



Asfalt Yolların Yaşam Döngüsü Maliyet Analizi: İstanbul O3 Otoyolunda Uygulanması

Life Cycle Cost Analysis of Asphalt Roads: Case Study on Istanbul O3 Motorway

İbrahim Altan Karahacıoğlu¹, Adnan Corum^{*2}

¹ Bayrampaşa Belediyesi, İmar ve Şehircilik Müdürlüğü,, 34030 İstanbul, TÜRKİYE

² Bahçeşehir Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 34353 İstanbul, TÜRKİYE

Başyuru/Received: 18/03/2019

Kabul / Accepted: 24/09/2019

Çevrimiçi Basım / Published Online: 27/09/2019

Son Versiyon/Final Version: 31/01/2020

Öz

Ülkemizde, önemli yatırım maliyetlerin başında asfalt yollar gelmektedir. Yatırım kararı alırken, asfalt yolların imalatından, kullanım süresi sonuna kadar geçen süreçte yapılan tüm faaliyetler ele alınmalıdır. Projenin yatırım, bakım & onarım ve hurda değerleri hesaplanmalıdır. Bu çalışmada, İstanbul O3 otoyolunun üstyapısının, yatırım, bakım & onarım ve hurda maliyetlerinin net bugünkü değeri hesaplanarak yaşam döngüsü maliyet analizi yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler

“Asfalt, yaşam döngüsü maliyet analizi, net bugünkü değer”

Abstract

In our country, asphalt roads are the major investment costs. When making an investment decision, all activities carried out from the production of asphalt roads to the end of its life should be considered. Investment, maintenance & repair, and scrap values of the project should be calculated. In this study, life cycle cost analysis was performed by calculating the net present value of investment, maintenance & repair, and scrap costs of the top layer of Istanbul O3 motorway.

Key Words

“Asphalt, life cycle cost analysis, net present value”

1. Giriş

Günümüz gelişen ve değişen teknolojik gelişmelerin ışığında, bir üretimin yatırıma dönüşme kararını verebilmek, kişi ya da kuruluşlar için çok önemlidir. Bu alınan kararların özellikle sosyal ve ekonomik alanlarda alınacak olması, modern teknik yaklaşımlara başvurulmasını da zorunlu hale getirmiştir.

Ülkemizde yolcu taşımacılığının %97'si, yük taşımacılığının ise %89'u karayoluyla gerçekleştirilmektedir (Çetin vd., 2011). 1900'lerde petrol rafinerilerinin artmasıyla asfalt kaplama endüstrisinin gelişmeye başlaması, asfalt üstyapı karışım sistemleri hakkında çalışmaların başlamasına neden olmuş ve bu karışım tasarımları geliştirilerek gün geçtikçe kullanımları yaygınlaşmıştır (Öztürk ve Çabuk, 2004). Ülkemizde ilk kez 1929 yılında anayollara asfalt yol yapma uygulamasına geçilmiştir (Çetin vd., 2011). Türkiye'de özellikle İkinci Dünya Savaşı'ndan sonra karayolu yapımına öncelik verilmiştir. 1950 yılında Karayolları Genel Müdürlüğü kurulmuştur. Bu dönemle birlikte uygulanan karayolu ağırlıklı ulaşım politikaları sonucunda karayolları, ulaşım sistemleri arasında ilk sıraya yerleşmiştir (Şefik ve Eser, 2016). Yollardaki aşınma tabakası (en üst tabaka) yol güvenliği açısından en önemli parametrelerden birini oluşturur (Akbulur ve Güre, 2006).

Ülkemizin önemli maliyetlerden biri de asfalt yol yapımıdır. Ülkemiz yolları, Mayıs 2016 itibarı ile 20000 km'ye yakını asfalt betonu, 40000 km'den fazlası ise sathi kaplama yoldur. Ayrıca, 2015 yılı için 2,60 Milyar \$'ı aşan bir bütçeye sahiptir. Böylesine dev bir bütçeye sahip olan bir ekonomide alınacak kararlar elbette ki gelişen ve değişen teknolojinin ışığında modern teknik analizlerle yapılmalıdır.

