

Kaplamalara İlişkin Yaşam Döngüsü Maliyet Analizinin (YDMA) temel esasları kılavuzu



İÇİNDEKİLER

Önsöz	3
1 - Kapsam	4
2 - Giriş	5
1. YAŞAM DÖNGÜSÜ MALİYET ANALİZİ - GENEL HUSUSLAR	5
2. YAKLAŞIMLAR	5
3. YDMA İÇİN EKONOMİK DEĞER GÖSTERGESİ	6
4. YDMA İÇİN MALİYET TAHMİNLERİ VE İSKONTO ORANLARI	7
3 - YDMA için Standart Yöntem	9
1. ALTERNATİF KAPLAMA TASARIM STRATEJİLERİNİN BELİRLENMESİ VE ANALİZ DÖNEMİNİN SEÇİLMESİ	9
2. PERFORMANS DÖNEMLERİ İLE FAALİYETLERİN ZAMANLAMASININ BELİRLENMESİ	11
3. İSKONTO ORANININ BELİRLENMESİ	11
4. KURUM MALİYETLERİNİN TAHMİNİ	13
5. KULLANICI MALİYETLERİNİN TAHMİNİ	15
6. NAKİT AKIŞI ŞEMALARININ OLUŞTURULMASI	19
7. NET BUGÜNKÜ DEĞERİN (NPV) HESAPLANMASI	20
8. SONUÇLARIN ANALİZİ ve HASSASİYET ANALİZİ	22
9. TASARIM STRATEJİLERİNİN YENİDEN DEĞERLENDİRİLMESİ	25
4 - YDMA İle İlgili Özel Konular	26
1. YDMA'da MALZEME KAYNAKLI ENFLASYON ORANLARININ HESABA KATILMASI	26
2. OLASILIKÇI YAKLAŞIM - Özet [Kaynak 2]	27
3. AYNI OLMAYAN PERFORMANS ÖMÜRLERİYLE BAŞ ETME YÖNTEMLERİ	28
5 - YDMA Örnekleri	29
Genel Örnekler	29
Örnek 1 - Bölgesel Yollar	30
Örnek 1a - NPV'nin Belirleyici Yaklaşımına göre Hesaplanması [Kaynak 2'den alıntı]	30
Örnek 1b - NPV'nin sonsuz ufuk modeli ile hesaplanması - Belirleyici Yaklaşım	36
Örnek 2 - Bölünmüş Yol İyileştirmesi: Belçika'daki Anvers R1 Çevreyolu [Kaynak 4]	38
6 - Kaynaklar	46
Ekler	48

ÖNSÖZ

EUPAVE (Avrupa Beton Kaplama Birliği) Başkanı Stephane Nicoud

18 Nisan 2016 tarihinde yürürlüğe giren AB Kamu Alımları ve İmtiyazları ile ilgili Direktifler¹, ihale makamlarının tahmini değeri belli seviyelerin üzerinde olan kamu sözleşmelerinde ve tasarım yarışmalarında izlemeleri gereken alım yöntemlerine ilişkin kuralları belirlemektedir. Söz konusu direktifler ayrıca Avrupa'da her yıl kamu alımları için ayrılan ve AB gayrisafı yurtiçi hasılasının %18'ini teşkil eden toplam 1,9 trilyon Avro'luk bütçenin, AB ülkelerindeki 250.000'den fazla kamu makamı tarafından ne şekilde harcanacağı konusunda da belirleyicidir.

Bu mevzuatın temel hedeflerinden biri de ihale tekliflerinin en iyi fiyat ve kalite oranı temelinde değerlendirilmesini sağlamaktır. Bu tür değerlendirmeler, maliyet etkinliği yaklaşımına göre daima bir fiyat veya maliyet unsuru içermelidir (örneğin yaşam döngüsü maliyetleri ile en iyi fiyat-kalite oranının dâhil edilme olasılığının değerlendirilmesi gibi).

Ancak günümüz Avrupa'sında yaşam döngüsü maliyetlendirme yaklaşımı, sağlayabileceği onca tasarrufa rağmen yol gibi altyapı varlıklarının ömürleri boyunca maalesef nadiren uygulanmaktadır. İhale tekliflerini değerlendirirken çoğu zaman ilk yapım/İNŞAAT maliyetlerine odaklanan yetkili makamlar, daha dayanıklı ve daha az bakım gerektiren çözümlerin sağlayabileceği maliyet tasarruflarını göz ardı etmektedir. Yeni Direktifler ise Üye Devletlere kendi alım usullerini güncelleyerek, ülkedeki vergi mükelleflerinden toplanan vergi gelirlerini daha tasarruflu bir şekilde kullanma ve çevreyi daha çok gözetme imkânı tanımaktadır. Buna ilaveten, daha şeffah ihale süreçlerinin ihalelerde sağlıklı bir rekabet ortamını teşvik ederek yetkili makamlar açısından maliyetleri azalttığı da bilinmektedir.

EUPAVE; maliyet etkinliği yaklaşımını kullanarak kaynakları daha verimli bir şekilde kullanmak ve daha sürdürülebilir bir altyapıya kavuşmak isteyen tüm üyelerine ve Avrupa Birliğindeki tüm ihale makamlarına, teknik uzmanlığını ve bilgi birikimini sunarak onlara yön göstermeyi kendine hedef biçmiş bir kuruluştur.

İşte bu nedenle EUPAVE, kaplamalarla ilgili hazırladığı bu yaşam döngüsü maliyet analizi (YDMA) kılavuzuyla, bu tür analizlerde uygulanması gereken yaklaşım ve iyi uygulamalar hakkında genel bir anlayış sunmayı amaçlamaktadır.

Bu vesileyle kılavuzun yazarı olan YDMA danışmanı Manu Diependaele'ye de özellikle teşekkürlerimi sunmak isterim. Bay Diependaele, konuyla ilgili çok sayıda kaynak ve bilgiyi gözden geçirip derleyerek bunları Avrupa'da izlenen usul ve esasları anlatan yeni, kolay anlaşılır, kısa ve öz bir kılavuza dönüştürmüştür. Kendisi ayrıca konuya ilgi gösteren karayollarından sorumlu yetkili makamlara da destek ve danışmanlık hizmetleri sunmaktadır.

Amerikan Beton Kaplama Derneği (ACPA) ile Federal Karayolları İdaresi (FHWA) kurumunda çalışan tüm Amerikan meslektaşlarıma, YDMA konusundaki engin deneyimlerini bizlerle paylaştıkları için ve bize hem iyi belgelenmiş hem de görsel içerik açısından zengin kılavuzlarla sağladıkları rehberlik için EUPAVE adına şükranlarımı sunarım.

Umut ederim ki bu kılavuzu beğenerek okursunuz ve sağladığı bilgileri ileride yapmayı planladığınız yatırım kararlarında kullanma fırsatına sahip olursunuz.



¹ Avrupa Parlamentosu ve Konseyinin 2004/18/EC sayılı Direktifin yerini alan 2014/24/EU sayılı ve 26 Şubat 2014 tarihli Kamu Alımları Direktifi; Avrupa Parlamentosu ve Konseyinin 2004/17/EC sayılı Direktifinin yerini alan 2014/25/EU sayılı ve 26 Şubat 2014 tarihli Su, Enerji, Ulaşım ve Posta Hizmetleri Sektörlerinde Faaliyet Gösteren Kurumlar Tarafından Yapılan Alımlar Direktifi; ve 2014/23/EU sayılı ve 26 Şubat 2014 tarihli İmtiyaz Sözleşmeleri Direktifi.

1 - KAPSAM

Dünya çapında, YDMA konusunu farklı düzeylerde detaylandırarak ele alan çok sayıda yayın bulunmaktadır.

Bu yayınlarda, YDMA için genel olarak aynı temel ilkelere ve yaygın kabul görmüş prosedürlere yer verilmektedir. Söz konusu usul ve esaslar aslında her türlü altyapı varlığına uygulanabilmektedir. Bu yayının amacı ise, kaplama alanında uygulanan temel usul ve esasların özünü, kullanılan kaplama malzemesi ve ilgili karayolları idaresi ve ülkeden tamamen bağımsız bir şekilde vurgulamaktır.

YDMA, aşağıdaki iki yaklaşımdan biri benimsenerek gerçekleştirilir:

- Belirleyici (deterministik) yaklaşım
- Olasılıkçı (probabilistik) yaklaşım (Risk Analizi Yaklaşımı olarak da bilinir)

Ayrıca YDMA'larda başlıca iki tür maliyet söz konusudur:

- Kurum maliyetleri
- Kullanıcı maliyetleri

Bu yayının kapsamında:

- Belirleyici yaklaşım ayrıntılı bir şekilde anlatılacak; olasılıkçı yaklaşımın esaslarına ise çok kısaca değinilecektir.
- Başlangıçtaki ve gelecekte ortaya çıkacak kurum maliyetleri hem teorik açıklamalarla hem de somut örneklere ele alınacak olup, kullanıcı maliyetleri sadece genel ve teorik bir şekilde anlatılacaktır.

Bu yayında hem belirleyici yaklaşım hem de kurum maliyetleri konuları, herhangi bir uzmanın sadece bu EUPAVE yayınında anlatılan standart YDMA yöntemini uygulayarak ve bir Excel tablosundan faydalanarak YDMA yapmasına imkan tanıyacak kadar ayrıntılı bir şekilde anlatılacaktır. Söz konusu yöntemin kullanıcı maliyetleri ve/veya risk analizi konularını da kapsayan daha ileri düzey uygulamaları için, bu amaca uygun (ve piyasada bulunabilen) yazılımların kullanılması daha yerinde olacaktır.

Bahsi geçen uygulamalar için hangi özel yazılımların kullanılması gerektiği de bu yayında belirtilmektedir.

Bu yayının genel olarak aşağıda belirtilen yapıya göre ilerlemektedir:

- Bölüm 1. Kapsam
- Bölüm 2. Giriş
- Bölüm 3. YDMA için Standart Yöntem
- Bölüm 4. Özel Konular
- Bölüm 5. YDMA Örnekleri
- Bölüm 6. Kaynaklar

Bu yayının kısa ve öz bir konseptte göre hazırlanmış olması nedeniyle, YDMA yöntemine ilişkin denklemler sadece yöntemin yeterince anlaşılmasını sağlayacak kadar anlatılmaktadır.

Bu yayının hazırlanışında kullanılan başlıca kaynaklar ise Bölüm 6'da sıralanmaktadır. Metnin genel akışında ise ilgili kaynaklara, sadece gerekli görüldüğü yerlerde veya kaynaklardan doğrudan alıntı yapıldığı noktalarda atıfta bulunulacaktır.

Bu yayında anlatılan YDMA yöntemi de esas olarak Kaynak 1'den, bir miktar da Kaynak 2'den elde edilen bilgilere dayanmaktadır. Gerekli görüldüğü yerlerde konuyla ilgili tablo ve grafikler de bu kaynaklardan alınmıştır.

2 - GİRİŞ

1. YAŞAM DÖNGÜSÜ MALİYET ANALİZİ - GENEL HUSUSLAR

Yaşam Döngüsü Maliyet Analizinin (YDMA) Tanımı

YDMA, sağlam temelli ekonomik ilkelere dayanan ve birbirlerine rakip alternatif yatırım seçeneklerinin uzun vadeli ekonomik randımanını değerlendirmek amacıyla kullanılan bir analiz tekniğidir. YDMA yaklaşımı farklı altyapı varlıklarına ve geniş bir yelpazedeki yatırım kararlarına uygulanabilmektedir. Kaplamalar için YDMA, genel olarak belli bir analiz süresi boyunca birbirlerine rakip kaplama tasarımlarının karşılaştırılması amacıyla gerçekleştirilmektedir. Bu karşılaştırma; kaplamanın ömrü boyunca bugün ve gelecekte ortaya çıkacak tüm önemli maliyetleri (kurum ve kullanıcı maliyetleri ile beraber diğer anlamlı maliyetleri) göz önünde bulundurarak ve tüm maliyetleri bugünkü değerleriyle ifade ederek gerçekleştirilmektedir.

Kaplama ağlarının çoğunlukla asfalt veya beton kaplamalardan oluşması sebebiyle çoğu zaman bu iki kaplama türüne uygulanan YDMA'lara ve bunlar arasında yapılan karşılaştırmalara odaklanmaktadır. Ancak YDMA'lar, aynı tür kaplamalara uygulanan farklı tasarım seçeneklerinin ekonomik değerini değerlendirmek ve bunları birbirleriyle karşılaştırmak için de kullanılabilir.

YDMA sonuçlarının amacı ve önemi

Prensip olarak, kaplamalar için YDMA uygulamasının temel amacı, ilgili yatırımın en iyi getiriyi elde etmesini sağlayacak tasarım stratejisini tespit etmektir. Bu stratejiyi belirlerken, uygulanacak kaplama türü için istenilen performans düzeyini uzun vadede en düşük maliyetle sağlayabilecek yaklaşım tercih edilir. Ancak YDMA'nın sonuçları mutlak bir şekilde yorumlanmamalıdır. YDMA sonuçları kendi başlarına bir karar sunmazlar; ancak karar alma süreçlerine yardımcı olurlar. YDMA'nın kendisinin de analitik bir şekilde değerlendirilmesi, çoğu zaman YDMA'nın nihai sonuçları kadar önemlidir.

Girdi parametrelerinin etkisi

Her bir YDMA etkeninin analiz sonuçları üzerindeki göreceli etkisi büyük, küçük veya önemsiz olabilir. YDMA'ya dâhil edilen ayrıntı miktarı, alınması düşünülen yatırım kararının niteliği/seviyesi ile uyumlu olmalıdır. Örneğin gelecekte ortaya çıkacak maliyetlerdeki küçük farklılıkların iskontolu bugünkü değer üzerindeki etkisi sınırlıdır. Bu tür etkenlerin dâhil edilmesi analiz sonuçlarında somut bir iyileşme sağlamadığı gibi analizin yapılmasını da gereksiz yere zorlaştırmaktadır. Tüm etkenlerin her analize dâhil edilmesinin verimli sonuçlar doğurduğu nadiren gözlemlenir. YDMA'yı gerçekleştirirken analistler, analize dâhil edilebilecek tüm etkenleri inceleyip hangilerinin dahil edileceğini belirlemeli ve dahil edilmeyen etkenler için bunun gerekçelerini sunmalıdır. Bu tür açıklamalar, analiz sonuçları eleştirmenler tarafından incelendiğinde ve bu sonuçlardan memnun kalmadıklarında sonuçların dayanağının izah edilip savunulmasını kolaylaştıracaktır.

2. YAKLAŞIMLAR

YDMA, iki farklı yaklaşımdan biri kullanılarak gerçekleştirilebilir: belirleyici yaklaşım veya olasılık yaklaşım.

- YDMA'yla ilgili prosedür ve teknikleri girdi parametrelerindeki değişkenliği hesaba katmadan uygulayan belirleyici yaklaşım, bu iki yaklaşımdan basit ve geleneksel olanıdır. Bu yaklaşımda girdi parametreleri analize ayrı değerler olarak dâhil edilmektedir ve bu yaklaşımın en büyük dezavantajı budur.
- Risk Analizi Yaklaşımı olarak da bilinen olasılık yaklaşım, belirleyici yaklaşımla aynı temel yöntemsel adımlara dayanmakla birlikte belirsizlik kavramını tüm giriş parametrelerinin aynı anda değişiklik göstermesine imkân tanıyacak şekilde tanımlamaktadır.

Günümüzde belirleyici yaklaşım daha çok kullanılıyor olmakla birlikte, hem bilgisayar simülasyonları sayesinde günümüzde daha erişilebilir hale geldiği için hem de girdi parametrelerinin değişkenlik gösterebileceği gerçeğini daha iyi yansıtması sebebiyle Risk Analizi Yaklaşımı, daha çok tavsiye edilmektedir.

3. YDMA İÇİN EKONOMİK DEĞER GÖSTERGESİ

YDMA sırasında değerlendirilen seçenekler/ alternatifler ortak bir ekonomik değer ölçüsü kullanılarak karşılaştırılmaktadır. Bir yatırımın ekonomik değeri farklı şekillerde ifade edilebilmektedir. Kaplamalar için YDMA uygulamalarında farklı yatırım seçenekleri çoğu zaman Net Bugünkü Değer (Net Present Value, NPV) veya Yıllık Eşdeğer Tekdüzen Maliyet (Equivalent Uniform Annual Cost, EUAC) temelinde karşılaştırılmaktadır.

Bazı hallerde ise, bir seçeneğin net iskonto tutu faydalarının net iskonto maliyetlerine bölünmesi sonucunda elde edilen Fayda/ Maliyet (F/M) Oranı dikkate alınmaktadır.

Bazen Net Bugünkü Eder (Net Present Worth, NPW) olarak da adlandırılan **Net Bugünkü Değer (NPV)**; gelecekteki nakit akışlarının bugünkü iskonto tutu net parasal değerinden (diğer bir deyişle maliyetten, ör. bakım veya muhafaza maliyetlerinden), gelecekte gerçekleşecek ekonomik faydanın (ör. kalan değer) çıkarılmasıyla elde edilen değerdir.

Maliyet ve faydaların iskonto edilmesi ile amaçlanan, gelecekte farklı zaman aralıklarında ortaya çıkan nakit çıkışları (maliyetler) ile nakit girişlerini (faydalar) bugünkü değerlerine dönüştürerek ortak bir ölçüm birimi elde etmektir.

Gelecekteki tek seferlik bir nakit akışının (FC) bugünkü değerini (PV) hesaplamak için aşağıdaki basit denklem kullanılmaktadır:

$$PV = FC \times \left[\frac{1}{(1+D)^y} \right]$$

Bu denklemde,
PV = Bugünkü Değer
FC = Gelecekteki Nakit Akışı
 $f_{PV} = \left[\frac{1}{(1+D)^y} \right]$

(Bugünkü Değer faktörü olarak adlandırılmaktadır)
D = İskonto oranı
y = Gelecekteki tek seferlik nakit akışının (maliyet veya fayda olarak) gerçekleştiği

Kaplamalar için yapılan YDMA'larda reel iskonto oranı (yani r) kullanımının yaygın bir uygulama olduğu göz önünde bulundurulduğunda, gelecekteki farklı zaman aralıklarında ortaya çıkacak bazı nakit akışları (ve maliyetler ile faydalar) için net bugünkü değer (NPV) aşağıdaki genel denklemle ifade edilmektedir:

$$NPV = IC + \sum_{k=1}^Q FC_k \left[\frac{1}{(1+r)^{y_k}} \right] - RV \left[\frac{1}{(1+r)^p} \right]$$

Bu denklemde:

NPV = Kaplama seçeneğinin net bugünkü değeri

IC = Yapımın/İNŞAATIN İlk Maliyeti

FC_k = Faaliyetin Gelecekteki Maliyeti

RV = Kaplamanın Kalan Değeri (bir fayda oluşturur ve negatif maliyet olarak belirtilir)

r = Reel iskonto oranı

y_k = Faaliyetin gelecekte nakit akışı oluşturduğu yılın sıra numarası

Q = Toplam faaliyet sayısı

p = Analiz dönemindeki yıl sayısı

Farklı seçenekleri karşılaştırmak için kullanılabilen bir diğer ekonomik gösterge ise **Yıllık Eşdeğer Tekdüzen Maliyettir (Equivalent Uniform Annual Cost, EUAC)**.

EUAC, herhangi bir "x" seçeneğinin iskonto edilen tüm maliyet ve faydalarının analiz süresi boyunca her yıl aynı şekilde gerçekleşeceği varsayımıyla hesaplanan, bu maliyet ve faydaların net bugünkü değeridir. EUAC, bütçelerin yıllık bazda oluşturulduğu durumlar için daha uygun bir göstergedir.

EUAC'yi belirlemek için aşağıdaki yöntem kullanılmaktadır:

- İlk olarak gelecekteki maliyet ve faydalar belirlenir.
- Ardından NPV'yi EUAC'ye dönüştürebilmek için aşağıdaki denklem kullanılır:

$$EUAC = NPV * \left[\frac{r(1+r)^n}{(1+r)^n - 1} \right]$$

Bu denklemde:

r = Reel iskonto oranı

n = Gelecekte EUAC'nin tekrarlandığı yıl sayısı

NPV veya EUAC'den hangisi kullanılırsa kullanılсын, YDMA ile desteklenen kararın katma değeri yine aynı olacaktır.

NPV veya EUAC'den hangisinin kullanılacağına ise analizi yapan kişi karar verir. Karar vericilerin yıllık olarak hesaplanmış maliyetler kullanmaya daha alışkın olduğu hallerde EUAC'nin kullanılması, analiz sonuçlarının yorumlanması açısından daha faydalı bir yaklaşım olacaktır. Yıllık olarak hesaplanmış bir tutar sunması sebebiyle EUAC, değişik kaplama seçenekleri arasındaki farklılıkların boyutunu PV kadar iyi vurgulamayabilir ve hatta nakit akışları arasında suni bir eşitlik/benzerlik olduğu izlenimi yaratabilir. Buna rağmen EUAC yine de karar vericilerin, belirli bir tasarım seçeneğinin analiz süresi boyunca kurumun kaynaklarını nasıl etkilediğine dair genel bir izlenime sahip olmasını sağlayabilir, özellikle de söz konusu proje tahvillerle finanse ediliyorsa [Kaynak 5].

4. YDMA İÇİN MALİYET TAHMİNLERİ VE İSKONTO ORANLARI

Şu ana kadar gösterilen denklemlerde, aşağıda sıralanan iki ekonomik girdi parametresi YDMA sonuçları açısından büyük önem taşımaktadır:

- Birbirleriyle rekabet eden her kaplama seçeneği için, ilk yapım faaliyetleri ile gelecekte yapılacak her periyodik bakım ve iyileştirme faaliyetlerine ilişkin maliyet tahminleri.
- Paranın zaman içindeki değerini gösteren ve gelecekteki nakit akışlarını bugünkü değerlere dönüştüren iskonto oranı.

Maliyet tahminleri

Gelecekteki maliyet ve faydalar için tahminler iki şekilde yapılabilir: "sabit" nakit akışları ya da "nominal" nakit akışları kullanarak.

"Reel nakit akışları" olarak da bilinen "sabit nakit akışları", alım gücü zamanla değişmeyen veya sabit kalan nakit akışlarıdır. Buna göre belirli bir faaliyeti gerçekleştirmenin ortaya çıkaracağı maliyet, söz konusu faaliyetin gerçekleştirildiği yıla göre değişiklik göstermeyecektir. Örneğin derzli donatısız beton kaplamanın (DDBK) maliyeti bugün 40,00 €

ise, gelecekte kullanılacak DDBK'nın maliyet tahminleri için de 40,00 € değerinin kullanılması gerekecektir.

NNominal nakit akışları ise, alım gücü zamanla göre değişiklik ve dalgalanma gösteren nakit akışlarıdır. Nominal nakit akışları genellikle, gelecekte ortaya çıkacak enflasyon kaynaklı genel fiyat artışlarını hesaba katmak için kullanılmaktadır. Nominal nakit akışları kullanılırken, gelecekte yapılacak belirli bir faaliyetin tahmini maliyeti, söz konusu faaliyetin gerçekleştirildiği yıla göre değişiklik gösterecektir. Buna göre eğer DDBK'nın bugünkü maliyeti 40,00 €/m² ve enflasyon oranı da %3 ise, DDBK'nın tahmini maliyeti bundan bir yıl sonra 40,00 €/m² x 1,03, yani 41,20 €/m² olacaktır.

İskonto oranları

TYDMA'da iskonto oranı olarak ya "sabit" iskonto oranı (çoğu zaman "reel" iskonto oranı olarak adlandırılmaktadır) ya da "nominal" iskonto oranı kullanılmaktadır.

Reel faiz oranı olarak da bilinen reel iskonto oranı, mühendislik ekonomisi alanında sıklıkla kullanılan bir kavramdır ve hem nominal faiz oranındaki hem de enflasyon oranındaki dalgalanmaları hesaba katarak paranın gerçek değerinde zaman içerisinde meydana gelen değişim oranını yansıtmaktadır. Reel iskonto oranları, sabit nakit akışlarıyla ifade edilen geleceğe ilişkin maliyet tahminleriyle birlikte kullanılmalıdır.

Nominal iskonto oranı ise enflasyon bileşenini de içeren bir orandır. Nominal iskonto oranları, sadece nominal nakit akışlarıyla ifade edilen geleceğe ilişkin maliyet tahminleriyle birlikte kullanılmalıdır.

