T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İSTANBUL BOĞAZINI GEÇEN RAYLI SİSTEM PROJELERİNİN ANALİTİK HİYERARŞİ SÜRECİ İLE ÖNCELİKLENDİRİLMESİ

Oğuzhan TEMİZER

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Ulaştırma Programı

Danışman

Prof. Dr. İsmail ŞAHİN

Temmuz, 2021

T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İSTANBUL BOĞAZINI GEÇEN RAYLI SİSTEM PROJELERİNİN ANALİTİK HİYERARŞİ SÜRECİ İLE ÖNCELİKLENDİRİLMESİ

Oğuzhan TEMİZER tarafından hazırlanan tez çalışması 13.07.2021 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Ulaştırma Programı **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. İsmail ŞAHİN
Yıldız Teknik Üniversitesi
Danışman

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. İsmail ŞAHİN, Danışman
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Dr.Öğr.Üyesi Mustafa Sinan YARDIM , Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Doç. Dr. Hüseyin Onur TEZCAN , Üye
İstanbul Teknik Üniversitesi _____

Danışmanım Prof. Dr. İsmail ŞAHİN sorumluluğunda tarafımca hazırlanan İstanbul Boğazını Geçen Raylı Sistem Projelerinin Analitik Hiyerarşi Süreci İle Önceliklendirilmesi başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Oğuzhan TEMİZER

İmza

Aileme

ve

sevdiklerime

TEŞEKKÜR

İlk olarak İstanbul Boğaz geçişindeki yolculuk talebini göz önünde bulundurarak İstanbul Boğazını geçen yeni bir raylı sistem güzergâhı önermek amacıyla çalışmalara başlamıştık. Fakat yapılan literatür taramaları ve çeşitli araştırmalar sonucunda boğaz geçişi için bazı raylı sistem projelerinin önceden önerildiğini gördük. Bu sayede aslında çalışma kendi kendini şekillendirerek, önerilen ve raylı sistem yatırım planına dahil edilen projelerin güncellenip yeniden önceliklendirmesi halini aldı. Umarım bu haliyle faydalı bir çalışma olmuştur.

Öncelikle çalışma süresince yaptığı yönlendirmeler ve verdiği fikirler ile çalışmaya çok önemli katkılarda bulunan tez danışmanım sayın Prof. Dr. İsmail ŞAHİN'e, yüksek lisans öğrenimim boyunca ders aldığım; Doç.Dr. Mustafa GÜRSOY, Dr. Öğr. Üyesi Mustafa Sinan YARDIM, Dr. Öğr. Üyesi Güzin AKYILDIZ ALÇURA hocalarıma, desteklerini hiçbir zaman eksik etmeyen aile fertlerim; annem Pelin TEMİZER, babam Uğur TEMİZER ve kardeşim Zeynep TEMİZER 'e bu süreçte verdikleri destek ve emekleri için teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca birlikte çalışma çizelgeleri yaptığımız, birbirimizi sürekli motive ettiğimiz, bu süreçte birçok kez evine misafir olduğum ve aynı zamanda kendisi de ulaştırma anabilim dalında tez çalışmasını yürütmekte olan arkadaşım Hikmet ALTINTAŞ'a teşekkürü bir borç bilirim.

Tez kapsamındaki anket çalışmasına katılarak kıymetli görüşlerini paylaşan ve çalışmaya anket aşamasında destek olan herkese teşekkür ederim.

Oğuzhan TEMİZER

İnşaat Mühendisi

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ vii

KISALTMA LİSTESİ viii

ŞEKİL LİSTESİ ix

TABLO LİSTESİ x

ÖZET xi

ABSTRACT xiii

1 GİRİŞ **1**

1.1 Literatür Özeti ... 1
1.2 Tezin Amacı ... 8
1.3 Hipotez ... 8

2 İSTANBUL'DA RAYLI SİSTEMLER **9**

2.1 İstanbul'un Raylı Sistemler Tarihçesi ... 9
2.2 Mevcut Raylı Sistemler ... 12
2.3 İnşaat ve Proje Sürecinde Olan Projeler ... 17

3 ÇOK ÖLÇÜTLÜ KARAR VERME YÖNTEMLERİ **21**

3.1 Giriş ... 21
3.2 Çok Ölçütlü Karar Verme Problemleri ... 22
3.3 Çok Ölçütlü Karar Verme Teknikleri ... 23
3.4 Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) ... 24

4 İSTANBUL BOĞAZINDAN GEÇEN PROJELERİN AHP YÖNTEMİYLE ÖNCELİKLENDİRİLMESİ **33**

4.1 Giriş ... 33
4.2 AHP Önceliklendirmesinde Kullanılan Ölçüt ve Alt Ölçütler ... 35
4.3 Uygulanan AHP Anketi ... 41
4.4 AHP Hiyerarşisi ve İkili Karşılaştırmalar ... 43
4.5 Değerlendirmeye Alınan Alternatif Raylı Sistem Projeleri ... 48
4.6 Alternatif Projelerin Ölçütler Bakımından Özellikleri ... 57
4.7 Uygulama Sonucu ... 60

4.8 Duyarlılık Analizleri 63
5 SONUÇ VE ÖNERİLER **68**
5.1 Sonuç 68
5.2 Öneriler 69
KAYNAKÇA **71**
A UZMANLARA YAPILAN AHP ANKETİ **76**
B EKRAN GÖRÜNTÜLERİ VE AĞIRLIK PUANLARI **87**
TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR **89**

SİMGE LİSTESİ

A_{ij}	Karar Matrisi
n	Değerlendirme Faktörü Sayısı
m	Karar Noktası Sayısı
w	Değerlendirme Faktörü Ağırlıkları

KISALTMA LİSTESİ

AHP	Analytic Hierarchy Process
AHPSort	AHP based method for sorting
ANP	Analytic Network Process
BRT	Bus Rapid Transit
CBS	Coğrafi Bilgi Sistemleri
CI	Consistency Index
CR	Consistency Ratio
ÇÖKV	Çok Ölçütlü Karar Verme
ELECTRE	Elimination Et Choix Traduisant la Realite
ELECTRE-Tri	Elimination Et Choix Traduisant la Realite Tree
FlowSort	A flow based sorting method
FTA	Federal Transportation Administration
İBB	İstanbul Büyükşehir Belediyesi
İDO	İstanbul Deniz Otobüsleri
İUAP	İstanbul Ulaşım Ana Planı
LRT	Light Rail Train
MÂCBETH	Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation
MAUT	Multi-Attribute Utility Theory
MİA	Merkezi İş Alanları
PBH	Boğazdan Geçen Metro Projelerini Belirtir
PROMETHEE	The Preference Ranking Organization Method for Enrichment
RI	Random Index
TCDD	Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu
UTA	Utilite Additives
UTADIS	Utilit'es Additives Discriminantes
VIKOR	Vise Ölçütüjumska Optimizacija I Kompromisno Resenje
YHT	Yüksek Hızlı Tren

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1 Ülkelere göre AHP yayın sayıları....2
Şekil 2.1 İstanbul raylı sistemler ağ haritası....13
Şekil 2.2 İstanbul'da inşa halinde olan raylı sistemler....17
Şekil 3.1 Çok Ölçütlü Karar Verme Problemleri....22
Şekil 3.2 Örnek AHP hiyerarşisi....25
Şekil 4.1 Ölçüt ve alt ölçütler....36
Şekil 4.2 Problemin AHP hiyerarşisi....43
Şekil 4.3 Ana ölçütlerin karşılaştırılması Super Decisions ekran görüntüsü....44
Şekil 4.4 Ekonomiklik alt ölçütleri, Super Decisions ekran görüntüsü....45
Şekil 4.5 Sistem Planlaması alt ölçütleri, Super Decisions ekran görüntüsü....46
Şekil 4.6 Yolcu Hizmetleri alt ölçütleri, Super Decisions ekran görüntüsü....47
Şekil 4.7 Çevresel Etki alt ölçütleri Super Decisions ekran görüntüsü....48
Şekil 4.8 Değerlendirilen raylı sistem projelerinin güzergâhları....51
Şekil 4.9 Kadıköy-Kazlıçeşme Metro Hattı....52
Şekil 4.10 Söğütlüçeşme-Kazlıçeşme Metro Hattı....53
Şekil 4.11 Söğütlüçeşme-Gayrettepe Metro Hattı....54
Şekil 4.12 Bostancı-Kazlıçeşme Metro Hattı....55
Şekil 4.13 Ünalan-Mecidiyeköy Metro Hattı....56
Şekil 4.14 Söğütlüçeşme-İncirli Metro Hattı....57
Şekil 4.15 Ekonomiklik ana ölçütünün duyarlılık analizi....64
Şekil 4.16 Sistem Planlaması ana ölçütünün duyarlılık analizi....65
Şekil 4.17 Yolcu Hizmetleri ana ölçütünün duyarlılık analizi....66
Şekil 4.18 Çevresel Etki ana ölçütünün duyarlılık analizi....67
Şekil 5.1 PBH-6 ve PBH-5 projelerinin güzergâhları....69

TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1 İstanbul eski banliyö hatlarının özellikleri 11
Tablo 2.2 Mevcut metro hatları 15
Tablo 2.3 Mevcut tramvay hatları 16
Tablo 3.1 Çok Ölçütlü Karar Verme Problemleri ve Teknikleri 23
Tablo 3.2 İkili karşılaştırmalarda kullanılan önem derecesi ölçeği.....24
Tablo 3.3 Rastgele değer indeksi.....30
Tablo 4.1 İstanbul'da yıllara göre motorlu araç sayısı.....34
Tablo 4.2 Anket katılımcılarının mesleki dağılımları 42
Tablo 4.3 Anket katılımcılarının tecrübe dağılımları 42
Tablo 4.4 Ana ölçütlerin ikili karşılaştırma matrisi 44
Tablo 4.5 Ekonomiklik alt ölçütlerinin karşılaştırma matrisi 45
Tablo 4.6 Sistem Planlaması alt ölçütlerinin karşılaştırma matrisi.....46
Tablo 4.7 Yolcu Hizmetleri alt ölçütlerinin ikili karşılaştırma matrisi 47
Tablo 4.8 Çevresel Etki alt ölçütlerinin ikili karşılaştırma matrisi 48
Tablo 4.9 Değerlendirmeye alınan raylı sistem projeleri 49
Tablo 4.10 İUAP 'da yapılan önceliklendirme 50
Tablo 4.11 Projelerin Ekonomiklik alt ölçütlerinin özellikleri 58
Tablo 4.12 Projelerin Sistem Planlaması alt ölçütlerinin özellikleri 58
Tablo 4.13 Projelerin Yolcu Hizmetleri alt ölçütlerinin özellikleri 59
Tablo 4.14 Projelerin Çevresel Etki alt ölçütlerinin özellikleri 60
Tablo 4.15 Ana ölçütlerin sıralaması 60
Tablo 4.16 Ekonomiklik alt ölçütlerinin sıralanması.....61
Tablo 4.17 Sistem Planlaması alt ölçütlerinin sıralaması 61
Tablo 4.18 Yolcu Hizmetleri alt ölçütlerinin sıralaması 61
Tablo 4.19 Çevresel Etki alt ölçütlerinin sıralaması 62
Tablo 4.20 Alternatif projelerin uygulama sonucunda sıralaması 62

ÖZET

İstanbul Boğazını Geçen Raylı Sistem Projelerinin Analitik Hiyerarşi Süreci İle Önceliklendirilmesi

Oğuzhan TEMİZER

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Prof. Dr. İsmail ŞAHİN

İstanbul Boğazı'nı geçen yolculuk talebinin gelecekte sadece Marmaray ile karşılanamayacağı İstanbul Ulaşım Ana Planı'nda (İUAP) ortaya konulmuştur. Hem kentin ana raylı sistem omurgasını güçlendirmek hem de otomobil kullanımını ve Marmaray hattının yolcu yükünü azaltmak için İUAP'da Boğaz'dan geçen 6 metro projesi değerlendirilmiştir. Bu projelerden ikisi yatırım planına alınmış ancak bugüne kadar somut bir adım atılmamıştır. Bu çalışmada, belirtilen altı raylı sistem projesi uzman görüşlerinden faydalanılarak yeniden değerlendirilmiştir. Alternatif raylı sistem projeleri değerlendirilirken çok Ölçütlü karar verme yöntemlerinden AHP (Analitik Hiyerarşi Süreci) kullanılmıştır. AHP, alternatifler için belirlenen ana ölçütler ve alt ölçütlerin ikili karşılaştırılmasına dayanan, matematiksel altyapısı güçlü bir yöntemdir. AHP alternatiflerin ağırlık puanlarını ortaya koyarak kıyaslanmalarını sağlar. Boğaz geçişini sağlayan en uygun raylı sistem projesinin seçilmesi için Ekonomiklik, Sistem Planlaması, Yolcu Hizmetleri ve Çevresel Etki ana ölçütleri ve bu ölçütlerin alt ölçütleri belirlenmiştir. Ulaştırma alanında uzman on iki akademisyen, dört kamu ve yedi özel sektör çalışanına anket yapılarak ikili karşılaştırmalar elde edilmiş ve bir

yazılım yardımıyla alternatiflerin öncelikleri belirlenmiştir. Elde edilen anket sonuçlarına göre ana ölçütlerin önem ağırlıkları şöyledir: Çevresel Etki (0,35), Sistem Planlaması (0,32), Yolcu Hizmetleri (0,18) ve Ekonomiklik (0,15). İstanbul'da çevresel kaygıların gün geçtikçe artış göstermesi ana ölçütlerin sıralanmasına da yansımıştır. Alt ölçütlerden Su Kaynaklarına Uzaklık, Sit Alanları, Yolculuk Talebi, Entegrasyon, Yolculuk Süresi, Erişilebilirlik ve İç Verimlilik Oranı diğer alt ölçütlere göre daha önemli bulunmuştur. Sonuç olarak Metrobüs ile aynı güzergâh üzerinde projelendirilen Söğütlüçeşme-İncirli projesi 0,186 ağırlık puanı ile sıralamada birinci sırayı almıştır. Diğer alternatif projeler, Ünalan-Mecidiyeköy, Söğütlüçeşme-Kazlıçeşme, Söğütlüçeşme-Gayrettepe, Bostancı-Kazlıçeşme ve Kadıköy-Kazlıçeşme şeklinde sıralanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Raylı sistem projeleri, İstanbul Boğaz geçişi, Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP), Çok Ölçütlü karar verme, Uzman görüşleri

ABSTRACT

Prioritizing Railway System Projects With Analytic Hierarchy Process For Crossing The Istanbul Bosphorus Strait

Oğuzhan TEMİZER

Department of Civil Engineering

Master of Science Thesis

Advisor: Prof. Dr. İsmail ŞAHİN

It is determined in the Istanbul Transportation Master Plan (IUAP) that Marmaray cannot be adequate to satisfy passenger demand in the future crossing the Bosphorus Strait. Six metro projects crossing the Bosphorus Strait were evaluated both to support the main rail network and to reduce private car usage and passenger load on the Marmaray line. Two of these projects were selected to realize, but no action has been taken so far. These six rail system projects were re-evaluated based on expert opinions. AHP (Analytic Hierarchy Process), one of multiple criteria decision making methods, was used to evaluate the alternative rail system projects. AHP is a mathematically strong method based on pairwise comparisons of main criteria and sub criteria. AHP allows to compare the alternatives by determining their weights. Four main criteria namely Economic, System Planning, Passenger Services, and Environmental Impact as well as their sub criteria were selected to determine the most appropriate rail system project crossing the Bosphorus Strait. Twelve academics, four public and seven private sector participants working on the transportation field were surveyed to obtain

pairwise comparisons, then a package program was used to prioritize the alternatives. The weights of main criteria obtained from the survey are as follows: Environmental Impact (0.35), System Planning (0.32), Passenger Services (0.18), and Economic (0.15). The steady increase of environmental concerns in Istanbul was reflected in the sequence of main criteria. The sub criteria Distance to Water Resources, Protected Areas, Passenger Demand, Integration, Travel Time, Accessibility, and Internal Rate of Return were found to be more important than the other remaining sub criteria. Consequently, the Söğütlüçeşme-İncirli project, which is on the same corridor of Metrobus, is taken the first place, having 0.186 points. The other alternative projects were prioritized sequentially as Ünalan-Mecidiyeköy, Söğütlüçeşme-Kazlıçeşme, Söğütlüçeşme-Gayrettepe, Bostancı-Kazlıçeşme ve Kadıköy-Kazlıçeşme.

Keywords: Rail system projects, Istanbul Bosphorus Strait crossing, Analytic Hierarchy Process (AHP), Multiple criteria decision making, Expert opinion.

1
GİRİŞ

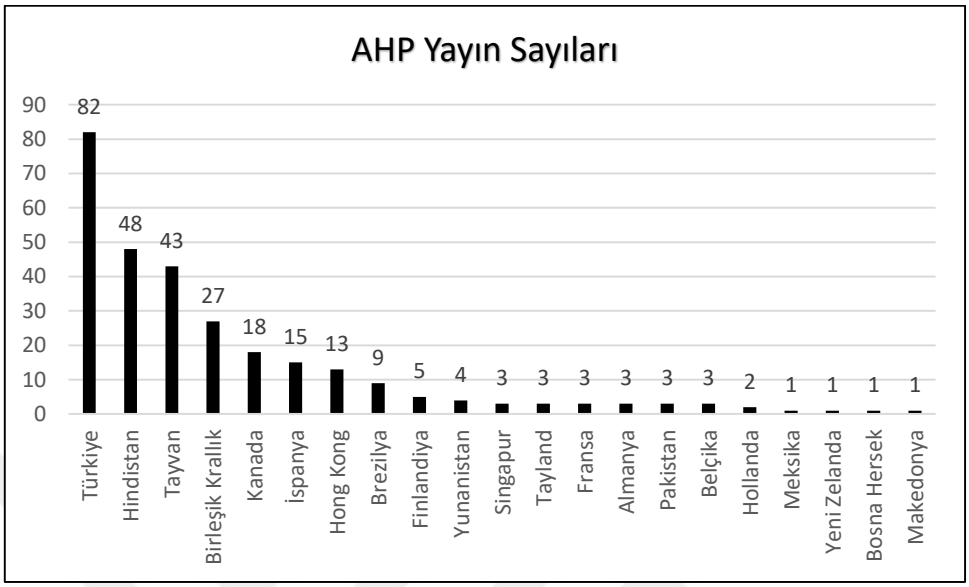
1.1 Literatür Özeti

Belirli bir amaca ulaşmak için insanoğlu geçmişten günümüze kadar bazı alternatifler arasında tercih yapmak durumunda kalmıştır. Günümüzde teknolojinin gelişmesi ile birlikte karar vericiler için amaca en uygun seçimin yapılması gittikçe kolay hale gelmiştir. Çeşitli yazılım, simülasyon ve algoritmalar yardımıyla seçilecek alternatifin etkilerini tahmin edebilmek bu konuda büyük kolaylık sağlamaktadır.

Çok Ölçütlü Karar Verme Yöntemleri, belirlenen çok sayıdaki ölçüte göre eldeki alternatiflerin olumlu ve olumsuz yönlerini değerlendiren analitik yöntemler topluluğudur. ÇÖKV Yöntemleri, karar vericilere bu süreçte yardımcı olur ve birbiriyle zıt ölçütlere göre farklı özelliklere sahip olan alternatiflerin sıralanmasına olanak verir. ÇÖKV Yöntemleri Ekonomi, Finans, Yönetim, Muhasebe, Planlama Kaynak Tahsisi, Yer Seçimi, Karar Destek, Sağlık, Eğitim, Politika, Ulaştırma, Strateji, Üretim, Pazarlama vb. alanlarda sıklıkla kullanılırlar. ÇÖKV Yöntemlerini kullanmak için birçok teknik mevcuttur. 2001-2014 yılları arasında yapılan çalışmalarda dağılım olarak AHP %33, Hybrid MCDM %16, TOPSIS %11, ELECTRE %9, PROMETHEE %7 ile en çok kullanılan tekniklerdir. Bu çalışma kapsamında da AHP tekniğine odaklanılarak, kullanılacak yöntem olarak seçilmiştir.

Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) Tekniği 1970'li yıllarda Thomas L. Saaty ve ortağı Ernest Forman tarafından geliştirildiğinden beri birçok kez kullanılmış, olumlu ve olumsuz yönleri literatürde sıkça tartışılmıştır. AHP Tekniği kullanıcı ve araştırmacılar tarafından kullanması basit ve sade olduğu için sıklıkla tercih edilmektedir. Khan ve Ali (2020) tarafından yapılan bir çalışma, 2000-2019 yılları arasında Türkiye'de 82 adet akademik yayın AHP tekniğini çeşitli alanlarda

kullanıldığını göstermiştir. Dünya genelinde hem Analitik Hiyerarşi Süreci hem de Analitik Ağ Süreci (ANP) Tekniğini akademik çalışmalarda en çok kullanan ülke konumunda olduğumuz Şekil 1.1'de görülmektedir.



Şekil 1.1 Ülkelere göre AHP yayın sayıları (Khan ve Ali, 2020)

Ulaştırma özelinde literatüre odaklanmak gerekirse Güzergâh Seçimi, Güzergâh Değerlendirmesi, Yatırım Kararı, Proje Seçimi, İstasyon Yeri Seçimi, Toplu Taşıma Türü Seçimi, Performans Ölçümü, Metro Ağlarının Analizi, Ulaşım Ana Planı Senaryo Seçimi, Ulaşım Planlaması gibi Çok Ölçütlü Karar Verme Yöntemleri'ni kullanan birçok benzer çalışma incelenmiştir. Bu bölümde bu çalışmalardan kısaca bahsedilmiştir.

Banai (2006), yayınlamış olduğu "Public Transportation Decision-Making: A Case Analysis of the Memphis Light Rail Corrdior and Route Selection with Analytic Hierarchy Process" çalışması ile gerçek hayattaki bir yolculuk koridoru ve güzergâh seçimi probleminde AHP tekniğini kullanmıştır. Banai yaptığı çalışmada Memphis Tennessee'deki hafif raylı sistem koridoru ve güzergâh seçim sürecini AHP tekniğiyle modellemiştir. Gelecekteki hava kalitesi standartlarını yerine getirmek için raylı sistem projelerine ağırlık verilmesi gerektiğini düşünen kentsel ve bölgesel planlama kuruluşları bu amaç doğrultusunda 20 yıllık, uzun vadeli ulaştırma kararları almıştır. Bu kararlar doğrultusunda Federal Ulaştırma İdaresi (FTA) tarafından yeni projeler, geliştirme ve planlama sürecinde iken yasal ölçüt

ve kılavuzlara göre (FTA U.S.C 5309) değerlendirilmektedir. Hareketlilik, arazi kullanımı, çevresel etki, finansal verimlilik gibi bazı ölçütler bu değerlendirmede kullanılmaktadır. FTA'nın kullandığı kılavuzun yanı sıra karar vericiler, bürokratlar, topluluk liderleri ve halk gibi birden çok katılımcı grubunun yerel önceliklerini ve tercihlerini yansıtarak, karar verme sürecini genel olarak kolaylaştırmayı amaç edinmiştir. En uygun hafif raylı sistem güzergâhını belirlemeyi hedefleyen çalışma, AHP vasıtasıyla üç alternatif arasından "Güneydoğu Koridoru"nun seçilmesi gerektiğini ön görmüştür. Daha sonra karar vericiler tarafından da "Güneydoğu Koridoru" seçilerek hat inşa edilmiş ve çalışmanın sonuçlarını doğrulamıştır.

Türkiye'nin en büyük kentsel yerleşim alanı ve nüfusuna sahip olan İstanbul'daki ulaştırma sistemi nüfus artışına uyum gösterememiş ve bu nedenle ulaştırma sisteminde ortaya çıkan aksaklıklar yerel yönetimi, bazı alternatif ulaştırma projeleri planlamaya yöneltmiştir. 1995 yılında İBB tarafından kentin avrupa yakasındaki toplu taşıma sistemini iyileştirmek için görevlendirilen konsorsiyum, önerilen sekiz alternatif içerisinden üç tanesini seçmiştir. Gerçek vd. (2004) yaptıkları çalışmada, AHP tekniğini kullanarak, konsorsiyum tarafından seçilmiş olan üç alternatif raylı sistem ağını değerlendirmeye almıştır. Bu değerlendirme yapılırken kentin arazi kullanımı ve yolculuk talebi, "Kontrol Edilemeyen Büyüme" ve "Master Plan'da Öngörülen Büyüme" olarak iki alt başlık altında incelenmiştir. En iyi raylı sistem ağını seçmeyi amaçlayan bu çalışmada; 'Finansal', 'Ekonomik', 'Sistem Planlaması' ve 'Politika' gibi ölçütler ve bu ölçütlerin alt ölçütleri ile birlikte AHP modeli tanımlanmıştır. AHP sonuç olarak kentin yoğun nüfuslu bölgelerine hizmet verecek "Alternatif Raylı Sistem Ağı 6"nın tercih edilmesi gerektiğini göstermiştir. Bu alternatif aynı zamanda "Kontrol Edilemeyen Büyüme" senaryosunda en iyi performans gösteren seçenek olarak öne çıkmıştır.

Ankara-Sivas Yüksek Hızlı Tren Hattı güzergâhını, Süt vd. (2018) AHP yöntemi kullanarak değerlendirmiştir. Değerlendirmeyi yaparken 'Entegrasyon', 'Önemli Bölgelere Erişim', 'Demografik Özellikler', 'Genişleyebilme Potansiyeli' ve 'Bölgesel Gelişmişlik' gibi ölçütler kullanılmıştır. Entegrasyon ölçütü için otoyollar, havalimanları, mevcut demiryolu ağları ile bağlantı seçenekleri ve hat boyunca

planlanan diğer projeler dikkate alınmıştır. Yapılan AHP çözümü sonucunda "Entegrasyon" ölçütü en önemli ölçüt olarak öne çıkmış, "Entegrasyon" ölçütünden sonra ise "Genişletebilme Potansiyeli" ölçütü ikinci sırada yer almıştır. Gelecekte yapılacak çalışmalar için detaylı fayda-maliyet analizleri ve çevresel faktörlerin de dikkate alınarak, ANP yönteminin de kullanabileceğini belirtilmiştir.

Hamurcu ve Eren (2017) tarafından yapılan çalışmada, İstanbul Büyükşehir Belediyesi tarafından ihaleye çıkarılması beklenen ve ikisi iki etapdan oluşan sekiz adet raylı sistem projesi AHP, ANP ve Hedef Programlama kullanarak değerlendirilmiştir. Değerlendirmede kullanılan ölçütleri belirlemek için uzman görüşüne başvurmanın yanı sıra İstanbul Ulaşım Ana Planı'ndan da faydalanılmıştır. Ekonomiklik, Çevresel Etki, Sosyal Etki ve Mühendislik ana ölçütlerini ve bu ölçütlerin bazı alt ölçütlerini kullanarak bu sekiz raylı sistem projesini sıralandırmışlardır. AHP ve ANP çözümlerine ulaşmak için Super Decisions isimli yazılım, hedef programlama ise IBM ILOG CPLEX 12.6.2 yazılımı ile çözülmüştür. AHP-HP ve ANP-HP Değerlendirmeleri ayrı ayrı ele alınırken matematiksel modelde bütçe senaryoları 1.000.000.000 $, 3.000.000.000 $ ve 5.000.000.000 $ olarak değerlendirilmiş, bazı küçük farklılıklar haricinde iki modelde de benzer sonuçlar elde edilmiştir. Değerlendirilen projelerin güzergâh bilgileri verilmemiş veya hangi hatlar olduğu belirtilmemiştir. Gelecekteki çalışmalar için hem karar vericilerin hem de sistemi kullanacak yolcu gruplarının aynı çatı altında toplanması yoluyla çözüm yapılabileceği gibi, çözüme bazı istatistiksel süreçlerin de dahil edilebileceği belirtilmiştir.

Dünya genelinde, özellikle gelişmiş ülkeler için nüfusun yaş ortalaması gittikçe artmaktadır. Diğer ülkeler ile karşılaştırıldığında insanların daha uzun ömürlü oldukları Japonya'da bu oran diğer gelişmiş ülkelere göre daha yüksektir. Yazarlar nüfusun yaşlandıkça, özellikle yamaç yerleşimlerinde yaşayan yaşlı insanların hareketliliğinin kısıtlandığını belirtmiştir. Nagasaki, Japonya'da bulunan bir yamaçtaki yerleşim yeri için önerilen yeni mini-monoray güzergâhının seçilmesini hedefleyen yazarlar Watanabe vd. (2006), bu çalışmada AHP ve Coğrafi Bilgi Sistemleri'ni kullanarak analiz yapmıştır. Kentsel alanın topoğrafyasından ötürü yol yapımına uygun olmaması, düzensiz yapılaşma ve kentsel alan sakinlerinin yaş

ortalamasının yüksek olması sebebiyle ulaştırma hizmetinin mini-monoray türü ile yapılmasına karar verilmiştir. Gradyan cinsinden güzergahın eğimi, Aktarma Noktaları, Konut Yoğunluğu, Yoldan Uzaklık ölçütleri kullanılarak, ölçütler AHP tekniği ile ağırlıklandırılmıştır. Sekiz alternatif güzergâh, yapılan analizler sonucunda üç alternatife indirildikten sonra bu üç altenatif de hem hizmet verilecek yaşlı nüfus bölgesi hem de inşaat maliyetleri arasında çok fark olmamasından ötürü amaca uygun görülmüştür.

Türkiye'de son 10 yıl içerisinde artış gösteren yüksek hızlı tren yatırımlarıyla birlikte planlanmış güzergâh üzerindeki istasyon yerlerinin seçilmesi konusu, tren hatlarının verimli bir şekilde işletilmesi için kritik bir rol oynamaktadır. Eren vd. (2017) tarafından yapılan çalışmada, Ankara-Sivas Yüksek Hızlı Tren Hattı güzergâhında bulunan Kırıkkale kentinde konumlandırılacak istasyonun yer seçimi için AHP tekniği kullanılmıştır. Belirlenen dört alternatif içerisinde biri, yöneticiler tarafından belirlenip inşaatı devam eden bir istasyon olup, diğer üç alternatif uzman görüşleri doğrultusunda belirlenmiştir. Toplam on adet ölçüt ile en faydalı istasyonu konumunu seçmeyi hedefleyen çalışmada, 'Şehir Merkezine Yakınlık', 'Güvenlik', 'Toplu Taşıma İmkânı' ve 'Kamulaştırma Maliyeti' ölçütleri seçimde belirleyici olmuştur. Çalışma sonucunda, Uzmanlar tarafından belirlenen Yüksek İhtisas Hastanesi Bölgesi'nin ağırlığının yöneticiler tarafından belirlenen Osman Gazi istasyonundan daha yüksek olduğu ortaya koyulmuştur. Yazarlar diğer iller için de benzer çalışmalar yaparak istasyon yer seçimi probleminin çözülebileceğini belirtmiştir.

