

## KARAYOLU ÜSTYAPILARININ ÖMÜR DÖNGÜ MALİYET ANALİZİNDE BULANIK MANTIĞIN UYGULANMASI

**Muhammed Emin Cihangir BAĞDATLI<sup>1</sup> (ORCID: 0000-0002-1424-6920)\***

<sup>1</sup>*İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Niğde, Türkiye*

**Geliş / Received: 09.04.2018**

**Kabul / Accepted: 18.09.2018**

### ÖZ

Karayolu üstyapı alternatifleri içinden en uygun olanın belirlenmesi sistematik bir karar verme sürecinin sonucudur. Ömür döngü maliyet analizi karar vermeyi temin eden uygun bir araçtır. Bu araç, karayolu üstyapı alternatiflerinin belirlenmesinde ulaştırma otoriteleri tarafından yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak analizin yüksek veri gereksinimi, doğru karar vermenin temin edilmesinde önemli bir dezavantaj oluşturmaktadır. Bu durum karar vericileri, bilimsel yaklaşımlardan uzaklaşarak öznel kararlar almaya zorlamaktadır. Söz konusu sorunun giderilmesi için yeni bir yöntem ihtiyacı duyulmaktadır. Mühendislik uygulamalarındaki başarılı çözümlerinden dolayı bu çalışmada bulanık mantık tekniği kullanılmıştır. Problemin çözümüne ilişkin bulanık mantık uzantı prensiplerinden Vertex ve DSW yöntemi, karayolu üstyapıları ömür döngü maliyet analizinde uygulanmıştır. Çalışmada yöntemlerin uygulama adımları ayrıntılı olarak verilmiştir. Sonuç olarak bulanık mantığın karayolu üstyapıları karar verme süreçlerinden biri olan ömür döngü maliyet analizinde kullanılabilirliği ortaya konulmuştur.

**Anahtar kelimeler:** Bulanık mantık, DSW algoritması, Karayolu üstyapıları, Ömür döngü maliyet analizi, Vertex yöntemi.

## APPLICATION OF FUZZY LOGIC TO LIFE-CYCLE COST ANALYSIS OF HIGHWAY PAVEMENTS

### ABSTRACT

The determination of the optimal highway pavement alternative is the result of a systematic decision-making process. Life-cycle cost analysis is a suitable tool to ensure decision-making. It is commonly used by global transportation authorities in selecting a best-fit highway pavement alternative. However, the high data requirement of the analysis is a significant disadvantage. This triggers the subjectivity in decision-making. Therefore, a new method is needed to overcome this problem. In this study, fuzzy logic technique was used because of its popularity in successful solutions. Vertex and DSW methods, which are fuzzy logic extension principles, were applied in life-cycle cost analysis of highway pavements. The application steps of the methods are given in detail in the study. As a result, the applicability of fuzzy logic in life-cycle cost analysis of highway pavements has been revealed.

**Keywords:** Fuzzy logic, DSW algorithm, Highway pavements, Life-cycle cost analysis, Vertex method.

### 1. GİRİŞ

\*Corresponding author / Sorumlu yazar. Tel.: +90 388 225 22 87 ; e-mail / e-posta: mecbagdatli@ohu.edu.tr

M. E. C. BAĞDATLI

Karar verme, alternatifler arasından en iyiyi seçme sürecidir. Bu sürecin doğru ve birtakım yöntemlere dayanarak işletilmesi, verilen kararların doğruluğu açısından önemlidir. Karayolu üstyapı projeleri pek çok alternatifin yer aldığı bir karar verme sürecini ortaya koymaktadır. Bu sürecin gerçekleştirilebilmesi için Ömür Döngü Maliyet Analizi (ÖDMA) etkin bir şekilde kullanılmaktadır. ÖDMA, rekabet halinde bulunan üstyapı alternatifleri arasından daha iyi olanı belirlemeye yarayan bir araçtır. Başka bir tabirle, ÖDMA, bir projenin ömür döngüsü boyunca ortaya çıkan tüm maliyetleri dikkate alan bir değerlendirme tekniğidir. Bu teknik, proje alternatifleri arasında etkili bir seçim yapılmasını kolaylaştırmak için kullanılır. Gelişmiş ülkelerde ulaştırma birimleri tarafından karayolu üstyapı kararlarında yaygın olarak kullanılmaktadır.

ÖDMA uygulamasında çoğu yaklaşım, alternatiflerin deterministik davranışını benimser ki bu geçerli bir varsayım değildir [1]. Çünkü çoğu mühendislik problemleri belirsizlikler içermektedir. Karar vermede bu belirsizlik etkileri önemli bir rol oynamaktadır. Deterministik yaklaşımlarda, ortaya çıkan bu belirsizlik etkileri karar vericilerin öznel yaklaşımları ve önceki tecrübeleri ile üstesinden gelinmektedir. Ancak bu durum bilimsel temellere dayalı bir yaklaşım değildir.

Belirsizlik etkisi ile başa çıkabilmenin bir yolu olasılıksal tekniklerin kullanılmasıdır. Bu teknikler içerisinde en yaygın olarak kullanılanı Monte Carlo Simülasyonudur (MCS). Ulaştırma otoriteleri tarafından yaygın uygulanmaktadır. MCS uygulamasında sisteme dâhil olan her bir değişken olasılık dağılımıyla ifade edilmektedir. Söz konusu dağılımların oluşturulması için tarihi verilere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu verilerin bulunamaması halinde uzman görüşüne dayalı dağılımlar oluşturulmaktadır [2]. MCS yaklaşımı belirsizlik etkilerinin ortadan kaldırılmasında faydalı bir teknik olmakla birlikte sisteme dâhil olan her bir değişken için ayrı ayrı olasılık dağılımların belirlenmesi önemli bir zaman kaybına neden olmaktadır [3]. Bununla birlikte ulaştırma projeleri için veri bulma süreci oldukça güçlükleri içermektedir. Söz konusu bu dezavantajlar alternatif bir yaklaşım arayışını tetiklemektedir.

