

**T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KARAYOLU PROJELERİNİN FAYDA-MALİYET  
ANALİZLERİ İÇİN RİSK EKLENTİLİ YENİ BİR  
BULANIK BİLİŞSEL HARİTA MODELİ**

**DOKTORA TEZİ**

**Muhammed Emin Cihangir BAĞDATLI**

**Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ**  
**Enstitü Bilim Dalı : ULAŞTIRMA**  
**Tez Danışmanı : Doç. Dr. Rifat AKBIYIKLI**

**Ekim 2016**

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KARAYOLU PROJELERİNİN FAYDA-MALİYET  
ANALİZLERİ İÇİN RİSK EKLENTİLİ YENİ BİR  
BULANIK BİLİŞSEL HARİTA MODELİ**

**DOKTORA TEZİ**

**Muhammed Emin Cihangir BAĞDATLI**

**Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ**

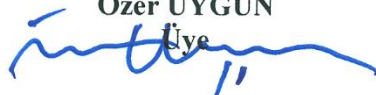
**Enstitü Bilim Dalı : ULAŞTIRMA**

Bu tez 21 / 10 /2016 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği/oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

  
Yrd.Doç.Dr.  
Osman AYTEKİN  
Jüri Başkanı

  
Doç.Dr.  
Rifat AKBIYIKLI  
Üye

  
Yrd.Doç.Dr.  
İrfan PAMUK  
Üye

  
Yrd.Doç.Dr.  
Özer UYGUN  
Üye

  
Yrd.Doç.Dr.  
Sercan SERİN  
Üye

## BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Muhammed Emin Cihangir BAĞDATLI

21.10.2016

## TEŞEKKÜR

Doktora eğitimim boyunca gerek akademik gerekse iş hayatındaki bilgi ve tecrübelerini benden esirgemeyen, doktora çalışmamın her aşamasında samimiyetle yardım eden, ilgilenen, teşvik eden, moral veren, hocam olmasının ötesinde bir arkadaş gibi yakın davranan, bitmek bilmeyen enerjisiyle sürekli öğrenen ve bildiklerini esirgmeden paylaşan, gerçek bir bilim insanı olan kıymetli danışman hocam Doç. Dr. Rıfat AKBIYIKLI'ya yürekten teşekkürlerimi sunarım.

Yürüttüğüm bu çalışma boyunca tez izleme toplantı ve sunumlarında değerli katkı ve desteklerinden dolayı Yrd. Doç. Dr. İrfan PAMUK ve Yrd. Doç. Dr. Özer UYGUN hocalarıma teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca bu çalışmada geliştirdiğim modelin her aşamasını titizlikle inceleyen ve yapmış olduğu kritik ve katkılarla beni yönlendiren Belçika Hasselt Üniversitesi öğretim üyesi Dr. Elpiniki I. PAPAGEORGIOU'ya teşekkürlerimi sunarım.

Akademik hayata adım attığım ilk günden bugüne kadar akademik tüm bilgi ve tecrübelerini benimle içtenlikle paylaşan, yol gösteren, destek veren, akademisyenlikte taşıdığı heyecanı bana da aktaran değerli öğretim üyesi ağabeyim Yrd. Doç. Dr. M. Cüneyt BAĞDATLI'ya en derin muhabbet ve şükranlarımı sunarım.

Maddi ve manevi desteğiyle her zaman arkamızda duran kıymetli anneme, sevgisiyle bana güç veren biricik eşime ve neşe kaynağım afacan iki oğluma yürek dolusu muhabbet ve şükranlarımı sunuyorum.

## İÇİNDEKİLER

|                                                           |     |
|-----------------------------------------------------------|-----|
| TEŞEKKÜR .....                                            | i   |
| İÇİNDEKİLER .....                                         | ii  |
| SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ .....                     | v   |
| ŞEKİLLER LİSTESİ .....                                    | vi  |
| TABLolar LİSTESİ .....                                    | vii |
| ÖZET .....                                                | ix  |
| SUMMARY .....                                             | x   |
| BÖLÜM 1.                                                  |     |
| GİRİŞ .....                                               | 1   |
| 1.1. Amaç ve Kapsam.....                                  | 3   |
| BÖLÜM 2.                                                  |     |
| KAYNAK ARAŞTIRMASI .....                                  | 5   |
| 2.1. Karayolları Fayda Maliyet Analizi Uygulamaları.....  | 5   |
| 2.2. Bulanık Bilişsel Harita Uygulamaları.....            | 9   |
| BÖLÜM 3.                                                  |     |
| GENEL BİLGİLER.....                                       | 13  |
| 3.1. Karayolu Projeleri Fayda Maliyet Analizi.....        | 13  |
| 3.1.1. Maliyetler.....                                    | 15  |
| 3.1.2. Faydalar.....                                      | 16  |
| 3.1.3. İskonto oranı (güncelleştirme oranı).....          | 18  |
| 3.1.4. Fayda maliyet analizinin matematiksel teorisi..... | 21  |
| 3.1.5. Fayda maliyet analizinin zayıf yönleri.....        | 23  |

|                                                                         |    |
|-------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.1.6. Fayda maliyet analizinin geliştirilmesi.....                     | 24 |
| 3.2. Risk Analizi.....                                                  | 25 |
| 3.2.1. Risk.....                                                        | 25 |
| 3.2.2. Belirsizlik.....                                                 | 26 |
| 3.2.3. FMA’da geleneksel risk analiz yaklaşımları.....                  | 26 |
| 3.2.3.1. Duyarlılık analizi.....                                        | 27 |
| 3.2.3.2. Olasılık analizi.....                                          | 28 |
| <br>BÖLÜM 4.                                                            |    |
| METODOLOJİ.....                                                         | 30 |
| 4.1. Bulanık Bilişsel Harita.....                                       | 31 |
| 4.1.1. Bulanık bilişsel harita oluşturma metotları.....                 | 33 |
| 4.1.1.1. Sayısal ağırlıkların atanması .....                            | 34 |
| 4.1.1.2. Dilsel değişkenlerin atanması .....                            | 34 |
| 4.1.1.3. Farklı bulanık bilişsel haritaların sentezlenmesi.....         | 37 |
| <br>BÖLÜM 5.                                                            |    |
| ARAŞTIRMA BULGULARI .....                                               | 39 |
| 5.1. Geliştirilen Fayda Maliyet Analiz Modeli.....                      | 39 |
| 5.1.1. Bulanık bilişsel harita tabanlı fayda maliyet analiz modeli..... | 40 |
| 5.1.1.1. Ağırlıkların belirlenmesi.....                                 | 41 |
| 5.1.1.2. RİSK parametresi.....                                          | 46 |
| 5.1.2. Geliştirilen modelin simülasyonu.....                            | 52 |
| <br>BÖLÜM 6.                                                            |    |
| DURUM ÇALIŞMASI.....                                                    | 59 |
| 6.1. Projenin Fayda Maliyet Analizi.....                                | 62 |
| 6.1.1. Yolu yapanla ilgili maliyetler.....                              | 62 |
| 6.1.1.1. Yapım maliyetleri.....                                         | 62 |
| 6.1.1.2. Bakım ve işletme maliyetleri.....                              | 65 |
| 6.1.2. Yol kullanıcı maliyetleri.....                                   | 67 |

|                                                    |     |
|----------------------------------------------------|-----|
| 6.1.2.1. Taşıt işletme maliyetleri.....            | 68  |
| 6.1.2.2. Kaza maliyetleri.....                     | 76  |
| 6.1.2.3. Zaman değeri.....                         | 79  |
| 6.1.3. Fayda maliyet analiz hesabı.....            | 85  |
| 6.1.4. Risk analizi uygulaması.....                | 85  |
| 6.1.4.1. Duyarlılık analizi uygulaması.....        | 86  |
| 6.1.4.2. Monte Carlo simülasyonu uygulaması.....   | 87  |
| 6.1.5. Geliştirilen BBH modelinin uygulanması..... | 92  |
| BÖLÜM 7.                                           |     |
| TARTIŞMA VE SONUÇ.....                             | 96  |
| KAYNAKLAR.....                                     | 100 |
| EKLER .....                                        | 107 |
| ÖZGEÇMİŞ .....                                     | 108 |

## SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

|          |                                              |
|----------|----------------------------------------------|
| BBH      | : Bulanık Bilişsel Harita                    |
| BİM      | : Bakım ve İşletme Maliyetleri               |
| $C_i$    | : Kavramsal değişken                         |
| DA       | : Duyarlılık Analizi                         |
| D100     | : 100 no'lu Devlet Karayolu                  |
| EYM      | : Eşdeğer Yıllık Maliyet                     |
| F/M      | : Fayda Maliyet oranı                        |
| FMA      | : Fayda Maliyet Analizi                      |
| İKO      | : İç Karlılık Oranı                          |
| KGM      | : Karayolları Genel Müdürlüğü                |
| KM       | : Kaza Maliyetleri                           |
| KMO      | : Kuzey Marmara Otoyolu                      |
| MCS      | : Monte Carlo Simülasyonu                    |
| NŞD      | : Net Şimdiki Değer                          |
| TEM      | : Trans European Motorways                   |
| TİM      | : Taşıt İşletme Maliyetleri                  |
| $w_{ij}$ | : Kavramsal değişkenler arası ağırlık değeri |
| YM       | : Yapım Maliyetleri                          |
| ZD       | : Zaman Değeri                               |

## ŞEKİLLER LİSTESİ

|                                                                                        |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 3.1. Karayolu projelerine ait bir nakit akış diyagramı.....                      | 21 |
| Şekil 4.1. Basit bir bulanık bilişsel harita.....                                      | 32 |
| Şekil 4.2. Bulanık çıkarsama ile ağırlıkların elde edilmesi.....                       | 35 |
| Şekil 4.3. Dilsel değişkenlerine ait etki değerleri.....                               | 35 |
| Şekil 4.4. Bulanık toplam operatörü.....                                               | 36 |
| Şekil 5.1. Geliştirilen modele ait çerçeve.....                                        | 40 |
| Şekil 5.2. Geliştirilen modelin bulanık bilişsel haritası.....                         | 41 |
| Şekil 5.3. Önerilen modeldeki kavramsal değişkenlerin bulanıklaştırılması.....         | 42 |
| Şekil 5.4. Kavramsal değişkenler arasındaki etkilerin bulanıklaştırılması.....         | 43 |
| Şekil 5.5. Uzman görüşlerinin bulanık operatörü ile toplanması ve durulaştırma....     | 45 |
| Şekil 5.6. FMA'nın ağırlık değerleri hesaplanmış bulanık bilişsel haritası.....        | 46 |
| Şekil 5.7. Risk olasılığı, risk şiddeti ve risk etki değerine ait bulanık fonksiyonlar | 48 |
| Şekil 5.8. TİM risklerinin toplanması ve toplam risk etki değerinin bulunması.....     | 49 |
| Şekil 5.9. RİSK parametresinin fayda maliyet analiz modelindeki ağırlık değerleri      | 51 |
| Şekil 5.10. Simülasyon yazılımına ait pseudo kodu.....                                 | 52 |
| Şekil 6.1. KMO ile TEM, D100 arasına inşa edilecek yeni yol.....                       | 59 |
| Şekil 6.2. Duyarlılık analizi sonucu elde edilen örümcek ağı diyagramı.....            | 87 |
| Şekil 6.3. Olasılık dağılımlarına ait bir gösterim.....                                | 89 |
| Şekil 6.4. F/M oranındaki kümülatif değişimin trendi.....                              | 91 |
| Şekil 6.5. BBH'da iterasyon adımları ve simülasyon süreci.....                         | 93 |

## TABLolar LİSTESİ

|                                                                                |    |
|--------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tablo 3.1. KGM'nin karayolları FMA'da kullandığı parametreler .....            | 15 |
| Tablo 5.1. Önerilen modelde BBH kural tabanına dair bir örnek gösterim.....    | 44 |
| Tablo 5.2. Kaza maliyetlerine ilişkin risklerin tanımlanması.....              | 47 |
| Tablo 5.3. Bulanık risk kural tabanı.....                                      | 48 |
| Tablo 5.4. Geliştirilen modelin ağırlık matrisi.....                           | 51 |
| Tablo 5.5. Karayolu fizibilite çalışmaları.....                                | 53 |
| Tablo 5.6. Geliştirilen BBH modeli ve geleneksel FMA'nın sonuçları.....        | 57 |
| Tablo 6.1. İnşa maliyet özeti.....                                             | 63 |
| Tablo 6.2. Bakım ve işletme maliyetleri.....                                   | 66 |
| Tablo 6.3. Mevcut yollara ait teknik bilgiler.....                             | 67 |
| Tablo 6.4. OSB'lerin eski yol üzerinden D100'e olan uzaklığı.....              | 69 |
| Tablo 6.5. OSB'lerin Bağlantı yolu üzerinden D100'e ve KMO'ya olan uzaklığı... | 70 |
| Tablo 6.6. Eski yoldan elde edilen taşıt işletme maliyetleri.....              | 71 |
| Tablo 6.7. D100 karayolundan elde edilen taşıt işletme maliyetleri.....        | 73 |
| Tablo 6.8. TEM karayolundan elde edilen taşıt işletme maliyetleri.....         | 74 |
| Tablo 6.9. KMO karayolundan elde edilen taşıt işletme maliyetleri.....         | 75 |
| Tablo 6.10. Eski yoldaki geçmiş kaza verileri.....                             | 77 |
| Tablo 6.11. Kazalarda yaralanan sayısına ait regresyon tahmin modeli.....      | 77 |
| Tablo 6.12. Maddi hasarlı kaza sayısına ait regresyon tahmin modeli.....       | 78 |
| Tablo 6.13. Kaza maliyetleri.....                                              | 79 |
| Tablo 6.14. Eski yol zaman değeri.....                                         | 81 |
| Tablo 6.15. D100 zaman değeri.....                                             | 82 |
| Tablo 6.16. TEM zaman değeri.....                                              | 83 |
| Tablo 6.17. KMO zaman değeri.....                                              | 84 |
| Tablo 6.18. Üçgensel dağılımlar için belirlenen değerler.....                  | 89 |
| Tablo 6.19. Projeye ait ekonomik fizibilite sonuçları.....                     | 92 |

|                                                         |    |
|---------------------------------------------------------|----|
| Tablo 6.20. Geleneksel F/M ve BBH modeli sonuçları..... | 94 |
|---------------------------------------------------------|----|



## ÖZET

Anahtar kelimeler: Bulanık bilişsel harita, fayda maliyet analizi, karar verme, karayolu projeleri, ulaştırma projeleri ekonomik analizi, risk analizi

Fayda Maliyet Analizi (FMA) ülkemizde ve dünyada ulaştırma projelerinin ekonomik değerlendirmelerinde yaygın olarak kullanılan önemli bir karar verme tekniğidir. Ancak bu metot çok sayıda verinin analiz edilmesini gerektirmektedir. Bu sebeple doğasında yer alan ve sonuçları olumsuz yönde etkileyen belirsizlik etkisiyle başa çıkmaya ihtiyaç duymaktadır. Bir karayolu projesi veri eksikliği, gelecek yıllara ait tahminler, ekonomik belirsizlik vb. nedenlerden dolayı yüksek belirsizlik etkisine sahiptir. Geleneksel yaklaşımda söz konusu problemi çözmek için Duyarlılık Analizine (DA) dayalı bir risk analizi uygulanmaktadır. Ancak bu yaklaşım iki temel sorunu sunmaktadır: bunlardan ilki tüm belirsizlik etkisinin analiz edilmesinde ortaya çıkan zaman kaybı; diğeri de elde edilen sonuçların yorumlanabilme zorluğudur. Bu sorunları aşmak için araştırmacılar son yıllarda FMA'daki belirsizlikle başa çıkmada etkili bir yaklaşım olan Monte Carlo Simülasyonu (MCS) üzerinde araştırmalarını sürdürmektedirler. Literatürdeki çalışmalar bu metodun ulaştırma projelerinin ekonomik risk analizlerinde elverişliliğini ortaya koymaktadır. Ancak analiz sonucunun doğruluğu, bir modelde kullanılacak olan değişkenlere atanacak olasılık dağılımlarının doğruluğuna dayanmaktadır. Böylelikle MCS'deki bu zaman alıcı süreç risk analizi için önemli bir deavantaj oluşturmaktadır.

Bu çalışma, karayolu projeleri FMA'daki belirsizlik etkisiyle kolay ve kullanıcı dostu bir yaklaşımla mücadele edebilen yeni bir yaklaşımın kullanılabilirliğini ve faydasını araştırmayı amaçlamıştır. Bu amaca ulaşmak için karmaşık problemleri modelleyebilmesindeki kolaylığından dolayı Bulanık Bilişsel Harita (BBH) metodu kullanılmıştır. Bu metotla, bir RİSK parametresi kullanılarak karayolu projelerindeki fayda ve maliyetleri değerlendirebilen bir BBH modeli geliştirilmiştir. Modelde geleneksel FMA'da bulunan değişkenler kullanılmış ve bir de modele RİSK parametresi dâhil edilmiştir. Geliştirilen modelin kullanılabilirliği ülkemizdeki ulaştırma otoritelerinden elde edilen gerçek birkaç fizibilite çalışması yardımıyla araştırılmıştır. Gerçekleştirilen simülasyonlar sonrasında BBH modelinden elde edilen karar verme sonuçlarının gerçek fizibilite çalışmalarına ait karar verme sonuçları ile örtüştüğü görülmüştür. Bunun yanı sıra bir durum çalışması yapılarak geliştirilen BBH modelinin performansı ortaya konulmuş ve ulaştırma projelerinin FMA'da geleneksel risk analizleri olan DA ve MCS yaklaşımlarıyla karşılaştırılarak BBH yaklaşımının avantajları sunulmuştur. Yapılan karşılaştırmalar sonucunda BBH yaklaşımının FMA'nın risk analizi için ümit verici olduğu ortaya konulmuştur.

# **A NEW RISK-ADDED FUZZY COGNITIVE MAP MODEL FOR COST-BENEFIT ANALYSIS OF HIGHWAY PROJECTS**

## **SUMMARY**

**Keywords:** Fuzzy cognitive map, cost benefit analysis, decision making, highway projects, transport economic appraisal, risk analysis

Cost Benefit Analysis (CBA) is a method widely used in all over the world for decision making focused mainly on economical evaluation of the transportation projects. However, this method requires the analysis of a relatively large amount of data and also needs to handle the inherent uncertainty which affects the results negatively. In a highway project there are high uncertainties due to lack of data, future predictions, economic indeterminacy etc. In conventional approach, a risk analysis, which is based primarily on a Sensitivity Analysis (SA) is conducted in order to solve the problems mentioned above. However, this approach presents two main drawbacks (as follows); the first one refers to time consumption in analyzing all the influences of uncertainty and the second one is related to the difficulty on interpretability of the results. To cope with these drawbacks, researchers have studied Monte Carlo Simulation (MCS) which has recently been considered as an effective approach in tackling uncertainty of CBA. Previous studies have already shown its usefulness in this field; however the accuracy of analysis results is based on providing proper probability distributions assigned to variables in a model. Thus, the time consuming process is a significant limitation for MCS.

This study aims to investigate usability and utility of a new approach in highways CBA in order to cope with uncertainty easily and more user-friendly. To achieve the above-cited goal, the technique of Fuzzy Cognitive Map (FCM) was utilized for decision making due to its popularity in modeling complex problems. Thus, a FCM model which is capable of evaluating benefit and costs of highway projects was developed using RISK parameter. The concepts of CBA took part in the construction of the developed model. In addition, a RISK parameter was considered for the model. As was observed, the final decisions of the developed model concurred with the final decisions of the feasibility studies. The usability of the developed FCM model was investigated through a number of real feasibility studies obtained from Turkish transportation authorities. In addition, a case study was conducted in order to validate the performance of the developed model. In consequence of comparisons with results of SA and MCS known as conventional risk analysis for CBA, it is obtained promising results for validation of developed FCM model.

## BÖLÜM 1. GİRİŞ

Gelişmekte olan ülkeler kısıtlı olan kaynaklarını etkin bir biçimde değerlendirmek amacıyla yatırım kararlarını doğru vermek zorundadırlar. Ulaştırma projeleri yüksek maliyetli yatırımlardır. Bu nedenle, doğru karar verme süreci için ulaştırma yatırım değerlendirmelerinde özel yaklaşımların ve yöntemlerin kullanılmasına ihtiyaç duyulmaktadır [1].

Karayolu yatırımlarının değerlendirilmesinde kullanılan çok çeşitli ekonomik analiz yöntemleri vardır. Bütün bu yöntemlerin esası yol yatırımı ile ilgili girdi ve çıktıların yani gelir ve giderlerin güncelleştirilmesi hesabına dayanır [2]. Dünyada ve ülkemizde karayolu ekonomik değerlendirmelerinde kullanılan en yaygın yöntem Fayda Maliyet Analizidir. (FMA) Bu yöntemin dışında Net Şimdiki Değer (NŞD), Eşdeğer Yıllık Maliyet (EYM) ve İç Karlılık Oranı (İKO) gibi yöntemler de bulunmaktadır. Karayollarının ekonomik değerlendirme sürecinde uygun göstergenin seçimi analizin büyüklüğüne, içeriğine ve aynı zamanda bazı parametrelerin belirsizliğine bağlıdır. Örneğin gelişmekte olan ülkelerde faiz oranları yüksek ve belirsiz olduğundan İKO formatı tercih edilir. Diğer yandan projenin ömrünün belirsiz olduğu hallerde EYM tercih edilmektedir [3].

Şimdiye kadar ülkemizde özellikle de altyapı projeleri için yapılan ekonomik analizlerinin başında FMA yöntemi gelmektedir. Bu yöntem, kamu ekonomisinde yatırım projelerini etkinlik yönünden değerlendirmeye yarayan, topluma en yüksek faydayı sağlayacak olan projelerin seçiminde veya öncelik sırasının tespit edilmesinde yararlanılan bir tekniktir [2]. Ayrıca FMA, vermiş olduğu sonuç itibarıyla küçük değerler ortaya çıkarması ve proje gerçekleştiğinde ortaya çıkacak toplumsal faydanın oransal olarak sonucunu karar vericiye sunması nedeniyle daha

kullanılırdır. Bu bağlamda karayolu gibi büyük çaplı altyapı projeleri için önemli bir ekonomik analizdir [4].

FMA yapısı itibariyle içinde pek çok veri gerektiren bir yöntemdir. Bununla birlikte bu yöntem uzun bir değerlendirme periyodu içerisinde geleceğe dair tahminleri içerisinde barındırmaktadır. Analizin doğru sonuçlar vermesi söz konusu bu verilerin doğru ve eksiksiz elde edilmesi ve tahminlerin doğru yapılması ile mümkün olmaktadır. Ancak sosyal ve ekonomik yapısında belirsizlikler bulunan ülkelerde geleceğe dair tahminlerin doğru kestirilmesi mümkün olmamaktadır. Bunun yanısıra gerekli verilerin sistematik bir şekilde toplanmaması ve istatistiklere yansıtılmaması da eksik ve yanlış verilerle ekonomik analizin gerçekleştirilmesine neden olmaktadır. Bunların neticesi olarak yüksek maliyetli yatırımlar olan ulaştırma projelerinin yapılabilirlik değerlendirmeleri yanlış karar verme riski ile karşı karşıya kalmaktadır. Bu problemin çözümüne ilişkin ekonomik değerlendirme çalışmaları sonunda Duyarlılık Analizleri (DA) kullanılmaktadır [5]. DA'da sistemin içerisinde yer alan her bir kritik parametre en iyi ve en kötü senaryoya odaklanarak değerlendirilmektedir. Bu doğrultuda her bir parametredeki değişimin fayda maliyet oranındaki etkisi ayrı ayrı ölçülmektedir [6]. Birbirinden ayrık gerçekleşen çok sayıda analiz nedeniyle DA zaman alıcı bir teknik olmaktadır. Bunun yanısıra çok sayıda birbirinden bağımsız gerçekleşen analizler, karar verme aşamasında sonuçların yorumlanabilmesini güçleştirmektedir.

Literatürde, karayolu FMA'da belirsizlik ve etkilerini araştıran çalışmalar yer almaktadır. Son yıllardaki çalışmalarda karayolları FMA'da risk analizleri için MCS yaklaşımı kullanılmaktadır. Bu yaklaşım, belirsiz değişkenlere olasılıksal dağılımlar atayarak stokastik hesaplamalara dayalı bir analizdir. MCS, risk analizi uygulamalarında kullanılan etkili bir yöntemdir. Ancak analizin doğru sonuç vermesi her bir değişkene atanacak olasılıksal dağılımın doğruluğuna bağlı olması nedeniyle zor ve zaman alıcı bir işlem sürecini gerektirmektedir.

Yukarıda açıklanan konulara dayanarak, karayolları FMA'da belirsizliğin toplam etkisini göstermek ve zaman kaybını en aza indirmek için tüm belirsizlik etkilerini eş

zamanlı dikkate alarak değerlendirebilen yeni bir yaklaşıma ihtiyaç duyulmaktadır. Dahası, analiz için çok fazla veriye ihtiyaç duyulmaksızın uzman bilgi, tecrübe ve görüşünün entegre edilebildiği bir yaklaşım karar verme mekanizmasını güçlendirecektir.

Bu çalışma kapsamında, karayolları FMA'ya katkı sağlayacak yeni bir yaklaşımın kullanılabilirliği ve yararının araştırılması amaçlanmıştır. Bu doğrultuda, geleneksel FMA'nın karşılaştığı eksik, yanlış ve kesin olmayan veriler ile yanlış tahminler vb gibi belirsizliklere çözüm getirecek uzman ve yeni bir sistemin Bulanık Bilişsel Harita (BBH) yöntemi ile geliştirilmesi hedeflenmiştir.

Çalışmanın 1. Bölümünde çalışmanın amacı ve kapsamından bahsedilmiştir. Bölüm 2'de ulaştırma yapılarında FMA uygulamalarına dair şimdiye kadar yapılan literatür çalışmaları ve BBH'nin mühendislik problemlerinde uygulamaları hakkında literatür bilgileri verilmiştir. Bölüm 3'te karayolları FMA'nın geleneksel yaklaşımı ve matematiksel teorisi anlatılmıştır. Bölüm 4'te BBH'nin teorik altyapısı ve çalışma prensipleri sunulmuştur. Ayrıca bu bölümde, bu çalışma kapsamında kullanılan BBH'nin tercih edilme nedenlerinden de bahsedilmiştir. Bölüm 5'te modelin geliştirilmesinde takip edilen adımlar anlatılmış olup elde edilen simülasyon sonuçları gerçek fizibilite çalışmaları ile karşılaştırılarak BBH yaklaşımının karayolu ekonomik analizlerinde uygulanabilirliği araştırılmıştır. Bölüm 6'da bir durum çalışması yapılmış olup geleneksel FMA yaklaşımı ve geliştirilen model bu durum çalışması üzerinden karşılaştırmalı olarak değerlendirilerek geliştirilen modelin avantajları araştırılmıştır. Bölüm 7'de elde edilen tüm sonuçlar tartışılarak değerlendirilmiştir.

### **1.1. Amaç ve Kapsam**

Bu çalışma karayolu ekonomik değerlendirmelerinde yaygın olarak kullanılan FMA yöntemine katkı sağlamayı hedeflemiştir. FMA, 20-30 yıl gibi uzun periyotları değerlendirmesi ve pek çok veriye ihtiyaç duyması nedeniyle, yanlış tahminler, eksik veya yanlış veriler gibi belirsizliklerin etkisi altında kalmaktadır. Karayolu

yatırımların gerçekleştirilmesinde doğru karar verme sürecinin gerçekleştirilmesi söz konusu belirsizlik etkisinin elimine edilmesi ile mümkün olmaktadır. Bu negatif etkinin ortadan kaldırılmasına yönelik bu çalışma kapsamında BBH yaklaşımını kullanarak geleneksel FMA yöntemi uygulamaları için alternatif bir model geliştirilmesi amaçlanmıştır.

Bu çalışmada karayolu ekonomik değerlendirmelerinin spesifik bir alanına odaklanılmıştır. Bu çalışmada yer alan kısıtlar ve dikkate alınan öngörüler aşağıdaki gibidir:

- Geliştirilen modelde, etkin bir çözüm getireceği öngörüsüyle BBH yaklaşımı kullanılmıştır. Yapılan literatür taramaları sonucunda kompleks problemlerde BBH yaklaşımının başarılı olarak kullanılması ve söz konusu yöntemin farklı algoritmalara adapte olabilmesinden kaynaklanan esnek yaklaşımı nedeniyle BBH yöntemi tercih edilmiştir.
- Bu çalışmada sunulan BBH modeli, uzman görüşüne dayalı olarak geliştirilmiştir.
- Geliştirilen model farklı ülkelere de adapte edilebilir nitelikte olup, bu çalışma kapsamında Türkiye karayolları ekonomik değerlendirmelerine odaklanılmıştır.
- Modelde belirsizlik etkisi için dikkate alınan tüm riskler Türkiye ulaştırma koşulları doğrultusunda ele alınmıştır.
- Geliştirilen model, karayolu ekonomik değerlendirmelerinde yaygın olarak kullanılan ve dünyada kabul gören geleneksel FMA risk yöntemleri ile karşılaştırılmıştır.

## **BÖLÜM 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI**

### **2.1. Karayolları Fayda Maliyet Analizi Uygulamaları**

Ulaştırma projeleri ve karayolları FMA'nın uygulamaları ve geliştirilmesine yönelik literatürde çok sayıda çalışma yer almakta olup son yıllarda yapılan başlıca çalışmalar şöyledir;

Teng ve Tzeng (1998) yaptıkları bir çalışmada ulaştırma yatırım projelerinin seçiminde bulanık çoklu programlama yöntemini kullanmışlardır. Söz konusu yöntem karmaşık ve belirsizlik etkisinin yüksek olduğu problemlerde etkili çözümler getirmesi nedeniyle tercih edilmiştir. Elde edilen sonuçlar neticesinde ümit verici bir model olduğundan bahsedilmiştir [7].

Aviveri ve ark. (2000) ulaştırma projelerinin seçilmesinde bulanık mantık yaklaşımını kullanmışlardır. Geliştirdikleri modelin kolay kullanılabilir ve farklı problemlere kolaylıkla adapte edilebilir olduğunu vurgulamışlardır [8].

Zhao ve ark. (2004) karayolu yatırım kararlarının değerlendirmesinde FMA'da yer alan belirsizlik durumlarına yönelik bir çalışma yapmışlardır. Monte Carlo yöntemini kullanarak istatistiki bir yaklaşımla trafik talebi, kamulaştırma ücretleri ve yol bakımı için belirsizlik etkisini azaltan bir model geliştirmişlerdir [9].

Feng ve Wang (2007) ulaştırma projeleri için çevresel faktörlerin de entegre edildiği bir FMA yaklaşımı geliştirmişlerdir. Model Taiwan'da uygulanmış ve çevreye duyarlı bir karar vermenin temin edileceği vurgulanmıştır [10].

Candan'ın (2009) yapmış olduğu bir çalışmada ülkemizde uygulanan fayda maliyet analiz tekniğindeki eksikliğin giderilmesi hedeflenmiş, kararlarda ele alınması gereken fayda ve maliyet ölçütlerinin neler olması gerektiği belirtilmiş ve bu etkilerin uygulamada parasal değerlerinin değerlendirmeye ne şekilde katıldığının örnekleri incelenmiştir. Ülkemizde uygulanmış demiryolu projelerinden seçilen örnekler ele alınarak, bu projeler için hazırlanmış fizibilite etütlerinde içsel ve dışsal maliyetlerin ele alınışı incelenmiştir. Çalışma sonucunda ülkemizde ulaşım projelerinin değerlendirilmesindeki uygulamaların iyileştirilmesine ve eksikliklerinin giderilmesine yönelik bir dizi önlem ve yaklaşım önerilmektedir [11].

Salling ve Banister (2009) yapmış oldukları bir çalışmada ulaşırma altyapı projelerinin ekonomik değerlendirmesi için “CBA-DK” adında yeni bir karar verme modeli ortaya koymuşlardır. Model, geleneksel FMA ile niceliksel risk analizini bünyesinde birleştiren bir özelliği içermektedir [12].

Salling ve Leleur (2011) CBA-DK programına Monte Carlo simülasyon yöntemini entegre etmek suretiyle geliştirmişlerdir [13].

Shakhsi-Niaei ve ark. (2011) yaptığı bir çalışmada karayolu yatırımlarının değerlendirmesini gerçek dünya kısıtlamaları çerçevesinde ele almıştır. Monte Carlo simülasyonu yöntemi ile kısıtlamalara ait belirsizlik durumlarının elimine edildiği bir model geliştirmişlerdir [14].

Salling ve Leleur (2012) yapmış oldukları bir çalışmada ulaşırma projelerinin ekonomik değerlendirmesindeki belirsizlikleri azaltacak bir yaklaşım ortaya koymuşlardır. Söz konusu yaklaşımda daha önce geliştirdikleri CBA-DK yöntemini “Optimism Bias” ve “Reference Class Forecasting” tekniklerini de dahil ederek kullanmışlardır [15].

Maravas ve ark. (2012) yapmış oldukları bir çalışmada ulaşırma projelerinin ekonomik değerlendirmesinde kullanılan FMA için bir bulanık model

geliştirmişlerdir. Modelde iskonto oranındaki belirsizliğin elimine edilmesi amaçlanmıştır [16].

Godinho ve Dias (2012) yol projelerinde FMA üzerine yeni bir yaklaşım geliştirmişlerdir. Çalışmada geleneksel FMA tekniği yerine zaman parametresinin de içerisinde yer aldığı bir yöntem ortaya koymuşlardır. FMA’da zaman parametresinin önemi vurgulanmıştır [17].

Özkır ve Demirel (2012) yılında ulaştırma yatırımının değerlendirilmesinde optimum alternatifin belirlenmesine yönelik bir çalışma ortaya koymuşlardır. “Bulanık AHP” yöntemiyle alternatifler arasından en uygun projenin seçilebileceği bir yöntem geliştirmişlerdir [18].

Mouter ve ark. (2013) yapmış oldukları bir çalışmada karayolu altyapı projelerinin değerlendirmesinde Hollanda’da kullanılan FMA yöntemi sistematik olarak incelenmiştir. Söz konusu çalışma yol projelerinin ekonomik değerlendirmesinde Hollandalı yetkililerin karar verme süreçlerinde aldıkları rolleri dikkatle incelemek üzerine odaklanmıştır. 86 adet yönetici, bilim insanı, politikacı ile yapılan mülakat ve anket çalışmaları sonucunda elde edilen verilerin önemli bulgular olduğu ortaya konulmuştur [19].

Nogués ve González-González (2014) kuzeybatı İspanya’daki karayolu projelerinin tercih edilmesinde çoklu kriter etki değerlendirmesi yaklaşımını kullanarak doğruya daha yakın karar vermenin temin edilmesini amaçlamışlardır. Geliştirdikleri model, bölgesel nüfus, ekonomi, çevre, hareketlilik vb. parametrelerde tahminler gerçekleştirerek proje alternatiflerini öncelik sıralamasına yerleştirmektedir. Fayda ve maliyetlerin sistematik bir şekilde değerlendirildiği model, İspanya ulaşım altyapı master planı yardımıyla test edilmiş ve farklı ulaşım projeleri için uygulanabilirliği ortaya konulmuştur [20].

Jones ve ark. (2014) yaptıkları çalışmada ulaştırma projelerindeki FMA yöntemini inceleyerek FMA yönteminde var olan zayıflıkları tespit etmişler. Hurda değerin

hesaplamalara alınması gerekliliğini ve bu şekilde daha doğru bir karar vermenin temin edileceğini vurgulamışlardır [21].

Xu ve Lambert (2015) çoklu karar verme analizi ve FMA'yı birlikte kullanarak karayolları için risk analizi çalışması yapmışlardır. Probabilistik yaklaşımlara alternatif olarak geliştirilen yaklaşımda belirsizliklerin elimine edilmesine dair ümit verici sonuçlar elde edilmiştir [22].

Annema ve ark. (2015) yapmış oldukları bir çalışmada FMA ve çoklu karar verme yöntemini birlikte kullanarak Hollanda ulaştırma yatırımları için bir model geliştirmişlerdir. Çalışmalarında 21 ulaştırma politikacısı ile görüş alış verişi yapılmış ve söz konusu uzman görüşü bilgileri modele adapte edilmiştir. Modelin Hollanda ulaştırma yatırım kararları için ümit verici sonuçlar ortaya koyduğu vurgulanmıştır [23].

Korytárová ve Papežíková (2015) yaptıkları bir çalışmada büyük çaplı yol yatırımları ve mega ulaştırma projelerinin fayda ve maliyetlerinin değerlendirmesinde Çek Cumhuriyetinin koşullarında bir standarda ulaşılması amaçlanmıştır. Analizde kullanılacak verilerin belirsizlik etkisini analiz edebilmek için Monte Carlo simülasyon yöntemini kullanmışlardır. Çalışmalarında 27 adet yol altyapı projesi incelenmiş ve mevcut ekonomik analizlerin çok yüksek belirsizliklerle ortaya konulduğu tespit edilmiştir [24].

Wei ve ark. (2016) sürdürülebilir bir ulaştırma projesinin seçiminde etkili sonuçlar elde edilebilmesi için çok kriterli karar verme ve bir grup karar verme tekniğini bir arada nasıl kullanılacağını göstermişlerdir. Önerilen modelde karar vericiler, proje tasarımcıları ve sistem kullanıcılarının görüşleri entegre edilerek belirledikleri 14 kriterle ulaştırma projelerinin uygun sürdürülebilirlik performansı değerlendirilebilmektedir. Çalışmanın sonuçları göstermiştir ki karmaşık yapıya sahip ulaştırma projelerinin fayda ve maliyetlerine odaklı seçiminde, önerilen model, kabul edilebilir sonuçlara ulaşmıştır [25].

Literatürde ulaştırma projeleri ve karayolları FMA'nın geliştirilmesine dair çok sayıda çalışma yer almaktadır. Bu çalışmaların bir kısmı FMA'da var olan belirsizlik etkisini azaltmaya yönelik araştırmalardır. Önceki geliştirilen modellerde, analizde kullanılan bir ya da birkaç parametredeki belirsizliklerin elimine edilmesi üzerine odaklanılmıştır. Bu çalışma kapsamında geliştirilen FMA modelinde ise geleneksel yöntemde karşılaşılan eksik ve kesin olmayan veriler ve yanlış tahminler gibi tüm olumsuz etkilerin ortadan kaldırılması hedeflenmiştir. Bu doğrultuda geleneksel FMA geniş bir risk analizi çerçevesinde değerlendirilmesi düşünülmüştür.

## 2.2. Bulanık Bilişsel Harita Uygulamaları

BBH, 1986 yılında Kosko tarafından bilim dünyasına dâhil edilmiştir [26]. Bu yöntem 1976 yılında Axelrod'un ortaya koyduğu bilişsel haritalar yönteminin bir uzantısı olup dinamik sistemlerin modellenmesi için önemli bir tekniktir [27]. BBH mühendislik, tıp, siyaset, çevre bilimi, ekonomi ve yönetim gibi pek çok alanda uygulama alanı bulmuştur [28]. BBH üzerine son yıllarda yapılan başlıca çalışmalar şöyledir:

Groumpos ve Stylios (2000) yapmış oldukları bir çalışmada uzman görüşüne dayalı olarak BBH yaklaşımı ile bir kontrol modeli geliştirmişlerdir. Model, örnek bir su tankının vanalarının kontrolünde başarılı bir şekilde uygulanmıştır [29].

