

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

**BETON VE ASFALT YOLLARIN DAYANIM, DAYANIKLILIK (DURABİLİTE)
VE MALİYET DEĞİŞİMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI : TRABZON ÖRNEĞİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş. Müh. Taha KADIOĞLU

**TEMMUZ 2020
TRABZON**



KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

**BETON VE ASFALT YOLLARIN DAYANIM, DAYANIKLILIK (DURABİLİTE) VE
MALİYET DEĞİŞİMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI : TRABZON ÖRNEĞİ**

Taha KADIOĞLU

ORCID : 0000 - 0002 - 1963 – 8739

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde

“İNŞAAT YÜKSEK MÜHENDİSİ”

Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 12 / 06 /2020

Tezin Savunulduğu Tarihi : 14 / 07 /2020

Tez Danışmanı

: Prof. Dr. Muhammet Vefa AKPINAR

ORCID

: 0000 - 0001 - 7912 – 8274

Trabzon 2020

ÖNSÖZ

Dünyada özellikle gelişmişlik seviyesi yüksek olan ülkelerde karayolu ulaşımının çok önemli bir türü olan beton yol kaplamaları, geçmişte ülkemizde gereken önemi görmemiş ve yapılan yol çalışmalarında da pek tercih edilmemiştir. Uzun yıllardan beri Trabzon'un köy ve mahalle yollarında asfalt kaplamalı yollar uygulanılmaktadır. Ancak esas itibarı ile beton kaplamalı yollar trafik yüklerine, hava koşullarına karşı yüksek dayanıklılığı ve düşük yapım maliyetleri ile asfalt kaplamalı yollara göre Trabzon için son derece uygun bir seçenek olarak karşımıza çıkmaktadır.

Bu çalışmada Trabzon ili sınırları içerisinde yapılan beton ve asfalt kaplamalı yolların dayanımları, dayanıklılıkları ve son yıllardaki maliyet değişimleri karşılaştırılmıştır. Kaplama cinslerine göre trafik yükü, arazi koşulları ve iklim etkilerinin ne derecede etki ettiği yapılan arazi ve laboratuvar çalışmaları ile ispat edilmeye çalışılmıştır. Ayrıca ilk yapım maliyetlerinin yanı sıra bakım onarım maliyetleri de göz önünde bulundurularak beton kaplamaların asfalt kaplamalara göre daha ekonomik olduğu gösterilmiştir. İthalat ile elde edilen ve petrol türevi olan bitümün, yerli bir ürün olan çimentoya tercih edilmesinin milli gelirimize ve cari açığımıza negatif etkileri unutulmamalıdır.

Lisans ve yüksek lisans eğitimim boyunca bana her zaman destek veren, tezimi ortaya koyarken de bana doğru yönlendirmeler yapan hocam Prof. Dr. Muhammet Vefa AKPINAR'a, arazi çalışmaları boyunca desteğini aldığım Trabzon Büyükşehir Belediyesindeki mesai arkadaşlarıma, tez çalışmam boyunca sürekli destek olan eşime, eğitim hayatım boyunca bana her türlü maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen annem, babam, kardeşimlerim ve arkadaşlarıma bütün içtenliğimle teşekkürlerimi sunarım.

Taha KADIOĞLU
Trabzon 2020

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Beton ve Asfalt Yolların Dayanım, Dayanıklılık (Durabilite) ve Maliyet Değişimlerinin Karşılaştırılması : Trabzon Örneği ” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Prof. Dr. Muhammet Vefa AKPINAR‘ın sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 14/07/2020

Taha KADIOĞLU

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET	VIII
SUMMARY	X
ŞEKİL DİZİNİ.....	XII
TABLolar DİZİNİ.....	XVI
KISALTMALAR DİZİNİ	XVIII
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Yol Kaplama Tipleri.....	2
1.2.1. Beton Yollar (Rijit Kaplamalar)	5
1.2.2. Asfalt Yollar (Esnek Kaplamalar).....	5
1.2.3. Kompozit Kaplamalar	6
1.2.4. Stabilize Yollar	6
1.3. Beton Kaplamalı Yollar ve Türleri	6
1.3.1. Derzli Donatısız Yaş Beton Kaplamalı Yollar	8
1.3.2. Derzli Donatılı Yaş Beton Kaplamalı Yollar.....	8
1.3.3. Sürekli Donatılı Yaş Beton Kaplamalı Yollar	8
1.3.4. SSB(Silindirle Sıkıştırılmış Beton) (Kuru Betonlar).....	9
1.3.5. Lif Takviyeli Beton Yollar.....	9
1.3.6. Geçirimli (Poroz) Beton Kaplama.....	10
1.4. Literatür Taraması.....	11
1.4.1. Geçmişten Günümüze Beton Yollar	11
1.4.2. Dünyada Beton Yol Kaplama Tasarımları	13
1.4.1.1. ABD	15
1.4.2.2. Almanya	17
1.4.2.3. Fransa	18
1.4.2.4. Diğer Ülkeler	19

1.5.	Türkiye'deki Yollar	20
1.5.1.	Türkiye'nin Yol Kaplama Durumu	22
1.5.1.1.	Karayolları Tarafından Gerçekleştirilmiş Deneme Beton Yollar	23
1.6.	Fayda-Maliyet Analizi.....	24
1.7.	Beton ve Asfalt Yolların Teknik ve Mali Olarak Karşılaştırılması	26
1.7.1.	İlk Yapım Maliyetleri.....	26
1.7.2.	Yerli Ürün Kullanımı	29
1.7.3.	Dayanıklılık (Durabilite)	31
1.7.4.	Bakım Onarım Maliyetleri.....	35
1.7.5.	Hammadde Maliyetleri.....	38
1.7.6.	Trafik Yükleri, Tekerrür Sayısı ve Kaplama Mukavemetleri.....	40
1.8.	Asfalt ve Beton Üstyapı Kaplama Kalınlık Hesaplaması	41
1.9.	İstanbul Hasdal Kışlası-Kemberburgaz Ayrımı Arasındaki Yol	43
1.10.	Trabzon İli Geneli Yol Ağları.....	45
1.10.1.	Trabzon Büyükşehir Belediyesi Yol Kaplaması Durumu	47
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	52
2.1.	Yöntem ve Materyal.....	52
2.2.	Yapılan Arazi Çalışmaları	52
2.2.1.	Arazi Çalışmaların Yapıldığı Yollar Hakkında Bilgiler	53
2.2.1.1.	Trabzon Tonya Kaleönü-Çayırıcı Köprü Arası Asfalt Kaplama	54
2.2.1.2.	Trabzon Tonya Çayırıcı Köprü-Kalınçam Arası Beton Kaplama	58
2.2.1.3.	Trabzon Tonya Kalınçam-Erikbeli Yayla Arası Beton Kaplama	64
2.2.1.4.	Trabzon Tonya Erikbeli - Kadırğa Yayla Arası Beton Kaplama.....	70
2.2.1.5.	Çaykara-Dernekpazarı ve Sultanmurat Yolu Asfalt Kaplama.....	78
2.3.	Yapılan Labaratuvar Çalışmaları	80
2.3.1.	Beton Sınıfları ve Dayanım Kriterleri.....	80
2.3.1.1	Beton Karotlara Uygulanan İşlemler	82
2.3.2.	Asfalt Karşımın Stabilite ve Dayanım Kriterleri	85
2.3.3.	Plent Üretimi Asfalt (BSK) Karışıma Marshall Testi Uygulaması	86
2.3.4.	Asfalt Karotlara Marshall Akma ve Stabilite Testi Uygulanması	87
2.4.	Kaplama Maliyetleri Detaylı Karşılaştırması	90
2.4.1.	Giriş	90
2.4.2.	Beton ve Asfalt (BSK) Arasında Maliyet Analizi	91

3.	BULGULAR VE TARTIŞMA	97
3.1.	Numuneler Üzerinde Basınç Dayanım Testi	98
3.1.1.	Basınç Dayanım Deneylelerinin Değerlendirilmesi	99
3.2.	Asfalt Numunelerin Akma ve Stabilite Deneylelerinin Değerlendirilmesi	101
3.3.	Maliyet Analizleri.....	103
3.3.1.	Beton Kaplamalı Yolun Maliyeti	104
3.3.2.	Asfalt Kaplamalı Yolun Maliyeti.....	105
3.3.3.	Asfalt ve Beton Kaplamalı Yolların Maliyet Karşılaştırması.....	106
3.3.4.	Trabzonda Son 5 Yıllık Asfalt ve Beton Kaplamaların Maliyet İncelemesi...	110
3.4.	Bakım Onarım Maliyetleri	111
4.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	115
5.	KAYNAKLAR	120
6.	EKLER	124
ÖZGEÇMİŞ		

ÖZET

BETON VE ASFALT YOLLARIN DAYANIM, DAYANIKLILIK (DURABİLİTE) VE MALİYET DEĞİŞİMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI : TRABZON ÖRNEĞİ

Taha KADIOĞLU

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. M. Vefa AKPINAR
2020, 123 Sayfa, 23 Sayfa Ek

Bu çalışmada Trabzon ilindeki beton yolların asfalt yollara göre dayanım, dayanıklılık ve maliyet açısından karşılaştırılmıştır. Trabzon'da 20-25 yıldır hizmet veren beton yollar bulunmakta iken, asfalt yollar 3 yıl dahi aynı durumunu koruyamamaktadır. Bu durum işletme giderleri açısından ek yük getirmektedir. Örnek olarak Tonya Merkez Kaleönü Mahallesi-Çayırıcı-Kalınçam-Erikbeli-Kadırga Yaylası boyunca uzanan 36,2 km'lik yol hattı seçilmiştir. Bu hat birbiri ardınca uzanan aynı arazi, iklim koşulları ve trafik yükü altındaki beton ve asfalt yollardan oluşmaktadır. Yol boyunca kaplamalardan karot numuneleri alınmış, laboratuvar ortamında deneyler uygulanmıştır. Beton numunelerinin deney sonuçları şartname limitlerini karşılamakta iken, asfalt numuneleri karşılayamamıştır. Ayrıca Trabzon'da yapılan beton ve asfalt kaplamalı yolların yıllara göre maliyet değişimleri incelenmiştir. Bunun için Trabzon Büyükşehir Belediyesi plentinde üretilen beton ve asfaltın birim fiyatı ile Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM)'nin birim fiyatlarından yararlanılmıştır. Betonun birim fiyatı doğrusal, asfalt (BSK) birim fiyatı ise eksponansiyel artışlar göstermiştir. 2014-2018 yıllarını kapsayan dönemde belediye tarafından yapılan ve yaptırılan imalatların içinde asfaltın ortalama birim maliyetinin, betona göre %13,4 daha fazla olduğu görülmüştür. Trabzonda uygulanan asfalt ve beton yol tasarımlarına göre 1 km yol için, belediye plenti birim fiyatları ile asfalt yolun beton yola göre ilk yapım maliyeti %37,65, 20 yıllık maliyetleri ise %160 oranında daha fazla olduğu ortaya konulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Beton Yol, Asfalt Yol, Esnek Kaplama, Rijit Kaplama, Dayanım, Dayanıklılık, Maliyet

Master Thesis

SUMMARY

COMPARISON OF STRENGTH, DURABILITY AND COST CHANGES OF
CONCRETE AND ASPHALT ROADS: EXAMPLE OF TRABZON

Taha KADIOĞLU

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Civil Engineering Graduate School
Supervisor: Prof. Dr. M. Vefa AKPINAR
123 Pages, 23 Pages Appendix

In this study, concrete roads in Trabzon province were compared in terms of strength, durability and cost compared to asphalt roads. While there are concrete roads that have been serving for 20-25 years in Trabzon, asphalt roads cannot maintain the same condition even for 3 years. This situation creates an additional burden in terms of operating expenses. As an example, a 36.2 km road line along the Tonya Merkez Kaleönü District-Çayırıcı-Kalınçam-Erikbeli-Kadırga Plateau was chosen. This line consists of the same terrain, climatic conditions, and concrete and asphalt roads under traffic load. Core samples were taken from the pavements along the way and experiments were carried out in the laboratory environment. While the test results of concrete samples meet the specification limits, asphalt samples could not meet. In addition, the cost changes of concrete and asphalt paved roads constructed in Trabzon are examined. For this, unit price of concrete and asphalt produced in Trabzon Metropolitan Municipality plant and unit prices of General Directorate of Highways (KGM) were used. The unit price of concrete is linear, and the asphalt (BSK) unit price has increased exponentially. It was observed that the average unit cost of asphalt was 13.4% higher than the concrete among the productions made and built by the municipality in the period covering 2014-2018. According to the asphalt and concrete road designs implemented in Trabzon, it has been demonstrated that the municipal plant unit prices and the first construction cost of the asphalt road are 37.65% and the annual costs of 160% are higher than the concrete road.

Key Words: Rigid (Concrete) Pavement Road, Flexible (Asphalt) Pavement Road, Durability, Strength, Cost Comparison

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No:

Şekil 1.1. Esnek, kompozit ve beton yol tipik kesitleri	3
Şekil 1.2. Beton ve asfalt üstyapı yük dağılımı	4
Şekil.1.3. Beton yol kaplama tiplerinin boykesitleri.....	7
Şekil 1.4. Beton yol kaplama türleri	7
Şekil 1.5. Silindirle sıkıştırılmış beton yol görünümüleri.....	9
Şekil 1.6. Tipik bir geçirimli beton kesiti.....	10
Şekil 1.7. Geçirimli (poroz) betondan görünümeler.....	10
Şekil 1.8. ABD Ohio Eyaletinde 1891 yılından beri hizmet veren beton yol.....	11
Şekil 1.9. KGM ve TÇMB ortaklığı ile yapılan ilk deneme beton yol uygulaması.....	12
Şekil 1.10. AASHTO yönteminde beton yol kaplama kalınlığı formülü.....	15
Şekil 1.11. Farklı CBR değerlerinde yol yapım ilk maliyetleri.....	28
Şekil 1.12. Trafik kategorilerine göre yapım maliyet karşılaştırma grafiği.....	29
Şekil 1.13. Betonda dayanıklılık 35-40 yıl civarlarında iken, asfaltta neredeyse yarısı kadardır	33
Şekil 1.14. Asfalt ve beton yollarda bakım-kaplama yaşı ilişkisi grafikleri.....	36
Şekil 1.15. Esnek ve rijit kaplamaya ait trafik yüklerini dağıtma mekanizmaları.....	40
Şekil 1.16. Tonya Merkez-Çayırıcı-Kalınçam hattındaki beton ve asfalt yol görünümleri.....	41
Şekil 1.17. Bozulan bir asfalt yola greyderle bakım-onarım yapılırken.....	48
Şekil 1.18. Yüzeyi bozulan asfaltın üzerine 8 cm asfalt serilmesi (Çukurçayır Mah.Trabzon).....	48
Şekil 1.19. 15 yıl önce devlet-köylü işbirliği ile yapılan beton yol (Kirazlık mah./ Vakfikebir).....	49
Şekil 1.20. 15 yıl önceki beton yola asfalt serimi uygulanmıştır (Kirazlık mah./ Vakfikebir).....	49
Şekil 1.21. 15 yıl önceki beton yola asfalt serimi uygulanmıştır (Kirazlık mah./ Vakfikebir).....	50
Şekil 1.22. Erikbeli-Kadırga yolu arasında beton yol finişerleri ile yapılan yoldan görünümeler.....	51
Şekil 2.1. Tonya-Kaleönü-Çayırıcı-Kalınçam-Erikbeli-Kadırga hattının haritadaki görünümüleri ve yol uzunlukları.....	54

Şekil 2.2. Tonya Merkez Kaleönü Mah. – Çayırıcı Asfalt yol hattının google earth üzerinde gösterimi (0+000 – 3+800) – (yapım yılı 2015).....	55
Şekil 2.3. Tonya Merkez Kaleönü Mah.–Çayırıcı Köprü arası asfalt kaplamasında yol boyunca yer yer çatlaklar gözlemlenmektedir.....	55
Şekil 2.4. Tonya Merkez Kaleönü Mah. – Çayırıcı Köprü arası asfalt kaplamasında yol boyunca yüzeysel soyulmalar gözlemlenmektedir.....	56
Şekil 2.5. Tonya Kaleönü - Çayırıcı köprüsü arasında (0+000 - 3+800) karot alınan noktalar.....	56
Şekil 2.6. Karot 1+350 – 835 mt. rakımda alınan asfalt karot numunesi görünümleri.....	57
Şekil 2.7. Karot 1+950 – 830 mt. rakımda alınan asfalt karot numunesi görünümler.....	57
Şekil 2.8. Karot 3+150 – 848 mt. rakımda alınan asfalt karot numunesi görünümler.....	58
Şekil 2.9. Tonya Çayırıcı-Kalınçam Beton Yol Hattı 11,2 km (3+800–15+000) yapım yılı (2001-2011).....	59
Şekil 2.10. Tonya-Çayırıcı-Kalınçam beton yolu başlangıç tabelasından görünüm.....	60
Şekil 2.11. Çayırıcı mevkisinde bulunan beton yolda derz birleşim yerinde köşe çatlağı.....	60
Şekil 2.12. Çayırıcı mevkisinde bulunan beton yolda kısmi yer yer soyulmalar.....	61
Şekil 2.13. Çayırıcı köprü-Kalınçam (11,2 km) arası beton yoldan görünüm.....	61
Şekil 2.14. Çayırıcı köprü-Kalınçam (11,2 km) arası beton yoldan karot alınan noktalar.....	62
Şekil 2.15. 9+100 km alınan karot örneği (Çayırıcı Köprü-Kalınçam arası beton yol).....	62
Şekil 2.16. 6+000 km alınan karot örneği (Çayırıcı Köprü-Kalınçam arası beton yol).....	63
Şekil 2.17. 4+500 km alınan karot örneği (Çayırıcı Köprü-Kalınçam arası beton yol).....	63
Şekil 2.18. 2+000 km alınan karot örneği (Çayırıcı Köprü-Kalınçam arası beton yol).....	64
Şekil 2.19. Kalınçam - Erikbeli Yayla beton yol hattı (15+000-22+200) yapım yılı-2015.....	65
Şekil 2.20. Karot alınan noktaların g.earth gösterimi (Kalınçam-Erikbeli beton yolu).....	66
Şekil 2.21. 0+300 mt. den alınan beton karot numunesi (Kalınçam-Erikbeli beton yolu).....	66

Şekil 2.22. 1+700 mt. den alınan beton karot numunesi (Kalınçam-Erikbeli beton yolu).....	67
Şekil 2.23. 2+900 mt. den alınan beton karot numunesi (Kalınçam-Erikbeli beton yolu).....	67
Şekil 2.24. 4+200 mt. den alınan beton karot numunesi(Kalınçam-Erikbeli beton yolu).....	68
Şekil 2.25. 5+900 mt. den alınan beton karot numunesi (Kalınçam-Erikbeli beton yolu).....	68
Şekil 2.26. İş yeri başlangıç tabelasından görünüm (Kalınçam-Erikbeli beton yol 7,2 km).....	69
Şekil 2.27. Kalınçam-Erikbeli arası beton yolda kısmı soyulma ve derz birleşim çatlakları.....	69
Şekil 2.28. Erikbeli-Kadırga finişerli beton yol uygulaması uydu görünümü (14 km.).....	71
Şekil 2.29. Erikbeli Yaylası beton yol inşaatı işinin başlangıç noktası tabelası.....	71
Şekil 2.30. Tonya-Erikbeli-Kadırga (Turizm Yolu) yeşil yol beton yolundan görünüm.....	72
Şekil 2.31. Erikbeli - Kadırga yayla arası beton yol hattı boyunca karot alınan noktalar.....	72
Şekil 2.32. Erikbeli – Kadırga yolu 8+300 km den karot numunesi görünümleri.....	73
Şekil 2.33. Erikbeli Kadırga 8+600 karot numuneleri ve ölçümleri.....	74
Şekil 2.34. Erikbeli-Kadırga 9+000 karot numunesi ve ölçümleri.....	75
Şekil 2.35. Erikbeli Kadırga 9+600 karot numuneleri ve ölçümleri.....	76
Şekil 2.36. Erikbeli Kadırga 10+700 karot numuneleri ve ölçümleri.....	77
Şekil 2.37. Erikbeli Kadırga 10+900 karot numuneleri ve ölçümleri.....	77
Şekil.2.38. Sultanmurat Yaylası - Dernekpazarı yolu üzeri asfalt yol yapımı (2014 yılı).....	78
Şekil.2.39. Sultanmurat Yaylası - Dernekpazarı yolu asfalt yolun son durumu (yıl 2019).....	79
Şekil 2.40 Alınan tüm beton karot numuneleri Erikbeli yaylası Tonya istikametine doğru artacak şekilde numaralandırılmıştır.....	82
Şekil 2.41. Beton karot numunelerinin kalınlıklarının ölçülmesi.....	83
Şekil 4.42. Karot başlık düzeltme işlemi yapılması.....	83
Şekil 2.43. Kompasla karot çap ölçümü.....	84

Şekil 2.44. 1 nolu beton karot numunesi basınç testi yapılmadan düzgünce yerleştirildi.....	84
Şekil 2.45. Başlıklama işlemi yapılan tüm beton numuneleri hazırlandı ve numaralandırıldı.....	85
Şekil 2.46. Marshall akma ve stabilite test ölçüm cihazı.....	86
Şekil 2.47. Numuneler Marshall test cihazına girmeden önce 60 °C sıcaklıkta 40 dakika bekletildi.....	87
Şekil 2.48. Tonya Merkez Kaleönü mah.–Çayırıçi Köprü arası (3,8 km) alınan karot numuneleri.....	88
Şekil 2.49. 1. nolu asfalt numunesi için maksimum yük ve akma ölçümü yapıldı.....	89
Şekil 2.50. 2. nolu asfalt numunesi için maksimum yük ve akma ölçümü yapıldı.....	89
Şekil 2.51. 3. nolu asfalt numunesi için maksimum yük ve akma ölçümü yapıldı.....	89
Şekil 3.1. 7 ve 8 nolu karot numunelerinin kırım testinden sonraki durumları (Çayırıçi-Kalınçam yolu).....	99
Şekil 3.2. 1 ve 2 nolu karot numunelerinin kırım testinden sonraki durumları (Kalınçam- Erikbeli yayla yolu).....	100
Şekil 3.3. Marshall test cihazından sonra 3 nolu numunede deformasyonlar oluştu.....	102
Şekil 3.4. Trabzon ilinde uygulanan beton kaplamalı yolların tabaka kalınlıkları.....	105
Şekil 3.5. Trabzonda genel olarak uygulanan asfalt kaplamalı yolların tabaka kalınlıkları.....	105
Şekil 3.6. KGM birim fiyatlarından yararlanılarak yapılan asfalt ve beton yol tasarımlarının yıllara göre fiyat değişimleri grafiği.....	108
Şekil 3.7. Kaplama cinsine göre 20 yıllık toplam maliyetler grafiği.....	115

TABLULAR DİZİNİ

Sayfa No:

Tablo 1.1. Derzli Donatısız Beton Kaplamanın Trafik Kategorileri (T8,2: 8,2 tonluk eşdeğer standart dingil yükü tekrar sayısı – yolun hizmet ömrü boyunca).....	14
Tablo 1.2. Sürekli Donatılı Beton Kaplamanın Trafik Kategorileri (T8,2: 8,2 tonluk eşdeğer standart dingil yükü tekrar sayısı – yolun hizmet ömrü boyunca).....	14
Tablo 1.3. AASHTO yöntemi formülünde kullanılan parametreler.....	16
Tablo 1.4. Beton yollarda 8,2 ton dingil yükünün farklı tekerrür sayılarında tasarım kalınlıkları görülmektedir.....	17
Tablo 1.5. Almanya'da trafik yoğunluğuna göre kategorize olmuş farklı yol tiplerinde beton kullanıldığında istenilen teknik özellikler.....	18
Tablo 1.6. Türkiye’de ulaşım türüne göre yurtiçi yolcu ve yük payları.....	20
Tablo 1.7. Türkiye’nin yıllara göre karayolu uzunlukları.....	21
Tablo 1.8. KGM sorumluluğundaki yolların satıh cinsine göre uzunlukları.....	22
Tablo 1.9. KGM tarafından yapılan deneme beton yolların genel bilgileri.....	24
Tablo 1.10. Ülkelere göre üretilen hazır beton miktarları.....	30
Tablo 1.11. Avrupa Hazır Beton Birliği (ERMCO) üyeleri ülkelerde kullanılan beton dayanım sınıfları (N/mm ²).....	34
Tablo 1.12. Türkiye’de KGM tarafından bakım maliyetlerinin bölgelere göre dağılımı.....	37
Tablo.1.13. 50/70 penetrasyon değerine sahip bitüm malzemesinin son 4 yıldaki fiyat değişimleri.....	39
Tablo 1.14. W8,2 değerlerine göre asfalt ve beton üstyapı kaplama kalınlıkları (cm) ve maliyetleri (TL) (2014 yılı fiyatları ile).....	42
Tablo 1.15. Hasdal Kışlası-Kemberburgaz Ayrımı yol boyunca uygulanan tasarımlar.....	43
Tablo 1.16. 2008 birim fiyatlarıyla oluşturulan asfalt ve beton yol yapım maliyetleri.....	44
Tablo 1.17. Trabzon ili yollarında genel kaplama dağılımı (ilçe-köy- yayla-şehiriçi yollar dahil).....	46
Tablo 1.18. Trabzon Büyükşehir Belediyesi yol ağı kaplama cinsi dağılımı ve grafiği (2019).....	47

Tablo 2.1. Beton sınıfları ve dayanımları.....	80
Tablo 2.2. Karotların boy/çap oranlarına göre için düzeltme faktörleri.....	81
Tablo 2.3. Beton kaplamanın değerlendirilmesinde alınan karotların basınç dayanımı uygunluk kriterleri	82
Tablo 2.4. Aşınma tabakası için marshall tasarımında darbe, stabilite ve akma kriterleri.....	86
Tablo 2.5. Tonya Merkez Kaleönü Mah.-Çayırıcı Köprüsü asfalt kaplama karot numunelerinin çap ve kalınlıkları.....	88
Tablo 2.6. Trabzon Büyükşehir Belediyesince üretilen 1 ton BSK analizi.....	91
Tablo 2.7. Trabzon Büyükşehir Belediyesince üretilen 1 m ³ C25/30 beton analizi.....	91
Tablo 2.8. Trabzonda uygulanan BSK ve beton yollardaki tabaka kalınlıkları tasarımları.....	92
Tablo 2.9. KGM iş kalemleri ile Trabzon'da uygulanan beton yol tasarım metrajları.....	92
Tablo 2.10. KGM iş kalemleri ile Trabzon'da uygulanan asfalt yol tasarım metrajları.....	93
Tablo 2.11. AASHTO formülleri kullanılarak üstyapı kalınlıkları.....	94
Tablo 3.1. Alınan tüm beton yollardaki karotların ortalama boy(cm) ve dayanımları(mpa).....	98
Tablo 3.2. Asfalt numunelerinin marshall cihazından elde edilen akma ve stabilite değerleri.....	101
Tablo 3.3. Marshall yöntemi tasarım değerleri (bitümlü karışımlar için).....	102
Tablo 3.4. Trabzon Büyükşehir Belediyesi plenti üretimi BSK maliyet analizi (Kasım 2019).....	103
Tablo 3.5. Trabzon Büyükşehir Belediyesi plenti üretimi C25/30 beton maliyet analizi (Kasım 2019).....	104
Tablo 3.6. Trabzon Büyükşehir Belediyesi plentinde üretilen asfalt ve beton fiyat grafiği.....	106
Tablo 3.7. KGM birim fiyatlarından yararlanılarak yapılan 1 km x 8 mt. boyutlarında asfalt ve beton yol tasarımlarının yıllara göre fiyat değişimleri tablosu.....	107
Tablo 3.8. KGM birim fiyatları ile 2019 yılı beton ve asfalt yol yapım maliyetleri (l=1 km, e=8mt.).....	109
Tablo 3.9. 2019 fiyatlarına göre 1 m ³ plentmiks düzeltme tabakası yaklaşık maliyeti	113
Tablo 3.10. 2019 fiyatlarına göre 1 km mahalle yolunun temizlik yaklaşık maliyeti	113
Tablo 3.11. Üç farklı kaplama türünün 20 yıllık maliyet değişimleri.....	114

KISALTMALAR DİZİNİ

TSE	: Türk Standartları Enstitüsü
TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
KGM	: Karayolları Genel Müdürlüğü
TCK	: Türkiye Cumhuriyeti Karayolu
AASHTO	: Amerika Eyalet Yolları ve Ulaşım Çalışmaları Kurumu
ASTM	: Amerika Test ve Malzeme Kurumu
CBR	: Kaliforniya Taşıma Oranı
E	: Elastisite Modülü
BSK	: Bitümlü Sıcak Karışım
URC	: Derzli Donatısız Rijit Kaplama
JRC	: Derzli Donatılı Rijit Kaplama
CRCP	: Sürekli Donatılı Rijit Kaplama
W8.2	: 8,2 ton eşdeğer tek-dingil yükü tekerrür sayısı
ZR	: Standart normal sapma
S ₀	: Trafik tahmini ve performans tahmininin bileşik standart hatası
D	: Rijit üstyapı beton kaplama kalınlığı
ΔPSI	: P ₀ -P _t (Servis kabiliyetinde azalma miktarı)
P ₀	: Başlangıç servis kabiliyeti indeksi
P _t	: Nihai servis kabiliyeti indeksi
S' _c	: Betonun kopma modülü (Eğilmede çekme mukavemeti)
J	: Yük transfer katsayısı
C _d	: Drenaj katsayısı
E _c	: Betonun elastisite modülü
k	: Yatak katsayısı
ν	: Poisson Oranı
γ	: Birim Hacim Ağırlığı

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Dünyadaki diğer ülkelere göre Türkiye, ulaşım türleri içerisinde karayolu ulaşımını diğer ulaşım türlerine göre çok daha fazla kullanmaktadır. Bu da ülkemizde daha dayanıklı, kaliteli ve uygun maliyetli karayollarının yapımını zorunlu kılmaktadır.

Son yıllardaki ekonomik gelişmeler düşünüldüğünde ülkemiz kaynaklarının daha etkin kullanması zaruri bir durum olmuştur. Döviz fiyatlarının petrol ürünleri maliyetlerine doğrudan etki etmesi nedeniyle bu süre zarfında bitüm fiyatlarında yüksek oranlarda artışlar meydana gelmiştir. Dolayısıyla bu fiyat değişimleri petrolü ithal ederek elde eden ülkemiz ekonomisine de negatif yönde etki etmektedir. Bu da yerli kaynak olan çimento ile elde edilen betona olan talebin önemini artırmaktadır. Avrupa'da ve Dünya'da önemli bir çimento üreticisi konumunda olmamız ülkemiz için beton yolların uygulanmasını daha uygun bir seçenek olarak karşımıza çıkarmaktadır.

Trabzon ilinde uygulanan kaplama tipleri; asfalt kaplamalı yollar, beton kaplamalı yolları, stabilize yollar, parke yollar ve kompozit kaplamalı yollar olarak sınıflandırılabilir. Bunların önemli bir kısmını asfalt ve beton kaplamalı yollar oluşturmaktadır. 2000'li yılların başlarına kadar sathi kaplama uygulamaları maliyetlerinden dolayı yaygın olarak uygulanmaktaydılar. Ancak yapılan sathi kaplama uygulamalarının genelinde 1-2 yıllık süre zarfında hizmet veremez hale geldiği görülmüştür. Bu durumun sonucu olarak kaplamanın yenilenme ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Bu nedenle düşük ilk yapım ve bakım-onarım maliyetleri olmasının yanında, daha uzun servis ömrü olan dayanıklı yolların yapılmasını zorunlu hale gelmiştir. Bu nedenle Türkiye İstatistik Kurumu ve Harita Genel Komutanlığı verilerine göre 21.748,15 km toplam yolun 17.719,11 km ile Türkiye'nin en uzun kırsal yol ağına sahip ili olan Trabzon ilinde özellikle son 15 yılda kırsal alanlarda büyük oranda beton yollar tercih edilmeye başlanmıştır. Bu tercih günümüzde yeni uygulama teknikleri ile birlikte daha da kaliteli beton yollar yapılmasına imkan sağlamaktadır.

Bu çalışmada 6360 sayılı Büyükşehir yasası ile Büyükşehir Belediye statüsüne kavuşan Trabzon ilinde yapılan asfalt ve beton yol uygulamaları dayanım, dayanıklılık, ve

maliyetleri karşılaştırılmıştır. Trabzon ilinde hangi yol tipinin daha uzun süre hizmet verdiği, çevresel koşullara daha dayanıklı olduğu ve maliyet olarak daha akılcı bir tercih olduğu değerlendirilmiştir.

Trabzon örneğinden yola çıkarak bölgeye en uygun olan üst yapı kaplama tipi 2 tip karşılaştırmalı analizle ortaya konmaya çalışılmıştır. Birinci analizlerde, belirlenen (aynı hat boyunca uzanan, aynı iklim etkileri ve trafik yüküne maruz) yol güzergahlarından alınan numuneler (küp ve karot numuneleri) tek eksenli basınç testlerine tabi tutulmuş ve sonuçları irdelenmiştir. İkinci analizlerde ise Trabzon ilinde ihaleler ile yüklenici firmalara yaptırılan beton ve asfalt kaplamalı yolların yapımına son 5 yılda (2014-2015-2016-2017-2018) harcanan tutarlar, bu tutarlar içerisinde beton ve asfaltın oranları irdelenmiştir. Bu fiyatları kullanırken Trabzon Büyükşehir Belediyesi Faaliyet ve Performans Programlarından faydalanılmıştır. Trabzon ilinde genellikle uygulanan beton ve asfalt yol tasarımı baz alınarak yol kaplamalarının maliyetleri ve yıllara göre değişimleri ayrıca ortaya konulmuştur. Maliyet karşılaştırmalarında Trabzon Büyükşehir Belediyesinde üretilen beton ve asfaltın maliyet analizleri ile Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM)'nün birim fiyatlarından yararlanılmıştır.

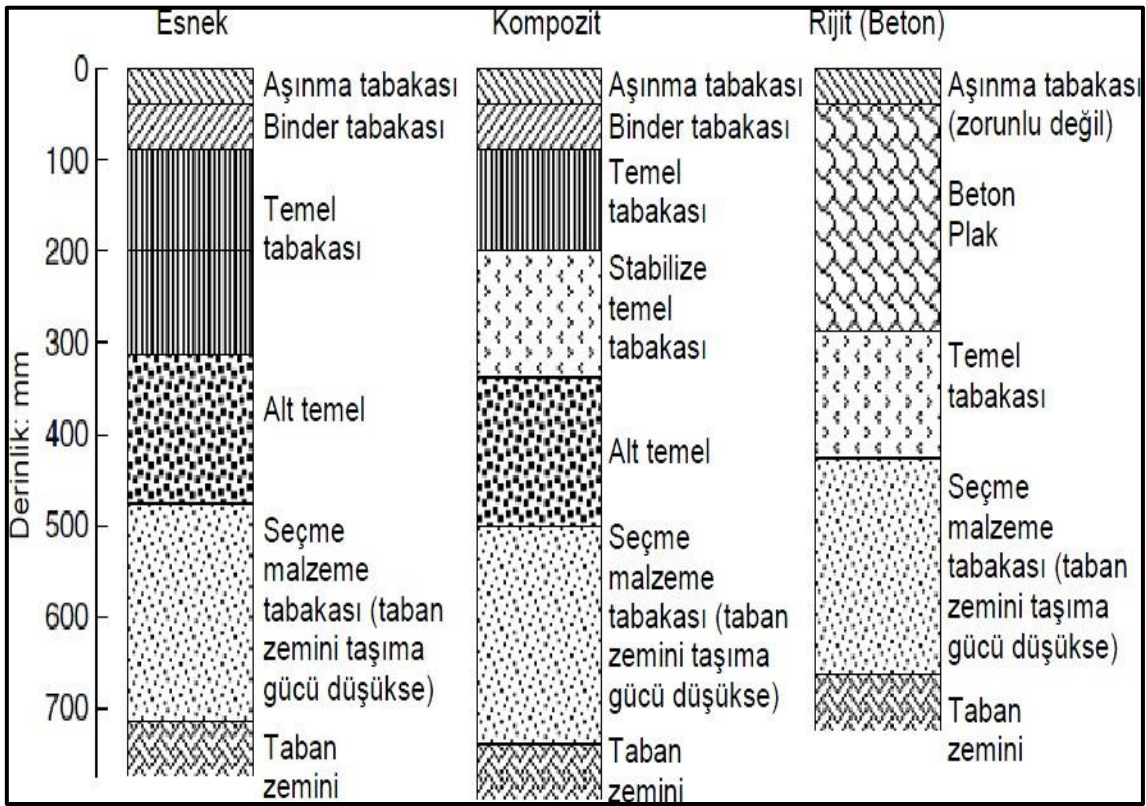
1.2. Yol Kaplama Tipleri

Türkiye’de hem yolcu taşıma hem de yük taşıma payları açılarından değerlendirildiğinde en çok tercih edilen ulaşım türünün karayolu ulaşımı olduğunu görülmektedir. Karayolu ulaşımını sağlamak için ise yapılan yol inşaatları iki önemli yapıdan oluşur. Bunlar altyapı ve üstyapıdır. Altyapı; kazı ve dolgular ile yol yapılacak güzergâhı tabi zeminden, yol geometrisine uygun hale getirme ve ayrıca gerekli sanat yapıları ile bu yapıyı destekleme ve drene edilmesidir. Kısacası altyapı yolun enkesit tipine uygun hale getirilmesidir. Üstyapı ise istenilen taşıma gücüne ulaşana kadar belirli gradasyonlu agregalar ile altyapıdan gelen yol yapısını destekleme ve üzerine kaplama denilen yapının inşa edilmesidir.

Üstyapı; alttemel, temel ve kaplamadan oluşmaktadır. Alttemel; üzerindeki temeli taşımak amacıyla doğal zemin üzerinde yerleştirilir. Bu tabaka belirli bir granülometreye ve plastisiteye sahiptir. Temel tabakası, alttemel tabakası ile kaplama tabakası arasında bulunan ve belirli fiziksel özelliklere göre tasarlanan tabakalardır. Temel tabakasının üzerine gelen yükleri geniş bir alana yayarak gerilmeleri azaltmak, kaplamayı taşımak ve drenaj sağlamak

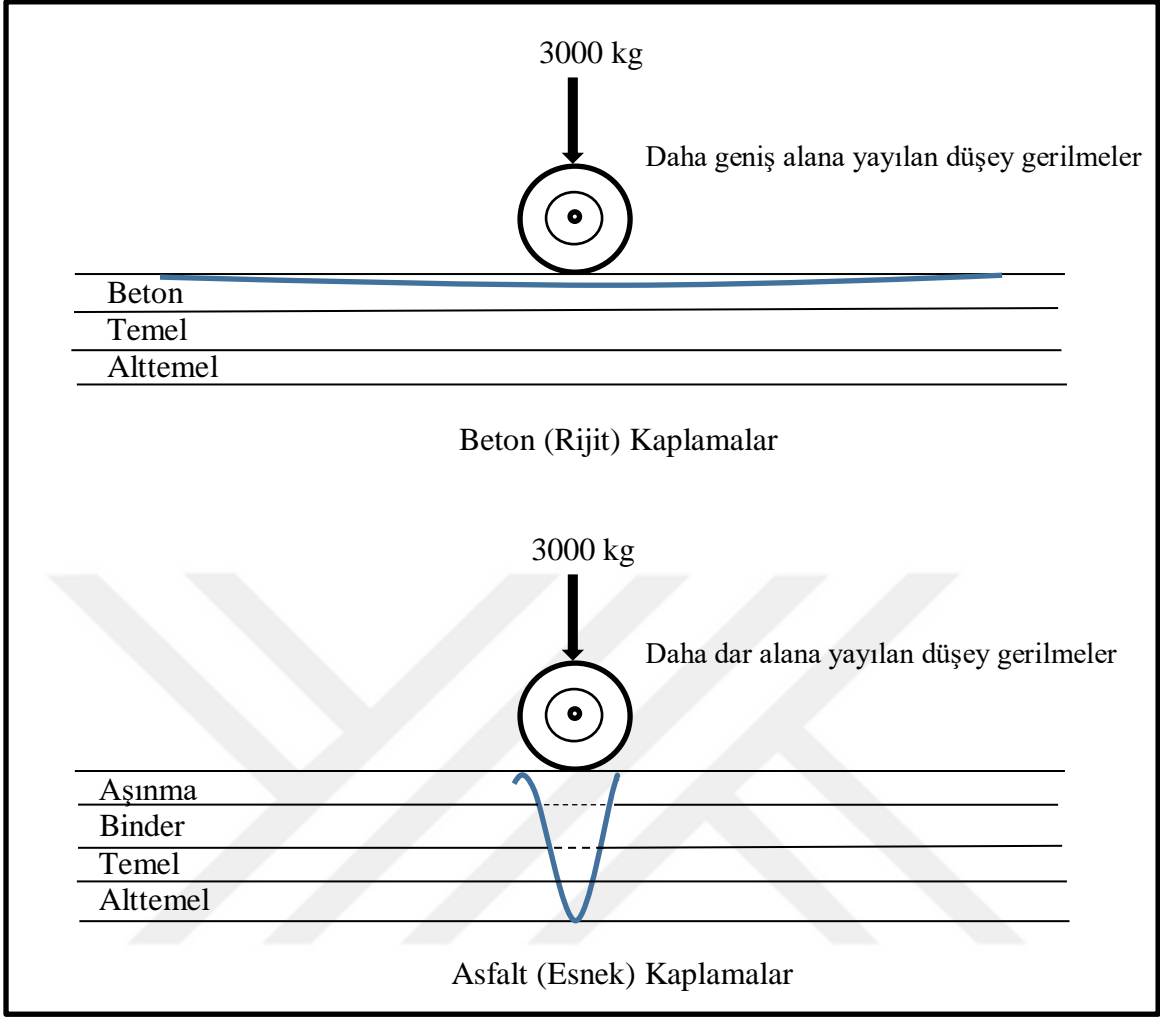
gibi önemli işlevleri vardır. Kaplama ise bütün katmanların en üstünde yer alır. Trafik yükü ve iklim etkisinin ortaya çıkardığı etkilere doğrudan maruz kalırlar. Asfalt betonu, sathi kaplama, beton/betonarme ve parke vb. olarak inşa edilebilirler [1]. Yol üstyapılarda kaplama türü dört tanedir;

- Beton (Rijit) Kaplamalar
- Asfalt (Esnek) Kaplamalar
- Kompozit Kaplamalar
- Stabilize Kaplamalar [2].



Şekil 1.1. Esnek, kompozit ve beton yol tipik kesitleri [3].

Şekil 1.1’de görüldüğü gibi asfalt kaplamalar taban zemini, alt temel, temel, binder ve aşınma tabakalarından oluşmaktadır. Kompozit kaplamalar ise asfalt yoldan hariç ek bir temel tabakasına daha sahiptir. Trabzon ilinde kompozit kaplamalarda temel tabakası olarak geçmişte yapıлып yüzeyi bozulmuş olan beton yollar tercih edilmektedir. Beton yol kesitlerine bakıldığında ise esas itibarı ile temel ve beton plaktan oluşmaktadır.



Şekil 1.2. Beton ve asfalt üstyapı yük dağılımı

Beton yollar üzerine gelen yükleri kaplama tabakasında geniş bir alana yayarak gerilme ve şekil değiştirmelerin oluşmasını büyük ölçüde sönmülemektedir. Böylece alt tabakalara üzerlerine gelen yükten kaynaklı çok az etki gelmektedir. Bunun en büyük nedeni betonun yüksek elastisite modülü ve taşıma kapasitesine sahip olmasıdır.

Asfalt yollarda ise, üstten gelen yükler doğrudan ve yayılmadan alttabakalara iletilmektedir. Bu nedenle alt katmanlar daha fazla gerilme ve şekil değiştirmeye maruz kalacaktır. Özellikle bu nedenle asfalt kaplamalarda alt tabakalardaki tabakaların taşıma kapasiteleri, elastisite modülleri vb. niteliklerinin beton yol kaplamalarından kullanılan alt tabakalara göre daha iyi olması gerekmektedir.

1.2.1. Beton Yollar (Rijit Kaplamalar)

Yüksek eğilme direncine sahip ve beton ile yapılmış tek tabakalı plak vasıtasıyla yükleri taban zeminine dağıtan üstyapı tipine beton yol (rijit üst yapı) adı verilir [4]. Beton yolların elastisite modülü, üzerine oturduğu zeminin elastisite modülünden çok daha yüksek olmasından dolayı yayların üzerine oturmuş kiriş gibi çalıştığı kabul edilirler. Betonun rijitlik karakteristiğinin sonucu olarak beton yollar üzerlerine gelen ağır yükleri çok geniş bir alana yaydıklarından dolay ağır taşıt yükleri ve yoğun trafik durumu için en uygun kaplama türüdürler.

Ülkemizde beton kaplamalı yol deneme amaçlı ilk olarak Afyon ilinde Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM) ile TÇMB (Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği) arasındaki protokolle gerçekleştirilmiştir. Ancak günümüzde bakıldığında KGM tarafından yapılan birkaç deneme yol uygulaması dışında son derece sınırlı kalmıştır. Bununla birlikte havaalanlarında pist ve benzeri yapılarda, terminallerde yükleme, boşaltma ve otopark sahalarında, kısmen şehir içi yol ve benzeri yerlerde beton yol kaplamalarının yapımı artarak devam etmektedir [5].

Dünya örneklerine bakıldığında 100 yılı aşkın süredir hizmet veren ve günümüze ulaşan beton yollar bulunmaktadır. 15-20 yıllık süre sonuna dek hiçbir bakım-onarım yapılmaksızın kullanılabilirler.

1.2.2. Asfalt Yollar (Esnek Kaplamalar)

Asfalt (esnek) kaplama tabakası, genel olarak asfalt betonu veya sathi kaplamadan oluşan üstyapının en üstünde yer almaktadır. Trafik etkisine, kaymaya ve hava koşullarına direnç gösterirler [6]. Esnek kaplamalar altındaki tabakalarla çok sıkı bir şekilde bağlanarak üzerlerine gelen dış yükleri alt tabakalara iletirler.

Asfalt (Esnek kaplama) yollar; kaplama tabakası, temel tabakası ve alttemel tabakalarından oluşurlar. Her tabakada birbirinden farklı davranışlara sahip malzemeler bulunmaktadır. Üst kısımdan taban zeminine doğru tabakalarda kullanılan malzemelerin mekanik özelliklerinin kaliteleri de azalır. Alt temel ve temel tabakalarındaki granüler malzemeler lineer olmayan elastik davranışa sahiptir. Bu tabakaların ömrünü belirleyen faktörler proje ömrü, trafik hacmi, mevcut malzeme durumu ve taban zemini dayanımıdır. Kaplama tabakası ise binder ve aşınma olmak üzere iki kısımdan oluşur. Bu tabakadan trafik

ilerlediği için ve direkt olarak trafik emniyeti ve sürüş konforunu etkilemektedir. Bu nedenle optimum bir pürüzlülük ile uniform bir yuvarlanma düzlemine sahip olması gerekmektedir. Aşınma tabakası sıcaklık ve yükleme hızlarına doğrudan bağlı olan ve visko-elastik davranışlı bitümlü karışımlardan oluşur [7]. Aşınma tabakasında binder tabakasına oranla daha küçük (ince) malzemeler kullanılır.

1.2.3. Kompozit Kaplamalar

Kompozit kaplamalar, beton ve asfalt kaplamaların birlikte kullanıldığı kaplama türüdür. Esnek (asfalt) kaplama üzerine beton yollar yapılıncaya yolun servis ömrü artılmış olur. Beton yol üzerine asfalt kaplama yapıldığında ise, betonun elastisite modülünün çok yüksek mertebelerde olmasından dolayı asfalt tabakasına sağlam bir temel işlevi görmektedir. Trabzon ilindeki 15-20 yıldır hizmet veren ancak yüzeyi bozulan, kısmi çatlaklar oluşan beton yolların üzerine asfaltlama yapılarak yolun servis ömrü artırılmakla birlikte yolun düzgünlüğü nedeniyle düşen yol konforu tekrar sağlanmaktadır. Bu da tekrar bir temel maliyeti ortaya çıkarmadığı için son derece avantajlı olmaktadır.

1.2.4. Stabilize Yollar

Stabilize yollar; kum, kil, çakıl gibi malzemelerden çeşitli granülometrelerde karıştırılmasıyla oluşur. Genellikle çok düşük trafik yükü olan yollarda kullanılır. Bu tip yol uygulamaları günlük trafik hacmi birkaç yüz dolaylarında olan güzergahlarda uygulanır. Çok kolay deforme olur. Daha fazla trafik yüklerine göre tasarlanan diğer kaplama türlerine de alttemel olarak görev yapabilir [8].

1.3. Beton Kaplamalı Yollar ve Türleri

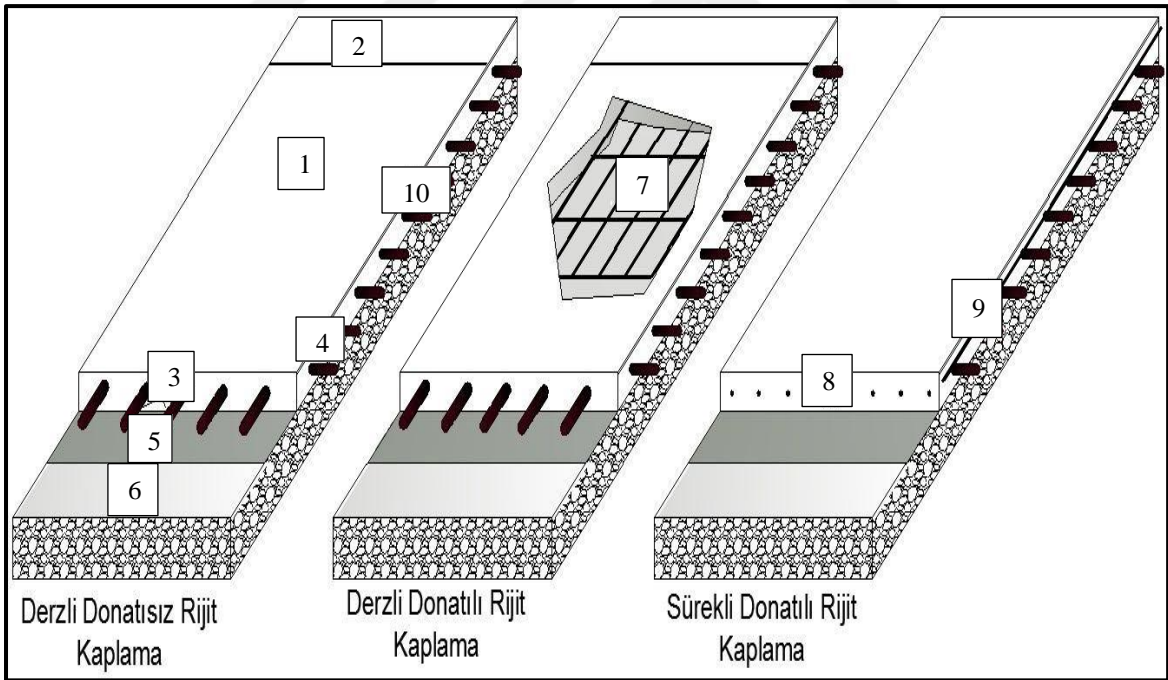
Beton yol kaplamaları kendi içlerinde derzli-derzsiz, donatılı-donatısız ve yaş-kuru olma durumlarına göre ayrılırlar. Bunlar:

- Derzli Donatısız Yaş Beton Kaplamalı Yollar
- Derzli Donatılı Yaş Beton Kaplamalı Yollar
- Sürekli Donatılı Yaş Beton Kaplamalı Yollar
- Silindirle Sıkıştırılmış Beton Kaplama (Kuru Beton)

- Geçirimli (Poroz) Beton Kaplama [9].



Şekil 1.3. Beton yol kaplama tiplerinin boy kesitleri [10].



Şekil 1.4. Beton yol kaplama türleri [8].

1. Beton Kaplama, 2. Enine Derz, 3. Kayma Donatısı, 4. Bağ Donatısı, 5. Beton Kaplamayı alt tabakadan ayırmak için kullanılan malzeme, 6. Temel Malzeme (Çeşitli türlerde), 7.8.9. Donatı, 10. Boyuna Derz

1.3.1. Derzli Donatısız Yaş Beton Kaplamalı Yollar

Beton (rijit) kaplamalı yollar; hava koşulları, trafik yükleri, donma-çözülme reaksiyonları gibi fiziksel ve kimyasal etkenlerle sürekli gerilmelere maruz kalmaktadır. Özellikle ısı gerilmeler beton plaklar uzadıkça daha çok artmaktadır. Bu nedenle plaklar arasında derzler bırakılmaktadır. Derzlerin temel amacı gerilmelerin plaklara uyguladığı etkilerden kaynaklanan çatlakları engellemektir. Artan gerilmelerin etkileri azaltmak için derzlerin birleşimlerine kayma donatıları yerleştirilir. Büyük beton plak genişliği söz konusu olduğunda iseda enkesite dik derzler bırakılır ve kayma donatısı yerine bağlantı donatıları yerleştirilerek yük aktarımı sağlanmış olur. Bu derzler beton kalınlığının $h/4$ veya $h/3$ 'ü kadar bırakılmaktadır. Derzli donatısız beton kaplamalar, 4-6 metrede bir derz ile ayrılan plaklardan oluşmaktadırlar. Enine derz aralıkları genel olarak kaplama kalınlığının 24 katı yada plak genişliğinin 1.25 katından fazla olması tercih edilmezler [11]. Trabzon ilinde kırsal yollardaki trafik yükü düşük mertebelerde olmasından dolayı derzli donatısız beton kaplama tercih edilmektedir.

1.3.2. Derzli Donatılı Yaş Beton Kaplamalı Yollar

Derzli donatılı beton kaplamalar plakın genel olarak orta kısmına donatılar yerleştirilerek uygulanır. Donatı kısmı çoğunlukla hasır çelik uygulama şeklindedir. Daha büyük trafik yüklerini daha uzun servis ömrü boyunca karşılamak için son derece elverişli kaplamalardır. Derzli donatısız beton yol uygulamalarında olduğu gibi bağlantı donatıları da kullanılır. Türkiye'de şehirlerarası yolda uygulanan ilk beton yol uygulamaları olan Afyon-Emirdağ ayırım yolu, Kemerburgaz Hasdal Kavşağı, Ordu- Ulubey Devlet yolu ve Karamürsel şehir geçişleri de derzli donatılı olarak uygulanmış yol yapılarıdır [11].

1.3.3. Sürekli Donatılı Yaş Beton Kaplamalı Yollar

Sürekli donatılı rijit kaplamalar enine derz bırakılmayan kaplamalardır. Boyuna derz ise bazen tercih edilmektedir. Bu tarz kaplamada bağ donatıları boyuna derzlerin olduğu yerlerde uygulanırlar. Beton yollarda yüksek çekme gerilmeleri belirli aralıklarla bırakılan derzlerle karşılanmaktadır. Ancak sürekli donatılı beton kaplamalarda enine derz bırakılmadığı için onun yerine çekme gerilmelerini sönmölemek amacıyla derzli donatılı

beton kaplamalara göre çok daha fazla miktarda donatı kullanılmaktadır. Derz olmamasından dolayı yol konforu yüksektir ve bu nedenle otoyollar için daha uygundur [12].

1.3.4. SSB (Silindirle Sıkıştırılmış Beton) (Kuru Beton)

Bu kaplama çeşidi yapım ve trafiğe açılış süreleri olarak oldukça iyi performans vermektedir. Son yıllarda (SSB) uygulaması gittikçe önem kazanmakta, dünyada olduğu gibi ülkemizde ve Trabzon ilinde de uygulanmaya başlanmıştır. SSB karışımı ile geleneksel beton karışım arasındaki temel farklılık SSB üretiminde daha yüksek oranda ince agreganın kullanılarak betonun daha iyi sıkıştırılması ve sıkı bir iç yapı elde edilmesidir [13].



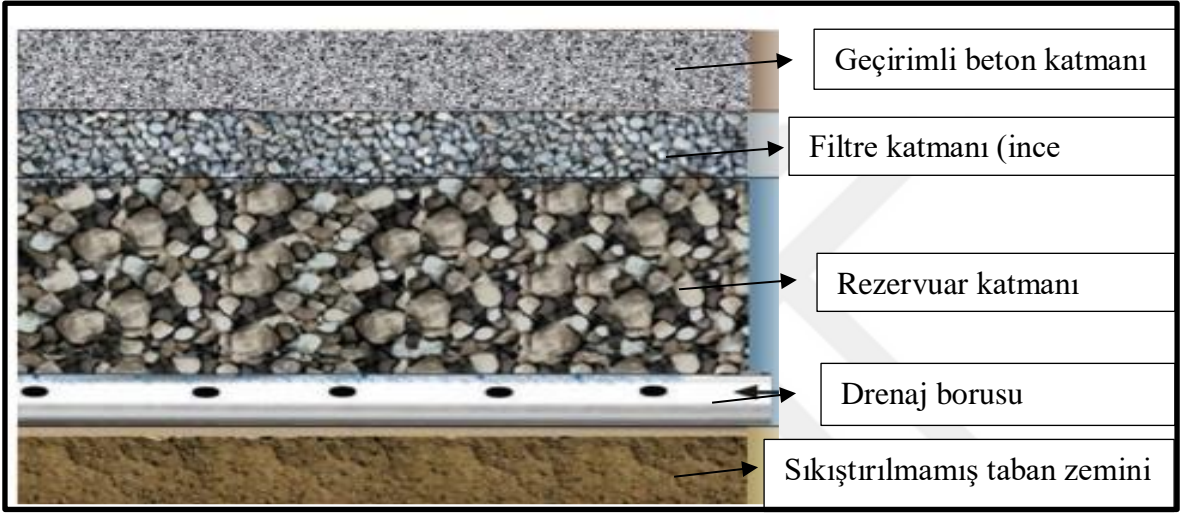
Şekil 1.5. Silindirle sıkıştırılmış beton yol görünüşleri [17].

1.3.5. Lif Takviyeli Beton Yollar

Lif takviyeli betonların yol kaplaması olarak kullanılması 1970'lere dayanmaktadır. Lif takviyeli beton yolları ile takviye tabakalarının saha uygulamaları hakkında birçok araştırmalar vardır. [14,15,16]. Bu kaplama uygulamaları; köprü plaklarında, karayollarında ve takviye tabakalarında, havaalanları, taksi yolları, apronlar ve endüstriyel zeminlerde olmak üzere yaygınlaşmıştır. Yaklaşık olarak 1 milyon m³ lif içerikli beton kaplama uygulamaları, 1984'den bu yana Avrupadaki birçok endüstriyel alanda yapılmıştır [17].

