



Manisa İli Mahalle (Köy) Yolları İçin Kaplama Performanslarının İncelenmesi ve Karşılaştırılması

Yunus Emre Mert¹, Dilay Yıldırım Uncu^{2*}

¹ Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Manisa, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-1404-6141), y.emremert@gmail.com

^{2*} Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Manisa, Türkiye (ORCID: 0000-0001-8660-2114), dilay.yildirim@cbu.edu.tr

(3rd International Conference on Engineering and Applied Natural Sciences ICEANS 2023, January 14 - 17, 2023)

(DOI: 10.31590/ejosat.1239869)

ATIF/REFERENCE: Mert, Y. E., Yıldırım Uncu, D. (2023). Manisa İli Mahalle Yolları İçin Kaplama Performanslarının İncelenmesi ve Karşılaştırılması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (47), 22-30.

Öz

Bu çalışmada, Manisa ilinde yapılması planlanan mahalle (köy) yolları için farklı kaplama türleri ele alınmış ve yol yapımı için ayrılan kamu bütçesinin en efektif şekilde kullanılabilmesi için öneriler sunulmuştur. İlk olarak Manisa'da mahalleleri birbirine bağlayan örnek bir yol güzergahı seçilmiştir. Belirlenen yol güzergahı, Alaşehir ve Salihli ilçelerini birbirine bağlayan, D585 kontrol kesim numaralı karayoluna paralel olan mahalle yoludur. Ele alınan bu güzergahta, her bir kaplama türü için kesit tayini yapılmıştır. Belirlenen kesitlerin kalınlıkları, temel tabakaları dahil olmak üzere, sathi kaplama, bitümlü sıcak kaplama ve silindirle sıkıştırılmış beton kaplama olmak üzere hesaplanmıştır. Kesit tayininin ardından, her bir kaplama türü için kurum fiyatlarıyla m² başına maliyet çalışması yapılmıştır. Maliyet çalışması sonucunda, 1 m² sathi kaplama yapımı için gerekli tutar 250,46 TL, bitümlü sıcak kaplama için 280,60 TL ve silindirle sıkıştırılmış beton kaplama için 363,32 TL'dir. Ayrıca çalışmada, kaplama türlerine ait mekanistik analiz yapılmış ve tasarlanan kesitlerin 11,5 ton/dingil yük altındaki davranışları incelenmiştir. Belirlenen kesitler, bir sonlu elemanlar paket programı olan ANSYS'de modellenmiştir. Kaplamaların mekanistik analizi sonucunda, sathi kaplamalarda 0,42 mm, Bitümlü sıcak karışım kaplamada 0,15 mm ve rijit kaplamada 0,017 mm deformasyon olduğu gözlemlenmiştir. Yapılan çalışma sonucunda, Manisa İlinde bulunan mahalle (köy) yollarında yapılacak en uygun kaplama türünün sathi kaplama olduğu ortaya çıkmıştır.

Anahtar Kelimeler: Mahalle Yolları, Kaplama Performansı, Mekanistik Analiz, ANSYS, Maliyet Analizi

Investigation and Comparison of Pavement Performances for Manisa Province Local Roads

Abstract

In this study, different types of pavements for the roads planned to be built in Manisa province are discussed and suggestions are presented for the most effective use of the public budget allocated for road construction. First, a sample road route connecting the neighborhoods in Manisa was selected. The determined road route is the neighborhood road that connects Alaşehir and Salihli districts, parallel to the highway with control section number D585. In the route considered as an example, a cross-section determination was made for each pavement type. The thickness of the determined sections, including the foundation layers, was found for surface coating, bituminous hot mix coating, and roller-compacted concrete coating. After the section determination, a cost per m² study was carried out for each type of coating with the institution's prices. As a result of the cost study, the required amount for the construction of 1 m² surface coating is 250.46 TL, 280.60 TL for hot bituminous coating and 363.32 TL for roller compacted concrete coating. In addition, a mechanistic analysis of pavement types was carried out and the behavior of the designed sections under 11,5 tons/axle load was investigated. The determined sections were modeled in ANSYS, a finite element package program. As a result of the mechanistic analysis of the pavement types, it was observed that 0.42 mm deformation occurred in surface coatings, 0.15 mm deformation in bituminous hot mix coating and 0.017 mm deformation in the rigid coating. As a result of the study, it has been revealed that the most appropriate pavement type to be made on the neighborhood (village) roads in Manisa is surface coating.

Keywords: Neighborhood roads, Pavement Performance, Mechanistic Analysis, ANSYS, Cost Analysis

* Sorumlu Yazar: dilay.yildirim@cbu.edu.tr

1. Giriş

Dünyada özellikle sanayi devriminden sonra insanların hayatında yolcu ve yük taşımacılığı büyük önem kazanmıştır. Gerek yük taşımacılığı gerekse seyahat amaçlı kullanılan en yaygın ulaşım türü karayoludur. Bu durum Türkiye özelinde değerlendirildiğinde de aynı sonuçla karşılaşmaktadır. Ülkemizde yolcu taşımacılığının %97'si, yük taşımacılığının ise %89'u karayolları üzerinden yapılmaktadır (Çetin vd., 2011).

Ülkemizde, devlet ve il yollarında hâkim kaplama türünün, bağlayıcısı bitüm olan esnek kaplamalardan oluştuğu görülmektedir. Esnek kaplamaların yaklaşık %42'sini asfalt betonu oluşturmakta, %58'ini sathi kaplama oluşturmaktadır (KGM, 2021). Bunun yanında günümüzde, esnek kaplamaya alternatif olarak sunulan rijit kaplamaların da uygulandığı bilinmektedir. Rijit kaplama, tekil olarak bağlayıcılığı bulunmayan, nemli ortamda kalsiyum hidroksitle reaksiyona girmek suretiyle bağlayıcılık kazanan ve içeriğindeki malzemelerin hidratasyonu ile agregaları birbirine bağlayan Portland çimentosunun agregayla uygun oranlarda karıştırılmasıyla oluşturulan plak yol kaplamasıdır (Geçkil & Tanyıldızı, 2019).