Bulanık küme yaklaşımları pek çok mühendislik alanında belirsizliğin modellenmesinde etkin bir şekilde kullanılmaktadır. Bu yaklaşımlar, karayolu mühendisliğindeki karar verme modellerinde de yaygın olarak kullanılmaktadır. [3, 4, 5, 6, 7, 11]. Özellikle de son yıllarda karayolu üstyapısı ÖDMA uygulamalarında bulanık tabanlı yaklaşımların kullanılmaya başlanıldığı görülmektedir [12, 13, 14].

Bu çalışma karayolu üstyapıları ÖDMA için bulanık bir yaklaşımın uygulanmasını hedef almaktadır. Bunun sonucu olarak doğru karar vermenin temini için belirsizliklerin ortadan kaldırılması amaçlanmıştır. Çalışmanın organizasyonunda 2. Bölümde bu çalışmada kullanılan bulanık yöntem tanıtılmış; 3. Bölümde modelleme ve bir uygulama yapılmış; 4. Bölümde ise sonuçlar tartışılmıştır.

## 1.1. Ömür Döngü Maliyet Analizi

Gelişmiş ülkelerde ulaştırma birimleri, karayolu projelerinin ekonomik değerlendirmelerinde ÖDMA'yı yaygın bir şekilde kullanmaktadırlar. Bu analiz, yapılmasına karar verilen bir proje için ekonomik alternatifler üretmekte ve bu alternatifler içerisinde en ekonomik seçeneğin belirlenmesini sağlamaktadır [15].

ÖDMA ile Fayda Maliyet Analizi (FMA) uygulamada birbirine benzerlik gösterdiğinden karıştırılabilmektedir. Aralarındaki ilişki kimi zaman tam olarak anlaşılabilir değildir. Bu nedenle bu iki analiz arasındaki farklardan bahsedilmesinde yarar vardır. Şöyle ki; ÖDMA, FMA'nın bir alt uygulaması olarak değerlendirilebilir. ÖDMA, yapılmasına karar verilen proje için alt alternatifler üreten ve arasından en uygun olanının seçilmesine yardım eden bir analizdir. Bu analiz, fayda düzeyi belirlenmiş bir projede maliyet odaklı bir yaklaşımla yeni alternatifler ortaya koyarak bunlar arasından en ekonomik olan seçeneği bulmaya çalışır. ÖDMA, aynı hizmet ve fayda düzeyinde alternatifler üretmekte ve bu alternatifleri kıyaslamaktadır [16]. ÖDMA, yapım maliyeti, bakım-ışletme maliyetleri gibi kurum giderlerini hesaplamalara dâhil ettiği gibi yapım, bakım ve işletme sırasında meydana gelen yol kullanıcı maliyetlerini de dikkate alabilen bir analiz türüdür [17]. FMA'da ise fayda esaslı analiz yapılır. Böylelikle farklı fayda düzeyine sahip alternatifler karşılaştırılabilmektedir. Bu sayede FMA, bir projenin yapılıp yapılmayacağına karar verebilmektedir [18]. Özetle; ÖDMA, faydayı ölçen değil faydası ölçülmüş ve yapılmasına karar verilmiş bir projede yeni alternatifler üretmek için ekonomik olanın belirlenmesinde kullanılan maliyet odaklı bir ekonomik analizdir. FMA, ise bir projenin yapılıp yapılmayacağına karar vermek için faydayı ölçen veya farklı fayda düzeylerindeki alternatifler arasından en uygun olanı belirleyen bir yöntemdir [15].

ÖDMA, analize birbirinden farklı yapısal ve performans özelliklere sahip alternatifleri üretmekle başlanmaktadır. Analist, her bir tasarım alternatifini için ilk yapım ve gelecekteki bakım faaliyetlerini içeren bir çizelge ortaya koymaktadır. Sonra, bu faaliyetlerin maliyetleri tahmin edilmektedir. Bu maliyetler; yolu yapanla ilgili yani kurum maliyetleri ve yol yapım ve bakımı sırasında ortaya çıkan yol kullanıcı maliyetleridir. Söz konusu tüm bu maliyetler bir akış diyagramı formatına dönüştürülür [17]. Analiz süresi dikkate alınarak akış diyagramına yerleştirilmiş tüm maliyetler belirli bir iskonto oranı ile şimdiki değere dönüştürülür. Analist, elde

*KARAYOLU ÜSTYAPILARININ ÖMÜR DÖNGÜ MALİYET ANALİZİNDE BULANIK MANTIĞIN UYGULANMASI*

edilen bugünkü değerler neticesinde, alternatifler içerisinde en uygun olanı seçerek karar vermektedir [15]. ÖDMA uygulamasında kullanılan matematiksel formülasyonlar aşağıdaki gibidir:

$$NPV = IC_i + \sum_{i=1}^n (FC_i \cdot PVF_i) - SV_i \cdot PVF_i \quad (1)$$

$$PVF = \frac{1}{(1+r)^n} \quad (2)$$

$$EAC_i = NPV_i \cdot RF_i \quad (3)$$

$$RF = r \cdot (1+r)^n / [(1+r)^n - 1] \quad (4)$$

Burada; NPV net şimdiki değeri, IC yapım maliyetini, FC gelecekteki maliyetleri, SV hurda değeri, PVF şimdiki değer faktörünü, n hizmet ömrünü, r iskonto oranını, EAC eşdeğer yıllık maliyeti, AC yıllık maliyeti, RV geri dönüşüm faktörünü ifade etmektedir. NPV ve EAC değerleri alternatifler arasında karşılaştırma yapılmasına imkân sağlayan ölçütlerdir. Yatırım alternatifleri arasında karşılaştırma yapılırken en küçük NPV veya EAC değeri “kabul edilir alternatif” olarak değerlendirilmektedir. Bu çalışmada üstyapı alternatiflerinin karşılaştırmasında EAC değeri kullanılmıştır. Ömür döngü maliyet analizine dair uygulama adımları aşağıdaki gibidir [8]:

1. Üstyapı alternatiflerinin üretilmesi
2. Bakım faaliyetleri için sürelerinin tespiti
3. Maliyetlerin tahmin edilmesi
4. Ömür döngü maliyetlerinin hesaplanması
5. Sonuçların değerlendirilmesi ve karar verme

Analist, bu beş adımla ömür döngü maliyet analizini gerçekleştirilmektedir. İlk olarak; üstyapı alternatiflerinin üretilmesi aşamasında her bir alternatife ait yapım ve bakım faaliyetleri, belirlenen bir analiz süresi içerisinde detaylandırılmaktadır. Detaylar içerisinde ilk yapım ve başlıca rehabilitasyon aktivitelerinin yanı sıra analiz süresi içerisinde, belirlenen bir performans düzeyine kadar devam edecek periyodik bakım ve iyileştirmeler de yer almaktadır. Söz konusu bakım ve rehabilitasyon aktiviteleri geçmiş veri ve tecrübelerle dayalı olarak belirlenmektedir. Üstyapı alternatiflerinin üretilmesi ve gerekli faaliyetlerinin detaylı olarak ortaya konulmasından sonra her bir üstyapı alternatifi için bakım ve rehabilitasyon planı geliştirilir. Aktivite sürelerini belirleme adımı olan bu aşamada gelecekte bakım ve iyileştirme etkinliklerinin yol performansını ne kadar süre temin edeceği belirlenmektedir. Bir sonraki aşamada, maliyetlerin tahmin edilmesi adımı yer almaktadır. Bu adımda üstyapı alternatifleri için gelecekte ortaya çıkacak olan maliyetler tahmin edilmektedir. Yol yapım ve bakım dönemlerinde çalışma bölgesinde yer alan taşıt trafiğine ait taşıt işletme maliyetleri, çalışma bölgesinden kaynaklı ortaya çıkan zaman kaybına bağlı olarak taşıtların zaman değerini ifade eden maliyetler, çalışma bölgesinin tetikleyeceği trafik kazaların maliyetleri gibi yol kullanıcı maliyetlerinin belirlenmesi maliyet tahminleri aşamasında yer alan bileşenlerdir. Kurum ve yol kullanıcı maliyetleri ve bakım faaliyetleri için gerekli sürelerin belirlenmesinden sonra ekonomik analiz yöntemleri kullanılarak üstyapı alternatiflerinin hesapları aşamasına geçilir. ÖDMA hesaplamalarında yaygın olarak kullanılan ekonomik analiz türü net şimdiki değer analizidir [9]. Bu analiz, gelecekte ortaya çıkacak olan maliyetleri belirli bir iskonto oranı yardımıyla bugünkü değerlere indirgeyerek karşılaştırma yapma imkânı sağlamaktadır. Yapılan tüm hesaplamalar neticesinde yolu yapan ve yolu kullanan başlıkları altında toplam maliyetler ortaya konur. Sonuçlar değerlendirilerek yolu yapan açısından, kullanıcı açısından ve nihai toplam açısından en uygun tasarım alternatifi tercih edilmiş olmaktadır [10].

## 2. YÖNTEM

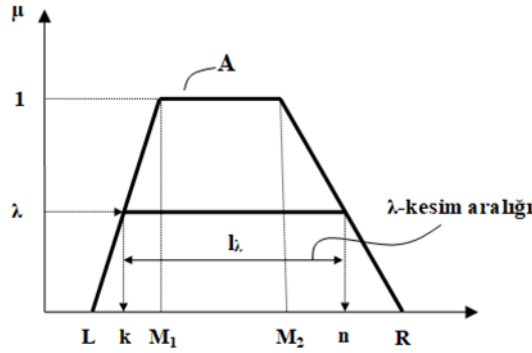
### 2.1. Bulanık Küme Yaklaşımı

Bulanık küme teorisi, insan gibi düşünmeyi esas alan ve bunları matematiksel fonksiyonlara çevirerek işlem yapan bir yaklaşımdır. Bu teorinin en büyük özelliği de ikili Aristo mantığı yerine bulanık kümelere dayanan

matematiksel bir disiplin olmasıdır. Bulanık küme teorisinin önemli bir katkısı, belirsiz bilgiyi temsil etme kabiliyetidir. Teori, bulanık alana matematiksel işlemlerin ve algoritmik uygulamaların yapılmasına da izin vererek insan düşünce yapısına daha yakın sonuçları sunabilmektedir. Bu çalışmada karayolu üstyapıları ÖDMA'nın modellenmesi için DSW algoritması (Dong ve ark. 1985) ve Vertex yöntemi (Dong ve ark. 1987) kullanılmıştır [19, 20]. Söz konusu yaklaşımlar bulanık uzantı prensipleri içinde yer almakta olup bir bulanık hesap makinası olanaklarını sağlayan güçlü araçlardır [21]. DSW algoritması ve Vertex yöntemi (Kishk ve Al Hajj, 2000) ve (Ammar ve ark. 2013) tarafından ÖDMA'nın modellenmesinde kullanılmış ve başarılı sonuçlar elde edilmiştir [12, 22]. Bu çalışma kapsamında karayolu üstyapı ÖDMA modellemesinde kullanılan DSW ve Vertex yöntemlerine ait bilgiler başlıklar halinde sunulmuştur.

### 2.1.1. Vertex yöntemi

Vertex yöntemi,  $\lambda$ -kesme kavramına ve aralık analizine dayanmaktadır. Yöntem, bulanık değişkenlerin alanı üzerindeki ayrıklaştırma tekniğinin uygulanması nedeniyle çıktı üyeliği işlevinde anormalliği önleyebilmekte ve fonksiyonel ifadeye birden fazla olayın ortaya çıktığı varsayılan değişkenin geleneksel aralıklarla genişlemesini engelleyebilmektedir. Algoritmanın uygulanması çok kolaydır ve birçok pratik problemlere uygulanabilir [20]. Algoritmanın uygulaması şu şekildedir: Herhangi bir sürekli üyelik fonksiyonu,  $\lambda = 0+$  ila  $\lambda = 1$  arasındaki  $\lambda$  kesme aralıklarının sürekli taranmasıyla temsil edilmektedir. Şekil 1,  $\lambda$ 'ın belirli bir değeri ile ilişkili bir aralıkla tipik bir üyelik fonksiyonunu göstermektedir.