Demiryollarında istasyon yeri seçimi problemi için benzer diğer bir çalışma Mohajeri ve Amin (2010) tarafından İran'ın Meşhed kenti için yapılmıştır. Kentte bulunacak olan demiryolu istasyonu için en uygun yeri seçmeyi hedefleyen çalışma önerilen beş alternatif konum için AHP tekniğinden faydalanılarak bulunan ağırlıklar vasıtasıyla Veri Zarflama Analizi (VZA) ile birlikte çözüme ulaşmıştır. Mohajeri ve Amin literatüre AHP ile Veri Zarflama Analizini kombine ederek sundukları katkıyla, ileride yapılacak çalışmalara öncülük etme niteliğindedir. Hedeflenen çözüm için 'Demiryolu Bağlantısı', 'Yolcu Hizmetleri', 'Mimari ve Şehircilik' ve 'Ekonomi' ölçütleri kullanılmış, aynı zamanda bu

ölçütlerin yirmi altı adet alt ölçütü belirlenerek hiyerarşi oluşturulmuştur. AHP ve VZA kombine edilerek yapılan analizin sonuçları, yalnızca AHP tekniğinin kullanıldığı durum ile benzer sonuçları vermiştir. Ayrıca yazarlar yöntemin doğruluğunu kanıtlamak için Ramanathan (2006) 'ın çalışması ile karşılaştırmalara yer verilmiştir.

İstanbul'da planlama aşamasında olan on bir metro, iki tramvay hattını değerlendirmek için Yücel ve Taşabat (2019) tarafından AHP-Best Worst Method (BWM) yöntemlerini kombine ederek sıralama yapılmıştır. Raylı sistem projelerini değerlendirirken; 'Yolcu Hizmetleri', 'Çevre', 'Ekonomik', 'Şehircilik ve Mimarlık' adı altında beş ana ölçüt ve yirmi üç alt ölçüt ile analiz yapılmıştır. AHP yöntemi için SuperDecisions ve BWM yöntemi için Lingo bilgisayar yazılımlarını kullanan yazarlar, her iki yöntemle de ayrı ayrı analiz yapmış ve birbirine yakın sonuçlar elde etmişlerdir. Sonuç olarak iki yöntemde de ilk sırada 'Kadıköy-Sultanbeyli' hattı önem puanı diğer projelerin önüne geçmiştir. Ayrıca BWM yönteminin literatürde sıklıkla kullanılan AHP yöntemine alternatif olarak kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

Türkiye'de Demiryolu İstasyonu Seçimi ve Çok Ölçütlü Karar Verme Yöntemi Uygulaması (Kaya, 2019) başlıklı yüksek lisans tezinde Ankara, İstanbul (Pendik), Eskişehir, Kütahya ve Kocaeli (Gebze) istasyonları arasında gelişmişlik düzeylerinin sıralaması araştırılmıştır. Problemin çözümü için Çok Ölçütlü Karar Verme Yöntemleri'nden AHP tekniği, beş uzman demiryolu memuru ile birlikte uygulanmıştır. Amaç doğrultusunda kullanılan ölçütler; Temizlik, Güvenlik, Bekleme Salonları, Gişe Hizmetleri, Yürüyen Merdivenler, Yeme-İçme Hizmetleri, Taşıyıcılar, Proaktiflik, Bağlantı Olanakları ve Merkeze Yakınlık'dır. Yapılan çalışma sonucunda alternatifler arasındaki en gelişmiş demiryolu istasyonunun Ankara İstasyonu olduğu bulunmuştur. İstasyonlar; Ankara, Eskişehir, İstanbul (Pendik), Kocael (Gebze), Kütahya şeklinde sıralanmıştır.

Sharifi vd. (2006) Malezya'nın Klang Vadisi bölgesinde kentin uzun vadeli sosyo-ekonomik ve çevresel gereksinimlerini karşılayacak, arazi kullanımı ile entegre ve verimli şekilde işletilebilecek bir toplu taşıma sistemi belirlemek için Mekansal Çok

Ölçütlü Karar Analizi yöntemini kullanmışlardır. Bu amaca yönelik olarak Ekonomik, Mühendislik, Çevre, Kurumsal ve Sosyal olmak üzere beş ana ölçüt ile birlikte on altı alt ölçüt kullanmışlardır. Çalışma kapsamında ölçütlerin ağırlıkları, iki grup için yapılan anketlerden elde edilmiştir. Bunlardan ilki karar verme sürecinin daha çok siyasi yönünde olanlar, ikincisi ise bu sürecin teknik tarafındaki çeşitli alanlardan uzman kişilerdir. Klang Vadisi için radyal, kollu ve döngü olmak üzere üç alternatif raylı sistem ağı çözümlemeye dahil edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre kollu ağ seçeneği ilk, radyal ağ seçeneği ikinci, döngülü ağ seçeneği ise son sırada bulunmuştur. Ayrıca yapılan duyarlılık analizleri yardımıyla da elde edilen optimum çözüm desteklenmiştir.

Dinç vd. (2018) yaptıkları çalışma ile kent içinde kullanılacak tramvay araç alternatiflerini AHP ve Bulanık AHP tekniklerini kullanarak sıralamış ve iki yöntemin sonuçlarını kıyaslamışlardır. Problemin çözümü için uzman görüşleri doğrultusunda Hız, Kapasite, Maliyet, Konfor, Güvenlik, Tasarım, Marka Değeri ve Yerlilik Oranı ölçütleri dikkate alınmıştır. Araştırmacılar iki yerli, iki yabancı firma olmak üzere toplam dört alternatif firma için iki teknikle de aynı sıralamayı elde etmişlerdir. Ayrıca problemin çözümünde Yerlilik Oranı ölçütünün dikkate alınmadığı durumu da modellemiş ve çözümlemeye ulaşmışlardır.

Ülkemizde gelişmekte olan yüksek hızlı tren projelerinden, inşaat ve planlama sürecinde olan beş hat ”Prioritization of High-Speed Rail Projects” başlıklı çalışmada Hamurcu ve Eren (2018) tarafından AHP tekniği kullanarak önceliklendirilmiştir. Problemin çözümü için Talep Düzeyi, Maliyet, Yolculuk Süresi, Hız, Nüfus Oranı, Bölgesel Gelişmişlik, Entegrasyon, Çevresel Etki, İnşaat Maliyeti, İşletme Maliyeti, Ulaşım Verimliliği ve Güvenlik ölçütleri hiyerarşiye dahil edilmiştir. Değerlendirilen hızlı tren projeleri arasında Ankara-İzmir, Ankara-Sivas, Yerköy-Kayseri, Karaman-Ereğli-Ulukışla-Yenice, Eskişehir-Antalya/Antalya-Kayseri hatları yer almaktadır. Uzman yargılarına göre Güvenlik, Bölgesel Gelişmişlik, Talep Düzeyi, Çevresel Etki ve Ulaşım Verimliliği en önemli ölçütler olarak bulunmuştur. Yapılan AHP çözümlemesi sonucunda Ankara-İzmir projesi birinci, Ankara-Sivas projesi ikinci sırada yer almıştır.

1.2 Tezin Amacı

Gelecekte İstanbul'da Boğaz geçişindeki yolculuk talebinin Marmaray hattı ile tek başına karşılanamayacağı İstanbul Ulaşım Ana Planı (2011)'nda belirtilmiştir. Bu doğrultuda, boğaz geçişindeki yolculuk talebinin Marmaray ile paylaştırılacak şekilde alternatif altı metro projesi öne sürülmüş ve değerlendirmeye alınmıştır. Sonuç olarak iki metro projesi raylı sistem gelişim planına dahil edilmiş ve 2020 yılının sonunda iki projenin de hizmet vermeye başlaması planlanmıştır. Fakat yıllar geçmesine rağmen, bugüne kadar iki proje için de somut adım atılmamıştır.

Bu tez kapsamında daha önce İUAP (2011)'da değerlendirmeye alınan altı raylı sistem projesi Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) tekniğiyle değerlendirilerek projelerin yeniden önceliklendirilmesi amaç edinilmiştir.

1.3 Hipotez

Kentiçi raylı sistemlerin, özellikle de metro projelerinin yüksek yatırım maliyetleri ve inşa edildikten sonra güzergâh, istasyon konumu değiştirme gibi olanakların neredeyse imkansız veya çok yüksek maliyetli olmasından ötürü, planlama aşamasında oldukça titiz davranılmalıdır. Planlama aşamasında meydana gelebilecek hata veya hatalar zinciri ortaya konan projenin atıl duruma geçmesine ve kamu zararına yol açmasına sebep olabilir. Fizibilite etütleri, Net Bugünkü Değer, Fayda-Maliyet Oranı ve İç Verimlilik Oranı gibi bazı yöntemler günümüzde raylı sistem projelerinin değerlendirilmesi için kullanılmaktadır. Bu yöntemlerin yanı sıra Çok Ölçütlü Karar Verme Yöntemleri de projeler arasında seçim yapmak ve projeleri önceliklendirmek için literatürde sıklıkla kullanılmaktadır. İstanbul Boğazını geçen raylı sistemler için çevreye daha az zararlı olması, daha ekonomik olması, gelecek planıyla uyumlu olması, planlı olması ve potansiyel kullanıcılar için önemli olan ölçütlerin ele alınması gerekmektedir. Bu doğrultuda, çalışmanın hipotezi, İstanbul Boğazını geçen ve İUAP (2011)'da değerlendirilmiş olan hatların ÇÖKV Yöntemleri'nden biri olan AHP ile uzman görüşlerine başvurularak yeniden önceliklendirilip sıralanabileceğidir. Gelecekte tekrar gündeme gelmesi muhtemel olan bu raylı sistem projeleri için yapılacak önceliklendirme ile konuya güncelleme getirileceği düşünülmektedir.

2
İSTANBUL'DA RAYLI SİSTEMLER

2.1 İstanbul'un Raylı Sistemler Tarihçesi

Bir şehir gelişirken ve coğrafik alana yayılımı şekillenirken kentiçi ulaştırma sistemi ile sürekli etkileşim halindedir. Şehir geliştikçe artan nüfus, belirli bir yön veya yönlerde büyümenin önünü açar. Şehrin büyümesiyle ortaya çıkan ulaşım koridorlarının etrafında kentsel yapılaşma hızlanarak, ulaştırma hizmetlerinin sağlanmasını zorunlu hale getirir. İstanbul'da 19. yüzyılın ikinci yarısına kadar kent içi yolculuklar genellikle yürüyerek veya şehrin ilk toplu taşıma sistemi olarak nitelendirilebilecek olan kayıklar ile yapılıyordu (Orhonlu, 1984). Yaygın bir karayolu ulaşım sisteminin kullanılmaması sebebiyle sokaklar araba kullanımına uygun değildi. Bu sebepten ötürü şehir, daha çok yaya hareketlerine uygun bir forma sahipti.

İstanbul'un kent formunun şekillenmesinde toplu taşıma sistemlerinin kurulması ana etken olarak görülmüştür. Bu bakımdan şehrin tarihinde üç dönüm noktası bulunmaktadır. Bunlardan ilki kent içi vapur seferlerinin 1850'li yılların ortalarından itibaren düzenli olarak yapılmasıdır. İkincisi 1870'li yıllarda tramvay, tünel ve banliyö trenleri gibi raylı sistemlerin kurulmasıdır. Üçüncüsü ise 1914 yılında geniş bir elektrikli tramvay sisteminin işletilmeye başlanmasıdır (Tekeli, 2010).

İlk olarak New York'ta 1850'li yıllarda kullanılmaya başlanan atlı tramvaylar, 1872 yılında Azapkapı-Beşiktaş ve Eminönü-Aksaray hatları ile birlikte İstanbul'da Dersaadet Tramvay Şirketi işletmeciliğinde hizmet vermeye başlamıştır. İstanbul'da toplu taşıma sistemleri arasındaki ilk aktarma noktaları da bu tarihlerde oluşmaya başlamıştır. Atlı tramvay ile 1873 yılında günde yaklaşık 17 bin, 1911 yılına gelindiğinde ise iki yakada bir günde yaklaşık 30 bin yolcu taşındığı tahmin edilmektedir. Atlı tramvaylar ilk iki hattan sonra kurulan; Karaköy-Şişli, Karaköy-Boğaz ve Eminönü-Aksaray hatları ve bu hatların dalları

üzerinde 45 yıl boyunca işletilmiştir. Daha sonra Silahtarağa'da Türkiye'nin ilk elektrik santralinin kurulmasıyla birlikte 1914'de yerini elektrikli tramvaya bırakmıştır. Bu tarihten sonra İstanbul'un iki yakasında da tramvay hatları için çeşitli çalışmalar yapılmış olup, Anadolu yakasındaki hatlar Birinci Dünya Savaşı sebebiyle ancak 1928 yılında işletmeye alınabilmiştir. Anadolu yakasında Üsküdar-Bağlarbaşı-Kısıklı hattının açılmasından sonra, 1935 yılına kadar; Üsküdar-Haydarpaşa, Bağlarbaşı-Karacaahmet, Üsküdar-Kadıköy ve Kadıköy'ü Haydarpaşa, Gazhane, Moda, Fenerbahçe 'ye bağlayan hatlar tamamlanmıştır. 1945 yılına gelindiğinde elektrikli tramvay ile Avrupa yakasında günlük ortalama 275.200, Anadolu yakasında ise 39.500 yolcu taşınmıştır (Tekeli, 2010).

İstanbul'da 1938-1949 yıllarında uygulanan Prost Planı doğrultusunda geliştirilmeye başlanan karayolu ağı; daha sonra raylı toplu taşıma sistemlerinin geri planda kalmasına, otobüs taşımacılığının yaygınlaşmasına ve 1957 yılından itibaren bazı tramvay hatlarının sökülmesine sebep olmuştur. Uzun yıllar hizmet verdikten sonra Avrupa yakasında 1961, Anadolu yakasında ise 1966 yılında tramvay tamamen kullanımdan kaldırılmıştır. Avrupa yakasında kaldırılan tramvay hatlarının yerine troleybüs sistemi getirilse de ilerleyen dönemde tercih otobüs taşımacılığından yana olmuştur.

Tramvaydan sonra İstanbul'un ikinci toplu taşıma sistemi olan Tünel, Fransız mühendis Eugene Henri Gavald tarafından projelendirilmiş ve 1875 yılında hizmet vermeye başlamıştır. Dünya'nın Londra'dan sonra en eski ikinci metrosu olarak bilinen Tünel, Galata ile Pera arasındaki yüksek yaya hareketliliği göz önüne alınarak inşa edilmiştir. 1927 yılında günde ortalama 32.400 yolcu taşıdığı bilinen Tünel, 554 metre uzunluğunda olup 61.55 metre yüksekliğe tırmanmaktadır. Tünel'de, vagonlar çelik kablolar vasıtasıyla çekilerek hareket etmektedir. Tünel, bazı dönemlerde elektrifikasyon çalışmaları veya çelik kabloların kopması sebebiyle hizmete kapatılmıştır. Günümüzde hâla hizmet vermekte olan Tünel'de yıllar geçtikçe taşınan yolcu sayısında azalış gözlenmiştir.

Şehrin üçüncü toplu taşıma sistemi olan demiryolları atılımı, Avrupa ile demiryolu bağlantısının sağlanması amacıyla 1869 yılında yapılan imtiyaz sözleşmesiyle

birlikte başlamıştır. Avrupa yakasında; Yenikapı-Florya kısmı 5 Ocak 1871'de, Sirkeci-Yenikapı kısmı 3 Temmuz 1872'de, Florya-Hadımköy kısmı 27 Temmuz 1872'de işletmeye alınmıştır. Anadolu yakasında ise; Haydarpaşa-Gebze kısmı 22 Eylül 1872, Gebze-Pendik arası ise 1 Ocak 1873 yılında işletmeye alınmıştır. Başlangıçta tek hatlı olarak inşa edilen bu hatlar, ilerleyen yıllarda teknolojik gelişmeler ile birlikte kısım kısım çift hatlı olacak şekilde düzenlenmiştir. İki yakada ayrı ayrı gelişen bu bölgesel banliyö hatları, şehirde bu hatlar boyunca banliyö yerleşimlerinin oluşmasına öncülük etmiştir. 1927 yılında Avrupa Yakası'ndaki banliyö hattında günde ortalama 11.800 yolcu, Anadolu yakasındaki banliyö hattında ise 9.300 yolcu taşınıyordu. Banliyö hatlarında Avrupa yakasında 1956, Anadolu Yakası'nda ise 1969 yılında elektrifikasyon işlemi yapılarak trenler sinyalizasyon sistemi ile işletilmeye başlanmıştır. Sinyalizasyon sistemi kurulduktan belirli bir süre sonra her iki hatta da yolculuk süreleri kısalmış ve yolcu sayılarında olumlu yönde değişimler görülmüştür. 1985 yılına gelindiğinde Avrupa yakasında 27,5 km uzunluğunda olan Sirkeci-Halkalı banliyö hattı, 18 istasyonda hizmet veriyordu. Anadolu yakasındaki Haydarpaşa-Gebze hattı ise 44,1 km uzunluğunda olup 27 istasyon ile hizmet veriyordu. Tablo 2.1'de eski banliyö hatlarıyla ilgili bazı özellikler verilmiştir.

Tablo 2.1 İstanbul eski banliyö hatlarının özellikleri

Banliyö Hattı	Hat Uzunluğu (km)	İstasyon Sayısı	Yolculuk Süresi (dk)	Açılış Tarihi	Kapanış Tarihi
Sirkeci-Halkalı	27,5	18	47	1871	2013
Haydarpaşa-Gebze	44,1	28	65	1872	2013

Marmaray hattının çalışmaları sebebiyle; Sirkeci-Halkalı hattının Yedikule-Halkalı arası 1 Mart 2013, Sirkeci-Yedikule arası 12 Ağustos 2013, Haydarpaşa-Gebze hattı ise 19 Haziran 2013 tarihinde işletmeye kapatılmıştır. Halkalı-Gebze arasında kesintisiz ulaşım olanağı sunan Marmaray projesi ile bu iki banliyö hattı denizin altından boğazı tüp geçit ile geçecek şekilde birleştirilmiş ve mevcut

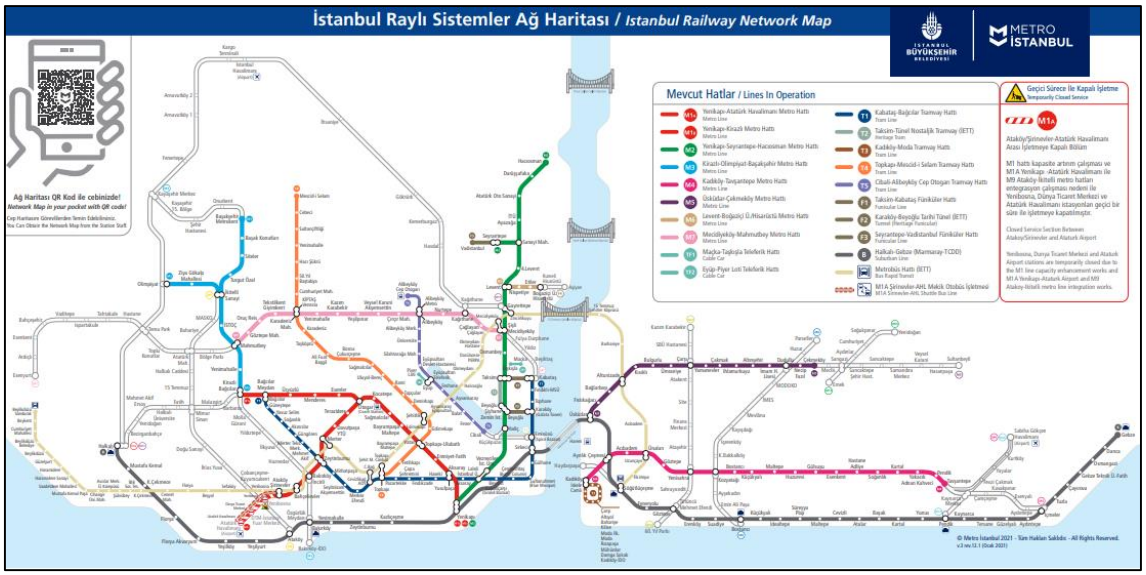
banliyö hattında iyileştirmeler yapılmıştır. Marmaray, günümüzde Halkalı-Gebze arasında 43 istasyon ile hizmet vermekte olup, hattın uzunluğu 76,6 km'dir.

İstanbul'da 1908 yılından itibaren; İngiliz, Fransız, Hollandalı, Rus mühendis ve şirketlerce çeşitli metro etütleri yapılmış fakat etüt edilen projelerin büyük kısmı hayata geçirilememiştir. Ulaştırma Bakanlığı'nca 1987 yılında Amerikan ve Türk firmalarının ortak olduğu bir girişime yaptırılan etüt ise uygulanma imkânı bulmuştur. Bu etüt ile Avrupa yakasında kuzey-güney ve doğu-batı uzantılarında iki metro hattı yapılması gerektiği kanısına varılmıştır (Evren, 2001). Günümüzde bu etüdün temelini oluşturduğu hatlar; doğu-batı aksında M1 Yenikapı-Atatürk Havalimanı-Kirazlı, kuzey-güney aksında ise M2 Yenikapı-Hacıosman hatlarıdır.

İstanbul'da çağdaş kentiçi raylı sistemler, 8,5 km uzunluğunda olan Aksaray-Ferhatpaşa hafif metro hattı ile başlamıştır. Başlangıçta 24,5 km uzunluğunda olması planlanan Aksaray-Ataköy hattının ilk etabı olarak düşünülen Aksaray-Ferhatpaşa hattında daha sonra güzergâh değiştirilmiş ve günümüzde M1 Yenikapı-Atatürk Havalimanı-Kirazlı hattının bir bölümününde kalmıştır. Aksaray-Ferhatpaşa hattı üzerinde iki vagonlu trenler, 2,5 dakika izleme süreleri ile hizmet verme imkânına kavuşmuştur.

2.2 Mevcut Raylı Sistemler

Kentin ana raylı sistem işletmecisi olan Metro İstanbul; yedi metro, beş tramvay, iki teleferik ve üç füniküler hattını işletmektedir. Halkalı'dan Gebze'ye uzanan Marmaray hattı ise TCDD tarafından işletilmektedir. Bu kısımda işletilmekte olan metro ve tramvay hatları hakkında bazı bilgiler verilmiştir. Şekil 2.1'de İstanbul'un mevcut raylı sistemler ağ haritası verilmiştir.



Şekil 2.1 İstanbul raylı sistemler ağ haritası (Metro İstanbul A.Ş.)

İstanbul'da M1 hattı, Aksaray-Kocatepe kesiminin 3 Eylül 1989 tarihinde işletmeye alınmasından itibaren hizmet vermeye başlamıştır. Daha sonra kademeli olarak Esenler, Otogar-Zeytinburnu, Bakırköy-İncirli, Ataköy-Şirinevler, Yenibosna, Bahçelievler, DTM-İstanbul Fuar Merkez-Atatürk Havalimanı kesimleri işletmeye alınmıştır. Esenler-Kirazlı arasının 14 Haziran 2013 tarihinde tamamlanıp açılmasıyla birlikte bu kesim M1b olarak, Aksaray-Havalimanı kesimi ise M1a olarak anılmaya başlanmıştır. Son olarak 9 Kasım 2014 tarihinde Yenikapı istasyonu açılarak M1 hattı bugünki halini almıştır. Kirazlı'dan Halkalı'ya kadar uzatılacak olan M1b hattının, Kirazlı-Halkalı kesiminde uzatma çalışmaları devam etmektedir.

İstanbul'un eğlence alanları, iş, finans, tarih ve kültür merkezleri boyunca uzanan M2 Yenikapı-Hacıosman hattı, 2000 yılında Taksim-Levent arasında beş istasyon ile hizmet vermeye başlamıştır. İşletmeye alındıktan bir ay sonra 4. Levent istasyonu açılmış ve altı istasyon ile 2009 yılına kadar işletilmiştir. Hat daha sonra Atatürk Oto Sanayi, Şişhane, Darüşşafaka ve Hacıosman istasyonlarına kadar uzatılmış ve Seyrantepe kolu eklenmiştir.

14 Haziran 2013 tarihinde işletmeye alınan M3 Kirazlı-Olimpiyat-Başakşehir hattı Atatürk Olimpiyat Stadı, İkitelli Organize Sanayi, Şehir Hastanesi ve konut bölgesi olmak üzere çok parçalı arazi kullanımına sahip bir güzergâhda hizmet

vermektedir. Hattın 6,2 km uzunluğundaki Başakşehir-Kayaşehir ve 9 km uzunluğundaki Kirazlı-Bakırköy-İDO kesimlerinde inşaat çalışmaları devam etmektedir.

Başlangıçta yeryüzünde ve D100 karayolunda hafif metro olarak yapılması düşünülen M4 hattı, daha sonra tamamen yer altında olacak şekilde planlanmıştır. Anadolu Yakası'ndaki ilk metro hattı olan M4 Kadıköy-Tavşantepe hattının, ilk etabı olan Kadıköy-Kartal kesimi 17 Ağustos 2012 tarihinde hizmet vermeye başlamıştır. İkinci etap olan Kartal-Tavşantepe kesimi ise 10 Ekim 2016 tarihinde işletmeye açılmıştır. D100 karayolu koridoru doğrultusunda uzanan M4 hattında uzatma çalışmaları devam etmektedir. Tavşantepe istasyonundan sonra, hedef istasyonları M4a Sabiha Gökçen Havalimanı ve M4b İçmeler olmak üzere iki kola ayrılacaktır.

Anadolu Yakası'ndaki bir diğer metro hattı olan M5 Üsküdar-Çekmeköy hattının Üsküdar-Yamanevler kesimi 15 Aralık 2017, Yamanevler-Çekmeköy kesimi ise 21 Ekim 2018 tarihinde hizmete alınmıştır. Ayrıca bu hat gelişmiş tren kontrol sistemleri ile birlikte Türkiye ve İstanbul'un ilk sürücüsüz metro araçlarına sahip olma niteliğini taşımaktadır. Hattın Çekmeköy-Sultanbeyli kesimi inşaat halinde olup, gelecekte Kurtköy'e kadar uzatılması planlanmaktadır.

M6 Levent-Boğaziçi Üniversitesi/Hisarüstü 19 Nisan 2015 tarihinde dört istasyon ile işletmeye alınmıştır. Bu hat, inşaat halinde olan F4 Rumeli/Hisarüstü-Aşiyan Füniküler hattı ile aktarmalı olarak Büyükdere Caddesi ile boğaz sahili arasında bağlantı sağlayacaktır.

Haliç'in kuzeyindeki ilçeler arasında bağlantı sağlayan ve doğu batı aksında uzanan M7 Mahmutbey-Mecidiyeköy hattının ilk etabı, 20 Ekim 2020 tarihinde hizmet vermeye başlamıştır. M7 hattının ikinci etabı olan Kabataş-Mecidiyeköy kesimi inşaat halinde olup, gelecekte bu hattın Esenyurt'a kadar uzatılması planlanmaktadır. Bu hat İstanbul'un ikinci, Avrupa Yakası'nın ise ilk sürücüsüz metro araçlarına sahip olma niteliğini taşımaktadır. Tablo 2.2'de İstanbul'daki mevcut metro hatlarıyla ilgili bazı özellikler verilmiştir.

Tablo 2.2 Mevcut metro hatları (Metro İstanbul A.Ş.)

Hat	Uzunluk (km)	İstasyon Sayısı	Yolculuk Süresi (dk)	Taşınan Yolcu Sayısı (yıllık)	
				2019	2020
M1	26,80	M1A, 18	M1A, 35	149.474.313	83.132.243
		M1B, 13	M1B, 25		
M2	23,49	16	32	161.021.092	76.712.205
M3	15,90	11	20	23.673.379	16.607.307
M4	26,20	19	84	88.622.395	41.167.168
M5	20,00	16	32	66.521.391	38.703.767
M6	3,30	4	7	6.070.993	2.408.890
M7	18,00	15	32	-	3.555.154

İstanbul'un modern anlamda ilk tramvay hattı olan T1 hattı, Aksaray-Beyazıt-Kapalıçarşı arasında 12 Haziran 1992 tarihinde hizmet vermeye başlamıştır. Daha sonra 10 Temmuz 1992'de Sirkeci, 29 Aralık 1992'de Topkapı, 10 Mart 1994'de Zeytinburnu, 20 Nisan 1996'da Eminönü, 30 Ocak 2005'de Fındıklı, 29 Haziran 2006 tarihinde ise Kabataş uzatmaları eklenerek hattın hizmet kapsamı genişletilmiştir. Zeytinburnu-Bağcılar T2 tramvay hattı ise 14 Eylül 2006 tarihinde hizmete açılmıştır. T2 hattı başlangıçta yüksek tabanlı tramvay araçları ile hizmet verecek şekilde inşa edilmiştir. T2 hattının alçak tabanlı araçlara ve bu araçlara uygun istasyon yapılarına göre yeniden düzenlenmesinden sonra, T1 hattı ile 3 Şubat 2011 tarihinde birleştirilmiş ve T1 Bağcılar-Kabataş Tramvay Hattı olarak

anılmaya başlanmıştır. Birleşmeden sonra Taksim-Tünel Nostaljik Tramvay Hattı T2 kodunu almıştır.

İstiklal Caddesi'nin 1990 yılında araç trafiğine kapatılmasıyla birlikte, 1990 yılının sonlarında T2 Taksim-Tünel Nostaljik Tramvay Hattı turistik amaçlı olarak işletmeye açılmıştır. T3 Kadıköy-Moda Nostaljik Tramvay Hattı ise 1 Kasım 2013 tarihinde hem turistik amaçlı, hem de bölge sakinlerinin günlük ulaşım aktivitelerine hizmet etmek için işletmeye açılmıştır. Bu iki hat 1966 yılında İstanbul'dan tamamen kaldırılan tramvay hatlarının bir kesimlerinde işletilmektedir.