1.3.6. Geçirimli (Poroz) Beton Kaplama

Bir diğer ve son yıllarda gelişmekte olan beton yol uygulaması ise geçirimli beton yol uygulamalarıdır. Bu yol uygulamalarına 'poroz beton' adı da verilmektedir. İri agrega ve kırma taşın kullanıldığı, ince agreganın ise bulunmadığı bir betondur. Bu nedenle boşluklu ve geçirgen yapıya sahiptir. Bu da hava ve suyun geçmesini sağlarlar [18]. Bu anlamda iyi bir drenaj ve sulama sistemi görevi görebilmektedirler.



Şekil 1.6. Tipik bir geçirimli beton kesiti [19].

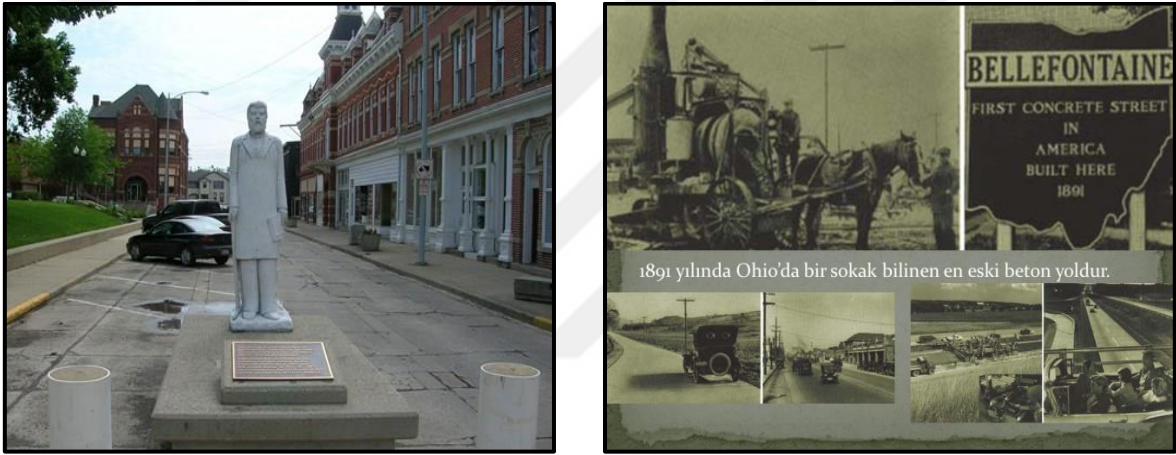


Şekil 1.7. Geçirimli (poroz) betondan görünümeler [18].

1.4. Literatür Taraması

1.4.1. Geçmişten Günümüze Beton Yollar

Romalıların M.Ö. 1. yüzyılda taşları birbirine puzolan malzeme kullanarak bağlanmasıyla yaptıkları yollar, ilk beton yol kaplama örnekleridir. Günümüzde kullanılan ilk beton yol kaplama denemeleri İskoçya'da 1865 yılında yapılmış daha sonra da Avustralya'da yapılmıştır [20]. Belgelemiş olan ilk beton yol üstyapısı Amerika Birleşik Devletleri-Ohio Bellefontin kasabasında George Batholomew tarafından 1891 yılında inşa edilmiştir.

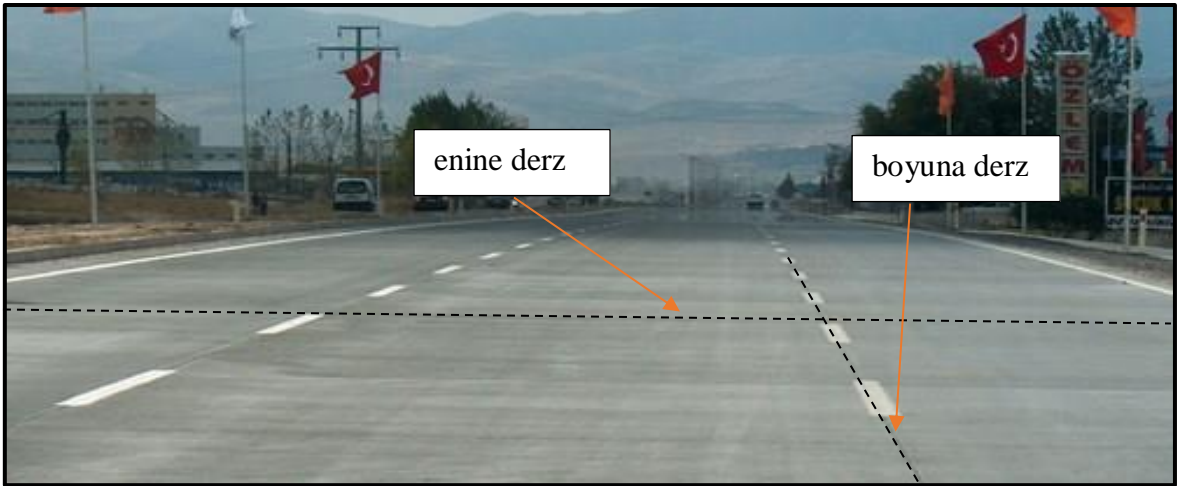


Şekil 1.8. ABD Ohio Eyaletinde 1891 yılından beri hizmet veren beton yol [21].

George Batholomew bu proje girişiminden önce yapacağı üstyapının en az 5 yıl dayanacağına dair 5000 dolarlık garanti bedeli yatırmak zorunda kalmıştır. Ancak yapacağı üstyapının 100 yıldan daha uzun bir süre için hizmet vereceğini veya beton yollar adına sahip olduğu düşüncenin dünyanın her tarafına yayılacağını tahmin edememişlerdir 12 Kasım 1991'de Batholomew'in torunları, kasaba halkı ve ilgili olan resmi devlet daireleri Amerika'da beton yol uygulamalarının doğuşu olarak yüzüncü yılını kutlamak için bir araya gelmişlerdir [8]. Daha sonra 1920'lerde tasarım ilkelerine göre yollar yapılmaya başlanmıştır. Ancak bu tasarımlarda alt zemin sorunları ortaya çıktığından dolayı alttemel uygulamalı yollara başvurulmuştur. 1933'lerde tam anlamıyla sanayileşme dönemine girilmesiyle Almanya'da hem işsizliğin önlenmesi hem de askeri birliklerin hareket kabiliyetlerini yukarı taşımak için otoyol şantiyeleri kurulmuştur. Benzer otoyol

şantiyelerini Belçika ve Fransa gibi ülkelerde de kurularak beton yollar yapmaya başlamışlardır [22].

Beton yolların yaygınlaşması 20.Yüzyılın ortalarına doğru hız kazanmıştır. Yüzyılın ilk yarısında A.B.D., Fransa ve Belçika'da, daha sonra Almanya'da beton yollar uygulamalarına başlanmıştır. 1920'lerden itibaren Belçikada yaygınlaşmaya başladı. Şuan Belçika'daki köy yolların yaklaşık %60'ı beton yollardan oluşmaktadır [23]. 1930' lu yıllarda 2. Dünya Savaşı'na hazırlanan Almanya'da beton otoyolların uzunluğu 4000 km'yi bulmuştur. 1945-1975 yılları arasında İngiltere'deki beton yol uygulamalarının çoğu, kaplamanın her iki yanına yerleştirilmiş olunan raylar üzerinde ilerleyen mekanik kaplayıcılar kullanılarak yapılmaya başlanmıştır. 1950'li yılların ortasından itibaren A.B.D.'de eyaletlerarası karayolu sisteminin yapılmasında önemli rolü üstlenmiştir. Günümüzde A.B.D.'de yaklaşık 75.000 km uzunluğundaki eyaletlerarası karayolu sisteminin özellikle şehiriçi bölgelerdeki ağır taşıtlar altındaki %60'luk kesimi uzun ömürlü olmaları nedeniyle beton yoldur [24]. Benzer şekilde, Almanya'da 12.000 km uzunluğundaki mevcut otoyolların yaklaşık %25'i beton yollardan oluşmaktadır [25]. Bunlara ek olarak, Asya kıtasında Japonya, Çin ve Hindistan ve Azerbaycan'da beton yollar mevcuttur [10]



Şekil 1.9. KGM ve TÇMB ortaklığı ile yapılan ilk deneme derzli donatılı beton yol uygulaması (Afyon İncehisar deneme beton yol = 2 km) [4].

Zamanla yüksek verimlilik ve uygulanabilirlik özelliğinden dolayı kayar-kalıp sistemi ile kaplama işlemi en çok kullanılan metot haline gelmiştir. Kayar-kalıp tipli kaplayıcılar kenar kalıplarına ihtiyaç duymadan hazırlanmış alt-temel üzerinde hareket ederek gerekli sıkıştırma ve düzeltme işlemini aynı anda gerçekleştirebilirler. Kayar-kalıp sistemi, Iowa Eyaleti

Karayolları komisyonunda malzeme mühendisi olarak çalışan J. W. Johnson tarafından geliştirilmiştir [26].

Trabzon'da özellikle kırsal alanda yaygın olarak kullanılan beton yol kaplamaları Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM) bünyesinde yalnızca deneme amaçlı olarak uygulanmıştır. Ancak uzun yıllardır dünyanın birçok ülkesinde toplam ulaşımın ciddi bir kısmını karşılayacak şekilde kullanılmaktadır. Bugün dünyada birçok gelişmiş ülkede beton yol kaplama oranı %10 ile %20 arasında değişmekte iken, bu oranın %50'ler üzerinde olan ülkeler de bulunmaktadır [11]. Dünyanın birçok yerinde beton yol kaplamaları üzerinde araştırmalar yapılmakta ve her geçen gün uygulamaların teknolojisi gelişmektedir.

1.4.2 Dünyada Beton Yol Kaplama Tasarımları

Beton yollarda kaplamalarda kalınlıklar gerilmelere göre tasarlanırlar. Bu gerilmeler trafik ve büzülme gerilmelerine göre değişir. Beton yolun kalınlığı belirlenirken trafik yükleri ve trafiğin gelişimi, temel ve alttemel özellikleri, drenaj, beton malzemesinin niteliği, yük transferleri ve iklim koşulları gibi hususlar dikkate alınmaktadır.

Beton yolların projelendirilmesinde amaç, analiz süresi boyunca üzerinden geçen trafiği deformasyonlara maruz kalmadan, güvenli bir şekilde taşıyabilecek beton plak ve alt tabakaların kalınlıkları ile üst yapıda kullanılacak malzemelerin özelliklerinin belirlenmesidir. Beton yollar için dünyada kullanılan iki önemli tasarım rehberi vardır. Bunlardan

- 1- Amerikan Devlet Karayolları ve Ulaştırma Görevlileri Birliği (AASHTO) tarafından geliştirilmiş olan AASHTO- 72 Ampirik Yöntem ile AASHTO- 86 (93) Ampirik – Analitik Yöntemleri
- 2- Belçika Yol Araştırma Merkezi tarafından geliştirilmiş olan Analitik Tasarım Yöntemi ve Katalog Yöntemleridir [27]

Türkiye'de karayolları tasarım kriterleri AASHTO ile uyumlu hâdedir. Aşağıda AASHTO yöntemiyle yapılmış derzli donatısız ve sürekli donatılı beton yollara örnek birer tasarım kalınlık tablosundan

Kullanılan beton: C40/50, agrega Dmax : 30mm ve taban zemini CBR: %10 olarak alınmıştır.

Tablo 1.1. Derzli Donatısız Beton Kaplamanın Trafik Kategorileri (T8,2: 8,2 tonluk eşdeğer standart dingil yükü tekrar sayısı - Yolun hizmet ömrü boyunca) [4].

Derzli Donatısız Beton Kaplama											
Üstyapı Tabakaları (cm)	Trafik Kategorileri (T8,2: 8,2 tonluk eşdeğer standart dingil yükü tekrar sayısı - Yolun hizmet ömrü boyunca) (Milyon)										
	3-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-65	65-80	80-100	100-160	160-250	>250
Beton Kaplama	19	22	23	25	25	26	27	30	33	36	38
Kırmataş Alt Temel	20	20	20	20	25	25	25	25	25	25	25

Yukarıdaki tabloya göre 3-10 milyon geçiş tasarımında beton yol kaplaması 19 cm iken, 10-20 milyon arası geçiş sayısına ulaşıldığında 3 cm kalınlık artırılmak suretiyle 22 cm kalınlıkta bir beton kaplaması tasarımda uygun görülmektedir. Bu da ilk beton kaplama kalınlığına göre % 16 civarında bir kalınlık artışı anlamına gelmektedir. 30-40 milyon ile 40-50 milyon aralığındaki geçiş sayıları incelendiğinde ise beton kaplama kalınlığı 25 cm olarak sabit kalmış, yalnızca kırmataş alt temel kalınlığı 5 cm artırılarak tasarım değeri sağlanabilmiştir.

Tablo 1.2. Sürekli Donatılı Beton Kaplamanın Trafik Kategorileri (T8,2: 8,2 tonluk eşdeğer standart dingil yükü tekrar sayısı - Yolun hizmet ömrü boyunca) [4].

Sürekli Donatılı Beton Kaplama											
Üstyapı Tabakaları (cm)	Trafik Kategorileri (T8,2: 8,2 tonluk eşdeğer standart dingil yükü tekrar sayısı - Yolun hizmet ömrü boyunca)- (Milyon)										
	3-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-65	65-80	80-100	100-160	160-250	>250
Beton Kaplama	18	20	22	24	25	25	26	28	32	35	36
Kırmataş Alt Temel	20	20	20	20	25	25	25	25	25	25	25

Tablolarda C40/50 sınıfına göre CBR %10 tasarım koşullarına göre derzli donatısız beton kaplamalarda, 19 cm beton kaplama kalınlığı ve 20 cm kırmataş alt temel kalınlığı, sürekli donatılı beton yollarda ise 18 cm beton kaplama kalınlığı ve 20 cm kırmataş alt temel kalınlık tasarımları uygun görülmektedir. Trabzon ilindeki yolların büyük çoğunluğu kırsal alanda kaldığından dolayı 3-10 milyon geçiş sınıfına girmektedir. Ancak Trabzon’da beton yol projelerinde C25/30 ve C30/37 sınıfı betonlar kullanılmaktadır. Bu nedenle beton dayanım sınıfı tablolardaki beton dayanım sınıfı olan C40/50’ ye göre daha düşük olduğundan en az 20 cm kalınlıkta beton kaplaması yapılması gerektiği ortaya çıkmaktadır.

1.4.2.1. ABD

Beton kaplamalı yollarla ilgili ilk araştırmalar AASHTO tarafından, Illinois eyaletinin Ottawa kentinde yapılan deneme yoluna aittir. Farklı tasarım ilkelerine göre (kalınlık, dingil yükü vb.) iki yıl süresince takip edilmiş ve ortaya çıkan veriler ışığında 1961’de “AASHTO Projelendirme Geçici Rehberi” yayımlanmıştır. Daha sonraki süreçte ise 1972, 1986 ve 1993’te daha da ileri seviyelere taşınmıştır.

$$\log(W_{18}) = (Z_R \cdot S_0) + 7.35 \cdot \log(D+1) - 0.06 + \frac{\log\left(\frac{\Delta PSI}{4.5 - 1.5}\right)}{1 + \frac{1.624 \cdot 10^7}{(D+1)^{8.46}}} + (4.22 - 0.32 \cdot p_t) \cdot \log \left[\frac{S_c \cdot C_d \cdot (D^{0.75} - 1.132)}{215.63 \cdot J \cdot \left[D^{0.75} - \frac{18.42}{\left(\frac{E_c}{k}\right)^{0.25}} \right]} \right]$$

Şekil 1.10. AASHTO yönteminde beton yol kaplama kalınlığı formülü [27].

Şekil 1.10’daki formül AASHTO yöntemine göre 8,2 ton yük altındaki eş değer tek dingil yükü tekerrür sayısı (ESAL) değerleri dikkate alınarak beton yolların kaplama kalınlıklarının hesaplanması amacı ile oluşturulmuştur.

Tablo 1.3. AASHTO yöntemi formülünde kullanılan parametreler [27].

Sembol	Tanım	Açıklama
W_{18}	18 kip (8,2 ton) eşdeğer tek-dingil yükü tekerrür sayısı (ESAL)	
% R	Güvenilirlik	Proje hedefine yaklaştıran mühendislik etkisi
Z_R	Standart normal sapma	Güvenilirlik (% R) katsayısının logaritmik dönüşümü ile elde edilir.
k	Yatak katsayısı (psi)	Zeminin rijit kaplamaya elastik desteğini gösterir. Zemin kaplamanın altında bir nevi yay gibi düşünülür.
S_0	Trafik tahmini ve performans tahmininin bileşik standart hatası	Genelde 0.35-0.40 arası alınır.
D	Kaplama kalınlığı	Genelde 20-30 cm arasındadır. Genel kabul olarak 20 cm'den sonra her 2.5 cm'de kaplamanın yük taşıma kapasitesi 2 kat artar. 15 cm altındaki ve 32,5 cm üstünde hesaplanan kaplama kalınları tekrar kontrol edilmelidir.
p	Başlangıç servis kabiliyeti indeksi	Genelde 4.5 alınır.
p	Nihai servis kabiliyeti indeksi	Genelde ana kolektör ve tüm alterler için 2.5; ara kolektör, endüstriyel ve ticari yollar için 2.25; ara yollar ve mesken yollarda 2.00 alınır.
ΔPSI	P0-Pt (Servis kabiliyetinde azalma miktarı)	Başlangıç ve terminal servis durumları arasındaki fark (4.5 - 2 = 2.5)
S'_c	Betonun kopma modülü (Eğilmede çekme mukavemeti) (psi)	28 günlük 3 nokta yükleme testi ile ölçülen eğilme dayanımıdır. Projelerde 4400 kPa olarak alınır.
E_c	Betonun elastisite modülü (psi)	Genelde 27500-35000 MPa arasında alınır.
J	Yük transfer katsayısı	Bağlantılar arasında yükün iletim kabiliyetidir.
C_d	Drenaj katsayısı	Kaplama altındaki alttemelin su geçirme kalitesini gösterir. Genellikle 1 alınır.

Günümüzde AASHTO içerisinde detaylı tasarım ilkeleri bulunmaktadır. 1960 ile 1970 arasındaki 10 yıllık süreçte toplam 70 bin km beton kaplamalı yol yapılmıştır [20]. Şimdilerde ise ABD, toplam karayolu yol ağının %15'ine tekabül eden yaklaşık 219.487 km'lik güzergahta beton kaplamalı yollar yapmışlardır. Ağır trafik yüklerini taşıyan bu

yolların yüksek tasarım hızlarında olduğu düşünülürken, ulaşım yükünün yaklaşık olarak yarısını (%50) karşıladığı ortaya çıkmaktadır [28].

Tablo 1.4. Beton yollarda 8,2 ton dingil yükünün farklı tekerrür sayılarında tasarım kalınlıkları görülmektedir [29].

W8,2 ton Tekerrür Sayısı	k (Psi)	S0	ZR	EC (Psi)	D (cm) Beton Kalınlığı
20 Milyon	300	0,35	-1,645	5 000 000	30,607
25 Milyon					31,633
30 Milyon					32,492
35 Milyon					33,236
40 Milyon					34,483
45 Milyon					35,019
50 Milyon					35,509
55 Milyon					35,591
60 Milyon					35,961

Tablo 1.4’de görüldüğü gibi Amerikan standartlarında 20 milyondan 70 milyona artan tekerrür sayısı yaklaşık 5 cm beton kalınlığı kademeli olarak arttırılarak tasarlanabilmektedir. Burdan beton yol üst yapı kaplamalarının daha düşük maliyetlerle daha fazla trafik yükünü taşıyabileceği sonucuna varılmaktadır.

1.4.2.2. Almanya

Almanya’da ilk beton yol uygulamaları neredeyse ABD’deki ilk uygulama ile aynı tarihlere denk gelmektedir. 1934’ten itibaren beton yollar otoyollarda kullanılmaya başlanmıştır. Almanya’da ilk dönemde plak boyları 7.5-10 m arası değişen granüler alttemelli, donatılı ve derzli beton yollar yapılmıştır. 1972 yılından itibaren iklim koşullarında değişiklikler nedeniyle, enine derzler ile 5 metrelik plaklar şeklinde yapılmaya başlanmış ancak boyuna derz koyulmamıştır. 1982 yılında kayar kalıp sistemini kullanmaya başlamıştır. Almanya eski ve özelliğini kaybeden beton yolları kırarak agrega haline getirmekte ve tekrar kullanmaktadır. Almanya’da dingil ağırlığı 11.5 ton alınmakta ve

otoyollarından günde ortalama 8000 Kamyon geçmektedir [30]. Almanya'da beton yol kalınlığı 14 cm ile 26 cm arasında değişmektedir. Tablo 1.5.'de yolların trafik yüklerine göre SV, I, II, III, IV, V ve VI olmak üzere 7 ayrı kategoriye ayrıldığı gösterilmektedir. En ağır trafik yükü SV iken, en düşük trafik yükü VI olarak adlandırılır ve bütün kategoriler için beton yol tasarımı mevcuttur [31].

Tablo 1.5. Almanya'da trafik yoğunluğuna göre kategorize olmuş farklı yol tiplerinde beton kullanıldığında istenilen teknik özellikler [31].

YOL KATEGORİSİ	Minimum 28 günlük mukavemeti		
	Basınç Mukavemeti N/mm ²		Eğilmede Çekme Mukavemeti N/mm ²
SV, I, II, III, IV	35	40	5.5
V, VI	25	30	4.0

1.4.2.3. Fransa

Fransa'da 1939'dan itibaren derzli donatısız beton kaplama tipini kullanılmaya başlamıştır. Çok yağış alan bölgelerde uzun yıllar çalışan beton yollarda; pompaj, derz detorasyonları ve plak çatlakları gibi problemler ile karşılaşmıştır. Bu problemler Fransa'da yapılan üstyapıların üzerinde değişiklik yapmayı gerektirmiştir. Örneğin Paris'i besleyen A-6 Otoyolu, derzli donatısız (Kayma Donatısı bile olmadan) ve drenaj sistemi olmadan 1960 yılında inşa edilmiştir. Yaklaşık 12 yıl boyunca o dönem yasal dingil yükü 13 ton olan Fransa'da tam 17 milyon ağır taşıtı taşımıştır. Ayrıca beton plaklarda çeşitli malzemelerden banketler yapılmış ve boyuna drenaj sistemleri yerleştirilmiştir. Derz aralıkları 4-5.5 m aralığına kadar düşürülmüş ve kayma donatıları sıklaştırılarak derzler arası yük transferi güçlendirilmiştir. Bu geliştirmelerle inşa edilmiş otoyol 12 yılda 35 milyon (Tasarım yükünün iki katı) ağır vasıta taşımış ve drenaj sisteminin tıkanmasıyla tamire alınmıştır [28].

1.4.2.2. Diğer Ülkeler

19. Yüzyılın sonlarına doğru İskoçya ve Avustralya beton kaplama imalatlarına başlamıştır. Avusturya 1940 yılından itibaren beton kaplamaları karayollarında kullanmaktadırlar. Günümüzde Avusturya'nın yol kaplamalarının yaklaşık %46'sı beton kaplamalardan oluşmaktadır. Avusturya'da beton yol kaplamalarında dört tasarım tipi kullanılmaktadır; bunlar işlenmemiş granüller temelli, çimentolu işlenmiş temelli, kayma donatılı, kayma donatısız tipler olarak sıralanmaktadır. Beton kaplama tabakası ile alttemel arasında yapılan 5 cm kalınlıktaki bitümlü kaplama tabakası ile tabakalar arasındaki elastisite modül değerlerinin farkı azaltılmakta hem de drenaj görevi görmesi sağlanmaktadır. Genel olarak beton kaplamalı yolların beton kaplama kalınlığı 18-22 cm arası değişmektedir. Ancak çok ağır trafik yüklerinde betonun kalınlığı 25 cm'ye ulaşmaktadır. Beton yol kaplamalarının taşıma kapasitelerinin 35 MPa'dan yüksek olması istenmektedir. Aksi takdirde zeminin iyileştirilmesi gerekliliği ortaya çıkmaktadır [28].

Hollanda ise 1950'lerden beri beton yol kaplamalarını kullanmaktadır. Beton kaplamalı yolları kullanmaktadır. Hollanda'nın kuzeyindeki birçok yollarda yaygın olarak oturma ve çökmeler ortaya çıktığı için bu bölgedeki yollar büyük oranda beton yollarla kaplanmıştır. Genel olarak derzli donatısız beton yollar yapılmakla birlikte yeni yapılan beton yol imalatlarında tercihen sürekli donatılı olarak beton yollar da uygulanmaktadır. Schipol Havaalanı'nın apron hangarı gibi önemli kısımlarında öngermeli beton kaplamalar yapılmıştır. Bu yapılar 38 yılı aşkın bir süredir bakım-onarım yapılmadan hizmet vermeye devam etmektedir [32]. Karayolu ağının yaklaşık % 22,5'i beton kaplamalı yollardan oluşan İspanya'da yaygın olarak derzli donatılı beton kaplamalar kullanılmıştır. Yeni yapılan yol imalatlarında ise sürekli donatılı beton kaplamalar yollarda uygulanmaktadır [12].

Belçika ise ilk beton yol kaplamaları uygulayan ülkelerden birisidir. 1925 yılında Brüksel'in güneyinde yapılan beton yol hala daha hizmet vermektedir. Mevcut durumda Belçika'nın kırsaldaki köy yollarının %50'den fazlası beton yollardan oluşmaktadır [10]. Otoyollarının ise %40'ı sürekli donatılı ve derzli donatısız tiplerdeki beton yollardan oluşmaktadır. Belçika da kullanılan sürekli donatılı rijit kaplamalar 20 cm'lik yüksek dayanımlı beton plaktan oluşmaktadır. Donatı oranı %0.85 derinliği ise 6 cm'dir. Kaplama ile temel arasında 6 cm asfalt betonu kaplaması bulunmaktadır. Asfalt betonu altında bulunan temel 20 cm'lik grebeton tabakasıdır. Onun altında 20 cm granüler temel bulunmaktadır. Dünya genelinde ve Belçika'da donatı alanı/ Beton en kesiti oranı %0.67'den %0.85'e

çıkartılmış olması çatlak aralıklarını büyük oranda düşürmüştür [32]. Olumsuz iklim koşullarının etkili olduğu Norveç, İsveç, Finlandiya, Danimarka gibi ülkelerde ise 1980 yılından sonra silindire sıkıştırılmış beton yol uygulanmaya başlanmıştır.

Çin'de bazı eyaletlerde dingil yükü diğer ülkelere göre daha fazladır. Ülkeye ait Shandong eyaletinde araçların %40'dan fazlası 30 ton dingil yükü ile hareket etmektedir. Kara taşımacılığının yoğun olduğu ülkede, uzun ömürlü üstyapı araştırmaları devam etmektedir. Bu araştırmalara kadar eyalet yollarının bir kısmı 20-30 cm sıkıştırılmış agrega üzerinde 35-60 cm beton kaplama üzeri 15-20 cm bitümlü sıcak karışımlardan oluşan kompozit kaplamalar ile inşa edilmektedir. Bu kadar yüksek maliyetli yollarda yinede deformasyonlar oluştuğunu gözlemleyen Çinli araştırmacılar, temel ve alttemelde bulunan agrega kaplamaların %8 kireç katkısı ile daha stabil hale gelmesinin faydalı olacağını bulmuşlardır [26]. Hindistan'da ise 1300 km karayolu rijit kaplama ile yapılmıştır [10].

1.5. Türkiye'deki Yollar

Türkiye Cumhuriyetinin kurulduğu günden bu yana, kırsaldan kentlere doğru göç olmaktadır. Bu nedenle nüfus günümüzde kentlerde yoğunlaşmıştır. Bu da yol ihtiyacını artırmaktadır.

Türkiye'deki yol yapım işlerini Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM), Belediyeler ve İl Özel İdareleri yürütmektedir. Ülkemizde karayolu ağırlıklı bir ulaşım planlaması belirlendiğinden yaygın yol ağları oluşturulmuştur. Tablo 1.6'da karayolları ile ülkemizde % 90'lara varan oranlarda yük ve yolcu taşımacılığı yapıldığı görülmektedir.

Tablo 1.6. Türkiye'de ulaşım türüne göre yurtiçi yolcu ve yük payları (%) (2017) [33].

Ulaşım Türü	Yolcu Taşıma Payı %	Yük Taşıma Payı %
Karayolu	88,8	89,2
Demiryolu	1,0	4,3
Denizyolu	0,59	6,4
Havayolu	9,6	0,1

Türkiye’de 1970’lerin başlarında karayolu yol ağını geliştirmek amacıyla karayolu ağının yaklaşık yarısı (28.899 km) stabilize ve %30’u (17.481 km) sathi kaplama yoldan oluşmaktaydı. 2010-2012 yılları arasındaki değişimler incelendiğinde yıldaki değişim incelendiğinde, karayolu ulaşım yatırımlarında asfalt betonuna büyük önem verildiği görülmektedir. Bunun sonucunda 2012 yılı sonu değerleri devlet ve il yollarını kapsayan 63.255 km’lik karayolu ağımızın (31.375 km devlet yolu, 31.880 km il yolu ve 2.127 km otoyol) yaklaşık %94’ü esnek kaplamalardan oluşmaktadır. Türkiye’de son araştırmalarda köy yollarını da içine katarak hesapladığımızda 100 km² alanda yaklaşık olarak 47 km yol bulunmakta iken bu oran Avrupa Birliği (AB) ülkelerinde 110 km’lere ulaşmaktadır [34].

Tablo 1.7. Türkiye’nin yıllara göre karayolu uzunlukları [35].

Karayolu Uzunlukları (km)									
Yıl	Genel Toplam	Toplam		Devlet yolu		İl yolu		Otoyol	Köy yolu
		Bölünmüş	Diğer	Bölünmüş	Diğer	Bölünmüş	Diğer		
2013	388 783	22 079	43 661	18 524	12 817	1 311	30 844	2 244	323 043
2014	236 794	22 583	43 449	18 944	12 336	1 361	31 113	2 278	170 762
2015	238 899	23 107	43 453	19 357	11 856	1 467	31 598	2 282	172 339
2016	242 590	23 831	43 330	19 790	11 316	1 499	32 014	2 542	175 429
2017	247 514	24 507	43 112	20 237	10 829	1 613	32 283	2 657	179 895
2018	247 553	25 113	42 903	20 475	10 546	1 796	32 357	2 842	179 537

Tablo 1.7’deki veriler incelendiğinde 2013 yılında ülke genelinde toplam 323 043 km köy yolu bulunmakta iken 6360 sayılı Büyükşehir Belediyesi kanunun kapsamında büyükşehir statüsüne kavuşan illerdeki köy yolları mahalle yolu statüsüne alınmıştır. Bu nedenle köy yolu uzunluğu 2014 yılında 170,762 km dolaylarına gerilemiştir. 2018 yılı sonuna kadar 8 775 km uzunlukta yeni yol yapıp köy yollarına dahil olması ile köy yolu

ağı 179 537 km'ye ulaşmıştır. Türkiye'deki bütün kırsal yol ağının Trabzon Büyükşehir Belediyesi yol ağı dışındaki 17 719,11 km'lik yol uzunluğu ile yaklaşık olarak %10'u, genel toplam yol ağında da 21 748,75 km ile %8,8'i sadece Trabzon ilinde bulunmaktadır. Trabzon ilinde Köy Hizmetleri Bölge Müdürlüğü (1983 - 2005), İl Özel idaresi (2005 - 2014) ve Trabzon Büyükşehir Belediyesi (2014 -) kurumları aracılığıyla ağırlıklı olarak kırsal yolların standartlarının yükseltilmesi hedeflenmiş, bu amaçla birçok çalışmalar gerçekleştirilmiş, gerçekleştirilmeye de devam edilmektedir. Ülke kaynaklarını daha etkin ve verimli kullanmak amacıyla Trabzon'da özellikle son 20 yılda beton yollara ağırlık verilmiştir.

1.5.1. Türkiyenin Yol Kaplama Durumu

Ülkemizde karayollarında uygulanan esnek üstyapılar (asfalt yollar); genel olarak kaplama, temel ve alt temel tabakalarından oluşurken, standartları daha yüksek inşa edilen esnek üst yapılarda ise aşınma ve binderden oluşan iki tabaka şeklinde uygulanmaktadır. Bunun dışında ise daha düşük standartlarda yollar tek katlı ve çift katlı sathi kaplamalı olarak yapılmaktadır. Rijit üstyapılar (beton yollar) ise, alt temel ve üzerine yapılan beton kaplamadan meydana gelmektedir. Rijit üstyapı tasarımında amaç, üstyapıdaki tabaka kalınlıklarını ve üstyapıda kullanılan malzemelerin özelliklerini belirlemektir [36].

Tablo 1.8. KGM sorumluluğundaki yolların satıh cinsine göre uzunlukları [37].

Satıh Cinsine Göre Yol Ağı (km) 01.01.2020 tarihi itibariyle							
	Asfalt Betonu	Sathi Kaplama	Parke	Stabilize	Toprak	Diğer Yollar	TOPLAM
Otoyol (*)	3 060	-	-	-	-	-	3 060
Devlet Yolları	17 991	12 654	56	27	-	278	31 006
İl Yolları	4 689	26 163	243	453	440	2 177	34 165
TOPLAM	25 740	38 817	299	480	440	2 455	68 231

Karayolları Genel Müdürlüğü'nün sorumluluğundaki yol uzunluğu 01.01.2020 tarihi itibarı ile 68 231 km.'dir. Bu yollar otoyollar, devlet yolları ve il yolları olmak üzere 3 sınıftan oluşmaktadır. Tablo 1.8'i incelediğimizde 25 740 km. asfalt (%37,72) ve 38 817 km. sathi kaplama olarak (%56,89) oranlara sahiptirler. Bu iki kaplama esnek üstyapı sınıfına girmektedirler. Buradan hareketle Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM)'nün sorumluluk alanında toplamda %94,61'lik bir oranı esnek üstyapıların teşkil ettiği görülmektedir. Tüm bu yolların yapım, bakım, onarım ve işletmeleri de Karayolları Genel Müdürlüğü tarafından 6001 sayılı kanun uyarınca yerine getirilmektedir. Karayolları Genel Müdürlüğü'nün yol ağı dışındaki yolları ise köy yolları, şehiriçi yollar (mahalle yolları), turistik yollar, orman yollarından oluşmaktadır. Köy yolları il özel idare müdürlüklerinin, orman yolları Tarım ve Orman Bakanlığı'nın, Şehiriçi yolları ise belediyelerin sorumluluğundadır.

1.5.1.1. Karayolları Tarafından Gerçekleştirilmiş Deneme Beton Yollar

Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM) tarafından genel esnek (asfalt) kaplama imalatları yapılmaktadır. Ancak KGM tarafından son 15 yıllık süreç içerisinde deneme amacı ülkenin farklı illerinde beton yol uygulamaları yapılmıştır. Yapımı tamamlanmış ve hala kullanılmakta olan deneme amaçlı beton yollar 4 farklı bölgede derzli donatılı olarak yapılmıştır. Tablo 1.9 incelendiğinde KGM tarafından ilk -beton yol denemesi 2004 yılında Karayolları 3. Bölge Müdürlüğü tarafından Afyon-İşçehisar arasındaki 2 km uzunluktaki yol üzerinde gerçekleştirilmiştir. 30 yıllık bir süre için tasarlanan yol 3 şeritten ve 12 metre platform genişliğine sahip yolun beton plak kalınlığı 27 cm olarak uygulanmıştır. 2006 yılında ise KGM 1. Bölge Müdürlüğüne Hasdal Kavşağı-Kemberburgaz arasında 3,5 km uzunluktaki beton yol, 2 şeritli ve 10.5 metre platform genişlikte gerçekleştirilmiştir. 2007 yılında Ordu-Ulubey arasında 1 km ve son olarak da 2010 yılında Karamürsel şehir geçişinde 1,6 km lik yollar beton yol olarak yapılarak tamamlanmıştır. Bu yolların toplam uzunluğu 8,1 km olup, KGM yol ağının toplamının içerisinde son derece düşük bir oranı teşkil etmektedir. Yapılan incelemelerde 4 farklı bölgede yapılan beton yolların durumunun iyi olduğu, üzerinden geçen zamana karşın dayanıklılığını koruduğu, önemli bir bakım-onarım geçirmeksizin günümüze ulaştığı ve hala hizmet vermeye devam ettiği görülmüştür. [9]

Tablo 1.9. KGM tarafından yapılan deneme beton yolların genel bilgileri [38].

Beton Yol Verileri	Afyon-İşçehisar	Hasdal Kavşağı-Kemerburgaz	Ordu-Ulubey Devlet Yolu	Karamürsel Şehir Geçişi
Yolun Tipi	DDBK	DDBK	DDBK	DDBK
Bölgesi	3.Bölge	1.Bölge	7.Bölge	1.Bölge
Km	5+700 - 7+700	40+000 - 43+500	5+000 - 6+000	38+400 - 40+000
Yapıldığı Tarih	2004	2006	2007	2010
Proje Süresi	30 yıl	30 yıl	30 yıl	30 yıl
Protokol Tarafları	KGM - TÇMB	KGM - TÇMB	KGM - BOREN	KGM
Beton Yol Uzunluğu	2 km	3,5 km	1 km	1,6 km
Platform Genişliği	12 m	10,5 m	2x10,5 m	2x8,5 m
Şerit Sayısı	3	2	2x2	2x2
Derz Aralıkları	5 m	5 m	4,5 m	4,5 m
Plak Kalınlığı	27 cm	32 cm, 27 cm	28 cm	30 cm
Beton Plağın Oturduğu Zemin	Sathi Kaplama	PMT üzeri astar, 5 cm BSK	Sathi Kaplama	6 cm Binder
Çimento Tipi	CEM 1 42,5 + (Silis Dumanı)	CEM 1 42,5	Bor katkılı	CEM 1 42,5 R
Çimento Miktarı	375 kg/m ³	400 kg/m ³	350 kg/m ³	378 kg/m ³
Su/Çimento	0,41 - 0,45	≤0,35	0,3	0,43
Agrega Özellikleri	Kırma çakıl, kırma kum, Dmax 32 mm	Doğal kum ve kırma taş, Dmax 32 mm	Melet ırmağı kırma taş Dmax 25 mm	Kırma çakıl, kırma kum, Dmax 25 mm

1.6. Fayda-Maliyet Analizi

Fayda-maliyet analizi kavramını alternatif yatırım seçeneklerinin arasında en yüksek faydayı sağlanması noktasında en iyi olanı tespit etmek için, çeşitli yatırım alternatifleri arasında ekonomik açıdan getirisi en yüksek olanı tespit edebilmek için, tüm yatırımların yapılması için gerekli maliyetler ve bu harcamaların sağlayacağı faydaların parasal olarak ortaya konulması ve sonuçlara göre karşılaştırmalarının yapılarak en doğru olanın seçilmesi

olarak tanımlanabilir [39].

Kamu kaynaklarının en doğru şekilde kullanımı konusunda bütün alternatif yatırım ve harcama planları içerisinde en doğrusunun tespit edilmesi, birtakım analiz yöntemleri ile mümkündür. Çünkü her yatırımın kendi içerisinde çeşitli faydaları olup, bu yatırımın ortaya konulmasının maliyetleri bulunmaktadır. Genel bir ifade ile faydalar maliyetleri geçmesi durumunda ancak kabul edilebilir olarak değerlendirilebilirler. Bu analiz yöntemine fayda-maliyet analizi adı verilmektedir [40].

Ülkeler içinde vatandaşlardan çeşitli yol ve yöntemlerle toplanan vergiler devletin gelirlerini oluşturmaktadır. Bu gelirlerin akılcı ve verimli olarak kullanılması fayda-maliyet kavramının ana odağını oluşturmaktadır. Kamu kaynakları kullanılarak yapılan her imalatın fayda-maliyet analizinin yapılması gerekmektedir. Çünkü fayda-maliyet analizi yapılmamış bir uygulamanın ortaya çıkaracağı olumlu veya olumsuz sonuçlar bilinemeyeceğinden sınırlı olan kamu kaynaklarının yanlış kullanılma olasılığı ortaya çıkmaktadır.

Fayda-maliyet analizleri kamu yatırımlarının uygulanabilirliği konusunda önemli bir ölçüt olmakla birlikte harcamaların yapılması için karar verme tekniğini ifade eder. Fayda maliyet analizi yapılırken cari harcamalar çok dikkate alınmazlar. Fayda-maliyet analizi esas olarak yatırım projelerinin gerçekleştirilmesi konusunda öne çıkar. Bunun asıl sebebi, yatırımların uzun zamanları kapsaması, gerçekleştirme maliyetlerinin çok yüksek olması ve yatırımlar ortaya konulduktan sonra ortaya çıkabilecek olası hataların maliyetlerinin de yüksek olmasından ileri gelmektedir. Cari harcamalarda ise herhangi bir yararsızlık ortaya çıktığı anda kaynaklar hemen kesilerek başka ihtiyaçların karşılanması amacıyla farklı yerlere aktarılabilir. Ancak son dönemde kaynakların ziyan edilmemesi ve harcamaların etkinliğinin artırılması amacıyla hem kamu yatırımları hem de kamu cari harcamaları için fayda-maliyet teknikleri kullanılarak analizler yapılması önem taşımaktadır [41].

Kamu yatırımları kabul görüp uygulandığı aşamadan sonra doğrudan ya da dolaylı olarak faydalar sunarlar. Yatırımların direk ilk elden kullanan kişilere sunduğu faydalar doğrudan fayda olarak değerlendirilirken, kişilerin gönüllü olarak bu fayda karşısında ödediği fiyat ise fayda seviyesini ifade eder. Bu fayda türüne “asli” ya da “birincil fayda” adı verilmektedir. Dolaylı fayda ise ortaya konulan yatırımdan doğrudan kullanıp yararlananların dışında kalan kişilere sunduğu faydalar olarak tanımlanmaktadır. Bu fayda türüne ise “tali” ya da “ikincil fayda” olarak da ifade edilmektedir [42].

Fayda-maliyet analizi yapılırken uzman kişiler geniş bir bakış açısı ile gereken bütün araştırmaları yapması, yatırımların getirilerini ve götürülerini kısa, orta ve uzun vadeli olarak

analiz etmesi gerekmektedir. Bu nedenle yapılacak her yatırımın karar mekanizmasında siyasi irade ile birlikte o yatırımın analizlerini yapan uzman kişiler de bulunmalıdır. Uzmanlar yaptıkları analitik çözümlerle yapılacak olan yatırımların yararlarını ve harcanacak kamu kaynaklarına altlık olacak şekilde yönetim kademelerine aktarması bir gereklilik olmalıdır. Böylece uzun yıllar aynı kalitede hizmet verebilecek projelerin gerçekleştirilmesinin de önü açılmış olacaktır.

1.7. Beton ve Asfalt Yolların Teknik ve Mali Karşılaştırması

1.7.1. İlk Yapım Maliyetleri

Asfalt ve beton yolların üst yapılarının maliyetlerinin karşılaştırılması, yolun trafik koşullarına, servis ömrüne, zemin özelliklerine ve ülkelerin birim fiyatlarına göre değişkenlikler gösterir. İlk zamanlarda beton yolların asfalt yollara göre ilk yapım maliyetinin çok daha yüksek olduğu görüşü kabul görmekteydi. Günümüzde yapılan tüm çalışmalar ve bu çalışmalar sonucu elde edilen veriler bu durumun tam tersi olduğunu, gittikçe de artan döviz fiyatları ile asfaltın beton yola göre maliyetlerinin daha da artmakta olduğunu göstermektedir [10].

Beton yolların ilk yapım maliyetleri konusunda birçok araştırma vardır. Bu çalışmalardan Türkiye Hazır Beton Birliğinin yaptığı bir çalışmada gidiş-geliş şeklinde olmak üzere ve 12 metre genişlikte tasarlanan bir yolda orta ile ağır trafik yükü arasında (yolun hizmet ömrü boyunca 8,2 tonluk bir eşdeğer dingil yükü 50-65 milyon geçiş) şu verilere ulaşılmıştır:

-İlk Yapım Maliyetleri:

-Bitümlü Sıcak Kaplama (Asfalt Betonu Yol): 366 Bin \$/km

-Derzli Donatısız Beton Yol: 328 Bin \$/km

-Sürekli Donatılı Beton Yol: 363 Bin \$/km

Aynı çalışmada yapılan yolun tüm hizmet ömrü boyunca maruz kalacağı bakım-onarım vb. giderler de göz önüne alındığı durumda ise şu veriler ortaya çıkmaktadır:

-Tüm Hizmet Ömrü Maliyetleri:

-Bitümlü Sıcak Kaplama (Asfalt Betonu Yol): 532 Bin \$/km

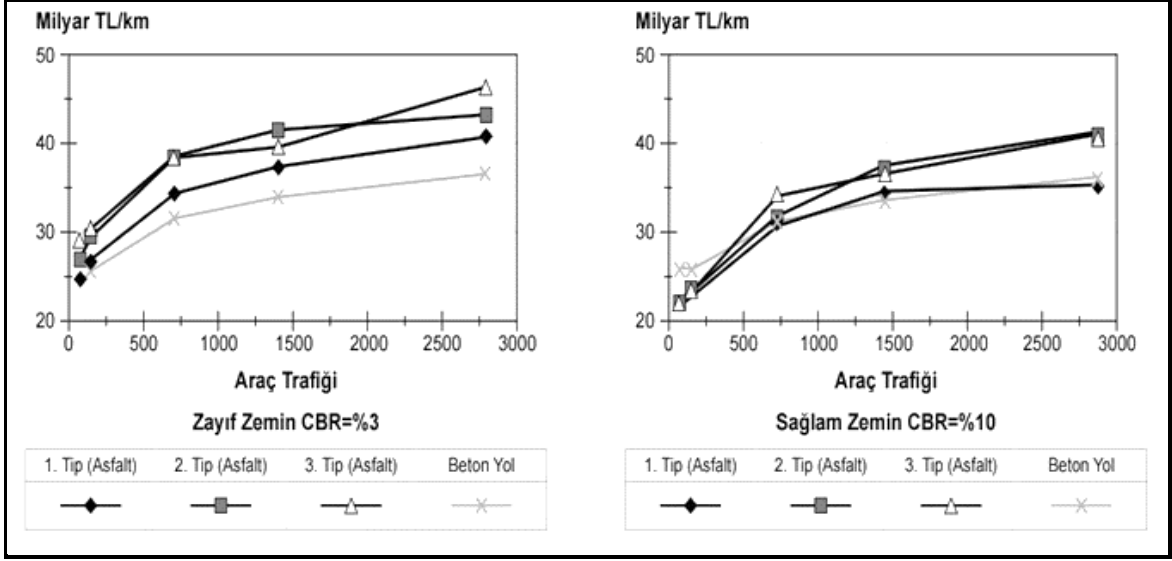
-Derzli Donatısız Beton Yol: 441 Bin \$/km

-Sürekli Donatılı Beton Yol: 379 Bin \$/km

Görüleceği üzere yapım maliyetleri, beton yollarla asfalt yolların düşünülmenin aksine birbirine yakın bir maliyet seyri izlediği görülmektedir. Derzli donatısız beton yolun, bitümlü sıcak kaplamaya göre biraz daha az maliyetli olduğu görülmektedir. Sürekli donatılı beton yolun ise, bitümlü sıcak kaplamaya göre düşük trafik hacimlerinde daha az maliyetli, yükseklerde ise daha fazla maliyetli, fakat derzli donatısız beton yola göre her trafik koşulunda daha maliyetli olduğu görülmektedir. Ömür maliyetleri ise sürekli donatılı beton yolun hem derzli donatılı beton yola hem de bitümlü sıcak kaplamaya oranla daha iyi sonuçlar verdiği görülmektedir. Ama yolun ömrü boyunca yapılacak müdahalelerin ülkemiz koşullarına göre yaşanarak görülmesi, unutulmaması gereken bir noktadır. Ülkemize uygun bir beton yol tipi seçimi ve bu tipin üstünde araştırmaların ve tecrübelerin yoğunlaşması çok önemlidir. Bunun için tüm teknik ve uygulama kriterlerinin yanı sıra ekonomik karşılaştırmalar da bu araştırma ve benzeri araştırmalara göre belirlenebilir [4].

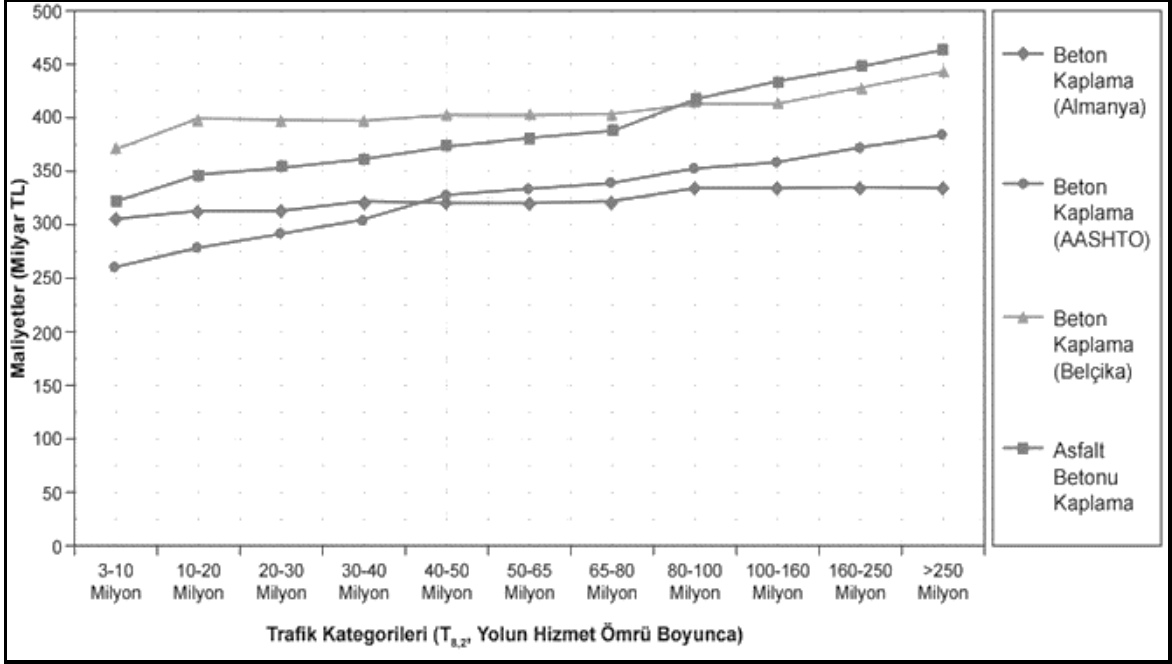
Türkiye The Economist'te 2015 yılında 9 milyar 56 milyon euro (30 milyar 634 milyon lira) , 2016 yılında ise 9 milyar 47 milyon euro (30 milyar 244 milyon lira) yeni yol yapımına harcamış, bu oran ile 2015 yılı GSYH'I 651 milyar euro olan ülkemizin % 1,3 lük kısmını teşkil eden bir ülke olma özelliğine sahiptir. Bu orana göre 24 OECD ülkesi arasında 1.sırada yer almaktadır.

Bu konuda yapılan ilk çalışmalardan birisi ülkemizde İstanbul Teknik Üniversitesinde 1998 yılı birim fiyatları ve 20 yıl servis ömrü temel alınarak (CBR %3 – CBR %10) gibi farklı trafik değerlerine göre asfalt ve beton yolların ilk yapım maliyetleri karşılaştırılmıştır. Şekil 1.10'da da görüldüğü üzere taban zemini zayıf olması durumunda daha düşük trafik değerlerinde dahi beton yolun asfalt göre ekonomik olduğu, Zemin değerlerinin kuvvetli olması durumunda ise belirli bir trafik değerine kadar asfalt beton yola göre ekonomik olduğu görülse de trafik değerlerinin yüksek mertebelere ulaşmasıyla beton yol asfalt yola göre daha az maliyetli olduğu sonucuna varılmıştır [43].



Şekil 1.11. Farklı CBR Değerlerinde Yol Yapım İlk Maliyetleri [43].

Yapılan bir diğer ilk yapım maliyeti karşılaştırmasını Türkiye Hazır Beton Birliği (THBB) yapmıştır [44]. Şerit genişliği 3,5 m olan ve 2 şeritli 12 metre platform genişliği olan tipik bir yol kesitinde CBR değeri %10 olarak kabul edilerek, Trafik yükü 8,2 tonluk eşdeğer dingil yükünün tekerrür sayısına bağlı 11 değişik trafik kategorize edilmiştir. Asfalt yol ise KGM'nin belirlediği esaslara göre tasarlanmış, beton yol ise derzli donatısız kaplama için 3 farklı ülkenin metotları izlenmiştir. Bunlar ABD'deki AASHTO yöntemi [45], Almanyadaki RstO yöntemi [46] ve Belçika'da uygulanan katalog yöntemleridir [47]. Bunun için kaplama tabakaları, kalınlıklar ve malzemeler tayin edildikten sonra KGM, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı(BİB) ve Demiryolları, Limanlar ve Hava Meydanları İnşaatı Genel Müdürlüğü (DLH) tarafından 2002 yılında uygulanan birim fiyatlardan yararlanılmış olup, yolun 1 km lik kısmı için yapım maliyetleri hesaplanmıştır. Bu hesaplamalarda yine beton yolların asfalt yollara göre daha ekonomik olduğu görülmüştür. Yalnızca Belçika katalog yönteminde belirli bir trafik değerine kadar asfalt yol daha ekonomik olmuş ancak trafik değerlerinin yükselmesi ile beton yol asfalt yola göre daha ekonomik hale gelmiş olduğu görülmüştür [10].



Şekil 1.12. Trafik kategorilerine göre yapım maliyet karşılaştırma grafiği [48].

Günümüzde yapılan tüm çalışmalarda, özellikle son birkaç yılda petrol türevi olan asfaltın maliyetinin daha da arttığı görülmektedir. Tüm bunları bakım-onarım ihtiyaçlarına göre değerlendirdiğimizde asfalt yolların daha fazla maliyetlere ulaştığı görülebilmektedir. Şekil 1.11’de görüldüğü üzere CBR değeri düşük olsa bile taşıma kapasitesi yüksek olan beton kaplama daha kalıcı olabilmekte, ekonomik ömrünün tamamlansa dahi asfalt kaplamaya temel görevi görmesiyle daha da öne çıkmakta olduğu görülmektedir.

1.7.2. Yerli Ürün Kullanımı

Beton kaplamaları asfalt kaplamalardan ayıran en önemli özelliklerden birisi de betonda kullanılan çimentonun %100 yerli olmasıdır. Ülkemizde inşaat sayısı arttıkça betona olan ihtiyaç da paralel olarak artmıştır. Avrupa Hazır Beton Birliği (ERMCO) 2017 yılı verilerine göre AB üretimi 235,2 milyon m³ olan betonun 115 milyon m³ lük kısmı yalnızca Türkiye’ye aittir. Türkiye’yi 51,7 milyon m³ ile Almanya ve 38,7 milyon m³ ile Fransa takip etmektedir [49].

Tablo 1.10. Ülkelere göre üretilen hazır beton miktarları [49].

Ülkeler	2015	2016	2017
Avusturya	10,5	10,8	11,0
Belçika	12,3	12,5	12,7
Çek Cumhuriyeti	6,5	6,8	6,8
Danimarka	2,5	2,5	2,6
Finlandiya	2,6	2,9	3,0
Fransa	34,8	36,1	38,7
Almanya	47,2	49,5	51,7
İrlanda	3,5	4,2	4,3
İtalya	25,3	27,4	27,3
Hollanda	6,3	6,5	6,9
Polonya	19,8	20,4	20,4
Portekiz	2,8	3,2	3,7
Slovakya	1,9	1,9	2,4
İspanya	16,3	16,3	16,3
İsveç	4,1	4,5	4,5
İngiltere	23,7	24,6	22,9
Toplam Avrupa Birliği	220,0	230,0	235,2
Averaj Avrupa Birliği	13,8	14,4	14,7
İsrail	15,6	15,4	16,9
Norveç	3,7	4,0	4,1
İsviçre	12,0	11,5	11,5
Türkiye	107	109	115
Toplam ERMCO	358,3	370,2	382,5
Averaj ERMCO	17,9	18,5	19,1
Rusya	40,5	37,0	35,0
ABD	260,0	265,0	270,0
Japonya	88,0	84,0	84,0

Tablo 1.10'da görüldüğü üzere hem yerli ürün olması hem üretimdeki öncü bir ülke olmamız hazır beton üretimindeki milli gücümüzün ekonomimize olan katkısını gözler önüne sermektedir. Betonun ana bileşeni olan çimento, Türkiye'de 54'ü entegre tesis, 22'si öğütme tesisi olmak üzere toplamda toplam 76 tane fabrikada üretim yapılmaktadır. Bu üretimin bir kısmı iç piyasanın ihtiyacını karşılarken, bir kısmı da ihraç edilerek ülkeye girdi sağlanmaktadır [50].

Günümüzde yapılan yatırımlarla ülkemizin her ilinde yüksek standartlarda hazır beton üretim tesisleri bulunmaktadır. Bu ülkemizin hazır betona erişiminin çok daha kolay olduğunu göstermektedir. Sahip olduğumuz ekonomik kaynaklarımızın yine ülkemiz içerisinde kalması için yapılması gereken en ideal üst yapı kaplamasının beton olduğu da açıkça görülmektedir [51].