Bu çalışmada, asfalt yol yapımının önemli bir yatırım maliyet kısmını oluşturan yol üstyapı tasarımından yola çıkarak, İstanbul ili, 8,70 km uzunluğundaki O3 Otoyolu Vatan Caddesi Kavşağı- Mahmutbey Doğu Kavşağı Arası Bağlantı Yolu (O3 Bağlantı Yolu) için Yaşam Döngüsü Maliyet Analizi (YDMA) yapılmıştır.

Çalışmanın 2. bölümünde asfalt, yol üstyapısı, asfalt yol bakım & onarım yöntemi ve önemi hakkında bilgilendirme yapılmıştır. 3. bölümde O3 Bağlantı Yolu için YDMA uygulanmıştır. Yatırım, bakım & onarım verileri yanı sıra, hurda maliyetleri ve yıllık faiz oranı ele alınarak, projenin faizli ortamda Net Bugünkü Değeri (NBD) hesaplanmıştır. Çalışmanın son bölümünde ise sonuç ve önerilere yer verilmiştir.

2. Asfalt ve Yol Üst Yapısı

Yol gövdesi, altyapı ve üstyapı olmak üzere iki kısımdan oluşur. Altyapı yarma ve dolguları içerir. Üstyapı ise trafik yüklerini taşıyan ve azaltarak altyapıya aktaran tabakalı bir yapıdır. Üstyapılar, tabakalardan kullanılan malzemelerin özelliklerine göre esnek, rijit ve yarı rijit olmak üzere üçe ayrılırlar (Orhan, 2012). Tablo 1'de üstyapı tabaka kesitleri verilmiştir.

Tablo 1. Üstyapı Tabaka Kesitleri

Rijit	Yarı-Rijit	Esnek
Beton plak	Kaplama tabakası	Kaplama tabakası
	Temel	Temel
Temel tabakası	Alt temel	Alt temel
		Üstyapı tabanı (dolgu/yarma)
		tesviye yüzeyi
Taban	Taban	Taban

Asfalt yollar, maliyeti yüksek her malzeme gibi belirli zamanlarda önleyici bakım & onarımlara ihtiyaç duymaktadır. Bu bakım & onarımlar ileride daha yüklü bir maliyetle karşı karşıya kalınmaması ve ekonomik ömrün uzatılması sebebiyle son derece önemlidir. Asfalt yolların ekonomik ömrü 20-40 yıl arasında değişebildiği, hatta düzenli ve planlı bir bakım & onarım yapıldığı takdirde bu yolların ekonomik ömrünün daha da uzadığı bilinmektedir.

Asfalt yolların bozulmasının nedenleri birçok etmene bağlı olarak küçük ve büyük tahribatlar olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu etmenleri şu şekilde sıralayabiliriz: Üretim ve uygulama aşamalarında, yol üst yapı tasarımının hatalı dizayn edilmesi, asfalt üretiminde kullanılan agrega malzemenin özelliği ve granülometresinin uygun olmaması, bitüm oranının az yada çok olması, temel kalınlıklarının uygun dizayn edilmemesi, sıcak karışım asfaltın uygun sıcaklıkta serilememesi, yol altyapısının uygun malzeme ile dolgusunun yapılamaması, yol üst yapı malzemelerinde sıkışmanın yapılmaması, eksik yada hatalı serim yapılmasının yanı sıra üretim ve uygulama sonunda, yasal dingil ağırlıklarının değiştirilmesi, araçların yasal limit üstü yük yüklemeleri, yol bakım & onarımların zamanında yapılamaması ve yol bakım & onarımlarına öngörülebilir bir mali kaynak ayırmak için bilimsel bir onarım ve bakım kaydı tutulamaması gibi (teknomaccaferri.com).

Asfalt yollarda bakım & onarım metotları üç gruba ayrılır. Tablo 2'de bu metotları uygulama yöntemleri gösterilmiştir (academia.edu).