Reel iskonto oranı aşağıdaki matematiksel formül kullanılarak hesaplanmaktadır:

$$r = \frac{1 + i_{\text{int}}}{1 + i_{\text{inf}}} - 1$$

Bu denklemde:

r = Reel iskonto oranı, %

i_{int} = Nominal faiz oranı

(piyasa faiz oranı olarak da bilinir), %

i_{inf} = Enflasyon oranı, %

Reel iskonto oranı "r", faiz oranının enflasyon oranını geçtiği durumlarda aşağıdaki yöntem kullanılarak da tahmin edilebilir:

$$r \approx i_{int} - \dot{i}_{int}$$

Yüksek reel iskonto oranları, ilk maliyetleri düşük olup gelecekteki maliyetleri yüksek olan seçenekleri (asfalt kaplamaları buna en uygun örneklerdendir) daha avantajlı kılarlar; düşük iskonto oranları, ilk maliyetleri yüksek olup gelecekteki maliyetleri düşük olan seçenekleri (beton kaplamalar buna en uygun örneklerdendir) daha avantajlı kılmaktadır.

Dikkat Edilmesi Gereken Noktalar

Her ne kadar YDMA'nın sabit ya da nominal nakit akışlarıyla gerçekleştirilmesi mümkün olsa da, dikkat edilmesi gereken iki nokta söz konusudur:

1. Herhangi bir YDMA uygulamasında, sabit ve nominal nakit akışları aynı analiz çerçevesinde birlikte kullanılmamalıdır (diğer bir deyişle tüm maliyetler ya sabit nakit akışları olarak ya da nominal nakit akışları olarak ifade edilmelidir).
2. İskonto oranının seçimi (bundan sonraki bölümlerde ele alınacaktır), kullanılan nakit akışı türüyle tutarlı olmalıdır (diğer bir deyişle, sabit nakit akışı kullanıldığında reel iskonto oranları, nominal nakit akışı kullanıldığında ise nominal iskonto oranları kullanılmalıdır).

Yaygın uygulama

Karayollarından sorumlu çoğu kurumun mevcut uygulaması, YDMA'yı gerçekleştirirken sabit nakit akışlarını kullanmak ve bununla birlikte, "genel iskonto oranı" olarak da adlandırılan tek bir reel iskonto oranı kullanmak şeklindedir. Bu ikisinin birlikte uygulanması, enflasyon bileşenini tahmin edip onu bugünkü değer hesaplamalarına dâhil etme ihtiyacını ortadan kaldırmaktadır. Bu sayede analizi yapan kişi, gelecekte yapılacak periyodik bakım ve iyileştirme maliyetlerini hesaplamak için malzemelerin bugünkü maliyetlerini kullanabilmekte, bu da maliyet hesaplamalarını büyük ölçüde kolaylaştırmaktadır.

Bu hesaplama yaklaşımı ayrıca bölgeye veya malzemeye özgü reel iskonto oranlarının hesaplanmasıyla ilişkili zorlukların ortada kaldırılması amacıyla da sıklıkla kullanılmaktadır. Bu yaklaşım malzemelerin fiyatlarındaki değişiklikleri hesaba katarak, YDMA sonuçlarının iyileştirilmesini sağlamaktadır. Bunun nasıl yapılabileceği "Özel Konular" başlıklı Bölüm 4'te anlatılmaktadır.

3 - YDMA İÇİN STANDART YÖNTEM

Bu bölümde Yaşam Döngüsü Maliyet Analizi (YDMA) sırasında izlenen yöntemsel adımların esasları, belirleyici (deterministik) yaklaşım olarak adlandırılan yaklaşıma göre kısaca anlatılmakta ve tanımlanmaktadır.

Bu çerçevede uygulanan temel yöntemsel adımlar ise şunlardan oluşmaktadır:

1. Alternatif kaplama tasarım stratejilerinin belirlenmesi ve analiz süresinin seçilmesi
2. Performans dönemleri ile faaliyetlerin zamanlamasının belirlenmesi
3. İskonto oranının belirlenmesi
4. Kurum maliyetlerinin tahmin edilmesi
5. Kullanıcı maliyetlerinin tahmin edilmesi
6. Nakit akışıyla ilgili akış şemaları oluşturulması / net bugünkü değer hesaplanması
7. Sonuçların analiz edilmesi ve hassasiyet analizi gerçekleştirilmesi
8. Tasarım stratejilerinin yeniden değerlendirilmesi

Bu adımlar genelde birbirlerine ardışık olmakla birlikte, adımların sıralaması YDMA'nın özel ihtiyaçlarını karşılayacak şekilde değiştirilebilir. Bu adımların her biri aşağıdaki bölümlerde ele alınmaktadır.

1. ALTERNATİF KAPLAMA TASARIM STRATEJİLERİNİN BELİRLENMESİ VE ANALİZ DÖNEMİNİN SEÇİLMESİ

YDMA'nın başlıca amacı, kaplamanın tasarımıyla ilgili olarak alınan ilk kararların, önceden belirlenmiş kabul edilebilir asgari hizmet seviyesinin belirli bir süre boyunca muhafaza edilebilmesi için gereken periyodik bakım ve iyileştirme faaliyetlerinin gelecekteki maliyetlerini uzun vadede nasıl etkilediğini ölçüp belirlemektir.

Farklı kaplama tasarımlarına ilişkin bir YDMA yapılması için gerçekleştirilmesi gereken ilk adım, incelenmekte olan analiz dönemi için farklı kaplama tasarım stratejileri tanımlamaktır.

Analiz Süresi

"Analiz Süresi", ilk maliyet ve gelecekteki maliyetin değerlendirildiği zaman ufku anlamını taşımaktadır. Şekil 3-1'de de gösterildiği üzere, analiz süresi esasında tasarım süresinden veya performans ömründen farklı bir kavramdır.

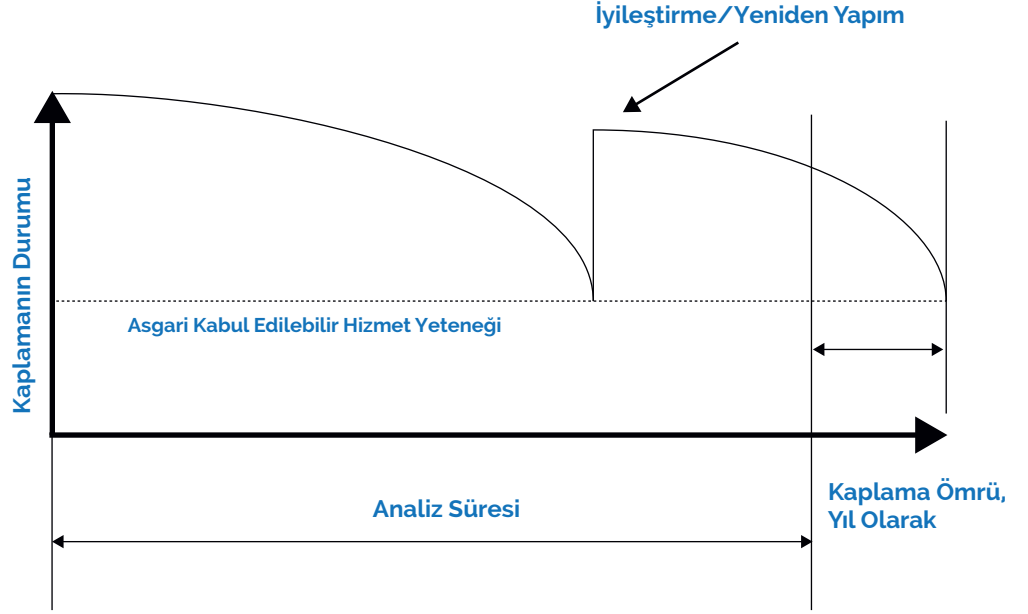
Analiz süresi, makul tasarım stratejileri arasındaki uzun vadeli maliyet farklılıklarını yansıtabilecek kadar uzun olmalıdır. Çok uzun ömürlü kaplamaların kullanıldığı durumlar haricinde, analiz süresi her zaman kaplamanın tasarım süresinden (yani ilk performans ömründen) daha uzun olmalıdır.

Genel kural olarak analiz süresi en az bir iyileştirme faaliyetini kapsayacak kadar uzun olmalıdır. FHWA tarafından 1996 yılının Eylül ayında yayınlanan Nihai YDMA Politika Belgesi, tüm kaplama projeleri için en az 35 yıllık bir analiz süresi önermektedir. Bahsi geçen kaplama projeleri, yeni projelerin ve yeniden yapım projelerinin yanı sıra iyileştirme, onarım ve yeniden kaplama projelerini kapsamaktadır [Kaynak 1]. ACPA ise, incelenen her kaplama seçeneği için en az bir büyük iyileştirme veya yeniden yapım faaliyetinin değerlendirilebilmesi için 45 ila 50+ yıllık analiz süreleri önermektedir [Kaynak 2].

Bazı durumlarda ise analiz süresinin daha kısa tutulması uygun olabilir - özellikle var olan bir kaplama tamamen yeniden yapım edilene kadar zaman kazanmak adına, geçici kaplama tasarımı seçeneklerinin geliştirilip uygulandığı hallerde (örneğin 10 ila 15 yıllık süreler için). Ayrıca seçeneklerden biri veya birkaçı için kalan hizmet ömrünü tahmin etme ihtiyacını ortadan kaldırmak adına bazı durumlarda, analiz süresinin uzunluğunda küçük değişiklik ve uyarlamalar da yapılabilmektedir. Örneğin bir veya birden fazla seçenek stratejisinin asgari kabul edilebilir hizmete elverişlilik süresinin 44 yıl olması durumunda, 44 yıllık bir analiz süresi belirlenebilir. Bu tür uyarlamalar yapılması uygundur, çünkü analiz süresi de tıpkı diğer parametreler gibi tahminlere dayanarak belirlenen bir unsurdur.

Ancak analiz süresinin uzunluğu ne olursa olsun, analiz kapsamında değerlendirilen tüm seçenekler için aynı analiz süresi kullanılmalıdır.

Şekil 3-1. Kaplama tasarımı seçeneği için analiz süresi

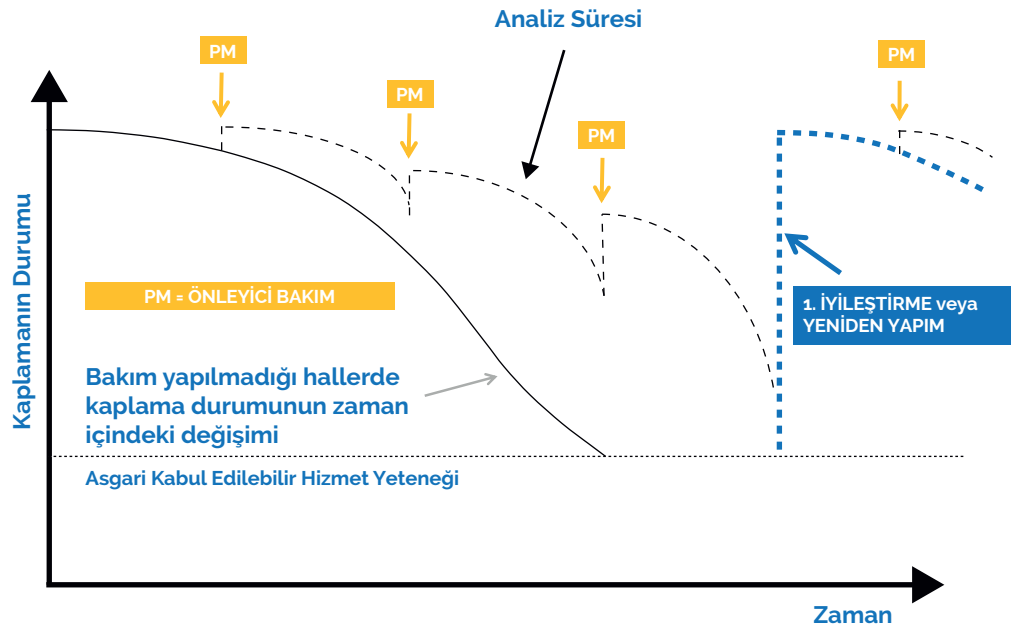


Çoğu zaman değerlendirilen seçeneklerin performans ömürleri birbirlerininkinden farklı olmakta, bu nedende de karşılaştırılan seçeneklerin bir veya birkaç tanesinin performans ömrü belirlenen analiz süresinin bitiminden daha uzun olabilmektedir. Bu seçeneklerde, kaplama yapısı için bir miktar Kalan Hizmet Ömrü (Remaining Service Life, RSL) bulunması muhtemeldir. Bu belgenin daha sonraki bölümlerinde anlatıldığı üzere, RSL değerinin YDMA'ya çeşitli yöntemler aracılığıyla dâhil edilmesi mümkündür.

Şekil 3-1, bir kaplama tasarımı seçeneği için tipik/normal analiz süresini göstermektedir.

Şekilde gösterilen eğri, YDMA'yla ilgili yayınlarda sıklıkla kullanılan ve önleyici bakım uygulandığında kaplamanın durumunun zamanla nasıl değiştiğini gösteren basitleştirilmiş ve teorik bir tasvirdir. Kaplamanın durumunun zaman içinde kademeli olarak nasıl değiştiği aşağıda Şekil 3-2'de şematik olarak gösterilmektedir.

Şekil 3-2. Önleyici bakım ve iyileştirme/yeniden yapım çalışmaları uygulandığında kaplama durumunun zamanla nasıl değiştiğini gösteren şema



Kaplama Tasarım Stratejileri

Bir **Kaplama Tasarım Stratejisi**, kaplamanın ilk tasarımı ile gelecekte gerekli olacak destekleyici bakım ve iyileştirme faaliyetlerinin birleşiminden meydana gelen bir stratejidir.

Bir kaplama tasarım stratejisi normalde aşağıdaki bileşenlerden oluşmaktadır:

- Kaplama türü ve yapısı ile ilk tasarımın beklenen ömrünü (performans ömrünü) tanımlayan ilk kaplama tasarımı.
- Öngörülen ilk tasarım ömrünün tamamlanabilmesi için gelecekte yapılması gereken bakım faaliyetleri.
- Gelecekte yapılacak iyileştirme/yeniden yapım faaliyetleri.

Bu adımdaki amaç, söz konusu faaliyetlerin kapsamını, zamanlamasını ve maliyetlerini belirlemektir. Kullanılan ilk kaplama tasarımına göre karayollarından sorumlu kurumlar, karayolu tesislerinin işler durumda kalmasını sağlamak için çeşitli bakım yöntemleri (önleyici bakım, acil bakım, vs.) ile birlikte iyileştirme ve yeniden yapım stratejileri uygulamaktadır.

Bu stratejilerin niteliği aşağıda sıralanan bazı etkenlere bağlıdır:

- Stratejinin kapsamı: önleyici bakım, iyileştirme veya yeniden yapım.
- Ülkeden ülkeye değişen koşullar: iklim, kullanılan malzemelerin türü ve bulunabilirliği, standart uygulamalar, geçmiş verilerin mevcudiyeti, vs.

Genelde kullanılan stratejiler, bu belgenin 5. Bölümünde örneklerle sunulmaktadır.

2. PERFORMANS DÖNEMLERİ İLE FAALİYETLERİN ZAMANLAMASININ BELİRLENMESİ

YDMA sonuçları, ilk kaplama tasarımı için öngörülen performans ömründen önemli ölçüde etkilenmektedir. Bu durum sonradan yapılan bakım ve iyileştirme faaliyetlerinin performans ömürleri açısından da geçerlidir. Performans ömrü ayrıca ilgili kurumun karayolu tesislerine hangi sıklıkla müdahale etmesi gerektiğini de doğrudan etkilemektedir. Bu müdahalenin sıklığı da, inşaat çalışmaları ile bakım ve iyileştirme çalışmaları sırasında hem kurum hem de kullanıcı açısından

ortaya çıkan maliyetleri etkilemektedir. Karayollarından sorumlu kurumlar, geçmiş deneyimlerden faydalanarak ve kaplama yönetimiyle ilgili verileri inceleyerek çeşitli kaplama stratejileri için spesifik performans kıstasları belirleyebilir. Eğer işletimsel kaplama yönetim sistemleri mevcutsa, bu sistemler kaplamaların durumu, performansı ve trafik hacmiyle ilgili bilgi ve analiz yöntemleri sağlayabilir ve bunlar kullanılarak kısa ve uzun vadeli sermaye projeleri ve bakım programları için maliyet etkin stratejiler oluşturulabilir. Performans ömürleri, karayollarından sorumlu kurumlarda çalışan kıdemli mühendislerin ortak deneyimlerine dayanarak da belirlenebilir [Kaynak 1]. Kaplama performansı hakkındaki çeşitli raporlarda da kaplama performansı ile ilgili spesifik bilgilere rastlamak mümkündür.

Ayrıca literatürde tarif edilen malzeme, teknik ve koşullar (iklim, trafik, vs.) ilgili ülkedeki yerel koşullarla ve incelenen kaplama seçenekleriyle karşılaştırılabilir olduğu ölçüde, literatürün gözden geçirilmesiyle de faydalı bilgilere erişmek mümkündür.

Tasarım stratejileri ve bunların performans ömürleriyle ilgili tipik örnekler için Kaynak 1'deki Tablo 2-1'e ve aşağıda Bölüm 5'te yer alan örneklere bakılabilir.

İlk yapım, bakım ve iyileştirme çalışmaları sırasında kurulan yol çalışması alanlarına ilişkin ihtiyaçlar, karayolu kullanıcısının maliyetlerini doğrudan etkilemekte olup bu ihtiyaçların, kaplama stratejisini oluşturma aşamasında tahmin edilmesi gerekmektedir. Söz konusu ihtiyaçların niteliği (örneğin sıklığı, süresi, önemi ve hangi yıllarda gerektiği), incelenen kaplama seçeneklerinin kullanıcı için oluşturduğu maliyetlerin belirlenmesi açısından kritik öneme sahiptir.

3. İSKONTO ORANININ BELİRLENMESİ

İskonto oranları, analiz sonuçlarını anlamlı bir şekilde etkileyebilmektedir. Buna karşın iskonto oranının gerçekçi bir şekilde belirlenmesi hiç de kolay değildir, çünkü bu oran (1) gelecekteki ekonomik trendler ve (2) uzun vadeli ufuk ile ilgilidir. Dolayısıyla gerçekleştirilen her YDMA'da, farklı iskonto oranlarının etkilerini değerlendirmek için bir hassasiyet analizinin yapılması tavsiye edilmektedir.

YDMA'lar, uzun süreler zarfında gerçekleşmiş geçmiş trendleri yansıtan makul iskonto oranları kullanılarak gerçekleştirilmelidir. Faiz oranları ve enflasyon oranları zaman içerisinde dalgalanma gösterir. Ancak bu oranlar arasındaki nispi fark, her zaman sabit kalmamakla birlikte fazla değişiklik de göstermemektedir. Bu oranlar arasındaki nispi fark, yaklaşık olarak Bölüm 2.4'te söz edilen reel iskonto oranına denk gelmektedir.

$$r \approx i_{int} - \dot{i}_{int}$$

ABD'de çok uzun süreler boyunca gerçekleşmiş tarihi eğilimlere bakılarak elde edilen veriler, paranın reel değerinin yaklaşık yüzde 3 ila 5 arasında değiştiğini, 1985 ile 2000 yılları arasında ise bu oranın ortalama yüzde 4 civarında seyrettiğini göstermektedir. Bu durum Şekil 3-3 ve Şekil 3-4'te de gösterilmektedir.

Reel iskonto oranının zaman içindeki değişimi

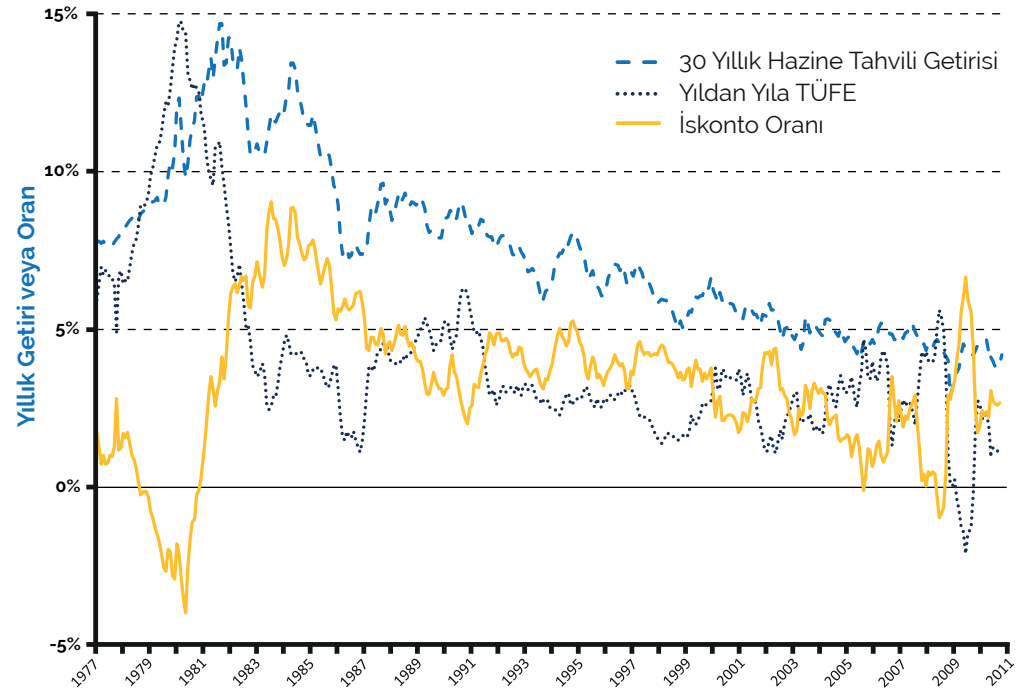
ABD'deki 50 eyaletin 39'unda yaklaşık 10 yıl önce gerçekleştirilen bir araştırma, ülkedeki farklı Devlet Karayolları İdarelerinin YDMA yaparken kullandıkları reel iskonto oranlarının <%3 ila %5 arasında değiştiğini ortaya koymuştur [Kaynak 2]. Bu bulgunun esas dikkat çeken noktası ise, aynı ülkenin benzer

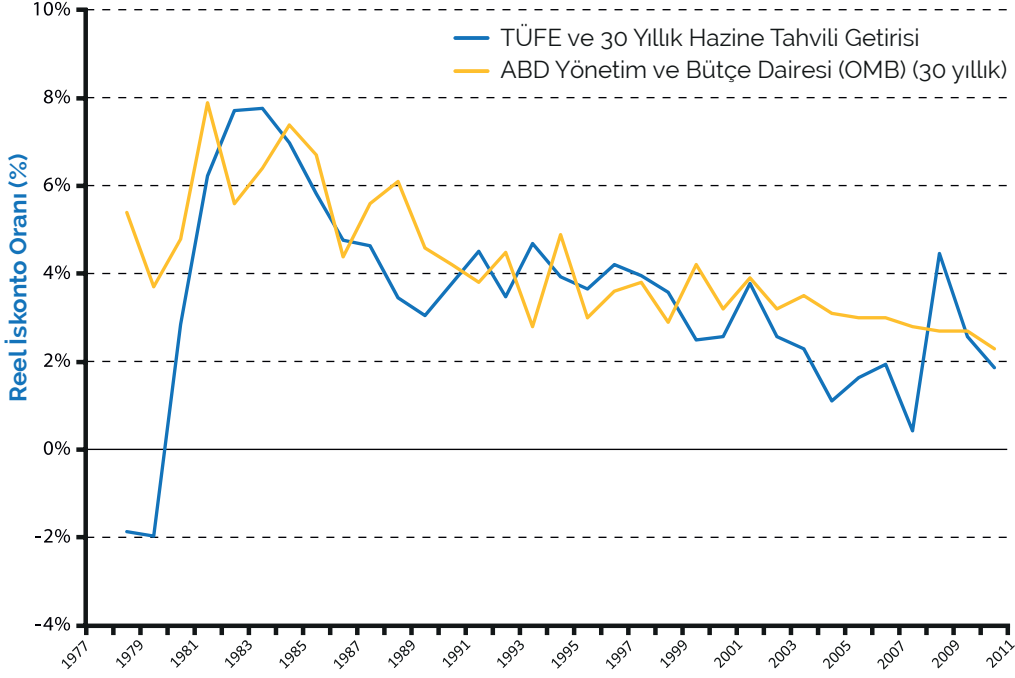
ekonomik koşullara sahip eyaletleri arasında dahi, kullanılan iskonto değerleri bakımından nispeten büyük farklılıklar olmasıdır.

