

## Analitik Hiyerarşi Prosesi ve Hedef Programlama Karma Modeli Kullanılarak Monoray Projelerinin Seçimi

Merve TAŞ, Şeyda Nur Özlemiş, Mustafa Hamurcu, Tamer Eren

Kırıkkale Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü,

Geliş Tarihi: 11.05.2017

Kabul Tarihi: 08.09.2017

### Özet

Kentsel ulaşımın iyileştirilmesi için raylı sistemlere büyük yatırımlar yapılmaktadır. Yatırımlar içinde Türkiye’de henüz yapılması düşünülen monoray projeleri bulunmaktadır. Ankara’da yapılması planlanan monoray hattı içinde çalışmalar devam etmektedir. Bu çalışmada kurulacak olan monoray hattı için alternatif projeler değerlendirilerek belirlenen kriterler doğrultusunda en uygun projenin seçimi yapılmıştır. Alternatifler hat tipi, araç sayısı ve kapasite bakımından çeşitlilik göstermektedir. Hız, güvenlik, maliyet ve kapasite kriterleri göz önüne alınarak çok kriterli karar verme yöntemlerinden olan analitik hiyerarşi prosesi kullanılarak alternatif projeler ağırlıklandırılmıştır. Daha sonra projelerin bakım, araç ve altyapı maliyetleri dikkate alınmış olup bütçe kısıtı altında 3 farklı senaryo kullanılarak farklı hedefleri bir çatı altında toplayabildiğimiz hedef programlama modeli kurularak en uygun proje seçimi yapılmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Monoray, Proje seçimi, Ankara, Analitik Hiyerarşi Prosesi, Hedef Programlama, Kentsel Ulaşım

## Selection of Monorail Projects by Using Analytic Hierarchy Process and Goal Programming Combined Model

### Abstract

Large investments are made in rail systems to improve urban transport. Among the investments, there are monorail projects in Turkey that are considered to be done yet. Work in the monorail line planned to be made in Ankara continues. Alternative projects were evaluated for the monorail line to be installed in this study and the most suitable progeny was selected in line with the determined criteria. Alternatives vary in line type, number of cars and capacity. Alternative projects have been weighted using analytic hierarchy process, which is one of the multi-criteria decision making methods considering speed, safety, cost and capacity criteria. Afterwards, maintenance, vehicle and infrastructure costs of the projects were taken into consideration and the most suitable project was selected by establishing a target programming model in which different targets can be gathered under one roof by using tree different scenarios under budget constraint.

**Keywords:** Monorail, Project selection, Ankara, Analytic Hierarchy Process, Goal Programming, Urban Transportation

### 1. Giriş

Nüfusun artışı, çevresel faktörler, sosyo-ekonomik durum ve politik sebepler ulaşım konusunda birtakım problemlere sebep olmuştur. Bu problemler kentsel ulaşım konusunda çalışmalar yapılması gerektiğini göstermiş ve kentsel ulaşım planları konusunda ilk sistemli çalışmaya geçiş yapılmıştır. Arazi kullanım ve ulaşım yapısı arasındaki etkileşim analizi yapılmış, merkezi yönetim ve politika kararlarının da kentleri etkilediği anlaşılmıştır. Sürdürülebilirlik için çevresel etkilerin, sosyal eşitsizliklerin ve ulaşım sistemleri yönetiminin önemli olduğu ön plana çıkmıştır. Sorunların

giderilmesi ve belirli kısıtlar altında hedefe ulaşılabilecek en iyi çözümü sağlamak için kentsel ulaşım planlaması önemlidir.

Günümüzde dünyanın birçok şehrinde özellikle Japonya gibi Asya ülkelerinde eğlence amaçlı monoray sistemleri kullanılırken toplu taşımada da önemli bir rol üstlenmiş durumdadır. Monoray, şehir içi raylı ulaşım çeşitlerinden birisidir. Monoray araçları, tek ray veya beton blok üzerinde gidiş ya da geliş istikametinde hareket eder.

Metro, banliyö ve tren hatları iki ray üzerinde hareket eden raylı sistemlerdir. Monoray ulaşımında toplu taşımacılıkta kullanılan ray sistemi, kolonlar üstüne oturan kirişler ve bu kirişlerin üzerinden gidiş ve geliş aynı anda gerçekleştirilecek şekildedir. Monoray fikri ilk olarak taş ocağında kullanılmaya başlanmıştır. Sonrasında askeri amaçlı kullanılması düşünülen hat, ucuz bir demir yolu olarak sivil kullanıma da uygun görülmüştür.

Ankara’ da artan yolculuk taleplerine cevap verebilmek amacıyla verimli, hızlı, konforlu ve güvenli hizmet verecek raylı sistemler düşünülmektedir. Bu kapsamda bu çalışmada raylı sistem projeleri arasından 3 farklı bütçe senaryosu ile proje seçimi yapılmıştır. Çok kriterli karar verme yöntemlerinden biri olan AHP ile ağırlıklandırılan raylı sistem türlerinin, hedef programlama modeli ile optimum seçimi yapılmıştır.

Çalışmada kullanılan kriterler ve alternatifler uzman görüşleri ve literatürde yapılan çalışmalar doğrultusunda belirlenmiştir. Çok kriterli karar verme yöntemlerinden olan analitik hiyerarşi prosesi kullanılarak alternatifler, kriterler altında ağırlıklandırılmıştır. Belirlenen kısıtlar göz önünde bulundurularak hedef programlama modeli kurulmuştur. IBM ILOG CPLEX programı kullanılarak her senaryo için en uygun alternatif seçilmiştir.