17 Ekim 2007 tarihinde hizmet vermeye başlayan T4 Topkapı-Mescid-i Selam Tramvay Hattı, bölge trafiğini rahatlatmak ve Sultançiftliği ile Gaziosmanpaşa bölgesindeki yolcu trafiğini kentin diğer hatlarına aktarmak amacıyla inşa edilmiştir.

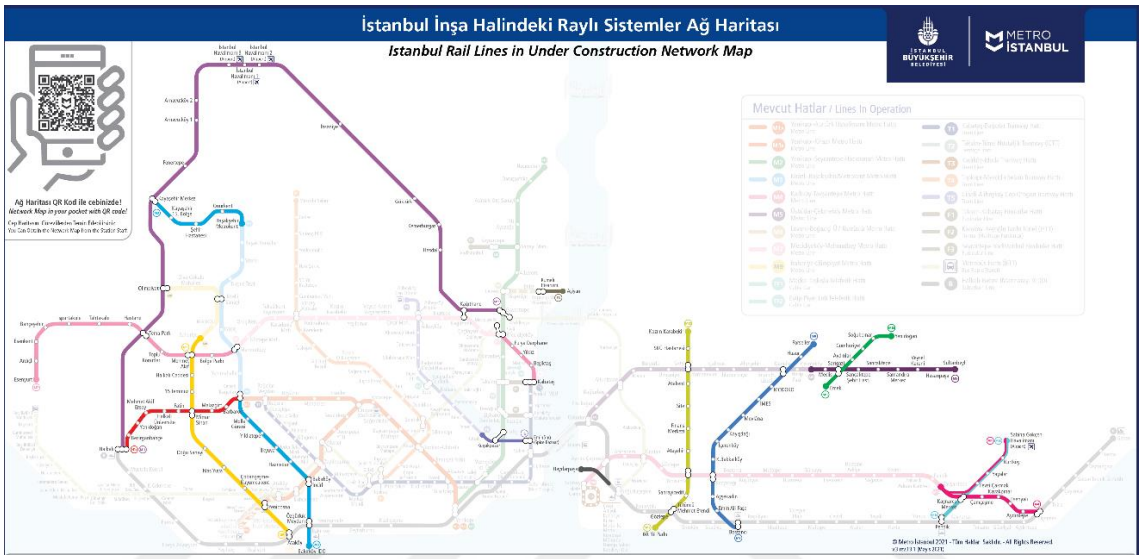
Alibeyköy-Cibali kesimi 1 Ocak 2021 tarihinde hizmet vermeye başlayan T5 Eminönü-Alibeyköy Tramvay Hattı, kentin en yeni tramvay hattıdır. Hattın Cibali-Eminönü arasında kalan kesiminde ise çalışmalar devam etmektedir. Tablo 2.3'de İstanbul'daki mevcut metro hatlarıyla ilgili bazı özellikler verilmiştir.

Tablo 2.3 Mevcut tramvay hatları (Metro İstanbul A.Ş.)

Hat	Uzunluk (km)	İstasyon Sayısı	Yolculuk Süresi (dk)	Taşınan Yolcu Sayısı (yıllık)	
				2019	2020
T1	19,30	31	65	141.567.923	79.604.924
T3	2,60	11	20	1.128.018	487.192
T4	15,30	22	45	58.492.896	36.318.557
T5	8,8	12	35	-	-

2.3 İnşaat ve Proje Sürecinde Olan Projeler

İstanbul'da raylı sistemler ile toplu taşımacılığın etkin kılınarak yaygınlaştırılması adına mevcut birçok hattın uzatma çalışmaları ve tamamen yeni hatların inşaat çalışmaları devam etmektedir. İlk olarak mevcut hatların uzatma çalışmaları ele alınmıştır. Şekil 2.2'de İstanbul'un inşaat halinde olan raylı sistemler ağ haritası verilmiştir.



Şekil 2.2 İstanbul'da inşa halinde olan raylı sistemler (Metro İstanbul A.Ş.)

M1 hattının, M1B kolunun 9,7 km uzunluğundaki Kirazlı-Halkalı kesiminde durmuş vaziyette olan inşaat çalışmaları 7 Mart 2021 tarihinde yeniden başlamıştır. Hat tamamlandığında, Avrupa Yakası'ndaki birçok raylı sistem hattı ile aktarma imkanı sunan Yenikapı istasyonundan başlayarak, Halkalı'ya kadar kesintisiz ulaşımı sağlayacaktır. Ayrıca Kirazlı istasyonunda M3 Kirazlı-Olimpiyat-Başakşehir, Mimar Sinan istasyonunda M9 Ataköy-İkitelli, Halkalı istasyonunda ise hem Marmaray ve YHT hem de M11 Gayrettepe-İstanbul Havalimanı-Halkalı hattı ile entegre olarak hizmet verecektir.

M3 hattının yaklaşık 3 km uzunluğundaki Başakşehir-Kayaşehir ve 8,4 km uzunluğundaki Kirazlı-Bakırköy-İDO kesimlerinde uzatma çalışmaları devam etmektedir. İnşaat çalışmaları tamamlandığında hat Kayaşehir Merkez istasyonunda M11 Gayrettepe-İstanbul Havalimanı-Halkalı, Kirazlı-Bağcılar istasyonunda M1B, Bakırköy-İncirli İstasyonunda M1A, Özgürlük Meydanı

İstasyounda Marmaray, Bakırköy-İDO istasyonunda ise deniz otobüsleri ile entegre olarak hizmet verecektir. Ayrıca Başakşehir-Kayaşehir kesiminde bulunan Şehir Hastanesi istasyonu ile Avrupa Yakası'ndaki Başakşehir Çam ve Sakura Şehir Hastanesi'ne raylı sistem ile ulaşım imkânı sağlanacaktır.

M4 hattında 7,5 km uzunluğundaki Tavşantepe-Sabiha Gökçen Havalimanı kesimi ve 7,7 km uzunluğundaki Tavşantepe-Tuzla kesiminde inşaat çalışmaları devam etmektedir. Tavşantepe-Sabiha Gökçen Havalimanı kesiminin M10 hattı ile ortak işletilmesi planlanmaktadır. Çalışmalar tamamlandığında M4 hattı Sabiha Gökçen Havalimanı, Marmaray ve YHT hatları ile entegre olarak birçok ulaştırma türü arasında aktarma imkânı sağlayacaktır.

M5 hattının 10,9 km uzunluğundaki Çekmeköy-Sultanbeyli kesiminde çalışmalar devam etmektedir. Tamamlandığında üç ilçeyi birbirine bağlayacak ve M13 hattı ile entegre olacaktır. Ayrıca Sancaktepe Şehir Hastanesi'ne de raylı sistem ile ulaşım imkânı sağlayacaktır.

M7 hattının 6,5 km uzunluğundaki Mecidiyeköy-Kabataş ve 18,5 km uzunluğundaki Mahmutbey-Esenyurt kesimlerinde inşaat çalışmaları devam etmektedir. İnşaat çalışmaları tamamlandığında hat, Esenyurt-Kabataş arasında doğu-batı aksındaki yüksek nüfus yoğunluğuna sahip ilçelere hizmet verecektir. Ayrıca Mehmet Akif istasyonunda M9, Tema Park istasyonunda M11, Kabataş istasyonunda T1 ve F1 hatları ile entegrasyon sağlanacaktır.

T5 hattının 1,5 km uzunluğundaki Küçükpazar-Eminönü kesiminde inşaat çalışmaları devam etmektedir. Çalışmalar tamamlandığında T5 hattı, Eminönü istasyonunda T1 hattı ile entegre hale gelecektir.

Anadolu Yakasında inşaatı devam eden hatlardan biri olan 14,30 km uzunluğundaki, M8 Bostancı-Dudullu hattı tamamlandığında 13 istasyon ile birlikte hizmet verecektir. Bostancı-Dudullu arasını 20 dakikaya indirecek olan bu hat aynı zamanda yolculara M4, M5 ve Marmaray hatları ile aktarma yapma olanağı sunacaktır.

M9 Ataköy-İkitelli hattı tamamlandığında Avrupa Yakası'nın kuzey-güney aksında hizmet verecektir. Basın Ekspres bölgesinde yapılması planlanan, Finans Merkezi bölgesine de hizmet edecek olan bu hat ile bölgedeki trafik yoğunluğunun azaltılması hedeflenmiştir. Ayrıca M9 hattı; M1A, M1B, M3, M7 ve Marmaray hatları ile entegre olarak hizmet verecektir.

Sabiha Gökçen Havalimanı'na raylı sistem ile ulaşım imkânı sağlayacak olan M10 Pendik-SGH hattı tamamlandığında 6 istasyon ile birlikte hizmet verecektir. Hat Pendik istasyonunda Yüksek Hızlı Tren ve Marmaray ile entegre olacaktır. Ayrıca hattın bir kesimi M4 ile birlikte işletilecek ve bu hat ile de aktarma imkânı sağlayacaktır.

M11 Gayrettepe-İstanbul Havalimanı hattı Halkalı'ya kadar uzanacak olan hattın ilk etabıdır. İstanbul Havalimanı'na toplu ulaşımı kolaylaştırmak amacıyla inşa edilmekte olan hattın uzunluğu 36 km'dir. Tamamlandığında Gayrettepe İstasyonu'nda M2 hattı ve Metrobüs ile, Kağıthane İstasyonu'nda M7 hattı ile entegre olacaktır.

M12 Göztepe-Ümraniye hattı, Anadolu Yakası'nın kuzey-güney doğrultusunda 11 istasyon ile hizmet verecektir. 13 km uzunluğundaki hat tamamlandığında M4, M7 ve Marmaray hatları ile aktarma imkânı sunacaktır.

M13 Yenidoğan-Hastane hattı başlangıçta M5 hattının bir kolu olarak düşünülmüş fakat daha sonra uzatılarak yeni bir metro hattına dönüştürülmüştür. Hattın uzunluğu 6,90 km ve istasyon sayısı altı'dır. Tamamlandığında Sarıgazi İstasyonu'nda M5 hattı ile entegre olacaktır.

Proje aşamasında olan hatlar ise şunlardır;

- Altunizade-Çamlıca Metro,
- İstinye-İTÜ-Kağıthane Metro,
- Kadıköy-Sultanbeyli Metro,
- Kazlıçeşme-Söğütlüçeşme Metro 1. Etap,
- M4 Sabiha Gökçen Havalimanı-Kurtköy Metro Uzatması,
- Seyrantepe-Alibeyköy Metro,

- Sultangazi-Arnavutköy Metro,
- Vezneciler-Sultangazi Metro,
- M13 Sarıgazi-Türkiş Blokları Metro Uzatması,
- M2 Yenikapı-Sefaköy Metro Uzatması,
- M3 Kayaşehir-Fenertepe Metro Uzatması,
- Esenler-Davutpaşa Tramvay,
- T5 Eyüp-Bayrampaşa bağlantısı,

3
ÇOK ÖLÇÜTLÜ KARAR VERME YÖNTEMLERİ

3.1 Giriş

Geçmişten günümüze insanoğlu günlük hayatında hem bireysel olarak, hem de büyük ölçekte belli alternatifler arasında seçim yapmak zorunda kalmıştır. Yolculuk ederken kullanılacak güzergah, ulaştırma türü, alışveriş yaparken alınacak ürün, tatil için gidilecek yer gibi kararlar verirken maliyeti en küçükleyen, faydaları da maksimize eden alternatifleri seçmeye çalışırız.

Karar verme süreci, ölçütleri ve aralarından seçim yapabileceğimiz alternatifleri içerir. Ölçütler genellikle birbirlerinden farklı öneme sahiptir ve alternatifler de her ölçüt için bizim tercihimize göre farklılık gösterirler. Bu tür seçim ve ödünleşmeler yapmak için bir ölçüm yöntemine ihtiyacımız vardır. Ölçme, ölçüm yöntemlerinin ve farklı ölçüm ölçeklerinin iyi anlaşılmasını gerektirir (Saaty, 2004).

Bu ölçüm yöntemleri arasında en çok kullanılan yöntemlerden biri de ÇÖKV Yöntemi'dir. ÇÖKV Yöntemleri ekonomi, matematik, istatistik, mühendislik, sosyal bilimler, yönetim, işletme gibi birden fazla disiplin bir araya gelerek, karar alıcı kişi veya kuruma, problemin boyutlarını değerlendirme ve alternatif çözümler arasında seçim yapma imkânı sağlayan yöntemlerdir.

Bir ÇÖKV Yöntemi süreci tipik olarak problemin hedeflerini tanımlar, tanımlanan hedefleri ölçmek için gerekli ölçütleri seçer, çözüm alternatiflerini belirler, ölçüt ölçeklerini ölçülebilir birimlere dönüştürür, göreceli önemlerini yansıtan ölçütlere ağırlık verir, sıralama ve alternatif seçmek için matematiksel bir algoritma seçer ve uygular (Jayanath ve Gamini, 2009).

ÇÖKV Problemlerini, birden fazla ölçütün optimize edildiği olası çözüm setleri içerisinden en iyi alternatifin seçildiği problemler olarak tanımlamak da mümkündür (Turan, 2018).

3.2 Çok Ölçütlü Karar Verme Problemleri

ÇÖKV Problemleri üç ana başlık altında incelenebilir. Bu problemler seçim, sınıflama ve sıralama problemleridir (Vassilev vd, 2005). Şekil 3.1'de ÇÖKV problemlerinin türleri gösterilmiştir.



Şekil 3.1 Çok Ölçütlü Karar Verme Problemleri

3.2.1 Seçim Problemleri

ÇÖKV Yöntemleri; güzergah seçimi, proje seçimi, satın alınacak ürün seçimi, toplu taşıma türleri için durak/istasyon yeri seçimi, alım yapılacak personel veya öğrenci seçimi gibi birçok alternatifin birbiriyle mukayese etmesi zor veya aynı ağırlıklara sahip bir küme içerisinden seçim yapmaya imkan verir.

Buradaki amaç, problemin çözümü için amaca en uygun alternatifin, belirlenen alternatif kümesi içerisinden seçilmesinden ibarettir (Turan, 2018).

3.2.2 Sınıflama Problemleri

Sınıflama problemlerinde belirli ölçüt veya karar vericinin tercihlerine göre sınıflandırma yapılır. Bu tür problemlerdeki temel amaç benzer özellik veya davranış gösteren alternatiflerin bir araya getirilerek çözümlenmesinden ibarettir.

3.2.3 Sıralama Problemleri

Sıralama problemlerinde amaç, belirlenen ölçütler doğrultusunda alternatiflerin iyiden kötüye doğru sıralanması veya tanımlanmasıdır. Seçim problemleriyle bir

bakıma benzerlik gösterirler. Örnek olarak, yapılması planlanan metro projelerinin yapım sırasının belirlenmesi verilebilir.

3.3 Çok Ölçütlü Karar Verme Teknikleri

ÇÖKV Yöntemleriyle problemleri çözmek için kullanılan birçok sayıda teknik mevcuttur. Bu teknikleri kullanmak için geliştirilen bilgisayar yazılımları, ÇÖKV Yöntemleri 'ni kullanmak isteyen kişi veya kurumlara büyük kolaylık sağlamaktadır. Tablo 3.1'de problem türüne göre kullanılan teknik ve yazılımlar gösterilmiştir.

Tablo 3.1 Çok Ölçütlü Karar Verme Problemleri ve Teknikleri

Seçim Problemi	Sınıflama Problemi	Sıralama Problemi
AHP	AHP	AHP Sort
ANP	ANP	UTADIS
MAUT/UTA	MAUT/UTA	FlowSort
MÂCBETH	MÂCBETH	ELECTRE-Tri
PROMETHEE	PROMETHEE	
ELECTRE I	ELECTRE III	
TOPSİS	TOPSİS	
Hedef Programlama		

Bu teknikler duyarlılık araçları, matematiksel özellikleri, bilgi kalitesi ve miktarı, kullandıkları yazılımlar gibi bazı özellikler açısından birbirleriyle farklılık gösterirler.

3.4 Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP)

AHP, 1970'li yıllarda Thomas L. Saaty tarafından geliştirilmiş bir yöntem olup, bu yöntem karar vericiler için anlaşılması ve uygulanması kolaydır. AHP genel tanımıyla belirlenen hedef doğrultusunda ölçüt ve alt ölçütlerin ikili karşılaştırmalarına dayanarak, birbirlerine göre ağırlık puanlarını belirlemeye ve sıralamaya yarayan bir karar verme tekniğidir. AHP mühendislik, teknoloji, imalat, üretim, sosyal bilimler vb. gibi çeşitli alanlardan araştırma uzmanlarının en çok kullandığı tekniklerden olmuştur. Aynı zamanda güvenilir ve verimli bir teknik olduğu kanıtlanmıştır (Khan ve Ali, 2020).

AHP belirlenen problemi çözmek için, isminden de anlaşılacağı üzere hiyerarşik bir yapıya ihtiyaç duyulmaktadır. Bu hiyerarşinin her seviyesinde, ölçütler için kendi aralarında ikili karşılaştırmalar yapılarak, bu ikili karşılaştırmalardan elde edilen değerler bir matris formuna dönüştürülmektedir. AHP tekniğindeki matrisler MS Excel yardımıyla kolaylıkla oluşturulup çözülebilmekle birlikte, piyasada "Expert Choice" ve "Super Decisions" başta olmak üzere birçok yazılım bulunmaktadır.

Ölçüt ve alt ölçütlerin ikili karşılaştırılmaları uzmanların tecrübe ve birikimlerinden faydalanılarak, görüşleri alınarak yapılır. Bu ikili karşılaştırmalarda genellikle Saaty'nin önerdiği 1-9 ölçeği kullanılmaktadır. Tablo 3.2 'de 1-9 ölçeğinin tanım ve açıklamaları verilmiştir.

Tablo 3.2 İkili karşılaştırmalarda kullanılan önem derecesi ölçeği

Önem Değeri	Değer Tanımı	Açıklama
1	Eşit Derecede Önemli	Her iki faktör **eşit** öneme sahiptir.
3	Orta Derecede Önemli	Bir faktör diğerine göre **biraz daha önemli**dir.
5	Kuvvetli Derecede Önemli	Bir faktör diğerinden **kuvvetle daha önemli**dir.

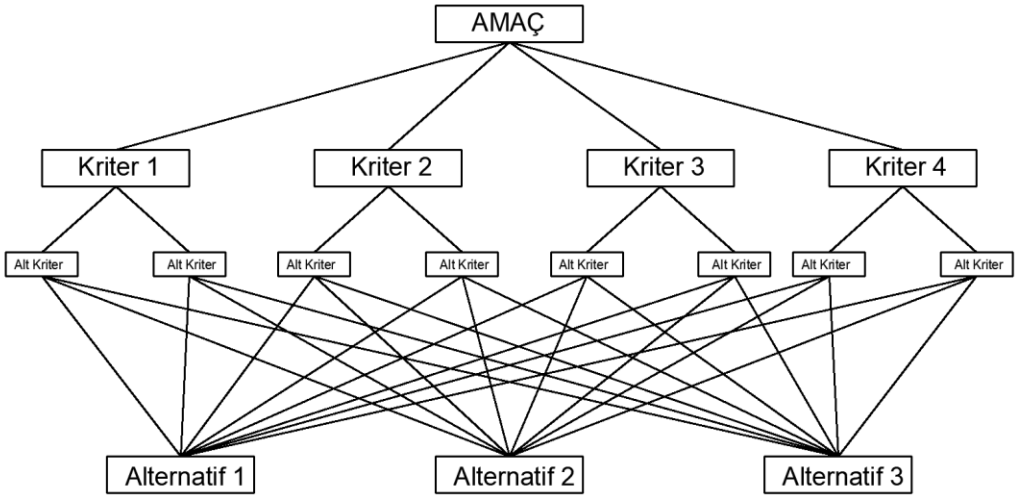
Tablo 3.2 İkili karşılaştırmalarda kullanılan önem derecesi ölçeği (devamı)

7	Çok Kuvvetli Derecede Önemli	Bir faktör diğerine göre **yüksek derecede daha önemli**dir.
9	Mutlak Derecede Önemli	Faktörlerden biri diğerine göre **çok yüksek derecede önemli**dir.
2,4,6,8	Ara Değerleri Temsil Ederler	İki faktör arasında tercih yapılırken yukarıda açıklaması yapılan faktörlerin ara değerleridir.

3.4.1 Analitik Hiyerarşi Süreci'nin Aşamaları

AHP tekniği kullanılırken aşağıdaki adımlar izlenir :

1. Problemin tanımlanması ve amacın belirlenmesi,
2. Belirlenen amaç doğrultusunda gerekli karar ölçütlerinin ve var ise alt ölçütlerinin seçilmesi,
3. Seçim yapılacak alternatifler kümesininin oluşturulması,
4. Problemin hiyerarşik yapısının oluşturulması, Şekil 3.2'de örnek bir AHP hiyerarşisi gösterilmiştir.



Şekil 3.2 Örnek AHP hiyerarşisi

5. Hiyerarşideki her seviye için ölçüt ve alt ölçütlerin ikili karşılaştırmaları yapılarak matrislerin oluşturulması ve daha sonra oluşturulan matrislerin normalizasyon işleminin tamamlanması.

6. Normalize edilen matrislerden ve özvektör'lerden yararlanılarak önem derecelerinin elde edilmesi,
7. Her bir ölçüt ve alt ölçüte göre alternatiflerin ikili karşılaştırmalarının yapılarak önem puanlarının elde edilmesi,
8. İkili karşılaştırma matrislerinin tutarlılık oranlarının bulunması,
9. Elde edilen önem puanlarına göre alternatiflerin sıralanması ve en yüksek önem puanına sahip olan alternatifin seçilmesi,
10. Gerekiyorsa duyarlılık analizlerinin yapılması.

3.4.2 Analitik Hiyerarşi Süreci 'nin Aksiyomları

Aksiyom, diğer önermelerin temeli ve ön dayanağı niteliğinde olan önermelere denir. Aksiyomların kanıtlanmaya ihtiyaçları yoktur ve üzerinde dikkatle düşünen kişiler için apaçıklardır. Aksiyomlara dayanan bir felsefe, yanlış olduğu kanıtlandığı zaman çöker.

AHP yönteminde de, literatürde kullanılan çoğu yöntemin teorik altyapısına benzer olarak bazı aksiyomlar bulunur. Bahsedilen yöntemde, Saaty tarafından geliştirilmiş dört aksiyom mevcuttur.

- Karşılıklı Kıyaslama Aksiyomu: İkili karşılaştırma matrislerinin kurulmasında kullanılan bu aksiyom, iki taraflı veya tersi olma şeklinde tanımlanmaktadır. Bu aksiyom sayesinde uzmanlara sorulacak soru sayısı yarı yarıya düşmektedir (Ünal, 2011). Bu aksiyoma örnek vermek gerekirse; elimizde aynı amaç için kullanılan K_1 ve K_2 ölçütleri olsun, uzman tarafından K_1 ölçütünün K_2 ölçütünden 3 değerinde daha önemli olduğu yargısına varılmışsa eğer K_2 ölçütü de K_1 değerine göre 1/3 kadar önemlidir.
- Homojenlik Aksiyomu: Bu aksiyoma göre aynı amaç doğrultusunda karşılaştırılan ölçütler birbirlerinden çok farklı olmamalıdır, aksi takdirde sıralamada hatalı sonuçlar elde edilir (Kuruüzüm ve Atsan, 2001).
- Bağımsızlık Aksiyomu: Karar probleminin çözümü doğrultusunda belirlenmiş olan ölçüt ve alternatiflerin ikili karşılaştırmaları, karşılaştırılan

ikili dışında diğer ölçüt ve alternatiflerden bağımsız olmalıdır (Togatlian ve diğerleri, 2007).

- Beklentiler Aksiyomu: Karar problemine çözüm işlemleri uygulanırken, bütün önemli ölçüt ve alternatifller karar verici tarafından doğru bir hiyarşik yapı oluşturulması için problemin çözümünde dikkate alınmalıdır (Togatlian ve diğerleri, 2007). Kurulan hiyerarşik yapı, gereksiz bulunan unsurlar dışında bütün unsurları içermeli ve uzman karar vericilerin beklentilerini karşılamalıdır. Uygulama sonucunda elde edilen sıralama, karar vericiyi şaşırtmamalıdır.

3.4.3 Analitik Hiyerarşi Süreci'nin Matematiksel Altyapısı

Daha önce de değinildiği gibi AHP'de yapılan ikili karşılaştırmalar sonucunda ölçütlerin ağırlıkları (w) elde edilir. Karşılaştırmalarda daha önceden de bahsedilen Saaty'nin 1-9 ölçeği kullanılır. Karşılaştırma matrislerinde köşegenler ölçütün kendisi ile karşılaştırığından dolayı 1 yani eşit önem derecesine sahip değerini alırlar.

Ölçütler a_1,a_2, ….. a_n ve ağırlıkları w_1,w_2, ….. w_n olacak şekilde n adet ölçütün göreceli önem ağırlıklarına göre ikili karşılaştırılması istenirse ikili karşılaştırma matrisinin genel yapısı aşağıda gösterildiği gibi olur (Tzeng ve Huang, 2011).

$$A=\begin{bmatrix} a_{11} & \dots & a_{1j} & \dots & a_{1n} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ a_{i1} & \dots & a_{ij} & \dots & a_{in} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ a_{n1} & \dots & a_{nj} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix} \quad (3.1)$$

Denklem 3.1'de verilen A matrisi örnek bir ikili karşılaştırma matrisidir. Bu matrisin köşegen değerleri, ölçüt kendisi ile karşılaştırıldığı için 1 değerini alır.

Burada $a_{ij} = \frac{1}{a_{ji}}$ (karşılıklı kıyaslama aksiyomuna göre) ve $a_{ij} = \frac{a_{ik}}{a_{jk}}$ olmaktadır. Gerçek problemlerde genellikle $\frac{w_i}{w_j}$ sonucu bilinmemektedir. Bu yüzden AHP 'de

çözülmesi gereken $a_{ij} \cong \frac{w_i}{w_j}$ olacak şekilde a_{ij} değerinin bulunmasıdır (Tzeng ve Huang, 2011).

İkili karşılaştırma matrisleri oluşturuldukdan sonra bu matrislerin normalize edilmesi gerekir. Normalizasyon işlemi şu formül ile yapılır :

$$b_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_1^n a_{ij}} \tag{3.2}$$

Daha sonra ağırlık matirsleri oluşturulur. Ağırlık (Öncelik) matrislerinin genel formu aşağıda verilmiştir.

$$W = \begin{array}{c} \\ w_1 \\ \vdots \\ w_2 \\ \vdots \\ w_3 \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{ccccccc} w_1 & \cdots & w_2 & \cdots & w_3 \end{array} \\ \begin{bmatrix} w_1/w_1 & \cdots & w_1/w_j & \cdots & w_1/w_n \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ w_i/w_1 & \cdots & w_i/w_j & \cdots & w_i/w_n \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ w_n/w_1 & \cdots & w_n/w_j & \cdots & w_n/w_n \end{bmatrix} \end{array} \tag{3.3}$$

W ve w değerleri çarpılarak ;

$$W = \begin{array}{c} \\ w_1 \\ \vdots \\ w_2 \\ \vdots \\ w_3 \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{ccccccc} w_1 & \cdots & w_2 & \cdots & w_3 \end{array} \\ \begin{bmatrix} w_1/w_1 & \cdots & w_1/w_j & \cdots & w_1/w_n \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ w_i/w_1 & \cdots & w_i/w_j & \cdots & w_i/w_n \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ w_n/w_1 & \cdots & w_n/w_j & \cdots & w_n/w_n \end{bmatrix} \end{array} \begin{bmatrix} w_1 \\ \vdots \\ w_i \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix} = n \begin{bmatrix} w_1 \\ \vdots \\ w_i \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix} \tag{3.4}$$

Veya aşağıdaki gibi gösterilir;

$$(W\text{-}n\cdot l)\ w = 0 \tag{3.5}$$

Yukarıdaki denklem özdeğer bulma denklemidir. Nispi ağırlıkları $A_w = \lambda_{maks} \cdot w$ denklemini sağlayan λ_{maks} esas alınarak w özvektörü hesaplanır. Bu denklemdeki λ değeri hesaplanırken, A karşılaştırma matrisi ve W ağırlık matrisleri çarpılır daha sonra bu matrisin özdeğer vektörü bulunur ve ana ölçüt sayısına bölünür. Bulunan λ değerleri içerisinden en büyük olan formülde kullanılır.

AHP'de ikili karşılaştırmaların tutarlılıklarını ve ağırlıkların doğruluklarını ölçmeye yarayan iki adet gösterge vardır. Bu göstergeler; Tutarlılık İndeksi (CI) ve Tutarlılık Oranı (CR) olup, hesaplanmaları için formüller aşağıda verilmiştir.

$$CI = \frac{(\lambda_{maks} - n)}{(n-1)} \tag{3.6}$$

Yukarıda verilen formülde n hiyerarşi sürecinde belirlenen toplam ana ölçüt sayısıdır. λ_{maks} ise en büyük özdeğerdir. Çeşitli araştırmacıların sunduğu çalışmalarda birçok farklı değer alabilmesine karşın, güvenilir sonuçlar alabilmek adına, CI göstergesinin genellikle kabul edilen değeri 0,10'dan daha küçük olduğu değerlerdir.

Tutarlılık oranı hesaplanırken de şu formül kullanılır ;

$$CR = \frac{CI}{RI} \ < 0{,}10 \tag{3.7}$$

RI, "Rastgele Değerler İndeksi" olarak bilinir. Rassal üretilen karşılıklı kıyaslama matrisinin büyüklük örnekleminden elde edilmiştir (Güler ve Önder, 2018). Tutarlılık Oranı kavramına bir basit örnek vermek gerekirse; ele alınan hiyerarşide A ölçütü B ölçütüne göre 2 değerinde üstün olursa ve B ölçütü de C ölçütüne göre

4 değerinde üstün olursa, tutarlılık oranının sağlanması için A ölçütü ile C ölçütü karşılaştırılırken A ölçütü C ölçütüne göre 8 değerinde daha üstün olmalıdır.