Kaynak 2'de ayrıca ABD'deki reel iskonto oranlarının 2012'den önceki 5 yıl içerisinde ortalama %2,1'e kadar düştüğüne değinilmektedir, ki bu oranlar yukarıda bahsi geçen, geçmişte %4 düzeyinde olan oranın neredeyse yarısı kadardır. Buna benzer bir eğilim Avrupa ülkelerinde daha belirgin bir şekilde görülmektedir ve Avrupa Merkez Bankasının (ECB) yayınlarında da bu konudan bahsedilmektedir. Bu kaynaklarda ayrıca reel iskonto oranlarının ülkeden ülkeye, özellikle de Avrupa Ekonomik Alanına ait veya o alanla ticaret yapan ülkeler arasında fazla değişmediği de belirtilmektedir. Hem bu nedenlerden ötürü hem de reel iskonto oranının uzun vadeli yapısı ve bununla ilişkili belirsizlikler göz önüne alındığında, Avrupa ülkelerindeki ortalama koşullar altında %1 ila %3 arasında değişen reel iskonto oranlarının kullanılması günümüzde (diğer bir deyişle 2018 yılında) makul sayılabilir. Ancak belirleyici yaklaşımın kullanıldığı durumlarda reel iskonto oranındaki değişikliklerin bir hassasiyet analizine tabi tutulması gerekmektedir.

Şekil 3-4'teki iki grafiğin birbirleriyle nispeten uyumlu olduğu görülmektedir.

Şekil 3-3. 30 yıllık Hazine Tahvili Getirisi, Tüketici Fiyat Endeksinin (TÜFE) yıldan yıla değişimi ve bu ikisinden hareketle hesaplanan reel iskonto oranı [Kaynak 2]





Şekil 3-4. TÜFE ve 30 yıllık hazine tahvili getirisi esas alınarak hesaplanan yıllık reel iskonto oranları ile ABD Yönetim ve Bütçe Dairesi (OMB) tarafından belirlenen reel iskonto oranları [Kaynak 2]

4. KURUM MALİYETLERİNİN TAHMİNİ

Kurum maliyetleri, karayollarından sorumlu kurum için analiz süresi boyunca gerçekleşen tüm maliyetleri kapsamaktadır.

Kurum maliyetlerine genellikle şu maliyet kalemleri dahildir:

- Mühendislik, sözleşme yönetimi ve inşaat sürecinin gözetimine ilişkin ilk ve sonraki maliyetler;
- İlk yapım maliyetleri;
- Gelecekte yapılacak acil ve düzeltici bakım, önleyici bakım (ör. yeniden kaplama) ve iyileştirme-inşaat maliyetlerinin yanı sıra bunlarla ilişkili mühendislik maliyetleri ve idari maliyetler;
- Analiz süresi bitimindeki kalan değer;
- Yeniden Yapım maliyetleri.

Kurum maliyetleri ayrıca trafik akışının sağlanması/sürdürülmesi ile ilgili maliyetleri de kapsamaktadır ve duruma göre benzin istasyonu enerji maliyetleri, tünel aydınlatma ve havalandırma gibi maliyetleri de içerebilmektedir.

Genellikle acil ve düzeltici bakımlarla ilgili fazla veri bulunmaması nedeniyle bu bakımların gelecekteki maliyetlerini ve zamanlamalarını tahmin etmek kolay değildir. Ancak bu tür bakımlarla ilişkili maliyetler genelde çok yüksek değildir ve çoğu kaplama stratejisinde bu anlamda fazla bir değişiklik söz konusu değildir. Dolayısıyla bu maliyetler bugüne göre iskonto edildiğinde aralarında ortaya çıkan farklılıkların bugünkü değer üzerindeki etkisi sınırlı olmakta ve hatta bazen hiç hesaba katılmamaktadır.

Kurum maliyetlerinin tahmin edilmesindeki ilk adım, inşaat işlerinin hacminin ve bu işlerin birim fiyatlarının belirlenmesidir. Birim fiyatlar, daha önceleri yapılan benzer ölçekteki projelere ilişkin ihalelerde verilen tekliflerden yola çıkarak belirlenebilir. Eğer kaplama malzemeleri için malzemeye özgü enflasyon oranları hesaplamalara dâhil edilecekse, Bölüm 4'te anlatıldığı üzere bunun için uygun yöntemler kullanılmalıdır.

İlk kurum maliyetleri, kaplama maliyetleri ve kaplamayla ilgili olmayan maliyetler olarak ikiye ayrılabilir:

- Kaplama maliyetleri arasında yol tabanının hazırlanmasını; alttemel, temel ve yüzey malzemelerinin maliyetlerini; bunlarla ilişkili işçilik ve ekipman maliyetlerini, vs. saymak mümkündür.
- Kaplamayla ilişkili olmayan maliyetler ise, projenin toplam maliyetini etkilemekle beraber kaplamanın yapısıyla doğrudan ilintili olmayan maliyetlerdir. Bu tür maliyetler arasında farklı kot yükseklikleri nedeniyle yapılan dolgu ve kazı işlemlerini; trafik kontrollerini ve trafik işaretlerinin kullanımını; orta refüj ve dolgu şevlerini; yardımcı hizmetleri; bunlarla ilişkili işgücü ve ekipman maliyetlerini, vs. saymak mümkündür. İlk kurum maliyetleri, duruma göre projenin YDMA maliyetlerinin yüzde 50 ila 90'ını teşkil edebilmektedir.

YDMA karşılaştırmaları her zaman, birbirleriyle rekabet eden ve birbirini karşılıklı olarak dışlayan seçenekler arasında yapılmaktadır. Bir YDMA uygulaması kapsamında sadece seçenekler arasındaki fiyat farklılıkları dikkate alınmalıdır. Seçeneklerin tümünde bulunan ortak maliyetler birbirini dengelediği için, bunlar genelde sadece bilgilendirme amacıyla not edilip YDMA hesaplamalarına dahil edilmemektedir. Yine de bu tür maliyetlere YDMA raporunda açıkça atıfta bulunulması yerinde bir uygulama olacaktır.

Örneğin değerlendirilen tüm kaplama seçeneklerinde kullanılan alttemel veya temel aynıysa, bu tabakalara ilişkin maliyetler hesaplamalardan çıkarılabilir. Ayrıca tüm seçeneklerdeki mühendislik maliyetleri ve idari maliyetler benzer seviyelerde ise, bu maliyetler de ilk kurum maliyetlerine dâhil edilmeyebilir.

Var olan bir kaplamanın tamamen yeniden yapım edilmesini kapsayan bir projede, kaplamanın performans ömrünün sonunda ortaya çıkacak yıkım maliyetlerinin, diğer rakip seçenekler analiz edilirken göz önünde bulundurulmasına gerek yoktur, çünkü bu tür maliyetler genelde küçük olmakta ve/veya farklı seçenekler arasında fazla farklılık göstermemektedir.

Ayrıca kurum maliyetlerinin her zaman projenin tamamını (yani tüm maliyetlerini) yansıtması gerekmez; sadece genel fiyatları yansıtması da yeterli olabilir. Örneğin kaplama için kilometre başına kurum maliyetlerinin belirlenmesi, farklı seçeneklerin uygun bir şekilde karşılaştırılması açısından yeterli olabilir. Nitekim bu yaklaşım Anvers Çevreyolu için 2002 yılında yapılan YDMA'da uygulanmıştır [Kaynak 4].

Kalan Değer

Yeri geldiğinde, analiz süresinin sonunda kalan tahmini kalan değer negatif maliyet olarak hesaba katılmalıdır. Kalan değer genel olarak iki şekilde tanımlanmaktadır:

1. Kaplamanın ömrünün sonuna gelip geri dönüştürülmesi durumunda piyasada sahip olacağı net değer.
2. Analiz süresinin sonunda kalan hizmet ömrünün (RSL) değeri.

Kaplama iyileştirme stratejisi seçenekleri için yukarıdaki kalan değer tanımlarından hangisi kullanılırsa kullanılsın, tercih edilen tanım tüm seçeneklere aynı şekilde uygulanmalı ve analiz süresinin sonuna gelindiğinde ilgili kurumun kaplama yapısıyla ilgili neler yapmayı öngördüğünü gerçekçi bir şekilde yansıtmalıdır. YDMA kapsamında, kalan değerler yalnızca kaplama seçeneklerinin analiz süresi sonunda önemli ölçüde farklı kalan değerlere sahip olması bekleniyor ise dikkate alınmalıdır.

Geri dönüşüm kaynaklı kalan değer,

kaplamanın geri dönüştürülmesiyle elde edilen net değer anlamını taşımaktadır. Farklı kaplama tasarımı stratejilerinin kalan değerleri arasındaki fark genelde çok büyük olmamakta ve bu fark 35 yıl veya daha uzun süreler boyunca iskonto edildiğinde YDMA üzerindeki etkisi sınırlı olmaktadır.

Eğer kaplamanın analiz süresinin sonuna gelindiğinde geri dönüşüme tabi tutulacağı varsayılıyor ise, geri dönüşüm kaynaklı kalan değer, geri dönüşümü yapılan malzemelerin parasal değerinden, sökme ve geri dönüştürme maliyetlerinin çıkarılmasıyla elde edilir. Kaplama yapılarının geri dönüştürülmüş malzemeler olarak kalan değeri, farklı

kaplama seçenekleri arasında duruma göre farklılık gösterebilir veya göstermeyebilir.

Kalan hizmet ömrü kaynaklı kalan değer.

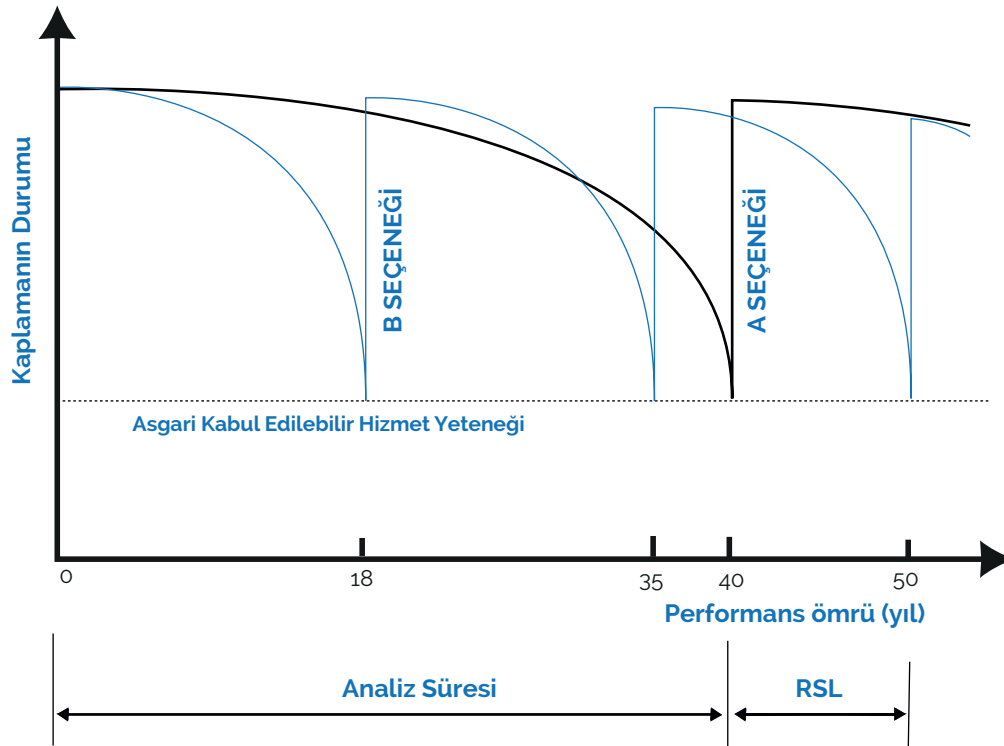
Kalan değerın nispeten daha önemli bileşeni olan kalan hizmet ömrü (RSL) kaynaklı kalan değer (RV), analiz süresinin sonuna gelindiğinde kaplamanın kalan ömrünü yansıtmaktadır. Bu değer esas olarak analiz süresinin bitiminde, farklı kaplama tasarım stratejileri arasındaki kalan kaplama ömrü farklılıklarını açıklamak için kullanılmaktadır.

FWHA [Kaynak 1], kalan değerın, yapılan son iyileştirme çalışmasının ömründen ne kadarlık bir süre kaldığına bakarak ve bu kalan sürenin son iyileştirme çalışmasının toplam maliyetine orantılanarak hesaplanmasını önermektedir. Örneğin 40 yıllık analiz süresinin sonunda (bkz. Şekil 3.5) "A seçeneği" hizmet verebilme süresinin sonuna gelirken, "B seçeneği" 35. yıla gelindiğinde 15 yıllık ömre sahip bir iyileştirme çalışması gerektirmektedir. Buna göre A seçeneği 40. yılda hizmet verebilme süresinin sonuna geldiği için, 40.

yıldaki performans ömrü de 0 olmaktadır. Buna karşın 35. yıla gelindiğinde B seçeneği kapsamında 15 yıllık ömre sahip bir tasarım iyileştirme çalışması yapılmakta, bu sayede de 40. yılda analiz süresinin sonunda gelindiğinde bu tasarım seçeneğinin halen 10 yıllık hizmet ömrü kalmaktadır. B seçeneğinin 40. yılda kalan hizmet ömrünün (RSL) değerini tahmin etmek için kullanılacak bir yöntem ise, analiz süresinin sonunda kalan hizmet ömrü bir yüzde olarak ifade edip (örneğin, 15 yıldan geriye 10 yıl kaldığı için %67), sonra da bu yüzdeyi 35. yılda B Seçeneği üzerinde yapılan iyileştirme çalışmasının maliyetiyle çarpmaktır. Bu yaklaşıma dair ayrıntılı bir örnek Tablo 3-1 ve Tablo 3-2'de verilmektedir.

RSL'nin hesaplanmasına yönelik bu yaklaşım, kaplama yapısının tamamına bir değer atfetmekten ziyade sadece son iyileştirme çalışmasına değer atfetmektedir. Bununla birlikte, RSL'nin tahmini için daha gerçekçi bir yaklaşım geliştirmeye yönelik alternatif yöntem arayışı da hâlihazırda devam etmektedir.

Şekil 3-5. A ve B Seçeneklerinin performans ömrü eğrilerinin şematik gösterimi



5. KULLANICI MALİYETLERİNİN TAHMİNİ

Bu yayının kapsamı gereği, kullanıcı maliyetleri konusu ayrıntılı bir şekilde ele alınmamıştır. Ancak analistlerin, yol çalışması alanlarında kullanıcı maliyetlerini etkileyebilen başlıca faktörleri yeterince kavramaları önemlidir. Çünkü bunların anlaşılması, gelecekte yapılacak iyileştirme çalışmaları sırasında karayolları kullanıcıları üzerindeki etkinin asgari düzeyde tutulmasına yardımcı olabilir. Bu nedenle, yol çalışması alanıyla ilgili olarak ortaya çıkan kullanıcı maliyetlerinin bileşenleri ile bu maliyetlerin tahminine yönelik temel prensipler aşağıda kısaca anlatılmaktadır.

Kullanıcı maliyetleriyle ilgili genel hususlar

Yol çalışması alanıyla ilgili olarak ortaya çıkan kullanıcı maliyetlerinin tahmini için kullanılan yöntemlere dair kapsamlı bir açıklama için Bölüm 2 ve 3'ün yanı sıra Kaynak 2'ye bakabilirsiniz.

En genel anlamıyla kullanıcı maliyetleri, projenin ömrü boyunca karayolu kullanıcıları açısından ortaya çıkan maliyetlerdir. YDMA kapsamında üzerinde durulan kullanıcı maliyetleri ise, kaplama tasarımıyla ilgili uzun vadeli kararlar ile bu kararların bakım ve iyileştirme açısından doğurduğu sonuçlar arasındaki farktan kaynaklanan marjinal kullanıcı maliyetleridir.

Kullanıcı maliyetleri üç farklı maliyet kaleminin toplamından oluşur:

- Taşıt işletme giderleri (Vehicle operating costs, VOC),
- Kullanıcı gecikme maliyetleri,
- Kaza maliyetleri.

"Normal işletim" kategorisi; inşaat, bakım ve/veya iyileştirme işlemleri yapılmadığı dönemlerde karayolu tesislerinin kullanılmasıyla ilişkili olarak kullanıcı açısından ortaya çıkan maliyetleri yansıtmaktadır. Bu kategorideki kullanıcı maliyetleri çoğunlukla taşıt işletme giderleri ile ilgilidir ve farklı kaplama seçeneklerinin performanslarındaki (özellikle düzgünlük ve yüzey kusurları) uzun vadeli değişikliklerden etkilenmektedir.

Genel bir kural olarak, normal işleyiş koşulları altında farklı kaplama tasarımları arasında gecikme maliyetleri ve kaza maliyetleri açısından fazla bir fark olmamaktadır. Dolayısıyla bu iki tür kullanıcı maliyetini hesaplamalar kapsamında göz ardı etmek mümkündür. Buna ilaveten kaplama performans seviyelerinin nispeten yüksek olduğu ve alternatif tasarım seçeneklerinin performans eğrileri benzer olduğu müddetçe, farklı tasarımlar arasında taşıt işletme giderleri açısından da fazla bir fark olmamaktadır. Bu koşullar altında taşıt işletme giderleri de göz ardı edilebilir. Bu yayın kapsamında, kullanıcı maliyetlerinin bu kategorisi daha fazla ele alınmayacaktır.

Yol çalışması alanının işletimi kategorisi ise yolun kapasitesini genel olarak kısıtlayan ve normal trafik akışını bozan inşaat, bakım ve/veya iyileştirme faaliyetleri sırasında karayolu tesisinin kullanılmasıyla bağlantılı olarak karayolu kullanıcıları açısından ortaya çıkan maliyetleri yansıtmaktadır. Bu maliyetler; inşaat, bakım ve iyileştirme çalışmaları nedeniyle karayolu kullanıcılarının karşılaştıkları artan taşıt kullanımı, gecikme ve kaza maliyetlerini temsil etmektedir.

Yol çalışması alanına ilişkin kullanıcı maliyetlerinin karmaşıklığı ve önemi

Kullanıcı maliyetlerinin yüksek kesintikle tahmin edilmesine ilişkin zorluk ve belirsizlik nedeniyle, karayollarından sorumlu kurumlar genellikle kullanıcı maliyetlerini bir bütün olarak ele almamakta veya sadece yol çalışması alanlarıyla ilgili kullanıcı maliyetlerini göz önünde bulundurmaktadır. Kaynak 2'ye göre, ABD'de 2011 yılında yapılan ve 40 eyaletin katıldığı bir araştırmada, bu eyaletlerin %50'sinden fazlasının YDMA yaparken kullanıcı maliyetlerini dikkate almadığı ortaya koyulmuştur.

Ancak yine de, en azından yol çalışması alanıyla ilgili kullanıcı maliyetlerinin değerlendirilmelere dâhil edilmesi önerilmektedir. Kullanıcı maliyetlerinin göz ardı edilmesi, bazı durumlarda ömrü fazlasıyla kısa kaplama seçeneklerinin kullanılmasına yol açabilmektedir. Örneğin kentsel ortamda yoğun kullanılan bir otoyolun her yedi yılda bir kapsamlı bir iyileştirme çalışmasının tabi

tutulmasını önermek makul bir yaklaşım değildir [Kaynak 2]. İleride yaşanabilecek gecikmeler ve değişen trafik akışının yönetimi, bugün uzun ömürlü bir kaplama seçeneğinin inşa edilmesinin maliyetinden daha büyük maliyetler getirebilmektedir. Fakat daha uzun ömürlü bir kaplama çözümünün bu gibi durumlarda en iyi seçenek olup olmadığının belirlenebilmesi için, ilk önce yol çalışması alanıyla ilgili kullanıcı maliyetlerinin rakamsal olarak değerlendirilmesi gerekmektedir.

Yol çalışması alanına ilişkin kullanıcı maliyetlerinin hesaplanması

Yol çalışması alanına ilişkin kullanıcı maliyetleri; yol çalışmaları nedeniyle taşıt kullanımı, gecikmeler ve kaza sayısındaki artış miktarının, bu bileşenlerin her biri için belirlenmiş birim maliyetlerle çarpılması sonucu elde edilir. Bu maliyetlere ilaveten bazı dolaylı kullanıcı maliyetleri de söz konusudur (örneğin gecikmelerden dolayı kargo filolarının büyüklüğünün, envanter yönetiminin ve teslimat zamanlarının etkilenmesi, vs.).

Yol çalışması alanına ilişkin kullanıcı maliyetleri için birim fiyatlar

Birim fiyatlarla ilgili ulusal verilerin mevcut olması önemlidir. Karayollarından sorumlu kurumun bu verilere sahip olmaması durumunda konuyla ilgili literatürdeki bilgiler de bir çözüm sunabilir. Birim fiyatlar çeşitli ekonomik kaynak ve yaklaşımlarla elde edilebilmektedir. Birim fiyatların geçmişteki fiyatları yansıttığı durumlarda, mevcut fiyatları daha iyi yansıttıkları şekilde artırılmaları gerekmektedir.

Yol çalışması alanıyla ilgili Taşıt İşletme Giderleri için birim fiyatlar şunları yansıtmalıdır:

- Taşıtların durması, yavaşlaması ve motoru çalışırken beklemesi nedeniyle ortaya çıkan maliyetlerin yanı sıra durma ve yavaşlama nedeniyle yaşanan gecikmeler;
- Trafiğin farklı bir güzergâhtan akması sebebiyle ortaya çıkan ilave yakıt tüketimi.

Gecikme Maliyetleri için birim fiyatlar, kullanıcının harcadığı zamanın parasal değerini yansıtmaktadır. Bu değerlerin nasıl belirlenmesi gerektiği son derece tartışmaya açık bir konudur. Bu nedenle de birim fiyatı belirlemek için farklı yaklaşımlar kullanılmaktadır.

Kullanıcı gecikme maliyetleriyle ilgili fiyatlar; ortalama ücret oranı, taşıt türü (kamyon veya araba), seyahat etme amacı (iş veya şahsi nedenlerle), yapılan seyahatin türü (yerel veya şehirler arası), taşıtların doluluk oranı, vs. gibi belirli faktörlerin bileşimine göre oluşmaktadır. Birim fiyat ise "fiyat/kışı-saat" cinsinden ifade edilir.

Kaza maliyetleri için birim fiyatlar; kullanıcının taşıtlarına ve/veya diğer taşıtlara ve/veya kamuya ya da şahıslara ait mallara gelen zarardan ötürü ortaya çıkan maliyetlerin yanı sıra kullanıcının veya diğer kişilerin yaralanmasıyla ilişkili maliyetleri kapsamaktadır.

Yol çalışması alanıyla ilgili kaza maliyetleri; farklı kaplama seçenekleriyle ilişkili trafik kontrol planları, inşaat yöntemleri ve inşaat çalışmalarına izin verilen zaman aralığına göre (ör. sabah veya akşam ya da hafta sonları dahil) bir kaplama seçeneğinden diğerine büyük değişiklik gösterebilmektedir. Uygulanan birim fiyatlar kaza türü (mala zarar veya fiziksel yaralanma) ve kazanın önem derecesine göre (ölümcül veya ölümcül olmayan) değişmekte ve kırsal alanlar ile kentsel ortamlarda farklı fiyatlar uygulanmaktadır.

Yol çalışması alanına ilişkin kullanıcı maliyetleri için miktarlar

Kullanıcı maliyeti bileşenlerinin miktarı/seviyesi aşağıdaki unsurlardan etkilenmektedir:

- Yol çalışması alanının özellikleri,
- Trafiğin özellikleri,
- Yol çalışması alanındaki akış koşulları.

Yol çalışması alanının özellikleri

Farklı özelliklerdeki veya özellikleri çalışmalar sırasında değişen her yol çalışması alanı (veya bu çalışmalardan etkilenen her trafik akışı), ayrı bir yol çalışması alanı olarak tanımlanıp incelenmelidir.

Farklı kaplama tasarımları arasındaki performans farklılıkları, gerekli bakım ve iyileştirme faaliyetlerinin sıklığını ve zamanlamasını doğrudan etkilemektedir. Kaplama bakım ve iyileştirme faaliyetleri genelde analiz süresinin farklı noktalarında ve trafiğin farklı düzeylerde olduğu dönemlerde gerçekleştirilir ve bu faaliyetlerin kapsamı ve süresi genellikle bir faaliyetten diğerine değişiklik gösterir. Ayrıca bakım ve iyileştirme çalışmalarının hangi zamanda gerçekleştirildiği bugünkü değer faktörünü de etkilemektedir.