## **2.Literatürde Proje Seçimi**

Proje seçim problemi, birden fazla alternatife sahip olması, birbiriyle çelişen kriter ve özellikleriyle birlikte çok kriterli karar verme problemi olarak görülebilir. Bu problemlerin çözümünde çok kriterli karar verme yöntemlerine sıklıkla rastlanmaktadır. Kısıtlı kaynakların doğru yerlere aktarılması için proje seçimi, büyük öneme sahiptir. Roy ve Hugonnard [1] electre yöntemi ile metro hattının konumunu belirlemişlerdir. Lee ve Kim [2], analitik ağ süreci (AAS) ve hedef programlama ile bağımlı bilgi sistemi proje seçimi yapmıştır. Yedla ve Shrestha [3] AHP yöntemi ile taşımacılık alternatiflerinin seçimi üzerine çalışmışlardır. Yurdakul [4] AHP ve hedef programlama yöntemini kullanarak bilgisayar entegre üretim teknolojilerinin seçimini yapmıştır. Tzeng vd., [5] AHP ve TOPSIS

yöntemlerini kullanarak toplu taşıma için yakıt seçimi yapmışlardır. Li vd., [6] AHP ile toplu taşıma sisteminde ulaşım modu ve rota seçimi yapmışlardır. Awasthi ve Chauhan [7] AHP yöntemi ile çevre dostu ulaştırma modunun seçimi üzerine çalışmışlardır. Ersöz vd., [8] ANP ve TOPSIS yöntemleri ile lisansüstü öğrenimde ders seçimi üzerine çalışmışlardır. Turcksin vd., [9] AHP ve PROMETHEE yöntemleri ile bir araç filosunu teşvik etmek için en uygun politika senaryosunu seçmişlerdir. Ayık ve Kılavuz [10] ANP ve TOPSIS yöntemleri ile yazılım seçimi yapmışlardır. Chang [11] ANP yöntemi ile projeler arsından program seçimi yapmıştır. Çerçioğlu ve Karaman [12] ANP ve VIKOR yöntemleri ve hedef programlama ile hastane yatırımı projeleri seçimini yapmışlardır. Ömürbek vd., [13] AHP ve TOPSIS yöntemleri ile kurumsal proje yönetimi yazılım geliştirmede kullanılacak programın seçilmesi üzerine çalışmışlardır. Keleş ve Tunca [14] electre yöntemi ile teknokent seçimi yapmışlardır. Hamurcu ve Eren [15] AHP yöntemi ile monoray güzergâh seçimi, çok kriterli karar verme yöntemleri ile raylı sistem proje seçimi [16], analitik ağ süreci ile Ankara’da kentsel ulaşım için monoray teknolojisinin seçimi [17] yapmışlardır.

## **3. Kullanılan Metotlar**

Çalışmada çok kriterli karar verme yöntemlerinden basit ve yaygın kullanımı olan analitik hiyerarşi prosesi kullanılmıştır. Projelerin ağırlıklarını bulmak için kullandığımız bu yöntem sonrasında belirlenen kısıtları altında hedef programlama modeli kurulmuştur. Kurulan hedef programlama modeli, optimizasyon programlarından biri olan IBM Ilog ile çözülmüştür.

### **3.1.AHP (Analitik Hiyerarşi Prosesi)**

Çok kriterli karar verme yöntemlerinden biri olan analitik hiyerarşi prosesi (AHP) ile karar vericiler tarafından karar problemi tanımlandıktan sonra kriterler, alternatifler ve alt kriterler göz önünde bulundurularak problemin değerlendirilmesi yapılır. Literatürde analitik hiyerarşi prosesi yöntemi ile yapılmış birçok çalışma bulunmaktadır. Toksarı [18] AHP metodunu kullanarak mobilya sektörü için pazar seçimine yönelik bir uygulama yapmıştır.

Sarucan vd., [19] AHP ile en iyi rüzgâr türbini seçimini yapmışlardır. Akyer ve Şahin [20] 4\*4 arama kurtarma aracı seçiminde AHP ve TOPSIS yöntemlerini kullanmışlardır. Ünal [21] AHP yönteminin prensipleri, aksiyomları, uygulama aşamaları ve faydalarını açıklamış ve personel seçimi uygulamasını yapmıştır. Narince [22] katılım bankası şubesi açmak için uygun olan ilçeleri belirlemek amacıyla çok kriterli karar verme yöntemlerinden olan AHP yöntemini kullanmıştır. Ekenci [23] AHP yönteminden yararlanarak sosyal hizmete ihtiyaç duyan hanelerin tespitini yapmaya çalışmıştır. Şener [24] AHP yöntemini kullanarak hızlı tüketim malları için doğru reklam mecrasının seçim analizini yapmıştır. Hamurcu ve Eren [15] yaptıkları çalışmalarında Ankara’da monoray güzergahlarının belirlenmesi için AHP yöntemini kullanarak kent içi ulaşımı iyileştirebilecek en iyi güzergahın seçimini yapmışlardır.

Uygulama süreci basit olan analitik hiyerarşi prosesi adımları **Tablo 1’** de gösterilmiştir.

**Tablo 1.** Analitik Hiyerarşi Prosesi Adımları

ADIMLAR	AÇIKLAMA
1. Karar verme problemi tanımlanır.	Problem tanımlanır ve hedefler belirlenir.
2. Problemin hiyerarşisi oluşturulur	Alternatifler ve kriterler belirlenip hiyerarşi oluşturulur.
3. İkili karşılaştırma matrisi oluşturulur. $\begin{bmatrix} a_{11} & \dots & a_{1m} \\ \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & \dots & a_{nm} \end{bmatrix}$	Probleme karar verilir. Kriterler, alternatifler, alt kriterler belirlendikten sonra ikili karşılaştırma matrisleri oluşturulur.
4. Özvektör oluşturulur. $b_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}}$ $w_i = \frac{\sum_{j=1}^n b_{ij}}{n}$	İkili karşılaştırma matrisleri oluşturulduktan sonra, her bir öğenin diğer öğelere göre önemini gösteren özvektörü hesaplanır.
5. Tutarlılık Ölçümü hesaplanır. $CR = \frac{CI}{RI}$	Tutarlılığa yakınlık göstergesi olan “Tutarlılık indeksi (CI)” hesaplanır. Rassallık indeksi (RI) eşitlikte yerine konulur.
6. Tutarlılık değerlendirme	CR > 0,10 ise karar matrisi tutarsız, CR ≤ 0,10 ise karar matrisi tutarlı kabul edilir.