Hiyerarşide oluşturulan ölçüt sayısına göre RI değerlerinin standartları aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 3.3 Rastgele değer indeksi

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0	0	0,52	0,89	1,11	1,25	1,35	1,40	1,45	1,49

AHP ile grup kararı alınırken öncelikle her bir uzman anketinin kendi içerisinde tutarlılık testleri yapılır. Daha sonra uzman grubunun ölçütler hakkındaki yargılarını birleştirmek için geometrik ortalama yoluna başvurulur. Geometrik ortalama yoluyla uzman grubunun yargıları birleştirilir ve grup matrisi oluşturulur. Oluşturulan bu grup matrisinin de tutarlılık şartlarını sağlaması gerekmektedir.

3.4.4 Analitik Hiyerarşi Süreci'nin Güçlü ve Zayıf Yönleri

ÇÖKV Yöntemleri konusundaki uzman analizciler,araştırmacılar arasında AHP 'nin güçlü ve zayıf yönleri önemli tartışmalara sebep olmuştur. Aşağıda AHP 'nin güçlü ve zayıf yönleriyle ilgili bazı bilgiler verilmiştir:

Güçlü Yönleri

- Ele alınan problemi, problemi oluşturan hedef, ölçüt, alt ölçüt ve alternatifleri parçalarına ayırarak hiyerarşi oluşturması AHP'nin güçlü yönlerinden biri olarak görülmektedir. Özellikle her bir ölçütün nispi ağırlığını göz önüne sererek önemini netleştirmesi araştırmacılar için pratiklik sağlar.
- Ramanathan (2001)'a göre diğer ÇÖKV Yöntemleri'ne karşı avantajları; esnekliği ve karar vericilere sağladığı kolaylık ve tutarsızlıkları kontrol edebilme olanağıdır. AHP 'de yapılan ikili karşılaştırmalar ve veri girişi

kullanıcılar tarafından genellikle kullanışlı ve basit bulunmaktadır. Bu yüzden kullanıcıları bu yöntemi kullanmaya teşvik eder.

- AHP yöntemi, uzmanlar tarafından yapılan her bir ikili karşılaştırmanın geometrik ortalamasını hesaplayarak fikir birliği yoluyla grup halinde karar vermeyi destekler (Zahir, 1999). Karşılaştırılan yargıların ağırlıkları nümerik olarak elde edildiği için grup olarak karar verilirken uzun zaman alan tartışmalara gerek kalmaz.
- AHP değerlendirme sürecinde alternatif ve ölçütlerin tutarlıklarını da kontrol ettiği için faydalı bir mekanizma sağlarken, karar vericilerin alternatifler hakkındaki kişisel yargılarını azaltmaya yardımcı olur. Uzmanlar tarafından gerçekleştirilen ikili karşılaştırmalar vasıtasıyla hem öznel hem de nesnel değerlendirme kıstaslarının dikkate alınmasını sağlar.
- Ağırlıklandırma ve sıralama tekniği yardımıyla geleneksel yöntemlerle modellenmesi güç veya karmaşık olan problemleri kolaylıkla ele alıp çözme yeteneğine sahiptir.
- AHP, normalde herhangi bir ölçeğin bulunmadığı durumlarda ölçek türetme yeteneğine de sahip olduğu için herhangi bir belirsizlik veya risk durumlarının modellenmesine yardımcı olmak için eşsiz bir araçtır (Millet ve Wedley, 2002).

Zayıf Yönleri

AHP ‘nin literatürdeki popülaritesine ve kullanıldığı çeşitli disiplinlere rağmen, birçok yazar çalışmalarında hâla yöntemdeki bazı konularla ilgili endişelerini dile getirmektelerdir. Bunlardan bazıları aşağıda sıralanmıştır :

- Birçok araştırmacı, AHP veya bazı türevlerini kullanıldıklarında bazı sıralama düzensizliklerinin ortaya çıkabileceği durumları gözlemlemiştir. Alternatifler kümesine bir seçeneğin aynısının veya yakın bir kopyasının eklenmesi halinde sıralamada bazı tutarsızlıkların meydana geldiğini öne sürmüşlerdir. Ayrıca ölçütler veya alt ölçütler düzeyinde yapılacak bir

ekleme ya da çıkarma işleminden dolayı bütün süreci en baştan ele almak gerekmesi de yöntemin eleştirilen bir yönüdür.

- AHP ile karar problemleri, ölçütlerin aralarında çok sayıda ikili karşılaştırmanın yapılmasını gerektiren bir dizi alt sisteme ayrışır. Bu yaklaşımın dezavantajı yapılacak ikili karşılaştırma sayısının çok fazla olması ve bu nedenle çözüme ulaşmanın uzun bir hâl almasıdır (Macharis vd, 2004).
- AHP 'nin bir diğer dezavantajı olarak 1-9 'luk ölçeğin kullanılması olarak görülür. İkili karşılaştırmalar yapılırken, karar vericiler ölçütler arasında ayrım yapmakta zorlanabilirler. Dahası AHP bir alternatifin diğerinden 20 kat daha önemli olduğu bir durumda bu ihtiyaca yanıt verebilecek bir ölçek sistemine sahip değildir.

4
İSTANBUL BOĞAZINDAN GEÇEN PROJELERİN AHP YÖNTEMİYLE ÖNCELİKLENDİRİLMESİ

4.1 Giriş

Dünyanın en eski şehirlerinden biri olan İstanbul, çağlar boyunca birçok uygarlığa başkentlik yapmıştır. Asya ile Avrupa kıtaları arasında köprü görevi gören İstanbul hem tarihi hem de çağdaş bir kent niteliği taşımaktadır. Dünya'da iki kıta üzerinde kurulu ve içinden deniz geçen başka bir şehrin daha var olmaması İstanbul'un ne kadar eşsiz bir şehir olduğunu kanıtlar niteliktedir. Hem stratejik konumu hem de kara ve deniz ticaret yollarının kesişim noktası olması sebebiyle İstanbul Türkiye'nin ekonomik açıdan en önemli şehri olarak kabul edilir.

Türkiye'nin resmi verilere göre 15.462.452 (TÜİK, 2020) kişilik nüfusu ile en kalabalık şehri olan İstanbul, kentsel alanın büyüklüğü bakımından da zirvede yer almaktadır. Artan nüfus sebebiyle İstanbul'da etkisini her geçen gün daha kuvvetli gösteren ulaştırma problemleri yıllardır tartışılmış ve kentin en büyük sorunlarından biri haline gelmiştir. Ulaştırma problemlerinin çözümünde en önemli seçenek olarak görülen toplu taşıma sistemleri, yeni yatırım kararları ve yönetimlerin gösterdiği kararlılık sebebiyle iyileşme gösterse de gelecekte bu problemlerin en az düzeye indirilmesi için yeterli olup olmayacağı hâla tartışma konusudur.

İstanbul'da trafiğe kayıtlı araç sayısının her geçen yıl artış göstermesi trafik tıkanıklığına sebep olan başlıca unsurlardan biridir. İUAP'da 2023 için yapılan tahminlerde 4.335.882 araç olacağı öngörülmüş fakat kentteki araç sayısı 2020 yılında 4.338.118 araç sayısına ulaşarak bu sayıyı üç yıl erkenden geçmiştir.

TÜİK'den alınan veriler ile düzenlenen Tablo 4.1 İstanbul'da sadece son 5 yıl içerisindeki motorlu araç sayılarının değişimini gözler önüne sermektedir. Otomobil sayısında % 14.3 'lük bir artış yaşanırken, toplam motorlu taşıt sayısında

ise %13.2'lik artış söz konusudur. Bütün motorlu taşıt türlerinin sayısı sürekli artış gösterirken, otobüs sayısındaki gözle görülür azalış dikkat çekmektedir. Bu azalışı inşaat sürecindeki raylı sistem projelerinin işletmeye alınması ile ilişkilendirmek mümkün olabilir.

Tablo 4.1 İstanbul'da yıllara göre motorlu araç sayısı (TÜİK, 2020)

Yıl	Otomobil	Minibüs	Otobüs	Kamyonet	Kamyon	Diğer	Toplam
2020	3.009.710	97.126	39.543	702.268	134.340	405.131	4.338.118
2019	2.876.156	97.468	40.902	673.015	133.904	366.331	4.187.776
2018	2.887.581	94.873	42.614	699.994	136.083	342.167	4.173.312
2017	2.813.027	90.121	44.351	657.572	134.318	322.336	4.061.725
2016	2.633.206	85.815	45.418	631.376	133.524	302.955	3.832.294

İstanbul'da zirve saatlerde yaka geçişini sağlayan karayolu ağındaki tıkanıklık ve darboğazlar yüksek maliyetli gecikmelere yol açmaktadır. 1973 yılında hizmet vermeye başlayan 15 Temmuz Şehitleri Köprüsü karayolu ağında çok önemli bir yere sahiptir. İstanbul Yıllık Ulaşım Raporu'na (2017) göre bu köprü ile Avrupa Yakası'ndan Asya Yakasına günlük ortalama 73.000 araç geçmiş, zirve 96.681 araç geçişi ile yaşanmıştır. Aylık ortalama yolcu geçişi ise çift yönlü olarak 4.5 milyona ulaşmıştır.

1985 yılında hizmete giren ve ikinci boğaz köprüsü olma özelliğine sahip Fatih Sultan Mehmet Köprüsü'nde ise 2017 yılında çift yönlü olmak üzere günlük ortalama 182.000 araç geçmiştir. 2016 yılında hizmete giren ve yaka geçişini sağlayan diğer bir karayolu projesi olan Avrasya Tüneli'nde ise 2017 yılında günde toplam 42.000 araç geçmiş ve aylık çift yönlü araç geçişleri ise 1.2 milyonu aşmıştır.

Yaka geçişini sağlayan tek raylı sistem hattı olan Marmaray'da TCDD'nin verilerine göre 2019 yılında günlük 468 bin yolcu taşındığı belirtilmektedir. Tek yönde

saatte 70.000 yolcu taşıması planlanarak hizmete açılan Marmaray, yaka geçişindeki yolcu yükünü hafifleterek kentin ulaştırma ağına çok önemli katkıda bulunmuştur.

Ancak 2023 yılını hedef alan İstanbul Ulaşım Ana Planı'nda (2011) belirtildiği gibi boğaz geçiş koridorundaki raylı sistem ihtiyacı göz önüne alınırsa, toplu taşımaya olan yüksek talebin karşılanması için alternatif raylı sistem projelerine ihtiyaç duyulacaktır. İUAP'da yapılan talep tahminleri doğrultusunda Marmaray'ın gelecekte boğaz geçişi için gerekli ihtiyacı karşılayamayacağı ön görülmüştür. Boğazı hızlı bir şekilde geçerken, talep yönetimi ile otomobil kullanımını azaltmayı hedefleyen raylı sistem koridoru için altı adet raylı sistem projesi önerilmiş ve bu projeler içerisinden iki tanesi seçilerek raylı sistem gelişim planına dahil edilmiştir.

Alternatif projelerin güzergâh ve istasyon konumları seçilirken şu ölçütler dikkate alınmıştır :

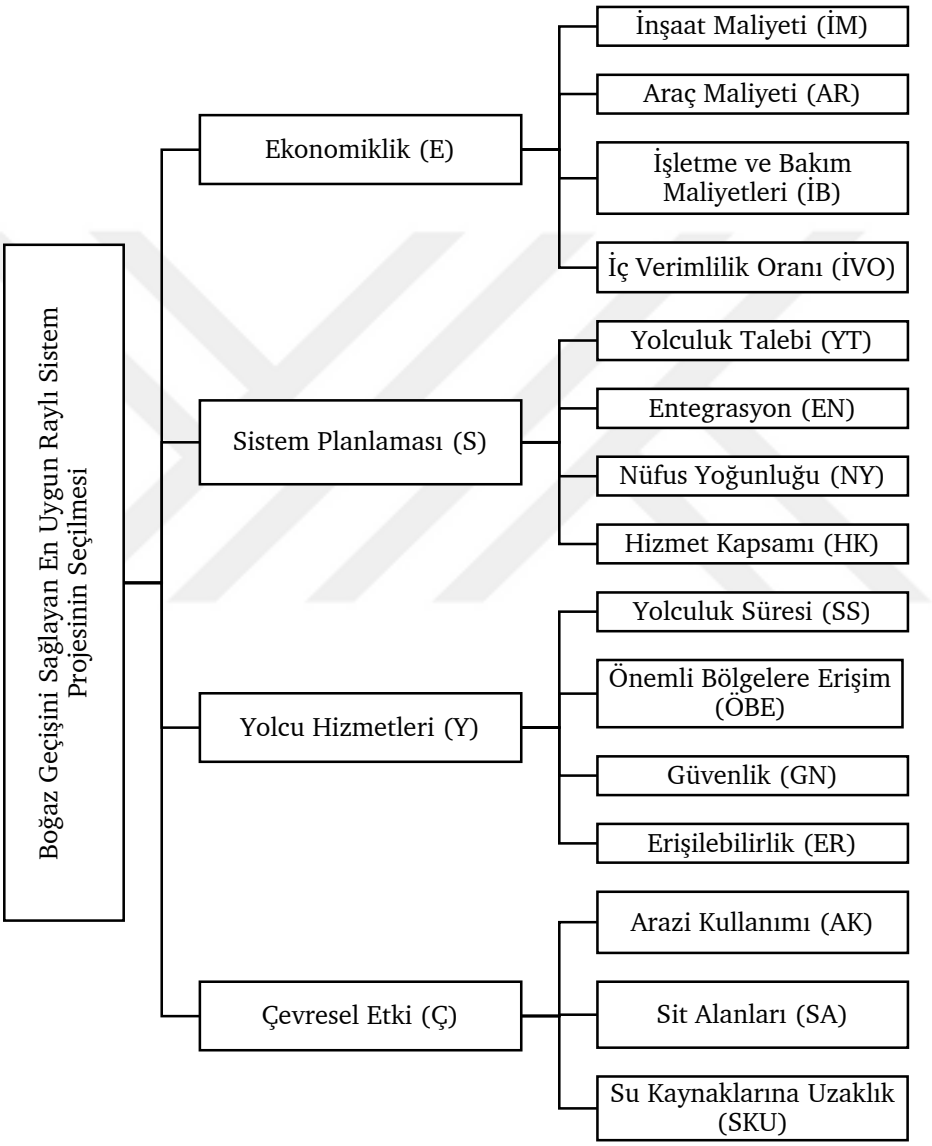
- Kentin ana raylı sistem omurgasını oluşturacak, merkezi iş alanları ve konut alanlarıyla bütünleşik ve aynı zamanda kentin doğu-batı aksında Marmaray'a olan talebi azaltacak etki göstermesine özen gösterilmiştir.
- Seçilecek projenin inşaat maliyetlerinin en az olması gerekmektedir.
- Projelerdeki hat güzergâhlarının ve istasyonların mümkün olduğunca ana yol, park alanı gibi kamusal alanlar içerisinde kalmasına dikkat edilmiştir.
- İstasyon noktaları belirlenirken, mevcut ve planlanan hatlar ile kesişim noktalarında aktarma istasyonu olacak şekilde bağlantısı sağlanmıştır.

Bu ölçütler eşliğinde seçilen projelerden PBH-5 Ünalan-Mecidiyeköy hattının 2016 yılı sonunda, PBH-4 Bostancı-Kazlıçeşme hattının ise iki etap halinde 2020 yılının sonunda hizmet vermeye başlaması planlanmış fakat bu planlar 2021 yılı itibariyle henüz hayata geçmemiştir.

4.2 AHP Önceliklendirmesinde Kullanılan Ölçüt ve Alt Ölçütler

Boğaz geçişini sağlayan metro projelelerinin seçilmesi için AHP metodolojisi doğrultusunda bazı ana ölçütler ve bu ana ölçütlerin alt ölçütleri, raylı sistem projelerinin karakteristik özellikleri dikkate alınarak ve literatürdeki benzer çalışmalardan faydalanılarak belirlenmiştir. İkili karşılaştırmalar için kullanılan

dört ana ölçüt Ekonomiklik, Sistem Planlaması, Yolcu Hizmetleri ve Çevresel Etki olarak belirlenmiştir. Her ölçüt ve alt ölçüt için ulaştırma uzmanlarına anket yapılırken kolaylık sağlaması adına bir kısaltma belirlenmiştir. Ek-B'de Super Decisions yazılımından bazı ekran görüntüleri ve alternatif projelerin her ölçüt için ağırlık puanları verilmiştir.



Şekil 4.1 Ölçüt ve alt ölçütler

Alternatif altı proje için bazı özelliklerin ortak olduğu kabul edilerek bu özellikler ölçüt olarak modelde kullanılmamıştır. Ortak kabul edilen özellikler şunlardır;

Konfor: Hatlarda işletilecek araçların aynı özelliklere sahip olacağı,

Sıklık: Hatlar işletilirken tren sıklıklarının bütün projeler için aynı olacağı,

Hız: Hatlar işletilirken trenlerin aynı işletme hızına sahip olacağı,

Kentin Silüetine Etki: Boğaz geçişini denizin altından tünel ile sağlayacakları için projelerin herhangi bir etki göstermeyeceği,

Gürültü Kirliliği: Bütün hatlar yer altında olacağı için gürültü kirliliği bakımından eşit olacakları,

Sürüş Emniyeti: Hatların güzergâh tasarımında geometrik standartların ilgili teknik yapım şartnamelerine uygun olacakları,

Sinyalizasyon Sistemi: Her proje için kullanılacak sinyalizasyon ve tren kontrol sistemlerinin aynı olacağı

kabulleri yapılarak, AHP modelinin amaç doğrultusunda en iyi çözümü vermesi için bu ölçütler probleme eklenmemiştir.

4.2.1 Ekonomiklik

Ekonomiklik ölçütü, seçilecek projenin ekonomik açıdan en avantajlı olmasını amaçlamaktadır. Genel olarak hattın gider kalemlerini kapsayan bu ölçüt için dört alt ölçüt belirlenmiştir.

İnşaat Maliyeti: Hat inşa edilirken ortaya çıkan maliyetlerden oluşmaktadır. Bu maliyetler kısaca şunlardır; toprak işleri, tünel yapımı, istasyon ve depo yapımı, elektrifikasyon ve sinyalizasyon sistemleri, üstyapı giderleri (ray, travers ve bağlantı elemanları).

Araç Maliyeti: Raylı sistemlerde işletilecek otomotris ve vagon sayısı belirlenirken, hat üzerinde zirve saatler içerisindeki yolcu hacimlerinden ve trenler arasındaki izleme sürelerinden yararlanılır. Bu alt ölçüt ile hat üzerinde işletilecek bütün raylı sistem araçlarının toplam satın alma maliyetleri dikkate alınmıştır.

İşletme ve Bakım Maliyeti: İşletmeye alınacak hattın, otuz yıl olarak belirlenen ekonomik ömrü için işletme ve bakımına harcanacak giderler. İşletme ve bakım

maliyetleri; enerji giderleri, araçların bakım ve onarımı, yol bakım ve onarımı, personel ve yönetim giderlerinin maliyetlerini içerir.

İç Verimlilik Oranı: Yapılacak yatırımın bütçesini tahmin etmek için kullanılan bir yöntem olan iç verimlilik veya kârlılık oranı, aynı zamanda alternatif yatırım projeleri arasında somut bir kıyaslama ve karar verme imkânı sağlar (Albornoz vd, 2018). İç verimlilik oranı ne kadar yüksekse yapılacak yatırım projesinin karar vericiler tarafından kabul edilme ihtimali o kadar yüksek olur. Bu alt ölçüt değerlendirilirken her bir projenin sosyal faydaları da dikkate alınarak hesaplanan ekonomik iç verimlilik oranı dikkate alınmıştır (İstanbul Büyükşehir Belediyesi, 2011).

4.2.2 Sistem Planlaması

Sistem Planlaması ölçütü, hem mevcut hem de gelecekteki raylı sistem ağı ile en uyumlu olan projenin seçilmesini amaçlar. Bu ölçüt altında dört alt ölçüt incelenmiştir. Alt ölçütler şunlardır;

Yolculuk Talebi: İnşa edilecek metro projeleri yüksek sermaye yatırımı gerektirdikleri için yüksek yolculuk talebi olan ulaşım koridorlarında hizmet vermeleri amaçlanır. Bu ölçüt dikkate alınırken değerlendiren alternatif boğaz geçişini sağlayan raylı sistem projelerinin bulundukları ulaşım koridorunda hedeflenen 2023 yılındaki raylı sistem yolculuk talepleri dikkate alınmıştır (İstanbul Büyükşehir Belediyesi, 2011).

Entegrasyon: Raylı sistem ağının bir bütün olarak verimli bir şekilde işletilebilmesi için hatlar arasındaki aktarma noktalarının sayısı olabildiğince fazla olmalıdır. Bu ölçüt, seçilecek projenin mevcut raylı sistem hatları ile olan aktarma sayısını dikkate almaktadır.

Nüfus Yoğunluğu: Raylı sistem projeleri yüksek kapasiteli hizmet sunmaya elverişli oldukları için genellikle nüfusun yoğun olduğu bölgelere hizmet vermeleri amaçlanır. Bu alt ölçüt kullanılarak seçilecek projenin hizmet vereceği ilçelerin nüfus yoğunlukları dikkate alınmıştır.

Hizmet Kapsamı: Seçilecek proje mevcut raylı sistem ağına eklendiğinde, ağın hizmet kapsamını arttırıcı etkisinin ne kadar olduğu araştırılmıştır. Bu hesap için her istasyonun etrafındaki 500 m yarıçapına hizmet verdiği düşünülerek hesaplanan alan, kentin raylı sistem hizmeti verilen ilçelerinin yüzölçümüne bölünerek elde edilmiştir (Derrible ve Kennedy, 2010).

4.2.3 Yolcu Hizmetleri

Yolcu Hizmetleri ölçütü, seçilecek projenin kullanıcıların perspektifinden değerlendirilmesini amaçlamaktadır. Bu ölçüt altında dört alt ölçüt incelenmiştir. Alt ölçütler şunlardır;

Yolculuk Süresi: Yolcuların hattı kullanırken başlangıç-son istasyonları arasında harcadıkları zaman. Yolculuk süresi; işletme hızı, istasyonlardaki bekleme süreleri, hattın uzunluğu, trenler arasındaki izleme süreleri gibi etkenlere bağlıdır.

Önemli Bölgelere Ulaşım: Seçilecek projenin İUAP (2011) ‘da hedeflenen 2023 yılı için trafik üretim ve çekim merkezlerine ulaşım sağlayıp sağlamadığının göstergesi olan ölçütdür. Her projenin geçtiği ilçelere göre günlük yolculuk üretim-çekim değerlerinin toplamı ile ölçülmüştür.

Güvenlik: İstasyon içinde ve çevresinde yolcuların güvenle raylı sistem hizmetini kullanabilmesi için bazı önlemler gereklidir. Güvenlik kameraları, yeterli aydınlatma sistemleri, istasyonlarda mümkün olduğunca kör nokta bulunmaması ve yeterli sayıda güvenlik görevlisi bulunması bu önlemlerden bazıları olup, suç ve şiddet olayları için caydırıcıdır. İstanbul’da 3.950.168 kişinin katılımıyla yapılan anket neticesinde, her ilçe için insanların suç korkusu ortaya koyulmuştur (Bilen vd, 2013). Bu çalışmadan hareketle her proje için güvenlik puanı elde edilmiştir.

Erişilebilirlik: İstasyonların yolcular tarafından erişilebilir olması raylı sistem projeleri için oldukça önemlidir. Bu doğrultuda, seçilecek projenin yolcular tarafından erişilebilirliklerinin değerlendirilmesi bu ölçüt ile sağlanmıştır. Erişilebiliğin göstergesi olarak her bir projenin istasyon sayıları dikkate alınmıştır (Vuchic, 2007).

4.2.4 Çevresel Etki

Çevresel Etki ölçütü, seçilecek projenin çevresesel etkisini dikkate almayı amaçlayan ölçütdür. Bu ölçüt aşağıda verilen üç alt ölçüt ile birlikte incelenmiştir.

Arazi Kullanımı: Raylı sistemler hem kalıcı istasyon ve hat yapılarına sahip olmaları, hem de yüksek kaliteli toplu taşıma hizmeti sundukları için kentin arazi kullanım yapısı üzerinde güçlü bir etki gösterirler. Ayrıca insan odaklı kentsel gelişimi pekiştirdikleri için raylı sistemler, istasyonlarının çevrelerini yatırım için cazip duruma getirirler (Vuchic, 2007). Arazi kullanımı alt ölçütünü ölçmek için her projenin geçtiği ilçelerdeki nüfus yoğunluğu, hattın o ilçede bulunan istasyon sayısına bölünmüş ve daha sonra bütün ilçelerin istasyon başına düşen nüfus ortalaması alınmıştır. İstasyon başına düşen nüfus yoğunluğu fazla olan projelerin arazi kullanım türünü değiştirme potansiyeli daha düşük, istasyon başına nüfus yoğunluğu daha düşük olan projelerin ise arazi kullanım türünü değiştirme potansiyelinin daha yüksek olduğu kabul edilmiştir.

Sit Alanları: Raylı sistem projelerindeki tünel çalışmaları yer yüzündeki veya altındaki tarihi değere sahip yapı ve eserlerin olduğu gibi korunması için bir risk teşkil edebilir. İstanbul'un bu yapı ve eserler açısından çok zengin değerlere sahip olduğu düşünülerek, projelerin güzergâhları üzerindeki ilçelerin doğal, tarihi, kentsel, arkeolojik ve karma sit alanı büyüklükleri dikkate alınarak değerlendirme yapılmıştır (Dinçer ve diğerleri, 2009).

Su Kaynaklarına Uzaklık: Küresel iklim değişikliği ile birlikte gelecekte temiz su kaynaklarına erişmenin zorlaşacağı sıklıkla dile getirilmektedir. Bu doğrultuda, mevcut su kaynaklarının korumaya alınması İstanbul'un günlük su ihtiyacı dikkate alındığında son derece önemlidir. Bu ölçüt ölçülürken İstanbul'da bulunan Ömerli ve Elmalı Barajları, değerlendirilen alternatiflere en yakın ve etkilenme potansiyeli en yüksek oldukları için dikkate alınmıştır. Her projenin bu iki baraja en yakın iki istasyonu ile mesafeleri ölçülerek, bu mesafelerin harmonik ortalamaları sıralama için kullanılmıştır.

4.3 Uygulanan AHP Anketi

AHP tekniği uygulanırken genellikle tek bir kişinin yargısına başvurmak yerine, o konunun uzmanlarından oluşan bir grubun yargısına başvurulur (Turan, 2018). Seçilen uzman grubunun her bir üyesinden elde edilen yargı, geometrik ortalamalarının alınması ile matematiksel olarak birleştirilmelidir. Birleştirilen uzman görüşlerinden elde edilerek oluşturulan karşılaştırma matrisleri, AHP tekniğinin gerektirdiği 0,10 tutarsızlık oranının altında olmalıdır. Geometrik ortalamalar sebebiyle bu matrislerin tutarsızlık oranları büyük olasılıkla 0,10 değerinin altında olur. Bu sebepten dolayı geometrik ortalamalar alınmadan önce her bir uzman anketi teker teker değerlendirilerek, tutarsızlık oranının 0,10 değerinin altında olup olmadığının incelenmesi çalışmanın doğru sonuçlar vermesi bakımından çok önemlidir. Tutarsız çıkan anket sonuçları ya anketi yanıtlayan uzman tarafından tekrar yapılmalı, ya çalışma kapsamında dikkate alınmamalı ya da en tutarsız bulunan yanıtlar düzeltilerek 0,10 değerinin altına düşürülmelidir (Turan, 2018).

Belirlenen ölçüt ve alt ölçütlerin ikili karşılaştırmalarının, uzman kişiler tarafından kıyaslanmaları için Saaty'nin 1-9 'luk ölçeği kullanılarak anket çalışması yapılmıştır. Anket kapsamında tutarsız bulunan cevaplar dikkate alınmamış, düzeltme gerektiren cevaplar ise kuralına uygun olarak yeniden değerlendirilerek düzeltilmiştir. Tutarsız bulunan yanıtlar için; düzeltme yapılırken anketlerde en tutarsız olan yanıt, uzman yargısını değiştirmeyecek şekilde düzeltilerek tutarsızlık oranı 0,10 değerinin altında düşürülmüştür.

Ankete katılacak kişiler seçilirken özellikle bu kişilerin ulaştırma ve raylı sistemler alanında çalışan uzman; akademisyen, kamu ve özel sektör çalışanları olmalarına özen gösterilmiştir. Sonuç olarak anket toplam 46 anket yanıtı içerisinden tutarlı bulunan ve kuralına uygun olarak düzeltilenler dahil on iki akademisyen, dört kamu ve yedi özel sektör çalışanı tarafından yanıtlanan 23 uzman yanıtı ile sonlandırılmıştır. Bu 23 kişinin meslek ve tecrübe olarak dağılımı Tablo 4.2 ve Tablo 4.3'de verilmiştir. Uygulanan örnek bir anket Ek-A'da verilmiştir.