Yol çalışması alanıyla ilgili kullanıcı maliyetlerinin analiz edilebilmesi için; kaplama tasarımı seçenekleriyle ilişkili yol çalışması alanının özelliklerinin bilinmesi ve destekleyici bakım ve iyileştirme stratejilerinde şu bilgilere yer verilmesi gerekir:

- İnşaat (ve yeniden yapım), bakım ve iyileştirme faaliyetlerinin sıklığı ve yılları;
- Yol çalışmasının kaç gün süreceğine (inşaat süresine) dair tahmin,
- Yol çalışmasının günün hangi saatlerinde ve haftanın hangi günlerinde yapılacağı;
- Trafik akımı stratejisinin nasıl sürdürüleceği ve yol çalışması alanının özelliklerinin nasıl korunacağı;
- Yol çalışması alanının uzunluğu, burada müsaade edilen hız;
- Açık kalan şeritlerin sayısı ve kapasitesi, kapatılan şeritlerin ne kadar süreyle kapatıldığı;
- Şeritlerin ne zamanlar kapalı olduğu (günün hangi saatleri, haftanın hangi günleri, yılın hangi mevsimi, vs.);
- Alternatif yolların mevcudiyeti ve bu yolların fiziksel ve trafik açısından özellikleri.

Çalışmalar sırasında trafik akışının korunmasına yönelik stratejilerde, yüklenicinin veya bakım ekiplerinin çalışma saatlerinde herhangi bir kısıtlamanın söz konusu olduğu zamanlara ve şerit kapatma kapasitelerine de yer verilmelidir.

Rutin tepkisel bakım (diğer bir deyişle acil ve düzeltici bakım) amaçlı yol çalışmaları nispeten nadiren gerçekleştirilmektedir ve trafik akışının zirve yaptığı saatlerin dışında yürütülmektedir. Bu nedenle analistler, daha çok önleyici bakım, iyileştirme ve yeniden yapım gibi büyük yol çalışması alanlarıyla ilişkili kullanıcı maliyetlerine odaklanmalıdır.

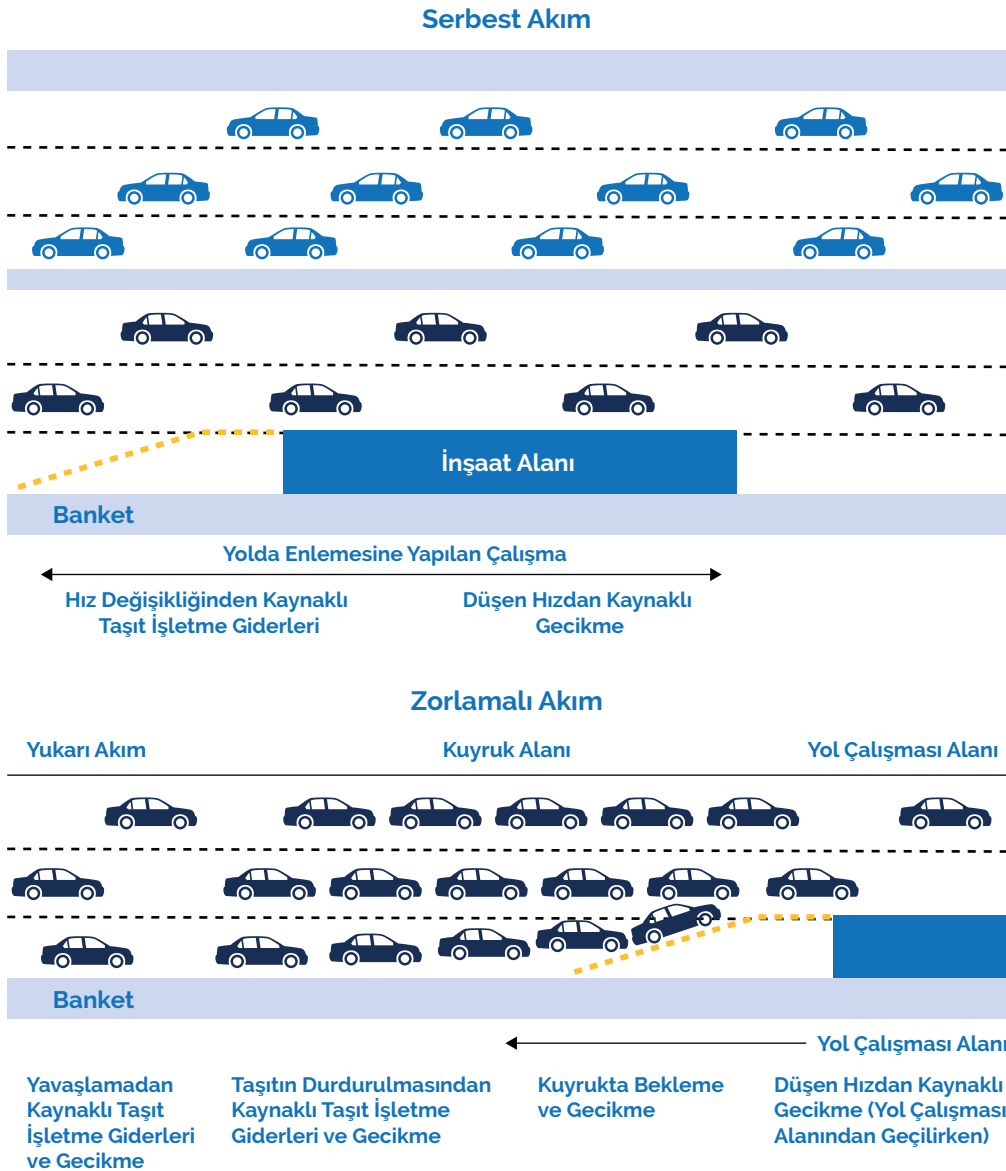
Trafiğin özellikleri

Kullanıcı maliyetleri, yol üzerinden geçen trafiğin hacmiyle ve özellikleriyle doğrudan ilişkilidir. Tüm inşaat, bakım ve iyileştirme faaliyetleri genel olarak yol üzerinden akan trafiği geçici bir şekilde etkilemektedir. Bu etki, düşük hacimli yollarda yapılan küçük yol çalışması alanları için önemsiz olabilirken, yüksek hacimli yollarda çok sayıda şeridin kapandığı çalışmalarda büyük boyutlara ulaşabilmektedir.

Çalışma yapılacak yollarda trafik ile ilgili olarak dikkat edilmesi gereken başlıca unsurlar şunlardır:

- Hem ilgili yoldan hem de alternatif yollardan geçeceği öngörülen toplam yıllık ortalama günlük taşıt (YOGT) hacimleri,
- Yol ihtiyacının 24 saat boyunca yön açısından göstereceği dağılım,
- Gerçekleşmesi öngörülen trafik akışlarındaki taşıt sınıflarının dağılımı.

Yüksek hacimli yollarda, hem hafta içi ve hafta sonu trafiği arasındaki fark hem de trafiğin saatlere göre dağılımındaki farklılıklar önemli boyutlara ulaşabilmektedir. Ayrıca trafik yoğunluğunun zirve yaptığı mevsimlerde tatil/dinleme yörelerine giden yollarda yol çalışmaları yapılması önerildiğinde, mevsimsel YOGT dağılımlarının da dikkate alınması önemlidir.



Şekil 3-6. Serbest Akım ile Zorlamalı Akım için Maliyet Bileşenleri (Hizmet Seviyesi F) [Kaynak 1]

Yol çalışma alanındaki akış koşulları

Kullanıcı maliyetlerini hesaplamak için kullanılan yöntemler, yol çalışması alanının özellikleri ile trafik akışının özellikleri bir arada değerlendirilerek, çalışma alanından geçen trafik akışına göre belirlenir (diğer bir deyişle Serbest Akım veya Zorlamalı Akım koşullarından hangisinin söz konusu olduğuna göre). Serbest akım koşullarıyla ilişkili üç adet kullanıcı maliyeti bileşeni, zorlamalı akım (kuyruk oluşumu) koşullarıyla ilişkili ise dört unsur mevcuttur. Bunlar Şekil 3-6'da gösterilmektedir [Kaynak 1].

6. NAKİT AKIŞ ŞEMALARININ OLUŞTURULMASI

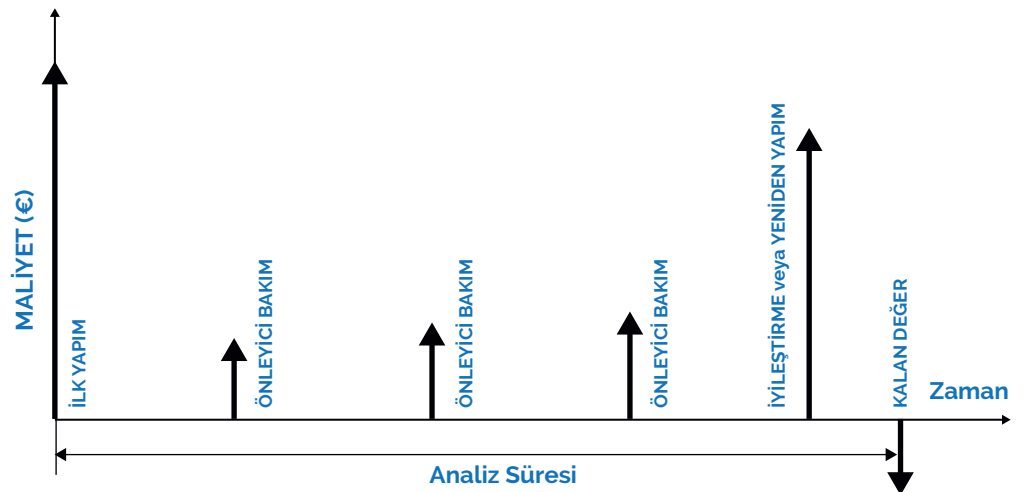
Nakit akış şemaları, zaman içinde gerçekleşen faaliyetler (ör. ilk yapım, önleyici bakım, yıkım, iyileştirme/yeniden yapım faaliyetleri) nedeniyle meydana gelen nakit girişleri ile nakit çıkışlarının grafiksel gösterimidir. Nakit akış şemalarının hazırlanması şart değildir, ancak nakit akışlarının hem miktar hem de zamanlama açısından daha iyi görülebilmesi adına çoğu zaman, incelenen her kaplama tasarım stratejisi için bu şemalar hazırlanmaktadır. Şekil 3-7'de standart bir nakit akış şeması gösterilmektedir.

Normalde bu şemalarda nakit çıkışları (maliyetler), gerçekleştikleri zamanlarda yukarı yönlü oklarla gösterilmekte, nakit girişleri (faydalar) ise aşağı yönlü oklarla negatif maliyetler olarak gösterilmektedir. Okların uzunluğu ise göreceli bir ölçeğe göre, nakit akışlarının gerçekleştiği yıldaki tutarlarını temsil etmektedir.

Kaplama tasarımı seçeneklerine YDMA yapılırken, herhangi bir yol için önceden belirlenmiş kaplama koşullarını muhafaza etmek amacıyla yürütülen tepkisel bakım tedbirleri (acil ve düzeltici tedbirler) ile rutin işletimsel bakımların (ör. yol işaretlerinin bakımı, temizleme, vs.) sağladığı temel faydalar normalde hesaba katılmaz ve dolayısıyla nakit akış şemalarında gösterilmez.

Genel olarak YDMA kapsamına dâhil edilen maliyetler (yukarı yönlü oklar); analiz süresi boyunca gerçekleştirilecek önleyici bakım, iyileştirme faaliyetleri ve/veya yıkım ve yeniden yapım çalışmaları ile ilişkili kurum maliyetleri ve kullanıcı maliyetlerinden oluşmaktadır. YDMA kapsamında aşağı yönlü oklarla temsil edilen tek fayda (negatif maliyet) ise kalan değerle ilişkili nakit girişidir.

Şekil 3-7. Bir kaplama tasarım seçeneği için tipik bir nakit akış şeması



7. NET BUGÜNKÜ DEĞERİN (NPV) HESAPLANMASI

Tüm maliyetler ve bunların gerçekleştikleri zamanlar belirlendikten sonra gelecekteki maliyetler başlangıç yılına göre (diğer bir deyişle, analiz süresinin başlangıcına göre) iskontolanır ve kaplama seçeneğinin NPV'sini belirlemek için ilk maliyete eklenir. Bölüm 2.3'te de açıklandığı üzere, belirli bir başlangıç yılı esas alınarak gelecekte belirli zamanlarda ortaya çıkacak tutarların iskonto edilmesi için aşağıdaki NPV denklemi kullanılmaktadır:

$$NPV = IC + \sum_{k=1}^Q FC_k \left[\frac{1}{(1+r)^{y_k}} \right] - RV \left[\frac{1}{(1+r)^p} \right]$$

Bu denklemde:

NPV= Kapsama seçeneğinin net bugünkü değeri,

IC = İlk yapım Maliyeti,

FC_k = "k" Faaliyetinin Gelecekteki Maliyeti,

RV = Kapsamanın Kalan Değeri

(= fayda veya negatif maliyet),

r = Reel iskonto oranı

(ör. yüzde 3 için 0,03)

y_k = "k" faaliyetiyle ilişkili gelecekteki nakit akışının gerçekleştiği yılın sıra numarası

Q = toplam faaliyet sayısı,

p = analiz süresindeki yıl sayısı

Gelecekteki herhangi bir tutarın bugünkü değeri (PV), gelecekteki tutarın aşağıdaki denklem kullanılarak bulunan PV faktörüyle çarpılmasıyla elde edilir.

$$f_{PV} = \left[\frac{1}{(1+r)^y} \right]$$

Bu denklemde:

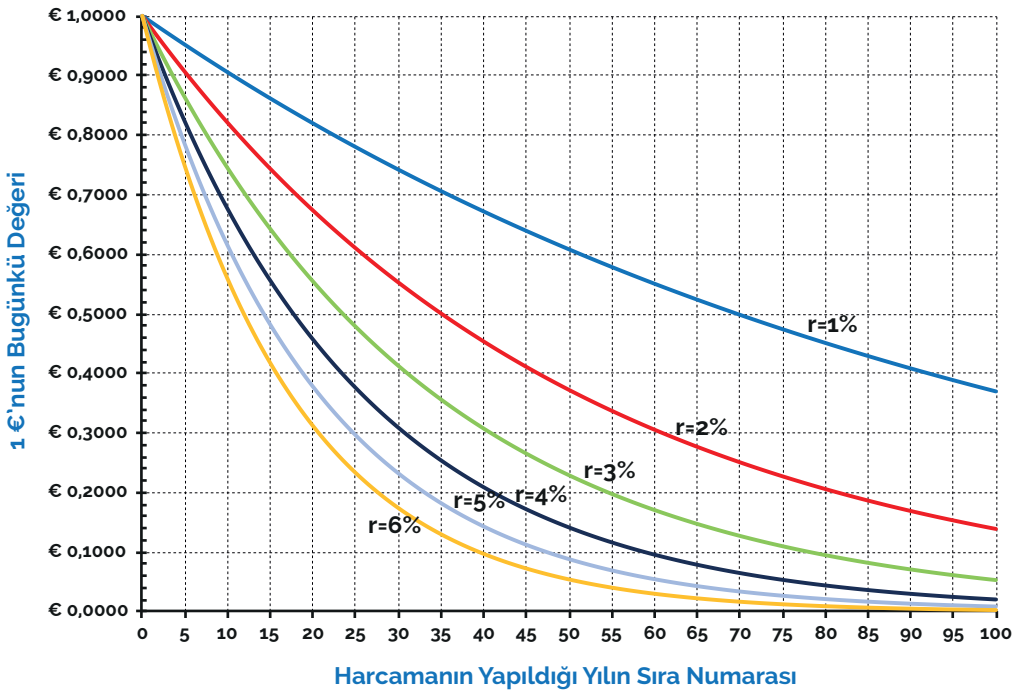
r = Reel iskonto oranı

y = Gelecekteki tek seferlik nakit akışının (maliyet veya fayda olarak) gerçekleştiği yılın sıra numarası

İlk kurum maliyetlerinin n = 0 zamanında gerçekleştiği varsayılmaktadır ve bu maliyetler iskonto edilmemektedir (diğer bir deyişle, tam ve gerçek değerlerine göre hesaba katılmaktadırlar).

Aşağıdaki Şekil 3-8, bugünkü değer faktörünü grafikte göstermektedir [Kaynak 2].

Şekil 3-8. Değişen reel iskonto oranlarıyla, farklı yıllarda harcanan 1,00 €'nin Bugünkü Değeri



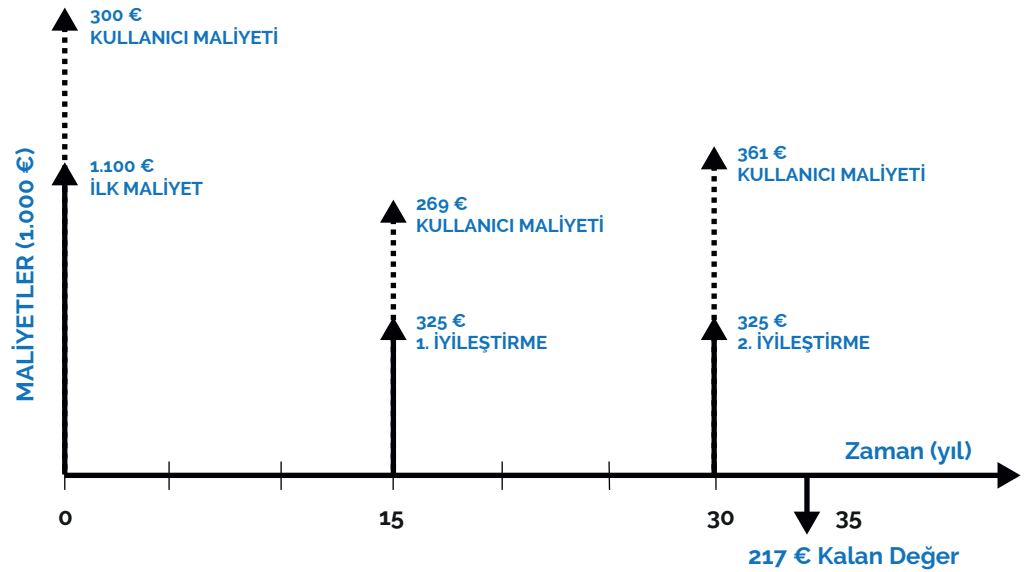
NPV Hesaplama Örnekleri

Aşağıda varsayım dayalı bir vaka/problem için NPV'nin nasıl hesaplandığına dair bir örnek verilmektedir. Bu örnek 35 yıllık bir analiz süresine dayanmaktadır ve parasal değer Avro olarak ifade edildiği, Kaynak 1'de verilen benzer bir varsayım dayalı örnekten esinlenerek hazırlanmıştır.

Başlangıçta (yıl 0) ilk kaplama tasarımının maliyeti 1.1 milyon € olacaktır, bununla bağlantılı olarak yol çalışması alanının kullanıcı açısından oluşturacağı maliyet ise 300.000 € olacaktır. 15. ve 30. yıllarda ise ilaveten 325.000 € tutarında iyileştirme maliyeti ortaya çıkacaktır. Bu iyileştirmelerle ilgili yol çalışmalarının kullanıcı açısından oluşturacağı maliyetler ise 15. ve 30. yılda sırasıyla 269.000 € ve 361.000 € olacaktır. 30. yılda uygulanan iyileştirme tasarımına ilişkin henüz kullanılmayan maliyetler ve kaplamanın geri kalan ömrü temel alındığında, 35. yılda kalan hizmet ömrü kaynaklı kalan değer 216.667 € ($10/15 \times 325.000 \text{ €}$) olduğu hesaplanmaktadır. Şekil 3-9'da, örnek olarak verilen problem için nakit akış şeması gösterilmektedir.

Bu şemada tahmini kullanıcı maliyetlerinin 15. yılda azaldığı, 30. yılda ise tekrar yükseldiği görülmektedir. Bu görünüm ilk çalışmaların daha uzun sürdüğü, bu çalışmaların ardından zamanla sürekli artan trafik hacmi nedeniyle sonradan yapılan iyileştirme çalışmalarının daha kısa sürdüğü tutarlı bir duruma işaret etmektedir. Tablo 3-1 harcama akışı şeması örneğinden yola çıkarak, reel iskonto oranı %4 olduğunda, gelecekteki tek seferlik maliyetler için PV faktörleri kullanılarak gerçekleştirilen PV hesaplamalarının sonuçlarını göstermektedir. Tablo 3-1'in son satırı, her bir PV'nin toplanmasıyla elde edilen toplam NPV'yi göstermektedir.

Şekil 3-9. Kurum ve kullanıcı maliyetleri için nakit akış şeması [Kaynak 1]



Tablo 3- 1. Yüzde 4 iskonto oranıyla yapılan NPV hesaplaması

Faaliyetin Maliyet Bileşeni	Yıl	Maliyetler (1.000 €)	PV Faktörü	PV Maliyeti (1.000 €)
İlk Yapım	0	1 100	1,0000	1 100
İlk Yol Çalışması Alanı - Kullanıcıya Maliyeti	0	300	1,0000	300
1. İyileştirme	15	325	0,5553	180
1. İyileştirme - Yol Çalışması Alanının Kullanıcıya Maliyeti	15	269	0,5553	149
2. İyileştirme	30	325	0,3083	100
2. İyileştirme - Yol Çalışması Alanının Kullanıcı Maliyeti	30	361	0,3083	111
RSL kaynaklı Kalan Değer	35	-217	0,2534	-55
Total NPV				1 886

8. SONUÇLARIN ANALİZİ VE HASSASİYET ANALİZİ

YDMA'nın sonuçları, girdi olarak kullanılan çeşitli parametrelerin değerlerine bağlıdır. Kullanılan çoğu parametre, varsayım, projeksiyon ve tahminin gelecekle ilgili olması nedeniyle, bu parametrelerin değerleri için bir miktar belirsizlik ve değişkenlik söz konusudur. Belirleyici yaklaşıma göre YDMA gerçekleştirirken, parametre girdilerindeki bu değişkenlik göz ardı edilmektedir. Bu durum aslında belirleyici yaklaşımın en büyük dezavantajıdır.

Bu nedenle YDMA tamamlandıktan sonra, bu dezavantajın üstesinden gelebilmek amacıyla her tasarım seçeneğiyle ilgili yürütülen YDMA için en azından bir hassasiyet analizi gerçekleştirilmelidir. Hassasiyet analizi, YDMA'nın başlıca girdi parametrelerindeki farklılıkların YDMA sonuçları üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla kullanılan bir yöntemdir. Hassasiyet analizi sırasında belirli girdi değerleri sabit tutulurken başlıca girdi değerleri kademeli olarak değiştirilir (ya başlangıç değerinin belirli bir yüzdesi dâhilinde ya da belirli bir değer aralığında), sonra da bunun sonuçları üzerinde yarattığı değişiklik incelenir. Girdi değişkenleri, sonuçları üzerinde yarattıkları etkilerine göre sıralanabilirler. Hassasiyet analizi, analizi yapan kişinin, her girdideki değişkenliğin genel YDMA sonuçlarına nasıl etki ettiğine dair sübjektif (öznel) bir izlenim edinmesine imkan tanımaktadır.

Çoğu durumda hassasiyet analizi, en iyi ve en kötü senaryolara odaklanarak oluşabilecek sonuçların genel çerçevesini belirlemeye çalışır. Yaşam döngüsü maliyetleriyle ilgili bir hassasiyet analizi, en azından kullanılan iskonto oranının YDMA sonuçları üzerindeki etkisini incelemek amacıyla yapılmalıdır. Hassasiyet analizleri Microsoft Excel, Lotus ve Quattro Pro gibi yaygın kullanılan elektronik çizelge uygulamalarından/programlarından faydalanarak da gerçekleştirilebilir.

Örnek olarak Tablo 3-2 ve 3-3 [Kaynak 1], 35 yıllık analiz süresi ve yüzde 2 ila 6 arasında değişen iskonto oranlarıyla, iki kaplama tasarım stratejisinin NPV'sinin hassasiyetiyle ilgili yapılan elektronik çizelge analizinden elde edilen sonuçları göstermektedir. Yüzde 2 ila 6 arasında değişen iskonto oranlarıyla hesaplanan toplam NPV'ler, sütunların alt kısmında gösterilmektedir.

