi-criteria project ranking: Serbian Railways case study". *Transport Policy*, 36, 88-104, 2014.
- [39] Barfod MB, Salling KB. "A new composite decision support framework for strategic and sustainable transport appraisals". *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 72, 1-15, 2015.
- [40] Hamurcu M, Eren T. "Ankara Büyükşehir Belediyesi'nde çok ölçütlü karar verme yöntemi ile monoray güzergâh seçimi". *Transit 8. Uluslararası Ulaşım Teknolojileri Sempozyumu ve Fuarı*, İstanbul, Türkiye, 17-19 Aralık 2015.
- [41] Hamurcu M, Ünal FM, Eren T. "The solution of shift scheduling problem by using analytic network process and goal programming method". *11<sup>th</sup> International Conference on Multiple Objective Programming*, Tlemcen, Algeria, 13-15 December 2015.
- [42] Hamurcu M, Eren T. "Using analytic hierarchy process and goal programming methods for investment project selection in Ankara". *11<sup>th</sup> International Conference on Multiple Objective Programming and Goal Programming*, Tlemcen, Algeria, 13-15 December 2015.
- [43] Hamurcu M, Eren T. "A multi criteria decision-making for monorail route selection in Ankara". *32<sup>nd</sup> International Academic Conference on Engineering, Technology and Innovations (IACETI)*, Dubai, UAE, 5-6 March 2016.
- [44] Özder E, Bedir N, Eren T. "Academic Staff Selection with ANP & PROMETHEE Method: A Case Study in Turkey". *32<sup>nd</sup> International Academic Conference on Engineering, Technology and Innovations (IACETI)*, Dubai, UAE, 1-5 March 2016.
- [45] Lindo Systems, Inc, Hyper LINDO/PC Release 6.01, Chicago, USA, 1997.