Şekil 1. Bulanık A kümesindeki bir  $\lambda$  kesme seviyesine karşılık gelen aralık

Farz edelim ki, bulanık kümeler için uzatılacak olan  $y = f(x)$  ile  $B = f(A)$  ile verilen tek girdili bir eşlemeye sahibiz ve A 'yı  $\lambda$  kesme aralıkları serisine ayrıştırmak istiyoruz, Buna  $I_\lambda$  diyelim.  $f(x)$  fonksiyonu  $I_\lambda = [k, n]$  üzerinde sürekli ve monoton olduğunda belirli bir  $\lambda$  değerinde B'yi temsil eden aralık, (buna  $B_\lambda$  diyelim), denklem 5'deki gibi bulunmaktadır [21]:

$$B_\lambda = f(I_\lambda) = [\min(f(k), f(n)), \max(f(k), f(n))] \quad (5)$$

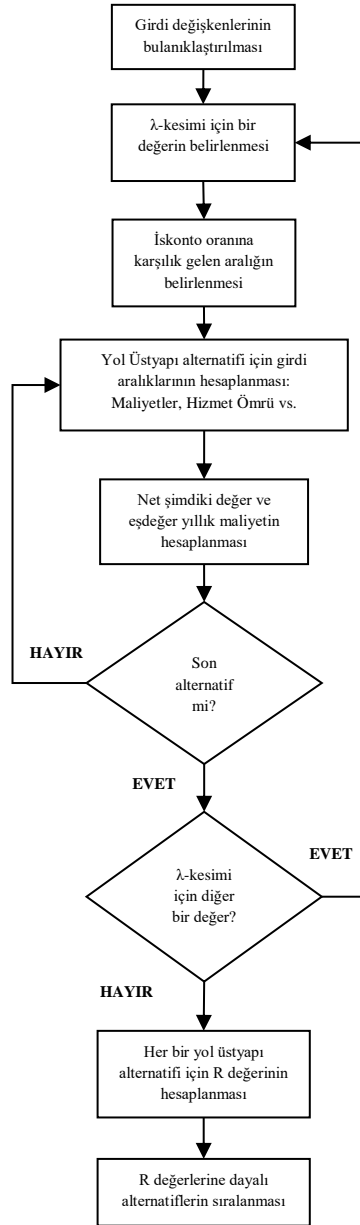
### 2.1.2. DSW algoritması

DSW algoritması da bulanık kümelerin  $\lambda$ -kesimi gösterimini kullanır, ancak Vertex yönteminin aksine, standart aralık analizinde yer alan tam  $\lambda$ -kesme aralıklarını kullanmaktadır. DSW algoritması aşağıdaki adımlardan oluşmaktadır [21]:

1.  $0 \leq \lambda \leq 1$  aralığında bir  $\lambda$  değeri seçin.
2. Seçilen  $\lambda$  değerine karşılık gelen  $X_1, X_2, \dots, X_n$  aralıklarını bulun. Bu aralıklar elbette  $X_1, X_2, X_n$ 'in  $\lambda$ -kesim'leridir.
3. Aralık cebirsel işlemlerini kullanarak,  $X_1, X_2, \dots, X_n$ 'e karşılık gelen Y'nin aralıklarını hesaplayın. Böyle bir aralık, Y'nin karşılık gelen  $\lambda$ -kesimidir.
4. Çözümün  $\lambda$ -kesim gösterimini tamamlamak için  $\lambda$ 'nın diğer değerleri için önceki adımları tekrarlayın [12].

## KARAYOLU ÜSTYAPILARININ ÖMÜR DÖNGÜ MALİYET ANALİZİNDE BULANIK MANTIĞIN UYGULANMASI

Yukarıda bahsedilen algoritmalara dayanarak (Ammar ve ark. 2013) tarafından ÖDMA için geliştirilen modelin karayolu üstyapıları ÖDMA'ya adapte edilen hesaplama algoritması Şekil 2'de bir akış şeması halinde gösterilmiştir.

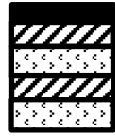
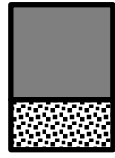


Şekil 2. Karayolu üstyapıları Bulanık ÖDMA hesaplama algoritması akış şeması

### 3. MODELLEME ve UYGULAMA

Yaklaşımların kullanılması ve modellemenin gerçekleştirilmesine ait hesaplama adımlarını göstermek için örnek bir uygulama yapılmıştır. Uygulamanın yapılmasında iki adet yol üstü yapısı alternatifleri karşılaştırılmıştır. Söz konusu üstü yapılar için bilgiler Federal Karayolu İdaresi'nin FHWA/IN/JTRP-2004/28 no'lu raporu olan "INDOT Yol Üstyapı Tasarımları için Ömür Döngü Maliyet Analizi" bülteninden alınmıştır [10]. Yapım maliyetleri ve bakım stratejileri birbirinden farklı olan iki yol üstü yapısı alternatiflerine ait bilgiler Tablo 1'de verilmiştir.