Tablo 3- 2. Hassasiyet analizi - 1. Seçenek

Faaliyetin Maliyet Bileşeni	Yıl	Maliyet (1.000 €)	Net Bugünkü Değer, NPV (1.000 €)				
			2,0%	3,0%	4,0%	5,0%	6,0%
İlk Yapım	0	975	975	975	975	975	975
İlk Yol Çalışması Kullanıcı Maliyeti	0	200	200	200	200	200	200
1. İyileştirme	10	200	164	149	135	123	112
1. İyileştirme - Yol Çalışması Kullanıcı Maliyeti	10	269	220	200	182	165	150
2. İyileştirme	20	200	135	111	91	75	62
2. İyileştirme - Yol Çalışması Kullanıcı Maliyeti	20	361	243	200	165	136	113
3. İyileştirme	30	200	110	82	62	46	35
3. İyileştirme - Yol Çalışması Kullanıcı Maliyeti	30	485	268	200	150	112	85
Kalan Değer	35	-100	-50	-36	-25	-18	-13
Toplam NPV			2 265	2 081	1 935	1 814	1 719

Tablo 3-3. Hassasiyet analizi - 2. Seçenek

Faaliyetin Maliyet Bileşeni	Yıl	Maliyet (1.000 €)	Net Bugünkü Değer, NPV (1.000 €)				
			2,0%	3,0%	4,0%	5,0%	6,0%
İlk Yapım	0	1 100	1 100	1 100	1 100	1 100	1 100
İlk Yol Çalışması Kullanıcı Maliyeti	0	300	300	300	300	300	300
1. İyileştirme	15	325	241	209	180	156	136
1. İyileştirme - Yol Çalışması Kullanıcı Maliyeti	15	269	200	173	149	129	112
2. İyileştirme	30	325	179	134	100	75	57
2. İyileştirme - Yol Çalışması Kullanıcı Maliyeti	30	361	199	149	111	84	63
Kalan Değer	35	-217	-108	-77	-55	-39	-28
Toplam NPV			2 111	1 988	1 886	1 805	1 740

1. Seçeneğin ilk kurum maliyeti (inşaat maliyeti) 2. Seçeneğe göre daha düşüktür ve aynı zamanda inşaat süresinin daha kısa olması nedeniyle, 2. Seçeneğe göre kullanıcı açısından daha az maliyet oluşturmaktadır.

1. Seçenekte birbiriyle maliyet açısından aynı üç adet 10 yıllık iyileştirme çalışması yapılması gerekirken, 2. Seçenekte birbiriyle maliyet açısından aynı iki adet 15 yıllık iyileştirme çalışmaları yapılması gerekmektedir.

1. Seçenek için kullanıcı açısından ortaya çıkan maliyetler, iyileştirme çalışmalarının bitimine kadar artan trafik seviyesi nedeniyle artış göstermektedir. 2. Seçenek için kullanıcı açısından ortaya çıkan maliyetler, iyileştirme sırasında yol çalışmasının daha

kısa sürmesi nedeniyle ilk başta azalmakta, ikinci iyileştirme çalışması yapıldığında ise artan trafik seviyesi nedeniyle sonradan artış göstermektedir.

Her iki seçeneğin de 35. yıla gelindiğinde kalan hizmet süreleri farklıdır. Kalan hizmet ömrü nedeniyle 1. Seçeneğin 5 yıllık, 2. Seçeneğin ise 10 yıllık kalan değeri bulunmaktadır. Kalan değeri tahmin etmenin bir yöntemi de, onu son yapılan iyileştirme çalışması maliyetinin henüz kullanılmamış kısmı olarak hesaplamaktır. 1. Seçenek için bu kısım son iyileştirme maliyetinin %50'sine tekabül etmektedir (son yapılan 10 yıllık iyileştirme çalışması sayesinde hala 5 yılının kalması sebebiyle).

Tablo 3-4. Alternatif NPV'lerin (1.000 \$) iskonto oranıyla karşılaştırılması

Karşılaştırma	Reel İskonto Oranı				
	2%	3%	4%	5%	6%
Toplam NPV - 1. Seçenek	2 266	2 081	1 934	1 815	1 718
Toplam NPV - 2. Seçenek	2 112	1 987	1 885	1 805	1 739
2. Seçeneğin 1. Seçeneğe göre Maliyet Avantajı	154	94	49	10	-21

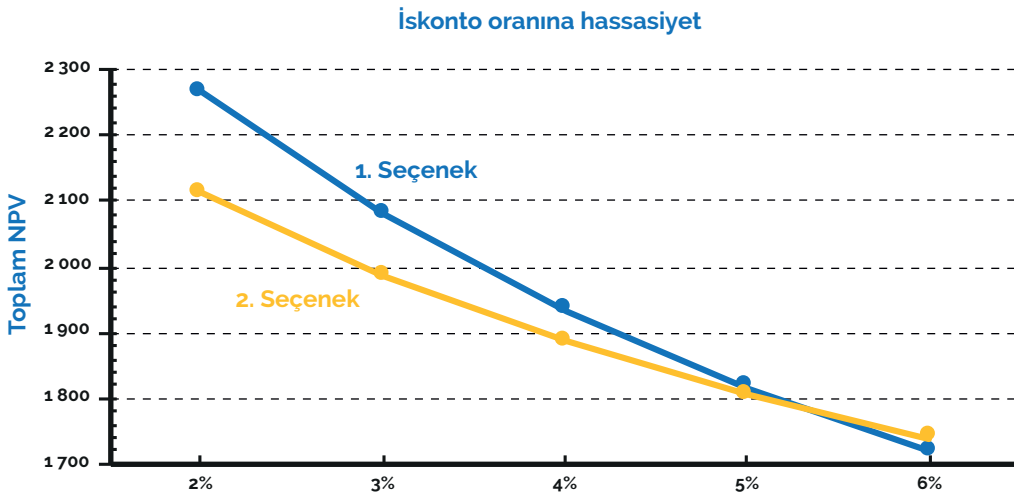
Dolayısıyla geriye 30. yılda harcanan 200.000 €'luk iyileştirme maliyetinin %50'si, diğer bir deyişle 100.000 € kalmaktadır. 2. seçeneğin kalan değeri ise son iyileştirme maliyetinin %66,6'sıdır (15 yıllık iyileştirme çalışması sayesinde hala 10 yılının kalması sebebiyle). Bu oran, 30. yılda harcanan 325.000 €'luk iyileştirme maliyetinin %66,6'sına, diğer bir deyişle 217.000 €'ya tekabül etmektedir.

Tablo 3-4'te, her iki seçeneğin farklı iskonto oranlarındaki toplam NPV'leri arasında yapılan doğrudan karşılaştırmalar gösterilmektedir. Bu tablo incelendiğinde, iskonto oranı arttıkça her iki seçeneğin NPV'sinin azaldığı görülmektedir. Bu durum iskonto oranı

arttıkça gelecekteki maliyetlerin bugünkü değerinin azalmasından kaynaklanmaktadır. Gelecekteki maliyetlerin hem miktar hem de zamanlama açısından kaplama seçenekleri arasında farklı olması sebebiyle, iskonto oranının NPV üzerindeki etkisi de her kaplama seçeneği için farklı olmaktadır.

Bu örnekte, iskonto oranları yüzde 5 veya daha az olduğunda 1. Seçenek 2. Seçeneğe göre daha pahalı, iskonto oranları yüzde 6 veya daha yüksek olduğunda ise 2. Seçenek 1. Seçeneğe göre daha pahalı olmaktadır. Şekil 3-10'da bu sonuçlar grafiksel olarak gösterilmektedir.

Şekil 3-10. NPV'nin (1.000 €) iskonto oranına hassasiyeti



Tablo 3-5. Kullanıcı maliyetine (1.000 €) ve iskonto oranına hassasiyet

Maliyet Bileşeni	Reel İskonto Oranı				
	2%	3%	4%	5%	6%
1. Seçenek - Kurum Maliyeti	1 334	1 281	1 238	1 201	1 171
2. Seçenek - Kurum Maliyeti	1 413	1 366	1 326	1 292	1 264
2. Seçeneğin 1. Seçeneğe göre Kurum Maliyeti Avantajı	-79	-85	-88	-91	-93
1. Seçenek - Kullanıcı Maliyeti	932	800	696	613	547
2. Seçenek - Kullanıcı Maliyeti	699	621	561	513	475
2. Seçeneğin 1. Seçeneğe göre Kullanıcı Maliyeti Avantajı	233	179	135	100	72
2. Seçeneğin 1. Seçeneğe göre Artan Faydası/Maliyeti	2,95	2,11	1,53	1,10	0,77

Tablo 3-5'te [Kaynak 1] aynı iskonto oranları için kurum maliyetleri ile kullanıcı maliyetleri arasındaki farklılıklar gösterilmektedir. Tablo incelendiğinde, değerlendirilen tüm iskonto oranlarında 2. Seçeneğin kurum maliyetlerinin 1. Seçeneğe göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Ayrıca değerlendirilen tüm iskonto oranlarında 2. Seçeneğin kullanıcı maliyeti 1. Seçeneğe göre daha düşüktür.

Yukarıdaki örnek, kullanıcı maliyetlerinin hesaplamalara dâhil edilip edilmemesi kararının, YDMA sonuçlarını önemli ölçüde etkileyebileceğini göstermektedir. Kurum ve kullanıcı maliyetlerine dair daha geniş bir bakış açısı sunmak amacıyla Tablo 3-5'in en alt satırı, kurum maliyetleri arttıkça kullanıcı maliyetlerinde gerçekleşen azalmayı yansıtan bir artan Fayda/Maliyet karşılaştırmasını göstermektedir. Tablo 3-5'teki artan Fayda/Maliyet verileri, 1. Seçenek yerine 2. Seçeneğin seçilmesinin kullanıcı maliyetlerinde yol açtığı azalmanın (yani faydaları), 2. Seçeneğin seçilmesinin yol açtığı ilave kurum maliyetlerine bölünmesi sonucunda hesaplanmıştır.

Buna benzer hassasiyet analizleri; kurum maliyetleri, kullanıcı maliyetleri, kaplamanın performans ömrü, analiz süresinin uzunluğu, vs. gibi diğer girdi parametreleri için de yapılabilir.

9. TASARIM STRATEJİLERİNİN YENİDEN DEĞERLENDİRİLMESİ

Her seçenek için net bugünkü değer hesaplandıktan ve bunun ardından bazı hassasiyet analizleri yapıldıktan sonra analistin rakip tasarım stratejilerini yeniden değerlendirmesi gerekmektedir. Daha önce de belirtildiği üzere, yaşam döngüsü maliyet analizi gerçekleştirmenin esas faydası elde edilen YDMA sonuçlarının kendisinde değil, analizin sağladığı bilgilerin kaplama tasarımı üzerinde çalışanlar tarafından mevcut alternatifleri/seçenekleri değiştirmek ve böylece daha maliyet etkin stratejiler geliştirmek amacıyla kullanılmasıdır.

YDMA sonuçları, kullanılacak kaplama tasarımı stratejisiyle ilgili nihai kararı etkileyen çok sayıda etkenden yalnızca biridir. Uygulanacak stratejiyle ilgili nihai kararı YDMA dışında birtakım başka faktörler de etkileyebilir – örneğin yerel politikalar, gerekli fonların mevcut olup olmaması, inşaatın yapılması için gerekli endüstriyel kapasitenin bulunup bulunmaması ve belirli bir kaplama türüyle ilgili kurumun önceden deneyimli olmasının yanı sıra kaplama tasarımının ve iyileştirme modellerinin doğru ve kesin olmaları. Bu gibi diğer etkenlerin kullanılacak kaplama tasarımıyla ilgili nihai tercihi büyük ölçüde etkilemesi durumunda, bunların nihai karar üzerindeki etkisinin belgelenmesi gerekmektedir.

4 - YDMA İLE İLGİLİ ÖZEL KONULAR

YDMA'nın sonuçları değişkenlik gösteren birtakım faktör ve parametrelere bağlıdır ve hem bu değişkenliğin hem de onunla baş etme yönteminin yeterince anlaşılması önemlidir. Bu çerçevede, bu yayın kapsamında aşağıdaki özel konulara yer verilmiştir:

- Malzemeye özgü enflasyon oranları ile iskonto oranlarındaki değişkenliğin hesaba katılması,
- YDMA uygulamasında olasılıkçı yaklaşım,
- Aynı olmayan performans ömürleriyle baş etme yöntemleri.

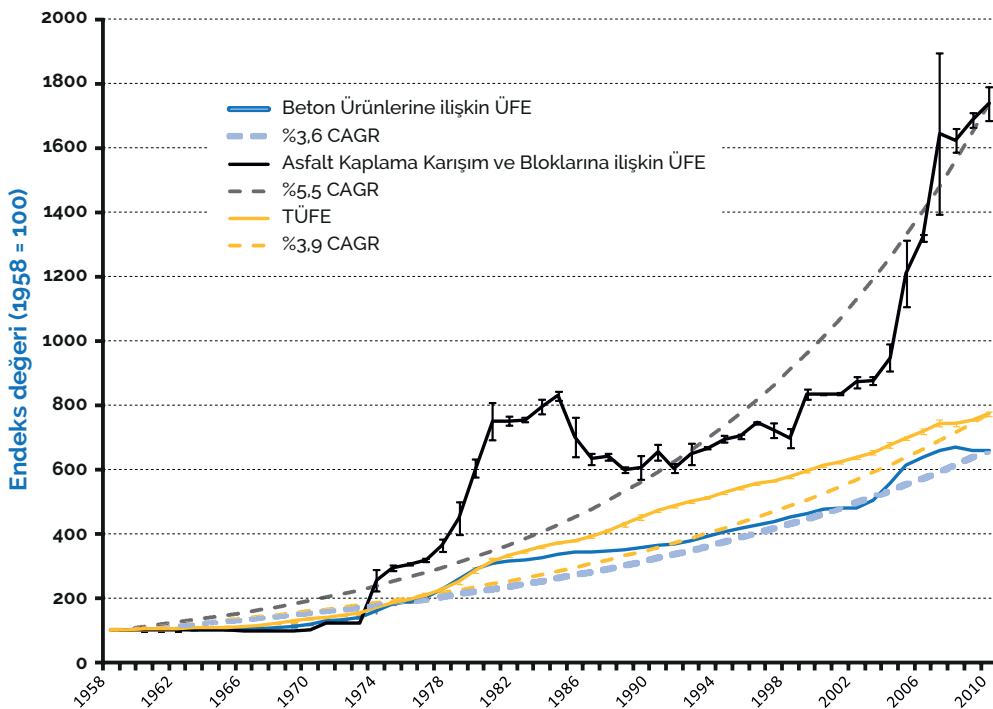
1. YDMA'DA MALZEMEYE ÖZGÜ ENFLASYON ORANLARININ HESABA KATILMASI

Bölüm 2'de de anlatıldığı üzere, karayollarından sorumlu çoğu kurum YDMA'yı sabit nakit akışları ve "genel reel iskonto oranı" da olarak adlandırılan tek bir reel iskonto oranı kullanarak gerçekleştirmektedir. Bu yaklaşım ayrıca yerel veya malzemeye özgü reel iskonto oranlarının hesaplanmasıyla ilgili zorluk ve karmaşıklıkları ortada kaldırmak, bu sayede

de malzemelerde meydana gelen reel fiyat değişikliklerini hesaba katabilmek amacıyla sıklıkla kullanılmaktadır.

Bu yaklaşımın dezavantajı ise dolaylı olarak, tüm malzemeler için enflasyon oranının genel enflasyon oranıyla aynı olduğunu varsaymasıdır. Ancak yakın zaman önce ABD'de kaplama malzemesi fiyatlarının yıllar içinde nasıl değiştiğini araştıran çalışmalar, bu durumun bazı malzemeler için geçerli olmadığını ve malzemelere özgü enflasyon oranlarında anlamlı farklılıklar olduğunu göstermiştir. Bu farklılıklar Şekil 4-1'de grafiksel olarak gösterilmektedir [Kaynak 2].

Tam (kesiksiz) çizgiler endeks değerlerinin zaman içindeki fiili değişimini göstermektedir. Kesikli çizgiler ise ABD'deki Tüketici Fiyat Endeksine (TÜFE) göre beton ürünleri ile asfalt ürünlerinin Bileşik Yıllık Büyüme Oranına (CAGR) ilişkin eğim çizgilerini göstermektedir. Gösterilen zaman diliminde beton ürünlerine ilişkin Üretici Fiyat Endeksi (ÜFE) ve TÜFE oranlarının benzer bir şekilde seyrettiği görülmektedir (sırasıyla %3,6 ve %3,9), bu da beton ürünü fiyatlarının ABD'deki TÜFE oranını yakından takip ettiğini göstermektedir. Beton fiyatları hem daha istikrarlı hem de tahmin edilmesi daha kolay görünmektedir.



Şekil 4-1. ABD - 1958-2011 yılları arasında Tüketici Fiyat Endeksine (TÜFE) karşı beton ürünleri ve asfalt karışımları/bloklarına ilişkin Üretici Fiyat Endeksi (ÜFE) [Kaynak 2]

Ancak bu durum, enflasyon oranı önemli ölçüde daha yüksek olan (%5,5) asfalt ürünleri için geçerli değildir. Malzemelere özgü enflasyon oranları arasındaki bu farklılık, bu oranların kapsamlı bir YDMA uygulamasına dâhil edilmesini gerektirecek kadar büyüktür.

Günümüzde bazı özel yayınlarda, YDMA sonuçlarını iyileştirmek ve onları daha gerçekçi kılmak için kaplama malzemelerine özgü enflasyon oranları konusuna odaklanılmaktadır. Konuyla ilgili daha fazla bilgi ve ayrıntı için söz konusu yayınlara bakınız. Örneğin [Kaynak 2],[Kaynak 3].

2. OLASILIKÇI YAKLAŞIM - ÖZET [KAYNAK 2]

Yukarıda anlatılan standart YDMA yöntemi esas olarak belirleyici yaklaşımla ilgilidir. Çünkü bu analizde her giriş değişkeni için tek bir değer veya varsayım tanımlanmaktadır. Buna göre giriş değişkenleri, değerleri kesin olan sabit ayrık değişkenler olarak ele alınmaktadır.

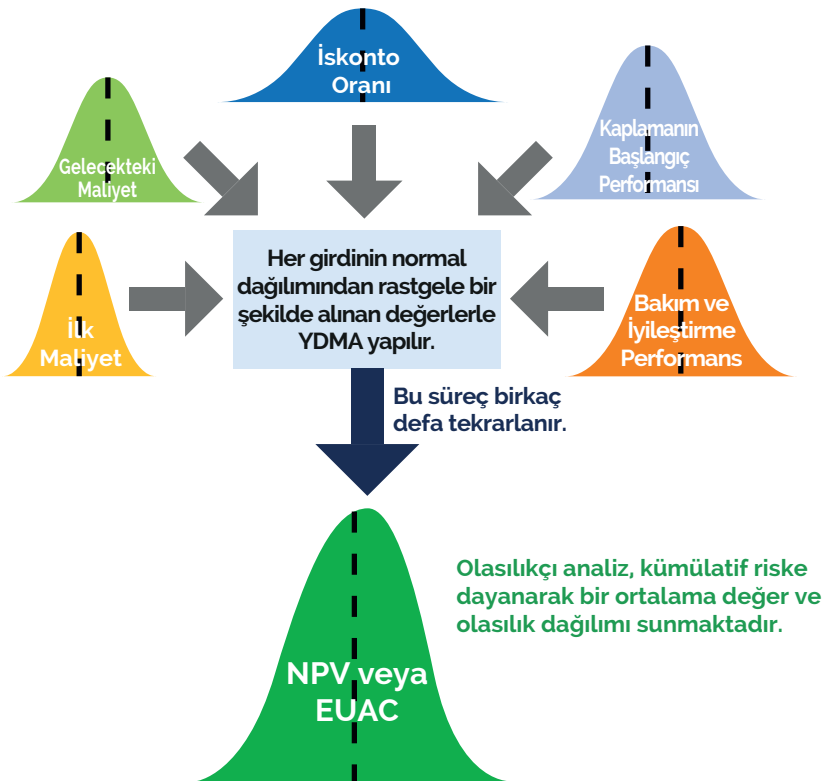
YDMA sürecine çok sayıda varsayım, tahmin ve projeksiyon dahil edilir. Bu tür girdilerde gözlemlenen değişkenlik, analistlerin YDMA sonuçlarına ne kadar güvenebileceğini önemli ölçüde etkileyen bir unsurdur.

Girdi parametrelerindeki belirsizliği ortadan kaldırmak için en azından yukarıda açıklanmış şekilde bir hassasiyet analizi gerçekleştirilmelidir. Ancak hassasiyet analizlerinin en büyük dezavantajı, tüm girdi değerlerine ve varsayımlarına bunların gerçekleşme olasılığını dikkate almadan aynı ağırlığı vermesidir. Diğer bir deyişle, uç değerlerin (yani en iyi ve en kötü durumların) gerçekleşme olasılığı beklenen/öngörülen değerlerin gerçekleşme olasılığıyla aynı tutulmaktadır, ki bu gerçekçi bir yaklaşım değildir.

YDMA için olasılıkçı yaklaşım ise her girdideki değişkenliği hesaba katmakta ve hesaplanan yaşam döngüsü maliyetinin olasılık dağılımını oluşturmak için kullanılmaktadır. Şekil 4-2'de de gösterildiği üzere, hesaplanan yaşam döngüsü maliyetinin olasılık dağılımı, gerçek yaşam döngüsü maliyetinin girdilerdeki değişkenliğe göre ne kadar değişebileceğini yansıtmaktadır.

YDMA açısından nispeten yeni bir kavram olan olasılıkçı yaklaşım, son zamanlarda bu yaklaşıma uygun yazılımların ortaya çıkmasıyla daha çok kullanılabilir hale gelmiştir. FHWA'nın "RealCost" isimli YDMA yazılımı aracılığıyla kullandığı olasılıkçı YDMA yöntemi, Monte Carlo simülasyonlarından faydalanarak, olasılık dağılımından her giriş değişkeni için rastgele bir değer seçmekte, sonra da seçilen bu değerler için NPV'yi veya EAUC'yi hesaplamaktadır. Program çıktılarından NPV'nin olasılık dağılımı ortalama değer ve standart sapma ile tanımlanmakta ve ayrıca net bugünkü değerler için minimum ve maksimum değerler de bildirilmektedir. Genel olarak, analiz süresinin başlangıcına daha yakın bir dönemde gerçekleşen maliyetler, analiz süresinin sonraki dönemlerinde gerçekleşen maliyetlere göre daha yüksek bir kesinlik oranıyla tahmin edilebilmektedir. Dolayısıyla bu yöntemle ilk maliyetler, gelecekteki maliyetlere göre daha dar bir olasılık dağılımıyla tahmin edilebilmektedir.

Şekil 4-2. Olasılıkçı analiz sürecinin şematik gösterimi (Kaynak 2'deki ABD Ulusal Karayolu Araştırma Programı Kooperatifi'nin (NCHRP) yaklaşımıyla)



3. AYNI OLMAYAN PERFORMANS ÖMÜRLERİYLE BAŞ ETME YÖNTEMLERİ

YDMA kapsamında, aynı olmayan performans ömürleriyle baş etmek için kullanılan iki yöntem bulunmaktadır.

- Alternatiflerin kalan değerinin belirlenmesi,
- NPV'nin, "sonsuz ufuk" olarak adlandırılan yaklaşıma göre belirlenmesi.

Alternatiflerin kalan değerinin belirlenmesi

Eğer analiz süresinin sonu belli bir kaplama alternatifinin performans ömrünün sonuna denk gelirse, kaplamanın bir kalan değeri (diğer bir deyişle, geri dönüşüm kaynaklı kalan değeri) olduğu kabul edilir. Buna karşın performans ömrünün analiz süresinin bitiminden sonra da devam etmesi durumunda, kalan hizmet ömrü (RSL) kaynaklı kalan değer belirlenmesi gerekmektedir. Farklı seçeneklerin NPV hesaplamalarında, kalan değer bir fayda (negatif maliyet) olarak hesaba katılır. RSL kaynaklı kalan değer, farklı kalan değerler arasında en önemlisi ve aynı zamanda tahmin edilmesi en zor olanıdır. Bunun nasıl yapılabileceğine dair bir örnek bu yayının önceki sayfalarında verilmiştir.

Bu zorluğun önüne geçmek adına, bundan sonraki kısımda açıklandığı üzere NPV, "sonsuz ufuk" olarak adlandırılan yaklaşımla belirlenmelidir.