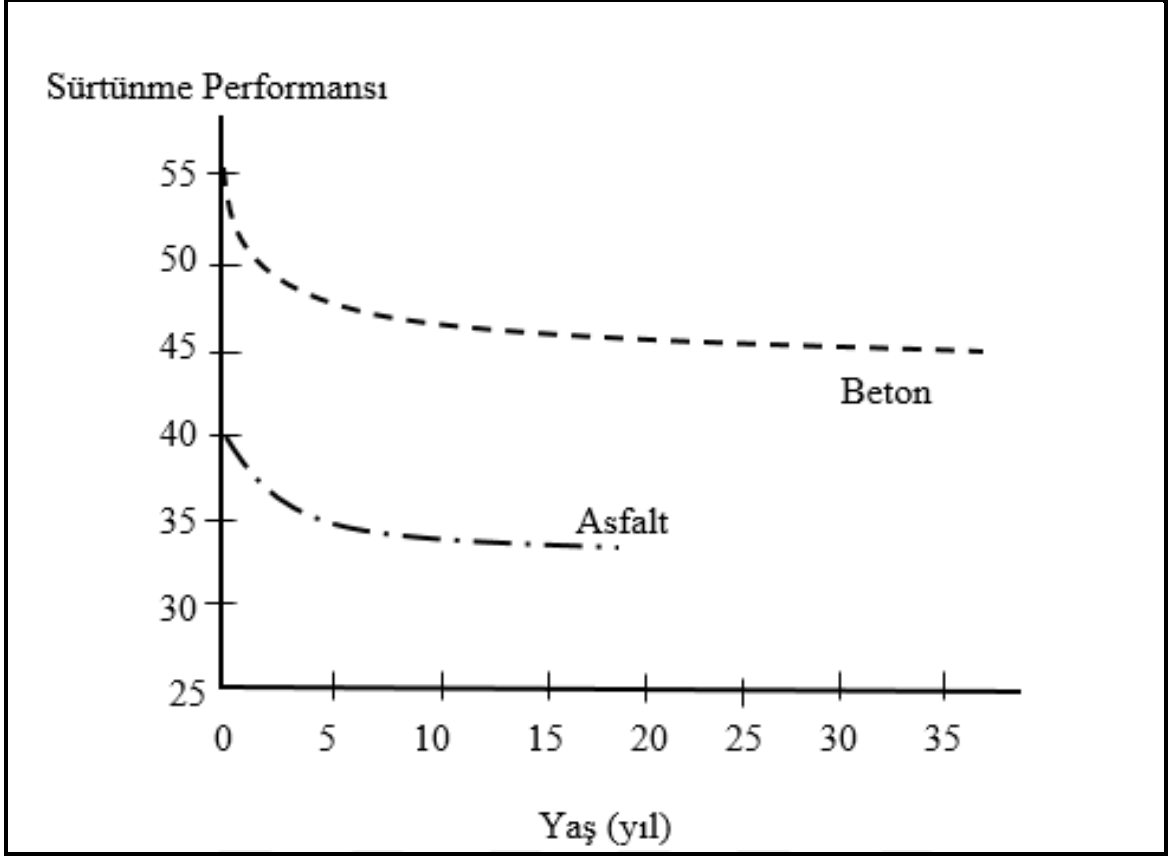
1.7.3. Dayanıklılık (Durabilite)

Hizmet ömrü süresince yapıların işlevlerini herhangi bir bozulma olmaksızın yerine getirmeye devam etmelerine dayanıklılık, kalıcılık veya durabilite adı verilir. Beton ve betonarme yapılarda incelendiğinde mekanik, fiziksel ve kimyasal etkilerden dolayı bozulmaların oluştuğu anlaşılmaktadır. Bunlardan aşınma, erozyon ve kaviteasyon (oyulma) mekanik yolla oluşmaktadır. Kimyasal etkenler sonucu oluşan hasarlar ise alkali-agrega reaksiyonları, sülfat etkisi, karbonatlaşma, korozyon, bazı asit ve tuz etkileri sıralanmaktadır. Fiziksel bozulma nedenleri ise; donma-çözülme reaksiyonları, aşırı sıcaklıklar ve buz çözücü tuzlardır [52]. Öngörülme durabilite problemleri nedeniyle yapıların servis dışı kalma tehlikesi gelişmiş olan ülkelerde olduğu gibi ülkemizde de bulunmaktadır. Bu durumda yapıların yıkılıp tekrar yapılması ya da onarılması ihtiyacı doğmaktadır. Yapılan araştırmalarda dünyanın gelişmiş ülkelerinde tüm inşaat faaliyetlerinin %40'lık bölümünü tamir ve bakım işleri oluşturduğu tespit edildiğinden, konunun önemi daha iyi anlaşılmaktadır [53]. Ancak beton ve betonarme yapılardan olan yolların bu bozulma ve hasarlardan günümüz imkanları ile birlikte değerlendirildiğinde oldukça düşük bir olasılık haline gelmiştir. Çünkü günümüzde durabilite konusunda önemli gelişmeler kaydedilmiştir. Yeni beton standartı TS-EN 2016-1 [54] ve bu standartın tamamlayıcısı olan TS13515 [55] ile yalnızca dayanım kriterleri değil aynı zamanda çevresel etkiler de sınıflandırılarak daha kaliteli ve yapı hasarlarını engelleyici gelişmeler sağlanmıştır. Günümüzde sürekli olarak denetlenen hazır beton santralleri bu standartlara

uygun üretimler yapmaktadırlar. Gelişen teknolojiye uygun olarak üretilen betonların kalıplama, sıkıştırma, bakım ve koruma önlemleri ile servis ömrü boyunca herhangi bir sorun oluşmayacaktır [56].

Asfaltta durabilite ise trafik, su, zemin ve hava koşullarının olumsuz etkilerine karşı göstermiş olduğu mukavemeti ifade etmektedir. Asfalt kaplamalarda da aşınma, kabarma, soyulma, çökme ve oksidasyon gibi yapısal hasarlar oluşabilmektedir. Bu hasarların önlemlenebilmesi için betonda olduğu gibi uygun üretim koşulları ve şartları sağlanmak zorundadır [57]. Asfalt malzemesi, sıcaklıkların yükselmesi ile yumuşarlar. Kaplama üzerinden geçen araçların tekerlekleri yol üzerinde izler oluşturmakta, sıcaklıkların düşmesi ile birlikte de büzülerek yol kaplamasında çatlamalara yol açmaktadır. Betonda da benzer sıcaklık değişimleri beton yol kaplamalarında da çatlaklar oluşturabilir ancak bu değişimlerin olumsuz etkilerini engellemek için derz ve donatı uygulamaları yapılmaktadır. Aşırı yağışlı ve soğuk iklim koşullarında da beton karışımına hava sürükleyerek yol korunabilmektedir. Asfalt malzemesi zamanla 'yaşlanma' etkisi gösterir. Bunun nedenleri oksidasyon, uçucu malzeme kayıpları ve polimerleşme olarak sıralanabilir. 'Yaşlanma' sonucu asfalt sertleşir ve bağlayıcılığını kaybeder, agrega bütünleşmesi (aderansı) yok olmaya başlar, sudaki çözünürlüğü artar ve çatlama etkisi gösterir [12,58]. Asfalt kaplamalı yollarda taşıma yolun alttemel-temel tabakasının kuvvetli olması (iyi serilip sıkıştırılmış) zemin direncinin yüksek değerlerde olması ile doğrudan ilişkilidir. Bunun en büyük nedeni asfalt kaplamaların yükü dağıtmadan doğrudan zemine doğru iletmesinden ileri gelmektedir. Ancak beton kaplamaların basınç dayanımları çok yüksek olmasından dolayı yükü kendisi geniş bir alanda yayarlar. Bu da çok daha az bir etkiyi alt tabakalarına iletmelerini sağlar. Böylece elastisite modülü düşük olan alt temel ve temel tabakalarının deformasyonlarını büyük ölçüde engellerler.

Nitekim asfalt yollar genellikle en fazla 20 yıllık hizmet süreleri için projelendirilirken beton yollarda bu süre 40-50 yıla ulaşabilmektedir [12,59]. Trabzon ili yağış rejimi, zemin koşulları açılarından olumsuz olması ve gerekli iyileştirmelerin yapılma maliyetlerinin yüksek oluşu kaplama tabakasının dayanıklı olmasını zarari hale getirmektedir. Bu noktada betonu asfalta karşı dayanıklı oluşu ve dış etkilere karşı dayanması öne çıkarmaktadır.



Şekil 1.13. Betonda dayanıklılık 35-40 yıl civarlarında iken, asfaltta neredeyse yarısı kadardır [60].

Tablo 1.11’de Avrupa Hazır Beton Birliği (ERMCO) üyesi olan ülkelerin 2016 ve 2017 yıllarına ait beton sınıfına göre üretim oranları gösterilmektedir. Tabloyu incelediğimizde Avrupa ülkelerinin tamamına yakını en fazla C25/30 ve C30/37 sınıfları beton üretimi yaptığı görülmektedir. Avrupa Birliği üyesi ülkelerde Buna paralel olarak ülkemizde de C25/30 ve C30/37 sınıfların beton üretim oranı 2017 yılı verilerine göre % 62,9 iken, ülkemizde bu oran %69 lara ulaşmıştır. Bu da dayanım açısından gelişmiş ülkelere göre daha iyi kalitede ve oranda beton üretimi yaptığımızı göstermesi açısından önemlidir. Trabzon’da yapılan beton yollar büyük oranda C25/30 dayanım sınıfına göre üretilmekte ve uygulanmaktadır. C30/37 sınıfı beton yolların ise son yıllarda kullanımı finişerle yapılan yollarda yaygınlaşmaya başlamıştır.

Tablo 1.11. Avrupa Hazır Beton Birliği (ERMCO) üyeleri ÷lkelerde kullanılan beton dayanım sınıfları (N/mm²) [49].

÷lkeler	< C16/20		C16/20- C20/25		C25/30- C30/37		≥ C35/45	
	2016	2017	2016	2017	2016	2017	2016	2017
Avusturya	7,6	7,8	15,3	14,8	70,8	70,8	6,3	6,3
Belçika	0,0	0,0	9,0	8,9	55,0	55,1	36,0	36,0
Çekya	16,0	16,0	26,0	26,0	35,0	35,0	23,0	23,0
Danimarka	6,0	6,0	30,0	30,0	36,0	36,0	28,0	28,0
Finlandiya	2,0	0,0	19,0	15,0	68,0	70,0	11,0	15,0
Fransa	1,0	1,0	10,0	9,0	80,0	80,0	9,0	10,0
Almanya	8,0	7,8	16,8	16,3	61,1	61,2	14,1	14,7
İrlanda	8,0	8,0	20,0	20,0	38,0	38,0	34,0	34,0
İtalya	6,0	6,0	16,0	16,0	75,0	75,0	3,0	3,0
Hollanda	1,0	1,0	46,0	39,0	38,0	38,0	15,0	7,0
Polonya	13,0	13,0	25,0	25,0	55,0	55,0	7,0	7,0
Portekiz	4,6	5,0	29,6	40,0	60	50,0	3,2	5,0
Slovakya	15,0	7,0	25,0	17,0	52,0	71,0	8,0	5,0
İspanya	7,0	7,0	5,0	5,0	82,0	82,0	6,0	6,0
İsveç	-	-	-	-	-	-	-	-
İngiltere	11,0	11,0	25,0	25,0	54,0	54,0	10,0	10,0
Ortalama Avrupa Birliği	6,7	6,5	17,2	16,6	62,7	62,9	11,4	11,6
İsrail	0,0	0,0	5,0	3,0	70,0	70,0	25,0	27,0
Norveç	0,0	0,0	3,2	3,2	42,5	44,0	54,3	53,0
İsviçre	-	-	-	-	-	-	-	-
*Türkiye	0,0	1,0	8,0	8,0	74,0	69,0	18,0	22,0
Toplam ERMCO	4,5	4,6	14,1	13,7	66,1	64,7	14,0	15,4
Rusya	5,0	5,0	30,0	30,0	50,0	50,0	15,0	15,0
ABD	40,0	40,0	25,0	25,0	25,0	25,0	10,0	10,0
Japonya	0,0	0,0	44,2	44,2	57,4	57,4	25,5	25,5

İlk yapım maliyetinin yanısıra beton yollar asfalt yollara göre daha dayanıklı ve uzun ömürlüdür. Beton yollar tam bir iyileştirmeye ihtiyacı olmadan en az 30 yıl hizmet

verebilmektedirler. İlk zamanlarda beton yollar genellikle 30 yıl hizmet süresi için tasarlanan beton yollar, şimdilerde ise 50 yıla yakın bir süre için tasarlanabilmektedirler [32]. Diğer taraftan asfalt yollara 3-5 yıl arasında bakım yapılması gerektirmekte iken, yapımlarından 17 yıl sonra yeniden yapıma varan tam iyileştirmeler zaruri hale gelmektedir [61]. Yaşam döngüsü maliyet analizleri incelediğinde ise çoğu durumda ve aynı tasarım şartlarda beton yolların asfalt yollara göre daha ekonomik bir tercih olduğu görülmektedir. İzlanda'da 2011 yılında yapılan ve 40 yıl hizmet etme durumuna göre baz alınan bir yaşam döngü maliyet analizine göre, şerit başı günlük trafik hacmi ortalama 14.000 araçtan daha fazla olduğu güzergahlarda beton yollar daha ekonomik bulunmuştur [62]. Amerikan Devlet Karayolu ve Taşımacılık İdareleri Birliği (AASHTO) tarafından Kanada'da yapılan bir çalışmada asfalt yolların bahar koşullarındaki bozulma oranı %61 iken , beton yollarda bu oran yalnızca %5,5 civarlarındadır.

1.7.4. Bakım Onarım Maliyetleri

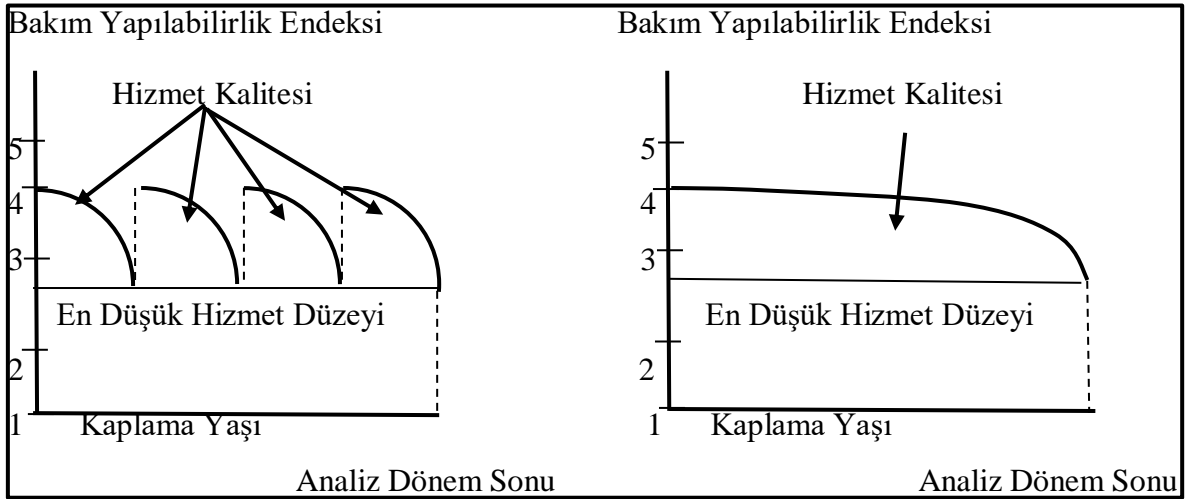
Kaplama yapılmadan evvel proje aşamasında düşünülmesi gereken ilk etkenlerden birisi de kaplamanın servis süresince dış etkenler (hava koşulları, taşıt yükleri vb.) altında ne kadar deforme olduğunu tespit edip, ihtiyaca cevap verecek şekilde en az maliyetle ve daha uzun dayanım sağlayacak şekilde yapmaktır. Bakım giderleri alternatifi olan asfalt yola göre çok daha az olan ve çok daha uzun süreçlerde hizmet verebilen beton yollar bu yönden çok daha ekonomiktir [44]. Bakım onarım açısından incelendiğinde beton yol kaplamaları dikkatli ve uygun tasarımlarla yapılmadığında büyük bakım-onarım masrafları ortaya çıkarabilmektedir. Ancak iklim, taşıt yükleri vb. koşullar dikkate alınarak ve kalite kontrol süreçlerine uygun hareket edilerek yapılan bir beton yollarda 30 yıllara varan zaman zarfında bakım onarıma ihtiyaç duymadan hizmet verebilmektedir. Asfalt yollarda ise tüm olumsuz koşullar dikkate alınarak iyi bir işçilik ile yapılırsa dahi bakım-onarım ihtiyaç duyma süresi beton yolun en az yarı ömrü kadar olmaktadır.

Alttemel ve temel tabakaları çok iyi yapılmadan yapılan asfalt kaplamalar birkaç yıl gibi kısa sürelerde bakım onarıma ihtiyaç duyarlar. Bu da ilk yapım maliyetine ek olarak maliyetler ortaya çıkarmaktadır. 20 yıllık bir süre sonunda bakım-onarım maliyetleri ilk yapım maliyetleri dahi aşan miktarlara ulaşabilmektedir. Ayrıca yapılan bakım-onarım çalışmaları hem trafiğin aksamasına hem de iş ve zaman kaybına yol açmaktadır. Beton kaplamalı yollar ise servis ömürleri süresince oldukça az miktarda bakıma ihtiyaç duyarlar.

5 yıl sonunda derz dolgu kontrolleri yapılır. Genel olarak 10-12 yıl civarında ilk ufak onarımlara ihtiyaç duyarlar. Yüzeylerinde bozulmalar ise genel olarak 17-18 yıl sonra tekrardan elden geçirilmektedir [12].

Asfalt yüzeylerin taşımacılık endüstrisine maliyeti, yalnızca yapım bakımından, betona göre % 20 oranında daha fazla olmaktadır. Diğer bir araştırma ise, yapım ve bakım maliyetleri yönünden, beton kaplamalı yolların asfalt kaplamalı olanlara göre % 13'den % 28'e kadar değişen oranlarda düşük maliyetli olduğunu ortaya koymuştur [1,63]. Amerika'da MIT (Massachusetts Institute of Technology) yapmış olduğu bir araştırmada 30 yıl boyunca kullanılan asfalt (esnek) kaplamalarda ilk yapım maliyetlerinin yaklaşık olarak %40 mertebelerine ulaşan miktarlarda yeniden yüzeyi yenileme ile bakım-onarım masraflarına harcandığını tespit etmiş, bununla birlikte rijit(beton) kaplamalarda aynı servis ömrü boyunca bu oranın ilk yapım maliyetinin yalnızca %11'lik kısmını teşkil ettiğini ortaya koymuştur [64].

Maliyet olarak baktığımızda ülkemizde otoyol ve köprülerin bakımı için yılda yaklaşık olarak 1.3 milyar liralık harcama yapıldığı, bu otoyol ve köprülerden elde edilen gelirin yalnızca 250 milyon liraya eriştiği görülmektedir. Bakım-onarım masrafını bile karşılayamayan bu yolların ekonomimiz için büyük bir yük olduğu son derece açıktır [65].



Şekil 1.14. Asfalt ve beton yollarda bakım-kaplama yaşı ilişkisi grafikleri

Şekil 1.14'de asfalt yollarda her 3-4 yılda bir bakım gerekirken, beton yollarda bu süreç asfalt yolun yaklaşık 4 katı düzeyinde olduğu görülmektedir. Bu da beton yolun bakım-onarım maliyetlerinin hizmet süresi boyunca daha az olduğu anlamına gelmektedir.

Trabzon ilinde 20 yıldır yalnız kaplama tabakasından oluşan ve hizmet vermeye devam eden beton yollar bulunmaktadır. Son yıllarda hazır beton teknolojisinin gelişimi ile daha kaliteli beton üretimi yapıldığından, yolların bakım-onarım olmadan daha da uzun yıllar hizmet verecek duruma getirilmiştir. Asfalt yollar ise şehrin ana arterlerine konumlanmakta ve hemen her yıl onarılmaktadır. Bunun nedeni çekme mukavemetinin düşük olmasının yanında planlama ve zemin iyileştirmeleri yapılmadan uygulanmalarının bir sonucudur.

Tablo 1.12. Türkiye’de KGM tarafından bakım maliyetlerinin bölgelere göre dağılımı [66].

Bölgeler	Bölge Şubeleri Yol Bakım Birim Maliyetleri (Emanet+İhale)		
	İhaleli Birim Maliyet (TL/km)	Emanet Birim Maliyet (TL/km)	Emanet+ İhaleli Birim Maliyet (TL/km)
1.Bölge (İstanbul)	38.034	32.184	70.218
2.Bölge (İzmir)	23.563	24.926	48.489
3.Bölge (Konya)	22.852	19.688	42.540
4.Bölge (Ankara)	46.497	30.980	77.477
5.Bölge (Mersin)	22.447	25.860	48.307
6.Bölge (Kayseri)	25.977	26.807	52.784
7.Bölge (Samsun)	29.866	30.808	60.674
8.Bölge (Elazığ)	26.175	30.321	56.496
9.Bölge (Diyarbakır)	22.174	35.606	57.780
10.Bölge (Trabzon)	40.706	49.133	89.839
11.Bölge (Van)	33.907	46.073	79.980
12.Bölge (Erzurum)	35.480	39.169	74.649
13.Bölge (Antalya)	51.809	27.454	79.263
14.Bölge (Bursa)	35.118	26.391	61.509
15.Bölge (Kastamonu)	25.776	35.750	61.526
16.Bölge (Sivas)	15.714	24.962	40.676
18.Bölge (Kars)	34.365	29.357	63.722
Bölge Ortalama	30.270	31.332	61.602

Tablo 1.12 incelendiğinde hem Türkiye ortalamalarına hem de diğer bölgelere göre bakım maliyeti en yüksek olan bölgenin Trabzon ‘un içinde bulunduğu Karayolları 10. Bölge Müdürlüğü olduğu görülmektedir. Bilindiği üzere yol ağının tamamına yakını asfalt kaplamalardan oluşan KGM’nin 1 km yolun bakımı için 2017 yılı sonunda gerçekleşen ortalama harcama tutarı 61.602 TL iken, KGM 10. Bölge (Trabzon) Müdürlüğü sorumluluğundaki yollar için ise bu tutar 89.839 TL’ye ulaşmaktadır. KGM tarafından yapılan yollar büyükşehir belediye, ilçe, orman yollarına uygulanan asfalt yollara göre daha yüksek standartlarla ve ekipmanlarla uygulanmaktadır. Bu da daha düşük standartlardaki yollara uygulanan asfalt kaplamaların çok daha yüksek bakım maliyetleri gerektireceğini ortaya koymaktadır.

Tüm bu örnekler beton yol kaplamasının alt zemini çok elverişli olmasa dahi daha uzun yıllar bakım onarıma ihtiyaç duymaksızın hizmet verdiğini göstermektedir. Asfalt yol kaplamasının ise hizmet süresince belli zaman dilimlerinde yüzeyinin baştan yenilendiğini, neredeyse her yıl da lokal olarak bakım onarımdan geçmek durumunda olduğunu göstermektedir. Bu hem ekonomik olmayan, hem de petrol türevi ithal bir ürün olan asfaltın milli gelirimizin dış ülkelere gelir olarak gittiğini göstermektedir.

1.7.5. Hammadde Maliyetleri

Dünyada enerji kaynağı olarak yaygınlaşmış olan petrol, rafine edilerek birçok alanda kullanılmaktadır. Rafine edilen petrol araç yakıtı olarak kullanılmasının yanında, asfalt kaplama hammaddesi olan bitüm olarak da kullanılmaktadır. Türkiye’de 2017 yılı rakamlarına baktığımız zaman ülkemizde ihtiyaç duyduğumuz toplam petrol 35,71 milyon ton olup, bunun yalnızca 2,5 milyon tonluk kısmı yerli üretimden ibarettir [67]. Bu rakamları ele aldığımızda üretimimizin tüketimimizi karşılama oranı %7’lik bir oran denk geldiği görülebilmektedir. Tüm bunlar Türkiye’deki petrol ürünlerinin herbiri için büyük oranda ithalata doğrudan bağımlı olduğumuz gerçeğini ortaya koymaktadır.

Uluslararası alanda petrolün fiyatlanması dolar üzerinden yapılmakta olup, dünyadaki olumlu ve olumsuz gelişmelere göre dövizler fiyatlarında sürekli olarak oynaklıklar ortaya çıkmaktadır. Artan döviz kurlarının etkisi ile de petrol fiyatları dolayısıyla da bitüm fiyatlarını artmaktadır. Bu nedenle asfaltın hammaddesi olan bitüm, petrol ithalatçısı olan ülkemiz için önemli çıktı olarak değerlendirilebilir.

Betonun hammaddesi çimento ise yerli bir ürün olması ve ülkemizin dünya çapından birçok gelişmiş ülke arasında çimentonun en büyük üreticilerinden olması, beton yolların üretimini daha akla yatkın hale getirmektedir.

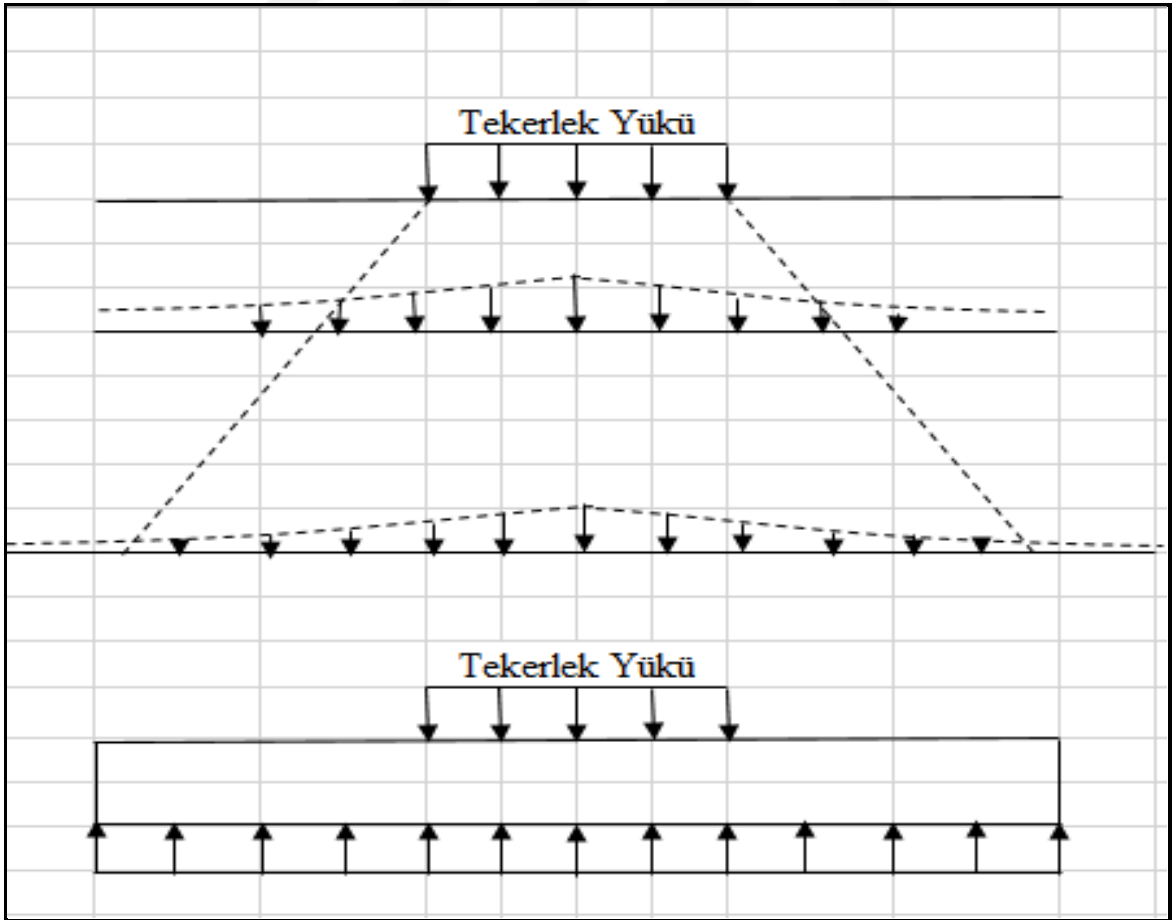
Tablo.1.13. 50/70 penetrasyon değerine sahip bitüm malzemesinin son 4 yıldaki fiyat değişimleri [68].

Ürün Türü	Rafine Olduğu İller	Tarih	Rafineri Satış Fiyatı (TL/Ton)	Kdv (TL/Ton)	Kdv Dahil Rafineri Satış Fiyatı (TL/Ton)
Bitüm 50/70	İzmir	08.01.2020	2.215,00	22,15	2.237,15
		08.01.2019	1.882,00	18,82	1.900,82
		09.01.2018	1.457,00	14,57	1.471,57
		03.01.2017	1.146,00	11,46	1.157,46
	İzmit	08.01.2020	2.215,00	22,15	2.237,15
		08.01.2019	1.882,00	18,82	1.900,82
		09.01.2018	1.457,00	14,57	1.471,57
		03.01.2017	1.146,00	11,46	1.157,46
	Kırıkkale	08.01.2020	2.245,00	22,45	2.267,45
		08.01.2019	1.909,00	19,09	1.928,09
		09.01.2018	1.476,00	14,76	1.490,76
		03.01.2017	1.163,00	11,63	1.174,63
	Batman	08.01.2020	2.245,00	22,45	2.267,45
		08.01.2019	1.909,00	19,09	1.928,09
		09.01.2018	1.476,00	14,76	1.490,76
		03.01.2017	1.163,00	11,63	1.174,63

Tablo 1.13'e göre bitümün rafineri satış fiyatları Türk lirası olarak 2017-2020 arasındaki dönemde yaklaşık olarak 2 kat artmıştır. Petrol fiyatları bu süreçte daha az artmasına rağmen, döviz kurlarındaki yukarı yönlü hareketler Türk lirası bazındaki değerini etkilemiştir. Rafinelerin satış fiyatları arasındaki farklar oldukça düşük seviyelerde olup, bulunduğu bölgenin konumuna göre oluşan ek maliyetlerden kaynaklanmaktadır.

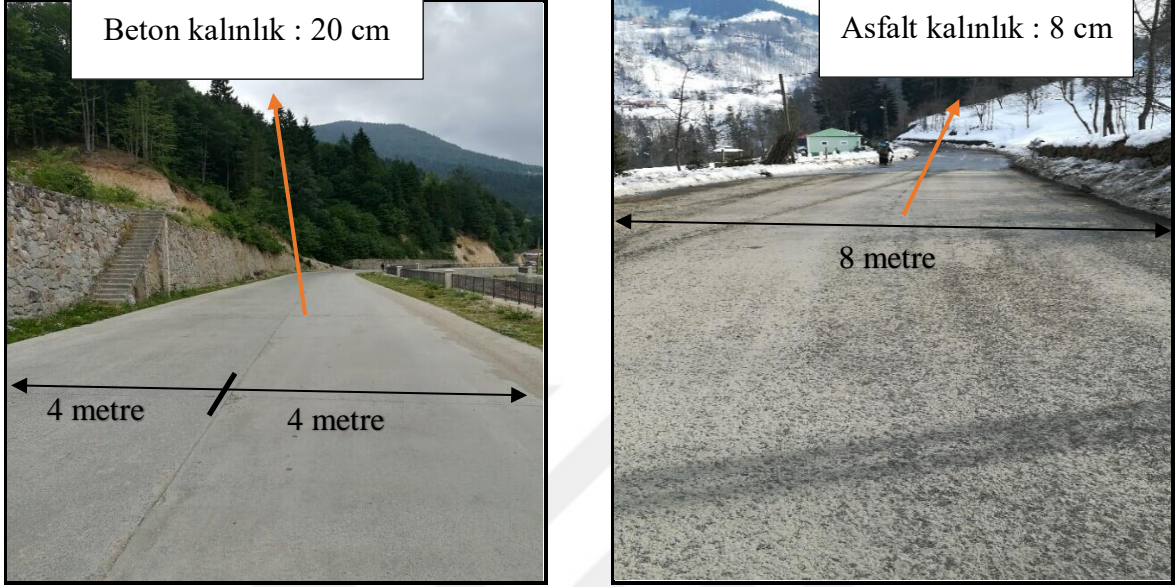
1.7.6. Trafik Yükleri, Tekerrür Sayısı ve Kaplama Mukavemetleri

Türkiye Karayollarını % 95'lere varan oranlarda yoğun kullanmasının yanı sıra yük taşımacılığında da büyük oranda karayolunu kullanmaktadır. Bu nedenle sayısal olarak Avrupa'nın en fazla tır-kamyon vb. vasıtalarına sahip ülkesidir ki bu oran ağır taşıtlardaki oranı % 40 olarak hesaplanmaktadır. Diğer taraftan tır-kamyon gibi ağır taşıtların AB ülkelerindeki oranı yalnızca %10 civarındadır [51]. Bu durum Avrupa Birliği ülkelerine göre yollarımıza daha fazla trafik yükü etki ettiğini göstermektedir. Şekil 1.15'de dingil yüküne oranla araç trafiği ve tekerrür sayıları ile yollarda oluşan hasarların karşılığı yer almaktadır. Bu bile teknik özelliklerine göre üst yapı tipi belirlemede önemli bir faktör olarak karşımıza çıkmaktadır. Asfalt yol yüzeylerinde ağır tonaja sahip araçların durup hareketleri sonucunda zamanla tekerlek izleri ve çukurluklar ortaya çıkmaktadır. Ayrıca yol yüzeylerinin köşe noktalarında da bozulmalar oluşmaktadır. Beton yollarda ise aynı koşullar karşısında ilk durumlarını koruyarak bozulmaya maruz kalmazlar.



Şekil 1.15. Esnek ve rijit kaplamaya ait trafik yüklerini dağıtma mekanizmaları

Asfalt kaplamalı yollarda ağır trafik yüklerinden kaynaklı olarak plastik deformasyon çeşitleri olan; çökme, tekerlek izi, oluklar ve çatlaklar oluşmaktadır [69].



Tonya Çayırıcı –Kalıncam Yolu (Beton)
(Yapım Yılı 2001-2011)

Tonya Merkez Çayırıcı Yolu (Asfalt)
(Yapım Yılı 2015)

Şekil 1.16. Tonya Merkez – Çayırıcı - Kalıncam hattındaki beton ve asfalt yol görünüşleri

Şekil 1.16’da sol tarafta 2001 yılında yapılan ihale kapsamının 2005 yılında yapılan ve 15 yıldır hala aynı şekilde hizmet vermeye devam eden beton yol uygulaması görülmektedir. Yol boyunca yalnızca lokal olarak soyulmalar mevcuttur. Yer yer derz birleşimlerinde köşe çatlakları gözlemlenmektedir. Onun dışında yolda herhangi bir problem bulunmamaktadır. Konforu oldukça iyidir. Bununla birlikte aynı yol güzergahı üzerinde olan (aynı iklim, çevresel koşulları, trafik yükü vb.) ve 2015 yılında yapılan 5 yıllık asfalt kaplamalı bir yol görülmektedir. Yolun konforu kısmen iyi olmakla birlikte lokal soyulmalardan dolayı bakım-onarım ihtiyacı vardır. Aynı hat üzerinde oldukları için bütün iç ve dış etkenlerden aynı düzeyde etkilenmelerine rağmen oluşan deformasyonlar kaplama tipine göre belirgin farklılıklar göstermektedir. Özellikle yaz aylarında aktif kullanılan bir turizm yolu olup, yerli ve yabancı bir çok turist geçiş güzergahı olarak kullanılmaktadır.

1.8. Asfalt ve Beton Üstyapı Kaplama Kalınlık Hesaplaması

Esnek (asfalt) üst yapı kaplama kalınlık hesabı için Karayolları Esnek Üst Yapılar Projelendirme Rehberinde Eşitlik 1 kullanılmaktadır.

$$\log (T8,2) = ZR \times S0 + 9,36 \log(SN+1) - 0,20 + \log [(4,2-Pt)/(4,5-1,5)] / 0,40 + [1094/(SN+1)^{5,19}] + 2,32 \log MR - 8,07 \quad (1)$$

Eşitlik 2 (AASHTO, 1993. Guide for the Design of Pavement Structures. Washington, USA.)' e göre hesaplamalar yapılarak ise beton kaplama kalınlıkları bulunmuştur.

$$\log W_{8,2} = ZR S_0 + 7,35 \log(D+1) - 0,06 + \log[\Delta PSI / (4,5-1,5)] / 1 + [1,624.107 / (D+1)^{8,46}] + (4,22 - 0,32Pt) \log(S_c' C_d [D^{0,75} - 1,132] / 215,63J [D^{0,75} - [18,42 / (E_c/k)^{0,25}]] \quad (2)$$

Tablo 1.14. $W_{8,2}$ değerlerine göre asfalt ve beton üstyapı kaplama kalınlıkları (cm) ve maliyetleri (TL) (2014 yılı fiyatları ile)

$W_{8,2} (x10^7)$	BSK (cm)	BSK Maliyeti (TL)	C30/37 (cm)	Beton Maliyeti (TL)
1	19,00	1.420.503,00	23,04	1.319.315,00
2	21,00	1.569.131,00	25,83	1.465.848,00
3	22,00	1.621.622,00	27,59	1.558.282,00
4	23,00	1.682.034,00	28,91	1.627.617,00
5	24,00	1.774.798,00	29,93	1.708.498,00
6	25,00	1.833.769,00	30,81	1.754.715,00
7	25,00	1.833.769,00	31,57	1.794.637,00
8	26,00	1.868.021,00	32,23	1.829.286,00
9	26,00	1.868.021,00	32,82	1.860.286,00
10	27,00	1.926.993,00	33,38	1.889.699,00

Asfalt (esnek) ve beton (rijit) üstyapı kalınlıkları ve bu kalınlıklardan faydalanarak hesaplanan 1 km uzunluktaki üstyapı maliyet hesaplamaları yapılarak Tablo 1.14'de gösterilmiş olup, maliyetleri 2014 yılı birim fiyatları baz alınarak hesaplanmıştır. Her yıl yayınlanan birim fiyatlara göre revize edilerek güncel maliyetler oluşturulabilir ve karşılaştırma yapılabilir. Beton yolun kaplama kalınlığı asfalt yolun kaplama kalınlığından daha fazla olmasına rağmen ilk yapım maliyeti beton yol kaplamasının asfalt yol kaplamasından daima daha az olarak hesaplanmıştır [11].

1.9. İstanbul Hasdal Kışlası – Kemerburgaz Ayrımı Arasındaki Yol

Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği (TÇMB) ile Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM) arasında imzalanan protokole göre, Hasdal Kışlası ile Kemerburgaz ayrımı arasındaki bir tarafı TÇMB'nin sağladığı finansman ile beton yol, diğer tarafı ise KGM tarafından asfalt (BSK) olarak imal edilmiştir. 2006 yılında hizmete giren yolun tasarım parametreleri tablolarda görülmektedir.

Beton yol tasarımı TÇMB tarafından yapılmış, KGM tarafından ise uygun görülerek onaylanmıştır. Asfalt üst yapısı KGM tarafından tasarlanmıştır. KGM ayrıca bir tasarım daha önermiş, TÇMB tarafından yapılan ilk tasarımda yer alan 5 cm kalınlıktaki asfalt arayüzey kullanılmadan 27 cm beton kalınlığa ek 5 cm daha beton kalınlığı artırılarak 32 cm olarak uygulanmasını önermiştir. Söz konusu yolun kesitleri aşağıdaki gibidir. Yolun platform genişliği 10.5 m dir. Yol uzunluğu 3412 mt.'dir [10].

Tablo 1.15. Hasdal Kışlası-Kemerburgaz Ayrımı yol boyunca uygulanan tasarımlar [10].

Kaplama Cinsi	Tabakalar	Tabaka Kalınlıkları (cm)
Asfalt Üst Yapı (A)	Aşınma	5
	Binder	7
	Bitümlü Temel	11
	Plentmix Temel	20
	Kırmataş Temel	15
Beton Üst Yapı (B1)	Beton Plak	27
	Asfalt Arayüzey	5
	Plentmix Temel	15
	Kırmataş Temel	15
Beton Üst Yapı (B2)	Beton Plak	32
	Plentmix Temel	15
	Kırmataş Temel	15

Tablo 1.16’da yapım maliyetlerinin hesabında Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM), Bayındırlık ve İskan Bakanlığı (BİB), Demiryolları, Limanlar ve Hava Meydanları İnşaatı Genel Müdürlüğü (DLH) tarafından kullanılan analizler ve 2008 yılı birim fiyatları esas alınmış, bazı kalemler için 2009 yılı başı piyasa rayiç fiyatları kullanılmıştır. Yol kesitinin katmanları için birim ağırlık, birim alan ve birim hacim esasına göre belirlenen birim fiyatlar kullanılarak aşağıdaki yapım maliyetleri elde edilmiştir [10].

Tablo 1.16. 2008 birim fiyatlarıyla oluşturulan asfalt ve beton yol yapım maliyetleri

Kaplama Cinsi	Maliyeti Hesaplanan Tabaka	Maliyeti Hesaplanan Tabaka Metrajları (A)	Yoğunluk (B)	Birim Fiyat (C) (TL)	Maliyet AxBxC (TL)	Toplam Maliyet (TL)
Asfalt Üst Yapı (A)	Aşınma Maliyeti	10,5x1000x0,05	2,40	101,02	127.285,20	719.871,39
	Binder	10,5x1000x0,07	2,40	91,93	162.164,52	
	Bitümlü Temel	10,5x1000x0,11	2,30	82,68	219.639,42	
	Plentmix Temel	10,5x1000x0,20	2,25	35,59	168.162,75	
	Kırmetaş Temel	10,5x1000x0,15	2,00	13,53	42.619,50	
Beton Üst Yapı (B1)	Beton Plak	10,5x1000x0,27		111,95	438.870,25	723.437,61
	Asfalt Arayüzey	10,5x1000x0,05	2,4	91,93	115.831,80	
	Plentmix Temel	10,5x1000x0,15	2,25	35,59	126.122,06	
	Kırmetaş Temel	10,5x1000x0,15	2,00	13,53	42.619,50	
Beton Üst Yapı (B2)	Beton Plak	10,5x1000x0,32		111,95	497.637,00	666.379,00
	Plentmix Temel	10,5x1000x0,15	2,25	35,59	126.122,06	
	Kırmetaş Temel	10,5x1000x0,15	2,00	13,53	42.619,50	

Tablo 1.16’da 2008 yılında yapılan imalata ait hesaplamalarda (B1) ve (B2) nin kaplama kalınlıkları ikisinde de toplam 32 cm’dir. B1 de 27 beton plak+5 cm asfalt arayüzey

varken, B2’de 32 cm beton plak bulunmaktadır. Diğer tabakaların kalınlıkları aynı ölçülerdedir. Buna rağmen kaplaması 32 cm beton plaktan oluşan B1 beton üstyapı maliyeti, kaplama tabakası 27 beton plak ve 5 cm asfalt arayüzeyden oluşan B2 kaplamasında %8,5 kadar daha düşük maliyete sahip olduğu görülmektedir. Bu da betonun asfalta göre daha uygun fiyatlı olduğunu göstermektedir.

1.10. Trabzon İli Geneli Yol Ağları

Tablo 1.17’de 2014 yılından 2020 yılına kadar olan süreçte Trabzon Büyükşehir Belediyesi Bilgi İşlem Dairesi Başkanlığının çalışmalarının sonucu olarak ortaya çıkmıştır. Bu tabloda yer alan asfalt, beton, parke, stabilize, tesviye, ham arazi uzunlukları toplam 2.823,30 km Trabzon Büyükşehir Belediyesi yol ağı içerisinde kalmaktadır. TCK kısmı ise Karayolları Genel Müdürlüğü sorumluluğunda yer alan ve tamamı asfalt kaplama olan yolu ifade eder. İlçe yolu olarak tabloda yer alan kısım ise eski köy yolu-yeni mahalle yolları, yayla, orman, ilçe ara yollarının toplamını ifade etmektedir. Bu kısımdaki kaplamaların cinsi tam olarak tespit edilememekte olup, büyük ölçüde sathi kaplama, beton kaplama ve stabilize niteliğindedir.

Tablo 1.17’de Trabzon ilindeki toplam yol uzunluğu olan 21.748,75 km’nin 17.719,11 km’si (% 81) ilçe yolları olarak nitelendirilen kırsal bölgedeki ve ana grup yolları dışındaki tali yollardan oluşmaktadır. Genel olarak alt yapıları sorunları olan, kalitesiz yol dolgusuna sahip zeminleri ve drenajları büyük ölçüde eksik platformlardan oluşmaktadır. Trabzon ilinin arazi yapısının çok engebeli ve hava koşullarının yağmurlu olmasından dolayı yapılacak kaplama cinsi büyük önem arz etmektedir. Bu nedenle hemen hemen bütün hava koşullarında uygulanabilir olan, taşıma kapasitesi yüksek, bakım-onarım maliyeti daha az olan bir kaplama olması tercih edilmesi gerekmektedir. Uygulamadaki deneyimlere göre asfalt kaplama yapılan yerlerin olumsuz zemin ve hava koşulları nedeniyle çok çabuk bozulmaktadır. Bu da tekrar maliyet, zaman ve işçilik kayıplarına neden olmaktadır. Bu nedenle Trabzon İl Özel İdaresinin ilk yılları olan 2005 yılından itibaren başlama üzere kırsal alanlardaki yolların beton yol olarak yapılması eğilim oluşmuştur. Kırsalda yaşayan insanlarda kaplamaların performanslarını yaşayarak gördükleri için yaygın olarak yollarının betonlanmasını talep etmektedirler. Asfalt kaplama talepleri incelendiğinde ise, geçmişte betonlama yapıp bozulan yüzeyler karşımıza çıkmaktadır. Bu da beton yolun bozulduğunda bile asfalt yola iyi bir temel görevi görmeye devam ettiğinin göstergesidir.

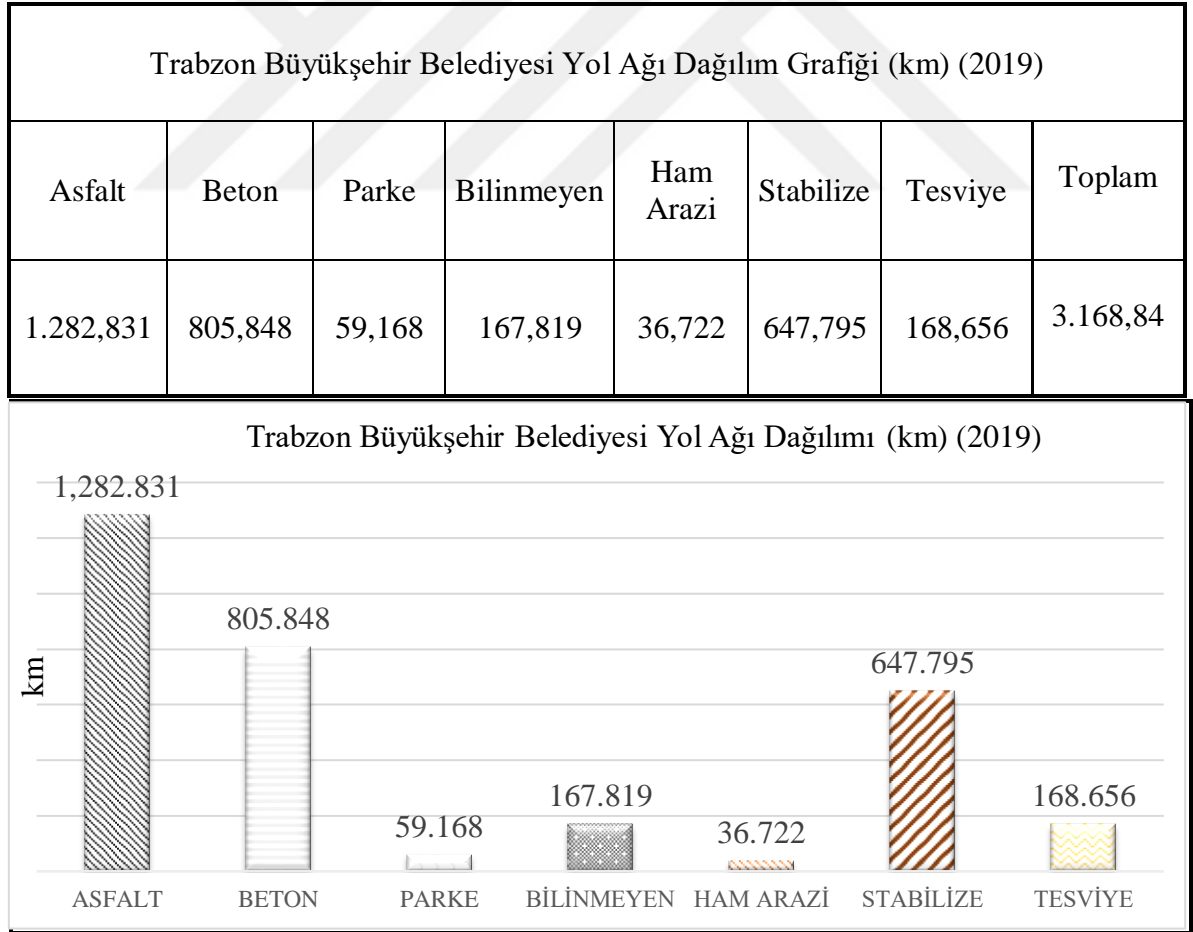
Tablo 1.17. Trabzon ili yollarında genel kaplama dağılımı (ilçe-köy-yayla-şehiriçi yollar dahil [70]).

İlçe adı	Tck	Asfalt	Beton	Parke	Stabilize	Tesviye	Ham Arazi	İlçe Yolları
Akçaabat	111,96	204,08	67,96	7,45	47,91		4,50	2.389,08
Araklı	92,34	69,71	100,87	7,78	34,26		3,42	1.464,81
Arsin	40,15	70,28	45,29	1,06	28,40		4,76	759,89
Çaykara	68,12	76,44	57,67	15,47	80,07		0,08	1.178,66
Maçka	137,80	106,35	63,53	1,23	65,81	0,84		2.271,39
Of	110,18	100,73	70,16	4,02	1,60		0,61	1.386,62
Sürmene	69,48	88,29	57,74	3,00	24,72		0,75	727,08
Tonya	56,50	19,77	37,23	0,53	13,89		2,92	755,54
Vakfikebir	45,42	62,35	64,44	4,12	6,82		2,22	754,45
Yomra	48,97	75,22	25,65	0,12	15,74		2,22	942,53
Beşikdüzü	46,83	46,77	51,03	0,14	2,17			402,61
Şalpazarı	41,61	18,86	49,52	3,24	32,04			738,79
Çarşıbaşı	23,44	50,93	32,01		12,17		0,21	414,53
D.pazarı	5,31	36,92	10,28	0,50	1,45			275,90
Düzköy	22,73	36,17	30,21	0,59	26,78			737,72
Hayrat	10,49	30,62	20,17	0,50	69,79			594,39
Köprübaşı	6,70	35,67	32,46	0,13	44,82		0,31	415,41
Ortahisar	268,32	219,39	35,64	11,05	8,18	0,69	21,85	1.509,70
	1.206,36	1.348,56	851,85	60,92	516,60	1,52	43,85	17.719,11
31-12-2019 tarihli Trabzon ili geneli yol dağılımı						21.748,75 km		

1.10.1. Trabzon Büyükşehir Belediyesi Yol Kaplaması Genel Durumu

Trabzon ilinde uygulanan kaplama tipleri; esnek (asfalt) kaplama yol, rijit (beton) kaplama yol, stabilize yol, parke yol ve kompozit kaplamalı yollar olarak sınıflandırılabilir. Kaplamaların önemli bir kısmını ise asfalt ve beton kaplamalı yollar oluşturmaktadır. Tablo 1.18 incelendiğinde Trabzon Büyükşehir Belediyesi yol ağındaki asfalt yolların genel toplam yol ağı uzunluğuna oranı %40,45 iken, beton yolda ise bu oran %25,43 olarak gerçekleşmiştir. Asfalt yollar genel olarak Ortahisar ilçesi ana yollarında olmak üzere, ilçelerin merkezlerinde yolların büyük bir bölümünde görülmektedir. Beton yollar ise büyük oranda altyapısı zayıf ve drenajı eksik olan kırsal yollarda, mahalleleri ilçelere bağlayan yollar üzerinde konumlanmaktadır.

Tablo 1.18. Trabzon Büyükşehir Belediyesi yol ağı kaplama cinsi dağılımı ve grafiği (2019)





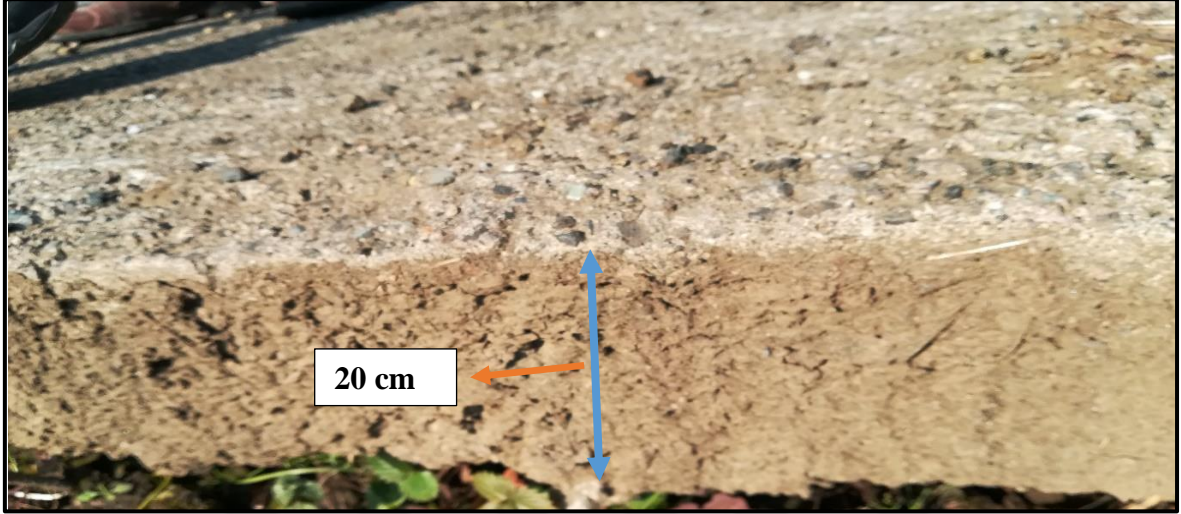
Şekil 1.17. Bozulan bir asfalt yola greyderle bakım-onarım yapılırken

Şekil 1.17’de temel tabakası kalitesiz, kanalları tıkalı ve asfalt kaplama olan bir yol görülmektedir. Asfaltın kalınlığı ortalama 8 cm’dir. 2016 yılında yapılan yol üzerinde ondulasyon, soyulma, çatlama oluşmuş kullanımına engel olacak niteliğe ulaşmıştır. Bu nedenle 2019 yılında programa alınarak 8 cm kalınlıkta BSK (asfalt) dökümü yapılmıştır. Trabzon’un ana arterleri dışında kalan ve kırsaldaki bir mahalleyi ilçeye bağlayan bir yolun durumu görülmektedir. Bu örnekten yola çıkarak yol drenajları yetersiz, altyapısı zayıf olan yollarda asfalt kaplamasının dış etkiler karşısında ne duruma geldiğinin ve 3 yıl sonunda yenilenmesine ihtiyaç duyulduğunu göstermesi açısından önemlidir. Bu örnekten yola çıkarak kırsaldaki sorunlu yollara asfalt uygulamalarının kalıcı olmadığını göstermektedir.



Şekil 1.18. Yüzeyi bozulan asfaltın üzerine 8 cm asfalt serilmesi (Çukurçayır Mah.Trabzon)

Şekil 1.18'deki yoldan edinilen bilgilere göre ise alt kısımda ve bozulan asfalt kaplama 2016 yılında yapılmıştır. Alt yapı firmalarının yaptığı kazılardan sonra yama işlemi uygulanmış ama zamanla yine koparak ayrılmıştır. O nedenle tekrardan kaplama tabakası yapılması ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Bu nedenle bozulan bu yollara tekrardan 8 cm kalınlıkta BSK (asfalt) finişerle uygulanma durumunda kalınmıştır.



Şekil 1.19. 15 yıllık devlet-köylü işbirliği ile yapılan beton yol (Kirazlık mah./ Vakfikebir)



Şekil 1.20. 15 yıl önceki beton yola asfalt serimi uygulanmıştır.(Kirazlık mah./ Vakfikebir)



Şekil 1.21. 15 yıl önceki beton yola asfalt serimi uygulanmıştır.(Kirazlık mah./ Vakfikebir)

Yukarıda 20 cm olarak vatandaş-devlet işbirliği yöntemi ile işçiliği köylü tarafından yapılan bir beton yol görülmektedir. Vatandaşlardan edinilen bilgilere göre 2005 yılında yapılan beton yolda, yapımından bugüne dek hiçbir bakım-onarım uygulanmamıştır. 2020 yılında vatandaşlar tarafından Büyükşehir belediyesine 600 metrelik aralıkta yüzeydeki soyulma ve konfor kayıplarını gidermek amacı ile başvurulmuştur. Bu amaçla Trabzon Büyükşehir Belediye ekiplerince ortalama 6 cm kalınlıkta beton yol üzerine asfaltlama işlemi yapılmış, böylece mevcut yol kompozit bir kaplamaya dönüştürülmüştür. Betonun yapısı vatandaş tarafından işçiliği yapılmış olmasına rağmen oldukça sağlam görünmektedir. Devamında bulunan, az düzeyde soyulan ve kullanıma hiç bir şekilde engel oluşturmayan beton yol hala daha aynı şekilde kullanılmaktadır.

2005 yılından sonra İl Özel İdareleri ile başlatılan KÖYDES projeleri ile yüklenici firmalara ihale edilerek beton yollar yapılmaya başlanmıştır. Bu proje ile birçok yolda betonlama yapılmış ve sorunlar büyük ölçüde çözüme kavuşmuştur. Bununla birlikte beton üretim tesisleri yaygınlaşarak il genelinde betona erişim noktasında kolaylıklar sağlanmıştır. Rekabet ortamı ile birlikte daha kaliteli ve ucuz maliyetlerde beton yollar, daha gelişmiş ekipmanlarla uygulanmışlardır. Günümüzde finişerler, vibratörlü masterlar yardımıyla yüzey ve kalıp işleri çok daha estetik hale getirilmiştir.



Şekil 1.22. Erikbeli-Kadırga yolu arasında beton yol finişerleri ile yapılan yoldan görünümler

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Yöntem ve Materyal

Trabzon ilinde yapılan asfalt ve beton kaplamalı yolların; dayanımları, dayanıklılıkları (durabilite) ve maliyetleri ele alınmıştır. Dayanım ve dayanıklılıklarını ortaya koymak için aynı koşullar altındaki (trafik yükü, zemin koşulları, iklim etkileri vb.) beton ve asfalt kaplamalardan karot numuneleri alınmıştır. Beton yollardan alınan numunelerin tek eksenli basınç deney sonuçları ile asfalt yollardan alınan numunelerin akma ve stabilite değerlerinin sonuçları değerlendirilmiştir.

KGM tarafından yayımlanan birim fiyatlara göre asfalt ve beton yolların maliyet değişimlerinin hangi oranlarda olduğu incelenmiş ve ortaya çıkan sonuçlardan maliyet değişimleri bulunmuştur. Bununla birlikte Trabzon sınırları içerisinde Trabzon Büyükşehir Belediyesi tarafından son 5 yıllık süreç içerisinde yapılan harcamaların içerisinde beton ve asfalt yollara ne kadar para harcandığı, harcanan paraların yıllara göre değişimlerinin hangi düzeylerde olduğu da tablo ve grafiklerle ortaya konulmuştur. Ayrıca yapılan yollara yapılan bakım-onarım harcamaları, hangi yol kaplamasına daha fazla bakım- onarım gerektiği yayınlanan faaliyet raporlarından karşılaştırılmıştır.

2.2. Yapılan Arazi Çalışmaları

Yapılan çalışmaların ana gövdesini Tonya ilçesinden başlayan-Çayriçi-Kalınçam-Erikbeli-Kadırga hattında (36,2 km) birbiri ardınca uzanan asfalt ve beton yollardan alınan karot numuneleri oluşturmaktadır. Yapılan arazi çalışmalarında bu hattın seçilmesinin esas nedeni benzer trafik yüküne, iklim etkisine ve dış etkilere maruz kalmış olmalarıdır. Böylece benzer koşullar altındaki yolların durabiliteleri (dayanıklılıkları) ve dayanımlarının tespit etmek ve en doğru sonuçlara ulaşılması hedeflenmiştir. Alınan karot numunelerinin çapı 9,37 cm'dir. Beton numunelerinin kalınlıkları 17,5 cm ile 22 cm arasında değişmekte iken asfalt kaplama kalınlıkları ise 6,4 cm ile 8,4 cm arasında değişmektedir. Arazi çalışmaları kapsamında incelenen asfalt ve beton yollardan elde edilen karot numuneleri aşağıda belirtilen aralıklarda ve sayılardadır.

