

Yrd. Doç.Dr. Banu SOYLU danışmanlığında Kezban BULUT tarafından hazırlanan "Türkiye'de Kullanılan Ulaştırma Modlarının Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri İle Değerlendirilmesi "adlı bu çalışma, jürimiz tarafından Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ: Başkan: Yrd.Doç.Dr. Banu

Üye: Yrd. Doç.Dr. Selda KAPAN

SOYLU


Üye: Yrd. Doç.Dr. Erdal CANIYILMAZ



ONAY:

Bu tezin kabulü Enstitü Yönetim Kurulunun 08/09/2009. tarih 2009/31-02 sayılı kararı ile onaylanmıştır.

Prof.Dr.Necmettin Maraşlı



TEŞEKKÜR

Türkiye’de Kullanılan Ulaştırma Modlarının Çok Kriterli Karar verme Yöntemleri ile Değerlendirilmesi konulu tez çalışmam boyunca bana yardımcı olan herkese teşekkür etmek istiyorum. Öncelikle; tez çalışmam süresince bana yol gösteren, destek ve yardımlarını esirgemeyen değerli hocam Sayın Yrd. Doç.Dr. Banu SOYLU ‘ya teşekkür ederim.

Yüksek lisans eğitimim boyunca bana sağladıkları burs ile hayatımı kolaylaştıran Türkiye Bilimsel Ve Teknolojik Araştırmalar Kurumu’na (TÜBİTAK) tüm katkıları için teşekkür ederim.

Çalışmamın daha verimli geçmesi için her türlü desteği sağlayan Kırıkkale Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü değerli hocalarına teşekkür ederim.

Son olarak her zaman verdiği destekleri tez çalışmam boyunca da benden esirgemedikleri, sabır ve anlayışlarıyla her zaman yanımda oldukları için BULUT ailesinin tüm fertlerine teşekkür ederim.

TÜRKİYE’DE KULLANILAN ULAŞTIRMA MODLARININ ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YÖNTEMLERİ İLE DEĞERLENDİRİLMESİ

Kezban BULUT
Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
Yüksek Lisans Tezi, Haziran 2009
Tez Danışmanı: Yrd. Doç.Dr. Banu SOYLU

ÖZET

Birçok gerçek hayat problemi aslında çok kriterli karar verme problemidir. Bu problemlerde alternatifler, birden fazla kriter ele alınarak değerlendirilirler. Bu çalışmanın temel amacı Türkiye’de sıklıkla kullanılmakta olan ulaştırma modlarının çeşitli kriterler bazında değerlendirilmesidir. Türkiye’de ulaştırma sektöründe kullanılan modları karayolu, demiryolu, havayolu ve denizyolu taşıtları olarak dört temel gruba ayırmak mümkündür. Ancak bu modlardan üç tanesi yurt içinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada demiryolu, karayolu ve havayolu taşımacılığı farklı kriterler ele alınarak değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmeler farklı senaryolara göre yapılmıştır ve sonuçta ulaştırma politikalarının ve yatırımlarının en uygun ulaştırma sistemine değiştirilmesi için önerilerde bulunulmuştur. Problemin yapısı gereği Analitik Hiyerarşi Süreci ve Topsis yöntemleri birlikte kullanılmıştır. Ayrıca her iki yöntemin sonuçları karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Çok kriterli karar verme, Türkiye’de kullanılan ulaştırma modları, analitik hiyerarşi süreci, Topsis.

**EVALUATION OF TRANSPORTATION MODES USED IN TURKEY BY
USING MULTIPLE CRITERIA DECISION MAKING METHODS**

Kezban BULUT

Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences

M.Sc. Thesis, August 2009

Thesis Supervisor: Asst.Prof.Dr. Banu SOYLU

ABSTRACT

A lot of real life problems are actually multiple criteria decision making problem. In these problems, alternatives are evaluated by considering more than one criterion. The aim of this study is to evaluate the transportation modes frequently used in Turkey according to different criteria. It is possible to categorize the transportation modes in Turkey into 4 groups as highway, railway, airway and seaway. However, three of them are common in domestic transportation. In this study, railway, airway and highway transportations are evaluated based on various criteria. Different scenarios are considered and finally some new ideas are proposed to change the current transportation policies and investments into an ideal transportation system. Due to the problem structure, Analytic Hierarchy Process and Topsis methodologies are performed together. Additionally, the results of both methods are compared.

Keywords: Multiple criteria decision making, transportation modes used in Turkey, analytic hierarchy process, Topsis.

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY	i
TEŞEKKÜR	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT	iv
TABLolar LİSTESİ.....	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ	ix
GİRİŞ	1
1.2 Karar Verme Süreci Bileşenleri	3
1.3 Çok Kriterli Karar Vermede Temel Yapılar	4
1.3.1. Model.....	4
1.3.2. Karar Verici(ler).....	4
1.3.3. Alternatifler Kümesi.....	5
1.3.4. Kriterler Kümesi	6
1.3.5. İlişkiler.....	7
1.4. Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerinin Bazı Uygulamaları.....	8
1.5. Türkiye’de Ulaştırma Sektörünün Durumu	10
2. BÖLÜM	12
LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	12
2.1. Taşımacılık Sektöründe Kullanılan Araçları ve Teknolojileri Değerlendiren Çalışmalar	12
2.2. Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri.....	14
3. BÖLÜM	18
ÇALIŞMADA KULLANILAN YÖNTEMLER.....	18
3.1. Analitik Hiyerarşi Proses (AHP).....	18
3.1.1 AHP’nin Avantajları ve Kısıtlamaları.....	23
3.2. Topsis Metodu.....	24
4. BÖLÜM	29

UYGULAMA	29
4.1.AHP Yöntemi Uygulaması	32
4.1.1.Duyarlılık Analizi Çalışması	44
4.2.TOPSIS Uygulaması.....	46
4.2.1.Duyarlılık Analizi	52
4.3.Farklı Senaryo Analizleri.....	54
5. BÖLÜM	56
SONUÇ VE ÖNERİLER	56

1. BÖLÜM

GİRİŞ

Gerçek hayatta alınan her karar aslında bir çok faktörün (kriterin) dengelenmesini gerektirebilir. Örneğin; bir ev satın alırken değerlendirme kriterlerimiz; fiyat, taşımacılık araçlarına yakınlık ve güvenlik olabilir [1]. Birbiri ile çelişen kriterlerin mevcut olduğu bir karar verme problemine çok kriterli karar verme problemi denilmektedir.

Çok kriterli karar verme; karar verme çalışmalarının bir dalı olarak nitelendirilebilmektedir. Çok kriterin bulunduğu karar problemlerini içeren yöneylem araştırmasının bir dalı da olabilmektedir [2].

Karar verme problemlerinde bir karara ulaşabilmek için potansiyel alternatiflerimizin ve kriterlerimizin mevcut olması gerekir. Karar problemleri kararın amacına göre şu şekilde sınıflandırılabilir [3];

- a) Seçme problemi (Choice): En iyi alternatifin seçilmesi yada sınırlandırılmış en iyi alternatifler kümesinin bulunması;
- b) Sıralı sınıflandırma problemi (Sorting): Önceden belirlenmiş homojen sıralı sınıflara alternatiflerin yerleştirilmesi;
- c) Sıralama problemi (Ranking): Alternatifleri en iyiden en kötüye sıralandığı sıralama yapısının oluşturulması;

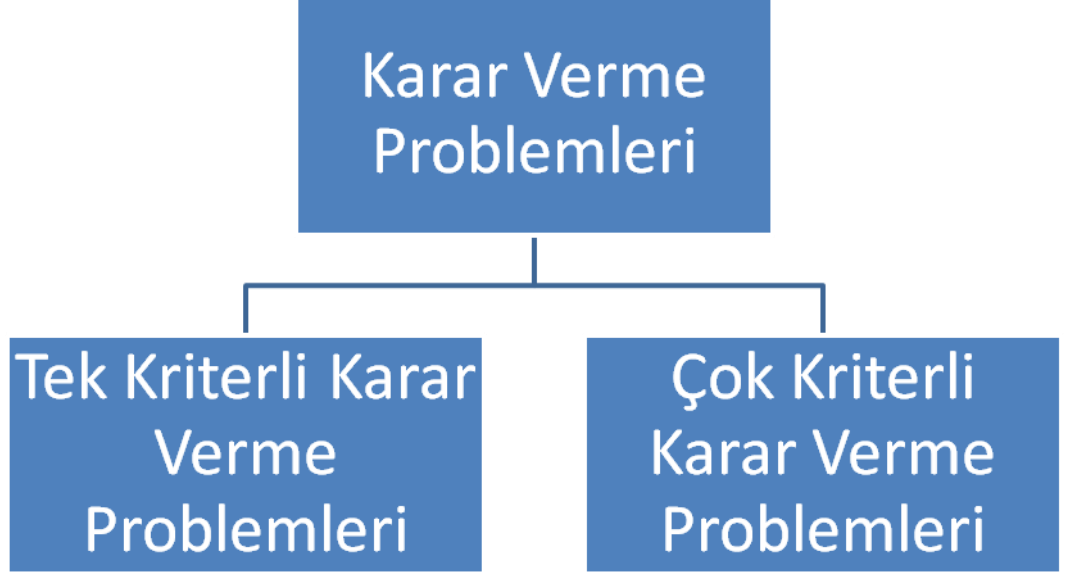
d) Sınıflandırma problemi (Classification): Alternatiflerin önceden belirlenmemiş kümelere ayrılması.

İlk üç yaklaşım spesifik değerlendirme çıktıları vermektedir. Bu çıktılarından yola çıkarak en iyi alternatifi bulma ve alternatifleri iyiden kötüye sıralama yöntemleri göreceli değerlendirmelere dayanmaktadır ve sonuç olarak değerlendirme sonuçları alternatifler kümesine bağlıdır. Diğer taraftan; sınıflandırma probleminde karar vericinin bütün bir değerlendirme yapması gerekmektedir. Gruplar genellikle alternatifler düşünülmeden bağımsız tanımlandığı için; sınıflandırma yöntemlerinde, grubu ayıran belirli profillere göre alternatiflerin değerlendirilmesi gerekmektedir.

Çok kriterli karar verme problemlerinde şu iki konu problemi çözmek için önemlidir: Birincisi kriterlerin nasıl birleştirileceğinin formülasyonunun belirlenmesidir. İkincisi ise model parametrelerini belirlemek için hangi metodun kullanılacağıdır. Literatürde bu amaçla geliştirilmiş pek çok algoritma bulunmaktadır. Bu algoritmalar hakkında bilgi literatür araştırması bölümünde verilmektedir.

Bu bölümde; öncelikle karar verme probleminin yapısı, karar verme sürecinde yer alan aktörler ve karar verme süreci ile ilgili bilgiler verilecektir. Ayrıca, çok kriterli karar verme teorisinin temel prensipleri ve literatürde yer alan uygulama alanları üzerinde durulacaktır.

Karar verme problemleri iki yapı altında incelenebilir. Şekil 1.1 bu yapıları göstermektedir [4]



Şekil1.1 Karar Verme Problemleri

- ✓ Tek Kriterli Karar Verme Problemi: En basit karar verme problemidir. Kullanıcı tek bir amaç doğrultusunda nihai karara ulaşır. Karar verme alanında yapılan ilk çalışmalar tek ölçütlü karar problemleriyle başlamıştır.
- ✓ Çok Kriterli Karar Verme Problemi: Amaç sayısı birden çok olmaktadır. Kullanıcı birbiriyle çelişen amaçlar çerçevesinde nihai karara ulaşmaya çalışır. Genellikle çok kriterli karar verme problemlerinde nihai bir tek çözüme ulaşmak oldukça güçtür. Bu sebeple karar vermeyi kolaylaştıran yöntemler kullanılmaktadır..

1.2 Karar Verme Süreci Bileşenleri

Genellikle çok kriterli karar verme problemleri beş bileşenden oluşmaktadır [5].

- Değerlendirme kriterleri kümesi,
- Karar alternatifleri kümesi,

- Değerlendirme kriterleri doğrultusunda kendi tercihleri ile sürece dahil olan karar verici ya da bir grup karar verici,
- Problemin kendi yapısından kaynaklanan kontrol edilemeyen değişkenler
- Her biri birbirleriyle bağlantılı sonuçlar veya çıktılar kümesi

1.3 Çok Kriterli Karar Vermede Temel Yapılar

Çok kriterli karar verme yöntemleri üzerinde çalışmaya başlamadan önce, karar verme yöntemlerinin temelini oluşturan, model, karar verici, alternatifler kümesi, kriterler kümesi, ilişki gibi bileşenler hakkında bilgiler verilecektir.

1.3.1. Model

Model karar verici tarafından karar verme sürecine yardımcı olmak amacıyla oluşturulmuş yapıdır. Model iki şekilde oluşturulabilir. Birincisi biçimsel model diğeri ise yargısal modellerdir. Biçimsel modeller parametrelere ve sayısal eşitliklere dayanan bir yapıya sahiptir. Biçimsel modelin parametrelerinin belirlenmesi ve yapısının oluşturulması aşamaları model tanımlama olarak ifade edilmektedir [6].

1.3.2. Karar Verici(ler)

Çok kriterli karar verme sürecinde yer alarak sonuçlar üzerinde etkisi bulunan insanlar karar verici(ler) olarak ifade edilmektedir. Çok kriterli karar verme problemlerinde birden fazla karar verici yer alabilir. Karar verici problemle ilgili son kararı verecek kişidir. Genellikle karar vericinin çok kriterli karar verme tekniklerini bilmesi beklenmemektedir. Ayrıca, bazı durumlarda karar verici problemin bazı alanlarında uzman olmayabilir. Vereceği kararın sorumluluğu karar vericiyi zorlar ve karar vericinin problemin ana yapısını anlamasını güçleştirir. Genellikle model için gereken kriterler, tercihler gibi temel yapıları karar verici belirler fakat bu diğer katılımcıların bilgi ve tercihlerinin modele dahil edilmeyeceği anlamına gelmemektedir.

Değişik alanlarda uygulanmış karar verme problemlerinde; problemin yapısı itibariyle farklı alanlardan karar vericiler sürece dahil olabilmektedirler.

Karar verme sürecine dahil olan diğer katılımcı analizcilerdir. Analizciler karar vericinin modeli oluşturmasında, karar verici ya da uzmanın bilgisine ulaşmasında, tercihlerinin belirlenmesinde karar vericiye yardım etmektedir. Analizci problem için uygun bir model belirler çözümü bulmak için uygun yöntemi ortaya koyar. Analizci genellikle çok kriterli karar verme tekniklerini bilen bir uzmandır.

Genellikle uzmanlar gibi başka katılımcılar da karar verme sürecine dahil olabilmektedirler. Uzmanlar problem alanında ya da problemin bir kısmında profesyonel olan kişilerdir. Sürece bilgilerini dahil ederek karar verme işlemi etkilemektedirler. Son kararın alınmasında uzmanlar sorumlu değildirler. Fakat uzmanlık alanlarında karar vericiyi bilgilendirip yönlendirerek nihai kararın alınmasında yardımcı olabilirler. Örneğin; yatırım kararını verecek bir yatırımcı (karar verici), farklı yatırım dallarında uzman yatırımcılardan aldığı konuyla ilgili bilgiler sonucunda nihai kararını verebilmektedir. Burada uzman nihai karara dolaylı bir etki yapmaktadır [3].

1.3.3. Alternatifler Kümesi

Alternatifler kümesi genellikle karar verici(ler) tarafından belirlenmektedir.

Karar vericiler ve analizciler karar verme sürecinde değişik yapılardaki alternatiflerle karşılaşabilmektedir. Bunlardan bazıları aşağıda sıralanmıştır [7].

- Eğer alternatif kümesindeki bütün alternatifleri belirlemek mümkünse sayılabilir *alternatifler*, mümkün değilse *sayılamayan alternatifler* olarak nitelendirilirler.