Tablo 2. Üstyapı Bakım & Onarım Metotları ve Uygulamaları

Bakım	Onarım	Yeniden Yapım
Yamalar	Asfalt kaplamanın yeniden kullanımı	İmalatın yeniden yapılması
Çatlak dolgusu	Aşınma tabakasının yenilenmesi	
Asfalt koruyucu sathi kaplama	Geosentetik malzeme kullanılması	
Harç tipi kaplama	Takviye tabakası getirilmesi	

YDMA, bu noktada öngörülemez bakım & onarım maliyetlerini de hesaba katarak, bir yolun sadece yatırım maliyeti ile ilgilenemeyip, yolun ömrünün sonuna kadar olan yaşamsal (yok oluşuna kadar) faaliyetinin maliyeti ile ilgilenir. Öngörülemez maliyetleri tespit ederek, bir yatırımın yapılabilmesinde karar verilme aşamasında ya da sonrasında fikir sunar. Bir tasarımın üretim, yatırım, enerji, performans değerlendirme ve ekonomi gibi konularda, ana maliyetlerin yanı sıra işletme, bakım & onarım gibi maliyetlerini de içererek alternatif tasarım kararlarını değerlendirmek için yapılan bir analiz metodudur.

İstanbul ili, O3 Otoyolu Vatan Caddesi Kavşağı- Mahmutbey Doğu Kavşağı Arası Bağlantı Yolu'na ait parametreler Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 3. O3 Bağlantı Yolu Ana Parametreler

Tabakalar	Kalınlık (cm)	Yoğunluk (ton/m ³)	Yol uzunluğu (m)	Yol genişliği (m)	Miktar (ton)
Aşınma	5	2,40	8700	30	31320
Binder	7	2,40	8700	30	43848
Plentmiks T.	25	2,36	8700	32	164256
Alttemel	25	2,26	8700	32	157296

3. Maliyet Hesaplamaları

O3 Bağlantı Yolu ile ilgili olarak; yatırım, bakım & onarım ve hurda maliyetleri üç başlık halinde hesaplanmıştır. Bir yolun yatırım maliyeti içerisinde; yol alt yapı ve yol üst yapı çalışmaları gibi yolların yapımında yatırım maliyet kalemleri olarak birçok kalem bulunmaktadır. Ancak yolların bakım & onarımında yol üst yapısında bakım & onarım esas kriter olarak göz önünde bulunduğundan bu çalışmada yatırım maliyetleri yol üst yapısı göz önüne alınarak yapılmıştır.

3.1. Yatırım maliyeti

Yatırım Maliyetlerini üçe ayrılarak Plentaltı Malzeme Fiyatları, Nakliye ve İşçilik olarak hesaplanmıştır. Hesaplamalar 2015 fiyatlarına göre ve Yüklenici Karı (%25) alınarak hesaplanmış olup, güncel pozlar Çevre ve Şehircilik Bakanlığı (ÇŞB) poz fiyatları, Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM) poz fiyatları ve piyasa fiyatları verilerinden elde edilmiştir. Tablo 4'de hesaplamalar gösterilmiştir.

Tablo 4. Yatırım Maliyeti

TABAKALAR	Plentaltı Malzeme Fiyatı (TL/ton)	Nakliye Maliyeti (TL/ton)	Binder ve Aşınma İşçilik Maliyeti (TL/ton)	Plentmiks ve Alttemel İşçilik Maliyeti (TL/ton)	Miktar (ton)	Yatırım Maliyeti (TL)
Aşınma	87	8,77	8,63	-	31320	3269808
Binder	78	8,77	8,63	-	43848	4183099
Plentmiks T.	23	8,77	-	7,73	164256	6488112
Alttemel	21	8,77	-	7,73	157296	5898600
					Toplam=	19839619

3.2. Bakım & onarım maliyeti

Yol bakım & onarım araştırmalarında, yolun cinsi, yol dizaynı, yoldan geçen taşıt sayısı, mevsimsel hava şartları gibi birçok etmen yol bakım & onarımında önemli rollere sahiptir. O3 Bağlantı Yolu gibi tasarıma sahip bir yolda, yol üstyapısına ait bakım & onarım maliyetleri, bozulmuş yolun durumu ve ekonomik kaynaklar doğrultusunda her yıl değişiklik göstermekle birlikte, bakım & onarım maliyetleri daha çok üstyapı katmanlarından olan aşınma tabakasında gerçekleşmektedir. Aşınma tabakasında ve yer yer binder tabakasında yapılan yıllık bakım & onarım maliyetlerinin çok büyük bir kısmı asfalt robotu ile yama yapılması şeklinde yapılmaktadır. Yamada kullanılan malzeme daha çok Tip-1 veya Tip-2 aşınma asfalt tabakası şeklindedir.