Bu kapsamda;

- Tonya Kaleönü Mah.-Çayırıcı Köprüsü arası asfalt yoldan (3,8 km) 3 adet
- Çayırıcı Köprüsü-Kalınçam Mah. arası beton yoldan (11,2 km) 4 adet
- Kalınçam-Erikbeli Yayla arası beton yoldan (7,2 km) 5 adet
- Erikbeli-Kadırğa yaylaları arasındaki beton yoldan (14 km) 6 adet olmak üzere;

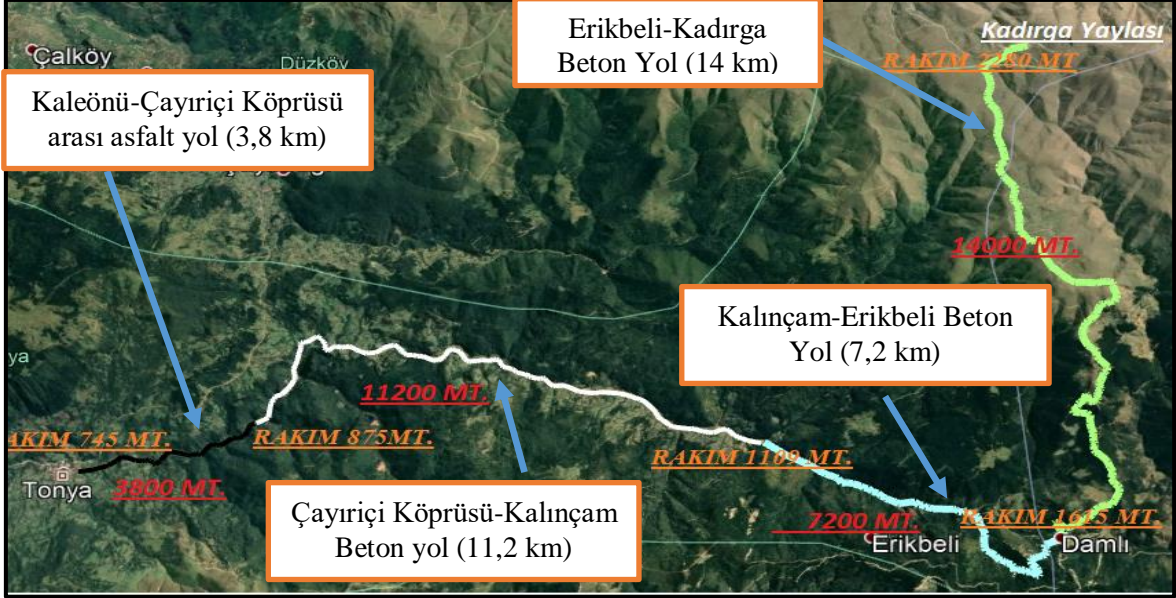
karot numuneleri Belediye şantiye ekipleri ile birlikte alınmıştır. Bu numunelerin alınırken özellikle tekerleklerin geçtiği noktalardan alınmasına özen gösterilmiştir.

2.2.1. Arazi Çalışmaların Yapıldığı Yollar Hakkında Bilgiler

Bölge ve ülke turizmimizin geliştirilmesi amacıyla bakanlar kurulu kararı ile Turizm Master Planı çerçevesinde Yeşilyol projesi kapsamında Tonya Merkezinden başlayan ve Erikbeli Yaylası ve de nihayetinde Kadırğa Yaylasına uzanan aynı hat boyunca DOKAP idaresi finansmanları ile Mülga Trabzon İl Özel İdaresi ve Trabzon Büyükşehir Belediyesi tarafından yıllar içerisinde asfalt ve beton kaplama yollar yaptırılmıştır. Bu güzergah irili ufaklı 36 yaylaya ulaşımın sağlanmasında önemli bir hattı oluşturmaktadır.

Tonya ilçesinden başlamak suretiyle incelediğimizde Trabzon Büyükşehir Belediyesi tarafından ihale edilerek yaptırılan Trabzon ili Tonya ilçesi Merkez Kaleönü-Çayırıcı Köprü arası Asfalt Kaplama İşi (0+000 – 3 + 800 km) dir. Bu yolun başlangıç noktası rakımı 746 mt. iken, bitiş noktası ise 875 mt. rakıma sahiptir. Devamındaki ikinci kısım yol 2000 yılında Mülga Trabzon İl Özel İdaresince ihale edilmiş, 2001 yılında da iş yeri teslimi yapılarak yapımına başlanmış ve 2011 yılında tamamlanmış olan Tonya Çayırıcı - Kalınçam Yolu (3+800 – 15+000 km)'lik ilk kısım finişerli beton yol uygulamasıdır. Bu yolun başlangıcı 875 mt. rakıma sahip iken, bitiş noktası 1109 mt. rakıma sahiptir. Daha sonrasında ise 2014 yılında Trabzon Büyükşehir Belediyesince ihale edilerek yaptırılan (15+000 – 22+200) km arasında 2.kısım finişerli beton yol uygulaması ile Erikbeli Yaylasına ulaşım sağlanmıştır. Bu yolunda başlangıcı 1109 mt. rakıma sahip iken bitiş noktası ise 1615 mt. rakıma sahiptir. Bu güzergah 2015 yılı sonunda alınan bir kararla Karayolları 10. Bölge Müdürlüğü önerisi ve Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı onayı ile Karayolları yol ağına dahil edilmiştir. 2018 yılında ihale edilen Erikbeli Yaylası ile Kadırğa Yaylasını bağlayan yol ise toplam 14 km lik hat boyunca finişerli beton yol uygulaması yapılmıştır. Bu hattın başlangıcı ise 1615 mt. rakım iken, bitiş Kadırğa Yaylası 2280 mt. rakıma sahiptir. Bu yol güzergahından da yine aynı şekilde küp ve karot numuneleri alınmış ve kırım sonuçları karşılaştırılmıştır. Yukarıda

söz edilen bütün yol aralıkları hem asfalt kaplamada hem de beton kaplamada finişerlerle birlikte uygulanmışlardır.



Şekil 2.1. Tonya - Kaleönü - Çayırıcı - Kalınçam - Erikbeli - Kadirga hattının haritadaki görünümleri ve yol uzunlukları

2.2.1.1. Trabzon Tonya Kaleönü-Çayırıcı Köprü Arası Asfalt Kaplama

Karot numunesi alınan yolun proje tasarım ilkeleri ele alındığında;

İşin Adı : Tonya Merkez Kaleönü Çayırıcı Köprüsü arası Asfalt Kaplama İş

İmalat Yeri : Merkez Kaleönü Çayırıcı Köprüsü arası (3,8 km)

Yolun Maliyeti : 1.025.000,00 tl

Yoldaki Asfalt (BSK) ton : 8 mt. x 3800 mt. x 0,08 mt. x 2,4 t/m³ : 5834 ton

(Not: Başlangıç 745 mt. rakım – Bitiş 875 mt. rakım.)

Yol Katmanları: (Tabii zemin sıkıştırma) + Temel (20 cm) + Asfalt (8 cm)

Yol Genişliği : Ortalama 8 mt.

Projede kaplama kalınlığı : 8 cm

Kaplama cinsi : BSK (Bitümlü sıcak karışım)

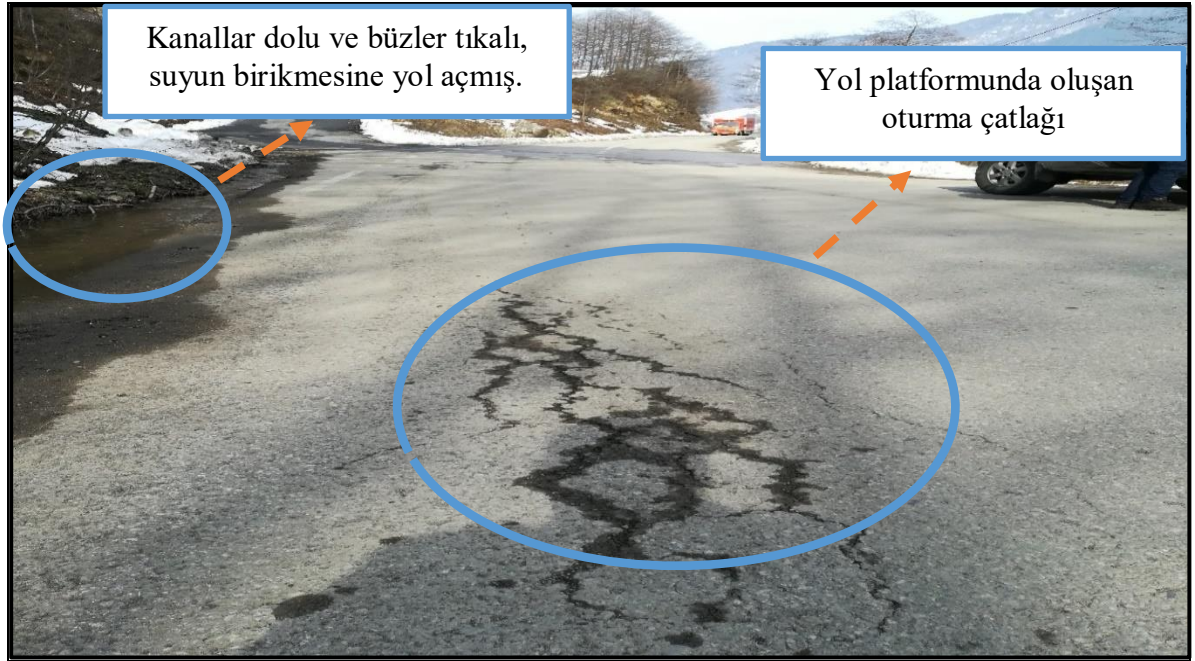
Bitüm penetrasyonu : 50/70

Agrega : Kalker

Yüzey bitirme : Finişerle serilen kaplama, silindirle sıkıştırma



Şekil 2.2. Tonya Merkez Kaleönü Mah. – Çayırbağı asfalt yol hattının google earth üzerinde gösterimi (0+000 – 3+800) – (yapım yılı 2015)



Şekil 2.3. Tonya Merkez Kaleönü Mah.–Çayırbağı Köprü arası asfalt kaplamasında yer yer çatlaklar gözlemlenmektedir

Şekil 2.3’de oluşan oturma çatlakları yetersiz drenaj sonucu yol kanalında biriken aşırı suyun yol altına girerek zayıflatması ve yolun üstüne gelen trafik yüküne karşı dayanıklılığının yetersiz olmasından dolayı oluşmuşlardır.



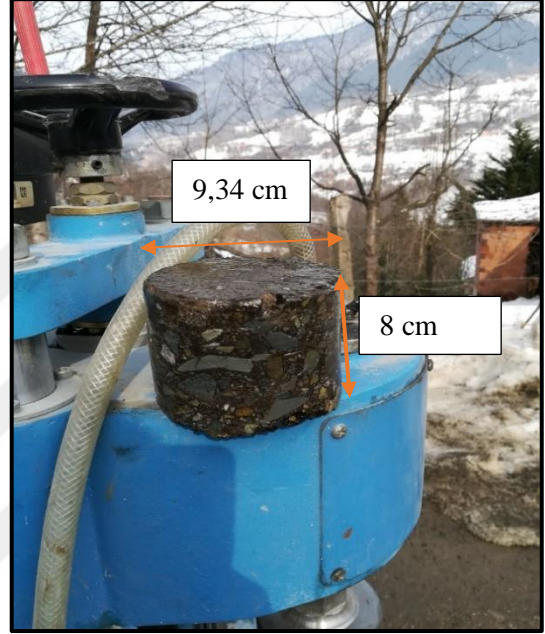
Şekil 2.4. Tonya Merkez Kaleönü Mah. - Çayırıcı Köprü arası asfalt kaplamasında yol boyunca yüzeysel soyulmalar gözlemlenmektedir

Şekil 2.4’de yol platformu üzerinde bölgenin sıcaklık değişimlerinden kaynaklı donma-çözümler oluşmuş ve kaplama yüzeyinde soyulmalara neden olmuştur.



Şekil 2.5. Tonya Kaleönü - Çayırıcı köprü arasında (0+000 - 3+800) karot alınan noktalar.

Karot alınan yollar belirlenirken özellikle tekerlerin geçtiği yerlerin olmasına özen gösterilmiştir. Bunun nedeni araçların yol platformundan geçerken en çok etki ettiği noktalar olmasıdır. Kilometre olarak seçilen yerler ise tamamen rastgele o anda karar verilerek karot alınan yerlerdir. Karot alma işlemi sırasında Trabzon Büyükşehir Belediyesinin ekip ve ekipmanlarından faydalanılmıştır.



Şekil 2.6. Karot 1+350 – 835 mt. rakımda alınan asfalt karot numunesi görünümüleri



Şekil 2.7. Karot 1+950 – 830 mt. rakımda alınan asfalt karot numunesi görünümler



Şekil 2.8. Karot 3+150 – 848 mt. rakımda alınan asfalt karot numunesi görünümüler

2.2.1.2. Trabzon Tonya Çayırıçi Köprü-Kalınçam Arası Beton Kaplama

Karot numunesi alınan yolun proje tasarım ilkelerinden bahsederseniz;

İmalat Yeri : Çayırıçi Köprüsü - Kalınçam Arası (11,2 km)

İdaresi : Mülga Trabzon İl Özel İdaresi

Yolun Maliyeti: 4.200.000 TL

Yoldaki Beton m³ : 8 mt. x 11200 mt. x 0,2 mt. : 22400 m³

(Not: Çayırıçi Köprü 875 mt. rakım – Kalınçam 1109 mt. rakım.)

Yol Katmanları: Alttemel (Tabii zemin sıkıştırma) + Temel (25 cm) + Beton plak (20 cm)

Yol Genişliği : 4 mt. + 4 mt. (8 mt) yol

Projede beton kaplama kalınlığı : 20 cm

Beton sınıfı : C25/30

Agrega : Beton imalatındaki agregası tüm uygunluk testlerindeki sınır değerlere uygun olacak

Çimento : CEM II 42,5 Mpa

Donatı : İki plak arasında 80 cm aralıklarla Ø 12 donatı çaplı nervürlü donatı kullanılacak.

Derz : 5 mt. de bir ve h/3 oranında kesilecek.

(Not: Derz kesim yerlerinin 1 mt. ileri ve gerisinden donatı yerleştirme işlemi başlayacak.

Uygulama Süresi : Betonun santralinde üretilen beton, üretildiği andan itibaren tüm süreçler dahil (kamyona yükleme, döküm alanına taşınma, finişer haznesine dökülme ve yola uygulanması) 45 dakika içerisinde uygulanmak zorundadır. Bu zaman hava sıcak olması durumunda daha kısa bir zaman içerisinde gerçekleştirilecek ve tüm tedbirler ona göre alınacak.)

Kür : Bütün kür uygulama testlerine uygun olan kür, 1 m²'ye 300 gr olacak şekilde betonun dökümünden 1 saat sonra yüzeye uygun şekilde püskürtülecek.

Numune : Küp numuneler set halinde her 100 m³'de bir 6 adet (2 adet 7 günlük, 4 adet 28 günlük 15x15x15 küp ile alınacak. Alınan numuneler TS 500 ve TS EN 206 standartlarında kalite kontrol kriterlerine uygun olacak.

Slump (Kıvam) : Uygulama anında 2 cm olacak. Ona göre üretim aşamasında su miktarı ayarlanacaktır.

Hava sıcaklığı : + 5 °C' den düşük sıcaklıklarda beton üretimi kesinlikle yapılmayacak.



Şekil 2.9. Tonya Çayırıcı-Kalınçam Beton Yol Hattı 11,2 km (3+800–15+000) – yapım yılı (2001-2011)



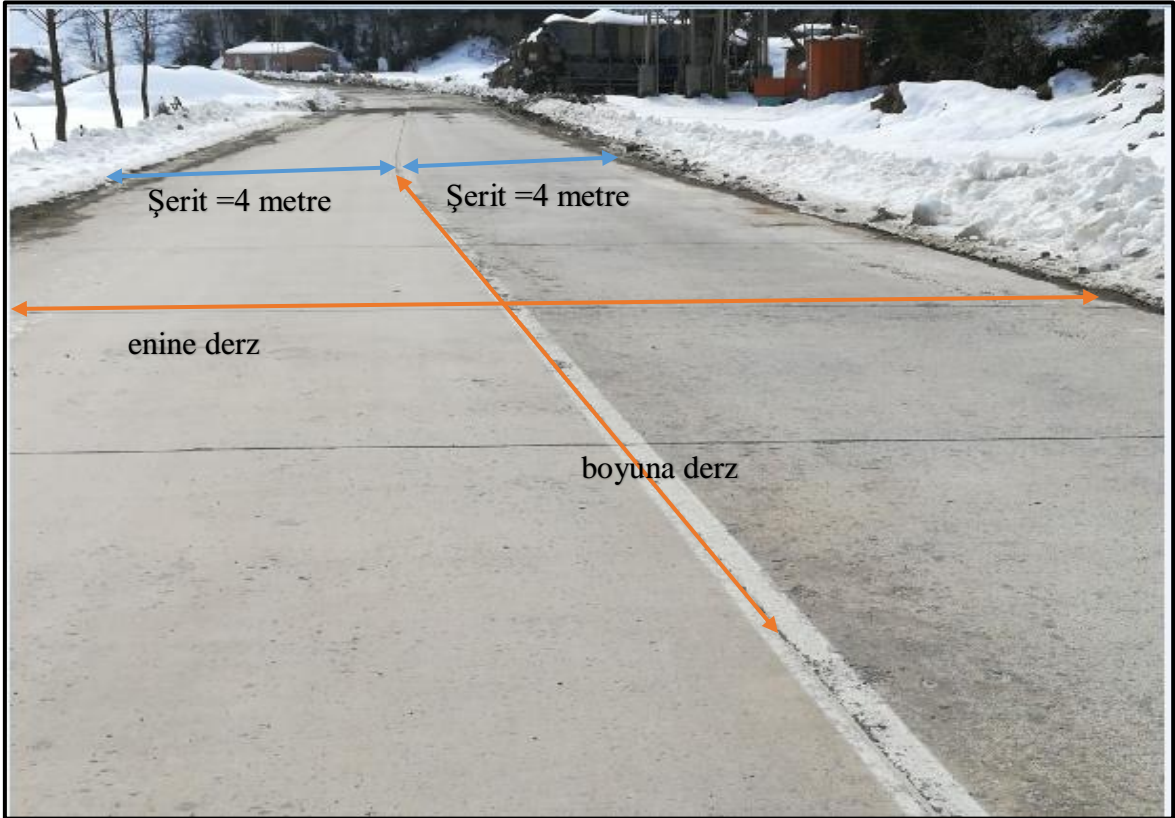
Şekil 2.10. Tonya-Çayırıcı-Kalınçam beton yolu başlangıç tabelasından görünüm



Şekil 2.11. Çayırıcı mevkinde bulunan beton yolda derz birleşim yerinde köşe çatlakları



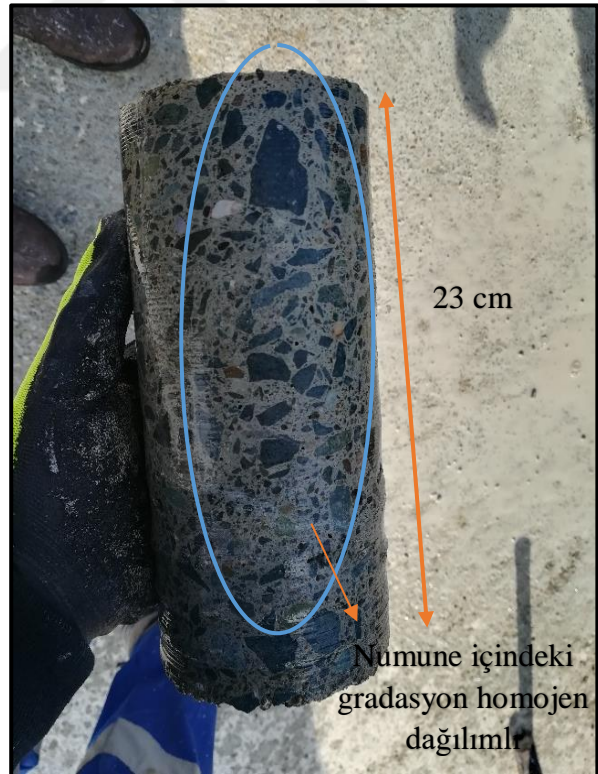
Şekil 2.12. Çayırçi mevkinde bulunan beton yolda kısmi yer yer soyulmalar



Şekil 2.13. Çayırçi Köprü-Kalınçam (11,2 km) arası beton yoldan görünüm



Şekil 2.14 Çayırıcı Köprü-Kılınçam (11,2 km) arası beton yoldan karot alınan noktalar



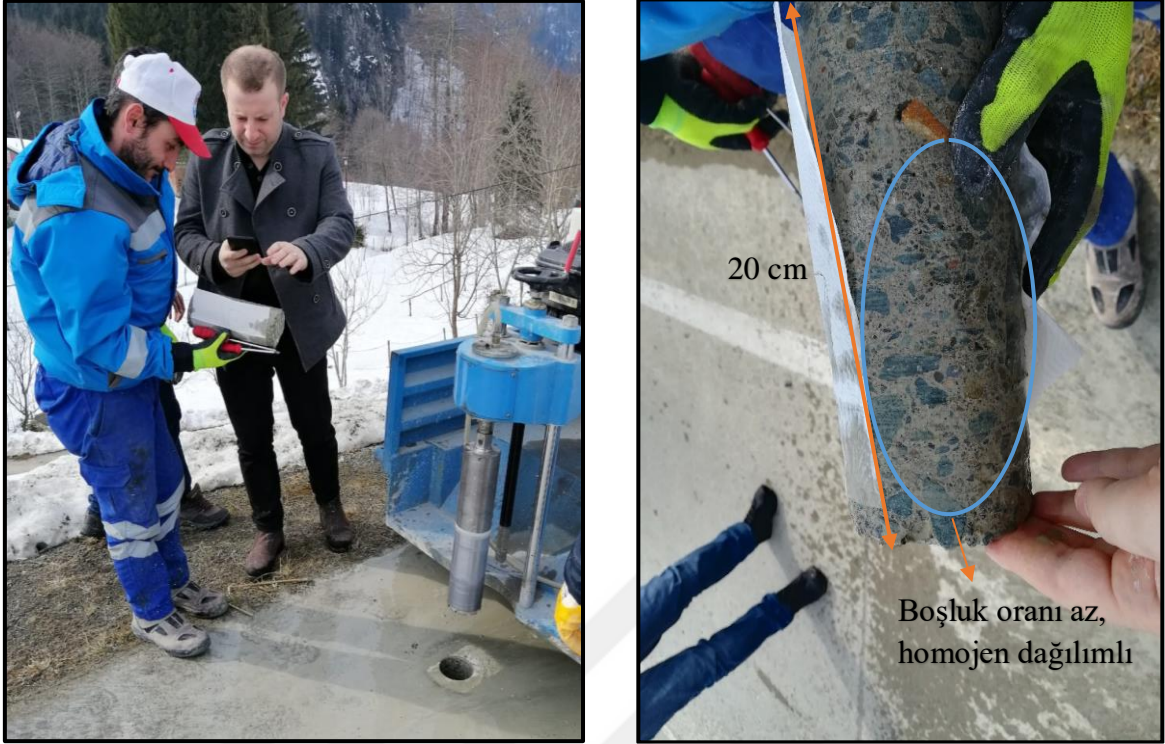
Şekil 2.15. 9+100 km alınan karot örneği (Çayırıcı Köprü-Kılınçam arası beton yol)



Şekil 2.16. 6+000 km alınan karot örneği (Çayırıçi Köprü-Kalınçam arası beton yol)



Şekil 2.17. 4+500 km alınan karot örneği (Çayırıçi Köprü-Kalınçam arası beton yol)



Şekil 2.18. 2+000 km alınan karot örneği (Çayırıçi Köprü-Kalıncam arası beton yol)

2.2.1.3. Trabzon Tonya Kalıncam-Erikbeli Yayla Arası Beton Kaplama

Karot numunesi alınan yolun proje tasarım ilkeleri ele alındığında;

İmalat Yeri : Kalıncam – Erikbeli Yayla Arası (7,2 km)

İdaresi : Trabzon Büyükşehir Belediyesi

Yolun Maliyeti: 1.900.000,00 TL

Yoldaki Beton m³ : 8 mt. x 7200 mt. x 0,2 mt. : 11520 m³

(Not: Erikbeli 1109 mt. rakım – Kadırğa 1615 mt. rakım.)

Yol Katmanları: Alttemel (Tabii zemin sıkıştırma) + Beton plak (20 cm)

Yol Genişliği : 4 mt. + 4 mt. (8 mt) yol

Projede beton kaplama kalınlığı : 20 cm

Beton sınıfı : C25/30

Agrega : Beton imalatındaki agrega tüm uygunluk testlerindeki sınır değerlere uygun olacak

Çimento : CEM II 42,5 Mpa

Donatı : İki plak arasında 80 cm aralıklarla Ø 12 donatı çaplı nervürlü donatı kullanılacak.

Derz : 5 mt. de bir ve h/3 oranında kesilecek.

(Not: Derz kesim yerlerinin 1 mt. ileri ve gerisinden donatı yerleştirme işlemi başlayacak.

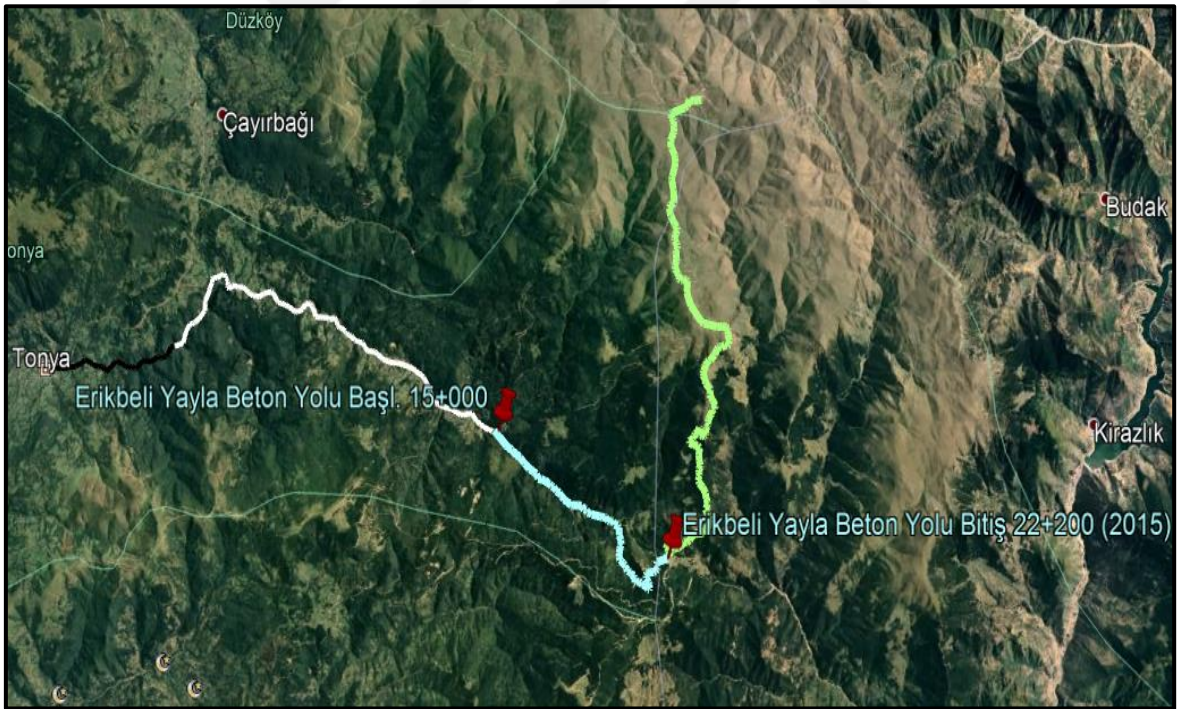
Uygulama Süresi : Betonun santralinde üretilen beton, üretildiği andan itibaren tüm süreçler dahil (kamyonu yüklemeye, döküm alanına taşınma, finişer haznesine dökülme ve yola uygulanması) 45 dakika içerisinde uygulanmak zorundadır. Bu zaman hava sıcak olması durumunda daha kısa bir zaman içerisinde gerçekleştirilecek ve tüm tedbirler ona göre alınacak.)

Kür : Bütün kür uygulama testlerine uygun olan kür, 1 m²'ye 300 gr olacak şekilde betonun dökümünden 1 saat sonra yüzeye uygun şekilde püskürtülecek.

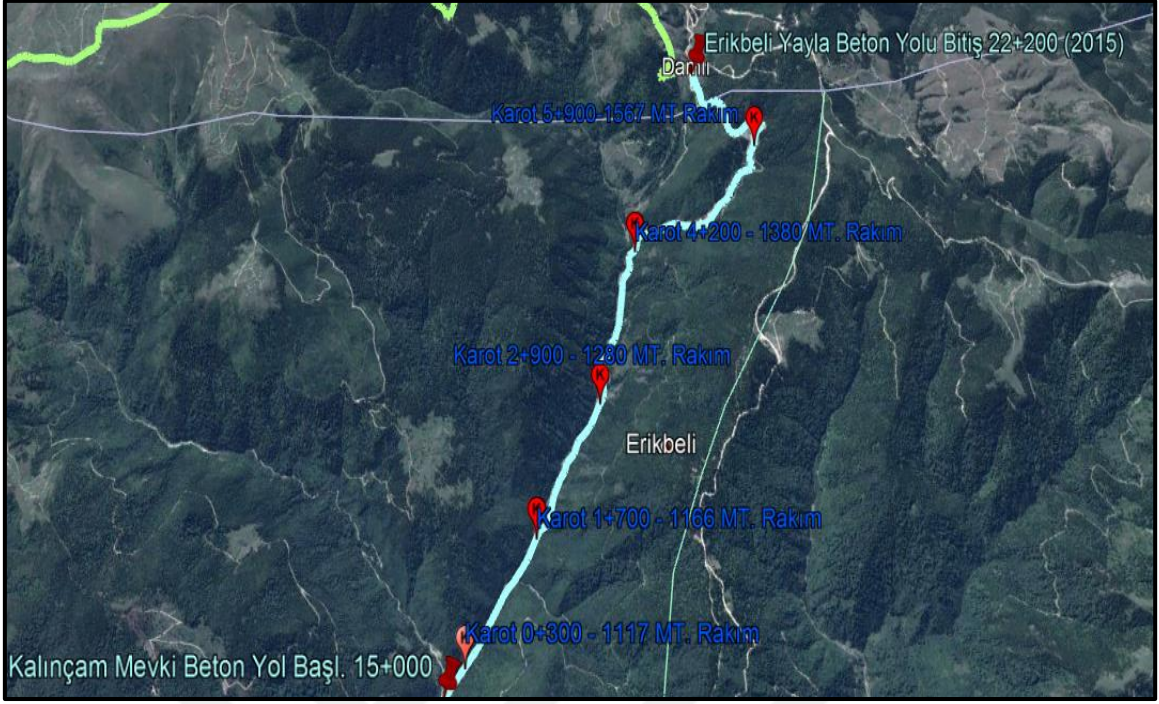
Numune : Küp numuneler set halinde her 100 m³'de bir 6 adet (2 adet 7 günlük, 4 adet 28 günlük 15x15x15 küp ile alınacak. Alınan numuneler TS 500 ve TS EN 206 standartlarında kalite kontrol kriterlerine uygun olacak.

Slump (Kıvam) : Uygulama anında 2 cm olacak. Ona göre üretim aşamasında su miktarı ayarlanacaktır.

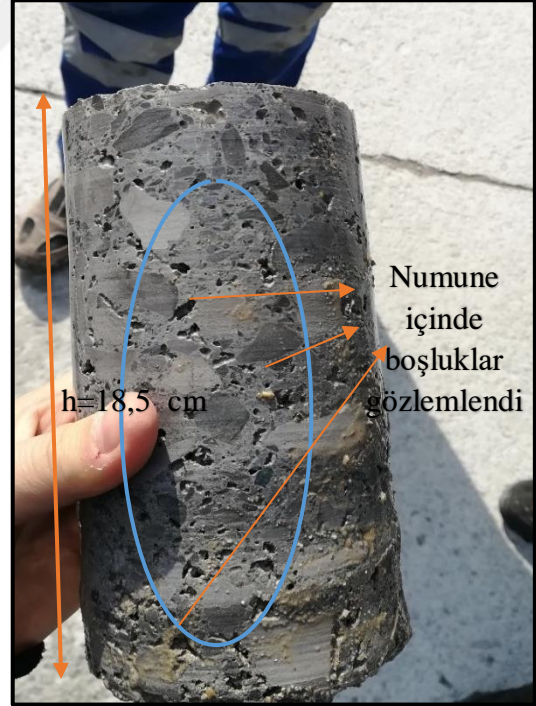
Hava sıcaklığı : + 5 °C' den düşük sıcaklıklarda beton üretimi kesinlikle yapılmayacak.



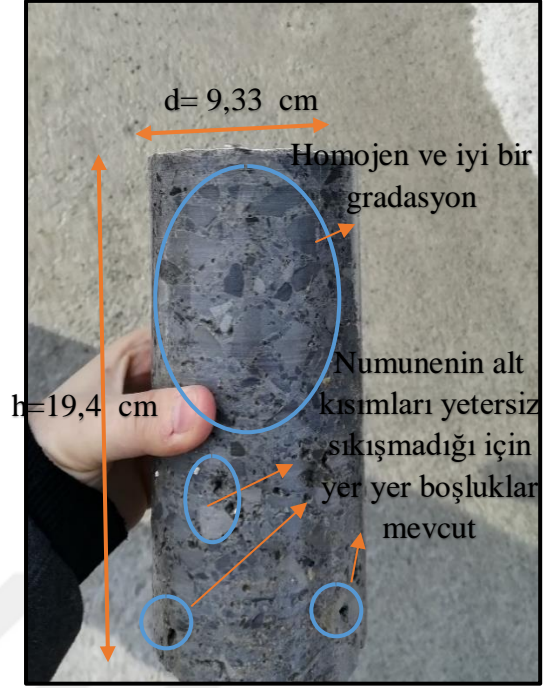
Şekil 2.19 Kalınçam – Erikbeli Yayla beton yol hattı (15+000-22+200) yapım yılı-2015



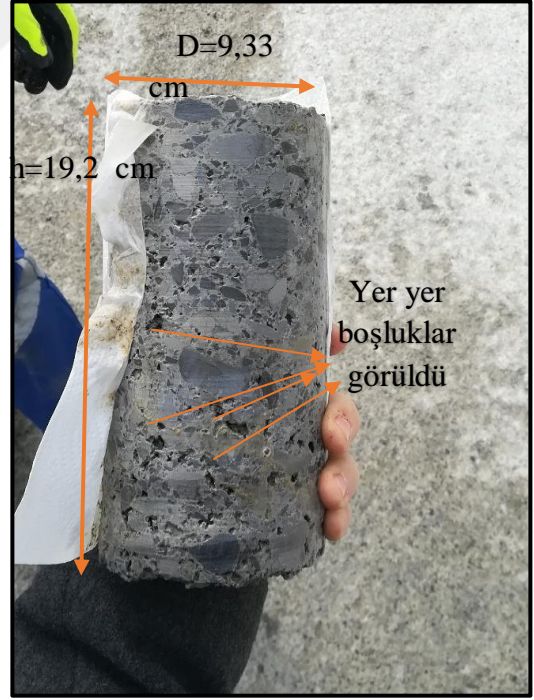
Şekil 2.20. Karot alınan noktaların g.earth gösterimi (Kalınçam-Erikbeli beton yolu)



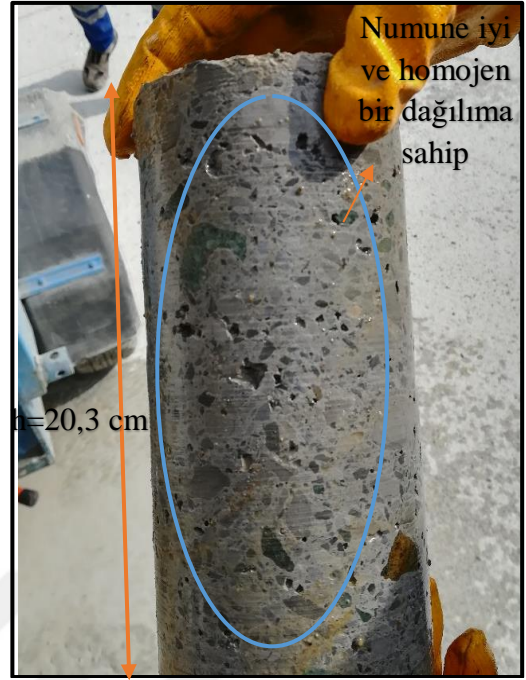
Şekil 2.21. 0+300 mt. den alınan beton karot numunesi (Kalınçam-Erikbeli beton yolu)



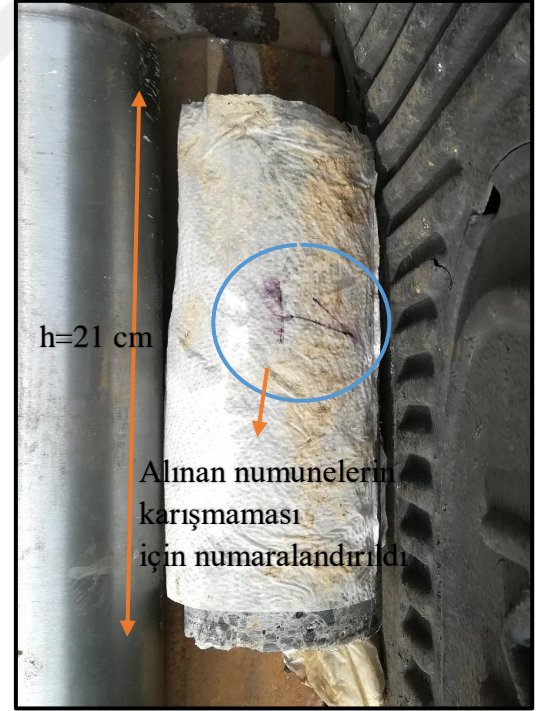
Şekil 2.22. 1+700 mt. den alınan beton karot numunesi (Kalınçam-Erikbeli beton yolu)



Şekil 2.23. 2+900 mt. den alınan beton karot numunesi (Kalınçam-Erikbeli beton yolu)



Şekil 2.24. 4+200 mt. den alınan beton karot numunesi(Kalınçam-Erikbeli beton yolu)



Şekil 2.25. 5+900 mt. den alınan beton karot numunesi (Kalınçam-Erikbeli beton yolu)



Şekil 2.26. İş yeri başlangıç tabelasından görünüm (Kalınçam-Erikbeli beton yol 7,2 km)



Şekil 2.27. Kalınçam-Erikbeli arası beton yolda kısmi soyulma ve derz birleşim çatlakları

2.2.1.4. Trabzon Tonya Erikbeli - Kadirga Yayla Arası Beton Kaplama

Karot numunesi alınan yolun proje tasarım ilkelerinden bahsederek;

İşin Adı : Erikbeli-Kadirga Yaylası Beton Yol ve Beton Kanal Yapım İşİ 14km

İmalat Yeri : Erikbeli Yaylası-Kadirga Yayla Arası (14 km)

Yolun Maliyeti: 10.500.000 TL + KDV

İşin Süresi : 800 gün

Yoldaki Beton m³ : 8 mt. x 14000 mt. x 0,2 mt. : 22400 m³

Kanaldaki Beton m³ : 2 mt. x 14000 mt. x 0,2 mt. : 5600 m³

(Not: Erikbeli 1615 mt. rakım – Kadirga 2280 mt. rakım.)

Yol Katmanları: Alttemel (Tabii zemin sıkıştırma) + Temel (25 cm) + Beton plak (20 cm)

Yol Genişliği : 4 mt. + 4 mt. (8 mt) yol - 2 mt. kanal

Projede beton kaplama kalınlığı : 20 cm

Beton sınıfı : C30/37

Kullanılacak katkılar : Hava sürükleyici ve akışkanlaştırıcı

Agrega : Beton imalatındaki agrega tüm uygunluk testlerindeki sınır değerlere uygun olacak

Çimento : CEM II 42,5 Mpa

Donatı : İki plak arasında 80 cm aralıklarla Ø 12 donatı çaplı nervürlü donatı kullanılacak.

Derz : 5 mt. de bir ve h/3 oranında kesilecek.

(Not: Derz kesim yerlerinin 1 mt. ileri ve gerisinden donatı yerleştirme işlemi başlayacak.

Uygulama Süresi : Betonun santralinde üretilen beton, üretildiği andan itibaren tüm süreçler dahil (kamyonla yükleme, döküm sahasına taşıma, finişer haznesine dökme ve yola uygulanması) 45 dakika içerisinde uygulanmak zorundadır. Hava sıcak olması durumunda daha kısa bir zaman içerisinde gerçekleştirilecek ve tüm tedbirler ona göre alınacak.)

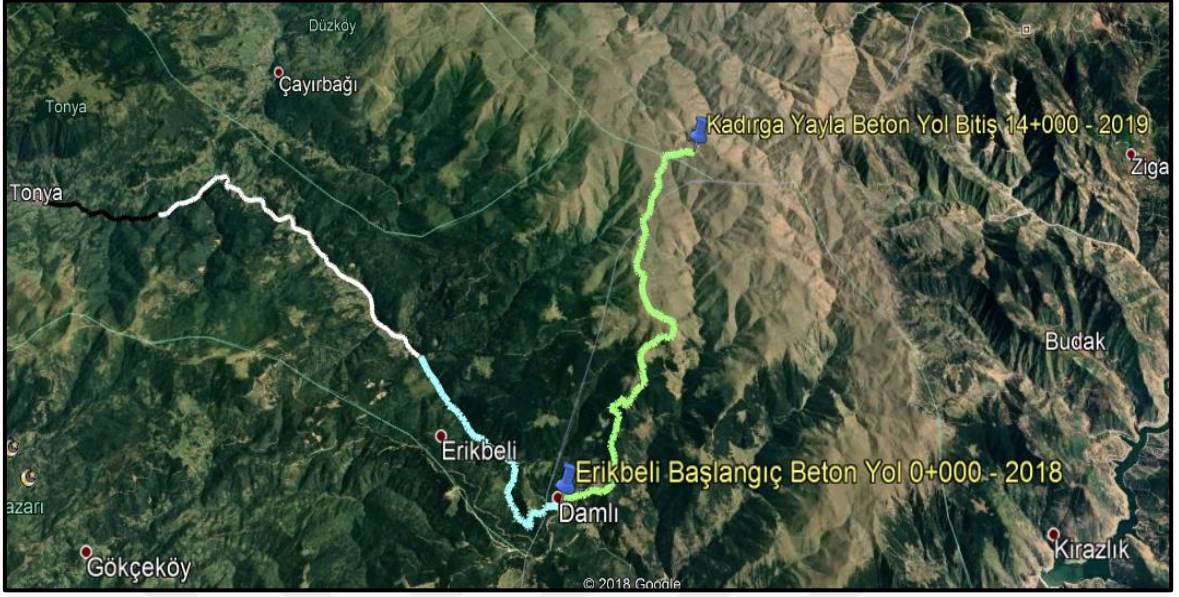
Kür : Bütün kür uygulama testlerine uygun olan kür, 1 m²'ye 300 gr olacak şekilde betonun dökümünden 1 saat sonra yüzeye uygun şekilde püskürtülecek.

Yüzey bitirme : Beton plakın üst yüzeyi tel süpürge enine pürüzlendirilecek.

Numune : Küp numuneler set halinde her 100 m³'de bir 6 adet (2 adet 7 günlük, 4 adet 28 günlük 15x15x15 küp ile alınacak. Alınan numuneler TS 500 ve TS EN 206 standartlarında kalite kontrol kriterlerine uygun olacak.

Slump (Kıvam) : Uygulama anında 2 cm olacak. Ona göre üretim aşamasında su miktarı ayarlanacaktır.

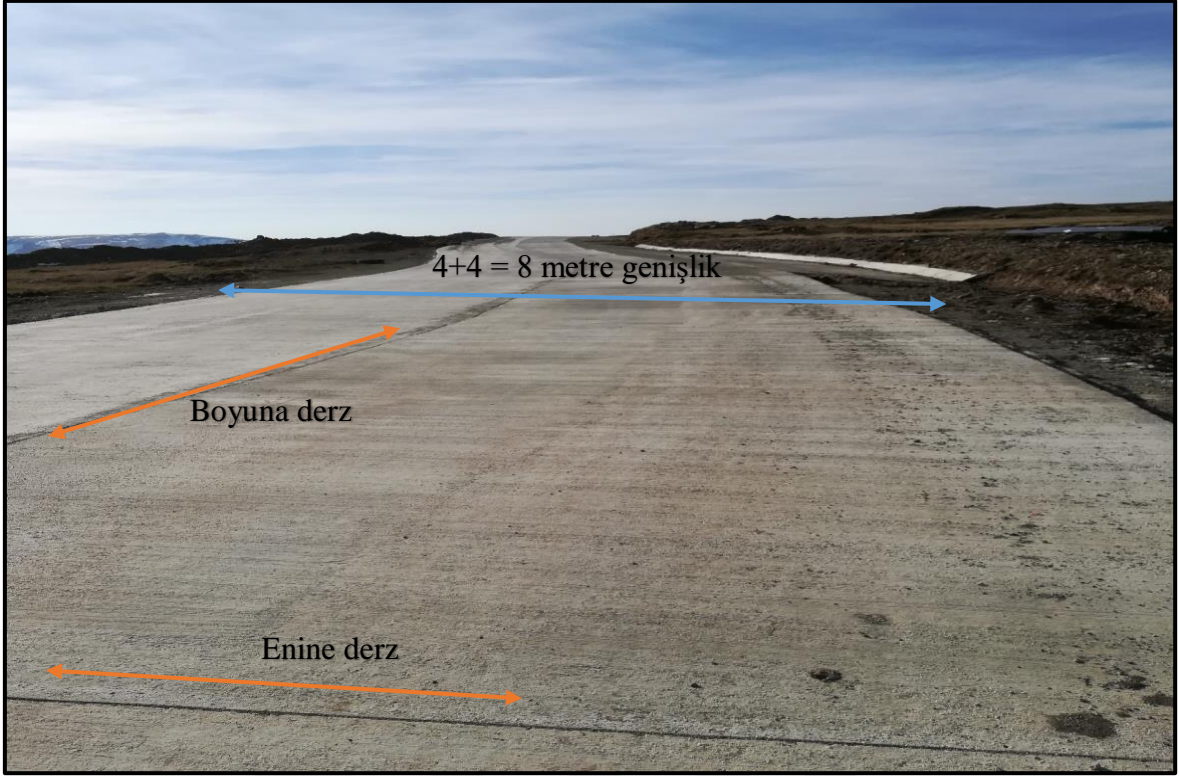
Hava sıcaklığı : + 5 °C' den düşük sıcaklıklarda beton üretimi kesinlikle yapılmayacak.



Şekil 2.28. Erikbeli-Kadirga finişerli beton yol uygulaması uydu görünümü (14 km.)



Şekil 2.29. Erikbeli Yaylası beton yol inşaatı işinin başlangıç noktası tabelası



Şekil 2.30. Tonya-Erikbeli-Kadırğa (Turizm Yolu) yeşil yol beton yolundan görünüm



Şekil 2.31. Erikbeli - Kadırğa yayla arası beton yol hattı boyunca karot alınan noktalar

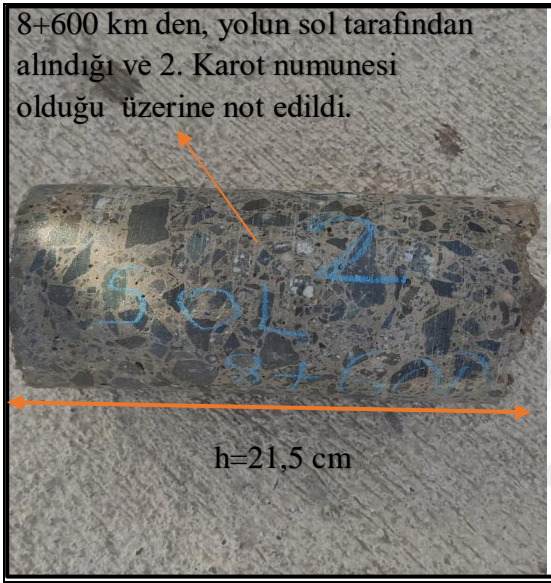
Yol üzerinden belirlenilen yerlerden hem dane dağılımı hem de yapılan imalatın kalınlığını görebilmek ve kırılma yükünü tespit etmek amacı ile beton yol kaplamasından belirli noktalardan karot makinası yardımı ile numuneler alınması gerekmektedir.

Bu amaçla yukarıda görüldüğü üzere Erikbeli yaylasını 0+000 mt. (başlangıç noktası) olarak Kadırğa yaylasına doğru 8+300 mt.'den ilk karot numunesi alındı. Karot makinası numuneyi silindirik bir şekilde beton plaktan aldıktan sonra üzerine kaçınıcı km den alındığı notu düşülmüştür. Sonra hemen dane dağılımı ve boşluk yapısının uygun oranlarda olup olmadığı ile agrega dağılımının homojen olduğu tespit edilmiştir. Bununla birlikte alınan karot numunesinin kalınlığı ölçülmüş, 20,5 cm olduğu ortaya çıkmıştır. Projede belirlenmiş kalınlık 20 cm , dayanım sınıfı ise C30/37'dir. Bu dayanım sınıfına göre kırılma testine tabi tutularak uygunluğu da ortaya konulacaktır.



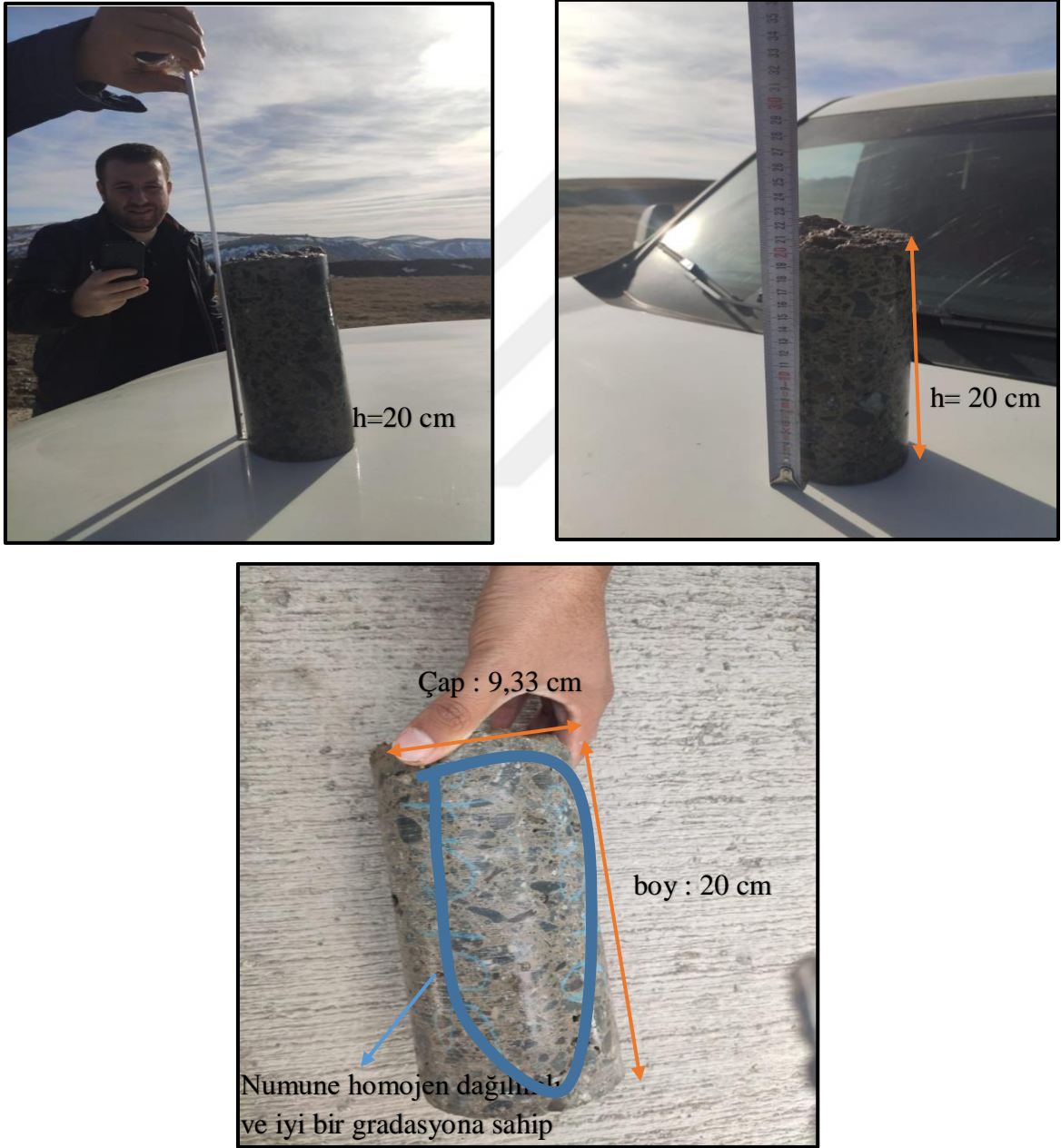
Şekil 2.32. Erikbeli – Kadırğa yolu 8+300 km den karot numunesi görünümleri

Erikbeli-Kadırğa Yaylası istikametindeki ikinci karot numunesi 8+600 mt.'den alındı. Karot makinası numuneyi silindirik bir şekilde beton plaktan aldıktan sonra üzerine kaçınıcı km den alındığı notu düşülmüştür. Yapısal dane dağılımı ve boşluk yapısının uygun oranlarda olup olmadığı ile agrega dağılımının homojenliği tespit edilmiştir. Bununla birlikte alınan silindirik numunenin kalınlığı ölçülmüş, 21,5 cm olduğu ortaya çıkmıştır. Projede belirlenmiş kalınlık 20 cm , dayanım sınıfı ise C30/37'dir. Bu dayanım sınıfına göre kırılma testine tabi tutularak uygunluğu da ortaya konulmuş olacaktır.



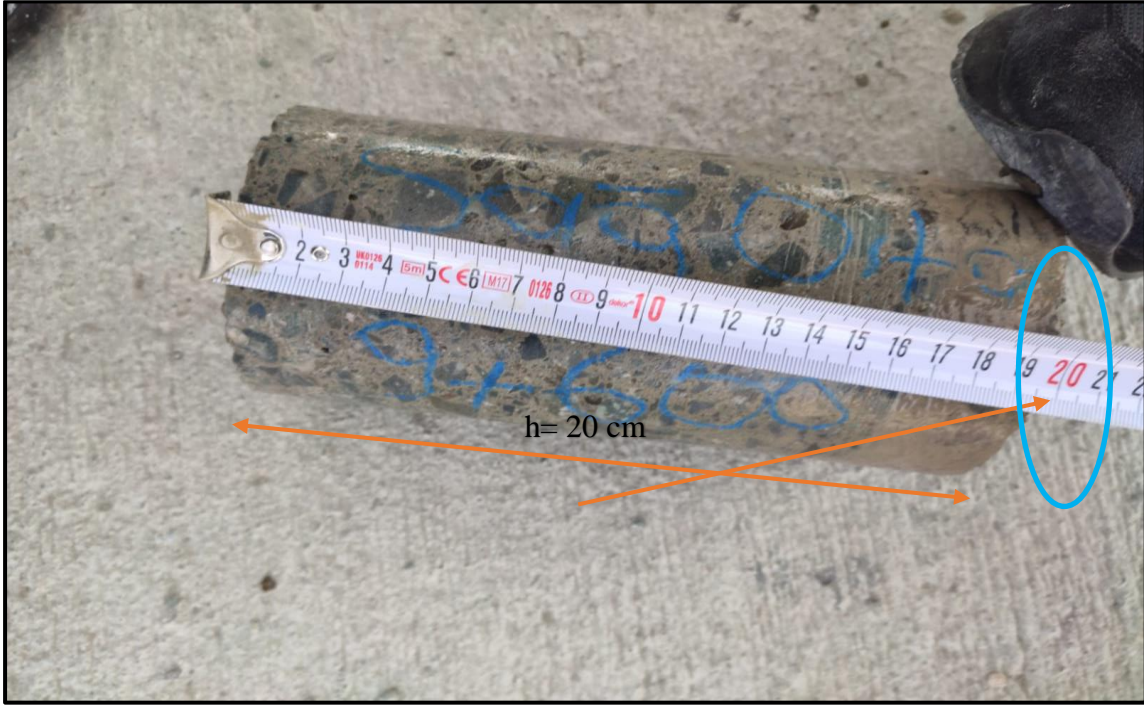
Şekil 2.33. Erikbeli Kadırğa 8+600 karot numuneleri ve ölçümleri

Yol üzerindeki 3. karot numunesi 9+000'den alındı Karot makinası numuneyi silindirik bir şekilde beton plaktan aldıktan sonra üzerine kaçınıcı km den alındığı notu düşülmüştür. Yapısal dane dağılımı ve boşluk yapısının uygun oranlarda olup olmadığı ile agrega dağılımının homojenliği tespit edilmiştir. Bununla birlikte alınan silindirik numunenin kalınlığı ölçülmüş, 20 cm olduğu ortaya çıkmıştır. Bu dayanım sınıfına göre kırılma testine tabi tutularak uygunluğu da ortaya konulmuş olacaktır.



