



ESNEK ÜSTYAPILARIN TASARIMLARINDA AASHTO-72 VE AASHTO-86 YÖNTEMLERİNİN ANALİTİK VE EKONOMİK KARŞILAŞTIRILMASI

Baha Vural KÖK*, Necati KULOĞLU

Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Elazığ, TÜRKİYE

ÖZET

AASHTO-72 tasarım yönteminde yapısal tasarım (tabaka kalınlıkları ve cinsi) ve yükleme şartlarının (dingil yükü ve tekerrür sayısı) kaplamaya olan etkileri ve kaplama performansının yük tekerrürleri altındaki değişimi esas alınmaktadır. AASHTO-86 tasarım yönteminde ise drenaj şartlarının kaplamaya olan etkileri, kaplama performansının yük tekerrürleri ve zemindeki şişme - donma özellikleri altındaki değişimi, trafik tahminine bağlı hata risklerini azaltmak amacıyla bir güvenilirlik katsayısı da esas alınmaktadır. Her iki yöntemde de üstyapı sayısının; tabaka kalınlıkları ile çarpılan izafi mukavemet katsayılarının toplamına eşit ve büyük olması gerektiği için bir çok kombinasyon ortaya çıkmaktadır. Bu çalışmada tasarım kriterinde yer alan parametrelerin alabileceği farklı değerlerle ortaya çıkan 1171800 alternatif, her iki yöntemle MATLAB programı kullanılarak analiz edilmiştir. Sonuçta üstyapıyı oluşturan tabakaların değişik eşdeğer dingil yükü sayılarına göre en ekonomik kalınlıkları, zemin taşıma gücünün üstyapı maliyetine etkisi, en uygun ve ekonomik temel, alttemel cinsleri tespit edilmiştir. Optimum çözümler içerisinde yöntemlerin, farklı üst yapı kompozisyonları verdiği tespit edilmiştir. Ayrıca zemin taşıma gücünün zayıf olduğu durumlarda maliyet ve üstyapı kalınlığı olarak yöntemlerin birbirine yakın sonuçlar verdiği, zemin taşıma gücünün yüksek olduğu durumlarda ise AASHTO-86 yönteminin daha ekonomik olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler : AASHTO tasarım metotları, Zemin taşıma gücü, Tabaka kalınlıkları, Ekonomik analiz.

ANALYTICAL AND ECONOMICAL COMPARISON OF AASHTO-72 AND AASHTO-86 METHODS IN DESIGNING THE FLEXIBLE PAVEMENTS

ABSTRACT

The effects of the constructional design (thickness of layers and types) and loading conditions (axle loading and repetition number) on pavement, and also the change of the pavement performance under repeated loading are considered in AASHTO-72 design method. As for AASHTO-86 design method, the effects of the drainage conditions on pavement, the change of the pavement performance under repeated load and the effect of freeze-thaw properties in the soil, and also to reduce the errors relating to traffic estimation a reliability index are considered. Because of the structural number have to be equal and bigger than the sum of the layer coefficient that is multiplied with layer thickness a lot of combination occur for both methods. In this study 1171800 alternative occurred from the different values of parameter placed in design criterion were analyzed according to both methods by using MATLAB program. In conclusion the most economic thickness of layers forming pavement for different equivalent axle load number, the effect of the bearing capacity of soil on pavement cost, and the most suitable and economic base and subbase type were determined. It was determined that the methods exhibit different pavement composition in optimum solutions. Furthermore, it was determined that in the weak bearing capacity of soil, both methods gives close result with each other as considered the cost and thickness of the pavement, however, in the strong bearing capacity of soil, AASHTO-86 method is determined as the most economical method.

Keywords: AASHTO design methods, Soil bearing capacity, Layer thickness, Economic analysis.

*E-posta: bvural@firat.edu.tr

1. GİRİŞ

Teknolojik gelişmelere paralel olarak yaşam standartlarının yükselmesi ile insanların güvenli ve konforlu sürüş talebi artmıştır. Günümüz Türkiye’inde ekonomik kalkınmanın ve refahın gelişmesinde büyük önemi olan karayolu taşımacılığının, ulaştırma sektörü içindeki payı giderek artan bir eğilim göstermektedir. Devlet İstatistik Enstitüsü verilerine göre Türkiye’de karayolu taşımacılığının payı 1970’de yük taşımacılığında %61, yolcu taşımacılığında %91 iken, 2003 yılında yk taşımacılığında %92, yolcu taşımacılığında %95 olmuştur. 1992’den günümüze otomobil sayısı % 154, ağır taşıt sayısı ise % 183 artmıştır [1]. Bu verilerden de anlaşılacağı üzere kentler arası yolcu ve yük taşımacılığında en büyük payı karayolu sistemi üstlenmekte ve bu pay, her geçen gün hızla artış göstermektedir.

Ekonomik gelişmenin temel dayanağı olan karayolu uzunluğunda dünya 13’öncüsü olan ülkemizin bin kilometrekare başına yol uzunluğuna bakıldığında gelişmiş ülkelerin oldukça gerisinde olduğu görülüyor. Bir ülkenin ne kadar yol uzunluğuna sahip olması gerektiği yüzölçümü, nüfus yoğunluğu, fiziki zorluk, nüfusun belirli bölgelerde yoğunlaşması, doğal şartlar gibi çok çeşitli kıstaslara bağlıdır. Bu nedenle Türkiye’nin ne kadar yolu olması gerektiğini saptamak zordur. Fakat, Türkiye’nin kendi boyutlarına ve koşullarına (yüzölçümü, nüfus yoğunluğu, doğal şartlar gibi) yakın gelişmiş ülke olan Fransa’nın oranında yol seviyesine ulaşması Türkiye için bir hedef olabilir. Bunun için Türkiye’nin karayolu uzunluğunu 3,3 katına (1 milyon 275 bin 702 kilometreye) ıkarması gerekmektedir [2].

Ülkemizdeki karayolları için bütçeden ayrılan paylara bakıldığında yollarımızın çok kısıtlı imknlarla yapılmaya çalışıldığı görülmektedir. Hem çok daha fazla uzunlukta yollara sahip olmamız gerektiği hem de bu yolların sağlam olması, trafiğin ve çevrenin aşındırıcı etkilerine uzun yıllar direnç gösterebilmesi gerektiğinden bu kısıtlı imknların en ekonomik şekilde değerlendirilmesi gerekmektedir. Ülkemizde, daha ucuz olduğu dşnldğu için kademeli inşaat ve sathi kaplama türü tercih edilmektedir. Ancak 20 yıllık bir periyot içerisinde yapılan bakım ve onarım harcamaları dikkate alındığında sathi kaplamalı bir yolun hiç de ucuza mal olmadığı, hatta bitümlü sıcak karışımlı bir yol tipinden daha fazla harcama yapıldığı görülmektedir [3].