**Tablo 1.** Yol üstü yapısı alternatiflerine ait bilgiler [10]

Karayolu üstü yapıları	15" BSK	11" Beton Kap.
	 1.5" BSK 2.5" BSK 4" BSK	 11" Beton kaplama 9" Alt temel
Yapım maliyeti	309,073 \$	443,413 \$
Rehab. 1 mlyt.	34,239 \$	120,066 \$
Reh. 1 yılı	12	30
Rehab. 2 mlyt.	93,666 \$	34,289 \$
Reh. 2 yılı	21	45
Rehab. 3 mlyt.	34,239 \$	-
Reh. 3 yılı	33	-
Rehab. 4 mlyt.	77,192 \$	-
Reh. 4 yılı	45	-
Analiz süresi	45 yıl	45 yıl
İskonto oranı	%4	%4
Şerit sayısı	2 şerit/yön	2 şerit/yön
Şerit geniş.	3.65 m	3.65 m
Yol uzunluğu	9.7 km	9.7 km

Tablo 1'de görüldüğü üzere 15" kalınlığında bitümlü sıcak karışım kaplama ile 11" kalınlığında beton yol kaplamasına ait bilgiler verilmektedir. İki üstü yapısı alternatifine ait yapım maliyetleri, rehabilitasyon yılları ve maliyetleri, karşılaştırma için değerlendirmeye alınan analiz süreleri, ekonomik analizde kullanılacak olan iskonto oranı, uygulama yapılan yollara ait şerit sayısı, genişliği ve yol uzunluğu bilgileri karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

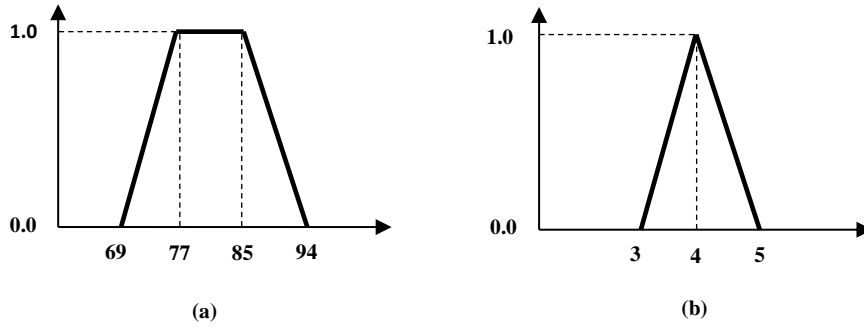
Bu çalışmada ilk olarak Tablo 1'de verilen bilgiler uzman görüşü yardımıyla bulanıklaştırılmıştır. Bulanıklaştırma işleminden sonra üstü yapısı alternatiflerine ait elde edilen bilgiler Tablo 2'de verilmiştir. Bulanıklaştırma işlemi yapılırken Tablo 1'de verilen her bir değişken Şekil 1'de gösterildiği gibi bulanık üyelik fonksiyonlarına dönüştürülmüştür. Bunun için her bir değişkene ait L, R, M1 ve M2 değerleri belirlenmiştir. Bu değerler, bulanık üyelik fonksiyonunun sağ, sol ve orta noktalarını gösteren bilgilerdir. Bu bilgiler, bu çalışma kapsamında kullanılan DSW ve Vertex yöntemleri için önemlidir. Trapez ve üçgensel fonksiyonlar kullanılarak elde edilen bulanık değerler ilgili yöntemlerin kullanımına hazır duruma gelmiştir. Tablo 2'de verilen değerlerin bulanık fonksiyon görünümüne ait örnekler Şekil 3'de verilmiştir.

**Tablo 2.** Üstyapı alternatiflerine ait bulanık değerler

Değişkenler	Üstyapı 1				Üstyapı 2			
	L	M <sub>1</sub>	M <sub>2</sub>	R	L	M <sub>1</sub>	M <sub>2</sub>	R
Yapım mlyt.	278	309	309	340	399	443	443	487
Rehab. 1 mlyt.	31	34	37	40	108	120	132	145
Reh. 1 yılı	11	12	12	13	27	30	30	33
Rehab. 2 mlyt.	84	93	102	112	31	34	37	41
Reh. 2 yılı	19	21	21	23	41	45	45	50
Rehab. 3 mlyt.	31	34	37	40	-	-	-	-
Reh. 3 yılı	30	33	33	36	-	-	-	-
Rehab. 4 mlyt.	69	77	85	94	-	-	-	-
Reh. 4 yılı	41	45	45	50	-	-	-	-
Analiz süresi	41	45	45	50	41	45	45	50
İskonto oranı	3	4	4	5	3	4	4	5

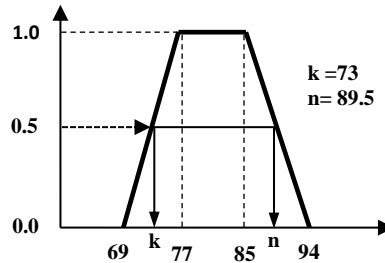
Not: Tüm maliyetler (x 1,000\$) değerindedir.

Tablo 2’de verilen bulanıklaştırılmış değişkenlere ait iki örnek üyelik fonksiyonu Şekil 3’te gösterilmiştir.



**Şekil 3.** Modelde kullanılan üstyapı değişkenlerine ait örnek bulanık üyelik fonksiyonları: (a) Rehab. 4 maliyeti; (b) İskonto oranı

Üstyapı alternatiflerine ait değerlerin bulanıklaştırılmasından sonra Vertex ve DSW yöntemleri kullanılarak bulanık hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma kapsamında, söz konusu yaklaşımların uygulanmasına ilişkin hesaplamalar bir  $\lambda$ -kesimi için detaylı olarak sunulmuştur. Uygulamanın bütününde; adım aralığı 0.1 belirlenerek 11 adet  $\lambda$ -kesimi ayrı ayrı hesaplanmış ve yol üstyapı alternatifleri için nihai bir grafiksel gösterim elde edilmiştir.



**Şekil 4.** “k” ve “n” değerlerinin elde edilmesi: Rehab. 4 maliyeti

Vertex yöntemi ve DSW algoritması kullanılarak yapılan hesaplamalar örnek  $\lambda=0.50$  kesimi için adım adım aşağıda verilmiştir. Öncelikle  $\lambda=0.50$  kesimi için üstyapı alternatiflerine ait Şekil 1’de gösterilen “k” ve “n” değerleri elde edilmiştir. Bunun için Tablo 2’de verilen her bir bulanık fonksiyonu 0.50 üyelik derecesinden yatay olarak uzatılan bir doğru ile kesilmiştir. Doğrunun fonksiyonu kestiği iki nokta “k” ve “n” değerleridir. Şekil 4’te “k” ve “n” değerlerinin elde edilmesine dair örnek bir gösterim verilmiştir.