Bu çalışmada Manisa ilinde yer alan ve mahalleleri birbirine bağlayan çeşitli üstyapı tipine sahip yol kaplamalarının yatırım maliyeti ve performans kriterleri karşılaştırıp, Manisa ili özelinde mahalle yolları için gerekli nitelikleri taşıyan en uygun üstyapı kaplama tipinin belirlenmesi hedeflenmiştir.

Esnek üstyapı kaplamalarında kesit tayininde; sathi kaplamalar için Karayolları Genel Müdürlüğü tarafından yayımlanan Esnek Üstyapı Projelendirme Rehberi, diğer bir esnek üstyapı türü olan bitümlü sıcak kaplama için American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO-93) abakları kullanılmıştır. Rijit kaplama tasarımı için ise American Concrete Institute (ACI) tarafından yayımlanan tasarım tablosu kullanılmıştır.

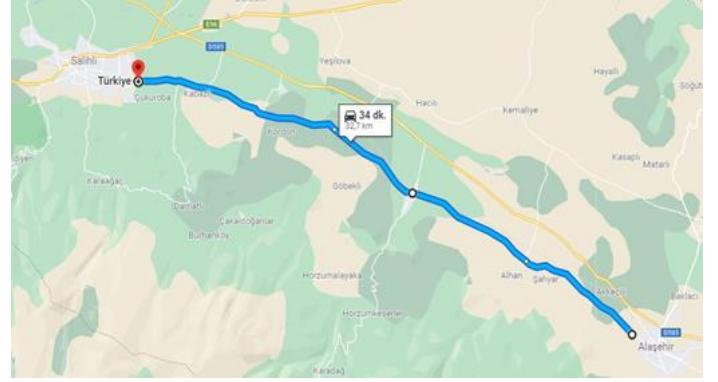
Tasarımı yapılan yol kesitlerinin maliyet analizleri için her yıl yayımlanan kurum pozları yardımıyla malzeme ve işçilik dahil yapım tutarı 1 m² için bulunmuştur.

Son olarak, bir sonlu elemanlar hesap programı olan ANSYS'de üç boyutlu katı model oluşturulmuş ve Karayolları Trafik Yönetmeliği'nde belirtilen, tek dingilli araçlar için dikkate alınan 11,50 ton yüklemeye ile analiz yapılmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Kesit Hesapları

Tasarımda kullanılacak trafik verileri, Alaşehir İlçesi ile Salihli İlçesini bağlayan mahalle yolundan alınmıştır ve bu yol Karayolları Genel Müdürlüğü sorumluluk sahasında bulunan D585 kontrol kesim numaralı karayoluna paralel konumdadır.



Şekil 1. D585 kontrol kesim numaralı karayolu

Dikkate alınan yol ile ilgili 2019 yılına her bir taşıt grubu için yıllık ortalama günlük trafik (YOGT) verileri Tablo 1'de gösterilmiştir. Belirlenen yolun servis ömrü 20 yıl olarak değerlendirilmiştir. Ayrıca trafik artış katsayısı treyler ve kamyon için %4, otobüs, orta yüklü ticari taşıt ve otomobil için %5 alınmıştır.

Tablo 1. YOGT verileri

Taşıt Grubu	Geçen Araç Sayısı
Treyler	3
Kamyon	74
Otobüs	3
Orta Yüklü Ticari Taşıt	542
Otomobil	1018

Elde edilen ve kabul edilen veriler ışığında yolun trafiğe açılmasından 20 sene sonra her bir taşıt için oluşacak trafik sayısı (T_{2039}) formül (1) yardımıyla bulunmuştur.

$$t_t = t_0 \times (1+r)^t \quad (1)$$

Buradan yola çıkarak her bir taşıt tipi için ortalama proje trafiği formül (2) kullanılarak hesaplanmıştır.

$$t_p = 0,4343 \times (t_t - t_0) / \log(t_t / t_0) \quad (2)$$

Ardından hesap şeridine düşen ortalama günlük standart dingil yükü tekerrür sayısı (T_p), formül (3) yardımıyla bulunmuştur. Hesaba katılacak taşıt eşdeğerlik faktörleri Esnek Üstyapı Projelendirme Rehberi'nden alınmıştır. Son olarak toplam standart dingil yükü tekerrür sayısı formül (4) yardımıyla hesaplanmıştır.

$$T_p = t_p / i \times TEF \quad (3)$$

$$T_{8,2} = T_p \times 365 \times t \quad (4)$$

Kaplama kesit hesaplarında kullanılmak üzere taban CBR değeri 12 olarak kabul edilmiştir.

Tablo 2. Trafik verileri hesap tablosu

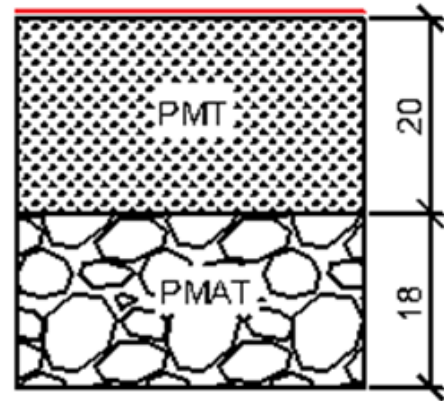
Proje Yılı:	20				
	Trafik Artış Katsayısı	T ₂₀₃₉	t _p	TEF	T _p
Treyler	4	7	5	4,1	8
Kamyon	4	162	112	2,9	147
Otobüs	5	8	5	3,2	7
Orta Yüklü Ticari Taşıt	5	1438	918	0,6	248
Otomobil	5	2701	1725	0,0006	0
ΣT_p					411
$T_{8,2}$					2.998.682,38

2.1.1. Sathi Kaplama Kesit Hesapları

Sathi kaplama kesit tayini yapabilmek için ilk olarak taban esneklik modülünün bulunması gerekmektedir. Bunun için, tasarımda göz önüne alınan yolun taban zeminine ait CBR değerlerinin 1500 ile çarpılmasıyla esneklik modülünün (MR) yaklaşık değeri formül (5) ile PSI cinsinden bulunmuştur (Geçkil & Tanyıldızı, 2019). Projede dikkate alınan esneklik modülü;

$$MR=1500 \times 12=18.000 \text{ PSI} \quad (5)$$

Elde edilen trafik değerleri ve taban esneklik modülü yardımıyla, Şekil 2'de yer alan abak yardımıyla belirlenen kesit özellikleri, çift kat sathi kaplama, 20 cm plent-miks temel ve 18 cm plent-miks alt temeldir.