İstanbul Büyükşehir Belediyesi Avrupa Yol Bakım & Onarım Müdürlüğü'nden alınan geçmiş yıllara ait veriler doğrultusunda, her yıl değişen onarım ve bakım maliyetleri O3 Bağlantı yolu gibi tasarıma sahip bir yolda yılda ortalama 400 ton asfalt robotu ile yama çalışması yapıldığı görülmüştür. Ayrıca, belirli yıllarda çalışma yapılmamakla birlikte, 2008-2014 yılları arasında toplamda 35195 ton aşınma tabakası yenileme çalışması yapıldığı görülmüştür. Bu değer O3 bağlantı yolunda kullanılacak aşınma tabakası malzeme miktarı olarak kabul edilmiştir.

Bunun yanı sıra, yol yüzeyinde meydana gelen yapısal ve yapısal olmayan çatlak bakımlarıyla ilgili olarak aylık bakımlar yapılmakta olup, bu çalışma ile ilgili herhangi bir analiz çalışmasına rastlanılmamıştır. Ancak, bu çalışmada; istatistiksel ve deterministik bir yaklaşımla çatlak bakımı için bir analiz çalışması yapılmıştır. Özetle, bu çalışmada yol bakım & onarım maliyeti 3 gruba ayrılmıştır: (1) Çatlak bakım maliyeti, (2) Asfalt robotu ile yama yapılması maliyeti, (3) Aşınma tabakası yenilenmesi maliyeti

Çatlak Bakım Maliyeti: Çatlak bakım maliyeti için, İstanbul Büyükşehir Belediyesi Avrupa Yol Bakım ve Onarım Müdürlüğü ile İstanbul İli, Bayrampaşa Belediyesi Fen İşleri Müdürlüğü'nden alınan bilgiler neticesinde analiz yapılmış olup, yıllık çatlak bakım maliyeti 24047 TL olarak hesaplanmıştır.

Asfalt Robotu ile Yama Yapılması Maliyeti: Asfalt robotu ile yama yapılması maliyet analizi yedi farklı maliyet grubu ele alınarak çıkartılmıştır ve aşağıda sıralanmıştır:

1. Asfalt Kesilmesi Birim Maliyeti
2. Kırmataş, Şose ve Asfalt Sökülmesi Birim Maliyeti
3. Şantiye Dışına Kamyonla Kazı Malzemesi ve Moloz Nakli Birim Maliyeti
4. Katyonik Asfalt Emülsiyonu (CRS-1 Tipi) Uygulama Birim Maliyeti
5. Plentaltı Aşınma Birim Maliyeti
6. Aşınma tabakası Nakliye Birim Maliyeti
7. Asfalt Robotu ile Yama Yapılması İşçilik Birim Maliyeti

Bu maliyetler, pozlar ve analiz çalışmaları neticesinde Tablo 5 de gösterilmiştir.

Tablo 5. Asfalt Robotu ile Yama Yapılması Birim Maliyeti

	Birim Maliyetler	Yardımcı Poz ve İşlem	Tutar (TL/ton)
1	Asfalt Kesilmesi Birim Maliyeti	İller Bankası (18.190/İB-1) ve Analiz Çalışması	15,51
2	Kırmataş, Şose ve Asfalt Sökülmesi Birim Maliyeti	Devlet Su İşleri (18.190)	16,48
3	Şantiye Dışına Kamyonla Kazı Malzemesi ve Moloz Nakli Birim Maliyeti*	ÇŞB (07.006)	17,46
4	Katyonik Asfalt Emülsiyonu (CRS-1 Tipi) Uygulama Birim Maliyeti	ÇŞB (04.611/1A, 01.501) ve Analiz Çalışması	2,39
5	Plentaltı Aşınma Birim Maliyeti	Tablo 4	87,00
6	Aşınma tabakası Nakliye Birim maliyeti	Tablo 4	8,77
7	Asfalt Robotu ile Yama Yapılması İşçilik Birim Maliyeti	Analiz Çalışması	89,35
		Genel Toplam=	236,96

* Moloz malzemenin döküm sahası İçtaç Moloz ve Hafriyat Döküm Sahası olarak seçilmiş ve ortalama taşıma mesafesi 40 km olarak hesaplanmıştır.