Kaplama tabakası olarak bitümlü sıcak karışımın seçilmesi elbette ki temel ve alt temel kalınlıklarının ve tipinin de, kaplaması sathi kaplama olan yollardakinden farklı olmasına neden olacaktır. Kaplama, temel ve alt temel kalınlıklarının, temel ve alt temel cinslerinin, zeminin taşıma gücünün, trafik miktarının farklı olabilmesi uygun bir üst yapı tasarımı için binlerce kombinasyonu oluşturmaktadır. Tabaka kalınlıklarının ve tipinin belirlenmesi esnek kaplama tasarımının nihai amacıdır. Tabaka kalınlıklarının fazla veya az öngörülmesi negatif ekonomik etkiler ve üstyapının geri kalan ömründe azalmaya neden olmaktadır. Ülkemizde esnek kaplama tasarımı olarak ampirik bir yöntem olan AASHTO-72 yöntemi kullanılmakta fakat yakın bir zamanda AASHTO-86 yöntemine geçilecektir. Bu çalışmada binlerce kombinasyon içinden bütün alternatifler dikkate alınarak en ekonomik çözüm her iki yöntemle bulunmaya çalışılmış ve ekonomik karşılaştırma yapılmıştır.

2. ÜSTYAPI TASARIMI

Yollar, bölgenin sosyo-ekonomik durumuna bağlı olarak ihtiyaç ve talepleri karşılayacak şekilde tasarlanmaktadır. Yol kullanıcısı olarak sürücüler, düzgün, konforlu, kayma direnci yüksek, hızlı erişimli, ulaşım maliyeti ve gürültü seviyesi düşük yollar talep ederken, yol otoriteleri, dayanıklı minimum bakım gerektiren, kalıcı deformasyonlara karşı dirençli, aşınma direnci yüksek, uzun ömürlü yolları hedeflemektedirler [4].

Karayolları Genel Mdrlğu tarafından esnek styapıların tasarımında kullanılan projelendirme metodu, AASHTO-1972 Geçici Rehberinde verilen esnek üstyapı projelendirme yöntemi olup yakın zamanda daha gerçekçi sonuçlar veren AASHTO-86 yönteminin kullanımına geçilecektir.

2.1. AASHTO-1972 Tasarım Yöntemi

Bu tasarım yönteminde yapısal tasarım (tabaka kalınlıkları ve cinsi) ve yükleme şartlarının (dingil yükü ve tekerrür sayısı) kaplamaya olan etkileri ve kaplama performansının yk tekerrürleri altındaki değişimi esas alınmaktadır. Kaplama kalınlığını veren formül AASHTO yol testlerindeki gözlem ve ölçümlere dayandırılarak elde edilmiştir.

Bir kaplamanın performansı, taşıtların emniyetli ve konforlu olarak seyahat edebilmelerinin bir göstergesidir. Bu tasarım yönteminde kaplamanın performansı “servis yeteneği” kavramı ile tanımlanmaktadır. AASHTO yol testinde kaplamanın başlangıçta sahip olduğu ve belirli bir kullanım sonunda azalan servis yeteneğine göre kaplamanın performansının nasıl değiştiği saptanmaya çalışılmış ve buna göre tasarım formülleri geliştirilmiştir. Mevcut servis yeteneği indeksi (PSI) eşitlik 1’de kaplama yapısal sayısı (SN) eşitlik 2’de görüldüğü gibi belirlenmektedir.

$$PSI = 5,03 - 1,91 \log(1 + \overline{SV}) - 1,38 \overline{RD}^2 - 0,01 \sqrt{C + P} \quad (1)$$

$$SN = a_1 \cdot D_1 + a_2 \cdot D_2 + a_3 \cdot D_3 \quad (2)$$

Burada \overline{RD} , her iki teker izindeki ortalama derinliği (inç), \overline{SV} , ortalama eğim değişimini $\times 10^6$, C, çatlakları (her 1000 ft²’de çatlakların alanı), P, yamaları (her 1000 ft²’de yapılan yama alanı), a_i, her bir tabakanın izafi mukavemet katsayısı, D_i, kaplama, temel ve alt temel tabaka kalınlıkları, SN, kaplama yapısal sayısıdır. AASHTO yol testlerinin sonuçları trafik yükleri, malzemenin özellikleri, tabaka kalınlıkları, iklim koşulları ve zemin şartlarının etkileri regresyon analizleri ile irdelenmiştir. Esnek kaplamaların tasarımı için 1972 Tasarım rehberinde eşitlik 3 kullanılmıştır [5].

$$\text{Log}W_{8,2t} = 9,36 \log(\overline{SN} + 1) - 0,20 + \frac{\log[(4,2 - P_t)/(4,2 - 1,5)]}{0,40 + [1094 / (\overline{SN} + 1)^{5,19}]} - \log \frac{1}{R} + 0,372(S_i - 3) \quad (3)$$

Burada,

$\overline{W}_{8,2t}$: 8,2 ton tek dingil yükünün nihai servis yeteneğine erişmesi için gerekli toplam tekerrür sayısı,

\overline{SN} : Düzeltilmiş kaplama yapısal sayısı,

S_i : Kaplamanın üzerine oturduğu zeminin izafi taşıma gücü,

P_t : Nihai servis yeteneği indeksi,

R : Bölgesel faktör.

AASHTO-72 tasarım yönteminde sırasıyla şu işlemler yapılır: Üst yapısı hesaplanacak yolun oturacağı doğal zeminin taşıma gücü (CBR) belirlenir. Proje trafiği belirlenir. Hizmet ve işletme periyodu sonundaki trafik belirlenir. Projelendirmede kullanılacak ($W_{8,2t}$) dingil yüküne eşdeğer trafik tespit edilir. Bölge faktörü, şerit faktörü ve yolun son hizmet kabiliyeti indeksi belirlenir. SN belirlenir. Tabaka kalınlıkları ile izafi mukavemet katsayılarının çarpımının en az SN değerini verecek kalınlıklar tespit edilir. Her bir tabakanın CBR değerlerine göre kalınlıkları tekrar kontrol edilir. Yetersiz olan kalınlıklar artırılır.

2.2. AASHTO-1986 Tasarım Yöntemi

Bu tasarım yöntemi 1972 tasarım yöntemine göre daha gerçekçi yaklaşımlar getirmiştir. 1986 tasarım yönteminde zemin taşıma gücü S_i yerine zemin esneklik modülü Mr, bölgesel faktör R yerine rasyonel değerlere dayalı çevre etkileri kullanılmaktadır. Ayrıca trafik tahminine bağlı hata risklerini azaltmak amacıyla bir güvenilirlik katsayısı, kademeli inşaat kavramı söz konusudur. Bu tasarım yönteminde de ilk etapta mevcut servis yeteneği indeksi (PSI) daha önce olduğu gibi tespit edilmektedir. Yapılan gözlemlerde PSI=1,5 olduğunda kaplamanın kullanılmayacak olduğu kabul edilmektedir. Dolayısıyla kaplamanın trafikten ötürü servis yeteneği kaybı $\Delta PSI_T = P_0 - P_t$ olmaktadır. Burada P₀, kaplamanın trafiğe açıldığı andaki PSI değeri, P_t ise kaplamanın rehabilite edileceği andaki nihai PSI değeridir. 1986 yönteminde zemindeki şişme ve donma özelliklerinin etkisinden kaynaklanan servis yeteneği kaybı da dikkate alınmaktadır. Şişmeye duyarlı zeminler artan su içeriği ile şişme göstererek kaplamaya ilave gerilmeler yaratmaktadır. Bu ilave gerilmelerden ötürü kaplamanın servis yeteneğindeki azalma (ΔPSI_S) miktarının tayini için eşitlik 4 kullanılmaktadır [6].

$$\Delta PSI_S = 0,00335 V_R P_S (1 - e^{-\theta}) \quad (4)$$

Burada V_R, potansiyel düşey yükselme olup laboratuvar testleri ile belirlenebilmektedir. θ , şişme oranı sabiti olup 0 ile 0,2 arasında değerler almaktadır. Eğer taban zemini suyla fazla temas halinde ise θ değeri yüksek olmaktadır. P_S,

şişme olasılığı olup şişmeye duyarlı zeminlerin yol boyunca sahip oldukları uzunlukların, toplam yol uzunluğuna oranının yüzde cinsinden değeridir. t ise yıl olarak zamanı ifade etmektedir.