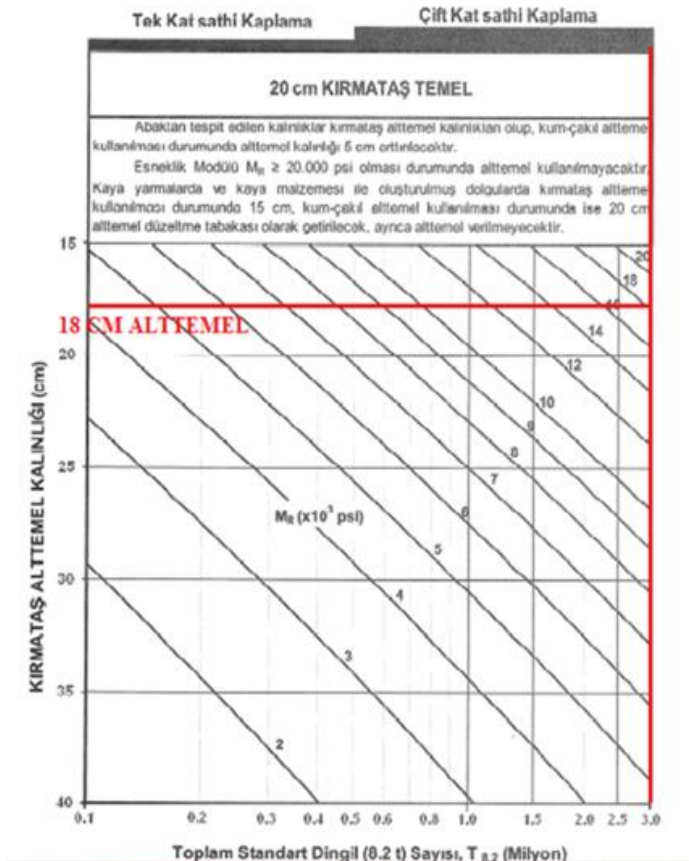


Şekil 3. Sathi kaplama kesiti

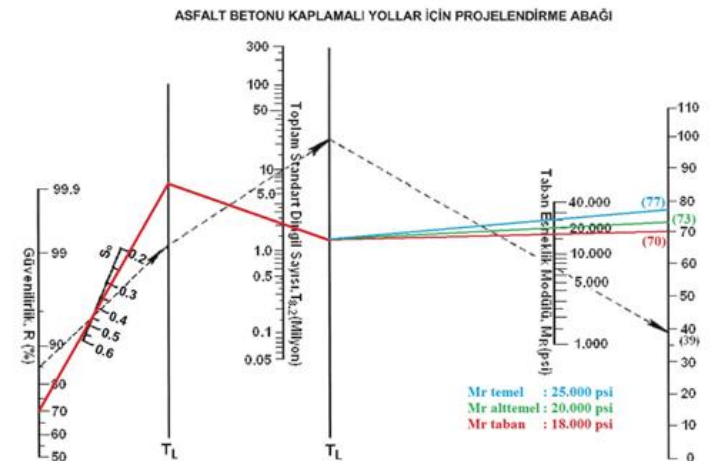
2.1.2. Bitümlü Sıcak Kaplama Kesit Hesapları

Bitümlü sıcak kaplama (BSK) kesit tasarımında, temel esneklik modülü 25.000 psi ve alttemel esneklik modülü 20.000 psi olarak belirlenmiştir. Toplam standart sapma değeri 0,45 seçilmiştir. Güvenilirlik değeri il yolları için 70 olarak belirlenmiştir. Servis yeteneği kaybı değerlendirildiğinde, ilk servis yeteneği 4,2, son servis yeteneği 2 olarak alınmıştır. Buradan servis yeteneği kaybı 2,2 olarak elde edilmiştir.

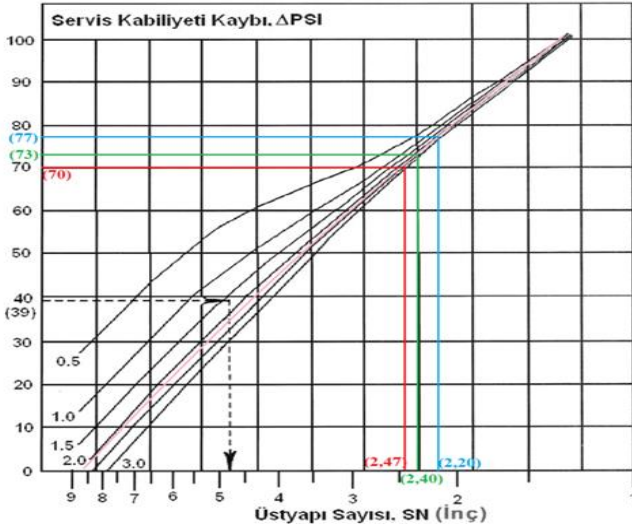
Belirlenen veriler ışığında, AASHTO-93 yol tasarım yönteminde sunulan abaklar yardımıyla üstyapı sayıları (SN) bulunmuştur.



Şekil 2. Sathi kaplama tabaka kalınlıkları hesabı



Şekil 4. BSK için projelendirme abağı-1



Şekil 5. BSK için projelendirme abağı-2

Şekil 4'ün devamı olan ve Şekil 5'te gösterilen abaktan elde edilen üstyapı sayıları (SN) aşağıda belirtilmiştir.