NPV'nin "sonsuz ufuk" olarak adlandırılan yaklaşıma göre belirlenmesi

İlk yapım aşamasından sonra her kaplama stratejisinin performans ömrü tipik bir faaliyetler döngüsünden oluşmaktadır (ör. "rutin bakım, yıkım, iyileştirme/yeniden yapım"). Bu tipik faaliyetler döngüsünün her kaplama stratejisinde sonsuza dek tekrarlandığı varsayıldığında, RSL kaynaklı kalan değeri belirleme gerekliliği de ortadan kalkmaktadır. Aslında bu varsayım, dolaylı olarak analiz süresinin sonsuz sayıda yıldan oluştuğunu varsaymakla aynıdır.

Sonsuz ufka (>H) göre hesaplamalar şu şekilde yapılmaktadır:

1. Adım – İlk yapım maliyetlerinden sonra, belirli bir sayıda yıldan oluşan performans ömrü L'nin tipik bir döngüsü için tüm maliyet ve faydaların net bugünkü değeri (NPV) belirlenir. Bu işlem aşağıdaki formül ile ifade edilir:

$$NPV_L = \sum_{k=1}^Q FC_k \left[\frac{1}{(1+r)^{y_k}} \right] - RV \left[\frac{1}{(1+r)^L} \right]$$

2. Adım – Aşağıdaki formül kullanılarak, ilgili kaplama seçeneği için Sonsuz Ufuk Faktörü $F_{\infty H_L}$ hesaplanır:

$$F_{\infty H_L} = \left[\frac{(1+r)^L}{(1+r)^L - 1} \right]$$

3. Adım – Aşağıdaki formül kullanılarak, ilgili kaplama seçeneği için Sonsuz Ufuk $NPV_{\infty H}$ 'ye göre NPV hesaplanır:

$$NPV_{\infty H} = IC + NPV_L * F_{\infty H_L}$$

Yukarıda denklemlerde:

IC = Yapımın/İNŞAATIN ilk maliyeti

FC_k = Yıkım, geri dönüşüm ve yeniden yapım dâhil olmak üzere, herhangi bir "k" faaliyetinin gelecekteki maliyeti

RV = Geri dönüşüm kaynaklı kalan değer

r = Reel iskonto oranı

y_k = Faaliyetin gelecekte nakit akışı oluşturduğu yılın sıra numarası

Q = Toplam faaliyet sayısı

L = Performans ömründe, ilk yapım ile başka bir seçeneğin yeniden yapımına kadar geçen yıl sayısı.

Bu yaklaşım, kaplama varlıklarının YDMA yöntemiyle incelendiği durumlarda yaygın bir şekilde kullanılmamaktadır. Bunun kısmi bir sebebi de bu yaklaşımın, ilk yapımdan yeniden yapımına kadar geçen ilk performans ömrü sırasında gerçekleşen tipik faaliyetler döngüsünün sonsuza kadar değişmeyip hep aynı kalacağını varsaymasının getirdiği dezavantaj olabilir (çünkü durum her zaman böyle olmaz). Bu yaklaşım 2002 yılında Anvers R1 Çevreyoluna uygulanan YDMA'da kullanılmıştır [Kaynak 4].

5 – YDMA ÖRNEKLERİ

GENEL

YDMA konusuyla ilgili uluslararası literatürde çok sayıda proje örneği bulunmaktadır. Bu bölümde ise uluslararası literatürden alınmış iki örnek özet olarak sunulmaktadır. Gerekli yerlerde, projeler hakkında daha fazla ayrıntı içeren kaynaklara atıfta bulunulmuştur.

Bu yayının belirleyici yaklaşıma odaklanması sebebiyle, verilen örnekler de belirleyici analizlerin standart adımlarının anlatılmasıyla sınırlı tutulmuştur. Olasılıkçı analizin de yapıldığı örneklerde ise okuyucuların konuyla ilgili daha fazla ayrıntı bulabilecekleri literatürdeki kaynaklara atıfta bulunulmuştur.

Verilen her örnekte maliyet verileri sadece anlatılan proje için ve projenin inşa edildiği sene için geçerlidir. Ayrıca kaplama yapılarıyla ilgili maliyet verileri ve ayrıntıları diğer benzer projeler için kullanılmamalıdır, çünkü bu veriler ve ayrıntılar bir projeden diğerine ve dünyadaki bir bölge veya ülkeden diğerine değişebilen çok sayıda değişkene bağlıdır.

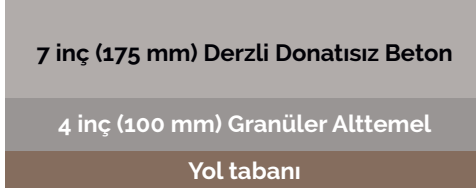


ÖRNEK 1 - MAHALLİ YOLLAR

ÖRNEK 1A - NPV'NİN BELİRLEYİCİ YAKLAŞIMA GÖRE HESAPLANMASI [KAYNAK 2'DEN ALINMIŞTIR]

Örneklerden ilki, 2008 yılında mahalli bir yol için belirleyici yaklaşım kullanılarak gerçekleştirilen bir YDMA hesaplamasıyla ilgilidir. Bu örnekle ilgili ayrıntılar bundan sonraki kısımlarda özet olarak sunulmaktadır. Olasılıkçı yaklaşım sonuçlarını da kapsayan daha ayrıntılı bir açıklama ve tartışma ise Kaynak 2'de mevcuttur. Kaynak 2'de anlatılan ayrıntılarla tutarlı olmak adına burada da İngiliz ölçü birimleri ve Amerikan doları (\$) kullanılmaktadır.

Şekil 5-1. Analiz edilen seçeneklerdeki kaplama yapısı



Beton Kaplama Seçeneği

Söz konusu proje, ABD'nin Wisconsin Eyaletindeki Whitefish Bay kasabasında bulunan Diversey Bulvarındaki yaklaşık 10.000 yarda karelik (yd²) (8.360 m²'lik) kaplamanın yeniden yapımını kapsamaktadır. Hâlihazırda mevcut olan ve 2008 yılı itibarıyla 80 yılı geride bırakan beton kaplama proje başladığında hala iyi durumdaydı.

İncelenen iki kaplama yapısı Şekil 5-1'de gösterilmektedir.



Asfalt Kaplama Seçeneği

1. Adım – Analiz süresinin belirlenmesi: Mevcut olan beton kaplamanın performans ömrünün uzunluğu dikkate alınarak analiz süresi 90 yıl olarak belirlenmiştir.

2. Adım – Reel iskonto oranının belirlenmesi:

Belirleyici hesaplama için reel iskonto oranı %3 olarak belirlenmiştir.

3. Adım – İlk kurum maliyetlerinin tahmini:

İlk kurum maliyetleri Tablo 5-1 ve 5-2'de özetlenmektedir. Asfalt kaplama seçeneğinin ilk maliyetinin beton kaplama seçeneğinin ilk maliyetinden %15 daha düşük olduğu görülmektedir.

BETON KAPLAMA SEÇENEĞİ

Tablo 5-1. Beton kaplama seçeneği - İlk Kurum Maliyetleri

İşin Tanımı	Miktar	Birim Fiyat	Toplam Maliyet
7 inç Beton Kaplama	10,000 SY	22.00 \$ /SY	220.000 \$
Beton Bordür ve Su Kanalı	5,580 LF	11 .00 \$ /LF	61,380 \$
4 inç Agreg a Alttemel	3,120 Ton	10.50 \$ /Ton	32.760 \$
Her tür kazı malzemesi	4,600 CY	13.00 \$ /CY	59.800 \$
	TOPLAM İLK KURUM MALİYETİ		373.940 \$

ASFALT KAPLAMA SEÇENEĞİ

Tablo 5-2. Asfaltlı Kaplama Seçeneği - İlk Kurum Maliyetleri

İşin Tanımı	Miktar	Birim Fiyat	Toplam Maliyet
2 inç Asfalt Yüzey Tabakası/Kaplaması	1,150 Ton	48.42 \$ /Ton	55.683 \$
Yapıştırma Tabakası	250 Galon	1.25 \$/Galon	313 \$
3 inç Asfalt Alt Tabaka	1,725 Ton	42.10 \$ /Ton	72.623 \$
Yapıştırma Tabakası 1	200 Galon	1.25 \$ /Galon	250 \$
Beton Bordür ve Su Kanalı	5,580 LF	11.00 \$ /LF	61,380 \$
10 inç Agreg a Temel	5,200 Ton	10.50 \$ /Ton	54.600 \$
Her tür kazı malzemesi	5,230 CY	14.00 \$ /CY	73.220 \$
	TOPLAM İLK KURUM MALİYETİ		313.053 \$

4. Adım – Kullanıcı maliyetlerinin tahmin edilmesi:

Kullanıcı maliyetleri bu hesaplamalarda dikkate alınmamıştır.

5. Adım – Gelecekteki kurum maliyetlerinin tahmin edilmesi:

BETON KAPLAMA SEÇENEĞİ

Tablo 5-3. Beton Kaplama Seçeneği - Gelecekteki Kurum Maliyetleri

Yıl	İşin Türü	İşin Tanımı	Miktar	Birim Fiyat Toplam	Maliyet
15	Bakım	Derz Dolgu (%15)	2,250 LF	0.50 \$ /LF	1.125 \$
30	Bakım	Derz Dolgu (%30)	4,500 LF	0.50 \$ /LF	2.250 \$
30	Koruma	Tam Derinlikte Onarım (6 fit derinlikte panellerin %2'sinin onarılması)	40 CY	180 \$ /CY	7.200 \$
30	Koruma	Kısmi Derinlikte Onarım (derzlerin %3'ünün onarılması)	180 LF	15.00 \$ /LF	2.700 \$
45	Bakım	Derz Dolgu (%30)	4,500 LF	0.50 \$ /LF	2.250 \$
60	Bakım	Derz Dolgu (%30)	4,500 LF	0.50 \$ /LF	2.250 \$
60	Koruma	Tam Derinlikte Onarım (6 fit derinlikte panellerin %4'ünün onarılması)	80 CY	180 \$ /CY	14.400 \$
60	Koruma	Kısmi Derinlikte Onarım (derzlerin %6'sının onarılması)	360 LF	15.00 \$ /LF	5.400 \$
75	Bakım	Derz Dolgu (%30)	4,500 LF	0.50 \$ /LF	2.250 \$

ASFALT KAPLAMA SEÇENEĞİ

Tablo 5-4. Asfalt Kaplama Seçeneği - Gelecekteki Kurum Maliyetleri

Yıl	İşin Türü	İşin Tanımı	Miktar	Birim Fiyat Toplam	Maliyet
3	Bakım	Seal Coat	3,000 LF	0.50 \$ /LF	1.500 \$
7	Bakım	Seal Coat	4000 LF	0.50 \$ /LF	2.000 \$
15	Koruma	Seal Coat	10,000 SY	1.75 \$ /SY	17.500 \$
15	Bakım	Seal Coat	5000 LF	0.50 \$ /LF	2.500 \$
22	Bakım	Seal Coat	6,000 LF	0.50 \$ /LF	3.000 \$
30	Yeniden Yapım	Kaplamanın Kaldırılması	10,000 SY	2.00 \$ /SY	20.000 \$
30	Yeniden Yapım	Kaplamanın Yenisiyle Değiştirilmesi	1 LS	318.068 \$ /LS	318.068 \$
33	Bakım	Seal Coat	3000 LF	0.50 \$ /LF	1.500 \$
37	Bakım	Seal Coat	4,000 LF	0.50 \$ /LF	2.000 \$
45	Koruma	Seal Coat	10,000 SY	1.75 \$ /SY	17.500 \$
45	Bakım	Seal Coat	5,000 LF	0.50 \$ /LF	2.500 \$
52	Bakım	Seal Coat	6000 LF	0.50 \$ /LF	3.000 \$
60	Yeniden Yapım	Kaplamanın Kaldırılması	10,000 SY	2.00 \$ /SY	20.000 \$
60	Reconstruct	Kaplamanın Yenisiyle Değiştirilmesi	1 LS	318.068 \$ /LS	318.068 \$
63	Bakım	Seal Coat	3,000 LF	0.50 \$ /LF	1.500 \$
67	Bakım	Seal Coat	4000 LF	0.50 \$ /LF	2.000 \$
75	Koruma	Seal Coat	10,000 SY	1.75 \$ /SY	17.500 \$
75	Bakım	Seal Coat	5000 LF	0.50 \$ /LF	2.500 \$
82	Bakım	Seal Coat	6,000 LF	0.50 \$ /LF	3.000 \$

6. Adım – Kalan değerin tahmin edilmesi:

Her seçeneğin kalan değeri hesaba katılmaz, çünkü:

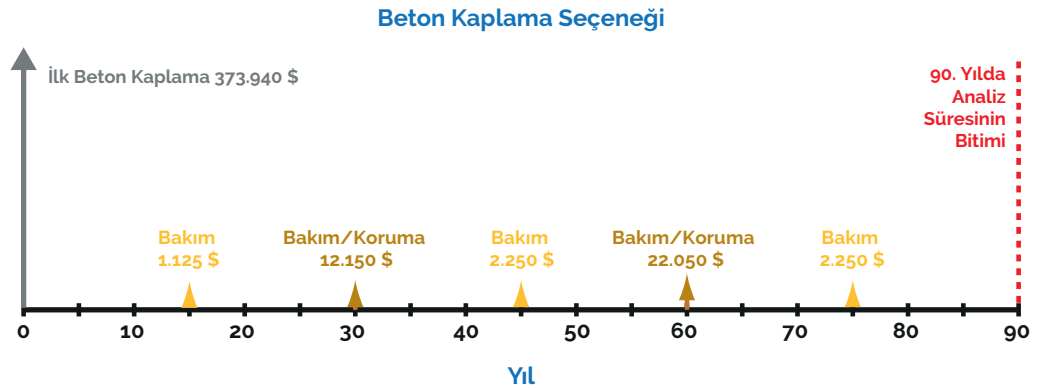
- 90 yıllık analiz süresinin uzunluğu göz önünde bulundurulduğunda, bu kalan değerin NPV'si çok küçük kalmaktadır
- Bu sürenin sonuna geldiğinde tüm kaplama seçenekleri performans ömrünün sonuna yaklaşmaktadır.
- Kalan değerlerin birbirine benzer olduğu varsayılmaktadır.

7. Adım – Seçeneklerin NPV'sinin hesaplanması ve seçeneklerin karşılaştırılması:

Aynı harcama yılı içerisinde meydana gelen gelecekteki kurum maliyetlerinin toplanması sonucunda her kaplama seçeneği için ortaya çıkan nakit akış şeması Şekil 5-2 ve Şekil 5-3'te gösterilmektedir. NPV hesaplamalarının sonuçları Tablo 5-5 ile Tablo 5-6'da özetlenmektedir..

BETON KAPLAMA SEÇENEĞİ

Şekil 5-2. Beton Kaplama Seçeneği - Nakit akış şeması

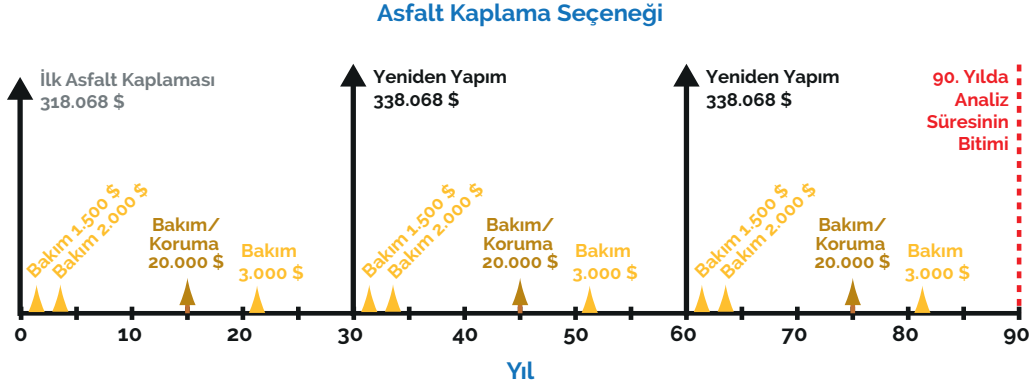


Tablo 5-5. Beton Kaplamalı Seçenek - NPV Hesaplaması (r=%3)

Yıl	İşin Türü	Toplam Maliyet	Şimdiki Değer
0	İlk Yapım	373.940 \$	373.940 \$
15	Bakım	1.125 \$	722 \$
30	Bakım/Koruma	12.150 \$	5.006 \$
45	Bakım	2.250 \$	595 \$
60	Bakım/Koruma	22.050 \$	3.743 \$
75	Bakım	2.250 \$	245 \$
		TOPLAM NET BUGÜNKÜ DEĞER	384.250 \$

ASFALT KAPLAMA SEÇENEĞİ

Şekil 5-3. Asfalt Kaplama Seçeneği - Nakit akış şeması



Tablo 5-6. Asfalt Kaplama Seçeneği - NPV Hesaplaması (r=%3)

Yıl	İşin Türü	Toplam Maliyet	Şimdiki Değer
0	İlk Yapım	318.068 \$	318.068 \$
3	Bakım	1.500 \$	1.373 \$
7	Bakım	2.000 \$	1.626 \$
15	Bakım/Koruma	20.000 \$	12.837 \$
22	Bakım	3.000 \$	1.566 \$
30	Yeniden Yapım	338.068 \$	139.280 \$
33	Bakım	1.500 \$	566 \$
37	Bakım	2.000 \$	670 \$
45	Bakım/Koruma	20.000 \$	5.289 \$
52	Bakım	3.000 \$	645 \$
60	Yeniden Yapım	338.068 \$	57.381 \$
63	Bakım	1.500 \$	233 \$
67	Bakım	2.000 \$	276 \$
75	Bakım/Koruma	20.000 \$	2.179 \$
82	Bakım	3.000 \$	v266
		TOPLAM NET BUGÜNKÜ DEĞER	542.254 \$

Yapılan belirleyici analizin NPV sonuçları, 90 yıllık analiz süresi boyunca beton kaplama seçeneğinin NPV'sinin asfalt kaplama seçeneğinin NPV'sinden %29 daha düşük olduğunu göstermektedir.

Kaynak 2'de sonuçların belirli parametrelerdeki değişimlere hassas olduğunun altını çizilerek şu sonuçlara varılmıştır:

Analizin Etkisi

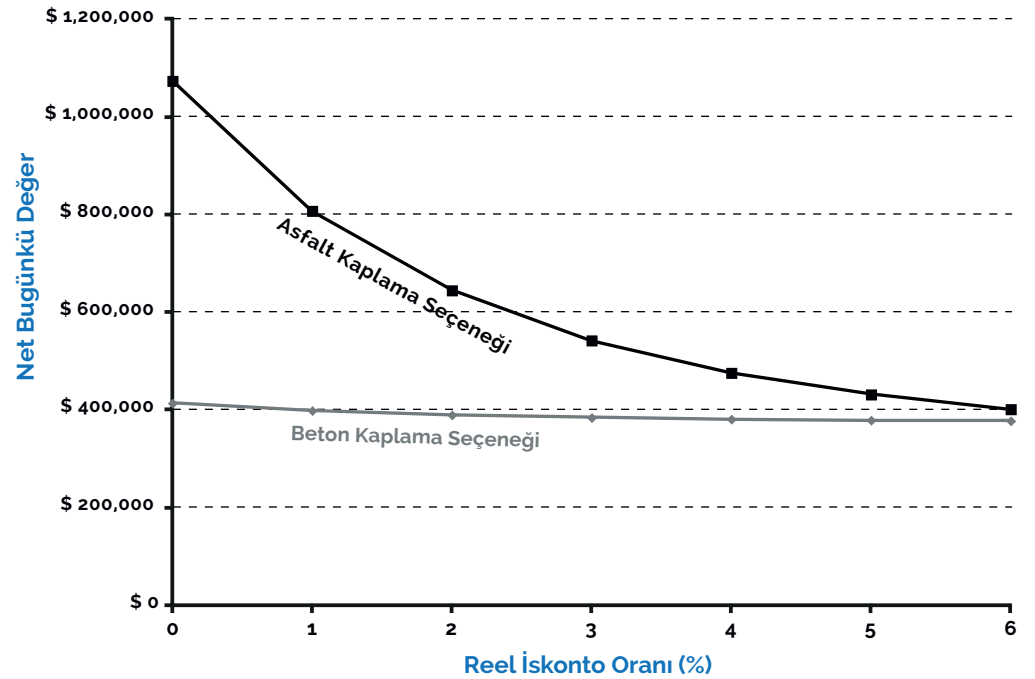
Analiz süresinin 30 yıldan kısa tutulması durumunda asfalt kaplama seçeneği daha maliyet etkin bir çözüm teşkil etmektedir. Analiz süresinin 30 yıldan fazla tutulduğu durumlarda ise beton kaplama seçeneği daha maliyet etkin olmaktadır.

Reel İskonto Oranının Etkisi

NPV'nin reel iskonto oranına hassasiyeti, %0 ila %6 arasında değişen reel iskonto oranları için Şekil 5-4'te gösterilmektedir. Asfalt kaplama seçeneğine göre beton kaplama seçeneği, iskonto oranı azaldıkça daha maliyet etkin bir hale gelmektedir. İskonto oranlarının %6 seviyesinde seyrettiği durumlarda her iki seçeneğin de net bugünkü değerleri benzer düzeydedir. İskonto oranlarının %6'nın üzerine çıktığı durumlarda ise, asfalt kaplama seçeneğinin NPV'si beton kaplama seçeneğinin NPV'sinden de düşük olacaktır. Ancak reel iskonto oranının geçmişteki değerleri ile enflasyon ve faiz oranlarındaki mevcut eğilimler göz önünde bulundurulduğunda, bu iskonto oranlarının gerçekçi olmadığı söylenebilir.

Impact of variations in future cost predictions
These sensitivity calculations indicate that activity timing and predictions of future costs have a significant impact on the LCCA results.

Şekil 5-4. Değişen reel iskonto oranlarına karşı Net Bugünkü Değerlerin hassasiyeti



ÖRNEK 1B - NPV'İN SONSUZ UYUK YAKLAŞIMI KULLANILARAK HESAPLANMASI - BELİRLEYİCİ YAKLAŞIM

Kaynak 2'ye göre yapılan hesaplamalara ilaveten, örnek olarak, yukarıda bahsi geçen projenin NPV'sinin sonsuz ufuk yaklaşımına göre belirlenmesine yönelik hesaplamaların sonuçları aşağıda özetlenmektedir. Bu hesaplama için bu yayının 5.3 no'lu Bölümünde kısaca anlatılan yöntem kullanılmıştır. Bu yöntemin esası, sadece tek bir performans yaşam döngüsündeki faaliyetler için NPV'nin hesaplanıp, sonra da bu performans yaşam döngüsünün sonsuza dek tekrarlanacağını varsayılmasına dayanmaktadır.

Tablo 5-7 ile Tablo 5-8'de, daha önce Tablo 5-5 ve Tablo 5-6'da verilen bilgilerle aşağıdaki varsayım ve eklemelerle birlikte yeniden değerlendirilmesiyle elde edilen sonuçlar gösterilmektedir.

- Bir performans döngüsünün uzunluğu ("L") beton kaplama seçeneği için 90 yıl, asfalt kaplama seçeneği için ise 30 yıldır.
- Geri dönüşüm kaynaklı kalan değerlerin her iki kaplama seçeneği için aynı olduğu varsayıldığından, bu değer hesaplamalara dâhil edilmemektedir.

- Yıkım ve yeniden yapım maliyetlerinin her iki seçenek için de hesaba katılması gerekmektedir.

Sonsuz ufuk yaklaşımına göre NPV değeri, ∞ H'ye (yani sonsuz ufka) göre belirlenen PV faktörünün tek bir performans döngüsünün NPV'siyle çarpılmasıyla elde edilmektedir. Sonsuz ufuk yaklaşımının kullanılması sonucunda NPV değeri %7,9 artmıştır ki bu değer asfalt kaplama seçeneğiyle görülen artıştan %1 daha fazladır. Bunun sebebi ise beton kaplama seçeneği için yıkım ve yeniden yapım maliyetlerinin, her bir kaplama seçeneğine ilişkin tipik performans ömrü döngüsünün bir parçası olarak eklenmek zorunda olmasıdır.

Beton kaplama seçeneğinin ∞ H'ye göre NPV'si, asfalt kaplama seçeneğinin ∞ H'ye göre NPV'sinden %29 daha düşüktür. Bu durum her iki yaklaşımın da (∞ H kullanılsın veya kullanılsın) aynı sonucu verdiği göstermektedir.

