

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

**KARADENİZ BÖLGESİ KÖY YOLLARI İÇİN RİJİT VE ESNEK KAPLAMANIN
MEKANİSTİK VE MALİYET AÇISINDAN KARŞILAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş. Müh. Muhammet ÇELİK

**ŞUBAT 2014
TRABZON**

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

KARADENİZ BÖLGESİ KÖY YOLLARI İÇİN RİJİT VE ESNEK KAPLAMANIN
MEKANİSTİK VE MALİYET AÇISINDAN KARŞILAŞTIRILMASI

İnş. Müh. Muhammet ÇELİK

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
“İNŞAAT YÜKSEK MÜHENDİSİ”
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih :18.12.2013

Tezin Savunulduğu Tarih :12.02.2014

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Muhammet Vefa AKPINAR

Trabzon 2014

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında

Muhammet ÇELİK tarafından hazırlanan

**KARADENİZ BÖLGESİ KÖY YOLLARI İÇİN RİJİT VE ESNEK KAPLAMANIN
MEKANİSTİK VE MALİYET AÇISINDAN KARŞILAŞTIRILMASI**

başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetimin Kurulunun 21/01/2014 tarih ve 1538 sayılı kararıyla
oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda

YÜKSEK LİSANS TEZİ

olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan : Doç. Dr. Muhammet Vefa AKPINAR

Üye : Doç. Dr. Şeref ORUÇ

Üye : Doç. Dr. Hamdullah ÇUVALCI

Prof. Dr. Sadettin KORKMAZ
Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

Ülkemizde kara ulaşımının bir türü olan rijit kaplamalı üstyapılar ne yazık ki yeterli önemi görmemekte ve uygulanmamaktadırlar. Oysa ülkemizde belirli bölgelerde ve özellikle Karadeniz Bölgesinin iklim ve benzeri koşulları için rijit kaplama çok iyi bir alternatiftir.

Çalışmamızda Karadeniz Bölgesi köy yolları için rijit kaplama alternatifini değerlendirmek için daha önce uygulanmış rijit kaplamalardan numune alınarak çeşitli testlere tabi tutulmuş, sonlu elemanlar yöntemine göre çözümlene yapan bilgisayar programında modellenmiş ve 2013 fiyatlarına göre maliyetleri hesaplanmıştır.

Karadenizli ve Karadeniz Bölgesinde yaşayan birey olarak, bölgem ile ilgili sıkıntılar ile ilgilenme fırsatını bana sağladığı için, Yüksek Lisans eğitimim öncesi ve bütün eğitim sırasında her türlü bilgisini ve kaynağını benden esirgemeyerek, değerli zamanından oldukça ciddi bir kısmını bana ve bugün oluşturduğum tezime harcayan değerli Hocam Sayın Muhammet Vefa AKPINAR'a, arazi çalışmaları boyunca her türlü ekipman ile yanımda her zaman bana yardımcı olarak bulunan Babam Ahmet ÇELİK'e, tez çalışmamız boyunca minik bebeğimle bana pek iş düşmeyecek şekilde ilgilenen ve her daim yanımda olan Eşim Pınar NAZ ÇELİK'e, her türlü destekleri ile Annem ve Kardeşime Tezimin geliştirilmesinde değerli fikir ve vaktini bana harcayan başta Yüksek Şehir Plancısı Uğur KASIMOĞLU olmak üzere bütün iş arkadaşlarıma bütün içtenliğimle teşekkürlerimi sunarım.

Muhammet ÇELİK

Trabzon 2013

TEZ BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Karadeniz Bölgesi Köy Yolları İçin Rijit Ve Esnek Kaplamanın Mekanistik Ve Maliyet Açısından Karşılaştırılması” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Doc. Dr. Muhammet Vefa AKPINAR‘ın sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuvarlarda 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. 11/01/2013

Muhammet ÇELİK

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	III
TEZ BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET.....	VIII
SUMMARY.....	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	X
TABLolar DİZİNİ.....	XII
SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	XIII
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Tanımlar.....	3
1.2.1. Stabilize Yollar.....	3
1.2.2. Rijit Kaplamalar.....	4
1.2.3. Esnek Kaplamalar.....	4
1.2.4. Kompozit Kaplamalar.....	5
1.3. Rijit Kaplamalar ve Türleri.....	5
1.3.1. Derzli Donatısız Rijit Kaplamalar.....	6
1.3.2. Derzli Donatılı Rijit Kaplamalar.....	7
1.3.3. Sürekli Donatılı Rijit Kaplamalar.....	7
1.3.4. Diğer Uygulanan Metotlar.....	9
1.4. Literatür Taraması.....	10
1.4.1. Dünyada Rijit Kaplama Uygulamaları.....	10
1.4.1.1. ABD.....	10
1.4.1.2. Almanya.....	12
1.4.1.3. Fransa.....	14
1.4.1.4. Diğer Ülkeler.....	16
1.4.1.5. Türkiye.....	17
1.4.2. Rijit ve Esnek Kaplama Teknik Karşılaştırması.....	18
1.4.2.1. İlk Yapım Maliyeti Ekonomik Ömür.....	18
1.4.2.2. Yerli Kaynak Kullanımı.....	19

1.4.2.3.	Sürdürülebilirlik ve Geri Dönüşüm.....	20
1.4.2.4.	Bakım Onarım İhtiyacı ve Maliyeti.....	21
1.4.2.5.	Kullanıcı Maliyeti.....	21
1.4.2.6.	Alttemel-Temel İhtiyacı ve Agrega Tipi.....	21
1.4.2.7.	Trafik Yükleri, Tekerrür Sayısı ve Kaplama Mukavemetleri.....	22
1.4.2.8.	Yol Güvenliği, Işıklandırma ve Konfor.....	25
1.4.2.9.	Kullanıma Açılma ve Servis Ömürleri.....	25
1.4.2.10.	İklim ve Yaşlanma Etkileri.....	26
1.4.2.11.	İşçilik ve Kapasite	28
1.4.2.12.	Genel Değerlendirme.....	29
1.4.3.	Köy Yolları Hakkında Genel Bilgiler ve Bazı İstatistikler.....	31
1.4.3.1.	Karadeniz Bölgesi Köy Yolları İstatistikleri.....	32
1.4.4.	Karadeniz Bölgesi Köy Yollarında Karşılaşılan Problemler.....	33
1.4.4.1.	Topografya-Coğrafik Yapı, Jeolojik Yapı ve Sosyolojik Problemler.....	33
1.4.4.2.	İklim, Drenaj, Tonaj Aşımı ve Yol Yapım Malzemeleri.....	38
1.4.5.	Karadeniz Bölgesi Köy Yollarında Rijit Kaplamaların Durumu.....	41
1.4.6.	Karadeniz Bölgesi Köy Yollarında Rijit ve Esnek Kaplamanın Karşılaştırılması.....	45
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	49
2.1.	Yöntem ve Materyal.....	49
2.2.	Karadeniz Bölgesi Köy Yollarında Arazi Çalışması (Numune Alımı).....	49
2.2.1.	Numunelerin Alındıkları Yerler Hakkında Bilgi.....	50
2.2.	Sonlu Eleman Yöntemi İle Modelleme.....	58
2.3.	Üstyapı Kaplama Maliyetleri Detaylı Karşılaştırması.....	63
2.3.1.	Yeni Üstyapı Kaplaması Yapılan Yollarda Maliyet.....	63
3.	BULGULAR ve İRDELEME.....	66
3.1.	Numuneler Üzerinde Basınç Dayanım Testi.....	66
3.1.1.	Basınç Dayanım Deneyi'nin Değerlendirilmesi.....	69
3.2.	Ansys Sonuçlarının Değerlendirilmesi	72
3.3.	Maliyet Analizleri.....	90
3.3.1.	Rijit Üstyapı Maliyeti.....	90
3.3.2.	Esnek Üstyapı Maliyeti.....	92
3.3.3.	Esnek ve Rijit Üstyapı Maliyet Karşılaştırması.....	94
3.3.4.	Bakım Onarım Maliyetleri.....	95
3.3.5.	Üstyapı Kaplamalarının 30 Yıllık Toplam Maliyetleri.....	96

4.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	101
4.1.	Deneysel Çalışmalar.....	101
4.2.	Sonlu Elemanlar Yöntemi.....	102
4.3.	Maliyet Karşılaştırması.....	103
5.	KAYNAKLAR.....	104
6.	EKLER.....	108
	ÖZGEÇMİŞ	

ÖZET

KARADENİZ BÖLGESİ KÖY YOLLARI İÇİN RİJİT VE ESNEK KAPLAMANIN
MEKANİSTİK VE MALİYET AÇISINDAN KARŞILAŞTIRILMASI.

Muhammet ÇELİK

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Doç. Dr. M. Vefa AKPINAR
2014, 107 Sayfa, 4 Ek Sayfa

Dünya genelinde, üstyapı kaplama türü olarak rijit kaplama, esnek kaplamanın alternatifi olarak kullanılmaktadır. Ülkemiz şartlarında da rijit kaplama, esnek kaplamanın iyi bir alternatifi olmakla beraber yeterince kullanılmamaktadır. Karadeniz Bölgesi Köy yollarında rijit kaplama örneklerin yaklaşık 25 seneden fazla hizmet etiği görülmüştür. Bu mekanistik çalışmamızda beton yolların ve esnek kaplama yolların farklı kalınlık ve beton sınıfı özelliklerine göre sonlu elemanlar ortamında modelleri yapılarak değerlendirmeye alınmıştır. Araziden alınan beton karot numunelerin mukavemet bilgileri rijit kaplama modellerinde kullanılmıştır. Bu değerlendirmelerde beton kaplamaların gerilme değeri esnek kaplama gerilme değerinden ortalama düşey doğrultusunda % 119 x doğrultusunda % 74 daha az olduğu görülmüştür. Esnek ve rijit kaplamanın şekil değiştirmeleri karşılaştırıldığında rijit kaplamanın ortalama y doğrultusunda % 17 x doğrultusunda % 44 daha az şekil değiştirdiği görülmüştür. Çalışmanın son kısmında ise Karadeniz Bölgesi Köy yollarında uygulanmakta olan farklı yol üstyapı türlerinin güncel maliyet karşılaştırılması yapılmıştır. Elde edilen sonuçlarda köy yolları için ilk yapım maliyeti olarak rijit kaplamanın esnek kaplamadan % 37 daha az maliyetli olduğunu göstermiştir. Yol kaplama türlerinin 30 yıllık ekonomik ömürleri karşılaştırıldığında; ilk yapım, bakım onarım ve tekrar yapım maliyetleri arasında esnek kaplama rijit kaplamaya % 130 oranla daha maliyetli çıkmıştır.

Anahtar Kelimeler: Rijit Kaplama, Beton Yol, Esnek Kaplama, Asfalt Kaplama, Sonlu Elemanlar, Maliyet Karşılaştırması, Mekanistik Ampirik, Köy Yolları.

Master Thesis

SUMMARY

NUMERICAL AND COST COMPARISON FOR BLACK SEA REGION RIGID PAVEMENT AND FLEXIBLE PAVEMENT AND EXPLICATION TEST RESULTS FOR RIGID PAVEMENT SAMPLES, WHICH TAKEN FROM VILLAGE ROADS.