Tablo 4.2 Anket katılımcılarının mesleki dağılımları

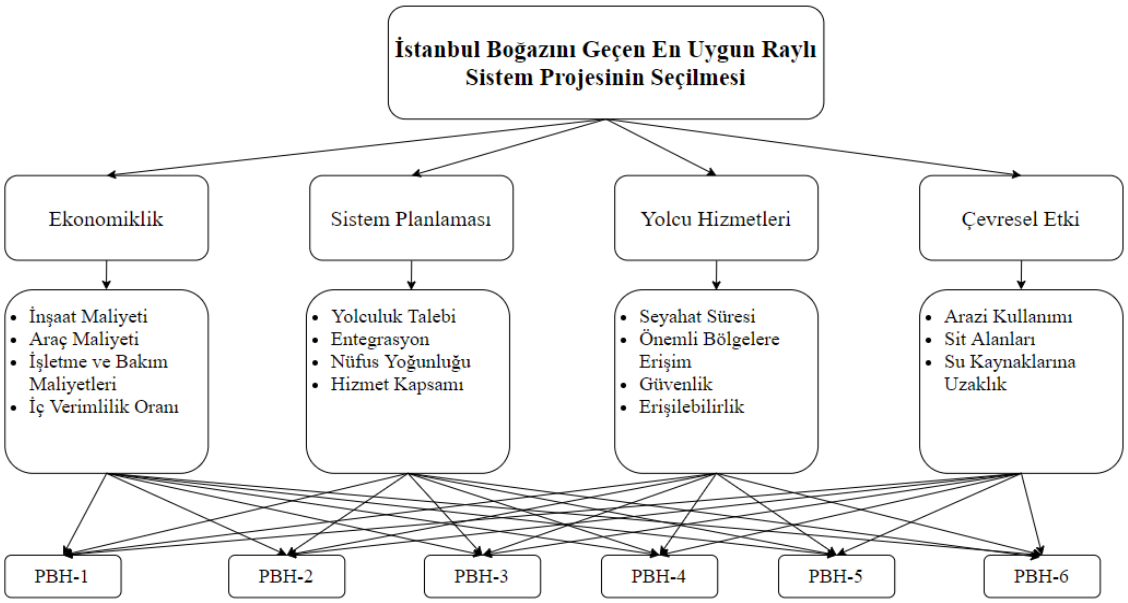
Meslek	Kişi Sayısı
Akademisyen	12
Elektronik Mühendisi	1
İnşaat Mühendisi	2
Jeoloji Mühendisi	1
Raylı Sistemler İş Geliştirme	1
Raylı Sistemler Mühendisi	1
Şehir Plancısı	1
Ulaştırma Koordinatörü (Baş Uzman)	1
Ulaştırma Mühendisi	2
Ulaştırma ve Haberleşme Uzmanı	1

Tablo 4.3 Anket katılımcılarının tecrübe dağılımları

Tecrübe (yıl)	Kişi Sayısı
20+	6
16-20	6
11-15	2
6-10	5
1-5	4

4.4 AHP Hiyerarşisi ve İkili Karşılaştırmalar

Problem “Boğaz Geçişini Sağlayan En Uygun Raylı Sistem Projesinin Seçilmesi” olarak belirlenmiştir. Problemin çözümünde kullanılacak en uygun ölçüt ve alt ölçütler seçildikten sonra ulaştırma ve raylı sistem uzmanlarına ikili karşılaştırmalar için anket uygulanmıştır. Problem çözülürken ağırlık puanları, normalizasyon matrisleri, tutarlılık oranları ve duyarlılık analizlerini elde etmek için Super Decisions yazılımından yararlanılmıştır.



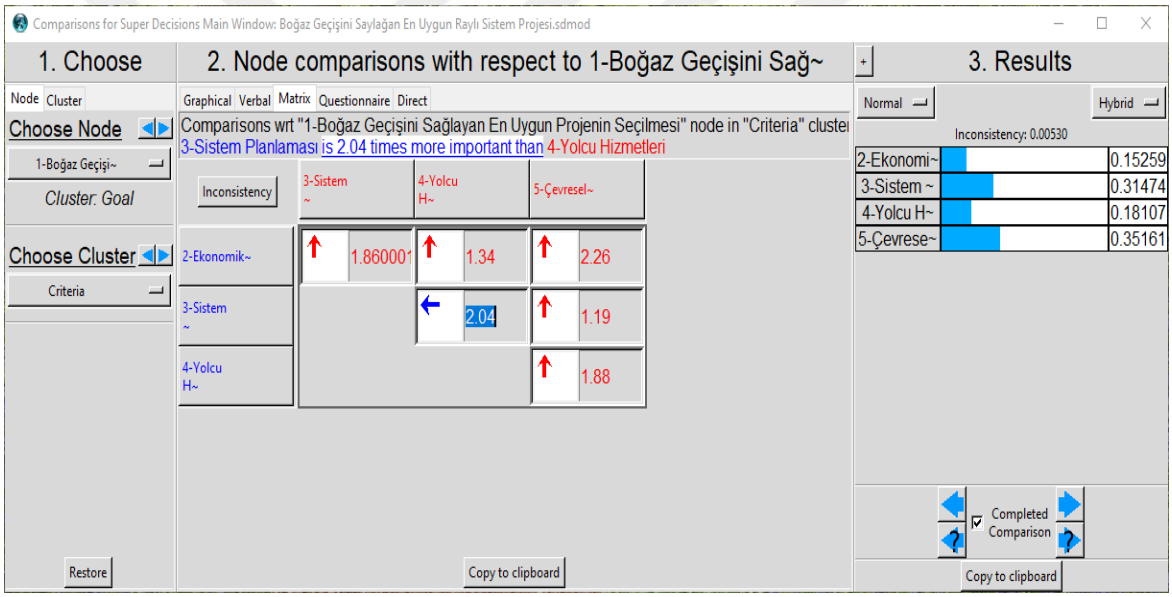
Şekil 4.2 Problemin AHP hiyerarşisi

4.4.1 Ana Ölçütlerin Karşılaştırılması

Ekonomiklik, Sistem Planlaması, Yolcu Hizmetleri ve Çevresel Etki ana ölçütlerinin ikili karşılaştırma matrisi ve ana ölçütlerin ağırlık puanları elde edilerek Tablo 4.4’de verilmiştir. Ana ölçütler ağırlık puanlarına göre; Çevresel Etki, Sistem Planlaması, Yolcu Hizmetleri ve Ekonomiklik olarak sıralanmıştır. Tutarsızlık Oranı, IR=0,0053<0,10 olarak bulunmuştur.

Tablo 4.4 Ana ölçütlerin ikili karşılaştırma matrisi

Ana Ölçütler	Ekonomiklik	Sistem Planlaması	Yolcu Hizmetleri	Çevresel Etki	Ağırlık Puanı
Ekonomiklik	1	0,54	0,75	0,44	0,15259
Sistem Planlaması	1,86	1	2,04	0,84	0,31474
Yolcu Hizmetleri	1,34	0,49	1	0,53	0,18107
Çevresel Etki	2,26	1,19	1,88	1	0,35161



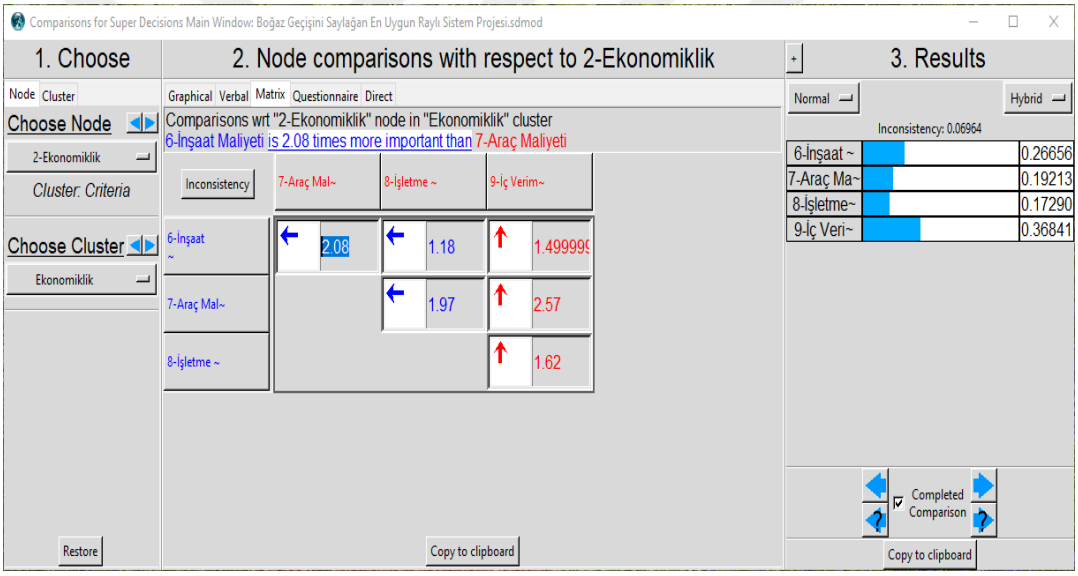
Şekil 4.3 Ana ölçütlerin karşılaştırılması Super Decisions ekran görüntüsü

4.4.2 Ekonomiklik Ölçütü

Ekonomiklik ölçütüne ait alt ölçütlerin, ulaştırma uzmanları tarafından yapılan ikili karşılaştırma matrisi ve ağırlık puanları Tablo 4.5'de verilmiştir. Ekonomiklik ana ölçütünün alt ölçütleri ağırlık puanlarına göre; İç Verimlilik Oranı, İnşaat Maliyeti, Araç Maliyeti ve İşletme ve Bakım Maliyet olarak sıralanmıştır. Tutarsızlık Oranı, IR=0,00979<0,10 olarak bulunmuştur.

Tablo 4.5 Ekonomiklik alt ölçütlerinin karşılaştırma matrisi

Ekonomiklik	İnşaat Maliyeti	Araç Maliyeti	İşletme ve Bakım Maliyetleri	İç Verimlilik Oranı	Ağırlık Puanı
İnşaat Maliyeti	1	2,08	1,18	0,66	0,26656
Araç Maliyeti	0,48	1	0,51	0,39	0,19213
İşletme ve Bakım Maliyeti	0,85	1,97	1	0,62	0,17290
İç Verimlilik Oranı	1,50	2,57	1,62	1	0,36841



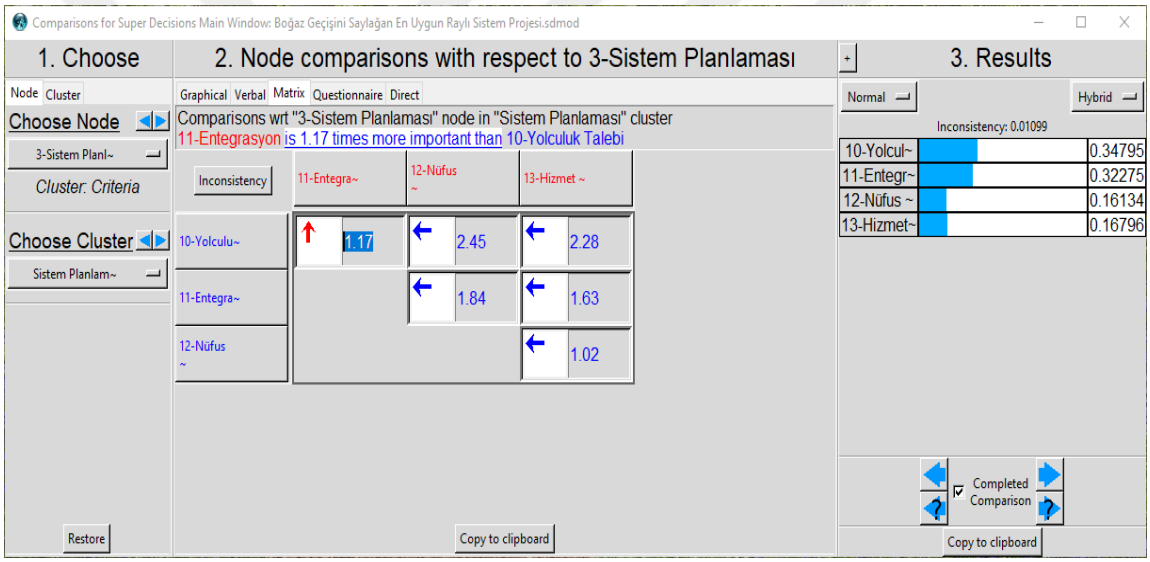
Şekil 4.4 Ekonomiklik alt ölçütleri, Super Decisions ekran görüntüsü

4.4.3 Sistem Planlaması Ölçütü

Sistem Planlaması ölçütüne ait alt ölçütlerin, ikili karşılaştırma matrisi ve ağırlık puanları Tablo 4.6'da verilmiştir. Sistem Planlaması ana ölçütünün alt ölçütleri ağırlık puanlarına göre; Yolculuk Talebi, Entegrasyon, Hizmet Kapsamı ve Nüfus Yoğunluğu olarak sıralanmıştır. Tutarsızlık Oranı, IR=0,01099<0,10 olarak bulunmuştur.

Tablo 4.6 Sistem Planlaması alt ölçütlerinin karşılaştırma matrisi

Sistem Planlaması	Yolculuk Talebi	Entegrasyon	Nüfus Yoğunluğu	Hizmet Kapsamı	Ağırlık Puanı
Yolculuk Talebi	1	0,86	2,45	2,28	0,34795
Entegrasyon	1,17	1	1,84	1,63	0,32275
Nüfus Yoğunluğu	0,41	0,54	1	1,02	0,16134
Hizmet Kapsamı	0,44	0,61	0,98	1	0,16796



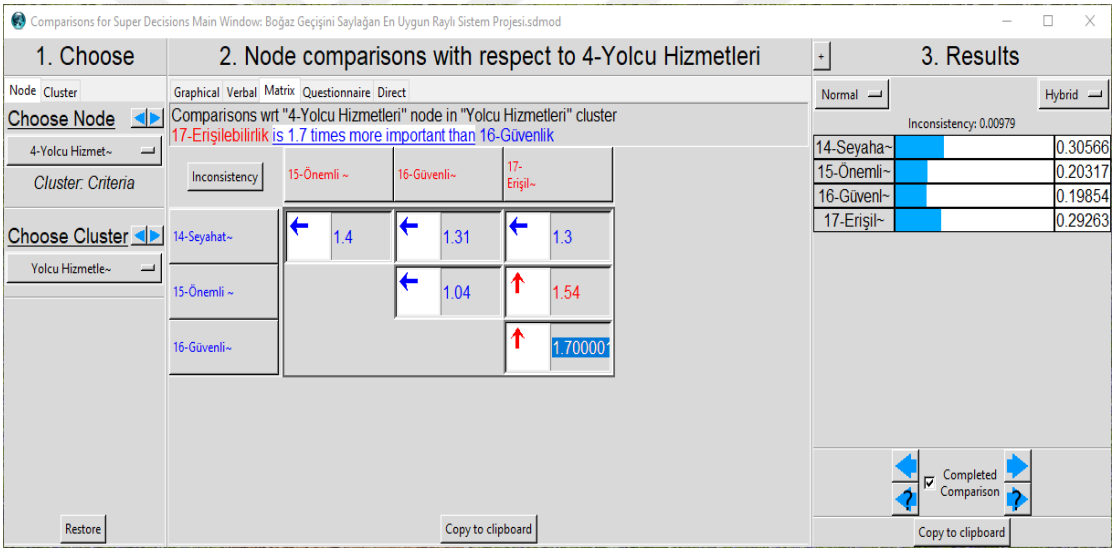
Şekil 4.5 Sistem Planlaması alt ölçütleri, Super Decisions ekran görüntüsü

4.4.4 Yolcu Hizmetleri Ölçütü

Yolcu Hizmetleri ölçütüne ait alt ölçütlerin, ikili karşılaştırma matrisi ve ağırlık puanları Tablo 4.7'de verilmiştir. Yolcu Hizmetleri ana ölçütünün alt ölçütleri ağırlık puanlarına göre; Yolculuk Süresi, Erişilebilirlik, Önemli Bölgelere Erişim ve Güvenlik olarak sıralanmıştır. Tutarsızlık Oranı, IR=0,00979<0,10 olarak bulunmuştur.

Tablo 4.7 Yolcu Hizmetleri alt ölçütlerinin ikili karşılaştırma matrisi

Yolcu Hizmetleri	Yolculuk Süresi	Önemli Bölgelere Erişim	Güvenlik	Erişilebilirlik	Ağırlık Puanı
Yolculuk Süresi	1	1,40	1,31	0,77	0,30566
Önemli Bölgelere Erişim	0,71	1	1,04	0,65	0,20317
Güvenlik	0,76	0,96	1	0,59	0,19854
Erişilebilirlik	1,30	1,54	1,70	1	0,29263



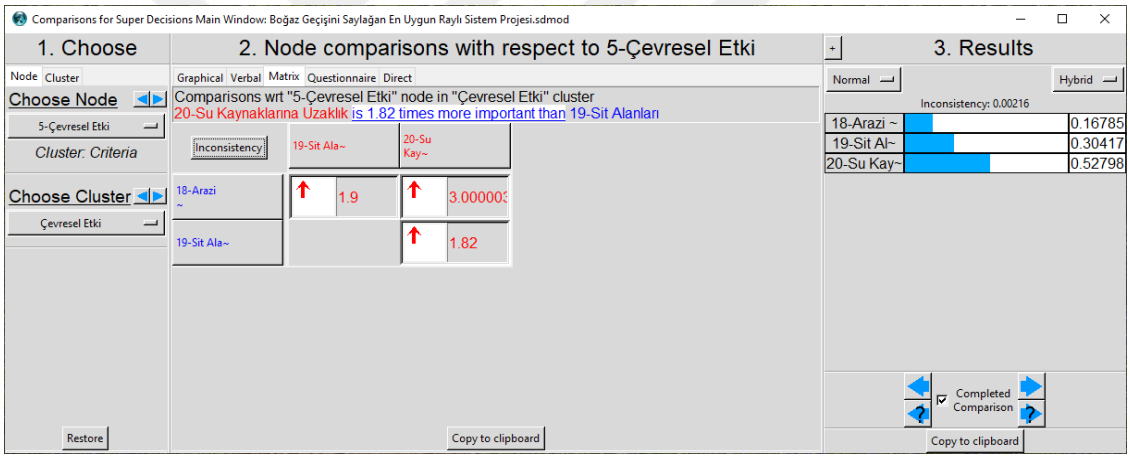
Şekil 4.6 Yolcu Hizmetleri alt ölçütleri, Super Decisions ekran görüntüsü

4.4.5 Çevresel Etki Ölçütü

Çevresel Etki ölçütüne ait alt ölçütlerin, ulaştırma uzmanları tarafından yapılan ikili karşılaştırma matrisi ve ağırlık puanları Tablo 4.8'de verilmiştir. Çevresel Etki ana krterinin alt ölçütleri ağırlık puanlarına göre; Su Kaynaklarına Uzaklık, Sit Alanları ve Arazi Kullanımı olarak sıralanmıştır. Tutarsızlık Oranı, IR=0,00216<0,10 olarak bulunmuştur.

Tablo 4.8 Çevresel Etki alt ölçütlerinin ikili karşılaştırma matrisi

Çevresel Etki	Arazi Kullanımı	Sit Alanları	Su Kaynaklarına Uzaklık	Ağırlık Puanı
Arazi Kullanımı	1	0,53	0,33	0,16785
Sit Alanları	1,90	1	0,55	0,30417
Su Kaynaklarına Uzaklık	3,00	1,82	1	0,52798



Şekil 4.7 Çevresel Etki alt ölçütleri Super Decisions ekran görüntüsü

4.5 Değerlendirmeye Alınan Alternatif Raylı Sistem Projeleri

Asıl olarak kentteki boğaz geçişi problemi ele alınarak değerlendirmeye alınan metro projelesinin tamamı, iki yaka arasındaki yolculuk taleplerini karşılamak adına kentin raylı sistem ağına önemli katkıda bulunma potansiyeline sahiptir. İUAP (2011)'da yapılan çeşitli analizler sonucunda harflendirme yöntemiyle önceliklendirilen bu altı proje içerisinden kentin karakteristik özelliklerine ve gelecekteki ihtiyaca en uygun olanını seçmek oldukça önemlidir. İUAP (2011)'da harflendirme yöntemiyle önceliklendirme yapılırken ekonomik iç verimlilik, genel

talep, kentsel gelişimle uyumluluk, finansal iç verimlilik, sosyal değerlendirme, doğal değerlendirme ve acil ihtiyaç durumu ölçütleri dikkate alınmıştır.

2023 yılı hedef alınarak, Boğaz geçişindeki yolculuk talebini karşılamak, otomobil kullanımını azaltmak ve Marmaray hattının yolcu yükünü hafifletmek amacıyla değerlendirmeye alınan altı metro projesinden beş tanesi Marmaray ile bağlantılı olacak şekilde planlanmıştır. Marmaray'ın Söğütlüçeşme, Kazlıçeşme ve Bostancı istasyonlarından en az biri ile entegre olan bu beş metro projesi, metrobüs hattıyla da birçok aktarma noktasına sahiptir. Ünalan-Mecidiyeköy projesi ise Marmaray hattı ile aktarma istasyonuna sahip olmayıp, M4 Kadıköy-Kartal metro hattının uzantısı olarak düşünülmüştür. Tablo 4.9'da değerlendirmeye alınan raylı sistem projeleri listelenmiştir.

Tablo 4.9 Değerlendirmeye alınan raylı sistem projeleri

Proje Kodu	Proje Bölümü
PBH-1	Kadıköy-Kazlıçeşme
PBH-2	Söğütlüçeşme-Kazlıçeşme
PBH-3	Söğütlüçeşme-Gayrettepe
PBH-4	Bostancı-Kazlıçeşme
PBH-5	Ünalan-Mecidiyeköy
PBH-6	Söğütlüçeşme-İncirli

İUAP (2011)'da harflendirme yöntemiyle yapılan önceliklendirme Tablo 4.10'da verilmiştir. Verilen önceliklendirme A'dan C'ye doğru azalmaktadır. Tablodan da görüldüğü gibi, Bostancı-Kazlıçeşme PBH-4 ve Ünalan Mecidiyeköy PBH-5 hatları diğer hatlara göre daha önceliklidir. Bu önceliklendirmeye göre Bostancı-Kazlıçeşme PBH-4 AAAAABB ve Ünalan-Mecidiyeköy PBH-5 AAAABBB harflendirmeleri ile raylı sistem gelişim ağına dahil edilmiştir. Hatlar İUAP'da ekonomik, finansal, kentsel gelişim, talep, doğal değerlendirme, sosyal

değerlendirme ve acil ihtiyaç durumu ölçütlerine göre değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmeye ilişkin bilgiler Tablo 4.10'da gösterilmiştir.

Tablo 4.10 İUAP 'da yapılan önceliklendirme (2011)

Proje Kodu	E-IRR	Genel Talep	Kentsel Gelişimle Uyumluluk	F-IRR	Sosyal Değerlendirme	Doğal Değerlendirme	Acil İhtiyaç Durumu	Genel Değerlendirme
PBH-1	C	A	B	B	A	A	B	AAABBBC
PBH-2	C	A	B	B	A	A	B	AAABBBC
PBH-3	B	B	B	A	A	A	B	AAABBBB
PBH-4	B	A	A	A	A	A	B	AAAAABB
PBH-5	B	B	A	A	A	A	B	AAAABBB
PBH-6	C	A	A	A	A	B	B	AAAABBC

İUAP'da yapılan harflendirme ölçütleri şu şekildedir;

Ekonomik geri dönüş (E-IRR): X> %60 (A), %15<X<%60 (B), X<%15 (C),

Toplu taşıma talebi (yolcu): X>600000 (A), 300000<X<600000 (B), X<300000 (C),

Toplu taşıma talebi (yolcu/km): Y>25000 (A), 10000<Y<25000 (B), Y<10000 (C),

Toplu taşıma talebi (talep/toplamyolcu): Z>%2,5 (A), %1,5<Z<%2,5 (B), Z<%1,5 (C),

Planlı kentsel gelişimle uyumluluk: destekleyici (A), ilişki yok (B), zıt ilişkili (C),

Finansal geri dönüş (F-IRR): X> %15 (A), %15<X<%5 (B), X<%5 (C),

Çevresel değerlendirme (doğal): etkili değil (A), biraz etki (B), oldukça etkili (C),

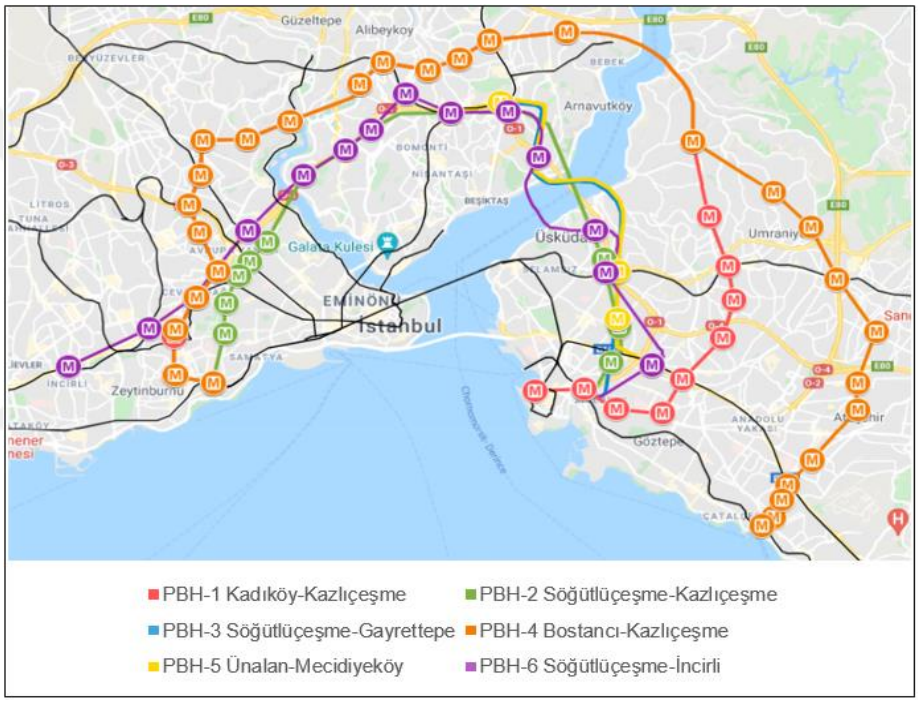
Doğal koruma alanları: doğal koruma alanlarında yer almıyorsa (A), kısmen etkiliyorsa (B), etkiliyorsa (C),

Çevresel değerlendirme (sosyal): etkili değil (A), biraz etki (B), oldukça etkili (C),

Kültürel miras: projeler kültürel mirası etkilemiyorsa (A), kısmen etkiliyorsa (B), etkiliyorsa (C),

Acil ihtiyaç durumu: acil(A), kısmen acil (B), acil değil (C).

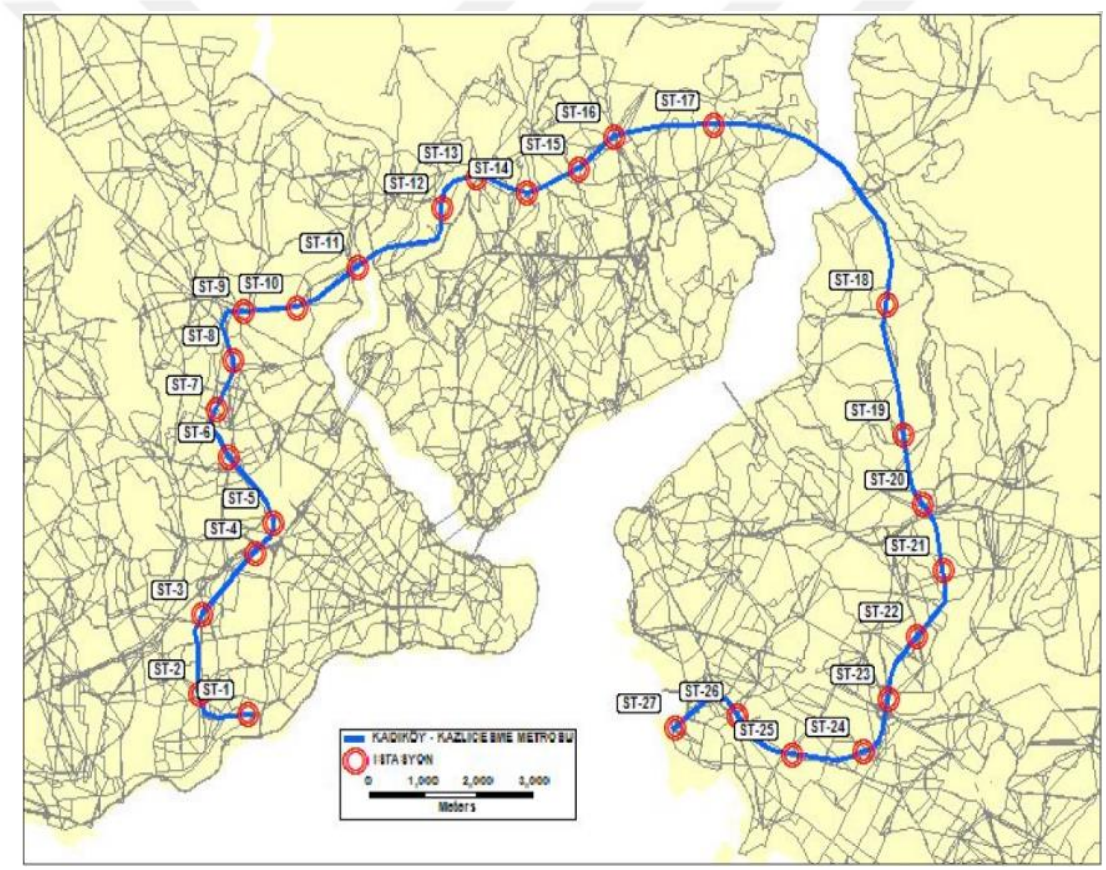
Şekil 4.8'de alternatif raylı sistem projelerinin güzergâhları İUAP (2011)'dan yararlanılarak yaklaşık olarak çizilmiş ve hepsi bir arada gösterilmiştir.



Şekil 4.8 Değerlendirilen raylı sistem projelerinin güzergâhları

4.5.1 Kadıköy-Kazlıçeşme Metro Hattı (PBH-1)

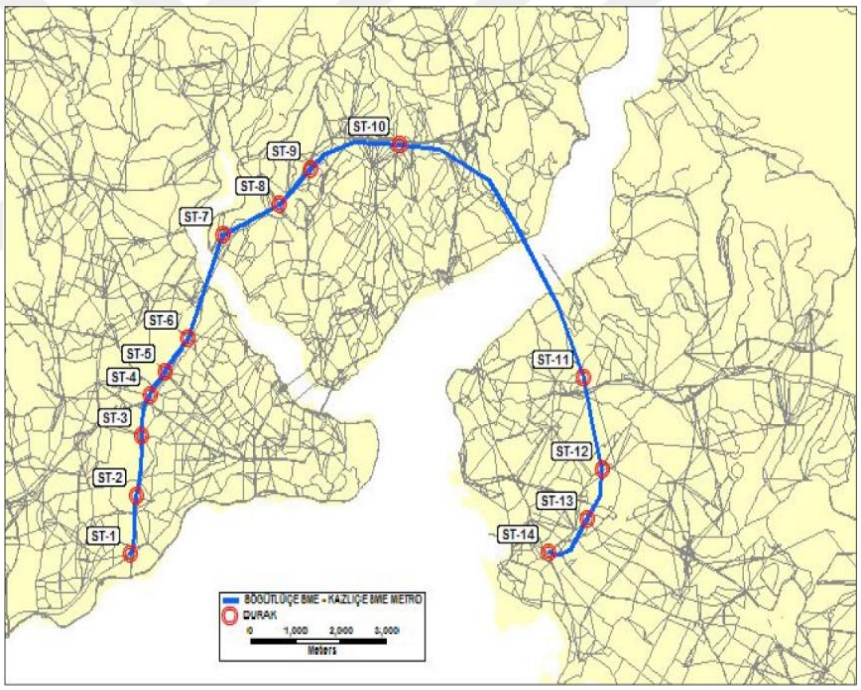
Kadıköy-Kazlıçeşme Metro Hattı, Marmaray ile aktarma yapacak şekilde Kazlıçeşme bölgesinden başlayıp Bayrampaşa, Gaziosmanpaşa, Eyüpsultan, Kağıthane, Beşiktaş, Sarıyer, Üsküdar ve Kadıköy'den geçerek Söğütlüçeşme 'de son bulmaktadır. Hattın Boğazı geçmeden önceki son duraklarının Avrupa Yakası'nda Etiler (ST-17) bölgesinde, Anadolu Yakası'nda ise Üsküdar Bahçelievler Mahallesi 'nde (ST-18) olması planlanmıştır. Boğazı denizin altından tünelle geçecek olan hattın toplam uzunluğu 40,5 km olup, 27 istasyon ile hizmet vermesi planlanmıştır. Hattın güzergâhı Şekil 4.9'da verilmiştir.