Hobbsand (2002) ekosistem bileşenleri arasındaki etkileşimler için BBH yardımıyla uzman bilgisini kodlamaya yönelik bir çalışma yapmıştır. Çalışma bir ekosistemdeki yönetim etkilerinin tahmin edilmesini amaçlamaktadır. 160 girdi değişkeni olan bir gölde model uygulanmış olup ümit verici sonuçlar elde edilmiştir [30].

Xirogiannis ve ark. (2004) BBH yardımıyla kentsel tasarımda uzman görüşüne dayalı bir karar destek modeli geliştirmişlerdir. Nicel ve nitel analizi içeren model, kentsel tasarım yapan matematiksel geleneksel yaklaşımlarla karşılaştırılarak yararları ortaya konulmuştur [31].

Glykas ve Xirogiannis (2005) finansal girişimler için bilgi modellemesine dayalı bir karar destek modeli geliştirmişlerdir. Bu çalışmada BBH yaklaşımı kullanılarak bilgi toplama ve sunma problemi üzerine odaklanılmıştır. Uygulamaya yönelik örneklerle geliştirilen modelin kullanılabilirliği tartışılmıştır [32].

Giordano ve ark. (2005) su kaynakları yönetimi için bir karar destek modeli geliştirmişlerdir. Model gerçek durum çalışmaları ile simüle edilerek test edilmiştir. Geleneksel yaklaşımlara göre daha avantajlı olduğu ortaya konulmuştur [33].

Tsadiras ve Kouskouvelis (2005) Türkiye'nin Avrupa Birliği'ne girişiyle ilgili sürecin politik kararlarına yönelik BBH yaklaşımı ile bir karar destek modeli geliştirmişlerdir. Modelin performansı istatistiki veriler ve simülasyonlar aracılığıyla test edilmiştir [34].

Andreou ve ark. (2005) BBH yaklaşımı ile siyasi ve stratejik konulara yönelik bir karar verme modeli geliştirmişlerdir. Kıbrıs meselesinin siyasi ve stratejik kompleksliğini içeren pek çok sayıda senaryo analizleri ile model test edilmiştir [35].

Papakostas ve ark. (2008) gerçekleştirmiş oldukları bir çalışmada BBH yöntemi görüntü tanıma alanında ilk kez kullanılmıştır. Görüntü tanıma alanında çok iyi bilinen uygulamalar üzerinde BBH yaklaşımının kullanılabilirliği araştırılmıştır. Yapılan çalışmalar neticesinde; bilgiyi depolama ve öğrenme faaliyetlerinde BBH'nın daha fazla bir özgürlük alanı oluşturduğu sonucuna ulaşılmıştır [36].

Papageorgiou ve ark. (2008) tıbbi karar verme alanında BBH yaklaşım ile yeni bir karar verme mekanizması geliştirmeyi hedeflemişlerdir. Bunun için tiroit hastalığının teşhisinde BBH yönteminin kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Geliştirdikleri model yardımıyla tiroit hastalığının teşhisinde kabul edilebilir sonuçlar elde edilmiştir. Modelin tıbbi karar verme alanının yapay zekâya dayalı ümit verici bir adım olduğu vurgulanmıştır [37].

Papageorgiou ve ark. (2008) BBH ile geliştirmiş oldukları bir model yardımıyla beyin tümörünün doğru olarak tespit edilmesi ve karakterize edilmesi üzerine odaklanmışlardır. Farklı öğrenme algoritmalarının da modele adapte edilmesiyle gerçek sonuçlara yakın tahminler elde edilmiştir [38].

Espinosa-Paredes ve ark. (2009) nükleer santraller için bir risk senaryosu modellemek amacıyla BBH yöntemi yardımıyla bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Geliştirdikleri model hata ağaçları yaklaşımıyla karşılaştırılarak doğruluğu test edilmiştir. Bu alanda yapay zekaya dayalı olarak ilk adım olarak görülen çalışmada ümit verici sonuçlar elde edilmiştir [39].

Papageorgiou ve ark. (2011) yapmış oldukları bir çalışmada pamuk mahsulünün verim tahminine dayalı bir BBH model geliştirmişlerdir. 2001-2006 yılları arasında 360 adet durum çalışmasına dayalı olarak geliştirdikleri model gerçek sonuçlara çok yakın sonuçlar vermiştir [40].

Huang ve ark. (2013) rüzgar enerjisinin geliştirilmesini etkileyen parametreler arasındaki korelasyonun şimdiye kadar yapılan çalışmalarda dikkate alınmaması nedeniyle BBH ve yapısal denklem modeli birlikte kullanılarak rüzgar enerjisinin gelişimini etkileyen parametrelerin keşfedilmesi ve etki düzeyinin ortaya konulmasını amaçlamışlardır. Kısa dönemli stratejilerde teknolojik ve çevresel etkilerin; orta dönemli stratejilerde sosyal nedenlerin; uzun dönemli stratejilerde politik nedenlerin etki düzeyinin yüksek olduğunu ortaya koymuşlardır [41].

Azadeh ve ark. (2014) petrokimya tesislerindeki dirençlilik düzeyini etkileyen faktörlerin değerlendirilmesini hedeflemişlerdir. Bu bağlamda BBH yaklaşımını kullanarak bir model geliştirilmiştir. Petrokimya endüstrisi ile alakalı uzman, mühendis ve yöneticiler üzerinde yapılan anketlerden elde edilen sonuçlar söz konusu modele entegre edilmiştir. Yapılan çalışma sonucunda elde edilen dirençlilik faktörleri arasında en önemlileri farkındalık, hazırlık ve esneklik parametreleri olarak tespit edilmiştir. Ayrıca bolluk parametresinin en az etkiye sahip faktör olduğu saptanmıştır [42].

Kyriakarakos ve ark. (2014) yenilenebilir yerel enerji kaynaklarının planlanması için BBH yaklaşımı kullanılarak bir karar destek modeli geliştirmişlerdir. Çalışmada yenilenebilir enerji kaynak yatırımlarını etkileyen sosyal, ekonomik, teknik vb. tüm parametreler araştırılmıştır. BBH'ya dayalı bir yazılım programı tasarlanmış ve web ortamında uygulanmıştır. Program test edilmiş ve programın performansı, gerçek yatırımcılar tarafından başarılı bir şekilde doğrulanmıştır [43].

Mendonca ve ark. (2015) BBH yaklaşımını kullanarak bir üniversitedeki öğrencilerin altıkların eğitimin kalite düzeyini değerlendirmeyi hedeflemişlerdir. Çalışma ile söz konusu üniversitenin orta ve uzun vadede geliştirilmesi amaçlanmıştır. Araştırmada öncelikle laboratuvar altyapısı, sınıfların durumu, kütüphane, genel temizlik gibi konular online formlar kullanılarak sayısallaştırılmıştır. Daha sonra BBH yaklaşımı ile geliştirilen model yardımıyla pozitif ve negatif noktalar ve etkileri tespit edilmiştir [44].

Papageorgiou ve ark. (2015) yapmış oldukları bir çalışmada kadınlarda kalıtsal meme kanseri teşhisine yönelik BBH yaklaşımı ile bir karar destek modeli geliştirmişlerdir. Geliştirilen model, 40 hasta üzerinde test edilmiş olup 38 hastada doğru sonuçlar vermiştir. Geliştirilen model %95 doğruluk oranı ile meme kanseri teşhisinde önemli bir adım olmuştur [45].

Natarajan ve ark. (2016) yılında Hindistan'ın önemli bir ticari ürünü olan şeker kamışının ürün tahmini ve sınıflandırması üzerine BBH yaklaşımı kullanarak bir model geliştirmişlerdir. Modelde çeşitli toprak türleri ve iklim parametreleri kullanılarak şeker kamışının üretim tahmini elde edilmesi amaçlanmıştır. Doğrusal olmayan öğrenme algoritması ve genetik algoritmanın da entegre edildiği modelde yüksek doğruluk düzeyi elde edilmiştir [46].

Yapılan literatür çalışması sonucunda BBH yaklaşımının farklı disiplinlerde pek çok probleme etkili bir şekilde çözüm getirdiği görülmüştür. Bu nedenle BBH yaklaşımı ile karayolları FMA'ya katkı sağlayacak bir modelin geliştirilebileceği tarafımızdan öngörülmüştür.

## **BÖLÜM 3. GENEL BİLGİLER**

### **3.1. Karayolu Projeleri Fayda Maliyet Analizi**

FMA, yatırım projelerini ekonomik çerçevede tanımlayan, ölçen, kıyaslayan ve değerlendiren bir karar verme sürecidir. Kamunun ihtiyacına cevap verecek projelerde kamu adına değerlendirme yapar. Kaynakların kısıtlılığı ve toplumsal ihtiyaçların optimum düzeyde karşılanmasını hedef alarak yatırımların ekonomik değerlendirilmesini gerçekleştirir. Kaynakların etkin ve verimli kullanımı, en az girdi (maliyet) ile en fazla çıktı (fayda) üretiminin gerçekleştirilmesi odaklı bir yaklaşımla analizini yapar. Bir yatırım gerçekleştirildiğinde fayda ve maliyetlerinin neler olacağı, ortaya çıkacak faydalardan ne ölçüde yararlanılacağı ve söz konusu faydalar için ortaya çıkan maliyetlerin değerlendirilmesini sistematik bir düzende gerçekleştirir. Bu bağlamda FMA, kısıtlı kaynakların topluma en iyi faydayı sağlayacak şekilde sarf edilmesini temin etmektedir.

FMA mühendislik uygulamaları özellikle 1930'lu yıllardan itibaren önem kazanmıştır. İlk olarak ABD'de sulama alanında 1936 tarihli "Taşkın Önleme Yasası" ile uygulanmıştır. Ancak yasa, analizde fayda ve maliyetlerin değerlendirilmesine önemli yenilik getirememiştir. Bundan sonra FMA, 1937 yılında Oregon eyaletinde bir karayolu projesinde uygulanmıştır. FMA ancak 1950'li yıllardan sonra yaygın olarak uygulama imkânı bulmuştur. Bu yıldan itibaren ABD dışında bazı ülkelerde de FMA konusunda yoğun çalışmalar sürdürülmüştür. Bu bağlamda İngiltere'de ilk önemli uygulama 1969 yılında Londra-Birmingham bir karayolu projesinde (M1 karayolu) yapılmıştır. Daha sonra 1963 yılında Londra metrosuna Victory hattının eklenmesi çalışmasında FMA uygulanmıştır. İngiltere'den sonra FMA, Fransa ve Sovyetler Birliği'nde uygulanmaya başlanmıştır. Ülkemizde ise FMA konusunda ilk ciddi çalışmalar 1960'larda başlamıştır [47].

Ulaştırma projeleri alanında FMA uygulamaları karayolu projeleri ile başlayıp metro, havayolu ve demiryolu ulaşımı ile ilgili projeleri de kapsayarak genişlemiştir. Bu bağlamda ülkemizde, proje maliyeti 5 milyon TL ve üzerinde olan yeni yatırım projesi tekliflerinde projelerin teknik, finansal, ekonomik ve sosyal gerekçesinin, yapılabilirliğinin ve önceliğinin FMA ile ortaya konulduğu ayrıntılı fizibilite raporunun hazırlanması zorunlu hale getirilmiştir [5]. Bu kapsamda yatırımcı kamu kuruluşları belli bir büyüklüğün üzerindeki ve yatırım programına dâhil edilmesini istedikleri projeleri için yatırım programı hazırlama esasları genelgesine uygun yapılabilirlik etütleri hazırlayarak Devlet Planlama Teşkilatına (DPT) iletmektedirler. DPT, kendisine iletilen yapılabilirlik (fizibilite) etütlerini yatırım politikası, ulusal ekonomi, sektörel ve sektörler arası öncelikler açısından değerlendirerek bir seçim yapmakta ve kamu yatırım programı oluşturmaktadır [48].

Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM) Strateji Geliştirme Dairesi Başkanlığı'na bağlı Stratejik Planlama Şubesi Müdürlüğü yatırım kararının alınmasına yönelik olarak karayolu projelerinin ekonomik fizibilite etütlerini yapmak veya yaptırılmasını sağlamakla yükümlüdür. Bu çerçevede yolun projelendirme aşamasında alternatif güzergâhların etüdünün yanı sıra, kesinlik kazanan yatırım projelerinin karar alıcıya (Kalkınma Bakanlığı) sunulması için fizibilite etütleri hazırlanmaktadır [5].

KGM tarafından fizibilitesi gerçekleştirilen karayollarının ekonomik analizi üç temel başlık altında yapılmaktadır. Bunlardan ilki maliyetler; projenin başlangıcından ekonomik ömrünün sonuna kadar geçen süre içindeki gerekli harcamalardan oluşur. İkincisi faydalar; projenin ekonomik ömrü süresince beklenen toplumsal kazançlardan oluşur. Üçüncüsü iskonto oranı; bir parasal değer zaman çizgisindeki geçmiş veya gelecekteki değerlerinin saptanmasını sağlayan bir parametredir [5]. Son yıllarda yapılan hizmet içi eğitimler ve gerçekleştirilen fizibilite etütlerinden elde edilen sonuçlar çerçevesinde KGM, karayollarının ekonomik analizlerinde belli bir standarda ulaşmıştır. Bu bağlamda ekonomik analizin temel başlıkları olan faydalar ve maliyetler gerçekleştirilen fizibilite etütleri için kıyaslanabilir bir çerçeveye yerleştirilmiştir. KGM'nin karayollarının ekonomik analizlerinde kullandığı söz konusu fayda ve maliyet parametreleri Tablo 3.1.'de görülmektedir.

Tablo 3.1. KGM'nin karayolları FMA'da kullandığı parametreler

| Yolu yapanla ilgili maliyetler (MALİYETLER) | Yolu kullananla ilgili maliyetler (FAYDALAR) |
|---------------------------------------------|----------------------------------------------|
| Yapım Maliyetleri (YM)                      | Zaman Değeri (ZD)                            |
| Bakım ve İşletme Maliyetleri (BİM)          | Kaza Maliyetleri (KM)                        |
|                                             | Taşıt İşletme Maliyetleri (TİM)              |

### 3.1.1. Maliyetler

Maliyet, teorik olarak para ile ölçülen kaynak kullanımı olarak tanımlanmaktadır [2]. FMA'da maliyet kavramı, projenin hayata geçirilmesi ve devamlılığının sağlanması için yapılan harcamaların parasal değeri olarak ifade edilebilir. Ulaştırma yapıları FMA'da kullanılan maliyetler; projenin ortaya konulması için yapılan tüm maliyetler ile projenin ömrü boyunca karşılaşacağı bakım ve işletme dair tüm maliyetler olarak iki başlık altında toplanmaktadır.

- **Yapım Maliyetleri (YM):** Ulaştırma yapıları için FMA'da en önemli kalemlerden biri olan YM, içerisinde pek çok giderleri bulundurmaktadır. Bu giderler, projenin ekonomik ömrü içerisinde ilk yıllara tekabül etmektedir. Dolayısıyla paranın zaman değerinden en az ölçüde etkilenmektedir. Ulaştırma yapılarının YM'de yer alabilen gider kalemlerine; kamulaştırma, etüt, plan, proje, kontrollük, proje yönetimi, şantiye giderleri, merkez ofis giderleri, toprak işleri, köprü vb. gibi büyük sanat yapılarının imalatı, menfezler vb. gibi küçük sanat yapılarının imalatı, üstyapı işleri, aydınlatma, gişe alanı, yatay ve düşey ışıklık ve ışısız yol işaretleri, yol boyu tesislerinin imalatı, oto korkuluk vb. gibi yol güvenliğine dair işler ve imatlara dair ve benzeri tüm gider ve harcamalar örnek verilebilir.
- **Bakım ve İşletme Maliyetleri (BİM):** Bir yol projesinde en uzun dönemi oluşturan maliyetlerdir [49]. Projenin hayata geçirilmesinden hurda değere ulaşıncaya kadar geçen sürede ortaya çıkan önemli bir gider kalemidir. Ancak ekonomik değerlendirmede 20-30 yıl gibi bir periyot dikkate alındığından BİM, bu süre içerisinde gerçekleşen maliyetlere odaklanmaktadır. Trafik hizmetleri, kar mücadelesi, bakım maliyetleri ve ücret toplama maliyetleri

olmak üzere 4 başlık altında değerlendirilmektedir. Trafik hizmetleri maliyeti; mevcut yol ile bunun bağlantı yollarında yürütülen trafik güvenliği hizmetlerini, yol boyunca yatay ve düşey işaretleme, kenar dikme, tel çit ve oto korkuluk yapım - onarım, acil haberleşme işleri, yol boyu aydınlatma direk ve lambalarının yenilenmesi ve arızaların giderilmesine yönelik çalışmaları içermektedir. Kar mücadelesi maliyeti; mevcut yol ve bağlantı yollarında, bizzat kış mevsiminde trafik güvenliğini sağlamak amacıyla yapılan kar ve buz mücadelesi hizmetlerini (yolda tuzlama çalışmaları, kar ve buz temizliği, kar siperliği yapımı vb. işleri) içermektedir. Yol bakım maliyeti ise mevcut yol ve bağlantı yollarıyla yapımı tamamlanmış ve hizmete açılmış bulunan köprü ve tünellerdeki bakım hizmetleridir. Bunlar, yol yüzeyi ile banket ve hendeklerin sürekli olarak temiz tutulması ve yolda meydana gelmiş olan her türlü bozulma ve çatlakların giderilmesine yönelik yama çalışmaları, yol boyu iyileştirme etkinlikleri ve çevre kirliliğini önlemeye yönelik hizmetleri içermektedir. Ücret toplama istasyonlarının bakım, onarım ve işletmeleri ve yol haberleşme sistemlerinin bakım, onarım ve işletmeleri için yapılan tüm harcamaları içermektedir [50].

### 3.1.2. Faydalar

Fayda, bir yatırımın hayata geçmesiyle birlikte elde edilecek toplumsal kazanımların parasal değerlerini ifade etmektedir [4]. FMA’da, fayda başlığı altında adı geçen “maliyet” kavramı eski ulaştırma yapısına göre elde edilen maliyet tasarruflarını ifade etmektedir. Ulaştırma ekonomisinde maliyetten elde edilen tasarruflar denklemin fayda tarafında gözükmektedir. Bu bağlamda ülkemiz KGM tarafından zaman değeri, kaza maliyetleri ve taşıt işletme maliyetlerinden elde edilen tasarruflar fayda başlığı altında toplanmıştır [5].

- Zaman Değeri (ZD): Ulaşım aracına erişim (toplu taşıma durağı ya da otopark), durakta toplu taşıma aracının beklenmesi, araç içinde geçen süre ve araçtan inilip varış yerine erişimde geçen zamanın tümünü kapsayan bir parametredir. ZD, ulaşım modelleme ve ulaştırma yatırımlarının

değerlendirmesinde önemli bir fayda kalemidir ve planlama kararlarını önemli ölçüde etkilemektedir. ZD, yolculukta harcanan zaman ile yolculuk süresi birim maliyetinin çarpılması ile bulunur. Yolculuk süresi birim maliyetleri yolcuların tercihlerine ve gelir düzeylerine, yolculukta kullanılan ulaşım türüne (otomobil, toplu taşıma, bisiklet vs.) ve yolculuk şartlarına (hız, konfor, sıkışıklık vb. gibi) göre değişiklik gösterir. Bununla birlikte yolculuk süresi birim maliyetleri bir yolculuğun her bölümü için değişkenlik gösterebilmektedir. Toplu taşıma durağına yürüme, durakta bekleme, kalabalık bir toplu taşımada yolculuk, aktarmalı yapılan yolculuklar farklı birim maliyetlerini meydana getirmektedir. Ancak geleneksel ulaşım fizibilite etütlerinde yolculuk süresi kazançları hesaplanırken genellikle otomobiller düşünülür. Otomobillerin yolculuk süresini kısaltacak yatırımlar dikkate alınırken bisikletliler ve yayaaların yolculuk sürelerinin uzaması göz ardı edilir. Yolculuk süresi birim maliyetlerinin parasal karşılığının hesaplanmasında yaygın olarak iki farklı metot kullanılmaktadır. İlki; yol kullanıcısının sıkışıklıktan kurtulmak için ödemeye razı olduğu (willingness to pay) kazanılan süreye verdiği parasal miktarın belirlenmesidir. İkincisi ise; bir saatlik yolculuk süresi kazanımının parasal değerinin kişinin saatlik gelirin olan oranı ile ifade edilmesidir. Ülkemizde yapılan FMA uygulamalarında yolculuk süreleri, zaman kazançlarının miktarı ve yolculuk talep tahminleri benzetim modelleri sonuçlarından elde edilmektedir [11]. Bu hususta KGM Strateji Geliştirme Daire Başkanlığı tarafından ulaşım planlamalarında kullanılmak üzere düzenli olarak ZD birim maliyet bilgileri yayımlanmaktadır.

- Taşıt İşletme Maliyetleri (TİM): Karayolunu kullanan tüm araç sahiplerinin karşı karşıya kaldıkları değişken maliyetleri kapsamaktadır. Yani taşıtın hareket etmesiyle başlayan km başına düşen maliyetlerdir. FMA'da bir fayda kalemi olan TİM, yeni yapılacak yatırım ile elde edilecek taşıt maliyet tasarruflarını ifade eden bir parametre olmaktadır. TİM, beş başlık altında toplanmaktadır; yakıt, yağ, lastik, bakım-onarım, amortisman [51]. TİM; otomobil, midibüs, kamyonet, otobüs, kamyon-treyler olmak üzere beş değişik araç tipi için belirlenmektedir. Bu maliyetler her araç tipi için yolun

kaplama türü, yol yüzey pürüzlülüğü, ortalama yol düşey eğimi, ortalama yatay kurb bilgisine bağlı olarak hesaplanmaktadır. Taşıt işletme birim maliyetleri de KGM Strateji Geliştirme Daire Başkanlığı tarafından güncel olarak yayımlanmaktadır.

- Kaza Maliyetleri (KM): Yeni ulaştırma yatırımı ile trafik kazalarının azalmasından elde edilecek faydayı temsil eden bir parametredir. KM'nin belirlenmesinde; ölüm, yaralanma ve maddi hasar durumları parasal değerlere dönüştürülerek kaza değerleri tespit edilmektedir. Ölüm ve yaralanmaların ekonomik değerinin hesaplanmasında yaygın olarak iki yaklaşım izlenilmektedir. İlki; insan, üretim sürecinin bir ögesi kabul edilir ve ölüm, yaralanma ile bu süreçteki kayıplar hesaplanır. İkincisi; insanların kazalarda ölüm ihtimallerini azaltmak için ödemeye hazır oldukları (willingness to pay) bedel dikkate alınmaktadır [47]. KM'nin belirlenmesinde bir diğer husus ise mevcut yolda geçmiş yıllarda gerçekleşen kaza istatistiklerinin değerlendirilerek ortalama kaza değerlerinin tespit edilmesidir. Tüm bu bilgiler ışığında yeni yatırımın hayata geçmesi durumunda maddi hasarlı, ölüm ve yaralanmalı kaza sayılarındaki azalmalara ait değerlendirmeler yapılarak KM'den elde edilecek faydalar belirlenmektedir [5].

### 3.1.3. İskonto oranı (güncelleştirme oranı)

Ulaştırma projelerinin ekonomik analizlerinde karşılaşılan en büyük sorunlardan biri farklı zamanlarda elde edilen gelir ve giderlerin güncelleştirme işleminde kullanılan iskonto oranının (güncelleştirme oranı) belirlenmesidir. Gelecekteki fayda ve maliyetlerin bugünkü değerlerinin bulunmasında kullanılan iskonto oranının seçimi, ulaştırma projeleri ekonomik analizlerinin en önemli noktasını oluşturmaktadır [52].

Ulaştırma projeleri ülkelerin sosyo-ekonomik yapısını doğrudan ilgilendiren ve uzun yıllar toplumsal ve ekonomik alanlarda etkilerini direkt ve endirekt olarak gösteren yüksek maliyetli yatırımlardır. Bu nedenle projenin hayata geçirilip geçirilmemesine karar verme safhası hayati bir öneme sahiptir. Gerçekleştirilmesi düşünülen projenin topluma sağladığı faydaların proje maliyetine kıyasla yüksek olması “yapılabilir”

onayını temin etmektedir. Ancak faydaların uzun yıllar içerisinde ortaya çıkması ve bu faydaların paranın zaman değeri dikkate alınarak bugüne indirgenmesi sonucunda projenin yapılabilirliğine karar verilmesi prosesin belirsizliklerle dolu olduğunu ortaya koymaktadır. Söz konusu karar verme sürecinde iskonto oranının doğru belirlenmesi anahtar rol oynamaktadır.

İskonto oranı, yatırımcının ya da toplumun tüketmekten vazgeçip projeye bağladığı kaynağın maliyetini; diğer bir deyişle, projeye elde edilmesi gereken en düşük kazanç oranını gösterir [53]. Terim anlamı itibariyle iskonto, bir finansal varlığın vadesinden önce nakde çevrilmesi durumunda yapılan kesinti anlamındadır. Günlük yaşamda indirim anlamında da kullanılan iskonto, temelde faizin tam tersidir. Nasıl ki faiz bugün mevcut olan bir paranın ödünç olarak verilerek gelecekte geri alınması karşılığında kazanılan getiriye ifade etmek için kullanılıyorsa, iskonto da gelecekte kazanılacak olan paranın bugünden elde edilmesi karşılığında katlanılması gereken kesintiyi ifade etmek için kullanılmaktadır.

Ulaştırma yatırımlarının ekonomik analizlerinde kullanılan iskonto ise, inşa edilen yapının ekonomik ömrü içerisinde ortaya çıkardığı maliyetler ile toplumsal faydaların belli bir oranda bugünkü değerlerine indirgenmesidir. Bu indirgeme işlemi ile söz konusu yapının ekonomik analizine ilişkin bugünkü değerler üzerinden değerlendirmeler yapılabilmektedir. Ancak burada en önemli sorun iskonto oranının ne olacağıdır. Yüksek iskonto oranı özellikle de uzun dönemli olan ulaştırma yapılarının haklı gösterilmesini güçleştirmektedir ve uzun bir proje ömrünün ekonomik analiz üzerinde daha küçük bir etki meydana getireceği anlamını taşımaktadır. Bunun sonucu olarak, daha kısa ömre sahip projeler, ekonomik ömrü uzun olan projelere göre daha avantajlı hale gelmektedir. Bununla birlikte yıllar içerisinde artan trafik miktarı ve ekonomideki büyüme yapılan ekonomik analizlerde daha az etkili olmaktadır. Düşük iskonto oranının seçiminde ise sosyal olarak etkin bulunmayan projelerin hayata geçirilmesi sonucu ortaya çıkmaktadır. Bu durumda ise toplumsal faydanın yeterli düzeyde ortaya çıkmadığı projelerin inşa edilerek ülke ekonomisi kaynaklarının yanlış kullanımı gerçekleşmektedir [54].

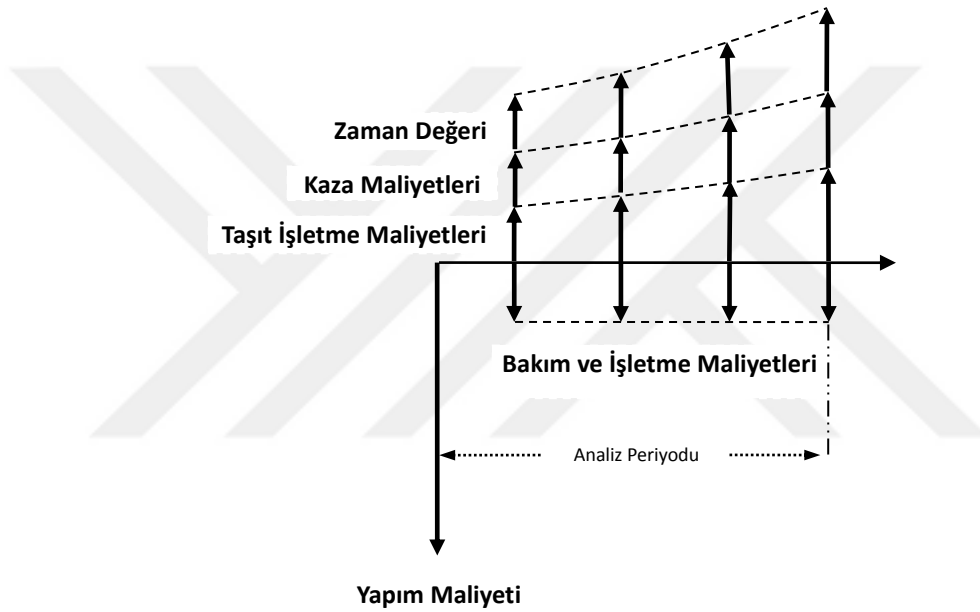
Sosyo-ekonomik yapısı dalgalanmalar gösteren ülkelerde ekonomideki belirsizlikler uzun yılları etkileyecek projelerin hayata geçirilmesini zorlaştırmaktadır. Ülkenin gelecek yıllardaki ekonomik dengelerinin öngörülemez olması yatırım kararlarının uygulanmasında riskleri beraberinde getirmektedir. Bu nedenle ülkenin içinde bulunduğu ekonomik koşullar ve riskler, yatırım kararlarının alınmasında kullanılacak iskonto oranını doğrudan etkilemektedir. Ekonomideki belirsizliklere bağlı olarak iskonto oranlarının yüksek belirlenmesi, yatırım kararlarında önemli bir sigorta görevini üstlenmektedir. Bunun aksine iskonto oranının olması gerekenden düşük belirlenmesi 20-30 yıllık uzun bir analiz periyoduna sahip ulaştırma yatırımlarının doğru olmayan bir değerlendirme ile hayata geçirilmesine neden olacaktır. Sonuç olarak toplumsal faydanın ortaya çıkmadığı çok yüksek maliyetli projeler “yapılabilir” olarak değerlendirilerek ülke ekonomisi kaynaklarının yanlış kullanımı ortaya çıkacaktır.

İskonto oranının belirlenmesinde birçok yaklaşım bulunmakta olup kamu yatırımlarında uygulanacak iskonto oranı hakkında genel bir görüş birliği ve kesin bir yaklaşım bulunmamaktadır [6]. Burada önemli olan belirlenen iskonto oranının, kullanılan sermayenin fırsat maliyetini yansıtmasıdır. Çünkü projede kullanılan sermaye, sermaye piyasasında veya diğer bir sektör projesinde değerlendirilmek yerine projeye yatırılmaktadır [5]. Bu nedenle yatırım için ayrılan sermaye bir getiriye temin etmelidir düşüncesi hâkim olmaktadır. Bu doğrultuda iskonto oranının belirlenmesine ilişkin pek çok teori ve yaklaşım yer almakta olup konuya ilişkin detaylar ekonomi ve iktisat biliminin alanları olduğundan bu çalışma kapsamında yer almamaktadır.

Ülkemizde kullanılan iskonto oranları ekonomik gelişmelere bağlı olarak zaman içerisinde değişiklikler göstermiştir. Ulaştırma yapılarının değerlendirilmelerinde kullanılan %15 iskonto oranı, gelişen ekonomik göstergeler ile %12 seviyesine inmiştir. Son yıllarda ekonomideki büyüme ve belirsizliklerin azalmasıyla iskonto oranı %8 mertebesinde kullanılmaktadır [54].

### 3.1.4. Fayda maliyet analizinin matematiksel teorisi

FMA’da, yatırım için ömrü boyunca yapılacak harcamalar ve elde edilecek faydalar parasal değerlerle ifade edilerek günümüz değerine indirgenmekte ve bir maliyet, fayda oranı hesaplanmaktadır. Bu sayede bugüne indirgenmiş değerleri ile faydalar ve maliyetler parasal anlamda karşılaştırılabilir hale gelmektedir. Şekil 3.1.’de karayolları projelerine dair fayda ve maliyetlerin örnek bir nakit akış diyagramı üzerindeki gösterimi verilmiştir.



Şekil 3.1. Karayolu projelerine ait bir nakit akış diyagramı [54]

Şekil 3.1.’de görüldüğü üzere karayolu projelerinin ekonomik analizlerinde kullanılan fayda ve maliyetler nakit akış diyagramı üzerinde yıllara göre temsili olarak konumlandırılmıştır. Gelecek yıllarda ortaya çıkması öngörülen faydalar (ZD, KM, TİM) ile maliyetler (BİM) belirlenen bir iskonto oranı ile bugünkü değerlere dönüştürülürler. Güncelleştirme (aktüalizasyon) adı da verilen bu dönüştürme işlemi (Denklem 1.1)’de verilen formül ile gerçekleştirilmektedir.

$$F = P (1 + i)^n \rightarrow P = F \left[ \frac{1}{(1 + i)^n} \right] \quad (1.1)$$

Burada; P şimdiki değer, F gelecekteki değer, n analiz süresi, i iskonto oranıdır [2]. Ulaştırma projelerinde ekonomik güncelleştirme işlemi ve gerçekleştirilecek FMA aşağıdaki gibi uygulanmaktadır.

$$C = C_1 + \frac{C_2}{(1+i)} + \frac{C_3}{(1+i)^2} + \frac{C_4}{(1+i)^3} + \dots + \frac{C_n}{(1+i)^{n-1}} \quad (1.2)$$

$$B = \frac{B_1}{(1+i)} + \frac{B_2}{(1+i)^2} + \frac{B_3}{(1+i)^3} + \dots + \frac{B_{n-1}}{(1+i)^{n-1}} + \frac{B_n}{(1+i)^n} \quad (1.3)$$

$$B/C = \sum_{t=1}^n \frac{B_t}{(1+i)^t} / \sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+i)^t} \quad (1.4)$$

$$D(x) = \begin{cases} \text{red,} & x < 1 \\ \text{kabul,} & x \geq 1 \end{cases} \quad x = \frac{B}{C} \quad (1.5)$$

Burada; C maliyetlerin toplam şimdiki değeri,  $C_1, C_2, \dots, C_n$  farklı zaman dilimlerindeki maliyetler, B faydaların toplam şimdiki değeri,  $B_1, B_2, \dots, B_n$  farklı zaman dilimlerindeki faydalar, D projenin yapılabilirliğine dair karar, n ekonomik analiz periyodu, i iskonto oranıdır [47]. Verilen formülasyon doğrultusunda karayolu projeleri FMA'ya ait matematiksel formlar (Denklem 1.6, 1.7, 1.8)'de oluşturulmuştur:

$$P_B = \sum_{t=1}^n \frac{F_{t \text{ KM}}}{(1+i)^t} + \sum_{t=1}^n \frac{F_{t \text{ ZD}}}{(1+i)^t} + \sum_{t=1}^n \frac{F_{t \text{ TİM}}}{(1+i)^t} \quad (1.6)$$

$$P_C = \sum_{t=1}^n \frac{F_{t \text{ BİM}}}{(1+i)^t} + P_{YM} \quad (1.7)$$

$$D(x) = \begin{cases} \text{red,} & x < 1 \\ \text{kabul,} & x \geq 1 \end{cases} \quad x = \frac{P_B}{P_C} \quad (1.8)$$

Burada;  $P_B$  faydaların toplam şimdiki değeri,  $P_C$  maliyetlerin toplam şimdiki değeridir.  $F_{t \text{ KM}}$  kaza maliyetlerinin;  $F_{t \text{ ZD}}$  zaman değerinin;  $F_{t \text{ TİM}}$  taşıt işletme

maliyetlerinin;  $F_t$  BİM bakım ve işletme maliyetlerinin bulundukları yıllara ait değerlerini ifade etmektedir.  $P_{YM}$  ise yapım maliyetleridir. Yukarıda verilen formüllerde görüldüğü üzere tüm fayda ve maliyetler belirli bir iskonto oranı ile bugünkü değere indirgenmektedir. Elde edilen bugünkü toplam fayda ve maliyetler oranlanarak karayolunun yapılabilişliğine kolaylıkla karar verilmektedir. Burada en önemli husus fayda ve maliyetlere ilişkin kullanılan parametrelere dair (KM, ZM, TİM, BİM ve YM) verilerin doğru ve eksiksiz olarak temin edilmesidir. Aksi takdirde gerçeği yansıtmayan bir sonuç elde edilebilmektedir [55].

### 3.1.5. Fayda maliyet analizinin zayıf yönleri

Ulaşım planlamasında kullanılan FMA'da karşılaşılan sorunlar ve yapılan ekonomik analizlerde FMA'da görülen zayıflıklar aşağıda maddeler halinde verilmiştir. Karayolu projelerinin ekonomik değerlendirmesi sırasında aşağıda verilen maddelerden analist (karar verici), pek çoğu ile karşılaşabilmektedir. FMA'da karşılaşılabilecek sorunlar şöyle özetlenebilir:

- Kaza maliyetlerinin belirlenmesinde; kaza tutanaklarının eksik ve/veya yanlış bilgiler içermesi sonucu bilgilerin istatistiklere doğru aktarılamaması,
- Kaza istatistiklerinden yeterli bilgi elde edilememesi sorunu,
- Kaza birim maliyetlerinin doğru belirlenememesi,
- Zaman kazancı belirlenirken yaya, bisiklet vs. gibi parametrelerin dâhil edilmemesi sonucu elde edilen kazancın gerçeği tam olarak yansıtmaması,
- Pek çok faktöre bağlı olarak belirlenen zaman kazancı birim maliyetlerinin tam olarak doğruyu yansıtmaması,
- Yük zaman değerinin hesaba katılmaması veya yanlış katılması,
- Yük zaman değerine ait birim maliyetlerin doğru olarak belirlenememesi,
- Mevcut trafiğin yanlış hesaplanabilmesi,
- Gelecekteki trafiğin belirlenmesinde yanlış tahminlerin yapılması,
- Taşıt işletme birim maliyetlerinin yanlış belirlenebilmesi,
- Yol bakım ve işletme birim maliyetlerinin yanlış belirlenebilmesi,
- Yol yapım maliyetlerinde ortaya çıkabilecek değişikliklerin öngörülememesi,

- Gelişmekte olan ülkeler için iskonto oranının (güncelleştirme oranı) belirsizliğidir.

Yapılan literatür çalışmaları, ülkemizde yapılan önceki fizibilite çalışmalarından elde edilen deneyimler ve uzman görüşlerinden elde edilen bilgiler ışığında FMA’da görülen zayıflıklar tarafımızdan yukarıdaki gibi belirlenmiştir. Söz konusu zayıflıklar karar verme sürecinde karar vericiyi yanlış yönlendirebilecek ve doğru karar verme sürecini olumsuz etkileyecek nitelikte olduğu tarafımızdan düşünülmektedir [47].

### **3.1.6. Fayda maliyet analizinin geliştirilmesi**

Ulaşım planlaması karar verme sürecinde etkili rol oynayan FMA’da en önemli husus fayda ve maliyetlere ilişkin verilerin doğru ve eksiksiz olarak temin edilmesidir. Aksi takdirde topluma fayda sağlamayan bir projenin yapılabilirliğine onay verilmesine neden olacak bir sonuç elde edilebilecektir. Bu da ülkenin ekonomik kaynaklarının yanlış kullanılması riskini beraberinde getirecektir [56]. FMA’nın doğasında yer alan belirsizlikler, karar verme sürecinde risk oluşturmaktadır. Çünkü eksik ve kesin olmayan veriler ve yanlış tahminler gibi tüm olumsuz etkilerden oluşan belirsizlikler fırsat ile değil risk ile sonuçlanmaktadır. Bu da karar vermede etkili rol oynayan FMA’yı ya anlamsızlaştırarak işlevsiz hale getirecek ya da karar vericiyi yanlış yönlendirecektir.