### 3.2. Hedef Programlama

Gerçek hayatta karar problemlerinde tek bir amaç yoktur. Birçok açıdan çelişen hedefler için kriterlerin aynı anda gerçekleşmesi oldukça güçtür. Tek amaç optimizasyonuna çalışan doğrusal programlamanın yetersiz kaldığı bu durumlarda, hedef programlama kullanılır. Hedef programlamada istenilen her bir amaç belirli bir sayısal hedefi gerçekleştirmek için formüle edilerek istenmeyen sapma değişkenleri minimize edilir. Hedef programlamanın genel gösterimi;

Amaç Fonksiyonu:

$$\text{Min } Z = [P_1w_1(d_i^+, d_i^-) + \dots + P_kw_k(d_i^+, d_i^-)] \dots \dots \dots (1)$$

Kısıtlar:

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

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

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

şeklinde.  $P_i$ : öncelik,  $w_i$ : ağırlık,  $d_i^+$ : pozitif yönde sapma,  $d_i^-$ : negatif yönde sapma,  $a_{ij}$ : parametreler ve  $x_j$ : karar değişkenidir (Hamurcu vd., 2016).

Hedef programlama, daha özel bir matematiksel model olup geniş bir kullanım alanına sahiptir. Ağırlıklı ve öncelikli hedef programlama olarak çeşitli kurulumu mevcuttur.

Literatürde hedef programlama üzerine yapılmış bazı çalışmalar sıralanmıştır. Kim ve Lee [25] analitik hiyerarşi prosesi ve hedef programlama kullanarak nükleer yakıt senaryo seçimi üzerine çalışma yapmışlardır. Badri [26], analitik hiyerarşi prosesi ve hedef programlama kullanarak tesis yer seçimi üzerine çalışma yapmıştır. Eren ve Dağdeviren [27] analitik hiyerarşi prosesi ve 0-1 hedef programlama yöntemlerini kullanarak tedarikçi firma seçimi üzerine çalışmışlardır. Mızrak [28], hedef

programlama ile tedarikçi seçimi yapmıştır. Ho ve Dey [29] çok kriterli karar verme yöntemlerinden biri olan analitik hiyerarşi prosesi ve hedef programlama kullanmış ve yükseköğretim teknikleri üzerine bir çalışma yapmışlardır. Sariay ve Umarusman [30], hedef programlama ile bir işletme uygulaması yapmışlardır. Eren ve Özder [31], çok kriterli karar verme yöntemi ve hedef programlama teknikleri ile tedarikçi seçimi yapmışlardır. Gür vd. [32], ANP ve hedef programlama ile kamu kurumları proje seçimi yapmışlardır. Gür vd. [33], AHP ile 0-1 hedef programlama ile monoray projelerinin seçimi üzerine çalışmışlardır. Hamurcu vd. [34], ANP ve 0-1 Hedef Programlama ile monoray proje seçimi üzerine çalışmıştır. Hamurcu ve Eren [35] ANP ve hedef programlama ile güzergâh seçimi yapmıştır.

#### 4. Uygulama

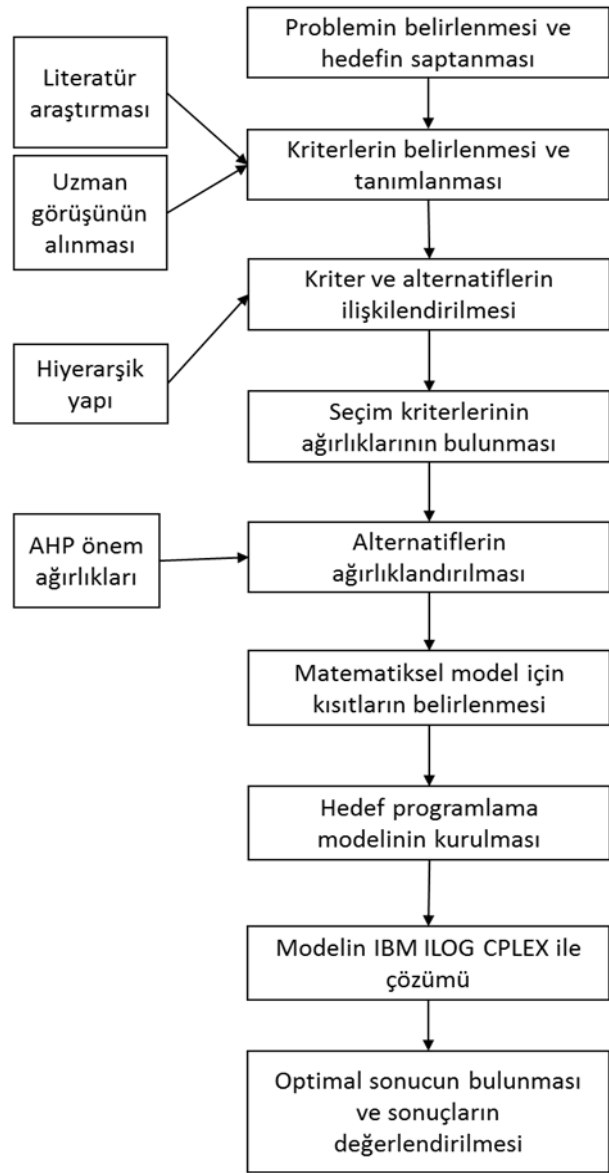
Artan ulaşım taleplerine cevap verebilmek amacıyla Ankara Büyükşehir Belediyesi birçok proje ortaya koymaktadır. Özellikle toplu ulaşım teşvik edilmekte ve bu alanda çalışmalar yapılmaktadır. Yapılmış ve yapılmakta olan metro projeleri, açılan yeni lastik tekerlekli toplu ulaşım hatları ve farklı toplu ulaşım türleri ile kentsel ulaşım iyileştirilmeye çalışılmaktadır. Bu kapsamda Ankara’da düşünülen yeni ulaşım türü olan monoray ulaşımı üzerine ön çalışmalar yapılmaktadır. Ankara’da kentsel ulaşımı daha da çeşitlendirecek olan bu yeni ulaşım türü, araç, hat tipi, kapasite ve görünüm olarak farklılık göstermektedir. Artan bu çeşitlilik ulaşım planlama departmanlarını seçim yapmaya yöneltilmektedir. Kentsel ulaşımı iyileştirmeyi hedef alan bu seçimin birçok faktöre bağlı olması çok kriterli karar vermeyi gerektirmekte ve optimizasyon yöntemlerini ön plana çıkarmaktadır. Dubai’de [36] işletilmekte olan monoray ulaşımı Şekil 1’de gösterilmiştir.