Şekil 4.9 Kadıköy-Kazlıçeşme Metro Hattı, İUAP (2011)

4.5.2 Söğütlüçeşme-Kazlıçeşme Metro Hattı (PBH-2)

Söğütlüçeşme-Kazlıçeşme Metro Hattı bu iki başlangıç-bitiş istasyonunda Marmaray ile bağlantılı olacak şekilde konumlandırılmıştır. Sırasıyla Fatih, Zeytinburnu, Eyüpsultan, Beyoğlu, Şişli, Beşiktaş, Üsküdar ve Kadıköy ilçelerinden geçmektedir. Boğaz kesimini denizin altından tünelle geçecek olan metro hattı 22,3 km uzunluğunda olacak ve 14 istasyon ile hizmet verecektir. Hattın Boğaz'ı geçmeden önceki son duraklarının Avrupa Yakası'nda Mecidiyeköy (ST-10) bölgesinde, Anadolu Yakası'nda ise Altunizade Bölgesi'nde (ST-11) olması planlanmıştır. Mecidiyeköy'de hem metrobüs hem de Yenikapı-Hacıosman M2 Metro Hattı ile bağlantılı, Altunizade'de ise Üsküdar-Çekmeköy M5 Metro Hattı ile bağlantılı olacak şekilde planlanmıştır. Hattın güzergâhı Şekil 4.10'da verilmiştir.

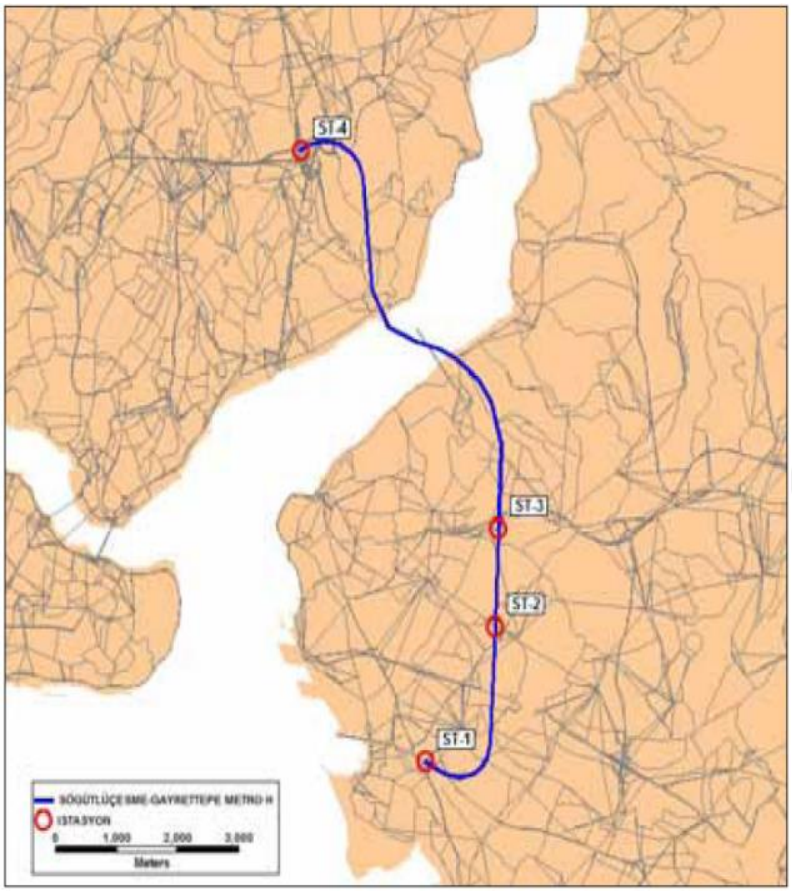


Şekil 4.10 Söğütlüçeşme-Kazlıçeşme Metro Hattı, İUAP (2011)

4.5.3 Söğütlüçeşme-Gayrettepe Metro Hattı (PBH-3)

Boğaz geçişini sağlamak için kısa bir çözüm sunan Söğütlüçeşme-Gayrettepe Hattı 12 km uzunluğunda olup, 4 istasyon ile hizmet vermesi planlanmıştır. Boğazı

denizin altından tünelle geçecek olan hat; Kadıköy, Üsküdar, Beşiktaş ilçelerinden geçerek Gayrettepe (ST-4) bölgesinde son bulmaktadır. Hattın Avrupa Yakası'ndaki tek durağı Gayrettepe bölgesinde olup, buradan Yenikapı-Hacıosman M2, Metrobüs, Gayrettepe-İstanbul Havalimanı M11 hatlarıyla bağlantılı olacaktır. Anadolu Yakası'nda ise ilk istasyon Söğütlüçeşme (ST-1), ikinci istasyon Üsküdar (ST-2), üçüncü istasyon Altunizade (ST-3) bölgelerinde olacak şekilde planlanmıştır. Hattın güzergâhı Şekil 4.11'de verilmiştir.

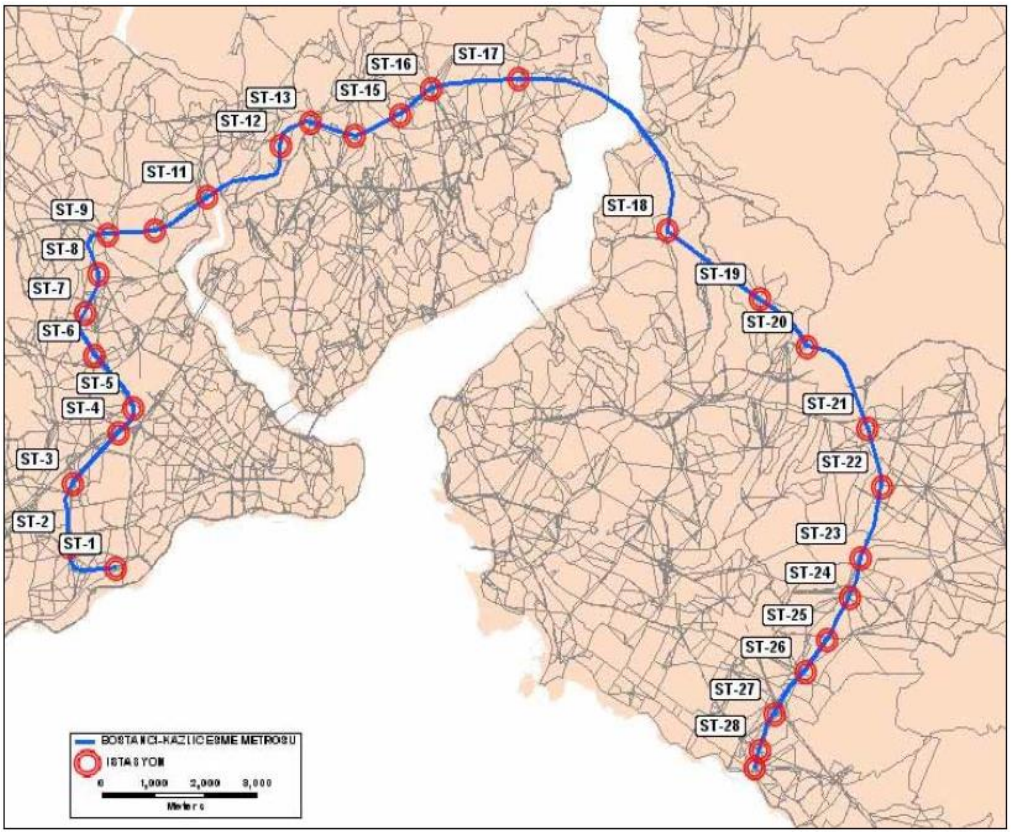


Şekil 4.11 Söğütlüçeşme-Gayrettepe Metro Hattı, İUAP (2011)

4.5.4 Bostancı-Kazlıçeşme Metro Hattı (PBH-4)

Kadıköy-Kazlıçeşme (PBH-1) Hattı ile Avrupa Yakası'nda aynı güzergâha sahip olan Bostancı-Kazlıçeşme Hattı Anadolu Yakası'nda ise daha çok yakanın doğu kesimlerini kapsayacak şekilde planlanmıştır. Uzunluğu 45 km ve 29 istasyona

sahip olan hat sırasıyla; Bayrampaşa, Gaziosmanpaşa, Eyüpsultan, Kağıthane, Beşiktaş, Sarıyer, Ümraniye, Ataşehir ve Kadıköy ilçelerinden geçerek Bostancı ile Kazlıçeşme'yi birbirine bağlayacaktır. Hattın boğazı geçmeden önceki son duraklarının Kadıköy-Kazlıçeşme (PBH-2) Hattı'nda olduğu gibi Avrupa Yakası'nda Etiler (ST-17) bölgesinde, Anadolu Yakası'nda ise Üsküdar Bahçelievler Mahallesi 'nde (ST-18) olması planlanmıştır. Bu hat değerlendirilen tüm hatlar içerisinde en çok istasyona sahip olan ve en uzun hat olma niteliğindedir. Hattın güzergâhı Şekil 4.12'de verilmiştir.

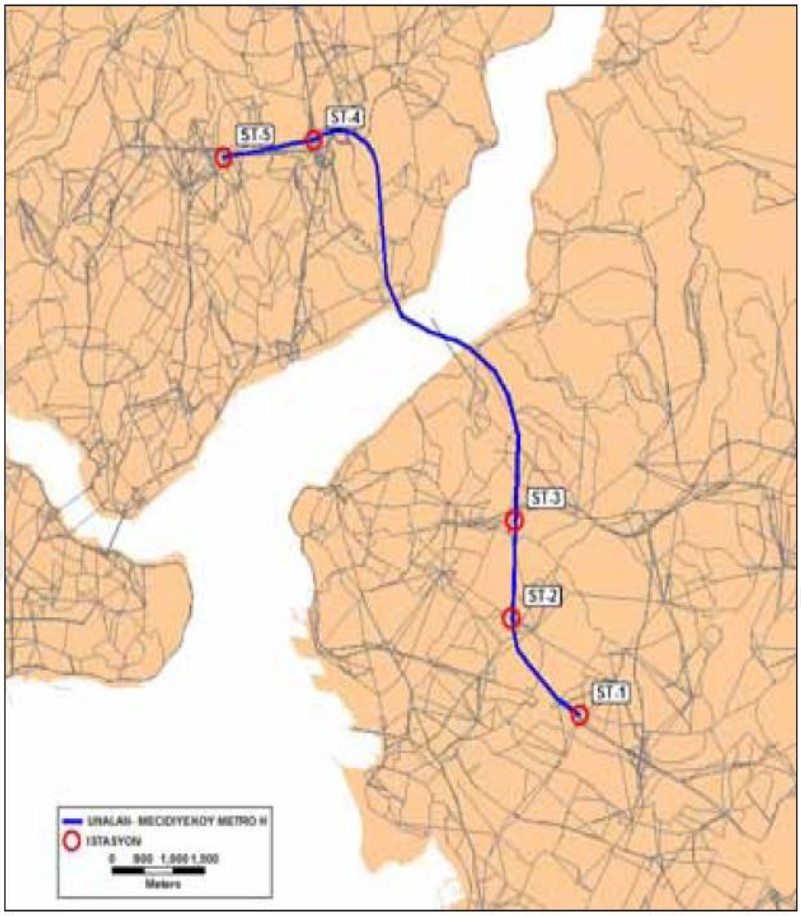


Şekil 4.12 Bostancı-Kazlıçeşme Metro Hattı, İUAP (2011)

4.5.5 Ünalan-Mecidiyeköy Metro Hattı (PBH-5)

Kadıköy-Tavşantepe M4 metro hattının uzantısı olarak da düşünülebilecek olan bu hat Üsküdar'ın Ünalan bölgesinden başlayarak sırasıyla; Üsküdar, Beşiktaş ve Şişli ilçelerinden geçmektedir. Boğaz kesimini kısaca geçmeyi sağlayacak olan bu hat 11,8 km uzunluğundadır ve 5 adet istasyona sahiptir. Avrupa Yakası'nda iki

istasyon ile Yenikapı-Hacıosman M2 Metro Hattı, Gayrettepe-İstanbul Havalimanı M11 Metro Hattı ve Zincirlikuyu Metrobüs durağı ile bağlantılı olacaktır. Anadolu Yakası'nda ise Kadıköy-Tavşantepe M4 Metro Hattı, Üsküdar-Çekmeköy M5 Metro Hattı ve Altunizade Metrobüs durağı ile bağlantılı olacak şekilde planlanmıştır. Hattın güzergâhı Şekil 4.13'de verilmiştir.

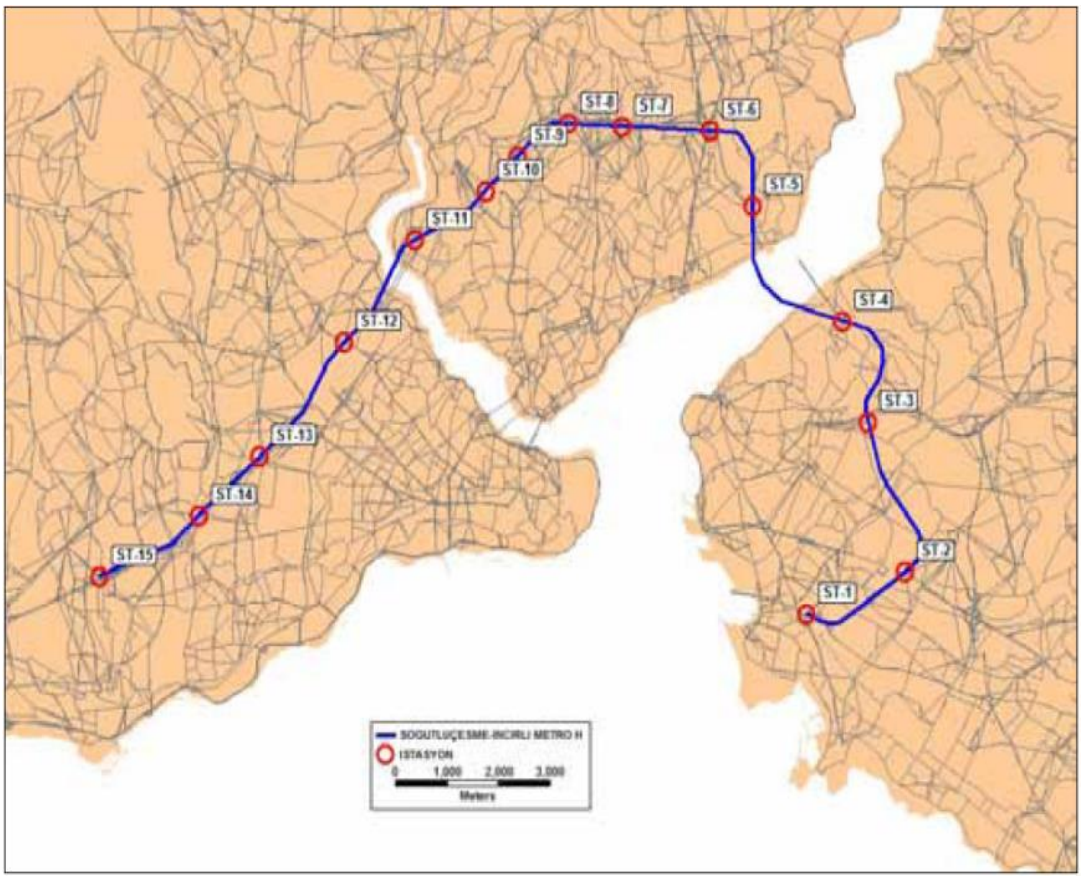


Şekil 4.13 Ünalan-Mecidiyeköy Metro Hattı, İUAP (2011)

4.5.6 Söğütlüçeşme-İncirli Metro Hattı (PBH-6)

Hattın güzegâhı sırasıyla; Kadıköy, Üsküdar, Beşiktaş, Kağıthane, Beyoğlu, Eyüpsultan, Zeytinburnu, Güngören, Bakırköy, Bahçelievler ilçelerinden geçerek İncirli bölgesinde son bulmaktadır. Toplam uzunluğu 27,3 km olan ve 15 istasyona sahip olan hat, mevcut metrobüs koridoru ile aynı güzergâha sahiptir. Hattın

boğazı geçmeden önceki son duraklarının Avrupa Yakası'nda Ortaköy bölgesinde (ST-5), Anadolu Yakası'nda ise Beylerbeyi Bölgesi'nde (ST-4) olması planlanmıştır. Hattın güzergâhı Şekil 4.14'de verilmiştir.



Şekil 4.14 Söğütlüçeşme-İncirli Metro Hattı, İUAP (2011)

4.6 Alternatif Projelerin Ölçütler Bakımından Özellikleri

AHP metodolojisine uygun olarak değerlendirilen alternatif raylı sistem projelerinin her alt ölçüt için sayısal verileri dikkate alınmıştır. Bu aşamada asıl amaç her alt ölçüt için projelerin birbirlerine olan üstün ve zayıf yönlerini tanımlayarak, uzmanlar tarafından belirlenen ağırlık puanlarına göre Super Decisions yazılımı yardımıyla seçim yapmaktır. Sayısal veriler Super Decisions yazılımına doğrudan girilerek analiz yapılmıştır.

4.6.1 Ekonomiklik Alt Ölçütleri

Ekonomiklik ölçütünün alt ölçütleri için her bir projenin inşaat maliyeti, araç maliyeti, işletme ve bakım maliyeti ve inşaat süresi İUAP (2011)'da verilen bilgilerden elde edilmiş ve Tablo 4.11'de verilmiştir.

Tablo 4.11 Projelerin Ekonomiklik alt ölçütlerinin özellikleri, İUAP (2011)

Proje	İnşaat Maliyeti ($)	Araç Maliyeti ($)	İşletme ve Bakım Maliyeti ($)	İç Verimlilik Oranı (%)
PBH-1	2.592.000.000	329.500.000	26.420.000	13,2
PBH-2	1.427.200.000	129.800.000	14.550.000	8,28
PBH-3	768.000.000	158.400.000	7.830.000	23,11
PBH-4	2.688.000.000	296.100.000	27.340.000	18,08
PBH-5	755.200.000	158.900.000	93.480.000	28,44
PBH-6	1.747.200.000	255.500.000	18.000.000	14,3

4.6.2 Sistem Planlaması Alt Ölçütleri

Değerlendirilen projelerin, 'Sistem Planlaması' ölçütünün alt ölçütleri ile ilgili bilgiler hesaplanarak, Tablo 4.12'de verilmiştir.

Tablo 4.12 Projelerin Sistem Planlaması alt ölçütlerinin özellikleri, İUAP (2011)

Proje	Yolculuk Talebi (yolcu/km)	Entegrasyon (Aktarma noktası sayısı)	Nüfus Yoğunluğu (kişi/km^2)	Hizmet Kapsamı (%)
PBH-1	39.547	12	183.943	15,43
PBH-2	32.640	13	163.078	8,00

Tablo 4.12 Projelerin Sistem Planlaması alt ölçütlerinin özellikleri, İUAP (2011) (devamı)

PBH-3	45.405	7	67.702	2,29
PBH-4	45.955	10	210.564	16,57
PBH-5	84.660	11	67.702	2,86
PBH-6	42.957	18	230.009	8,57

4.6.3 Yolcu Hizmetleri Alt Ölçütleri

Değerlendirilen projelerin, 'Yolcu Hizmetleri' ölçütünün alt ölçütleri ile ilgili bilgiler hesaplanarak, Tablo 4.13'de verilmiştir.

Tablo 4.13 Projelerin Yolcu Hizmetleri alt ölçütlerinin özellikleri

Proje	Yolculuk Süresi (dk)	Önemli Bölgelere Erişim (Yolculuk)	Güvenlik (5'li Likert)	Erişilebilirlik (İstasyon Sayısı)
PBH-1	82,93	16.802.708	3,10	27
PBH-2	45,23	15.420.252	3,20	14
PBH-3	22,57	8.643.350	3,67	4
PBH-4	91,64	20.565.661	3,27	29
PBH-5	22,73	8.643.350	3,63	5
PBH-6	53,79	19.004.682	2,95	15

4.6.4 Çevresel Etki Alt Ölçütleri

Değerlendirilen projelerin, 'Çevresel Etki' ölçütünün alt ölçütleri ile ilgili bilgiler hesaplanarak, Tablo 4.14'de verilmiştir.

Tablo 4.14 Projelerin Çevresel Etki alt ölçütlerinin özellikleri

Proje	Arazi Kullanımı (Nüfus Yoğ. / İstasyon Sayısı)	Sit Alanları (ha/km)	Su Kaynaklarına Uzaklık (km)
PBH-1	6.706	370	4,10
PBH-2	11.538	174	6,79
PBH-3	12.656	295	7,98
PBH-4	7.492	334	3,72
PBH-5	9.004	300	7,85
PBH-6	14.419	160	6,56

4.7 Uygulama Sonucu

Daha önce de bahsedildiği gibi uzman görüşlerine dayanarak elde edilen anket sonuçları geometrik ortalamalar alındıktan sonra Super Decisions yazılımına aktarılmıştır. Ölçüt, alt ölçüt ve alternatifler için elde edilen ağırlık puanları ve sıralamalar bu bölümde tablo halinde gösterilmiştir.

Ana ölçütlerin sıralaması Tablo 4.15'de verilmiştir.

Tablo 4.15 Ana ölçütlerin sıralaması

Ana Ölçüt	Ağırlık Puanı	Sıra
Çevresel Etki	0,35161	1
Sistem Planlaması	0,31474	2
Yolcu Hizmetleri	0,18107	3
Ekonomiklik	0,15259	4

Ekonomiklik alt ölçütlerinin sıralanması Tablo 4.16'da verilmiştir

Tablo 4.16 Ekonomiklik alt ölçütlerinin sıralanması

Ekonomiklik	Ağırlık Puanı	Sıra
İç Verimlilik Oranı	0,36841	1
İnşaat Maliyeti	0,26656	2
Araç Maliyeti	0,19213	3
İşletme ve Bakım Maliyeti	0,1729	4

Sistem Planlaması alt ölçütlerinin sıralaması Tablo 4.17'de verilmiştir.

Tablo 4.17 Sistem Planlaması alt ölçütlerinin sıralaması

Sistem Planlaması	Ağırlık Puanı	Sıra
Yolculuk Talebi	0,34795	1
Entegrasyon	0,32275	2
Nüfus Yoğunluğu	0,16133	3
Hizmet Kapsamı	0,16796	4

Yolcu Hizmetleri alt ölçütlerinin sıralaması Tablo 4.18'de verilmiştir.

Tablo 4.18 Yolcu Hizmetleri alt ölçütlerinin sıralaması

Yolcu Hizmetleri	Ağırlık Puanı	Sıra
Yolculuk Süresi	0,30565	1

Tablo 4.18 Yolcu Hizmetleri alt ölçütlerinin sıralaması (devamı)

Erişilebilirlik	0,29263	2
Önemli Bölgelere Erişim	0,20317	3
Güvenlik	0,19854	4

Çevresel Etki alt ölçütlerinin sıralaması Tablo 4.19'da verilmiştir.

Tablo 4.19 Çevresel Etki alt ölçütlerinin sıralaması

Çevresel Etki	Ağırlık Puanı	Sıra
Su Kaynaklarına Uzaklık	0,52798	1
Sit Alanları	0,30417	2
Arazi Kullanımı	0,16786	3

Alternatif projelerin sıralaması Tablo 4.20'de verilmiştir.

Tablo 4.20 Alternatif projelerin uygulama sonucunda sıralaması

Proje	Proje Bölümü	Ağırlık Puanı	Sıra
PBH-6	Söğütlüçeşme-İncirli	0,18620	1
PBH-5	Ünalan-Mecidiyeköy	0,17929	2
PBH-2	Söğütlüçeşme-Kazlıçeşme	0,16938	3
PBH-3	Söğütlüçeşme-Gayrettepe	0,16839	4
PBH-4	Bostancı-Kazlıçeşme	0,15214	5
PBH-1	Kadıköy-Kazlıçeşme	0,14461	6

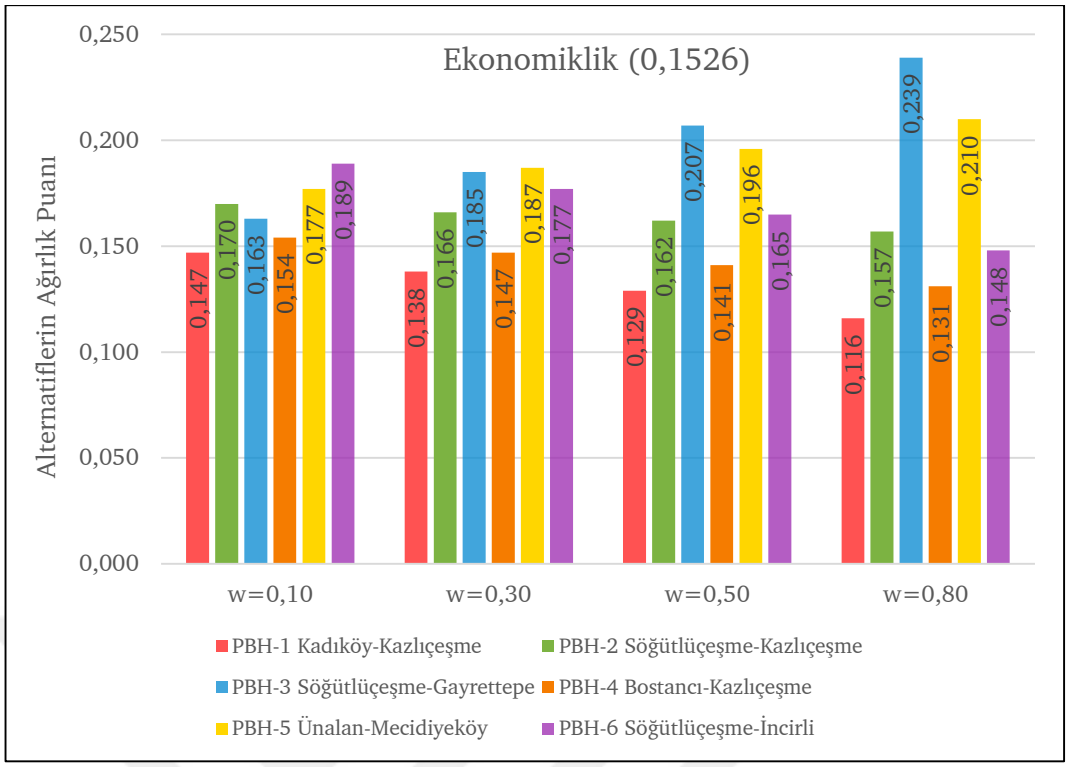
Elde edilen sonuçlara göre; Söğütlüçeşme-İncirli PBH-6 projesi ilk, Ünalan-Mecidiyeköy PBH-5 ise ikinci sırada yer almıştır.

4.8 Duyarlılık Analizleri

Problemin çözümü için oluşturulan matematiksel modellemede, modelde bulunan girdilerde meydana gelen değişiklikler ile birlikte model çıktılarının nasıl değiştiği sorusu duyarlılık analizi sayesinde yanıt bulmaktadır (Brunelli, 2015). Modelde kullanılan parametreler sabit olduğu sürece bulunan çözüm optimumdur. Fakat karar verici, kurulan matematiksel modelin değişen şartlar karşısında optimum çözümünün nasıl ve ne ölçüde etkileneceğini bilmek ister. Model parametreleri üzerinde yapılan duyarlılık analizleriyle, girdilerde meydana gelen değişimlerin optimum çözüm üzerindeki etkisi gözlenerek problemin çözümü hakkında kapsamlı bilgi elde etmek mümkündür. Bu sayede duyarlılık analizi ile hem kişisel yargıların sonuç üzerindeki etkisi azaltılır hem de zaman içinde olabilecek değişimlerin gözlenmesini sağlanır.