Karayolu projelerinin ekonomik değerlendirmesinde kullanılan FMA’nın etkisinde kaldığı bu olumsuz durumların elimine edilmesi için bu çalışma kapsamında bir çözüm önerisi sunulmuştur. Sunulan öneri doğrultusunda, ülkemizde karayolu proje kararlarının doğru bir şekilde elde edilebilmesi adına FMA’nın geliştirilmesi için aşağıdaki adımlar takip edilmiştir:

- FMA’da yer alan her bir değişkene ait (zaman değeri, taşıt işletme maliyetleri vs.) risklerin belirlenmesi,
- Her bir riske ait risk tanımlamalarının yapılması,

- Risklerin görülme olasılıkları ile risklerin ortaya çıkması durumunda sonucu etkileme şiddet değerlerinin belirlenmesi,
- Risk olasılıklarının ve risk şiddet değerlerinin zeki bir algoritma yardımıyla analizlerinin yapılması,
- Elde edilen sonuçların değerlendirilerek karar vermenin gerçekleştirilmesidir.

FMA'yı oluşturan tüm değişkenlerin doğru ve bütüncül bir risk analizi ile değerlendirme süzgecinden geçmesi karar vericiye doğru bir karar verme imkânı sağlayacağı öngörülmektedir. FMA'da yer alan risklerin her ülkenin sosyal, kültürel ve politik şartlarına göre farklılıklar göstermesi nedeniyle ülkemiz şartları kapsamında risklerin belirlendiği ve analiz edildiği bir FMA doğru bir karar verme sürecini temin edecektir.

### **3.2. Risk Analizi**

Risk analizi, tanımlanmış risklerin proje üzerindeki etkilerinin saptanması sürecidir. Bu aşamada, kullanılması önerilen pek çok tekniğin ortak noktası, belirsizlik içeren parametrelerin çeşitli riskler altında alabileceği tüm değerler göz önünde bulundurularak, olası tüm sonuçların irdelenmesidir [57]. Risk analizine dair temel kavramlar ve karayolu projeleri FMA'da yaygın olarak kullanılan metotlar aşağıda başlıklar halinde verilmiştir.

#### **3.2.1. Risk**

Sözlük anlamı “bir zarara, bir kayba, bir tehlikeye yol açabilecek bir olayın ortaya çıkma olasılığı” olan risk kavramı, değişik bilim dallarında farklı şekillerde tanımlanmaktadır. Sigortacılık alanında risk; yitirme tehlikesinin varlığı, yitirme ihtimali, belirsizlik, gerçek sonucun beklenen sonuçtan farklı olması ihtimali, beklenen durumdan başka herhangi bir durumun ortaya çıkması ihtimali olarak tanımlanırken, bankacılıkta risk; verilen bir kredinin veya girilen bir taahhüdün tahsilinde ya da yerine getirilmesinde başarısızlık ihtimali anlamına gelmektedir. Karar vermede risk; karar vericinin herhangi bir olayın sonuçlarını belirleyemediği

durumları ifade eder. Finans alanında ise risk; işletmenin finansal yönüyle ilgili planlanan veya beklenen herhangi bir durumun meydana gelmesinde ortaya çıkan sapma ihtimalidir [58]. Ortak bir tanımla risk, gelecekte ortaya çıkması istenmeyen bir olayın gerçekleşme olasılığı ve etkisi (etki şiddeti) olarak tanımlanabilir.

Riskin derecesi hangi çıktının gerçekleşeceğinin tahmin edilmesiyle ters orantılıdır. Eğer risk sıfır ise gelecek çok iyi tahmin edilebiliyor demektir. Gelecekle ilgili olarak elde olan bilginin yeterli olması ve bu bilgi ve dokümanın doğruluk derecesinin yüksek olması, geleceğin daha iyi tahmin edilebilmesini sağlar. Dolayısıyla riskin derecesi azaltılmış olur. Eğer risk sıfır değilse, gelecek çok iyi tahmin edilemiyor demektir. Risk, belirsizlik kavramıyla oldukça yakından ilişkilidir. Ancak aradaki farklar genelde gözden kaçmakta ve bu kavramlar birbirlerinin yerine kullanılabilmektedir [58].

### **3.2.2. Belirsizlik**

Belirsizlik teriminin risk terimiyle birlikte sık olarak kullanılmasından dolayı risk ve belirsizlik terimleri arasındaki ilişkinin açıklanması daha uygun olacaktır. En basit bir tabirle, risk, bir olayın olasılık dağılımının bilindiği; belirsizlik ise, bu dağılımın bilinmediği durumlardır. Risk ve belirsizlikte istatistiksel olarak da ayırma gidilebilir. Buna göre, istatistiksel olaylar için risk, istatistiksel olmayan olaylar için belirsizlik kavramı uygun olmaktadır. Buna göre belirsizlik, gelecekte ne olup ne olmayacağı bilgisinden yoksun, şüphelerle dolu bir fikri durumdur [58].

### **3.2.3. FMA’da geleneksel risk analiz yaklaşımları**

Risk analiz tekniklerinin sağladığı birincil yarar, risklerin proje üzerindeki etkileri konusundaki görüşlerin, ileriye dönük tahminlere yansıtılabilmesi ve tek değerli yaklaşımlar yerine, olası pek çok sonuç üzerinde durulabilmesidir. Bu amaçla kullanılması önerilen pek çok kuramsal ve sayısal teknik bulunmaktadır. İnşaat projelerinde risk konusunda yapılan çalışmalar, doğrudan proje hedeflerine özellikle de süre ve maliyet etkileri üzerinde yoğunlaşmaktadır. Projenin tipine, büyüklüğüne,

verilerin yeterliliğine, analizin tahmini maliyetine ve kişilerin analiz konusundaki deneyimlerine bağlı olarak risk analiz teknikleri çeşitlilik göstermektedir. Bu tür çalışmalarda, çok sayıda karar alma, istatistik ve yöneylem araştırması teknikleri kullanılmaktadır. Bunlardan; beyin fırtınası, karar analizi, duyarlılık analizi, Monte Carlo Simülasyonu gibi tekniklerden inşaat ve ulaştırma mühendisliği uygulamalarında etkin biçimde yararlanılabilmektedir [57].

Karayolu projeleri FMA uygulamalarında dünyada yaygın olarak kullanılan risk analiz teknikleri; duyarlılık analizi ve bir olasılık analizi yöntemi olan Monte Carlo simülasyonudur [59].

### **3.2.3.1. Duyarlılık analizi**

Duyarlılık analizinin amacı, bir değişken için pozitif değişim aralığını belirlemek ve projenin karlılığının bu değişkendeki değişimlere ne kadar duyarlı olduğunu bulmaktır. Duyarlılık analizi, değişkenlerdeki anlık değişimlerin analizine imkân vermemekte ve her bireysel değişkenin olası değişim aralığını göstermemektedir. Bununla birlikte, gelecekteki gerçekleştirilecek çalışma adımlarındaki önem bölgelerini bulduğu için faydalıdır.

Karar vericiler, değişkenlerin makul kombinasyonlarının proje üzerindeki etkisini inceleyerek karar vermeye çalışmaktadırlar. Diğer bir deyişle, duyarlılık analizi yardımıyla farklı senaryolar altında projenin performans ölçüsünü tahmin ederek temel durum ile bu tahmini karşılaştırmaktadırlar.

Duyarlılık analizi, bilinmeyen değişkenlere odaklı olarak değişkenlerin nakit akışlarını açıklığa kavuşturur. Bu da karar vericiyi önemli değişkenleri belirlemesi için zorlar, en faydalı olma ihtimali olan katkıyı gösterir ve karmaşık veya uygun olmayan tahminleri ortaya çıkarmak için yardım eder [60].

Duyarlılık analizinin bir dezavantajı, daima belli bir miktar belirsiz sonuçlar vermesidir. Bunun sonucu olarak karar aşamasında, karar vericiden iyimser ve

kötümser tahminler içeren cevaplar beklemektedir. Subjektif yaklaşım gerektiren bu gereksinim karar verici için zor bir durumdur.

Duyarlılık analizinde değişkenlerin daha çok kombinasyonları denenerek, projenin basit bir resmi oluşturulabilir. Projenin etkili bir şekilde risk analizine tabi tutulmasının önemli bir yolu olasılık analizi yaklaşımlarını kullanmaktır.

### 3.2.3.2. Olasılık analizi

Karar verme süreci içinde, gelecek olaylar hakkında belirsizliği görebilmek için, olasılık teorisinden yararlanmak faydalıdır. Olasılık teorisi, belirsizliğin kantitatif uygulaması olarak değerlendirilebilir. Olasılık teorisinin kullanılmasıyla olayların tek bir şekilde belirlenmesi mümkün olmaktadır. Böylece belirsizlik ortadan kalkmakta her durum belirgin ve açık bir şekilde anlaşılmaktadır. Olasılık teorisi belirsizliğin bir rakam ile gösterilmesine izin vermektedir. Böylece farklı olayların belirsizliği karşılaştırılabilmektedir.

Duyarlılık analizinin aksine, olasılık analizi projenin tam bir resmini verir ve proje riskinin belirlenmesine imkan sağlamaktadır [60]. Duyarlılık ve olasılık analizi birbirinin alternatifi olarak düşünülmemelidir. Birbirinin tamamlayıcısı olarak değerlendirmek risk analizini güçlendirmektedir. Analiz içinde yer alan her bir bireysel değişken için olasılık dağılımının oluşturulması ayrıntılı ve zaman alıcı olduğundan, olasılık analizi için duyarlılık analizi kritik olan değişkenleri belirlemektedir. İki analizin bu şekilde birbirini destekleyerek kullanılması etkili risk analizi uygulamasını sağlamaktadır.

Monte Carlo simülasyonu, değişkenlerin olasılık dağılımlarıyla modellenebileceği varsayımına dayalı bir rassal simülasyon tekniğidir. Sonuç ürünün bir veya birkaç olaydan değil de, çok sayıda farklı olaydan ve onların kombinasyonundan etkilendiği durumda Monte Carlo simülasyonu aranan bir yöntem olmaktadır. Bu yöntemin diğerlerinden farkı, olayların olasılık dağılımlarının değil, daha da derine inerek bu olayları oluşturan etkenlerin olasılık dağılımlarından işe başlamasıdır. Bu etkenlerin

olasılık dağılımlarına uygun olarak yapılan değişken seçme işlemi birçok kez tekrarlanır ve her hesaplanan gösterge için bir olasılık dağılımının şekillendiği görölmektedir.

Monte Carlo simölasyonunun bir dezavantajı şudur ki: genellikle karar verme konumunda bulunan yöneticiler, değişkenleri tek bir değerle tanımlama alışkanlığına sahip olduklarından, Monte Carlo simölasyonunda olasılık dağılımlarının tanımlanması zor bir aşama olarak değerlendirilmektedir. Eski projelere ait kayıtların çoğunlukla bulunmaması ve istatistiksel verinin azlığı, analizi yapacak kişilerin en uygun olasılık dağılımını bulmakta zorlanmasına neden olmaktadır.



## BÖLÜM 4. METODOLOJİ

Bu çalışma kapsamında karayolları için FMA modellenmesinde Bulanık Bilişsel Harita (BBH) metodu kullanılmıştır. Söz konusu yöntemin kullanılmasına ilişkin gereksinimler ve nedenler aşağıda sıralanmıştır. Gereksinimler kısaca şöyle özetlenebilir:

- Yatırım projelerinin ekonomik yapılabirlik analizleri belirsizlik taşıyan, kesin olmayan ve eksiklik barındıran veriler içerebilmektedir. Kimi zaman yeterli verinin temin edilememesi de önemli bir sorun olmaktadır. Söz konusu verilerdeki bu boşluğu doldurabilecek bir yaklaşımın model içerisinde bulunması gerekmektedir.
- Ekonomik değerlendirme yöntemi olan FMA kendi içerisinde bir karar verme mekanizmasına ihtiyaç duymaktadır. Geliştirilecek modelde karar verme yetisini temin edecek bir yapının ortaya konulması gerekmektedir.
- Altyapı projelerinin ekonomik değerlendirmelerinde karar verme, uzman görüşü ve mühendislik bakış açısını gerektiren bir olgudur. Geliştirilecek modelde karar verme mekanizmasını bu bakış açısıyla yönlendirmeye zemin hazırlayacak bir yaklaşımın model içerisinde bulunması gerekmektedir.

Bu çalışma kapsamında uygulanacak yöntemin kullanılma nedenleri kısaca şöyledir:

- Doğrusal olmayan, belirsizlikler içeren ve eksik verilerin bulunduğu problemler bulanık yaklaşımlarla kolayca modellenebilmektedir. Böyle bir yapıya sahip olması nedeniyle karar verme, kontrol ve tahmin modelleri gibi pek çok alanda bulanık tabanlı yaklaşım etkin bir şekilde kullanılabilir. Ayrıca çok fazla veriye gereksinim olmadan kolayca model geliştirmek mümkündür [61].

- BBH, yapısı itibarıyla bulanık mantık, yapay sinir ağları, uzman sistemler ve doğrusal olmayan dinamik sistemler gibi pek çok yaklaşımı içerisinde barındırmaktadır. Bu zengin yapısıyla BBH pek çok karmaşık ve büyük çaplı mühendislik problemlerinin çözümlenmesini ve karar verme analizlerini etkili bir şekilde yerine getirebilmektedir [62].
- Bulanık mantık ve BBH uzman görüşüne dayalı karar verme süreçlerinde etkili bir değerlendirme aracıdır [63]. BBH'nın bu yapısı, geliştirilecek modelde karar verme mekanizması için önemli bir özellik olacaktır.

Yukarıda bahsi geçen gereksinimler ve nedenler göz önüne alındığında çalışmada kullanılmak üzere BBH yaklaşımının uygun bir yöntem olacağı düşünülmektedir.

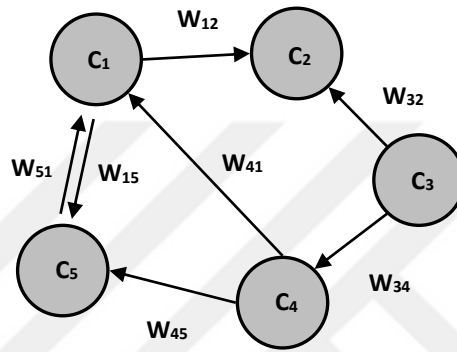
#### 4.1. Bulanık Bilişsel Harita

Bilişsel Haritalar; düğümlerle ifade edilen kavramsal değişkenler ile bu düğümler arasında çizilen ve yer aldığı iki düğüm arasında nedensel bir ilişki olduğunu gösteren linklerden oluşan yöneltmiş çizgilerdir. İlk defa 1948 yılında, insanların ve hayvanların çevrelerini yapılandırma yollarını gösteren düşünsel modeller olarak Edward Tolman tarafından “Cognitive Maps in Rats and Man” adlı makalesinde açığa çıkmıştır [64]. Temel fikir; insanların ve hayvanların çevrelerinin; düğümlerin olaylar ve objeleri, düğümler arasındaki okların ise bu olaylar veya objeler arasındaki algılanan ilişkileri belirttiği yöneltmiş çizgiler olarak gösterilmesi ortaya konmuştur. Ancak bu tekniğin kullanımına asıl dikkati 1976 yılında Robert Axelrod “The Cognitive Maps of Political Elites” adlı çalışması ile çekmiştir [64]. Daha sonra psikoloji, eğitim, arkeoloji, planlama, coğrafya, mimarlık, şehir planlaması ve yönetimi gibi pek çok alanda bilişsel haritalarla ilgili bilimsel çalışmalar yapılmıştır [31].

BBH, karmaşık sistemlerin tanımlanması ve modellenmesi için sembolik birer temsildir. Sistemin dinamikleri doğrultusunda farklı durum ve şartlar karşısında insan tecrübe ve bilgisine dayalı farklı çözümleri içinde barındıran BBH, kavramlar

arasındaki etkileri kolaylıkla sunabilmektedir. Bu yapısı ile karar verme analizleri ve yöneylem araştırmalarında etkin bir şekilde kullanılmaktadır [62].

BBH, Şekil 4.1.'de görüldüğü gibi, düğümlerin kavramsal değişkenleri veya sistemi oluşturan elementleri; düğümler arasında bulunan, yönü ve ağırlığı belirtilen çizgilerin ise kavramsal değişkenler arasındaki nedensel ilişkileri gösterdiği yöneltmiş çizgilerden oluşmaktadır [64].



Şekil 4.1. Basit bir bulanık bilişsel harita [26]

Kavramsal değişkenler; durum, değişken, olay, faaliyet, amaç vb. ifade edebilir. Her bir kavramsal değişken zaman içinde diğer kavramsal değişkenler ile etkileşim sonucu değişebilen değerler alır. Klasik BBH yönteminde kavramsal değişken değerleri (0,1) aralığında değer alır. Kavramsal değişkenler arasındaki ilişkiler bulanık olarak tanımlanır ve [-1,1] aralığında değer alırlar [62]. Bu nedenle C<sub>i</sub> ve C<sub>j</sub> kavramsal değişkenleri arasında üç farklı tip nedensel ilişki olabilmektedir:

- $W_{ij} > 0$ ; C<sub>i</sub> ve C<sub>j</sub> kavramsal değişkenleri arasında pozitif ilişki olduğunu gösterir, yani C<sub>i</sub> kavramsal değişkenindeki artış C<sub>j</sub> kavramsal değişkeninde de artışa veya C<sub>i</sub> kavramsal değişkenindeki azalış, C<sub>j</sub> kavramsal değişkeninde de azalışa neden olur.
- $W_{ij} < 0$ ; C<sub>i</sub> ve C<sub>j</sub> kavramsal değişkenleri arasında negatif ilişki olduğunu gösterir, yani C<sub>i</sub> kavramsal değişkenindeki artış C<sub>j</sub> kavramsal değişkeninde azalışa veya C<sub>i</sub> kavramsal değişkenindeki azalış, C<sub>j</sub> kavramsal değişkeninde artışa neden olur.

- $W_{ij} = 0$ ;  $C_i$  ve  $C_j$  kavramsal değişkenleri arasında ilişki olmadığını gösterir.  $W_{ij}$  değeri,  $C_i$  kavramsal değişkeninin  $C_j$  kavramsal değişkenini ne kadar güçlü etkileyeceğini göstermektedir [65].

Her  $C_i$  kavramsal değişkeni için  $A_i$  kavramsal değişken değeri aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$A_i^t = f \left( \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n A_j^{t-1} W_{ji} + A_i^{t-1} \right) \quad (4.1)$$

$A_i^t$ ,  $C_i$  kavramsal değişkeninin  $t$  zamanındaki değerini;  $A_i^{t-1}$ ,  $C_i$  kavramsal değişkenini etkileyen  $C_j$  kavramsal değişkenlerinin  $(t-1)$  zamanındaki değerini;  $W_{ji}$ ,  $C_j$  kavramsal değişkeninden  $C_i$  kavramsal değişkenine olan etki değerini; ve  $f$  eşik fonksiyonunu göstermektedir [31]. BBH'da yaygın olarak kullanılan eşik değer fonksiyonları aşağıdaki gibidir [62].

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-\lambda x}} \quad (4.2)$$

$$f(x) = \tanh(x) \quad (4.3)$$

#### 4.1.1. Bulanık bilişsel harita oluşturma metotları

Özellikle karmaşık sistemlerin modellenmesinde BBH'nın dizaynı ve geliştirilmesi önemli bir role sahiptir. Uzmanlar, BBH ile model geliştirirken kendi bilgi ve tecrübeleri doğrultusunda yapılar ortaya koymaktadırlar. Dolayısıyla elde edilen model ve sistem davranışı uzman bilgi ve tecrübeleri üzerine dayanmaktadır. Ancak kavramlar arasındaki ilişkinin derecesinin belirlenmesi, uygun ağırlıkların seçimi ile mümkün olmaktadır. Söz konusu ağırlıkların belirlenmesi ise esas olarak üç yöntem ile ortaya konulmaktadır [62].

#### 4.1.1.1. Sayısal ağırlıkların atanması

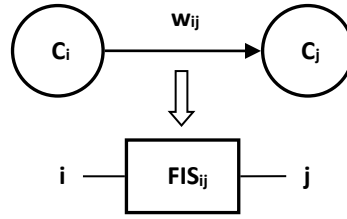
Karmaşık sistem davranışlarının BBH ile modellenmesi uzmanların öznel yaklaşımlarıyla mümkün olmaktadır. Kavramlar arasındaki ilişkileri uzmanlar kendi bilgi ve tecrübelerine göre model içerisine yerleştirirler. Sonuçta elde edilen model ise uzmanların bireysel olarak kavramlar arasında belirledikleri farklı ilişki ve ağırlıkların toplam bir ürünü olarak ortaya çıkmaktadır.

$$W = f \left( \sum_{k=1}^N b_k W_k \right) \quad (4.4)$$

Burada  $W$  toplam ağırlık matrisi;  $W_k$  bireysel ağırlık matrisi;  $b_k$  her bir uzmanın sisteme olan katkısı;  $N$  sisteme katkı sağlayan uzman sayısı;  $f$  eşik değeri vermektedir. Ancak böyle bir yaklaşımda hangi uzmanın sisteme ne kadar katkı sağlayacağını tespit etmek oldukça zordur. Her bir uzmanın belirlediği ağırlık değerleri ve uzmanların katkı derecelerini yalnızca bir sistem içerisinde göstermek yerine her bir uzman için bir BBH modeli geliştirmek daha uygulanabilir bir yaklaşım olmaktadır. Elde edilen ağırlık değerleri bir algoritma içerisinde toplanıp, kıyaslanabilmektedir [62].

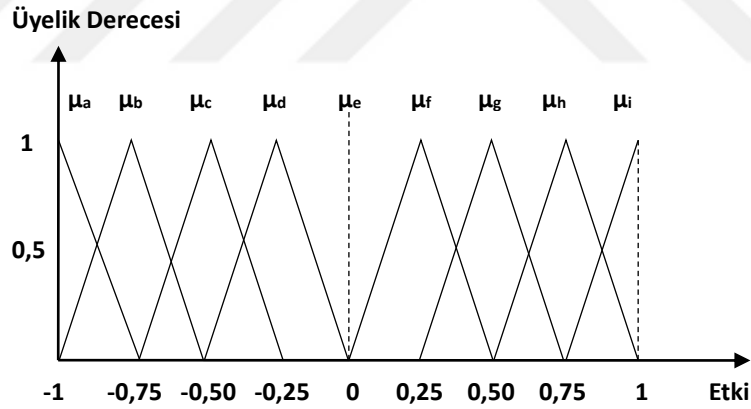
#### 4.1.1.2. Dilsel değişkenlerin atanması

Bir diğer yöntem de BBH'nın bulanık mantık ile kurulmasıdır. Bu yöntemde, uzmanlar kavramlar arasındaki ilişkileri dilsel ifadelerle belirlemektedirler. Yani kavramlar arasındaki ağırlıklar bulanık yaklaşımı ile ortaya konulmaktadır [66]. Şekil 4.2.'de kavramlar arasındaki ağırlıkların bulanık mantık yardımıyla belirlendiğine dair bir gösterim verilmektedir.



Şekil 4.2. Bulanık çıkarsama ile ağırlıkların elde edilmesi [66]

Dilsel veriler BBH'da her bir kavram arasında  $[-1,1]$  aralığındaki değerleri ifade etmektedir. Her bir değer aralığı bulanık kümelerle ifade edilirken durulaştırma işleminde ise ağırlık merkezi yöntemi ile kesin değerler elde edilmektedir. Şekil 4.3.'te BBH'da kavramlar arasındaki ağırlıkların dilsel değişkenlere dönüştürülmesinde kullanılan bulanık üyelik fonksiyonları görülmektedir [62]. Üyelik fonksiyonlarında, üçgensel ifadeler olabileceği gibi trapez, eğrisel vb. gibi fonksiyonlar da kullanılabilir. Kurulacak modelin hassasiyetine bağlı olarak üyelik fonksiyonlarındaki adımlarda daha küçük aralıklar kullanılabilir.



Şekil 4.3. Dilsel değişkenlerine ait etki değerleri [62]

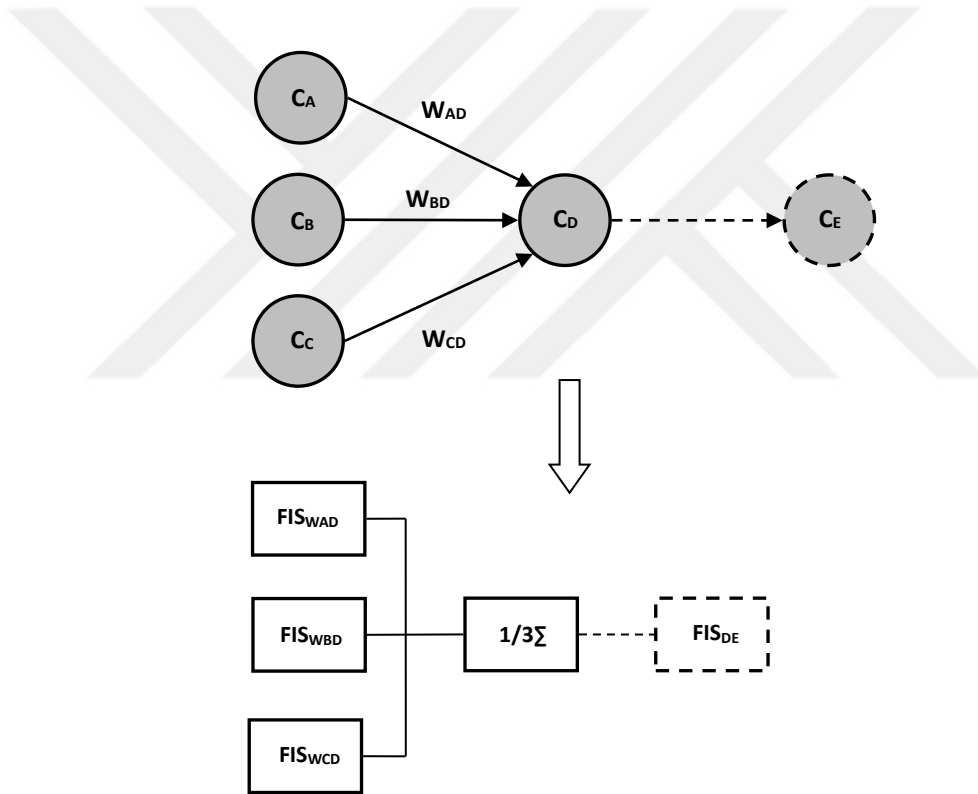
Şekil 4.3.'te verilen üyelik fonksiyonlarından  $\mu_a$  ; negatif çok güçlü,  $\mu_i$  ; pozitif çok güçlü,  $\mu_b$  ; negatif güçlü,  $\mu_h$  ; pozitif güçlü,  $\mu_c$  ; negatif orta,  $\mu_g$  ; pozitif orta,  $\mu_d$  ; negatif zayıf,  $\mu_f$  ; pozitif zayıf ifadelerine karşılık gelmektedir.

Bulanıklaştırılmış kavramlar daha sonra bir kural tabanında ifade edilirler. Söz konusu kural tabanı bir girdi ve çıktıdan oluşmaktadır. Bu durum bulanık sistemdeki

hesaplanması gereken tüm ağın hesaplama işini kolaylaştırmakta bir başka deyişle kural patlama riskini azaltmaktadır. Bulanık çıkarsama sisteminin sonuçları bir toplam operatöründe birleştirilir [62].

$$A = \frac{1}{n} \left( \sum_{i=1}^n w_i b_i \right) \quad (4.5)$$

Burada  $w_i$  kavramsal değişkenler arasındaki ağırlık değerini;  $n$  katılan uzman sayısını göstermektedir. Şekil 4.4.'te BBH'da bulanıklaştırma ve toplam operatörüne dair bir gösterim verilmektedir.



Şekil 4.4. Bulanık toplam operatörü [66]

Toplam operatöründe birleştirilen tüm sonuçlar durulaştırma işlemi ile ağırlık değerlerine dönüşmektedirler. Durulaştırma işleminde ağırlık merkezi yöntemi kullanılmaktadır. Elde edilen ağırlık değerleriyle bir ağırlık matrisi oluşturulmaktadır [65].

Dilsel değişkenlerin atanması yöntemi, kavramlar arasındaki ilişki dereceleri belirlenirken uzmanların başlangıçta sayısal değer atama zorunluluğunu ortadan kaldırmaktadır [62].

#### 4.1.1.3. Farklı bulanık bilişsel haritaların sentezlenmesi

Farklı katılımcıların BBH'larını birleştirmek mümkündür. Sonuçta elde edilen BBH modeli ayrı ayrı çizilmiş BBH'ların içerdiği tüm düğümleri ve ilişkilerle ilgili olarak da ortalamaları içerecektir. Bu yönü itibariyle BBH'ya katılımcı birleştirme aracı da denilebilir [64]. Bu şekilde birleştirilmiş BBH, katılımcıların belirlediği kavramsal değişkenlerin tamamını içermektedir. Birleştirilmiş BBH'ya ait yeni ağırlık matrisi (Denklem 4.6) kullanılarak hesaplanır.

$$F = \sum_{i=1}^n w_i F_i \quad (4.6)$$

Burada F, birleştirmeden sonra elde edilen yeni ağırlık matrisini;  $F_i$ , birleştirilecek BBH'lara ait ağırlık matrislerini göstermektedir.  $w_i$ , birleştirilecek BBH'lara bağlı olarak elde edilen ve yeni ağırlık matrisini belirlemede kullanılan değerdir [64]. Örnek olarak aşağıda farklı BBH'lara ait ağırlık matrislerinin birleştirilmesi görülmektedir.

$$W_1 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & W_{13} \\ W_{21} & 0 & 0 \\ W_{31} & W_{32} & 0 \end{bmatrix} \quad \text{ve} \quad W_2 = \begin{bmatrix} 0 & W_{45} & W_{46} \\ W_{54} & 0 & W_{56} \\ 0 & W_{65} & 0 \end{bmatrix}$$

$$W = \begin{bmatrix} W_1 & 0 \\ 0 & W_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & W_{13} & 0 & 0 & 0 \\ W_{21} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ W_{31} & W_{32} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & W_{45} & W_{46} \\ 0 & 0 & 0 & W_{54} & 0 & W_{56} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & W_{65} & 0 \end{bmatrix}$$

Elde edilen BBH katılımcıların (uzmanların) görüşlerinin ortalaması gibi düşünölmekte ve analizler bu BBH üzerinde yapılmaktadır.

Bu çalışma kapsamında, karayolu yatırımlarının ekonomik değeriendirilmesi ve karar verme süreci için geliştirilecek modelde BBH'nın oluşturulması aşamasında dilsel değışkenlerin atanması metodu kullanılmıştır. Çünkü söz konusu metot, bulanık mantık yaklaşımına daha yakın bir yol izlemekte olup karar verme sürecinde karşılaşılabilecek belirsizlik ve kesin olmayan durumlara karşı etkili bir davranış göstereceğı literatür araştırması [40, 62, 65, 79] neticesinde öngörölmüşür.



## **BÖLÜM 5. ARAŞTIRMA BULGULARI**

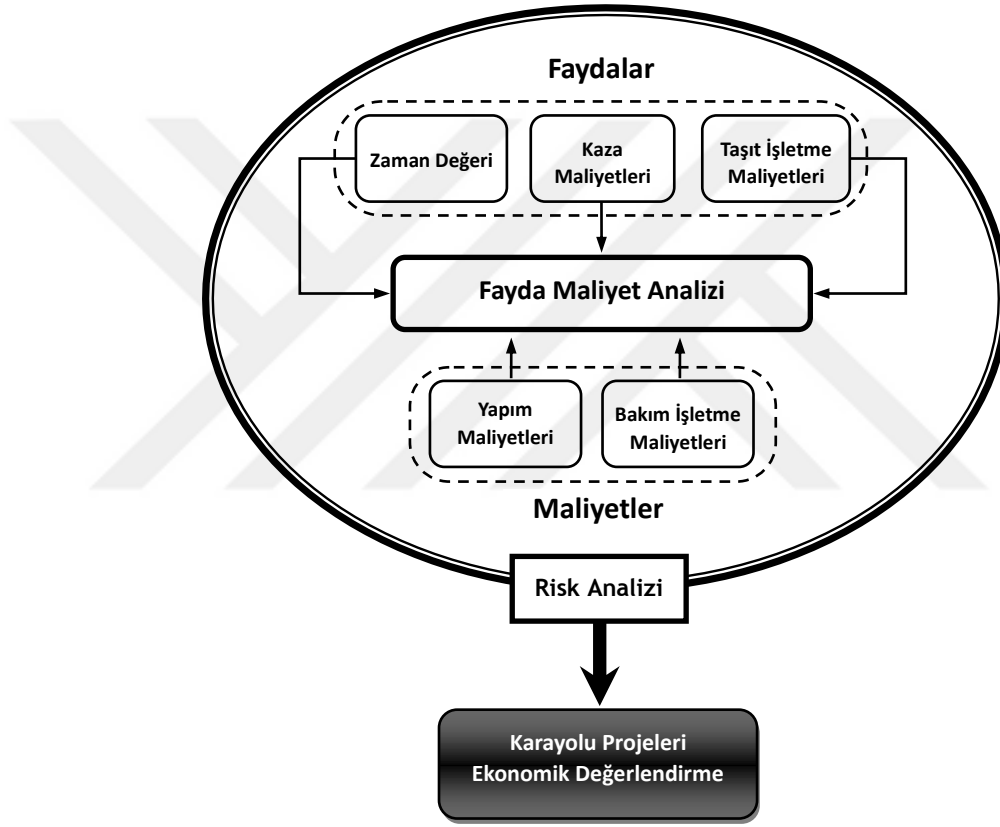
### **5.1. Geliştirilen Fayda Maliyet Analiz Modeli**

Dünyada ve ülkemizde karayollarının ekonomik değerlendirmelerinde yaygın olarak kullanılan FMA, toplumsal fayda odaklı değerlendirmeler yapması açısından ulaştırma ekonomisi için önemli bir yere sahiptir. Ancak analiz, yapısı itibariyle inşa edilecek yapının tüm ömrü boyunca karşılaşacağı fayda ve maliyetlerin tahmin edilmesi, ülkenin sosyo-ekonomik yapısı hakkında bazı kestirimlerin yapılması gibi belirsizlikleri içermektedir. Özellikle de toplumsal ve mali yapısı gelecek yıllar için öngörülemeyen ülkelerde karayolu gibi uzun ömürlü yapıların değerlendirilmeleri oldukça güç hale gelmektedir. Bununla birlikte değerlendirme için gerekli verilerin doğru ve eksiksiz toparlanmaması ve istatistiklere yeterli ve gerekli bilgilerin yansıtılamaması da analiz için önemli bir sorun olmaktadır. Tüm bu ve benzeri olumsuzluklar bilhassa yüksek maliyetli yol projelerinin yanlış değerlendirilme riskini ortaya çıkarmaktadır.

Yapılan literatür çalışmaları sonucunda, ulaştırma ekonomisi için büyük bir önemi olan FMA yönteminin geliştirilmesi gereken tarafının, karşı karşıya kalmış olduğu yanlış tahminler, eksik ve yanlış veriler, ekonomik belirsizlikler vb. gibi olumsuz etkilerinin ortadan kaldırılması olduğu tespit edilmiştir. Bu bağlamda FMA'ya katkı sağlayacak model, BBH yöntemi ile ortaya konulmuştur.

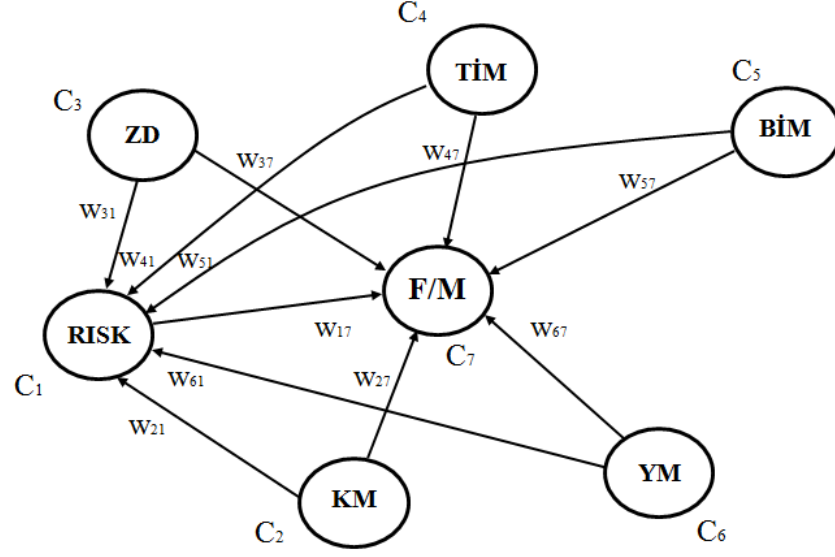
### 5.1.1. Bulanık bilişsel harita tabanlı fayda maliyet analiz modeli

Geliştirilen FMA modelinde, geleneksel yöntemde karşılaşılan eksik ve kesin olmayan veriler ile yanlış tahminler gibi olumsuz etkilerin ortadan kaldırılması hedeflenmiştir. Bu doğrultuda geleneksel FMA'nın geniş bir risk analizi çerçevesinde değerlendirilmesi düşünülmektedir. Modelin geliştirilmesine dair bileşenlerin yer aldığı çerçeve tarafımızdan Şekil 5.1.'deki gibi oluşturulmuştur.



Şekil 5.1. Geliştirilen modele ait çerçeve

BBH yönteminde en önemli husus, geliştirilecek modelin iskelet yapısının oluşturulması ve sistemde birbirlerini etkileyen kavramların tespit edilmesidir. Bir sonraki aşama ise kavramlar arasındaki ağırlıkları belirleme işleminin gerçekleştirilmesidir. Bu doğrultuda önerilen fayda maliyet modeline ilişkin BBH yapısı Şekil 5.2.'deki gibi oluşturulmuştur. Modelin oluşturulmasında geleneksel FMA'da yer alan değişkenlerin birbirleri ile olan ilişkileri ve etkileri dikkate alınmış ve bu doğrultuda BBH modelinin iskelet yapısı meydana getirilmiştir.