**Tablo 3.**  $\lambda=0.50$  kesimi için yol üstyapı alternatiflerine ait aralık değerleri

Değişkenler	Üstyapı 1		Üstyapı 2	
	k	n	k	n
Yapım maliyeti	293.5	324.5	421	465
Rehab. 1 maliyeti	32.5	38.5	114	138.5
Reh. 1 yılı	11.5	12.5	28.5	31.5
Rehab. 2 maliyeti	88.5	107	32.5	37.5
Reh. 2 yılı	20	22	43	47.5
Rehab. 3 maliyeti	32.5	38.5	-	-
Reh. 3 yılı	31.5	34.5	-	-
Rehab. 4 maliyeti	73	89.5	-	-
Reh. 4 yılı	43	47.5	-	-
Analiz süresi	43	47.5	43	47.5
İskonto oranı	3.5	4.5	3.5	4.5

Tablo 2’de verilen tüm bulanık fonksiyonlarının 0.5 üyelik derecesinden kesilmesi ile elde edilen “k” ve “n” değerleri Tablo 3’te sunulmuştur. Bu adımdan sonra her bir değişken için elde edilen “k” ve “n” değerleri, DSW ve Vertex yöntemlerinin adımları takip edilerek denklem 1, 2, 3 ve 4’de uygulanmıştır. Uygulanan işlem adımları aşağıda verilmektedir. İlk olarak denklem 2 kullanılarak şimdiki değer faktörü (PVF) hesaplanmıştır.

$$PVF_{11} = 1/(1 + 0.035)^{11.5} = 0.673$$

$$PVF_{12} = 1/(1 + 0.045)^{11.5} = 0.603$$

$$PVF_{13} = 1/(1 + 0.035)^{12.5} = 0.650$$

$$PVF_{14} = 1/(1 + 0.045)^{12.5} = 0.577$$

$$\begin{aligned} PVF_1 &= f(0.5) \\ &= \left[ \begin{array}{l} \min(0.673, 0.603, 0.650, 0.577) x \\ \max(0.673, 0.603, 0.650, 0.577) \end{array} \right] \\ &= [0.577, 0.673] \end{aligned}$$

Şimdiki değer faktörüne ait (PVF) hesaplamalar Rehabilitasyon 2-3-4 için de aynı şekilde gerçekleştirildiğinde;

$$PVF_2 = f(0.5) = [0.380, 0.503]$$

$$PVF_3 = f(0.5) = [0.219, 0.338]$$

$$PVF_4 = f(0.5) = [0.124, 0.228] \text{ olarak hesaplanmıştır.}$$

Daha sonra, DSW ve Vertex yöntemleri denklem 1 için de aynı şekilde uygulanarak 1. yol üstyapı alternatifine ait NPV değeri aşağıdaki gibi hesaplanmıştır:

$$\begin{aligned} NPV_1 &= [293.5, 324.5] + [32.5, 38.5]x[0.577, 0.673] + [88.5, 107]x[0.380, 0.503] + \\ & \quad [32.5, 38.5]x[0.219, 0.338] + [73, 89.5]x[0.124, 0.228] = [362.052, 437,651] \end{aligned}$$

Aynı yöntem kullanılarak denklem 4’deki geri dönüşüm faktörü (RF) ve denklem 3’teki eşdeğer yıllık maliyet (EAC) aşağıdaki gibi hesaplanmıştır:

$$\begin{aligned} RF_{11} &= \\ & 0.035x(1 + 0.035)^{43} / [(1 + 0.035)^{43} - 1] = 0.0453 \\ RF_{12} &= \\ & 0.035x(1 + 0.035)^{47.5} / [(1 + 0.035)^{47.5} - 1] = 0.0434 \\ RF_{13} &= \\ & 0.045x(1 + 0.045)^{43} / [(1 + 0.045)^{43} - 1] = 0.0530 \\ RF_{14} &= \\ & 0.045x(1 + 0.045)^{47.5} / [(1 + 0.045)^{47.5} - 1] = 0.051 \end{aligned}$$



KARAYOLU ÜSTYAPILARININ ÖMÜR DÖNGÜ MALİYET ANALİZİNDE BULANIK MANTIĞIN UYGULANMASI

$$RF_1 = f(0.5)$$

$$= \left[ \begin{array}{l} \min(0.0453, 0.0434, 0.053, 0.051) x \\ \max(0.0453, 0.0434, 0.053, 0.051) \end{array} \right]$$

$$= [0.0434, 0.053]$$

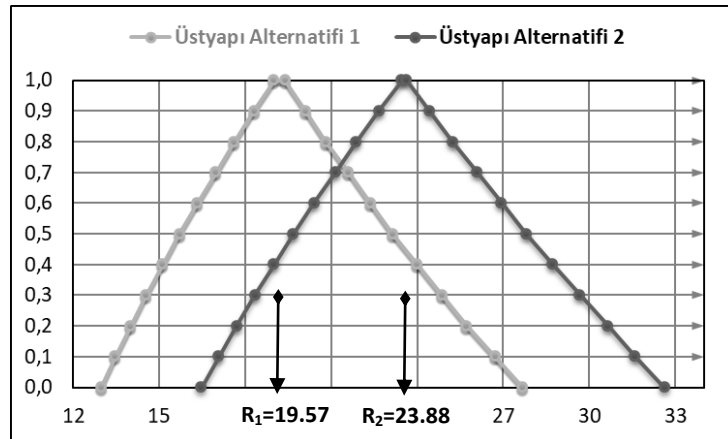
$$EAC = f(0.5) = [362.052, 437.651] x [0.0434, 0.0529] = [15.71, 23.15]$$

Üstyapı 1 alternatifi için EAC'ye ait "k" ve "n" değerleri yukarıda verilen tüm hesaplamalar sonucunda [15.71, 23.15] olarak bulunmuştur. Böylelikle λ=0.50 kesimi için üstyapı 1'e ait tüm hesaplamalar tamamlanmıştır. Aynı hesaplamalar üstyapı 2 alternatifi için de gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın bütününde ise; adım aralığı 0.1 olacak şekilde 11 adet λ-kesimi için EAC değerlerine ait "k" ve "n" değerleri yukarıdaki yapılan işlemlerin aynısı doğrultusunda ayrı ayrı hesaplanmıştır. Üstyapı 1 ve üstyapı 2 alternatiflerine ait yapılan tüm hesaplamalar sonucunda elde edilen değerler Tablo 4'te verilmiştir.