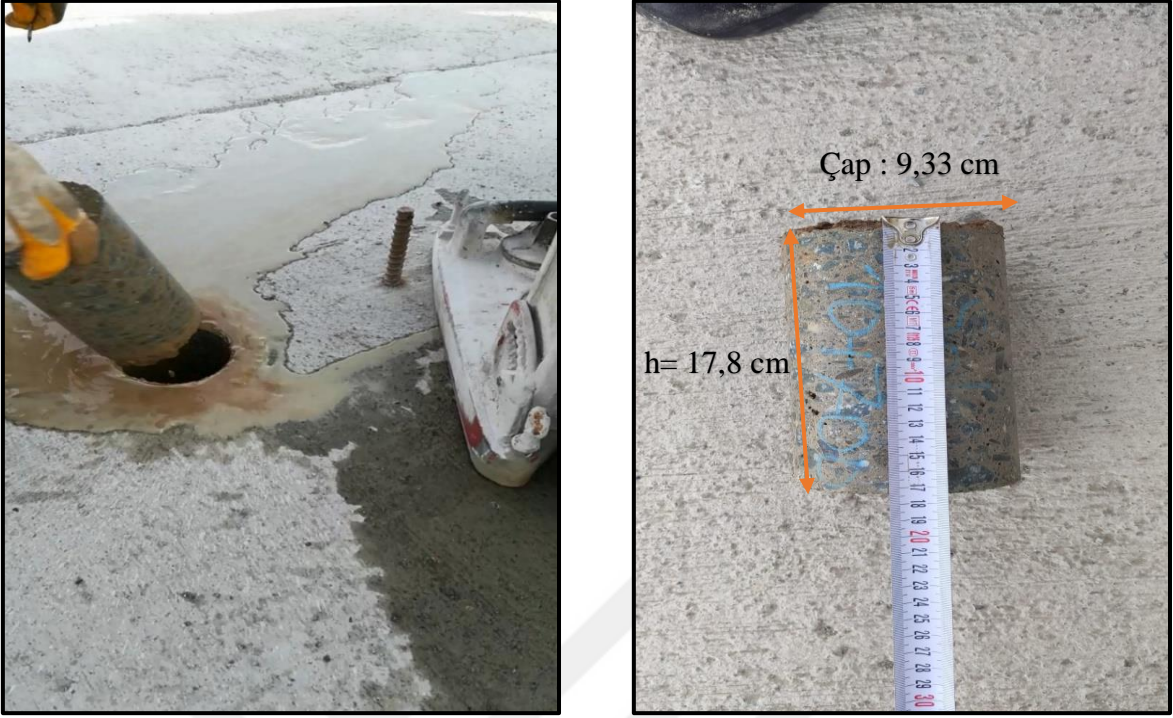
Şekil 2.34. Erikbeli-Kadırğa 9+000 karot numunesi ve ölçümleri

Yol üzerindeki 4. karot numunesi 9+600'dan alındı. Karot makinası numuneyi silindirik bir şekilde beton plaktan aldıktan sonra üzerine kaçınıcı km den alındığı notu düşülmüştür. Yapısal dane dağılımı ve boşluk yapısının uygun oranlarda olup olmadığı ile agrega dağılımının homojenliği tespit edilmiştir. Bununla birlikte alınan silindirik numunenin kalınlığı ölçülmüş, 20 cm olduğu ortaya çıkmıştır. Bu dayanım sınıfına göre kırılma testine tabi tutularak uygunluğu da ortaya konulmuş olacaktır.



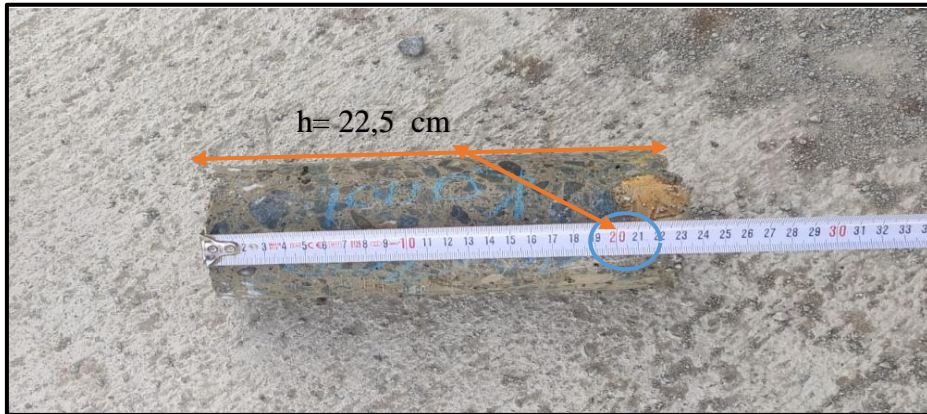
Şekil 2.35. Erikbeli Kadirga 9+600 karot numuneleri ve ölçümleri

Yol üzerindeki 5. karot numunesi ise 10+700'den alındı. Karot makinası numuneyi silindirik bir şekilde beton plaktan aldıktan sonra üzerine kaçınıcı km den alındığı notu düşülmüştür. Yapısal dane dağılımı ve boşluk yapısının uygun oranlarda olup olmadığı ile agrega dağılımının homojenliği tespit edilmiştir. Bununla birlikte alınan silindirik numunenin kalınlığı ölçülmüş, 17,8 cm olduğu ortaya çıkmıştır. Bu dayanım sınıfına göre kırılma testine tabi tutularak uygunluğu da ortaya konulmuş olacaktır.



Şekil 2.36. Erikbeli Kadirga 10+700 karot numuneleri ve ölçümleri

Yol üzerindeki 6. karot numunesi ise 10+900'den alındı. Karot makinası numuneyi silindirik bir şekilde beton plaktan aldıktan sonra üzerine kaçınıcı km den alındığı notu düşülmüştür. Yapısal dane dağılımı ve boşluk yapısının uygun oranlarda olup olmadığı ile agrega dağılımının homojenliği tespit edilmiştir. Bununla birlikte alınan silindirik numunenin kalınlığı ölçülmüş, 22,5 cm olduğu ortaya çıkmıştır. Bu dayanım sınıfına göre kırılma testine tabi tutularak uygunluğu da ortaya konulmuş olacaktır.



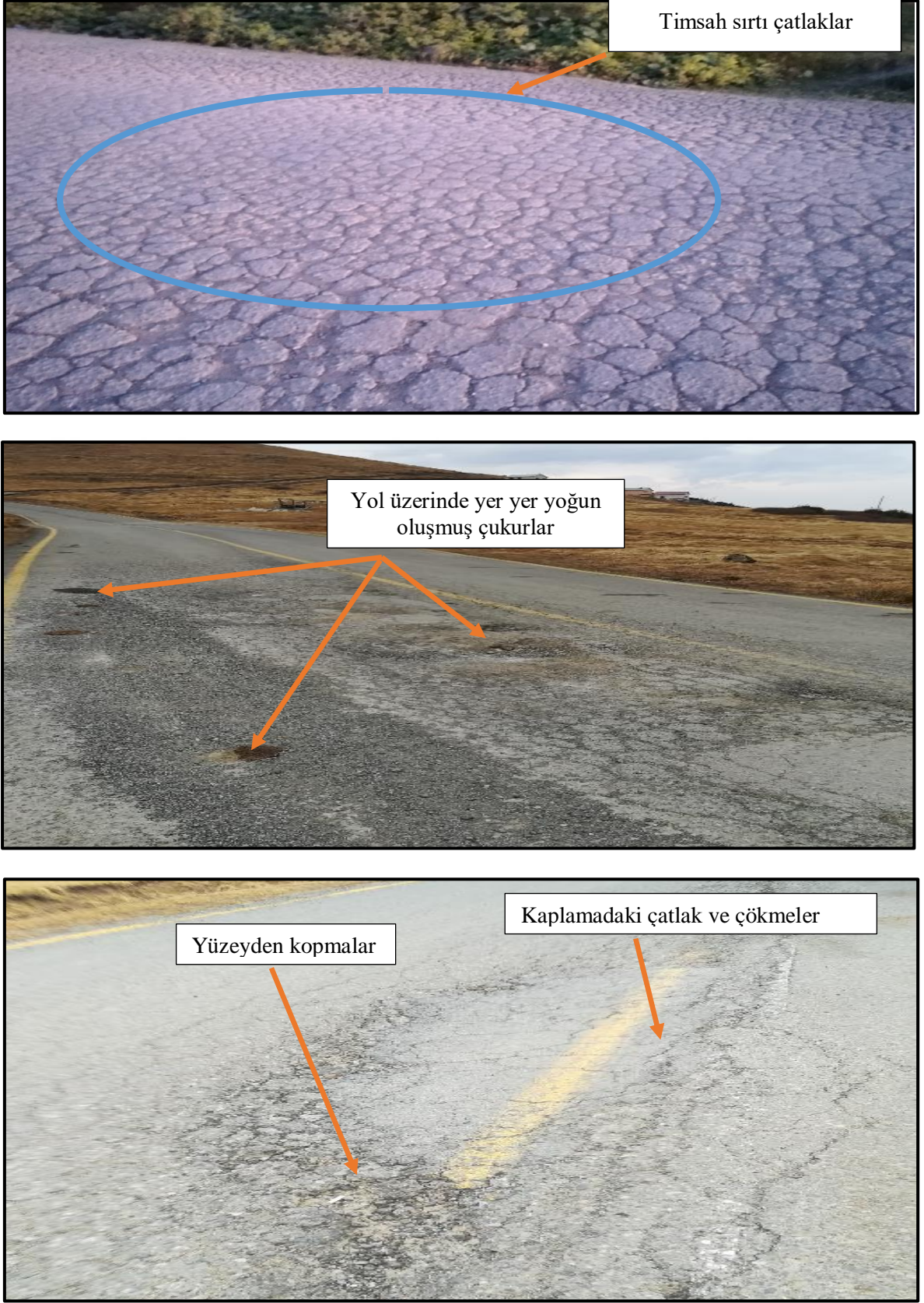
Şekil 2.37. Erikbeli Kadirga 10+900 karot numuneleri ve ölçümleri

2.2.1.5. Çaykara-Dernekpazarı ve Sultanmurat Yolu Asfalt Kaplama

Ayrıca yaklaşık 8 mt. genişlikte yol platform ve 1.5 mt. civarında da kanal kısmı bırakılan ve de 2013-2014 yıllarında Sultanmurat yaylasını aykara ve Dernek pazarı ilçelerimize bağlayan güzergahta temel + asfalt (BSK) kaplama imalatı yapılmıştır. Asfalt kısmı belediye tarafından üretilmiştir. Yüklenici firma tarafından aldığı asfaltın ve temel tabakalarının serme-sıkıştırma ve diğer işlemlerini uygulayarak yolu tamamlamıştır. Şekil 2.38’de yapım aşamasından görseller bulunmaktadır.



Şekil.2.38. Sultanmurat Yaylası - Dernekpazarı yolu üzeri asfalt yol yapımı (2014 yılı)



Şekil.2.39. Sultanmurat Yaylası - Dernekpazarı yolu asfalt yolun son durumu (yıl 2019)

2.2. Yapılan Labaratuvar Çalışmaları

Asfalt ve beton kaplamaların iyi kalitelerde yapılması ve yıllar boyunca dayanıklılığını kaybetmemesi mühendislik yapıları olan yollar için önem arz etmektedir. Asfalt ve beton karışımlarındaki her bileşenin üretimin her aşamasında şartnamelerdeki ve standartlardaki değerler asfalt yol kaplamalarının tasarım, yapım ve denetim süreçleri için [71,72], beton yol kaplamaları için ise [73] göz önünde bulundurulmalıdır.. Bu da yolların servis ömürlerini artıracığından bakım-onarım maliyetlerini, hatta tekrar yapım maliyetlerini önemli ölçüde azaltacaktır.

2.2.1. Beton Sınıfları ve Dayanım Kriterleri

Basınç dayanımı, çapı 15 cm ve kesit yüksekliği 30 cm olan deney silindirlerinin 28 günün sonunda, tek eksenli basınç deneyine Beton karakteristik basınç dayanımı f_{ck} olarak tanımlanır. Gerekliğinde basınç dayanımı, küp deneylerinden de elde edilebilir. Böyle durumlarda f_{ck} , geçerliliği deneylerle kanıtlanmış katsayılarla dönüştürülür. Aşağıdaki tabloda yer alan f_{ck} değerleri boyutlar 20 cm olan küplere göre verilmiştir. Boyutları 15 cm olan küp numuneleri için bu değerler f_{ck} değerini tespit etmek için tablodaki değerler yaklaşık %5 civarında artırılır.

Tablo 2.1. - Beton sınıfları ve dayanımları [74].

Beton Sınıfı	Karakteristik Basınç Dayanımı, f_{ck} MPa	Eşdeğer Küp (200 mm) Basınç Dayanımı MPa	28 günlük Elastisite Modülü, E_c MPa
C16	16	20	27000
C18	18	22	27500
C20	20	25	28000
C25	25	30	30000
C30	30	37	32000
C35	35	45	33000
C40	40	50	34000
C45	45	55	36000
C50	50	60	37000

Tablo 2.1’de beton sınıflarına karşılık gelen karakteristik dayanımları (f_{ck}), 20 cm küp için basınç dayanımı ve elastisite modülleri megapaskal (MPa) olarak ifade edilmektedir. Beton kaplamanın dayanımını belirleyebilmek için beton plağa tam derinliği delinecek şekilde karot alma işlemine uygulanır. Karot numunelerinin dayanım sınıfını doğru şekilde tespit etmek için betonun en az 28 günlük olmaları gerekmektedir. Karotlar alındıktan sonra numunelerin boy/çap oranlarına göre başlıklama ve yüzey düzeltme işlemi yapılır. Boy/çap oranı 1’e eşit olmayan karotların test edilmesi gerektiğinde Tablo 2.2’deki düzeltme faktörleri kullanılabilir [73]

Tablo 2.2. Karotların boy/çap oranlarına göre için düzeltme faktörleri [73].

Boy/Çap oranı	Düzeltilme faktörü
1,00	1,00
1,25	1,07
1,50	1,12
1,75	1,16
2,00	1,18

Tabloda görüldüğü üzere karakteristik karot dayanımı (f_{ck} , core), boy/çap oranı 1,0 olan karotlara ait değerleridir. Beton kaplamanın değerlendirilmesinde kullanılan minimum karot basınç dayanımı kriterleri Tablo 2.3’de verilmektedir.

Tablo 2.3. Beton kaplamanın değerlendirmesinde alınan karotların basınç dayanımı uygunluk kriterleri [74].

Dayanımın değerlendirilme yöntemi (C30/37)	Kriter 1	Kriter 2
	Ard arda herhangi 4 sonucun ortalaması (MPa)	Herhangi bir tek sonuç (MPa)
Karot basınç testi	S f_{ck} , core + 4	S f_{ck} , core - 4
	S 34 MPa (30+4)	S 26 MPa (30-4)

Tabloda karotların basınç testi sonuçlarına göre değerlendirme kriterleri görülmektedir. Buna C30/37 sınıfı bir betonun karot basınç testi sonucu minimum 26 MPa (30-4) , ard arda alınan dört (4) adet) numunenin sonucu ise ortalama 34 MPa (30+4) olmalıdır.

2.3.1.1. Beton Karotlara Uygulanan İşlemler

Arazi çalışmaları kapsamında Şekil 2.40'da görülen ve numaralandırılan tüm beton karot numunelerinin kalınlıkları ölçüldü. Uygulama yapılan beton yollardaki proje kalınlığı 20 cm olduğundan karşılaştırma yapıldı.



Şekil 2.40. Alınan tüm beton karot numuneleri Erikbeli yaylası-Tonya istikametine doğru artacak şekilde numaralandırılmıştır



Şekil 2.41. Beton karot numunelerinin kalınlıklarının ölçülmesi

Karot makinası ile alınan numuneler kompasla milimetrik ölçüldü ve beton karot numunelerinin tümünün 93,3 mm çapında olduğu görülmüştür. Ancak alınan bütün numunelerin kalınlıkları değişkendir. Bu nedenle tüm numuneler 1/1 oran olacak şekilde (93,3 mm kalınlıkta) karot başlık düzeltme işlemleri uygulanmıştır. Beton yollardan alınan tüm numunelere değişken kalınlıkları ve düzgünsüz alt-üst tabakaları olduğundan dolayı bu düzeltme işlemi uygulanmıştır. Başlık düzeltmesi yapılması en doğru basınç mukavemetinin bulunması açısından son derece önemlidir.

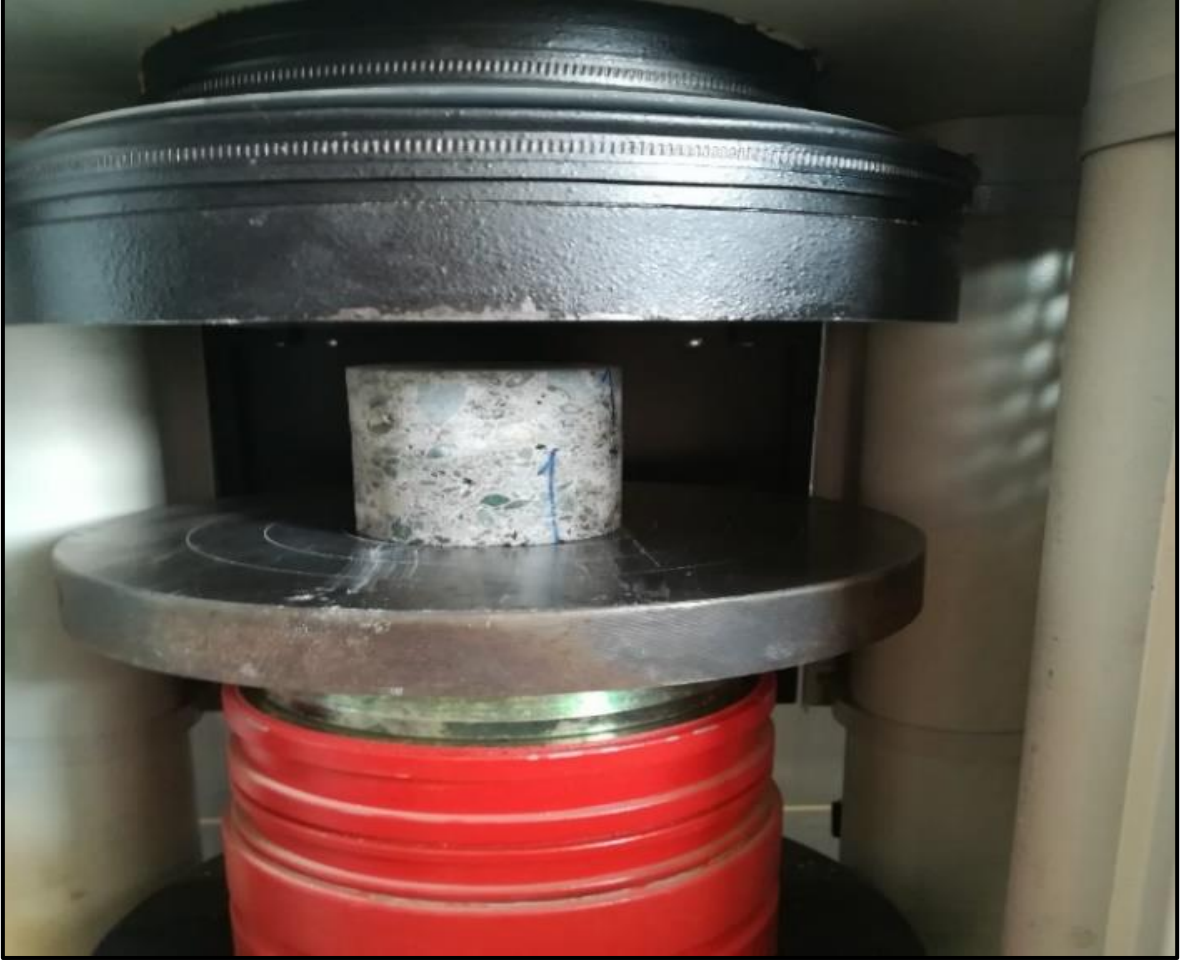


Şekil 4.42. Karot başlık düzeltme işlemi yapılması



Şekil 2.43. Kompasla karot çap ölçümü

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı akreditasyonu olan laboratuvarca alınan ve l/d oranı = 1 olacak şekilde kesilen karot numunelerimize (9,33 cm çap, 9,33 kalınlığa ve 68,54 cm² üst ve alt yüzey alanına sahip silindirlerimiz) 0,4 MPa/sn yükleme hızı ile kırım testleri uygulanmıştır.



Şekil 2.44. 1 nolu beton karot numunesi basınç testi yapılmadan düzgünce yerleştirildi

Kesilen tüm karotlar hangi yoldan alındığı ve kaç numaralı karot olduğu tekrar not kağıdına yazılarak üstlerine yapıştırıldı.



Şekil 2.45. Başlıklama işlemi yapılan tüm beton numuneleri hazırlandı ve numaralandırıldı

2.3.1. Asfalt Karışımın Stabilite ve Dayanıklılık Kriterleri

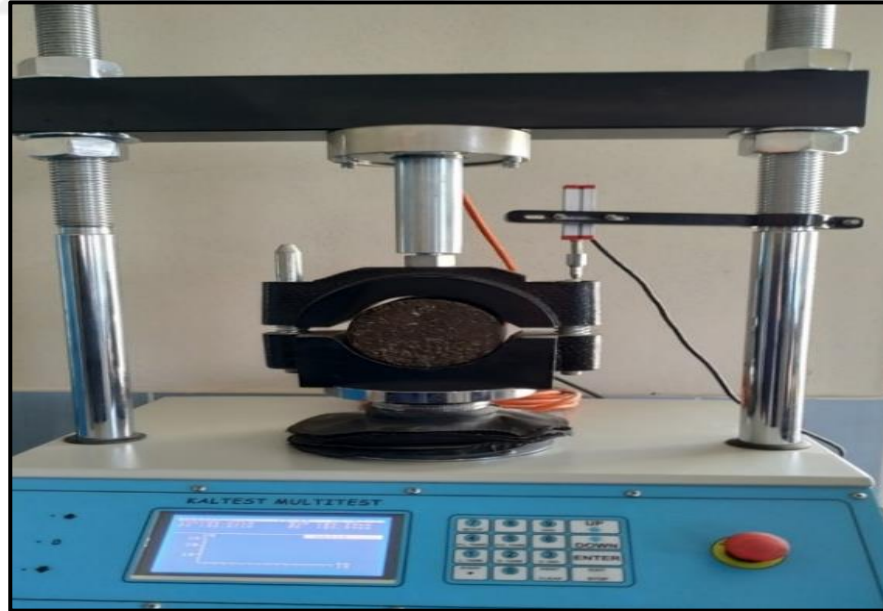
Asfalt kaplamalara uygulanan testlerde ihtiyaçlar doğrultusunda yapılacak olan yolların dayanıklılık ve stabilite hesaplanması son derece önemlidir. Kaplama karışımlarının tasarlanmasında en yaygın olarak Marshall Test Yöntemi karşımıza çıkmaktadır. Bu yöntem ASTM (American Society Testing and Materials) (Amerikan Deney ve Materyal Topluluğu tarafından standartlaştırılmış ve ülkemizde kabul gören ve kullanılan bir yöntemdir. 25 mm ve daha küçük çapta agrega içeren karışımlarda uygulanabilen bu yöntem BSK (bitümlü sıcak karışım) ların labaruar şartlarında tasarlanması için esas itibarı ile kullanılmaktadır. Marshall testi bitümlü sıcak karışımların akmaya karşı direncinin marshall aleti yardımıyla tespit etmektedir [75]. Sıcak karışımdaki agregaların gradasyonları, fiziksel özellikleri, cinsi ve optimum bitüm miktarının tespit edilmesi ve tüm tespit edilen değerlerin Karayolları Teknik Şartnamesinde belirtilen limit değerlere uygun olması servis ömrü boyunca dayanıklı bir yolun ortaya çıkmasında önemli bir yer tutmaktadır. Marshall test yöntemi ile sıcak karışımın maksimum stabilite değerini elde ederken en uygun bitüm yüzdesi gözlemlenmekte, böylece karışımdaki en uygun bitüm yüzdesi-maksimum stabilite değerlerine ulaşılması amaçlanmaktadır.

2.3.2. Plent Üretimi Asfalt (BSK) Karışıma Marshall Testi Uygulaması

Asfalt plentinden alınan BSK'nın sıcaklığını korumak amacıyla 160 °C'de etüve beklemeye alındı. Toplam ağırlığı aşınma tabakası için uygulanacağı için 1200 gr ağırlıkta olacak şekilde 3 adet numune hazırlandı. Hazırlanan numuneler dip kısmına filter kağıdı konularak marshall çekici kalıplarına yerleştirildi. İlk önce 25 kere darbelenerek iyice sıkıştırılması sağlandı. Sıkıştırılan kalıplara 18 inç mesafeden arkalı ve önlü olacak şekilde 75 darbe uygulandı ve bir gece beklemeye alındılar [72].

Tablo 2.4. Aşınma tabakası için marshall tasarımında darbe, stabilite ve akma kriterleri

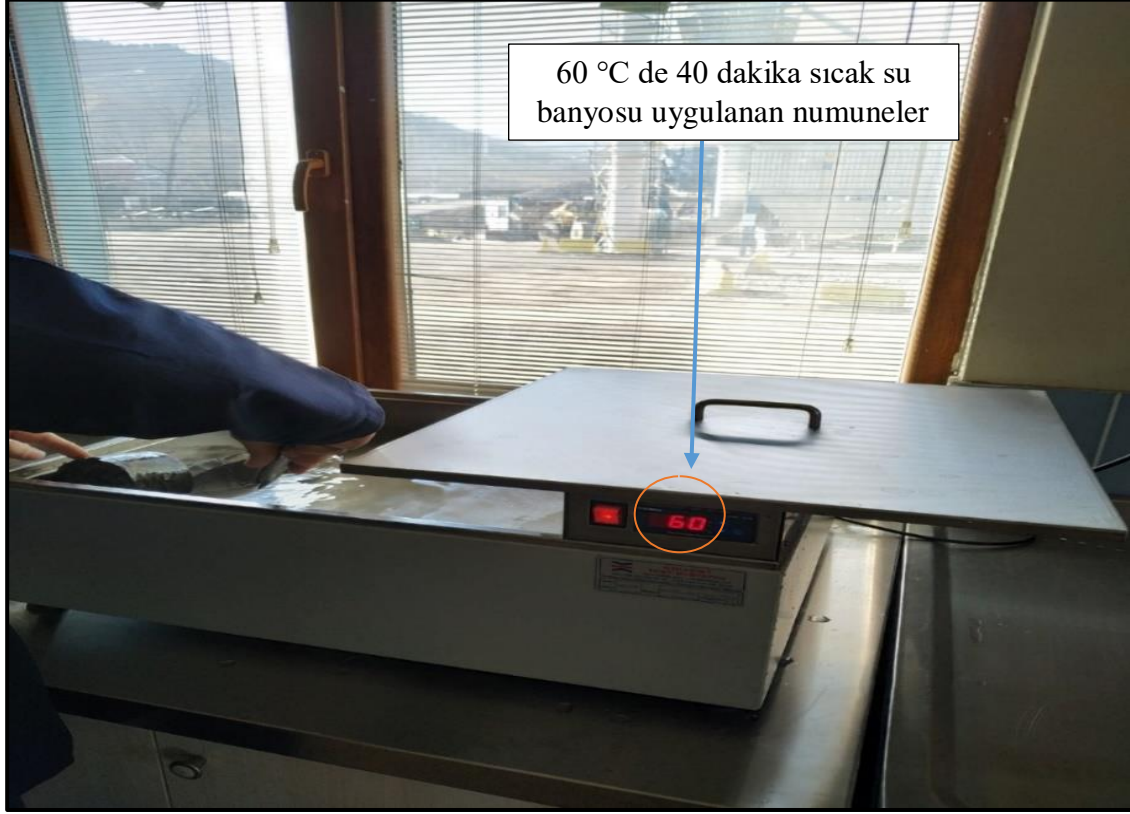
Tasarım Kriteri	Deney Standartı	Aşınma Tip-1
Sıkıştırma, her bir yüzey için darbe sayısı	TS EN 12697-30	75
Stabilite (kg)	TS EN 12697-34	900
Akma (mm)	TS EN 12697-34	2-4



Şekil 2.46. Marshall akma ve stabilite test ölçüm cihazı

Daha sonra briketler yaklaşık 40 dakika boyunca 60°C su banyosunda istenilen sıcaklığa getirmek için bekletildi. Banyodan çıkarılan briketler cihaza yerleştirilip, (50,8

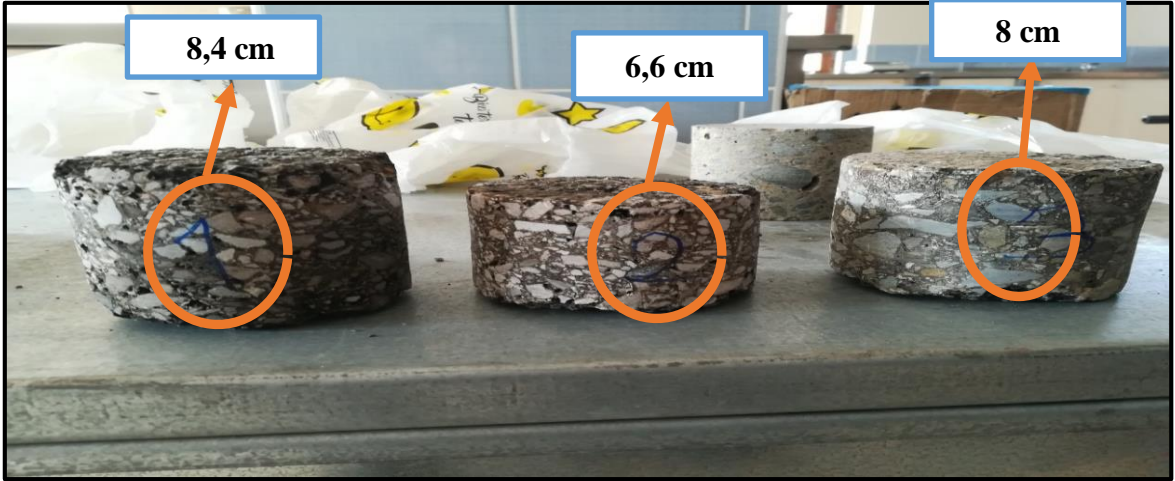
mm) 2 inç yükleme hızı ile test uygulanmıştır. Cihazdan okunan değer bize maksimum yükü (kN) ve akma değerini vermektedir [43].



Şekil 2.47. Numuneler Marshall test cihazına girmeden önce 60 °C sıcaklıkta 40 dakika bekletildi.

2.3.4. Asfalt Karotlara Marshall Akma ve Stabilitate Testi Uygulanması

Trabzon Tonya Merkez Kaleönü mahallesi Çayırıçi Köprüsü arası 3,8 km uzunluktaki asfalt kaplama yolda üretilen BSK, asfalt plentinde şartname limitleri dikkate alınarak imal edilmiştir. Üretilen asfalttaki bitüm 50/70 penetrasyon olup, agrega cinsi kalkerdir. Proje kapsamında yüklenici firma sadece asfalt plenti tarafından üretilen asfaltın nakli ile sermesikıştırma işlerini gerçekleştirmiştir. Projede öngörülen kaplama kalınlığı 8 cm'dir. Yol boyunca 3 adet karot alma işlemi gerçekleştirilmiştir. Karot numunelerinin alındığı noktalar tek tek işaretlenmiş ve haritada gösterilmiştir.



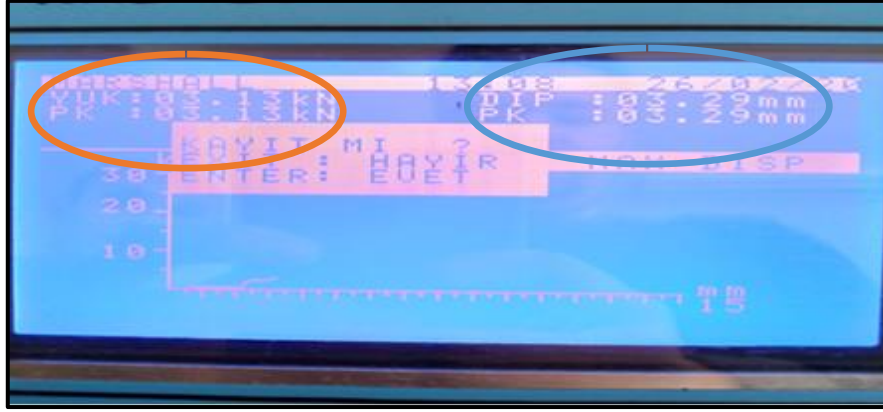
Şekil 2.48. Tonya Merkez Kaleönü mah.- Çayırıcı köprüsü arası (3,8 km) alınan karot numuneleri.

Karotların boyları büyükşehir laboratuvarında tek tek ölçülmüştür. İlk alınan numune boyu 8,4 cm olarak, ikinci numune boyu 6,6 cm ve üçüncü numune ise 8 cm olarak ölçüldü. Numune çapları ise 9,33 cm olarak ölçüldü. Bu fotoğraflar numunelerin granülometresi hakkında bilgiler vermektedir. Numunelerde kullanılan agreganın asfalt ile bütünleşmesinin iyi olduğu gözükmemektedir.

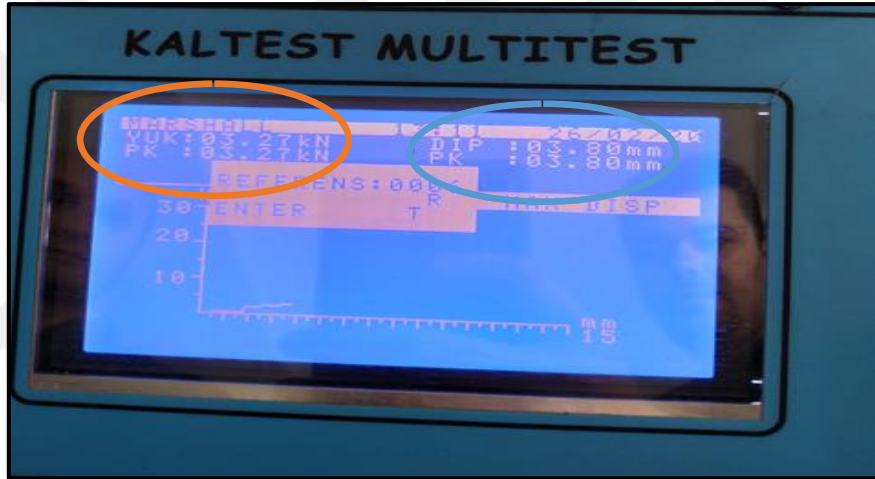
Tablo 2.5. Tonya Merkez Kaleönü Mah.- Çayırıcı köprüsü asfalt kaplama karot numunelerinin çap ve kalınlıkları.

Numunesi No	Alınan Noktalar (Km)	Yapım Yılı	Bitüm Penetrasyonu	Agrega Cinsi	Numune Çapı (cm)	Numune Kalınlığı (cm)
1	3+150	2015	50/70	Kalker	9,33	8,4
2	1+950				9,33	6,6
3	1+350				9,33	8

Alınan asfalt karot numuneleri Marshall test cihazında maksimum yük (stabilite değeri) ve akma miktarını ölçmeden önce Şekil 2.47’de gösterildiği gibi 60 derece sıcaklıkta yaklaşık 40 dakika bekletildi. Daha sonra numuneler sıcak suyun içinden teker teker çıkarıldı ve test cihazına konuldular. Yapılan testler sonucunda maksimum kırılma yükü ile akma miktarları bulundu. Bu değerler şartname değerleri ile karşılaştırıldı.



Şekil 2.49. 1 nolu asfalt numunesi maksimum yük ve akma ölçümü



Şekil 2.50. 2 nolu asfalt numunesi maksimum yük ve akma ölçümü



Şekil 2.51. 3 nolu asfalt numunesi maksimum yük ve akma ölçümü

2.4. Kaplama Maliyetlerinin Detaylı Karşılaştırması

2.4.1. Giriş

Ulaştırma ihtiyacı artan nüfusla birlikte doğru orantılıdır. Örnek olarak ABD’de 25 yıllık bir süre sonunda yaklaşık olarak 50 milyon aracın daha ek olarak trafiğe gireceğini göstermektedir [64]. Buradan hareketle ülkemizde artan nüfus ve gelişme düzeyine orantılı olarak ulaştırmada da ihtiyaçların artacağı sonucuna varılabilir. Bu kapsamda daha geniş ve modern tekniklerle yolların yapılması, varolan yollarında ihtiyaçlar doğrultusunda iyileştirmelerinin yapılması gerekecektir.

Yeni yolları yapılması ve varolan yolların şartlarının düzeltilmesi için en önemli koşullardan biri de maliyetlerdir. Beton ve asfalt kaplama maliyetlerini değerlendirdiğimizde asfalt hammadde maliyetleri petrol fiyatları ile doğru orantılı olarak devamlı arttığı, betonun ise asfalta oranla daha az artış gösterdiği görülmektedir. 2003 yılı birim fiyatları ile ABD 'de 1 mil (1609 mt.)standart çift şerit yol ele alınarak BSK (bitümlü sıcak karışım) ve beton kaplama maliyetleri kıyaslanmıştır. Bu kıyasa göre 225.000 \$ bir farkla BSK (bitümlü sıcak karışım) beton kaplamadan daha ucuz olarak tespit edilmiştir. Ancak zaman içerisinde petrol fiyatları %200 artış göstermiş, çimento fiyatlarındaki artış ise %37’lerde kalmıştır. Aradaki büyük fark 2008 yılına gelindiğinde kapanarak eşitlenmiş, 2011 yılında ise 1 mil uzunluktaki bir beton yol kaplaması, BSK (bitümlü sıcak karışım) kaplamalı yola göre 192.700 \$ daha ucuz hale gelmiştir [64]. Ülkemiz açısından bakıldığında dünyada artan petrol fiyatlarının yanısıra döviz fiyatlarının da türk lirası karşısındaki artışı ile birlikte maliyetler daha da yükselmiştir. Burada maliyet kıyaslaması yapılırken yalnız ilk yapım maliyetleri değil aynı zamanda hizmet ömrü boyunca kaplamaların bakım-onarım maliyetleri de göz önünde tutulmalıdır.

Bu bölümde Trabzon Büyükşehir Belediyesince üretilen BSK (bitümlü sıcak karışım) ve C25/30 sınıfı betonun birim maliyetleri hesaplanmıştır Son yıllarda KGM birim fiyatlarına göre beton ve asfalt kaplamalı yolların maliyetlerinin değişimleri analiz edilmiş ve karşılaştırmaları yapılacaktır. Bu karşılaştırma yapılırken Trabzon ilinde yol yapımlarında genel olarak tercih edilen ve AASHTO 3-10 milyon trafik tekerrür sayısına uygun olan yol tasarımı kullanılmıştır.

2.4.2. Beton ve Asfalt (BSK) Arasında Maliyet Analizi

Beton ve asfaltın (BSK) maliyetlerinin karşılaştırmaları için Trabzon Büyükşehir Belediyesi plentinin verilerinden yararlanılmıştır. 1 ton BSK ve 1 m³ C25/30 beton için gerekli olan malzemeler ve fiyatları baz alınmıştır. Üretilen 1 ton BSK ve 1 m³ C25/30 için kullanılan malzeme miktarları ve malzemelerin birim fiyatları Tabloda gösterilmektedir. Kullanılan malzeme miktarları aynı olmakla birlikte, malzemelerin birim fiyatları piyasa koşullarına göre değişiklik gösterebilir. Tablodaki fiyatlar Kasım 2019 baz alınarak oluşturulmuştur.

Tablo 2.6. Trabzon Büyükşehir Belediyesince üretilen 1 ton BSK analizi

Malzeme cinsi	1 ton BSK üretiminde kullanılan miktarlar	Birim fiyat (KDV Hariç)
Agrega(Kalker)	957 kg	34.30 TL/ton
Bitüm(50/70)*	53 kg	2,499 TL/ton
Bitüm Nakliyesi	53 kg	175 TL/ton
LNG(Doğalgaz)	6 Sm ³	1,95927 Sm ³ /ton
Amortisman	(Prs.Gid+Makine +Elektrik)	10,00%

Tablo 2.7. Trabzon Büyükşehir Belediyesince üretilen 1 m³ C25/30 beton analizi

Malzeme cinsi	1 m ³ C25/30 beton için kullanılan miktarlar	Birim fiyat (KDV Hariç)
Agrega	1950 kg	34,30 TL/m ³
Çimento	300 kg	240 TL/ton
Katkı	-	8 TL/m ³
Amortisman	(Prs.Gid+Makine+ Elektrik)	10,00%

Tablo 2.8. Trabzonda uygulanan BSK ve Beton yollardaki tabaka kalınlıkları tasarımları

İl adı	Bitümlü Sıcak Karışım (A)			Beton Yol (B)	
	Binder (cm)	Plentmiks veya Astarlı temel (cm)	Kırma taş Alt temel (cm)	Beton Kaplama (cm)	Astarlı Temel veya Kırma taş temel (cm)
Trabzon	8	15-20	20-25	20	15-20

Tablo 2.8'deki asfalt yol tasarımı (alttemel+Plentmix+temel+binder+aşınma) ile beton yol tasarımı (alttemel+temel+beton kaplama) şeklinde, 1 km uzunlukta ve 8 metre genişlikteki bir yola ait olmak üzere beton ve asfalt kaplamalı yolların 2016-2017-2018-2019 yıllarındaki durumları ayrı ayrı ele alınmıştır.

Tablo 2.9. KGM iş kalemleri ile Trabzon'da uygulanan beton yol tasarım metrajları

Beton yol iş kalemleri ve metrajları (Alttemel+Temel+Beton Kaplama) –

S. No	Poz No	İmalatın Cinsi	Birim	Miktarı
1	KGM/16.120/K-H	Her Türlü İnşaatta Kuruda veya Suda Her Dozda Demirsiz Beton (C 25/30 Hazır Beton Harcı ile)	m ³	1.600
2	KGM/6000	Ocak Taşından Konkasörle Kırılmış Malzeme ile Alttemel Yapılması	m ³	1.600
		N.YF.06 Taş nakli	m ³	528
3	KGM/6040	Temel Yapılması [Kırılmış ve Elenmiş Ocak Taşı ile (1 inç)]	m ³	1.600
		N.YF.06 Taş nakli	m ³	1.600

Tablo 2.10. KGM iş kalemleri ile Trabzon'da uygulanan asfalt yol tasarım metrajları

Asfalt yol iş kalemleri ve mertajları (Alttemel+Plentmix Temel+Aşınma+Binder)

1	KGM/6000	Ocak Taşından Konkasörle Kırılmış Malzeme ile Alttemel Yapılması	m ³	1.600
		N.A.4 Alttemel Malzeme Nakli	m ³	1.600
		N.A.5 Su Nakli	ton	80
2	KGM/6126	Plent-Miks Temel Yapılması (Kırılmış ve Elenmiş Çakıllı Malzeme ile)	Ton	4.500
		N.A.2 Agregası Nakli	Ton	864
		N.A.5 Su Nakli	ton	225
3	KGM/6308-ç	8 cm Sıkışmış Kalınlıkta 1 m ² Asfalt Betonlu Binder Tabakası Yapılması (Kırılmış ve Elenmiş Ocak Taşı ile) (Dogalgaz ve Bitüm Bedeli Dahil)	m ²	8.000
		N.A.1 Bitüm Nakli	Ton	66,08
		N.A.2 Agregası Nakli	Ton	1.536
		N.A.3 BSK Nakli	Ton	1.536
4	KGM/6405	5 cm Sıkışmış Kalınlıkta 1 m ² Asfalt Betonlu Aşınma Tabakası Yapılması (Kırılmış ve Elenmiş Ocak Taşı ile) (Tip-1)	m ²	8.000
		N.A.1 Bitüm Nakli	Ton	66,08
		N.A.2 Agregası Nakli	Ton	1.536
		N.A.3 BSK Nakli	Ton	1.536

Tablo 2.9'da beton yol ve Tablo 2.10'da asfalt yol tasarımlarına ait KGM pozları ve pozlara ait metrajlar gösterilmektedir. Bu pozlar ve metrajlarına göre beton ve asfalt yolların 2016-2017-2018 ve 2019 KGM birim fiyatları ile yaklaşık maliyetler hesaplanarak yıllara göre değişimlerinin ortaya konulmuştur. Böylece yıldan yıla hangi kaplama türü ne kadar ve hangi oranlarda değişmiş olduğu bulunmuştur. Hesaplamalarda kullanılacak analizler için Trabzon ili konkasör veya plente ortalama taşıma mesafesi 10 km olarak alınmış, bitüm ise Batman rafinerisinden 654 km mesafeden nakledilecek şekilde baz alınmıştır. Beton kaplamalı yolların tasarımında Trabzon ilinde kullanılmakta olan tabaka kalınlıkları ve dağılımları baz alınmıştır. Beton dayanım sınıfı ise, yine Trabzon ilinde yol yapım uygulamalarında en fazla tercih edilen C25/30 olarak hesaba katılmıştır. Esnek üstyapılar içinde farklı uygulamalar mevcuttur. Yukarıdaki örnek yolda ise alttemel+Pmt(Plentmix temel)+binder+aşınma tabakalarından uygulamalardaki kalınlıklara göre hesaba katılmıştır. Hem beton hem de asfalt kaplamalı yollardaki kullanılan ortalama kalınlıklar Tablo 2.3'de

verilen AASHTO 3-10 milyon tekerrür sayısına sahip plaka kalınlıkları ile uyum göstermektedir.

Tablo 2.11. AASHTO formülleri kullanılarak üstyapı kalınlıkları [10].

Esnek Üstyapı		T8,2: 8,2 tonluk eşdeğer standart dingil yükü tekrar sayısı - Yolun hizmet ömrü boyunca									
Üstyapı (cm)	3-10 Milyon	10-20 Milyon	20-30 Mil.	30-40 Milyon	40-50 Milyon	50-65 Milyon	65-80 Milyon	80-100 Milyon	100-160 Milyon	160-250 Milyon	>250 Milyon
Aşınma	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Binder	8	6	6	6	7	7	7	8	8	8	8
Bitümlü Temel	0	8	9	10	10	11	12	12	14	16	18
P. miks Temel	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Kırmataş Temel	25	20	20	20	20	20	20	25	25	25	25
Derzli Donatısız Rijit Üstyapı		T8,2: 8,2 tonluk eşdeğer standart dingil yükü tekrar sayısı - Yolun hizmet ömrü boyunca									
Üstyapı (cm)	3-10* Milyon	4-10 Mil.	20-30 Milyon	30-40 Milyon	40-50 Milyon	50-65 Milyon	65-80 Milyon	80-100 Milyon	100-160 Milyon	160-250 Milyon	>250 Milyon
Beton Kaplama	19	22	23	25	25	26	27	30	33	36	38
Kırmataş Alttemel	20	20	20	20	25	25	25	25	25	25	25

Trabzon Büyükşehir Belediyesince Yapılan Çalışmaların Dağılım Tablosu

İLÇE	2014 Toplam İmalat	2014 Toplam Tutar (₺)	2015 Toplam İmalat	2015 Toplam tutar	2016 Toplam İmalat	2016 Toplam Tutar	2017 Toplam İmalat	2017 Toplam Tutar	2018 Toplam İmalat	2018 Toplam Tutar	Genel Toplam İmalat	Genel Toplam
Asfalt kaplama (ton)	133.570,43	18.151.655,35	252.608,00	37.891.200,00	318.261,98	47.739.297,00	276.815,79	41.522.368,50	413.400,97	124.020.471,00	1.394.657,17	269.324.991,85
Beton yol (m³)	49.902,94	1.085.650,91	115.005,04	17.088.961,85	235.980,79	40.955.405,46	70.400,18	12.989.577,92	62.683,48	18.780.396,68	533.972,43	90.899.992,82
Beton duvar (m³)	195,14	29.567,49	943,36	167.911,67	15.863,21	1.363.350,83	1.228,78	346.017,18	1.043,46	592.966,02	19.273,95	2.499.813,19
Taş duvar (m³)	1.684,02	320.638,25	39.527,38	3.282.370,93	70.660,20	8.620.769,44	77.262,69	8.966.066,39	124.424,67	20.364.168,54	313.558,96	41.554.013,55
Taş parke (m²)	0,00	0,00	7.102,23	328.689,30	1.482,70	53.100,00	8.858,30	205.096,08	5.071,02	319.249,09	22.514,25	906.134,47
Beton parke (m²)	2.090,62	51.919,99	5.652,17	217.965,95	5.567,35	252.592,46	9.071,25	503.886,50	39.568,13	1.559.263,25	61.949,52	2.585.628,15
Menfez (mt.)	0,00	0,00	241,88	72.117,59	917,78	798.111,95	1.046,41	1.400.492,02	1.455,16	1.425.340,35	3.661,23	3.696.061,91
Menfez temizliği (mt.)	0,00	0,00	147,00	33.925,00	2.250,00	172.575,00	1.568,00	471.887,88	1.059,00	277.453,45	5.024,00	955.841,33
Korkuluk (kg)	4.006,99	15.228,85	11.495,85	41.818,66	23.022,96	303.274,11	23.596,22	521.629,42	89.208,72	842.219,57	151.330,74	1.724.170,61
Otokorkuluk (mt.)	0,00	0,00	0,00	0,00	5.106,00	454.183,39	0,00	0,00	0,00	0,00	5.106,00	454.183,39
Fore kazık uygulama (mt)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3.040,00	3.209.600,00	5.296,45	4.876.299,23	8.336,45	8.085.899,23
Yağmur suyu hattı (mt.)	0,00	0,00	0,00	0,00	4.130,00	915.645,09	1.241,58	360.220,80	2.026,70	431.913,56	7.398,28	1.707.779,45
Araç Kiralama (saat)	1.130,00	320.527,18	10.286,42	2.157.405,80	14.325,35	2.652.354,20	3.534,00	616.850,78	8.604,00	2.999.445,91	37.879,77	8.746.583,87
Diğer çalışmalar	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1.344.229,37	7.072.416,01	7.337.148,01	7.072.416,01	8.681.377,38
Yeşil yol çalışmaları												20.047.168,83
TOPLAM		19.975.188,02		61.282.366,75		104.280.658,93		72.457.922,84		183.826.334,66		461.869.640,03

Asfalt kaplamanın son 5 yıllık harcama kalemleri içerisindeki oranı ve birim fiyatı

$$= \frac{269.324.991,85 \text{ ₺}}{461.869.640,03 \text{ ₺}} = 0,58$$
$$= 58\%$$

$$\frac{269.324.991,85 \text{ ₺}}{1.394.657,17} = 193,11 \text{ TL/m}^3$$

Beton kaplamanın son 5 yıllık harcama kalemleri içerisindeki oranı ve birim fiyatı

$$= \frac{90.899.992,82 \text{ ₺}}{461.869.640,03 \text{ ₺}} = 0,20$$
$$= 20\%$$

$$\frac{90.899.992,82 \text{ ₺}}{533.972,43 \text{ m}^3} = 170,23 \text{ TL/m}^3$$

$$\text{5 yıllık ortalama birim fiyatlar oranı} = \boxed{1,134}$$

$$\frac{269.324.991,85}{170,23} = \boxed{1.582.124,14 \text{ m}^3}$$

$$\text{Asfaltın ortalama birim fiyatı / betonun ortalama birim fiyatı} = \boxed{\%13,4}$$

2014-2015-2016-2017 ve 2018 yıllarını kapsayan süre zarfında asfalta harcanan toplam tutar ile yapılabilecek beton miktarı 1.582.124,14 m³ dür.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde birinci olarak Trabzon ili Tonya ilçesi-Kaleönü mahallesi- Çayırıçi Köprüsü arası asfalt kaplaması (3,8 km), Çayırıçi-Kalınçam mahallesi arası beton yol kaplaması (11,2 km), Kalınçam mahallesi- Erikbeli yaylası arası beton yol kaplaması (7,2 km) ve Erikbel –Kadırga yayla arası beton yol kaplaması (14 km) işlerine ait olan ve bu yol aralıklarından karot makinesi ile alınan numunelerden beton yol kaplamalarının kalınlıkları, dane dağılımları ve tek eksenli basınç (kırım) testi sonuçları hakkında bilgiler verilmektedir. Asfalt yol kaplamasının ise akma ve stabilite değerleri bulunmuştur. Hem asfalt hem de beton karot numunelerinin yapılan testler sonrasındaki durumları da ayrıca fotoğraflarla gösterilmiştir. Tüm alınan numunelerin proje kalınlıklarına, üretilen beton ve asfaltın şartname dayanım ve akma limitlerine uygunlukları yürürlükteki şartnamelere uygunlukları gösterilmiştir.

Bölümün ikinci kısmında ise karşılaştırmalı olarak maliyet hesaplamaları yapılmaktadır. Yapılan hesaplamalarda birincil yaklaşım olarak Trabzon Büyükşehir Belediyesince tasarlanan ve üretilen BSK ve C25/30 sınıfı betonun birim fiyatları kullanılmıştır. İkincil yaklaşım olarak ise, 2016-2017,2018 ve 2019 yıllarındaki KGM birim fiyatlarının Trabzon ilinde kullanılan beton ve asfalt tasarımından yararlanılarak yıllara göre maliyetleri ve değişimleri irdelenmiştir. Son yaklaşım olarak ise, Trabzon Büyükşehir Belediyesince yol çalışmalarına yapılan harcamaların ilgili Fen İşleri Daire Başkanlığının tüm yatırımlarına harcadığı toplam maliyetlere oranları içindeki payları oransal ve tutar olarak gösterilmiştir. Asfalt yol için harcanılan tutar ile mevcut beton yollara ek olarak kaç m³ daha betonlama yapılabileceği de hesaplanmıştır. Ayrıca 1 km uzunlukta ve 8 metre genişlikte bir yolun, AASHTO 3-10 milyon tekerrür sayısı ile uyumlu tabaka kalınlıkları olan tasarım ele alınarak ve Trabzon Büyükşehir Belediyesi plentinde üretilen beton ve asfaltın birim fiyatları kullanılarak maliyetleri bulunmuştur. Bu maliyetlerden yola çıkılarak asfalt, beton ve kompozit (beton+asfalt) yolların ilk yapım, bakım-onarım ve yeniden yapım olmak üzere 20 yıllık toplam yol harcama maliyetlerine ulaşılmıştır. Beton ve asfalt kaplamaların dayanım, dayanıklılık ve maliyetleri arasındaki farklar birlikte düşünülerek Trabzon için en uygun olan kaplama türü belirlenmiştir.

3.1. Numuneler Üzerinde Basınç Dayanım Testi

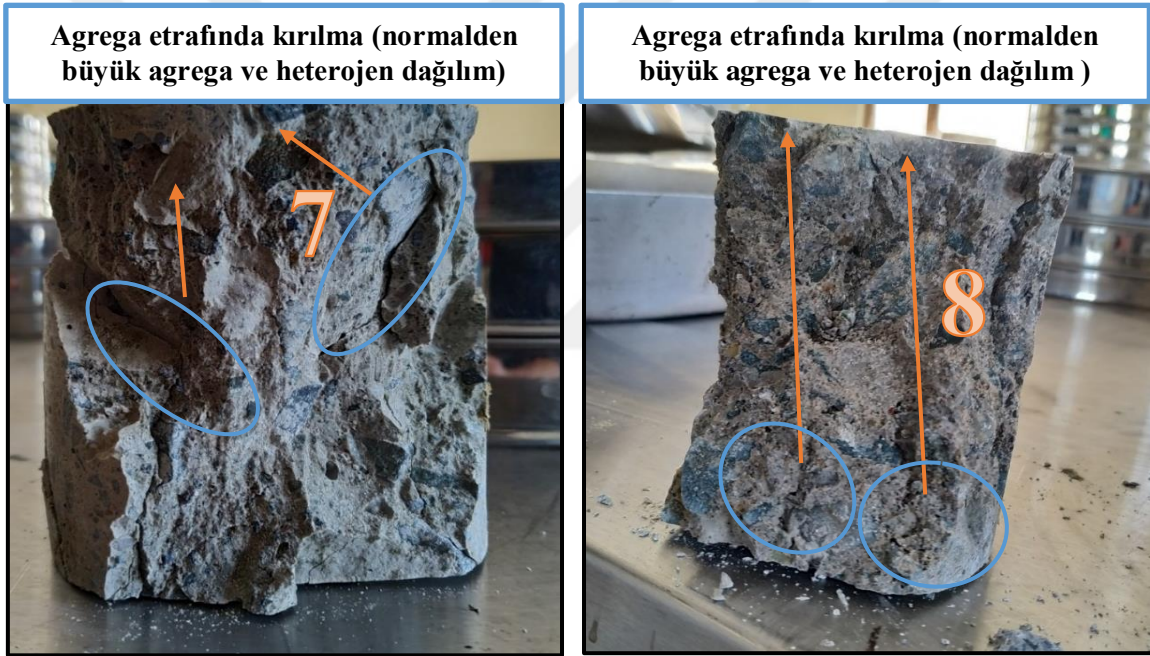
Yapım yılları (2001-2011) arasındaki Trabzon ili Tonya ilçesi Çayırıcı köprüsü ile Kalınçam mahallesi arasındaki beton yol kaplamasının 11,2 km lik kısmında (3+800 km – 15+000 km) karot makinası ile birlikte 4 adet numune, yapım yılları (2014-2015) arasında olan Kalınçam – Erikbeli Yaylası beton yol kaplamasının 7,2 km lik kısmında (15+000 – 22+200) ise 5 adet numune alınmıştır. Bu numunelerden elde edilen karotların ortalama boyları ve ortalama dayanımları Tablo 3.1’de gösterilmektedir.

Tablo 3.1. Alınan tüm beton yollardaki karotların ortalama boy(cm) ve dayanımları(MPa)

Mevki	No	Boy (cm)	Ortalama Boy (cm)	Yük (kN)	Ortalama Yük (kN)	Basınç Dayanımı (MPa)	Ortalama Basınç Dayanımı (MPa)
Erikbeli-Kadırğa Yolu	n-1	20,5	20,4	237,50	246,48	30,25	31,40
Erikbeli-Kadırğa Yolu	n-2	21,5		265,50		33,82	
Erikbeli-Kadırğa Yolu	n-3	20,2		294,30		37,49	
Erikbeli-Kadırğa Yolu	n-4	20		221,60		28,23	
Erikbeli-Kadırğa Yolu	n-5	17,8		224,30		28,57	
Erikbeli-Kadırğa Yolu	n-6	22,5		235,70		30,03	
Tonya Erikbeli-Kalınçam Yolu	1	21	19,7	262,72	233,678	38,34	34,10
Tonya Erikbeli-Kalınçam Yolu	2	20,3		252,34		36,82	
Tonya Erikbeli-Kalınçam Yolu	3	19,2		201,81		29,45	
Tonya Erikbeli-Kalınçam Yolu	4	19,4		276,52		40,36	
Tonya Erikbeli-Kalınçam Yolu	5	18,5		175,00		25,54	
Tonya Çayırıcı-Kalınçam Yolu	6	23	21,5	198,08	205,81	28,91	30,04
Tonya Çayırıcı-Kalınçam Yolu	7	21,3		252,65		36,87	
Tonya Çayırıcı-Kalınçam Yolu	8	21,8		213,78		31,20	
Tonya Çayırıcı-Kalınçam Yolu	9	20		158,74		23,17	

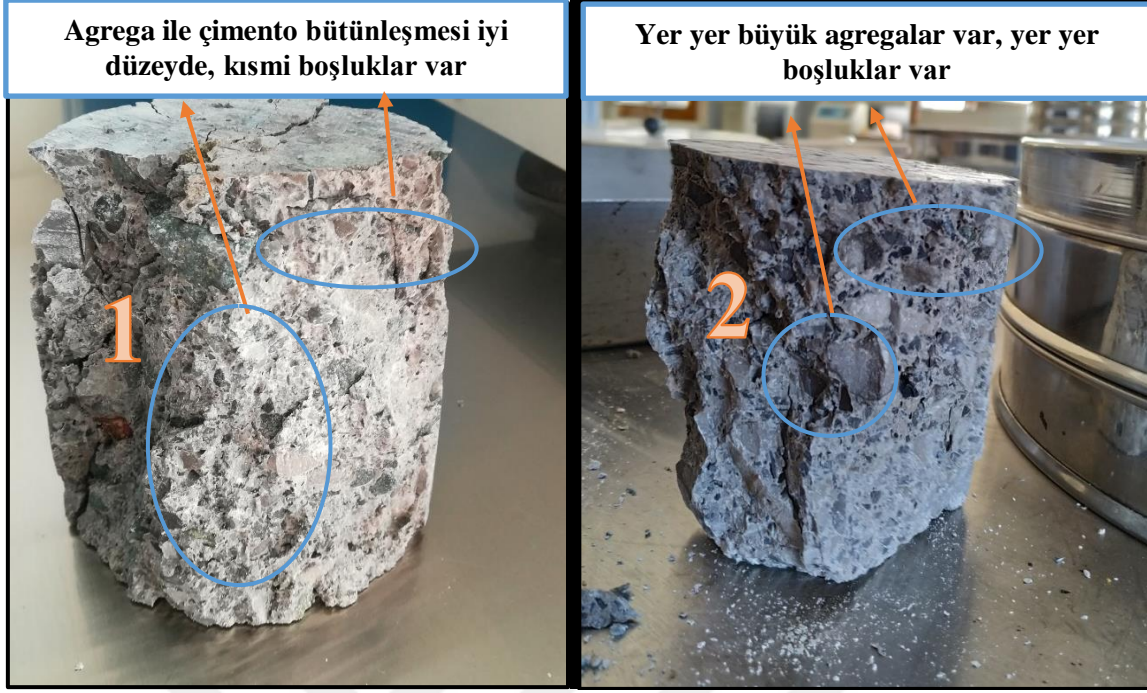
3.1.1. Basınç Dayanım DeneYlerinin Değerlendirilmesi

Trabzon ili Tonya ilçesi ile Kadıręa yaylasına kadar yol boyunca incelenen asfalt ve beton yollardan karotlar alınmıştır. Alınan numunelerden 2001 yılında başlanarak 2011 yılında tamamlanmış olan ayırıi Köprüsü ile Kalınçam arasındaki 11,2 km lik yolun belirlenen noktalarında 4 adet karot numunesi alınmıştır. Bu yolun proje kalınlığı 20 cm olup, projedeki beton sınıfı ise C25/30 olarak belirlenmiştir. Yapılan lmler ve testlerde numunelerin ortalama karot kalınlığı 21,5 cm, ortalama basınç dayanımı ise 30,40 MPa olarak tespit edilmiştir. Bu sonuçlar yapılan imalatın proje dayanım ve ölçülerine uygun olarak yapıldığını göstermiştir.