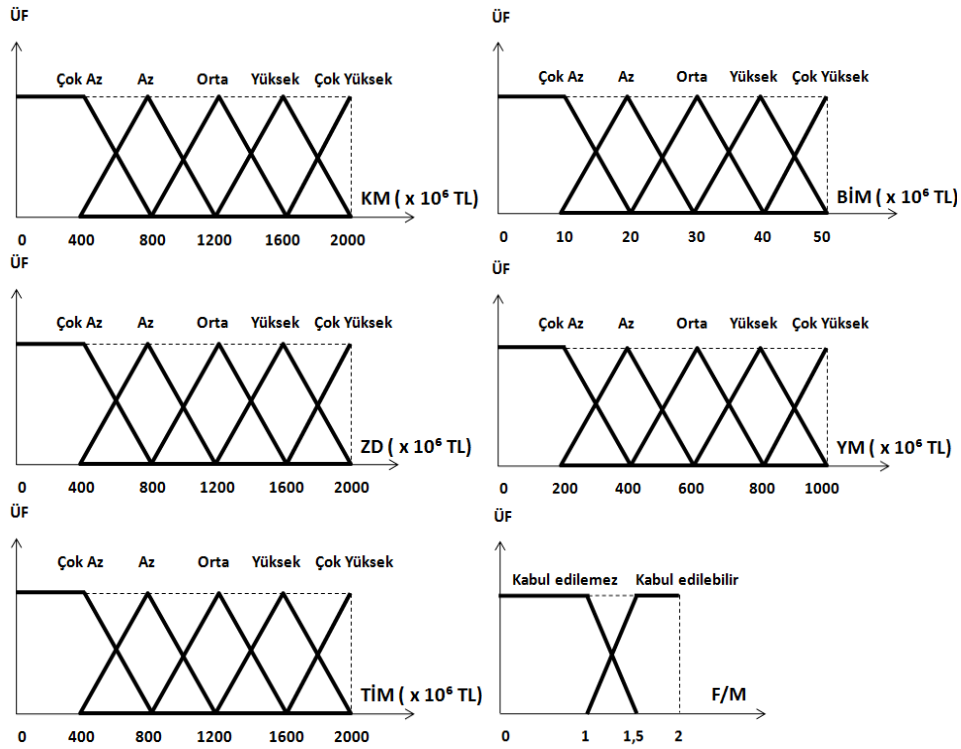
Şekil 5.2. Geliştirilen modelin bulanık bilişsel haritası

Model, geleneksel FMA'nın içerdiği temel değişkenler olan KM, ZD, TİM, YM, BİM'yi içermektedir. Şekil 5.2.'de söz konusu değişkenlerin birbirleri ile olan ilişkileri görülmektedir. Önerilen model için geleneksel FMA'ya RISK parametresi dâhil edilmiş ve bu parametrenin diğer değişkenler üzerindeki etkileri dikkate alınarak sistem değerlendirilmiştir. Sistem 2 aşamada oluşturulmuştur. İlki; FMA'nın temel değişkenlerinin birbirleri ve F/M oranı ile olan ilişkilerinin ve etki düzeylerinin uzman görüşlerine dayanarak bulanık bir yaklaşımla tespit edilmesidir. İkincisi; sistemdeki bu temel değişkenlerin bulanık risk analizleri yapılarak risk etkilerinin sistem üzerindeki değerlerinin elde edilmesidir. Önerilen modele ait tüm etki düzeylerinin belirlenmesine ilişkin detaylı açıklamalar aşağıda başlıklar halinde verilmiştir.

#### 5.1.1.1. Ağırlıkların belirlenmesi

BBH, kavramsal değişkenler arasında etkilerin bulunduğu ve bu etkilerin ağırlıklandırıldığı kesikli dinamik sistemlerdir [67]. Bu yöntem için en önemli aşamalardan biri, iskelet yapısı oluşturulmuş bir BBH modelinde kavramsal değişkenler arasındaki ağırlıkların belirlenmesidir. Buna ilişkin olarak Bölüm 4'te bahsedildiği üzere literatürde farklı yöntemler bulunmakta olup bu çalışma kapsamında daha etkin bir çözüm getireceği öngörülerek bulanık kural tabanı (dilsel

değişkenlerin atanması) yaklaşımı tercih edilmiştir. Söz konusu yaklaşımda kavramsal değişkenler arasında bulunan etkiler uzman görüşlerinin değerlendirmeleri sonucunda ortaya konulmaktadır. Bunun için öncelikle kavramsal değişkenler ve aralarındaki etkiler bulanıklaştırılır. Şekil 5.3.'de önerilen modele ait kavramsal değişkenlerin bulanıklaştırılmasına dair bir gösterim verilmiştir.

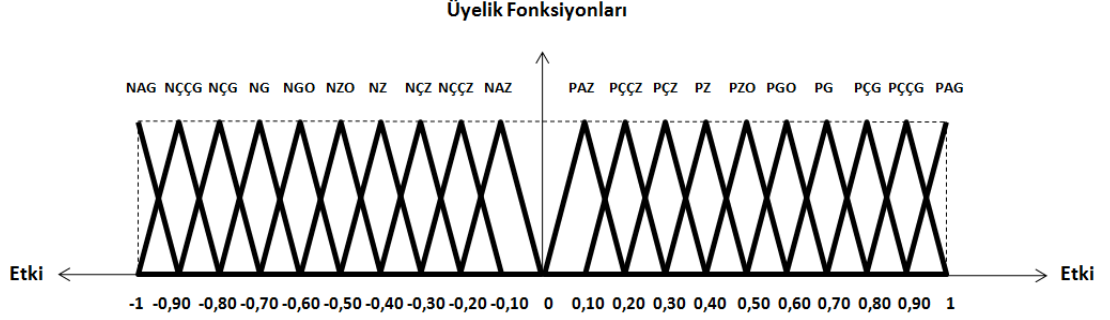


Şekil 5.3. Önerilen modeldeki kavramsal değişkenlerin bulanıklaştırılması

Önerilen modeli meydana getiren kavramsal değişkenler üçgensel üyelik fonksiyonları ile bulanıklaştırılmış; “Çok Az, Az, Orta, Yüksek, Çok Yüksek” şeklinde dilsel ifadelere dönüştürülmüştür. Şekil 5.3.'de görülen kavramsal değişkenler farklı ölçekteki uygulamalara kolay adapte edilebilir nitelikte olması için doğrusal artışlar gösteren değerler ve aralıklar tercih edilmiştir.

Kavramsal değişkenlerin bulanıklaştırılmasının ardından kavramsal değişkenler arasındaki etkilerin de bulanıklaştırılması gerekmektedir. BBH, yapısı itibarıyla kavramsal değişkenler arasındaki bu etkilerin  $[-1,1]$  aralığında olmasını istemektedir [68]. Bu açıdan, kavramsal değişkenler arasındaki etkilerin sisteme sunulabilmesi için  $[-1,1]$  arasındaki değerlerin bulanıklaştırılması gerekmektedir.

Şekil 5.4.'te BBH'da kavramsal değişkenler arasındaki etki değerlerinin bulanıklaştırılma işlemi görülmektedir.



Şekil 5.4. Kavramsal değişkenler arasındaki etkilerin bulanıklaştırılması

Şekil 5.4.'te görüldüğü gibi kavramsal değişkenler arasındaki etkiler üçgensel üyelik fonksiyonları ile bulanıklaştırılmış olup, bulanıklaştırılan değerler “Negatif Aşırı Güçlü (NAG), Negatif Çok Çok Güçlü (NÇÇG), Negatif Çok Güçlü (NÇG), Negatif Güçlü (NG), Negatif Güçlü Orta (NGO), Negatif Zayıf Orta (NZO), Negatif Zayıf (NZ), Negatif Çok Zayıf (NÇZ), Negatif Çok Çok Zayıf (NÇÇZ), Negatif Aşırı Zayıf (NAZ), Pozitif Aşırı Zayıf (PAZ), Pozitif Çok Çok Zayıf (PÇÇZ), Pozitif Çok Zayıf (PÇZ), Pozitif Zayıf (PZ), Pozitif Zayıf Orta (PZO), Pozitif Güçlü Orta (PGO), Pozitif Güçlü (PG), Pozitif Çok Güçlü (PÇG), Pozitif Çok Çok Güçlü (PÇÇG), Pozitif Aşırı Güçlü (PAG)” şeklinde dilsel ifadelerle dönüştürülmüştür.

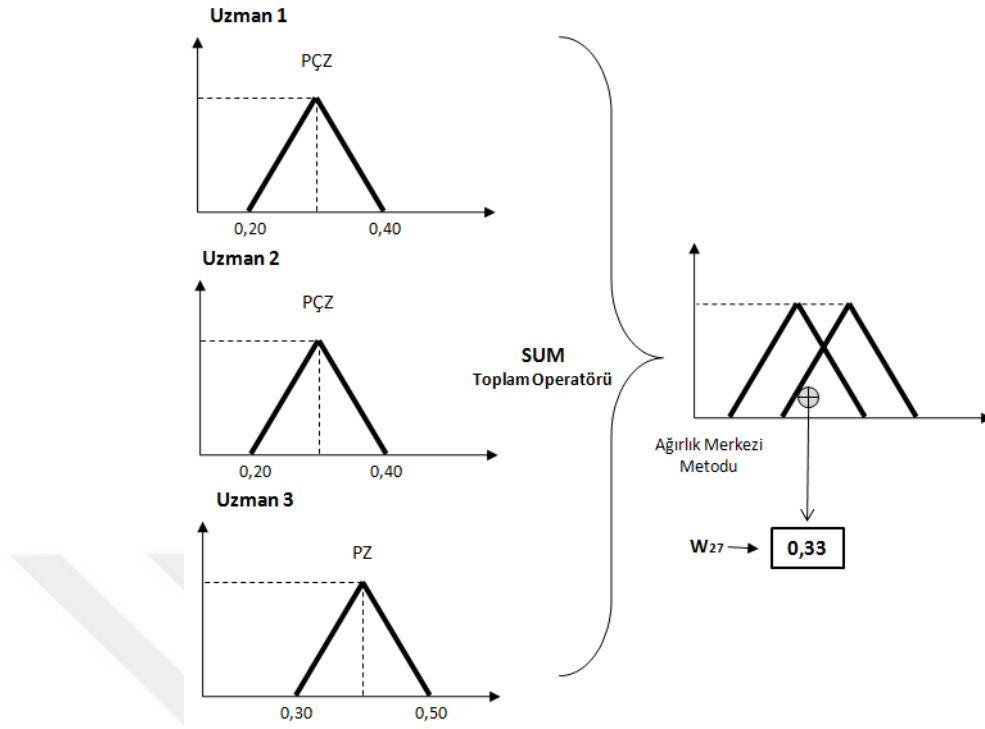
Bulanıklaştırılma işlemi ile birlikte kavramsal değişkenler arasındaki ağırlık değerlerinin tespiti için kural tabanının oluşturulması gerekmektedir [69]. Kural tabanı, ülkemiz ulaştırma birimlerinde görev yapan karayolları ekonomik fizibilite çalışmalarında yetkin 3 uzmanın bilgisine dayanılarak oluşturulmuştur. Kavramsal değişkenler arasındaki etkilerin belirlenmesi için uzman görüşlerine dair bir gösterim Tablo 5.1.'de verilmiştir.

Tablo 5.1. Önerilen modelde BBH kural tabanına dair bir örnek gösterim

| Uzmanlar | Bulanık Kurallar                                                                                                                                                                                                   |  |
|----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
|          | $C_2 \Rightarrow C_7$                                                                                                                                                                                              |  |
| 1        | Kaza Maliyetlerinde <b>çok büyük artış</b> meydana gelirse Fayda Maliyet Oranında pozitif yönde <b>çok küçük bir artış</b> meydana gelir.<br>Çıkarım; $C_2$ 'den $C_7$ 'e olan etki <b>Pozitif Çok Zayıf (PÇZ)</b> |  |
| 2        | Kaza Maliyetlerinde <b>çok büyük artış</b> meydana gelirse Fayda Maliyet Oranında pozitif yönde <b>çok küçük bir artış</b> meydana gelir.<br>Çıkarım; $C_2$ 'den $C_7$ 'e olan etki <b>Pozitif Çok Zayıf (PÇZ)</b> |  |
| 3        | Kaza Maliyetlerinde <b>çok büyük artış</b> meydana gelirse Fayda Maliyet Oranında pozitif yönde <b>küçük bir artış</b> meydana gelir.<br>Çıkarım; $C_2$ 'den $C_7$ 'e olan etki <b>Pozitif Zayıf (PZ)</b>          |  |

Tablo 5.1.'de görüldüğü üzere kavramsal değişkenler arasındaki etkiler tespit edilirken etki eden kavramda meydana gelebilecek büyük bir değişim, etki ettiği kavramı değişime uğratacağı ölçüde kavramlar arasındaki etki düzeyi belirlenmektedir. Uzmanlar kavramlar arasındaki etkileşimleri kendi görüşlerine dayanarak bu şekilde kural haline getirmektedirler.

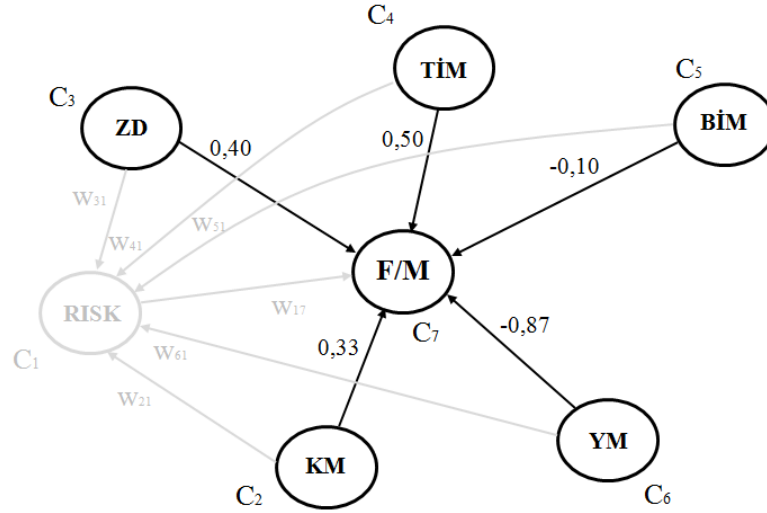
Birbirleri ile etkileşim halinde bulunan tüm kavramsal değişkenler arasındaki kurallar uzmanlar tarafından oluşturulduktan sonra kuralların birleştirilmesi ve buna bağlı olarak ağırlık değerlerinin hesaplanması aşamasına geçilmektedir. Bu bağlamda uzman görüşleri sonucunda elde edilen “Pozitif Çok Zayıf (PÇZ), Pozitif Çok Zayıf (PÇZ), Pozitif Zayıf (PZ)” çıkarımlarına karşılık gelen Şekil 5.4.’teki üçgensel üyelik fonksiyonları, toplam operatörü yardımıyla toplanırlar. Burada toplam operatörü olarak geleneksel bulanık mantık yaklaşımında kullanılan Min-Max yönteminin aksine SUM metodu kullanılmaktadır. Çünkü uzman görüşlerinin hepsi de eşit katkı değerine sahiptirler. SUM yöntemi tüm uzman görüşlerine karşılık gelen üçgensel fonksiyonları eşit katkılarla toplayarak değerlendirmektedir [65]. Şekil 5.5.’te uzman görüşlerinin toplanmasına ve kavramlar arasındaki ağırlık değerlerinin tespit edilmesine dair gösterim verilmiştir.



Şekil 5.5. Uzman görüşlerinin bulanık operatörü ile toplanması ve durulaştırma

Şekil 5.5.'te görüldüğü üzere bulanık kural tabanında belirlenen uzman görüşlerine karşılık gelen üçgensel üyelik fonksiyonları bulanık toplam operatörü ile toplanmıştır. Sistemdeki kavramsal değişkenlerden  $C_2$ 'den  $C_7$ 'e olan etki bulanık mantıkta kullanılan durulaştırma yöntemlerinden ağırlık merkezi metodu kullanılarak elde edilmiştir. Sistemde bulunan  $C_3 \Rightarrow C_7$ ,  $C_4 \Rightarrow C_7$ ,  $C_5 \Rightarrow C_7$ ,  $C_6 \Rightarrow C_7$  etkileri aynı şekilde hesaplanmış olup sonuç değerleri Şekil 5.6.'da görülmektedir.

Buraya kadar yapılan işlemlerle karayolları geleneksel FMA'nın BBH metodu ile ele alınması ve gerekli ağırlık değerlerinin hesaplanması gerçekleştirilmiştir. Ancak geliştirilen fayda maliyet analiz modeline tarafımızdan bir RİSK parametresi yerleştirilmiştir. Söz konusu parametrenin sisteme dâhil edilmesi ve ağırlık değerlerinin hesaplanması bir sonraki bölümde incelenecektir.



Şekil 5.6. FMA'nın ağırlık değerleri hesaplanmış bulanık bilişsel haritası

#### 5.1.1.2. RİSK parametresi

Ömrü uzun yıllara ulaşan karayolu yatırımlarının ekonomik değerlendirmeleri gelecek yıllara dair tahminlerin ve pek çok bilginin doğru elde edilmesi temeline dayanmaktadır. Aksi takdirde karar vericinin topluma katkı sağlamayacak projeleri “yapılabilir” olarak değerlendirmeye almasına neden olacaktır. Bu nedenle yüksek maliyetli yatırımlar olan ulaştırma projelerinin yapılabilirlik değerlendirmeleri için kullanılan FMA sonrasında, yapılan analizin güvenilirliğini temin edecek uygulamalara ihtiyaç duyulmaktadır. Geleneksel yaklaşımda FMA sonrasında genellikle duyarlılık analizleri yapılmakta ve FMA'nın güvenilirliği ortaya konulmaktadır. Bu çalışma kapsamında ise geleneksel yaklaşıma alternatif olarak zeki bir sistem ile yeni bir model ortaya konulmuştur. Bu çalışmanın özgünlüğünü oluşturan kısım ise analizin güvenilirliğini temin edecek olan bir RİSK parametresinin model içerisine entegre edilmesidir. Söz konusu bu parametre analizi bir risk analizi çerçevesinde değerlendirilerek elde edilen sonucu karar vericiye sunmaktadır.

RİSK parametresinin sisteme dâhil edilmesi ve sistemdeki diğer parametreler üzerindeki etkilerinin belirlenmesinde, geleneksel risk analiz aşamaları takip edilmiştir. Bu bağlamda risk analizinin temel adımları olan risklerin belirlenmesi,

risklerin tanımlanması, risklerin tahmin edilmesi ve risklerin değerlendirilmesi aşamaları izlenmiştir [70].

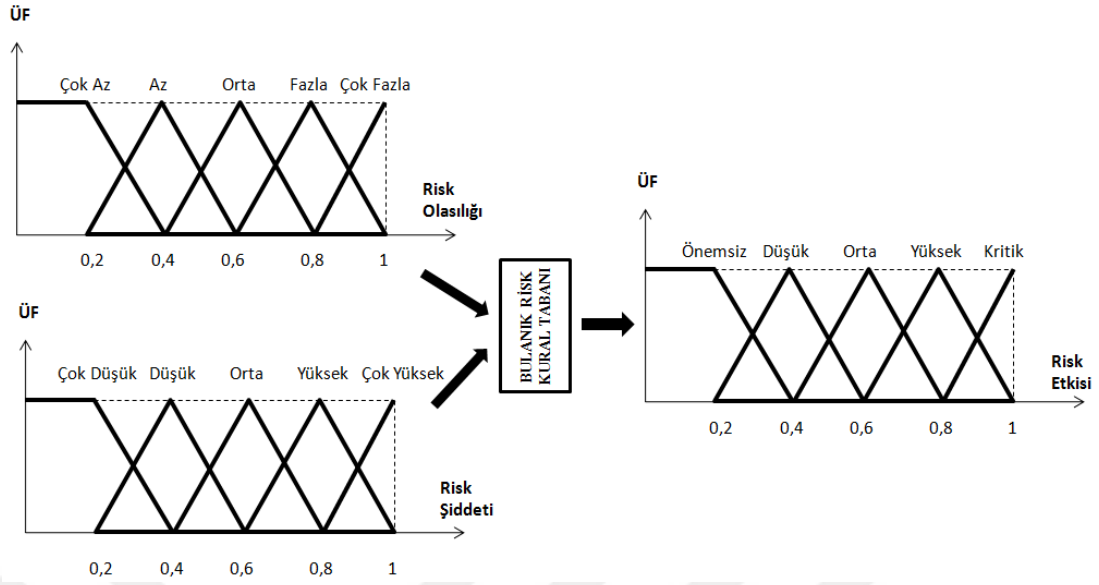
Karayolları FMA'ya dair riskler yapılan literatür çalışmaları neticesinde belirlenerek tarafımızdan tanımlamaları gerçekleştirilmiştir. Risklerin tahmin edilmesi aşamasında ülkemiz ulaştırma birimlerinde görev yapan ekonomik fizibilite etütleri konusunda uzman kişilerden faydalanılmıştır. Risklerin değerlendirilmesi ise bulanık risk analizleri ile gerçekleştirilmiştir. Tablo 5.2.'de karayolları FMA'da risklerin tanımlanmasına ilişkin bir gösterim verilmiştir.

Tablo 5.2. Kaza maliyetlerine ilişkin risklerin tanımlanması

| Risk Olasılığı                                                                                                                                                                                                           | Risk Şiddeti                                                                                                                                                                                                   |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1-Kaza tutanaklarının eksik veya yanlış bilgiler içermesi<br><input type="checkbox"/> Çok az <input type="checkbox"/> Az <input type="checkbox"/> Orta <input type="checkbox"/> Fazla <input type="checkbox"/> Çok Fazla | 1- Bu riskin hesaplar üzerindeki etkisi<br><input type="checkbox"/> Çok düşük <input type="checkbox"/> Düşük <input type="checkbox"/> Orta <input type="checkbox"/> Yüksek <input type="checkbox"/> Çok yüksek |
| 2-Kaza istatistiklerinde eksik verilerin bulunması<br><input type="checkbox"/> Çok az <input type="checkbox"/> Az <input type="checkbox"/> Orta <input type="checkbox"/> Fazla <input type="checkbox"/> Çok Fazla        | 2- Bu riskin hesaplar üzerindeki etkisi<br><input type="checkbox"/> Çok düşük <input type="checkbox"/> Düşük <input type="checkbox"/> Orta <input type="checkbox"/> Yüksek <input type="checkbox"/> Çok yüksek |
| 3-Kaza İstatistiklerinde yanlış verilerin bulunması<br><input type="checkbox"/> Çok az <input type="checkbox"/> Az <input type="checkbox"/> Orta <input type="checkbox"/> Fazla <input type="checkbox"/> Çok fazla       | 3- Bu riskin hesaplar üzerindeki etkisi<br><input type="checkbox"/> Çok düşük <input type="checkbox"/> Düşük <input type="checkbox"/> Orta <input type="checkbox"/> Yüksek <input type="checkbox"/> Çok yüksek |
| 4- Kaza birim maliyetlerinin yanlış belirlenmesi<br><input type="checkbox"/> Çok az <input type="checkbox"/> Az <input type="checkbox"/> Orta <input type="checkbox"/> Fazla <input type="checkbox"/> Çok fazla          | 4- Bu riskin hesaplar üzerindeki etkisi<br><input type="checkbox"/> Çok düşük <input type="checkbox"/> Düşük <input type="checkbox"/> Orta <input type="checkbox"/> Yüksek <input type="checkbox"/> Çok yüksek |
| 5- Iskonto oranında meydana gelebilecek değişiklikler<br><input type="checkbox"/> Çok az <input type="checkbox"/> Az <input type="checkbox"/> Orta <input type="checkbox"/> Fazla <input type="checkbox"/> Çok fazla     | 5- Bu riskin hesaplar üzerindeki etkisi<br><input type="checkbox"/> Çok düşük <input type="checkbox"/> Düşük <input type="checkbox"/> Orta <input type="checkbox"/> Yüksek <input type="checkbox"/> Çok yüksek |

Literatür çalışmaları neticesinde belirlenen riskler Tablo 5.2.'de görüldüğü şekilde tanımlanarak uzman görüşlerine hazır hale getirilmiştir.

Risk etki değeri, olasılık ve şiddetin bir fonksiyonu olması nedeniyle [71] RISK parametresinin sistemdeki diğer parametreler üzerindeki etki değerlerine ulaşabilmek için tanımlamalar risk olasılığı ve risk şiddeti şeklinde yapılmıştır. Tanımlanan risk olasılıkları “çok az, az, orta, fazla, çok fazla” şeklinde; risk şiddetleri ise; “çok düşük, düşük, orta, yüksek, çok yüksek” şeklinde dilsel değişkenlerle ifade edilmiştir. [0,1] arasında derecelendirilen olasılık ve şiddet dilsel ifadeleri bulanık üçgensel fonksiyonlara dönüştürülmüştür. Şekil 5.7.'de risk olasılık, risk şiddet ve risk etki değerlerine dair bulanıklaştırma işlemleri verilmiştir.



Şekil 5.7. Risk olasılığı, risk şiddeti ve risk etki değerine ait bulanık fonksiyonlar

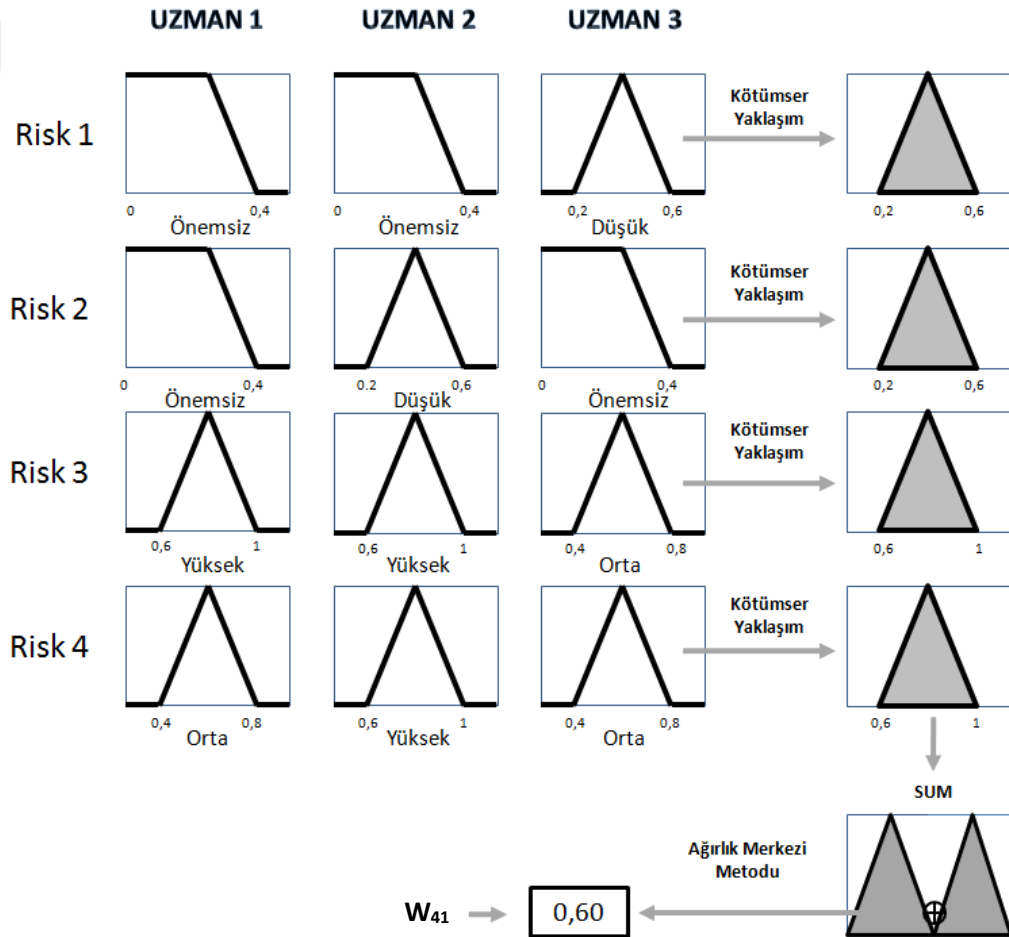
Şekil 5.7.'de görüldüğü gibi risk etki değeri, risk olasılığı ve risk şiddeti değerlerinin bir fonksiyonudur [72]. Bulanıklaştırılmış bu parametreler arasındaki ilişkinin belirlenebilmesi için bulanık kural tabanına ihtiyaç bulunmaktadır. Risk olasılığı, risk şiddeti, risk etki değeri parametreleri arasındaki ilişkilerin belirlenebilmesi için gerekli bulanık kural tabanı, Lazzerini ve Mkrtchyan (2011) tarafından geliştirilen çalışmadan [73] istifade ederek elde edilmiştir. Tablo 5.3.'te risk olasılığı, risk şiddeti, risk etki değeri arasındaki ilişkiyi oluşturan bulanık kural tabanı verilmiştir.

Tablo 5.3. Bulanık risk kural tabanı

|              |            | Risk Olasılığı |         |         |        |           |
|--------------|------------|----------------|---------|---------|--------|-----------|
|              |            | Çok Az         | Az      | Orta    | Fazla  | Çok Fazla |
| Risk Şiddeti | Çok Düşük  | önemsiz        | önemsiz | önemsiz | düşük  | düşük     |
|              | Düşük      | önemsiz        | önemsiz | düşük   | orta   | orta      |
|              | Orta       | önemsiz        | düşük   | orta    | yüksek | yüksek    |
|              | Yüksek     | düşük          | orta    | yüksek  | yüksek | kritik    |
|              | Çok Yüksek | düşük          | orta    | yüksek  | kritik | kritik    |

Tablo 5.3.'te risk şiddeti ve risk olasılığına bağlı risk etki değerinin elde edilmesini sağlayacak kural tabanı görülmektedir. Uzmanlar risk etki değerlerine ait üçgensel fonksiyonları bu kural tabanına göre belirlemektedirler.

Önerilen fayda maliyet analiz modeli içerisinde yer alan RİSK parametresinin diğer değişkenler üzerindeki etkileri belirlenirken, uzmanlar her bir değişken için tanımlanan risklerin olasılık ve şiddetleri hakkında görüşlerini ifade etmektedirler. Elde edilen bu görüşlerle bulanık kural tabanı yardımıyla risk etki değerlerine ulaşılmaktadır. Her bir risk için elde edilen risk etki değerlerine ait bulanık üçgensel fonksiyonlar bulanık toplam operatörleri yardımıyla toplanarak ve ardından durulaştırılarak risk ağırlık değerleri elde edilir. Şekil 5.8.'de uzman görüşlerinin belirlediği risk etki değerlerine ait bulanık üçgensel fonksiyonların toplanması ve durulaştırma işlemi ile ağırlıkların elde edilmesine dair bir gösterim verilmiştir.

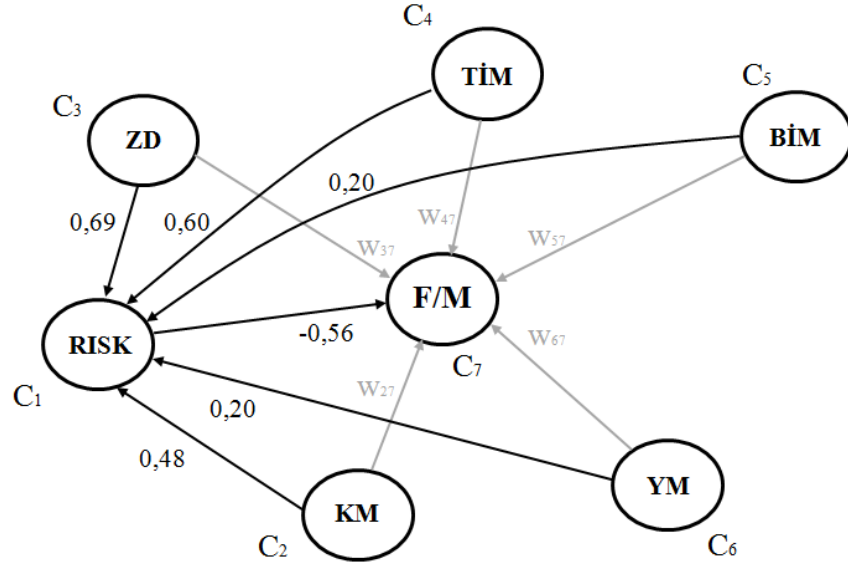


Şekil 5.8.'de risk parametresinin taşıt işletme maliyetleri üzerindeki etkisi ve buna bağlı olarak elde edilen ağırlık değerinin hesaplanması görülmektedir. Uzmanlar

kendilerine yöneltilen taşıt işletme maliyetleri risklerine dair olasılık ve şiddet değerlerini ifade ettikten sonra bulanık kural tablosu yardımıyla her bir riske dair risk etki değerleri tespit edilmiştir. Elde edilen risk etki değerlerine ait bulanık üçgensel fonksiyonlar her bir uzmanın o risk hakkındaki bulanık ifadesi olmaktadır. Üç farklı uzmandan her bir risk için elde edilen risk etki değerlerine ait bulanık üçgensel fonksiyonlar toplam operatörü ile toplanmaktadır. Ancak burada, bulanık mantık geleneksel toplam operatörü olan Min-Max metodu kullanılmamıştır. Lazzerini ve Mkrtchyan (2010), bulanık risk modelleri için kullanılan geleneksel toplam operatörlerini kullanmak yerine kötümser yaklaşımın daha gerçekçi sonuçlar verdiğini ispatlayan bir çalışma yapmışlardır [74]. Söz konusu çalışma kapsamında toplam risk ağırlıklarının belirlenmesinde geleneksel bulanık toplam operatörlerinin uygun olmadığı, kötümser yaklaşımın daha gerçekçi ve kesin değerlere ulaştığı vurgulanmıştır [74]. Bu bağlamda Lazzerini ve Mkrtchyan (2010) tarafından geliştirilen yaklaşım bu çalışma kapsamında kullanılmıştır. Bu yaklaşıma göre uzman görüşleri neticesinde elde edilen en kötü durum ele alınıp diğerleri hesaba katılmamaktadır. Her bir risk için uzman görüşleri arasından en kötümser durumu ifade eden bulanık üyelik fonksiyonu o risk için toplam risk fonksiyonunu meydana getirmektedir.

Oluşturulan sistemde riskler iki defa toplanmaktadır. Birincisi, uzmanların her bir risk için görüşlerinin toplamı; İkincisi, o değişken için tanımlanan tüm risklerden toplam risk değerinin elde edilmesidir. İlk toplamda, uzman görüşlerinin düşüncelerine ait bulanık fonksiyonlar kötümser yaklaşım yöntemi ile toplanarak her bir risk için toplam risk fonksiyonu elde edilmektedir. İkinci toplamda ise her bir risk için elde edilen toplam risk fonksiyonları SUM yöntemi ile toplanarak o değişken (mesela taşıt işletme maliyetleri) üzerindeki tüm risklerin toplam risk fonksiyonu elde edilir. Bulanık mantık durulaştırma yöntemlerinden “Ağırlık Merkezi” yöntemi ile ağırlık değeri nümerik olarak elde edilmektedir.

Geliştirilen fayda maliyet analiz modelinde tarafımızdan sisteme dâhil edilen RİSK parametresinin, sistemi oluşturan diğer kavramsal değişkenler üzerindeki etki değerleri aynı şekilde hesaplanarak sonuç değerleri Şekil 5.9.’da verilmiştir.



Şekil 5.9. RİSK parametresinin fayda maliyet analiz modelindeki ağırlık değerleri

Bu çalışma kapsamında geliştirilen fayda maliyet analiz modeline ait ağırlık değerleri iki ayrı şekilde hesaplanmıştır. Bunlardan ilki FMA'ya ait temel değişkenlerin birbirleri ile olan ilişkilerini ve bu ilişkilerin etki düzeylerini belirleyen ağırlık değerlerinin hesaplanması; ikincisi ise sisteme dâhil edilen RİSK parametresinin, diğer parametreler üzerindeki etki değerlerine ait ağırlık değerlerinin hesaplanmasıdır. Sistemin çalıştırılabilmesi ve simüle edilebilmesi için elde edilen tüm ağırlık parametreleri ile bir komşuluk matrisi oluşturulmuştur. Elde edilen komşuluk matrisi Tablo 5.4.'te verilmiştir.

Tablo 5.4. Geliştirilen modelin ağırlık matrisi

| Komşuluk Matrisi |    | RİSK | KM | ZD | TİM | BİM | YM | F/M   |
|------------------|----|------|----|----|-----|-----|----|-------|
|                  |    | C1   | C2 | C3 | C4  | C5  | C6 | C7    |
| RİSK             | C1 | 0    | 0  | 0  | 0   | 0   | 0  | -0,56 |
| KM               | C2 | 0,48 | 0  | 0  | 0   | 0   | 0  | 0,33  |
| ZD               | C3 | 0,69 | 0  | 0  | 0   | 0   | 0  | 0,40  |
| TİM              | C4 | 0,55 | 0  | 0  | 0   | 0   | 0  | 0,60  |
| BİM              | C5 | 0,20 | 0  | 0  | 0   | 0   | 0  | -0,10 |
| YM               | C6 | 0,20 | 0  | 0  | 0   | 0   | 0  | -0,87 |
| F/M              | C7 | 0    | 0  | 0  | 0   | 0   | 0  | 0     |

Komşuluk matrisi, sistemde bulunan ağırlık değerleriyle oluşturulmuş bir matristir [62]. Bu matris sütun şeklinde yazılan kavramsal değişkenlerin satır şeklinde yazılan kavramsal değişkenlere olan etkisini göstermekte olup sistemin ana yapısını oluşturmaktadır. Bu matrisin elde edilmesi ile sistem (Denklem 4.1)'de verilen formülle çalıştırılmaya hazır hale getirilmiş olmaktadır. Oluşturulan model, sistemde yer alan kavramsal değişkenlere verilecek girdi vektörü ile çalıştırılmaya hazır hale getirilmiştir.

### 5.1.2. Geliştirilen modelin simülasyonu

Geliştirilen modelin simüle edilebilmesi için (Denklem 4.1) ve (Denklem 4.2)'de verilen formüller MATLAB R2011a programı ile kodlanmıştır. Simülasyona ait pseudo kodu (sözde kod) Şekil 5.10.'da verilmiştir.

*Başla*

*Adım 1: Giriş vektörünü oku  $A$*

*Adım 2: Ağırlık matrisini ver  $w$*

*Adım 3: Çıkış vektörünü hesapla  $A^t = A^{t-1} + \sum A^{t-1} \cdot w$*

*Adım 4: Eşik değer fonksiyonunu çıkış vektörüne uygula  $A^t = f(A^t)$*

*Adım 5: Eğer  $(A^t = A^{t-1})$ , dur*

*Adım 6: Değilse, Adım 1'e git*

*Dur*

Şekil 5.10. Simülasyon yazılımına ait pseudo kodu

Şekil 5.10.'da gösterildiği gibi modelin çalıştırılması için normalize edilmiş başlangıç vektörü ( $A$ ) sisteme sunulmuştur. Komşuluk matrisi ile başlangıç vektörünün çarpılması sonucunda elde edilen sonuç vektörü (Denklem 4.1 ve 4.2)'ye göre güncelleştirilmiştir. Elde edilen yeni vektör bir sonraki iterasyonda başlangıç vektörü olarak sisteme tekrar sunulmuştur. Sistem  $A^t - A^{t-1} \leq e = 0,001$  oluncaya kadar işlemler tekrarlanmıştır. Simülasyon sonrasında sonuçların değerlendirilebilmesi için karar verme kriteri tarafımızdan aşağıdaki gibi belirlenmiştir:

$$R(x) = \begin{cases} 0, & x < 0,5 \\ 1, & x \geq 0,5 \end{cases} \quad x = A^f(7) \quad (5.1)$$

Bu karar verme kriterinin belirlenmesinde modelde yer alan kavramsal değişkenlerin sigmoid eşik değer fonksiyonuna karşı davranışları etkili olmuştur. Model için oluşturulan komşuluk matrisi sonrası gerçekleştirilen kalibrasyon çalışmalarında çıkış değerlerinin 0,5 değeri etrafında toplandığı gözlemlenmiştir. Bu bağlamda modelde karar verme için 0,5 değeri sınır değer olarak belirlendiğinde etkili sonuçlar elde edilmiştir. Bu doğrultuda simülasyon sonrası elde edilen sonuç vektöründe ( $A^f$ ) F/M oranını ifade eden kavramsal değişken olan 7. değerin 0,5'e eşit ve büyük olması projenin "kabul edilebilir" olduğunu; 0,5'den küçük olması ise projenin "kabul edilemez" olma durumunu ifade etmektedir.