- Eğer alternatif kümesi içindeki alternatifler karar verme sürecinde değiştirilemiyorsa *sabit (değişmez)*, değiştirilebiliyorsa *dinamik (değişebilir)* alternatifler olarak adlandırılırlar.
- Eğer alternatif kümesi içinden bir alternatif en son karar olarak seçilecekse *kapsamlı alternatif kümesi*, eğer alternatif kümesi içinden bir grup alternatif nihai karar olarak belirlenecekse *parçalanmış alternatif kümesi* olarak adlandırılır.

1.3.4. Kriterler Kümesi

Kriterler çok kriterli karar vermede faydanın bir ölçüsü ve değerlendirme için bir kaynaktır. Kriterler gerçek bir problem ortamında niteliklerin ve amaçların bir şekli olarak ortaya çıkar [7].

Çok kriterli karar verme tekniklerinde kriterler genellikle Z harfi ile ifade edilen kriter yada öznitelik kümeleri ile belirtilirler. Kriter ya da öznitelik kümesi alternatif kümesinin ana özelliklerini ifade eder. Bir alternatifin j . kriter değeri $z_j \in Z$ olarak ifade edilir ve her bir kriter ya enbüyüklenmeli (maximize) yada enküçüklenmelidir (minimize).

Kriterler alternatifleri ifade edebilecek minimum sayıda olmalıdır. Aynı amaca yönelik kriterlerden sadece bir tanesi tercih edilebilir. Gereksiz kriterler karar verme sürecinin zorlaşmasına neden olmaktadır. Ayrıca tutarlı ve ölçülebilir kriterler belirlemede problemi doğru ifade etmek açısından çok önemlidir.

Kriterler iki sınıfa ayrılabilir. Bunlar;

- ✓ Nitel kriterler: Bu gruptaki kriterler sayısal olarak ifade edilemeyen kriterlerdir. Örneğin, öğrenci başarı derecesi (başarılı yada başarısız).

- ✓ Nicel Kriterler: Bu gruptaki kriterler sayısal olarak ifade edilebilen kriterlerdir. Örneğin, öğrenci not ortalaması.

Karar verme sürecinde karar problemi hem nicel hem de nitel kriterlere sahip olabilmektedir. Böyle problemler için özel metodlar literatürde mevcuttur.

1.3.5. İlişkiler

Alternatiflerin önceden belirlenmiş bir kriter kümesi çerçevesinde birbirleriyle kıyaslanması karar verme süreci açısından büyük önem taşımaktadır. Karar vericinin tercihlerini ifade edebilmek için alternatif çiftleri arasındaki ilişkinin belirlenmesi gerekmektedir. Karar verme sürecinde karşımıza çıkan dört temel ikili ilişki vardır. Bunlar; güçlü tercih (strict preference), zayıf tercih (weak preference), farksızlık (indifference), karşılaştırılamazlık (incomparability) olarak ifade edilebilmektedir.

$z^1, z^2 \in A$ iki alternatif olsun. Bu alternatifler arasındaki farksızlık ilişkisi (indifference relation), $z^1 I z^2$ olarak gösterilir ve karar verici açısından bu iki alternatifin öncelik olarak birbirlerinden farklı olmadıkları anlaşılır.

$z^1, z^2 \in A$ alternatifleri arasındaki güçlü tercih (strict preference) $z^1 P z^2$ olarak gösterilir ve karar verici açısından z^1 alternatifinin z^2 alternatifine tercih edildiği anlaşılır.

$z^1, z^2 \in A$ alternatifleri arasındaki zayıf tercih (weak preference) $z^1 Q z^2$ olarak gösterilir ve karar verici açısından z^1 ve z^2 alternatifleri arasında güçlü bir tercihin olmadığı durumları gösterir.

$z^1, z^2 \in A$ alternatifleri arasındaki karşılaştırılmazlık durumu (imcomparability) $z^1 J z^2$ ile gösterilir ve iki alternatifin kıyaslanamayacağını ifade eder.

1.4. Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerinin Bazı Uygulamaları

Çok kriterli karar verme çalışmaları birçok alanda başarı ile uygulanmaktadır. Bu uygulama alanları şu şekilde örneklendirilebilir [8].

- ✓ **Ekonomi ve Finans:** Bu alanda Doumpos ve Zopounidis [9] tarafından yapılmış bir çalışmada Yunanistan 'daki endüstriyel gelişim bankasının finanse ettiği firmaların iflas etme riski değerlendirilmiştir. Müşteri firmaları, *kabul edilebilir sınıf*, *belirsiz sınıf* ve *kabul edilemez sınıf* olarak 3 gruba ayrılmıştır. Finansal alanda yapılmış çalışmalar ise iflas riski-kredi riski değerlemesi, portföy seçimi ve yatırım modelleme konularına yoğunlaşmaktadır.
- ✓ **Enerji:** Pohekar ve Ramachandran'ın gözden geçirme makalesi [2]'nde de belirtildiği gibi enerji planlamadaki çok kriterli karar verme uygulamaları; yenilenebilir enerji planlama, enerji kaynak planlaması, yapı enerji yönetimi, enerji taşıma yönetimi, enerji projeleri için planlamalar konularında yer almaktadır. Diakoulaki ve ark. [10] tarafından yapılmış bir çalışmada ülkeler sosyo ekonomik kriterlerine, yapısal karakteristiklerine, enerji karışımlarına göre değerlendirilmiş ve enerji yoğunluğu değerlerine göre sınıflandırılmıştır. Patlitzianas ve ark. [11] çalışmalarında 14 ülkeyi yenilenebilir enerji kaynaklarının üretimi ile ilgili olarak değerlendirmişlerdir. Enerji alanında son yıllarda Türkiye'de de çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmalara birkaç örnek verecek olursak; Ulutaş 'ın [12] çalışmasında Türkiye'deki alternatif enerji kaynakları değerlendirilerek önemli enerji politikaları belirlenmeye çalışılmıştır. Topcu ve Ulengin [13] çalışmalarında Türkiye'deki mevcut enerji üretim kaynaklarını fiziksel, çevresel, ekonomik, politik ve diğer kontrol edilemeyen faktörler açısından değerlendirilmiştir. Uygulama sonucunda rüzgâr enerjisi ile üretim en önemli alternatif olarak bulunmuştur. Sözen ve Nalbant [14] çalışmalarında Avrupa birliği ülkeleri ve Türkiye'yi bazı enerji

kriterleri açısından değerlendirilmiş ve bu ülkeler arasında Türkiye 'nin yerini araştırmışlardır.

- ✓ **İnsan Kaynakları Yönetimi:** Dağdeviren [15]'in çalışmasında bir iş pozisyonu için alternatif adaylar farklı kriterler bazında değerlendirilmiş ve en iyi aday belirlenmiştir. Bulut ve Soylu [16] bir mühendislik fakültesinde tam zamanlı çalışan öğretim üyelerini incelemiş ve iş yükü seviyelerine etki eden faktörleri belirleyerek bir analitik ağ modeli oluşturmuştur.
- ✓ **Pazarlama:** Pazarlama alanında yapılan araştırmada Sağlam ve ark. [17] kümeleme tabanlı matematiksel bir model geliştirilmiştir. Çalışmada bir dijital platform şirketinin müşterileri 18 demografik kriter üzerinden değerlendirilerek geliştirilmiş model ile kümelenebilir.
- ✓ **Ekoloji:** Ekoloji alanında orman ve doğal kaynakların kullanımı alanlarında yoğunlaşmaktadır. Farklı kriterler bazında orman yönetim planı seçme, rezerv yeri seçimi ve çevre projelerinin çok kriterli değerlendirilmesi örnek olarak verilebilir.
- ✓ **Üretim Sistemi Yönetimi:** Bu alanda yapılmış çalışmalara örnek olarak, üretim sistemi yatırım alternatiflerinin değerlendirilmesi [18] , ERP sistemi seçimi [19] ve çok kriterli ABC analizi verilebilir [20].
- ✓ **Ulaştırma:** Ediger ve Çamdalı [21] tarafından yapılan bir çalışmada Türkiye taşıma sektörü 1988–2004 yılları arasında enerji ve ekserji etkinlikleri açısından değerlendirilmiştir. Vannieuwenhuysen ve ark. [22] ise belirledikleri kriterler çerçevesinde en uygun taşıma modunun seçimine yönelik çalışmışlar ve online bir karar destek yazılımı geliştirmişlerdir. Yedla ve Shrestha [23] çalışmalarında AHP yöntemini kullanarak üç alternatif taşıma seçeneğini, belirledikleri altı farklı kriter açısından değerlendirmişlerdir.

1.5. Türkiye’de Ulaştırma Sektörünün Durumu

Türkiye’de ulaştırma sektöründe kullanılan araçları karayolu, demiryolu, havayolu ve denizyolu taşıtları olarak 4 temel gruba ayırmak mümkündür. Ancak bu araçlardan 3 tanesi yurt içinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada demiryolu, karayolu ve havayolu taşımacılığı farklı kriterler ele alınarak değerlendirilmiştir.

Türkiye’de taşımacılık sektöründeki talep hızlı şekilde artış göstermektedir. 2002-2006 yılları arasında Türkiye’de taşınan yük ve yolcular ile ilgili sayısal bilgiler Tablo 1.1’de verilmiştir. Bu tablo incelendiğinde, gerek yük taşımacılığında gerekse yolcu taşımacılığında 2002-2006 yılları arasında önemli artış gözlemlenmektedir. Yolcu sayısı verisine göre ise havayolu taşımacılığı 5 yılda 2.3 kat artış göstermiştir. Bu tablodan elde edilebilecek bir diğer sonuç ise karayolu kullanımının diğer taşımacılık araçlarına kıyasla oldukça baskın olduğudur. Türkiye’de karayollarının yük taşımacılığındaki payı %92, yolcu taşımacılığındaki payı ise %95 seviyelerindedir. Taşımacılık sektöründeki bu hızlı büyümenin ve karayollarının yaygın kullanımının ekonomik, çevresel, güvenlik vb. olmak üzere önemli etkileri bulunmaktadır. Bu probleme kısmi bir çözüm, başka taşıma araçlarına geçiş olabilir. Taşımacılık politikalarının yeniden düzenlenmesi ve gelecek yatırımların en uygun araçlara yapılması gerek verimliliğin ve güvenliğin artırılmasında, gerekse çevresel etkilerin azaltılmasında önem kazanmaktadır.

Tablo 1.1 Türkiye’de 2002-2006 yılları arasında taşınan yük ve yolcu sayıları

	2002	2003	2004	2005	2006	2002-2006 Artış %
Yük						
Demiryolu (binton)	14424	15755	17708	18945	19745	36.9
Karayolu (ton/km)	150912	152163	156853	166831	177399	17.6
Havayolu (ton)	181198	188936	262647	315858	373055	105.9
Yolcu sayısı						
Demiryolu	73088	76993	76756	76306	77414	5.9
Karayolu (yolcu/km)	163327	164311	174312	182152	187593	14.8
Havayolu	8700839	9128124	14438292	20502516	28799878	231.0

Bu veriler Türkiye İstatistik Kurumu web sayfasından alınmıştır.

Dünyada giderek artan enerji talebi enerji kaynaklarının (özellikle fosil) tükenmesine sebep olmaktadır. Artan enerji talebini karşılayabilmek için kaynakları verimli kullanmak ve sürdürülebilir enerji kaynaklarına geçiş yapmak gerekmektedir.

Türkiye enerji talebinin yaklaşık olarak %50 sini ithal etmektedir. Bu kaynakların yaklaşık %20 si taşımacılık sektöründe kullanılmaktadır. Dolayısıyla taşımacılık sektöründe verimliliğin artması ülke kalkınmasına önemli katkıda bulunacaktır. Ancak taşımacılık sektöründe verimliliğin artması sadece enerji verimliliğine bağlı değildir. Finansal, çevresel ve güvenlik unsurlarının da göz önüne alınması gerekmektedir. Finansal açıdan baktığımızda, taşımacılık enerji maliyetlerinin ekonomi üzerindeki yükünün hafifletilmesi gerekmektedir. Çevresel açıdan ele aldığımızda, Türkiye'nin sera gazı azaltımı konusunda imzaladığı uluslararası sözleşmeler bulunmaktadır [24]. Güvenlik açısından değerlendirildiğinde ise özellikle karayollarında trafik yoğunluğu kaynaklı çok fazla ölümlü kaza meydana gelmektedir. Bütün bu unsurlar ele alındığında taşımacılık sektöründeki yatırım ve yeniden yapılandırma politikalarının çok boyutlu olarak değerlendirilmesi ve yeniden düzenlenmesi gerekmektedir. Böyle bir yeniden yapılandırmanın ülke kalkınmasına ekonomik, sosyal ve çevresel katkıları yüksek olacaktır.

2. BÖLÜM

LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Literatür araştırması iki bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde taşımacılık sektöründe kullanılan araçları ve teknolojileri değerlendiren çalışmalar incelenmektedir. İkinci bölümde ise çok kriterli karar verme yöntemleri ile ilgili literatür araştırması verilmektedir.

2.1. Taşımacılık Sektöründe Kullanılan Araçları ve Teknolojileri Değerlendiren Çalışmalar

Vannieuwenhuysse ve ark. [22] yılında yaptıkları çalışmada Belçika'da yük taşımacılığı yapan bazı firmalardan anket yöntemi ile taşıma araçları hakkında veri toplamışlar ve analiz etmişlerdir. Karayolu, denizyolu ve tren yolu taşımacılığını maliyet, esneklik, zamanında teslimat, güvenlik, yol kapasitesi, bürokratik işlemler ve şirket imajı kriterleri açısından çok kriterli karar verme yöntemlerini kullanarak değerlendirmişlerdir.

Punakivi ve Hinkka [25] Finlandiya'da dört farklı endüstrinin ürünleri için kullanılan taşımacılık servislerini ele almışlar ve her bir endüstri için belirlenen kriterler bazında en uygun taşımacılık şeklinin hangisi olduğunu analiz etmişlerdir.

Ülengin ve ark. [26] birçok farklı taşımacılık sistemini entegre eden bir karar destek sistemi geliştirmişler ve farklı senaryolar karşısında taşımacılık sisteminde yer alan araçların paylarının nasıl değiştiğini analiz etmişlerdir.

Gerçek ve ark.[27] İstanbul'daki demiryolu yolcu taşımacılığı sistemini incelemişler ve 3 alternatif yeni güzergahı, AHP yöntemini kullanarak farklı kriterler açısından değerlendirmişlerdir.

Karsak ve Ahıska [28] İstanbul'da uygulanabilecek 3 taşımacılık proje alternatifini (yeni bir köprü inşaatı, su altı raylı sistem projesi, şu anki denizyolu taşımacılığının iyileştirilmesi) bulanık çok kriterli karar verme yöntemlerini kullanarak değerlendirmişlerdir.

De Vlieger ve ark. [29] tarafından yapılmış olan bir projede Belçika'da kullanılan taşımacılık araçları ve teknolojileri sürdürülebilirlik kriterleri açısından değerlendirilmiştir. Değerlendirme için anket yöntemi kullanılmış ve taşımacılık sektöründeki talep modellenmiştir.

Yelda ve Shrestha [30] Delhi'de kullanılabilir 3 farklı taşımacılık alternatifinin, yatırım öncelik sırasını AHP yöntemini kullanarak belirlemişlerdir.

Tuzkaya ve Önüt [31] Türkiye ve Almanya arasında taşımacılık yapan bir lojistik firması için taşımacılık araçlarını bulanık AHP yöntemini kullanarak farklı kriterler açısından değerlendirmişlerdir.

Lirn ve ark. [32] uluslararası denizyolu taşımacılığı yapan şirketlerin liman seçiminde dikkat ettikleri kriterleri belirlemişler ve 6 limanı bu kriterler çerçevesinde AHP yöntemini kullanarak değerlendirmişlerdir.

Ediger ve Çamdalı [21] Türkiye'de taşımacılık sektörünün enerji verimliliğini 1998 ve 2004 yılı verilerini kullanarak hesaplamışlardır. En yüksek enerji verimliliğine sahip

taşımacılık aracı havayolu olarak belirlenmiştir ve enerji verimliliği kriteri açısından havayolu taşımacılığının teşvik edilmesi önerilmiştir.