- Temel için SN : 2,20
- Alttemel için SN : 2,40
- Taban için SN : 2,47

Abakların kullanımdan sonra elde edilen SN sayılarının kontrolü sağlanmalıdır. Bu kontrolü yapmak ve tabaka kalınlıklarını bulmak için, Esnek Üstyapı Projelendirme Rehberi'nden izafi mukavemet katsayısı bulunmuştur.

İlk olarak, bitümlü tabaka için seçilen katsayı (a_1) binder tabakası için 0,40 olarak alınmıştır. Ardından plent-miks tabakası için seçilen katsayı (a_2) 0,15 olarak elde edilmiştir. Son olarak, kırmataş alttemel tabakası için (a_3) 0,13 alınmıştır.

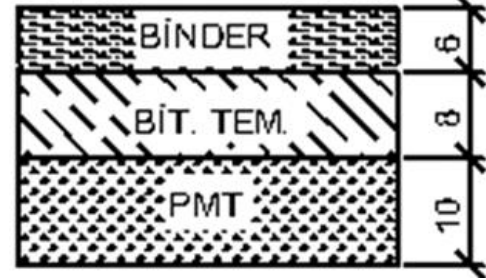
Hesaplamalarda kullanılacak drenaj katsayıları yine Esnek Üstyapı Projelendirme Rehberi'nden alınmış, iyi derecelendirilmiş (GW) çakıllı tabakalar için (m_2) 1 seçilmiştir. Alttemel kalınlık kontrolü için ise (m_3) 0,95 alınmıştır.

Bu verilerden yola çıkarak, tabaka kalınlıkları aşağıda hesaplanmıştır.

- $D_1^* > SN_1 / a_1$
 $D_1^* = 2,2 / 0,4 = 5,5$ inç $\cong 14$ cm
 (8 cm bitümlü temel, 6 cm binder)
 $SN_1^* = a_1 D_1^* = 0,4 (14 / 2,54) = 2,20$ inç $\cong 2,2$ inç
 (Tasarım uygundur.)
- $D_2^* = SN_2 - SN_1^* / a_2 \cdot m_2$
 $D_2^* = (2,4 - 2,20) / (0,15 \times 1) = 1,33$ inç $\cong 3,38$ cm
 (Temel tabakası 10 cm seçildi. 3,94 inç)
 $SN_2^* = a_2 D_2^* m_2 = 0,15 \times 3,94 \times 1 = 0,59$
 $SN_1^* + SN_2^* \geq SN_2$
 $2,20 + 0,59 = 2,79 \geq 2,4$
 (Tasarım uygundur.)

- $D_3^* = SN_3 - (SN_2^* + SN_1^*) / a_3 \cdot m_3$
 $D_3^* = [2,47 - 2,79] / 0,13 \times 0,95 = -2,59$ inç
 (Alttemele ihtiyaç yoktur.)

Yapılan kontrollerden yola çıkarak, belirlenen kaplama kesiti Şekil 6'da gösterilmiştir.



Şekil 6. BSK kesiti

2.1.3. Rijit Kaplama Kesit Hesapları

Çalışmanın bu bölümünde, üstyapı tasarımında silindire sıkıştırılmış beton yol kaplaması ele alınmıştır. Beton yol uygulamalarında kaplama kalınlığının tayini; tekrarlı trafik yüklerinden dolayı yol kaplamasına etkiyen yüklere, beton dayanımına ve zemin sınıfının parametrelerine bağlıdır.

Rijit kaplama kesit tayini için pratik bir yöntem aranmış ve sonuç olarak Amerikan Beton Enstitüsü (American Concrete Institute-ACI) tarafından hazırlanan, "Caddeler ve Yerel Yollardaki Derzli Beton Kaplamalarının Tasarım Rehberi'nden" faydalanılmıştır.

Özkan vd., 2019, yapmış oldukları çalışmalarında Alaşehir ve Salihli ilçelerini birbirine bağlayan, D585 karayoluna alternatif ve bu bildirinin konusu olan yolda rijit kaplama tasarımı yapmışlardır. Bahse konu çalışmada, tasarım yapılan yolda zemin yataklama katsayısı 27,80 mpa olarak tespit edilmiştir. Silindire sıkıştırılmış beton yol kaplaması için C30/37 beton sınıfı kullanılması öngörülmüştür. Ayrıca, yol kaplama maliyet analizlerinde, yayımlanan kurum pozlarının alt analizinde de yine C30/37 sınıfı beton dikkate alınmıştır.

Kaplama yapılacak beton malzemesinin eğilme dayanımı, ACI318-95 standardında yer alan formüller yardımıyla hesaplanmıştır. Bu formül, eğilmede çekme dayanımını (F_{ctf}) yansıttığından, yol kaplamasında kullanılan beton davranışına daha yakındır. Formül (6)'da C30/37 sınıfı için basınç dayanımı (f_c) 30 mPa olarak kabul edilmiştir. Buradan hareketle, tasarımda kullanılacak MOR değeri 3,45 mpa olarak bulunmuştur. Bu değer tasarım abağında bulunmadığından, MOR değeri için 3,8 mpa alınmıştır.

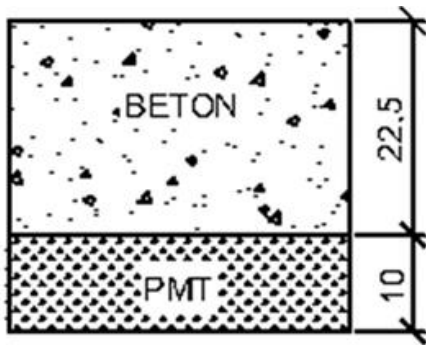
$$F_{ctf} = 0,63 \sqrt{f_c} \quad (6)$$

Tez kapsamında yapılacak olan rijit kaplama tasarımı için gerekli yıllık ortalama günlük kamyon trafiği sayısı (ADTT) Tablo 2'den 411 olarak alınmıştır. Ancak, tasarımda güvenli yönde kalmak için abakta ADTT 500 olarak dikkate alınmıştır.