Şekil 1. Monoray

#### 4.1. Araştırma metodolojisi

Karar probleminin belirlenmesi ve hedeflerin saptanması ile literatürde yapılmış çalışmalar incelenmiştir. Bu aşamada ayrıca uzman görüşüne başvurulmuştur. Alınan uzman görüşleri ve yapılan literatür araştırmaları sonucu kriterler ve alternatifler belirlenmiştir. Hiyerarşik yapı oluşturulup kriter ve alternatifler ağırlıklandırılmıştır. Matematiksel model kurulup belirlenen kısıtları sağlayacak şekilde IBM Ilog ile çözüm yapılmış ve optimal sonuca ulaşılmıştır. Yapılan uygulamanın adımları Şekil 2’de gösterilmiştir.



Şekil 2. Uygulama Adımları

#### 4.2. Alternatiflerin belirlenmesi

Monoray araç çeşitleri hat türü, kapasite, araç sayıları ile farklılık göstermektedir. Tren boyutları küçük, orta ve büyük olmak üzere üç farklı şekildedir. Trenlerde hat türü tek yön veya çift yön olarak değişmektedir. Trenlerin saatlik sefer sayıları ise yaptığı bir seferin süresi ile belirlenir. Sefer süreleri üç, dört, beş, altı dakika olarak değişmektedir. Her bir tren için yolcu taşıma kapasitesi ve araç sayıları farklılık göstermektedir.

Alınan uzman görüşleri doğrultusunda belirlenen alternatifler Tablo-2’de gösterilmiştir. Monoray araç çeşitlerinin aylık ortalama bakım/işletme maliyetleri, araç maliyetleri ve altyapı maliyetleri uzman görüşü ile belirlenmiştir. Her maliyet her bir tren için parametre olup modelde kullanılmıştır. Belirlenen maliyetler Tablo-3’ de gösterilmiştir. Bakım işletme maliyetini k, araç maliyetini c, altyapı maliyetini m, temsil etmektedir.

Problemde uygulanacak üç farklı senaryo bulunmaktadır. Senaryolarda farklı saatlik talep, bakım/işletme, araç, altyapı maliyetleri bulunmaktadır. Senaryolarda verilmiş olan kısıtlar sağlanmalı ve aşılmamalıdır. Problemde kullanılan senaryolar Ankara Büyükşehir Belediyesi’nden alınan bilgiler doğrultusunda oluşturulmuştur.

Henüz belirli bir bütçe ayrılmadığından farklı senaryolar uygulanmıştır. Her bir senaryo için talep (saatlik) ve ayrılan kaynak kısıtları Tablo-4’ de verilmiştir.

#### 4.3. Kriterlerin belirlenmesi

Ulaştırma projeleri hakkında yapılan literatür araştırması özellikle Hamurcu’nun yaptığı tez çalışmasından [37] ve uzman görüşleri doğrultusunda belirlenen 4 kriter altında ağırlıklandırma yapılmıştır.

Belirlenen kriterler kentsel ulaşımında iyileşme sağlamaya yöneliktir. Planlayıcıların yüksek kapasite ve düşük maliyet faktörlerini bir çatı altında toplayabilecek kriterler Tablo-5’ da belirlenmiştir.

#### 4.4. AHP’nin uygulanması

Tablo-1’ de gösterilen AHP adımları belirlenen sırayla gerçekleştirilmiştir. Kriterler ve alternatifler için karşılaştırma matrisleri oluşturulmuştur.

Tablo 4. Senaryolar

Senaryolar	Talep (Saatlik)	Ayrılan Kaynak(100*TL)		
		Bakım/İşletme	Araç	Altyapı
Senaryo_1	2.000	250	2.000	250.000
Senaryo_2	5.000	500	3.000	400.000
Senaryo_3	10.000	750	4.000	500.000

##### 4.4.1. Kriterlerin ikili karşılaştırma matrisi

Belirlenmiş olan hız, güvenlik, kapasite, maliyet kriterleri için ikili karşılaştırma matrisi oluşturulmuş ve tutarlılıkları hesaplanmıştır. Elde edilen kriter ağırlıkları Tablo-6’ de gösterilmiştir.

##### 4.4.2. Hız kriteri için alternatiflerin karşılaştırılması

Kullanılan her bir alternatifin hız kriteri başlığı altında üstünlükleri belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar Tablo-7’de gösterilmiştir. Kullanılan her bir alternatifin güvenlik kriteri başlığı altında üstünlükleri belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar Tablo-8’ da gösterilmiştir. Diğer kriterler içinde aynı işlem yapılarak on iki alternatif projenin önem ağırlıkları bulunmuştur.