Rushton ve ark. [33] uygun taşımacılık aracının seçiminde, ürün karakteristiğinin ve hatta ürünün *ürün yaşam döngüsünün* hangi aşamasında olduğunun da önemli rol oynadığını belirtmişlerdir. Örneğin, ürünün pazara giriş ve olgunlaşma aşamasında pazara ve hammaddeye hızlı ulaşmak önemlidir.

Tudela ve ark. [34] iki taşımacılık yatırım alternatifini iki farklı yöntem kullanarak değerlendirmişlerdir. Yöntemlerden birisi fayda- maliyet analizi diğeri ise AHP yöntemidir. İki yöntemin çıktılarını karşılaştırmışlardır. AHP yöntemi karar verme sürecinde maliyet kriterinden başka kriterleri de dikkate aldığı için tercih edilmiştir.

2.2. Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri

Çok kriterli karar verme problemlerinde şu iki konu problemi çözmek için önemlidir: Birincisi kriterlerin nasıl birleştirileceğinin formülasyonunun belirlenmesidir. İkincisi ise model parametrelerini belirlemek için hangi metodun kullanılacağıdır. Literatürde bu amaçla geliştirilmiş pek çok algoritma bulunmaktadır. Bu yöntemler genellikle ağırlıklandırılmış toplam yaklaşımları, fayda fonksiyonları ve üstünlük metodları olarak kategorize edilmektedir.

Ağırlıklandırılmış toplam yaklaşımı en yaygın olarak kullanılan yöntemlerden bir tanesidir. Kriterlere 0-1 arasında toplamları 1.0 olacak şekilde ağırlıklar verilmekte ve her alternatif için kriter değerleri bu ağırlıklar ile çarpılıp toplanarak bir son değer elde edilmektedir. Bu yöntemde en önemli problem uygun ağırlıkların belirlenmesi problemidir. Literatürde bu ağırlıkları belirlemek için çeşitli yöntemler önerilmiştir. Örneğin, Analitik Hiyerarşi Proses [35], Analitik Network Proses [36], Veri Zarflama Analizi [37] vb. yöntemler kullanılabilir. Aşağıda $z^i \in A$ alternatifi için ağırlıklandırılmış toplam değeri $(A_T(z^i))$ gösterilmiştir.

$$A_T(z^i) = \sum_{j=1}^m w_j z_j^i \quad \forall z^i \in A \quad (1)$$

Ağırlıklandırılmış kriter toplama yöntemi oldukça kolay bir yöntemdir. Eşitlik 1’de de görüldüğü gibi herhangi bir alternatifin bütün kriterlerdeki değerleri ile o kriterin ağırlığının çarpılması sonucu elde edilen toplam o alternatifin skorunu göstermektedir. Bütün alternatifler için aynı işlem yapılır ve ağırlıklandırılmış toplam değerlerine göre alternatifler arasında bir değerlendirme yapılabilir.

Üstünlük metodlarında, bir alternatifin tercih edilebilirliği, onun her kriterde diğerleri ile karşılaştırılması sonucu bulunur [38]. Temelde, üstünlük ilişkisi kurularak alternatiflerin önem sırası veya kısmi önem sırası belirlenir. Bu metodun örnekleri ELECTRE III [38] PROMETHEE I, II [39] olarak gösterilebilir.

ELECTRE (Elimination and Choice Translating Reality English) yöntemi ilk kez 1968 yılında Bernard Roy [40] tarafından ortaya atılmış bir çoklu karar verme yöntemidir. Yöntem, her bir değerlendirme faktörü için alternatif karar noktaları arasında ikili üstünlük kıyaslamalarına dayanır. Electre I yönteminin geliştirilmesinden sonra Electre II, Electre III, Electre IV, Electre IS ve Electre TRI yöntemleri de ELECTRE ailesine dâhil edilmiştir.

PROMETHEE yöntemi 1982 yılında Brans tarafından ortaya konmuş, 1985 yılında Brans ve Vincke [39] tarafından geliştirilmiş bir çok kriterli karar verme yöntemidir. PROMETHEE birbirleriyle çelişen kriterler doğrultusunda, belirli sayıdaki alternatiften oluşan alternatif kümesi içindeki elemanlardan en iyisini seçmeye yönelik çalışan ve üstünlük ilişkilerini kullanan bir yöntemdir. Buna göre her bir kriter için bir tercih fonksiyonu belirlenmektedir. Temel olarak 6 çeşit tercih fonksiyonu tanımlanmıştır. Bunlar,

1. Olağan
2. Yarı olağan
3. Doğrusal

4. Farksızlık eşiği ile birlikte doğrusal
5. Seviyeli
6. Gaussian

PROMETHEE I kısmi sıralama yaparken, PROMETHEE II tam bir sıralama yapabilmektedir. PROMETHEE I ve PROMETHEE II yöntemlerinden sonra PROMETHEE III, VI, V, VI ve TRI versiyonları da geliştirilmiştir.

Fayda fonksiyonları ise, her alternatife kriter değerlerine göre bir puan atar. Bu puan değeri ne kadar yüksekse alternatifin tercih edilebilirliği de o kadar yüksektir.

Fayda fonksiyonu en basit haliyle şu şekilde gösterilebilmektedir.

$$U(z^i) = \sum_{j=1}^m u_j[z_j^i] \quad (2)$$

Burada $u_j[z_j^i]$, i alternatifinin j kriterindeki birim yarar fonksiyonunu ifade etmektedir. Bu mekanizma ile hem niceliksel hem de niteliksel kriterlerin değerlendirilmesi mümkün olmuştur [2].

UTA [41] metodun varyasyonu olan UTADIS yöntemi [42] önde gelen fayda fonksiyonları temelli algoritmalarından bir tanesidir. Bu yöntemde her bir kriter için parçalı-doğrusal bir marjinal fayda fonksiyonu tanımlanır. Bunun için önceden bazı referans alternatiflerin karar verici tarafından sınıflara yerleştirilmesi gerekmektedir. Global fayda fonksiyonu marjinal fayda fonksiyonlarının toplanması sonucu elde edilir. Her alternatifin fayda değeri grupların eşik değeri ile karşılaştırılarak uygun gruba ataması yapılır. Son olarak, Doumpos ve Zopounidis [43] UTADIS'in formülasyonunu bir istatistiksel öğrenme tekniği olan *düzgünleştirme yöntemi* (regularization concept) ile geliştirmişlerdir.

PAIRCLASS [44] yaklaşımında da UTADIS'de olduğu gibi alternatifler sınıf referansları ile ikili olarak karşılaştırılırlar ve net üstünlük değerine göre uygun sınıfa

atanırlar. Net üstünlük değeri hesaplamak için aday alternatifin bir üst kategorinin referanslarına sağladığı üstünlük ile bir alt kategorideki referansların aday alternatife göre üstünlüğünün farkı alınır. Eğer net üstünlük belirli bir eşik değerinin üstünde ise alternatif bu sınıfa atanır.

TOMASO yöntemi [45] iki aşamadan oluşmaktadır. Birinci aşamada her bir alternatif için bir net skor bulunur. Bu skor aslında bir alternatifin kaç alternatife üstün geldiği ile kaç alternatifin bu alternatife üstün geldiği arasındaki farktır. İkinci aşama birleştirme aşamasıdır. Bu aşamada kesikli Choquet integrali kullanılarak her alternatif için global bir skor elde edilir. Bu global skor alternatifleri sıralı sınıflandırmak için kullanılır.

3. BÖLÜM

ÇALIŞMADA KULLANILAN YÖNTEMLER

Bu çalışmada AHP ve TOPSİS yöntemleri birlikte kullanılmıştır. Bu bölümde yöntemler açıklanarak, avantajları, dezavantajları ve kısıtlamaları tartışılacaktır. Yöntemlerin probleme uygulaması ise Bölüm 4’de açıklanacaktır.

3.1. Analitik Hiyerarşi Proses (AHP)

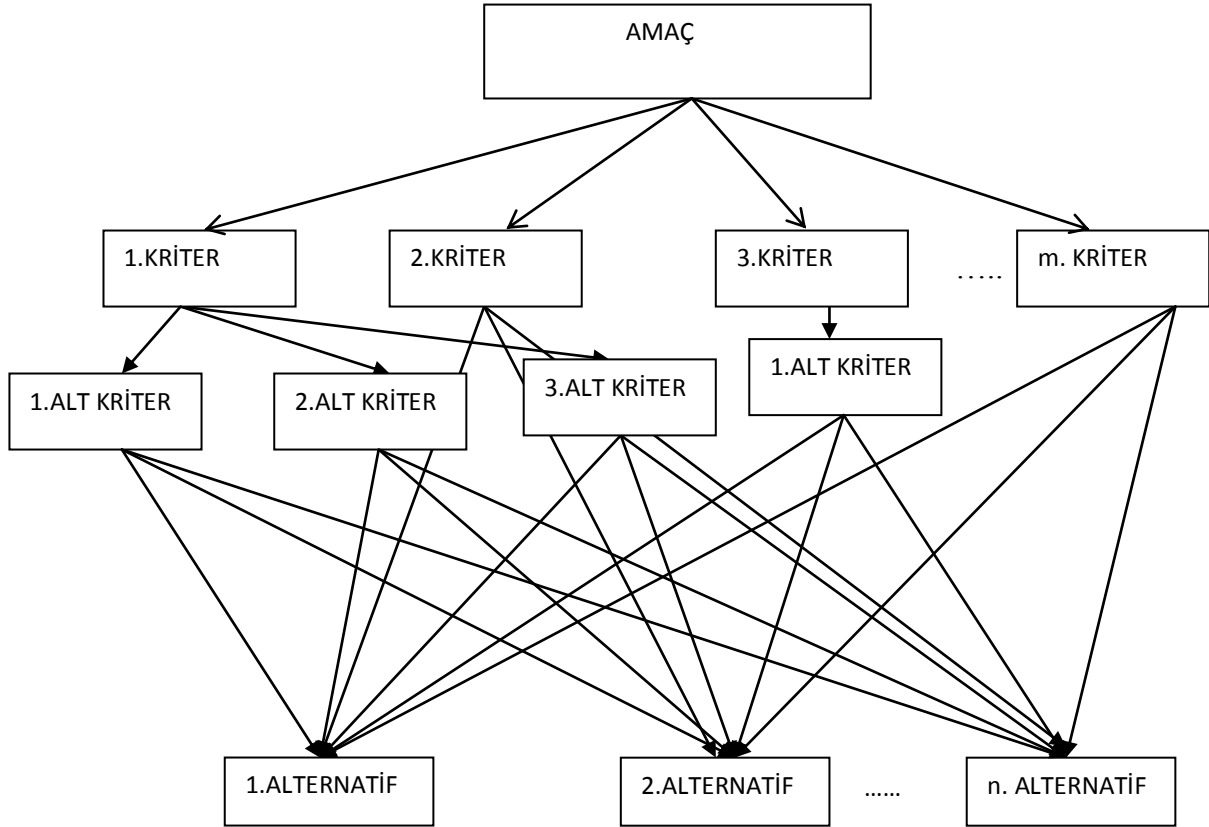
Analitik hiyerarşi prosesi Saaty [35] tarafından geliştirilmiştir. AHP karmaşık karar problemlerinin çözümünde kullanılan bir çok kriterli karar verme aracıdır. AHP karar almada, grup veya bireyin önceliklerini de dikkate alan, nitel ve nicel değişkenleri bir arada değerlendirebilen matematiksel bir yöntemdir [46].

AHP’nin en önemli özelliği karar vericinin hem objektif hem de subjektif düşüncelerini karar sürecine dâhil edebilmesidir. Bir diğer ifade ile AHP, bilginin, deneyimin, bireyin düşüncelerinin ve önsözlerinin mantıksal bir şekilde birleştirildiği bir yöntemdir [47].

Yöntem sekiz adımdan oluşmaktadır.

Adım 1: Karar vericinin amacı doğrultusunda bu amacı etkileyen faktörler ve alt faktörler belirlenir böylelikle problem tanımlanmış olur. Problemin tanımlanması aşamasında uzman kişilerin görüşleri alınabilir.

Adım 2: Karar problemi hiyerarşik bir yapıda tanımlanır. En üstte amaç, altta kriterler ve en altta alternatifler olacak şekilde hiyerarşik bir yapı oluşturulur. Aşağıdaki şekilde bir hiyerarşik yapı görülmektedir.



Şekil 3.1.AHP'nin Hiyerarşik Yapısı

Adım 3: En alt seviyedeki kriterler için ağırlıklar türetilir. Bu aşamada hiyerarşik yapıdaki elementler birbirleriyle 1–9 Saaty ölçeğine göre kıyaslanır ve göreceli önceliklere göre ağırlıklar hesaplanmış olur. Saaty'nin 1–9 ölçeği aşağıda görülmektedir.

Tablo 3.1.Saaty 1–9 Ölçeği

Önem Değerleri	Tanım
1	Her iki faktör eşit öneme sahiptir
3	1. Faktör 2. faktörden daha önemlidir
5	1. Faktör 2. faktörden çok önemlidir
7	1. Faktör 2. faktöre nazaran çok güçlü bir öneme sahiptir
9	1. Faktör 2. faktöre nazaran mutlak üstün bir öneme sahiptir
2,4,6,8	Ara değerler

Yukarıda görülen Saaty'nin 1–9 ölçeğine göre kriterler ikişerli olarak karşılaştırılır. Örneğin; A kriterinin B kriterine göre durumu karar vericiye sorulur. Karar verici açısından bu iki kriter arasındaki önem ve önceliğe göre 1–9 ölçeğindeki değerlerden yararlanılarak ikili kıyaslama yapılmış olur. Kriterlerin kıyaslanması sürecinde konu hakkında uzman ya da uzman olmasalar bile bu konuyla doğrudan ilişkili kişilere danışılması gerekmektedir.

Yapılan kıyaslamalar neticesinde A karşılaştırma matrisi elde edilir.

$$A = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ a_{1n} & a_{2n} & \dots & 1 \end{bmatrix}$$

Karşılaştırma matrisinde köşegen üzerindeki değerler 1'dir.Çünkü matrisin bu elemanlarında faktör kendisiyle kıyaslanmaktadır.

Adım 4: Karşılaştırma matrisi belirlendikten sonra her bir sütün için normalizasyon işlemi uygulanır. Normalizasyon işlemi aşağıdaki formüle göre gerçekleştirilir.

$$c_{xy} = \frac{a_{xy}}{\sum_{y=1}^n a_{xy}} \quad \begin{array}{l} x = 1, 2, \dots, n \\ y = 1, 2, \dots, n \end{array}$$

Adım 5: Bütün sütunlar için aynı adım 4 uygulandıktan sonra C matrisi oluşturulur.

$$C = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & \dots & c_{1n} \\ c_{21} & c_{22} & \dots & c_{2n} \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ c_{1n} & c_{2n} & \dots & c_{nn} \end{bmatrix}$$

Adım 6: C matrisinden yararlanarak, faktörlerin birbirlerine göre önem değerlerini gösteren yüzde önem dağılımları elde edilebilir. Bunun için aşağıdaki formülde gösterildiği gibi C matrisini oluşturan satır bileşenlerinin aritmetik ortalaması alınır ve *Öncelik Vektörü* olarak adlandırılan W sütun vektörü elde edilir.

$$w_x = \frac{\sum_{y=1}^n c_{xy}}{n}$$

W vektörü aşağıda gösterilmiştir.

$$W = \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ w_n \end{bmatrix}$$

Aşama 7: W ağırlık vektörü hesaplandıktan sonra üst basamaktaki kriterlerin ağırlıklarıyla ilişkilendirilir. Bu aşama hiyerarşinin en üstüne kadar devam eder.