Traffic classification	k = 27 MPa/m					
	MOR MPa					
	3.4	3.8	4.1	4.5	4.8	
Light residential	175	150	150	150	125	ADTT = 3
	175	175	175	150	150	ADTT = 10
Residential	200	175	175	150	150	ADTT = 20
	200	175	175	175	150	ADTT = 50
Collector	225	200	200	175	175	ADTT = 50
	225	200	200	200	175	ADTT = 100
Minor arterial	250	225	200	200	200	ADTT = 500
	250	225	200	200	200	ADTT = 400
Major arterial	275	225	225	225	200	ADTT = 800
	275	250	250	225	225	ADTT = 1500
Business	275	250	250	250	250	ADTT = 300
	225	225	200	200	175	ADTT = 700
Industrial	250	225	225	200	200	ADTT = 400
	275	250	225	225	200	ADTT = 800
—	275	250	250	225	225	ADTT = 800

Şekil 7. Rijit kaplama tabaka kalınlıkları hesabı

Nihai olarak, dikkate alınan veriler ışığında yapım tekniği açısından silindire sıkıştırılmış beton yolun, 225 mm kalınlığında olması gerektiği sonucuna varılmıştır. Tasarım abağında yol temeli için bir kriter yer almadığından, uygulamada yol sathının düz bir zemine oturması için bitümlü sıcak karışımında kullanıldığı gibi bu kaplamada da 10 cm kalınlığında plent-miks temel yapılması uygun bulunmuştur. Rijit kaplamaya ait belirlenen kesit Şekil 8’de gösterilmiştir.



Şekil 8. Rijit kaplama kesit

2.2. Maliyet Analizleri

Bu bölümde, kaplama tasarımı yapılan Alaşehir-Salihli bağlantı yolu için belirlenen kesitlerin maliyet analizi yapılmıştır. Her bir kaplama sınıfı için ayrı ayrı maliyet hesaplanmış ve tabaka türlerine göre 1 m² fiyatı kümülatif olarak bulunmuştur. Yapılan hesaplamalarda %25 oranında müteahhit karı da eklenmiştir ve ihale edilecek şekilde yaklaşık maliyet esas fiyatlar bulunmuştur.

Maliyet analizlerinde birim fiyata dahil olmayan nakliye giderleri Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı tarafından belirlenen nakliye formülleri üzerinden belirlenmiştir.

2.2.1 Sathi Kaplama Maliyet Hesapları

Esnek üstyapı kaplamalarında ilk olarak 1 m² sathi kaplama yapılmasının maliyeti ele alınacaktır. Bunun için Şekil 3’te belirtilen kesit elemanlarının her birinin yapım maliyeti ayrı ayrı hesaplanarak sathi kaplama için yaklaşık maliyet bulunmuştur. Sathi kaplama yapımı için üç poz analizinden yararlanılmıştır. Bu kaplama türüne ait analiz icmali Tablo 3’te sunulmuştur.

Tablo 3. Sathi Kaplama Maliyet İcmali

Sıra No	Poz No	Birim	Miktar	Birim Fiyat	Tutar
1	Çift kat sathi	DA	0,001	73.442,65	73,44265
2	PMT	TON	0,45	212,66	95,70
3	PMAT	TON	0,39	192,96	75,254
Toplam Tutar (K.D.V. Hariç)					244,397

Bunlardan ilki, yüzeyde taşıtların temas ettiği ve çift kat yapılması öngörülen bitümlü tabakadır. Pozun birimi dekar (DA) olduğundan, 1 m² sathi kaplama maliyeti için miktar olarak 0,001 DA alınmıştır.

İkincil olarak, kaplamada bir tabaka temel görevi görecektir olan plent-miks temel yapılmasının 1 m² fiyatına yer verilmiştir. Plent-miks tabasının kalınlığı Şekil 3’te gösterildiği üzere 20 cm’dir. Buradan yola çıkarak, özgül ağırlığı 2,258 ton/m³ olan (Tatlı, 2004) plent-miks temelin 1 m²deki miktarı (1 x 1 x 0,20 x 2,258) 0,45 ton olarak bulunmuştur.

Son olarak, en alt tabakada yer alan ve 18 cm kalınlığında öngörülen plent-miks alttemel tabakasının yapım maliyeti “PMAT” poz analiziyle bulunmuştur. PMAT pozunun birimi ton olduğu için sıkışmış birim hacim ağırlığı 2,174 ton/m³ (Tatlı, 2004) alınarak m² başına (1x 1 x 0,18 x 2,174) 0,39 ton hesaplanmıştır.

2.2.2. Bitümlü Sıcak Kaplama Maliyet Hesapları

Esnek üstyapı kaplamada bir diğer alternatif olarak ele alınan kaplama türü bitümlü sıcak karışımdır. Yapılan hesaplar doğrultusunda kaplama tabakalarını, 6 cm binder, 8 cm bitümlü temel ve 10 cm kalınlığında plent-miks temel tabakası oluşturmaktadır.

Bu kaplama türüne ait maliyet analiz icmalı Tablo 4'te sunulmuştur. Analizde, 1 m² bitümlü sıcak karışım imalatı yapılması için gereken tutar bulunmuştur.

Tablo 4. Bitümlü Sıcak Kaplama Maliyet İcmali

Sıra No	Poz No	Birim	Miktar	Birim Fiyat	Tutar
1	6 cm binder	M ²	1	104,38	104,38
2	8 cm bit. tem.	M ²	1	126,58	126,58
3	PMT	TON	0,23	212,66	48,92
Toplam Tutar (K.D.V. Hariç)					279,87

2.2.3. Rijit Kaplama Maliyet Hesapları

Bu bölümde tasarımda göz önüne alınan yol güzergahı için bir alternatif olarak, rijit yol kaplamasının 1 m² yapım maliyeti belirlenecektir. Rijit kaplama, Silindire Sıkıştırılmış Beton (SSB) tekniği ile yapılacaktır. Bu nedenle belirtilen imalat tekniğine uygun olan kurum pozları kullanılmıştır.