Donma kabarmasından ötürü servis yeteneğindeki azalma (ΔPSI_D) eşitlik 5 ile tespit edilmektedir.

$$\Delta PSI_D = 0,01 P_{DK} \Delta PSI_{max} [1 - e^{-(0,02\phi \cdot t)}] \quad (5)$$

Burada P_{DK} , donma kabarma olasılığı olup drenajın kalitesi, donma çözülme periyotlarının sayısı ve don penetrasyon derinliği gibi birtakım faktörler göz önüne alınarak yolun toplam uzunluğunun ne kadar kısmında donma olayı olabileceği görüşüne bağlıdır. ΔPSI_{max} , don kabarmasından dolayı maksimum hizmet kabiliyeti kaybı olup, don penetrasyon derinliği ve drenaj kalitesine bağlı olarak 0 ile 5 arasında değişmektedir. ϕ ise donma kabarması oranı olup mm/gün olarak hacimsel artış oranını ifade etmektedir.

Trafik, zeminde şişme ve donma kabarmasından ötürü servis yeteneğindeki toplam kayıp eşitlik 6 ile tespit edilmektedir. Üstyapı sayısı (SN) eşitlik 7 ile belirlenmektedir.

$$\Sigma \Delta PSI = \Delta PSI_T + \Delta PSI_S + \Delta PSI_D \quad (6)$$

$$SN = a_1 \cdot D_1 + a_2 \cdot D_2 \cdot m_2 + a_3 \cdot D_3 \cdot m_3 \quad (7)$$

Burada a_i , her bir tabakanın izafi mukavemet katsayısı, D_i , kaplama, temel ve alt temel tabaka kalınlıkları, m_i , ise drenaj faktörü olup kaplamanın doygunluk seviyesine yakın su içeriğine maruz kaldığı sürenin yıl içindeki yüzdesine bağlı olarak değişmektedir.

Esnek kaplamaların tasarımı için 1986 tasarım rehberinde eşitlik 8 kullanılmıştır.

$$\text{Log } W_{8,2t} = Z_R S_0 + 9,36 \log(SN + 1) - 0,20 + \frac{\log[(\Delta PSI)/(4,2 - 1,5)]}{0,40 + [1094/(SN + 1)^{5,19}]} + 2,32 \log M_R - 8,07 \quad (8)$$

Burada,

- $W_{8,2t}$: 8,2 ton tek dingil yükünün nihai servis yeteneğine erişmesi için gerekli toplam tekerrür sayısı,
- Z_R : Güvenirliğin yüzdesine bağlı olarak tespit edilen standart normal sapma değeri,
- S_0 : Standart sapma,
- M_R : Kaplamanın üzerine oturduğu zeminin taşıma gücü.

AASHTO-86 tasarım yönteminde üst yapısı hesaplanacak yolun oturacağı doğal zeminin AASHTO 274 ile M_R değeri tespit edilmektedir. Zeminin CBR değeri ile M_R değeri arasında Psi cinsinden $M_R = 1500$ CBR gibi bir ilişki mevcut olduğundan dolayı zeminin CBR değeri bilinmesi halinde M_R değeri yaklaşık olarak tayin edilebilir.

AASHTO tasarım yönteminin kabul görüp yaygın bir şekilde kullanılmasından sonra üstyapı sayısı ve tabakaların izafi mukavemet katsayıları tartışılmaya başlanmıştır. Coree ve White olasılık analizi sunarak SN'in belirlenmesindeki mevcut durumun uygun olmadığını belirtmişlerdir [7]. Nii, SN'in belirlenmesinde deterministik bir yöntem olan convex modeli kullanmıştır [8]. Bir başka tartışma konusu da tabakaların izafi mukavemet katsayıları hakkında olmuştur. AASHTO yol testlerinde, granüler malzemeler için CBR ve tabaka katsayıları arasındaki ilişkiyi belirlemiştir. Walter yaptığı çalışmasında puzzolanik çimento ile stabilize edilmiş temellerin AASHTO yol testinde iyi bir şekilde değerlendirilmediğini ileri sürmüş ayrıca çimento stabilizasyonlu temellerin izafi mukavemet katsayılarının temel kalınlığıyla değiştiğini tespit etmiştir [9]. Kenneth yaptığı çalışmasında kireç, benzer bir aktivatör yada portlant çimentosu ile stabilize edilmiş bir malzemenin izafi tabaka katsayısının nasıl bulunacağına ilişkin bir yöntem sunmuştur [10]. David yine çimento ile stabilize edilmiş temellerin tabaka katsayılarını, hazırladığı silindirik numunelerin dayanımı, kuru birim ağırlıkları ve çimento miktarları ile aralarındaki regresyon analizleri ile tespit etmiştir [11]. Yapılan çalışmalarda temel tabakasında geogrid kullanılması durumunda bu tabakanın izafi mukavemet katsayısının, zemin CBR değerine göre 1 ile 2 kat arasında arttığı tespit edilmiş ve geosentetiklerle güçlendirilmiş üstyapı sistemleri için bir tasarım yöntemi geliştirilmiştir. Bu yöntem AASHTO tasarım yönteminin modifiyesi şeklinde olmuştur. [12].

3. MATLAB PROGRAMI İLE ÜSTYAPININ ANALİTİK ve EKONOMİK ANALİZİ

AASHTO tasarım yönteminde, zemin taşıma gücüne, eşdeğer standart dingil yükü (ESDY) sayısına ve hizmet kabiliyeti indeksine göre tespit edilen üstyapı sayısı (SN), tabaka kalınlıkları ile çarpılan izafi mukavemet ve drenaj katsayılarının toplamına eşit ve büyük olması gerektiği için bir çok kombinasyon ortaya çıkmaktadır. Bu alternatifleri sınırlandıran parametreler ise yapım kriterleri ve ekonomidir. Bu çalışmada tasarım kriterinde yer alan parametrelerin alabileceği farklı değerlerle ortaya çıkan binlerce alternatif AASHTO-72 ve AASHTO-86 yöntemlerine göre matlab programı kullanılarak analiz edilmiş ve optimum çözümler bulunmuştur. Oluşturulan bütün alternatiflerde drenaj faktörü 1, toplam maksimum hizmet kabiliyeti indeksi kaybı 1,7, güvenilirlik seviyesi Z_R , %85, standart sapma S_0 , 0,45 olarak alınmış ayrıca taban zemininin dona karşı hassas olmadığı kabul edilmiştir. Üstyapıda yer alacak tabakaların izafi mukavemet katsayıları Tablo 1’de verilmiştir. Tablo 2’de zeminin taşıma gücü (S_i , CBR) ve ESDY değerlerine göre Tablo 3’te ise temel ve alttemel cinsinin CBR değeri ve ESDY değerlerine göre eşitlik 3 ve 8 ile bulunan SN değerleri verilmiştir.