Geliştirilen modeli test etmek amacıyla ülkemiz ulaştırma birimlerinden alınan karayolu fizibilite rapor sonuçları sisteme sunulmuştur. Fizibilite çalışmalarının bir kısmı henüz ihale aşamasında olması nedeniyle ulaştırma yetkililerinin talebi üzerine projelere ait detaylı bilgi verilememiştir. Projelerin ekonomik değerlendirmelerine ait özet bilgiler Tablo 5.5.'te verilmiştir.

Tablo 5.5. Karayolu fizibilite çalışmaları

| Fizibilite Çalışmaları | Faydalar ( $\times 10^6$ TL) |     |     | Maliyetler ( $\times 10^6$ TL) |     | Sonuç |       |
|------------------------|------------------------------|-----|-----|--------------------------------|-----|-------|-------|
|                        | KM                           | ZD  | TİM | BİM                            | YM  | F/M   | Karar |
| 1                      | 69                           | 369 | 375 | 35                             | 830 | 0,94  | Red   |
| 2                      | 121                          | 135 | 152 | 26                             | 385 | 0,99  | Red   |
| 3                      | 125                          | 224 | 286 | 16                             | 189 | 3,1   | Kabul |
| 4                      | 85                           | 68  | 74  | 6                              | 120 | 1,8   | Kabul |
| 5                      | 458                          | 346 | 332 | 28                             | 216 | 4,6   | Kabul |
| 6                      | 650                          | 490 | 520 | 21                             | 191 | 7,8   | Kabul |

Tablo 5.5.'te görüldüğü üzere yapılan ekonomik analizler sonucunda elde edilen F/M oranı değeri "1"den küçük olması halinde karayolu projesinin yapılabilirliğine dair karar "red" olurken; F/M oranı "1"den büyük olan projelerin yapılabilirlik kararı "kabul" olarak değerlendirilmiştir.

Fizibilite çalışmalarının geliştirilen modelde simüle edilebilmesi için Tablo 5.5.'te verilen değerler [0, 1] aralığında normalize edilmiştir. Normalizasyon için aşağıda verilen (Denklem 5.2) kullanılmıştır.

$$\text{Norm.} = \frac{(C - C_{\min})}{(C_{\max} - C_{\min})} \quad (5.2)$$

[0, 1] aralığında normalize edilen veriler simüle edilmek üzere modele sunulmuştur. Tablo 5.5.'te verilen fizibilite çalışmalarının normalizasyon ve simülasyon detayları aşağıda başlıklar halinde verilmektedir.

#### Fizibilite Çalışması 1:

Fizibilite raporundan elde edilen ekonomik analiz verileri normalize edilmiştir. (Denklem 5.2) yardımıyla gerçekleştirilen normalizasyon sonucunda gerçek değeri  $69 \times 10^6$  olan kaza maliyetleri 0,035 ( $C_2$ ) olarak elde edilmiştir. Aynı süreç takip edilerek zaman değeri ( $C_3=0,185$ ), taşıt işletme maliyetleri ( $C_4=0,188$ ), bakım ve işletme maliyetleri ( $C_5=0,706$ ), yapım maliyetleri ( $C_6=0,83$ ) olarak hesaplanmıştır.

Normalizasyon sonrasında giriş vektörü  $A = [1 \ 0,035 \ 0,185 \ 0,188 \ 0,706 \ 0,830 \ 0]$  olarak oluşturulmuştur. Giriş vektörü Şekil 5.10.'da gösterilen simülasyon prosesine tabi tutulmuş olup, 11 iterasyon sonunda elde edilen sonuç vektörü  $A^f = [0,0163 \ 0,035 \ 0,185 \ 0,188 \ 0,706 \ 0,830 \ 0,2366]$  elde edilmiştir. Simülasyon sonucunda elde edilen sonuç vektörünün 7. sütununda yer alan fayda-maliyet oranını gösteren değer  $A^f(7) = 0,2366$  olarak elde edilmiştir.

Elde edilen sonuç (Denklem 5.1)'de verilen karar verme kriteri ile değerlendirildiğinde  $R(x) = A^f(7) < 0,5 \rightarrow$  "Proje kabul edilemez" sonucuna ulaşılmıştır.

Ulaştırma biriminden alınan bu fizibilite raporunun sonucu  $F/M = 0,94 < 1$ 'dir. Yani proje için "Red" kararı verilmiştir. Geliştirilen BBH modeli de yukarıda görüldüğü üzere aynı proje için "Kabul edilemez" sonucunu vermiştir.

### Fizibilite Çalışması 2:

Bu karayolu projesine ait elde edilen normalize değerler; KM ( $C_2=0,061$ ), ZD ( $C_3=0,068$ ), TİM ( $C_4=0,076$ ), BİM ( $C_5=0,526$ ), YM ( $C_6=0,386$ ) olarak sisteme sunulmuştur. Giriş vektörü  $A = [1 \ 0,061 \ 0,068 \ 0,076 \ 0,526 \ 0,386 \ 0]$  olarak elde edilmiştir. BBH simülasyonu sonrası 14 iterasyon sonunda elde edilen sonuç vektörü  $A^f = [0,0098 \ 0,061 \ 0,068 \ 0,076 \ 0,526 \ 0,386 \ 0,4914]$ 'dir. Fayda-maliyet oranı için  $A^f(7)= 0,4914$  değeri elde edilmiştir.

Elde edilen sonuç karar verme kriteri ile değerlendirildiğinde  $R(x) = A^f(7) < 0,5 \rightarrow$  "Proje kabul edilemez" sonucuna ulaşılmıştır.

Fizibilite raporunun sonucu  $F/M = 0,99 < 1$ 'dir. Yani proje için "Red" kararı verilmiştir. Geliştirilen BBH modeli de aynı proje için "Kabul edilemez" sonucuna ulaşmıştır.

### Fizibilite Çalışması 3:

Karayoluna ait fayda ve maliyetlerin toplam net şimdiki değerleri normalize edilerek sisteme sunulmuştur. KM ( $C_2=0,0625$ ), ZD ( $C_3=0,112$ ), TİM ( $C_4=0,143$ ), BİM ( $C_5=0,32$ ), YM ( $C_6=0,189$ ) değerleri sisteme girilmiştir. Giriş vektörü  $A = [1 \ 0,0625 \ 0,112 \ 0,143 \ 0,32 \ 0,189 \ 0]$ 'dir. BBH simülasyon prosesiyle 13 iterasyon sonunda elde edilen sonuç vektörü  $A^f = [0,0095 \ 0,0625 \ 0,112 \ 0,143 \ 0,32 \ 0,189 \ 0,7082]$ 'dir. Fayda-maliyet oranını gösteren  $A^f(7)= 0,7082$  değeri elde edilmiştir.

Karar verme kriteri doğrultusunda değerlendirildiğinde  $R(x) = A^f(7) > 0,5 \rightarrow$  "Proje kabul edilebilir" sonucuna varılmıştır.

Ulaştırma yetkili biriminden alınan bu fizibilite raporunun sonucu  $F/M = 3,1 > 1$ 'dir. Yani proje için "Kabul" kararı verilmiştir. Geliştirilen BBH modeli de yukarıda görüldüğü üzere aynı proje için "Kabul edilebilir" sonucunu vermektedir.

#### Fizibilite Çalışması 4:

Bu yapılabilirlik çalışması için elde edilen normalize değerler; KM ( $C_2=0,0425$ ), ZD ( $C_3=0,034$ ), TİM ( $C_4=0,037$ ), BİM ( $C_5=0,12$ ), YM ( $C_6=0,12$ ) olarak sisteme sunulmuştur. Giriş vektörü  $A = [1 \ 0,0425 \ 0,034 \ 0,037 \ 0,12 \ 0,12 \ 0]$ 'dir. BBH simülasyonu sonrası 14 iterasyon sonunda elde edilen sonuç vektörü  $A^f = [0,0067 \ 0,0425 \ 0,034 \ 0,037 \ 0,12 \ 0,12 \ 0,7017]$ 'dir. Fayda-maliyet oranı  $A^f(7) = 0,7017$  değeri elde edilmiştir.

$R(x) = A^f(7) > 0,5$  olduğu için “Proje kabul edilebilir” kararına ulaşılmıştır.

Bu fizibilite raporunun sonucu  $F/M = 1,8 > 1$ 'dir. Yani proje için “Kabul” kararı alınmıştır. Geliştirilen BBH modeli de aynı proje için “Kabul edilebilir” sonucunu sunmuştur.

#### Fizibilite Çalışması 5:

Bu projeye ait elde edilen normalize değerler şöyledir; KM ( $C_2=0,229$ ), ZD ( $C_3=0,173$ ), TİM ( $C_4=0,161$ ), BİM ( $C_5=0,56$ ), YM ( $C_6=0,216$ )'dir. Giriş vektörü  $A = [1 \ 0,229 \ 0,173 \ 0,161 \ 0,56 \ 0,216 \ 0]$  olarak elde edilmiştir. BBH simülasyonu sonrası 15 iterasyon sonunda elde edilen sonuç vektörü  $A^f = [0,0138 \ 0,229 \ 0,173 \ 0,161 \ 0,56 \ 0,216 \ 0,7341]$ 'dir. Fayda-maliyet oranı  $A^f(7) = 0,7341$  değeri elde edilmiştir.

Bu fizibilite çalışmasının geliştirilen programdaki simülasyon sonucu  $R(x) = A^f(7) > 0,5 \rightarrow$  “Proje kabul edilebilir” olarak değerlendirilmiştir.

Ulaştırma biriminden alınan bu fizibilite raporunun sonucu  $F/M = 4,66 > 1$ 'dir. Yani proje için “Kabul edilebilir” kararı verilmiştir. Geliştirilen BBH modeli de yukarıda görüldüğü üzere aynı proje için “Kabul edilebilir” sonucunu vermiştir.

### Fizibilite Çalışması 6:

Bu projede elde edilen fayda ve maliyetlerin toplam net şimdiki normalize değerleri; KM ( $C_2=0,325$ ), ZD ( $C_3=0,245$ ), TİM ( $C_4=0,26$ ), BİM ( $C_5=0,42$ ), YM ( $C_6=0,191$ ) olarak sisteme sunulmuştur. Giriş vektörü  $A = [1 \ 0,325 \ 0,245 \ 0,26 \ 0,42 \ 0,191 \ 0]$ 'dır. BBH simülasyonu sonrası 11 iterasyon sonunda elde edilen sonuç vektörü  $A^f = [0,0176 \ 0,325 \ 0,245 \ 0,26 \ 0,42 \ 0,191 \ 0,811]$ 'dir. Fayda-maliyet oranı  $A^f(7)= 0,811$  değeri elde edilmiştir.

Karar verme kriteri bu proje için  $R(x) = A^f(7) > 0,5 \rightarrow$  “Proje kabul edilebilir” sonucunu vermiştir.

Karayolu projesine ait bu fizibilite raporunun sonucu  $F/M = 7,83 > 1$ 'dir. Yani proje için “Kabul” kararı verilmiştir. Geliştirilen BBH modeli de yukarıda görüldüğü üzere aynı proje için “Kabul edilebilir” sonucunu vermiştir.

Yukarıda yapılan hesaplamalar sonucunda elde edile tüm sonuçlar Tablo 5.6.'da karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

Tablo 5.6. Geliştirilen BBH modeli ve geleneksel FMA'nın sonuçları

| Fizib.<br>Çalışm. | FMA F/M oranı |               |              | BBH F/M oranı |                |                         | Karşılaştırma |
|-------------------|---------------|---------------|--------------|---------------|----------------|-------------------------|---------------|
|                   | Sonuç         | Karar Kriteri | KARAR        | Sonuç         | Karar Kriteri  | KARAR                   |               |
| 1                 | 0,94          | $F/M < 1$     | <b>Red</b>   | 0,2366        | $A^f(7) < 0,5$ | <b>Kabul edilemez</b>   | örtüşme       |
| 2                 | 0,99          | $F/M < 1$     | <b>Red</b>   | 0,4914        | $A^f(7) < 0,5$ | <b>Kabul edilemez</b>   | örtüşme       |
| 3                 | 3,1           | $F/M > 1$     | <b>Kabul</b> | 0,7082        | $A^f(7) > 0,5$ | <b>Kabul edilebilir</b> | örtüşme       |
| 4                 | 1,8           | $F/M > 1$     | <b>Kabul</b> | 0,7017        | $A^f(7) > 0,5$ | <b>Kabul edilebilir</b> | örtüşme       |
| 5                 | 4,6           | $F/M > 1$     | <b>Kabul</b> | 0,7341        | $A^f(7) > 0,5$ | <b>Kabul edilebilir</b> | örtüşme       |
| 6                 | 7,8           | $F/M > 1$     | <b>Kabul</b> | 0,811         | $A^f(7) > 0,5$ | <b>Kabul edilebilir</b> | örtüşme       |

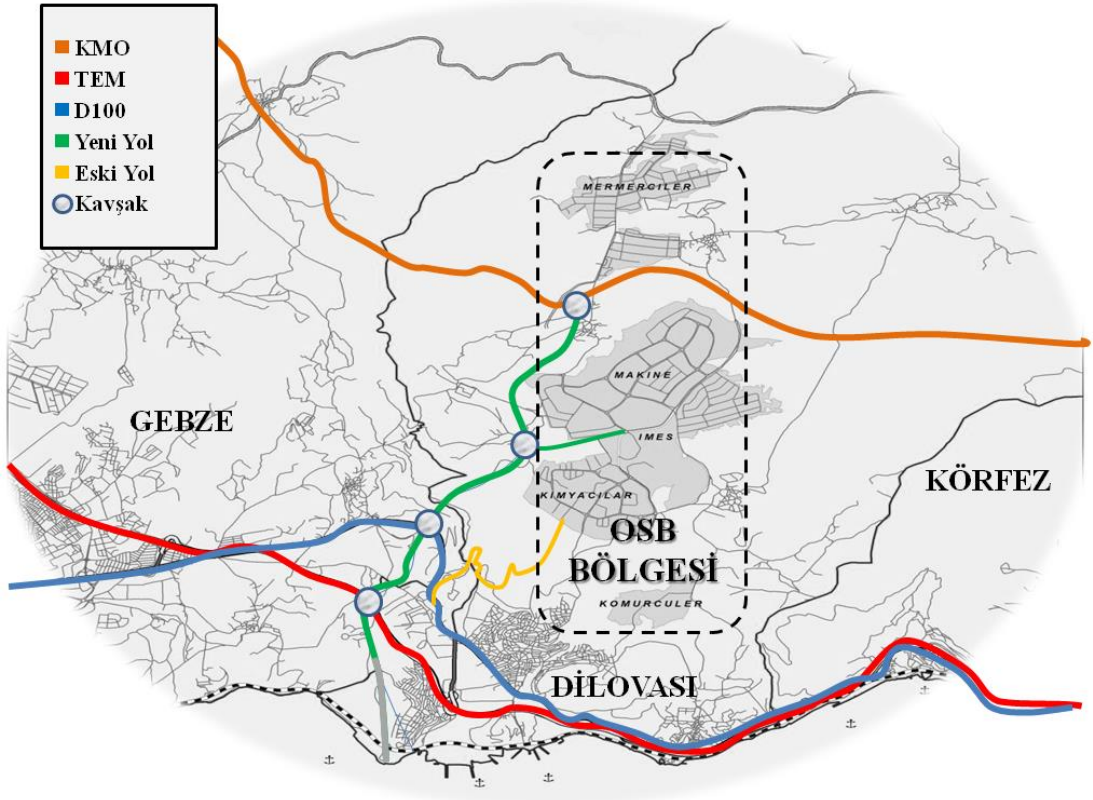
Tablo 5.6.'da geliştirilen BBH modeli ile geleneksel FMA yaklaşımının fizibilite çalışmaları için karşılaştırmalı sonuçları sunulmuştur. Görülmektedir ki, geliştirilen model, geleneksel yaklaşımla aynı kararlara ulaşmaktadır. Bu durum geliştirilen modelin kullanılabilirliği açısından ümit verici olarak değerlendirilmiştir.

Buraya kadar olan çalışmada, BBH yaklaşımının karayolu projelerinin ekonomik değerlendirmesinde kullanılabilir bir yöntem olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Gelecek bölümde, modelde yer alan RISK parametresinin etkisi ve geleneksel yaklaşımlarla olan karşılaştırmaları sunulacaktır.



## BÖLÜM 6. DURUM ÇALIŞMASI

Geliştirilen modelde yer alan RİSK parametresinin etkisinin detaylı olarak gösterilebilmesi ve modelin geleneksel yöntemlere göre avantajlarının araştırılması için bir durum çalışması gerçekleştirilmiştir. Söz konusu çalışma Türkiye’de Kocaeli ili Dilovası mevkiinde, halen yapımı devam eden Kuzey Marmara Otoyolu (KMO) ile TEM Otoyolu ve D100 karayolunu ve Körfez Geçiş Köprüsünü (Osman Gazi Köprüsü) birbirine bağlayacak bir karayoluna aittir. Projeye ait basitleştirilmiş gösterim Şekil 6.1.’de verilmiştir.



Şekil 6.1. KMO ile TEM, D100 arasında inşa edilecek yeni yol

Bağlantı yolu (yeni yol) olarak isimlendirilen proje, 10 km uzunluğunda 2x3'lük bir otoyol kesimi olup, içerisinde bir adet viyadük, bir adet kapalı tünel, bir adet aç kapa tünel, dört adet katlı kavşak, 1 adet gişe alanı yer almaktadır. Kısa bir mesafede birçok ulaştırma yapısını içeren projenin yapım maliyeti oldukça yüksektir. Geleneksel FMA ile ekonomik analizi yapılan proje “yapılabilir” olarak değerlendirilmiştir. Geleneksel FMA özetle şu şekilde gerçekleştirilmiştir:

- Yapım maliyet hesaplamaları avan projeden elde edilen veriler doğrultusunda gerçekleştirilmiştir.
- Bakım ve işletme maliyet hesaplamaları projenin bulunduğu bölgede var olan diğer otoyollardan 2003-2013 yılları arasında elde edilen veriler doğrultusunda belirlenen fiyatlarla gerçekleştirilmiştir.
- Faydaların hesabında kullanılan trafik bilgileri, Kocaeli büyükşehir belediyesinin ulaşım ana planı kapsamında elde edilen veriler doğrultusunda gerçekleştirilmiştir. Elde edilen trafik verilerinin PTV Visum 13 simülasyon programı ile 2015-2035 yılları arasında projenin gerçekleşmesi ve gerçekleşmemesi durumlarına göre senaryo analizleri yapılarak gerekli veriler elde edilmiştir. Simülasyonda, kullanılan tüm taşıtlar birim otomobile çevrilerek değerlendirmeler yapılmıştır.
- Faydaların hesabında kullanılan trafik kaza bilgileri bölgede bulunan jandarma komutanlığından alınan kaza raporları doğrultusunda elde edilen verilerle gerçekleştirilmiştir. Elde edilen veriler ile istatistiksel tahmin modelleri oluşturulmuş, 2015-2035 yılları arasındaki kaza verileri bu modeller yardımıyla elde edilmiştir. En küçük kareler yöntemi ile oluşturulan tahmin modelleri için SPSS 15.0 programı kullanılmış olup geliştirilen tahmin modellerine ait belirlilik katsayıları ( $R^2$ ) 0,80'in üzerinde ve anlamlılık düzeyleri 0,05'ten küçüktür.
- Zaman değeri hesabında Kocaeli Büyükşehir Belediyesinin yapmış olduğu ulaşım ana planında belirlemiş oldukları zaman değeri kullanılmıştır.
- İskonto oranı (güncelleştirme oranı) için Karayolları Genel Müdürlüğü'nün (KGM) kullanmış olduğu %8 değeri kullanılmıştır.

Değerlendirme dönemi olarak 2015-2035 yılları arasında 20 yıllık bir periyot dikkate alınmıştır. Maliyetler ve faydalar 2013 yılı birim fiyatları kullanılarak TL cinsinden hesaplanmış olup fayda ve maliyetlere dair kullanılan parametreler ve birim fiyatlar şöyledir:

- Yapılan ekonomik analiz, faydalar ve maliyetler olmak üzere iki ana parametre üzerinden gerçekleştirilmiştir. Projede bahsi geçen faydalar; TİM, KM ve ZD'dir. Maliyetler ise YM ve BİM'dir.
- Faydalara dair TİM, birim otomobil cinsinden değerlendirilmiş olup KGM'nin 2013 yılı hesaplamalarından alınan bilgiler doğrultusunda 0,26029 TL/km değeri kullanılmıştır [75].
- Faydalara ait KM hesabında kazalar; ölümlü, ağır yaralanmalı, hafif yaralanmalı ve maddi hasarlı şeklinde sınıflara ayrılmış olup KGM'den alınan hesaplamalar doğrultusunda ölümlü kazalar için 1.206.982 TL/birim; ağır yaralanmalı kazalar için 127.732 TL/birim; hafif yaralanmalı kazalar için 9302 TL/birim değerleri kullanılmıştır [5].
- Faydalara dair ZD hesabında, Kocaeli Büyükşehir Belediyesi Ulaşım Ana Planında belirlenmiş olan 15 TL/saat/otomobil değeri kullanılmıştır.
- Maliyetlere ilişkin BİM hesabında bölgede bulunan diğer otoyolların 2009-2013 yılları arasındaki bilgileri incelenmiş olup elde edilen veriler kapsamında ortalama birim maliyetler hesaplanmıştır. Bu doğrultuda BİM; trafik hizmetleri için 49.562 TL/km, kar mücadelesi için 7.822 TL/km, otoyol bakım ve onarımı için 50.089 TL/km ve ücret toplama maliyetleri için 73.775 TL/km değerleri belirlenmiştir.

Elde edilen veriler ve birim maliyetler hazırlanan Excel tabloları ile ekonomik analize tabi tutulmuş olup farklı iskonto oranlarının etkisi altında projenin yapılabilirliğine dair değerlendirmeleri yapılmıştır. Projeye ait FMA'nın uygulanış aşamaları ve hesaplamaları sonraki bölümlerde detaylı olarak anlatılmıştır.

### 6.1. Projenin Fayda Maliyet Analizi

Fayda maliyet analizi yapılan projenin ekonomik analize esas olacak genel bilgileri şu şekildedir:

- Km. 0+000 – 5+500 arası: Karayolu
- Km. 5+500 – 6+500 arası: Viyadük
- Km. 6+500 – 7+330 arası: Karayolu
- Km. 7+330 – 7+675 arası: Kapalı Tünel
- Km. 7+674.57 – 7+923.976 arası: Aç-Kapa Tünel (Batı Tüp)
- Km. 7+674.57 – 7+896.791 arası: Aç-Kapa Tünel (Doğu Tüp)
- Aç-Kapa Tünel ile proje bitiş kilometresi olan 10+072.863 arası karayoludur.

#### 6.1.1. Yolu yapanla ilgili maliyetler

Yolu yapanla ilgili maliyetler başlığı altında geçen “maliyet” kavramı FMA denkleminin “maliyet” parametresini ifade etmektedir. Yolu yapanla ilgili maliyetler şunlardır:

##### 6.1.1.1. Yapım maliyetleri

Yapım maliyetleri, projeye ait projelendirme, proje yönetim, kamulaştırma ve inşaa maliyetlerini içine alan bir maliyet kalemidir. Söz konusu projeye ait projelendirme ve proje yönetim maliyetleri geniş bir piyasa araştırması sonucunda elde edilmiş olup aşağıdaki gibidir:

Projelendirme Maliyeti:

Yol Tasarımı (Kavşaklar dâhil): 742.000,00 TL

Viyadük ve üst geçitler: 2.120.000,00 TL

Tüneller: 1.590.000,00 TL

Proje Yönetimi Maliyeti: Proje Dolaysız Maliyetleri x %3

Projeye ait inşaat maliyetleri KGM 2013 yılı birim fiyat cetvelinden alınan bilgiler doğrultusunda elde edilmiştir. Keşif bedelleri sonuç bilgileri Tablo 6.1.'deki gibidir.

Tablo 6.1. İnşaat maliyet özeti

|    | Başlangıç (km)            | Bitiş (km) | Uzunluk (km) | Keşif Bedeli (TL) |
|----|---------------------------|------------|--------------|-------------------|
|    | 0+000                     | 10+073     | 10,07        |                   |
| 1  | Toprak işleri             |            |              | 37.884.334        |
| 2  | Küçük sanat yapıları      |            |              | 23.249.344        |
| 3  | Tünel işleri              |            |              | 26.192.057        |
| 4  | Büyük sanat yapıları      |            |              | 134.451.082       |
| 5  | Üst yapı işleri           |            |              | 43.083.066        |
| 6  | Tel çit                   |            |              | 466.292           |
| 7  | Yatay ve düşey işaretleme |            |              | 1.060.000         |
| 8  | Otokorkuluk               |            |              | 1.114.423         |
| 9  | Peyzaj işleri             |            |              | 2.929.959         |
| 10 | Aydınlatma                |            |              | 1.060.000         |
| 11 | Deplasmanlar              |            |              | 2.120.000         |
| 12 | Servis ve park alanları   |            |              | 2.120.000         |
| 13 | Gişe alanı                |            |              | 3.585.000         |
|    | TOPLAM:                   |            |              | 277.900.557       |

Kamulaştırma maliyetleri için; burada 100 metre genişliğinde yol güzergâhı boyunca bir istisnâ bandı dikkate alınmıştır. İnşaat edilecek yol 2x3 otoyol standartlarında olup 10 km bir mesafenin kamulaştırma hesapları yapılmıştır. Hesaplamalarda kamulaştırma konut alanı, tarım alanı ve orman alanı olarak kendi içlerinde değerlendirilmiştir. Harita üzerinden projenin geçeceği arazi dikkatle incelenmiş olup kamulaştırma alanları sınıflarına göre çıkarılarak hesaplamaları yapılmıştır. Konut alanı ve tarım alanı birim maliyetleri için bölgedeki piyasa fiyatlarından faydalanılmıştır. Orman alanı için kamulaştırma bedeli için herhangi bir ücret ödenmemekte olup hesaplara ilişkin sonuç bilgileri aşağıdaki gibidir;

Konut Alanı Kamulaştırması: (Satın alma)

$$1500\text{m} \times 100 \text{ m} \times 100 \text{ TL/m}^2 = 15.000.000 \text{ TL}$$

Tarım Alanı Kamulaştırması: (Satın Alma)

$$3500 \text{ m} \times 100 \text{ m} \times 70 \text{ TL/m}^2 = 24.500.000 \text{ TL}$$

Orman Alanı Kamulaştırması:

$$5000\text{m} \times 100\text{m} \times 0 \text{ TL/m}^2 = 0 \text{ TL}$$

İhale bedelinin elde edilmesinde şimdiye kadar hesaplanan maliyetlerin dışında dolaysız maliyetler, şantiye genel giderleri ve fiyat arttırma oranlarının belirlenmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Burada; dolaysız maliyetler, işçilik, makine-ekipman, malzeme, taşeron işçileri vb. giderleri içeren bir maliyet kalemidir. Fiyat arttırma oranı; merkez ofis giderleri, öngörülme yen giderler, risk, beklenen kar vb. giderleri barındıran bir kalemdir. İhale bedelinin elde edilmesinde söz konusu bu giderlerin belirlenmesi için yapımı devam eden projelerin bilgilerinden yararlanılarak aşağıdaki yüzdeler elde edilmiştir;

%10: Dolaysız maliyetlere uygulanan şantiye genel giderler oranı

%2: Merkez ofis genel gideri oranı

%1: Öngörülme yen giderler oranı

%3: Proje risklerine uygulanan oran

%10: Müteahhit Kârı

Yukarıdaki oranlar keşif bedeline uygulanmaktadır [76].

Verilen bilgiler çerçevesinde projenin yaklaşık ihale bedeli:

$$[277.900.557 + [277.900.557 \times (\%2 + \%1 + \%3 + \%10 + \%10)]] \\ = 350.154.701,82 \text{ TL}$$

Projenin yapım maliyetlerine ilişkin toplam proje bedeli:

$$\text{Projelendirme} + \text{Proje Yönetimi} + \text{Kamulaştırma} + \text{İhale Bedeli} \\ = 402.443.718,53 \text{ TL olarak hesaplanmıştır.}$$

#### 6.1.1.2. Bakım ve işletme maliyetleri

Yol bakım ve işletme maliyetleri; trafik hizmetleri, kar mücadelesi ve yol bakım maliyetleri ve ücret toplama maliyetleri olmak üzere 4 başlık altında değerlendirilmiştir. Bölüm 3’de bahsedildiği üzere;

- Trafik hizmetleri maliyeti; mevcut yol ile bunun bağlantı yollarında yürütülen trafik güvenliği hizmetlerini, otoyol boyunca yatay ve düşey işaretleme işleri, kenar dikme işleri, tel çit ve oto korkuluk yapım - onarım işleri, acil haberleşme işleri, yol boyu aydınlatma direk ve lambalarının yenilenmesi ve arızaların giderilmesine yönelik çalışmaları içermektedir.
- Kar mücadelesi maliyeti; mevcut yol ve bağlantı yollarında, bizzat kış mevsiminde trafik güvenliğini sağlamak amacıyla yapılan kar ve buz mücadelesi hizmetlerini (yolda tuzlama çalışmaları, kar ve buz temizliği işleri, kar siperliği yapımı işleri vb işleri) içermektedir.
- Yol bakım maliyeti; mevcut yol ve bağlantı yollarıyla yapımı tamamlanmış ve hizmete açılmış bulunan tünellerdeki bakım hizmetleridir. Bunlar, yol yüzeyi ile banket ve hendeklerin sürekli olarak temiz tutulması ve yolda meydana gelmiş olan her türlü bozulma ve çatlakların giderilmesine yönelik yama çalışmaları, yol boyu iyileştirme etkinlikleri ve çevre kirliliğini önlemeye yönelik hizmetleri içermektedir.
- Ücret toplama maliyeti; ücret toplama istasyonlarının bakım, onarım ve işletmeleri ve yol haberleşme sistemlerinin bakım, onarım ve işletmeleri için yapılan tüm harcamaları içermektedir.

Hesap için kabul edilen 2014 yılı kilometre başına düşen ortalama maliyet değerleri KGM’den alınan 2010-2013 yılları arası istatistiksel veriler doğrultusunda tespit edilmiştir. Projeye ait bakım ve işletme maliyetleri Tablo 6.2’deki gibidir.

Projenin 2019 yılında trafiğe açılacağı öngörülmektedir. Bu sebeple bakım ve işletme maliyetleri bu tarihten itibaren maliyet kalemi içerisine dâhil olmaktadır. 20 yıllık bir zaman dilimi için değerlendirmesi yapılan yolda güncel iskonto oranı %8 olarak

kullanılmış olup her yıl için bulunan maliyetler şimdiki değere indirgenerek toplam bakım ve işletme maliyetleri Tablo 6.2.'deki gibi hesaplanmıştır.

Tablo 6.2. Bakım ve işletme maliyetleri

| Yıllar      | Otoyol Bakım ve İşletmesine Dair Ortalama Birim Maliyetler (TL/km) |                |              |               | Yeni Yol Bağlantı Yolları İle Birlikte Ortalama (km) | Toplam Maliyet (TL) | İndirgenmiş Net Şimdiki Değer (TL) |
|-------------|--------------------------------------------------------------------|----------------|--------------|---------------|------------------------------------------------------|---------------------|------------------------------------|
|             | Trafik Hizmetleri                                                  | Kar Mücadelesi | Otoyol Bakım | Ücret Toplama |                                                      |                     |                                    |
| <b>2010</b> |                                                                    |                |              |               |                                                      |                     |                                    |
| <b>2011</b> | 49562                                                              | 7822           | 50089        | 73775         | 14                                                   | 0                   | 0                                  |
| <b>2012</b> |                                                                    |                |              |               |                                                      |                     |                                    |
| <b>2013</b> |                                                                    |                |              |               |                                                      |                     |                                    |
| <b>2014</b> | 0                                                                  | 0              | 0            | 0             | 14                                                   | 0                   | 0                                  |
| <b>2015</b> | 0                                                                  | 0              | 0            | 0             | 14                                                   | 0                   | 0                                  |
| <b>2016</b> | 0                                                                  | 0              | 0            | 0             | 14                                                   | 0                   | 0                                  |
| <b>2017</b> | 0                                                                  | 0              | 0            | 0             | 14                                                   | 0                   | 0                                  |
| <b>2018</b> | 0                                                                  | 0              | 0            | 0             | 14                                                   | 0                   | 0                                  |
| <b>2019</b> | 49562                                                              | 7822           | 50089        | 73775         | 14                                                   | 2537472             | 1726960,806                        |
| <b>2020</b> | 49562                                                              | 7822           | 50089        | 73775         | 14                                                   | 2537472             | 1599037,783                        |
| <b>2021</b> | 49562                                                              | 7822           | 50089        | 73775         | 14                                                   | 2537472             | 1480590,54                         |
| <b>2022</b> | 49562                                                              | 7822           | 50089        | 73775         | 14                                                   | 2537472             | 1370917,167                        |
| <b>2023</b> | 49562                                                              | 7822           | 50089        | 73775         | 14                                                   | 2537472             | 1269367,747                        |
| <b>2024</b> | 49562                                                              | 7822           | 50089        | 73775         | 14                                                   | 2537472             | 1175340,507                        |
| <b>2025</b> | 49562                                                              | 7822           | 50089        | 73775         | 14                                                   | 2537472             | 1088278,247                        |
| <b>2026</b> | 49562                                                              | 7822           | 50089        | 73775         | 14                                                   | 2537472             | 1007665,043                        |
| <b>2027</b> | 49562                                                              | 7822           | 50089        | 73775         | 14                                                   | 2537472             | 933023,1883                        |
| <b>2028</b> | 49562                                                              | 7822           | 50089        | 73775         | 14                                                   | 2537472             | 863910,3595                        |
| <b>2029</b> | 49562                                                              | 7822           | 50089        | 73775         | 14                                                   | 2537472             | 799916,9996                        |
| <b>2030</b> | 49562                                                              | 7822           | 50089        | 73775         | 14                                                   | 2537472             | 740663,8885                        |
| <b>2031</b> | 49562                                                              | 7822           | 50089        | 73775         | 14                                                   | 2537472             | 685799,8968                        |
| <b>2032</b> | 49562                                                              | 7822           | 50089        | 73775         | 14                                                   | 2537472             | 634999,9044                        |
| <b>2033</b> | 49562                                                              | 7822           | 50089        | 73775         | 14                                                   | 2537472             | 587962,8745                        |
| <b>2034</b> | 49562                                                              | 7822           | 50089        | 73775         | 14                                                   | 2537472             | 544410,0689                        |
| <b>2035</b> | 49562                                                              | 7822           | 50089        | 73775         | 14                                                   | 2537472             | 504083,3972                        |
| TOPLAM NŞD  |                                                                    |                |              |               |                                                      | 18.312.000,22 TL    |                                    |

Otoyol bakım ve işletmesine dair ortalama birim maliyetleri KGM 1. Bölge Müdürlüğü otoyol bakım işletme şefliklerinden alınan veriler doğrultusunda belirlenmiştir.

Bu maliyet kaleminin de hesaplanması ile fayda maliyet analizindeki “maliyet” parametresinin genel toplamı aşağıdaki gibidir:

$$N\$D_{MALİYETLER} = 402.443.718,53 + 18.312.000,22 = 420.755.718,7 \text{ TL}$$

### 6.1.2. Yol kullanıcı maliyetleri

Yol kullanıcı maliyetleri başlığı altında adı geçen “maliyet” kavramı eski yola göre elde edilen maliyet tasarruflarını ifade etmektedir. Mühendislik ekonomisinde tasarruflar denklemin fayda tarafında gözükmektedir [76]. Bu çalışmada faydaların tespit edilmesinde, yeni yapılacak bağlantı yolunun etkilendiği tüm yollardan (D100, TEM, KMO, eski yol) elde edilen faydalar dikkate alınmıştır.

Bu çalışma, Dilovası’nın kuzeyinde yer alan 5 adet Organize Sanayi Bölgesini (Makine İhtisas OSB, GEBKİM OSB, İMES OSB, Kömürcüler OSB ve Mermerciler Sanayi sitesi) KMO, TEM, D100, Liman ve Osman Gazi Köprüsüne bağlayacak ve KMO ile TEM, D100 ve Osman Gazi Köprüsü arasındaki bağı sağlayacak 10 km.lik Bağlantı yolunu analiz etmektedir. Bölgedeki mevcut yol ağına ait teknik bilgiler ait bir gösterim Tablo 6.3.’te verilmiştir.

Tablo 6.3. Mevcut yollara ait teknik bilgiler

| YOL DURUMU |                     |                          | TRAFİK BİLGİSİ                     |       |                  |                                     |       |                  |
|------------|---------------------|--------------------------|------------------------------------|-------|------------------|-------------------------------------|-------|------------------|
|            | Ort. Düşey Eğim (%) | Kaplama Cinsi            | Bağlantı Yolu (Yeni Yol) Yapılırsa |       |                  | Bağlantı Yolu (Yeni Yol) Yapılmazsa |       |                  |
|            |                     |                          | YOGT                               | Hacim | Ort. Hız (km/sa) | YOGT                                | Hacim | Ort. Hız (km/sa) |
| KMO        | 2                   | Eski beton asfalt R=2,5  | 84624                              | 10494 | 74               | 50198                               | 6225  | 110              |
| TEM        | 2                   | Eski beton asfalt R=2,5  | 109291                             | 12022 | 75               | 181355                              | 19949 | 34               |
| D100       | 3,5                 | Eski beton asfalt R=2,5  | 87145                              | 9586  | 75               | 98400                               | 10824 | 75               |
| Eski yol   | 8                   | Eski sathi kaplama R=4,5 | 300                                | -     | -                | 58140                               | -     | -                |

R:Yüzey Pürüzlülüğü (m/km)

Tablo 6.3.'te Bağlantı yolunun ekonomik analizinde esas alınan teknik bilgilere dair örnek bir gösterim verilmiştir. Söz konusu bu bilgiler mevcut yol ağına ait 2035 yılı projeksiyonunu göstermektedir. Kocaeli Büyükşehir Belediyesinin Ulaştırma Ana Planı çerçevesinde belirlenen trafik bilgileri doğrultusunda, PTV Visum 13 simülasyon programı ile projenin gerçekleşmesi ve gerçekleşmemesi durumlarına göre senaryo analizleri yapılarak hacim, ortalama hız ve Yıllık Ortalama Günlük Trafik (YOGT) bilgileri 2015-2035 yılları arasında elde edilmiş olup 2035 yılına ait bilgiler Tablo 6.3.'teki gibidir. Mevcut yol ağına ilişkin tüm bilgiler, Bağlantı Yolunun yapılacağı ve etki oluşturacağı yol kesimleri için elde edilmiştir. Bu bağlamda analizde kullanılan eğim, kaplama cinsi, YOGT, hacim, ortalama hız bilgileri Bağlantı Yolunun yapılması-yapılmaması durumunda etkisi altında bıraktığı KMO, TEM, D100 ve eski yol kesimleri için elde edilmiştir. Hacim ve ortalama hız bilgileri ise projenin gerçekleşmesi-gerçekleşmemesi durumlarında pik saatlerdeki değerlerdir. Tablo 6.3.'te verilen bilgilerin yıllara göre değerlendirilmesi ve ekonomik analizinin gerçekleştirilmesi bir sonraki bölümlerde başlıklar halinde detaylandırılmıştır.

Söz konusu Bağlantı yolunun ekonomik analizinde yer alan ve KGM tarafından yapılan ekonomik analizlerde kullanılan yol kullanıcı maliyetleri şunlardır: Taşıt işletme maliyetleri (TİM), Kaza maliyetleri (KM), Zaman değeri (ZD)'dir [5].