Aşama 8: Yapılan kıyaslamaların doğruluğunu belirlemek için tutarlılık indeksi hesaplanması gerekmektedir. AHP’de tutarlılık indeksi faktör sayısı ile öz değer adı verilen (λ) bir katsayının çarpılması ile bulunmaktadır. λ ’nın hesaplanması için öncelikle A karşılaştırma matrisi ile W öncelik vektörünün matris çarpımından D sütun vektörü elde edilir.

$$D = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix} \begin{matrix} \\ \\ x \\ \\ \\ \end{matrix} \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ w_n \end{bmatrix}$$

D sütun vektörü ile W sütun vektörünün karşılıklı elemanlarının bölümünden her bir değerlendirme faktörüne ilişkin temel değer (E) elde edilir.

$$E_x = \frac{d_x}{w_x} \quad x = 1, 2, \dots, n$$

Bu değerlerin aritmetik ortalaması ise karşılaştırmaya ilişkin temel değeri (λ) verir. λ hesaplandıktan sonra **tutarlılık göstergesi** aşağıdaki formüle göre hesaplanabilir.

$$CI = \frac{\lambda - n}{n - 1}$$

CI, tutarlılık göstergesi Random Gösterge (RI) olarak adlandırılan standart düzeltme değerine bölünerek tutarlılık indeksi hesaplanır. Bu tutarlılık indeksinin 0.1’den düşük olması istenir. Eğer yüksek bir değer bulunursa karar verici tutarlı kararlar vermemiş demektir ve önlem alınmalıdır.

3.1.1 AHP'nin Avantajları ve Kısıtlamaları

AHP çok kullanılan bir yöntem olmasına rağmen eleştirildiği bazı noktalar bulunmaktadır [48].

- Sıra değiştirme (rank reversal) AHP'nin önemli eleştirilere maruz kaldığı bir konudur. Probleme yeni bir alternatif dahil edilmesi halinde yada bir alternatifin kaldırılması durumunda alternatiflerin sıralaması bu değişimden etkilenmektedir.
- Modelleme sürecinin subjektif doğası AHP'nin bir kısıtı olarak görölmektedir. Bu, metodolojinin “kesinlikle doğru” kararları garanti edemeyeceği anlamına gelir.
- Bir karar hiyerarşisindeki kademe sayısı arttıkça ikili karşılaştırma sayısı da artar. Bu durum, AHP modelini kurmak için daha fazla zaman ve çabayı gerektirir. Bazı yazılımların kullanılması gereken zaman ve çabayı azaltmasına rağmen, metodolojinin yine de daha az biçimsel yöntemlere göre daha fazla zaman ve çabayı gerektirdiği ileri sürölmektedir.

Eleştirilen birçok yanı olmasına rağmen katkıları da şunlardır;

- AHP, karar vericinin hedefe ilişkin tercihlerini doğru bir şekilde belirlemesine olanak veren uygulanması kolay bir karar verme metodolojisi sağlar.
- Karmaşık problemleri basitleştiren bir yapısı vardır.
- Karar vericilerin karar probleminin tanımını ve unsurlarına ilişkin anlayışlarını arttırır.
- Bir karar problemine ilişkin hem objektif hem subjektif düşüncelerle, hem nitel hem de nicel bilgilerin karar sürecine dâhil edilmesine olanak verir.
- Karar vericinin duyarlılık analizi yaparak nihai kararın esnekliğini analiz etmesi mümkündür.
- Karar vericinin yargılarının tutarlılık derecesini ölçmesine imkân verir.

- Grup kararlarında kullanımı uygundur.
- AHP' ye ait yazılım paketleri ile karar vericinin uygulamayı hızlı ve doğru bir şekilde gerçekleştirmesine imkân verir.

AHP ile ilişkili olarak geliştirilmiş bir diğer yöntem Analitik Network Prosesi (ANP)'dir. ANP yaklaşımında [36], AHP yaklaşımında olduğu gibi faktörlerin ikili olarak karşılaştırılması sonucunda sisteme olan etkilerinin belirlenmesi amaçlanmaktadır. ANP yaklaşımının AHP yaklaşımından en önemli farkı kriterler, alternatifler, faktörler arasında bağımlılığın dikkate alınmasıdır. Bu sebeple ANP yöntemi AHP yöntemini de kapsamaktadır. Bu etkileşimler problemin ağ yapısında incelenmesini gerektirmektedir.

3.2. Topsis Metodu

TOPSIS ilk olarak 1981 yılında Hwang ve Yoon [55] tarafından ELECTRE yöntemine alternatif olarak geliştirilmiştir. Metodun temel yapısı; seçilmiş alternatifin bir nevi geometrik anlamda ideal çözüme en kısa mesafede ve negatif-ideal çözümden en uzak mesafede olmasıdır. TOPSIS metodu her bir kriterin tekdüze bir şekilde artan ya da azalan fayda eğilimine sahip olduğunu varsaymaktadır. Bundan dolayı, ideal ve negatif-ideal çözümleri tanımlamak kolaydır. Öklid mesafesi yaklaşımı alternatiflerin ideal çözüme göreli yakınlıklarını değerlendirmeyi amaçlamaktadır [49]. İdeal çözüm, fayda kriterini maksimum, maliyet kriterini minimum yapan çözümdür. Negatif ideal çözüm ise maliyet kriterini maksimum, fayda kriterini minimum yapar. Seçilen alternatifin pozitif ideal çözüme en yakın ve negatif ideal çözüme en uzak uzaklıkta olması gerektiği mantığına dayanır. TOPSIS'de alternatiflerin sıralanması “ideal çözüme göreli benzerlik” yaklaşımına dayanır [50].

İdeal çözüm, kriterin ulaşılabilir en iyi değerlerinden negatif ideal çözüm ise kriterin ulaşılabilir en kötü değerlerinden oluşturulur. Alternatif seçimi süreçleri boyunca en iyi alternatif, ideal çözüme en yakın ve negatif ideal çözüme en uzak olan olacaktır [14].

Problemde ideal çözüm her zaman uygulanabilir yâda ulaşılabılır olmayabilir. Bu durumda ideale en yakın çözüm seçilmesi gerekmektedir.

TOPSİS metodunun 6 temel aşaması bulunmaktadır. Aşağıda bu aşamalar görülmektedir;

Aşama 1: Karar Matrisinin (Z) Oluşturulması: Karar matrisinin satırlarında üstünlükleri sıralanmak istenen alternatifler (karar noktaları) sütunlarında ise karar vermede kullanılacak kriterler (değerlendirme faktörleri) yer alır. Z matrisi karar verici tarafından oluşturulan başlangıç matrisidir. Karar matrisi aşağıdaki gibi gösterilir:

$$Z = \begin{bmatrix} z_1^1 & z_2^1 & \dots & z_m^1 \\ z_1^2 & z_2^2 & \dots & z_m^2 \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ z_1^n & z_2^n & \dots & z_m^n \end{bmatrix} \quad \begin{array}{l} i = 1, 2, \dots, n \\ j = 1, 2, \dots, m \end{array}$$

Z matrisinde m kriter sayısını, n alternatif sayısını göstermektedir ve

z_j^i : i . alternatifin j . kriter değeridir.

Aşama 2 : Standart Karar Matrisinin (\hat{Z}) Oluşturulması

Standart Karar Matrisi, Z matrisinin elemanlarından yararlanarak ve aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanır.

$$\hat{z}_j^i = \frac{z_j^i}{\sqrt{\sum_{k=1}^n (z_j^k)^2}} \quad (1)$$

\hat{Z} matrisi aşağıdaki gibi elde edilir:

$$\hat{Z} = \begin{bmatrix} \hat{z}_1^1 & \hat{z}_2^1 & \dots & \hat{z}_m^1 \\ \hat{z}_1^2 & \hat{z}_2^2 & \dots & \hat{z}_m^2 \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ \hat{z}_1^n & \hat{z}_2^n & \dots & \hat{z}_m^n \end{bmatrix}$$

Aşama 3 : Ağırlıklı Standart Karar Matrisinin (V) Oluşturulması

Öncelikle değerlendirme faktörlerine ilişkin ağırlık değerleri (w_i) belirlenir.

$$\left(\sum_{j=1}^m w_j = 1.0 \right).$$

Daha sonra \hat{Z} matrisinin her bir sütunundaki elemanlar ilgili w_j değeri ile çarpılarak V matrisi oluşturulur. V matrisi aşağıda gösterilmiştir:

$$V = \begin{bmatrix} w_1 \cdot \hat{z}_1^1 & w_2 \cdot \hat{z}_2^1 & \dots & w_m \cdot \hat{z}_m^1 \\ w_1 \cdot \hat{z}_1^2 & w_2 \cdot \hat{z}_2^2 & \dots & w_m \cdot \hat{z}_m^2 \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ w_1 \cdot \hat{z}_1^n & w_2 \cdot \hat{z}_2^n & \dots & w_m \cdot \hat{z}_m^n \end{bmatrix}$$

Aşama 4 : İdeal (v^*) ve negatif ideal (v^-) noktalarının hesaplanması

TOPSIS yöntemi, her bir değerlendirme faktörünün monoton artan veya azalan bir eğilime sahip olduğunu varsaymaktadır.

İdeal noktanın bulunabilmesi için V matrisindeki ağırlıklandırılmış kriter değerlerinin yani sütun değerlerinin en büyükleri (ilgili kriter minimizasyon ise en küçüğü) seçilir.

Negatif ideal nokta ise, V matrisindeki ağırlıklandırılmış değerlendirme faktörlerinin yani sütun değerlerinin en küçükleri (ilgili kriter maksimizasyon ise en büyüğü) seçilerek oluşturulur.

Gerek ideal gerekse negatif ideal nokta, alternatif sayısı yani n elemandan oluşmaktadır.

Aşama 5 : Ayırım Ölçülerinin Hesaplanması

TOPSIS yönteminde her bir alternatifin ideal ve negatif ideal noktadan sapmalarının bulunabilmesi için Euclidian Uzaklık fonksiyonundan yararlanılmaktadır. Buradan elde edilen karar noktalarına ilişkin sapma değerleri ise İdeal Ayırım (S_*^i) ve Negatif İdeal Ayırım (S_-^i) ölçüsü olarak adlandırılmaktadır. İdeal ayırım (S_*^i) ölçüsünün hesaplanması (3) formülünde, negatif ideal ayırım (S_-^i) ölçüsünün hesaplanması ise (4) formülünde gösterilmiştir.

$$S_*^i = \sqrt{\sum_{j=1}^m (v_j^* - v_j^i)^2} \quad (3)$$

$$S_-^i = \sqrt{\sum_{j=1}^m (v_j^i - v_j^-)^2} \quad (4)$$

Burada hesaplanacak S_*^i ve S_-^i sayısı doğal olarak alternatif sayısı kadar olacaktır.

Aşama 6 : İdeal Çözüme Göreli Yakınlığın Hesaplanması

Her bir alternatifin ideal çözüme göreli yakınlığının (C_*^i) hesaplanmasında ideal ve negatif ideal ayırım ölçülerinden yararlanır. Burada kullanılan ölçüt, negatif ideal ayırım ölçüsünün toplam ayırım ölçüsü içindeki payıdır. İdeal çözüme göreli yakınlık değerinin hesaplanması aşağıdaki formülde gösterilmiştir.

$$C_*^i = \frac{S_-^i}{S_-^i + S_*^i} \quad (5)$$

Burada C_*^i değeri $0 \leq C_*^i \leq 1$ aralığında değer alır ve $C_*^i = 1$ ilgili alternatifin ideal çözüme, $C_*^i = 0$ ilgili alternatifin negatif ideal çözüme mutlak yakınlığını gösterilir.

3.2.1. Topsis Metodunun Üstün ve Zayıf Yanları

TOPSIS metodu ELECTRE 'nin temeli üzerine geliştirilmiştir. Bu nedenle metotların ilk iki aşamalarının aynı olması şartı değildir. Hem ELECTRE hem de TOPSIS ölçeklerin karşılaştırılabilmesi için bir normalize karar matrisi temeli ile başlamaktadır. İkinci aşamada da her iki metot da tercihlerin ağırlık değerlerini karar vericilerden almaktadırlar. Üçüncü aşamada metotlar farklılaşmaktadır. Bir fark olarak ise ELECTRE alternatiflerden birinin diğerine olan üstünlüğüne göre elemeleri yaparken, TOPSIS ideal çözüme en yakın, negatif ideal çözüme en uzak alternatifin en iyi alternatif olduğunu göstermektedir.

TOPSIS 'in bir avantajı her bir alternatifin kendi değerini almasıdır. Bu nedenle, alternatifler arasındaki farklılıklar ve kriterlerin birbirlerinden ne kadar farklı oldukları konusunda iyi bir görüş elde edilebilmektedir [49].

TOPSIS yöntemi literatürde birçok alanda uygulanmıştır. Yurdakul ve İç [15] çalışmalarında AHP ve TOPSIS yöntemlerini birleştirerek üretimdeki performans kriterlerine göre değerlendirmeler yapmışlardır. Yurdakul ve İç başka bir çalışmalarında [51] otomotiv firmalarının performans analizini gerçekleştirmişlerdir. Tsai ve ark. [52] çalışmalarında ANP ve TOPSIS yöntemlerini birlikte kullanmışlardır. Shih ve ark. [53] TOPSIS yöntemini grup karar verme için geliştirmişlerdir.

4. BÖLÜM

UYGULAMA

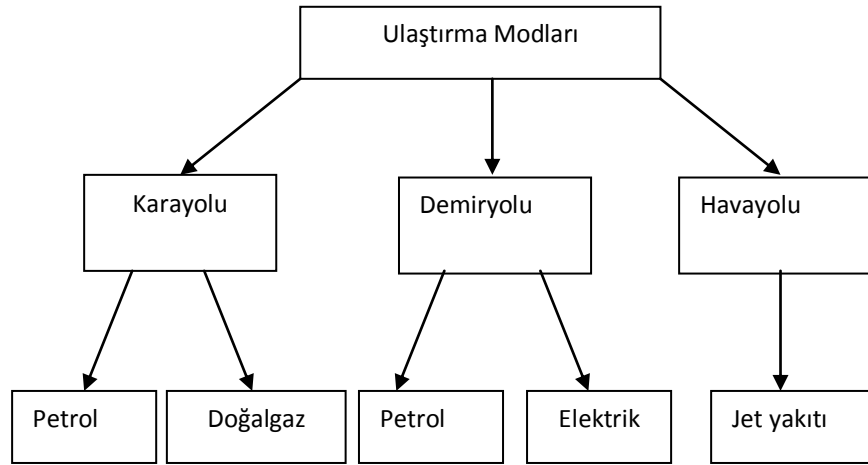
Ulaştırma araçlarında ve teknolojilerindeki gelişim insanların çağlar boyu yaşamını en derinden etkileyen unsurlardan biri olmuştur. Ulaştırma bir yandan insan ihtiyaç ve isteklerinin temininde en önemli araç oluştururken, diğer yandan da bu ihtiyaçların karşılanma maliyetleri içinde yerini almıştır. Toplam maliyetler içerisinde taşıma maliyetlerinin önemli bir yer tutması nedeniyle günümüzde taşımanın rekabetteki önemi artmıştır [54].

Türkiye’de yük taşımacılığında karayolu taşımasının %89.9, denizyolu taşımasının %2.96 demiryolu taşımasının ise %5.4 payı bulunmaktadır. Bu ülkemizdeki modlar arasındaki dengesizliğin vurgulanması açısından önemli bir göstergedir [54].

Ulaştırma sektörünün ülkemizdeki toplam üretim içindeki payı %10 ile %15 arasında değişmektedir [54].

Ulaştırma sektörünün dünyada ve ülkemizde önemi giderek artmaktadır. Bu sebeple tez çalışmasının konusu olarak taşıma alanı belirlenmiştir.