O3 Bağlantı yolu, bakım & onarım maliyeti yapımında yılda ortalama 400 ton asfalt robotu ile yama yapıldığından yıllık toplam asfalt robotu ile yama yapılması maliyeti $236,96 * 400 = 94784$ TL olarak hesaplanır.

Aşınma Tabakası Yenilenmesi Maliyeti: Öngörümüz doğrultusunda 7 yılda bir kez yapılacak olan çalışma yıllık yapılan bakım & onarım çalışmalarından daha kapsamlı bir çalışmadır. Maliyet detayları Tablo 6' da gösterilmiştir.

Tablo 6. Aşınma Tabakası Yenilenmesi Maliyeti

	Birim Maliyetler	Yardımcı Poz ve İşlem	Tutar (TL/ton)
1	Yeni Asfaltın (Aşınma Tabakası) Serim Birim Maliyeti	Tablo 5 (plentaltı+nakliye+işçilik)	104,4
		Genel Toplam=	104,4

O3 bağlantı yolunda kullanılan aşınma tabakası malzeme miktarı Tablo 4’de 31320 ton olarak gösterilmiştir. Toplam aşınma tabakası yenileme maliyeti $104,4 \times 31320 = 3269808$ TL olarak hesaplanır.

3.3. Hurda maliyeti

Yorulmuş ve yaşlanmış asfaltların kazılarak yeniden kaliteli asfalt haline dönüştürülüp ekonomiye kazandırılması her geçen gün yaygınlaşmaktadır. Bu konudaki teknolojiler de durmadan değişim göstermektedir. Hurda değer kavramı, analiz yapılan ürünün ömrü boyunca atık olarak kullanılabilen ve ömrü sonundaki değerini tanımlamaktadır. Yapılan araştırmalarda asfalt üretiminde, geri dönüşümde kullanılan aşınma ve binder tabakalarının, asfalt geri dönüşümünde %15 ile %20 oranında, plentmiks ve alttemel tabakalarının geri dönüşümünde %30 ile %50 arasında tasarruf sağladığı görülmektedir.

Bu çalışmada, aşınma tabakasının geri dönüşümdeki katkısının %15, binder tabakasında ise %20 ve plentmiks tabakasının %30, alttemel tabakasının %40 katkı sağladığı kabul edilmiştir. Bununla birlikte hurda maliyeti ise 4 farklı maliyet grubunda ele alınmıştır: (1) Aşınma Tabakası Hurda Maliyeti, (2) Binder Tabakası Hurda Maliyeti, (3) Plentmiks Temel Hurda Maliyeti, (4) Alttemel Hurda Maliyeti.

Aşınma tabakası hurda maliyeti: Ömrünü tamamlamış olan yolun kazılması, Habibler Fabrikası’na nakledilmesi ve aşınma tabakasının geri dönüşümde %15 tasarruf sağladığı kabul edilmiştir.

Bu maliyetler, pozlar ve analiz çalışmaları neticesinde Tablo 7’ de gösterilmiştir.

Tablo 7. Aşınma Tabakası Hurda Maliyeti

	Birim Maliyetler	Yardımcı Poz ve İşlem	Tutar (TL/ton)
1	Hurda Geri Kazanım (Plentaltı Aşınma Birim Maliyeti $\times 0,15$)= $87,00 \times 0,15 = 13,05$	Tablo 4	-13,05
2	Şantiye Dışına Kamyonla Kazı Malzemesi ve Moloz Nakli Birim Maliyeti	Tablo 4	8,77
3	Asfalt Kazıma Makinesi İle Her Cins Bitümlü Karışım Kaplamaların Kazılması	KGM (40.130)	24,45
Genel Toplam=			20,17

O3 bağlantı yolunda kullanılan aşınma tabakası malzeme miktarı Tablo 4’de 31320 ton olarak gösterilmiştir. Toplam aşınma tabakası hurda maliyeti $20,17 \times 31320 = 631724$ TL olarak hesaplanır.