Muhammet ÇELİK

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Civil Engineering Graduate School
Supervisor: Assoc. Prof. M. Vefa AKPINAR
2014, 104 Pages, 4 Pages Appendix

Across the world, rigid pavement is used as an alternative for the flexible pavement road. In Turkey, rigid pavement has not been used enough, as it is an alternative for the flexible pavements. It was observed that the rigid pavements found in the Black Sea Region villages were in service for more than 25 years. In this mechanistic study, concrete and hot mix asphalt pavement roads with different thickness and grade preferences were studied using a 3-D finite element method. Compressive strength results of the concrete core samples taken from the village roads were used in the rigid pavement models as inputs. It was found that concrete pavement's strength rate is meanly vertically % 119 and in the horizontal direction % 74 less than the flexible pavement's strength rate. When we compared rigid pavement's deformation with flexible pavement's deformation it's also seen that rigid pavements meanly vertically % 17 and in the horizontal direction % 44 less deformed. At the end of the study, current cost comparison including maintenance costs between conventional concrete and hot mix asphalt pavements in Black Sea region. The results showed that, for the village roads in northern part of Turkey, initial construction cost of the rigid pavement is % 37 less than the hot mix asphalt pavement roads. Asphalt pavements costs were % 130 higher than the concrete pavement roads considering the initial, reconstruction, and maintenance costs for 30 year design life.

Key Words: Concrete and Hot Mix Asphalt Pavement Road , Finite Element, Cost Comparison, Mechanistic-Empirical study, Country Roads

ŞEKİL DİZİNİ

Sayfa No:

Şekil 1.1.	Rijit üstyapı ile esnek üstyapı yük dağılımı.....	5
Şekil 1.2.	Rijit kaplama tiplerinin boy kesitleri. Plak kalınlığının 1/3'ü kadar kesilmiş derzler. Kayma donatıları ve boyuna donatılar gözükmemektedir.....	8
Şekil 1.3.	Rijit kaplama türleri.....	8
Şekil 1.4.	Fransa'da trepozoid kaplama kamyon şeridi ve banket uygulaması.....	15
Şekil 1.5.	Üstte esnek kaplamaya ve altta rijit kaplamaya ait trafik yüklerini dağıtma mekanizmaları.....	24
Şekil 1.6.	Trabzon Araklı İlçesi Bereket Köyü şifalı su tesislerine giden yol, 20 cm beton kaplama olan yolda sel sonrası oluşan çökmeler kaplamayı bozmamıştır.....	24
Şekil 1.7.	Gün içerisinde sıcaklık farkından dolayı rijit kaplamada gerilme etkisi.....	26
Şekil 1.8.	Esnek kaplamalarda hazırlama, depolama, taşıma, uygulama ve 8 yıllık hizmet sonucu oluşan yaşlanma.....	27
Şekil 1.9.	Sinop Ayancık İlçe Merkezi ve bazı köyleri.....	34
Şekil 1.10.	Sinop Türkeli İlçesinde bir köy yolu.....	34
Şekil 1.11.	Trabzon Beşikdüzü İlçesi Aksaklı Köyü mahalle içi yolu.....	36
Şekil 1.12.	Sinop Ayancık İlçesi Pazarcık Köyü.....	37
Şekil 1.13.	Trabzon Vakfikebir, Kirazlık Köyü Dere Mevki.....	37
Şekil 1.14.	Sinop Ayancık köy yolunda tıkanmış bir beton büz.....	39
Şekil 1.15.	Sinop Erfelek grup köy yolu, orman envali ve atıkları ile dolu hendek.....	40
Şekil 1.16.	Trabzon Of Uğurlu Beldesi, yaklaşık 20 senedir hizmet veren rijit kaplama üzerine 2013 yılında konfor arttırması için 5 cm binder tabakası serilmiştir.....	42
Şekil 1.17.	Rize Hemşin Kantarlı grup köy yolu rijit kaplama.....	43
Şekil 1.18.	Rize İyidere Denizgören Köyü, bozulmuş rijit kaplama üzeri esnek kaplama.....	45
Şekil 2.1.	Numune alınan yerlerin haritadan gösterilmesi.....	51
Şekil 2.2.	Bulak Köyü Soğuksu Mevki. Yol üzerinde çatlaklar.....	51
Şekil 2.3.	Bulak Soğuksu Mevki, karot numune alımı.....	52
Şekil 2.4.	Grup yolu üzerinde Yeşilyurt Çatak ve Dolaylı'ya giden derzli rijit kaplama.....	53
Şekil 2.5.	Yeşilyurt Çatak ve Dolaylı mevkisinden beton yoldan karot numune alımı.....	54
Şekil 2.6.	Dolaylı köy içi beton yolu. Bazı kısımlarda yama malzemesi görülmüştür.....	54
Şekil 2.7.	Dolaylı köy içi yolundan alınan iki adet numunenin alındığı yerler.....	55
Şekil 2.8.	Dolaylı Çağlayan arası kaplama kenarından numune alımı.....	56

Şekil 2.9.	Dolaylı Çağlayan arası, yol yüzeyi durumu.....	56
Şekil 2.10.	Dolaylı Çağlayan arası alınan numuneler.....	57
Şekil 2.11.	Model’de tekerleklerin, kaplamaya temas alanları gözükmekte.....	61
Şekil 2.12.	Rijit model kaplama ve alt katmanlar.....	62
Şekil 3.1.	Numunelerin baş ve dip kısımları düzeltilmeden önce boyları ölçüldü.....	67
Şekil 3.2.	Bulak Soğuksu mevkiinden alınan ve killi malzemenin bulunduğu numune.....	67
Şekil 3.3.	Dolaylı Çağlayan arası alınan numuneler yaklaşık 20 cm çıkmıştır.....	68
Şekil 3.4.	Laboratuar ortamında numuneler hazırlanırken.....	68
Şekil 3.5.	Çatlak agrega ile çimento hamurunun birleşim yerinden geçmektedir. Bu durum agrega ile çimentonun yeterli aderans sağlamadığını göstermektedir.....	72
Şekil 3.6.	Kırılan yüzeyde zayıf gradasyon ve yassı agrega görülmektedir.....	72
Şekil 3.7.	Bulak Soğuksu Mevkiinde alınan numuneler içersinden killi tozlu malzeme oldukça fazla görülmüştür.....	73
Şekil 3.8.	Granülometre eksikliği ve çimento hamurunun kaliteli olmaması net bir şekilde anlaşılmaktadır. Ayrıca işareti kısımda ince agrega dikkat çekmektedir.....	73
Şekil 3.9.	Kırılan Numuneler toplu olarak görülmektedir. Basınç dayanımlarına ulaşılmış olmalarına rağmen bir çoğu dağılmamıştır.....	74
Şekil 3.10.	Dolaylı köy içi 3 nolu numunede kalın agregaların elle kırılabilen zayıf agregalar olduğu görülmüştür.....	74
Şekil 3.11.	Esnek kaplamada y doğrultusunda gerilmeler.....	82
Şekil 3.12.	Rijit kaplamada y doğrultusunda gerilmeler.....	82
Şekil 3.13.	Esnek kaplamada y doğrultusunda şekil değiştirme.....	83
Şekil 3.14.	Rijit kaplamada y doğrultusunda şekil değiştirme	83
Şekil 3.15.	Esnek kaplamada x doğrultusunda gerilmeler.....	84
Şekil 3.16.	Rijit kaplamada x doğrultusunda gerilmeler.....	84
Şekil 3.17.	Esnek kaplamada x doğrultusunda şekil değiştirme.....	85
Şekil 3.18.	Rijit kaplamada x doğrultusunda şekil değiştirme	85
Şekil 3.19.	Esnek kaplamada z doğrultusunda gerilmeler.....	86
Şekil 3.20.	Rijit kaplamada z doğrultusunda gerilmeler.....	86
Şekil 3.21.	Esnek kaplamada z doğrultusunda şekil değiştirme.....	87
Şekil 3.22.	Rijit kaplamada z doğrultusunda şekil değiştirme	87
Şekil 3.23.	Maliyeti hesaplanan rijit üstyapı en kesiti.....	89
Şekil 3.24.	Maliyeti hesaplanan esnek üstyapı en kesiti.....	92
Şekil 3.25.	3. Farklı kaplama türünün grafik ile maliyet karşılaştırması.....	100

TABLolar DİZİNİ

Sayfa No:

Tablo 1.1.	Rijit kaplamalarda 8,2 ton dingil yükünün farklı tekerrür sayılarında dizayn kalınlıkları görülmektedir.....	12
Tablo 1.2.	Almanya’da trafik yoğunluğuna göre kategorize olmuş farklı yol tiplerinde beton kullanıldığında istenilen teknik özellikler.....	13
Tablo 1.3.	Donatı oranının artmasıyla azalan çatlak aralıkları	17
Tablo 1.4.	Farklı dingil yüklerinde yollarda oluşan hasar oranları.....	23
Tablo 1.5.	Esnek ve rijit kaplama karşılaştırması.....	31
Tablo 1.6.	1927-2010 yıllarında kırsal ve kentsel nüfus değişimi.....	30
Tablo 1.7.	TUİK 2012 verilerine göre en fazla köy yoluna sahip 16 il.....	32
Tablo 1.8.	TUİK 2012 verileri ile Karadeniz Bölgesi bazı iller rijit kaplama uzunlukları...43	
Tablo 2.1.	Beton sınıflarının elastisite modülleri.....	60
Tablo 2.2.	Trabzon ve Samsun’da köy yollarında uygulanan BSK ve Beton yollar.....	64
Tablo 2.3.	AASHTO formülleri kullanılarak, üstyapı kalınlıkları.....	65
Tablo 3.1.	Numuneler hakkında bilgi ve basınç dayanımları.....	69
Tablo 3.2.	Tek dingil yüklemeye rijit kaplamada oluşan gerilme ve deformasyonlar.....	76
Tablo 3.3.	Çift dingil yüklemeye rijit kaplamada oluşan gerilmeler ve deformasyonlar...77	
Tablo 3.4.	Esnek kaplama üzerinde tek ve çift dingil yüklerinin oluşturduğu deplasman ve gerilmeler.....	78
Tablo 3.5.	Ansys sonuçlarına göre üstyapıların gerilme ve şekil değiştirme oranları.....	80
Tablo 3.6.	Bir km uzunluğunda rijit üstyapı örnek maliyeti.....	91
Tablo 3.7.	1 km uzunluğunda rijit kaplamalı yolun 1 m ³ betonda kullanılan çimento dozajlarının ve beton plak kalınlıklarının fiyata etkisi (Temel kalınlığı 15 cm).91	
Tablo 3.8.	Bir km uzunluğa sahip plentmiks temel ve alttemel ile yapılmış esnek üstyapı maliyeti (Renkler alttemel, temel ve kaplama olarak ayrılmıştır).....	93
Tablo 3.9.	Bir km uzunluğunda sabit alttemel kalınlığında (25 cm) esnek üstyapılarda farklı temel ve binder kalınlıklarına ait maliyetler.....	94
Tablo 3.10.	2013 fiyatlarına göre 1 m ³ plentmiks düzeltme tabakası yaklaşık maliyeti.....	98
Tablo 3.11.	2013 fiyatlarına göre 1 km köy yolu regraj ve temizlik yaklaşık maliyeti.....	98
Tablo 3.12.	Üç farklı kaplama türü 30 yıl maliyeti.....	99

SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ

TSE	: Türk Standartları Enstitüsü
TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
KGM	: Karayolları Genel Müdürlüğü
TCK	: Türkiye Cumhuriyeti Karayolu
DSİ	: Devlet Su İşleri
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
σ _Y	: Y Doğrultusunda Oluşan Gerilme
σ _X	: X Doğrultusunda Oluşan Gerilme

ΔY : : Y Doğrultusunda Oluşan Şekil Değişirme

ΔX : X Doğrultusunda Oluşan Şekil Değişirme

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Ulaşım, yaşam ünitelerini birbirine bağlayan can damarları gibidir. Yaşam ünitelerinin ekonomik, kültürel, sosyolojik ve benzeri birçok konuda gelişimini sağlayan en önemli faktördür. Ulaşımın en ufak yaşam ünitesine ulaşmasının ülke genelinde de ekonomik, kültürel ve sosyolojik yansımaları vardır. Örneğin ulaşımdan faydalanamayan bir bölgede arıcılık faaliyetlerinin çok kaliteli olduğunu varsayalım. Buraya ulaşım gelmediğinden bu faaliyetleri yapacak kişiler veya teknoloji de gelemeyecektir. Bu nedenle faaliyet, ya çok az yapılacak ya da hiç yapılamayacaktır. Oysa ulaşımın bölgeye ulaşması yatırımcıların ve en önemlisi teknolojinin bölgeye ulaşmasını sağlar. Ekonomik olarak çıkan ürün ile birlikte bölgenin değeri ve yaşanabilirliği de artar. Bu durum yeni insanların bölgede yaşamasına, insanlar çoğaldıkça sağlık eğitim ve benzeri hizmetlerin bölgeye gitmesi ile sonuçlanır. Kısacası ulaşım olmadığında ülke ve insanlık için değeri olmayacak toprak parçaları ulaşım ile birlikte yaşam ünitelerine dönmeye başlar. Yaşam üniteleri için bu denli önemli olan ulaşım kara, deniz ve hava yolları olmak üzere üç farklı yöntem ile yapılmaktadır. Türkiye’de karayolu ulaşımı en çok tercih edilen ulaşım türüdür. Karayolu ile yapılacak ulaşım planlamasında dört unsura dikkat etmek gerekir. Bunlar ulaşımın hızlı, emniyetli ve elverişli (Ekonomik, çevreye uyumlu, talebe cevap verme vb.) [1] olmasıdır. Bu unsurlara göre planlama yapılırken bölgeler, iller, ilçeler hatta mahalle ve köyler arasında farklılıklar oluşabilir.