**Tablo 4.** Yol üstyapı alternatiflerinin EAC değerlerine ait "k" ve "n" değerleri

λ-kesimi	Üstyapı 1		Üstyapı 2	
	k	n	k	n
0.0	12.99	27.68	16.47	32.63
0.1	13.48	26.73	17.08	31.6
0.2	14.02	25.72	17.71	30.66
0.3	14.56	24.87	18.35	29.68
0.4	15.13	24	19.01	28.73
0.5	15.71	23.15	19.68	27.8
0.6	16.34	22.36	20.41	26.94
0.7	16.99	21.61	21.16	26.1
0.8	17.62	20.82	21.88	25.23
0.9	18.31	20.1	22.67	24.43
1.0	19.01	19.4	23.46	23.64

Yapılan hesaplamalar sonucunda tüm λ-kesimleri için elde edilen "k" ve "n" değerleri sayesinde üstyapı 1 ve üstyapı 2 alternatiflerine ait toplam EAC değerlerinin bulanık üyelik fonksiyonları Şekil 5'teki gibi çizilmiştir. Burada her bir "k" ve "n" değeri, ilgili üstyapı alternatifinin λ-kesimlerindeki EAC değerini ifade etmektedir. Şekil 5'teki bulanık fonksiyonlar Tablo 4'te elde edilen "k" ve "n" değerleri yardımıyla çizilmiştir.



**Şekil 5.** Karayolu üstyapı alternatiflerine ait toplam EAC bulanık fonksiyonları

M. E. C. BAĞDATLI

Tablo 4’te verilen “k” ve “n” değerleri kullanılarak üstyapı 1 ve üstyapı 2’ye ait toplam EAC bulanık üyelik fonksiyonları Şekil 5’teki gibi elde edilmiştir. Elde edilen bu fonksiyonlar, bulanık durulaştırma yöntemlerinden ağırlık merkezi metodu ile durulaştırıldıktan sonra her bir üstyapı alternatifine ait EAC değeri elde edilmiştir. Şekil 5’te gösterilen R1 ve R2 değerleri üstyapı alternatiflerine ait EAC sonuç değerleridir. Üstyapı alternatifi 1 için R değeri 19.57; üstyapı alternatifi 2 için R değeri 23.88 bulunmuştur. Yapılan karşılaştırma sonucunda R değeri diğerinden daha düşük bir değerde olduğundan üstyapı alternatifi 1 tüm ömür döngüsü dikkate alındığında daha uygun maliyetli uygun bir alternatif olduğu sonucuna varılmıştır.

#### 4. SONUÇ ve TARTIŞMA

Karayolu üstyapı projeleri için “karar verme” önemli bir süreçtir. Üstyapı alternatifleri arasından en iyinin arayışında uygun bilimsel tekniklerin kullanılması, doğru kararların alınmasını temin etmektedir. Bu bağlamda ömür döngü maliyet analizi uygun bir araçtır. Bu analiz yöntemi, gelişmiş ülkelerde ulaştırma otoriteleri özellikle de karayolu birimleri tarafından yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Yöntemin kullanımına dair deterministik ve olasılıksal yaklaşımlar bulunmaktadır. Deterministik yaklaşım, karar vermede belirsizlik ve öznellik etkisini doğurduğundan doğru karar verme kabiliyeti gösterememektedir. Olasılıksal yaklaşımlar ise çok fazla veri gereksinimi nedeniyle kullanışlı olamamaktadır. Bu bağlamda yeni bir yaklaşımın üstyapı projelerinin karar verme aşamasında kullanılmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Bulanık mantık tekniği çok fazla veri ihtiyacı duymaması ve belirsizlik etkisini ortadan kaldırabilmesi nedeniyle mühendislik problemlerinde etkili bir şekilde kullanılmaktadır. Karar verme problemlerinde de yaygın bir şekilde kullanılan bulanık mantığın karayolu üstyapı projelerinde de etkili sonuçlar vereceği düşünülmüştür. Bu doğrultuda önceki çalışmalarda farklı mühendislik problemlerinin ömür döngü maliyet analizlerinde kullanılmış olan bulanık uzantı prensiplerinden DSW ve Vertex yöntemleri bu çalışmada karayolu üstyapı projelerinde uygulanmıştır. Yöntemlerin uygulanmasına dair yapılan işlemler detaylı olarak makalede adım adım sunulmuştur. Yapılan işlem adımları dikkatle takip edilip incelendiğinde bu çalışmada kullanılan yöntemlerin, karayolu üstyapı alternatifleri karar verme aşamasında başarı ile uygulanabilirliği görülmektedir.

Bu çalışma kapsamında 15” kalınlığında bitümlü sıcak karışım kaplama ile 11” kalınlığındaki beton yol kaplamasının karşılaştırması yapılmıştır. Yapılan bulanık hesaplamalar sonucunda bitümlü sıcak karışım kaplamanın 45 yıllık analiz süresi içerisinde yıllık 19570\$ maliyetle daha uygun bir alternatif olduğu belirlenmiştir. Hesaba katılan her bir değişkenin bulanıklaştırılması ve yapılan işlemlerin bulanık yöntemler kullanarak gerçekleştirilmesiyle belirsizlik etkisi minimize edilmiştir. Bu doğrultuda en uygun üstyapı alternatifi ortaya konulmuştur. Bu çalışmada kullanılan yöntemlerin karayolu üstyapıları karar verme aşamasında uygulanmasının temel avantajları aşağıda kısaca sunulmuştur:

1. Bulanık mantık yaklaşımının belirsizlikle etkili bir şekilde baş edebilmesi nedeniyle üstyapı alternatifleri arasından karar verme aşamasında doğruya daha yakın sonuçların elde edilecek olması,
2. Çok fazla istatistik veriye ihtiyaç olmaksızın sonuca ulaşılabilmesi,
3. Basit bir excel tablosu yardımıyla işlemlerin kolaylıkla yapılabilmesidir.