**Tablo 2.** Alternatif projeler

Sembol Gösterimi	Monoray Araç Çeşitleri	Hat Türü	Taşınan Yolcu Sayısı(h)			
			Dizi aralığı			
			3 dk	4 dk	5 dk	6 dk
X <sub>1</sub>	Küçük tren dizisi (2-araç)	Tek Yön	2,680	2,010	1,608	1,340
X <sub>2</sub>	Küçük tren dizisi (4-araç)	Tek Yön	4,960	3,720	2,976	2,480
X <sub>3</sub>	Orta boy tren dizisi (2-araç)	Tek Yön	4,920	3,690	2,952	2,460
X <sub>4</sub>	Orta boy tren dizisi (3-araç)	Tek Yön	7,680	5,760	4,608	3,840
X <sub>5</sub>	Orta boy tren dizisi (4-araç)	Tek Yön	10,440	7,830	6,264	5,220
X <sub>6</sub>	Büyük tren dizisi (2-araç)	Tek Yön	5,600	4,200	3,360	2,800
X <sub>7</sub>	Büyük tren dizisi (4-araç)	Tek Yön	11,960	8,970	7,176	5,980
X <sub>8</sub>	Küçük tren dizisi (2-araç)x2	Çift Yön	5,360	4,020	3,216	2,680
X <sub>9</sub>	Küçük tren dizisi (4-araç)x2	Çift Yön	9,920	7,440	5,952	4,960
X <sub>10</sub>	Orta boy tren dizisi (2-araç)x2	Çift Yön	9,840	7,380	5,904	4,920
X <sub>11</sub>	Orta boy tren dizisi (3-araç)x2	Çift Yön	15,360	11,520	9,216	7,680
X <sub>12</sub>	Orta boy tren dizisi (4-araç)x2	Çift Yön	20,880	15,660	12,528	10,440
<b>Saatlik sefer sayısı</b>			<b>20</b>	<b>15</b>	<b>12</b>	<b>10</b>

**Tablo 3.** Alternatiflerin maliyetleri

Sembol Gösterimi	Monoray Araç Çeşitleri	Maliyetler		
		Bakım/işletme (Ortalama) Aylık(k)	Araç(c)	Altyapı(m)
X <sub>1</sub>	Küçük tren dizisi (2-araç)	200	1.000	250.000
X <sub>2</sub>	Küçük tren dizisi (4-araç)	350	1.400	250.000
X <sub>3</sub>	Orta boy tren dizisi (2-araç)	300	1.500	280.000
X <sub>4</sub>	Orta boy tren dizisi (3-araç)	350	1.800	280.000
X <sub>5</sub>	Orta boy tren dizisi (4-araç)	370	1.800	280.000
X <sub>6</sub>	Büyük tren dizisi (2-araç)	400	2.000	300.000
X <sub>7</sub>	Büyük tren dizisi (4-araç)	350	2.300	300.000
X <sub>8</sub>	Küçük tren dizisi (2-araç) x2	400	2000	450.000
X <sub>9</sub>	Küçük tren dizisi (4-araç) x2	700	2800	450.000
X <sub>10</sub>	Orta boy tren dizisi (2-araç) x2	600	3000	600.000
X <sub>11</sub>	Orta boy tren dizisi (3-araç) x2	700	3600	600.000
X <sub>12</sub>	Orta boy tren dizisi (4-araç) x2	740	3600	650.000

**Tablo 5.** Kriterler

Kullanılan Kriterler	Açıklama
Hız	Trenlerin hızı öncelikle kullanılacak trene etki etmektedir. Bu da seçilen senaryonun değişimine etki etmektedir.
Güvenlik	Güvenlik seçilen proje de kullanılan kısıtlar için önemlidir.
Kapasite	Kapasite yolcu sayısını ve talebe göre sefer sayısını etkiler.
Maliyet	Bakım onarım, altyapı, araç maliyetleri projenin seçimini etkilemektedir.

**Tablo 6.** Kriterlerin karşılaştırılması

Kriterler	Hız	Güvenlik	Kapasite	Maliyet
Hız	1,00	0,33	4,00	0,50
Güvenlik	3,00	1,00	4,00	3,00
Kapasite	0,25	0,25	1,00	0,50
Maliyet	2,00	0,33	2,00	1,00

**Tablo 7.** Güvenlik kriteri altında alternatiflerin karşılaştırılması

Güvenlik	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>5</sub>	X <sub>6</sub>	X <sub>7</sub>	X <sub>8</sub>	X <sub>9</sub>	X <sub>10</sub>	X <sub>11</sub>	X <sub>12</sub>
X <sub>1</sub>	1,000	0,333	2,000	0,250	3,000	5,000	3,000	0,500	5,000	0,200	3,000	0,250
X <sub>2</sub>	3,000	1,000	3,000	0,333	4,000	0,250	0,500	0,333	3,000	0,250	4,000	3,000
X <sub>3</sub>	0,500	0,333	1,000	5,000	3,000	3,000	0,333	4,000	0,200	5,000	0,200	3,000
X <sub>4</sub>	4,000	3,000	0,200	1,000	0,500	5,000	0,250	3,000	0,250	4,000	0,500	3,000
X <sub>5</sub>	0,333	0,250	0,333	2,000	1,000	5,000	0,333	3,000	0,333	3,000	0,333	0,200
X <sub>6</sub>	0,200	4,000	0,333	0,200	0,200	1,000	5,000	0,250	3,000	0,500	3,000	2,000
X <sub>7</sub>	0,333	2,000	3,000	4,000	3,000	0,200	1,000	3,000	0,333	4,000	0,250	0,500
X <sub>8</sub>	2,000	3,000	0,250	0,333	0,333	4,000	0,333	1,000	5,000	0,500	3,000	0,333
X <sub>9</sub>	0,200	0,333	5,000	4,000	3,000	0,333	3,000	0,200	1,000	2,000	0,500	3,000
X <sub>10</sub>	5,000	4,000	0,200	0,250	0,333	2,000	0,250	2,000	0,500	1,000	0,333	3,000
X <sub>11</sub>	0,333	0,250	5,000	2,000	3,000	0,333	4,000	0,333	2,000	3,000	1,000	0,333
X <sub>12</sub>	4,000	0,333	0,333	0,333	5,000	0,500	2,000	3,000	0,333	0,333	3,000	1,000