Tez genelinde Karadeniz Bölgesinde özellikle köy yolları için en uygun üstyapı kaplama tipi tespit etmeye çalışılmaktadır. Tez içerisinde Karadeniz Bölgesinde köy yollarında uygulanan kaplama tiplerini; esnek, rijit, stabilize ve kompozit kaplama olarak sınıflara ayırmaktadır. Rijit kaplamanın da kendi içerisinde uygulanan farklı türlerinden bahsedilmektedir. Daha sonra rijit kaplama hakkında yurt dışı uygulamalarından bahsedilerek, rijit kaplamayı hangi ülkenin ne amaçla ve nasıl kullandığını anlatılmaktadır. Özellikle yurtdışında uygulanan rijit kaplamalarda, ülkelerin hangi şartlara sahip bölgelerinde uyguladığından bahsedilmektedir.

Bu tez kapsamında, Karadeniz Bölgesinde ulaşım ile ilgili karşılaşılan problemler tespit edilmeye çalışılmaktadır. Bu problemler çeşitli sınıflara ayrılarak fotoğraflar ile

açıklama amaçlanmıştır. Bu problemlerin çözümünde rijit ve diğer kaplama türlerinin avantaj ve dezavantajları değerlendirilmektedir. Türkiye genelinde kaplama türlerinin kullanımıyla ilgili istatistiksel bilgiler verilmektedir. Bu istatistiklerde Karadeniz Bölgesi illeri köy yolları ağlarının diğer bölge illerinden hatta büyükşehir köy yolları ağlarından fazla olmasından ve bunun olumsuzluklarından bahsedilmektedir. Yine Karadeniz Bölgesinde köy yollarında diğer illerimizden daha fazla kullanılmış olan rijit kaplamanın tercih edilme nedenlerinden bahsedilmektedir. Kullanılan rijit kaplama hakkında bilgiler verilmektedir.

Tezin içeriğinde Karadeniz Bölgesindeki köy yollarında uygulanmış rijit kaplama örneklerinden bahsedilmektedir. Tez içersinde arazi çalışması olarak Trabzon ilinde bulunan bir grup köy yolundan numuneler alınmıştır. Bu numuneler basınç dayanım testine sokulmuştur. Çıkan sonuçlar ile Karadeniz Bölgesi köy yollarında rijit kaplamaların durumları hakkında bilgi edinme amaçlanmıştır. Karadeniz Bölgesindeki köy yollarında uygulanan rijit, esnek ve kompozit kaplamalara ait maliyetler hesaplanmaktadır. Bu analizler 2013 yılına ait fiyatlara göre düzenlenmiştir. Analizler kamu kuruluşlarının birim fiyatlarına göre hesaplanmaktadır. İlk yapım, bakım onarım ve tekrar yapım maliyetleri olarak rijit, esnek ve kompozit kaplama incelenmektedir. Bu inceleme sonucunda yol ömrü boyunca gerekli olan maliyetlerin grafiği ve karşılaştırması ortaya çıkarılmaya çalışılmıştır.

Tez içersinde köy yolundan alınan numunelerden elde edilen basınç dayanım testi sonuçları, sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak bilgisayar programı aktarılmaya çalışılmıştır. Modelleri yüzeysel olarak bölgede uygulanan kaplama tiplerine uyarlayarak, trafik yükü altında modellerin gerilme ve şekil değiştirme verileri karşılaştırılmaya çalışılmıştır.

1.2. Tanımlar

Karayolu ulaşımını sağlamak için 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 en kesit tipine uygun hale getirilmesidir. Üstyapı ise istenilen taşıma gücüne ulaşana kadar belirli gradasyonlu agregalar ile altyapıdan gelen yol yapısını destekleme ve üzerine kaplama denilen yapıyı inşa edilmesidir [2].

Üstyapı alttemel, temel ve kaplama katmanlarından oluşmaktadır. Alttemel; Temel tabakasını taşımak üzere taban zemini üzerine yerleştirilen, granülometresi ve plastisite özellikleri belirli granüller malzemeden oluşmuş üstyapı tabakasıdır. Temel; Alttemel veya taban üzerine hesaplanan bir kalınlıkta inşa edilen, belirli fiziksel özelliklere sahip tabaka veya tabakalardır. Temel tabakasının kaplamayı taşımak, gerilmeleri yaymak, iyi bir drenaj sağlamak ve don etkisini azaltmak gibi işlevleri vardır. Kaplama, üstyapının üst tabakası olup kaymaya, trafiğin aşındırmasına ve iklim koşullarının ayrıştırma etkisine karşı koyan asfalt betonu, sathi kaplama, beton plak, parke vb. olarak inşa edilen tabakadır [3]. Üstyapılarda kaplama türü dört tanedir;

- Stabilize Yollar
- Rijit Kaplamalar
- Esnek Kaplamalar
- Kompozit Kaplamalar [4].

1.2.1. Stabilize Yollar

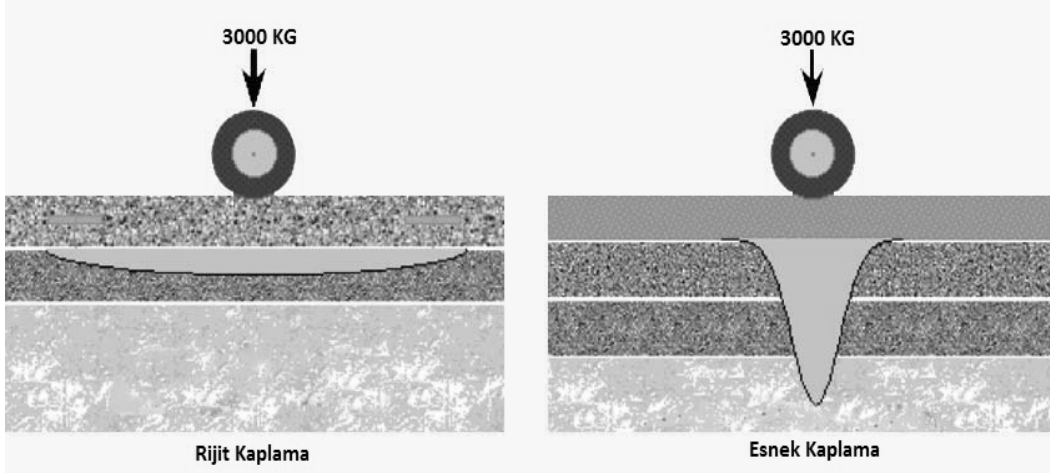
Hafif ve stabilize yollar; kum, kil, çakıl gibi malzemelerden çeşitli granülometrelerde karıştırılmasıyla oluşur. Genellikle çok düşük trafik yükü olan yollarda kullanılır. Çok kolay deforme olur. Diğer kaplama türlerine alttemel olarak görev yapabilir.

1.2.2. Rijit Kaplamalar

Puzolan yani kendi başlarına bağlayıcı özelliği bulunmayan, ancak ince öğütülmüş halde ve rutubetli ortamda kalsiyum hidroksitle reaksiyona girip, bağlayıcı özelliğe sahip bileşenler meydana getiren silisli veya silisli ve alüminli malzemelerin hidrasyon özelliği kullanılarak agregaları birbirine bağlamasıyla oluşan rijit plaklardan oluşur [5]. Çimento ile yapılan beton yollar rijit kaplamaların en sık kullanılan türüdür. Rijit üstyapıların temel veya alttemellerinde de stabilizasyonu arttırmak için puzolan malzeme veya hidrokarbon bağlayıcı kullanılabilir. Rijit kaplamanın elastisite modülü, zeminin elastisite modülünden çok büyüktür. Bu nedenle rijit kaplamanın, yayların üzerine oturan kiriş gibi çalıştığı kabul edilmektedir. Şekil 1.1'de görüldüğü gibi rijit kaplamalar gelen yükleri tabana iletirken geniş bir alana fazla esneme yapmadan yayarak iletir [6]. Bu nedenle ağır taşıt yükleri ve yoğun trafik için uygun kaplama türüdürler. Ayrıca iklim şartlarının etkisi üstyapı kaplamasını etkilediği bölgelerde tercih edilebilecek kaplama türüdür.

1.2.3. Esnek Kaplamalar

Esnek kaplama altındaki yapıyla sınıksız bir bağ ile bağlanan, ve yükü alt plaklara ileten kaplama tipidir [7]. Esnek kaplama hidrokarbonlu bağlayıcılar yani zift veya bitümün, kohezyon ve adezyon bağlayıcılık özellikleri sayesinde yüksek yapışma kabiliyeti kullanılarak agregayı bir arada tutan kaplama türüdür. Yapışkan malzeme ısıtılarak veya farklı metotlar ile vizkozitesinin azaltılmasıyla (Akışkan hale getirilmesi ile) agregayı kendi içine almasından daha sonra, soğuması ile agrega ile yapışarak, agregaların bir bütün gibi hareket etmesinden oluşur. Esnek üstyapılar yol üzerinde yük ile oluşan değişimleri karşılayabilme yeteneğine yani esnekliğe sahip olduklarından isimleri esnek kaplama olmuştur. Şekil 1.1'de esnek kaplamalar taşıma gücü altında bulunan malzemelerin taşıma gücü kadardır. Bu nedenle esnek kaplama altında yapılacak olan temel oldukça önemlidir. Esnek üstyapılarda alttemel veya temel tabakaları hidrokarbon bağlayıcı veya puzolan malzeme ile güçlendirilebilir. Günümüzde esnek üstyapılarda hidrokarbon bağlayıcısı olarak genellikle petrol türevi bitüm veya doğal asfalt kullanılmaktadır.



Şekil 1.1. Rijit üstyapı ve esnek üstyapı yük dağılımı [8].