Binder tabakası hurda maliyeti: Ömrünü tamamlamış olan yolun kazılması, Habibler Fabrikası’na nakledilmesi ve binder tabakasının geri dönüşümde %20 tasarruf sağladığı kabul edilmiştir.

Bu maliyetler, pozlar ve analiz çalışmaları neticesinde Tablo 8’ de gösterilmiştir.

Tablo 8. Binder Tabakası Hurda Maliyeti

	Birim Maliyetler	Yardımcı Poz ve İşlem	Tutar (TL/ton)
1	Hurda Geri Kazanım (Plentaltı Binder Birim Maliyeti $\times 0,20$)= $78,00 \times 0,20 = 15,60$	Tablo 4	-15,60
2	Şantiye Dışına Kamyonla Kazı Malzemesi ve Moloz Nakli Birim Maliyeti	Tablo 4	8,77
3	Asfalt Kazıma Makinesi İle Her Cins Bitümlü Karışım Kaplamaların Kazılması	KGM (40.130)	24,45
Genel Toplam=			17,62

O3 bağlantı yolunda kullanılan binder malzeme miktarı Tablo 4’ de 43848 ton olarak gösterilmiştir. Toplam binder tabakası hurda maliyeti $43848 \times 17,62 = 772602$ TL olarak hesaplanır.

Plentmiks Temel Tabakası Hurda Maliyeti: Ömrünü tamamlamış olan yolun kazılması, Habibler Fabrikası’na nakledilmesi ve plentmiks temel tabakasının geri dönüşümde %30 tasarruf sağladığı kabul edilmiştir.

Bu maliyetler, pozlar ve analiz çalışmaları neticesinde Tablo 9’ da gösterilmiştir.

Tablo 9. Plentmiks Temel Tabakası Hurda Maliyeti

	Birim Maliyetler	Yardımcı Poz ve İşlem	Tutar (TL/ton)
1	Hurda Geri Kazanım (Plentaltı Plentmiks Birim Maliyeti×0,30)= 23,00*0,30= 6,90	Tablo 4	-6,90
2	210 HP'lik Ekskavatörün 1 ton Plentmiks Malzemesini Kazı Yükleme ve Boşaltması	KGM (03.504)	0,45
3	Şantiye Dışına Kamyonla Kazı Malzemesi ve Moloz Nakli Birim Maliyeti	Tablo 4	8,77
Genel Toplam=			2,32

O3 bağlantı yolunda kullanılan plentmiks temel tabakası malzeme miktarı Tablo 4' de 164256 ton olarak gösterilmiştir. Toplam plentmiks temel tabakası hurda maliyeti $164256*2,32= 381074$ TL olarak hesaplanır.

Alttemel Tabakası Hurda Maliyeti: Ömrünü tamamlamış olan yolun kazılması, Habibler Fabrikası'na nakledilmesi ve alttemel tabakasının geri dönüşümde %40 tasarruf sağladığı kabul edilmiştir.

Bu maliyetler, pozlar ve analiz çalışmaları neticesinde Tablo 10' de gösterilmiştir.

Tablo 10. Alttemel Tabakası Hurda Maliyeti

Sıra no	Birim Maliyetler	Yardımcı Poz ve İşlem	Tutar (TL/ton)
1	Hurda Geri Kazanım (Plentaltı Alttemel Birim Maliyeti×0,40)=21,00*0,40= 8,40	Tablo 5	-8,40
2	210 HP'lik Ekskavatörün 1 ton Alttemel Malzemesini Kazı Yükleme ve Boşaltması	KGM (03.504)	0,47
3	Şantiye Dışına Kamyonla Kazı Malzemesi ve Moloz Nakli Birim Maliyeti	Tablo 5	8,77
Genel Toplam=			0,77

O3 bağlantı yolunda kullanılan alttemel tabakası malzeme miktarı Tablo 4' de 157296 ton olarak gösterilmiştir. Toplam alttemel tabakası hurda maliyeti $157296*0,77= 121118$ TL olarak hesaplanır. Tüm maliyetler Tablo 11'de özetlenmiştir. 2015 yılı \$/TL 2,68 kabul edilmiştir.