Tablo 1. Tabaka cinslerine göre izafi mukavemet katsayıları.

Tabaka	Aşınma tabakası	Binder tabakası	Bitümlü temel	Plentmix temel	Granüler temel	Kırmataş alttemel	Kumçakıl alttemel
Tabaka katsayısı	0,43	0,41	0,33	0,15	0,14	0,13	0,11

Tablo 2. CBR ve ESDY değerlerine göre SN değerleri.

ESDY	S_i (CBR)					
	3 (3)	4 (5,5)	5 (10)	6 (18)	7 (33)	8 (60)
1000	13,48 (13,65)	11,91 (11,15)	10,47 (8,94)	9,12 (7,14)	7,93 (5,65)	6,88 (4,46)
2000	14,80 (15,01)	13,18 (12,34)	11,63 (10,00)	10,21 (8,01)	8,89 (6,34)	7,72 (5,03)
3000	15,62 (15,82)	13,94 (13,10)	12,34 (10,66)	10,87 (8,56)	9,49 (6,79)	8,25 (5,38)
4000	16,20 (16,40)	14,45 (13,62)	12,85 (11,14)	11,32 (8,97)	9,93 (7,11)	8,63 (5,65)
5000	16,71 (16,91)	14,93 (14,04)	13,28 (11,52)	11,73 (9,31)	10,29 (7,39)	8,97 (5,87)

Tablo 3. Temel ve alttemel cinslerine ve ESDY’ne göre SN değerleri.

ESDY	Granüler temel (CBR=100)	Plentmix temel (CBR=120)	Kum-çakıl alttemel (CBR=30)	Kırmataş alttemel (CBR=50)
1000	6,07 (3,60)	5,81 (3,33)	8,12 (5,87)	7,13 (4,80)
2000	6,80 (4,09)	6,50 (3,79)	9,09 (6,58)	8,00 (5,40)
3000	7,29 (4,39)	6,98 (4,07)	9,70 (7,04)	8,58 (5,78)
4000	7,62 (4,62)	7,29 (4,29)	10,16 (7,38)	8,99 (6,06)
5000	7,92 (4,80)	7,59 (4,46)	10,54 (7,66)	9,32 (6,29)

Parantez içindeki değerler AASHTO-86 yöntemi içindir.

Her bir tabaka kalınlığının alt ve üst limitleri bulunmaktadır. Genel olarak bir defada serilip sıkıştırılmış bitümlü karışımların tabaka kalınlığı, karışımdaki en büyük dane boyutunun 1,5 ile 3 katı arasında, temel ve alttemel tabakaları için ise bu değer 20 cm olmalıdır [13].

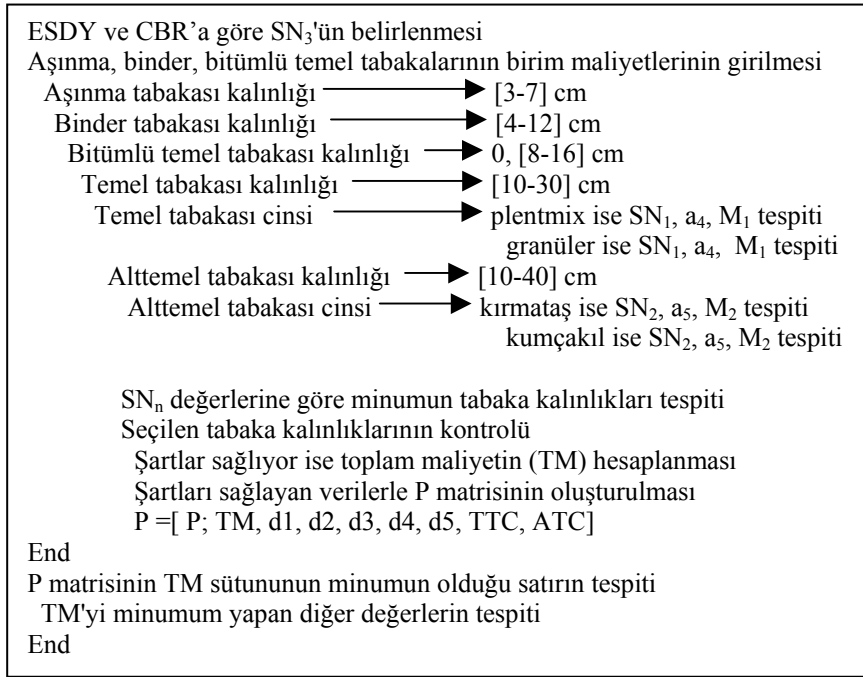
Bu çalışmada, aşınma tabakası (beton asfalt) 3-7cm, binder tabakası (beton asfalt) 4-12 cm, bitümlü sıcak temel tabakası 8-16cm, temel tabakası 10-30 cm ve alttemel tabakası 10-40 cm arasında alınmıştır. Böylece, aşınma tabakası için 5, binder tabakası için 9, bitümlü temel tabakası için 9, temel tabakası için 21, alttemel tabakası için 31 farklı kalınlık değeri, 2 farklı temel ve 2 farklı alttemel cinsi ile 1054620 kombinasyon oluşturulmuştur. Tasarımda bitümlü sıcak temelin olmaması durumu için ise 117180 kombinasyon oluşturulmuş olup toplam 1171800 alternatif her iki yöntemle analize tabi tutulmuştur.

Tablo 4. Tabaka cinslerine göre birim maliyetler.