1.2.4. Kompozit Kaplamalar

Kompozit kaplamalar ise esnek veya rijit kaplamanın beraber kullanıldığı kaplama türüdür. Esnek kaplamanın altta bulunduğu kompozit kaplamalar, bitümün veya ziftin su geçirmeme özelliği kullanılarak rijit kaplamanın temelinde su geçmesi engellenmektedir. Rijit kaplamanın altta olduğu kompozit kaplamalarda ise, rijit kaplamanın yüksek elastisite modülü sayesinde esnek kaplamanın altında taşıma gücü yüksek bir temel yapılmaktadır. Doğu Karadeniz Bölgesinde genelde köy yollarında rijit kaplama üstü esnek kaplama uygulaması yapılmaktadır. Bölgede 10 ile 20 sene arası kullanılan rijit kaplamalar üzerinde oluşan çeşitli deformasyonların verdiği konforsuzluğu gidermek için üzerlerine esnek kaplama yapılmaktadır. Böylelikle esnek kaplamanın ihtiyacı olan temel tabakası en iyi şekilde sağlanmakta, ayrıca rijit kaplamalarda oluşan konforsuzluklar giderilmektedir.

1.3. Rijit Kaplamalar ve Türleri

Romalıların M.Ö. 1. yüzyılda taşları birbirine puzolan malzeme kullanarak bağlanmasıyla yaptıkları yollar, ilk rijit kaplama örnekleridir. Günümüzde kullanılan rijit kaplama türü olan beton/betonarme kaplamanın ilk örneği ise İskoçya'da 1865 yılında denemeler ile başlamış daha sonra Avustralya'da yapılmıştır. ABD'de 1891 yılında Ohio'da yapılan yol kaplaması günümüzde halen daha trafiğe açıktır. [4] Dünyanın birçok yerinde bir asrı aşkın süredir rijit kaplamalar kullanılmaktadır. Bu süre zarfında rijit kaplamalar çeşitli gelişimlere uğramış ve bugün uygulanan türleri ortaya çıkmıştır. Rijit kaplamalar kendi içlerinde derz bırakılıp bırakılmaması veya donatılı donatısız olması

durumlarına göre ve teknolojinin gelişmesi ile yeni uygulama metotlarını kapsayan bir tip ile toplam 4 tipe ayrılır. Bunlar:

- Derzli Donatısız Rijit Kaplama
- Derzli Donatılı Rijit Kaplama
- Sürekli Donatılı Rijit Kaplama
- Diğer Uygulanan Metotlar [3].

1.3.1. Derzli Donatısız Rijit Kaplamalar

Rijit kaplamalar, trafik yükleri, iklim koşulları, taban zeminlerinin donma-şışme gibi fiziksel etkiler yüzünden devamlı gerilmeler altındadır. Bu gerilmelerin uzun plaklarda etkisi daha fazla olacağından aralarda derzler bırakılmaktadır. Derzli donatısız rijit kaplama 3-6 metrede bir derz ile ayrılan plaklardan oluşmaktadır. Plakları derzler ile ayırma nedeni plak ortalarında çatlaklar oluşmasını engellemektir. Derzler sayesinde plaklarda genişleme, rötre vb. gerilmelerden oluşabilecek çatlaklar kontrol altına alınmaktadır. Derzler kaplama kalınlığının en az $1/4-1/3$ 'ü kadar bırakılır. Bu sayede plaklar arasında yük transferi de sağlanır. Ayrıca yük transferinin daha fazla olması gerektiği durumlarda derzler arasına kayma donatıları konulur. Kayma donatısı derzler üzerine yerleştirilir. Ayrıca geniş yol en kesitlerinde, en kesite dik derzlerde bırakılması gerekebilir. Bu durumlarda kayma donatısı yerine boyuna bağ donatısı yerleştirilir. Kayma ve bağ donatısı derzli donatısız rijit kaplama uygulamalarında bazen kullanılmaz. (Özellikle düşük trafik yükü olan yollarda.) Enine derz aralıklarının genellikle kaplama kalınlığının 24 katı veya plak genişliğinin 1.25 katından fazla olması istenmez [9]. Derzli veya derzsiz bütün rijit kaplamalarda, kaplama altında bulunan zemin ile rijit kaplama arasında gerilme farkından dolayı oluşacak çatlaklar engellenemez. Bu nedenle alt katmanlar ile kaplama arasını bitümlü malzemelerden astar yapılması veya membran gibi uygulamalar ile ayırmak gerekir. Doğu Karadeniz Bölgesi köy yollarında uygulanan rijit kaplamalar genellikle derzli donatısız rijit kaplama tipindedir.

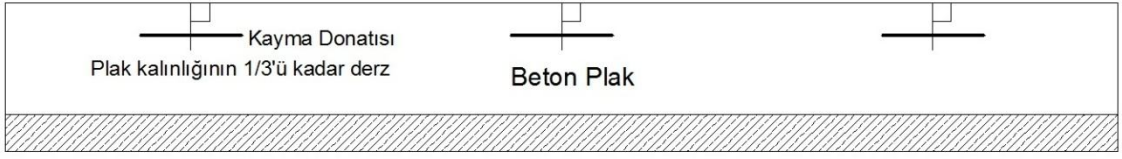
1.3.2. Derzli Donatılı Rijit Kaplamalar

Derzli donatılı rijit kaplama plakın genelde ortasına donatı yerleştirilerek yapılmaktadır. Bu donatı genelde hafif hasır çelikten oluşmaktadır. Bazen donatılar beton kaplamanın alt veya üst, hatta alt ve üst beraber olacak şekilde inşa edilmektedir. Donatı ile beton arasında oluşan aderans sayesinde oluşabilecek çeşitli çekme gerilmeleri donatılar tarafından karşılanır. Bu durum beton plakların daha uzun plaklardan oluşmasını sağlar. Bu plaklar 8 ile 30 metre arasında değişir. Derzlerin azlığı konforu artırır. Bu nedenle şehirlerarası yollarda tercih edilir. Ayrıca Derzli donatısız rijit kaplama tipine göre daha fazla trafik yüküne karşı dayanıklıdır. Derzli donatısız tip gibi derzli donatılı tipte de kayma ve bağ donatıları 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 geçişi bu tipte yapılmış rijit kaplamalardır [9].

1.3.3. Sürekli Donatılı Rijit Kaplamalar

Sürekli donatılı rijit kaplamalar, enine derz bırakılmadan yapılan kaplama türüdür. Boyuna derz ise bazı sürekli donatılı rijit kaplamalarda kullanılır. Bu tarz yollarda, bağ donatıları boyuna derzlerin olduğu yerlerde uygulanır. Enine derz bulunmadığından uzun plaklarda oluşacak yüksek çekme gerilmelerini karşılamak için derzli donatılı rijit kaplamalara oranla daha fazla donatı bulunur. Tasarım hesaplarına göre bu çekme dayanımı sağlanabilmesi için donatı beton oranı %0,67 civarında olmalıdır. Bu donatı oranı sayesinde sürekli donatılı kaplamalar yüksek yorulma dayanımına sahip olurlar. Ayrıca seyir kalitesi yüksektir. Bu nedenlerden dolayı otoyollar için ideal bir kaplama türüdür [6]. Donatıların bulunmasına rağmen çatlaklar oluşur. Oluşan çatlakların aralıklarının büyümemesi donatılar tarafından engellenir. Ancak donatıların yetersiz kalıp çatlakların belirli bir seviyede büyümesi ve yol kaplamasında dökülmelere varan tahribatlar oluşması olası bir durumdur. Avrupa ve ABD’de yaygın bir şekilde yapılan bu rijit kaplama türünden, halen daha Türkiye’de örneği inşa edilmemiştir.

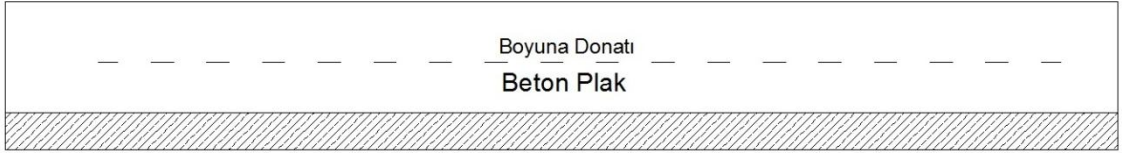
DERZLİ DONATISIZ (URC)



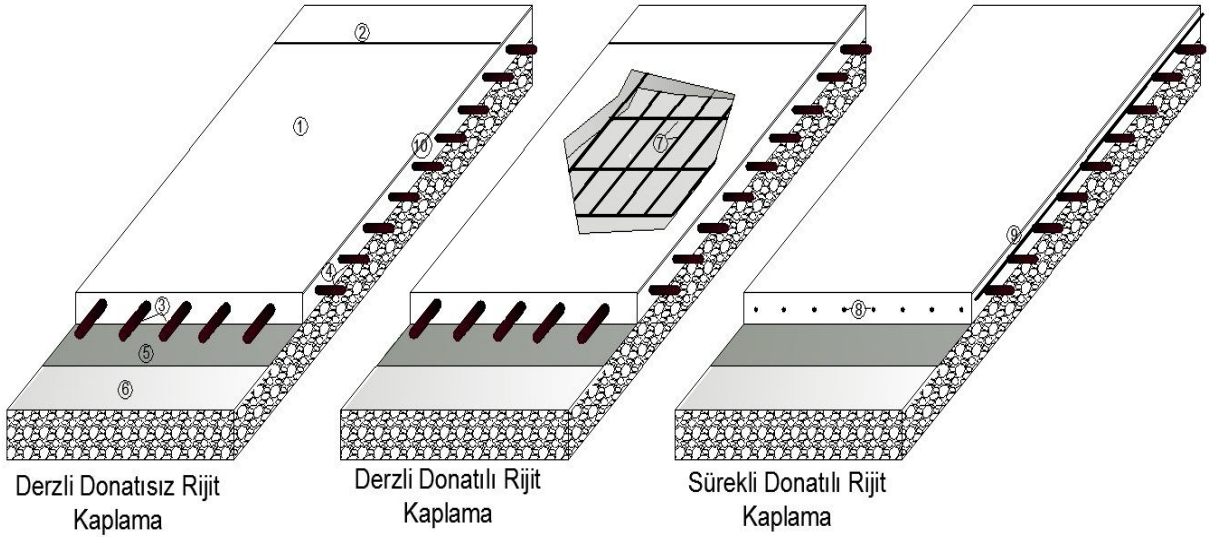
DERZLİ DONATILI (JRC)



SÜREKLİ DONATILI (CRCP)



Şekil 1.2. Rijit kaplama tiplerinin boy kesitleri. Plak kalınlığının 1/3'ü kadar kesilmiş derzler. Kayma donatıları ve boyuna donatılar gözükmemektedir. [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

Şekil 1.3. Rijit kaplama türleri [10].

1.3.4. Diğer Uygulanan Metotlar

Rijit kaplama teknolojisi her geçen gün gelişmektedir. Bu gelişmeler ileride kullanılabilir yeni kaplama türlerinin ilk modellerini oluşturmaktadır. Lifli beton plak uygulamaları buna bir örnektir. 4 cm uzunluğunda 0,4 mm çapında çelik veya farklı malzemelerden oluşturulmuş liflerin beton içine homojen ve istenilen dozajda dağıtılmasıyla yapılmaktadır. Bu lifler çekme gerilmelerine karşı direnci arttırmakta ve rijit kaplamanın gevrekliğini azaltmaktadır. Bu teknoloji oldukça pahalı bir teknolojidir. Bu nedenle uygulamada çok sık kullanılmamaktadır. Ancak ABD’de özellikle eski beton plakların deforme olmuş yerlerinde 5 cm kalınlığında yapılan lifli rijit kaplama, oldukça başarılı olmuştur. Uzun zamandır bilinen fakat maliyetleri nedeniyle fazla kullanılmayan diğer bir kaplama türü ise öngermeli rijit kaplamadır. Donatıların önceden gerilerek homojen gerilmelere sahip olması sağlanarak, iklimsel veya mekaniksel oluşacak çekme gerilmeleri engellenmektedir. Böylece beton kalınlıkları düşmektedir [6]. Bu yöntemlerin dışında silindir ile sıkıştırılmış rijit kaplama gibi yeni yapım yöntemleri kullanılmaya başlanmıştır.