şekil 3.1. 7 ve 8 nolu karot numunelerinin kırım testinden sonraki durumları (ayırıi-Kalınçam yolu)

2014-2015 yıllarında yapılan Kalınçam-Erikbeli yaylası arasındaki 7,2 km'lik kısımdan belirlenen noktalardan 5 adet karot numune alınmıştır. Bu yolun proje kalınlığı da 20 cm olup, beton sınıfı ise C25/30 belirlenmiştir. Yapılan lmler ve testlerde numunelerin ortalama karot kalınlığı 19,7 cm, ortalama basınç dayanımı ise 34,10 MPa olarak tespit edilmiştir. Bu sonuçlar yapılan imalatın proje dayanım ve ölçülerine uygun olarak yapıldığını göstermiştir.



Şekil 3.2. 1 ve 2 nolu karot numunelerinin kırım testinden sonraki durumları (Kalınçam-Erikbeli yayla yolu)

2018 yılından başlanan Erikbeli Yayla- Kadırğa Yaylası arasındaki 14 km'lik kısımdan ise 6 adet karot numunesi alınmıştır. Bu yolun proje kalınlığı 20 cm, beton sınıfı ise C30/37 olarak belirlenmiştir. Yapılan ölçümler ve testlerde numunelerin ortalama karot kalınlıkları 20,4 cm, ortalama basınç dayanımı ise 31,40 MPa olarak tespit edilmiştir. Bu sonuçlar yapılan imalatın proje dayanım ve ölçülerine uygun olarak yapıldığını göstermektedir.

Beton numuneleri proje kalınlık, dayanım ve dayanıklılık açılarından irdelendiğinde büyük oranda olumlu sonuçlar verdiği görülmektedir. Gerek ortalama kalınlıkları, gerek ortalama basınç dayanımları yeterli ve uygun olduğu görülmektedir. Yüzey düzgünlüğü iyi düzeyde olduğundan konforlu bir yolculuk sağlamaktadır. İlk yapılan yolun Çayırıcı köprüsü - Kalınçam arasındaki beton yolun yapımından bu yana ortalama 15 yıl geçtiği düşünüldüğünde ve yolun hiç bir noktasında bakım-onarım yapılmadığı da göz önünde bulundurulduğunda beton kaplamanın hizmet süresi boyunca ne denli maliyet avantajı sağladığı açıkça ortaya çıkmaktadır.

Ancak aynı yolun gerisinde yer alan ve 5 yıl önce yapılan (Tonya Kaleönü-Çayırıcı köprüsü arası) asfalt kaplama yol güzergahının belirli noktalarında çökme, soyulma ve çatlama problemleri ortaya çıkmış olduğu gözlemlenmiştir. Aynı bölge ve güzergahta, aynı

dış etkilere maruz beton ve asfalt yolların nasıl sonuçlar verdiğinin tespiti açısından önemli bir kıyas imkanı sağlamaktadır.

Basınç dayanım deneyi sonucu kırılan veya çatlayan numuneler üzerinde kırılma tipi, çatlak tipi ve kırılma yüzeylerinde incelemeler yapıldığında, numunelerin kırılma ve çatlama nedenleri hakkında bilgi edilmektedir. Bu bilgileri bir kısmı şöyledir; bazı numunelerde agrega çimento bağlantılarından kopmalar görülmüştür. Şekil 3.1’de görüldüğü gibi 7. ve 8. nolu numunelerde agrega etrafından dolaşarak kırılma oluşmuştur Karot alınan yollarda çimento hamuru ile agrega aderansı finişer ile imal edilen ve iyi sıkıştırılan yollar olduğundan iyi düzeydedir. Boşluk oranı alt kısımlarda ve kenarlara yakın yerlerde sıkıştırmanın en az etki etmesinden dolayı genel karot dağılımında oranla daha fazla olduğu görülmektedir.

Tonya ilçesi Kalınçam mahallesinden alınan karot daha alınırken kırılmış ve dağılmıştır. Bu karot numunesi değerlendirilmeye alınmamıştır. Bu nedeni 20 yıla yakın bir zaman önce işçiliği vatandaş tarafından yapılan bu yollarda su/çimento oranı, gradasyon gibi önemli olan faktörlere dikkat edilmemesinden kaynaklanmaktadır. Yüzeyinde soyulma ve bozulmalara, yer yer çatlaklara rağmen hala daha hizmet vermektedir.

3.2. Asfalt Numunelerinin Marshall Akma ve Stabilite Deneyi Bulguları

Marshall cihazı kullanılarak numunelerin akma ve stabilite yük değerleri Tablo 3.2’de gösterilmektedir. Numunelerin akma ve stabilite değerleri iredelendiğinde şartname aralıklarına uygun olduğu, yalnızca 3. numunenin 4,12 mm olarak bulunan akma miktarının şartnamedeki maksimum değer olan 4 mm’nin çok az miktarda üstünde olduğu görüldü.

Tablo 3.2. Asfalt numunelerinin marshall cihazından elde edilen akma ve stabilite değerleri

Numune No	Numunenin Akma Değeri (mm)	Numunenin Stabilitesi (kn)	Numunenin Stabilitesi (kg)
1	3,29	3,13	319,16
2	3,80	3,27	333,45
3	4,12	3,82	389,53



Şekil 3.3. Marshall test cihazından sonra 3 nolu numunede deformasyonlar oluştu

Tablo 3.3. Marshall yöntemi tasarım değerleri (bitümlü karışımlar için) [76].

Agrega Grubu	Akma (mm)	Aşınma Stabilité (kg)	Binder Stabilité (kg)
Şartname Limitleri	2-4	900	750

Şekil 3.3’de Tonya ilçesi Kaleönü mahallesi-Çayırıcı köprüsü arasındaki asfalt yoldan alınan asfalt numunesinin Marshall cihazında test edildikten sonra aldığı durum gözlenmektedir. Basınç etkimesi sonucu numunenin alt ve üst tabanlarında daire üzerinde ayrışmalar görülmüştür. Tablo 3.2 bulunan akma ve stabilite değerleri ile Tablo 3.3’deki şartname değerleri karşılaştırıldığında akma değerlerinin şartname değerlerine hemen hemen uygun olduğu ancak maksimum taşıma yüklerinde elde edilen stabilite değerlerini sağlamadığı tespit edilmiştir. Bu sonuç üretilen BSK (asfalt)’nın uygun gradasyon ve tasarımla üretildiği durumlarda dahi, eğer asfalt kaplamalı yolun alttemel- temel tabakalarındaki malzemelerin kalitesi düşükse veya yeterli bu tabakalarda yeterli düzeyde sıkıştırma işlemi yapılamamış ise, veyahut yola etkiyen suların drene edilememesi vb. nedenlere bağlı olarak stabilite değerinin şartname değerlerinden düşük olmuş olabileceği değerlendirilmektedir.

3.3. Maliyet Analizleri

Maliyet kavramı kaplama cinsini belirlemede en önemli etkenlerdendir. Kaplama cinsine göre inşa edilen yol analiz edilirken, ilk yapım maliyetleri, bakım-onarım maliyetleri ve servis ömrünü tamamladıktan sonra tekrar yapım maliyeti de dikkate alınması gerekmektedir. Tüm bu maliyetler analiz edilip karşılaştırılarak hangi kaplama türünün tercih edileceğine karar verilmektedir. Burada 2019 yılı birim fiyatları kullanılarak beton ve asfalt yolların ilk yapım maliyetleri ve bakım-onarım maliyetleri analiz edilecektir. Yapılan çalışmalar sonucunda elde edilen bilgiler sunulmaktadır. oluşturulmuştur.

Tablo 3.4. Trabzon Büyükşehir Belediyesi plenti üretimi BSK maliyet analizi (Kasım 2019)

S. No	Malzeme cinsi	1 ton BSK üretiminde kullanılan miktar	Birim fiyat (KDV Hariç)	KDV oranı	Tutar (KDV hariç)	Tutar (KDV dahil)
1	Agrega (Kalker)	957 kg	34.30 TL/ton	18%	32,82 TL	38,73 TL
2	Bitüm (50/70)*	53 kg	2,499 TL/ton	18%	132,45 TL	156,29 TL
3	Bitüm Nakliyesi	53 kg	175 TL/ton	18%	9,28 TL	10,95 TL
4	LNG (Doğalgaz)	6 Sm ³	1,95927 Sm ³ /ton	18%	11,76 TL	13,87 TL
5	Amortisman	(Prs.Gid+Makine +Elektrik)	10,00%	-	18,46 TL	18,46 TL
			Toplam		204,77	241,63

Dolu kamyon 100 km'de yaklaşık olarak 40 lt motorin tüketmektedir.

Bu nedenle 40 lt. x Güncel motorin litre fiyatı (6,45) = 258 TL,

Şehir içi ortalama taşıma mesafesi 50 km için; $258 \times 50 / 100 = 129,2$ TL/Kamyon seferi,

30 ton ağırlık 129,2 tl olduğundan 1 ton için yakıt bedeli = $129,2 / 30 = 4,3$ TL/ton,

Toplam fiyat = $241,63 + 4,3 = 245,93$ TL/ton (nakliye dahil 1 ton BSK fiyatı).

Tablo 3.5 Trabzon Büyükşehir Belediyesi plenti üretimi C25/30 beton maliyet analizi (Kasım 2019)

S.NO	Malzeme cinsi	1 m ³ C25/30 üretiminde kullanılan miktar	Birim fiyat (KDV Hariç)	KDV oranı	Tutar (KDV hariç)	Tutar (KDV dahil)
1	Agrega	1950 kg	34,30 tl/m ³	18%	66,89 tl	78,92 tl
2	Çimento	300 kg	240 tl/ton	18%	72,00 tl	84,96 tl
3	Katkı	-	8 tl/m ³	18%	8,00 tl	9,44 tl
4	Amortisman	(Prs.Gid+Makine+ Elektrik)	10,00%	-	17,24 tl	17,24 tl
			Toplam		164,13	190,56

Beton mikseri 100 km'de yaklaşık olarak 80 lt motorin tüketmektedir.

80 lt x güncel mazot litre fiyatı (6,45) = 80 x 6,45 =516 TL,

Şehir içi ortalama taşıma mesafesi 50 km için ise 516 x 50/100 = 258 TL/m³'dir.

Beton mikseri ortalama 7 m³ beton taşıdığından dolayı; 258/7 = 36,85 TL/m³ birim nakliye maliyetidir.

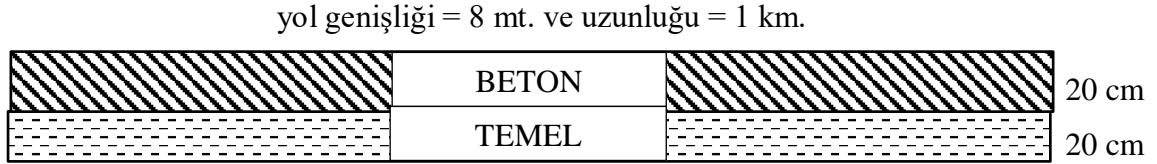
Toplam fiyat = 190,56+36,85 = 227,41 tl/m³ (nakliye dahil 1 m³ C25/30 beton fiyatı).

Tablo 3.4 ve Tablo 3.5'de Trabzon Büyükşehir Belediyesi plentinde üretilen beton ve asfaltın birim maliyetleri gösterilmektedir. Bu maliyetler hesaplamalarda görüldüğü üzere her türlü malzeme, işçilik ve nakliye giderleri dahil olarak oluşturulmuştur. Tablo 3.4 detaylı incelendiğinde 1 ton BSK(asfalt) üretilirken kullanılan bitüm 53 kg olmasına rağmen (karışımın %5,3) fiyatı 156,29 TL ile %63,5'lük bir oranı kapsamaktadır. Bunun yanında bitümün nakli ve bitümün ısıtılması gibi giderlerde biraraya getirildiğinde tutar 181,11 TL ile %73,6'lık bir orana ulaşmaktadır. Diğer taraftan 1 m³ C25/30 beton üretiminde kullanılan ana bileşen olan çimentonun fiyatı ise 84,96 TL'dir. Bu tutar ise 1 m³ beton fiyatının %37,4'sini oluşturmaktadır.

3.3.1. Beton Kaplamalı Yolun Maliyeti

Bu tez içerisinde maliyet hesaplamalarında kullanılan beton kaplamalı yolun kesit kalınlıkları Trabzon ilinde kullanılan tasarıma göre ele alınmıştır. Temel tabakasında malzemenin yoğunluğu 2,2 t/m³ ve beton tabakasının ise yoğunluğu 2,4 t/m³ olarak

belirlenmiştir. Şekil 3.4’de bulunduğu gibi temel ve beton tabakalarının genişlikleri 8 mt. genişliktedir. Maliyeti hesaplanan yol ise 1 km uzunluktadır. Beton kaplamalı yol için hesaplanan maliyet kalemlerinde Trabzon Büyükşehir Belediyesi asfalt ve beton plantinde üretilen C25/30 sınıfı betonun 2019 yılı Kasım ayı içerisindeki güncel piyasa fiyatlarından yararlanılmıştır.



Şekil 3.4. Trabzon ilinde uygulanan beton kaplamalı yolların tabaka kalınlıkları

$$\text{Beton tabakası} = 1000 \times 8 \times 0,20 \times 227,41 = 363.856,00 \text{ TL} \quad (20 \text{ cm})$$

$$\text{Temel tabakası} = 1000 \times 8 \times 0,20 \times 34,30 \times 1,18 = 64.758,40 \text{ TL} \quad (20 \text{ cm})$$

$$\text{Toplam Maliyet (B)} = 428.614,40 \text{ TL}$$

3.3.2. Asfalt Kaplamalı Yolun Maliyeti

Asfalt kaplamalı yol yapmında Şekil 3.4’de uygulanan tabaka kalınlıklarından yararlanılmıştır. 20 cm kalınlığında 2 "lik (5.08 cm) elekten geçen malzeme ile yapılmış alttemel, üzerinde 15 cm kalınlığında plentmiks temel ve üzerinde sıkıştırılmış kalınlığı 8 cm olan BSK tabakalarından oluşmaktadır. Maliyeti hesaplanan yolun boyutları 8 metre genişlik ve 1 km uzunluktadır. Alttemel ve temel için sıkıştırılmış yoğunluk 2,2 ton/m³ olup, BSK yoğunluğu ise 2,4 ton/m³ olarak belirlenmiştir. Asfalt kaplamalı yolun BSK tabaka için ise hesaplanan maliyet kalemlerinde Trabzon Büyükşehir Belediyesi asfalt ve beton plantinde üretilen asfaltın (BSK) 2019 yılı Kasım ayı içindeki güncel piyasa fiyatlarından yararlanılmıştır.



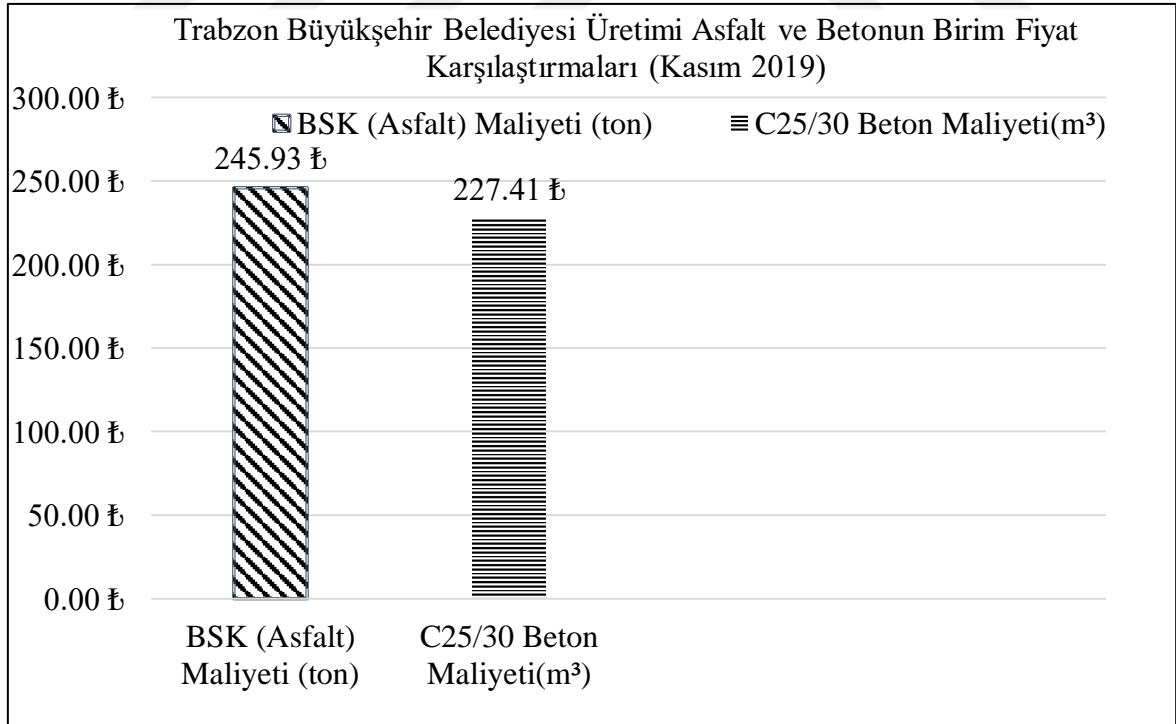
Şekil 3.5. Trabzonda genel olarak uygulanan asfalt kaplamalı yolların tabaka kalınlıkları

BSK tabakası = 1000 x 8 x 0,08 x 2,4 x 245,93 = 377.748,48 TL	(8cm)
Plentmix Temel = 1000 x 8 x 0,15 x 37,34 x 2,4 x 1,18 = 126.896,26 TL	(15 cm)
<u>Alttemel = 1000 x 8 x 0,20 x 45,20 x 1,18 = 85.337,60 TL</u>	(20 cm)
Toplam Maliyet (A) = 589.982,34 TL	

3.3.3. Asfalt ve Beton Kaplamalı Yolların Maliyet Karşılaştırması

Tablo 3.6’da 1 ton asfalt (BSK) ve 1 m³ betonun (C25/30) birim fiyat karşılaştırması gösterilmektedir. Bu grafik Trabzon Büyükşehir Belediyesi Tesisler Şube Müdürlüğüne üretilen 1 ton BSK(bitümlü sıcak karışım) asfalt ve 1 m³ C25/30 betonun birim maliyetleri, 2019 yılı Kasım ayına ait fiyatlar ve tasarım miktarları baz alınarak hesaplanmıştır. Hesaplamalarda kullanılan yolun uzunluğu ve genişliği aynıdır. Böylece aynı şartlarda üretilen beton ve asfalt maliyetlerinden yararlanarak Trabzon ili şartlarına göre en doğru maliyet analizi yapılmaya çalışılmıştır.

Tablo 3.6. Trabzon Büyükşehir Belediyesi plentinde üretilen asfalt ve beton fiyat grafiği



Toplam Maliyet (A) /Toplam Maliyet (B) = 589.982,34 / 428.641,40

=1,3765

= %37,65 (asfalt yol /beton yol maliyet oranı)

Yukarıda görüldüğü üzere Trabzon Büyükşehir Belediyesi plentindeki aynı şartlarda üretilen asfalt (BSK) ve C25/30 betonun birim fiyatlarından yararlanılarak hesaplanan asfalt kaplamalı yol ile beton kaplamalı yolun maliyetleri oranlandığında %37,65 sonucu karşımıza çıkmaktadır. Buradan beton yolun asfalt yola göre çok daha ekonomik bir tercih olduğu anlaşılmaktadır.

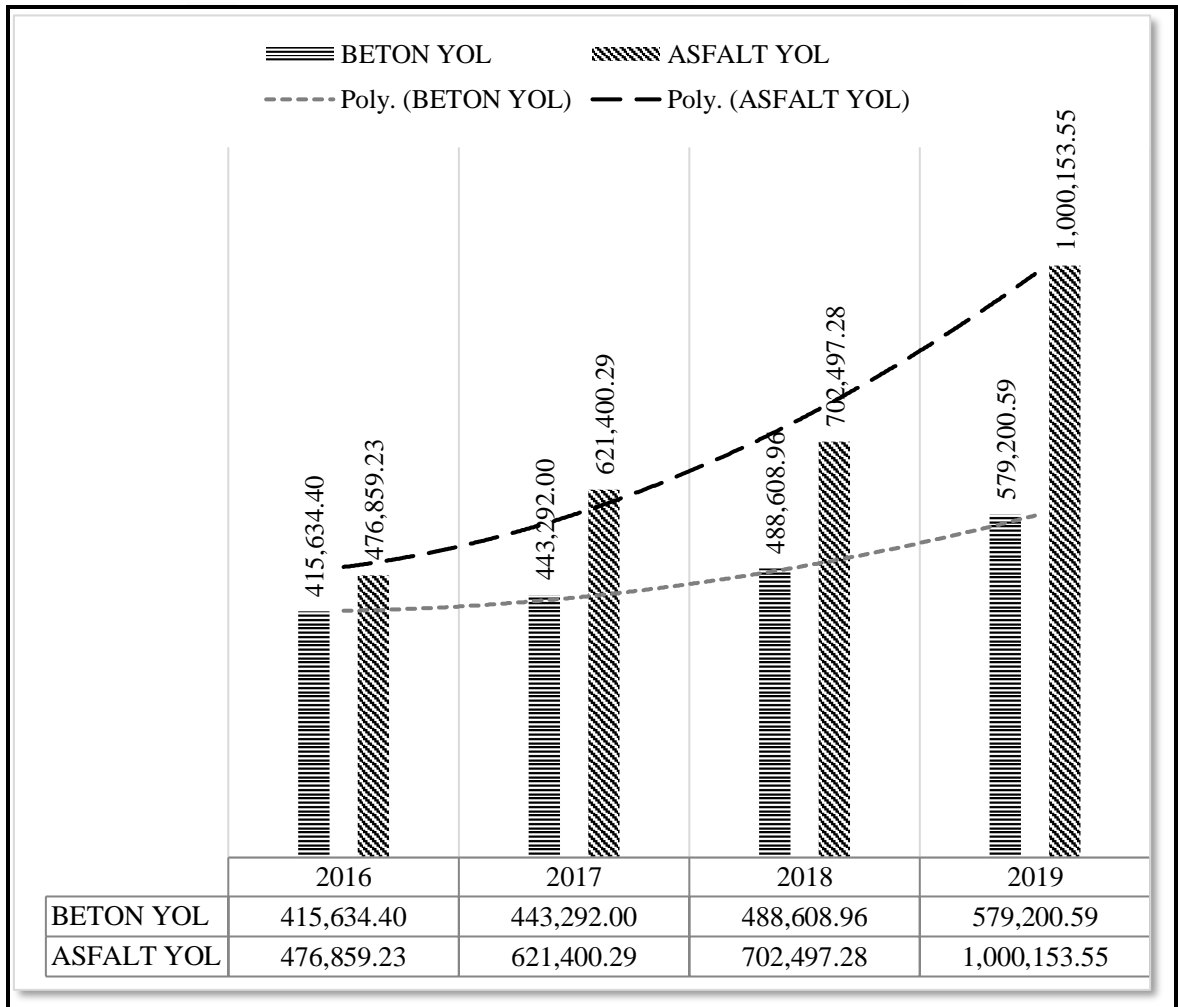
Tablo 3.7. KGM birim fiyatlarından yararlanılarak yapılan 1 km x 8 mt. boyutlarında asfalt ve beton yol tasarımlarının yıllara göre fiyat değişimleri tablosu

KGM (Karayolları Genel Müdürlüğü) Birim Fiyatlarına Göre L=1 km, E=8 mt Boyutlarındaki Asfalt ve Beton Yolların Maliyetleri ve Maliyet Değişimleri					
YIL		2016	2017	2018	2019
Maliyetler	Asfalt yol	476.859,23 ₺	621.400,29 ₺	702.497,28 ₺	1.000.153,55 ₺
	Beton yol	415.634,40 ₺	443.292,00 ₺	488.609,96 ₺	579.200,96 ₺
	Asfalt yol/ beton yol	% 14,7	%40,17	%43,77	% 72,68
Asfalt Yol İçin Maliyet Değişim Oranları		30,00%			
			13,00%		
				42,00%	
Beton yol İçin Maliyet Değişim Oranları		6,65%			
			10,00%		
				18,50%	

Tablo 3.7’de ise 1 km uzunlukta ve 8 metre genişlikteki asfalt ve beton yolun KGM pozları ve birim fiyatları kullanılarak hesaplanan yaklaşık maliyetleri görülmektedir. Buna göre 2016 yılında beton yola maliyetine göre % 14,7 oranında daha yüksek maliyete sahip olan asfalt yol, 2017 yılında % 40,17, 2018 yılında % 43,77 ve 2019 yılında % 72,68 oranlarına ulaşarak beton yolla arasındaki maliyet makasını iyice açmıştır. Tablo 3.7.deki bir diğer bulgu ise 2016-2017, 2017-2018 ve 2018-2019 yılları arasında maliyetlerin değişim oranlarıdır. Burada yine 2018-2019 yılı arasında beton yol maliyet değişimi %18,50 olarak,

asfalt yolun değişimi ise %42 olarak gerçekleşmiştir. 2019 yılındaki buyk artışın ne buyk nedeni 2018 yılı Ağustos ayında doviz kurlarını ařırđ duzeyde artırmasına bağlı olarak petrol ürünlerinin fiyatlarının dolayısıyla bitümün fiyatının da yükselmesinden kaynaklanmaktadır. Buradan ithal bir ürün olan petrol ürünlerinin doviz kurlarına bağlı oluşan fiyatlamaların ařırđ etkilenmesi gözlenebilirken, beton hammaddesi olan imento ülkemizde üretildiği için bu fiyatlamalardan fazla etkilenmemiştir.

şekil 3.6’da ise, Tablo 3.7’de gösterilen ve yıllara göre gerçekleşen fiyatlamaların grafiksel olarak gösterimi ve değişimini kapsamaktadır. Beton yolun maliyet artış eğrisi dğrusal iken, asfalt yolun maliyet artış eğrisi logaritmik artışlar göstermiştir.



şekil 3.6. KGM birim fiyatlarından yararlanılarak yapılan asfalt ve beton yol tasarımlarının yıllara göre fiyat değişimleri grafiği

Tablo 3.8. KGM birim fiyatları ile 2019 yılı beton ve asfalt yol yapım maliyetleri (l=1 km, e=8mt.)

İşin Adı: 2019 yılı KGM birim fiyatları ile hesaplanan beton yol yaklaşık maliyeti
İş Grubu: Ana Grup>İnşaat İmalatları (Alttemel+Temel+Betón Káplama)

S. No	Poz No	İmalatın Cinsi	Birim	Miktarı	Birim Fiyatı	Tutarı
1	KGM/16.120/K-H	Her Türölü İnşaatta Kuruda veya Suda Her Dozda Demirsiz Beton (C 25/30 Hazır Beton Harcı ile)	m ³	1.600	254,53	407.248,00
2	KGM/6000	Ocak Taşından Konkasörle Kırılmış Malzeme ile Alttemel Yapılması	m ³	1.600	41,68	66.688,00
		N.YF.06 Taş nakli	m ³	528	15,82	8.352,96
3	KGM/6040	Temel Yapılması [Kırılmış ve Elenmiş Ocak Taşı ile (1 inç)]	m ³	1.600	44,75	71.600,00
		N.YF.06 Taş nakli	m ³	1.600	15,82	25.312,00

Toplam: 579.200,96 TL/km

İşin Adı: 2019 yılı KGM birim fiyatları ile hesaplanan asfalt yol maliyeti
İş Grubu: Ana Grup>İnşaat İmalatları (Alttemel+Plentmix Temel+Aşınma+Binder)

1	KGM/6000	Ocak Taşından Konkasörle Kırılmış Malzeme ile Alttemel Yapılması	m ³	1.600	41,68	66.688,00
		N.A.4 Alttemel Malzeme Nakli	m ³	1.600	12,63	20.208,00
		N.A.5 Su Nakli	ton	80	2,21	176,80
2	KGM/6126	Plent-Miks Temel Yapılması (Kırılmış ve Elenmiş Çakıllı Malzeme ile)	Ton	4.500	37,46	168.570,00
		N.A.2 Agregá Nakli	Ton	864	7,01	6.056,64
		N.A.5 Su Nakli	ton	225	2,21	497,25
3	KGM/6308-ö	8 cm Sıkışmış Kalınlıkta 1 m ² Asfalt Betonú Binder Tabakası Yapılması (Kırılmış ve Elenmiş Ocak Taşı ile) (Dogalgaz ve Bitüm Bedeli Dahil)	m ²	8.000	44,50	356.000,00
		N.A.1 Bitüm Nakli	Ton	66,08	201,63	13.323,71
		N.A.2 Agregá Nakli	Ton	1.536	7,01	10.767,36
		N.A.3 BSK Nakli	Ton	1.536	7,01	10.767,36
4	KGM/6405	5 cm Sıkışmış Kalınlıkta 1 m ² Asfalt Betonú Aşınma Tabakası Yapılması (Kırılmış ve Elenmiş Ocak Taşı ile) (Tip-1)	m ²	8.000	39,03	312.240,00
		N.A.1 Bitüm Nakli	Ton	66,08	201,63	13.323,71
		N.A.2 Agregá Nakli	Ton	1.536	7,01	10.767,36
		N.A.3 BSK Nakli	Ton	1.536	7,01	10.767,36

Toplam: 1.000.153,55 TL/km

3.3.4. Trabzonda Son 5 Yıllık Asfalt ve Beton Kaplamaların Maliyet İncelemesi

Trabzon Büyükşehir Belediyesince yapılan ve yaptırılan asfalt ve beton kaplamalı yolların harcama maliyetlerinden elde edilen ortalama fiyatlar değerlendirildiğinde asfaltın 5 yıllık ortalama birim maliyet 193,11 TL iken, betonun 5 yıllık ortalama birim maliyet ise 170,23 TL olduğu ortaya çıkmaktadır. Burada hesaplanan asfalt birim fiyatı idarenin ürettiği malzeme olduğundan, plent kullanımı, işçilik maliyetleri maliyet kalemine etki etmemektedir. Diğer taraftan betonun birim fiyatı yüklenici firmalara yaptırılan yollardaki betonun birim fiyatıdır. Tüm bu etkenler göz önünde bulundurulduğunda müteahhitlik karı dahil 5 yıllık ortalama fiyatlara göre asfalt fiyatı beton fiyatına göre %13,4 oranından daha yüksek oranlara ulaşabilmektedir.

Trabzon Büyükşehir Belediyesi tarafından yapılan ve yaptırılan asfalt – beton kaplamalı yolların genel harcama tutuarları içerisinde oranları asfaltın oranı %58 iken, beton kaplamada ise %20 dir. Yukarıda yapılan hesaplamada eğer yollara harcanan tüm para ile yalnızca beton yol uygulaması yapılmış olsa idi son 5 yıl içerisinde ek olarak kaç m³ beton yol kaplaması yapılabilirdi varsayımına dayanmaktadır. Eğer son 5 yıldaki tüm yollar asfalt yerine beton kaplama olsaydı 269.324.991,85 TL (asfalt yola harcanan toplam tutar) ile 170,23 TL (son 5 yıl ortalama beton birim fiyatı) oranlama yapıldığında 1.582.124,14 m³ daha fazla imalat yapılabileceği ortaya çıkmaktadır. Burada asfalt yapılan yollardaki bozulmalar, bakım-onarım yapım maliyetleri ile birlikte değerlendirildiğinde aradaki fark çok dramatik şekilde açılmaktadır.

Trabzon ilinde kırsal alandaki yollar incelendiğinde ortalama 5 mt ile 8 mt genişlik arasında değişen yol platformları karşımıza çıkmaktadır. Buradan hareketle;

- 5 metre genişlikte bir yol için $(1.582.124,14 / (0,2 * 5) / 1000) = 1.582,12$ km yol yapılabileceği,
- 6 metre genişlikte bir yol için $(1.582.124,14 / (0,2 * 6) / 1000) = 1.318,44$ km yol yapılabileceği,
- 7 metre genişlikte bir yol için $(1.582.124,14 / (0,2 * 7) / 1000) = 1.130,09$ km yol yapılabileceği,
- 8 metre genişlikte bir yol için $(1.582.124,14 / (0,2 * 8) / 1000) = 988,83$ km yol yapılabileceği ortaya çıkmaktadır.

2019 yılı KGM birim fiyatları ile oluşturulan 8 metre genişlikteki alttemel+temel+beton kaplama tabakalarından oluşan yolun maliyeti 428.641,40 TL/km'dir.

Asfalt yola harcanabilecek tutar ile 988,83 km ek beton yol yapılabildiğinden yola çıkıldığında toplamda şuanda bu uzunluktaki bir yolu yapmak için güncel fiyatlarla 423.852.475,56 TL'ye ihtiyaç duyulacaktır.

Arazinin yapısı, drenaj sorunları ve alt yapı eksiklikleri gibi nedenlerden çok daha fazla etkilenen asfalt kaplamalı yollar, yol ağı çok geniş bir bölge için özellikle kırsal yollar için tercih olmaktan artık çıkmaya başlamıştır. Asfaltın talep edildiği yerler incelendiğinde de karşımıza en az 20 yıl önce vatandaş tarafından işçiliği yapılan, yüzeyinde bozulmalar meydana gelen beton kaplamalar çıkmaktadır. Yüzeyi bozulan betonlar, asfalt kaplamaya uygun bir temel görevi görmesi dolayısıyla da mantıklı bir diğer tercih olarak görülebilmektedir.

Beton (m³) 20 cm ve asfalt (ton) 8 cm olarak uygulandığından m² olarak aynı alanı kaplamaktadır. Ancak Trabzon'da yapılan asfalt kaplamalı yollar göz önüne aldığımızda zemin koşullarının elverişsiz olması, yetersiz drenaj, serme-sıkıştırma işleminin uygulanmaması, işçiliklerinin düzgün yapılmaması gibi nedenlerden dolayı asfalt kaplamalarda çok hızlı deformasyonlar oluşmaktadır. Bununla birlikte ağır taşıt yükleri altında asfalt kaplama tabakasının gerilmeleri yayması da çökmelere ve yolun kullanım dışı kalmasının önünü açabilmektedir. Beton yollar ise üzerine gelen gerilmeleri geniş bir alana yayarak daha az etkiyi alt tabakalara iletmektedir. Bunlar asfalt yolların bakım-onarımına daha kısa zamanlarda ihtiyaç duymasını, beton yolların ise uzun yıllar bakım-onarımına ihtiyaç duymadan aynı konforla hizmet etmesini sağlamaktadır. Bakım-onarım uygulanması da ilk yapım maliyetleri yanında ek maliyetler oluşturacağından asfalt kaplamalı yollar ekonomiklikten uzak bir konuma gelmektedir. Tüm bunlar birlikte değerlendirildiğinde dayanıklılık ve maliyet açılarından beton yolların asfalt yollara göre çok daha üstün olduğu ortaya çıkmaktadır.

3.4. Bakım Onarım Maliyetleri

Buna göre kırsal alanlarda yapılan bir yola ortalama 1-3 yılda bir bakım onarım ihtiyacı duyulmaktadır. Ortalama 2 yıl olarak değerlendirilebilir. 1 km uzunlukta ve 8 metre genişlikteki bir yol için yaklaşık olarak 32 m³ plentmiks düzeltme tabakası kullanılmaktadır. Bu miktarlar yolun az ya da çok bozulması durumuna göre de değişiklik gösterebilmektedir. Her 4-8 yıl arasında da kaplama tabakası yenilenmektedir. Burada da ortalama olarak 6 yıl alınarak değerlendirme yapılmıştır. Bozulma derecesine göre bu süre

alt ve üst sınırına ulaşabilmektedir. 1 m³ plentmiks düzeltme tabakasının yaklaşık maliyeti Tablo 3.10'da verilmiştir. 1 m³ plentmix maliyeti 556,99 TL olarak hesaplanmıştır. Bu durumda 32 m³ malzemenin maliyeti 8 mt. genişlik için 17.823,68 TL/km ve temizlik maliyeti ise 353,82 TL/km olarak hesaplanmıştır. Toplamda 1 km yolun bakım-onarım maliyeti 18.177,50 TL/km olarak ortaya çıkmaktadır. Kaplama yüzeyi yenileme işleminde ise 8 cm kalınlıkta bir tabaka yol üstüne dökülmektedir. Bu da 1 km uzunlukta ve 8 metre genişlikte kırsal bir yol için (1000m x 8m x 0,08 m x 2,4t/m³) 1.536,00 ton BSK kaplama yapılması anlamına gelmektedir.

Tablo 3.9'da verilen plentmiks tabakasının 2019 birim fiyatlarından oluşturulmuş maliyet iken, Tablo 3.10 ise reglaj temizlik yapılan yolun maliyeti verilmiştir. Reglaj ve temizlik çalışması, yol hendeklerinin, platformunun, drenaj sistemlerinin ve sanat yapılarının temizlenmesini içermektedir. Bu çalışma beton ve asfalt yollar için her yıl uygulanmakta olan çalışmalar olduğundan, maliyetler kalemlerine eklenmiştir.

Tablo 3.9. 2019 fiyatlarına göre 1 m³ plentmiks düzeltme tabakası yaklaşık maliyeti

Sıra	Poz No	İşin Cinsi	Ölçü	Miktarı	B. Fiyatı	Tutar	
1	04.610/1G	MC 800 Bitüm Bedeli	kg	67	2,78	186,26	
2	04.610/1F	MC 30 Astar Bedeli	kg	24	3,26	78,24	
3	4358	Katı Bitümlü Malzemenin Sarnıç veya Tanklarda Emiş Derecesine Kadar Isıtılması (Makine ile)	ton	0,067	50,48	3,38	
4	4365	Sarnıçlı Vagon, Tanker, Kamyon ve Roley Tank Gibi Kaplarla Taşınan Bitümlü Malzemenin Depolanması	ton	0,091	3,74	0,34	
5	4375	Beton ve her nevi asfalt yolların dışındaki yolların el ile süpürülmesi	da	0,010	1.225,00	12,25	
6	4393	Distribütör Makinası ile Astar Bitümlü Malzemesi Püskürtülmesi (Boru ile)	da	0,005	79,75	0,40	
7	4394	Distribütör makinası ile astar bitümlü malzemesi püskürtülmesi (El ile)	da	0,005	184,61	0,92	
8	4102	Ocak Taşından Konkasörle Kırılmış ve Elenmiş 25 mm (1") ve 19 mm (3/4") lik Agregaya Hazırlanması	m ³	1,000	41,11	41,11	
9	4270	Mineral Filler Hazırlanması	ton	0,050	50,00	2,5	
10	4440	Büyük plent ünitesi ile sıcak karışımların hazırlanması, elektronik duyargalı finişerle serilmesi ve silindire sıkıştırılması.	ton	2,300	50,59	116,36	
11	N-042	Temel malzemesinin nakli (Konkasör-Şantiye 20 km)	ton	2,20	20,46	45,01	
12	N-042	Mineral Filler Nakli (20 km)	ton	0,05	20,46	1,02	
13	N-042	Plentmiks Nakli (20 km)	ton	2,300	20,46	47,06	
14	N-122	Bitümlü malzeme Nakli (Batman 654 km)	Ton	0,09	245,93	22,14	
					2019 yılı KDV hariç m ³ maliyet toplam:		556,99 TL

Tablo 3.10. 2019 fiyatlarına göre 1 km mahalle yolunun temizlik yaklaşık maliyeti.

Sıra	Poz No	İşin Cinsi	Ölçü	Miktarı	B.Fiyatı	Tutar	
1	03.508	Motor Greyder'in 1 Saatlik Ücreti (80 HP'den yukarı güçte takriben 9 ton)	saat	1,000	127,15	127,15	
2	03.520	Kazıcı yükleyici (100 HP) (maksimum 2,5 m ³) 1 saatlik ücreti	saat	1,000	120,33	120,33	
3	KGM/03.538/2	Kamyonun 1 saatlik ücreti (120 HP gücünde, 7 ton kapasiteli)	saat	1,000	106,34	106,34	
					2019 1 km reglaj çalışması toplam		353,82 TL

Karayolları Genel Müdürlüğü tarafından hazırlanmış olan Haziran 2018 yılında yayınlanan “ 2017 Yılı Devlet ve İl Yolları Bakım-İşletme Maliyetleri Harcamaları ” adlı rapor incelendiğinde Karayolları 10. Bölgesinin bakım onarım maliyetleri 18 bölgenin arasında en yüksek bakım - işletme maliyetlerine sahip bölge olduğunu göstermektedir. Yayınlanan rapor incelendiğinde Karayolları 10. Bölge Müdürlüğü tarafından 2017 yılında ihale edilerek yapılan bakım-işletim masrafları 40.706 TL/km, emanet usulü ile Karayollarının kendi çalışan ve ekipmanıyla yaptığı bakım-işletim masrafları 49.133 TL/km toplam masrafın ise 89.839 TL/km olduğu görülmektedir [77].

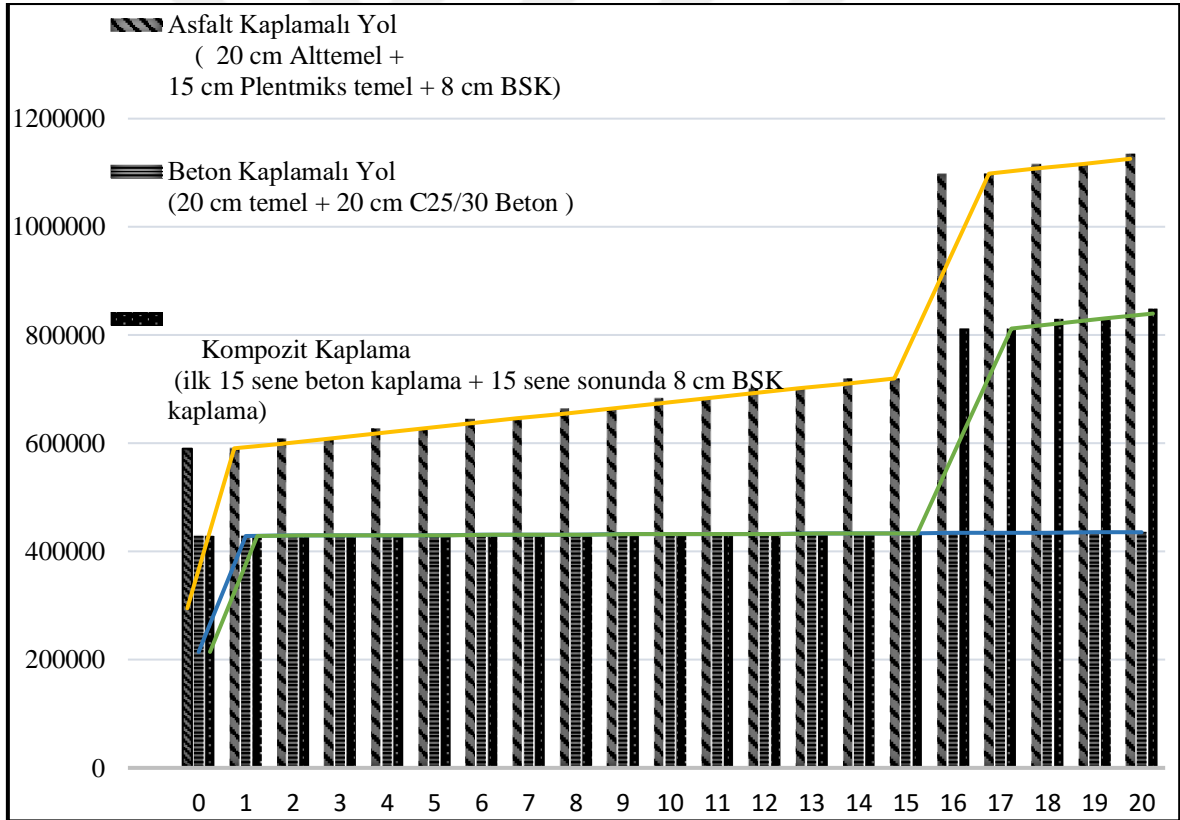
Mevcut yollarının % 94'lük kısmı asfalt kaplamalı yollardan oluşan Karayolları Genel Müdürlüğü çok daha iyi ekipmanlarla ve uygun satırlarda imalat yapmasına karşın bu verilere göre KGM 10. Bölgede bakım-onarım maliyetleri oldukça yüksek miktarlara ulaşmaktadır. Kırsal yollar daha bozuk ve elverişsiz koşullarda olduğundan ve belediyelerin her yıl KGM de olduğu gibi bakım-onarım ihalesi yaparak yolların düzgünlüğünün korunması gibi bir ödeneği de bulunmadığından yollar çok daha kısa zamanda hizmet ömrünü doldurmaktadır.

Tablo 3.11. Üç farklı kaplama türünün 20 yıllık maliyet değişimleri

	Asfalt Kaplamalı Yol (20 cm Alttemel + 15 cm Plentmiks temel + 8 cm BSK)	Beton Kaplamalı Yol (20 cm temel + 20 cm C25/30 Beton)	Kompozit Kaplama (ilk 15 sene beton kaplama + 15 sene sonunda 8 cm BSK kaplama)
	BSK (TL)	Beton (TL)	Kompozit Kap. (TL)
0	589.982,34	428.641,40	428.641,40
1	590.336,16	428.995,22	428.995,22
2	608.513,66	429.349,04	429.349,04
3	608.867,48	429.702,86	429.702,86
4	627.044,98	430.056,68	430.056,68
5	627.398,80	430.410,50	430.410,50
6	645.576,30	430.764,32	430.764,32
7	645.930,12	431.118,14	431.118,14
8	664.107,62	431.471,96	431.471,96
9	664.461,44	431.825,78	431.825,78

Tablo 3.11'in devamı

10	682.638,94	432.179,60	432.179,60
11	682.992,76	432.533,42	432.533,42
12	701.170,26	432.887,24	432.887,24
13	701.524,08	433.241,06	433.241,06
14	719.701,58	433.594,88	433.594,88
15	720.055,40	433.948,70	433.948,70
16	1.097.803,88	434.302,52	811.697,18
17	1.098.157,70	434.656,32	812.050,98
18	1.116.335,20	435.010,14	830.228,48
19	1.116.689,02	435.363,96	830.582,30
20	1.134.866,52	435.717,78	848.759,80



Şekil 3.7. Kaplama cinsine göre 20 yıllık toplam maliyetler grafiği

Tablo 3.11'deki veriler incelendiğinde 20 yıllık ömürleri içerisinde asfalt kaplamalı yollar, beton kaplamalı yollarla karşılaştırıldığında ilk yapım, bakım onarım ve tekrar yapım maliyetlerinin toplamında yaklaşık % 160 daha maliyetli çıkmıştır.

Bunun temelde nedenlerini iki ana başlıkta toplayabiliriz. Birincisi beton yolların asfalt yollara göre suya karşı çok daha dayanıklı olması, ikincisi de beton yolların asfalt yollara göre taşıma kapasitelerinin daha yüksek olmasıdır. Ayrıca yolları ana bileşenlerine bakıldığında asfalt petrol türevi olduğundan ve dış kaynak olması dolayısıyla döviz artışlarından doğrudan etkilenmektedir. Bu da yıllar içerisindeki logaritmik olarak maliyet artışlarına neden olmuştur. Çimento ise yerli bir ürün olup ülkemizde üretilmektedir. Ayrıca çimento en fazla enflasyon oranında fiyat artışlar göstermektedir. Bu nedenle çimento fiyat artışı doğrusal olmaktadır. Yapılan inceleme ve hesaplamalarda da beton yolların asfalt yollara göre Trabzon ilinde çok daha dayanıklı ve daha uzun bir servis ömrü ortaya koyduğu gösterilmiştir. Kompozit kaplamalı yolların 20 yıllık süre içerisinde maliyetleri ise, asfalt kaplamalı yollara göre % 33,71 daha az olarak hesaplanmıştır.

Maliyet olarak (20 yıl sonundaki İlk yapım+bakım-onarım maliyetleri) kaplama tiplerini sıralayacak olursak; asfalt kaplamalı yollar>kompozit kaplamalı yollar>beton kaplamalı yollar sonucu ortaya çıkmıştır.

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışma aynı iklim etkileri ve trafik yüküne maruz kalan ve aynı yol güzergahı üzerinde yer alan asfalt ve beton kaplamaların dayanıklılıkları karşılaştırılmıştır.

Tonya ilçesi Merkez Kaleönü Mah.- Çayırıcı – Kalınçam - Erikbeli - Kadırğa yayla güzergahındaki beton ve asfalt kaplamalı yollardan alınan karot numunelerinin basınç dayanım testlerinden elde edilen sonuçlarda;

Tonya Çayırıcı köprüsü - Kalınçam Mahallesi arasındaki beton yolun test sonuçları proje dayanım sınıfı olan C25/30'u, Kalınçam mahallesi ile Erikbeli yayla arasındaki beton yolun sonuçları proje dayanım sınıfı olan C25/30'u, Erikbeli-Kadırğa yaylası arasında beton yolun test sonuçları ise proje dayanım sınıfı olan C30/37'yi sağlamıştır. Tonya Merkez Kaleönü mahallesi - Çayırıcı köprüsü arasındaki asfalt kaplamalı yolun ise akma dayanımı standartları sağlarken, stabilite değeri limit değerlerin altında kalmıştır.

Çayırıcı - Kalınçam mahalleleri arasındaki beton yolun yapımı üzerinden 15 yıl geçmesine rağmen aynı konforda hizmet vermekte iken, Tonya Merkez Kaleönü Mah.- Çayırıcı köprüsü arasındaki asfalt kaplamalı yolun yapımından bu yana 5 yıllık bir süre geçmiş olmasına rağmen yolun belirli kısımlarında çökme, çatlama vb. deformasyonlar sıklıkla gözlemlenmiştir. Bu da iklim koşullarına ve trafik yüklerine karşı beton yolun asfalt yola göre dayanıklılığının daha yüksek olduğunu göstermektedir.

Beton ve asfalt yolların maliyet karşılaştırmalarından elde edilen sonuçlara bakıldığında, Trabzon Büyükşehir Belediyesi plenti birim fiyatları ile hesaplanan ilk yapım maliyetlerinde beton yollar asfalt yollara göre % 37,65, 20 yıllık yol maliyetlerinin (ilk yapım, bakım-onarım ve yeniden kaplama) ise % 160 daha uygun maliyetlere sahip olduğu tespit edilmiştir. Yine 20 yıllık maliyetlere göre beton üstü asfalt kaplama olarak uygulanan kompozit kaplamaların ise asfalt kaplamalı yollara göre % 33,71 oranında daha düşük maliyetlere sahip olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca Trabzon Büyükşehir Belediyesince 2014-2015-2016-2017-2018 yıllarını kapsayan 5 yıllık dönemde asfalt yol kaplamalarına harcanılan tutar ile beton yol uygulaması yapılmış olsaydı beton yollara ek olarak 1.582,12 m³ (5 metre genişlikteki yol için 1.582,12 km) beton yol yapılabileceği anlaşılmıştır. İlk yapım maliyetleri, 20 yıllık maliyetler ile asfalt yol yerine beton yol tercihinden elde edilen sonuçlar fayda-maliyet avantajı sağlayarak kamu kaynaklarının verimli kullanılması açısından Trabzon ili için önemli bir tercih olduğu görülmüştür.

Ayrıca beton hammaddesi olan çimentonun yerli bir ürün, asfaltın hammaddesi olan bitümün ise ithal bir ürün olduğu göz önünde tutulduğunda ülkemizin cari açığını azaltılmasında beton yol kullanımının ne denli büyük bir katma değer sağlayacağı unutmamalıdır.



5. KAYNAKLAR

1. Umar, F. ve Yayla, N., Yol İnşaatı, 4. Baskı, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul, 1994.
2. T.C. Bayındırlık ve İskân Bakanlığı Karayolları Genel Müdürlüğü, Karayolu Teknik Şartnamesi 2006, Yayın No: 267, Karayolları Genel Müdürlüğü Matbaası, Ankara, 2006.
3. <https://docplayer.biz.tr/43463525-Beton-yol-kalinlik-tasarimi-prof-dr-mustafa-kararahin.html> 19 Ekim 2019.
4. TMH., Türkiye Mühendislik Haberleri, Yayın No:5, 2003.
<https://www.thbb.org/teknik-bilgiler/beton-yollar/>, Aralık 2019.
5. Bakış, A., Esnek ve Rijit Üstyapılarda Kaplama Kalınlığı ve Üstyapı Maliyetinin En Küçük Kareler Yöntemiyle Hesaplanması, Haziran 2018, Bitlis, Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi, 110-118.
6. Umar, F.ve Açar, E., "Yol Üstyapısı", İTÜ İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul, 1991
7. Saltan, M., Esnek Üstyapıların Analitik Değerlendirilmesi, Doktora Tezi, SDÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 1999.
8. The British In-situ Concrete Paving Association, Cement&Concrete Association in Pavement Construction, BCA Crowthorne, Berkshire, 2002.
9. T.C. Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, Karayolları Genel Müdürlüğü, Karayolu Teknik Şartnamesi, Yayın No: 267, Karayolları Genel Müdürlüğü Matbaası, Ankara, 2006.
10. Yeğinobalı, A., Niçin Beton Yol, Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği Arge Enstitüsü, Ankara, 2009.
11. Güngör, A.G., Sağlık, A. ve Ünal, N., Karayolları Genel Müdürlüğü Beton Yol Deneme Kesimleri Performans Değerlendirmesi, 2. Karayolları Ulusal Kongresi, Ekim 2011, Ankara, 71-85.
12. Açar, E., Sütaş, İ. ve Öztaş, G., Beton Yollar (Rijit Yol Üstyapıları), İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Matbaası, 1998.
13. Harrington, D., Abdo, F., Adaska, W., Hazaree, C., Guide for Roller Compacted Concrete Pavements, National Concrete Pavement Technology Center, Institute for Transportation, Iowa State University, 2010

14. State-of-the-Art Report on Fiber Reinforced Concrete (ACI 544.1R82), Concrete International, May, 4, 9-30, 1982.
15. Design Considerations for Steel Fiber Reinforced Concrete (ACI 544.4R-88), Manual of Concrete Practice, Part 5, American Concrete Institute, Detroit, 18, 1988.
16. Guide for Specifying Proportioning Mixing Placing and Finishing Steel Fiber Reinforced Concrete, ACI Materials Journal, Jan-Feb, 90, 94 -101, 1993
17. ASTM C 1018,. Standart test methods for flexural toughness and first crack strength of fiber reinforced concrete (using beam with third point loading), American Society of Testing Materials, USA, 1992.
18. https://www.thbb.org/media/281170/gecirimli_beton_uygulama_k%C4%B1lavuzu_147.pdf, 2 Ocak 2020.
19. Eisenberg, B., Lindow, K.C. and Smith, D.R. Permeable Pavements.The American Society of Civil Engineers, Virginia, USA, 2015
20. THBB, Beton Yollar Çalışma Grubu, Beton Yollar, Türkiye Mühendislik Haberleri, 427. Sayı, 2003, 38-44.
21. <http://structpedia.com/beton-yollar/> Enes Karagöz,4 Aralık 2019.
22. Giriş, Ü., Esnek Üstyapılar ile Rijit Üstyapıların Teknik ve Ekonomik Yönden Karşılaştırılması. Gazi Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi, 2007.
23. FEBELCEM, Brüksel ile yazışmalar, Ankara, 2009.
24. <http://www.cement.org/think-harder-concrete-/paving/concrete/highways>, 10 Şubat 2020.
25. Federal Highway Administration., Long-Life Concrete Pavements in Europe and Canada.
<https://international.fhwa.dot.gov/pubs/pl07027/pl07027.pdf>, 18 Aralık 2019
26. Huber, G.A., Kriech, J.A. ve Selçuk, S., Karışım Tasarım Teknolojilerinin Üstyapı performansına etkileri: Karayolu Ulaşımının Geleceği İçin Önemi, 2. Karayolları Ulusal Kongresi, Ekim 2011, Ankara, 132-141.
27. American Association of State Highway and Transportation Officials, AASHTO Guide for Design of Pavement Structures, Washington D.C., 1993.
28. Ecevit, O., Karayollarında Rijit Üstyapı Uygulamaları ve Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2007.