Poz No	Tanım	Birimi	Maliyet (Y.T.L)	m ² / cm maliyeti (Y.T.L)
6401/M	4 cm sıkışmış kalınlıkta 1 m ² asfalt betonu aşınma tabakası yapılması (kırılmış ve elenmiş ocak taşı ile)	m ²	3,62	0,905
6400/M	5 cm sıkışmış kalınlıkta 1 m ² asfalt betonu aşınma tabakası yapılması (kırılmış ve elenmiş ocak taşı ile)	m ²	4,47	0,894
6304/M	6 cm sıkışmış kalınlıkta 1 m ² asfalt betonu binder tabakası yapılması (kırılmış ve elenmiş ocak taşı ile)	m ²	5,28	0,880
6300/M	7 cm sıkışmış kalınlıkta 1 m ² asfalt betonu binder tabakası yapılması (kırılmış ve elenmiş ocak taşı ile)	m ²	6,13	0,875
6308/M	8 cm sıkışmış kalınlıkta 1 m ² asfalt betonu binder tabakası yapılması (kırılmış ve elenmiş ocak taşı ile)	m ²	6,98	0,872
6200/M	14 cm sıkışmış kalınlıkta 1 m ² asfalt betonu bitümlü sıcak temel tabakası yapılması (kırılmış ve elenmiş ocak taşı ile)	m ²	11,41	0,815
6202/M	12 cm sıkışmış kalınlıkta 1 m ² asfalt betonu bitümlü sıcak temel tabakası yapılması (kırılmış ve elenmiş ocak taşı ile)	m ²	9,81	0,817
6203/M	11 cm sıkışmış kalınlıkta 1 m ² asfalt betonu bitümlü sıcak temel tabakası yapılması (kırılmış ve elenmiş ocak taşı ile)	m ²	9,2	0,836
6205/M	10 cm sıkışmış kalınlıkta 1 m ² asfalt betonu bitümlü sıcak temel tabakası yapılması (kırılmış ve elenmiş ocak taşı ile)	m ²	8,22	0,822
6206/M	9 cm sıkışmış kalınlıkta 1 m ² asfalt betonu bitümlü sıcak temel tabakası yapılması (kırılmış ve elenmiş ocak taşı ile)	m ²	7,41	0,823
6207/M	8 cm sıkışmış kalınlıkta 1 m ² asfalt betonu bitümlü sıcak temel tabakası yapılması (kırılmış ve elenmiş ocak taşı ile)	m ²	6,60	0,825
6040	Temel yapılması (granüler temel 1 in kırılmış ve elenmiş ocak taşı ile)	m ³	22,33	0,223
6100/3	Plentmix temel yapılması (kırılmış ve elenmiş ocak taşı ile) Not: Kaplama yoğunluğu 2,4 gr/cm ³	ton	20,02	0,480
6010	Elenmiş akıllı malzeme ile alttemel yapılması (kum-çakıl alttemel)	m ³	3,93	0,039
6000	Ocak taşından konkas�rle kırılmış malzeme ile alttemel yapılması	m ³	18,07	0,180
	Ortalama aşınma tabakası maliyeti (m ² / cm) = 0,899	=	0,899	Y.T.L
	Ortalama binder tabakası maliyeti (m ² / cm) = 0,875	=	0,875	Y.T.L
	Ortalama bitümlü sıcak temel tabakası maliyeti (m ² / cm)	=	0,823	Y.T.L

Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM) birim fiyatlarında, aşınma, binder ve bitümlü sıcak temel tabakaları için farklı kalınlıklardaki $1m^2$ maliyetleri, temel ve alttemel tabakaları için ise m^3 ve ton maliyetleri verilmiştir. Bu çalışmada, tabaka kalınlıklarına göre verilen maliyet değerleri, tabaka kalınlıklarına bölünerek m^2 / cm miktarının maliyeti bulunmuş ve bu değerlerin de ortalaması alınmıştır. AASHTO-72 ve AASHTO-86 yöntemlerinin ekonomik karşılaştırılması için 2005 yılı KGM birim fiyatları esas alınmıştır. Tablo 4'te analizde kullanılacak birim maliyetler verilmiştir [14].

Hazırlanan program, bütün alternatifleri AASHTO-72 ve AASHTO-86 yöntemlerine göre analiz edip, tabaka kalınlıklarını, cinslerini ve maliyetini içeren satırlar şeklinde bir matrisin içine atmaktadır. Bu matrisin maliyet sütununun en düşük değerini içeren satır, program çıktısı olarak alınmaktadır. Şekil 1'de programın akışı verilmiştir. Tablo 5-9'da zemin taşıma gücüne ve ESDY'ye göre bulunan optimum tabaka kalınlıkları bitümlü temel tabakasının olması ve olmaması durumları için verilmiştir. Parantez içindeki değerler AASHTO-86 yöntemi içindir.



M₁ : Temel tabakası maliyeti, M₂ : Alttemel tabakası maliyeti
a₄ : Temel tabakası izafi mukavemet katsayısı, a₅ : Alttemel tabakası izafi mukavemet katsayısı
d_n : Tabaka kalınlıkları, TTC : Temel tabakası cinsi, ATC : Alttemel tabakası cinsi

Tablo 5. ESDY=5000 için optimum tabaka kalınlıkları.

CBR	Aşınma tabakası (cm)	Binder Tabakası (cm)	Bitümlü temel tabakası. (cm)	Temel Tabakası (cm)	Alttemel tabakası (cm)	Alttemel cinsi	Maliyet (Y.T.L)	Toplam üstyapı kalınlığı (cm)
3	5	8	9	28	40	Kumçakıl	26,70	90
	(4)	(10)	(8)	(29)	(40)	Kumçakıl	(26,96)	(91)
	-	-	0	-	-	-	-	0
	(7)	(11)	(0)	(30)	(40)	Kırmataş	(29,80)	(88)
5,5	3	10	8	18	40	Kumçakıl	23,60	79
	(3)	(4)	(8)	(30)	(39)	Kumçakıl	(20,99)	(84)
	7	12	0	19	40	Kumçakıl	22,60	78
	(6)	(7)	(0)	(30)	(40)	Kumçakıl	(19,77)	(83)

Tablo 5. ESDY=5000 için optimum tabaka kalınlıkları. (Devamı)

CBR	Aşınma tabakası (cm)	Binder Tabakası (cm)	Bitümlü temel tabakası. (cm)	Temel Tabakası (cm)	Alttemel tabakası (cm)	Alttemel cinsi	Maliyet (Y.T.L)	Toplam üstyapı kalınlığı (cm)
10	3	10	8	18	25	Kumçakıl	23,02	64
	(3)	(4)	(8)	(15)	(36)	Kumçakıl	(17,53)	(66)
	7	12	0	19	25	Kumçakıl	22,00	63
	(5)	(7)	(0)	(19)	(35)	Kumçakıl	(16,22)	(66)
18	3	10	8	18	11	Kumçakıl	22,47	50
	(3)	(4)	(8)	(15)	(15)	Kumçakıl	(16,71)	(45)
	7	12	0	19	11	Kumçakıl	21,46	49
	(5)	(7)	(0)	(19)	(15)	Kumçakıl	(15,44)	(46)
33	3	9	8	10	10	Kırmataş	22,00	40
	(3)	(4)	(8)	(15)	(10)	Kumçakıl	(16,51)	(40)
	7	12	0	10	10	Kırmataş	20,82	39
	(3)	(9)	(0)	(10)	(10)	Kırmataş	(14,60)	(32)
60	3	9	8	10	10	Kırmataş	22,00	40
	(3)	(4)	(8)	(15)	(10)	Kumçakıl	(16,51)	(40)
	7	12	0	10	10	Kırmataş	20,82	39
	(3)	(9)	(0)	(10)	(10)	Kırmataş	(14,60)	(32)

Tablo 6. ESDY=4000 için optimum tabaka kalınlıkları.