#### **6.1.2.1. Taşıt işletme maliyetleri**

TİM, ulaşırma yatırımlarının vazgeçilmez bir fayda kalemidir. Yeni yapılacak ulaşırma yapısı ile ortaya çıkacak kamu yararının tespit edilmesinde önemli rol oynamaktadır. TİM, söz konusu ulaşırma yapısı yapılmadan önceki sistemde sürücülerin yapmak zorunda oldukları maliyetlerin, yeni yapılacak ulaşırma yapısı ile azalmasını ölçmekte ve bu doğrultuda kamusal faydayı ortaya çıkarmaktadır. Bu çalışma kapsamında eski yol, KMO, TEM ve D100 yollarından elde edilecek TİM aşağıda verilmiştir.

Eski Yol: Dilovası'nın kuzeyinde yer alan, OSB kamyonlarının D100'e ulaştıkları, boyuna eğimi %11'lere varan, standartları çok düşük, 3,9 km uzunluğunda bir karayoludur. Mevcut durumu ve geometrik koşulları itibariyle kamyon taşımacılığına yetersiz kalmaktadır. Dolayısıyla OSB'lerin ana ulaşım senaryosu Bağlantı yolu güzergâhı üzerinde olacaktır. Ancak özel taşıt ulaşımında ve toplu taşıma sistemlerinin erişiminde eski yol aksının öneminin devam edeceği öngörülmektedir. Bağlantı Yolunun yapılması durumunda eski yoldan elde edilecek TİM değerleri aşağıdaki gibi hesaplanmıştır;

OSB kamyonlarının Bağlantı yolunun yapılmaması durumunda eski yol üzerinden D100'e ulaşabilmeleri için kat ettikleri ortalama mesafeye ilişkin bilgiler Tablo 6.4.'te verilmiştir.

Tablo 6.4. OSB'lerin eski yol üzerinden D100'e olan uzaklığı

| OSB                 | Kamyon Sayısı | Mesafe (km) | Eğimden Eklenen (km) | Yol Uzunluğu (km) |
|---------------------|---------------|-------------|----------------------|-------------------|
| Mermerciler         | 6304          | 11          | 4,875                | 15,875            |
| Makine              | 6666          | 9           | 4,875                | 13,875            |
| İMES                | 1500          | 7           | 4,875                | 11,875            |
| GEBKİM              | 2489          | 4           | 4,875                | 8,875             |
| Kömürcüler          | 2400          | 8           | 4,875                | 12,875            |
| Ağırlıklı Ortalama: |               |             |                      | 13,604            |

Yapılan hesaplar doğrultusunda tüm yollar düz yol uzunluğuna çevrilmiştir. Bu bağlamda eski yola ait eğim değeri düz yol uzunluğuna çevrilerek ortalama bir mesafe bulunmuştur. Eski yol ile Bağlantı yolunun ortalama eğimleri arasındaki %5'lik bir eğim kazancı sağlanmaktadır. Kamyonlar için her 1 km'lik %5 eğim ortalama olarak 2,25 km düz kilometreye tekabül etmektedir [51]. Buna göre 3,9 km uzunluğunda olan çöp yolu  $3,9 \times 2,25 = 8,775$  km düz yola tekabül edecektir. Eğimden gelen kazanım  $8,775 - 3,900 = 4,875$  km olmaktadır. Bu değer Tablo 6.4'te hesaba katılmıştır.

Bağlantı yolunun yapılması halinde OSB kamyonlarının hemen hemen tamamının anayol güzergâhlarına (KMO ve D100) ulaşmak için Bağlantı yolunu kullanacakları

öngörülmektedir. Bu bağlamda Bağlantı yolu ile birlikte kamyonların KMO'ya ve D100'e olan mesafeleri ve ağırlıklı ortalaması Tablo 6.5.'te verilmiştir.

Tablo 6.5. OSB'lerin Bağlantı yolu üzerinden D100'e ve KMO'ya olan uzaklığı

| OSB                | Kamyon Sayısı | D100'e mesafe (km) | KMO'ya mesafe (km) |
|--------------------|---------------|--------------------|--------------------|
| Mermerciler        | 6304          | 8,5                | 0                  |
| Makine             | 6666          | 7                  | 5,5                |
| İMES               | 1500          | 7                  | 6                  |
| GEBKİM             | 2489          | 7,6                | 6,5                |
| Kömürcüler         | 2400          | 10                 | 9                  |
| Ağırlıklı Ortalama |               | 7,938              | 5,125              |

Yapılan hesaplar neticesinde elde edilen mesafe kazanımı:

D100'e yönelecek kamyonlar için =  $13,604 - 7,938 = 5,666$  km; KMO'ya yönelecek kamyonlar için =  $13,604 - 5,125 = 8,477$  km bulunmuştur.

Elde edilen mesafe kazanımları doğrultusunda Tablo 6.6.'da Bağlantı yolu taşıt işletme maliyetleri hesaplamaları görülmektedir.

Tablo 6.6. Eski yoldan elde edilen taşıt işletme maliyetleri

| Yıllar | OSB kamyon sayıları | Bağlantı yolu kamyon dağılımı |            | Bağlantı yolu otomobil dağılımı |            | Güney yönüne giden kamyonlardan elde edilen fayda (TL) | Güney yönüne giden otomobillerden elde edilen fayda (TL) | Kuzey yönüne giden kamyonlardan elde edilen fayda (TL) | Kuzey yönüne giden otomobillerden elde edilen fayda (TL) | İndirgenmiş net şimdiki değer (TL) |
|--------|---------------------|-------------------------------|------------|---------------------------------|------------|--------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|------------------------------------|
|        |                     | Güney yönü                    | Kuzey yönü | Güney yönü                      | Kuzey yönü |                                                        |                                                          |                                                        |                                                          |                                    |
| 2016   | 4668                | 0                             | 0          | 0                               | 0          | 0                                                      | 0                                                        | 0                                                      | 0                                                        | 0                                  |
| 2017   | 5467                | 0                             | 0          | 0                               | 0          | 0                                                      | 0                                                        | 0                                                      | 0                                                        | 0                                  |
| 2018   | 6404                | 0                             | 0          | 0                               | 0          | 0                                                      | 0                                                        | 0                                                      | 0                                                        | 0                                  |
| 2019   | 7502                | 5518                          | 1984       | 697                             | 0          | 12864127,07                                            | -562934,9083                                             | 6918591,811                                            | 0                                                        | 13080662,02                        |
| 2020   | 8788                | 6596                          | 2191       | 2322                            | 771        | 15377402,31                                            | -1875512,224                                             | 7642469,671                                            | -623024,368                                              | 12931922,26                        |
| 2021   | 10294               | 7403                          | 2890       | 4479                            | 1749       | 17258260,75                                            | -3616928,851                                             | 10080973,95                                            | -1412146,712                                             | 13017763,58                        |
| 2022   | 12058               | 8422                          | 3635       | 5998                            | 2589       | 19634308,57                                            | -4843727,842                                             | 12678769                                               | -2090622,391                                             | 13711336,7                         |
| 2023   | 14124               | 9659                          | 4465       | 7463                            | 3450       | 22516801,86                                            | -6026618,762                                             | 15573279,06                                            | -2786002,27                                              | 14646019,07                        |
| 2024   | 16545               | 11134                         | 5411       | 7692                            | 3738       | 25954580,83                                            | -6211631,748                                             | 18872135,51                                            | -3018888,791                                             | 16487926,09                        |
| 2025   | 19380               | 11922                         | 7458       | 1462                            | 914        | 27791947,94                                            | -1180292,641                                             | 26012184,89                                            | -738383,4113                                             | 22252783,06                        |
| 2026   | 19380               | 11922                         | 7458       | 2601                            | 1627       | 27791275,27                                            | -2100444,403                                             | 26013191,27                                            | -1314107,023                                             | 20010528,59                        |
| 2027   | 19380               | 11921                         | 7459       | 3109                            | 1945       | 27790620,2                                             | -2511041,765                                             | 26014171,33                                            | -1571086,44                                              | 18282920,11                        |
| 2028   | 19380               | 11921                         | 7459       | 3954                            | 2474       | 27789982,05                                            | -3193432,797                                             | 26015126,08                                            | -1998158,05                                              | 16551008,72                        |
| 2029   | 19380               | 11921                         | 7459       | 4814                            | 3012       | 27789360,17                                            | -3887560,85                                              | 26016056,49                                            | -2432621,306                                             | 14969326,28                        |
| 2030   | 19380               | 11920                         | 7460       | 5688                            | 3560       | 27788753,94                                            | -4593733,185                                             | 26016963,47                                            | -2874667,954                                             | 13525420,91                        |
| 2031   | 19380               | 11920                         | 7460       | 6953                            | 4351       | 27788162,79                                            | -5614840,112                                             | 26017847,91                                            | -3513850,799                                             | 12074892,37                        |
| 2032   | 19380               | 11920                         | 7460       | 8263                            | 5171       | 27787586,15                                            | -6672706,461                                             | 26018710,62                                            | -4176104,484                                             | 10750069,12                        |
| 2033   | 19380               | 11920                         | 7460       | 8803                            | 5510       | 27787023,5                                             | -7109058,372                                             | 26019552,41                                            | -4449428,788                                             | 9789391,845                        |
| 2034   | 19380               | 11919                         | 7461       | 9344                            | 5848       | 27786474,34                                            | -7545396,27                                              | 26020374,02                                            | -4722767,106                                             | 8912050,402                        |
| 2035   | 19380               | 11919                         | 7461       | 10299                           | 6446       | 27785938,18                                            | -8316791,678                                             | 26021176,18                                            | -5205855,01                                              | 8002741,042                        |
|        |                     |                               |            |                                 |            | TOPLAM NŞD=                                            |                                                          | 258.944.778,56 TL                                      |                                                          |                                    |

D100: Edirne-Kapıkule ile Ağrı-Gürbulak arasında yer alan 1788 km uzunluğunda bir devlet yoludur. Bu çalışma kapsamında Dilovası mevkiinde yer alan yol kesimi dikkate alınmıştır. Simülasyon programında yapılan analizler sonucunda D100 karayolunun Bağlantı yolundan etkilendiği yol kesimi, 5,329 km olarak belirlenmiştir. Bu yol kesimindeki ortalama boyuna eğim %3,5 olarak tespit edilmiştir.

TEM: Portekiz-Lizbon'dan başlayıp İran-Bazargan'da son bulan, 6102 km uzunluğunda bir karayoludur. Türkiye içerisinde 1831 km uzunluğunda bulunmaktadır. Ülkemiz otoyol standartlarında olan karayolunun bu çalışma kapsamında Dilovası mevkiinde yer alan kesimi dikkate alınmıştır. Bağlantı Yolunun yapılmasıyla 4,587 km'lik kısmı doğrudan etkilenmektedir. Söz konusu bu yol kesiminde yol yüzey durumu eski beton asfalt olarak değerlendirilmiş olup ortalama boyuna eğimi %2 olarak hesaplamalara alınmıştır.

KMO: Odayeri-Paşaköy arasında yer alan 115 km'den oluşan, yapımı halen devam etmekte olan bir otoyoldur. Bu çalışma kapsamında simülasyon programından elde edilen sonuçlar neticesinde Bağlantı Yolunun yapılmasından doğrudan etkilenen 6,810 km'lik bir yol kesimi hesaplamalarda dikkate alınmıştır. Bu kesimdeki ortalama boyuna eğim %2 olarak belirlenmiştir.

Bağlantı yolunun yapılması-yapılmaması durumuna bağlı olarak D100, TEM ve KMO karayollarındaki YOGT değerlerinin değişimine bağlı olarak yıllara göre elde edilen TİM kazanımları sırasıyla Tablo 6.7., Tablo 6.8. ve Tablo 6.9.'da verilmiştir. Hesaplamalar Microsoft Excel 2010 programında gerçekleştirilmiş olup tüm taşıtlar birim otomobil cinsinden hesaba katılmıştır. TİM hesaplamalarında yıllık gün sayısı 365 olarak alınmıştır.

Tablo 6.7. D100 karayolundan elde edilen taşıt işletme maliyetleri

| Yıllar      | Bağlantı yolu yapılmazsa<br>(YOGT) |             | Bağlantı yolu yapılırsa<br>(YOGT) |             | Fark İstanbul<br>yönü | Fark Ankara<br>yönü | Taşıt işletme maliyetlerinden<br>elde edilen fayda (TL) | İndirgenmiş net şimdiki<br>değer (TL) |
|-------------|------------------------------------|-------------|-----------------------------------|-------------|-----------------------|---------------------|---------------------------------------------------------|---------------------------------------|
|             | İstanbul yönü                      | Ankara yönü | İstanbul yönü                     | Ankara yönü |                       |                     |                                                         |                                       |
| 2016        | 38011                              | 41809       | 0                                 | 0           | 0                     | 0                   | 0                                                       | 0                                     |
| 2017        | 39103                              | 42978       | 0                                 | 0           | 0                     | 0                   | 0                                                       | 0                                     |
| 2018        | 40212                              | 44166       | 0                                 | 0           | 0                     | 0                   | 0                                                       | 0                                     |
| 2019        | 42939                              | 45792       | 40823                             | 44853       | 2116                  | 939                 | 1562185,017                                             | 1063196,873                           |
| 2020        | 44075                              | 46064       | 42112                             | 46285       | 1963                  | -222                | 890476,1072                                             | 561150,9962                           |
| 2021        | 44508                              | 45585       | 42732                             | 46983       | 1776                  | -1398               | 193157,6067                                             | 112705,6083                           |
| 2022        | 44941                              | 45106       | 43352                             | 47680       | 1589                  | -2575               | -504160,8938                                            | -272382,4437                          |
| 2023        | 46130                              | 45371       | 44706                             | 49184       | 1424                  | -3814               | -1221504,051                                            | -611056,1398                          |
| 2024        | 46570                              | 44884       | 45336                             | 49893       | 1234                  | -5010               | -1930444,526                                            | -894169,3338                          |
| 2025        | 47010                              | 44397       | 45967                             | 31303       | 1043                  | 13094               | 7228160,047                                             | 3100033,949                           |
| 2026        | 48254                              | 44654       | 46727                             | 32057       | 1527                  | 12597               | 7221725,207                                             | 2867846,441                           |
| 2027        | 48702                              | 44159       | 46708                             | 32280       | 1994                  | 11879               | 7092779,18                                              | 2608000,185                           |
| 2028        | 49569                              | 44037       | 47088                             | 32781       | 2481                  | 11256               | 7023353,095                                             | 2391178,109                           |
| 2029        | 50452                              | 43913       | 47475                             | 33291       | 2977                  | 10622               | 6952730,008                                             | 2191790,462                           |
| 2030        | 51350                              | 43786       | 47868                             | 33810       | 3481                  | 9977                | 6880878,694                                             | 2008462,899                           |
| 2031        | 52726                              | 44044       | 48696                             | 34641       | 4030                  | 9403                | 6868012,554                                             | 1856210,552                           |
| 2032        | 54151                              | 44312       | 49553                             | 35503       | 4598                  | 8808                | 6854682,77                                              | 1715377,708                           |
| 2033        | 54627                              | 43785       | 49533                             | 35741       | 5094                  | 8045                | 6717605,012                                             | 1556550,122                           |
| 2034        | 55103                              | 43259       | 49513                             | 35978       | 5590                  | 7281                | 6580527,253                                             | 1411840,326                           |
| 2035        | 56084                              | 43121       | 49943                             | 36545       | 6141                  | 6576                | 6502026,309                                             | 1291664,897                           |
| TOPLAM NŞD= |                                    |             |                                   |             |                       |                     | 26.096.667,22 TL                                        |                                       |

Tablo 6.8. TEM karayolundan elde edilen taşıt işletme maliyetleri

| Yıllar      | Bağlantı yolu yapılmazsa (YOGT) |             | Bağlantı yolu yapılırsa (YOGT) |             | Fark İstanbul yönü | Fark Ankara yönü | Taşıt işletme maliyetlerinden elde edilen fayda (TL) | İndirgenmiş Net Şimdiki Değer (TL) |
|-------------|---------------------------------|-------------|--------------------------------|-------------|--------------------|------------------|------------------------------------------------------|------------------------------------|
|             | İstanbul yönü                   | Ankara yönü | İstanbul yönü                  | Ankara yönü |                    |                  |                                                      |                                    |
| 2016        | 48762                           | 37979       | 0                              | 0           | 0                  | 0                | 0                                                    | 0                                  |
| 2017        | 50101                           | 39230       | 0                              | 0           | 0                  | 0                | 0                                                    | 0                                  |
| 2018        | 51461                           | 40502       | 0                              | 0           | 0                  | 0                | 0                                                    | 0                                  |
| 2019        | 55257                           | 45807       | 54983                          | 39947       | 275                | 5860             | 2699741,914                                          | 1837398,983                        |
| 2020        | 58113                           | 47803       | 59463                          | 40038       | -1350              | 7765             | 2823021,39                                           | 1778982,336                        |
| 2021        | 60063                           | 49047       | 63042                          | 39474       | -2979              | 9573             | 2902042,802                                          | 1693314,101                        |
| 2022        | 62012                           | 50292       | 66621                          | 38910       | -4608              | 11382            | 2981064,213                                          | 1610576,237                        |
| 2023        | 65028                           | 52396       | 71370                          | 38985       | -6342              | 13411            | 3111087,052                                          | 1556318,084                        |
| 2024        | 67011                           | 53662       | 75009                          | 38412       | -7998              | 15250            | 3191425,487                                          | 1478247,503                        |
| 2025        | 68993                           | 54928       | 78647                          | 37839       | -9654              | 17089            | 3271763,922                                          | 1403203,466                        |
| 2026        | 72178                           | 57146       | 78696                          | 38489       | -6518              | 18657            | 5342100,637                                          | 2121421,663                        |
| 2027        | 74194                           | 58433       | 77412                          | 38498       | -3218              | 19935            | 7356983,726                                          | 2705147,648                        |
| 2028        | 76861                           | 60230       | 76779                          | 38835       | 82                 | 21395            | 9451968,242                                          | 3218026,95                         |
| 2029        | 79574                           | 62059       | 76135                          | 39179       | 3440               | 22880            | 11583073,18                                          | 3651467,738                        |
| 2030        | 82335                           | 63919       | 75479                          | 39529       | 6856               | 24390            | 13751240,81                                          | 4013856,11                         |
| 2031        | 85897                           | 66394       | 75474                          | 40237       | 10423              | 26157            | 16098662,81                                          | 4350968,718                        |
| 2032        | 89588                           | 68959       | 75469                          | 40972       | 14119              | 27987            | 18530676,6                                           | 4637283,828                        |
| 2033        | 91731                           | 70327       | 74104                          | 40981       | 17627              | 29346            | 20672624,39                                          | 4790096,465                        |
| 2034        | 93874                           | 71696       | 72739                          | 40990       | 21135              | 30705            | 22814572,18                                          | 4894825,563                        |
| 2035        | 96890                           | 73728       | 72023                          | 41372       | 24867              | 32356            | 25183397,42                                          | 5002826,641                        |
| TOPLAM NŞD= |                                 |             |                                |             |                    |                  | 65.800.551,30 TL                                     |                                    |

Tablo 6.9. KMO karayolundan elde edilen taşıt işletme maliyetleri

| Yıllar     | Bağlantı yolu yapılmazsa (YOGT) |             | Bağlantı yolu yapılırsa (YOGT) |             | Fark İstanbul yönü | Fark Ankara yönü | Taşıt işletme maliyetlerinden elde edilen fayda (TL) | İndirgenmiş Net Şimdiki Değer (TL) |
|------------|---------------------------------|-------------|--------------------------------|-------------|--------------------|------------------|------------------------------------------------------|------------------------------------|
|            | İstanbul yönü                   | Ankara yönü | İstanbul yönü                  | Ankara yönü |                    |                  |                                                      |                                    |
| 2016       | 0                               | 0           | 0                              | 0           | 0                  | 0                | 0                                                    | 0                                  |
| 2017       | 0                               | 0           | 0                              | 0           | 0                  | 0                | 0                                                    | 0                                  |
| 2018       | 0                               | 0           | 0                              | 0           | 0                  | 0                | 0                                                    | 0                                  |
| 2019       | 25452                           | 29589       | 26581                          | 30653       | -1129              | -1065            | -1419203,517                                         | -965886,0666                       |
| 2020       | 26043                           | 30075       | 27371                          | 31305       | -1328              | -1230            | -1654932,637                                         | -1042888,283                       |
| 2021       | 25230                           | 29243       | 28161                          | 31956       | -2931              | -2714            | -3652147,895                                         | -2130993,219                       |
| 2022       | 24417                           | 28410       | 28952                          | 32608       | -4534              | -4198            | -5649363,152                                         | -3052175,128                       |
| 2023       | 23605                           | 27578       | 29742                          | 33259       | -6137              | -5682            | -7646578,409                                         | -3825192,951                       |
| 2024       | 22792                           | 26745       | 30532                          | 33911       | -7740              | -7166            | -9643793,666                                         | -4466942,426                       |
| 2025       | 21980                           | 25913       | 31323                          | 34562       | -9343              | -8650            | -11641008,92                                         | -4992629,193                       |
| 2026       | 22427                           | 26247       | 32113                          | 35214       | -9685              | -8967            | -12067763,97                                         | -4792275,107                       |
| 2027       | 22823                           | 26533       | 32903                          | 35865       | -10081             | -9333            | -12560120,7                                          | -4618330,314                       |
| 2028       | 22879                           | 26505       | 33694                          | 36517       | -10815             | -10012           | -13474497,48                                         | -4587541,445                       |
| 2029       | 23274                           | 26791       | 34484                          | 37169       | -11210             | -10378           | -13966854,21                                         | -4402934,936                       |
| 2030       | 23944                           | 27330       | 35274                          | 37820       | -11331             | -10490           | -14117575,66                                         | -4120785,761                       |
| 2031       | 23887                           | 27198       | 36065                          | 38472       | -12177             | -11274           | -15172625,8                                          | -4100689,666                       |
| 2032       | 23548                           | 26804       | 36855                          | 39123       | -13306             | -12319           | -16579359,32                                         | -4148968,573                       |
| 2033       | 22323                           | 25589       | 37645                          | 39775       | -15323             | -14185           | -19091383,46                                         | -4423703,866                       |
| 2034       | 22677                           | 25838       | 38435                          | 40426       | -15758             | -14589           | -19633980,67                                         | -4212435,358                       |
| 2035       | 22815                           | 25884       | 39226                          | 41078       | -16411             | -15193           | -20447876,49                                         | -4062088,192                       |
| TOPLAM NŞD |                                 |             |                                |             |                    |                  | -74.983.224,90 TL                                    |                                    |

### 6.1.2.2. Kaza maliyetleri

Yeni yapılacak ulaştırma yapısı ile mevcut yol veya yol ağında meydana gelen trafik kazalarındaki azalmalardan elde edilen kamu yararı kaza maliyetleri olarak adlandırılmaktadır. Burada, mevcut sistemde şimdiye kadar meydana gelmiş trafik kaza sayıları tespit edilerek geliştirilen tahmin modelleriyle söz konusu ulaştırma yapısının yapılmaması halinde ortaya çıkacak kaza maliyetlerinin toplam değeri hesaplanmaktadır. Bu çalışma kapsamında, geometrik standartları düşük eski yoldan elde edilecek kaza maliyet kazanımları dikkate alınmıştır. Yeni yapılacak Bağlantı yoluna tamamıyla alternatif bir yol olmakta ve elde edilen kazanımlar fayda hanesinde hesaplara katılabilmektedir. Ancak söz konusu Bağlantı yolu bölgedeki KMO, TEM ve D100 yollarının alternatifi olmadığı için bu yollar ile kıyaslanabilir bir düzeyde değildir. Yani Bağlantı yolu yapılırsa örneğin TEM’deki kaza sayısı azalacak gibi bir hipotez ortaya atmak güçtür. Ancak Bağlantı yolunun yapılması ile mevcut eski yoldaki kaza sayısı azaltılacak hatta bu yoldaki mevcut trafik yeni yola aktarılacağı için kaza sayısı minimuma inecek denilebilir. Bu bağlamda kaza maliyet hesaplamaları bu doğrultuda gerçekteştirilmiştir.

Kaza maliyetlerinin hesaplanmasında kazalar hafif yaralanmalı, ağır yaralanmalı ve maddi hasarlı olarak tasnif edilmiştir. Mevcut eski yolda meydana gelen kazalar yolun durumuna bağlı olarak %70 hafif yaralanmalı %30 ağır yaralanmalı olabileceği öngörölmüş olup KGM’den alınan veriler doğrultusunda hafif yaralanma maliyeti olarak 2013 yılı itibariyle 9302 TL; ağır yaralanma maliyeti olarak 127732 TL alınmıştır [5]. Maddi hasarlı kazalar için ise taşıtların kamyon olmaları göz önünde bulundurularak ortalama olarak 3000 TL bir maliyet ortaya çıkacağı öngörölmüştür.

Gebze Dilovası Jandarma yetkililerinden alınan bilgiler ışığında mevcut eski yolda 2009-2013 yılları arasında oluşmuş olan trafik kazası verileri Tablo 6.10.’da verilmiştir.

Tablo 6.10. Eski yoldaki geçmiş kaza verileri

| Yıllar | Maddi Hasarlı Kaza | Yaralanmalı Kaza | Toplam Kaza | Yaralı Sayısı | Ölü Sayısı |
|--------|--------------------|------------------|-------------|---------------|------------|
| 2009   | 2                  | 1                | 3           | 1             | 0          |
| 2010   | 3                  | 0                | 3           | 0             | 0          |
| 2011   | 8                  | 4                | 12          | 4             | 0          |
| 2012   | 6                  | 11               | 17          | 11            | 0          |
| 2013   | 13                 | 14               | 27          | 14            | 0          |

Yerel yetkililerden alınan ve ulaşılabilen kaza verileri Tablo 6.10.'daki gibidir. Elde edilebilen veriler doğrultusunda bir kaza tahmin modeli ortaya konulmuştur. SPSS 15.0 programını kullanarak en küçük kareler yöntemiyle oluşturulan tahmin modeline dair istatistiksel göstergeler Tablo 6.11. ve Tablo 6.12.'de verilmiştir.

Tablo 6.11. Kazalarda yaralanan sayısına ait regresyon tahmin modeli

| MODEL ÖZETİ   |                 |                     |                    |               |       |
|---------------|-----------------|---------------------|--------------------|---------------|-------|
| Model         | Çoklu R         | R-kare              | Düzeltilmiş R-kare | Standart Hata |       |
| 1             | 0,96            | 0,92                | 0,89               | 2,017         |       |
| ANOVA         |                 |                     |                    |               |       |
|               | Kareler Toplamı | Serbestlik Derecesi | Kareler Ortalaması | F             | p     |
| Regresyon     | 141,798         | 1                   | 141,798            | 34,862        | 0,01  |
| Hata          | 12,202          | 3                   | 4,067              |               |       |
| Toplam        | 154             | 4                   |                    |               |       |
| KATSAYILAR    |                 |                     |                    |               |       |
|               | B               | Standart Hata       | Beta               | t             | p     |
| Sabit         | -17,997         | 4,163               |                    | -4,323        | 0,023 |
| Kamyon Sayısı | 0,011           | 0,002               | 0,96               | 5,904         | 0,01  |

Tablo 6.11. ve Tablo 6.12.'de verilen kazalarda yaralanan sayısına ait oluşturulan regresyon modelindeki belirlilik katsayısı ( $R^2$ ) değeri 0,92; maddi hasarlı kaza sayısına ait regresyon tahmin modelinde 0,83 olarak bulunmuştur. Bu değerler tahmin modellerinin istatistiksel veri seti ile uyumlu bir trend ortaya koyduğunu sunmuştur. Yapılan ANOVA testi sonucunda her iki tahmin modelinde de anlamlılık düzeyinin 0,05'den küçük olması istatistiksel model hipotezlerini güçlendirmiştir.

Tablo 6.12. Maddi hasarlı kaza sayısına ait regresyon tahmin modeli

| MODEL ÖZETİ   |                 |                     |                    |               |       |
|---------------|-----------------|---------------------|--------------------|---------------|-------|
| Model         | Çoklu R         | R-kare              | Düzeltilmiş R-kare | Standart Hata |       |
| 1             | 0,911           | 0,83                | 0,77               | 2,094         |       |
| ANOVA         |                 |                     |                    |               |       |
|               | Kareler Toplamı | Serbestlik Derecesi | Kareler Ortalaması | F             | p     |
| Regresyon     | 64,049          | 1                   | 64,049             | 14,610        | 0,032 |
| Hata          | 13,151          | 3                   | 4,384              |               |       |
| Toplam        | 77,200          | 4                   |                    |               |       |
| KATSAYILAR    |                 |                     |                    |               |       |
|               | B               | Standart Hata       | Beta               | t             | p     |
| Sabit         | -9,699          | 4,315               |                    | -2,248        | 0,110 |
| Kamyon Sayısı | 0,007           | 0,002               | 0,911              | 3,822         | 0,032 |

Yerel yetkililerden alınan veriler ışığında geliştirilen tahmin modeli kullanılarak Bağlantı yolu yapılması ile eski yoldan elde edilecek kaza maliyetlerine dair hesaplamalar Tablo 6.13.'te verilmiştir.

6.13.'te verilen kamyon sayısındaki artış OSB bölgesindeki doluluk oranı ile ilişkilidir. 2025 yılından itibaren OSB bölgesindeki doluluk oranının %90'ların üzerine çıkacağı öngörüldüğünden 2025 yılı sonrası için bölgede kamyon artışı olmayacaktır. 2025 yılına kadar olan kamyon artışı ise yıllara göre artış gösterecek sanayi sitelerinin yerleşimine bağlı olmaktadır. Geliştirilen kaza tahmin modelinde kamyon sayısı ile kaza sayısı arasındaki ilişki bu doğrultuda ele alınmıştır.

Tablo 6.13. Kaza maliyetleri

| Yıllar      | Kamyon sayısı | Maddi hasarlı kaza sayısı | Kazalarda yaralananların sayısı |                |                 | Kazalardan elde edilen fayda (TL) | İndirgenmiş Net Şimdiki Değer (TL) |
|-------------|---------------|---------------------------|---------------------------------|----------------|-----------------|-----------------------------------|------------------------------------|
|             |               |                           | Toplam yaralananlar             | Ağır yaralanma | Hafif yaralanma |                                   |                                    |
| 2009        | 1542          | 2                         | 1                               | 0              | 1               | 0                                 | 0                                  |
| 2010        | 1807          | 3                         | 0                               | 0              | 0               | 0                                 | 0                                  |
| 2011        | 2116          | 8                         | 4                               | 1              | 3               | 0                                 | 0                                  |
| 2012        | 2479          | 6                         | 11                              | 3              | 8               | 0                                 | 0                                  |
| 2013        | 2904          | 13                        | 14                              | 4              | 10              | 0                                 | 0                                  |
| 2014        | 3402          | 15                        | 20                              | 6              | 14              | 0                                 | 0                                  |
| 2015        | 3985          | 20                        | 26                              | 8              | 18              | 0                                 | 0                                  |
| 2016        | 4668          | 25                        | 34                              | 10             | 24              | 0                                 | 0                                  |
| 2017        | 5467          | 31                        | 43                              | 13             | 30              | 0                                 | 0                                  |
| 2018        | 6404          | 38                        | 53                              | 16             | 37              | 0                                 | 0                                  |
| 2019        | 7502          | 46                        | 65                              | 20             | 46              | 3052015                           | 2077150,126                        |
| 2020        | 8788          | 55                        | 79                              | 24             | 55              | 3706649                           | 2335817,617                        |
| 2021        | 10294         | 66                        | 96                              | 29             | 67              | 4501776                           | 2626743,058                        |
| 2022        | 12058         | 79                        | 115                             | 35             | 81              | 5392565                           | 2913435,077                        |
| 2023        | 14124         | 94                        | 138                             | 41             | 97              | 6468678                           | 3235949,488                        |
| 2024        | 16545         | 112                       | 165                             | 50             | 116             | 7733115                           | 3581928,511                        |
| 2025        | 19380         | 133                       | 196                             | 59             | 137             | 9185876                           | 3939664,764                        |
| 2026        | 19380         | 133                       | 196                             | 59             | 137             | 9185876                           | 3647837,745                        |
| 2027        | 19380         | 133                       | 196                             | 59             | 137             | 9185876                           | 3377627,541                        |
| 2028        | 19380         | 133                       | 196                             | 59             | 137             | 9185876                           | 3127432,909                        |
| 2029        | 19380         | 133                       | 196                             | 59             | 137             | 9185876                           | 2895771,212                        |
| 2030        | 19380         | 133                       | 196                             | 59             | 137             | 9185876                           | 2681269,641                        |
| 2031        | 19380         | 133                       | 196                             | 59             | 137             | 9185876                           | 2482657,075                        |
| 2032        | 19380         | 133                       | 196                             | 59             | 137             | 9185876                           | 2298756,551                        |
| 2033        | 19380         | 133                       | 196                             | 59             | 137             | 9185876                           | 2128478,288                        |
| 2034        | 19380         | 133                       | 196                             | 59             | 137             | 9185876                           | 1970813,229                        |
| 2035        | 19380         | 133                       | 196                             | 59             | 137             | 9185876                           | 1824827,064                        |
| 2036        | 19380         | 133                       | 196                             | 59             | 137             | 9185876                           | 1689654,689                        |
| 2037        | 19380         | 133                       | 196                             | 59             | 137             | 9185876                           | 1564495,082                        |
| 2038        | 19380         | 133                       | 196                             | 59             | 137             | 9185876                           | 1448606,558                        |
| TOPLAM NŞD= |               |                           |                                 |                |                 | 51.848.916,22 TL                  |                                    |

### 6.1.2.3. Zaman Değeri

ZD, ulaşım modelleme ve proje değerlendirmelerinde önemli bir maliyet veya yarar kalemidir. Ulaştırma yapıları karar verme süreçlerini önemli ölçüde etkileyen bir parametredir. ZD kavramı, yolculuk süresinin kısaltılmasından elde edilen faydayı

araştırmaktadır. Bu bağlamda ulaşım projelerinin öncelikli gereçlerinden biridir. En basit bir şekilde zaman değerinin hesabı; yolculukta harcanan zaman (dakika veya saat birimi) ile yolculuk süresi birim maliyetinin çarpılmasıyla yapılmaktadır.

Zaman değeri hesabındaki en önemli sorulardan biri yolculuk süresi birim maliyetinin ne olacağıdır. Bu sorunun tam olarak doğru cevabı çok yönlü ve komplike bir analizin neticesinde elde edilmektedir. Bu çalışma kapsamında yolculuk süresi birim maliyeti olarak Kocaeli Büyükşehir Belediyesi Ulaştırma Ana Planı çerçevesinde elde edilen birim otomobilin Kocaeli ili için hesaplanmış olan zaman değeri 15 TL/saat değeri kullanılmıştır.

Bağlantı yolunun yapılması ile elde edilecek zaman kazancı mevcut yol ağı üzerinden aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

Eski yol: D100 ve TEM'e ulaşmak için Bağlantı yolunun eski yola kıyasla eğim ve kurlar dikkate alınarak kamyonlar için mesafe kazancı 5,666 km düz yol ve Bağlantı yolu yapılması halinde ana yola ulaşmak isteyen kamyonlardan KMO'ya gitmek isteyenlerin mesafe kazancı 8,477 km olduğu taşıt işletme maliyetleri başlığı altında hesaplanmıştır. Kamyonların ortalama 50 km/sa hız yaptıkları varsayılarak Bağlantı yolunun yapılmasıyla D100 ve TEM'e çıkmak isteyen kamyonlardan elde edilen zaman kazancı  $5,666 / 50 = 0,11332$  sa bulunmuştur. Bağlantı yolunun yapılmasıyla KMO'ya çıkmak isteyen kamyonlardan elde edilen zaman kazancı:  $8,477 / 50 = 0,16954$  sa bulunmuştur.

D100-TEM-KMO: Sabah ve akşam trafiğinin pik olduğu saatlerde Bağlantı yolunun yapılması ve yapılmaması durumunda trafik hacminde (saatlik geçen otomobil sayısı) ve taşıtların hızlarındaki meydana gelen değişimden kaynaklanan faydalar hesaplanmıştır. PTV Visum 13 simülasyon programı ile yapılan analizler neticesinde elde edilen zaman değeri hesabı Tablo 6.14., Tablo 6.15., Tablo 6.16., Tablo 6.17.'de verilmiştir.