Kaplama 22,5 cm kalınlığında beton ve 10 cm kalınlığında plent-miks temel tabakasından oluşmaktadır. Bu kalınlıklar dikkate alınarak rijit kaplamanın 1 m² maliyet analizi Tablo 5'te gösterilmiştir.

Tablo 5. Rijit Kaplama Maliyet İcmali

Sıra No	Poz No	Birim	Miktar	Birim Fiyat	Tutar
1	20 cm SSB	M ³	0,225	1327,84	298,764
2	PMT	TON	0,23	212,66	48,9118
Toplam Tutar (K.D.V. Hariç)					347,66

2.2.4. Bakım-Onarım Maliyetleri

2007 yılında yapılan bir çalışmada (Giriş, 2007); bitümlü sıcak karışım kaplama, sathi kaplama ve rijit üstyapı kaplama türleri için bakım-onarım maliyetleri tespit edilmiştir. BSK ve sathi kaplamaların 2007 yılı için bir yıllık kilometre başına bakım-onarım maliyetleri sırasıyla 632,00 TL ve 5.224,00 TL'dir.

Rijit kaplamalı yollar için 20 yıllık servis ömrü boyunca gerçekleştirilecek bakım-onarım maliyetleri 269.780,00 TL olarak bulunmuştur. Esnek kaplamalı yolların 20 yıllık servis ömrü boyunca harcanacak bakım-onarım giderleri ise aşağıdaki gibidir.

- BSK için :12.640,00 TL
- Sathi kaplama için :104.480,00 TL

Analiz süresi için belirlenen maliyetler 2007 yılı itibari ile belirlendiği için, bu maliyetlerin 2021 yılına güncellenmesi gerekmektedir. Bu tespiti yapabilmek için her ay TÜİK tarafından yayımlanan Yİ-ÜFE (Yurt İçi Üretici Fiyat Endeksi ve Değişim Oranları) katsayıları baz alınmıştır. Temel ay olarak 2007 yılı Ocak (E₀= 135,09), gerçekleştirme ayı olarak 2021 Ocak (E_s=583,38) ayları dikkate alınmıştır. Böylelikle, güncellemeye esas katsayı 8,36 olarak bulunmuştur. Buradan yola çıkarak, 2021 yılı itibariyle her kaplama türü için belirlenen bakım-onarım maliyetleri aşağıda gösterilmiştir.

Sonuç olarak her bir kaplama türü için 20 yıllık süreçte 1 m² alanda yapılacak bakım-onarım maliyetleri Tablo 6'da gösterilmiştir.

Tablo 6. Bakım-Onarım Maliyetleri

	Sathi Kaplama	BSK	Rijit Kaplama
1 km için (20 yıl)	873.452,80	105.670,04	2.255.360,08
1 km için (1 yıl)	43.672,64	5.283,50	112.768,04
1 m ² için (1 yıl)*	6,07	0,73	15,66
*Genişlik: 7,20 m		Uzunluk: 1000 m	

2.3. Mekanistik Analizler

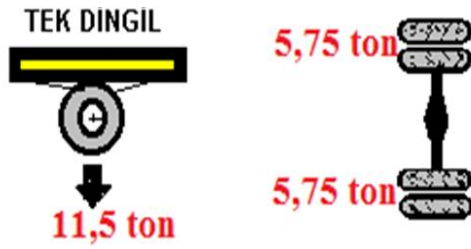
Bu bölümde, belirlenen kaplama kesitleri ile mekanistik analiz yapılmıştır. Bu analizler için sonlu elemanlar yöntemi ile işlem yapan ANSYS WORKBENCH (2021 R1) programı kullanılmıştır. Yapılan analizler sonucunda belirlenen alana uygulanan yüklerin yol kaplamasına olan etkileri araştırılmıştır. Mekanistik analizde dikkate alınan malzeme özellikleri Tablo 7'de gösterilmiştir.

Tablo 7. Programda kullanılan değerler

Malzeme Türü	Elastisite Modülü (mpa)	Poisson Oranı	Yoğunluk kg/m ³
Beton (C30/37)	32837 mpa	0,2	2400
Binder Tabakası	3500 mpa	0,3	2400
Bitümlü Temel Tabakası	3500 mpa	0,3	2400
Plent-Miks Tabakası	172 mpa	0,35	2258
Plent-Miks Alt temel Tabakası	138 mpa	0,4	2174
Taban Zemini	124 mpa	0,45	2200

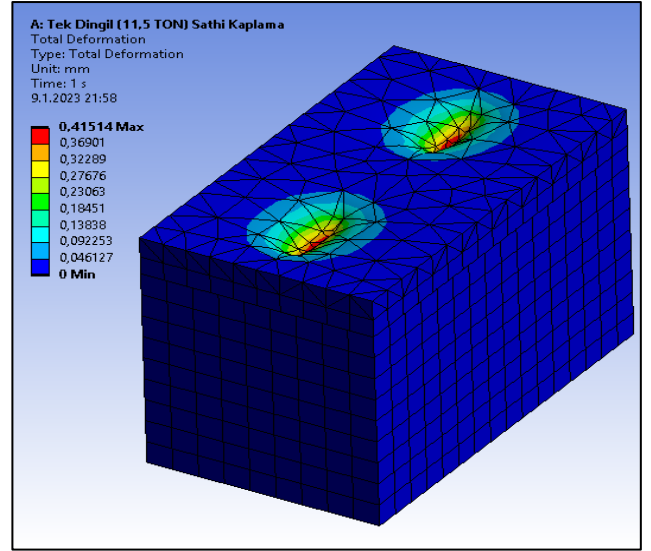
Kaplama analizlerini ANSYS programında yapabilmek için ilk olarak "Toolbox" menüsünden "Static Structural" çalışma planı oluşturulmuştur. Bu planda gerçekleşmesi gereken ilk işlem, kaplamada kullanılacak malzeme özelliklerinin programa tanıtılmasıdır. Ardından, dikkate alınan kesitlerin üç boyutlu model tanımlaması yapılmıştır. Modelin oluşturulmasından sonra, sistem "mesh" adı verilen küçük elemanlara ayrılmıştır. Bu adımdan sonra, sınır koşulları tanımlanmış ve yükleme oluşturulmuştur.