Bu tez çalışmasında, Türkiye’de kullanılan ulaştırma modları AHP ve TOPSIS yöntemleri kullanılarak değerlendirilmiştir. Problem, hiyerarşik bir yapıya sahip olması sebebiyle AHP yöntemi kullanılmıştır. Hiyerarşik yapı oluşturulmadan önce alternatifler ve kriterler belirlenmiştir. Ulaştırma modlarını genel olarak kullandıkları yakıt tipine göre Şekil 4.1’deki gibi sınıflamak mümkündür. Alternatifler ve kriterler Tablo 4.1 ve 4.2’de açıklanmıştır.



Şekil 4.1. Ulaştırma modlarının yakıt tipine göre genel sınıflandırması

Tablo 4.1. Alternatifler

Alternatif Adı	Açıklama
<i>Karayolu-Petrol</i>	Petrolün kullanıldığı karayolu ulaşımını ifade etmektedir.
<i>Karayolu-Doğalgaz</i>	Doğalgazın kullanıldığı karayolu ulaşımını ifade etmektedir.
<i>Demiryolu-Petrol</i>	Petrolün kullanıldığı demiryolu ulaşımını ifade etmektedir.
<i>Demiryolu-Elektrik</i>	Elektriğin kullanıldığı demiryolu ulaşımını ifade etmektedir.
<i>Havayolu</i>	Havayolu ulaşımını ifade etmektedir.

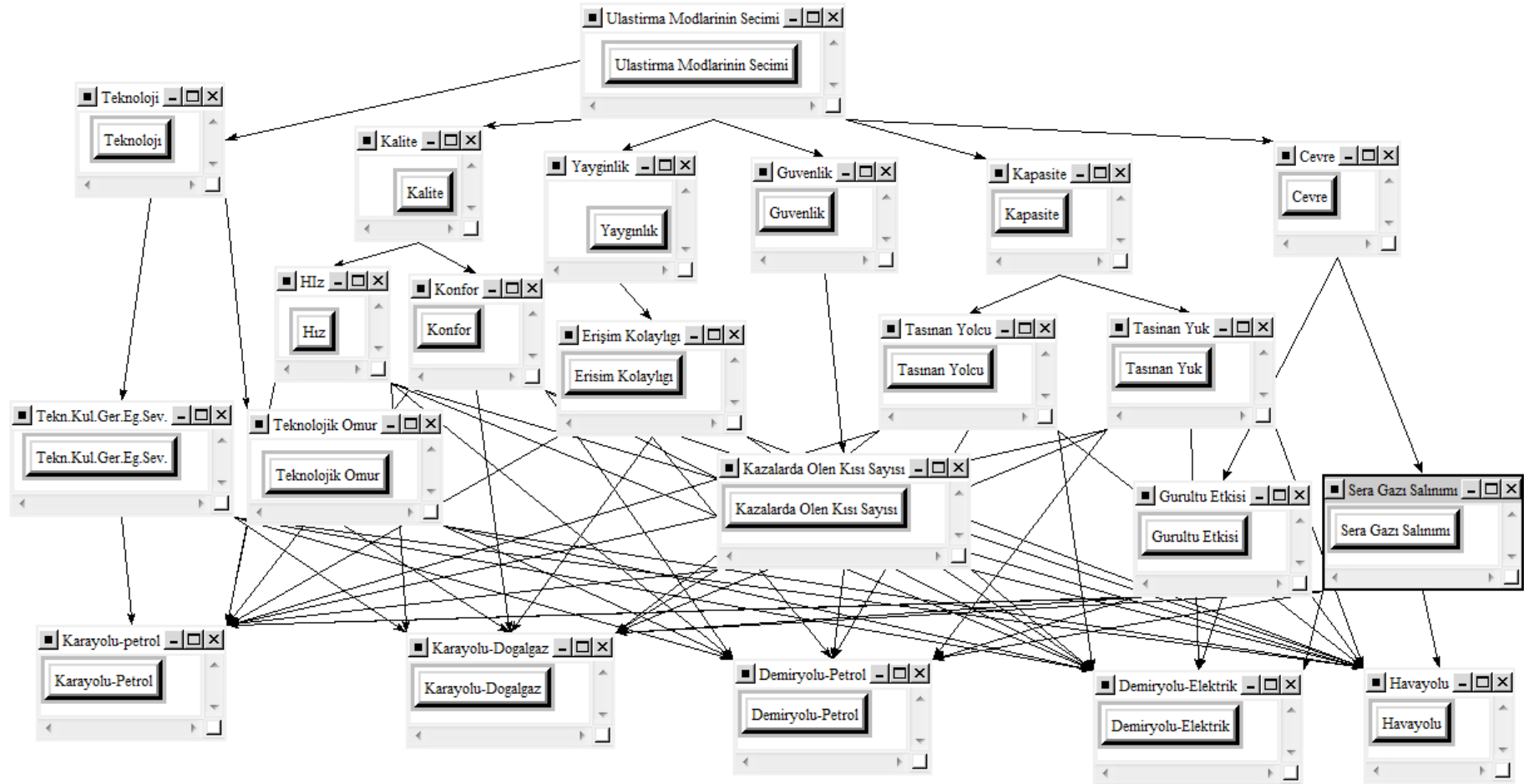
Tablo 4.2.Kriterler

Kriter Adı	Açıklama
<i>Teknoloji</i>	
Teknolojik ömür	Alternatifin teknolojik ömrünü ifade etmektedir.
Teknolojiyi kullanmak için gereken eğitim seviyesi	İlgili alternatifi kullanmak için gereken eğitimin seviyesini ifade eder.
<i>Güvenlik</i>	
Kazalarda ölen kişi sayısı	Kaza sonucu ölen kişi sayısını ifade eder. Ortalama veriler kullanılmıştır.
<i>Çevre</i>	
Sera gazı salınımı	Alternatifin çevreye yaydığı CO ₂ miktarını belirtir.
Gürültü etkisi	Alternatifin kullanımı sebebiyle oluşan gürültüyü ifade eden kriterdir.
<i>Yaygınlık</i>	
Erişim kolaylığı	Alternatife erişim imkanlarının miktarını ifade eder.
<i>Kalite</i>	
Hız	Alternatifin ulaşımdaki hızını ifade eder.
Konfor	Alternatifin ulaşım sırasında sağladığı konforu ifade eder.

<i>Kapasite</i>	
Taşınan yük	Alternatifin kullanımıyla taşınan yük miktarını ifade eder. Ortalama veriler kullanılmıştır.
Taşınan yolcu	Alternatifin kullanımıyla taşınan yolcu miktarını ifade eder. Ortalama veriler kullanılmıştır.

4.1.AHP Yöntemi Uygulaması

Yukarıda açıklanan alternatifler ve kriterler çerçevesinde Türkiye'deki ulaştırma modlarının değerlendirilebilmesi için oluşturulan model AHP yöntemi ile analiz edilmiştir. Bu analiz işleminde Super Decision paket programı kullanılmıştır. Şekil 4.2'de modelin hiyerarşik yapısı görülmektedir.



Şekil 4.2.AHP Modeli

Super Decision yazılımında yukarıdaki model oluşturulduktan sonra AHP 'nin ikinci aşaması olan kriterler arasında ikili karşılaştırma işlemine geçilmiştir. Bu aşamada, nitel kriterlerin karşılaştırması için 15 Mayıs 2009 tarihinde İstanbul'da düzenlenen Uluslararası Enerji ve Çevre Fuar ve Konferansına katılan akademisyen ve üst düzey bakanlık yöneticilerine bir anket uygulanmıştır. Uyguladığımız anket Ek 1 kısmında yer almaktadır. Toplam 15 adet anket uygulanmıştır. Saaty [35] tarafından da önerildiği gibi bu anket sonuçlarının geometrik ortalaması alınarak nitel kriterler için karşılaştırma değerleri belirlenmiştir. Nicel kriterler içinse elde edilen sayısal veriler Saaty ölçeğine dönüştürülmüştür. Aşağıda sırasıyla bütün nitel kriterler için ikili karşılaştırma değerleri verilmiştir.

Teknolojiyi kullanmak için gereken eğitim seviyesi nitel kriteri için alternatiflerin ikili karşılaştırma değerleri Şekil 4.3 'de görülmektedir.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1. Demiryolu-Elektrik	1	2	3	4	5	6	7	8	9	9.5	Demiryolu-Petrol
2. Demiryolu-Elektrik	0.5	1	2	3	4	5	6	7	8	8.5	Havayolu
3. Demiryolu-Elektrik	0.33	0.5	1	2	3	4	5	6	7	7.5	Karayolu-Dogalgaz
4. Demiryolu-Elektrik	0.25	0.33	0.5	1	2	3	4	5	6	6.5	Karayolu-petrol
5. Demiryolu-Petrol	0.14	0.2	0.33	0.5	1	2	3	4	5	5.5	Havayolu
6. Demiryolu-Petrol	0.1	0.14	0.2	0.33	0.5	1	2	3	4	4.5	Karayolu-Dogalgaz
7. Demiryolu-Petrol	0.07	0.1	0.14	0.2	0.33	0.5	1	2	3	3.5	Karayolu-petrol
8. Havayolu	0.05	0.07	0.1	0.14	0.2	0.33	0.5	1	2	2.5	Karayolu-Dogalgaz
9. Havayolu	0.03	0.05	0.07	0.1	0.14	0.2	0.33	0.5	1	1.5	Karayolu-petrol
10. Karayolu-Dogalgaz	0.02	0.03	0.05	0.07	0.1	0.14	0.2	0.33	0.5	1	Karayolu-petrol

Şekil 4.3. Tekn.Kul.Ger.Eg.Sev. Kriteri için Karşılaştırma Matrisi

Bu matris için tutarlılık indeksi 0.0896'dir. Tutarlılık indeksi 0.1 değerinin altında olduğundan matris tutarlıdır. Tutarlılık indeksi ne kadar küçük olursa karşılaştırma matrisi o kadar tutarlı olacaktır.

Teknolojik ömür nitel kirteri için alternatiflerin ikili karşılaştırma değerleri Şekil 4.4'de görülmektedir.

Cluster	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Comparison	Alternative		
1. Demiryolu-Elektrik	>=9,5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	>=9,5	No comp.	Demiryolu-Petrol
2. Demiryolu-Elektrik	>=9,5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	>=9,5	No comp.	Havayolu
3. Demiryolu-Elektrik	>=9,5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	>=9,5	No comp.	Karayolu-Dogalgaz
4. Demiryolu-Elektrik	>=9,5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	>=9,5	No comp.	Karayolu-petrol
5. Demiryolu-Petrol	>=9,5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	>=9,5	No comp.	Havayolu
6. Demiryolu-Petrol	>=9,5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	>=9,5	No comp.	Karayolu-Dogalgaz
7. Demiryolu-Petrol	>=9,5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	>=9,5	No comp.	Karayolu-petrol
8. Havayolu	>=9,5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	>=9,5	No comp.	Karayolu-Dogalgaz
9. Havayolu	>=9,5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	>=9,5	No comp.	Karayolu-petrol
10. Karayolu-Dogalgaz	>=9,5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	>=9,5	No comp.	Karayolu-petrol

Şekil 4.4. Teknolojik Ömür Kriteri için Karşılaştırma Matrisi

Teknolojik ömür kriteri için tutarlılık indeksi 0,0305 olarak hesaplanmıştır. Tutarlılık indeksi 0.1 değerinin altında olduğundan matris tutarlıdır.

Hız nitel kirteri için alternatiflerin ikili karşılaştırma değerleri Şekil 4.5'de görülmektedir.

Cluster comparisons for "Hız"																					
File Computations Misc Help																					
Graphic Verbal Matrix Questionnaire																					
Demiryolu-Elektrik is equally as important as Demiryolu-Petrol																					
1. Demiryolu-Elektrik	>=9,5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9,5	No comp.	Demiryolu-Petrol
2. Demiryolu-Elektrik	>=9,5	9	8	7	6	5	4	3	2		2	3	4	5	6	7	8	9	>=9,5	No comp.	Havayolu
3. Demiryolu-Elektrik	>=9,5	9	8	7	6	5	4	3	2		2	3	4	5	6	7	8	9	>=9,5	No comp.	Karayolu-Dogalgaz
4. Demiryolu-Elektrik	>=9,5	9	8	7	6	5	4	3	2		2	3	4	5	6	7	8	9	>=9,5	No comp.	Karayolu-petrol
5. Demiryolu-Petrol	>=9,5	9	8	7	6	5	4	3	2		2	3	4	5	6	7	8	9	>=9,5	No comp.	Havayolu
6. Demiryolu-Petrol	>=9,5	9	8	7	6	5	4	3	2		2	3	4	5	6	7	8	9	>=9,5	No comp.	Karayolu-Dogalgaz
7. Demiryolu-Petrol	>=9,5	9	8	7	6	5	4	3	2		2	3	4	5	6	7	8	9	>=9,5	No comp.	Karayolu-petrol
8. Havayolu	>=9,5	9	8	7	6	5	4	3	2		2	3	4	5	6	7	8	9	>=9,5	No comp.	Karayolu-Dogalgaz
9. Havayolu	>=9,5	9	8	7	6	5	4	3	2		2	3	4	5	6	7	8	9	>=9,5	No comp.	Karayolu-petrol
10. Karayolu-Dogalgaz	>=9,5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9,5	No comp.	Karayolu-petrol

Şekil 4.5. Hız Kriteri için Karşılaştırma Matrisi

Hız kriteri için tutarlılık indeksi 0,017 olarak hesaplanmıştır. Tutarlılık indeksi 0.1 değerinin altında olduğundan matris tutarlıdır.

Konfor nitel kriteri için alternatiflerin ikili karşılaştırma değerleri Şekil 4.6'de görülmektedir.

Cluster comparisons for "Konfor"																					
File Computations Misc Help																					
Graphic Verbal Matrix Questionnaire																					
Demiryolu-Elektrik is equally as important as Demiryolu-Petrol																					
1. Demiryolu-Elektrik	>=9,5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9,5	No comp.	Demiryolu-Petrol
2. Demiryolu-Elektrik	>=9,5	9	8	7	6	5	4	3	2		2	3	4	5	6	7	8	9	>=9,5	No comp.	Havayolu
3. Demiryolu-Elektrik	>=9,5	9	8	7	6	5	4	3	2		2	3	4	5	6	7	8	9	>=9,5	No comp.	Karayolu-Dogalgaz
4. Demiryolu-Elektrik	>=9,5	9	8	7	6	5	4	3	2		2	3	4	5	6	7	8	9	>=9,5	No comp.	Karayolu-petrol
5. Demiryolu-Petrol	>=9,5	9	8	7	6	5	4	3	2		2	3	4	5	6	7	8	9	>=9,5	No comp.	Havayolu
6. Demiryolu-Petrol	>=9,5	9	8	7	6	5	4	3	2		2	3	4	5	6	7	8	9	>=9,5	No comp.	Karayolu-Dogalgaz
7. Demiryolu-Petrol	>=9,5	9	8	7	6	5	4	3	2		2	3	4	5	6	7	8	9	>=9,5	No comp.	Karayolu-petrol
8. Havayolu	>=9,5	9	8	7	6	5	4	3	2		2	3	4	5	6	7	8	9	>=9,5	No comp.	Karayolu-Dogalgaz
9. Havayolu	>=9,5	9	8	7	6	5	4	3	2		2	3	4	5	6	7	8	9	>=9,5	No comp.	Karayolu-petrol
10. Karayolu-Dogalgaz	>=9,5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9,5	No comp.	Karayolu-petrol

Şekil 4.6. Konfor Kriteri için Karşılaştırma Matrisi

Konfor kriteri için tutarlılık indeksi 0,064 olarak hesaplanmıştır. Tutarlılık indeksi 0.1 değerinin altında olduğundan matris tutarlıdır ve kabul edilebilir.