**Tablo 8.** Hız kriteri altında alternatiflerin karşılaştırılması

Hız	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>5</sub>	X <sub>6</sub>	X <sub>7</sub>	X <sub>8</sub>	X <sub>9</sub>	X <sub>10</sub>	X <sub>11</sub>	X <sub>12</sub>
X <sub>1</sub>	1,000	0,250	3,000	4,000	0,200	7,000	3,000	0,500	5,000	0,333	3,000	5,000
X <sub>2</sub>	4,000	1,000	4,000	0,333	2,000	0,200	5,000	0,333	3,000	0,250	4,000	0,333
X <sub>3</sub>	0,333	0,250	1,000	2,000	0,500	0,500	0,250	4,000	0,500	0,200	0,333	2,000
X <sub>4</sub>	0,250	3,000	0,500	1,000	0,333	2,000	0,333	4,000	0,250	2,000	7,000	2,000
X <sub>5</sub>	5,000	0,500	2,000	3,000	1,000	3,000	0,500	3,000	0,333	3,000	0,333	0,200
X <sub>6</sub>	0,143	5,000	2,000	0,500	0,333	1,000	3,000	0,250	3,000	0,500	5,000	3,000
X <sub>7</sub>	0,333	0,200	4,000	3,000	2,000	0,333	1,000	2,000	7,000	3,000	0,333	0,500
X <sub>8</sub>	2,000	3,000	0,250	0,250	0,333	4,000	0,500	1,000	0,200	0,500	3,000	0,333
X <sub>9</sub>	0,200	0,333	2,000	4,000	3,000	0,333	0,143	5,000	1,000	2,000	0,333	5,000
X <sub>10</sub>	3,000	4,000	5,000	0,500	0,333	2,000	0,333	2,000	0,500	1,000	0,500	3,000
X <sub>11</sub>	0,333	0,250	3,000	0,143	3,000	0,200	3,000	0,333	3,000	2,000	1,000	0,333
X <sub>12</sub>	0,200	3,000	0,500	0,500	5,000	0,333	2,000	3,000	0,200	0,333	3,000	1,000

**Tablo 9.** Alternatiflerin ağırlıklar

Monoray Araç Çeşitleri	Hız	Güvenlik	Maliyet	Kapasite	Ağırlık
Küçük tren dizisi (2-araç)	0,123	0,079	0,086	0,095	0,089
Küçük tren dizisi (4-araç)	0,096	0,094	0,075	0,094	0,088
Orta boy tren dizisi (2-araç)	0,044	0,088	0,090	0,102	0,080
Orta boy tren dizisi (3-araç)	0,083	0,092	0,095	0,093	0,090
Orta boy tren dizisi (4-araç)	0,094	0,076	0,069	0,069	0,077
Büyük tren dizisi (2-araç)	0,088	0,094	0,068	0,079	0,086
Büyük tren dizisi (4-araç)	0,093	0,083	0,099	0,074	0,089
Küçük tren dizisi (2-araç) x2	0,060	0,067	0,090	0,082	0,072
Küçük tren dizisi (4-araç) x2	0,092	0,085	0,117	0,078	0,096
Orta boy tren dizisi (2-araç) x2	0,086	0,080	0,058	0,082	0,074
Orta boy tren dizisi (3-araç) x2	0,067	0,086	0,093	0,081	0,084
Orta boy tren dizisi (4-araç) x2	0,075	0,076	0,060	0,069	0,070

**Tablo 10.** Matematiksel model

Model	Hedefler
Minimize $Z = Pl1(d_1^- + d_2^+ + d_3^+ + d_4^+)$	Sapmaların minimize edilmesi
$Pl2(0,089d_5^- + 0,088d_6^- + 0,080d_7^- + 0,090d_8^- + 0,077d_9^- + 0,086d_{10}^- + 0,089d_{11}^- + 0,072d_{12}^- + 0,096d_{13}^- + 0,074d_{14}^- + 0,084d_{15}^- + 0,070d_{16}^-)$	Projelerin AHP ile ağırlıklandırılması
$\sum_{i=1}^{12} h_{1i}X_i + d_1^- - d_1^+ = r$	Saatlik talebin karşılanması kısıtı
$\sum_{i=1}^{12} k_{1i}X_i + d_2^- - d_2^+ = t$	Bakım/işletme maliyeti kısıtı
$\sum_{i=1}^{12} c_{1i}X_i + d_3^- - d_3^+ = s$	Araç maliyeti kısıtı
$\sum_{i=1}^{12} m_{1i}X_i + d_4^- - d_4^+ = f$	Altyapı maliyeti kısıtı
$\sum_{i=1}^{12} X_i + d_j^- = 1$	Projelerden sadece birinin seçilmesi kısıtı
$d_i^-, d_i^+ \geq 0 \quad i=1, \dots, 16; J=5, \dots, 16$	Sapmaların negatif olmama kısıtı
$X_i \geq 0 \quad i=1, \dots, 12$	Alternatiflerin negatif olmama kısıtı

#### 4.4.3. Kriterler altında alternatiflerin ağırlıklandırılması

Uzman görüşleri ile belirlenmiş olan hız, güvenlik, maliyet ve kapasite kriterleri altında yine uzman görüşleri ile belirlenmiş olan her bir alternatifin karşılaştırma matrisleri oluşturulmuştur. Kriterlerin karşılaştırılması sonucu elde edilen kriter ağırlıkları ile her bir kriter altında bulunan alternatif ağırlıkları çarpılmış olup Tablo-9' da verilen alternatif ağırlıkları bulunmuştur.

#### 4.5. Hedef programlama modelinin kurulması

Öncelikli hedef olan amaç fonksiyonunda sapmalar minimize edilmiştir. Projelerin AHP ile belirlenen ağırlıkları ikinci öncelik olarak kullanılmıştır. Ayrıca üç farklı senaryoda belirtilen saatlik talep, bakım/işletme maliyeti, araç maliyeti, altyapı maliyeti kısıtları da modelde kullanılmıştır. Her senaryoda maliyetler değişmektedir.

Tablo-10'da modelin kapalı formülü verilmiştir.



Saatlik talebin karşılanması kısıdını  $r$ , bakım işletme maliyeti kısıdını  $t$ , araç maliyeti kısıdını  $s$ , altyapı maliyetini  $f$  göstermektedir.

IBM ILOG CPLEX programı ile elde edilmiş sonuçlar Tablo-11' de gösterilmiştir.