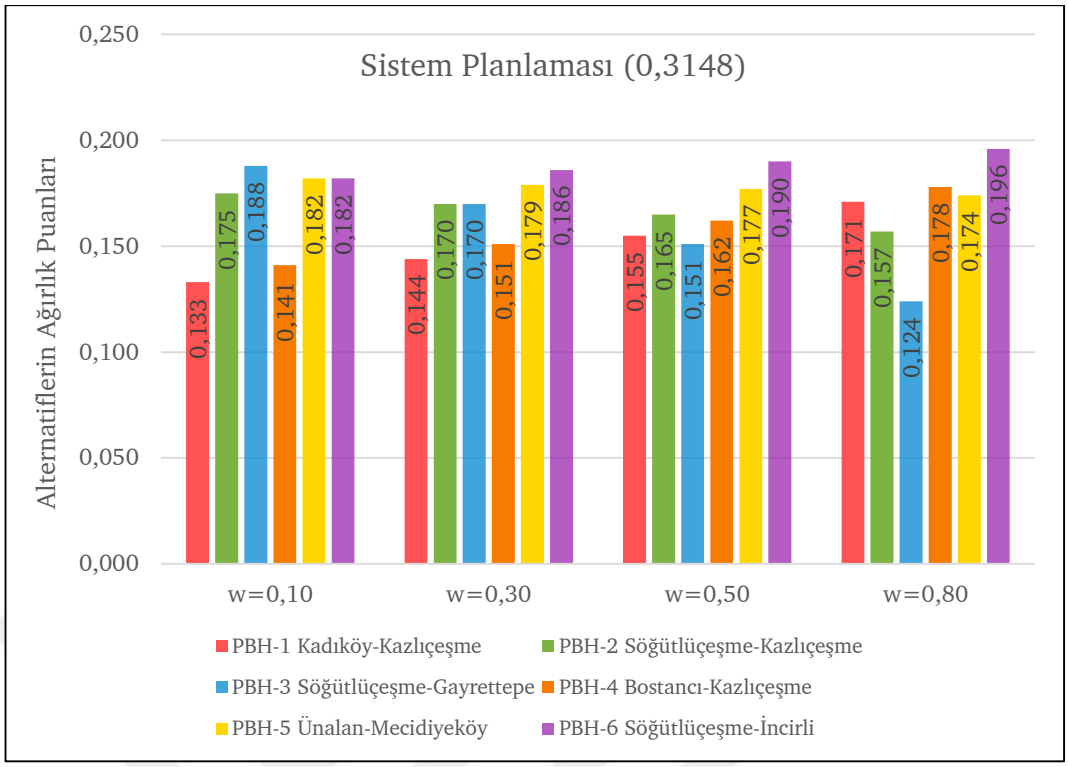
Duyarlılık analizi, problemin çözümü için en uygun alternatif seçildikten sonra yapılmalıdır. Super Decisions yazılımı 'Sensitivity' sekmesi altında, ana ölçütlerin ağırlık puanlarındaki değişimlerin sonuca nasıl etki ettiğini göstererek kurulan hiyerarşik yapı için çeşitli duyarlılık analizlerinin yapılmasını sağlar. Ayrıca Dinamik duyarlılık analizi yardımıyla hem ölçütlerin elde edilen sonucu nasıl değiştirdiği hem de bu ölçütlerin ağırlıklarındaki değişimin sonucu nasıl değiştirdiği elde edilebilmektedir.

Bu çalışmada modelde belirlenen 4 ana ölçüt için; ölçütlerin ağırlıkları 0,00 ile 1,00 arasında değişecek şekilde, 7 basamaklı inceleme gerçekleştirilerek duyarlılık analizleri yapılmıştır. Bütün ana ölçütler için ağırlık puanının; w=0,10 , w=0,30 , w=0,50 ve w=0,80 olduğu durumlar grafik halinde gösterilmiştir.



Şekil 4.15 Ekonomiklik ana ölçütünün duyarlılık analizi

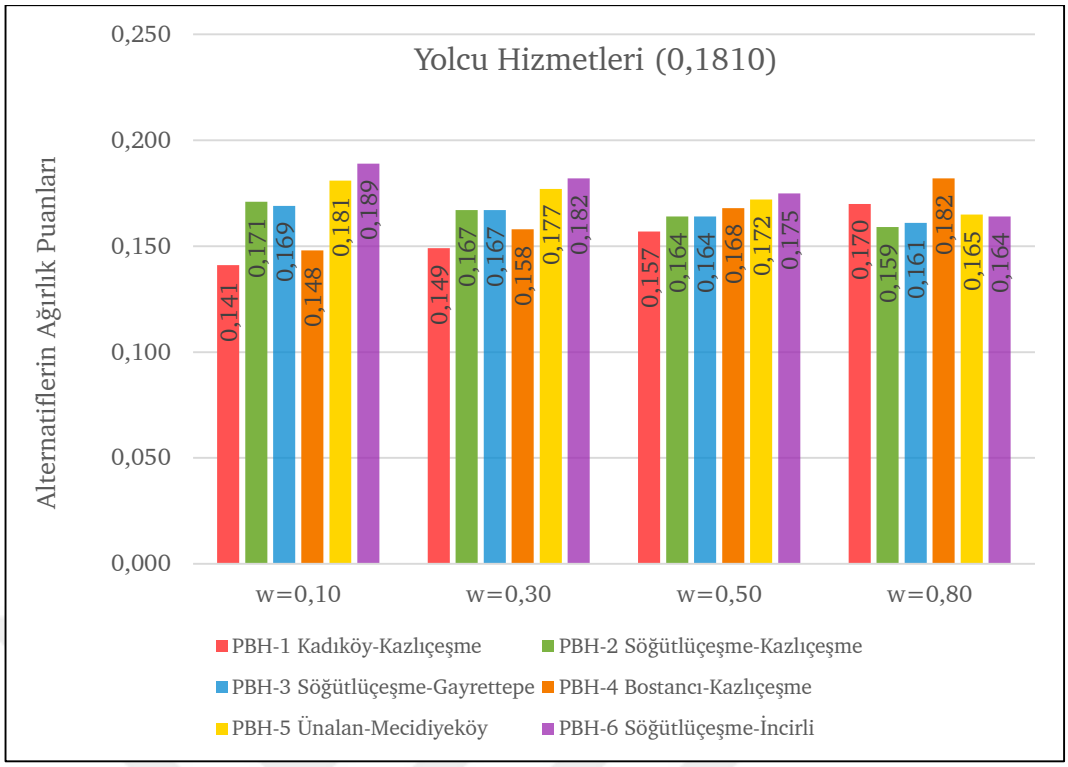
Ana ölçütler içerisinde w=0,1529 ağırlık puanı alan 'Ekonomiklik' için yapılan analiz sonucunda, ağırlık puanında meydana gelen değişimler ile alternatif projelerin sıralamaları gözlenmiştir. Şekil 4.14 'de görüldüğü gibi, bu ana ölçütün ağırlık puanı 1 değerine yaklaştıkça Söğütlüçeşme-Gayrettepe PBH-3 ve Ünalan-Mecidiyeköy PBH-5 projeleri sıralamada ilk iki sıraya yükselmişlerdir. Diğer projeler ile karşılaştırıldıklarında bu iki projenin ortak özelliği, hatların kısa olması sebebiyle inşaat maliyetlerinin düşük olmasıdır. Bu nedenle 'Ekonomiklik' ana ölçütünün ağırlık puanındaki artışın bu iki hattı ön plana çıkartması olağandır. Dolayısıyla çalışmanın sonucu 'Ekonomiklik' ana ölçütüne duyarlı bulunmuştur.



Şekil 4.16 Sistem Planlaması ana ölçütünün duyarlılık analizi

Ana ölçütler içerisinde w=0,3147 ağırlık puanı alarak en önemli ikinci ana ölçüt olan 'Sistem Planlaması' için yapılan analiz sonucunda, ağırlık puanında meydana gelen değişimler ile alternatif projelerin sıralamaları gözlenmiştir. Şekil 4.15 'de görüldüğü gibi optimum çözüm olarak elde edilen Söğütlüçeşme-İncirli PBH-6 projesinin sıralamadaki yeri sadece $w \leq 0,15$ olduğu durumlarda değişmiştir. Geri kalan bütün durumlarda Söğütlüçeşme-İncirli PBH-6 projesi ilk sırada yer almıştır. Ağırlık puanı 1'e yaklaştıkça Bostancı-Kazlıçeşme PBH-4 ve Kadıköy-Kazlıçeşme PBH-1 projeleri sıralamada iki ve üçüncü sırayı yer almıştır.

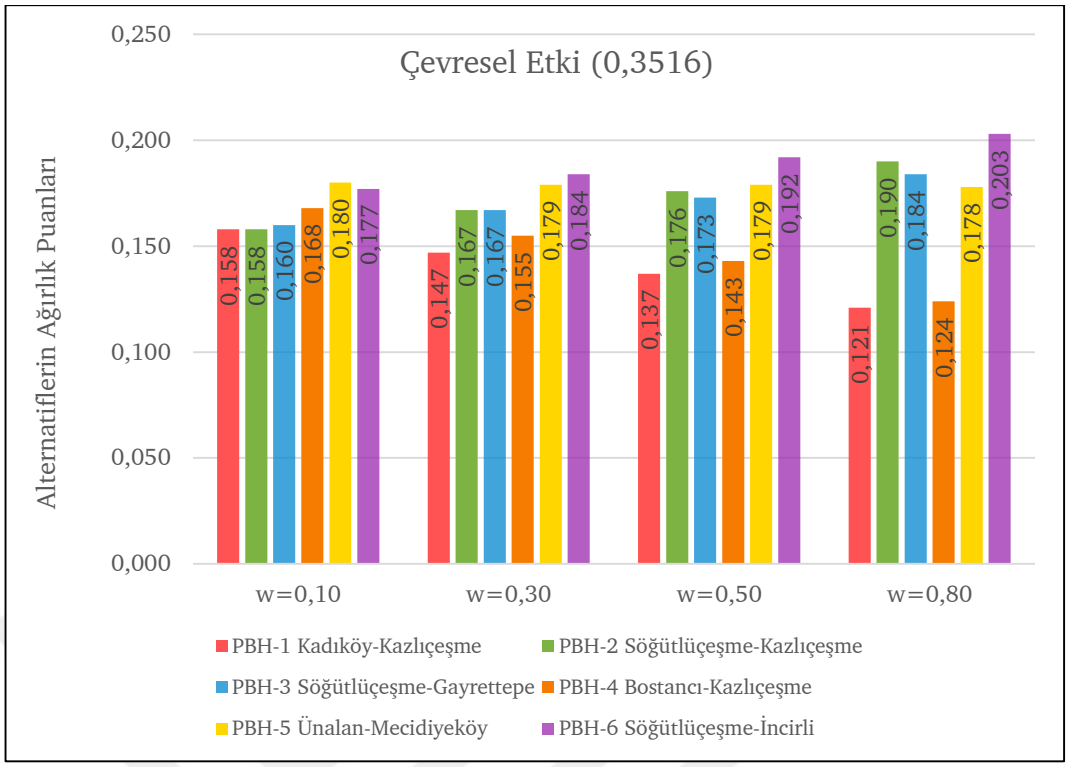
Bostancı-Kazlıçeşme PBH-4 ve Kadıköy-Kazlıçeşme PBH-1 projelerinin ortak özellikleri; hatların uzun olmasından dolayı istasyon sayısı yani erişilebilirliğin yüksek olması, daha fazla yolculuğa imkan vermeleri ve kentin farklı arazi kullanım yapılarına sahip olan bölgeleri arasında ulaşımı sağlamalarıdır. Dolayısıyla 'Sistem Planlaması' ana ölçütü için çalışma sonucunun duyarlılığı düşüktür. Optimum çözüm olan Söğütlüçeşme-İncirli PBH-6 Projesi'nin bu ana ölçüt bakımından en uygun alternatif olduğunu söylemek mümkündür.



Şekil 4.17 Yolcu Hizmetleri ana ölçütünün duyarlılık analizi

Ana ölçütler içerisinde w=0,1810 ağırlık puanı alan 'Yolcu Hizmetleri' için yapılan analiz sonucunda, ağırlık puanında meydana gelen değişimler ile alternatif projelerin sıralamaları gözlenmiştir. Ağırlık puanının 0,56 olduğu duruma kadar Söğütlüçeşme-İncirli PBH-6 ve Ünalan-Mecidiyeköy PBH-5 alternatiflerinin sırasının değişmediği gözlenmiştir. Şekil 4.16'da görüldüğü gibi bu ana ölçütün ağırlık puanı 1'e yaklaştıkça Bostancı-Kazlıçeşme PBH-4 ve Kadıköy-Kazlıçeşme PBH-1 projeleri ilk iki sırayı almıştır. Çalışma sonucunun Yolcu Hizmetleri ana ölçütü bakımından duyarlı olduğunu söylemek mümkündür.

Ana ölçütler arasında 0,3516 ağırlık puanı ile en önemli ölçüt olan Çevresel Etki ana ölçütü için yapılan duyarlılık analizinde; ağırlık puanının 0,56 olduğu duruma kadar ilk iki sırada değişiklik olmadığı gözlenmiştir. Ağırlık puanı 0,56 ile 1 arasında ise PBH-6 projesi yine hep ilk sırada yer almış, Söğütlüçeşme-Kazlıçeşme PBH-2 ve Söğütlüçeşme-Gayrettepe PBH-3 projeleri birirlerine yakın ağırlık puanlarıyla ikinci ve üçüncü sırada yer almışlardır. Dolayısıyla çalışmanın sonucunun Çevresel Etki ana ölçütü bakımından duyarlılığı düşüktür.



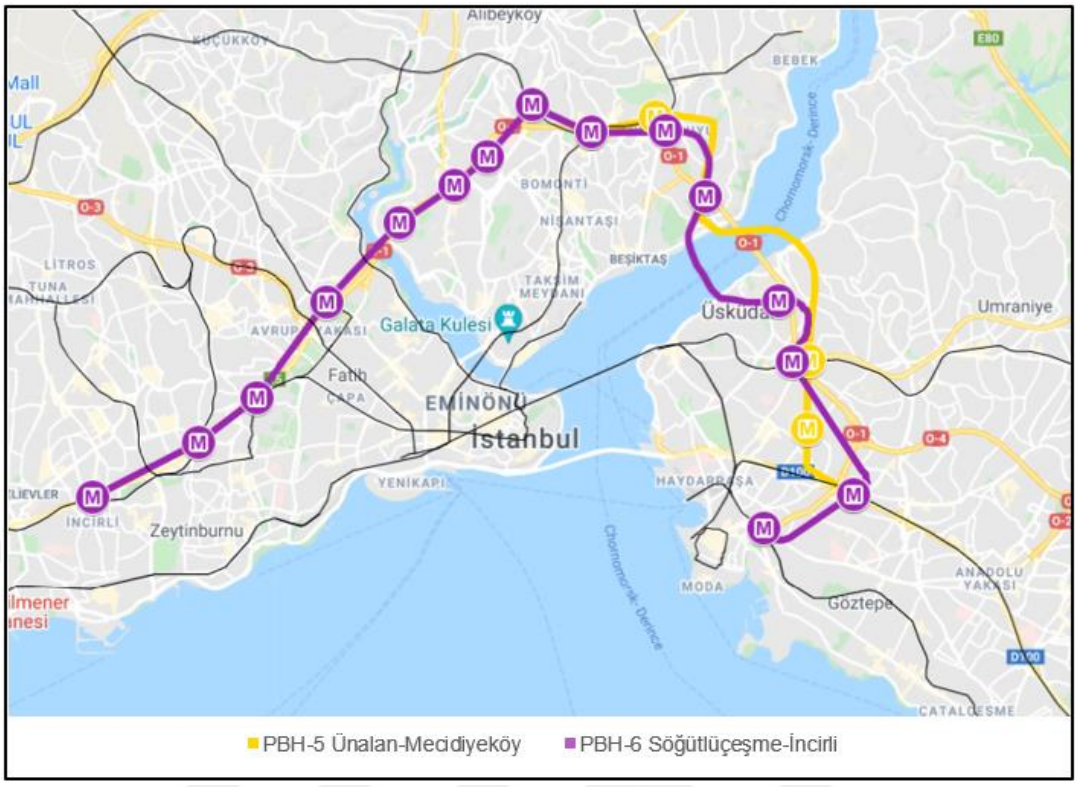
Şekil 4.18 Çevresel Etki ana ölçütünün duyarlılık analizi

5
SONUÇ VE ÖNERİLER

5.1 Sonuç

İstanbul Boğazını geçen alternatif raylı sistem projeleri AHP ile önceliklendirilmiş ve çalışma amacına ulaşmıştır. Değerlendirilen ana ölçütler arasında Çevresel Etki ana ölçütünün en yüksek puanı alması, İstanbul'da sıklıkla gündeme gelen çevresel kaygıların AHP önceliklendirmesine de yansıdığını göstermektedir. İstanbul'un kuzeyinde bulunan orman ve su kaynakları sebebiyle alternatif projeler arasında kentin daha güneyinden geçen projeler ağırlık kazanmıştır. Bu projeler su kaynakları veya ormanlara doğrudan bir etkide bulunmasa bile raylı sistem projelerinin gelecekte arazi kullanım özelliklerini değiştireceği ve istasyon çevrelerinin cazibe kazanarak kentleşmeyi hızlandıracağı göz önünde bulundurulmalıdır. Raylı sistemler; yoğun yolculuk talebi olan ulaşım koridorlarında, nüfusun yüksek olduğu bölgelerde ve yüksek kapasiteli hizmet sunmak için oldukça elverişlidirler. Bu bakımdan Sistem Planlaması ana ölçütünün ikinci en önemli ana ölçüt olması, raylı sistem türünün karakteristik özellikleri ile bağdaşlaştırıldığında çalışmanın sonucu ile uyum göstermektedir. Uzman yargılarına göre Yolcu Hizmetleri ana ölçütü üçüncü sırada yer almıştır. Uzman yargılarına göre Ekonomiklik ana ölçütü ise boğazdan geçen bir raylı sistem projesi için dördüncü yani son sırada yer almıştır. Alt ölçütler arasında ise; Su Kaynaklarına Uzaklık, Yolculuk Talebi, Sit Alanları ve Entegrasyon alt ölçütleri hiyerarşinin sırayla en önemli alt ölçütleri olarak bulunmuştur.

AHP ile yapılan analiz sonucunda ilk sırada bulunan Söğütlüçeşme-İncirli PBH-6 projesi'nin, D100 karayolu ve dolayısıyla Metrobüs sisteminin de içinde olduğu arzu hattında olması bu hat üzerinde yüksek kapasiteli bir raylı sistem gerekliliğini göstermektedir. Ayrıca ikinci sırada bulunan Ünalan-Mecidiyeköy PBH-5 hattı daha önce İUAP'da yatırım planına dahil edilmiş olan hatlardan biridir. Şekil 5.1'de bu iki hattın İUAP'da gösterildiği şekli ile yaklaşık güzergâhları verilmiştir.



Şekil 5.1 PBH-6 ve PBH-5 projelerinin güzergâhları

Yapılan duyarlılık analizleri sonucunda, çalışmanın en duyarlı olduğu ana ölçüt Ekonomiklik olarak bulunmuştur. Ekonomiklik ana ölçütünün ağırlık puanı 1'e yaklaştıkça kısa hatlar Söğütlüçeşme-Gayrettepe PBH-3 ve Ünalan-Mecidiyeköy PBH-5 hatları sıralamada ön plana çıkmışlardır. Yolcu Hizmetleri ana ölçütünün ağırlık puanı 0,56'dan 1 değerine yaklaştıkça Kadıköy-Kazlıçeşme PBH-1 ve Bostancı-Kazlıçeşme PBH-4 hatları sıralamada ilk iki sırayı almışlardır. Bu iki hat değerlendirilen projeler arasında en uzun güzergâhlara sahip olan hatlardır. Sistem Planlaması ve Çevresel Etki ana ölçütlerinin duyarlılık analizlerinde ise Söğütlüçeşme-İncirli PBH-6 projesinin ilk sıradaki yeri genellikle değişmemiştir.

5.2 Öneriler

- Analitik Hiyerarşi Süreci'nin ikili karşılaştırma anketi yapılırken, uzman veya uzman grupları ile birlikte yüzyüze mülakatlar yapılabilir.

- Analitik Hiyerarşi Süreci kentteki karar vericiler, ulaştırma uzmanları ve potansiyel kullanıcılar için uygulanarak grup kararları tek bir çatı altında toplanarak analiz yapılabilir.
- Ulaştırma ve raylı sistemler konularında farklı meslek dallarına mensup uzmanların yargıları, meslek gruplarına göre birleştirilerek tek bir çatı altında toplanabilir.
- Diğer Çok Ölçütlü Karar Verme Yöntemleri ile analizler yapılarak kullanılan yöntemlerin çıktıları mukayese edilebilir.
- Çevresel Etki ana ölçütünün öneminden dolayı, önerilen projeler için kapsamlı bir Çevresel Etki Değerlendirme Raporu oluşturulabilir.
- Çalışma sonucunda ilk sırada yer alan PBH-1 Söğütlüçeşme-İncirli projesinin Metrobüs ile birlikte ve ayrı ayrı işletildikleri senaryolar
- AHP ile ele alınarak seçim yapılabilir. Ayrıca son zamanlarda gündemde olan Hızray projesi alternatifler kümesine dahil edilerek bir çözüm yapılabilir. Bu durumda problemin karakterine uygun yeni bir hiyerarşi oluşturulmalıdır.

KAYNAKÇA

Albornoz, V. A., Galera, A. L., ve Millán, J. M. (2018). Is It Correct to Use the Internal Rate of Return to Evaluate the Sustainability of Investment Decisions in Public Private Partnership Projects? *Sustainability, 10*, 1-15.

Banai, R. (2006). Public Transportation Decision-Making: A Case Analysis of the Memphis Light Rail Corridor and Route Selection with Analytic Hierarchy Process. *Journal of Public Transportation, 9*, 1-24.

Bilen, Ö., Aşkın, Ö. E., Büyüklü, A. H., Ökten, A., ve Gür, M. (2013). How The Fear of Crime Spatially Differs Among The Districts of Istanbul? *E-Journal of New World Sciences Academy, 8*, 153-164.

Brunelli, M. (2015). *Introduction to the Analytic Hierarchy Process.* Aalto: Springer.

Derrible, S., ve Kennedy, C. (2010). Evaluating, Comparing, and Improving Metro Networks : Application to Plans Toronto, Canada. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2146*, 43-51.

Dinç, S., Hamurcu, M., ve Eren, T. (2018). Kentsel Ulaşım İçin Alternatif Tramvay Araçlarının Çok Ölçütlü Seçimi. *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 4*, 124-135.

Dinçer, İ., Enlil, Z., ve Evren, Y. (2009). İstanbul'un Koruma Alanlarının Değerlendirilmesi. *YTÜ Mimarlık Fakültesi E-Dergisi, 3*, 310-324.

Eren, T., Hamurcu, M., ve Alağaş, H. M. (2017). Çok Ölçütlü Karar Verme Yöntemleri ile Kırıkkale Yüksek Hızlı Tren İstasyon Yerinin Seçimi. *5th International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science* (pp. 597-606). Bakü: Academic Platform.

Evren, G. (2001). Kentleşme ve İstanbul. *Türkiye Mühendislik Haberleri*(413), 19-24.

Gerçek, H., Karpak, B., ve Kılınçaslan, T. (2004). A multiple criteria approach for the evaluation of the rail transit networks in Istanbul. *Transportation 31*, 203-228.

Güler, Ö., ve Önder, E. (2018). Analitik Hiyerarşi Süreci. In B. F. YILDIRIM, ve E. ÖNDER, *Çok Ölçütlü Karar Verme Yöntemleri* (pp. 21-64). İstanbul: Dora.

Hamurcu, M., ve Eren, T. (2017). Raylı Sistem Projeleri Kararında AHS-HP Ve AAS-HP Kombinasyonu. *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 3*, 1-13.

Hamurcu, M., ve Eren, T. (2018). Prioritization of high-speed rail projects. *International Advanced Researches and Engineering Journal, 2*, 98-103.

İstanbul Büyükşehir Belediyesi. (2011). *İstanbul Metropoliten Alanı Kentsel Ulaşım Ana Planı (İUAP).* İstanbul.

İstanbul Büyükşehir Belediyesi. (2017). *İstanbul Yıllık Ulaşım Raporu .* İstanbul: İstanbul Büyükşehir Belediyesi.

Jayanath, A., ve Gamini, H. (2009). A critical review of multi-criteria decision making methods with special reference to forest management and planning. *Ecol Econ, 68*, 2535-2548.

Kaya, S. (2019). Türkiye'de Demiryolu İstasyonu Seçimi ve Çok Ölçütlü Karar Verme Yöntemi Uygulaması . Akdeniz Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.

Khan, A. U., ve Ali, Y. (2020). Analytical Hierarchy Process (AHP) and Analytic Network Process Methods and their Applications: A Twenty Year Review From 2000-2019. *International Journal of the Analytic Hierarchy Process, 12*, 369-459.

Kuruüzüm, A., ve Atsan, N. (2001). Analitik Hiyerarşi Yöntemi ve İşletmecilik Alanındaki Uygulamaları. *Akdeniz Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 1*, 83-105.

Macharis, C., Springael, J., De Brucker, K., ve Verbeke, A. (2004). Promethee and AHP: The design of operational synergies in multicriteria analysis. Strengthening Promethee with ideas of AHP. *European Journal of Operational Research, 153*, 307-317.

Metro İstanbul A.Ş. (2021, Haziran 6). *https://www.metro.istanbul*. Retrieved from Metro İstanbul: https://www.metro.istanbul/

Millet, I., ve Wedley, W. (2002). Modelling Risk and Uncertainty with the Analytic Hierarchy Process. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis, 11*, 97-107.

Mohajeri, N., ve Amin, G. R. (2010). Railway Station Selectiion Using Analytical Hierarchy Process and Data Envelopment Analysis. *Computers ve Industrial Engineering, 59*, 107-114.

Orhonlu, C. (1984). Osmanlı İmparatorluğunda Şehircilik ve Ulaşım Üzerine Araştırmalar. *Ege Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Yayınları, 2*, 83-104.

Ramanathan, R. (2001). A note on the use of the analytic hierarchy process for environmental impact. *Journal of Environmental Management, 63*, 27-35.

Ramanathan, R. (2006). Data envelopment analysis for weight derivation and aggregation in the analytic hierarchy process. *Computers ve Operations Research, 33*, 1289-1307.

Saaty, T. L. (2004). Decision Making – The Analytic Hierarchy and Network Processes (AHP/ANP). *Journal of Systems Science and Systems Engineering, 13*, 1-35.

Sharifi, M., Boerboom, L., Shamsudin, K., ve Veeramuthu, L. (2006). Spatial Multiple Criteria Decision Analysis in Integreted Planning For Public Transport and Land Use Development Study in Klang Valley, Malaysia. *ISPRS Technical Commission II Symposium*, (pp. 21-60). Veinna.

Süt, N. İ., Hamurcu, M., ve Eren, T. (2018). Analitik Hiyerarşi Süreci Kullanılarak Ankara- Sivas Yüksek Hızlı Tren Hat Güzergahının Değerlendirilmesi. *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi, 3*, 22-30.

Tekeli, İ. (2010). *İstanbul ve Ankara İçin Kent İçi Ulaşım Tarihi Yazıları.* İstanbul: Tarih Vakfı Yurt Yayınları.

Togatlian, M. A., Correria, A., ve Belderrain, M. (2007). A modelling tool to assist on the decision process of determining optimal location of an industrial airport in Brazil. *Journal Of The Brazilian Air Transportation Research Society, 3*, 67-91.

Turan, G. (2018). Çok Ölçütlü Karar Verme. In B. F. YILDIRIM, ve E. ÖNDER, *Çok Ölçütlü Karar Verme Yöntemleri* (pp. 15-19). İstanbul: DORA.

TÜİK. (2020). *31 Aralık 2020 Tarihli Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi (ADNKS) Sonuçları.* Ankara: TÜİK.

Tzeng, G.-H., ve Huang, J.-J. (2011). *Multiple Attribute Decision Making: Methods And Applications.* CRC Press.

Ünal, Ö. F. (2011). Analitik Hiyerarşi Prosesi Ve Personel Seçimi Alanında Uygulamaları. *Akdeniz Üniversitesi Uluslararası Alanya İşletme Fakültesi Dergisi, 3*, 18-38.

Vassilev, V., Genova, K., ve Vassileva, M. (2005). A Brief Survey of Multicriteria Decision Making Methods and Software Systems. *Cybernetics and Information Technologies, 3*, 3-13.

Vuchic, V. R. (2007). *Urban Transit Systems and Technology.* New Jersey: John Wiley ve Sons.

Watanabe, K., Gotoh, K., ve Tachiiri, K. (2006). Route Selection for a New Transportation System in Hillside Urban Areas: A Case Study in Nagasaki, Japan. *Journal of Urban Planning and Development, 132*, 89-96.

Yücel, N., ve Taşabat, S. E. (2019). The Selection of Railway System Projects with Multi Creteria Decision Makinh Methods: A Case Study for İstanbul. *3rd World Conference on Technology, Innovation and Entepreneurship (WOCTINE)* (pp. 382-393). İstanbul: Procedia Computer Science.

Zahir, S. (1999). Clusters in group: Decision making in the vector space formulation of the analytic hierarchy process. *European Journal of Operational Research, 112*, 620-634.

A

UZMANLARA YAPILAN AHP ANKETİ

Yanıtlar düzenlenemez

Kentiçi Raylı Sistem Projeleri Değerlendirilirken Dikkate Alınacak Kriterlerin İkili Karşılaştırması

İstanbul'da Boğaz geçişi için yapımı planlanan raylı sistem projelerinin değerlendirilmesi amacıyla ana kriterler ve alt kriterler belirlenmiştir. Bu kriterler Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) kapsamında uzman kişiler tarafından ikili olarak değerlendirildikten sonra, alternatif raylı sistem projelerinin sıralanması için her bir kriterin ağırlığı hesaplanacaktır. Aşağıda AHP kapsamında kullanılacak ana kriter, alt kriter ve ölçek kullanımı açıklanmıştır.

Yüksek lisans tezimin sayısal bölümüne bilgi sağlamak amacıyla hazırladığımız bu ankete katıldığınız ve uzman görüşlerinizi paylaştığınız için teşekkür ederim.
Oğuzhan Temizer, Ulaştırma YL Programı

* Gerekli

AHP Yöntemi

AHP yönteminde problem hiyerarşik bir yapıda modellenir. Daha sonra, tanımlanan amaç doğrultusunda belirlenen ana kriterler karşılaştırılır, ardından alt kriterlerin ikili karşılaştırmaları yapılır. Ana kriter ve alt kriterlerin ikili karşılaştırmaları konunun uzmanları tarafından onların bilgi, birikim ve deneyimleri ışığında yapılır. İkili karşılaştırmalardan kriterlerin ağırlıkları belirlendikten sonra diğer bazı bilgilerle birlikte raylı sistem seçenekleri için bir öncelik sıralaması belirlenir.