Tablo 11. Maliyet Hesapları

	Maliyet Kalemi	TL	\$
1	Yatırım Maliyeti	19839619	7402843
2	Yıllık Çatlak Bakım Maliyeti	24047	8973
3	Yıllık Yama Onarım Maliyeti	94784	35367
4	Aşınma Tabakası Yenilenmesi Maliyeti	3269808	1220078
5	Aşınma Tabakası Hurda Maliyeti	631724	235718
6	Binder Tabakası Hurda Maliyeti	772602	288284
7	Plentmiks Temel Hurda Maliyeti	381074	142192
8	Alttemel Hurda Maliyeti	121118	45193

Tablo 12'de O3 Bağlantı Yoluna ait 2015-2036 yılları arası 21 yıllık süreçte yapılacak tüm maliyetler gösterilmiştir.

Tablo 12. Yaşam Döngüsü Maliyetler Tablosu (\$)

Dönem	Yıl	Üstyapı Yatırım Maliyeti	Yıllık Çatlak Bakım Maliyeti	Yıllık Yama Onarım Maliyeti	Aşınma Tabakası Yenilenmesi Maliyeti	Hurda Maliyetleri				Toplam
						Aşınma	Binder	Plentmiks Temel	Alttemel	
0	2015	7402843								7402843
1	2016		8973	35367						44340
2	2017		8973	35367						44340
3	2018		8973	35367						44340
4	2019		8973	35367						44340
5	2020		8973	35367						44340
6	2021		8973	35367						44340
7	2022				1220078	235718				1455796
8	2023		8973	35367						44340
9	2024		8973	35367						44340
10	2025		8973	35367						44340
11	2026		8973	35367						44340
12	2027		8973	35367						44340
13	2028		8973	35367						44340
14	2029				1220078	235718				1455796
15	2030		8973	35367						44340
16	2031		8973	35367						44340
17	2032		8973	35367						44340
18	2033		8973	35367						44340
19	2034		8973	35367						44340
20	2035		8973	35367						44340
21	2036					235718	288284	142191	45193	711386

Tablo 12'deki tüm maliyetler ve yıllık %2'lik \$ faizi de düşünülerek bu projenin maliyetinin Net Bugünkü Değeri (NBD) aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$NBD = 7402843 + 44340 * (P/A, \%2, 6) + 1455796 * (P/F, \%2, 7) + 44340 * (P/A, \%2, 6) * (P/F, \%2, 7) + 1455796 * (P/F, \%2, 14) + 44340 * (P/A, \%2, 6) * (P/F, \%2, 14) + 711386 * (P/F, \%2, 21)$$

(P/F, %i, n) = F miktarındaki paranın % i ve n yıl önceki P değerini hesaplayan faktör değeri

(P/A, %i, n) = A miktarındaki her yıl tekrar eden paranın % i ve n yıl için P değerini hesaplayan faktör değeri

$$NBD = 7402843 + 44340 * 5,601 + 1455796 * 0,8706 + 44340 * 5,601 * 0,8706 + 1455796 * 0,7579 + 44340 * 5,601 * 0,7579 + 711386 * 0,6598$$

$$NBD = \$10895763$$

4. Sonuç ve Öneriler

Ülkemizde en önemli yatırım maliyetlerinden olan ulaşım maliyetlerine ait asfalt yollar, gerek yapımı gerekse bakım, onarım ve hurda safhalarında meydana gelen maliyetleri ile toplumsal ve ekonomik alanlardaki etkisini her daim göstermektedir. Bu nedenledir ki, doğru yatırım kararı vermek için tüm maliyetlerin doğru hesaplanması çok önemlidir.