**Tablo 11.** IBM ILOG CPLEX sonuçları

Senaryolar	Dizi aralığı			
	3 dk	4 dk	5 dk	6 dk
Senaryo 1	$X_1$	$X_1$	$X_2$	$X_2$
Senaryo 2	$X_5$	$X_5$	$X_5$	$X_5$
Senaryo 3	$X_5$	$X_7$	$X_7$	$X_7$

IBM ILOG CPLEX programı ile yapılan çözümlerde;

Senaryo 1 için;

- 3 dakikalık sefer için  $X_1$  (Küçük tren dizisi 2-araç)
- 4 dakikalık sefer için  $X_1$  (Küçük tren dizisi 2-araç), 5 dakikalık sefer için  $X_2$ (Küçük tren dizisi 4-araç)
- 6 dakikalık sefer için  $X_2$  (Küçük tren dizisi 4-araç) seçilmiştir.

Senaryo 2 için;

- 3 dakikalık sefer için  $X_5$ (Orta boy tren dizisi 4-araç)
- 4 dakikalık sefer için  $X_5$  (Orta boy tren dizisi 4-araç)
- 5 dakikalık sefer için  $X_5$  (Orta boy tren dizisi 4-araç), 6 dakikalık sefer için  $X_5$  (Orta boy tren dizisi 4-araç) seçilmiştir.

Senaryo 3 için;

- 3 dakikalık sefer için  $X_5$  (Orta boy tren dizisi 4-araç)
- 4 dakikalık sefer için  $X_7$  (Büyük tren dizisi 4-araç)
- 5 dakikalık sefer için  $X_7$  (Büyük tren dizisi 4-araç), 6 dakikalık sefer için  $X_7$ (Büyük tren dizisi 4-araç) seçilmiştir.

## 5. Sonuç

Çalışmada belirlenen kriterler altında alternatifler ağırlıklandırılmış, hedef programlama ile modellenen problem IBM ILOG CPLEX programı ile çözülmüştür. Senaryolar için uzman tarafından belirlenen bakım/işletme maliyeti, araç maliyeti ve altyapı maliyeti göz önünde bulundurulmuştur. Senaryo 1 için yapılan çözümde 3 ve 4 dakikalık seferler için Küçük tren dizisi 2-araç seçilmiştir. Ayrıca 5 ve 6 dakikalık seferler için Küçük tren dizisi 4-araç seçilmiştir. Senaryo 2 'de tüm seferler için Orta boy tren dizisi 4-araç seçilmiştir. Senaryo 3' te 3 dakikalık sefer için Orta boy tren dizisi 4-araç, 4, 5 ve 6 dakikalık seferler için Büyük tren dizisi 4-araç seçilmiştir. Elde edilen sonuçlarla en uygun proje seçimi yapılmıştır. Yapılan çalışma kentsel ulaşım sorunlarına çözüm bulmak ve yeni ulaşım olanaklarını değerlendirmek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Kaynakların kullanımı her senaryo için etkin bir şekilde sağlanmıştır. Eldeki kaynaklar ile senaryolar üzerinde değişiklik yapılarak çalışmaya farklı bir boyut kazandırılabilir. Ayrıca araç maliyeti, bakım maliyeti ve altyapı maliyetine ek olarak yeni bir kısıt eklenebilir. Problemin çözümü için farklı çok kriterli karar verme yöntemleri kullanılabilir. Kriterlerin birbiri ile ilişkili olduğu durum oluşturularak analitik ağ prosesi ve hedef programlama kullanılarak çözülebilir.

## Kaynakça

- [1] Roy, B., Hugonnard, J., "Ranking of suburban line extension projects on the Paris metro system by a multicriteria method", Transportation Research Part A: General, 16(4), 301–312, 1982.
- [2] Lee, J., Kim, S., "Using analytic network process and goal programming for interdependent information system project selection", Computers & Operations Research 27, 367-382, 2000.
- [3] Yedla, A., Shrestha, R. M., "Multi-criteria approach for the selection of alternative options for environmentally sustainable Transport System In Delhi", Transportation Research Parta: Policy And Practice, 37(8), 717–729, 2003.
- [4] Yurdakul, M., "Analitik ağ süreci yöntemi ile en uygun pazarlama stratejisinin belirlenmesi", Dumlupınar Üniversitesi, Sosyal Bilimler Dergisi, 211-226, 2013.
- [5] Tzeng, G., Lin, C., Opricovic, S., "Multi-criteria analysis of alternative-fuel buses for public