Rijit kaplamalar ayrıca kullanılan puzolan malzemenin türüne, dozajına, kaplama kalınlığına, temel türü ile kullanılan agrega türüne ve benzeri diğer özelliklere göre çeşitlilikler gösterebilir. Ancak bu farklılıklar rijit kaplamalar için tür kabul edilmez. Bu çeşitlilikler trafik yükü, iklim özellikleri, temel yapısı gibi değişken özelliklere karşı kullanılan birer çözüm metotlarıdır. Örneğin trafik yükünün az olduğu bölgede kaplama kalınlığını düşük alarak maliyeti azaltmak veya yol güvenlik riskinin düşük olduğu bölgede agrega tipini daha fazla sürtünme kuvveti oluşturabilecek tipte agrega almak gibi.

1.4. Literatür Taraması

1.4.1. Dünyada Rijit Kaplama Uygulamaları

Rijit kaplama Türkiye'de Karayolları bünyesinde şehirler arası yol olarak deneme aşamasındadır, ancak uzun yıllardır gelişmiş, gelişmemiş dünyanın birçok ülkesinde toplam ulaşımın ciddi bir kısmını karşılayacak şekilde kullanılmaktadır. Bugün dünyada birçok gelişmiş ülkede Rijit kaplama oranı %10 ile %20 arasında değişmektedir. Bu oranın %50'lerin üzerinde olduğu ülkeler bulunmaktadır [9]. Dünyanın birçok yerinde rijit kaplamalar üzerinde araştırmalar yapılmakta ve her geçen gün rijit kaplama teknolojisi gelişmektedir. Bu kısımda rijit kaplamayı ciddi oranda kullanan ülkelerin, rijit kaplama teknikleri ve yöntemleri hakkında bilgiler verilecektir. Genel olarak bu bilgiler ortak olan özellikleri değil yeni teknolojileri veya farklı özellikleri anlatmayı amaçlamaktadır.

1.4.1.1. ABD

ABD'de ilk rijit kaplama 1881 yılında Ohio'da inşa edilmiştir. Günümüzde bu yol halen hizmet vermektedir. Bu yoldan itibaren ABD'de rijit kaplama uygulamaları başlamış 1920'lere gelindiğinde tasarım ilkeleri oluşturulmuştur. Günümüzde AASHTO içerisinde detaylı tasarım ilkeleri bulunmaktadır. ABD'de 1960 ile 1970 arasında 70 bin km rijit kaplamalı yol yapılmıştır [4]. Günümüzde ABD, karayollarının %15'ini (219.487 km) rijit kaplamalı yollar ile kaplanmıştır. Bu yolların yüksek tasarım hızına sahip ağır taşıt trafiğini taşıyan yollar olduğunu düşünürsek, değer olarak ulaşım yükünün %50'sini karşılamaktadır [11]. ABD'de rijit üstyapıları ayrıca havaalanlarında da kullanılır. Derzli Donatılı, derzli donatısız ve sürekli donatılı rijit kaplama türlerinin üçü de ABD'de uygulanmaktadır.

ABD'de rijit kaplama ile ilgili ilk araştırmalar AASHTO tarafından, A.B.D.'de Illinois eyaletinin Ottawa kentinde yapılan deneme yolunda yapılmıştır. Farklı kalınlık, dingil yükleri ve rijit kaplama türlerinin 2 yıl boyunca gözlemlenmesi sonucu elde edilen veriler 1961 yılında "AASHTO Projelendirme Geçici Rehberi" adı altında yayımlanmış, devam eden çalışmalar ile bu yayım 1972, 1986 ve 1993'te geliştirilmiştir [12].

Derzli donatısız rijit üstyapı tipi 127 mm ile 356 mm arasında inşa edilmektedir. Plaklar 3 ile 6 metre arasındadır. Kaplama altında granüller malzeme, çimento veya

bitümlü stabilize edilmiş tabakaları vardır. Temel kalınlıkları 102-204 mm arası değişmektedir. Birçok eyalette yolların büyük kısmında bu tip kullanım görülmektedir.

Derzli donatılı rijit üstyapı tipinde plaklar 8 ile 30 m arasında yapılmaktadır. Plak kalınlıkları 152 ile 356 mm arasında değişmektedir. Uzun plaklar nedeniyle büzülme kırılma oluşmakta, bu durum çapraz çatlaklara neden olmaktadır. Donatılar bu çatlakları engellemek için kullanılır. Derz aralarında kayma donatıları kullanılır. Derzli Donatılı rijit kaplamalar ABD'nin nemli veya soğuk bölgelerinde daha çok tercih edilir.

AASHTO ilkelerine göre beton plağın kalınlığı aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanmaktadır [13].

$$\log_{10} W_{8,2} = Z_R S_0 + 7,35 \log_{10}(D + 1) - 0,06 + \frac{\log_{10}[\Delta PSI / (4,5 - 1,5)]}{1 + [1,624 \cdot 10^7 / (D + 1)^{8,46}]}$$

$$+ (4,22 - 0,32 P_t) \log_{10} \frac{S'_c C_d [D^{0,75} - 1,132]}{215,63 J [D^{0,75} - [18,42 / (E_c / k^{0,25})]]}$$

Formül 1.1 AASHTO beton plak kalınlık hesaplama formülü.

N. Kuloğlu, ve diğerlerinin "AASHTO Metodunda Rijit Üstyapı Kaplama Kalınlığına Etki Eden Parametrelerin İncelenmesi" adlı makalesinde incelediği üzere;

- W_{8.2} : 8,2 ton eşdeğer tek-dingil yükü tekerrür sayısı
- Z_R : Standart normal sapma
- S₀ : Trafik tahmini ve performans tahmininin bileşik standart hatası
- D : Rijit üstyapı beton kaplama kalınlığı (inç)
- ΔPSI : P₀-P_t (Servis kabiliyetinde azalma miktarı)
- P₀ : Başlangıç servis kabiliyeti indeksi
- P_t : Nihai servis kabiliyeti indeksi
- S'_c : Betonun kopma modülü (Eğilmede çekme mukavemeti) (psi)
- J : Yük transfer katsayısı
- C_d : Drenaj katsayısı
- E_c : Betonun elastisite modülü (psi)
- k : Yatak katsayısı (psi)

Tablo 1.1'de yük transfer katsayısı J=3,2, drenaj katsayısı C_d = 1,0 ve servis yeteneği kaybı ΔPSI= 2 olarak alınmış, rijit üstyapı beton kaplama kalınlığı D'nin, 8.2 ton dingil yükünün tekerrür sayısına (Trafik yoğunluğuna) orantılı değişimi incelenmiştir. Bu

inceleme benzer şekilde yatak katsayısı, birleşik standart hata, standart normal sapma, beton elastisite modülü ve güvenlik faktörü değiştirerek yeni veriler elde edilebilir. [14].

Tablo 1.1. Rijit kaplamalarda 8,2 ton dingil yükünün farklı tekerrür sayılarında dizayn kalınlıklar görülmektedir [14].

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
65 Milyon					
70 Milyon					

Tablo 1.1’de görüldüğü gibi Amerikan standartlarında 20 milyondan 70 milyona artan tekerrür sayısı yaklaşık 5 cm beton kalınlığı arttırarak, tasarlanabilmektedir. Yani rijit kaplamalar az maliyetler ile daha yüksek trafik yoğunluğunu karşılayabilmektedir.

1.4.1.2. Almanya

Almanya’da ilk beton yol yapımı neredeyse ABD’deki ilk uygulama ile aynı tarihlere aittir. 1934’ten itibaren ise rijit kaplama 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. Daha sonra kendi tecrübeleri ve ABD standartları ile geliştirilmiş beton yollar yapılmaya başlanmıştır. 1982 yılında kayar kalıp sistemini kullanmaya başlamıştır. Almanya eski beton yollarını kırarak agrega haline getirip tekrar kullanmaktadır. Almanya'da dingil ağırlığı 11.5 ton alınmakta ve Otoyollarından günde ortalama 8000 Kamyon geçmektedir [15]. Almanya'da beton yol kalınlığı 14 cm ile 26 cm arasında değişmektedir. Yollar trafik yüklerine göre SV, I, II, III, IV, V ve VI 7 ayrı kategoriye ayrılmaktadır. En ağır trafik yükü SV en düşük trafik yükü ise VI tarafından taşınmaktadır. Bütün kategorilere göre beton yol tasarımı mevcuttur [16].

Tablo 1.2. Almanya'da trafik yoğunluğuna göre kategorize olmuş farklı yol tiplerinde beton kullanıldığında istenilen teknik özellikler [16].

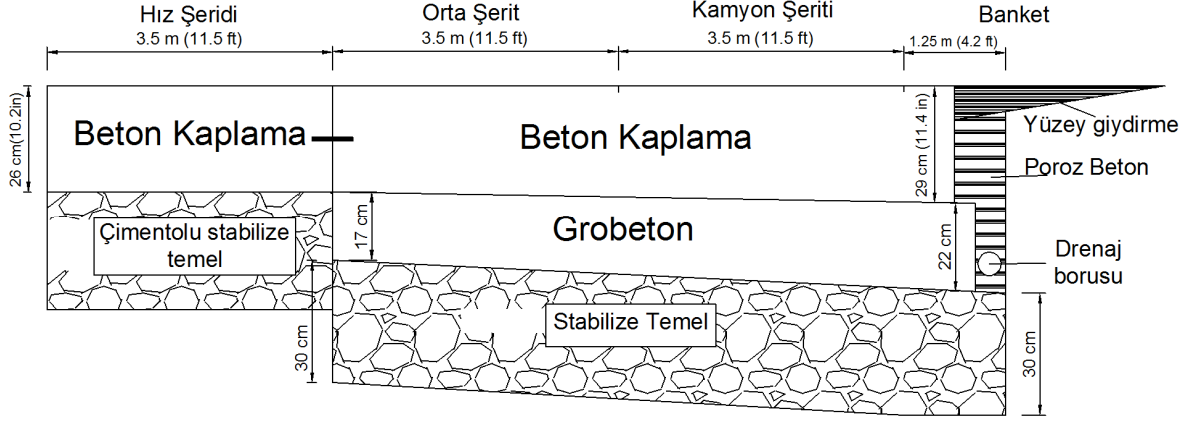
YOL KATEGORİSİ	Minimum 28 günlük mukavemeti		
	Basınç Mukavemeti N/mm ²		Eğilmede çekme Mukavemeti N/mm ²
SV, I, II, III, IV	35	40	5.5
V, VI	25	30	4.0

Almanlar beton yolların temellerine önem vermektedirler. Almanya'da çimentolu temel üzerinde beton kaplama, geotekstilli çimentolu temel ve kırma taş agregalı temel üzerine kalın beton yol kaplama olmak üzere 3 farklı temel tipi bulunmaktadır. Çimentolu temelde, su nedeniyle oluşabilecek temel erozyonunu engellemek için 15 N/mm² dayanım istenmektedir. Geotekstilli çimentolu temelde metre kareye 500 gr gelecek şekilde polipropilen veya poli-etilenden oluşan malzeme kullanılır. Malzeme çimentolu temel üzerine sabitlenir. Böylelikle suyun drenajı sağlanır ve temel dayanımı artar. Geotekstil malzemeli uygulamalarda kayar kalıp veya kullanılan beton araçlarının çok dikkatli hareket etmesi gerekir. Üçüncü temel tipi ise kırma taş ile yapılan temel tipidir ve en az 300 mm yapılmaktadır. Kalınlık ve geçirgenlik özelliği sayesinde suyun yukarı kaplamanın altına pompalanmasını engellemek amaçlanmaktadır. Rijit kaplamalar Portland Çimentosu (32.5 - CEM I 32.5) ile yapılır. Alman şartnamelerine göre agrega özellikleri şöyle olmalıdır; kaplamanın üst kısmında bulunan bölümde en az %50'si 8 mm'nin üzerinde büyüklükte olmalı ve agregaların en az %35' i kırılmış olmalıdır. Ayrıca, donma - çözülme

ve aşınmaya karşı dayanıklılık kontrolü yapılmalıdır. Testler ile beton yollarda aranan diğer özellikler yüksek kayma direnci, yüzey düzgünlüğü ve düşük sürüş gürültüsüdür. Derzler genelde 3 mm kalınlığında ve dökümden sonra mümkün mertebe hızlı bir şekilde kesilir. Enine derzler beton kalınlığının 1/4'ü kadar kesilir ve bitümen veya neoprane derz dolgusu olarak kullanılır [15].