Hesaplarda, tahrikli tek dingilde izin verilen maksimum yük olan 11,5 ton değeri de dikkate alınmıştır.

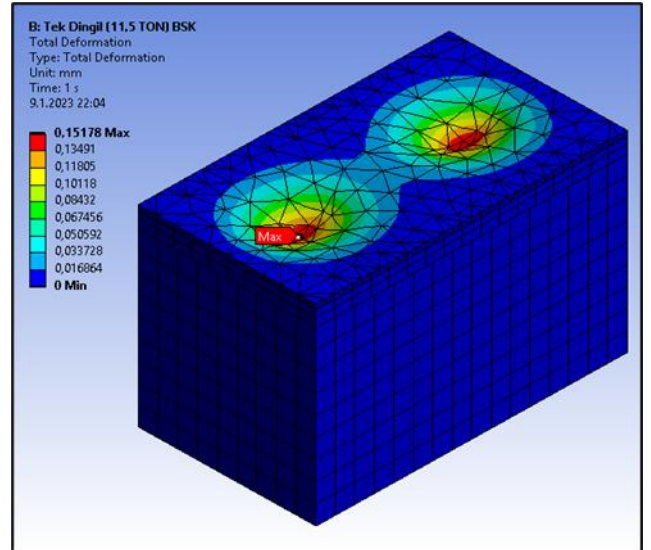


Şekil 9. Tasarım şematik gösterimi

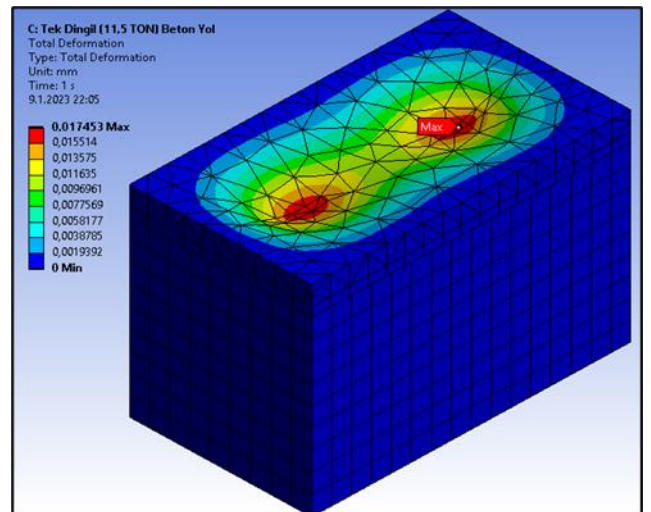
Yapılan mekanistik analizlere ait sonuçlar Şekil 10, Şekil 11 ve Şekil 12'de gösterilmiştir.



Şekil 10. Sathi kaplama deplasman sonucu (0,42 mm)



Şekil 11. BSK deplasman sonucu (0,15 mm)



Şekil 12. Rijit kaplama deplasman sonucu (0,017 mm)

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Bu bölümde, tasarımı yapılan kaplama türlerine ait elde edilen bulgular paylaşılacaktır. Her bir kaplamaya ait kesite göre çalışmadan elde edilen değerlerin özeti Tablo 8’de gösterilmiştir.

Tablo 8. Kaplama türlerine göre çalışmadan elde edilen değerler

	KAPLAMA TÜRLERİ		
	Sathi Kaplama	BSK	Rijit Kaplama (SSB)
Üstyapı Tabaka Bilgileri	Çift Kat Sathi	Binder (6 cm) Bitümlü Temel (8 cm)	Beton Plak (22,5 cm)
	PMT (20 cm) PMAT (18 cm)	PMT (10 cm)	PMT (10 cm)
Yapım Maliyet (TL/m ²)	244,397	279,87	347,66
Bakım-Onarım Maliyeti (TL/m ²)	6,07	0,73	1,57
Üstyapı Kalınlığı (cm)	38 cm	24 cm	32,5 cm
Toplam Maliyet (TL/m ²)	250,46	280,60	363,32
Toplam Deformasyon (mm) (Tek dingil)	0,415114	0,15178	0,017453

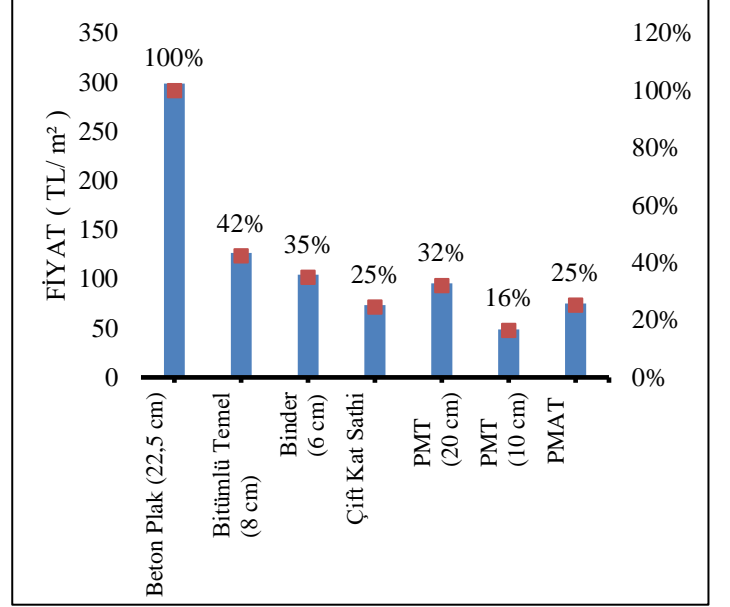
Kaplamalarda kullanılan her bir tabakanın yapım (malzeme dahil) maliyetleri Tablo 9’da gösterilmiştir.