Erişim kolaylığı nitel kriteri için alternatiflerin ikili karşılaştırma değerleri Şekil 4.7’de görülmektedir.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9					
1. Demiryolu-Elektrik	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2 3 4 5 6 7 8 9	>=9.5	No comp.	Demiryolu-Petrol
2. Demiryolu-Elektrik	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2		2 3 4 5 6 7 8 9	>=9.5	No comp.	Havayolu
3. Demiryolu-Elektrik	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2		2 3 4 5 6 7 8 9	>=9.5	No comp.	Karayolu-Dogalgaz
4. Demiryolu-Elektrik	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2		2 3 4 5 6 7 8 9	>=9.5	No comp.	Karayolu-petrol
5. Demiryolu-Petrol	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2		2 3 4 5 6 7 8 9	>=9.5	No comp.	Havayolu
6. Demiryolu-Petrol	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2		2 3 4 5 6 7 8 9	>=9.5	No comp.	Karayolu-Dogalgaz
7. Demiryolu-Petrol	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2		2 3 4 5 6 7 8 9	>=9.5	No comp.	Karayolu-petrol
8. Havayolu	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2		2 3 4 5 6 7 8 9	>=9.5	No comp.	Karayolu-Dogalgaz
9. Havayolu	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2		2 3 4 5 6 7 8 9	>=9.5	No comp.	Karayolu-petrol
10. Karayolu-Dogalgaz	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2 3 4 5 6 7 8 9	>=9.5	No comp.	Karayolu-petrol

Şekil 4.7. Erişim Kolaylığı Kriteri için Karşılaştırma Matrisi

Erişim kolaylığı kriteri için tutarlılık indeksi 0, 0173 olarak hesaplanmıştır. Tutarlılık indeksi 0.1 değerinin altında olduğundan matris tutarlıdır ve kabul edilebilir.

Kazalarda ölen kişi sayısı kriteri nitel bir kriterdir. Kazalarda ölen kişi sayıları 6 yıllık verinin ortalamasıdır. Bu veriler arasındaki farklara göre, en küçük farktan başlanarak veriler Tablo 3.1.’de gösterilen Saaty ölçeğine çevrilmiştir. Bu çevirme işlemi Tablo 4.3 ve Tablo 4.4 ‘de görülmektedir.

Tablo 4.3 Kazalarda Ölen Kişi Sayıları

	Ortalama
Karayolu-Doğalgaz	1647
Karayolu-Petrol	2687
Demiryolu-Elektrik	47
Demiryolu-Petrol	106
Havayolu	26

Tablo 4.4. Aralık Değerleri

Alt Değer	Üst Değer	Saaty Ölçeği
21	553	1
554	1085	3
1086	1618	5
1619	2150	7
2151	2682	9

Kazalarda ölen kişi sayısı için alternatiflerin ikili karşılaştırma değerleri Şekil 4.8'de görülmektedir.

The screenshot shows a software window titled "Cluster comparisons for 'Kazalarda Ölen Kişi Sayısı'". The window has a menu bar with "File", "Computations", "Misc", and "Help". Below the menu bar, there are tabs for "Graphic", "Verbal", "Matrix", and "Questionnaire". The main content area displays a pairwise comparison matrix for 10 criteria. The criteria are listed on the left, and the matrix cells contain numerical values from 1 to 9, representing the relative importance of one criterion over another. The diagonal cells are all 1. The matrix is symmetric. The criteria are: 1. Demiryolu-Elektrik, 2. Demiryolu-Elektrik, 3. Demiryolu-Elektrik, 4. Demiryolu-Elektrik, 5. Demiryolu-Petrol, 6. Demiryolu-Petrol, 7. Demiryolu-Petrol, 8. Havayolu, 9. Havayolu, 10. Karayolu-Dogalgaz. The matrix is as follows:

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
1. Demiryolu-Elektrik	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	Demiryolu-Petrol
2. Demiryolu-Elektrik	2	1	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	Havayolu
3. Demiryolu-Elektrik	3	3	1	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	Karayolu-Dogalgaz
4. Demiryolu-Elektrik	4	4	4	1	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	Karayolu-petrol
5. Demiryolu-Petrol	5	5	5	5	1	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	Havayolu
6. Demiryolu-Petrol	6	6	6	6	6	1	7	8	9	>=9.5	No comp.	Karayolu-Dogalgaz
7. Demiryolu-Petrol	7	7	7	7	7	7	1	8	9	>=9.5	No comp.	Karayolu-petrol
8. Havayolu	8	8	8	8	8	8	8	1	9	>=9.5	No comp.	Karayolu-Dogalgaz
9. Havayolu	9	9	9	9	9	9	9	9	1	>=9.5	No comp.	Karayolu-petrol
10. Karayolu-Dogalgaz	>=9.5	>=9.5	>=9.5	>=9.5	>=9.5	>=9.5	>=9.5	>=9.5	>=9.5	1	No comp.	Karayolu-petrol

Şekil 4.8. Kazalarda Ölen Kişi Sayısı Kriteri için Karşılaştırma Matrisi

Kazalarda ölen kişi sayısı kriteri için tutarlılık indeksi 0,0786 olarak hesaplanmıştır. Tutarlılık indeksi 0.1 değerinin altında olduğundan matris tutarlıdır.

Taşınan Yük kriteri nicel bir kriter olduğu için bu kriter için de Saaty ölçeğine çevirme işlemi uygulanmıştır. Tablo 4.5 ve Tablo 4.6 taşınan yük verilerini ve bu verilerin Saaty ölçeğine dönüştürülmüş halini göstermektedir.

Tablo 4.5. Taşınan Yük Miktarı

	Ortalama (ton kilometre)
Karayolu-Doğalgaz	60520.0
Karayolu-Petrol	98743.2
Demiryolu-Elektrik	2671.2
Demiryolu-Petrol	5945.5
Havayolu	258.2

Tablo 4.6. Aralık Değerleri

Alt Değer	Üst Değer	Saaty Ölçeği
2413	22110	1
22111	41807	3
41808	61504	5
61505	81201	7
81202	100898	9

Taşınan Yük kriteri için alternatiflerin ikili karşılaştırma değerleri Şekil 4.9'de görülmektedir.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10										
1. Demiryolu-Elektrik	>=9,5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9,5	No comp.	Demiryolu-Petrol
2. Demiryolu-Elektrik	>=9,5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9,5	No comp.	Havayolu
3. Demiryolu-Elektrik	>=9,5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9,5	No comp.	Karayolu-Doğalgaz
4. Demiryolu-Elektrik	>=9,5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9,5	No comp.	Karayolu-petrol
5. Demiryolu-Petrol	>=9,5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9,5	No comp.	Havayolu
6. Demiryolu-Petrol	>=9,5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9,5	No comp.	Karayolu-Doğalgaz
7. Demiryolu-Petrol	>=9,5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9,5	No comp.	Karayolu-petrol
8. Havayolu	>=9,5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9,5	No comp.	Karayolu-Doğalgaz
9. Havayolu	>=9,5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9,5	No comp.	Karayolu-petrol
10. Karayolu-Doğalgaz	>=9,5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9,5	No comp.	Karayolu-petrol

Şekil 4.9. Taşınan Yük Kriteri için Karşılaştırma Matrisi

Taşınan Yük kriteri için tutarlılık indeksi 0,0909 olarak bulunmuştur. Tutarlılık indeksi 0.1 değerinin altında olduğundan matris tutarlıdır.

Taşınan Yolcu kriteri nicel bir kriter olduğu için bu kriter için de Saaty ölçeğine çevirme işlemi uygulanmıştır. Tablo 4.7 ve Tablo 4.8 taşınan yolcu verilerini ve bu verilerin Saaty ölçeğine dönüştürülmüş halini göstermektedir.

Tablo 4.7. Taşınan Yolcu Sayısı

	Ortalama (yolcu kilometre)
Karayolu-Doğalgaz	65860.7
Karayolu-Petrol	107457.0
Demiryolu-Elektrik	1663.7
Demiryolu-Petrol	3703.0
Havayolu	2588.7

Tablo 4.8. Aralık Değerleri

Alt Değer	Üst Değer	Saaty Ölçeği
925	22084	1
22085	43242	3
43243	64401	5
64402	85560	7
85561	106718	9

Taşınan Yolcu kriteri için alternatiflerin ikili karşılaştırma değerleri Şekil 4.10'da görülmektedir.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1. Demiryolu-Elektrik	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5
2. Demiryolu-Elektrik		1	2	3	4	5	6	7	8	9
3. Demiryolu-Elektrik			1	2	3	4	5	6	7	8
4. Demiryolu-Elektrik				1	2	3	4	5	6	7
5. Demiryolu-Petrol					1	2	3	4	5	6
6. Demiryolu-Petrol						1	2	3	4	5
7. Demiryolu-Petrol							1	2	3	4
8. Havayolu								1	2	3
9. Havayolu									1	2
10. Karayolu-Doğalgaz										1

Şekil 4.10. Taşınan Yolcu Kriteri için Karşılaştırma Matrisi

Taşınan yolcu kriteri için tutarlılık indeksi 0.0242 olarak bulunmuştur.

Sera Gazı Salınımı kriteri için de Saaty ölçeğine çevirme işlemi uygulanmıştır. Tablo 4.9 ve Tablo 4.10 sera gazı salınım verilerini ve bu verilerin Saaty ölçeğine dönüştürülmüş halini göstermektedir.

Tablo 4.9.Sera Gazı Salınım Değerleri

	CO ₂ Ortalama
Karayolu Doğalgaz	1.2
Karayolu Petrol	31.0
Havayolu	6.2
Demiryolu Elektrik	0.2
Demiryolu Petrol	0.5

Tablo 4.10.Aralık Değerleri

Alt Değer	Üst Değer	Saaty Ölçeği
0.3	6.4	1
6.5	12.6	3
12.7	18.8	5
18.9	25.1	7
25.2	31.3	9

Sera gazı salınımı kriteri için alternatiflerin ikili karşılaştırma değerleri Şekil 4.11 'da görülmektedir.

Cluster comparisons for "Sera Gazı Salınımı"																					
File Computations Misc Help																					
Graphic Verbal Matrix Questionnaire																					
Demiryolu-Elektrik is equally as important as Demiryolu-Petrol																					
1. Demiryolu-Elektrik	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	Demiryolu-Petrol
2. Demiryolu-Elektrik	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	Havayolu
3. Demiryolu-Elektrik	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	Karayolu-Dogalgaz
4. Demiryolu-Elektrik	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	Karayolu-petrol
5. Demiryolu-Petrol	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	Havayolu
6. Demiryolu-Petrol	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	Karayolu-Dogalgaz
7. Demiryolu-Petrol	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	Karayolu-petrol
8. Havayolu	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	Karayolu-Dogalgaz
9. Havayolu	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	Karayolu-petrol
10. Karayolu-Dogalgaz	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	Karayolu-petrol

Şekil 4.11. Sera Gazı Salınımı Kriteri için Karşılaştırma Değerleri

Sera gazı salınımı için tutarlılık indeksi 0.079 olarak bulunmuştur.

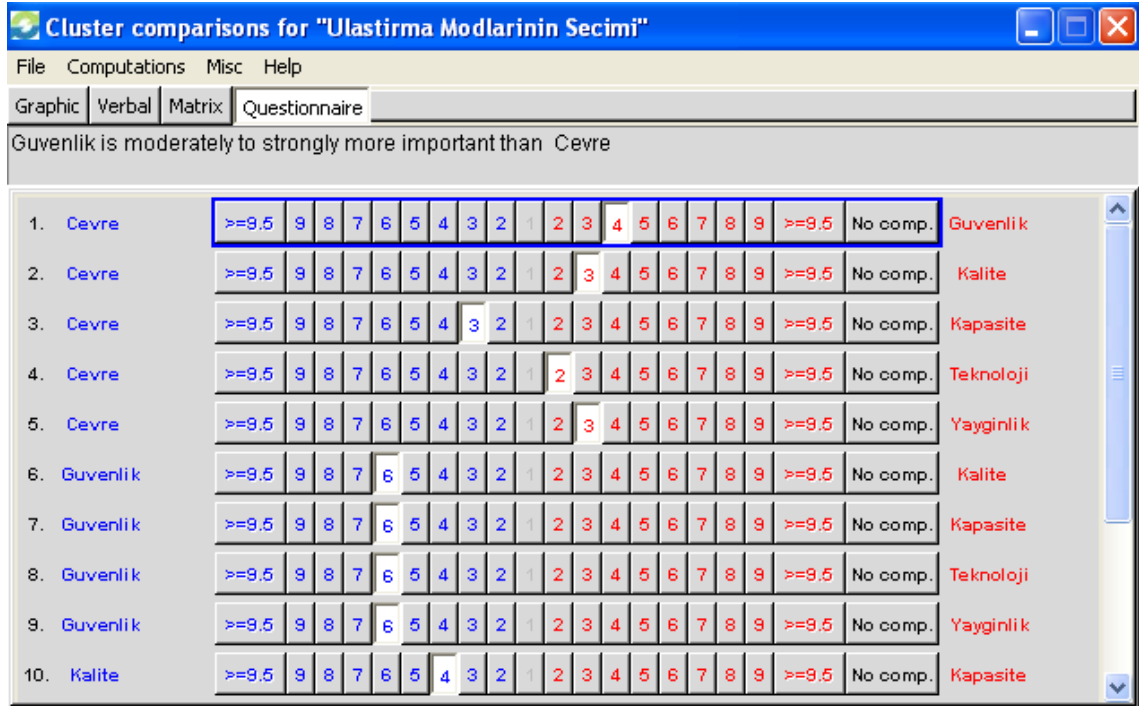
Gürültü etkisi kriteri nitel bir kriterdir ve anket sonuçlarının geometric ortalaması alınarak karşılaştırma matrisi oluşturulmuştur. Şekil 4.12 bu karşılaştırma değerlerini göstermektedir.

Cluster comparisons for "Gurultu Etkisi"																					
File Computations Misc Help																					
Graphic Verbal Matrix Questionnaire																					
Karayolu-Dogalgaz is equally to moderately more important than Karayolu-petrol																					
1. Demiryolu-Elektrik	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	Demiryolu-Petrol
2. Demiryolu-Elektrik	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	Havayolu
3. Demiryolu-Elektrik	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	Karayolu-Dogalgaz
4. Demiryolu-Elektrik	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	Karayolu-petrol
5. Demiryolu-Petrol	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	Havayolu
6. Demiryolu-Petrol	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	Karayolu-Dogalgaz
7. Demiryolu-Petrol	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	Karayolu-petrol
8. Havayolu	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	Karayolu-Dogalgaz
9. Havayolu	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	Karayolu-petrol
10. Karayolu-Dogalgaz	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	Karayolu-petrol

Şekil 4.12.Gürültü Etkisi Kriteri için Karşılaştırma Değerleri

Bu kriter için tutarlılık indeksi 0.0205 olarak hesaplanmıştır.

Alt kriterlerin ikili karşılaştırma değerleri Saaty ölçeğine göre belirlendikten sonra ana kriterlerin kendi aralarında ikili karşılaştırma işlemine geçilmiştir. Bu karşılaştırma değerleri Şekil 4.13'de görülmektedir.



Şekil 4.13. Ana Kriterlerin Karşılaştırma Değerleri

Bu değerleri için tutarlılık indeksi 0.0610 olarak hesaplanmıştır.

Tüm bu değerlendirmeler neticesinde, AHP yönteminin sonucuna göre ağırlıklar ve alternatiflerin öncelik sırası şu şekilde olmuştur.

Tablo 4.11. Alternatiflerin öncelik sıralaması

Alternatif	Öncelik Değeri
Havayolu	0.27
Demiryolu-Elektrik	0.21
Demiryolu-Petrol	0.21
Karayolu-Doğalgaz	0.14
Karayolu-Petrol	0.13

4.1.1.Duyarlılık Analizi Çalışması

AHP yöntemi ile alternatiflerin öncelik sıraları belirlendikten sonra fayda/maliyet oranı için duyarlılık analizi yapılmıştır.

Bu analize göre havayolu alternatifinin fayda /maliyet oranına göre yine ilk sırada yer alması için, havayolu alternatifinin maliyeti 1 birimken, diğer alternatiflerin maliyet değişimleri aşağıdaki tabloda görülmektedir.