1.4.1.3. Fransa

Fransa'da 1939'dan itibaren derzli donatısız rijit kaplama tipini kullanılmaya başlamıştır. 1960'dan itibaren temeldeki stabilize malzemeye çimento da katılmıştır. Özellikle yağış alan kısımlarda uzun yıllar çalışan rijit kaplamalarda; 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. Bu kaplamaların en kesitler trapezoid şekle getirilmiştir. Şekil 1.4'de trapezoid yapı ve drenaj sistemi gözükmektedir. Trapezoid şekil sayesinde köşeleri güçlü beton plaklar yapmışlardır. Ağır taşıtlar beton plaklarının kalın kısmını kullandıklarından, plakları daha az yormaktadırlar. Ayrıca beton plaklarda çeşitli malzemelerden banket 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 [11].



Şekil 1.4. Fransa'da trapezoid kaplama kamyon şeridi ve banket uygulaması [17].

Fransa'da uygulanan sürekli donatılı rijit kaplamalar da kullanılmaktadır. Sürekli donatılı rijit kaplamaların özellikleri ise şöyledir; Yeni yapılan yollarda çimentolu stabilize veya asfalt betonundan temel kullanılır. Kenarlarında 50 cm'lik banket uygulaması vardır. Bazı banketler daha zayıf betonlardan inşa edilir. Genelde banketler bitümlü malzeme veya geotekstil malzemeli temele sahiptir ve içinde bulunan drenaj borusu ile suyu tahliye eder. Trafik yükünü taşıyan şeritler trapezoid şekilde inşa edilir. Bu trapezoidin kısa kenarı 19 cm'den başlar. Uzun kenarı ise genelde 25 cm, kamyon şeridi yapılacak yerlerde ise 31.5 cm'ye çıkartılır. Eğer eski kaplamaların üzerine inşa ediliyorsa, bu kalınlıklar değiştirilir. Eski rijit kaplamalar üzerine minimum 18 cm, eski esnek kaplamalarda minimum 16 cm yeni kaplama yapılır. Sürekli donatılı rijit kaplamalarda kullanılan donatı iki türdür. Birincisi 590 MPa'lık akma dayanımına sahip çubuk donatı, ikincisi ise Fransızlar tarafından geliştirilmiş olan 790 MPa akma dayanımına sahip, 4 cm genişliğinde 2 mm kalınlığında şerit donatıdır. Şerit donatıların inşaat alanında uygulaması oldukça pratik olmaktadır. Şerit donatılar geniş yüzey alanı sayesinde beton ile daha çok aderans sağlamaktadır. Fransa'da yapılan araştırmalarda aderansın, çatlakları önleyici özelliği tespit edilmiştir. Bu şeritler inşaat alanına 360 veya 500 metrelik halkalar ile gelmektedir. Bu sayede geniş uzunlukları donatı bindirmesi yapmadan aşmak mümkün olmaktadır. Ayrıca yapılan araştırmalarda şeritler sayesinde daha az çalışma sahası ve süresi kullanıldığı tespit edilmiştir [17]. Sürekli donatılı rijit kaplamalarda donatı, plağın yüzeye yakın kısmında 1/3'lük derinliğe yerleştirilir. Ayrıca boyuna donatıyı beraber tutmak için enine donatı ve bağ donatısı da kullanılır.

1.4.1.4. Diğer Ülkeler

19. Yüzyılın sonlarına doğru İskoçya ve Avustralya rijit kaplama yol inşaatına başlamıştır. Avusturya 1940 yılından itibaren rijit kaplamalı üstyapıları karayollarında inşa etmektedir. Günümüzde Avusturya'nın üstyapı kaplamalarının %46'sı rijit kaplamalardan oluşmaktadır. Avusturya'da rijit kaplamalı üstyapılarda dört farklı tasarım tipi kullanılmaktadır; İşlenmemiş granüller temelli, çimentolu işlenmiş temelli, kayma donatılı, kayma donatısız. Rijit kaplama ile alttemel arasında 5 cm'lik bitümlü kaplama ile hem elastisite modülü farklılığı giderilmekte hem de drenaj sağlanmaktadır. Genelde rijit kaplama kalınlığı 18-22 cm arası değişmekte çok ağır trafik yüklerinde 25 cm kullanılmaktadır. Rijit kaplama altındaki zeminin minimum taşıma kapasitesi 35 MPa olması istenir. Aksi durumlarda zemin iyileştirilmesi yapılmaktadır. Derz aralıkları 6 metredir [11].

Hollanda 1950'lerden itibaren rijit kaplamalı üstyapıyı kullanmaktadır. Özellikle Kuzey Hollanda'da yoğun oturmalar nedeniyle bölgedeki yolların birçoğu rijit kaplama ile yapılmaktadır. Hollanda Avrupa'nın en önemli liman şehirlerinden birkaçına sahip olduğundan rijit kaplamalar yoğun trafik yükü altında çalışmaktadır. Mevcut rijit kaplamaların büyük bir kısmı derzli donatısız rijit kaplamadır. Ancak yeni yapılanlar sürekli donatılı rijit kaplama tipindedir. Ayrıca Hollanda'da Schipol Havaalanı'nın apron hangarı gibi önemli kesimlerinde öngermeli rijit kaplama kullanılmıştır. Bu yapı 38 yıldır fazla bakım yapılmaksızın hizmet vermektedir [17].

İspanya'da otoyol ağının %22,5'i rijit kaplamamalardan oluşmaktadır. Bunun ciddi bir kısmı derzli donatılı rijit kaplama, yeni yapılanları ise sürekli donatılı rijit kaplama türüdür [6].

Belçika, en eski rijit kaplamalı yollara sahip ülkelerden biridir. Örneğin 1925 yılında Brüksel'in güneyinde inşa edilen rijit kaplama halen hizmet vermektedir. Köy yollarının %60'ı rijit kaplamadır [8]. Otoyolların %40'ı rijit kaplamalardan oluşmaktadır. Bu rijit kaplamalar sürekli donatılı ve derzi donatısız tipte yapılmaktadır. Özellikle eski deforme olmuş rijit kaplamaların üzerine sürekli donatılı rijit kaplama yapılmaktadır. Belçika da kullanılan sürekli donatılı rijit kaplamalar 20 cm'lik yüksek dayanımlı beton plaktan oluşmaktadır. Donatı oranı %0.85 derinliği ise 6 cm'dir. Rijit kaplama ile temel arasında 6 cm asfalt betonu kaplaması bulunmaktadır. Asfalt betonu altında bulunan temel 20 cm'lik grebeton tabakasıdır. Onun altında 20 cm granüller temel bulunmaktadır. Dünya

genelinde ve Belçika'da donatı alanı/ Beton en kesiti oranı %0.67'den %0.85'e çıkartılmış olması çatlak aralıklarında oldukça ciddi düşüslere neden olmuştur [17].

İklim şartları nedeniyle Kuzey Avrupa Ülkelerinin birçoğunda rijit kaplama daha yaygın şekilde yapılmaktadır. Polonya 1888 tarihinden bu yana rijit kaplamalı yollar yapmaktadır. Norveç, İsveç, Finlandiya, Danimarka 1980 yılından sonra otoyollarında silindirle sıkıştırılmış rijit kaplamalar yapmıştır.

Tablo 1.3. Donatı oranının artmasıyla azalan çatlak aralıkları [17].

İnşaat Mevsimi	Donatı Yüzdesi	Ortalama Çatlak Aralığı
Yaz	0.85	0.4
	0.67	1
Kış	0.85	0.75
	0.67	1.6

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 gören Çinli araştırmacılar, temel ve alttemelde bulunan agrega kaplamaların %8 kireç katkısı ile daha stabil hale gelmesinin faydalı olacağını bulmuşlardır. [18] Asya ülkelerinde de rijit kaplama tercihler arasındadır. Japonya'da rijit kaplama üzerine ciddi araştırmalar bulunmaktadır. Hindistan'da 1300 km karayolu rijit kaplama ile yapılmıştır [8].

1.4.1.5. Türkiye

Türkiye'de karayolu inşaat işlerini genellikle Türkiye Cumhuriyeti Karayolları (TCK), Belediyeler ve İl Özel İdareleri yürütmektedir. İl Özel İdareler ve Belediyeler ihtiyaçları doğrultusunda rijit kaplamaları tercih etmektedirler. Genellikle donatısız derzli

ve donatılı derzli rijit kaplamalar inşa edilmektedir. Özellikle Karadeniz Bölgesinde iklim şartları ve diğer fiziksel etkenlerden dolayı rijit kaplama diğer bölgelerden daha fazla inşa edilmektedir. TCK bünyesinde rijit kaplama yapımı ise deneme aşamasındadır. Denemeler 2004 yılında başlamıştır. 2011 yılına kadar Karayolları Genel Müdürlüğü bünyesinde 4 farklı bölgede derzli donatılı rijit kaplama tipi denenmiştir. Bu yolların toplam uzunluğu 8,1 km'dir. Yapılan incelemelerde yolların durumu iyi olduğu görülmüştür. [9]

1.4.2. Rijit ve Esnek Kaplamanın Teknik Yönden Karşılaştırılması

Türkiye'de her geçen gün ulaşım ihtiyacı artmaktadır. Bu ihtiyacın ciddi bir kısmını karayolları taşımaktadır. Artan ulaşım ihtiyacının karşılanabilmesi için, yeni yolların yapılmasına ya da mevcut yolların taşıma gücü, taşıt yoğunluğu kapasitesi ve kalitesi gibi çeşitli özelliklerin geliştirilmesini gerektirmektedir. Günümüzde artan ulaşım ihtiyaçların büyük kısmı iki kaplama türü olan esnek ve rijit kaplamalar kullanılarak giderilmektedir. Fransa'da yapılan araştırmalar sonucu yol üstyapısının hizmet süresi boyunca üzerinden geçen araçların yaktıkları enerji maliyeti ile yol üstyapısı yapım ve bakım maliyetine oranı 10 ile 345 arasında değişmektedir. Bu oran araç yoğunluğu artan yerlerde 345 rakamına yaklaşmaktadır [19]. Bu durum yol yapım ve bakım masraflarının hizmet süresi içinde harcanan maliyetlere oranla çok az olduğunu göstermektedir. Bu nedenle en az yakıt tüketecek yol yapım tekniklerini kullanmakta fayda vardır. Esnek ve rijit kaplamalar çeşitli metotlar ile yapılmakta, her metot kendi maliyetini oluşturmaktadır. Bu durum iki kaplama türü içinde geniş maliyet yelpazesi oluşturmaktadır. Ancak uç durumların olmadığı belirli dingil ve taşıt yoğunluğuna sahip yollarda, yapılacak maliyet karşılaştırmaları daha sağlıklı olacaktır. Bunun yanı sıra bu iki kaplama türünü teknik, fiziksel ve benzeri diğer özelliklerinin karşılaştırılması yapılabilir.