Tablo 9. Birim maliyetler

Tabaka Türü	Birim Maliyet (TL/m ²)
Beton (22,5 cm)	298,76
Bitümlü Temel (8 cm)	126,58
Binder (6 cm)	104,38
Çift Kat Sathi	73,44
PMT (20 cm)	95,70
PMT(10 cm)	48,92
PMAT	75,25

Tablo 10’den görüldüğü üzere, yol üstyapısında kullanılan tabakalar arasında metrekare birim fiyatı en yüksek kalem beton kaplamadır. Bu kalem baz alınrsa; bitümlü temel yapılması %58, binder yapılması %65, çift kat sathi kaplama yapılması %75 daha ucuz olduğu görülmektedir.

Tablo 10. Tabakalar maliyet-yüzdellik ilişkisi



Üstyapıya temel teşkil edecek tabakalar kendi içinde değerlendirildiğinde, 20 cm kalınlığında PMT yapılması, 18 cm PMAT yapılmasından %22 daha pahalıdır.

Üstyapı kalınlıklarının kıyaslanması ile ilgili olarak, kalınlığı en fazla olan kesit, 38 cm ile çift kat sathi kaplama kesitidir (20 cm PMT + 18 cm PMAT). Bu kalınlığı sırasıyla 32,5 cm ile beton kaplama (22,5 cm beton plak + 10 cm PMT) ve 24 cm bitümlü sıcak kaplama (6 cm binder + 8 cm bitümlü temel + 10 cm PMT) kesitleri izlemektedir.

Mekanistik tasarımdan elde edilen maksimum deformasyon seviyelerine bakıldığında; sathi kaplamalarda tek dingil yüküne (11,5 ton) maruz bırakılan kaplamada maksimum 0,41514 mm deformasyon gözlemlenmiştir. Bitümlü sıcak kaplama için ise tek dingil yükünde oluşan maksimum deformasyon 0,15178 mm’dir. Rijit kaplamalarda ise esnek kaplamalara kıyasla çok küçük bir deformasyon gözlemlenmiştir. Bu kaplama türünde tek dingil yükünün neden olduğu deformasyon 0,017453 mm’dir.

Kaplama türleri deformasyon açısından birbiriyle kıyaslandığında en fazla deformasyonun sathi kaplamada olduğu gözlemlenmiştir. Sathi kaplamalara göre, bitümlü sıcak karışımda %63 oranında daha az, rijit kaplamada %96 daha az deformasyon gözlemlenmiştir.

4. Sonuç

Bu bölümde, çalışma kapsamında ele alınan ve Manisa İlinde yer alan diğer kırsal yollar için en uygun kaplama alternatifleri sunulacaktır. Her ne kadar uygulanan yük altında sathi kaplama türünde en fazla deformasyon görülse de tasarımı yapılan her üç kaplama türü için deplasman değerleri kabul edilebilir sınırlardadır. Bu açıdan düşünüldüğünde, en uygun

kaplama türü seçiminde yapım maliyeti ve uygulanabilirlik ön plana çıkmaktadır.

Alaşehir-Salihli bağlantı yolunda en az maliyetle uygulanabilecek kaplama türü sathi kaplamadır. Ayrıca bahse konu yol güzergahında genellikle tarım faaliyetleri için taşımacılık yapıldığından, yol yapım süresinin mümkün olan en kısa sürede tamamlanması gerekmektedir. Mahalle ve köy yollarında, elektrik ve iletişim hatlarının havai hat şeklinde olmaları, finişer makinasının kullanımı zorunlu olan SSB ve BSK kaplamalar için bir dezavantajdır. Finişer makinasının yüksekliği nedeniyle bu gibi yerlerde kullanılması zaman zaman olanaksız hale gelmektedir. Bu yüzden imalat zorlaşmakta ve zaman kaybına neden olmaktadır. Dolayısıyla bu durum, yerel halk için ulaşım aksamalarına neden olmaktadır.

Sonuç olarak maliyet, imalat tekniği ve yolun trafiğe açılması durumları değerlendirildiğinde, sathi kaplama türü en elverişli alternatif olarak ön plana çıkmaktadır.

5. Teşekkür

Bu çalışmanın hazırlanmasında vermiş oldukları destek ve katkılarından dolayı Manisa Büyükşehir Belediyesi Yol Yapım, Bakım ve Onarım Dairesi Başkanlığı'na teşekkür ederiz.

Kaynakça

- Çetin B., Barış S., & Saroğlu S. (2011). Türkiye'de karayollarının gelişimine tarihsel bir bakış. *Çankırı Karatekin Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 1(1): 123-150.
- Karayolları Genel Müdürlüğü. (2021). *Devlet ve il yolları envanteri-sath cinsine göre yol ağı uzunlukları*.
- Geçkil, T., & Tanyıldızı M.M. (2019). Zemin taşıma gücünün rijit ve esnek üstyapıların kalınlıklarına ve maliyetine etkisi. *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 31(2):399-406.
- Özkan, E., Bulut, S., & Kuruçay, K. (2019). *İki Farklı Teknik ile Beton Yol Uygulamaları, Manisa Örneği*. 1. Beton Yollar Kongresi ve Sergisi, KGM Halil Rıfat Paşa Konferans Salonu, 13-14 Kasım 2019, Ankara.
- Tatlı, B. (2004). *Esnek ve Rijit Üstyapıların Performans Maliyetlerinin Karşılaştırılması*. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya Üniversitesi, Sakarya.
- Giriş, Ü. (2007). *Esnek Üstyapılar ile Rijit Üstyapıların Teknik ve Ekonomik Yönden Karşılaştırılması*. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gazi Üniversitesi, Ankara.