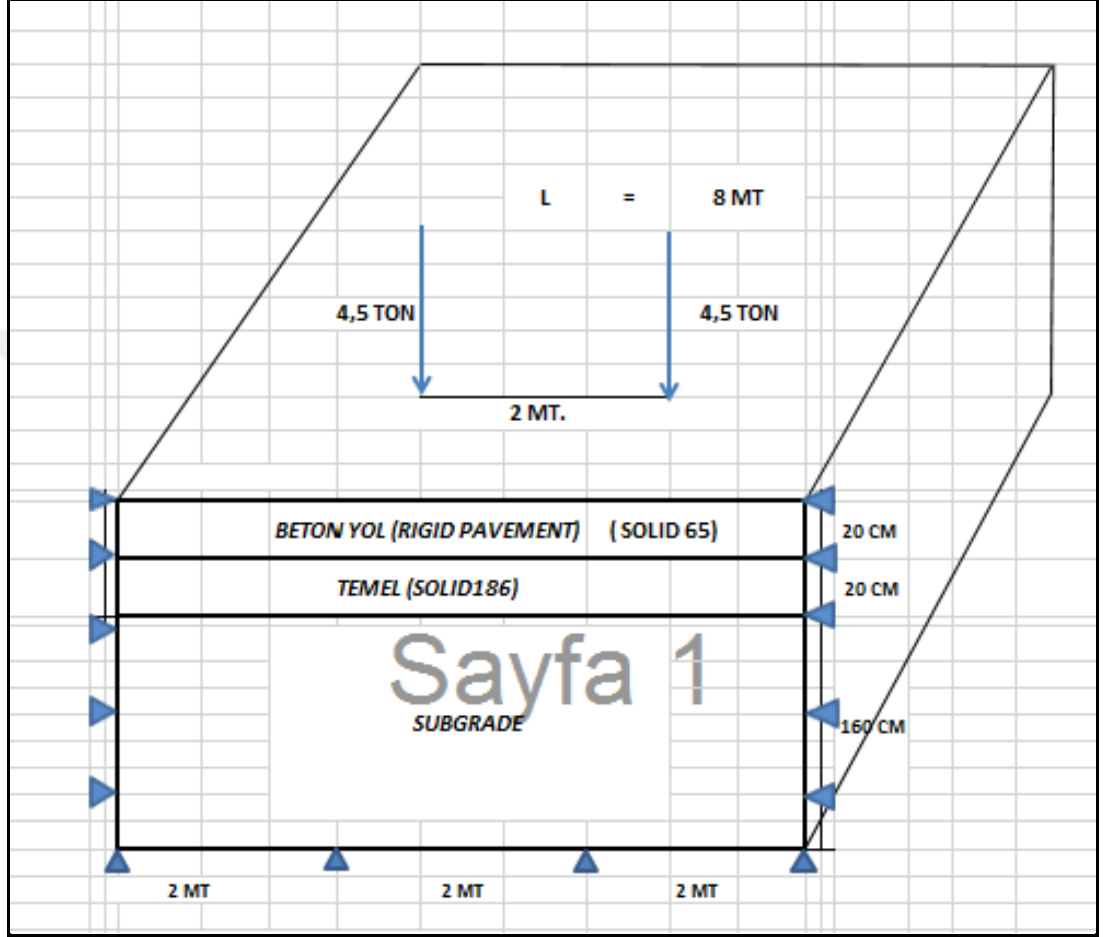
29. Kuloğlu, N., Kök, B.V., Yılmaz, M. ve Tanyıldızı, M. AASHTO Metodunda Rijit Üstyapı Kaplama Kalınlığına Etki Eden Parametrelerin İncelenmesi, Fırat Üniversitesi Elazığ 2011. .
30. The Indian Concrete Journal, Çeviren: Akakın T. THBB Teknik Ofis Sorumlusu, Almanya'daki Beton Otoyolların Yapım ve Tasarımında Son Gelişmeler, Şubat 2002.
31. Kumbasar, S., Dünyada Beton Yollar, Hazır Beton Dergisi Türkiye Hazır Beton Birliği, Eylül-Ekim, 110-113.
32. Darter, M.I., Report on The 1992 U.S. Tour of European Concrete Highways, Federal Highway Administration FHWA-SA-93-012, Washington D.C., January 1993.
33. <https://cevreselgostergeler.csb.gov.tr/ulastirma-turlerine-gore-tasinan-yolcu-ve-yuk-miktari-i-85789>, 14 Mart 2020.
34. Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD) and the International Transport Forum (ITF). Intermodal Transport. National Peer Review: TURKEY, 2009.
35. <https://www.kgm.gov.tr/Sayfalar/KGM/SiteTr/Kurumsal/YolAgi.aspx>, 5 Ekim 2019
36. Bayrak, O.Ü., "Rijit üstyapı tasarımına yeni bir yaklaşım". Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 2007
37. <https://www.kgm.gov.tr/Sayfalar/KGM/SiteTr/Kurumsal/YolAgi.aspx>, 12 Nisan 2020.
38. Komut, M., Ünal, E.N. ve Altıok, Ş., Karayolları Genel Müdürlüğü Ağındaki Beton Yol Deneme Yollarının Performans Değerlendirmesi, Karayolları Genel Müdürlüğü, AR-GE Dairesi Başkanlığı, Ankara, 2019.
39. Işık A., Organ İ. v.d., Kamu Maliyesi Ekin Kitabevi Yayınları, sf.342). <http://ekutup.dpt.gov.tr/yatirim/oik573.pdf>, 11 Şubat 2020.
40. <http://ekutup.dpt.gov.tr/yatirim/oik573.pdf>, 11 Şubat 2020.
41. Bulutoğlu K., Kamu Ekonomisine Giriş Yapı Kredi Yayınları, İstanbul, 2003, 317.
42. Şenatalar B., "Fayda-Maliyet Analizinin Kapsamı-Fayda ve Maliyet Kavramları" Maliye Enstitüsü Konferansları, 22.Seri Fakülteler Matbaası, İstanbul, 1972. http://paribus.tr.googlepages.com/g_acar4.doc, 12 Şubat 2020.
43. Açar, E., Öztaş, G. ve Süttaş, İ. 'Esnek Yol Üst Yapısı ile Rijit Yol Üst Yapılarının Teknik ve Ekonomik Yönden Karşılaştırılması', Teknik Rapor, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi, 1998.

44. UÇAR, S. ve Konrapa,U., Yol Üst Yapıları Yapım Maliyetleri Araştırması, Türkiye Hazır Beton Birliği, İstanbul, 2002.
45. AASHTO “ Guide for design of pavement structures”, Washington D.C.,U.S.A. 1993.
46. Richtlinien für die standardisierung des oberaus von verkehrsflächen –RstO 86 Köln, Almanya,1989.
47. Pavement design catalogue for concrete roads in Flanders”,Brüksel, Belgium, 1998.
48. Uçar,S. Akakın,T. ve Dikicioğlu, E., Rijit ve esnek üstyapıların yapım ve ömür maliyetlerinin karşılaştırılması, Avrupa Hazır Beton Toplantısı, ERMCO, Sevilla, 2007.
49. <http://ermco.eu/new/ermco-statistics-2017>,16 Eylül 2019.
50. https://www.tcma.org.tr/tr/uye_fabrikalar, 05.Şubat.2020.
51. Avcı, E., Karayolu Üstyapı Seçim Metodolojisinin Maliyet Ve Teknik Çerçeve Analizi, 2. Karayolları Ulusal Kongresi, 11-13 Ekim 2011, Ankara, 120-131.
52. Baradan, B., Yazıcı, H. ve Ün, H., Beton ve Betonarme Yapılarda Kalıcılık (Durabilite), Türkiye Hazır Beton Birliği Yayınları, İstanbul, 2010.
53. <http://www.penetron.com>, 21 Temmuz 2019.
54. TS EN206-1, Bölüm 1: Özellik, Performans, İmalat ve Uygunluk, TSE, Ankara, 2002.
55. TS 13515, TS EN 206-1'in Uygulamasına Yönelik Tamamlayıcı Standart, TSE, Ankara, 2012.
56. Baradan, B. ve Aydın, S., Betonun Durabilitesi(Dayanıklılı, Kalıcılık), Türkiye Hazır Beton Birliği Yayınları, İstanbul, 2013, 55-56.
57. http://karyapsan.com.tr/BilgiBankasi/Asfalt_Direncleri/BL/1014, 12 Nisan 2020.
58. Tunç,A., Yol Malzemeleri ve Uygulamaları’, Atlas Yayınları, İstanbul, 2001, 840.
59. Cement Association of Canada, www.cement.ca/cement.nsf, 2002, 8 Eylül 2019.
60. www.betonvecimento.com, 14 Eylül 2019.
61. Cement Association of Canada. The Benefits of Concrete Highways, 2000. http://www.lehighnw.com/canada/pdf/Benefits_Of_Concrete_Hwy.pdf, 07 Eylül 2019.

62. Scheving, A. G., Life Cycle Cost Analysis of Asphalt and Concrete Pavements. Reykjavík University Master Thesis, 2011.
63. “Review of Life-Cycle Costing Analysis Procedures”, ERES Consultant for the Ministry of Transportation of Ontario, 1998.
64. PCA Market Intelligence Çev: Çetin C. , Yeni Yol Yapımı Gerçekleri: Asfalt Maliyeti Fiyat Farkının Verilmesi Maddesinin Eyaletlerin Mali Durumlarına Etkileri, Çimento ve Beton Dünyası Dergisi, Mayıs, Haziran 2013.
65. <https://www.sanalsantiye.com/beton-yol-daha-uzun-omurlu-ve-daha-dayanikli/%3famp>, 11 Eylül 2019.
66. <https://www.kgm.gov.tr/SiteCollectionDocuments/KGMdocuments/Istatistikler/YapimBakimIsletmeMaliyet/2017BakimMaliyet.pdf>., 17 Mayıs 2020.
67. <https://www.petform.org.tr/arama-uretim-sektoru/turkiyede-petrol-uretimi/>, 16 Nisan 2020.
68. <https://www.tupras.com.tr/bitum-fiyatlari-kronolojik>, 11 Şubat 2020.
69. Ilıcalı, M., Tayfur, S., Özen, H., Sönmez, İ. ve Eren, K., Asfalt ve Uygulamaları, İsfalt Bilimsel Yayınları No:1 , İstanbul Büyükşehir Belediyesi, İstanbul, 2001
70. <http://cbs@trabzon.bel.tr>, 16 Mart 2020.
71. Karayolları Genel Müdürlüğü, Karayolları Esnek Üst Yapılar Projelendirme Rehberi, Teknik Araştırma Dairesi Başkanlığı, Ankara, 2008.
72. Karayolları Genel Müdürlüğü, Karayolu Teknik Şartnamesi, Karayolları Genel Müdürlüğü Matbaası, Ankara, 2013.
73. Karayolları Genel Müdürlüğü, Beton Yollar Teknik Şartnamesi, Araştırma ve Geliştirme Daire Başkanlığı, Ankara, 2016.
74. TS 500, Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, T.S.E., Ankara, 1.Baskı, Şubat 2000.
75. TS 3720 Bitümlü Kaplama Karışımlarının Hesap Esasları Marshall-Hubbard-Field Metotları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1983.
76. <https://www.kgm.gov.tr/SiteCollectionDocuments/KGMdocuments/Istatistikler/YapimBakimIsletmeMaliyet/2017BakimMaliyet.pdf>, 12 Aralık 2019.

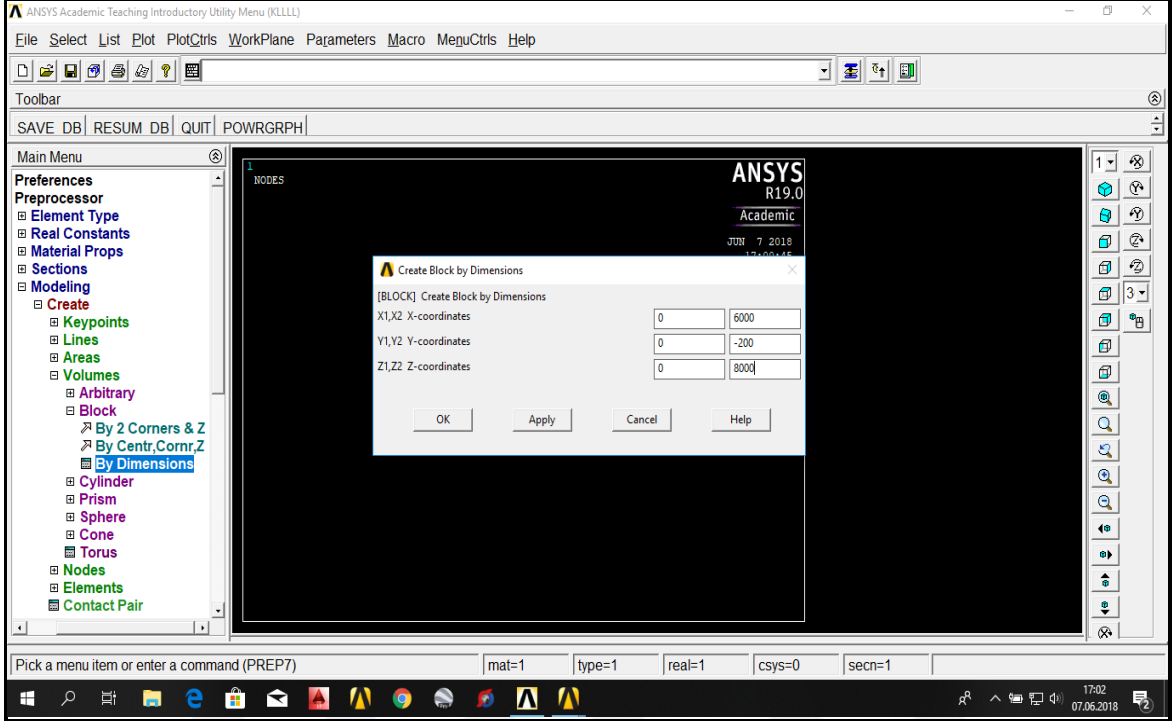
6. EKLER

Ek 1. Analiz edilecek olan yol katmanının görünümü

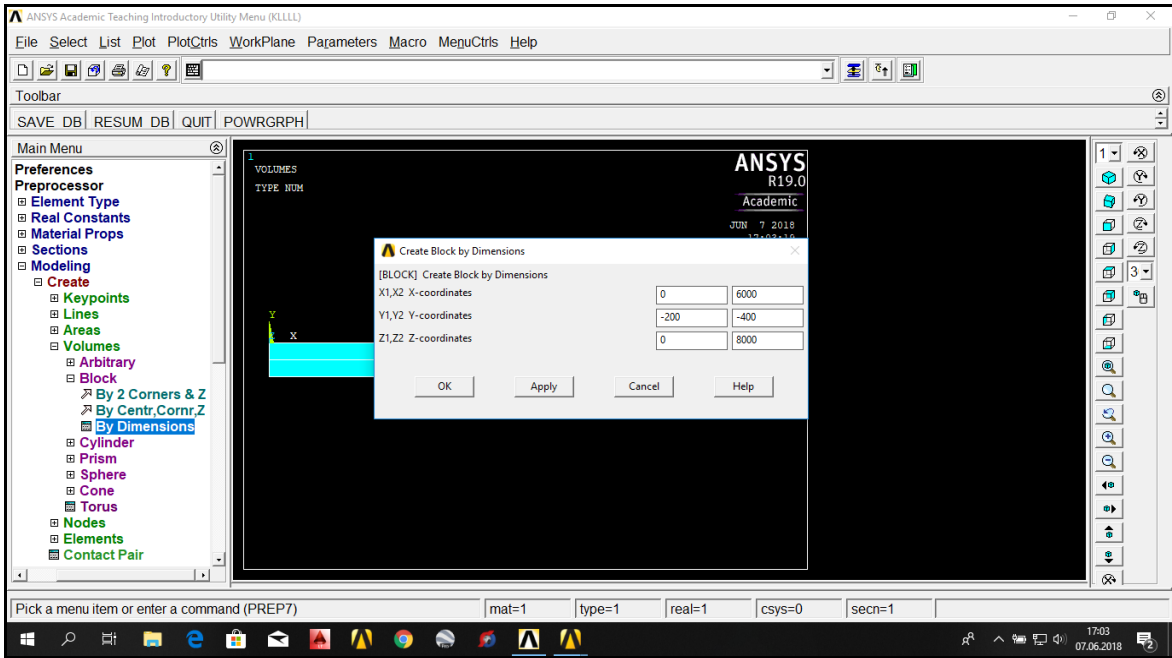


Ek 2. ANSYS programı ile beton ve asfalt kaplama analiz süreçleri

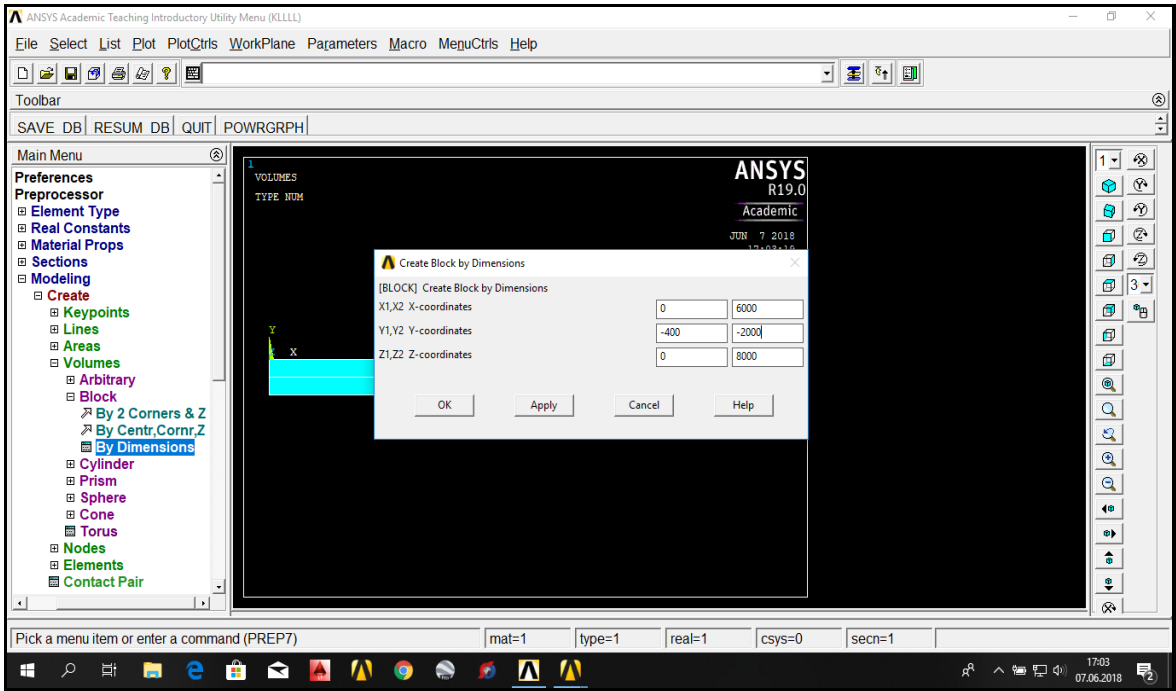
1. Adım: Sistem Modelinin Oluşturulması



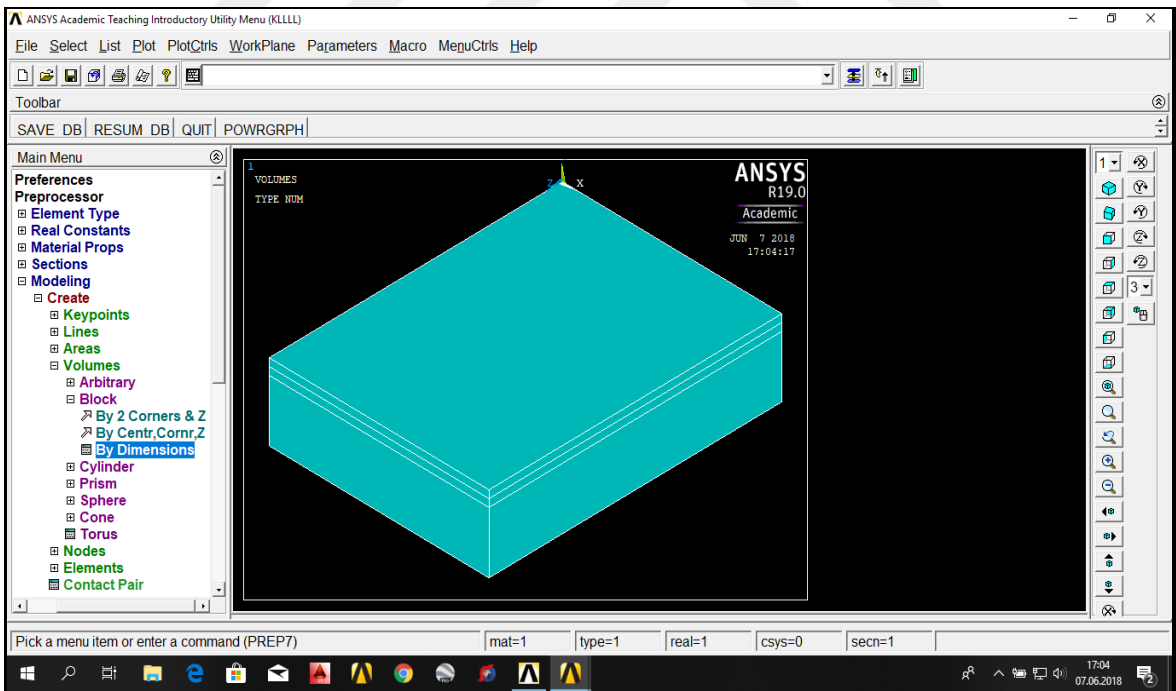
Preprocessor > Modeling > Create > Volumes > Block > By Dimension komutları takip edilerek, X1, X2 - Y1, Y2 - Z1, Z2 koordinatları tanımlanır. Birincil olarak ;
X1:0, X2:6000 - Y1:0, Y2:-200 - Z1:0, Z2:8000



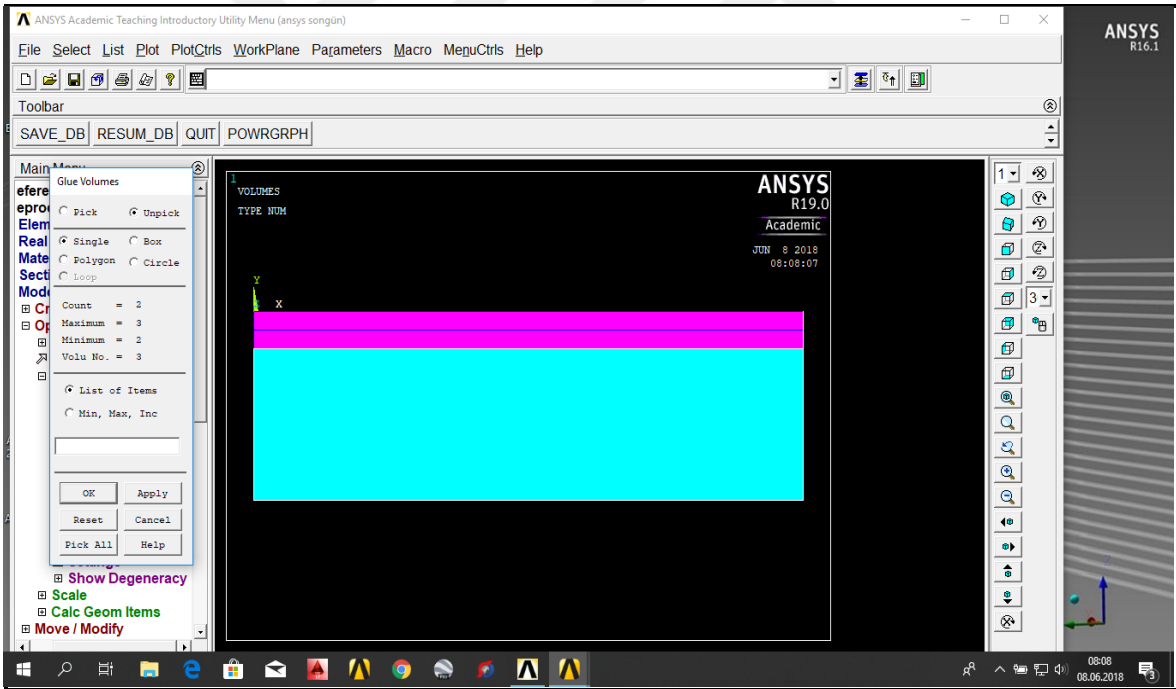
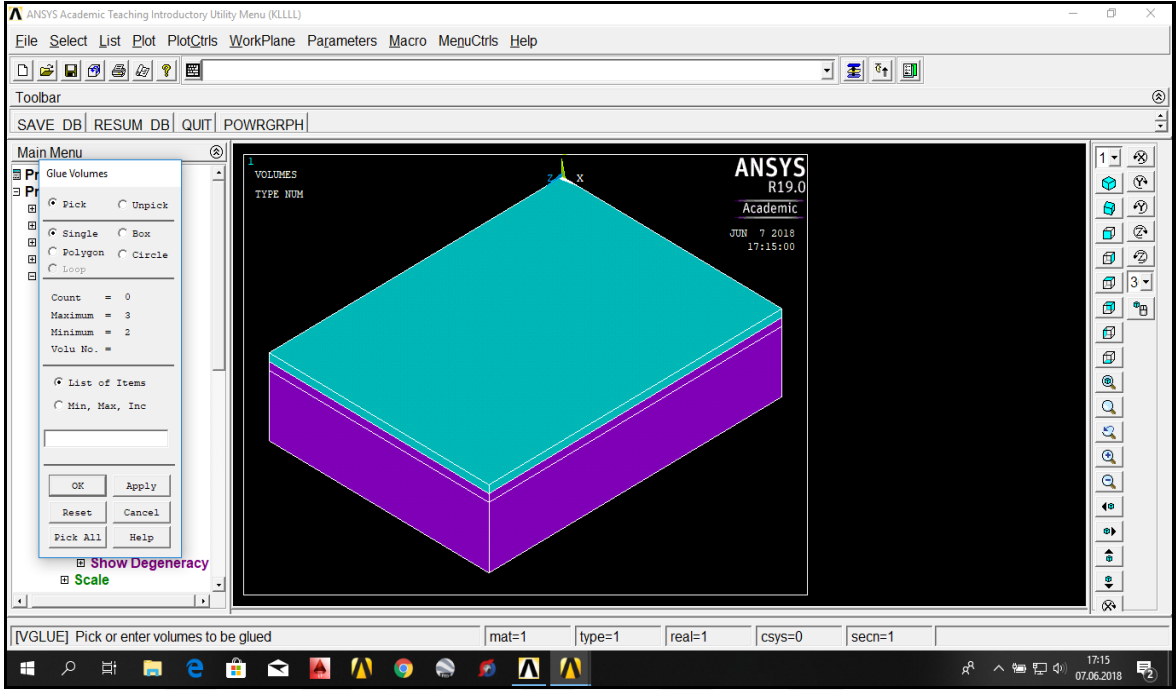
X1: 0, X2: 6000 - Y1: -200, Y2 : -400 - Z1: 0, Z2: 8000



X1: 0, X2: 6000 - Y1: -400, Y2: -2000 - Z1: 0, Z2: 8000 koordinatları girilir ve OK'a basılır.

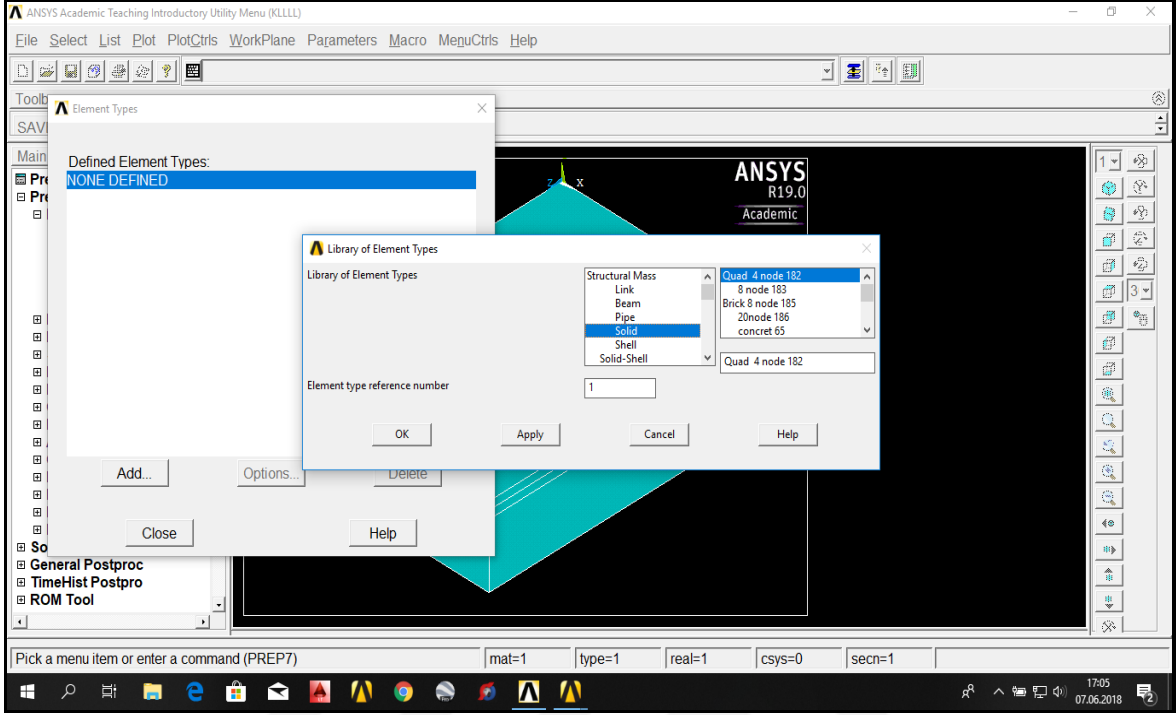


Modelimiz böylece şekildeki gibi ortaya çıkmış oluyor.

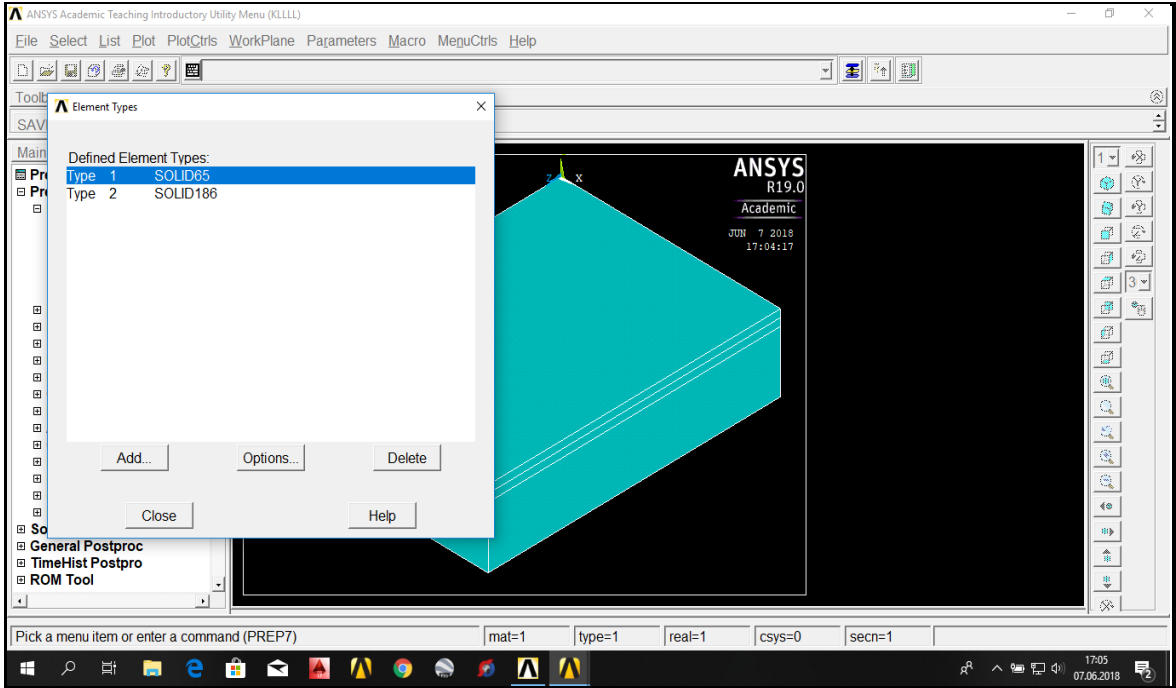


Daha sonra modelimizin sistem şekilde hareketini sağlamak için; Preprocessor>Modeling>Operate>Booleans>Glue>Volume sekmelerini sırasıyla takip ederek hacimlerimizi birleştiriyoruz. Birleştirilecek elemanlarımızı şekildeki gibi belirleyerek OK'a basıyoruz.

2. Adım: Eleman ve Malzeme Özelliklerinin Tanımlanması

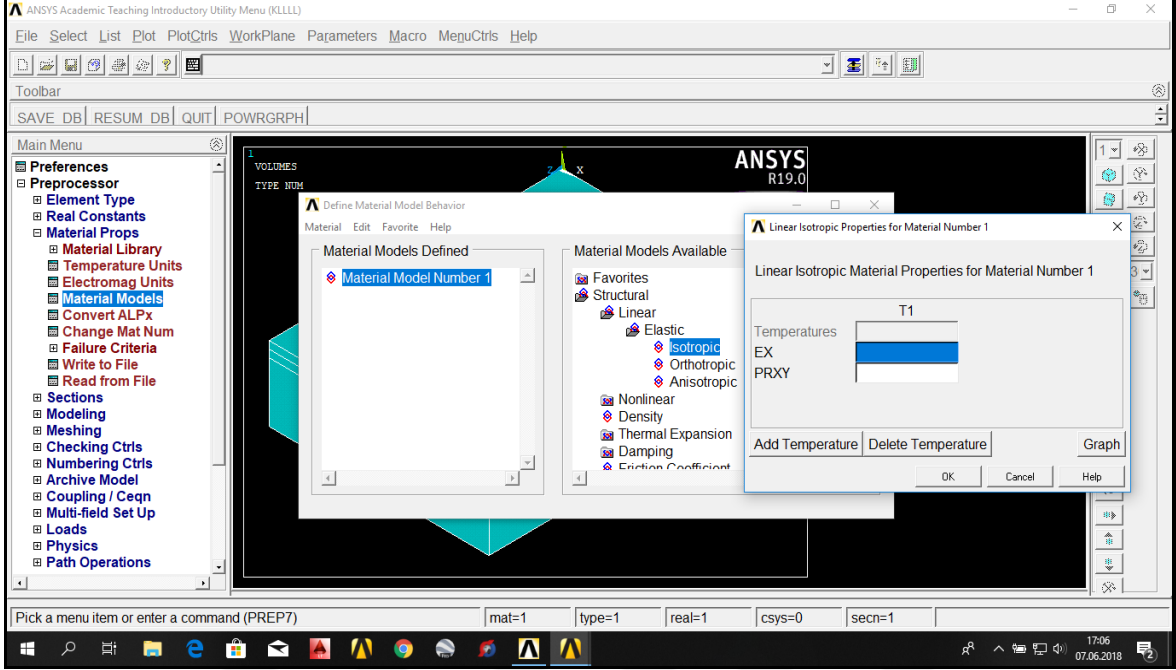


Preprocessor>Element Type>Add/Edit/Delete adımları takip edilerek açılan Element Type penceresinden Add'e basılır.

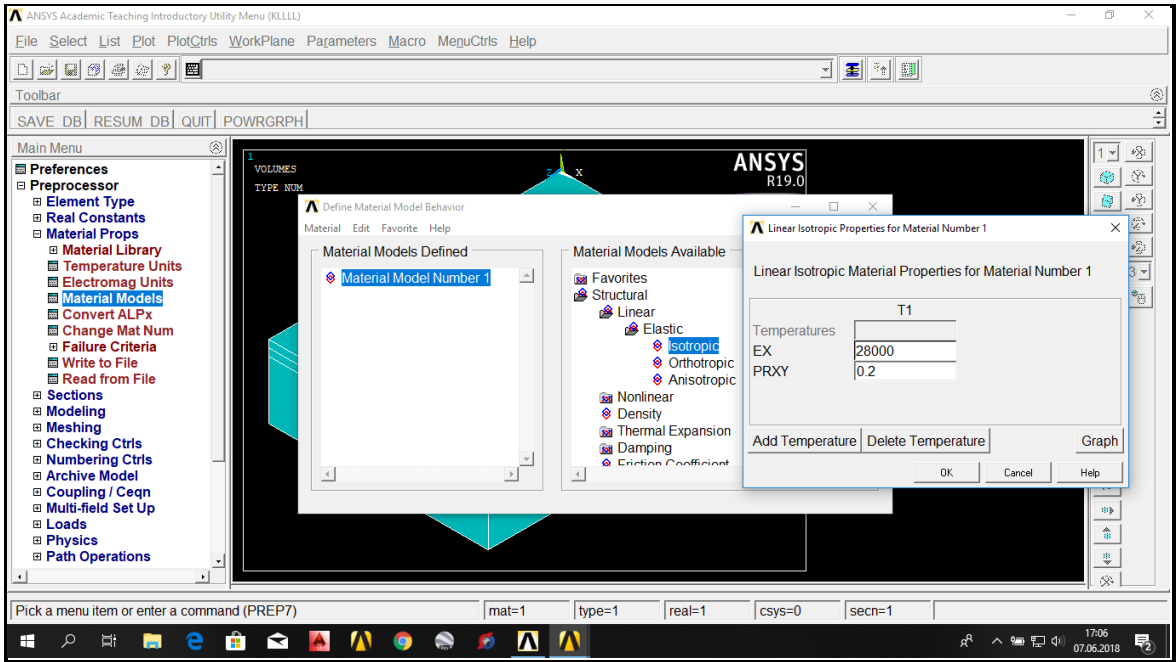


Buradan da Solid 65 Apply ve Solid 186 seçilerek Close ile çıkılır.

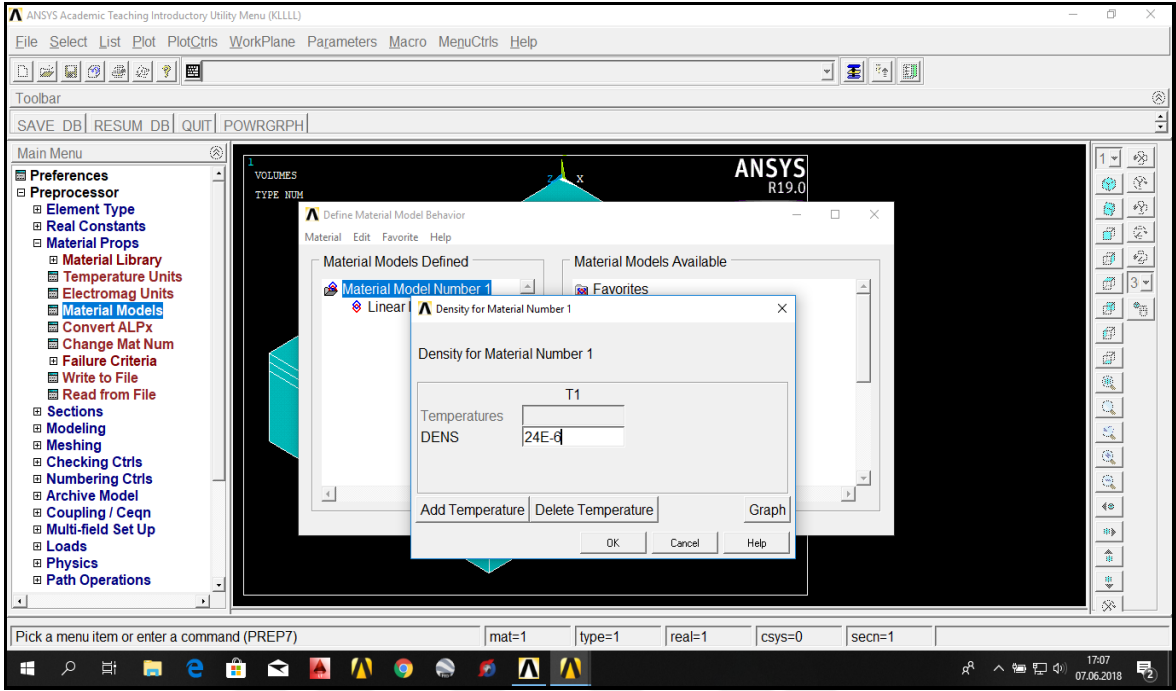
3. Adım: Eleman Tipi İle Malzeme ve Kesit Özelliklerinin Atanması



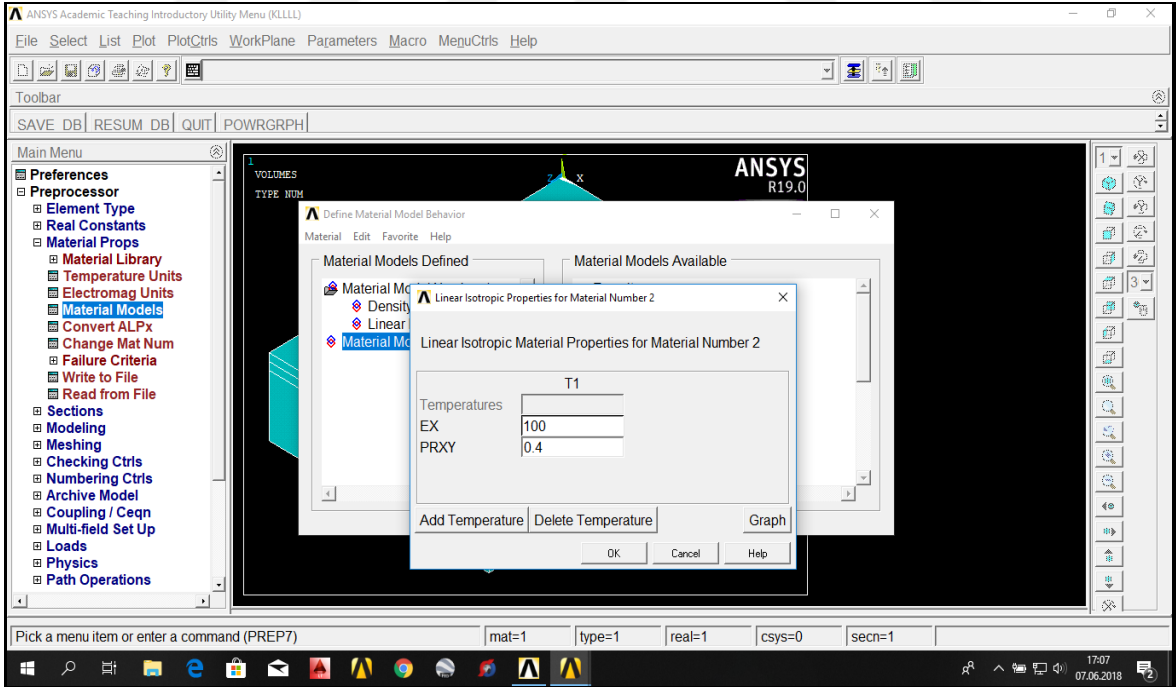
Daha sonra modelimize malzeme tanımlama işlemi için ;
Preprocessor>Material Props>Material Models sıralaması ile ilerleyerek, Define Material Model Behaviour arayüzünden malzemelerimizi sırası ile tanımlıyoruz.



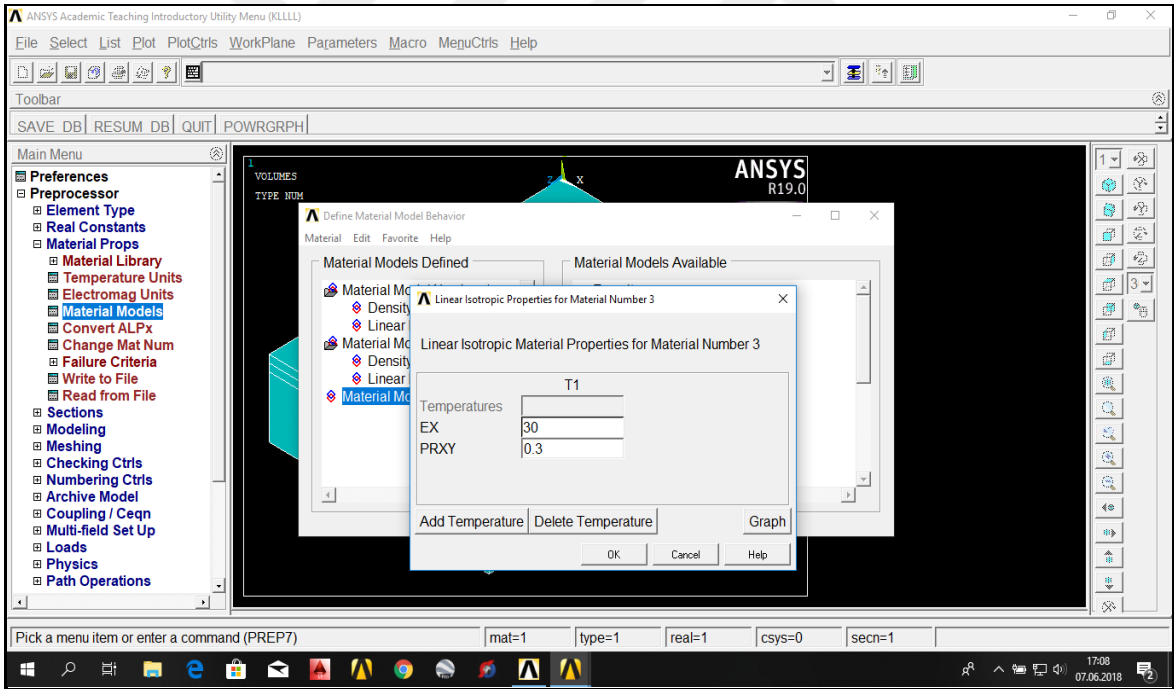
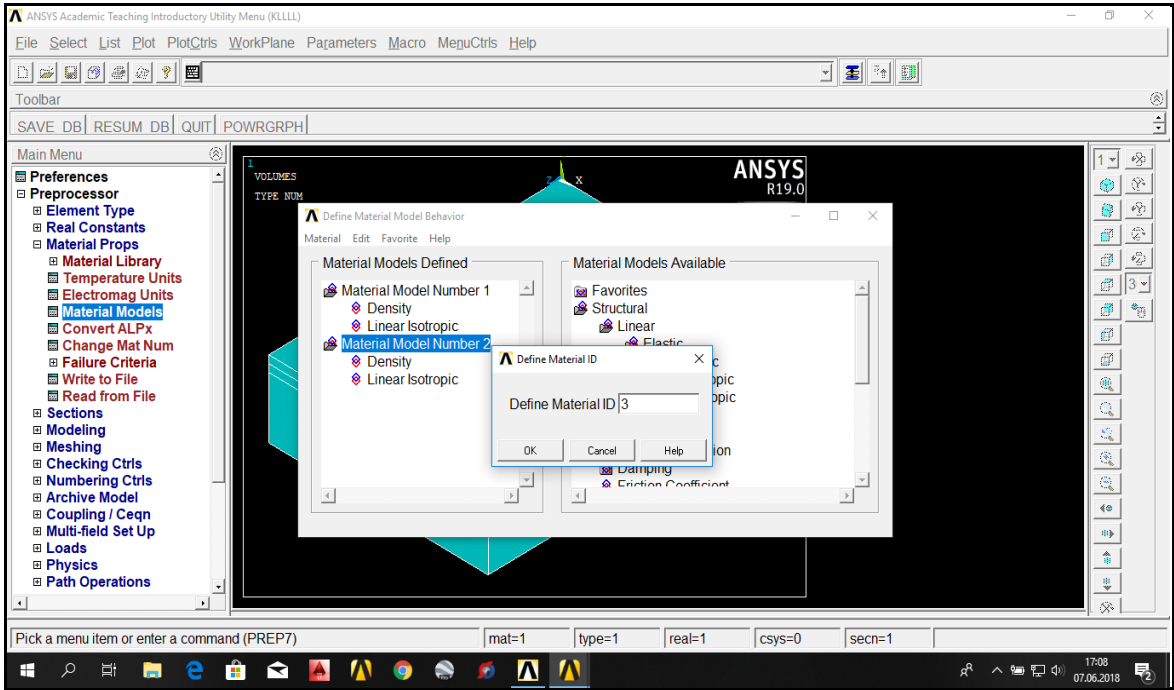
Bu amaçla Structural>Linear>Elastic>Isotropic ilerleyişi ile Elastisite Modülünü ve Poisson oranlarımızı modelin en üst katmanına tanımlıyoruz ve OK diyoruz.



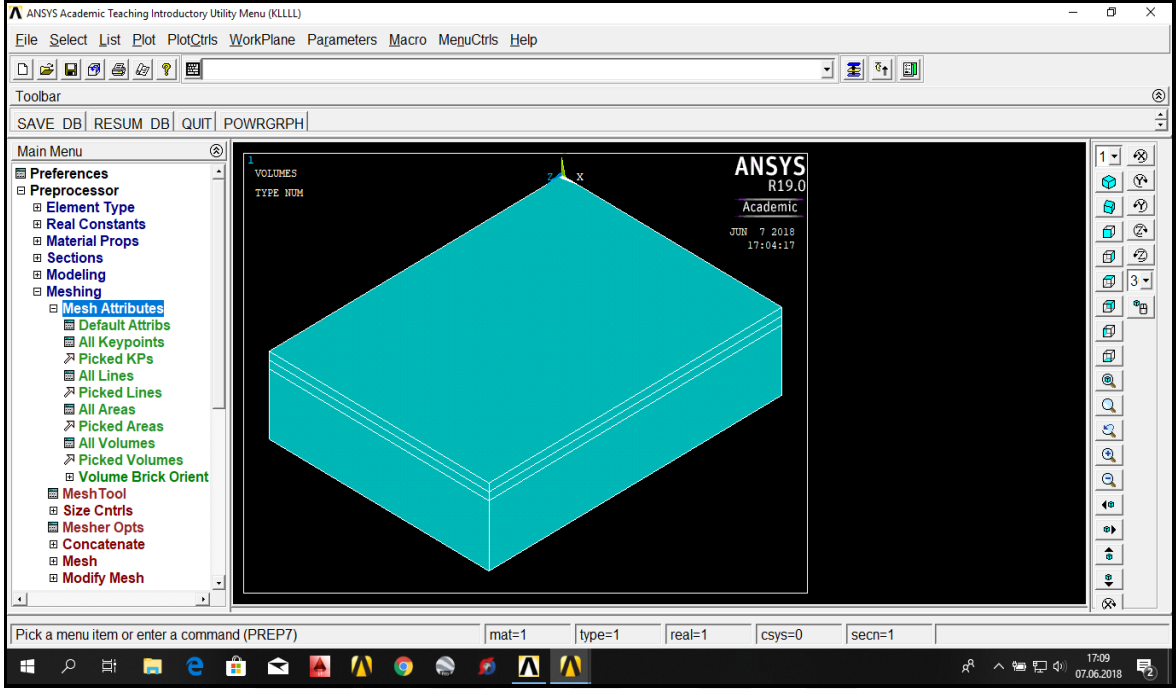
Daha sonra Density sekmesinden malzememizin yoğunluğunu tanımlıyoruz ve OK diyoruz.



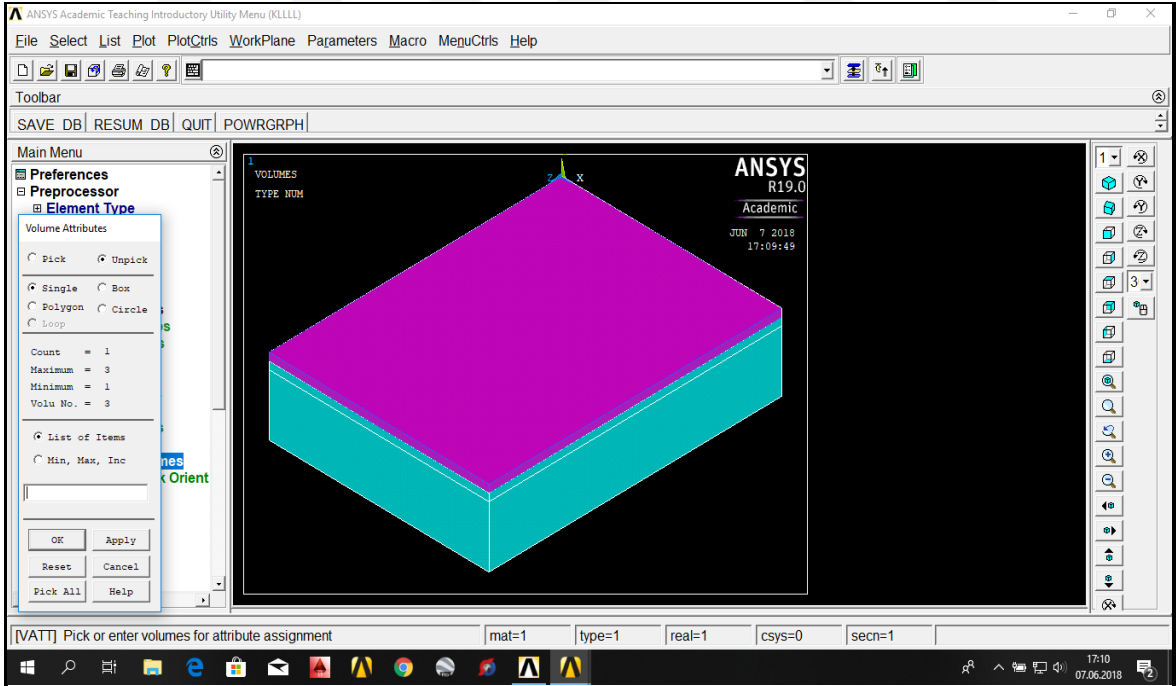
Benzer işlemleri 2. ve 3. katmanlar için de uygulamak suretiyle sırası ile (Elastisite modülü ve poisson oranlarını girilir ve OK'a basılır.)



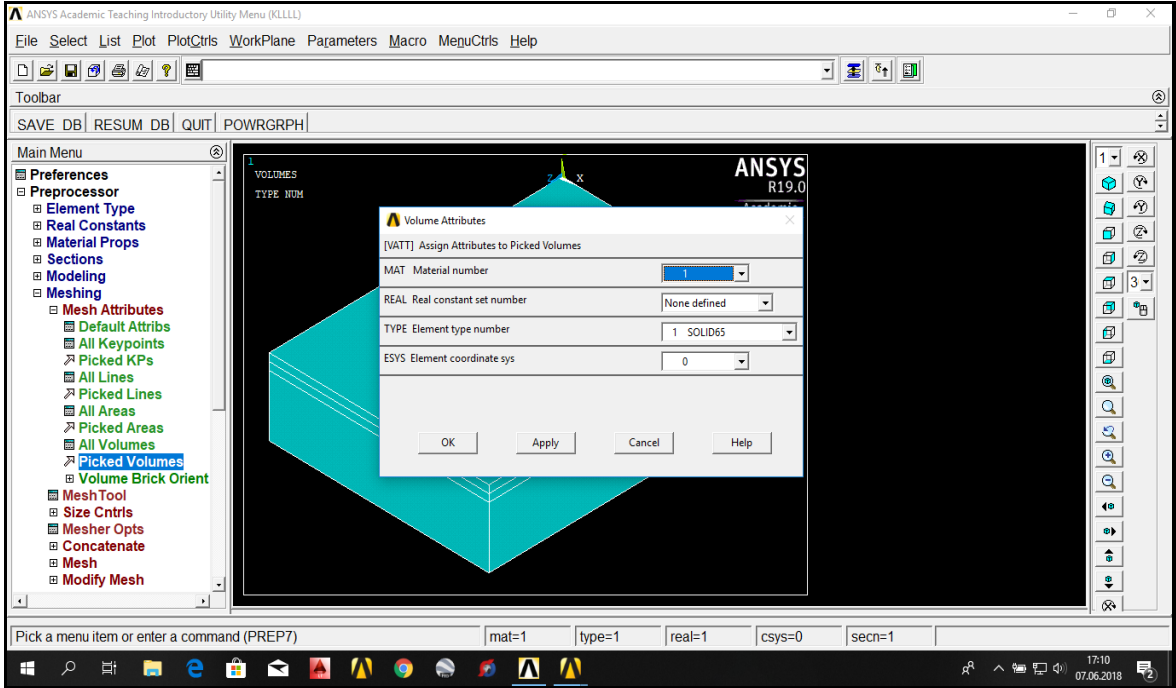
4. Adım: Sonlu Elemanlara Ayırma



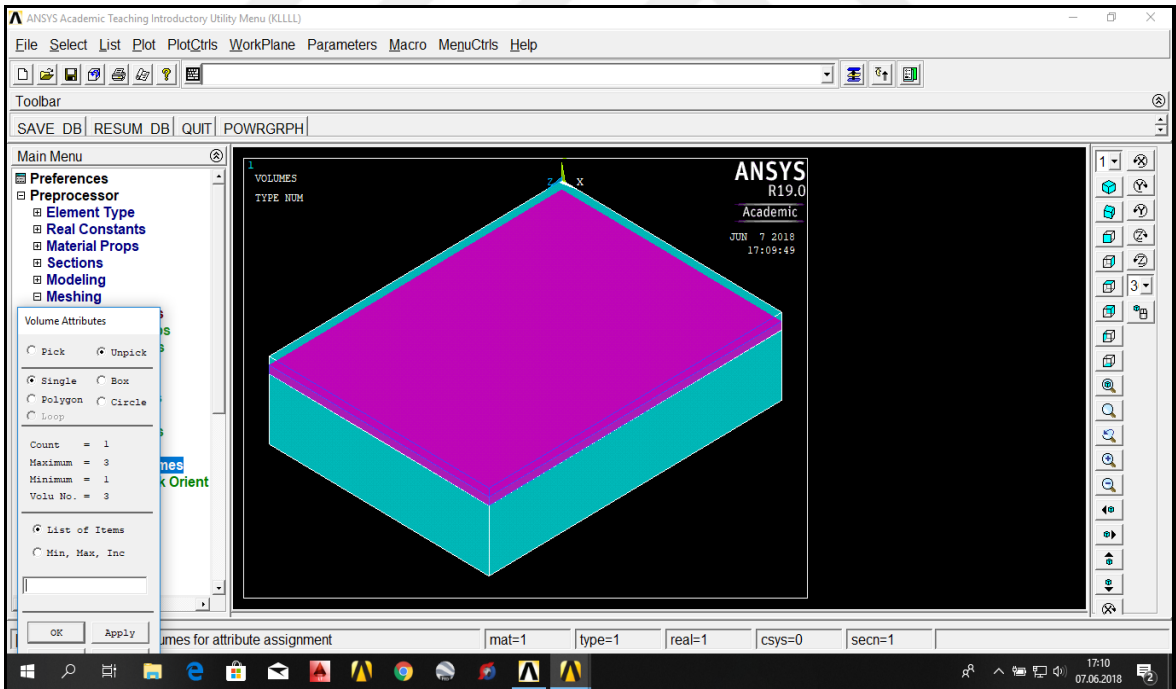
Preprocessor>Meshing>Mesh Attributes>Picked Volume sıralaması ile ilerliyoruz.