CBR	Aşınma t. (cm)	Binder t. (cm)	Bitümlü temel t. (cm)	Temel t. (cm)	Alttemel t. (cm)	Alttemel cinsi	Maliyet (Y.T.L)	Toplam üstyapı kalınlığı (cm)
3	3	9	8	30	40	Kumçakıl	25,40	90
	(6)	(7)	(8)	(28)	(40)	Kumçakıl	(25,90)	(89)
	7	12	0	28	40	Kumçakıl	24,60	87
	(7)	(12)	(0)	(30)	(39)	Kumçakıl	(25,00)	(88)
5,5	5	7	8	18	39	Kumçakıl	22,74	77
	(3)	(4)	(8)	(27)	(39)	Kumçakıl	(20,33)	(81)
	7	12	0	16	39	Kumçakıl	21,88	74
	(6)	(6)	(0)	(30)	(40)	Kumçakıl	(18,89)	(82)
10	4	8	8	18	25	Kumçakıl	22,17	63
	(3)	(4)	(8)	(13)	(35)	Kumçakıl	(17,04)	(63)
	7	12	0	16	25	Kumçakıl	21,33	60
	(6)	(5)	(0)	(20)	(34)	Kumçakıl	(15,85)	(65)
18	4	8	8	18	11	Kumçakıl	21,62	49
	(3)	(4)	(8)	(13)	(15)	Kumçakıl	(16,26)	(43)
	7	12	0	16	11	Kumçakıl	20,79	46
	(7)	(4)	(0)	(20)	(14)	Kumçakıl	(14,80)	(45)
33	4	8	8	10	10	Kırmataş	21,21	40
	(3)	(4)	(8)	(13)	(10)	Kumçakıl	(16,07)	(38)
	7	12	0	16	10	Kumçakıl	20,75	45
	(6)	(5)	(0)	(11)	(10)	Kırmataş	(14,02)	(32)
60	4	8	8	10	10	Kırmataş	21,21	40
	(3)	(4)	(8)	(13)	(10)	Kumçakıl	(16,07)	(38)
	7	12	0	16	10	Kumçakıl	20,75	45
	(6)	(5)	(0)	(11)	(10)	Kumçakıl	(14,02)	(32)

Tablo 7. ESDY=3000 için optimum tabaka kalınlıkları.

CBR	Aşınma t. (cm)	Binder t. (cm)	Bitümlü temel t. (cm)	Temel t. (cm)	Alttemel t. (cm)	Alttemel cinsi	Maliyet (Y.T.L)	Toplam üstyapı kalınlığı (cm)
3	5	6	9	26	40	Kumçakıl	24,51	86
	(4)	(7)	(8)	(30)	(40)	Kumçakıl	(24,55)	(89)
	6	12	0	27	40	Kumçakıl	23,47	85
	(7)	(11)	(0)	(28)	(40)	<i>Kırmataş</i>	(23,72)	(86)
5,5	3	9	8	15	39	Kumçakıl	22,02	74
	(3)	(4)	(8)	(23)	(40)	Kumçakıl	(19,47)	(78)
	6	12	0	16	39	Kumçakıl	20,99	73
	(7)	(4)	(0)	(29)	(40)	Kumçakıl	(17,82)	(80)
10	3	9	8	15	24	Kumçakıl	21,43	59
	(3)	(4)	(8)	(11)	(33)	Kumçakıl	(16,52)	(59)
	6	12	0	16	24	Kumçakıl	20,40	58
	(3)	(8)	(0)	(18)	(33)	Kumçakıl	(15,00)	(62)
18	3	9	8	15	11	Kumçakıl	20,93	46
	(3)	(4)	(8)	(11)	(14)	Kumçakıl	(15,78)	(40)
	6	12	0	16	11	Kumçakıl	19,89	45
	(3)	(8)	(0)	(18)	(14)	Kumçakıl	(14,25)	(43)
33	3	9	8	15	10	Kumçakıl	20,89	45
	(3)	(4)	(8)	(11)	(10)	Kumçakıl	(15,62)	(36)
	6	12	0	16	10	Kumçakıl	19,85	44
	(3)	(8)	(0)	(10)	(10)	<i>Kırmataş</i>	(13,72)	(31)
60	3	9	8	15	10	Kumçakıl	20,89	45
	(3)	(4)	(8)	(11)	(10)	Kumçakıl	(15,62)	(36)
	6	12	0	16	10	Kumçakıl	19,85	44
	(3)	(8)	(0)	(10)	(10)	<i>Kırmataş</i>	(13,72)	(31)

Tablo 8. ESDY=2000 için optimum tabaka kalınlıkları.

CBR	Aşınma t. (cm)	Binder t. (cm)	Bitümlü temel t. (cm)	Temel t. (cm)	Alttemel t. (cm)	Alttemel cinsi	Maliyet (Y.T.L)	Toplam üstyapı kalınlığı (cm)
3	3	7	8	26	40	Kumçakıl	22,76	84
	(5)	(4)	(8)	(30)	(40)	Kumçakıl	(22,83)	(87)
	5	12	0	24	40	Kumçakıl	19,31	81
	(7)	(9)	(0)	(28)	(40)	Kumçakıl	(21,97)	(84)
5,5	6	4	8	16	38	Kumçakıl	18,74	72
	(3)	(4)	(8)	(17)	(40)	Kumçakıl	(18,13)	(72)
	5	12	0	15	37	Kumçakıl	17,67	69
	(4)	(6)	(0)	(27)	(40)	Kumçakıl	(16,42)	(77)
10	6	4	8	16	24	Kumçakıl	18,23	58
	(3)	(4)	(8)	(10)	(28)	Kumçakıl	(16,10)	(53)
	5	12	0	15	23	Kumçakıl	17,13	55
	(6)	(4)	(0)	(17)	(31)	Kumçakıl	(13,89)	(58)
18	6	4	8	16	11	Kumçakıl	17,76	45
	(3)	(4)	(8)	(10)	(10)	Kumçakıl	(15,40)	(35)
	5	12	0	15	10	Kumçakıl	16,70	42
	(6)	(4)	(0)	(17)	(13)	Kumçakıl	(13,19)	(40)

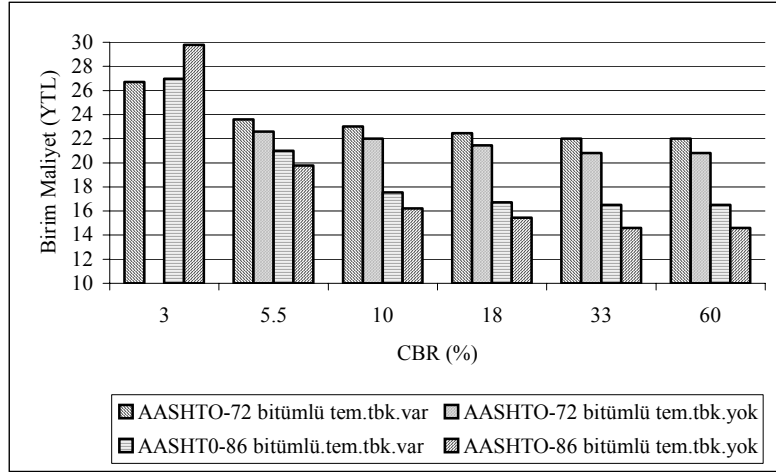
Tablo 8. ESDY=2000 için optimum tabaka kalınlıkları. (Devamı)

CBR	Aşınma t. (cm)	Binder t. (cm)	Bitümlü temel t. (cm)	Temel t. (cm)	Alttemel t. (cm)	Alttemel cinsi	Maliyet (Y.T.L)	Toplam üstyapı kalınlığı (cm)
33	3	7	8	10	10	<i>Kırmataş</i>	17,76	38
	(3)	(4)	(8)	(10)	(10)	Kumçakıl	(15,40)	(35)
	5	12	0	15	10	Kumçakıl	16,70	42
	(3)	(7)	(0)	(10)	(10)	<i>Kırmataş</i>	(12,85)	(30)
60	3	7	8	10	10	<i>Kırmataş</i>	17,76	38
	(3)	(4)	(8)	(10)	(10)	Kumçakıl	(15,40)	(34)
	5	12	0	15	10	Kumçakıl	16,70	42
	(3)	(7)	(0)	(10)	(10)	<i>Kırmataş</i>	(12,85)	(30)