Tablo 4.12.Maliyet Değişim Tablosu

Alternatif	Fayda Değeri	Maliyet değişimi	Fayda/Maliyet
Havayolu	0.27	1	0.27
Demiryolu-Elektrik	0.21	>0.77	<0.27
Demiryolu-Petrol	0.21	>0.77	<0.27
Karayolu-Doğalgaz	0.14	>0.51	<0.27
Karayolu-Petrol	0.13	>0.48	<0.27

Bu tabloya göre; havayolu alternatifinin maliyeti 1 birim olarak alınırsa, Demiryolu-elektrik alternatifinin maliyeti 0.77 birimden fazla olduğu sürece havayolu alternatifi yine birinci sırada yer almaya devam edecektir. Aynı şekilde karayolu-doğalgaz alternatifinin maliyeti 0.51 birimden çok olana kadar havayolu kriteri yine birinci sırada yer alacaktır. Diğer alternatifler için de benzer değerlendirmeler yapmak mümkündür.

Demiryolu- elektrik alternatifi için yapılan duyarlılık analizine göre sonuçlar şöyledir;

Tablo 4. 13. Maliyet Değişim Tablosu

Alternatif	Fayda Değeri	Maliyet değişimi	Fayda/Maliyet
Havayolu	0.27	>1.3	<0.21
Demiryolu-Elektrik	0.21	1	
Demiryolu-Petrol	0.21	>1	<0.21
Karayolu-Doğalgaz	0.14	>0.7	<0.21
Karayolu-Petrol	0.13	>0.6	<0.21

Tablo 4.13'e göre demiryolu-elektrik alternatifinin maliyeti bir birim olarak kabul edildiğinde, havayolu alternatifinin maliyeti 1.3 birimin üstünde olmadığı sürece demiryolu-elektrik alternatifi yine birinci sıradaki alternatif olacaktır. Demiryolu –petrol alternatifi için de aynı değerler geçerli olacaktır. Çünkü demiryolu-petrol ve demiryolu-elektrik alternatiflerinin ağırlıkları eşit çıkmıştır.

Karayolu-doğalgaz alternatifi için yapılan duyarlılık analizi Tablo 4.14'de görülmektedir.

Tablo 4.14. Maliyet Değişim Tablosu

Alternatif	Fayda Değeri	Maliyet değişimi	Fayda/Maliyet
Havayolu	0.27	>1.9	<0.14
Demiryolu-Elektrik	0.21	>1.5	<0.14
Demiryolu-Petrol	0.21	>1.5	<0.14
Karayolu-Doğalgaz	0.14	1	0.14
Karayolu-Petrol	0.13	>0.9	<0.14

Karayolu-doğalgaz alternatifi için maliyetin bir birim olduğu düşünülürse, havayolu alternatifinin maliyeti 1.9 birimden çok olmadığı sürece karayolu-doğalgaz alternatifi yine ilk sırada yer alır.

Karayolu-petrol alternatifi için yapılan duyarlılık analizi Tablo 4.15'de görülmektedir.

Tablo 4.15. Maliyet Değişim Tablosu

Alternatif	Fayda Değeri	Maliyet değişimi	Fayda/Maliyet
Havayolu	0.27	>2.1	<0.13
Demiryolu-Elektrik	0.21	>1.6	<0.13
Demiryolu-Petrol	0.21	>1.6	<0.13
Karayolu-Doğalgaz	0.14	>1.1	<0.13
Karayolu-Petrol	0.13	1	0.13

Bu tabloya göre karayolu- petrol alternatifinin maliyetini bir birim olarak kabul edersek, demiryolu-elektrik alternatifinin maliyeti 1.61'den büyük olduğu sürece karayolu-petrol alternatifi ilk sırada yer alır.

4.2.TOPSIS Uygulaması

Çalışmanın ikinci aşamasında, AHP yönteminde elde edilen ağırlıklar TOPSIS yöntemine girdi olarak verilmiş ve iki yöntemin sonuçları karşılaştırılmıştır. TOPSIS yönteminin adımları Bölüm 3'de açıklanmıştır. Bu adımlar çerçevesinde öncelikle karar matrisi oluşturulması gerekmektedir. Karar matrisi oluşturulurken AHP'deki her bir kriter için bulunan öncelik değerleri kullanılmıştır. Karar matrisi Tablo 4.16'da verilmiştir.

Tablo 4.16.Karar Matrisi

	TEKNOLOJİ		GÜVENLİK	ÇEVRE		YAYGINLIK	KALİTE		KAPASİTE	
	TÖ	TKGE	KÖS	SGS	GE	EK	H	K	TYÜK	TYOLCU
Karayolu-Doğalgaz	0.46	0.084	0.203	0.42	0.207	1.00	0.43	0.31	0.51	0.50
Karayolu-Petrol	0.46	0.084	0.097	0.085	0.13	1.00	0.43	0.31	1.00	1.00
Demiryolu-Elektrik	0.11	0.227	0.98	1.00	0.49	0.28	0.12	0.07	0.11	0.084
Demiryolu-Petrol	0.11	0.195	0.98	0.98	0.48	0.28	0.12	0.07	0	0.089
Havayolu	1.00	1.00	1.00	0.58	1.00	0.12	1.00	1.00	0.059	0.144

TOPSIS’de ikinci aşama karar matrisinin normalize edilmesidir. Normalize edilmiş karar matrisi Tablo 4.17 ‘de verilmiştir.

Tablo 4.17.Normalize edilmiş karar matrisi

	TEKNOLOJİ		GÜVENLİK	ÇEVRE		YAYGINLIK	KALİTE		KAPASİTE	
	TÖ	TKGE	KÖS	SGS	GE	EK	H	K	TYÜK	TYOLCU
Karayolu-Doğalgaz	0.382	0.080	0.118	0.267	0.167	0.679	0.364	0.283	0.445	0.441
Karayolu-Petrol	0.382	0.080	0.056	0.054	0.105	0.679	0.364	0.283	0.873	0.882
Demiryolu-Elektrik	0.091	0.216	0.569	0.635	0.396	0.190	0.101	0.064	0.096	0.074
Demiryolu-Petrol	0.091	0.186	0.569	0.622	0.388	0.190	0.101	0.064	0.169	0.078
Havayolu	0.831	0.952	0.580	0.368	0.808	0.081	0.846	0.912	0.051	0.127

Tablo 4.18. Ağırlıklandırılmış normalize karar matrisi

	TEKNOLOJİ		GÜVENLİK	ÇEVRE		YAYGINLIK	KALİTE		KAPASİTE	
	TÖ	TKGE	KÖS	SGS	GE	EK	H	K	TYÜK	TYOLCU
w=	0.048	0.048	0.51	0.049	0.025	0.13	0.046	0.095	0.022	0.022
Karayolu-Doğalgaz	0.018	0.004	0.060	0.013	0.004	0.088	0.017	0.027	0.010	0.010
Karayolu-Petrol	0.018	0.004	0.029	0.003	0.003	0.088	0.017	0.027	0.019	0.019
Demiryolu-Elektrik	0.004	0.010	0.290	0.031	0.010	0.025	0.005	0.006	0.002	0.002
Demiryolu-Petrol	0.004	0.009	0.290	0.030	0.010	0.025	0.005	0.006	0.004	0.002
Havayolu	0.040	0.046	0.296	0.018	0.020	0.011	0.039	0.087	0.001	0.003

Tablo 4.19.En yüksek ve En düşük değerleri gösteren Ağırlıklandırılmış kriter matrisi

	TEKNOLOJİ		GÜVENLİK	ÇEVRE		YAYGINLIK	KALİTE		KAPASİTE	
	TÖ	TKGE	KÖS	SGS	GE	EK	H	K	TYÜK	TYOLCU
	w=	0.048	0.048	0.51	0.049	0.025	0.13	0.046	0.095	0.022
Karayolu-Doğalgaz	0.018	0.004	0.060	0.013	0.004	0.088	0.017	0.027	0.010	0.009
Karayolu-Petrol	0.018	0.003 ^k	0.02 ^k	0.002 ^k	0.002 ^k	0.088 ^b	0.016	0.026	0.019 ^b	0.019 ^b
Demiryolu-Elektrik	0.004	0.01	0.28	0.031 ^b	0.009	0.024	0.004	0.006	0.002	0.001 ^k
Demiryolu-Petrol	0.004 ^k	0.008	0.28	0.03	0.009	0.024	0.004 ^k	0.006 ^k	0.003 ^k	0.001
Havayolu	0.04 ^b	0.04 ^b	0.29 ^b	0.018	0.02 ^b	0.01 ^k	0.039 ^b	0.087 ^b	0.001	0.003

b: En büyük değer

k: En küçük değer

 v_j^* : (0.04, 0.04, 0.29, 0.031, 0.02, 0.088, 0.039, 0.087, 0.019, 0.019)

 v_j^- : (0.004, 0.003, 0.02, 0.002, 0.002, 0.01, 0.004, 0.006, 0.001, 0.001)

S_*^i ve S_-^i değerleri TOPSIS yönteminin aşamalarında anlatıldığı şekilde hesaplanır ve aşağıdaki tablo elde edilmiş olur. Bu tabloda S_* pozitif ideal çözümden uzaklığı ifade ederken S_- negatif ideal çözümden uzaklığı ifade etmektedir.

Tablo 4.20. Pozitif ideal ve Negatif İdeale Uzaklıklar

	S_-^i	S_*^i
Karayolu-Doğalgaz	0.004	0.031
Karayolu-Petrol	0.0037	0.0394
Demiryolu-Elektrik	0.0347	0.0075
Demiryolu-Petrol	0.0347	0.0075
Havayolu	0.0413	0.0034

$C_*^i = \frac{S_-^i}{S_-^i + S_*^i}$ formülüne göre belirlenen C_*^i değerleri aşağıdaki tabloda görülmektedir.

Tablo 4.21. İdeal Çözüme Göreli Yakınlıklar, C_*^i

	İdeal Çözüme Göreli Yakınlık, C_*^i
Karayolu-Doğalgaz	0.113
Karayolu-Petrol	0.085
Demiryolu-Elektrik	0.822
Demiryolu-Petrol	0.821
Havayolu	0.923

TOPSIS yöntemi sonucuna göre ideal çözüme göreli yakınlık değerleri açısından en büyük değere sahip olan havayolu alternatifi bu yöntem için de en iyi alternatif olmuştur.

4.2.1.Duyarlılık Analizi

TOPSİS yönteminde belirlenen alternatif öncelikleri için fayda/maliyet analizi yapılmıştır. Öncelikle havayolu alternatifinin maliyetini bir birim olarak kabul edersek; demiryolu elektrik alternatifinin maliyeti 0.89 birimden büyükse havayolu alternatifi yine birinci sıradaki alternatif olacaktır. Diğer alternatifler için gereken minimum maliyet değerleri Tablo 4.22’de görülmektedir.

Tablo 4.22. Maliyet Değişim Tablosu (Havayolu)

	Fayda	Maliyet	Fayda/Maliyet
Havayolu	0.924	1	0.924
Demiryolu-Elektrik	0.823	>0.890	<0.924
Demiryolu-Petrol	0.822	>0.890	<0.924
Karayolu-Doğalgaz	0.113	>0.123	<0.924
Karayolu-Petrol	0.085	>0.092	<0.924

Demiryolu-elektrik alternatifi için maliyet bir birim olarak kabul edilir ve duyarlılık analizi yapılırsa;

Tablo 4.23. Maliyet Değişim Tablosu (Demiryolu-Elektrik)

	Fayda	Maliyet	Fayda/Maliyet
Havayolu	0.924	>1.123	<0.823
Demiryolu-Elektrik	0.823	1	0.823
Demiryolu-Petrol	0.822	>0.999	<0.823
Karayolu-Doğalgaz	0.113	>0.138	<0.823
Karayolu-Petrol	0.085	>0.104	<0.823

Demiryolu-elektrik alternatifinin maliyeti bir birimken karayolu-doğalgaz alternatifinin 0,13’den küçük olması durumunda karayolu-doğalgaz alternatifi ilk sıraya yerleşir.Fakat 0,13’den büyük olduğu sürece demiryolu-elektrik alternatifi ilk sıradaki alternatif olarak kalır.

Demiryolu-petrol alternatifi için yapılan duyarlılık analizi Tablo 4.24’de görülmektedir.

Tablo 4.24. Maliyet Değişim Tablosu (Demiryolu-Petrol)

	Fayda	Maliyet	Fayda/Maliyet
Havayolu	0.924	>1.124	<0.822
Demiryolu-Elektrik	0.823	>1,001	<0.822
Demiryolu-Petrol	0.822	1	0.822
Karayolu-Doğalgaz	0.113	>0.138	<0.822
Karayolu-Petrol	0.085	>0.104	<0.822

Demiryolu-petrol alternatifinin birinci sırada olabilmesi için diğer alternatiflerin Tablo 4.24'deki maliyet değerlerinden daha büyük olması gerekmektedir.

Karayolu-doğalgaz alternatifi için yapılan duyarlılık analizi sonuçları Tablo 4.25'de görülmektedir.

Tablo 4.25. Maliyet Değişim Tablosu (Karayolu-Doğalgaz)

	Fayda	Maliyet	Fayda/Maliyet
Havayolu	0.924	>8.162	<0.113
Demiryolu-Elektrik	0.823	>7.267	<0.113
Demiryolu-Petrol	0.822	>7.261	<0.113
Karayolu-Doğalgaz	0.113	1	0.113
Karayolu-Petrol	0.085	>0.754	<0.113

Diğer alternatifler Tablo 4.25'deki maliyet değerlerinden daha büyük maliyetlere sahip oldukları sürece karayolu-doğalgaz alternatifi birinci sırada yer alır.

Karayolu-petrol alternatifi için yapılan duyarlılık analizi Tablo 4.26 'da görülmektedir.

Tablo 4.26. Maliyet Değişim Tablosu (Karayolu-Petrol)

	Fayda	Maliyet	Fayda/Maliyet
Havayolu	0.924	>10.819	<0.085
Demiryolu-Elektrik	0.823	>9.632	<0.085
Demiryolu-Petrol	0.822	>9.625	<0.085
Karayolu-Doğalgaz	0.113	>1.326	<0.085
Karayolu-Petrol	0.085	1	0.085

Diğer alternatifler Tablo 4.26'daki maliyet değerlerinden daha büyük maliyetlere sahip oldukları sürece karayolu-petrol alternatifi birinci sırada yer alır.

4.3.Farklı Senaryo Analizleri

Bu çalışmada elde edilen veriler farklı senaryolar altında da analiz edilebilir. Bu senaryolardan bir tanesi mevsimsel etki olarak düşünülebilir. Özellikle yaz aylarında havayolu taşımacılığı yoğun şekilde kullanılmaktadır. Dolayısıyla havayolu ulaştırma modunun kapasite kriter değeri yükselecektir. Bu değişimin model üzerindeki etkisi havayolu ulaşımının görece ağırlığının artması olarak gözlenecektir. Ancak mevcut verilerimize göre havayolu ulaşımı zaten fayda değeri en yüksek olan alternatif olduğu için bu senaryo altında da sonuç değişmeyecektir. Bir diğer senaryo ise uzun mesafe ve kısa mesafe yolculuklarının analizi olabilir. Havayolu, uzun mesafe taşımacılık şekli olduğu için buraya kadar yapılan analizler aslında uzun mesafede ulaştırma modlarının karşılaştırılması içindir. Bundan sonraki analizlerde havayolu alternatifi çıkartılarak kısa mesafede kullanılan demiryolu ve karayolu alternatifleri değerlendirilmiştir. Buna göre Tablo 4.27' de verilen sonuçlar elde edilmiştir. AHP yöntemi sonucuna göre demiryolu-elektrik alternatifi en iyi alternatif olarak bulunmuştur.

Tablo 4.27. Alternatiflerin öncelik sıralaması (Senaryo 2: Kısa mesafe taşımacılığı)

Alternatif	Öncelik Değeri
Demiryolu-Elektrik	0.33
Demiryolu-Petrol	0.25
Karayolu-Doğalgaz	0.22
Karayolu-Petrol	0.20

Aynı şekilde, probleme TOPSIS yöntemi uygulanmış ve sonuçta demiryolu- elektrik alternatifi en iyi alternatif olarak bulunmuştur. TOPSIS sonuçları Tablo 4.28'de verilmiştir.