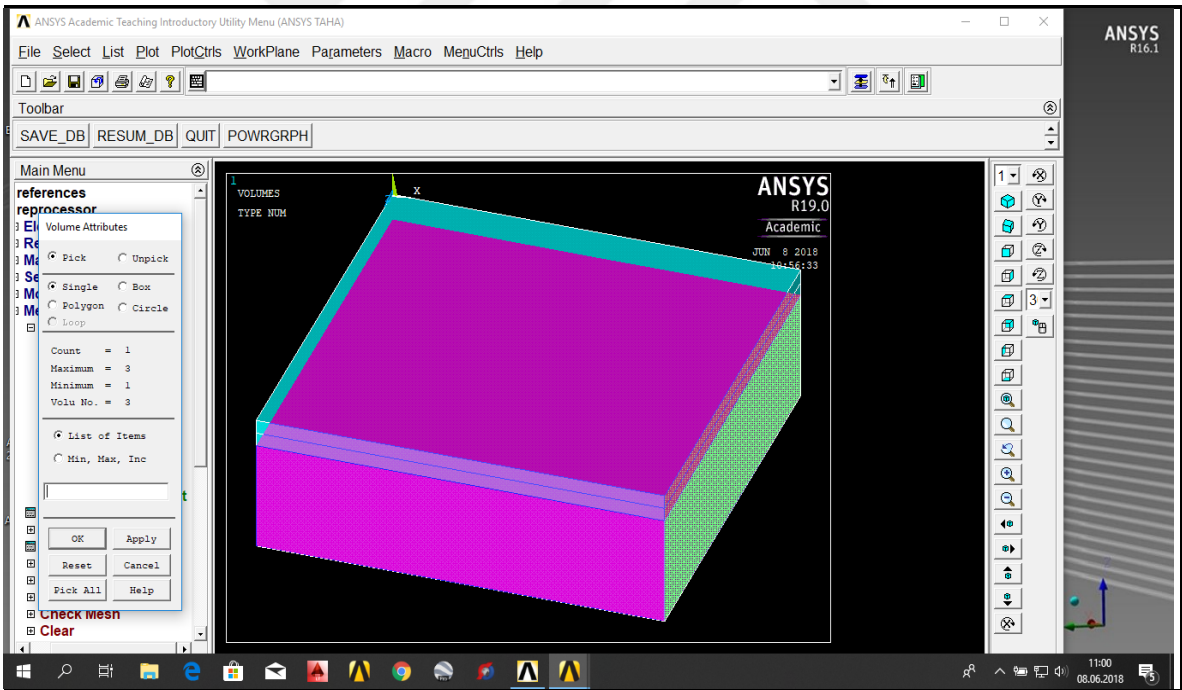
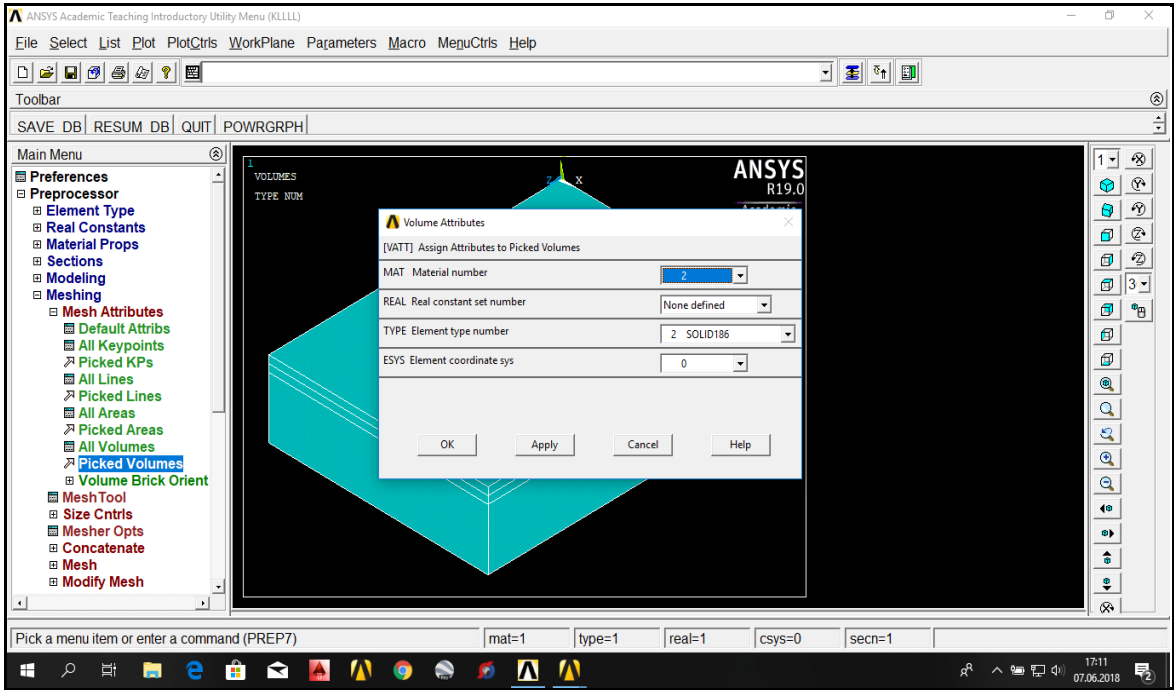


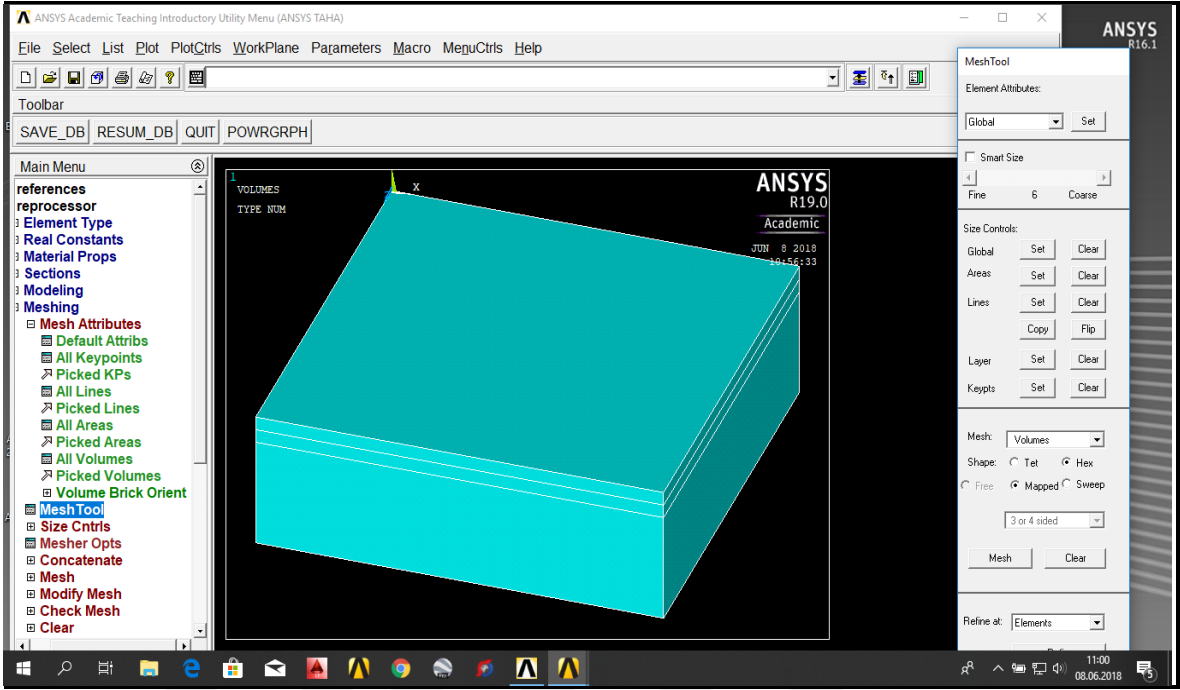
Önce birinci katmanı Volume Attributes diyerek seçiyoruz ve Apply diyoruz.



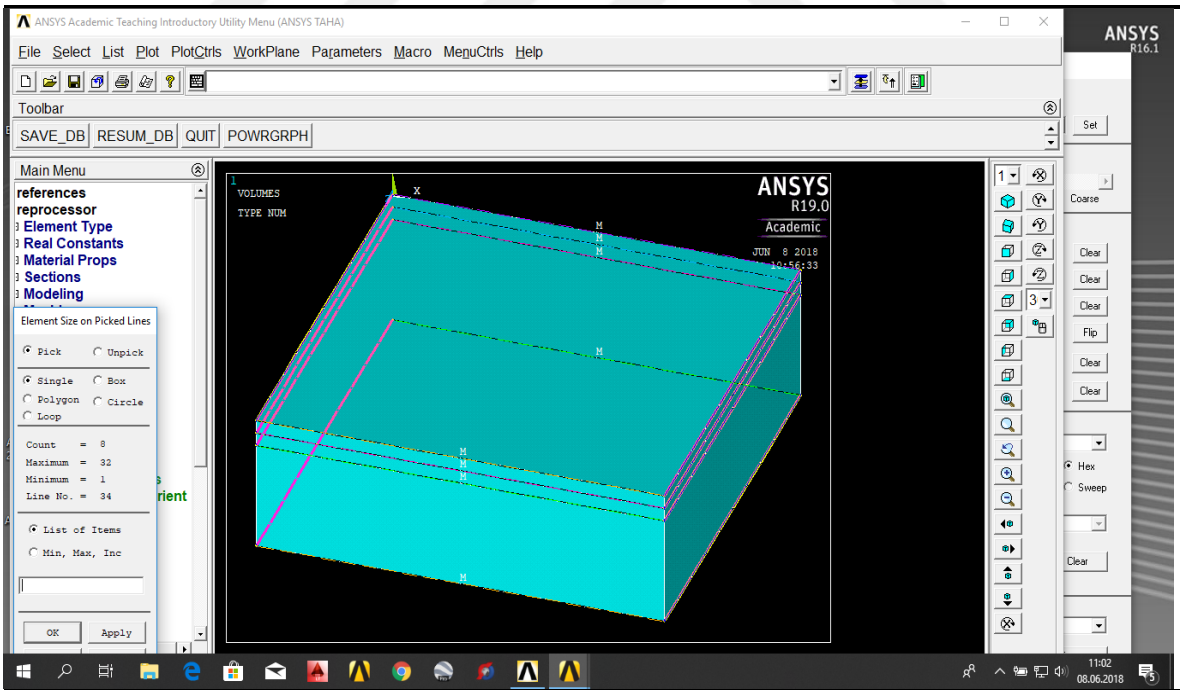
Daha sonra aynı işlemi 2. ve 3. katmanlara da uyguluyoruz ve OK diyoruz.



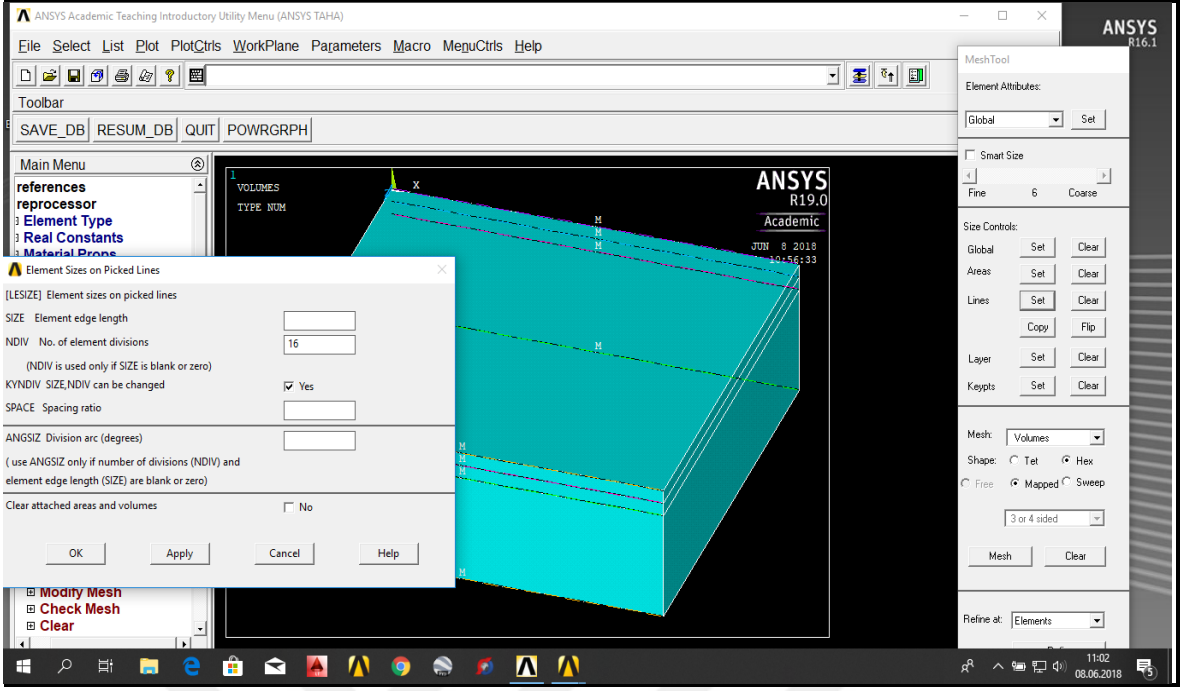




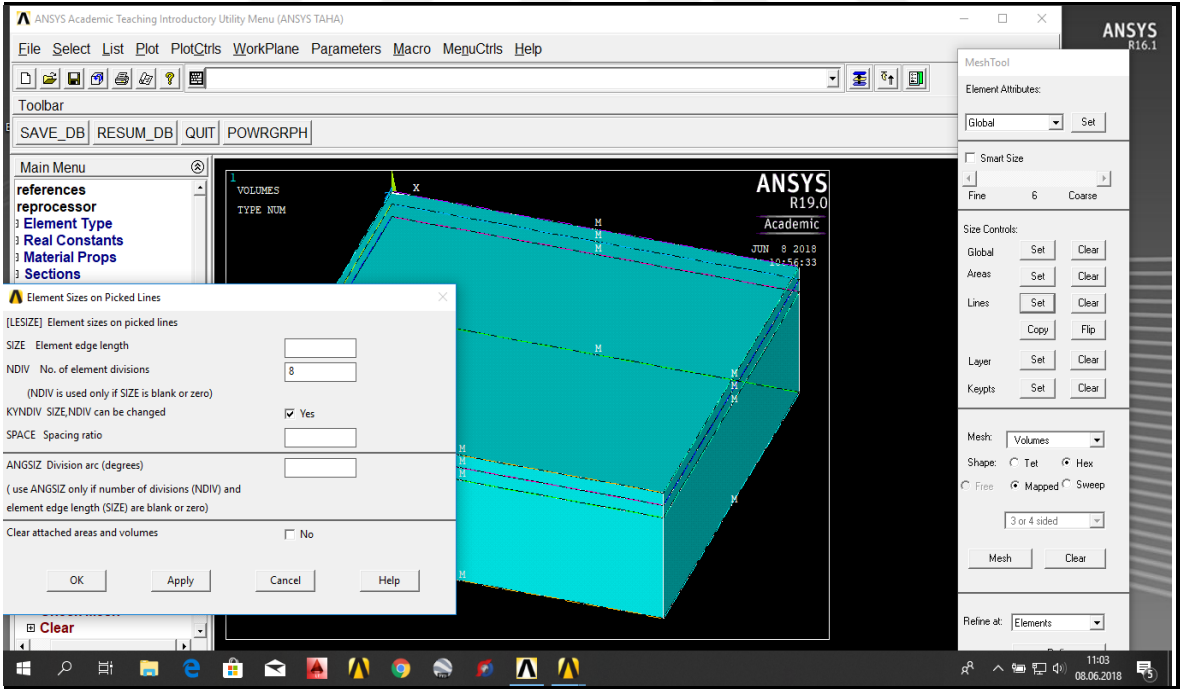
Daha sonra Mesh Tool sekmesine tıklayarak Açılan arayüzden Mesh: Volumes, Shape: Hex ve Mapped diyerek ilerliyoruz ve Lines>Set diyoruz.



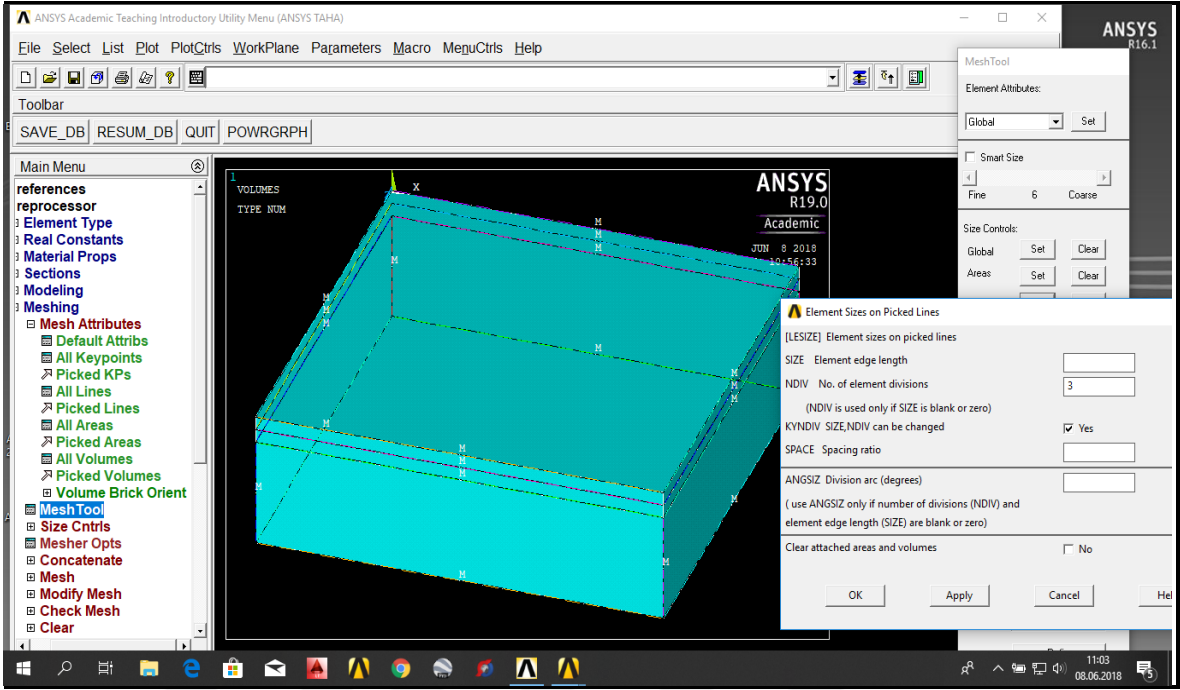
Öncelikle ön ve arka line seçerek 20 eşit parçaya ayırıyoruz. Daha sonra Element Size on Picked Lines penceresinden meshleme aralıklarını tanımlayacağımız çizgileri seçiyoruz.



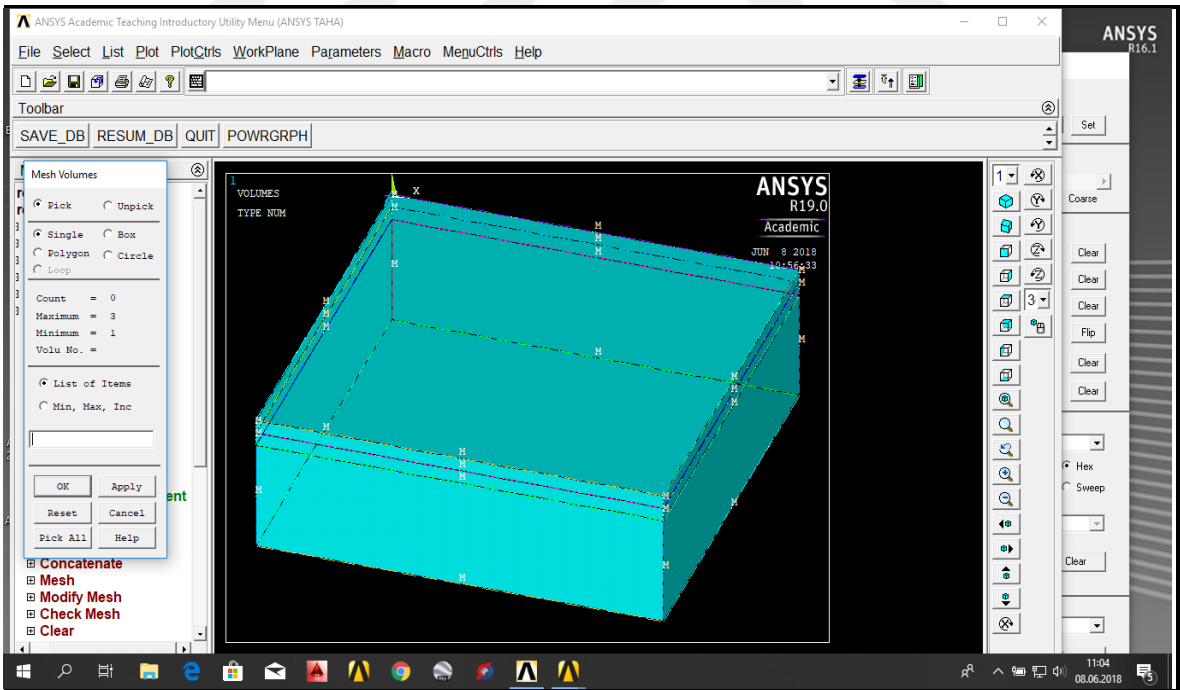
Yan taraflarından seçtiklerimizi 16 parçaya bölüyoruz..



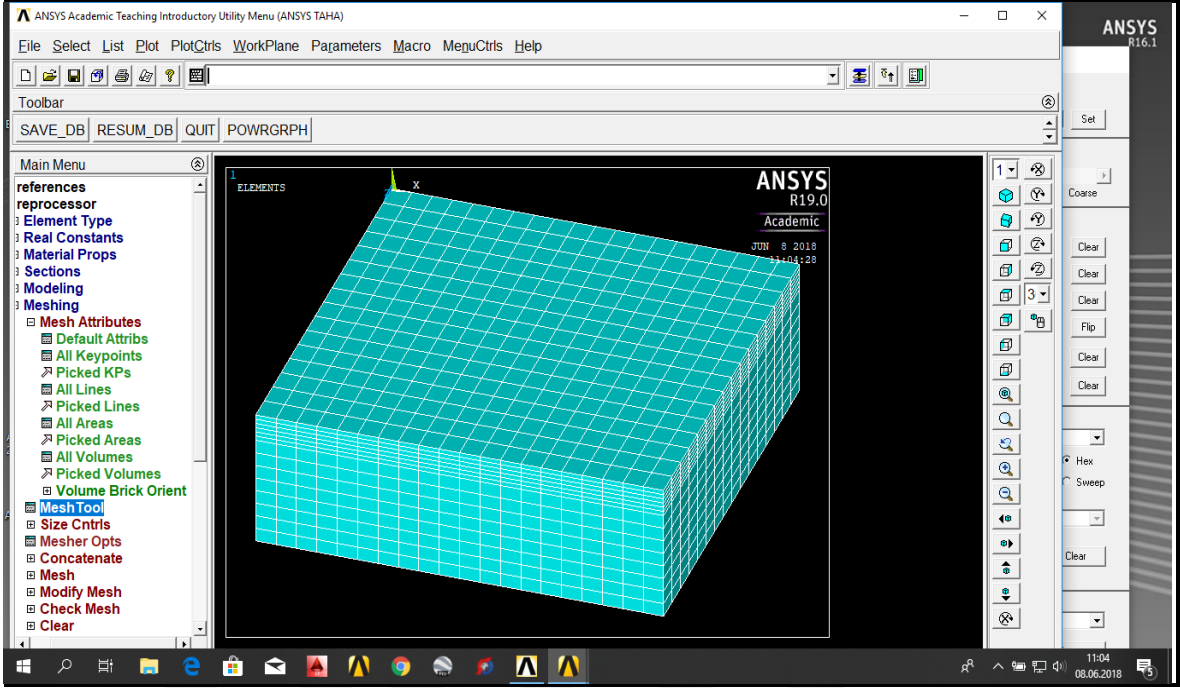
Daha sonrasında en alt katmanın yan tarafları 8 eşit parçaya ayırıyoruz.



20'şer cm olarak belirlediğimiz kalınlıkları ise Element Size on Picked Lines arayüzünden 3 eşit parçaya ayırıyoruz.

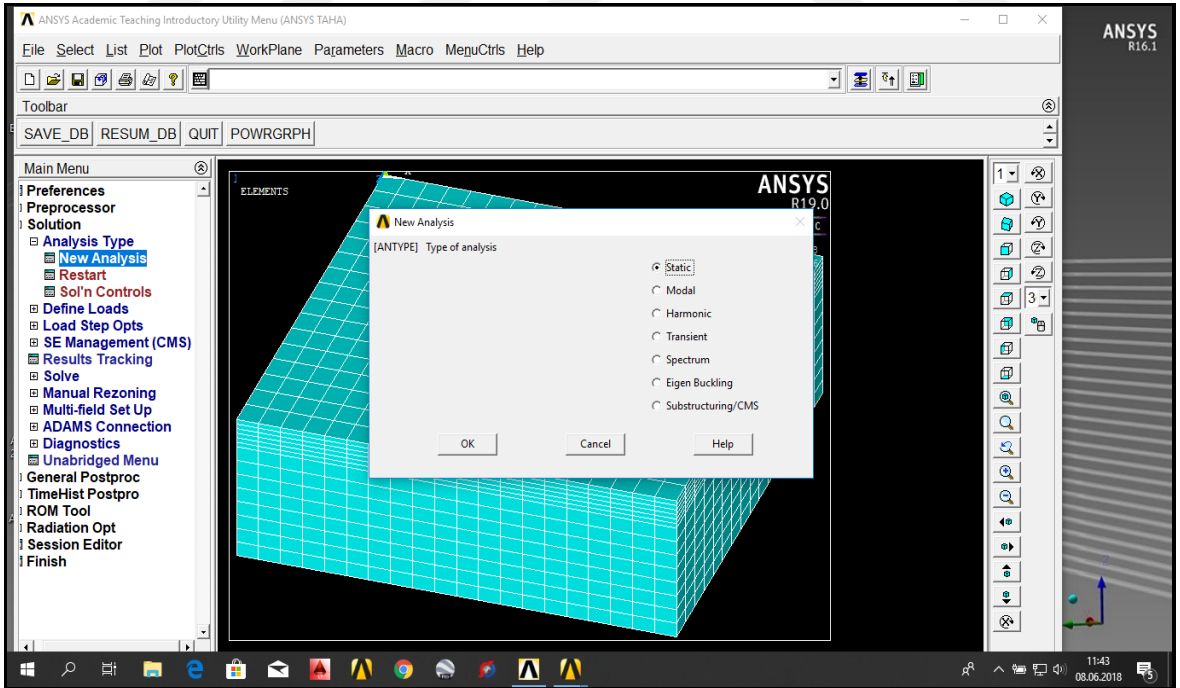


Bütün ayırma işlemleri bittikten sonra Mesh sekmesi Volume seçili olarak Açılan Mesh Volumes açılır penceresinden Pick All denerek Sonlu elemanlara ayırma işlemi bitirilir.

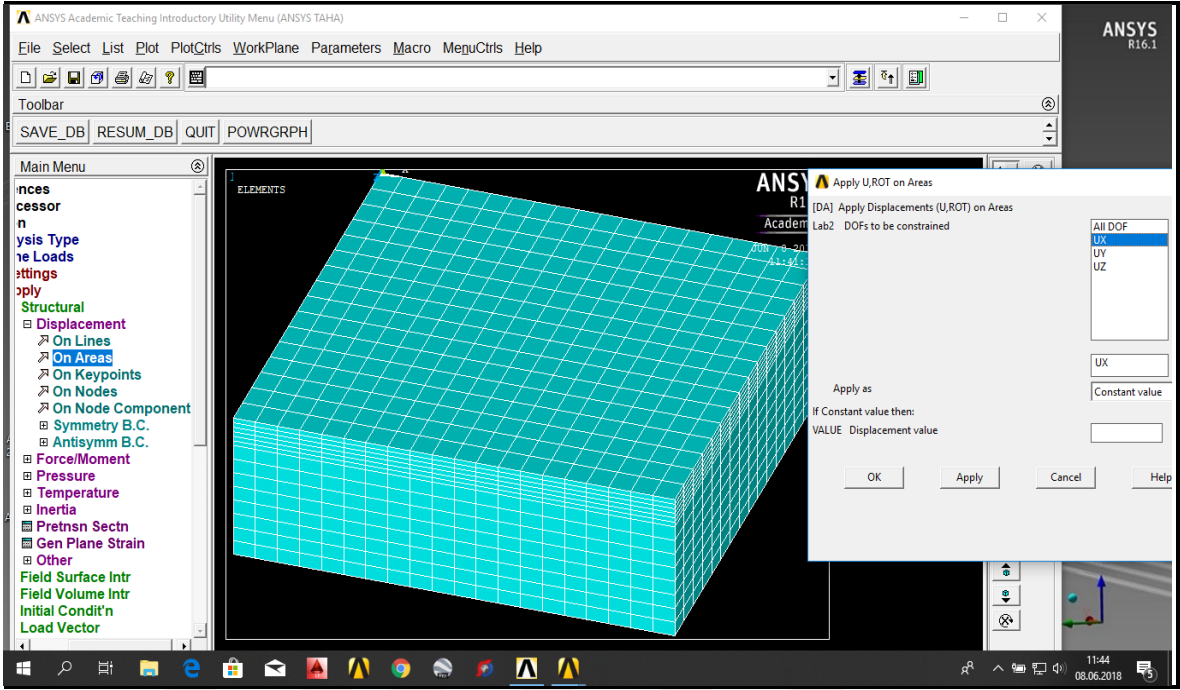


Sonlu elemanlara ayrılmış hali şekilde gibidir.

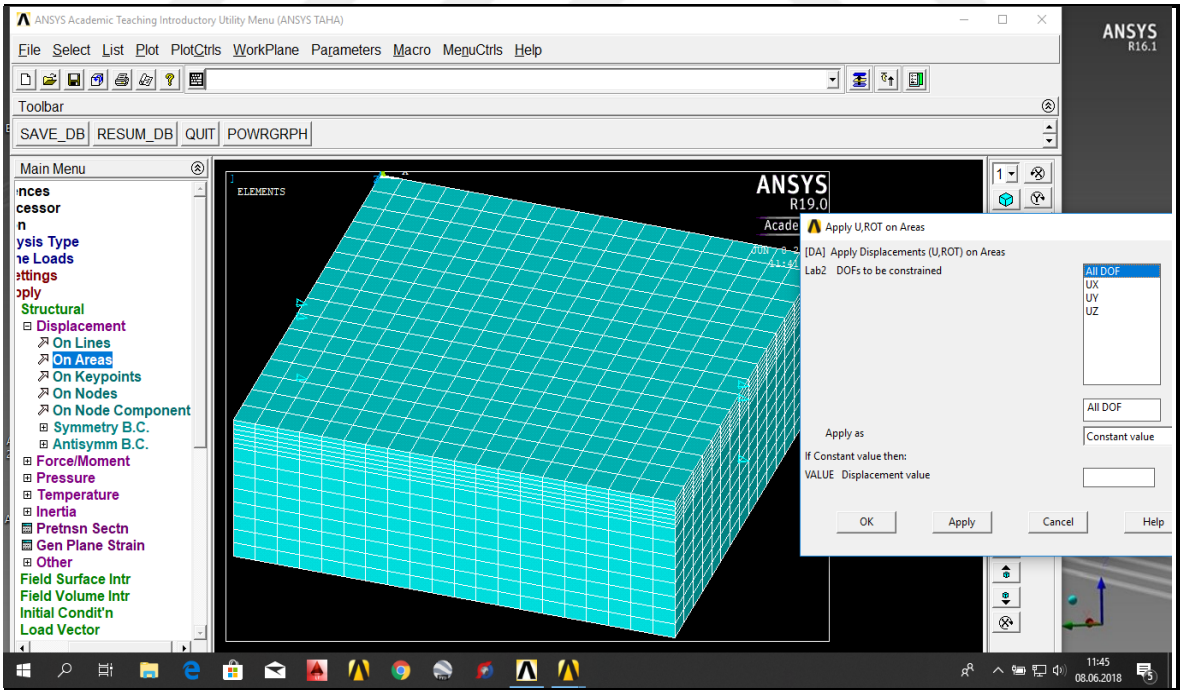
5. Adım: Analiz Tipi ve Mesnet Koşullarının Belirlenmesi



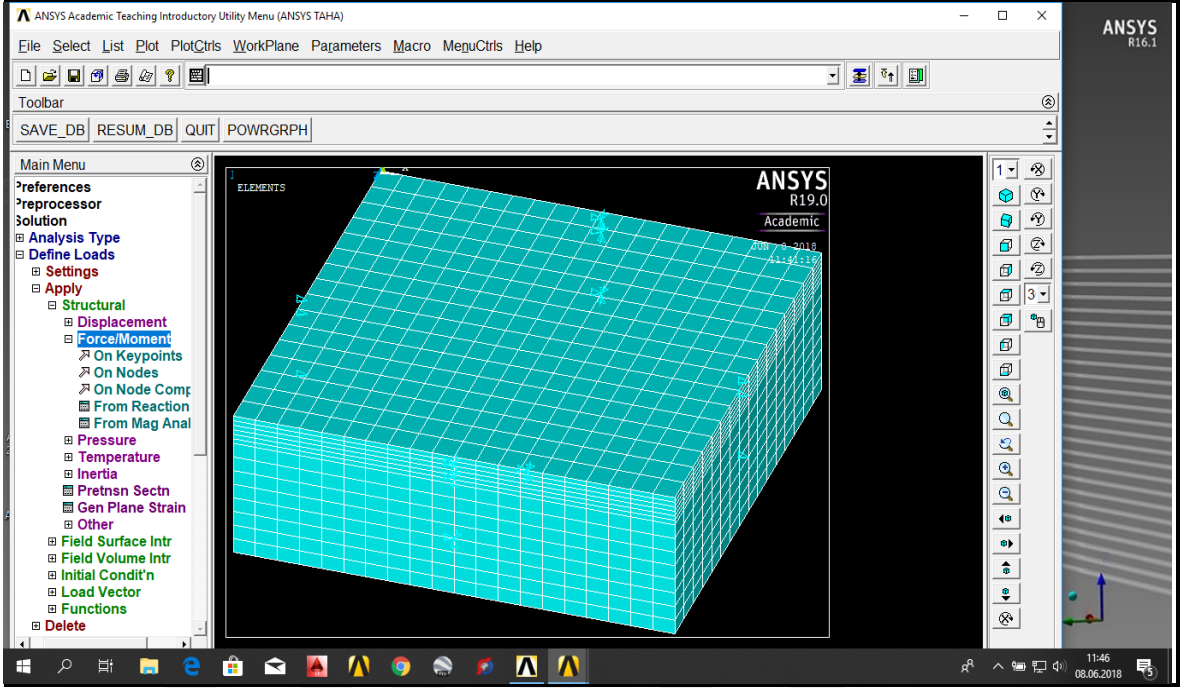
Solution > Analysis Type>New Analysis diyerek Static seçerek OK'a basılır.



Solution>Define Loads>Structural> Displacement> On Areas yol doğrutusundaki alanlar seçilir ve Ux denerek OK basılır.

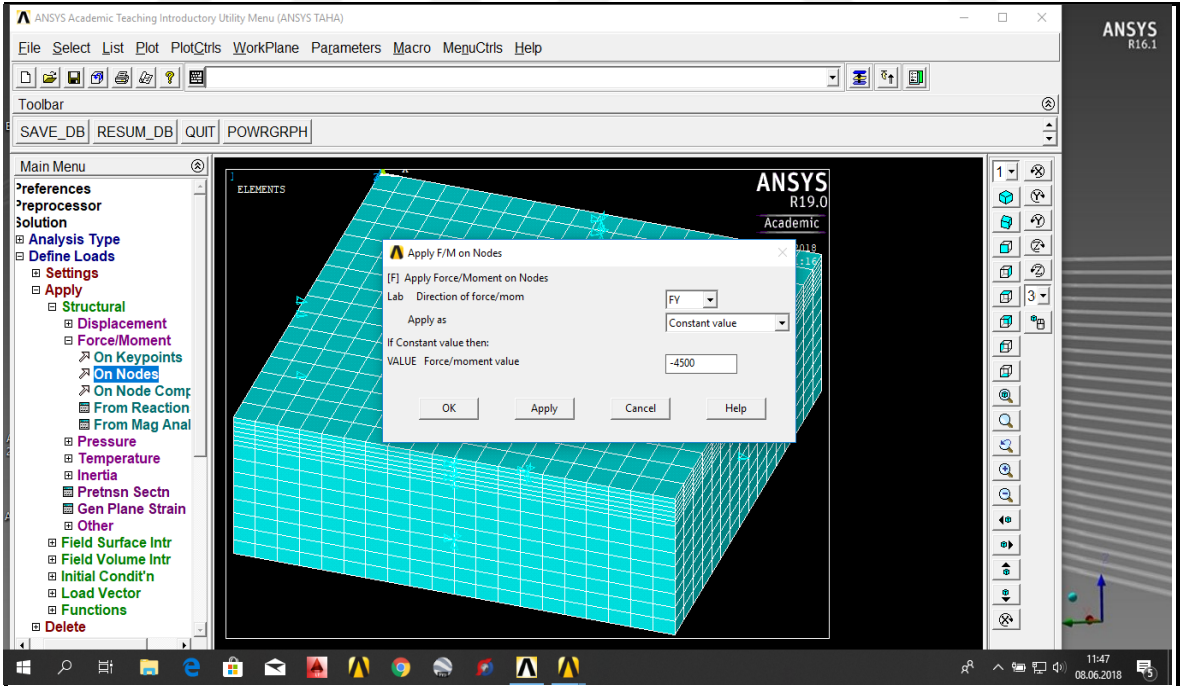


Solution>Define Loads>Structural> Displacement> On Areas Yan doğrutulardaki alanlar ve alt alan seçilir ve ALL DOF denerek OK basılır.

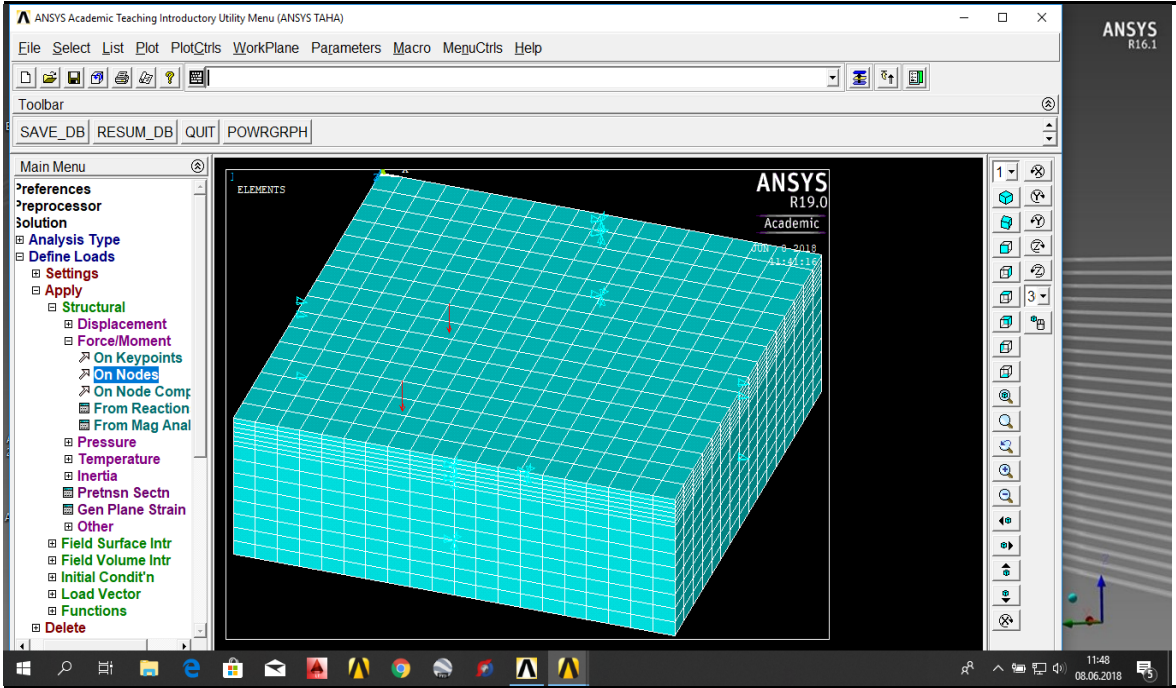


Mesnetleme işlemleri tamamlanmış olur.

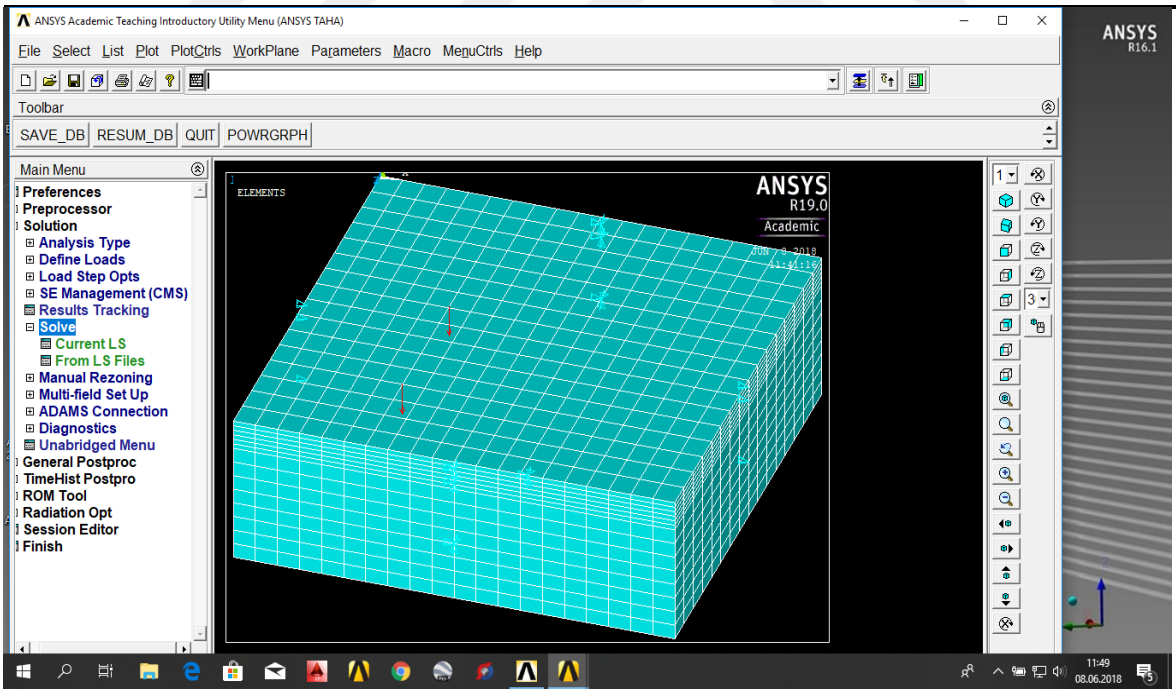
6. Adım: Yüklerin Tanımlanması



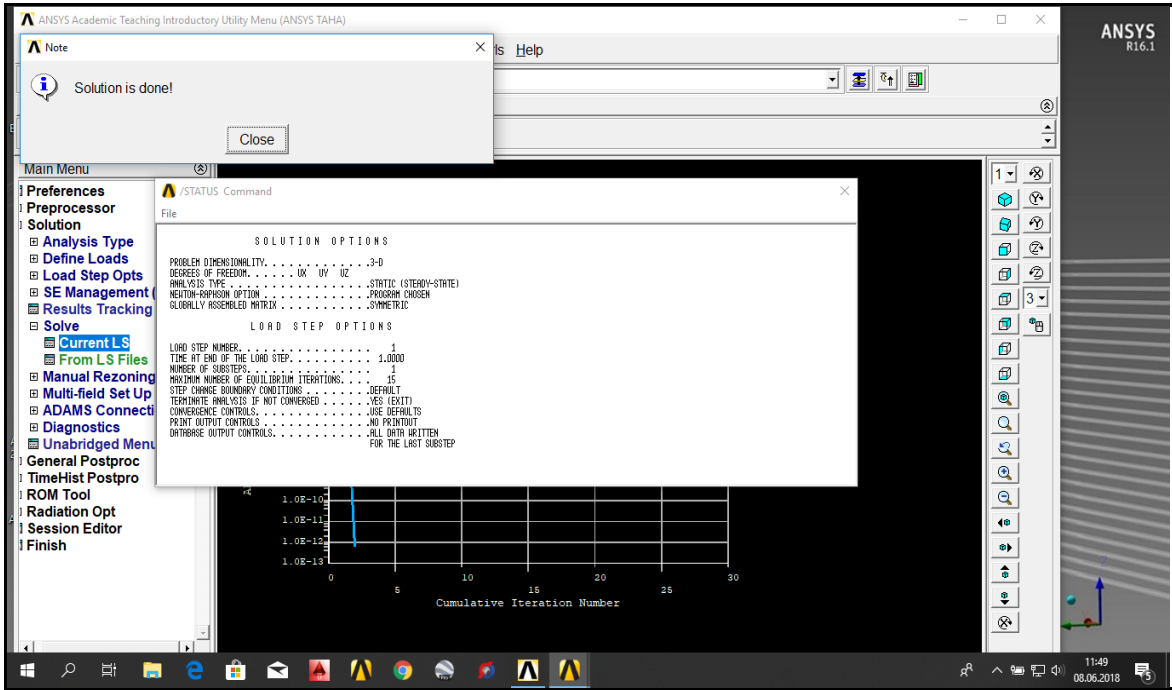
Solution>Define Loads>Structural>Force/Moment> On nodes sekmeleri sırasıyla ilenerek, $F_y = -4500$ 2 mtre ara ile $F_y = -4500$ girilir ve OK denir.



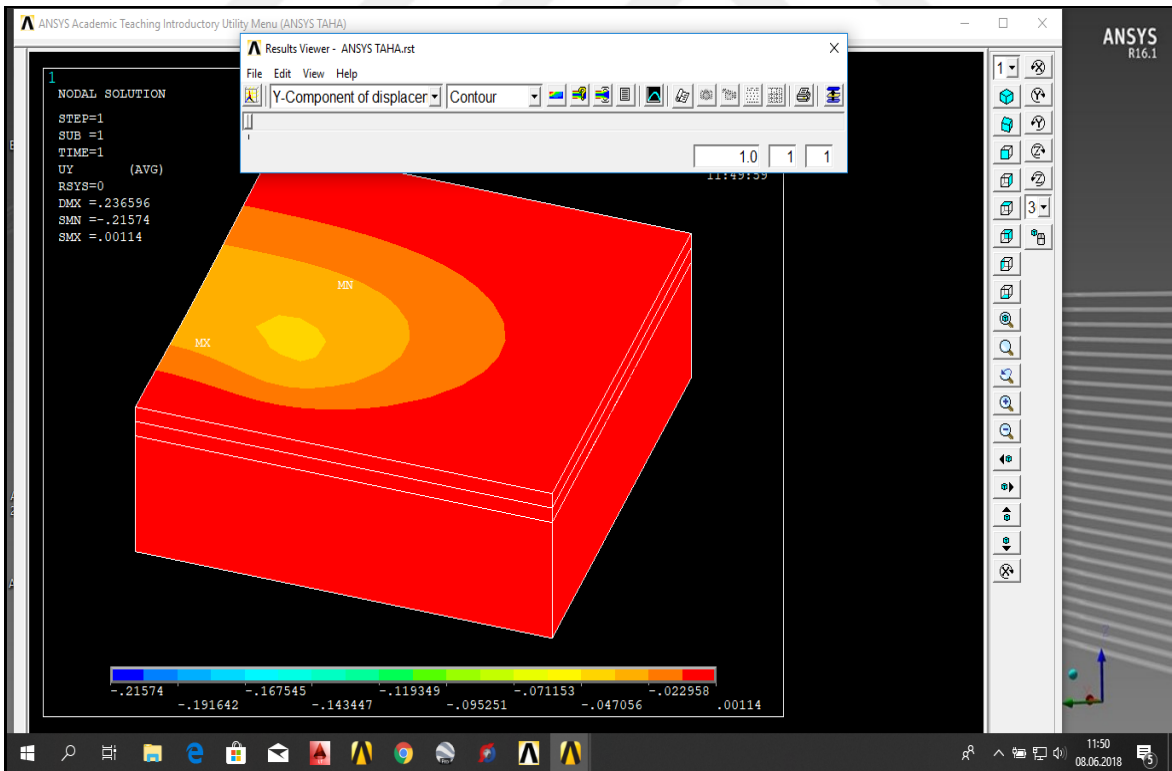
7. Adım: Analiz

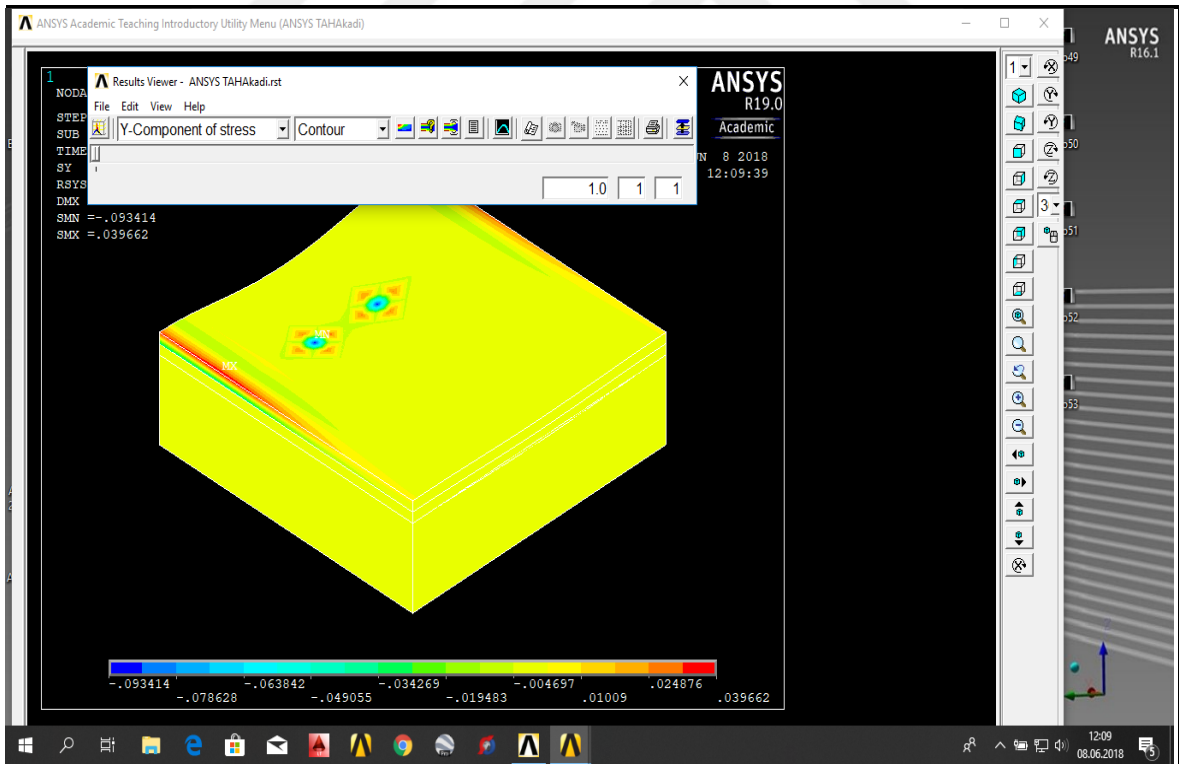
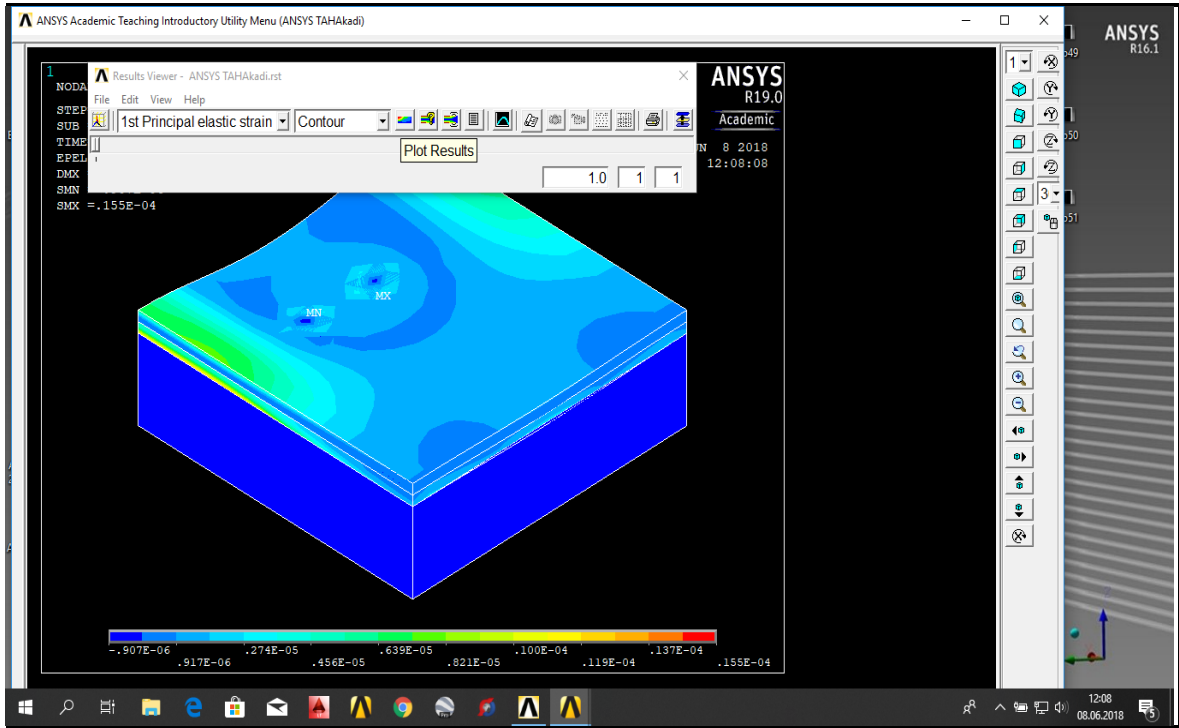


Solution > Solve>Current LS sıralaması ile ilerlenir ve böylece analiz işlemi yapılır.



8 .Adım : Sonuçların İncelenmesi (Kontur Diyagramları)





Ek 3. ANSYS programında analiz edilen yolun logfile dosyası

```

LOGFILE:
/BATCH
/COM,ANSYS RELEASE Release 19.0   BUILD 19.0   UP20171214   16:40:35
/input,menust,tmp,"
/GRA,POWER
/GST,ON
/PLO,INFO,3
/GRO,CURL,ON
/CPLANE,1
/REPLOT,RESIZE
WPSTYLE,,,,,,,,,0
/PREP7
BLOCK,0,6000,0,-200,0,6000,
BLOCK,0,6000,-200,-400,0,6000,
BLOCK,0,6000,-400,-2000,0,6000,

FLST,2,2,6,ORDE,2
FITEM,2,1
FITEM,2,-2
VGLUE,P51X
!*
ET,1,SOLID65
!*
ET,2,SOLID186
!*
!*
MPTEMP,,,,,,,,
MPTEMP,1,0
MPDATA,EX,1,,28000
MPDATA,PRXY,1,,0.2
MPTEMP,,,,,,,,
MPTEMP,1,0
MPDATA,DENS,1,,24E-6
MPTEMP,,,,,,,,
MPTEMP,1,0
MPDATA,EX,2,,100
MPDATA,PRXY,2,,0.4
MPTEMP,,,,,,,,
MPTEMP,1,0
MPDATA,DENS,2,,2.2E-7
MPTEMP,,,,,,,,
MPTEMP,1,0
MPDATA,EX,3,,30
MPDATA,PRXY,3,,0.3
MPTEMP,,,,,,,,
MPTEMP,1,0
MPDATA,DENS,3,,2.2E-7

CM,_Y,VOLU
VSEL,,,1
CM,_Y1,VOLU
FITEM,5,-12
FITEM,5,21
FITEM,5,-22
FITEM,5,33

```



```

FITEM,5,-34
CM,_Y,LINE
LSEL, , , ,P51X
CM,_Y1,LINE
CMSEL,,_Y
!*
LESIZE,_Y1, , ,16, , , ,1
!*
FLST,5,8,4,ORDE,8
FITEM,5,2
FITEM,5,4
FITEM,5,-5
FITEM,5,7
FITEM,5,16
FITEM,5,-17
FITEM,5,28
FITEM,5,-29
CM,_Y,LINE
LSEL, , , ,P51X
CM,_Y1,LINE
CMSEL,,_Y
!*
LESIZE,_Y1, , ,20, , , ,1
!*
FLST,5,4,4,ORDE,4
FITEM,5,25
FITEM,5,27
FITEM,5,30
FITEM,5,32
CM,_Y,LINE
LSEL, , , ,P51X
CM,_Y1,LINE
CMSEL,,_Y
!*
LESIZE,_Y1, , ,8, , , ,1
!*
FLST,5,8,4,ORDE,6
FITEM,5,1
FITEM,5,3
FITEM,5,6
FITEM,5,8
FITEM,5,37
FITEM,5,-40
CM,_Y,LINE
LSEL, , , ,P51X
CM,_Y1,LINE
CMSEL,,_Y
!*
LESIZE,_Y1, , ,3, , , ,1
!*
MSHAPE,0,3D
MSHKEY,1
!*
FLST,5,3,6,ORDE,3
FITEM,5,1
FITEM,5,3
FITEM,5,-4
CM,_Y,VOLU
VSEL, , , ,P51X

```

```
CM,_Y1,VOLU
CHKMSH,'VOLU'
CMSEL,S,_Y
!*
VMESH,_Y1
!*
CMDELE,_Y
CMDELE,_Y1
CMDELE,_Y2
!*
FINISH
/SOL
!*
ANTYPE,0
FLST,2,6,5,ORDE,6
FITEM,2,5
FITEM,2,-6
FITEM,2,17
FITEM,2,-18
FITEM,2,21
FITEM,2,-22
!*
/GO
DA,P51X,UX,
FLST,2,7,5,ORDE,6
FITEM,2,1
FITEM,2,-2
FITEM,2,13
FITEM,2,-15
FITEM,2,19
FITEM,2,-20
!*
/GO
DA,P51X,ALL,

FLST,2,1,1,ORDE,1
FITEM,2,593
!*
/GO
F,P51X,FY,-4500
FLST,2,1,1,ORDE,1
FITEM,2,6809

FLST,2,1,1,ORDE,1
FITEM,2,597
!*
/GO
F,P51X,FY,-4500
/STATUS,SOLU
SOLVE
FINISH
```

ÖZGEÇMİŞ

Taha KADIOĞLU, 1988 yılında Trabzon'de doğdu. 2005 yılında Trabzon Lisesinden mezun oldu. Aynı yıl Karadeniz Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümüne girdi. 2010 yılında mezun oldu. 2011 yılında Kpss sınavı ile Ardahan İl Özel İdaresinde İnşaat Mühendisi olarak çalışmaya başladı. 2012 yılında Trabzon İl Özel İdaresinde çalışmaya başladı. 2014 yılından itibaren Trabzon Büyükşehir Belediyesinde çalışmaya devam etmekte. 2017 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesinde İnşaat Mühendisliği Bölümünde Yüksek Lisans Yapmaya başladı. Evli ve bir kız çocuk babasıdır. İyi derece İngilizce bilmektedir.