1.4.2.1. İlk Yapım Maliyeti Ekonomik Ömür

Yol kaplama inşaatları uzun ve oldukça maliyetli işlerdir. Bu nedenle ilk yapım maliyetleri önemlidir. İlk yapım maliyeti kısa sürede elden çıkacak paraları gösterir. Geometrik şartlara uygun hazırlanmış ve yeterli taşıma gücüne ulaşmış altyapı ve temel tabakalarının üzerine inşa edilen ve eşit trafik yoğunluğu ve yüküne göre tasarlanmış kaplamaları, ilk yapım maliyeti olarak irdelediğimizde rijit kaplama esnek kaplamaya

oranla çok az farkla maliyetli oldukları görülmektedir. (Sadece üstyapı kaplama tabakası baz alındığında) Ayrıca esnek üstyapı kademeli inşaata izin verdiğinden ilk yapım maliyeti olarak daha avantajlıdır. Öte yandan rijit kaplamaların alttemel, temel ve altyapıya yansıttığı yük dağılımlarının esnek kaplamaya oranla az olması, tesviye edilmiş ham yol üzerine veya taşıma gücü az olan temeller üzerine inşaatlarda yapılacak bölgelere göre üstünlük sağlamaktadır. Örneğin CBR değeri oldukça düşük bölgelerde esnek kaplamalı üstyapı için kırma taş ile güçlendirme katmanlarının derinliği arttıkça rijit kaplamalı üstyapı karlı hale gelmektedir. Zira rijit kaplama az temel kalınlığı ile gerekli taşıma gücünü verebilmektedir.

Ekonomik ömürlere göre kaplama türlerini kıyaslandığında rijit kaplamanın esnek kaplamaya oranla önemli bir üstünlüğü vardır. Hatta rijit kaplama örneklerini projelene ekonomik ömürlerinin bitirdikten sonra bile çalışmaya devam etmektedir. Türkiye'de karayolu ağının uzun olması göz önüne alınarak ilk yapım maliyetini değerlendirirken, tekrar eden ilk yapım maliyetlerinden kaçınılması gerektiğini de düşünmek gerekir. Bu yönden de rijit kaplamalar daha üstündür.

Dünya piyasalarında oluşan etkiler nedeniyle petrol fiyatları direk etkilenmektedir. Özellikle Çin ve Hindistan'ın 2005'den beri petrol ihtiyacının artması piyasaları çok arttırmıştır. Buna rağmen çimentonun fiyatı daha istikrarlı malzeme olduğunu da göz önünde bulundurmak gerekir. Çok yakın bir zamanda bu grafiğin neticesi olarak rijit kaplamanın asfalt kaplamadan ilk yapım maliyeti olarak daha ekonomik olacağı öngörülmektedir [20].

1.4.2.2. Yerli Kaynak Kullanımı

Rijit kaplamaları, esnek kaplamalardan üstün tutan diğer bir özellik ise yerli kaynak kullanımınıdır. Türkiye'de esnek kaplamaların tamamı petrol türevi olan rafine asfalttan üretilmektedir. Petrol ise çok az miktarda Türkiye'den çıkartılan ve büyük bir kısmı ithal edilen bir üründür. Ayrıca Petrol Türkiye'de sadece 5 noktadan rafine olabilmektedir. Asfalt ihtiyaçları bu beş noktadan temin edilmektedir. Oysa rijit kaplamaların yapımında kullanılan çimentonun Türkiye'nin 41 ilinde toplam 67 fabrikası mevcuttur [21]. Yine Türkiye'de şehirlerde en az birkaç tane uluslararası standartlara uygun hazır beton üretim tesisi bulunmaktadır. Ülke parasının ülke içinde dolaşımını sağlamak için rijit kaplama ideal kaplama türüdür [22].

1.4.2.3. Sürdürülebilirlik ve Geri Dönüşüm

Günümüzde gelişmiş ülkelerin birçok sahada uygulamaya çalıştıkları bir kavram olarak sürdürülebilirlik; gelecek kuşakların kaynaklarına zarar vermeden ve azaltmadan günümüz ihtiyaçlarının karşılanması amacıyla [19]. Yol üstü yapı kaplamasında kullanılan malzemenin sürdürülebilir olması istenmektedir. Bu konuda çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Almanya'da ve Amerika'da eski ve ekonomik ömrünü bitirmiş rijit kaplamalar mobil konkasörler ile yerinde kırılmaktadır. İhtiyaca göre kırılan agregalar rijit kaplamalarda kullanılması başarıyla uygulanan bir yöntemdir [11]. Ayrıca rijit kaplamalar eskidiğinde üzerlerine yapılan esnek veya rijit kaplamalara alttemel veya temel malzemesi olarak kullanılmaktadır. Nitekim Türkiye dâhil dünyanın birçok yerinde bozulan ve eskiyen rijit kaplamalar kaldırılmadan yeni kaplama üzerine yapılmaktadır.

Esnek kaplama yapımında kullanılan hidrokarbon malzemelerin teoride %100 geri dönüşebilen malzemelerdir [19]. Ancak uygulamada çeşitli zorluklar nedeniyle tam olarak uygulanamamaktadır. Buna rağmen konu ile ilgili çeşitli araştırmalar sürmekte hatta esnek kaplamaların tekrar temel veya kaplama malzemeleri olarak kullanıldığı örnekler yapılmaktadır. Ancak hidrokarbon malzemenin bir özelliği olan yaşlanma denilen kimyasal ve fiziksel değişimler bu geri dönüşü zor ve pahalı hale getirmektedir. Öncelikle malzeme hava ile temas ettiği zaman boyunca yavaşça oksidasyon olmakta bu da malzemenin viskozitesinin artmasına yani sertleşmesine ve kırılma eğilimine neden olmaktadır. İkinci önemli bir etken ise bileşenlerin kaybolmasıdır. Özellikle uçucu bileşenler yol yapımı sırasında ısıtma serme ve yolun kullanımı zarfında kaybolmakta, bu nedenle yol sertleşmekte ve kırılma eğilimindedir. İşte bu nedenlerden dolayı esnek kaplamanın ekonomik ömrünü bitirdiği birçok yolda, esnek kaplama kaldırılarak atıl halde depolanmakta veya çeşitli çöp alanlarına dökülmektedir. Türkiye de uygulama bu şekilde olmaktadır [23]. Çimento yapımında kullanılan cüruf ve uçucu gibi çeşitli atıklar, rijit kaplamayı geri dönüşüm konusunda esnek kaplamadan daha üstün kılmaktadır.

1.4.2.4. Bakım Onarım İhtiyacı ve Maliyeti

Kaplama tiplerini karşılaştırırken ekonomik ömürleri boyunca iklim, trafik yükleri vb. fiziksel etkenlerden dolayı oluşabilecek bozulmaları göz önüne almak gerekir. Bu nedenle bakım onarımların kolay yapılabilmesi ve az maliyetli olması önemli bir avantajdır. Rijit üstyapı 30-40 senelik ekonomik ömürleri boyunca neredeyse hiç bakım onarım ihtiyacı duymamaktadır. İhtiyaç duyulduğunda rijit kaplamaların bakım onarım maliyetleri oldukça fazla olmaktadır. Bu nedenle rijit üstyapıların projelendirme aşamaları oldukça dikkatli yapılmalıdır. Esnek üstyapılarda ise birkaç senede bir onarım çalışması yapılması gerekmektedir. Oluşacak çatlaklar ve bozulmalar bakım ve onarım yapılmadığı durumda her sene daha da büyüyerek ilerlemektedir. Soğuk asfalt teknolojisinin gelişmesi esnek üstyapılarda bakım onarım maliyetlerini azaltmıştır. Esnek üstyapılarda bakım onarım çalışmaları rijit üstyapılara oranla hızlı bir şekilde yapılmaktadır. Ayrıca esnek kaplamalarda yol trafiğe açıkken bakım onarım çalışması yapılabilir. Senelik bakımı yapılmış esnek kaplamaların bakım onarım çalışmaları dışında ekonomik ömürleri boyunca birkaç kez yüzey kaplamalarının yenilenmesi gerekmektedir. Bu durum da esnek kaplamalar için ekstra mali külfettir. Amerika'da MIT üniversitesi yaptığı araştırmada 30 yıl hizmet veren esnek kaplamalarda ilk yapım maliyetinin % 40'ı tamir bakım ve yeniden kaplama olarak kullanıldığını rijit kaplamalarda bakım ve tamirin 30 yıllık hizmet süresi boyunca ilk yapım maliyetinin %11'ni aşmadığı tespit edilmiştir [20].

1.4.2.5. Kullanıcı Maliyeti

Yolu kullanan araçların lastik-araç eskimesi, yağ ve yakıt tüketimi gibi masrafları olmaktadır. Bu masrafları minimuma indirmek için çeşitli çalışmalar devam etmektedir. Günümüz şartlarında rijit ve esnek kaplamaların yol kullananlara maliyetleri yaklaşık olarak aynıdır. Ayrıca Rijit kaplamalarda yuvarlanma sürtünme katsayısı yani harekete direnç düşüktür. Ancak enine ve boyuna sürtünme katsayıları esnek üstyapıya oranla biraz fazladır. Rijit kaplamalarda sanılanın aksine esnek kaplamaya oranla lastik, araç ömrünü kısaltmaz ve daha fazla yağ ve yakıt harcatmaz [6].

1.4.2.6. Alttemel-Temel İhtiyacı ve Agregası Tipi

Gerek rijit kaplamalar gerekse esnek kaplamalar alttemel ve/veya temel üzerine inşa edilmektedir. Esnek kaplamalar yükü olduğu gibi temel ve alttemellerine iletmektedir. Bu nedenle alttemel ve temelin taşıma gücü esnek kaplamanın taşıma gücünü belirlemektedir. Rijit kaplamalarda ise yük plakta fazla esneme yapmadan geniş alana yayılır [22]. Bu durum zayıf zeminlerde rijit kaplamanın esnek kaplamalı üstyapıdan daha iyi sonuç vermesini sağlamaktadır. Ancak rijit kaplamaların, üzerinde buldukları zemine oranla yüksek elastisite modülüne sahip olmaları, gerilmelere neden olmaktadır. Bu gerilmeler rijit kaplamada çatlaklar oluşturmaktadır. Bu nedenle rijit kaplamalar uygulandıkları zeminle ayrılmalıdırlar. Genelde rijit kaplamalarda bu ayrılma bitümden yapılan astar, naylon veya membran gibi malzemelerden yapılmaktadır. Ancak bazı büyük projelerde sathi kaplama veya bitümlü sıcak karışımların üzerine inşa edilmektedir [9]. Esnek kaplamada ise böyle bir sorun yoktur. Zaten esnek yapısı farklı elastisite modülünden dolayı oluşacak gerilmeleri engellemektedir. Esnek kaplama üstyapılarda yapılacak temel ve alttemellerin toplam kalınlığı, rijit kaplamalı üstyapıların temel ve alttemel kalınlığından oldukça fazladır. Ayrıca esnek kaplamalarda alttemel ve temelde kullanılacak agregası kalitesi, kırılmış olması ve gradasyonu da önemlidir. Kaliteli agregasının kırılması, tozundan arındırılması, şantiye alanına taşınması serilmesi ekstra mali külfettir. Esnek kaplamalarda trafik yüklerinin zemine etkisi aşağıya doğru azalarak iletiğinden alt tabakalara doğru daha kalın malzemeler kullanılabilir. [24] Rijit kaplamalar gerekirse zayıf zeminler üzerinde de uygulanabilirler. Son olarak esnek üstyapılarda alttemel veya temelin su drenajı da önemlidir. Olası bir su nedenli oturma direk kaplamaya yansır. Bu durum rijit kaplamayı çok fazla etkilemez.