Tablo 4.28. İdeal Çözümüne Göreli Yakınlıklar, C* (Senaryo 2: Kısa mesafe taşımacılığı)

	İdeal Çözümüne Göreli Yakınlık, C*
Karayolu-Doğalgaz	0.17
Karayolu-Petrol	0.12
Demiryolu-Elektrik	1.25
Demiryolu-Petrol	0.96

5. BÖLÜM

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada Türkiye’de yoğun olarak kullanılan ulaştırma modları çok kriterli karar verme yöntemleri ile analiz edilmiştir. Analizler için AHP ve TOPSIS yöntemleri bir arada kullanılmıştır. Bu iki yöntemin seçilmesinin ana sebebi problemin hiyerarşik yapısı olmuştur. Öncelikle hiyerarşik yapıya uygun olan AHP yöntemi uygulanmış ve alternatifler değerlendirilmiştir. Daha sonra, AHP yönteminde elde edilen ağırlıklar TOPSIS yönteminde kullanılmıştır. Her iki yöntemin sonuçları karşılaştırılmıştır. Fayda değerlerine göre havayolu alternatifi her iki yöntemde de ilk sırada yer almıştır. Ancak bu değerler fayda/maliyet oranına bakılarak tekrar analiz edilmiştir. Maliyet değişimlerinin alternatiflerin sıralamasını nasıl değiştireceği duyarlılık analizi ile incelenmiştir.

Ulaştırma Sektörü tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de giderek önem kazanan bir sektör halini almıştır. Bu sektör yeni yatırımlarla gelişmesini artan bir ivmeyle sürdürmektedir. Bu çalışma sırasında ulaştırma modlarının kullanımları arasında büyük dengesizlikler olduğu gözlenmiştir. Farklı kriterler bazında yaptığımız analizlere

göre fayda değeri en yüksek olan ulaştırma modları havayolu ve demiryolu olarak belirlenmiştir. Ancak ÷lkemizde şu anda en çok kullanılan ulaştırma modu karayoludur. Ulaştırma yatırımlarının çok önemli bir bölümü de karayollarına yapılmaktadır. Fayda / maliyet analizlerimize göre aslında en öncelikli ulaştırma modu demiryolu olarak göze çarpmaktadır. Demiryolu taşımacılığına gereken önem verilirse, çevreye zararlı ve kaza oranları daha yüksek olan karayolu taşımacılığının yerini zamanla alabilir. Çalışmada ayrıca iki senaryo analiz edilmiştir. Bunlardan birincisinde mevsimsel etki incelenmiştir. Özellikle yaz aylarında havayolu taşımacılığı artış göstermektedir. Ancak bu etki zaten en yüksek fayda değerine sahip olan havayolu alternatifinin öncelik sırasını değiştirmemektedir. İkinci senaryoda uzun ve kısa mesafe taşımacılığı değerlendirilmiştir. Uzun mesafe taşımacılığında havayolu en yüksek fayda değerini alırken kısa mesafe taşımacılığında demiryolu-elektrik alternatifi en yüksek fayda değerine sahip olmuştur. Bunlara ilave olarak başka senaryoların değerlendirilmesi de yapılabilir. Örneğin, GSMH'deki değişmeler de alternatiflerin sıralamasını etkileyebilir. Özellikle kriz dönemlerinde maliyeti düşük taşımacılık araçlarının önemi artacaktır. Böyle özel durumlar analiz edilmelidir. Ayrıca Avrupa Birliğinin hukuki ve siyasi politikaları, enerji politikaları da alternatiflerimizin sıralamasını değiştirebilir. Özellikle sera gazı salınımı, güvenlik ve teknoloji kriterleri açısından yeni kısıtlar probleme eklenmesi gerekebilir.

İleri araştırma konusu olarak yeni nesil taşıt teknolojilerinin değerlendirilmesi yapılabilir. şu anda yaygın olarak kullanılan taşıma araçlarının yanı sıra, henüz gelişme aşamasında olan ve çok yaygın olarak kullanılmayan yeni teknolojiler mevcuttur. Fakat her yeni teknolojinin bazı avantajları ve dezavantajları bulunmaktadır. Bu yeni teknolojilerden bazılarını şu şekilde sıralayabiliriz.

- Biodizel yakıt ile çalışan araçlar
- Elektrik ile çalışan araçlar
- Hidrojen ile çalışan araçlar
- Hibrid (Dizel/Elektrik) çalışan araçlar
- Ethanol ile çalışan araçlar

Bu yeni teknolojilerin de teknolojik, ekonomik, çevresel ve güvenlik faktörü ele alınarak değerlendirilmesi teknolojilerin karşılaştırılarak gelecek uygulama potansiyellerinin belirlenmesinde önemli olacaktır.

Diğer bir ileri araştırma konusu ise belirli bir güzergah için bütçe kısıtı altında en uygun ulaştırma modunun belirlenmesi olabilir.

KAYNAKÇA

- [1] V. Belton ve T.J. Stewart, Multiple Criteria Decision Analysis. Kluwer Academic Publishers, 2002.
- [2] S.D. Pohekar, M.Ramachandran, Application of Multi-criteria Decision Making to Sustainable Energy Planning-A Review. Renewable & Sustainable Energy Reviews, Vol.8, No. 4, 365-381, 2004.
- [3] M. Doumpos ve C. Zopounidis, Multicriteria Classification and Sorting Methods: A Literature Review. European Journal of Operational Research, Vol. 138, 229-246, 2002.
- [4] V.T. Reventos, U.C. Garcia, Clus DM-A Multiple Criteria Decision Making Method for Heterogeneous Data Sets, PhD Thesis, Universitat Politecnica de Catalunya, 2006.
- [5] Keeney, R, H. Raiffa, Decisions with Multiple Objectives, Wiley New York, 1976.
- [6] S.D. Pohekar, M.Ramachandran, Application of Multi-criteria Decision making to Sustainable Energy Planning-A Review, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 8, 365-381, 2004.
- [7] N. Çitli, Bulanık Çok Kriterli Karar Verme, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2006.
- [8] M. Doumpos, C. Zopounidis, Multicriteria Classification and Sorting Methods : A Literature Review, European Journal of Operational Research 138, 229-246, 2002.
- [9] M. Doumpos, C. Zopounidis, Multi-criteria decision aid in financial decision making: methodologies and literature review, Journal of Multi Criteria Decision Analysis, Volume 11 Issue 4-5, Pages 167 – 186, 2002.
- [10] D.Diakoulaki, C.Zopounidis, G.Mavrotas ve M.Doumpos ,The Use of A Preference Disaggregation Method in Energy Analysis and Policy Making, Energy 24(2), 157-166, 1997.

- [11] K. D. Patlitzianas, K. Ntotas, H. Doukas, J. Psarras, Assessing The Renewable Energy Producers' Environment in EU Accession Member States, *Energy Conversion and Management*, 48 890–897, 2007.
- [12] B. H. Ulutaş, Determination of the Appropriate Energy Policy for Turkey, *Energy* 30 1146–1161, 2005.
- [13] Y.I. Topcu, F. Ulengin, Energy for the Future: An Integrated Decision aid for the Case of Turkey, *Energy* 29 , 137–154, 2004.
- [14] A.Sözen, M. Nalbant, Situation of Turkey's Energy Indicators Among the EU Member States, *Energy Policy* 35, 4993–5002, 2007.
- [15] M.Dağdeviren, Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi ile Personel Seçimi ve Bir Uygulama, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der, Gazi Univ.Cilt 22, No 4, 791-799, 2007.*
- [16] K.Bulut, B.Soylu, Öğretim Üyelerinin İş yükü Seviyelerini Ölçmek İçin Bir Analitik Ağ Modeli ve Mühendislik Fakültesinde Bir Uygulama, 13.Ulusal Ergonomi Kongresi, Kayseri, 2007.
- [17] B. Sağlam, F. S. Salman, S. Sayın, M. Turkay , A Mixed-Integer Programming Approach to the Clustering Problem with an Application in Customer Segmentation, *European Journal of Operational Research* 173, 866-879, 2006.
- [18] E.E. Karsak and E. Tolga, Fuzzy multi-criteria decision-making procedure for evaluating advanced manufacturing system investments, *International Journal of Production Economics* 69, pp. 49–64, 2001.
- [19] Chun-Chin Wei, Chen-Fu Chien and Mao-Jiun J. Wang, An AHP-based approach to ERP system selection, *International Journal of Production Economics*, Volume 96, Issue 1, 18, Pages 47–62, 2005.
- [20] B. Soylu, Çok Kriterli ABC stok sınıflandırma problem için Tchebycheff ölçüsü temelli bir yaklaşım. Yöneylem Araştırması ve Endüstri Mühendisliği, 28. Ulusal Kongresi Bildiriler Kitabı, Galatasaray Üniversitesi, İstanbul, 2008.

- [21] V.Ediger, Ü.Çamdalı, Energy and Exergy Efficiencies in TurkishTransportationsector, 1988–2004, Energy Policy 35, 1238–1244, 2007.
- [22] B. Vannieuwenhuysse, L. Gelders, L. Pintelon, An Online Decision Support System for Transportation Mode Choice, Logistics Information Management,16,2,125–133, 2003.
- [23] S. Yedla, R. M. Shrestha, Multi-Criteria Approach for the Selection of Alternative Options for Environmentally Sustainable Transport System in Delhi, Transportation Research Part A377, 17–729, 2003.
- [24] Enerji Sektöründe Sera Gazı Azaltımı Çalışma Grubu, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Enerji İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara, 2006.
- [25] M. Punakivi, V. Hinkka, Selection Criteria of Transportation Mode: A Case Study in Four Finnish Industry Sectors, Transport Reviews, Volume 26, Issue 2, pages 207 – 219, 2006.
- [26] F. Ülengin, Ş.Ö. Şahin, Y.İ. Topçu, E. Aktaş ve Ö. Kabak, An integrated transportation decision support system for transportation policy decisions: The case of Turkey. Transportation Research Part A, Vol.41, No.1, 80-97, 2007.
- [27] H. Gerçek, B Karpak ve T. Kılınçaslan , A multiple criteria approach for the evaluation of the rail transit networks in İstanbul. Transportation, Vol.31, 203-228 2004.
- [28] E.E. Karsak ve S.S. Ahiska, Fuzzy multi-criteria decision making approach for transport projects evaluation in İstanbul. Lecture Notes in Computer Science, Vol. 3483, 301-311, 2005.
- [29] I. De Vlieger, E. Cornelis, L. Pelkmans, L. Int Panis, S. Verbeiren, S. Proost ve J. Knockaert Sustainability assessment of technologies and modes in the transport sector in Belgium. Intermediary Scientific Report. Contact CP/67/431, 2003.

- [30] S. Yedla ve S.M. Shrestha, Multi-criteria approach for the selection of alternative options for the environmentally sustainable transport system in Delhi, *Transportation Research Part A*, Vol. 37, 717-729, 2007.
- [31] U.R. Tuzkaya ve S. Önüt, A fuzzy analytic network process based approach to transportation-mode selection between Turkey and Germany: A case study. *Information Sciences*, Vol.178, 3133-3146, 2008.
- [32] T.C. Lirn, H.A. Thanopoulou, M.J. Beynon ve A.K.C. Beresford, An application of AHP on transshipment port selection: A global perspective. *Maritime Economics and Logistics*, Vol. 6, 70-91, 2004.
- [33] A. Rushton, J. Oxley ve P. Croucher, *The handbook of logistics and distribution management*. 2nd edn (London: Kogan Page), 2001.
- [34] A. Tudela, N. Akiki ve R. Cisternas, Comparing the output of cost benefit and multi-criteria analysis, An application to urban transport investments, *Transportation Research Part A*, Vol.40, 414-423, 2006.
- [35] T.L. Saaty. How to make a decision: The Analytic Hierarchy Process. *European Journal of Operational Research*, 48, 9-26, 1990.
- [36] T.L. Saaty, *Decision making with dependence and feedback: The Analytic Network Process*. RWS Publications, Pittsburgh, A.B.D.1996.
- [37] Charnes, A., Cooper, W.W. ve Rhodes, E., "Measuring The Efficiency of Decision Making Units", *European Journal of Operational Research*, 2, 429-444, 1978.
- [38] B. Roy ve D. Bouyssou, *Aide Multicritere a la decision: Methods et Cas*. Economica, Paris, 1993.
- [39] J.P. Brans ve P. Vincke, A preference ranking optimization method – The PROMETHEE method for multiple criteria decision making. *Management Science*, Vol.31, No.6, 647-656, 1985.

- [40] B. Roy, Classement et choix en presence de points de vue multiples (la method Electre), *Rev Fr Inf Resch Oper* 2, 57-75, 1968.
- [41] Jacquet-Lagréze E. and Siskos Y. Assessing a set of utility functions for multicriteria decision making: The UTA method. *European Journal of Operational Research* , 10; 151-164, 1982.
- [42] Doumpos M. and Zopounidis C, A multicriteria classification approach based on pairwise comparisons, *European Journal of Operational Research*, 158, 378-389, 2004.
- [43] Doumpos, M. and Zopounidis, C, Regularized estimation for preference disaggregation in multiple criteria decision making, *Computational Optimization and Applications*, vol. 38, no. 1, 61–80, 2007.
- [44] Doumpos, M. and Zopounidis, C. A multicriteria classification approach based on pairwise comparisons, *European Journal of Operational Research*, vol. 158, no. 2, 378–389, 2004.
- [45] Marichal J.L. Meyer P. and Roubens M. Sorting multi-attribute alternatives: The TOMASO method. *Computers and Operations Research*, 32(4), 861-877, 2005.
- [46] M.Dağdeviren, D.Akay, M. Kurt, İş Değerlendirme Sürecinde Analitik Hiyerarşi Prosesi ve Uygulaması, *Gazi Üniv. Müh.Mim. Fak. Der. Cilt 19, No 2*, 131–138, 2004.
- [47] E. Triantaphyllou, Using the Analytic Hierarchy Process for Decision Making in Engineering Applications: Some Challenges, *Inter'l Journal of Industrial Engineering: Applications and Practice*, Vol. 2, No. 1, pp. 35–44, 1995.
- [48] A. Kuruüzüm, N. Atsan, Analitik Hiyerarşi Yöntemi ve İşletmecilik Alanında Uygulamaları, *Akdeniz İ.İ.B.F. Dergisi* (1), 83–105, 2001.
- [49] Ö.Özkan, Personel Seçiminde Karar Verme Yöntemlerinin İncelenmesi: Ahp, Electre ve Topsis Örneği, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir 2007.
- [50] N. Çitli, Bulanık Çok Kriterli Karar Verme, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2006.

- [51] M. Yurdakul, Y. T. İç, Türk Otomotiv Firmalarının Performans Ölçümü ve Analizine Yönelik TOPSIS Yöntemini Kullanan Bir Örnek Çalışma, Gazi Üni. Müh. Mim. Fak. Der. Gazi Univ. Cilt 18, No 1, 1–18, 2003.
- [52] H.Y.Tsai, B.H.Huang, A.S.Wang, Combining ANP and TOPSIS Concepts for Evaluation the Performance of Property-Liability Insurance Companies, Journal of Social Sciences 4 (1), 56–61, 2008.
- [53] H.S. Shih, H.J. Shyr, E. S. Lee, An Extension of TOPSIS for Group Decision Making, Mathematical and Computer Modelling 45, 801–813, 2007.
- [54] Kurumsal Yapısı, Yasal Çerçevesi ve Göstergeleriyle Ulaştırma Sektörü, Yayın no: (Tüsiad-/2007-02/431), Şubat 2007.
- [55] C.L. Hwang, K. Yoon, Multiple Attribute Decision Making, Springer-Verlag, Berlin, 1981.