BETON KAPLAMA SEÇENEĞİ

Tablo 5-7. Beton Kaplama Seçeneği - Sonsuz ufuk kullanarak NPV hesaplaması (r=%3)

Year	İşin Türü	Toplam Maliyet	PV Faktörü	PV	L=90 yıl için ∞ H'ye göre PV Faktörü	∞ H'ye göre PV
0	İlk Yapım	373.940 \$	1,0000	373.940 \$		373.940 \$
15	Bakım	1.125 \$	0,6419	722 \$	1,0752	776 \$
30	Bakım/Koruma	12.150 \$	0,4120	5.006 \$	1,0752	5.382 \$
45	Bakım	2.250 \$	0,2644	595 \$	1,0752	640 \$
60	Bakım/Koruma	22.050 \$	0,1697	3.743 \$	1,0752	4.024 \$
75	Bakım	2.250 \$	0,1089	245 \$	1,0752	264 \$
90	Yıkım	20.000 \$	0,0699	1.399 \$	1,0752	1.504 \$
90	Yeniden Yapım	373.940 \$	0,0699	26.149 \$	1,0752	28.115 \$
Sonsuz ufka göre Toplam NPV						414.644 \$
∞ H yaklaşımına göre NPV'deki artış						7,9%

ASFALT KAPLAMA SEÇENEĞİ

Tablo 5-8. Asfaltlı Kaplama Seçeneği - Sonsuz ufuk kullanarak NPV hesaplaması (r=%3)

Year	İşin Türü	Toplam Maliyet	PV Faktörü	PV	L=90 yıl için ∞H'ye göre PV Faktörü	∞H'ye göre PV
0	İlk Yapım	318.068 \$	1,0000	318.068 \$		318.068 \$
3	Bakım	1.500 \$	0,9151	1.373 \$	1,7006	2.334 \$
7	Bakım	2.000 \$	0,8131	1.626 \$	1,7006	2.766 \$
15	Bakım/Koruma	20.000 \$	0,6419	12.837 \$	1,7006	21.832 \$
22	Bakım	3.000 \$	0,5219	1.566 \$	1,7006	2.663 \$
30	Yıkım	20.000 \$	0,4120	8.240 \$	1,7006	14.013 \$
30	Yeniden Yapım	318.068 \$	0,4120	131.040 \$	1,7006	222.852 \$
Sonsuz ufka göre Toplam NPV						584.527 \$
∞H yaklaşımına göre NPV'deki artış						7,8%

ÖRNEK 2 - BÖLÜNMÜŞ YOL İYİLEŞTİRMESİ: BELÇİKA'DAKİ ANVERS R1 ÇEVREYOLU [KAYNAK 4]

İkinci örnek ise 2002 yılında Anvers Çevreyolunda gerçekleştirilen iyileştirme çalışmasıyla ilgilidir. Söz konusu projenin sahibi Belçika'daki Flaman Ulaştırma ve Bayındırlık Bakanlığı ile Yol ve Trafik Ajansı olmuştur.

Projenin Kapsamı: Her iki yönde de 14,2 km uzunluğa sahip çift yönlü bir karayolunun ana hattı boyunca 500.000'den fazla karayolu kaplamasının yenilenmesi. Bölünmüş yolun her yönü en az 4 şerit + 1 emniyet şeridinden oluşmaktadır.

Projeyle ilgili ayrıntılar, 8. Uluslararası Beton Kaplama Konferansının kayıt ve tutanaklarında sunulmaktadır (M. Diependaele & L. Rens - Colorado Springs, 2005, Paper "The rehabilitation of the Antwerp Ring Road in Continuously Reinforced Concrete Pavement (CRCP)").

Analiz iki farklı kaplama seçeneği için yapılmıştır: (sürekli donatılı) beton kaplama (CRCP) ve asfalt kaplama.

Aşağıda YDMA ile ilgili giriş verileri, varsayımlar ve sonuçlar, belirleyici analiz yaklaşımına göre anlatılmaktadır.

1. Alternatif kaplama tasarım stratejilerinin belirlenmesi ve analiz süresinin seçilmesi

İlk kaplamanın tasarımı en az 35 yıllık bir tasarım ömrü öngörülerek geliştirilmiş ve bu ömrün hesaplanması Flaman Kaplama Tasarımı Kılavuzuna göre yapılmıştır. Bu tasarım sonucunda iki yapı seçeneği ortaya çıkmıştır: Tablo 5-9'da açıklandığı üzere CRCP ve Asfalt Kaplama.

Belçika'nın her iki kaplama seçeneğiyle edindiği deneyimlerden yola çıkarak beton kaplama seçeneği için 50 yıllık bir performans ömrü, asfalt kaplama seçeneği için ise 35 yıllık bir performans ömrü varsayılmıştır. YDMA sırasında tüm asfalt kaplama yapısının performans ömrünün sonunun ikinci büyük önleyici bakımın performansının ömrünün sonuna denk gelmesini sağlamak amacıyla, beton kaplama seçeneğinin performans ömrü 36 yıla uzatılmıştır.

Her iki kaplama seçeneğinin sıkıştırılmış yol tabanı, alttemeli ve temeli aynı olduğu için bu tabakalar YDMA'ya dâhil edilmemiştir.

Tablo 5-9. Kaplama seçeneklerinin yapısıyla ilgili ayrıntılar

Beton (Performans ömrü = 50 yıl)		Asfalt (Performans ömrü = 36 yıl)	
Tabaka	Kalınlık	Tabaka	Kalınlık
CRCP	230 mm	Bitümlü yüzey tabakası/kaplaması	40 mm
		Bitümlü binder tabakası	60 mm
		Bitümlü temel tabakası 2	60 mm
Bitümlü ara tabaka	60 mm	Bitümlü temel tabakası 1	70 mm
Çimentoyla stabilize edilmiş granüle asfalt molozu	250 mm	Çimentoyla stabilize edilmiş granüle asfalt molozu	250 mm
İnce taneli beton molozundan oluşan alttemel	150 mm	İnce taneli beton molozundan oluşan alttemel	150 mm
Sıkıştırılmış yol tabanı	Değişken	Sıkıştırılmış yol tabanı	Değişken

Analiz süresi

İki kaplama seçeneğinin performans ömürleri birbirininkinden büyük ölçüde farklıdır (36 yıla karşı 50 yıl). Analiz süresinin örneğin 36 yıl olarak belirlenmesi durumunda, CRCP kaplamanın kalan ömrünün belirlenmesi de gerekecektir. Bunun önüne geçmek adına YDMA, sonsuz ufuk yaklaşımına göre yapılan hesaplama yaparak gerçekleştirilmiştir (bu belgenin 5.3 no'lu Bölümünde açıklandığı gibi). Aslında bu yaklaşıma göre analiz süresinin sonsuz olduğu varsayılmakta, bu da kaplama seçeneklerinden herhangi biri için kalan ömürün belirlenmesini gereksiz kılmaktadır.

2. Performans dönemleri ile faaliyetlerin zamanlamasının belirlenmesi

Flaman Karayolları Kurumunun deneyim ve verilerinden yola çıkarak Anvers R1 Çevreyolu için yapılan YDMA hesaplamalarında, Tablo 5-10 ile Tablo 5-11'de gösterilen gelecekteki bakım faaliyetleri ve bunlarla ilişkili zaman ve maliyet tahminleri temel varsayım olarak kullanılmıştır.

Tablo 5-10. BETON Kaplama Seçeneği – Bakım stratejileri, zamanlaması ve maliyetleri

BETON KAPLAMA SEÇENEĞİ İÇİN BAKIM STRATEJİLERİ VE ZAMANLAMASI				
FAALİYET	AÇIKLAMA	SIKLIK	FAALİYETİN BAŞLANGIÇ ZAMANI	MALİYET (€)/km
Derzlerin yeniden doldurulması	Derzlerin temizlenmesi ve doldurulması	Her 5 yılda 1	15. yıl	5.410 €
Lokal onarımlar (ör. kopmalar, ...)	Testereyle kesim, kırma, beton onarım ve güçlendirme, derzlerin kesilmesi ve kapatılması, trafik akışının sağlanması	Her 10 yılda bir	9. yıl	7.015 €
Yeniden Yapım	Mevcut kaplamanın parçalanması, yeni CRCP'nin (230 mm) ve bitümlü ara tabaka (60 mm) inşası, trafik akışının sağlanması	Her 50 yılda bir	50. yıl	1063,245 €

Tablo 5-11. ASFALT Kaplama Seçeneği – Bakım stratejileri, zamanlaması ve maliyetleri

ASFALT KAPLAMA SEÇENEĞİ İÇİN BAKIM STRATEJİLERİ VE ZAMANLAMASI				
FAALİYET	AÇIKLAMA	SIKLIK	FAALİYETİN BAŞLANGIÇ ZAMANI	MALİYET (€)/km
Çatlak ve Derz bakımı	Çatlakların ve boyuna derzlerin temizlenmesi, kesimi ve kapatılması, trafik akışının sağlanması	Her 4 yılda 1	4. yıl	4.200 €
Çukur ve yamaların onarımı	Geçici onarım (soğuk karışım asfalt), sonradan yapılan kalıcı onarım (sıcak karışım asfalt), trafik akışının sağlanması	Her yıl	4. yıl	372 €
Yüzeydeki kusurların onarımı	Kazıma ve dolgu (sıcak karışım asfalt), trafik akışının sağlanması	Her yıl	4. yıl	5.178 €
Birinci Büyük Öntleyici Onarım	En dıştaki 2 şeritte aşınma tabakası + binder tabakasına kazıma ve dolgu (sıcak karışım asfalt ve yapıştırma tabakası), trafik işaretlemeleri, trafik akışının sağlanması	Bir defa	12. yıl	119.415 €
İkinci Büyük Öntleyici Onarım	Tüm şeritlerde aşınma tabakasına ve en dıştaki 3 şeritte binder tabakasına kazıma ve dolgu (sıcak karışım asfalt ve yapıştırma tabakası), trafik işaretlemeleri, trafik akışının sağlanması	Bir defa	24. yıl	222.085 €
Yeniden Yapım	Mevcut kaplamanın yıkılması, yeni asfalt kaplamanın (230 mm) inşası, trafik akışının sağlanması	36 yılda bir	36. yıl	690.772 €

3. İskonto oranının belirlenmesi

Bu YDMA kapsamında yapılan hesaplamalarda kullanılan reel iskonto oranı %4'tü. Söz konusu YDMA'nın yapıldığı zamanlarda (2002 yılı) bu oran genel kabul gören bir orandı. Bugünkü ekonomik koşulların hangi yönde evrildiği göz önünde bulundurulduğunda ise, günümüzde bundan daha düşük bir değer kullanılması muhtemelen daha uygun olacaktır. Ancak söz konusu YDMA'nın gerçekleştirildiği zamanlarda, %4'lük bir reel iskonto oranı Belçika'daki koşullara göre makul ve gerçekçi bir oran olarak değerlendirilmekteydi.

4. Kurum maliyetlerinin tahmin edilmesi

Üç tür kurum maliyeti göz önünde bulundurulmuştur:

- Kaplamanın ilk yapımında ortaya çıkan ilk kurum maliyetleri
- Her türlü bakım faaliyetlerini (diğer bir deyişle acil, düzeltici ve önleyici bakım faaliyetlerini) kapsayan kurum için gelecek bakım maliyetleri
- Yeniden Yapıma ilişkin olarak gelecekte ortaya çıkacak kurum maliyetleri

Hesaplamalarda kullanılan maliyet tahminleri, bölünmüş yolun tek bir yönündeki, aşağıda boyutlara sahip bir kısım ile ilgiliydi:

- 4 şeritten oluşan 18,25 metrelik bir genişlik (her şerit 3,75 metre) + orta refüj (0,75 m) + emniyet şeridi (2,50 m).
- 1 km'lik (1.000 m) uzunluk.
- Her bir kaplama seçeneği için tam derinlik (granüle temel ve alttemel hariç çünkü bu katmanların derinliği her iki seçenekte de aynıdır).

Her 1 km'lik kesit için ilk kurum maliyetlerinin bileşenleri ve bu maliyetlere ilişkin tahminler Tablo 5-12'e gösterilmektedir.

Her 1 km'lik kesit için gelecekteki kurum maliyetlerinin bileşenleri ve bunlarla ilgili tahminler ise Tablo 5-10 ile Tablo 5-11'in son sütununda sıralanmaktadır.

5. Kullanıcı maliyetlerinin tahmin edilmesi

Kullanıcı maliyetleri bu YDMA'da dikkate alınmamıştır.

6. Nakit akış şemalarının oluşturulması

R1 Otobanının YDMA'sı kapsamında bir nakit akış şeması oluşturulmamış, bunun yerine Şekil 5-5'te gösterildiği üzere zamana karşı kurum maliyetlerini gösteren bir şema hazırlanmıştır.

Şemada asfalt kaplama seçeneği için görülebileceği üzere, 12. ve 24. yıllardaki çatlak ve derz bakımı göz ardı edilebilir, çünkü 12. yılda yapılan birinci büyük önleyici bakım sırasında yol genişliğinin yarısı boyunca, 24. yılda yapılan ikinci büyük önleyici bakım sırasında ise yol genişliğinin tamamı boyunca aşınan tabaka değiştirilmektedir. Aynı nedenlerden dolayı çukur ve yama onarım maliyetlerinin 12.-15. seneler için yalnızca yarısı hesaplamalara dâhil edilmiş, 24.-27. seneler için ise bu maliyetler hesaplamalara dahil edilmemiştir.

Tablo 5-12. İlk Kurum Maliyetleri

İŞİN TANIMI	MİKTAR (m ²)	BİRİM FİYAT (€/m ²)	TOPLAM MALİYET (€/km)
CRCP (230 mm) + Zift Ara Katman (60 mm)	18 250	43,56	794 970
ASFALT KAPLAMA (230 mm)	18 250	29,10	531 084

Şekil 5-5. Zamana karşı kurum maliyetlerinin şeması

Kaplama Seçeneği - CRCP					Kaplama Seçeneği - ASFALT							
Yıl	İlk Yapım	Derzlerin yeniden doldurulması	Lokal onarım	Yeniden Yapım	Yıl	İlk Yapım	Çatlak ve derz bakımı	Çukur ve yama onarımı	Yüzeydeki kusurların onarımı	Birinci Büyük Önleyici Onarım	İkinci Büyük Önleyici Bakım	Yeniden Yapım
0	X				0	X						
1					1							
2					2							
3					3							
4					4		X	X	X			
5					5			X	X			
6					6			X	X			
7					7			X	X			
8					8		X	X	X			
9					9			X	X			
10			X		10			X	X			
11					11			X	X			
12					12			X/2	X/2	X		
13					13			X/2	X/2			
14					14			X/2	X/2			
15		X			15			X/2	X/2			
16					16		X	X	X			
17					17			X	X			
18					18			X	X			
19					19			X	X			
20		X	X		20		X	X	X			
21					21			X	X			
22					22			X	X			
23					23							
24					24						X	
25		X			25							
26					26							
27					27							
28					28		X	X	X			
29					29			X	X			
30		X	X		30			X	X			
31					31			X	X			
32					32		X	X	X			
33					33			X	X			
34					34			X	X			
35		X			35			X	X			
36					36							X
37												
38												
39												
40		X	X									
41												
42												
43												
44												
45		X										
46												
47												
48												
49												
50				X								

7. Net bugünkü değerin hesaplanması

İlk ve gelecekteki kurum maliyetlerinin tamamı için net bugünkü değerin (NPV) hesaplanmasına ilişkin ayrıntılar Tablo 5-15 ile Tablo 5-16'da özetlenmektedir.

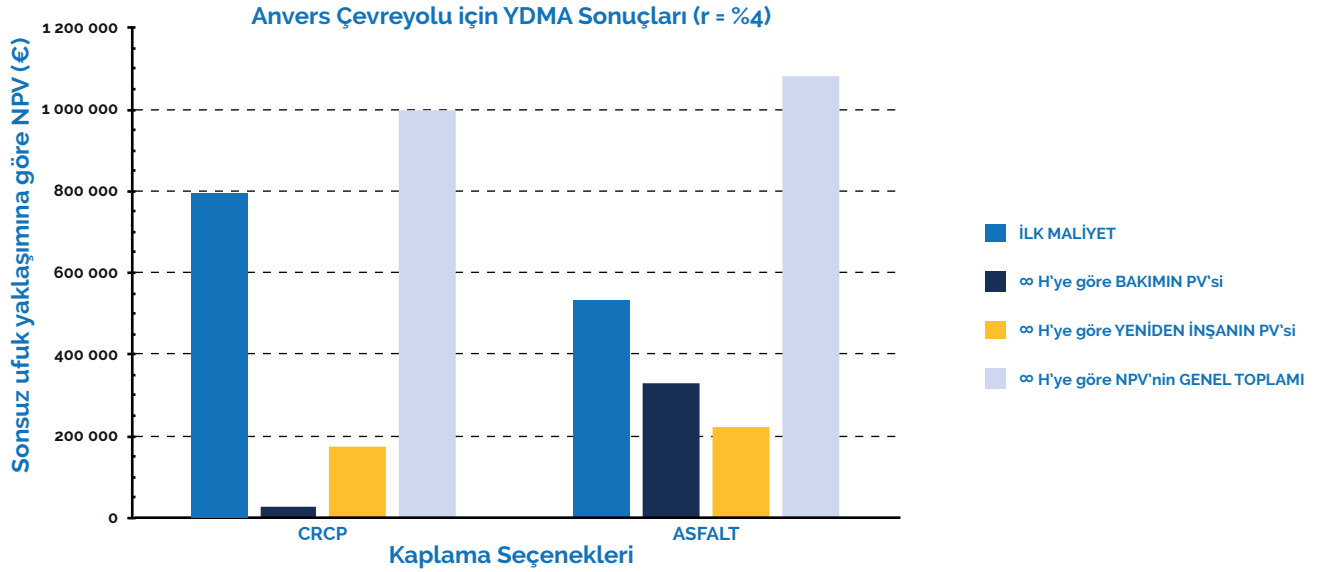
8. Sonuçların analiz edilmesi ve hassasiyet analizi gerçekleştirilmesi

%4,00 iskonto oranıyla yapılan YDMA hesaplamalarının sonuçları aşağıda Tablo 5-13 ve Şekil 5-6'da gösterilmektedir.

Tablo 5-13. Anvers R1 Çevreyolu için YDMA Sonucu

YDMA Sonucu				
r %	TOPLAM NPV €/km/Taşıt Yolu			
4,00	İLK MALİYET	∞H'ye göre BAKIMIN PV'si	∞H'ye göre YENİDEN İNŞANIN PV'si	∞H'ye göre TOPLAM NPV
CRCP	794.970 €	28.116 €	174.112 €	997.198 €
ASFALT	531.084 €	328.047 €	222.547 €	1.081.678 €
Maliyet Oranı CRCP/ASFALT	150%	9%	78%	92%

Şekil 5-6. YDMA sonuçlarının çubuk grafiği



Beton kaplama seçeneğinin ilk maliyeti asfalt kaplama seçeneğine göre %50 daha yüksek olmakla birlikte, her iki seçeneğin net bugünkü değeri %4 reel iskonto oranıyla ve sonsuz ufuk yaklaşımına göre hesaplandığında aynı çıkmaktadır. Bunun sebebi açık: Asfalt kaplama seçeneği için bugün yapılacak yatırımın, gelecekte ortaya çıkacak bakım ve yeniden yapım maliyetlerini karşılayabilecek derecede yüksek olması gerekmektedir.

İki seçeneğin gelecekteki yeniden yapım maliyetleri arasındaki fark, orantısız olarak ilk maliyetleri arasındaki farktan daha da büyüktür (%54 civarında, her kaplamanın performans

ömrünün sonunda yapılması gereken nispeten pahalı yıkım işlemi sebebiyle). Ancak beton için yeniden yapım maliyetinin bugünkü değeri, asfalta göre %20'den fazla bir oranda daha düşüktür. Bu durum, 50. yılda 0,1407 olan bugünkü değer faktörünün, 36. yılda 0,2534 olan bugünkü değer faktöründen daha düşük olmasının doğrudan bir sonucudur.

Sonsuz ufuk yaklaşımına göre hesaplanan net bugünkü değerler arasındaki fark yaklaşık 80.000 € düzeyindedir. Bu farklılık mutlak bir şekilde yorumlanmamalıdır. Aslında sonuçlar bir miktar belirsizlik gösteren parametrelere bağlıdır (reel iskonto oranı, performans ömrü, vs.).

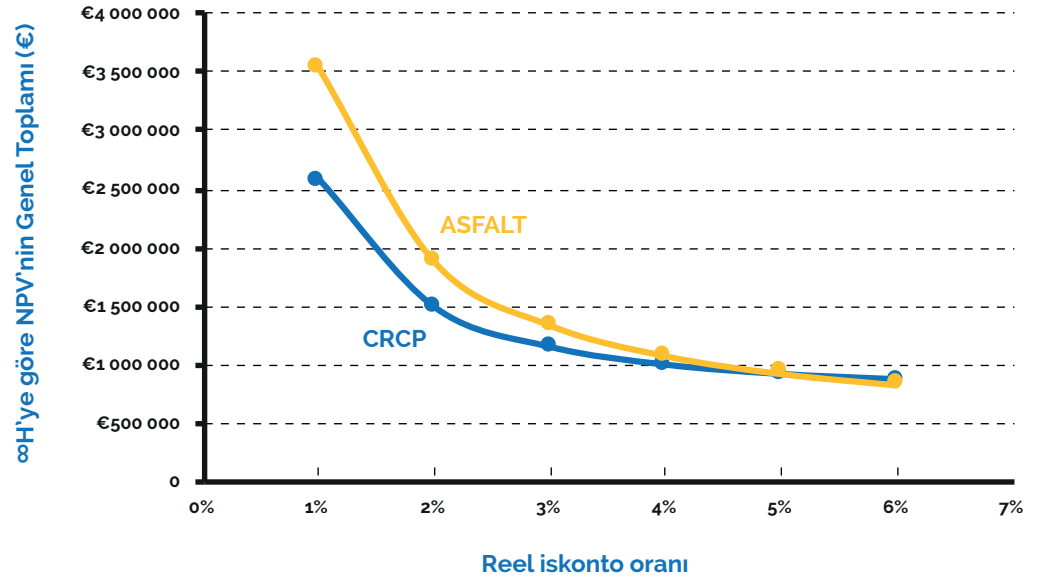
Tablo 5-14 ve Şekil 5-7'de, %1 ila %6 arasında değişen reel iskonto oranlarındaki değişkenliğin etkisi gösterilmektedir.

Tablo 5-14. Hassasiyet Analizi - ∞H'ye göre reel iskonto oranındaki değişkenliğin NPV üzerindeki etkisi

Reel iskonto Oranı	Sonsuz ufuk yaklaşımına göre Net Bugünkü Değer	
	CRCP	ASFALT
1%	2.572.565 €	3.536.363 €
2%	1.485.329 €	1.884.017 €
3%	1.148.609 €	1.344.028 €
4%	997.198 €	1.081.678 €
5%	917.814 €	929.931 €
6%	872.689 €	833.057 €

Hassasiyet grafiği, asfalt kaplama seçeneğine göre beton kaplama seçeneğinin, iskonto oranı azaldıkça daha maliyet etkin olduğunu göstermektedir. Yaklaşık %5'lik bir iskonto oranıyla, her iki kaplama seçeneğinin sonsuz ufuk yaklaşımına göre net bugünkü değerleri benzer seviyelerdedir. İskonto oranlarının %5'nin üzerine çıktığı durumlarda ise, asfalt kaplama seçeneğinin ∞H'ye göre NPV'si beton kaplama seçeneğinin ∞H'ye göre NPV'sinden biraz daha da düşük olacaktır. Ancak reel iskonto oranlarının geçmişteki değerleri göz önüne alındığında, %5 ve %6'dan yüksek iskonto oranları bu YDMA'nın yapıldığı dönem itibarıyla (2002 yılı) gerçekçi bulunmamıştır. Bugünkü reel iskonto oranıyla ilgili mevcut eğilimler dikkat alındığında, söz konusu durumun günümüzde daha da geçerli olduğunu söylemek mümkündür.