- transportation”, *Energy Policy*, 33(11), 1373–1383, 2005.
- [6] Li, Y., T, Huang, B., Lee, D.H., “Multimodal, multicriteria dynamic route choice: A GIS-Microscopic traffic simulation approach”, *Annals Of GIS*, 17(3), 173–187, 2011.
- [7] Awasthi, A., Chauhan, S. S., “Using AHP and dempster shafer theory for evaluating sustainable transport solutions”, *Environmental Modelling & Software*, 26, 787–796, 2011.
- [8] Ersöz, F., Kabak, M., vd., "Lisanüstü öğrenimde ders seçimine yönelik bir model önerisi", *Afyon Kocatepe Üniversitesi, İİBF Dergisi*, 12(2), 2011.
- [9] Turcksin, L., Bernardini, A., & Macharis, C., “A Combined AHP-PROMETHEE Approach For Selecting The Most Appropriate Policy Scenario To Stimulate A Clean Vehicle Fleet”, *Procedia- Social And Behavioral Sciences*, 20, 954–965, 2011.
- [10] Ayık, Y., Z., Kılavuz, Y., "Analitik Ağ Süreci Yaklaşımı Ve TOPSIS Yöntemi İle Öğrenci İşleri Bilgi Sistemi Yazılımı Seçimi", *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 27(4), 2013.
- [11] Chang, K. L. “A Hybrid Program Projects Selection Model for Nonprofit TV Stations”. *Mathematical Problems in Engineering*, 2015.
- [12] Çerçioğlu, H., Karaman, B., "0-1 Hedef Programlama Destekli Bütünleşik AHP-VIKOR Yöntemi: Hastane Yatırımı Projeleri Seçimi ", *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.* 30(4), 567-576, 2015.
- [13] Ömürbek, N., Makas, Y., Vd., "AHP Ve TOPSIS Yöntemleri İle Kurumsal Proje Yönetim Yazılımı Seçimi", *Süleyman Demirel Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 2015.
- [14] Keleş, M., K., Tunca, vd., "Hiyerarşik Electre Yönteminin Teknokent Seçiminde Kullanımı Üzerine Bir Çalışma", *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 20(1), 199-223, 2015.
- [15] Hamurcu, M., Eren, T., “Ankara Büyükşehir Belediyesi’nde Çok Ölçütlü Karar Verme Yöntemi İle Monoray Güzergâh Seçimi”, *Transist 8. Uluslararası Ulaşım Teknolojileri Sempozyumu ve Fuarı*, İstanbul, 410-419, 17-19 Aralık 2015.
- [16] Hamurcu, M., Eren, T., “Raylı Sistem Projelerinin Seçiminde Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerinin Kullanımı” *Transist 9. Uluslararası Ulaşım Teknolojileri Sempozyumu ve Fuarı*, İstanbul, 1-3 Aralık 2016.
- [17] Hamurcu, M., Eren, T., “Analitik Ağ Süreci İle Ankara’da Kentsel Ulaşım İçin Monoray Teknolojisinin Seçimi”, *3rd International Symposium on Railway Systems Engineering (ISERSE’2016)*, Karabük, 13-15 Ekim 2016.
- [18] Toksarı, M., “Analitik Hiyerarşi Prosesi Yaklaşımı Kullanılarak Mobilya Sektörü İçin Ege Bölgesi’nde Hedef Pazarın Belirlenmesi”, *Celal Bayar Üniversitesi İ.İ.B.F Yönetim Ve Ekonomi*, 14(1), 171-180, 2007.
- [19] Sarucan, A., Akkoyunlu, M.C. ve Baş, A. “Analitik Hiyerarşi Proses Yöntemi İle Rüzgâr Türbin Seçimi”. *Selçuk Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Dergisi*. 25 (1): 12-18, 2010.
- [20] Akyer, H., Şahin, Y., “Ülke Kaynaklarının Verimli Kullanımı: 4\*4 Arama ve Kurtarma Aracı Seçiminde AHS ve TOPSIS Yöntemlerinin Uygulanması”, *Süleyman Demirel Üniversitesi Vizyoner Dergisi*, 72-87, 2011.
- [21] Ünal, Ö.F., “Analitik Hiyerarşi Prosesi Ve Personel Seçimi Alanında Uygulamaları”, *Akdeniz Üniversitesi Uluslararası Alanya İşletme Fakültesi Dergisi*, 3(2), 18-38, 2011.
- [22] Narince, Ü., “Katılım Bankası Şubesi Açılması Uygun Olan İlçelerin AHP Yöntemiyle Belirlenmesi: İstanbul Anadolu Yakası Örneği”, *Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İşletme Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi*, Muğla, 2013.
- [23] Ekenci, M.T., “Analitik Hiyerarşi Süreci İle Sosyal Hizmet İhtiyaç Duyan Hanelerin Tespiti: Ankara-Mamak Örneği”, *Gazi Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ekonometri Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi*, Ankara, 2013.
- [24] Şener, Ç., “Reklam Mecrası Seçimi: Hızlı Tüketim Malları Sektöründe AHS Yöntemi İle Bir Uygulama”, *İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul, 2014.
- [25] Kim, P., Lee, K., Vd., "Selection Of An Opimal Nuclear Fuel Scenario By Goal Programming And The Analytic Hierarchy Process", *Annals of Nuclear Energy* 26, 449-460, 1999.
- [26] Badri, M., "Combining the analytic hierarchy process and goal programming for global facility location-allocation problem", *Int. J. Production Economics* 62, 237-248, 1999.
- [27] Dağdeviren, M., Eren, T., “Tedarikçi Firma Seçiminde Analitik Hiyerarşi Prosesi Ve 0-1 Hedef Programlama Yöntemlerinin Kullanılması”, *Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 16(2), 41-52, 2001.
- [28] Mızrak, P., “Supplier Selection Problem An Application Of Goal Programming İn A Firm”, *Dokuz Eylül University, Institute of science, Industrial Engineering*, 2003.
- [29] Ho, W., Dey, P., "Multiple Criteria Decision-Making Techniques in Higher Education", *International Journal of Educational Management*, 20(5), 319-337, 2006.
- [30] Sarıay, H., Umarusman, N., "Hedef Programlama Ve Bir İşletme Uygulaması", *Aksaray Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İşletme Anabilim Dalı*, 2012.
- [31] Eren, T., Özder, E., "Çok Ölçütlü Karar Verme Yöntemi Ve Hedef Programlama Teknikleri İle Tedarikçi Seçimi", *Sujest*, 4(3), 2016.
- [32] Gür, Ş., Hamurcu, M., Eren, T., “Using Analytic Network Process And Goal Programming Methods For Project Selection in the Public Institution” *Les Cahiers du MECAS* 13, 36-51, 2016.
- [33] Gür, Ş., Hamurcu, M., Eren, T., “Ankara’da Monoray Projelerinin Analitik Hiyerarşi Prosesi Ve 0-1 Hedef

- Programlama İle Seçimi”, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 23 (4), 437-443, 2017.
- [34] Hamurcu, M., Gür Ş., Özder, E.H., Eren, T., “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):8-12, 2016.
- [35] Hamurcu, M., Eren, T., “A Multicriteria Decision-Making for Monorail Route Selection in Ankara”, International Journal of Industrial Electronics and Electrical Engineering, 4 (5), 121-125, 2016.
- [36] <http://www.2daydubai.com/pages/dubai-metro>, (Erişim Tarihi 22.03.2017)
- [37] Hamurcu, M., Ankara'da Çok Ölçütlü Karar Verme Yöntemleriyle Monoray Güzergâhı Belirleme, Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2016.