Bu çalışmada kullanılan yöntemlerin geleneksel yaklaşımlarla karşılaştırılarak performans değerinin belirlenememesi bu çalışma için bir eksiklik oluşturmuştur. Ancak Bölüm 2’de verilen yöntemler ve Bölüm 3’te gerçekleştirilen işlemler dikkatle incelendiğinde elde edilen sonuçların doğruluğu görülebilmektedir. İleriki çalışmalarda bulanık mantık uzantı prensiplerinden DSW ve Vertex yöntemlerinin olasılıksal yaklaşımlarla karşılaştırılarak karayolu üstyapı alternatiflerinin belirlenmesindeki performansının araştırılması bu çalışmaya önemli bir katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

#### KAYNAKLAR

- [1] SALEM, O., ABOURIZK, S., ARIARATNAM, S., “Risk-Based Life-Cycle Costing of Infrastructure Rehabilitation and Construction Alternatives.” *Journal of Infrastructure Systems*, 9(1), 6-15, 2003.
- [2] EDWARDS, P. J., BOWEN, P. A., “Practices, Barriers and Benefits of Risk Management Process in Building Services Costs Estimation: Comment.” *Construction Management & Economics*, 16(1), 105-108, 1998.

- [3] BAĞDATLI, M. E. C., AKBIYIKLI, R., PAPAGEORGIOU, E. I., “A Fuzzy Cognitive Map Approach Applied in Cost–Benefit Analysis for Highway Projects.” *International Journal of Fuzzy Systems*, Springer., 19: 1512, 2017.
- [4] ÖZKIR, V., DEMİREL, T., “A Fuzzy Assessment Framework to Select Among Transportation Investment Projects in Turkey.” *Expert Systems with Applications*, 39(1), 74-80, 2012.
- [5] 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.
- [6] TENG, J. Y., TZENG, G. H., “Transportation Investment Project Selection Using Fuzzy Multiobjective Programming. *Fuzzy Sets and Systems*.” 96(3), 259-280, 1998.
- [7] AVİNERİ, E., PRASHKER, J., CEDER, A., “Transportation Projects Selection Process Using Fuzzy Sets Theory. *Fuzzy Sets and Systems*.” 116(1), 35-47, 2000.
- [8] FHWA. “Life Cycle Cost Analysis the Georgia Experience.” Federal Highway Administration, Office of Asset Management, U.S. Department of Transportation, 2004.
- [9] UDOT. “Life Cycle Cost Analysis, Engineering Services Division Value Engineering.” Utah Department of Transportation, U.S.A., 2007.
- [10] GEOFFERY, L., AHMAD, M. Z., LABI, S., SINHA, K. C., “Life Cycle Cost Analysis for Indot Pavement Design Procedures.” JTRP Technical Reports, Purdue University, U.S.A., 2005.
- [11] KARSAK, E. E., AHISKA, S. S., “Fuzzy Multi-Criteria Decision Making Approach for Transport Projects Evaluation in Istanbul.” In *International Conference on Computational Science and Its Applications* (pp. 301-311). Springer Berlin Heidelberg, 2005.
- [12] AMMAR, M., ZAYED, T., MOSELHI, O., “Fuzzy-Based Life-Cycle Cost Model for Decision Making Under Subjectivity.” *Journal of Construction Engineering and Management*, 139(5), 556-563, 2012.
- [13] CHEN, C., FLINTSCH, G., “Fuzzy Logic Pavement Maintenance and Rehabilitation Triggering Approach for Probabilistic Life-Cycle Cost Analysis.” *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, (1990), 80-91, 2007.
- [14] AZEEZ, K., ZAYED, T., AMMAR, M., “Fuzzy-Versus Simulation-Based Life-Cycle Cost for Sewer Rehabilitation Alternatives.” *Journal of Performance of Constructed Facilities*, 27(5), 656-665, 2013.
- [15] BAĞDATLI, M. E. C., AKBIYIKLI, R., “Sürdürülebilir Ulaştırma Yapıları için Etkili Ekonomik Analiz Modeli.” *TRANSİST 7. Uluslararası Ulaşım Teknolojileri Sempozyumu ve Fuarı, İstanbul Kongre Merkezi, İstanbul*, 2014.
- [16] FHWA. “Life Cycle Cost Analysis Primer.” Federal Highway Administration, Office of Asset Management, U.S. Department of Transportation U.S.A., 2002.
- [17] CALTRANS. “Life Cycle Cost Analysis Procedures Manual.” State of California Department of Transportation, Division of Maintenance Pavement Program, U.S.A., 2013.
- [18] CAMPBELL, H. F., BROWN, R., P., C., “Benefit-Cost Analysis Financial and Economic Appraisal Using Spreadsheets.” Cambridge University Press, Newyork, U.S.A., 2003.
- [19] DONG, W., SHAH, H., WONG, F., “Fuzzy Computations in Risk and Decision Analysis. *Civ. Eng. Syst.*, 2, 201–208, 1985.
- [20] DONG, W., SHAH, H., “Vertex Method for Computing Functions of Fuzzy Variables.” *Fuzzy Sets Syst.*, 24, 65–78, 1987.
- [21] ROSS, T. J., “Fuzzy Logic with Engineering Applications”. John Wiley & Sons, 2009.
- [22] KISHK, M., AL-HAJJ, A., “A Fuzzy Model and Algorithm to Handle Subjectivity in Life Cycle Costing Based Decision-Making.” 2000.
- [23] WALLS III, J., SMITH, M. R., “Life-cycle cost analysis in pavement design-interim technical bulletin” (No. FHWA-SA-98-079.), 1998.