Şekil 5-7. Hassasiyet Analizi - ∞H'ye göre iskonto oranının NPV üzerindeki etkisi



Tablo 5-15. CRCP Seçeneği - NPV'nin hesaplamasına ilişkin ayrıntılar

Reel iskonto oranı	% 4,00	Kaplamanın performans ömrü L = 50 yıl							
R1 OTOBANI - CRCP SEÇENEĞİ İÇİN BUGÜNKÜ DEĞER HESAPLAMASI									
YIL	İLK YAPIM MALİYETİ	DERZLERİN YENİDEN KAPATILMASI	YEREL ONARIMLAR	YENİDEN YAPIM MALİYETLERİ	GELECEKTEKİ MALİYETLERİN ARA TOPLAMI	PV Faktörü	PV	L=50 yıl için ∞H'ye göre PV Faktörü	∞H'ye göre PV
0	794.970 €				794.970 €	1,0000	794.970 €		794.970 €
10			7.016 €		7.016 €	0,6756	4.740 €	1,1638	5.516 €
15		5.410 €			5.410 €	0,5553	3.004 €	1,1638	3.496 €
20		5.410 €	7.016 €		12.426 €	0,4564	5.671 €	1,1638	6.600 €
25		5.410 €			5.410 €	0,3751	2.029 €	1,1638	2.362 €
30		5.410 €	7.016 €		12.426 €	0,3083	3.831 €	1,1638	4.458 €
35		5.410 €			5.410 €	0,2534	1.371 €	1,1638	1.595 €
40		5.410 €	7.016 €		12.426 €	0,2083	2.588 €	1,1638	3.012 €
45		5.410 €			5.410 €	0,1712	926 €	1,1638	1.078 €
50				1.063.245 €	1.063.245 €	0,1407	149.612 €	1,1638	174.112 €
∞H'ye göre TOPLAM NPV									997.198 €

Fotoğraf: M. Diependaele



Tablo 5-16. ASFALT Kaplama Seçeneği - NPV hesaplamasının ayrıntıları

Reel iskonto oranı	%4,00	Kaplamanın performans ömrü L = 36 yıl										
R1 OTOBANI - ASFALT SEÇENEĞİ İÇİN BUGÜNKÜ DEĞER HESAPLAMASI												
YEAR	İLK YAPIM MALİYETİ	ÇATLAK VE DERZ BAKIMI	ÇUKUR VE YAMA ONARIMI	YÜZEYDEKİ KUSURLARIN ONARILMASI	BİRİNCİ BÜYÜK ÖNLEYİCİ BAKIM	İKİNCİ BÜYÜK ÖNLEYİCİ BAKIM	YENİDEN YAPIM MALİYETİ	GELECEKTEKİ MALİYETLERİN ARA TOPLAMI	PV Faktörü	PV	L=36 yıl için ∞'ye göre PV Faktörü	∞'ye göre PV
0	531.084 €							531.084 €	1.0000	531.084 €		531.084 €
4		4.200 €	372 €	5.178 €				9.750 €	0.8548	8.334 €	1.3222	11.019 €
5			372 €	5.178 €				5.550 €	0.8219	4.562 €	1.3222	6.031 €
6			372 €	5.178 €				5.550 €	0.7903	4.386 €	1.3222	5.799 €
7			372 €	5.178 €				5.550 €	0.7599	4.218 €	1.3222	5.576 €
8		4.200 €	372 €	5.178 €				9.750 €	0.7307	7.124 €	1.3222	9.419 €
9			372 €	5.178 €				5.550 €	0.7026	3.899 €	1.3222	5.156 €
10			372 €	5.178 €				5.550 €	0.6756	3.749 €	1.3222	4.957 €
11			372 €	5.178 €				5.550 €	0.6496	3.605 €	1.3222	4.767 €
12			186 €	2.589 €	119.415 €			122.190 €	0.6246	76.320 €	1.3222	100.908 €
13			186 €	2.589 €				2.775 €	0.6006	1.667 €	1.3222	2.204 €
14			186 €	2.589 €				2.775 €	0.5775	1.602 €	1.3222	2.119 €
15			186 €	2.589 €				2.775 €	0.5553	1.541 €	1.3222	2.037 €
16	4.200 €		372 €	5.178 €				9.750 €	0.5339	5.206 €	1.3222	6.883 €
17			372 €	5.178 €				5.550 €	0.5134	2.849 €	1.3222	3.767 €
18			372 €	5.178 €				5.550 €	0.4936	2.740 €	1.3222	3.622 €
19			372 €	5.178 €				5.550 €	0.4746	2.634 €	1.3222	3.483 €
20	4.200 €		372 €	5.178 €				9.750 €	0.4564	4.450 €	1.3222	5.883 €
21			372 €	5.178 €				5.550 €	0.4388	2.436 €	1.3222	3.220 €
22			372 €	5.178 €				5.550 €	0.4220	2.342 €	1.3222	3.096 €
23			372 €	5.178 €				5.550 €	0.4057	2.252 €	1.3222	2.977 €
24						222.085 €		222.08 €	0.3901	86.640 €	1.3222	114.553 €
28		4.200 €	372 €	5.178 €				9.750 €	0.3335	3.251 €	1.3222	4.299 €
29			372 €	5.178 €				5.550 €	0.3207	1.780 €	1.3222	2.353 €
30			372 €	5.178 €				5.550 €	0.3083	1.711 €	1.3222	2.262 €
31			372 €	5.178 €				5.550 €	0.2965	1.645 €	1.3222	2.175 €
32		4.200 €	372 €	5.178 €				9.750 €	0.2851	2.779 €	1.3222	3.675 €
33			372 €	5.178 €				5.550 €	0.2741	1.521 €	1.3222	2.011 €
34			372 €	5.178 €				5.550 €	0.2636	1.463 €	1.3222	1.934 €
35			372 €	5.178 €				5.550 €	0.2534	1.406 €	1.3222	1.860 €
36							690.772 €	690.772 €	0.2437	168.319 €	1.3222	222.547 €
											∞'ye göre TOPLAM NPV	1.081.679 €

6 - KAYNAKLAR

- [Kaynak 1]: FWHA, 1998, Life-Cycle Cost Analysis in Pavement Design, Publication N° FHWA-SA-98-079.
- [Kaynak 2]: ACPA, 2012, Life-Cycle Cost Analysis. A Tool for Better Pavement Investment and Engineering Decisions.
- [Kaynak 3]: Mack J.W., TRB 2013, Accounting for Material-Specific Inflation Rates in Life-Cycle Cost Analysis for Pavement Type Selection.
- [Kaynak 4]: Diependaele Manu, Technum Engineering Consultants, Belgium, 2006. Major Rehabilitation Antwerp Ring Road R1. Choice of pavement based on LCCA calculations.
- [Kaynak 5]: FWHA, 2002, LCCA Primer.

EKLER

Tablo A-1'de gelecek 100 yıl boyunca yüzde 1, 2, 3, 4, 5 ve 6 reel iskonto oranlarıyla bir seferliğine yapılacak ödemeler için PV iskonto faktörleri gösterilmektedir. İlk kurum mali-

yetlerinin $y = 0$ zamanında gerçekleştiği varsayılmaktadır ve bu maliyetler iskonto edilmemektedir (diğer bir değişle tam ve gerçek değerlerine göre hesaba katılmaktadırlar).

Tablo A-1. Bugünkü değer faktörleri - Gelecekte tek ödeme

Yıl	PV faktörü					
	r=1%	r=2%	r=3%	r=4%	r=5%	r=6%
0	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
1	0,9901	0,9804	0,9709	0,9615	0,9524	0,9434
2	0,9803	0,9612	0,9426	0,9246	0,9070	0,8900
3	0,9706	0,9423	0,9151	0,8890	0,8638	0,8396
4	0,9610	0,9238	0,8885	0,8548	0,8227	0,7921
5	0,9515	0,9057	0,8626	0,8219	0,7835	0,7473
6	0,9420	0,8880	0,8375	0,7903	0,7462	0,7050
7	0,9327	0,8706	0,8131	0,7599	0,7107	0,6651
8	0,9235	0,8535	0,7894	0,7307	0,6768	0,6274
9	0,9143	0,8368	0,7664	0,7026	0,6446	0,5919
10	0,9053	0,8203	0,7441	0,6756	0,6139	0,5584
11	0,8963	0,8043	0,7224	0,6496	0,5847	0,5268
12	0,8874	0,7885	0,7014	0,6246	0,5568	0,4970
13	0,8787	0,7730	0,6810	0,6006	0,5303	0,4688
14	0,8700	0,7579	0,6611	0,5775	0,5051	0,4423
15	0,8613	0,7430	0,6419	0,5553	0,4810	0,4173
16	0,8528	0,7284	0,6232	0,5339	0,4581	0,3936
17	0,8444	0,7142	0,6050	0,5134	0,4363	0,3714
18	0,8360	0,7002	0,5874	0,4936	0,4155	0,3503
19	0,8277	0,6864	0,5703	0,4746	0,3957	0,3305
20	0,8195	0,6730	0,5537	0,4564	0,3769	0,3118
21	0,8114	0,6598	0,5375	0,4388	0,3589	0,2942
22	0,8034	0,6468	0,5219	0,4220	0,3418	0,2775
23	0,7954	0,6342	0,5067	0,4057	0,3256	0,2618
24	0,7876	0,6217	0,4919	0,3901	0,3101	0,2470
25	0,7798	0,6095	0,4776	0,3751	0,2953	0,2330
26	0,7720	0,5976	0,4637	0,3607	0,2812	0,2198
27	0,7644	0,5859	0,4502	0,3468	0,2678	0,2074
28	0,7568	0,5744	0,4371	0,3335	0,2551	0,1956
29	0,7493	0,5631	0,4243	0,3207	0,2429	0,1846

Yıl	r=1%	r=2%	r=3%	r=4%	r=5%	r=6%
30	0,7419	0,5521	0,4120	0,3083	0,2314	0,1741
31	0,7346	0,5412	0,4000	0,2965	0,2204	0,1643
32	0,7273	0,5306	0,3883	0,2851	0,2099	0,1550
33	0,7201	0,5202	0,3770	0,2741	0,1999	0,1462
34	0,7130	0,5100	0,3660	0,2636	0,1904	0,1379
35	0,7059	0,5000	0,3554	0,2534	0,1813	0,1301
36	0,6989	0,4902	0,3450	0,2437	0,1727	0,1227
37	0,6920	0,4806	0,3350	0,2343	0,1644	0,1158
38	0,6852	0,4712	0,3252	0,2253	0,1566	0,1092
39	0,6784	0,4619	0,3158	0,2166	0,1491	0,1031
40	0,6717	0,4529	0,3066	0,2083	0,1420	0,0972
41	0,6650	0,4440	0,2976	0,2003	0,1353	0,0917
42	0,6584	0,4353	0,2890	0,1926	0,1288	0,0865
43	0,6519	0,4268	0,2805	0,1852	0,1227	0,0816
44	0,6454	0,4184	0,2724	0,1780	0,1169	0,0770
45	0,6391	0,4102	0,2644	0,1712	0,1113	0,0727
46	0,6327	0,4022	0,2567	0,1646	0,1060	0,0685
47	0,6265	0,3943	0,2493	0,1583	0,1009	0,0647
48	0,6203	0,3865	0,2420	0,1522	0,0961	0,0610
49	0,6141	0,3790	0,2350	0,1463	0,0916	0,0575
50	0,6080	0,3715	0,2281	0,1407	0,0872	0,0543
51	0,6020	0,3642	0,2215	0,1353	0,0831	0,0512
52	0,5961	0,3571	0,2150	0,1301	0,0791	0,0483
53	0,5902	0,3501	0,2088	0,1251	0,0753	0,0456
54	0,5843	0,3432	0,2027	0,1203	0,0717	0,0430
55	0,5785	0,3365	0,1968	0,1157	0,0683	0,0406
56	0,5728	0,3299	0,1910	0,1112	0,0651	0,0383
57	0,5671	0,3234	0,1855	0,1069	0,0620	0,0361
58	0,5615	0,3171	0,1801	0,1028	0,0590	0,0341
59	0,5560	0,3109	0,1748	0,0989	0,0562	0,0321
60	0,5504	0,3048	0,1697	0,0951	0,0535	0,0303
61	0,5450	0,2988	0,1648	0,0914	0,0510	0,0286
62	0,5396	0,2929	0,1600	0,0879	0,0486	0,0270
63	0,5343	0,2872	0,1553	0,0845	0,0462	0,0255
64	0,5290	0,2816	0,1508	0,0813	0,0440	0,0240
65	0,5237	0,2761	0,1464	0,0781	0,0419	0,0227
66	0,5185	0,2706	0,1421	0,0751	0,0399	0,0214

Yıl	r=1%	r=2%	r=3%	r=4%	r=5%	r=6%
67	0,5134	0,2653	0,1380	0,0722	0,0380	0,0202
68	0,5083	0,2601	0,1340	0,0695	0,0362	0,0190
69	0,5033	0,2550	0,1301	0,0668	0,0345	0,0179
70	0,4983	0,2500	0,1263	0,0642	0,0329	0,0169
71	0,4934	0,2451	0,1226	0,0617	0,0313	0,0160
72	0,4885	0,2403	0,1190	0,0594	0,0298	0,0151
73	0,4837	0,2356	0,1156	0,0571	0,0284	0,0142
74	0,4789	0,2310	0,1122	0,0549	0,0270	0,0134
75	0,4741	0,2265	0,1089	0,0528	0,0258	0,0126
76	0,4694	0,2220	0,1058	0,0508	0,0245	0,0119
77	0,4648	0,2177	0,1027	0,0488	0,0234	0,0113
78	0,4602	0,2134	0,0997	0,0469	0,0222	0,0106
79	0,4556	0,2092	0,0968	0,0451	0,0212	0,0100
80	0,4511	0,2051	0,0940	0,0434	0,0202	0,0095
81	0,4467	0,2011	0,0912	0,0417	0,0192	0,0089
82	0,4422	0,1971	0,0886	0,0401	0,0183	0,0084
83	0,4379	0,1933	0,0860	0,0386	0,0174	0,0079
84	0,4335	0,1895	0,0835	0,0371	0,0166	0,0075
85	0,4292	0,1858	0,0811	0,0357	0,0158	0,0071
86	0,4250	0,1821	0,0787	0,0343	0,0151	0,0067
87	0,4208	0,1786	0,0764	0,0330	0,0143	0,0063
88	0,4166	0,1751	0,0742	0,0317	0,0137	0,0059
89	0,4125	0,1716	0,0720	0,0305	0,0130	0,0056
90	0,4084	0,1683	0,0699	0,0293	0,0124	0,0053
91	0,4043	0,1650	0,0679	0,0282	0,0118	0,0050
92	0,4003	0,1617	0,0659	0,0271	0,0112	0,0047
93	0,3964	0,1586	0,0640	0,0261	0,0107	0,0044
94	0,3925	0,1554	0,0621	0,0251	0,0102	0,0042
95	0,3886	0,1524	0,0603	0,0241	0,0097	0,0039
96	0,3847	0,1494	0,0586	0,0232	0,0092	0,0037
97	0,3809	0,1465	0,0569	0,0223	0,0088	0,0035
98	0,3771	0,1436	0,0552	0,0214	0,0084	0,0033
99	0,3734	0,1408	0,0536	0,0206	0,0080	0,0031
100	0,3697	0,1380	0,0520	0,0198	0,0076	0,0029

Tablo A-2'de Faktör, L ve r'nin bir fonksiyonu olarak gösterilmektedir. Tabloda yıl

sayısı (L) arttıkça, değerlerin hızla azaldığı görülmektedir

Tablo A-2. Sonsuz Ufka göre Faktör

L Yıl	Sonsuz Ufka göre Faktör					
	r=1%	r=2%	r=3%	r=4%	r=5%	r=6%
1	101,0000	51,0000	34,3333	26,0000	21,0000	17,6667
2	50,7512	25,7525	17,4204	13,2549	10,7561	9,0906
3	34,0022	17,3377	11,7843	9,0087	7,3442	6,2352
4	25,6281	13,1312	8,9676	6,8873	5,6402	4,8099
5	20,6040	10,6079	7,2785	5,6157	4,6195	3,9566
6	17,2548	8,9263	6,1533	4,7690	3,9403	3,3894
7	14,8628	7,7256	5,3502	4,1652	3,4564	2,9856
8	13,0690	6,8255	4,7485	3,7132	3,0944	2,6839
9	11,6740	6,1258	4,2811	3,3623	2,8138	2,4504
10	10,5582	5,5663	3,9077	3,0823	2,5901	2,2645
11	9,6454	5,1089	3,6026	2,8537	2,4078	2,1132
12	8,8849	4,7280	3,3487	2,6638	2,2565	1,9880
13	8,2415	4,4059	3,1343	2,5036	2,1291	1,8827
14	7,6901	4,1301	2,9509	2,3667	2,0205	1,7931
15	7,2124	3,8913	2,7922	2,2485	1,9268	1,7160
16	6,7945	3,6825	2,6537	2,1455	1,8454	1,6492
17	6,4258	3,4985	2,5318	2,0550	1,7740	1,5907
18	6,0982	3,3351	2,4236	1,9748	1,7109	1,5393
19	5,8052	3,1891	2,3271	1,9035	1,6549	1,4937
20	5,5415	3,0578	2,2405	1,8395	1,6049	1,4531
21	5,3031	2,9392	2,1624	1,7820	1,5599	1,4167
22	5,0864	2,8316	2,0916	1,7300	1,5194	1,3841
23	4,8886	2,7334	2,0271	1,6827	1,4827	1,3546
24	4,7073	2,6436	1,9682	1,6397	1,4494	1,3280
25	4,5407	2,5610	1,9143	1,6003	1,4190	1,3038
26	4,3869	2,4850	1,8646	1,5642	1,3913	1,2817
27	4,2446	2,4147	1,8188	1,5310	1,3658	1,2616
28	4,1124	2,3495	1,7764	1,5003	1,3425	1,2432
29	3,9895	2,2889	1,7372	1,4720	1,3209	1,2263
30	3,8748	2,2325	1,7006	1,4458	1,3010	1,2108
31	3,7676	2,1798	1,6666	1,4214	1,2826	1,1965
32	3,6671	2,1305	1,6349	1,3987	1,2656	1,1834

L Yıl	r=1%	r=2%	r=3%	r=4%	r=5%	r=6%
33	3,5727	2,0843	1,6052	1,3776	1,2498	1,1712
34	3,4840	2,0409	1,5774	1,3579	1,2351	1,1600
35	3,4004	2,0001	1,5513	1,3394	1,2214	1,1496
36	3,3214	1,9616	1,5268	1,3222	1,2087	1,1399
37	3,2468	1,9253	1,5037	1,3060	1,1968	1,1310
38	3,1761	1,8910	1,4820	1,2908	1,1857	1,1226
39	3,1092	1,8586	1,4615	1,2765	1,1753	1,1149
40	3,0456	1,8278	1,4421	1,2631	1,1656	1,1077
41	2,9851	1,7986	1,4237	1,2504	1,1564	1,1010
42	2,9276	1,7709	1,4064	1,2385	1,1479	1,0947
43	2,8727	1,7445	1,3899	1,2272	1,1399	1,0889
44	2,8204	1,7194	1,3743	1,2166	1,1323	1,0834
45	2,7705	1,6955	1,3595	1,2066	1,1252	1,0783
46	2,7228	1,6727	1,3454	1,1971	1,1186	1,0736
47	2,6771	1,6509	1,3320	1,1880	1,1123	1,0691
48	2,6334	1,6301	1,3193	1,1795	1,1064	1,0650
49	2,5915	1,6102	1,3071	1,1714	1,1008	1,0611
50	2,5513	1,5912	1,2955	1,1638	1,0955	1,0574
51	2,5127	1,5729	1,2845	1,1565	1,0906	1,0540
52	2,4756	1,5555	1,2739	1,1496	1,0859	1,0508
53	2,4400	1,5387	1,2638	1,1430	1,0815	1,0478
54	2,4057	1,5226	1,2542	1,1367	1,0773	1,0449
55	2,3726	1,5072	1,2450	1,1308	1,0733	1,0423
56	2,3408	1,4923	1,2361	1,1251	1,0696	1,0398
57	2,3102	1,4781	1,2277	1,1197	1,0661	1,0375
58	2,2806	1,4643	1,2196	1,1146	1,0627	1,0353
59	2,2520	1,4511	1,2119	1,1097	1,0596	1,0332
60	2,2244	1,4384	1,2044	1,1050	1,0566	1,0313
61	2,1978	1,4261	1,1973	1,1006	1,0537	1,0294
62	2,1720	1,4143	1,1905	1,0964	1,0510	1,0277
63	2,1471	1,4029	1,1839	1,0923	1,0485	1,0261
64	2,1230	1,3919	1,1776	1,0884	1,0461	1,0246
65	2,0997	1,3813	1,1715	1,0848	1,0438	1,0232
66	2,0771	1,3711	1,1657	1,0812	1,0416	1,0218
67	2,0551	1,3612	1,1601	1,0779	1,0396	1,0206
68	2,0339	1,3516	1,1547	1,0746	1,0376	1,0194
69	2,0133	1,3423	1,1495	1,0716	1,0357	1,0183

L Yıl	r=1%	r=2%	r=3%	r=4%	r=5%	r=6%
70	1,9933	1,3334	1,1446	1,0686	1,0340	1,0172
71	1,9739	1,3247	1,1398	1,0658	1,0323	1,0162
72	1,9550	1,3163	1,1351	1,0631	1,0307	1,0153
73	1,9367	1,3082	1,1307	1,0605	1,0292	1,0144
74	1,9189	1,3004	1,1264	1,0581	1,0278	1,0136
75	1,9016	1,2928	1,1223	1,0557	1,0264	1,0128
76	1,8848	1,2854	1,1183	1,0535	1,0251	1,0121
77	1,8684	1,2782	1,1144	1,0513	1,0239	1,0114
78	1,8525	1,2713	1,1107	1,0492	1,0228	1,0107
79	1,8370	1,2646	1,1072	1,0473	1,0216	1,0101
80	1,8219	1,2580	1,1037	1,0454	1,0206	1,0095
81	1,8072	1,2517	1,1004	1,0435	1,0196	1,0090
82	1,7929	1,2456	1,0972	1,0418	1,0186	1,0085
83	1,7789	1,2396	1,0941	1,0401	1,0177	1,0080
84	1,7653	1,2338	1,0911	1,0385	1,0169	1,0075
85	1,7520	1,2282	1,0882	1,0370	1,0161	1,0071
86	1,7391	1,2227	1,0854	1,0355	1,0153	1,0067
87	1,7264	1,2174	1,0827	1,0341	1,0145	1,0063
88	1,7141	1,2122	1,0801	1,0327	1,0138	1,0060
89	1,7021	1,2072	1,0776	1,0314	1,0132	1,0056
90	1,6903	1,2023	1,0752	1,0302	1,0125	1,0053
91	1,6788	1,1976	1,0728	1,0290	1,0119	1,0050
92	1,6676	1,1929	1,0706	1,0279	1,0114	1,0047
93	1,6567	1,1884	1,0684	1,0268	1,0108	1,0045
94	1,6460	1,1841	1,0662	1,0257	1,0103	1,0042
95	1,6355	1,1798	1,0642	1,0247	1,0098	1,0040
96	1,6253	1,1757	1,0622	1,0237	1,0093	1,0037
97	1,6153	1,1716	1,0603	1,0228	1,0089	1,0035
98	1,6055	1,1677	1,0584	1,0219	1,0085	1,0033
99	1,5959	1,1639	1,0566	1,0210	1,0080	1,0031
100	1,5866	1,1601	1,0549	1,0202	1,0077	1,0030



Yayınlayan:

EUPAVE Avrupa Beton Kaplama Birliği
Vorstlaan 68 Boulevard du Souverain,
bus 13 1170 Brüksel
T: +32 2 645 52 31
F: +32 2 640 06 70
info@eupave.eu
www.eupave.eu

Yazar:

Manu Diependaele, MSCE, PE.
YDMA Danışmanı - Belçika
manu.diependaele@gmail.com
Cep T.: +32 495 58 71 90

Gözden Geçiren:

Luc Rens
Genel Müdür
EUPAVE

Fotoğraflar:

Luc Rens
FEBELCEM

Haziran 2018



Bu kitap, EUPAVE izni ile TÇMB (Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği) tarafından Türkçeye çevrilmiştir



EUPAVE
Avrupa Beton Kaplama Birliği
Vorstaan 68, bus 13
Boulevard du Souverain,
68 bus 13 1170 Brüksel

Tel : +32 2 645 52 31
Fax : +32 2 640 06 70
info@eupave.eu
www.eupave.eu



TÇMB
Tepe Prime A Blok Kat: 18-19
Eskişehir Devlet Yolu
(Dumlupınar Bulvarı)
9. km No: 266 06800
ANKARA/TÜRKİYE

Tel : +90 312 444 50 57
Fax : +90 312 265 09 06
e-mail: info@tcma.org.tr
www.tcma.org.tr