Tablo 6.14. Eski yol zaman değeri

| Yıllar      | OSB kamyon sayıları | Bağlantı yolu kamyon dağılımı |            | Kuzey yönüne giden kamyonlardan elde edilen fayda | Güney yönüne giden kamyonlardan elde edilen fayda (TL) | İndirgenmiş Net Şimdiki Değer (TL) |
|-------------|---------------------|-------------------------------|------------|---------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|------------------------------------|
|             |                     | Güney yönü                    | Kuzey yönü |                                                   |                                                        |                                    |
| 2016        | 4668                | 0                             | 0          | 0                                                 | 0                                                      | 0                                  |
| 2017        | 5467                | 0                             | 0          | 0                                                 | 0                                                      | 0                                  |
| 2018        | 6404                | 0                             | 0          | 0                                                 | 0                                                      | 0                                  |
| 2019        | 7502                | 5518                          | 1984       | 4721872,018                                       | 8779642,349                                            | 9188903,812                        |
| 2020        | 8788                | 6596                          | 2191       | 5215911,658                                       | 10494928,4                                             | 9900494,214                        |
| 2021        | 10294               | 7403                          | 2890       | 6880167,255                                       | 11778596,1                                             | 10887209,21                        |
| 2022        | 12058               | 8422                          | 3635       | 8653137,255                                       | 13400225,76                                            | 11914745,84                        |
| 2023        | 14124               | 9659                          | 4465       | 10628612,39                                       | 15367499,56                                            | 13004528,15                        |
| 2024        | 16545               | 11134                         | 5411       | 12880050,02                                       | 17713750,47                                            | 14170849,16                        |
| 2025        | 19380               | 11922                         | 7458       | 17753064,68                                       | 18967735,76                                            | 15748921,89                        |
| 2026        | 19380               | 11922                         | 7458       | 17753751,53                                       | 18967276,67                                            | 14582425,53                        |
| 2027        | 19380               | 11921                         | 7459       | 17754420,41                                       | 18966829,59                                            | 13502327,42                        |
| 2028        | 19380               | 11921                         | 7459       | 17755072,02                                       | 18966394,06                                            | 12502228,58                        |
| 2029        | 19380               | 11921                         | 7459       | 17755707,01                                       | 18965969,63                                            | 11576203,95                        |
| 2030        | 19380               | 11920                         | 7460       | 17756326,02                                       | 18965555,89                                            | 10718767,28                        |
| 2031        | 19380               | 11920                         | 7460       | 17756929,64                                       | 18965152,43                                            | 9924838,616                        |
| 2032        | 19380               | 11920                         | 7460       | 17757518,44                                       | 18964758,88                                            | 9189714,246                        |
| 2033        | 19380               | 11920                         | 7460       | 17758092,95                                       | 18964374,88                                            | 8509038,815                        |
| 2034        | 19380               | 11919                         | 7461       | 17758653,69                                       | 18964000,08                                            | 7878779,538                        |
| 2035        | 19380               | 11919                         | 7461       | 17759201,15                                       | 18963634,16                                            | 7295202,303                        |
| TOPLAM NŞD= |                     |                               |            | 209.354.368,89 TL                                 |                                                        |                                    |

Tablo 6.15. D100 zaman değeri

| Yıllar      | Bağlantı yolu yapılırsa |             |              | Bağlantı yolu yapılmazsa |             |              | Bağlantı yolu yapılırsa zaman değeri (TL) | Bağlantı yolu yapılmazsa zaman değeri (TL) | Zaman değerinden elde edilen fayda (TL) | İndirgenmiş net şimdiki değer (TL) |
|-------------|-------------------------|-------------|--------------|--------------------------|-------------|--------------|-------------------------------------------|--------------------------------------------|-----------------------------------------|------------------------------------|
|             | Hacim (Zirve Saat)      |             | Vort (km/sa) | Hacim (Zirve Saat)       |             | Vort (km/sa) |                                           |                                            |                                         |                                    |
|             | İstanbul yönü           | Ankara yönü |              | İstanbul yönü            | Ankara yönü |              |                                           |                                            |                                         |                                    |
| 2016        | 0                       | 0           | 0            | 4789                     | 5268        | 73           | 0                                         | 0                                          | 0                                       | 0                                  |
| 2017        | 0                       | 0           | 0            | 4888                     | 5372        | 72           | 0                                         | 0                                          | 0                                       | 0                                  |
| 2018        | 0                       | 0           | 0            | 4986                     | 5477        | 72           | 0                                         | 0                                          | 0                                       | 0                                  |
| 2019        | 5062                    | 5562        | 71           | 5062                     | 5562        | 71           | 7463453                                   | 7463453                                    | 0                                       | 0                                  |
| 2020        | 5138                    | 5647        | 70           | 5377                     | 5620        | 72           | 7643097                                   | 7643097                                    | 0                                       | 0                                  |
| 2021        | 5213                    | 5732        | 70           | 5430                     | 5561        | 70           | 7825932                                   | 7825932                                    | 0                                       | 0                                  |
| 2022        | 5289                    | 5817        | 69           | 5483                     | 5503        | 68           | 8012045                                   | 8012045                                    | 0                                       | 0                                  |
| 2023        | 5365                    | 5902        | 69           | 5536                     | 5444        | 67           | 8201523                                   | 8201523                                    | 0                                       | 0                                  |
| 2024        | 5440                    | 5987        | 68           | 5588                     | 5386        | 65           | 8394460                                   | 8394460                                    | 0                                       | 0                                  |
| 2025        | 5516                    | 3756        | 76           | 5641                     | 5328        | 79           | 6068816                                   | 6925541                                    | 856724                                  | 367434,4018                        |
| 2026        | 5514                    | 3783        | 76           | 5694                     | 5269        | 79           | 6092043                                   | 6921985                                    | 829942                                  | 329581,4043                        |
| 2027        | 5512                    | 3809        | 76           | 5747                     | 5211        | 78           | 6115327                                   | 7007127                                    | 891801                                  | 327913,2635                        |
| 2028        | 5509                    | 3835        | 76           | 5800                     | 5152        | 79           | 6138667                                   | 6914874                                    | 776207                                  | 264268,1316                        |
| 2029        | 5507                    | 3862        | 76           | 5852                     | 5094        | 78           | 6162065                                   | 6999925                                    | 837860                                  | 264128,3718                        |
| 2030        | 5505                    | 3888        | 76           | 5905                     | 5035        | 78           | 6185521                                   | 6996324                                    | 810803                                  | 236665,7733                        |
| 2031        | 5503                    | 3914        | 76           | 5958                     | 4977        | 77           | 6209034                                   | 7083537                                    | 874504                                  | 236351,2186                        |
| 2032        | 5500                    | 3941        | 76           | 6011                     | 4919        | 77           | 6232604                                   | 7079889                                    | 847285                                  | 21203,237                          |
| 2033        | 5498                    | 3967        | 75           | 6064                     | 4860        | 76           | 6256233                                   | 7169350                                    | 913116                                  | 211580,1027                        |
| 2034        | 5496                    | 3994        | 75           | 6116                     | 4802        | 76           | 6279921                                   | 7165654                                    | 885733                                  | 190032,4787                        |
| 2035        | 5494                    | 4020        | 75           | 6169                     | 4743        | 76           | 6303667                                   | 7161958                                    | 858291                                  | 170504,5348                        |
| TOPLAM NŞD= |                         |             |              |                          |             |              |                                           |                                            | 3.263.754,34 TL                         |                                    |

Tablo 6.16. TEM zaman değeri

| Yıllar      | Bağlantı Yolu Yapılırsa |             |              | Bağlantı Yolu Yapılmazsa |             |              | Bağlantı Yolu Yapılırsa Zaman Değeri (TL) | Bağlantı Yolu Yapılmazsa Zaman Değeri (TL) | Zaman Değerinden Elde Edilen Fayda (TL) | İndirgenmiş Net Şimdiki Değer (TL) |
|-------------|-------------------------|-------------|--------------|--------------------------|-------------|--------------|-------------------------------------------|--------------------------------------------|-----------------------------------------|------------------------------------|
|             | Hacim (zirve saat)      |             | Vort (km/sa) | Hacim (zirve saat)       |             | Vort (km/sa) |                                           |                                            |                                         |                                    |
|             | İstanbul yönü           | Ankara yönü |              | İstanbul yönü            | Ankara yönü |              |                                           |                                            |                                         |                                    |
| 2016        | 0                       | 0           | 0            | 6144                     | 4785        | 89           | 0                                         | 0                                          | 0                                       | 0                                  |
| 2017        | 0                       | 0           | 0            | 6263                     | 4904        | 87           | 0                                         | 0                                          | 0                                       | 0                                  |
| 2018        | 0                       | 0           | 0            | 6381                     | 5022        | 84           | 0                                         | 0                                          | 0                                       | 0                                  |
| 2019        | 6818                    | 4953        | 79           | 6852                     | 5680        | 76           | 6436747                                   | 7079604                                    | 642858                                  | 437518,1072                        |
| 2020        | 7254                    | 4885        | 77           | 7090                     | 5832        | 74           | 6768626                                   | 7497076                                    | 728451                                  | 459047,5028                        |
| 2021        | 7691                    | 4816        | 76           | 7328                     | 5984        | 70           | 7065492                                   | 8164534                                    | 1099042                                 | 641280,4148                        |
| 2022        | 8128                    | 4747        | 74           | 7566                     | 6136        | 69           | 7469873                                   | 8525378                                    | 1055505                                 | 570256,6103                        |
| 2023        | 8564                    | 4678        | 73           | 7803                     | 6288        | 67           | 7788545                                   | 9029624                                    | 1241079                                 | 620848,3501                        |
| 2024        | 9001                    | 4609        | 70           | 8041                     | 6439        | 65           | 8347958                                   | 9564901                                    | 1216943                                 | 563680,1008                        |
| 2025        | 9438                    | 4541        | 69           | 8279                     | 6591        | 63           | 8697830                                   | 10134163                                   | 1436333                                 | 616018,7314                        |
| 2026        | 9286                    | 4542        | 68           | 8517                     | 6743        | 60           | 8730723                                   | 10919766                                   | 2189043                                 | 869299,1593                        |
| 2027        | 9135                    | 4543        | 67           | 8755                     | 6895        | 59           | 8764599                                   | 11388469                                   | 2623871                                 | 964791,8547                        |
| 2028        | 8983                    | 4544        | 68           | 8993                     | 7047        | 57           | 8540692                                   | 12081639                                   | 3540947                                 | 1205554,53                         |
| 2029        | 8832                    | 4545        | 69           | 9231                     | 7199        | 54           | 8323275                                   | 13062725                                   | 4739450                                 | 1494072,204                        |
| 2030        | 8680                    | 4546        | 70           | 9469                     | 7351        | 51           | 8112070                                   | 14159232                                   | 6047162                                 | 1765109,024                        |
| 2031        | 8529                    | 4547        | 70           | 9706                     | 7503        | 48           | 8019769                                   | 15392804                                   | 7373034                                 | 1992702,273                        |
| 2032        | 8377                    | 4548        | 71           | 9944                     | 7654        | 44           | 7815814                                   | 16995958                                   | 9180145                                 | 2297322,269                        |
| 2033        | 8226                    | 4549        | 72           | 10182                    | 7806        | 43           | 7617524                                   | 18077490                                   | 10459966                                | 2423700,227                        |
| 2034        | 8074                    | 4550        | 73           | 10420                    | 7958        | 41           | 7424666                                   | 19250532                                   | 11825865                                | 2537218,167                        |
| 2035        | 7923                    | 4551        | 73           | 10658                    | 8110        | 39           | 7336159                                   | 20527212                                   | 13191054                                | 2620478,614                        |
| TOPLAM NŞD= |                         |             |              |                          |             |              |                                           |                                            | 30.490.814,40 TL                        |                                    |

Tablo 6.17. KMO zaman değeri

| Yıllar      | Bağlantı yolu yapılırsa |             |              | Bağlantı yolu yapılmazsa |             |              | Bağlantı yolu yapılırsa zaman değeri (TL) | Bağlantı yolu yapılmazsa zaman değeri (TL) | Zaman değerinden elde edilen fayda (TL) | İndirgenmiş Net Şimdiki Değer (TL) |
|-------------|-------------------------|-------------|--------------|--------------------------|-------------|--------------|-------------------------------------------|--------------------------------------------|-----------------------------------------|------------------------------------|
|             | Hacim (Zirve Saat)      |             | Vort (km/sa) | Hacim (Zirve Saat)       |             | Vort (km/sa) |                                           |                                            |                                         |                                    |
|             | İstanbul yönü           | Ankara yönü |              | İstanbul yönü            | Ankara yönü |              |                                           |                                            |                                         |                                    |
| 2016        | 0                       | 0           | 0            | 0                        | 0           | 0            | 0                                         | 0                                          | 0                                       | 0                                  |
| 2017        | 0                       | 0           | 0            | 0                        | 0           | 0            | 0                                         | 0                                          | 0                                       | 0                                  |
| 2018        | 0                       | 0           | 0            | 0                        | 0           | 0            | 0                                         | 0                                          | 0                                       | 0                                  |
| 2019        | 3296                    | 3801        | 110          | 3156                     | 3669        | 108          | 4112492                                   | 4028115                                    | -84377                                  | -57425,66246                       |
| 2020        | 3394                    | 3882        | 107          | 3229                     | 3729        | 107          | 4322308                                   | 4145355                                    | -176953                                 | -111510,6044                       |
| 2021        | 3492                    | 3963        | 105          | 3129                     | 3626        | 107          | 4537344                                   | 4023834                                    | -513510                                 | -299627,9002                       |
| 2022        | 3590                    | 4043        | 102          | 3028                     | 3523        | 109          | 4757600                                   | 3830712                                    | -926888                                 | -500768,6914                       |
| 2023        | 3688                    | 4124        | 100          | 2927                     | 3420        | 111          | 4983076                                   | 3644549                                    | -1338527                                | -669596,6748                       |
| 2024        | 3786                    | 4205        | 98           | 2826                     | 3316        | 113          | 5213772                                   | 3464976                                    | -1748796                                | -810030,8945                       |
| 2025        | 3884                    | 4286        | 96           | 2725                     | 3213        | 115          | 5449688                                   | 3291649                                    | -2158039                                | -925545,9386                       |
| 2026        | 3982                    | 4367        | 94           | 2781                     | 3255        | 114          | 5690823                                   | 3374758                                    | -2316065                                | -919741,299                        |
| 2027        | 4080                    | 4447        | 92           | 2830                     | 3290        | 113          | 5937179                                   | 3452247                                    | -2484932                                | -913704,4742                       |
| 2028        | 4178                    | 4528        | 90           | 2837                     | 3287        | 113          | 6188755                                   | 3454245                                    | -2734510                                | -930994,0111                       |
| 2029        | 4276                    | 4609        | 88           | 2886                     | 3322        | 113          | 6445551                                   | 3501869                                    | -2943682                                | -927971,3568                       |
| 2030        | 4374                    | 4690        | 86           | 2969                     | 3389        | 113          | 6707567                                   | 3586427                                    | -3121140                                | -911031,023                        |
| 2031        | 4472                    | 4770        | 84           | 2962                     | 3373        | 113          | 6974803                                   | 3573217                                    | -3401586                                | -919342,9716                       |
| 2032        | 4570                    | 4851        | 83           | 2920                     | 3324        | 112          | 7247258                                   | 3553433                                    | -3693826                                | -924376,2644                       |
| 2033        | 4668                    | 4932        | 81           | 2768                     | 3173        | 110          | 7524934                                   | 3442660                                    | -4082274                                | -945912,1026                       |
| 2034        | 4766                    | 5013        | 80           | 2812                     | 3204        | 111          | 7807830                                   | 3454597                                    | -4353232                                | -933978,2238                       |
| 2035        | 4864                    | 5094        | 78           | 2829                     | 3210        | 111          | 8095946                                   | 3467691                                    | -4628255                                | -919429,4324                       |
| TOPLAM NŞD= |                         |             |              |                          |             |              |                                           |                                            | -15.230.078,96 TL                       |                                    |

Taşıt işletme maliyetleri, kaza maliyetleri ve zaman değerinin hesaplanması ile fayda maliyet analizindeki “fayda” parametresinin genel toplamı:

$$\begin{aligned} N\mathring{S}D_{\text{FAYDALAR}} &= 275.858.772,1 + 51.848.916,22 + 228.682.265,3 \\ &= 556.389.953,6 \text{ TL} \end{aligned}$$

### 6.1.3. Fayda maliyet analiz hesabı

$$N\mathring{S}D_{\text{MALİYETLER}} = \underbrace{402.443.718,53}_{\text{Yapım maliyetleri}} + \underbrace{18.312.000,22}_{\text{Bakım ve işletme maliyetleri}} = 420.755.718,7 \text{ TL}$$

$$N\mathring{S}D_{\text{FAYDALAR}} = \underbrace{275.858.772,1}_{\text{Taşıt işletme maliyetleri}} + \underbrace{51.848.916,22}_{\text{Kaza maliyetleri}} + \underbrace{228.682.265,3}_{\text{Zaman değeri}} = 556.389.953,6 \text{ TL}$$

$$\begin{aligned} N\mathring{S}D &= 556.389.953,6 - 420.755.718,7 \\ &= 135.634.234,9 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F / M &= 556.389.953,6 / 420.755.718,7 \\ &= 1,32 \end{aligned}$$

$$\left. \begin{array}{ll} N\mathring{S}D > 0 & \checkmark \\ F/M > 1 & \checkmark \end{array} \right\} \text{ Karar} \rightarrow \text{Proje kabul edilebilir.}$$

### 6.1.4. Risk analizi uygulaması

Ekonomik değerlendirme sırasında yanlış “karar verme” sonucunu doğuracak negatif etkilerin elimine edilmesi için risk analizleri gerçekleştirilmektedir. Geleneksel yaklaşımda ekonomik değerlendirmeler sonucunda DA yapılmaktadır. Ancak son yıllarda yapılan çalışmalarda DA’nın risk analizleri için yeterli olmadığı, DA sonrası rassal yaklaşımların kullanılması gerekliliğine dair araştırmalar yapılmıştır [12, 13,

15, 22, 58]. Bu tez kapsamında gerçekleştirilen durum çalışması için DA ve MCS yaklaşımı ile projenin rassal risk analizi gerçekleştirilmiştir.

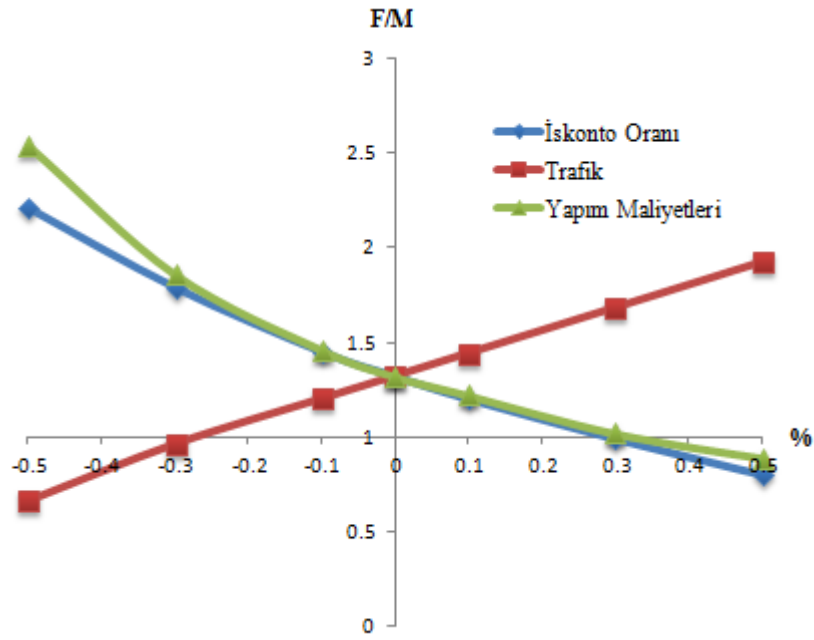
#### 6.1.4.1. Duyarlılık analizi uygulaması

DA, FMA'da yaygın olarak kullanılan bir risk analiz yöntemidir. Bu yöntem, ekonomik değerlendirmelerde yer alan girdi değişkenlerindeki olası değişikliğin toplam F/M sonucu üzerindeki etkisini araştırmaktadır. Ancak çok sayıda birbirinden ayrık yapılan analizlerin gerekliliği nedeniyle DA'da toplam belirsizlik etkisini ortaya koymak zor olmaktadır. Çünkü DA her bir değişkenin değişiminden kaynaklanan etkiyi ayrı ayrı araştırmaktadır. Bu durum, iki önemli dezavantajı doğurmaktadır. Bunlar; zaman alıcı süreç ve karar verme için sonuçların yorumlanabilirliğindeki güçlülüdür. DA'yı gerçekleştirmek için izlenen süreç aşağıdaki adımları içermektedir:

- Değişkenlerin belirlenmesi,
- Bağımlı değişkenlerin elimine edilmesi,
- Elastikiyet analizi,
- Kritik değişkenlerin seçilmesidir [6].

Yukarıdaki belirtilen adımlar takip edilerek KGM'nin ülkemiz karayolları ekonomik değerlendirmeleri duyarlılık analizlerinde kullanmak için belirlediği kritik değişkenler; yapım maliyetleri, iskonto oranı ve trafik miktarıdır [5].

Bu çalışmada PTV Visum 13 trafik simülasyon programı yardımıyla söz konusu bu kritik parametrelerin duyarlılığı, gerçekleştirilen durum çalışması için araştırılmıştır. Simülasyon programı her bir kritik değişken için ayrı ayrı çalıştırılmıştır. Gerçekleştirilen çok sayıda simülasyonlar neticesinde kritik değişkenlerin F/M sonucundaki değişimleri elde edilmiştir. Yapım maliyetleri, iskonto oranı ve trafik miktarındaki trendin [-%50 +%50] aralığındaki değişimi Şekil 6.2.'de bir diyagram üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 6.2. Duyarlılık analizi sonucu elde edilen örümcek ağı diyagramı

Şekil 6.2.'de görüldüğü üzere yapılan ekonomik analiz neticesinde iskonto oranı, trafik miktarı ve yapım maliyetlerindeki yaklaşık  $[-\%30 +\%30]$  aralığındaki değişime kadar F/M oranı “1”den büyük değerlere sahip olmaktadır. Karar verme durumunda DA’dan elde edilen sonuç ile durum çalışmasının “kabul edilebilir” düzeyde bir proje olduğu şekilde yorumlanabilir. Çünkü kritik değişkenlerin makul bir aralıkta değişiminde F/M oranı kritik değer olan “1” değerinin altına düşmemektedir.

#### 6.1.4.2. Monte Carlo simülasyonu uygulaması

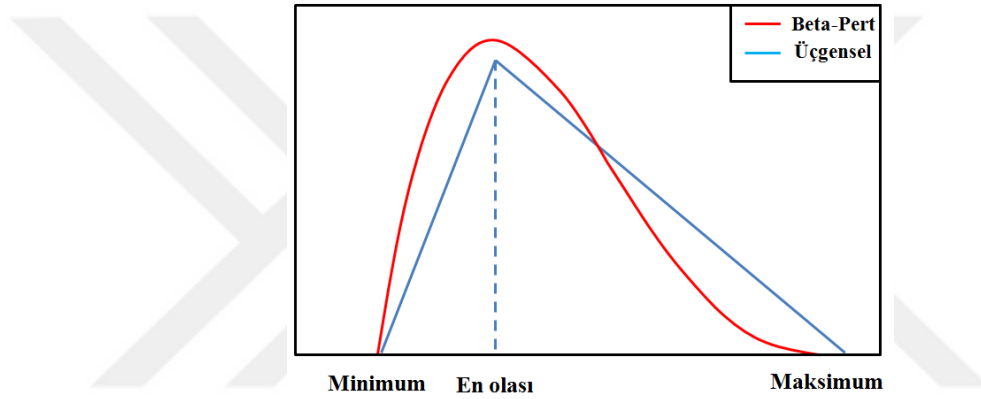
Durum çalışması, risk analiz yöntemlerinden MCS ile de değerlendirilmiştir. MCS, bir modeldeki değişkenlere ait olasılık dağılım fonksiyonlarından kümülatif bir olasılık eğrisi üreten rassal bir tekniktir. Tek değerli deterministik tekniklerin aksine bir olasılık analizi tekniği olan MCS’de, risklerin etkileri göz önünde bulundurularak, parametrelerin alabileceği tüm değerler hesaplamalara dahil edilmektedir. MCS’de bir projedeki değişkenler; olasılık dağılımlarıyla modellendikten sonra, aralarındaki korelasyonlar tanımlanarak, rassal sayı üretimiyle, her iterasyonda, dağılımlardan birer değer seçilmek suretiyle, proje sonucu hesaplanmaktadır. Bu işlemin pek çok kez tekrar edilmesi sonucunda istenen

parametrenin olasılık dağılımı elde edilmektedir. Böylece, karar verme yetkisindeki kişi, tek bir değer yerine, olasılık dağılımını göz önünde bulundurarak risklerin etkisi hakkında bilinçlenmekte ve proje hakkında daha fazla bilgi sahibi olarak uygun kararı verebilmektedir. Simülasyon sonunda, belirsizliklerin proje üzerindeki etkileri sayısal olarak saptanmakta ve ilk aşamalarda önemli olduğu düşünülmeyen risklerin sanıldığından çok daha etkin olabilecekleri gözlemlenebilmektedir [77]. Ancak bilgisayar kullanımı gerektiren MCS, diğer risk yöntemlerine göre daha çok zaman alan bir tekniktir [57].

Bu çalışma kapsamında durum çalışmasının MCS'si @RISK programı yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Analizin gerçekleştirilmesine dair detaylar aşağıda maddeler halinde verilmektedir:

- Olasılık dağılımları: Karar vericilerin değişkenleri tek bir değerle tanımlama alışkanlıkları nedeniyle MCS'de olasılık dağılımlarının tanımlanması zor bir aşama olarak değerlendirilmektedir. Eski projelere ait kayıtların çoğunlukla bulunmaması ve istatistiksel verinin azlığı, analizi yapacak kişilerin en uygun olasılık dağılımını bulmakta zorlanmasına neden olmaktadır. İstatistiksel bilginin mevcut olduğu durumlarda ise veriler; standart teknikler kullanılarak, Normal ya da Beta dağılımı gibi teorik olasılık dağılımlarıyla modellenmeli ve verinin dağılıma uygunluğu hipotez testlerle ölçülmelidir. Uygun dağılımın bulunamadığı durumlarda ise, verinin kendisi ampirik dağılımlarla tanımlanmalıdır [78; 57]. Objektif verilerin bulunmadığı ortamlarda ise genellikle dikdörtgen, üçgen ve yamuk dağılımların kullanımı önerilmektedir. Dikdörtgen dağılımının belirsizliğin çok fazla olduğu ve yalnızca olası bir aralığın saptanabildiği ancak belirlenen bu aralıktaki değerlerden herhangi birisinin gerçekleşme olasılığının eşdeğer olduğunun düşünüldüğü durumlarda kullanımı uygun olmaktadır. Tüm belirsiz koşullara rağmen, dikdörtgen dağılımda limitler çok kesin olarak tanımlandığından ve bu limitlerin biraz dışında kalan değerlerin gerçekleşme olasılığının bulunmadığı varsayımı ile bu dağılımın kullanımı önerilmemektedir [60; 57]. Bir değişken için genellikle en küçük, en büyük ve en iyi tahmin değerleri subjektif olarak

dahi olsa kolaylıkla belirlenebildiğinden, sadece bu bilgilerin derlenmesini gerektiren üçgen dağılım, çoğunlukla kullanılması en uygun dağılımlardan biri olarak tercih edilmektedir. Üçgen dağılımda limit değerlerin gerçekleşme olasılığı çok düşük iken, en iyi tahmin değerine yaklaşıldıkça olasılık artmakta ve bu varsayımla üçgen dağılım gerçekçi bir yaklaşım olarak belirginleşmektedir. Bu çalışma kapsamında, analizde her bir değişken için üçgensel olasılık dağılımları atanmıştır. Bu tip dağılımlarda “en düşük”, “en yüksek” ve “en olası” değerler olmak üzere üç adet bilgiye ihtiyaç duyulmaktadır. Şekil 6.3.’te bu dağılımlara ait örnek bir gösterim verilmiştir.



Şekil 6.3. Olasılık dağılımlarına ait bir gösterim [13]

Değişkenlere atanan her bir dağılım uzman görüşlerinden elde edilen kanaatle  $[\pm\%20]$  aralığında Tablo 6.18.’deki gibi belirlenmiştir.

Tablo 6.18. Üçgensel dağılımlar için belirlenen değerler

| <b>FMA Değişkenleri</b> | <b>Değerler</b> | <b>Minimum</b> | <b>En Olası</b> | <b>Maksimum</b> |
|-------------------------|-----------------|----------------|-----------------|-----------------|
| TİM                     | 275,858         | 220,686        | 275,858         | 331,030         |
| ZD                      | 228,682         | 182,946        | 228,682         | 274,418         |
| KM                      | 51,848          | 41,478         | 51,848          | 62,218          |
| BİM                     | 18,312          | 14,650         | 18,312          | 21,974          |
| YM                      | 402,443         | 321,954        | 402,443         | 482,932         |

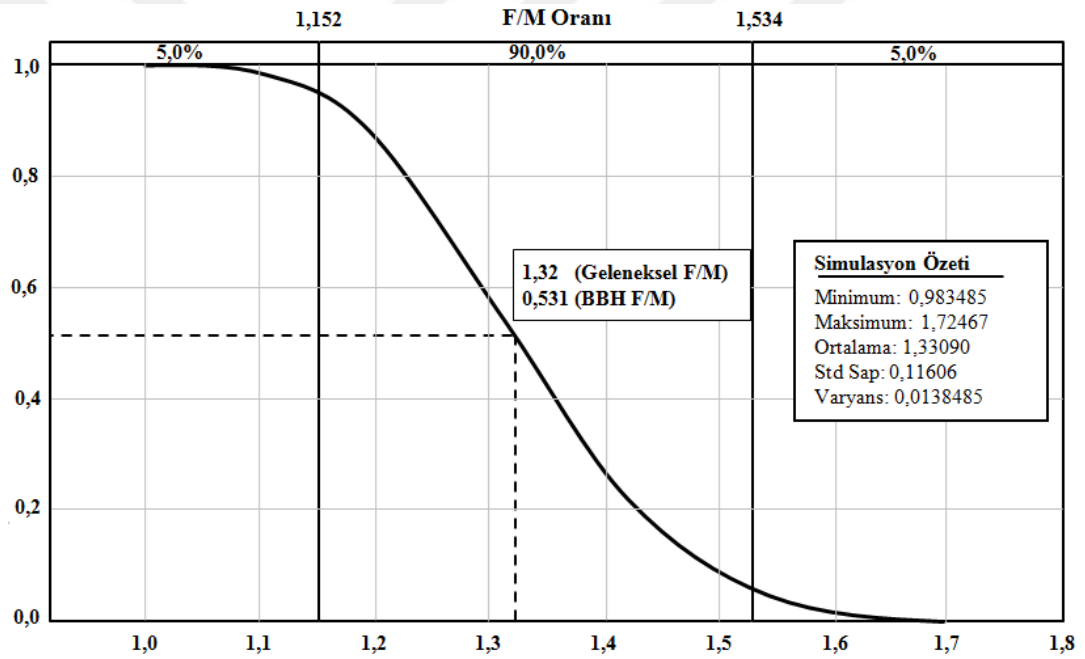
- Korelasyonlar: Bir risk faktörünün aynı anda birkaç alt grubu birden etkileyebileceği düşünüldüğünde, alt gruplar arasındaki ilişkilerin kaçınılmaz

olduğu açıktır. Rassal sayı üretimi esnasında korelasyonların ihmal edilmesi analiz sonuçlarının çok fazla etkileyebilecek öneme sahiptir. Objektif verilerin mevcut olduğu durumlarda, korelasyonların simülasyon aşamasında kesin ve doğru olarak belirlenip, kullanılabilmesini sağlayan analitik yöntemler bulunmaktadır. Bununla birlikte, istatistiksel verilerin çoğunlukla bulunamaması nedeniyle korelasyonlar tam olarak tanımlanamayabilmektedir. Bu durumda önerilen yöntemlerden bir tanesi, bağımlı değişkenlerin mümkün olduğunca aynı başlıklar altında toplanarak tek bir olasılık dağılımıyla modellenmesi ve böylelikle korelasyonların ortadan kaldırılmasıdır. Buna karşın, gerçekleştirilecek analizin temel amacı pek çok alt grup üzerinde risklerin etkilerini detaylı olarak inceleyebilmek olduğu hatırlandığında, bahis konusu bu yöntemin kullanımı ile amaçtan sapmalara engel olunamayacağı açıktır. Önerilen diğer bir yöntem ise, parametrelerin belirsizliğin kaynağına göre gruplandırılması ve tam bağımsız hale getirilmesidir ki bunun da kullanımı pratikte her zaman mümkün görülmemektedir. Öncelikle aralarında korelasyonların mevcut olduğu düşünülen parametrelerin tam bağımlı kabul edilerek analizin gerçekleştirilmesi, daha sonra da tam bağımsızlık varsayımıyla analizin sürdürülmesi ve proje için belirlenen hedef değerlerin bu limitler içerisinde kalması durumunda korelasyon etkilerinin göz ardı edilmesi yaklaşımı da önerilen çözümlerden bir tanesidir. Bununla birlikte, hedef değer her zaman istenen aralıkta çıkmayacağı hususu da unutulmamalıdır. Diğer taraftan, korelasyonları tam olarak saptamaya çalışmak, çoğunlukla zaman kaybına neden olmaktadır. Bunun sonucu olarak veri eksikliği nedeniyle tam olarak saptanma gerçekleştirilememektedir. Bu nedenle yukarıda bahsedilen yaklaşık yöntemlerin kullanılmasının uygun olacağı görülmektedir. Bununla birlikte aralarında ilişki bulunduğu saptanan değişkenler için tam bağımlılık varsayımında bulunmanın da gerçekçi bir çözüm olduğu görüşü literatürde yer almaktadır [77; 57].

- İterasyon: MCS'de örnekleme hatalarının en aza indirgenebilmesi için yeterli sayıda iterasyonun gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Kabul edilebilen alt limit olan 100 adet iterasyon gerçekleştirildiğinde elde edilen sonucun

yaklaşıklığı %2'dir [77; 57]. Genellikle 1000 iterasyonun gerekli güvenilirliği sağladığı belirlenmiştir. İterasyonlar sonucunda elde edilen olasılık dağılımı, genel koşullar altında merkez limit teorisine göre normal dağılıma yaklaşmaktadır. Böylece en iyi bilinen dağılımlardan biri olan normal dağılımdan, ortalama değer, standart sapma ve güvenilirlik limitleri gibi pek çok istatistiksel bilgi elde edilerek, karar verme işlemi kolaylaştırılmış olmaktadır [57].

Yukarıda verilen bilgiler doğrultusunda @RISK programı yardımıyla gerçekleştirilen simülasyon süreci sonucunda F/M oranına ait olasılık eğrisi Şekil 6.4.'deki gibi elde edilmiştir.



Şekil 6.4. F/M oranındaki kümülatif değişimin trendi

Grafikte görüldüğü üzere, gerçekleştirilen simülasyon sonucunda F/M oranı %96.5 olasılıkla “1,152” değerine eşit veya üzerinde bir değer almaktadır. Bu durum, risk analizi yapılan projenin yüksek riskler taşımadığı ve karar verme durumunda projenin “kabul edilebilir” düzeyde olduğu yönünde değerlendirilebilir.

### 6.1.5. Geliştirilen BBH modelinin uygulanması

Durum çalışmasında da görüldüğü üzere FMA için en önemli konulardan biri belirsizliklerin elimine edilmesidir. Geleceğe dair tahminler, yetersiz veya doğruluğu tartışmalı veriler, istatistiklerdeki eksik bilgiler, geleceğe dair ekonomik öngörülemezlik vb. pek çok etkiler altında yapılan ekonomik analizler doğru karar vermenin temin edilmesini zorlaştırmaktadır. Bu çalışmada FMA sonrasında uygulanan duyarlılık analizleri ve rassal risk analizlerine alternatif olabilecek bir model geliştirilmiştir. Geliştirilen modelin durum çalışması üzerinde uygulaması aşağıda verilmiştir. Durum çalışması kapsamında yapılan ekonomik analizin özetini gösteren sonuç bilgileri Tablo 6.19.'da verilmiştir.

Tablo 6.19. Projeye ait ekonomik fizibilite sonuçları

| Maliyetler N\$D (TL) |            | Faydalar N\$D (TL) |            |             | İskonto Oran | F/M  | Sonuç |
|----------------------|------------|--------------------|------------|-------------|--------------|------|-------|
| YM                   | BİM        | TİM                | KM         | ZD          |              |      |       |
| 402.443.718          | 18.312.000 | 275.858.772        | 51.848.916 | 228.682.265 | %8           | 1,32 | F/M>1 |

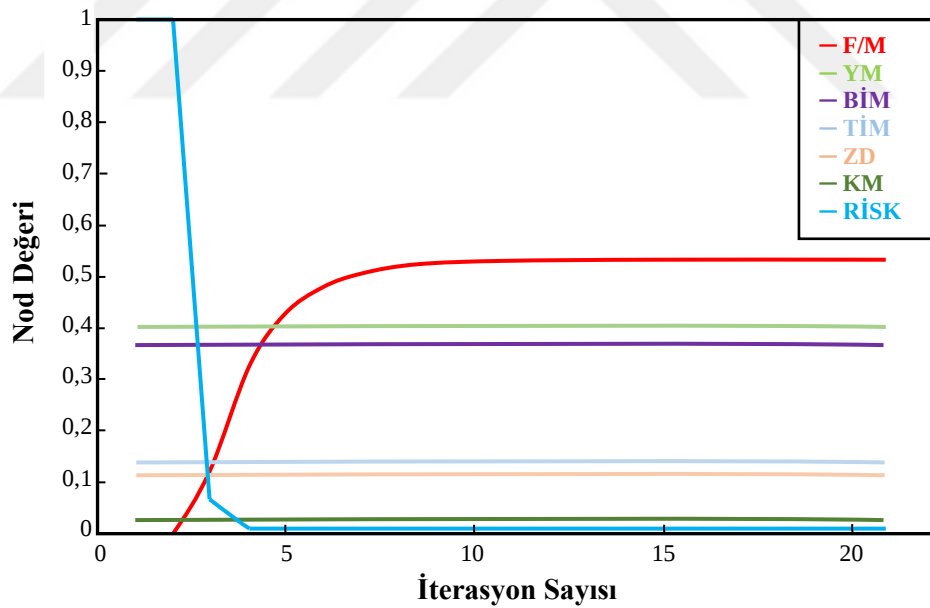
TL: Türk Lirası

Karayolu FMA'da yer alan riskleri elimine etmek için alternatif bir risk modeli olarak geliştirilen model, söz konusu durum çalışması için çalıştırılmıştır. Öncelikle Tablo 6.19.'da verilen değerler  $[0, 1]$  aralığında normalize edilmiştir. Normalizasyon sonrasında, giriş vektörü  $A = [1 \ 0,026 \ 0,114 \ 0,138 \ 0,366 \ 0,402 \ 0]$  olarak elde edilmiştir. BBH simülasyon sürecinde 14 iterasyon sonunda sonuç vektörü  $A^f = [0,0102 \ 0,026 \ 0,114 \ 0,138 \ 0,366 \ 0,402 \ 0,531]$  şeklinde elde edilmiştir. MATLAB R2011a programında gerçekleştirilen BBH iterasyon adımları ve simülasyonu Şekil 6.5.'teki gibidir.

```
>> A= [ 1 0,026 0,114 0,138 0,366 0,402 0 ];
FCM_concepts_tests (A)
The number of repetitions is:
20
```

Values of nodes

|        |        |        |        |        |        |        |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 1,0000 | 0,0260 | 0,1140 | 0,1380 | 0,3660 | 0,4020 | 0      |
| 1,0000 | 0,0260 | 0,1140 | 0,1380 | 0,3660 | 0,4020 | 0      |
| 0,0692 | 0,0260 | 0,1140 | 0,1380 | 0,3660 | 0,4020 | 0,1144 |
| 0,0114 | 0,0260 | 0,1140 | 0,1380 | 0,3660 | 0,4020 | 0,3154 |
| 0,0102 | 0,0260 | 0,1140 | 0,1380 | 0,3660 | 0,4020 | 0,4235 |
| 0,0102 | 0,0260 | 0,1140 | 0,1380 | 0,3660 | 0,4020 | 0,4773 |
| 0,0102 | 0,0260 | 0,1140 | 0,1380 | 0,3660 | 0,4020 | 0,5042 |
| 0,0102 | 0,0260 | 0,1140 | 0,1380 | 0,3660 | 0,4020 | 0,5177 |
| 0,0102 | 0,0260 | 0,1140 | 0,1380 | 0,3660 | 0,4020 | 0,5244 |
| 0,0102 | 0,0260 | 0,1140 | 0,1380 | 0,3660 | 0,4020 | 0,5277 |
| 0,0102 | 0,0260 | 0,1140 | 0,1380 | 0,3660 | 0,4020 | 0,5294 |
| 0,0102 | 0,0260 | 0,1140 | 0,1380 | 0,3660 | 0,4020 | 0,5302 |
| 0,0102 | 0,0260 | 0,1140 | 0,1380 | 0,3660 | 0,4020 | 0,5307 |
| 0,0102 | 0,0260 | 0,1140 | 0,1380 | 0,3660 | 0,4020 | 0,5309 |
| 0,0102 | 0,0260 | 0,1140 | 0,1380 | 0,3660 | 0,4020 | 0,5310 |
| 0,0102 | 0,0260 | 0,1140 | 0,1380 | 0,3660 | 0,4020 | 0,5310 |
| 0,0102 | 0,0260 | 0,1140 | 0,1380 | 0,3660 | 0,4020 | 0,5310 |
| 0,0102 | 0,0260 | 0,1140 | 0,1380 | 0,3660 | 0,4020 | 0,5311 |
| 0,0102 | 0,0260 | 0,1140 | 0,1380 | 0,3660 | 0,4020 | 0,5311 |
| 0,0102 | 0,0260 | 0,1140 | 0,1380 | 0,3660 | 0,4020 | 0,5311 |
| 0,0102 | 0,0260 | 0,1140 | 0,1380 | 0,3660 | 0,4020 | 0,5311 |



Şekil 6.5. BBH’da iterasyon adımları ve simülasyon süreci

Karar verme kavramsal değişkeninin sonuç değeri, F/M oranı, simülasyon sonrasında  $A^f(7) = 0,531$  olarak elde edilmiştir. (Denklem 5.1)’de verilen karar kriterinden elde edilen neticeye göre bu sonuç, projenin “kabul edilebilir” olduğunu sunmaktadır.