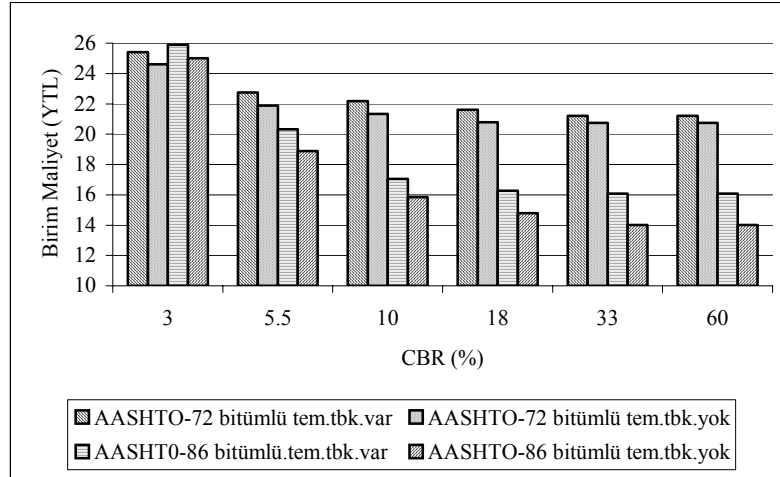
Tablo 9. ESDY=1000 için optimum tabaka kalınlıkları.

CBR	Aşınma t. (cm)	Binder t. (cm)	Bitümlü temel t. (cm)	Temel t. (cm)	Alttemel t. (cm)	Alttemel cinsi	Maliyet (Y.T.L)	Toplam üstyapı kalınlığı (cm)
3	5	4	8	19	40	Kumçakıl	20,37	76
	(3)	(4)	(8)	(27)	(40)	Kumçakıl	(20,36)	82
	7	8	0	20	40	Kumçakıl	19,31	75
	(7)	(5)	(0)	(30)	(40)	Kumçakıl	(18,92)	82
5,5	3	5	9	13	35	Kumçakıl	18,74	65
	(3)	(4)	(8)	(10)	(39)	Kumçakıl	(16,53)	64
	4	11	0	14	34	Kumçakıl	17,67	63
	(3)	(6)	(0)	(22)	(40)	Kumçakıl	(14,41)	71
10	3	5	9	13	22	Kumçakıl	18,23	52
	(3)	(4)	(8)	(10)	(18)	Kumçakıl	(15,71)	43
	3	12	0	14	21	Kumçakıl	17,13	50
	(5)	(4)	(0)	(15)	(28)	Kumakıl	(12,43)	52
18	3	5	9	13	10	Kumakıl	17,76	40
	(3)	(4)	(8)	(10)	(10)	Kumakıl	(15,40)	35
	3	12	0	14	10	Kumakıl	16,70	39
	(5)	(4)	(0)	(15)	(12)	Kumakıl	(11,80)	36
33	3	5	9	13	10	Kumakıl	17,76	40
	(3)	(4)	(8)	(10)	(10)	Kumakıl	(15,40)	35
	3	12	0	14	10	Kumakıl	16,70	39
	(5)	(4)	(0)	(15)	(10)	Kumakıl	(11,73)	34
60	3	5	9	13	10	Kumakıl	17,76	40
	(3)	(4)	(8)	(10)	(10)	Kumakıl	(15,40)	35
	3	12	0	14	10	Kumçakıl	16,70	39
	(5)	(4)	(0)	(15)	(10)	Kumçakıl	(11,73)	34

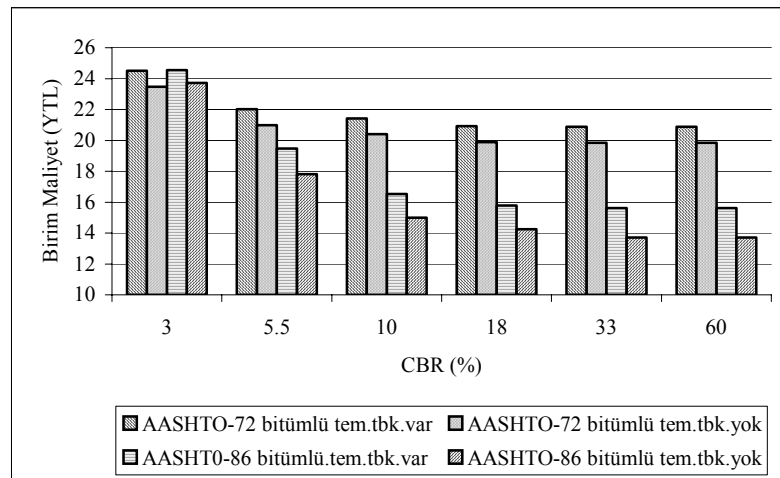
Tablo 5-9’da AASHTO-72 ve AASHTO-86 yöntemlerine göre bir esnek üst yapıda maliyeti en düşük yapacak tabaka kalınlıkları verilmiştir. Burada bütün kombinasyonlarda temel cinsi, granüler temel olarak tespit edilmiştir. Kombinasyonların büyük bir çoğunluğunda alttemel cinsi, kum-çakıl alttemel olmuştur. Şekil 2-6’da eşdeğer standart dingil yükü sayısı (günlük) 5000’den 1000’e kadar olan yollarda zemin taşıma gücü ile üst yapı maliyeti arasındaki iliŐkiler verilmiştir.



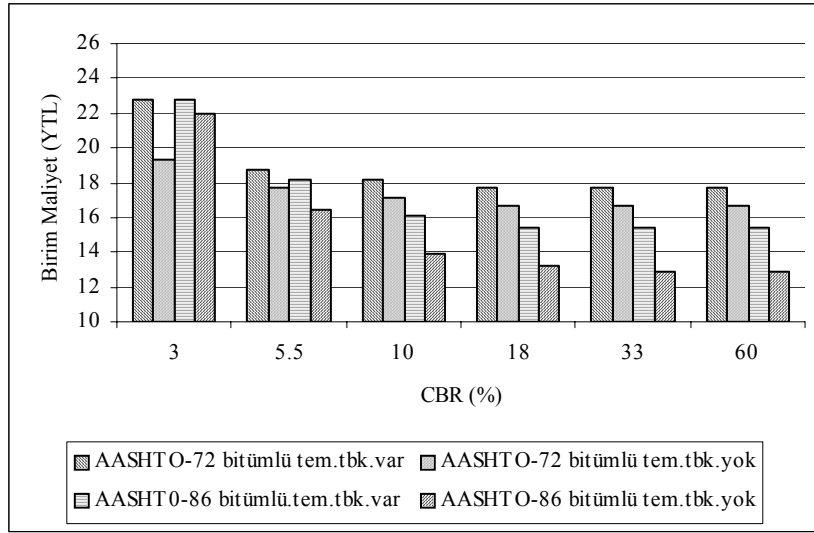
Şekil 2. ESDY = 5000 için CBR-Maliyet ilişkisi.