AHP yöntemi için kullanılan Saaty ölçeği

Önem Değeri	Değer Tanımı	Açıklama
1	Eşit Derecede Önemli	Her iki faktör eşit öneme sahiptir.
3	Orta Derecede Önemli	Tecrübe ve yargılara göre bir faktör diğerine göre biraz daha önemlidir.
5	Kuvvetli Derecede Önemli	Bir faktör diğerinden kuvvetle daha önemlidir.
7	Çok Kuvvetli Derecede Önemli	Bir faktör diğerine göre yüksek derecede daha önemlidir.
9	Mutlak Derecede Önemli	Faktörlerden biri diğerine göre çok yüksek derecede önemlidir.
2,4,6,8	Ara Değerleri Temsil Ederler	İki faktör arasında tercih yapılırken yukarıda açıklaması yapılan faktörlerin ara değerleridir.

Çalıştığınız Sektör? *

- ○ Özel
- ◉ Kamu

Mesleğiniz ? *

- ◉ Akademisyen
- ○ Şehir Planlancısı
- ○ Mimar
- ○ Ulaştırma Mühendisi
- ○ Raylı Sistemler Mühendisi
- ○ İnşaat Mühendisi
- ○ Diğer: .....

Ulaştırma Alanında Kaç Yıldır Çalışıyorsunuz ? *

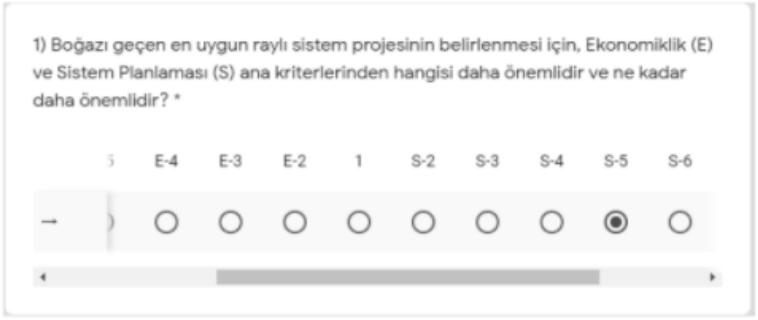
- ○ 1-5 yıl
- ○ 6-10 yıl
- ○ 11-15 yıl
- ○ 16-20 yıl
- ◉ 20 yıl ve üzeri

Problemin Çözümünde Kullanılan Ana Kriterler ve Alt Kriterler

Ana Kriter	Alt Kriter	Tanım
Ekonomiklik (E)	İnşaat Maliyeti (İM)	Projenin inşaat sürecindeki harcamalar.
	Araç Maliyeti (AR)	Hat üzerinde işletilecek raylı sistem araçlarının satın alma maliyeti.
	İşletme ve Bakım Maliyetleri (İB)	Hattın ekonomik ömrü boyunca işletme ve bakım maliyetleri.
	İç Verim Oranı (İVO)	Projenin ekonomik ömrü boyunca yolculuk maliyeti ve seyahat süresinin azaltılması gibi sosyal yararları.
Sistem Planlaması (S)	Yolculuk Talebi (YT)	Seçilecek projenin 2023 yılı için tahmin edilen yolculuk talebi.
	Entegrasyon (EN)	Hattın diğer hatlarla bağlantıları. (aktarma sayıları)
	Nüfus Yoğunluğu (NY)	Hattın, hizmet verdiği bölgelerin nüfus yoğunlukları.
	Hizmet Kapsamı (HK)	Hattın, mevcut ağın hizmet kapsamına etkisi.
Yolcu Hizmetleri (Y)	Seyahat Süresi (SS)	Yolcuların hattı kullanırken harcadıkları zaman. (başlangıç-bitiş istasyonları arası)
	Önemli Bölgelere Erişim (ÖBE)	2023 yılında belirlenen seyahat üretim ve çekim merkezlerine ulaşım imkanı.
	Güvenlik (GN)	Hattı kullanan yolcuların kişisel olarak suça karşı güvenlikleri.
	Erişilebilirlik (ER)	Hattı kullanmak isteyenler için erişim imkânı. (istasyon sayısı)
Çevresel Etki (Ç)	Arazi Kullanımı (AK)	Hattın gelecekteki arazi kullanım özelliklerini değiştirme potansiyeli.
	Sit Alanları (SA)	Hattın geçtiği ilçelerdeki sit alanlarının büyüklüğü. (Tarihi, Arkeolojik, Doğal ve Kentsel)
	Su Kaynaklarına Uzaklık (SKU)	Projeden etkilenme ihtimali olan temiz su kaynaklarının projeye olan mesafesi.

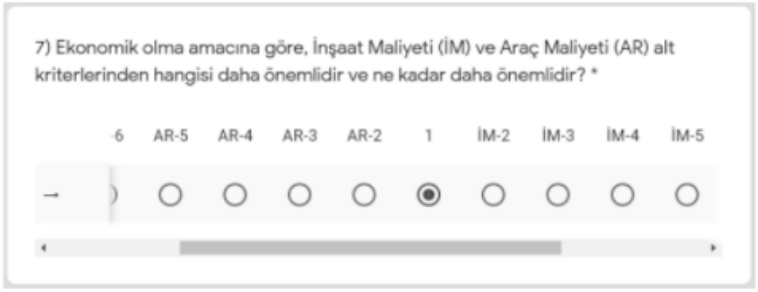
Örnek Anket Doldurma Biçimi.

1.Örnek



AÇIKLAMA: Bu puanlamaya göre, Sistem Planlaması ana kriteri Ekonomiklik ana kriterine göre daha önemli olup kuvvetli derecede önemlidir.

2.Örnek



AÇIKLAMA: Bu puanlamaya göre, İnşaat Maliyeti alt kriteri ve Araç Maliyeti alt kriteri eşit derecede önemlidir.

Ana Kriterlerin Karşılaştırılması

Ana Kriter	Tanım
Ekonomiklik (E)	Ekonomik açıdan en uygun projenin seçilmesini amaçlayan kriter.
Sistem Planlaması (S)	Seçilecek projenin geçeceği bölgeler ve mevcut ağ ile ilişkisi.
Yolcu Hizmetleri (Y)	Kullanıcı bakış açısıyla seçilecek projenin özellikleri.
Çevresel Etki (Ç)	Seçilecek projenin çevresel etkilerinin en az düzeyde olmasını amaçlayan kriter.

1) Boğazı geçen en uygun raylı sistem projesinin belirlenmesi için, Ekonomiklik (E) ve Sistem Planlaması (S) ana kriterlerinden hangisi daha önemlidir ve ne kadar daha önemlidir? *

	E-9	E-8	E-7	E-6	E-5	E-4	E-3	E-2	1	S-2	S-3	S-4
–	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	◉	○

2) Boğazı geçen en uygun raylı sistem projesinin belirlenmesi için, Ekonomiklik (E) ve Yolcu Hizmetleri (Y) ana kriterlerinden hangisi daha önemlidir ve ne kadar daha önemlidir? *

	E-9	E-8	E-7	E-6	E-5	E-4	E-3	E-2	1	Y-2	Y-3	Y-4
–	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	◉	○

3) Boğazı geçen en uygun raylı sistem projesinin belirlenmesi için, Ekonomiklik (E) ve Çevresel Etki (Ç) ana kriterlerinden hangisi daha önemlidir ve ne kadar daha önemlidir? *

	E-9	E-8	E-7	E-6	E-5	E-4	E-3	E-2	1	Ç-2	Ç-3	Ç-4
–	○	○	○	○	○	○	○	○	◉	○	○	○

4) Boğazı geçen en uygun raylı sistem projesinin belirlenmesi için, Sistem Planlaması (S) ve Yolcu Hizmetleri (Y) ana kriterlerinden hangisi daha önemlidir ve ne kadar daha önemlidir? *

	S-9	S-8	S-7	S-6	S-5	S-4	S-3	S-2	1	Y-2	Y-3	Y-4
–	○	○	○	○	○	○	○	○	◉	○	○	○

5) Boğazı geçen en uygun raylı sistem projesinin belirlenmesi için, Sistem Planlaması (S) ve Çevresel Etki (Ç) ana kriterlerinden hangisi daha önemlidir ve ne kadar daha önemlidir? *

	S-9	S-8	S-7	S-6	S-5	S-4	S-3	S-2	1	Ç-2	Ç-3	Ç-4
–	○	○	○	○	○	○	◉	○	○	○	○	○

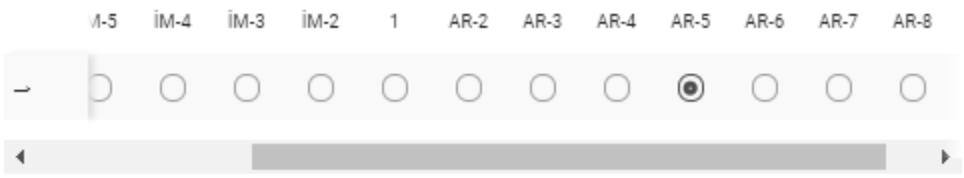
6) Boğazı geçen en uygun raylı sistem projesinin belirlenmesi için, Yolcu Hizmetleri (Y) ve Çevresel Etki (Ç) ana kriterlerinden hangisi daha önemlidir ve ne kadar daha önemlidir? *

	Y-9	Y-8	Y-7	Y-6	Y-5	Y-4	Y-3	Y-2	1	Ç-2	Ç-3	Ç-4
–	○	○	○	○	○	○	◉	○	○	○	○	○

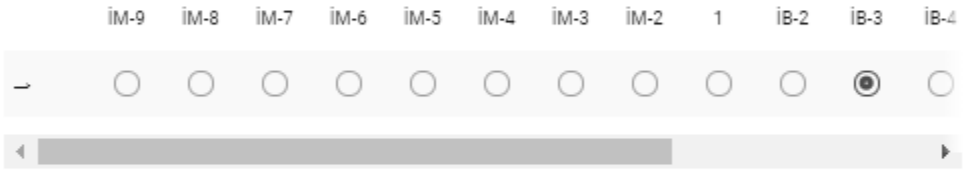
Ekonomiklik Ana Kriterinin, Alt Kriterlerinin Karşılaştırılması

Ana Kriter	Alt Kriter	Tanım
Ekonomiklik (E)	İnşaat Maliyeti (İM)	Projenin inşaat sürecindeki harcamalar.
	Araç Maliyeti (AR)	Hat üzerinde işletilecek raylı sistem araçlarının satın alma maliyeti.
	İşletme ve Bakım Maliyetleri (İB)	Hattın ekonomik ömrü boyunca işletme ve bakım maliyetleri.
	İç Verim Oranı (İVO)	Projenin ekonomik ömrü boyunca yolculuk maliyeti ve seyahat süresinin azaltılması gibi sosyal yararları.

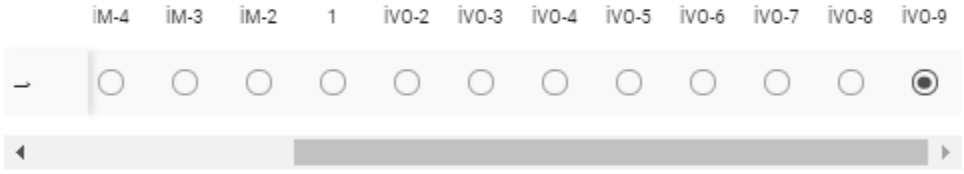
7) Ekonomik olma amacına göre, İnşaat Maliyeti (İM) ve Araç Maliyeti (AR) alt kriterlerinden hangisi daha önemlidir ve ne kadar daha önemlidir? *



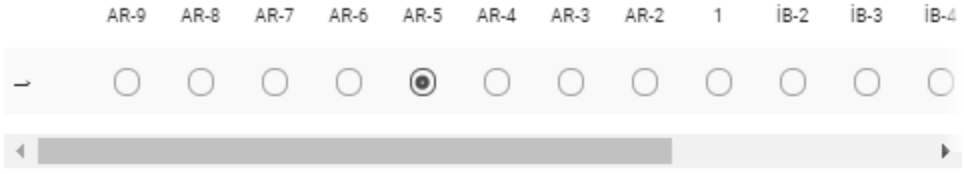
8) Ekonomik olma amacına göre, İnşaat Maliyeti (İM) ve İşletme ve Bakım Maliyeti (İB) alt kriterlerinden hangisi daha önemlidir ve ne kadar daha önemlidir? *



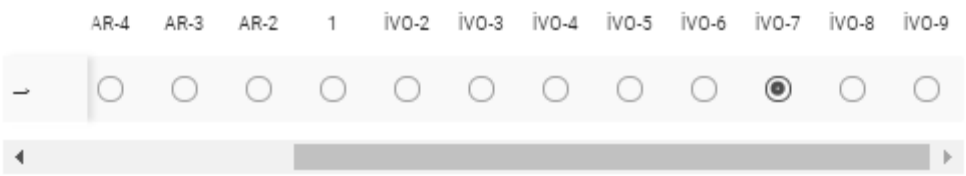
9) Ekonomik olma amacına göre, İnşaat Maliyeti (İM) ve İç Verimlilik Oranı (İVO) alt kriterlerinden hangisi daha önemlidir ve ne kadar daha önemlidir? *



10) Ekonomik olma amacına göre, Araç Maliyeti (AR) ve İşletme ve Bakım Maliyeti (İB) alt kriterlerinden hangisi daha önemlidir ve ne kadar daha önemlidir? *



11) Ekonomik olma amacına göre, Araç Maliyeti (AR) ve İç Verimlilik Oranı (İVO) alt kriterlerinden hangisi daha önemlidir ve ne kadar daha önemlidir? *



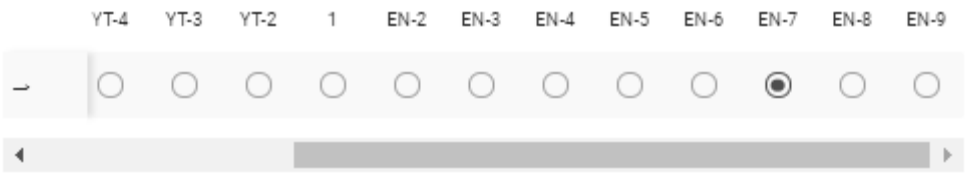
12) Ekonomik olma amacına göre, İşletme ve Bakım Maliyeti (İB) ve İç Verimlilik Oranı (İVO) alt kriterlerinden hangisi daha önemlidir ve ne kadar daha önemlidir? *



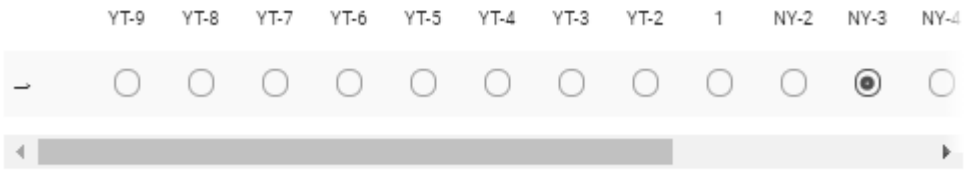
Sistem Planlaması Ana Kriterinin, Alt Kriterlerinin Karşılaştırılması

Ana Kriter	Alt Kriter	Tanım
Sistem Planlaması (S)	Yolculuk Talebi (YT)	Seçilecek projenin 2023 yılı için tahmin edilen yolculuk talebi.
	Entegrasyon (EN)	Hattın diğer hatlarla bağlantıları. (aktarma sayıları)
	Nüfus Yoğunluğu (NY)	Hattın, hizmet verdiği bölgelerin nüfus yoğunlukları.
	Hizmet Kapsamı (HK)	Hattın, mevcut ağın hizmet kapsamına etkisi.

13) Sistem Planlaması bakımından, Yolculuk Talebi (YT) ve Entegrasyon (EN) alt kriterlerinden hangisi daha önemlidir ve ne kadar daha önemlidir? *



14) Sistem Planlaması bakımından, Yolculuk Talebi (YT) ve Nüfus Yoğunluğu (NY) alt kriterlerinden hangisi daha önemlidir ve ne kadar daha önemlidir? *



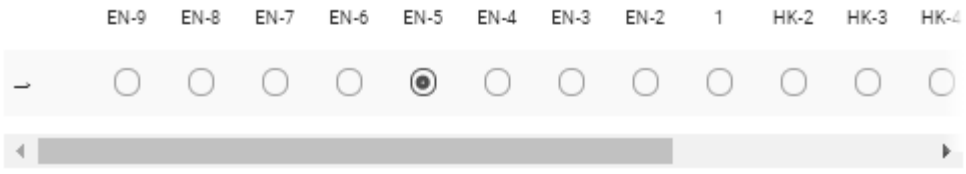
15) Sistem Planlaması bakımından, Yolculuk Talebi (YT) ve Hizmet Kapsamı (HK) alt kriterlerinden hangisi daha önemlidir ve ne kadar daha önemlidir? *



16) Sistem Planlaması bakımından, Entegrasyon (EN) ve Nüfus Yoğunluğu (NY) alt kriterlerinden hangisi daha önemlidir ve ne kadar daha önemlidir? *



17) Sistem Planlaması bakımından, Entegrasyon (EN) ve Hizmet Kapsamı (HK) alt kriterlerinden hangisi daha önemlidir ve ne kadar daha önemlidir? *



18) Sistem Planlaması bakımından, Nüfus Yoğunluğu (NY) ve Hizmet Kapsamı (HK) alt kriterlerinden hangisi daha önemlidir ve ne kadar daha önemlidir? *



Yolcu Hizmetleri Ana Kriterinin, Alt Kriterlerinin Karşılaştırılması

Ana Kriter	Alt Kriter	Tanım
Yolcu Hizmetleri (Y)	Seyahat Süresi (SS)	Yolcuların hattı kullanırken harcadıkları zaman. (başlangıç-bitiş istasyonları arası)
	Önemli Bölgelere Erişim (ÖBE)	2023 yılında belirlenen seyahat üretim ve çekim merkezlerine ulaşım imkanı.
	Güvenlik (GN)	Hattı kullanan yolcuların kişisel olarak suça karşı güvenlikleri.
	Erişilebilirlik (ER)	Hattı kullanmak isteyenler için erişim imkânı. (istasyon sayısı)

19) Yolcu Hizmetleri bakımından, Seyahat Süresi (SS) ve Önemli Bölgelere Erişim (ÖBE) alt kriterlerinden hangisi daha önemlidir ve ne kadar daha önemlidir? *



20) Yolcu Hizmetleri bakımından, Seyahat Süresi (SS) ve Güvenlik (GN) alt kriterlerinden hangisi daha önemlidir ve ne kadar daha önemlidir? *



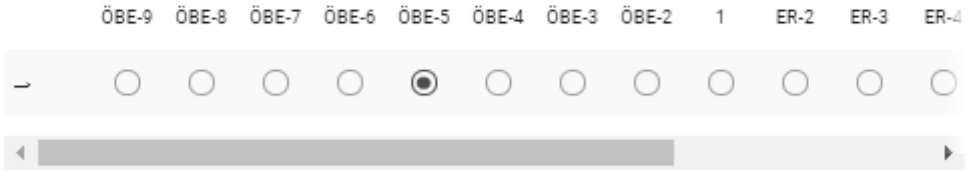
21) Yolcu Hizmetleri bakımından, Seyahat Süresi (SS) ve Erişilebilirlik (ER) alt kriterlerinden hangisi daha önemlidir ve ne kadar daha önemlidir? *



22) Yolcu Hizmetleri bakımından, Önemli Bölgelere Erişim (ÖBE) ve Güvenlik (GN) alt kriterlerinden hangisi daha önemlidir ve ne kadar daha önemlidir? *



23) Yolcu Hizmetleri bakımından, Önemli Bölgelere Erişim (ÖBE) ve Erişilebilirlik (ER) alt kriterlerinden hangisi daha önemlidir ve ne kadar daha önemlidir? *



24) Yolcu Hizmetleri bakımından, Güvenlik (GN) ve Erişilebilirlik (ER) alt kriterlerinden hangisi daha önemlidir ve ne kadar daha önemlidir? *



Çevresel Etki Ana Kriterinin, Alt Kriterlerinin Karşılaştırılması

Ana Kriter	Alt Kriter	Tanım
Çevresel Etki (Ç)	Arazi Kullanımı (AK)	Hattın gelecekteki arazi kullanım özelliklerini değiştirme potansiyeli.
	Sit Alanları (SA)	Hattın geçtiği ilçelerdeki sit alanlarının büyüklüğü (Tarihi, Arkeolojik, Doğal ve Kentsel)
	Su Kaynaklarına Uzaklık (SKU)	Projeden etkilenme ihtimali olan temiz su kaynaklarının projeye olan mesafesi.

25) Çevresel Etki bakımından, Arazi Kullanımı (AK) ve Sit Alanları (SA) Alt Kriterlerinden hangisi daha önemlidir ve ne kadar daha önemlidir? *

	AK-9	AK-8	AK-7	AK-6	AK-5	AK-4	AK-3	AK-2	1	SA-2	SA-3	SA-4
–	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	◉	○

26) Çevresel Etki bakımından, Arazi Kullanımı (AK) ve Su Kaynaklarına Uzaklık (SKU) Alt Kriterlerinden hangisi daha önemlidir ve ne kadar daha önemlidir? *

	AK-9	AK-8	AK-7	AK-6	AK-5	AK-4	AK-3	AK-2	1	SKU-2	SKU-3	SKU-4
–	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	◉	○

27) Çevresel Etki bakımından, Sit Alanları (SA) ve Su Kaynaklarına Uzaklık (SKU) Alt Kriterlerinden hangisi daha önemlidir ve ne kadar daha önemlidir? *

	SA-9	SA-8	SA-7	SA-6	SA-5	SA-4	SA-3	SA-2	1	SKU-2	SKU-3	SKU-4
–	○	○	○	○	○	○	○	○	◉	○	○	○

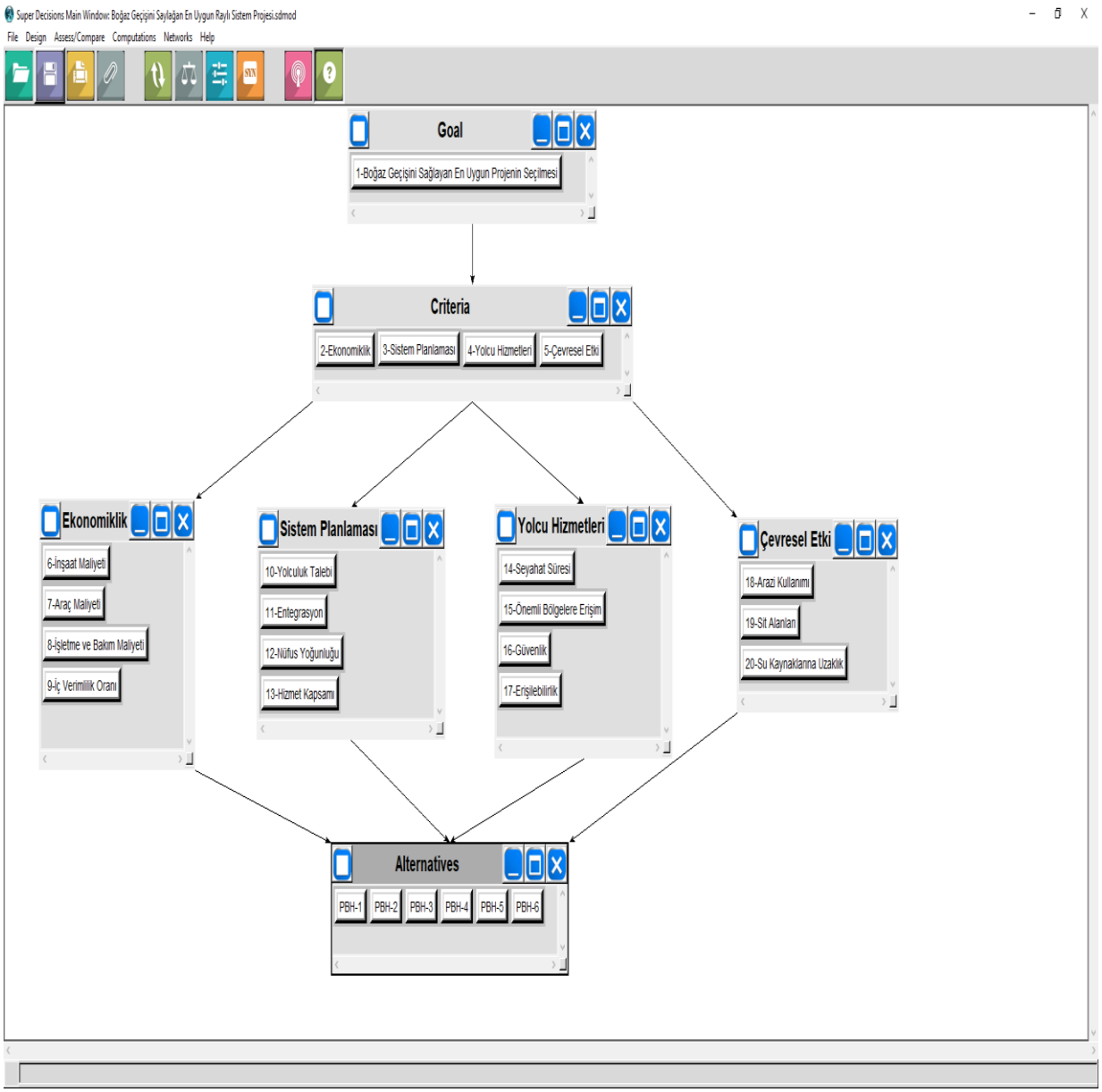
Belirtmek istediğiniz herhangi bir şey var ise bu bölümde belirtebilirsiniz.

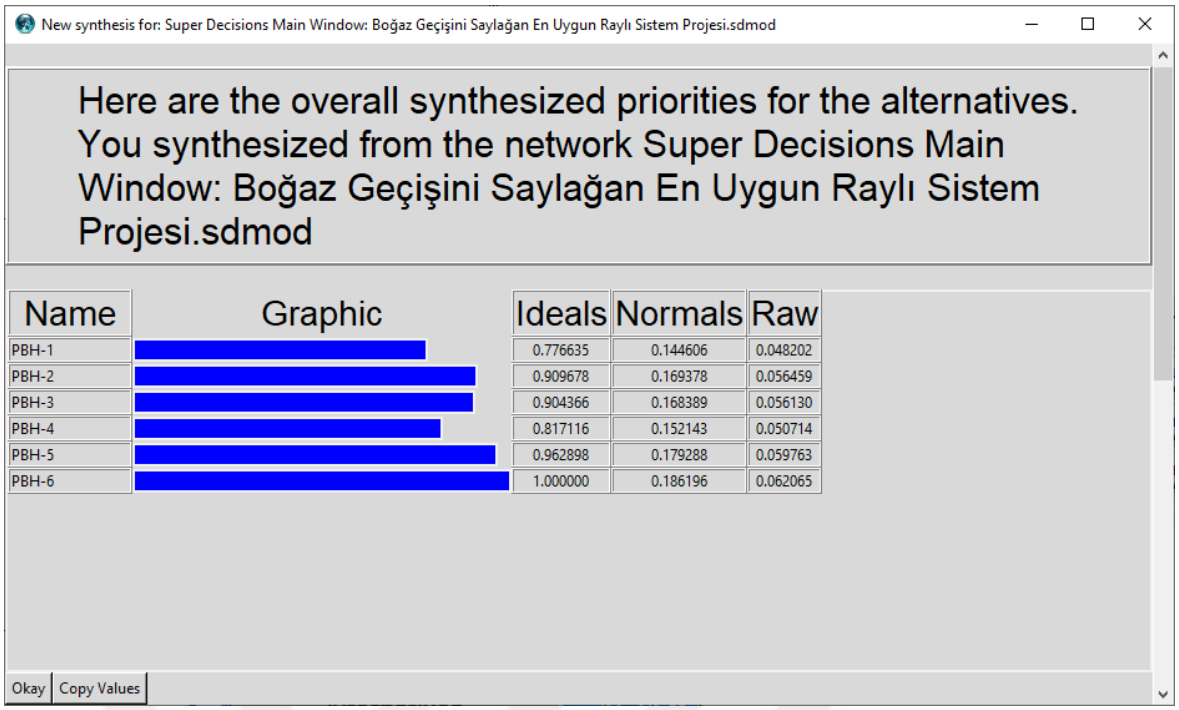
Kolaylıklar dilerim.

Gönderme zamanı: 9.04.2021 10:06

B

EKRAN GÖRÜNTÜLERİ VE AĞIRLIK PUANLARI





			PBH-1	PBH-2	PBH-3	PBH-4	PBH-5	PBH-6
Boğazdan Geçen En Uygun Raylı Sistem Projesinin Seçilmesi	Ekonomiklik	İnşaat Maliyeti	0,08284	0,15045	0,27959	0,07988	0,28433	0,12290
		Araç Maliyeti	0,09906	0,25147	0,20607	0,11024	0,20542	0,12775
		İşletme ve Bakım Maliyeti	0,11227	0,20387	0,37884	0,10850	0,03173	0,16479
		İç Verimlilik Oranı	0,12523	0,07855	0,21924	0,17152	0,26980	0,13566
	Sistem Planlaması	Yolculuk Talebi	0,13582	0,11210	0,15594	0,15783	0,29076	0,14754
		Entegrasyon	0,16901	0,18310	0,09859	0,14085	0,15493	0,25321
		Nüfus Yoğunluğu	0,19929	0,17668	0,07335	0,22813	0,07335	0,24920
		Hizmet Kapsamı	0,28723	0,14892	0,04263	0,30845	0,05324	0,15953
	Yolcu Hizmetleri	Seyahat Süresi	0,07935	0,14582	0,29155	0,07180	0,28942	0,12233
		Önemli Bölgelere Erişim	0,18863	0,17311	0,09703	0,23087	0,09703	0,21333
		Güvenlik	0,15641	0,16154	0,18517	0,16499	0,18315	0,14884
		Erişilebilirlik	0,28723	0,14894	0,04255	0,30851	0,05319	0,15957
	Çevresel Etki	Arazi Kullanımı	0,10849	0,18665	0,20474	0,12120	0,14566	0,23326
		Sit Alanları	0,11069	0,23537	0,13883	0,12262	0,13652	0,25597
		Su Kaynaklarına Uzaklık	0,11081	0,18351	0,21568	0,10054	0,21216	0,17730

TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR

Konferans Bildirileri

1. Temizer, O., & Şahin, İ. (2021). Analitik Hiyerarşi Süreci İle Kentiçi Raylı Sistem Projelerini Önceliklendirme: İstanbul Boğazını Geçen Projeler İçin Bir Çalışma. İstanbul Modern Bilimsel Araştırmalar Kongresi (pp. 816-828). İstanbul: İKSAD GLOBAL PUBLISHING.