Görülmektedir ki; geliştirilen BBH modeli, durum çalışması için, geleneksel risk analizlerinden duyarlılık analizi ve Monte Carlo simülasyonu ile aynı “karar verme” sonucunu ortaya koymuştur.

Geliştirilen BBH modeline ait sonuçların daha detaylı görülebilmesi için BBH modeli; trafik, iskonto oranı ve yapım maliyetlerinin geniş bir değişim aralığında her bir durum için ayrı ayrı çalıştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar geleneksel F/M oranı ile karşılaştırılmalı olarak değerlendirilmiştir. Geleneksel F/M ve BBH modeli sonuçları Tablo 6.20.’deki gibidir:

Tablo 6.20. Geleneksel F/M ve BBH Modeli sonuçları

| Kritik Değişkenler | Aralık | Geleneksel F/M |       | BBH Modeli |                  | Doğrulama |
|--------------------|--------|----------------|-------|------------|------------------|-----------|
|                    |        | Sonuç          | Karar | Sonuç      | Karar            |           |
| İskonto Oranı      | 50%    | 0,80           | red   | 0,497      | kabul edilemez   | ✓         |
|                    | 30%    | 0,99           | red   | 0,509      | kabul edilebilir |           |
|                    | 10%    | 1,20           | kabul | 0,523      | kabul edilebilir | ✓         |
|                    | 0%     | 1,32           | kabul | 0,531      | kabul edilebilir | ✓         |
|                    | -10%   | 1,45           | kabul | 0,540      | kabul edilebilir | ✓         |
|                    | -30%   | 1,79           | kabul | 0,564      | kabul edilebilir | ✓         |
|                    | -50%   | 2,21           | kabul | 0,593      | kabul edilebilir | ✓         |
| Trafik             | 50%    | 1,92           | kabul | 0,586      | kabul edilebilir | ✓         |
|                    | 30%    | 1,68           | kabul | 0,564      | kabul edilebilir | ✓         |
|                    | 10%    | 1,44           | kabul | 0,543      | kabul edilebilir | ✓         |
|                    | 0%     | 1,32           | kabul | 0,531      | kabul edilebilir | ✓         |
|                    | -10%   | 1,20           | kabul | 0,519      | kabul edilebilir | ✓         |
|                    | -30%   | 0,96           | red   | 0,497      | kabul edilemez   | ✓         |
|                    | -50%   | 0,66           | red   | 0,488      | kabul edilemez   | ✓         |
| Yapım Maliyetleri  | 50%    | 0,89           | red   | 0,363      | kabul edilemez   | ✓         |
|                    | 30%    | 1,02           | kabul | 0,428      | kabul edilemez   |           |
|                    | 10%    | 1,22           | kabul | 0,500      | kabul edilebilir | ✓         |
|                    | 0%     | 1,32           | kabul | 0,531      | kabul edilebilir | ✓         |
|                    | -10%   | 1,46           | kabul | 0,565      | kabul edilebilir | ✓         |
|                    | -30%   | 1,86           | kabul | 0,631      | kabul edilebilir | ✓         |
|                    | -50%   | 2,54           | kabul | 0,687      | kabul edilebilir | ✓         |

Geleneksel FMA için belirlenen kritik değişkenlerin her biri için BBH modeli [-50% +50%] aralığında çalıştırılmıştır. Çok sayıda yapılan simülasyonlar sonucunda Tablo 6.20.’de de görüldüğü gibi geleneksel F/M değeri ile BBH modelinin karar verme sonuçları hemen hemen birbirleriyle örtüşmektedir. 21 farklı durumdan 19’unda geliştirilen BBH modeli geleneksel F/M değeri ile aynı kararı vermiştir. Aynı sonuçların elde edildiği durumlar “✓” işareti ile Tablo 6.20.’de belirtilmiştir. Bu tablo hassas bir değerlendirmede dahi geliştirilen modelin “karar verme” sonuçlarının doğruluğunu göstermiştir.



## BÖLÜM 7. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada karayolları FMA için alternatif bir risk modeli geliştirilmiştir. FMA yapısı itibariyle belirsizlikler içeren bir analiz olması nedeniyle yöntem olarak BBH yaklaşımı kullanılmıştır. BBH eksik ve kesin olmayan veriler ile belirsizlik durumlarında etkili çözümler getirmektedir [79].

Modelde geleneksel FMA'da bulunan değişkenler kullanılmış ve bir de tarafımızdan modele RISK parametresi dâhil edilmiştir. Geliştirilen model, Türkiye'deki çeşitli ulaştırma otoritelerinden alınan gerçek fizibilite çalışmaları ile karşılaştırılmış ve kullanılabilirliği test edilmiştir. BBH modeli ile fizibilite çalışmaları sonunda elde edilen karar değerlendirmelerinin örtüştüğü görülmüştür. Modele dahil edilen RISK parametresinin karar verme prosesindeki etkisinin detaylı görülebilmesi ve modelin sağladığı avantajların ortaya çıkarılabilmesi için bir de durum çalışması gerçekleştirilmiştir. Durum çalışması hem geleneksel yöntemlerle hem de bu çalışma kapsamında geliştirilen model ile değerlendirilmiştir. Geliştirilen BBH modelinin doğruluk performansı aşağıda özetlenmiştir:

- Durum çalışması geleneksel yöntemlerden duyarlılık analizi ve geliştirilen BBH modeli ile değerlendirilmiştir. Her iki yaklaşımın da “karar verme” sonuçları birbiriyle örtüşmektedir.
- Monte Carlo simülasyonu da durum çalışması için uygulanmıştır. Elde edilen “karar verme” sonucu, geliştirilen model ile aynı “karar verme” sonucuna ulaşmıştır. Şekil 6.4.'te görüldüğü gibi durum çalışması için BBH modelinden elde edilen 0,531 sayısal değeri için Monte Carlo simülasyonu %56,7 olasılık değerini vermiştir.
- Trafik simülasyon programı durum çalışmasının farklı senaryoları için ayrı ayrı çalıştırılmıştır. Her bir senaryo için geleneksel F/M oranı elde edilmiştir.

Geliştirilen BBH modeli de tüm bu senaryolar için ayrı ayrı çalıştırılmıştır. Elde edilen “karar verme” sonuçları birbirleriyle karşılaştırılmış olup 21 farklı senaryodan 19 tanesinin “karar verme” sonuçlarının birbirleriyle örtüştüğü görülmüştür. Diğer 2 senaryodan elde edilen sonuçlar şu şekildedir: Yapım maliyetlerinin %30 arttırılması senaryosunda, geleneksel F/M oranı 1,02 sonucuna ulaşmıştır. İskonto oranının %30 arttırılmış olduğu senaryoda da geleneksel F/M oranı 0,99 sonucunu vermiştir. Her iki senaryoda da geleneksel F/M oranı değerlerinin (Denklem 1.5)’de verilen “karar verme” eşik değeri olan “1”e çok yakın olduğu gözlenmiştir. Bu durum, söz konusu 2 senaryo için BBH modelinden elde edilen sonuçların geleneksel yöntemle elde edilen sonuçlarla örtüşmemesine neden olmuştur. Tablo 6.20.’den elde edilen diğer sonuçlar ise şu şekildedir: İskonto oranının  $[-\%50 \text{ } +\%50]$  aralığındaki değişimi sonucunda geleneksel F/M oranı % 63,81’lik değişim gösterirken, BBH modeline ait sonuçların %16,19’luk bir değişim gösterdiği görülmüştür. Trafik miktarının aynı aralıktaki değişimi sonucunda geleneksel F/M oranı %65,63’lük; BBH modeli ise %16,72’lik değişim göstermiştir. Yapım Maliyetlerinin ise aynı aralıktaki değişimi sonucunda geleneksel F/M oranındaki değişim %65,96 olurken; BBH modeline ait değişimin %40,19 olduğu görülmüştür. Modelin geliştirilmesi aşamasında Yapım Maliyetlerine etki eden ağırlık değerinin uzman görüşleri sonucunda -0,87 olarak belirlenmesi nedeniyle Yapım Maliyetlerindeki değişime, BBH modelinin yüksek duyarlılık gösterdiği düşünülmektedir.

Bu çalışma kapsamında karayolu projeleri ekonomik değerlendirmelerinde uygulanan risk analiz yöntemleri hakkında aşağıdaki çıkarımlar elde edilmiştir:

- Geleneksel yaklaşımda, risk analizlerinde etkin bir şekilde uygulanan duyarlılık analizi, tartışmalı “karar verme” sonuçları sunabilmektedir. Çünkü analiz sonucunda elde edilen çıktı değerinin görülebilme olasılığı duyarlılık analizi tarafından kestirilememektedir. Böylece analist uygun bir “karar verme” için önceki tecrübelerine dayalı bir fikir yürütmektedir. Bu durum “karar verme”de sübjektifliği ortaya çıkarmaktadır. Ayrıca, duyarlılık

analizlerinde tüm riskleri dikkate alarak risk analizi yapmak zaman alıcı bir süreçtir. Çünkü her bir risk için ayrı ayrı analizlerin gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Bu durum ciddi bir zaman kaybına neden olmaktadır.

- Monte Carlo simülasyon yaklaşımında analiz sonuçları, analist tarafından değişkenlere tanımlanan olasılık dağılımlarına bağlı olmaktadır. Söz konusu olasılık dağılımlarının doğruluğu, Monte Carlo simülasyonunda anahtar rol oynamaktadır. Doğru olasılık dağılım tanımlamalarının gerekliliği zaman alıcı bir süreci doğrumaktadır. Bu durum Monte Carlo simülasyonunda önemli bir dezavantaj olmaktadır.
- Geliştirilen BBH modeli, yapısında bulunan RİSK parametresi yardımıyla tüm riskleri eş zamanlı dikkate alarak karar vericiye uygun sonuçlar sunmaktadır. Model sistemdeki tüm riskleri hızlı bir şekilde analiz ederek kesin bir sonuç değeri üretmektedir. Böylece karar vericiye ekstra bir yorumlama ihtiyacı bırakmadan “kabul edilebilir” veya “kabul edilmez” sonucunu doğrudan sunmaktadır.

Geliştirilen model ve geleneksel yaklaşımların karşılaştırılması sonucunda, BBH modelinin karar vericiler için daha kolay ve kullanıcı dostu olduğu görülmüştür. Geliştirilen BBH modelinin temel avantajları şu şekilde özetlenebilir:

- Karayolu projeleri ekonomik değerlendirmelerinde yer alan belirsizlik etkisi ile etkin bir şekilde baş edebilme kabiliyeti,
- Karar vericiler için geleneksel yöntemlere nisbeten kolay kullanılabilirliği,
- Zaman kaybını minimize eden hızlı performansı,
- Yapısında yer alan karar verme kriteri yardımıyla karar vericiye ekstra yorumlama ihtiyacı bırakmadan sonucu sunabilme becerisidir.

Yukarıda sunulan tüm değerlendirmeler neticesinde, geliştirilen BBH modelinin karayolları ekonomik analizlerinde, alternatif etkin bir yaklaşım olarak kullanılabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Bu çalışmada karayolu ekonomik değerlendirmelerinin spesifik bir alanına odaklanılmıştır. Bu doğrultuda çalışma kapsamında belirli limit ve varsayımlar kabul edilmiş olup aşağıda verilmiştir:

- BBH modeli uzman görüşüne dayalı bir yaklaşımla geliştirmiştir.
- Çalışmada dikkate alınan riskler Türkiye ulaşım ve karayolu şartları doğrultusunda belirlenmiştir.
- Geliştirilen model, ulaştırma yapıları ekonomik değerlendirmelerinde geçerliliği ve güvenilirliği dünyaca kabul gören duyarlılık analizi ve Monte Carlo simülasyonu ile karşılaştırılarak test edilmiştir.

Bu çalışma, karayolu FMA'da BBH yaklaşımının ilk kez uygulandığı bir araştırmadır. İleriki çalışmalarda, öğrenme algoritmalarının da içerisinde yer alacağı bir çalışma ile FMA'nın geliştirilmesi ve uzman görüşüne dayalı yaklaşımla karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesinin faydalı olacağı düşünülmektedir. Ayrıca farklı ülkelerdeki risk durumları ortaya konularak karayolu projeleri FMA'daki risklerin bütünüyle ele alınacağı çalışmalar yapılması modelin gelişmesine katkı sağlayacaktır.

## KAYNAKLAR

- [1] Bilgiç, Ş., Evren, G., Türkiye’de ulaştırma yatırımlarının değerlendirilmesi için bir yöntem nerisi. İtdrgisi/d mühendislik. Cilt:1, Sayı:2, 88-89, 2002.
- [2] Akbıyıklı, R., Mühendislik ekonomisi temel prensipleri ve uygulamaları, Birsan Yayınevi, İstanbul, Türkiye, 2014.
- [3] FHWA, Life-cycle cost analysis RealCost v.2.1. User Manual, Office of Asset Management, 2004.
- [4] Bağdatlı, M. E. C., Akbıyıklı, R., Sürdürülebilir ulaştırma yapıları için etkili ekonomik analiz modeli, TRANSİST 7. Uluslararası Ulaşım Teknolojileri Sempozyumu ve Fuarı, İstanbul Kongre Merkezi, İstanbul, 2014.
- [5] KGM, Karayolu ekonomisi ve proje değerlendirme teknikleri, Karayolu Temel Kursu, Karayolları Genel Mdrlğ, 2013.
- [6] EC, Guide to cost benefit analysis of investment projects, European Commission Directorate General Regional Policy, 2008.
- [7] Teng, J. Y., Tzeng, G. H., Transportation investment project selection using fuzzy multiobjective programming. Fuzzy Sets and Systems, 96(3), 259–280, 1998.
- [8] Avineri, E., Prashker, J., Ceder, A., Transportation projects selection process using fuzzy sets theory, Fuzzy Sets and Systems 116, 35–47, 2000.
- [9] Zhao, T., Sundararajan, S. K., Tseng, C., Highway development decision-making under uncertainty: a real options approach, Journal of Infrastructure Systems, Vol. 10, No. 1, 23-32, ASCE, 2004.
- [10] Feng, C., Wang, S., Integrated cost–benefit analysis with environmental factors for a transportation project: Case of Pinglin Interchange in Taiwan Journal of Urban Planning and Development, ASCE, 133(3), 172-178, 2007.

- [11] Candan, S., Kara ulaşımı fayda ve maliyetlerinin ölçülmesinin yöntemleri ve uygulamalara etkileri, Doktora tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2009.
- [12] Salling, K. B., Banister, D., Assessment of large transport infrastructure projects: The CBA-DK Model, *Transportation Research Part A* 43, 800-813, 2009.
- [13] Salling, K. B., Leleur, S., Transport appraisal and monte carlo simulation by use of the CBA-DK model, *Transport Policy* 18, 236–245, 2011.
- [14] Shakhshi-Niaei, M., Torabi, S. A., Iranmanesh, S. H., A comprehensive framework for project selection problem under uncertainty and real-world constraints. *Computers & Industrial Engineering* 61, 226–237, 2011.
- [15] Salling, K. B., Leleur, S., Modelling of transport project uncertainties: risk assessment and scenario analysis. *European Journal of Transport Infrastructure Research*, 12(1), pp. 21-38, 2012.
- [16] Maravas, A., Pantouvakis, J., P., Lambropoulos, S., Modeling uncertainty during cost benefit analysis of transportation projects with the aid of fuzzy set theory, *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 48, 3661 – 3670, 2012.
- [17] Godinho, P., Dias, J., Cost-benefit analysis and the optimal timing of road infrastructures, *Journal of Infrastructure Systems*, Vol. 18, No. 4, ASCE, 2012.
- [18] Özkir, V., Demirel, T., A fuzzy assessment framework to select among transportation investment projects in Turkey, *Expert Systems With Applications* 39 (1), 74-80, 2012.
- [19] Mouter, N., Annema, J. A., Wee, B. V., Attitudes towards the role of cost benefit analysis in the decision-making process for spatial-infrastructure projects: a Dutch case study, *Transportation Research Part A* 58, 1–14, 2013.
- [20] Nogués, S., González-González, E., Multi-criteria impacts assessment for ranking highway projects in Northwest Spain. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 65, 80-91, 2014.
- [21] Jones, H., Moura, F., Domingos, T., Transport infrastructure project evaluation using cost-benefit analysis, *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 111, 400 – 409, 2014.

- [22] Xu, J., Lambert, J. H., Risk-cost-benefit analysis for transportation corridors with interval uncertainties of heterogeneous data. *Risk Analysis*, 35(4), 624-641, 2015.
- [23] Annema, J. A., Mouter, N., Razaei, J., Cost-benefit analysis (CBA), or multi-criteria decision-making (MCDM) or both: politicians' perspective in transport policy appraisal, *Transportation Research Procedia* 10, 788 – 797, 2015.
- [24] Korytářová, J., Papežiková, P., Assessment of large-scale projects based on CBA, *Procedia Computer Science* 64 ( 2015 ) 736 – 743, 2015.
- [25] Wei, H., Liu, M., Skibniewski, M., Balali, V., Prioritizing sustainable transport projects through multicriteria group decision making: case study of Tianjin Binhai new area, China." *J. Manage. Eng.*, Volume 32, Issue 5 10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000449, 04016010, 2016.
- [26] Kosko, B., Fuzzy cognitive maps, *International Journal of Man-Machine Studies*, 24, pp. 65- 75, 1986.
- [27] Axelrod, R., *Structure of decision: the cognitive maps of political elites*, Princeton, NJ, 1976.
- [28] Aguilar, J., A survey about fuzzy cognitive maps papers, *International Journal of Computational Cognition* 3 (2), 27–33, 2005.
- [29] Groumpos, P. P., Stylios, C. D., Modeling supervisory control systems using fuzzy cognitive maps. *Chaos, Solitons and Fractals* 11(1-3), 329–336, 2000.
- [30] Hobbsand, B. F., Fuzzy cognitive mapping as a tool to define management objectives for complex ecosystems, *Ecol. Applicat.*, vol. 12, pp. 1548–1565, 2002.
- [31] Xirogiannis, G., Stefanou, J., Glykas, M., A fuzzy cognitive map approach to support urban design. *Journal of Expert Systems with Applications* 26(2), 257-268, 2004.
- [32] Glykas, M., Xirogiannis, G., A soft knowledge modeling approach for geographically dispersed financial organizations. *Soft. Comput.* 9(8), 579–593, 2005.
- [33] Giordano, R., Passarella, G., Uricchio, V. F., Vurro, M., Fuzzy cognitive maps for issue identification in a water resources conflict resolution system. *Phys. Chem. Earth* 30(6-7), 463–469, 2005.

- [34] Tsadiras, A., Kouskouvelis, I., Using fuzzy cognitive maps as a decision support system for political decisions: the case of Turkey's integration into the European Union. In: Bozanis, P., Houstis, E.N. (eds.) PCI, LNCS, vol. 3746, pp. 371–381. Springer, Heidelberg, 2005.
- [35] Andreou, A. S., Mateou, N. H., Zombanakis, G. A., Soft computing for crisis management and political decision making: the use of genetically evolved fuzzy cognitive maps, *Soft Comput.* 9: 194–210, 2005.
- [36] Papakostas, G. A., Boutalis, Y. S., Koulouriotis, D. E., Mertzios, B. G., Fuzzy cognitive maps for pattern recognition applications, *International Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence* 22 (8), 1461–1486, 2008.
- [37] Papageorgiou, E. I., Papandrianos, N., Apostolopoulos, D., Vassilakos, P., Fuzzy cognitive map based decision support system for thyroid diagnosis management. *Computational Intelligence: Research Frontiers. LNCS*, vol. 5050, pp. 1204–1211. Springer, Heidelberg, 2008.
- [38] Papageorgiou, E. I., Spyridonos, P. P., Glotsos, D. T., Stylios, C. D., Ravazoula, P., Nikiforidis, G. N., Groumpos, P. P., Brain tumour characterization using the soft computing technique of fuzzy cognitive maps, *Appl. Soft Comput.*, vol. 8, pp. 820–828, 2008.
- [39] Espinosa-Paredes, G., Nunez-Carrera, A., Vazquez-Rodriguez, A., Espinosa-Martinez, E. G., Modeling of the high pressure core spray systems with fuzzy cognitive maps for operational transient analysis in nuclear power reactors, *Progress in Nuclear Energy* 51 (3), 434–442, 2009.
- [40] Papageorgiou, E. I., Markinos, A. T., Gemtos, T. A., Fuzzy cognitive map based approach for predicting yield in cotton crop production as a basis for decision support system in precision agriculture application. *Applied Soft Computing* 11, 3643–3657, 2011.
- [41] Huang, S. C., Lo, S. L., Lin, Y. C., Application of a fuzzy cognitive map based on a structural equation model for the identification of limitations to the development of wind power. *Energy policy*, 63, 851–861, 2013.
- [42] Azadeh, A., Salehi, V., Arvan, M., Dolatkhah, M., Assessment of resilience engineering factors in high-risk environments by fuzzy cognitive maps: A petrochemical plant. *Safety Science*, 68, 99–107, 2014.
- [43] Kyriakarakos, G., Patlitzianas, K., Damasiotis, M., Papastefanakis, D., A fuzzy cognitive maps decision support system for renewables local planning. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 39, 209–222, 2014.

- [44] Mendonca, M., Chrun, I. R., Finocchio, M. A. F., De Mello, E. E., Fuzzy cognitive maps applied to student satisfaction level in an university, IEEE Latin America Transactions, 13(12), 3922-3927, 2015.
- [45] Papageorgiou, E. I., Subramanian, J., Karmegam, A., Papandrianos, N. A., risk management model for familial breast cancer: A new application using fuzzy cognitive map method. Computer Methods and Programs in Biomedicine, 122(2), 123-135, 2015.
- [46] Natarajan, R., Subramanian, J., Papageorgiou, E. I., Hybrid learning of fuzzy cognitive maps for sugarcane yield classification. Computers and Electronics in Agriculture, 127, 147-157, 2016.
- [47] Bağdatlı, M. E. C., Akbıyıklı, R., Ulaşım planlamasında fayda maliyet analizi, TRANSİST 8. Uluslararası Ulaşım Teknolojileri Sempozyumu ve Fuarı, İstanbul Kongre Merkezi, İstanbul, 2015.
- [48] DPT, Başbakanlık Devlet Planlama Teşkilatı Müsteşarlığı “Sekizinci beş yıllık kalkınma planı kamu yatırımlarının planlanması ve uygulanmasında etkinlik özel ihtisas komisyonu raporu”, 2584 573, Ankara, 2001.
- [49] Akbıyıklı, R., Performance assessment of a private finance initiative road project. Transport, 28(1), 11-24, 2013.
- [50] KGM, 2013 yılı devlet ve il yolları bakım-işletme maliyetleri. Strateji Geliştirme Daire Başkanlığı Ulaşım ve Maliyet Etütleri Şubesi Müdürlüğü, Ankara, 2014.
- [51] Yayla, N., Karayolu mühendisliği, Birsen Yayınevi, İstanbul, Türkiye, 2008.
- [52] Akbıyıklı, R., Bağdatlı, M. E. C., Karayolu mühendisliğinde ekonomik analiz ölçütleri. İleri teknoloji bilimleri dergisi, 5(1), 181-189, 2016.
- [53] Campbell, H. F., Brown, R. P. C., Benefit-cost analysis financial and economic appraisal using spreadsheets, Cambridge University Press, Newyork, U.S.A., 2003.
- [54] Bağdatlı, M. E. C., Akbıyıklı, R., Ulaştırma yapıları ekonomik analizlerinde iskonto oranı: bir durum çalışması. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 19(1), 67-74, 2015.
- [55] Bağdatlı, M. E. C., Akbıyıklı, R., Karayolları için risk tabanlı fayda maliyet modeli, Karayolu 3. Ulusal Kongresi Bildiriler Kitabı, 313-322, Ankara, 2014.

- [56] Bağdathı, M. E. C., Akbıyıklı, R., Demir, A., Utilisation of intelligent systems in the economical evaluation of transportation projects, The Online Journal of Science and Technology, Volume 5, Issue 3, 78-84, 2015.
- [57] Birgönül, M. T., Dikmen, İ., İnşaat projelerinin risk yönetimi, IMO Teknik Dergi, 1305-1326, Yazı 97, 1996.
- [58] Emhan, A., Risk yönetim süreci ve risk yönetmekte kullanılan teknikler, Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi, Cilt: 23, Sayı: 3, 209-220, 2009.
- [59] FHWA, Economic analysis primer, Federal Highway Administration, Office of Asset Management, U.S. DOT, U.S.A., 2003.
- [60] Pouliquen, L. Y., Risk analysis in project appraisal, World Bank Staff Occasional Paper, No. 11, Baltimore, Johns Hopkins University Press, 1970.
- [61] Şen, Z., Fuzzy logic and hydrological modeling , CRC Press, Taylor & Francis Group, U.S.A., 2010.
- [62] Groumpos, P. P., Fuzzy cognitive maps: basic theories and their application to complex systems, Fuzzy Cognitive Maps Studies in Fuzziness and Soft Computing, Volume 247, Springer, 2010.
- [63] Ross, T., Fuzzy logic with engineering applications, Wiley, Third Edition, USA, 2010.
- [64] Yaman, D., Polat, S., A fuzzy cognitive map approach for effect-based operations: An illustrative case, journal of information sciences, Volume 179, Issue 4, Page 382-403, 2009.
- [65] Papageorgiou, E. I., Markinos, A. T., Gemtos, T. A., Soft computing technique of fuzzy cognitive maps to connect yield defining parameters with yield in cotton crop production in central Greece as a basis for a decision support system for precision agriculture application, Fuzzy Cognitive Maps Studies in Fuzziness and Soft Computing, Volume 247, Springer, 2010.
- [66] Heydebreck, P., Klofsten, M., Krüger, L., F2C – An innovative approach to use fuzzy cognitive maps (FCM) for the valuation of high technology ventures, Vol. 2011, Article ID 483882, 14 pages, IBIMA publishing, 2011.
- [67] Carvalho, J. P., Tome, J. A. B., Rule based fuzzy cognitive maps – Qualitative systems dynamics, 2000.

- [68] Hurtado, S., M., Modeling of operative risk using fuzzy expert Systems, Fuzzy Cognitive Maps Studies in Fuzziness and Soft Computing, Springer, 2010.
- [69] Stylios, C. D., Groumpos, P. P., Modeling complex systems using fuzzy cognitive maps, IEEE Transactions On Systems, Man, And Cybernetics—Part A: Systems And Humans, Vol. 34, No. 1, 2004.
- [70] Akbıyıklı, R., Dikmen, Ü. S., Eaton, D., Financing road projects by private finance initiative: current practice in the UK with a case study. Transport, 26(2), 208-215, 2011.
- [71] Akbıyıklı, R., Eaton, D., Risk management in PFI procurement: a holistic approach. In Proceedings of the 20th Annual Association of Researchers in Construction Management (ARCOM) Conference, Heriot-Watt University, Edinburgh, UK, pp. 1269-1279, 2004.
- [72] Rezakhani, P., Fuzzy risk analysis model for construction projects, International Journal of Civil and Structural Engineering Volume 2, No 2, 507-522, 2011.
- [73] Lazzerini, B., Mkrtchyan, L., Analyzing risk impact factors using extended fuzzy cognitive maps, IEEE Systems Journal, Vol. 5, No. 2, 2011.
- [74] Lazzerini, B., Mkrtchyan, L., Pessimistic evaluation of risks using ranking of generalized fuzzy numbers. In Systems Conference, 2010 4th Annual IEEE (pp. 143-148). IEEE, 2010.
- [75] KGM, Karayolu planlama bilgileri el kitabı, Karayolları Genel Müdürlüğü, Strateji Geliştirme Dairesi Başkanlığı, Ankara, 2013.
- [76] Akbıyıklı, R., İnşaat yönetimi metraj ve maliyet hesapları, Birsen Yayınevi, İstanbul, Türkiye, 2013.
- [77] Bennet, J., Ormerod, R. N., Simulation applied to construction projects, Construction Management and Economics, 2, 225-263, 1984.
- [78] Park, C. S., Sharp-Bette, G. P., Advanced engineering economics, Singapore, Wiley, 1990.
- [79] Carvalho, J. P., Tomé J. A. B., Rule Based Fuzzy Cognitive Maps – A comparison with fuzzy cognitive maps, Proceedings of the NAFIPS99, NY, USA, 1999.

## EKLER

**EK A:** Karayolu projeleri FMA'daki risklerin tanımlanması

|     | Risk Olasılığı                                                                                                                                                                                                                    | Risk Şiddeti                                                                                                                                                                                   |
|-----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| KM  | 1- Kaza tutanaklarının eksik veya yanlış bilgiler içermesi<br><input type="checkbox"/> Çok düşük <input type="checkbox"/> Düşük <input type="checkbox"/> Orta <input type="checkbox"/> Yüksek <input type="checkbox"/> Çok yüksek | 1- Bu riskin F/M oranına etkisi<br><input type="checkbox"/> Çok az <input type="checkbox"/> Az <input type="checkbox"/> Orta <input type="checkbox"/> Fazla <input type="checkbox"/> Çok fazla |
|     | 2- Kaza istatistiklerinde eksik verilerin bulunması<br><input type="checkbox"/> Çok düşük <input type="checkbox"/> Düşük <input type="checkbox"/> Orta <input type="checkbox"/> Yüksek <input type="checkbox"/> Çok yüksek        | 2- Bu riskin F/M oranına etkisi<br><input type="checkbox"/> Çok az <input type="checkbox"/> Az <input type="checkbox"/> Orta <input type="checkbox"/> Fazla <input type="checkbox"/> Çok fazla |
|     | 3- Kaza istatistiklerinde yanlış verilerin bulunması<br><input type="checkbox"/> Çok düşük <input type="checkbox"/> Düşük <input type="checkbox"/> Orta <input type="checkbox"/> Yüksek <input type="checkbox"/> Çok yüksek       | 3- Bu riskin F/M oranına etkisi<br><input type="checkbox"/> Çok az <input type="checkbox"/> Az <input type="checkbox"/> Orta <input type="checkbox"/> Fazla <input type="checkbox"/> Çok fazla |
|     | 4- Kaza birim maliyetlerinin yanlış belirlenmesi<br><input type="checkbox"/> Çok düşük <input type="checkbox"/> Düşük <input type="checkbox"/> Orta <input type="checkbox"/> Yüksek <input type="checkbox"/> Çok yüksek           | 4- Bu riskin F/M oranına etkisi<br><input type="checkbox"/> Çok az <input type="checkbox"/> Az <input type="checkbox"/> Orta <input type="checkbox"/> Fazla <input type="checkbox"/> Çok fazla |
|     | 5- İskonto oranında meydana gelebilecek değişiklikler<br><input type="checkbox"/> Çok düşük <input type="checkbox"/> Düşük <input type="checkbox"/> Orta <input type="checkbox"/> Yüksek <input type="checkbox"/> Çok yüksek      | 5- Bu riskin F/M oranına etkisi<br><input type="checkbox"/> Çok az <input type="checkbox"/> Az <input type="checkbox"/> Orta <input type="checkbox"/> Fazla <input type="checkbox"/> Çok fazla |
| ZD  | 1- Seyahat süresi birim maliyetlerinin yanlış belirlenmesi<br><input type="checkbox"/> Çok düşük <input type="checkbox"/> Düşük <input type="checkbox"/> Orta <input type="checkbox"/> Yüksek <input type="checkbox"/> Çok yüksek | 1- Bu riskin F/M oranına etkisi<br><input type="checkbox"/> Çok az <input type="checkbox"/> Az <input type="checkbox"/> Orta <input type="checkbox"/> Fazla <input type="checkbox"/> Çok fazla |
|     | 2- Zaman kazancının yanlış hesaplanması<br><input type="checkbox"/> Çok düşük <input type="checkbox"/> Düşük <input type="checkbox"/> Orta <input type="checkbox"/> Yüksek <input type="checkbox"/> Çok yüksek                    | 2- Bu riskin F/M oranına etkisi<br><input type="checkbox"/> Çok az <input type="checkbox"/> Az <input type="checkbox"/> Orta <input type="checkbox"/> Fazla <input type="checkbox"/> Çok fazla |
|     | 3- Yük zaman değerinin yanlış hesaplanması<br><input type="checkbox"/> Çok düşük <input type="checkbox"/> Düşük <input type="checkbox"/> Orta <input type="checkbox"/> Yüksek <input type="checkbox"/> Çok yüksek                 | 3- Bu riskin F/M oranına etkisi<br><input type="checkbox"/> Çok az <input type="checkbox"/> Az <input type="checkbox"/> Orta <input type="checkbox"/> Fazla <input type="checkbox"/> Çok fazla |
|     | 4- Mevcut trafiğin yanlış hesaplanması<br><input type="checkbox"/> Çok düşük <input type="checkbox"/> Düşük <input type="checkbox"/> Orta <input type="checkbox"/> Yüksek <input type="checkbox"/> Çok yüksek                     | 4- Bu riskin F/M oranına etkisi<br><input type="checkbox"/> Çok az <input type="checkbox"/> Az <input type="checkbox"/> Orta <input type="checkbox"/> Fazla <input type="checkbox"/> Çok fazla |
|     | 5- Gelecekteki trafiğin yanlış tahmin edilmesi<br><input type="checkbox"/> Çok düşük <input type="checkbox"/> Düşük <input type="checkbox"/> Orta <input type="checkbox"/> Yüksek <input type="checkbox"/> Çok yüksek             | 5- Bu riskin F/M oranına etkisi<br><input type="checkbox"/> Çok az <input type="checkbox"/> Az <input type="checkbox"/> Orta <input type="checkbox"/> Fazla <input type="checkbox"/> Çok fazla |
|     | 6- İskonto oranında meydana gelebilecek değişiklikler<br><input type="checkbox"/> Çok düşük <input type="checkbox"/> Düşük <input type="checkbox"/> Orta <input type="checkbox"/> Yüksek <input type="checkbox"/> Çok yüksek      | 6- Bu riskin F/M oranına etkisi<br><input type="checkbox"/> Çok az <input type="checkbox"/> Az <input type="checkbox"/> Orta <input type="checkbox"/> Fazla <input type="checkbox"/> Çok fazla |
| TİM | 1- Taşıt işletme birim maliyetlerinin yanlış hesaplanması<br><input type="checkbox"/> Çok düşük <input type="checkbox"/> Düşük <input type="checkbox"/> Orta <input type="checkbox"/> Yüksek <input type="checkbox"/> Çok yüksek  | 1- Bu riskin F/M oranına etkisi<br><input type="checkbox"/> Çok az <input type="checkbox"/> Az <input type="checkbox"/> Orta <input type="checkbox"/> Fazla <input type="checkbox"/> Çok fazla |
|     | 2- Mevcut trafiğin yanlış hesaplanması<br><input type="checkbox"/> Çok düşük <input type="checkbox"/> Düşük <input type="checkbox"/> Orta <input type="checkbox"/> Yüksek <input type="checkbox"/> Çok yüksek                     | 2- Bu riskin F/M oranına etkisi<br><input type="checkbox"/> Çok az <input type="checkbox"/> Az <input type="checkbox"/> Orta <input type="checkbox"/> Fazla <input type="checkbox"/> Çok fazla |
|     | 3- Gelecekteki trafiğin yanlış tahmin edilmesi<br><input type="checkbox"/> Çok düşük <input type="checkbox"/> Düşük <input type="checkbox"/> Orta <input type="checkbox"/> Yüksek <input type="checkbox"/> Çok yüksek             | 3- Bu riskin F/M oranına etkisi<br><input type="checkbox"/> Çok az <input type="checkbox"/> Az <input type="checkbox"/> Orta <input type="checkbox"/> Fazla <input type="checkbox"/> Çok fazla |
|     | 4- İskonto oranında meydana gelebilecek değişiklikler<br><input type="checkbox"/> Çok düşük <input type="checkbox"/> Düşük <input type="checkbox"/> Orta <input type="checkbox"/> Yüksek <input type="checkbox"/> Çok yüksek      | 4- Bu riskin F/M oranına etkisi<br><input type="checkbox"/> Çok az <input type="checkbox"/> Az <input type="checkbox"/> Orta <input type="checkbox"/> Fazla <input type="checkbox"/> Çok fazla |
| BİM | 1- Bakım ve işletme maliyetlerinin yanlış tahmin edilmesi<br><input type="checkbox"/> Çok düşük <input type="checkbox"/> Düşük <input type="checkbox"/> Orta <input type="checkbox"/> Yüksek <input type="checkbox"/> Çok yüksek  | 1- Bu riskin F/M oranına etkisi<br><input type="checkbox"/> Çok az <input type="checkbox"/> Az <input type="checkbox"/> Orta <input type="checkbox"/> Fazla <input type="checkbox"/> Çok fazla |
|     | 2- İskonto oranında meydana gelebilecek değişiklikler<br><input type="checkbox"/> Çok düşük <input type="checkbox"/> Düşük <input type="checkbox"/> Orta <input type="checkbox"/> Yüksek <input type="checkbox"/> Çok yüksek      | 2- Bu riskin F/M oranına etkisi<br><input type="checkbox"/> Çok az <input type="checkbox"/> Az <input type="checkbox"/> Orta <input type="checkbox"/> Fazla <input type="checkbox"/> Çok fazla |
| YM  | 1-Yapım birim maliyetlerinin yanlış hesaplanması<br><input type="checkbox"/> Çok düşük <input type="checkbox"/> Düşük <input type="checkbox"/> Orta <input type="checkbox"/> Yüksek <input type="checkbox"/> Çok yüksek           | 1- Bu riskin F/M oranına etkisi<br><input type="checkbox"/> Çok az <input type="checkbox"/> Az <input type="checkbox"/> Orta <input type="checkbox"/> Fazla <input type="checkbox"/> Çok fazla |
|     | 2- İskonto oranında meydana gelebilecek değişiklikler<br><input type="checkbox"/> Çok düşük <input type="checkbox"/> Düşük <input type="checkbox"/> Orta <input type="checkbox"/> Yüksek <input type="checkbox"/> Çok yüksek      | 2- Bu riskin F/M oranına etkisi<br><input type="checkbox"/> Çok az <input type="checkbox"/> Az <input type="checkbox"/> Orta <input type="checkbox"/> Fazla <input type="checkbox"/> Çok fazla |

## **ÖZGEÇMİŞ**

1986 yılında Siirt'te doğdu. İlkokul, ortaokul ve lise öğrenimini sırasıyla Erzincan, Uşak, Diyarbakır, Manisa illerinde tamamladı. Lisans öğrenimini Erciyes Üniversitesi Yozgat Mühendislik-Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümünde tamamlayarak 2008 yılında mezun oldu. Ankara'da bir yapı denetim firması bünyesinde denetim, kontrol ve teknik danışmanlık görevlerinde kontrolör inşaat mühendisi olarak görev yaptı. Tekirdağ'da bulunan özel bir firma bünyesinde, Edirne Keşan'da bulunan PTT binası yapım işi ve İller Bankası kontrolörlüğünde yürütülen Tekirdağ içme suyu deposunun şantiye şeflikleri görevlerinde çalıştı. 2010 yılında Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans öğrenimini tamamladı. 2011 yılında Sakarya Üniversitesi'nde doktora öğrenimine başlayan yazar, halen Niğde Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Ulaştırma Bilim Dalında araştırma görevlisi olarak çalışmaktadır. Evli ve 2 çocuk babasıdır.