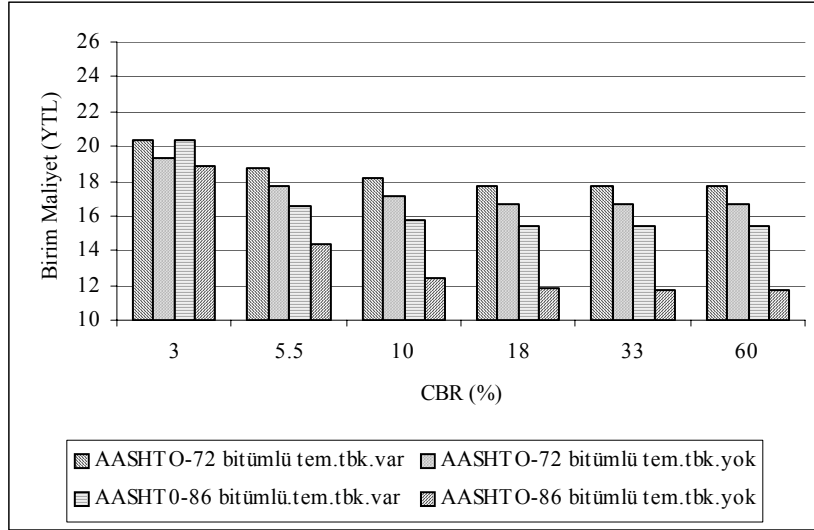
Şekil 3. ESDY = 4000 için CBR-Maliyet ilişkisi.



Şekil 4. ESDY = 3000 için CBR-Maliyet ilişkisi.



Şekil 5. ESDY = 2000 için CBR-Maliyet ilişkisi.



Şekil 6. ESDY = 1000 için CBR-Maliyet ilişkisi.

4. SONUÇ

Bu çalışmada  st yapıyı oluşturan tabakaların optimum kalınlıkları, 1171800 alternatif arasından AASHTO-72 ve AASHTO-86 yöntemlerine göre analiz edilerek tespit edilmiştir. Bütün alternatiflerde en uygun ve ekonomik temel cinsi, granüler temel olarak tespit edilmiştir. Kombinasyonların %90'ından fazlasında en uygun ve ekonomik alttemel cinsinin, kum-çakıl alttemel olduğu belirlenmiŐtir. Her iki yöntemde de ESDY'nin bütün değerleri için zemin taşıma gücü azaldıkça  st yapının birim maliyeti üstel bir biçimde artmaktadır. Bu artış CBR değerinin % 10'dan k uk olması durumunda etkisini göstermektedir. Zemin CBR değerinin %3 ve 5,5 gibi d Őuk değerlerinde her iki yöntem de maliyetler açısından birbirine yakın sonuçlar vermektedir. Zemin CBR değerinin artması ile azalan maliyetler AASHTO-86 yönteminde daha fazla olmaktadır. Zemin taşıma gücünün yüksek olduğu yerlerde AASHTO-86 yöntemine göre tespit edilen konfigürasyon AASHTO-72 ile tespit edilenden %25 daha ekonomik olmaktadır. ESDY'nin d Őuk değerlerinde bu fark %30'a çıkmaktadır. Binder tabakası ile temel tabakası arasında bitümlü temel kullanılmaması durumunda, maliyetlerde AASHTO-72 yönteminde ortalama %5, AASHTO-86 yönteminde ise %11-23 arasında azalma olmaktadır. ESDY'nin 5000'den fazla, zemin CBR değerinin %3'den d Őuk olduğu durumlarda her iki yöntemde de bitümlü temel tabakası kullanılmaması ekonomik olmamaktadır. Her iki yöntemde de bitümlü temel tabakası kullanılması durumunda bu tabaka kalınlığının en ekonomik ve optimum

kalınlığının 8 cm olduğu tespit edilmiştir. Yapılan analiz sonuçlarına göre zemin taşıma gücü artarken alttemel kalınlığı sürekli olarak azalmakta ve alt limit değerine ulaşmakta fakat temel kalınlığı alt limite ulaşmadan belli değerlerde sabit kalmaktadır. Fakat bazı durumlarda alttemel cinsinin kırmataş olması, temel tabakası kalınlığının da alt limite inmesini sağlamaktadır. Maliyetlerin belirlenmesinde kullanılan birim fiyatlara taşıma ücretleri dahil değildir, dolayısıyla aynı maliyeti veren iki alternatiften üstyapı kalınlığı az olan daha az taşıma gerektireceğinden daha ekonomik olacaktır. Zemin CBR değerinin %10'dan küçük olması durumunda, AASHTO-86 yöntemiyle belirlenen üst yapı kalınlığı, maliyeti daha düşük olmasına rağmen AASHTO-72 yöntemine göre daha fazla çıkmakta dolayısıyla her iki yöntemde maliyetler açısından birbirine yakın değerler vermektedir. CBR değerinin %10'dan büyük olduğu durumlarda ise AASHTO-86 yöntemine göre hem maliyet hem de üst yapı kalınlığı AASHTO-72 yöntemine göre daha da azalmakta dolayısıyla zemin CBR değerinin %10 dan büyük olması durumunda AASHTO-86 yöntemine göre belirlenen üstyapı her zaman daha ekonomik olmaktadır.

KAYNAKLAR

1. <http://www.die.gov.tr>, 2005
2. http://www.gap-dogu-kalkinma.com/ulasim/6_Karayollariz.htm, 2005.
3. Dikicioğlu, A.E., Ülkemizdeki Sathi Kaplamalı ve Sıcak Karışım Kaplamalı Yollarda Ömür-Maliyet İlişkisine Genel Bakış. 4.Ulusal Asfalt Sempozyumu, 149-153, 2004.
4. Önal, M.A., Temren, Z., Türkiye İle Bazı Avrupa Ülkelerinin Esnek Üstyapı Tasarımlarının Karşılaştırılması. 4.Ulusal Asfalt Sempozyumu, 224-243, 2004.
5. AASHTO, Guide for Design of Pavement Structures, 1972.
6. AASHTO, Guide for Design of Pavement Structures, 1986.
7. Coree, J.B., White, T.D., AASHTO Flexible Pavement Design Method: Fact or Fiction. Transportation Research Record, No. 1286. National Research Council, 206-216, 1990.
8. Nii, O., Uncertainty Analysis in Structural Number Determination in Flexible Pavement Design-a Convex Model Approach. Construction and Building Materials 16,67-71, 2002.
9. Morris, W. L., Design Guidelines for Pozzolanic Pavements. Pozzolanic Soil Stabilization Workshop, Council Bluffs, Iowa, 1989.
10. Bergeson, K.L and Barnes, A.G., Thickness Design Guide for Low Volume Roads Using Reclaimed Hydrated Class C Fly Ash Bases. Transportation Conference Proceedings, 1998.
11. Richardson, D.N., AASHTO Layer Coefficients for Cement-Stabilized Soil Bases. Journal of Materials in Civil Engineering, Vol. 8, No. 2, pp. 83-87, 1996.
12. http://www.tenax.net/geosynthetics/tech_doc/tds001.pdf, 2005.
13. Karayolları genel Müdürlüğü, Yollar Fenni Şartnamesi, 170/2, 1989.
14. <http://www.birimfiyat.net>, 2005.