Bu çalışmada, YDMA yöntemiyle O3 Bağlantı Yoluna ait yol üstyapısının, yapımından kullanım süresi sonuna kadar olan bakım, onarım ve hurda maliyetlerini etkileyen faktörler ve bu faktörlerin maliyetleri hesaplanmıştır. Bu maliyetlerin ayrıca dönemsel olarak bir bütçe çerçevesinde maliyet dağılımı yapılmış ve dolar kuru üzerinden uygulanan faiz oranı ile yol üstyapısına ait net bugünkü değeri hesaplanmıştır. Bu çalışmada YDMA'ya göre;

- 8,70 km uzunluğundaki O3 Bağlantı yolunun üstyapı ömrünün maliyetlerinin net bugünkü değeri %2 yıllık faizli ortamda \$10895763'dır.
- 21 yıllık üst yapı ömrünün yaklaşık %64'ü yatırım maliyeti, %31'i onarım ve bakım maliyeti ve %5'i ise hurda maliyettir.

- 3 geliş ve 3 gidişli bir otobana ait yol üstyapısının km başına maliyetlerinin net bugünkü değeri %2 yıllık faizli ortamda 1,25 milyon dolardır.
- Her yedi yılda bir yol üst yapısının %20 si kadar maliyetle yol üst yenileme çalışması gerçekleştirilmektedir.
- Yol üstyapısı hurda maliyetinde, hurdaya gönderilecek malzemenin taşıma yolu mesafesinin kısaltılması ve geri dönüşüm miktarının artırılması neticesinde maliyetlerin azalması mümkündür.
- Geri dönüşüme gönderilecek malzemenin, geri dönüşümde kullanılacak malzeme miktarı oranının iyi analiz edilmesi gerekmektedir. Ayrıca imalattan çıkacak olan geri dönüşüm malzemesinin, moloz döküm sahasına olan mesafesi kısa olup, maliyet açısından pozitif etkisi söz konusu olması durumunda, geri dönüşüme tabi tutulmasının yerine moloz döküm sahasına gönderilme işlemi gerçekleştirilebilir. Ancak petrol yan ürünü olan bitüm bazlı bu ürünlerin moloz döküm sahasındaki çevresel etki değerlendirilmesinin mutlak suretle analiz edilmesi gereklidir.
- Yaşam döngüsü maliyet analizi boyunca dönemsel öngörülen harcamalar için mali bir bütçe hazırlanmalı ve bu mali bütçeye ait harcamalar kısıntıya gidilmeden gerçekleştirilmelidir. Yol yapım ve onarım çalışmalarında bakım & onarımı geç yapılmış ya da yapılmamış bir yolun ileri yıllardaki bakım & onarım maliyetlerinin daha da çok artacağı ve yol ömrünün daha kısa olacağı unutulmamalıdır.
- Yol bakım & onarım çalışmalarında ülkemiz genelinde yapılan harcamaların bilimsel verilerde kullanılması için kayıt altına alınmış geçmiş yıllara ait veri bulunabilmesi yapılan araştırmalar neticesinde zor olduğu anlaşılmıştır. Bilimsel çalışmalara ışık tutabilmesi için ülkemiz genelinde yapılan yol bakım & onarımların verilerinin sağlıklı bir şekilde sistemsal olarak tutulması önemlidir.
- Ham petrolün yan ürünü olan bitüm malzemesi yol yapım çalışmalarının önemli bir yapı taşıdır.

Referanslar

Akbulut, H., İçağa, Y., & Gürer, C. (2003). Atık Agregaların Asfalt Yol Kaplamalarında Tekrar Kullanım İmkanları ve CEN Standartları. III Ulusal Kırmataş Sempozyumu, 3-4.

Orhan, F., 2012, "Bitümlü Karışımlar Laboratuvarı Çalışmaları", KGM.

Öztürk, E. A. (2004). Karayolu esnek üstyapı tasarımı yeni bir yöntem: yüksek performanslı asfalt kaplama. Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 19(2).

Şevik, S., & Eser, L. Y. (2016). Türkiye'de Karayollarında Fiyatlandırma ve Özelleştirme Uygulamaları: Bir Model Önerisi. Ekonomik ve Sosyal Araştırmalar Dergisi.

<http://www.teknomaccafferri.com.tr/upload/sayfa/Yol-Alt-ve-Ust-Yapi-Guclendirme-Uygulamalari.pdf>

https://www.academia.edu/6551437/karayollar%C4%B1nda_%C3%BCst_yap%C4%B1_projelendirme_rehberi