1.4.2.7. Trafik Yükleri, Tekerrür Sayısı ve Kaplama Mukavemetleri

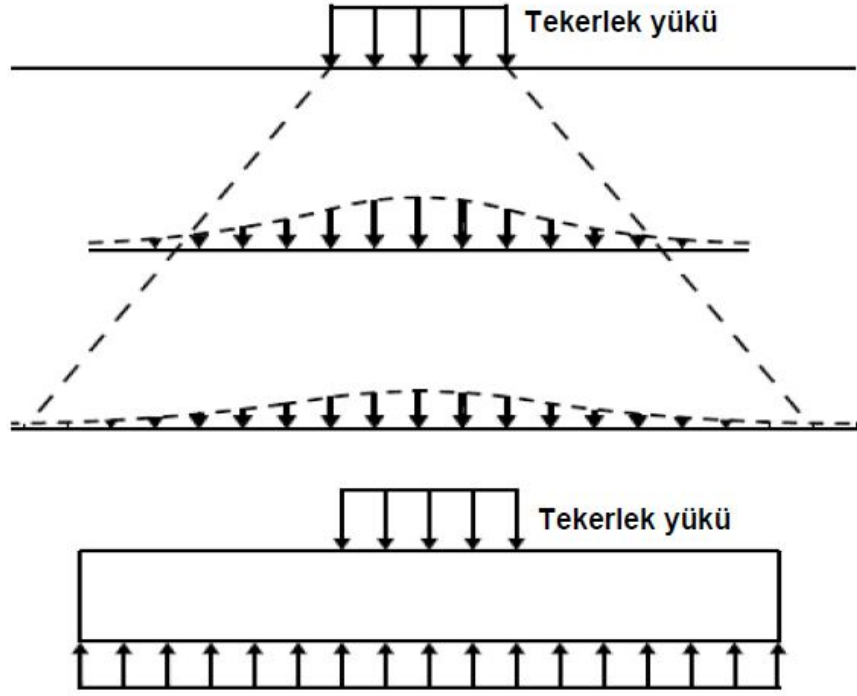
Türkiye Avrupa'nın en büyük tır ve kamyon filosuna sahiptir. Ülkede ağır taşıt oranı %40 seviyelerindedir. Bu oran AB ülkelerinde %10 civarındadır [22]. Bu durum yola verilen hasarın ciddi boyutlarda ulaşmasına neden olmaktadır. Tablo 1.4'de dingil yüküne oranla hasarların karşılığı yazmaktadır. Trafikte bulunan araç tipi ve trafik tekerrür sayısı üstyapı seçimi ve teknik özelliklerini belirlemek için önemli faktörlerdir.

Tablo 1.4. Farklı dingil yüklerinde yollarda oluşan hasar oranları [25].

Taşıt	Dingil Yüğü	Bir dingil yükünü yola verdiği hasar
Bisiklet	40 Kg	1
Araba	250 Kg	1 525
Kamyon	4000 kg	100 000 000

Rijit kaplamalar hem basınç dayanımı hem de çekme dayanımı bakımından esnek kaplamalardan üstündür. Bunun yanı sıra rijit kaplamalarda kullanılan donatı ile çekme dayanımı daha da arttırılmaktadır. Esnek kaplamalar yükü alt katmanlara direk ilettiğinden herhangi bir katmanda oluşacak mekanik bozulma bütün katmanları etkilemektedir. Yapılan araştırmalar ağır trafik yüklerine karşılık rijit kaplamaların daha dayanıklı olduğunu göstermişti [22]. Bunun yanı sıra esnek kaplamalarda ağır trafik yükleri nedeniyle plastik deformasyon çeşitleri olan; çökme, tekerlek izi, oluklar ve çatlaklar oluşmaktadır [23].

Rijit kaplamanın bir diğer üstünlüğü donatı ile güçlendirilebilme özelliğidir. Bu sayede çok ağır taşıt yüklerini ve trafik yoğunluklarını karşı dayanıklı olabilmektedirler. Yine bunun yanında çelik ve benzeri liflerin homojen dağıtılmasıyla yapılan yeni beton teknolojileri ile yoğun trafik yükleri ve yoğunluklarına dayanıklı rijit kaplamalar oluşturulmaktadır. Ayrıca bu yeni teknoloji rijit kaplamaya daha fazla esneme özelliği vermektedir. Rijit kaplamaları donatı ile güçlendirme gelişen bir teknolojiye sahiptir. Fransa'da çelik şeritler Hollanda'da ön germeli donatılar ile beton yollar inşa edilmiştir. Çin'de çok ağır olan yasal dingil yük ile taşımaya müsaade edilen yolların bütün hepsi rijit kaplamadır [11]. Esnek üstyapıların trafik şeritlerinin sağında ve solunda banket uygulaması yapılması gerekmektedir. Banket esnek üstyapıyı destekleyerek, dağılmasını ve kolay deforme olmasını engellemektedir. Aksi halde trafik yüklerinden ve yoğunluğundan kaynaklanan bozulmalar çok hızlı olmaktadır [2]. Rijit kaplamalarda banketin amacı kaplamayı destekleyerek, dağılmasını engellemek değildir. Yayaların yürümesi, arıza veya olağan olmayan durumlarda kullanılması için inşa edilmektedir. Şekil 1.6'da görüldüğü gibi taban malzeme aksa bile rijit üstyapı sağlam kalabilmektedir.



Şekil 1.5. Üstte esnek kaplamaya ve altta rijit kaplamaya ait trafik yüklerini dağıtma mekanizmaları [26]



Şekil 1.6. Trabzon Araklı İlçesi Bereket köyü Şifalı su tesislerine giden yol, 20 cm beton kaplama olan yolda sel sonrası oluşan çökmeler kaplamayı bozmamıştır.

1.4.2.8. Yol Güvenliği, Işıklandırma ve Konfor

Kaplama projeleri hazırlarken, trafik kazalarını önlemek için yol güvenliğini de hesaba katmak gerekir. Rijit kaplamaların sürtünme kuvvetlerinin esnek kaplamalara oranla biraz fazla oluşu kaymaya karşı direnci ve fren mesafesinin kısalığını sağlamaktadır. Boyuna sürtünme katsayısı 0,70, enine sürtünme katsayısı 0,65'dir. Bu durum rijit kaplamalar için üstünlüktür. Ayrıca yağışlı havalarda rijit kaplama poroziteli yapısı nedeniyle kaplama üstünde fazla nem tutmaz, kolay kurur [6]. Buna karşılık esnek kaplama suyu geçirmez özelliği nedeniyle nemi üzerinde tutar. Islanan esnek kaplamanın rijit kaplamaya oranla daha fazla sürtünme kaybı olduğu tespit edilmiştir [11].

Rijit kaplamalar genelde açık renk üretilmektedir. Yani ışığı daha az emmektedirler. Bu durum geceleri ışığın yansımaları açısından avantajlı durumlar sağlamaktadır. Ancak gündüz yansıyan ışıklar sürücünün gözüne gelme ve görmesine engel oluşturabilmektedir. Bu durumu gidermek için rijit kaplamaların üstüne sertleştirici boya malzemesi serpilebilir. Esnek kaplamalar ise koyu renkleri sayesinde gündüzleri daha konforlu yol sürüşü sağlamaktadır. Ayrıca gündüz üzerlerinde bulunan yatay trafik işaretleri daha rahat gözükmemektedir. Ancak gece koyu renk dezavantaja dönüşmektedir. Esnek kaplamalı yollarda güvenli gece sürüşü için yol sınırlandırıcıları ve reflektörlü işaretlendirmeler kullanılmalıdır.

Sürekli rijit kaplamalar hariç bütün rijit kaplama türlerinde, derz bırakılmaktadır. Bunun yanı sıra bazı bölgelerde sürtünmeyi artırıcı yivler sürücü konforunu azaltır. Ayrıca gürültü oluşturur. Avrupa'da bu gürültüyü azaltmak için çeşitli çalışmalar yapılmakta ve başarılı olunmaktadır. Rijit kaplamalar gürültü ve konfor konusunda esnek kaplamalara göre dezavantajlıdır.

1.4.2.9. Kullanıma Açılma ve Servis Ömürleri

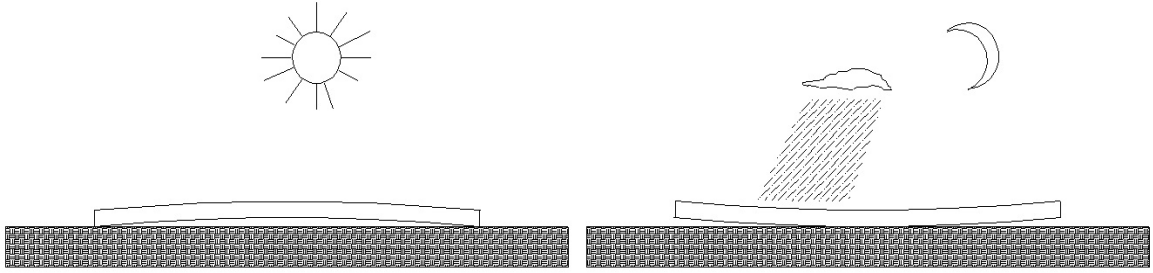
Yol inşaatlarında, yolun kullanıma en kısa sürede açılması önemli bir avantajdır. Bu konuda esnek kaplama, rijit kaplamadan üstündür. Esnek kaplamalarda yol kısa bir süre sonra hizmete açılır. Rijit kaplamalarda en az 7 gün belirli bir dayanıma ulaşması beklenir. Hatta ağır vasıtalar için bu süre biraz daha uzatılmalıdır. Gerekirse servis yolu inşa edilerek bu süreçte kullanılmalıdır. Bu süreç beton içine katılan piriz ve sertleşme hızlandırıcıları ile biraz daha kısaltılabilir. Servis ömürleri bakımından rijit kaplamalar için 20-30 yıl olarak projelendirilir. Birçok rijit kaplamada servis ömürleri geçtiği gözlemlenmiştir.

Esnek kaplama tiplerinde projelendirme ömrü 20 yıl olmasına rağmen birçok nedenle esnek kaplamalar proje ömürlerine ulaşamazlar [11].

1.4.2.10. İklim ve Yaşlanma Etkileri

Yollar açık alanlarda yapılan inşaatlar olduğundan birbir iklim etkilerine maruz kalmaktadırlar. Gerek esnek kaplamalar gerekse rijit kaplamalar iklim etkilerinden olumsuz etkilenmektedirler. Rijit kaplamalarda basit önlemler (Daha sık derz, çekme donatısı vs.) ile bu etkiyi daha aza indirmek mümkündür.

Rijit kaplamalarda günlük ve mevsimlik ısı değişikliğinde plak içi ve dışı arasında sıcaklık farkından dolayı plaklarda gerilmeler oluşur. Şekil 1.7'de plakta oluşan gerilmeler görülmektedir. Bu gerilmeler plakların zorlanmasına neden olur. Bu gerilmeleri en aza indirmek için plaklar derzler ile bölünür veya plakların içerisine donatı yerleştirilir. Kışın derzler arasında açıklık artar ve pompaj dediğimiz olay kolaylaşır. Pompaj nedeniyle beton plak altı yavaş yavaş boşalır. Pompaj etkisi derzlerin dolgu malzemesi ile doldurulması, kayma donatısı kullanılması ve granüler malzeme ile kaplama altı malzeme kullanılarak suyun drene edilmesi ile azaltılabilir [22].

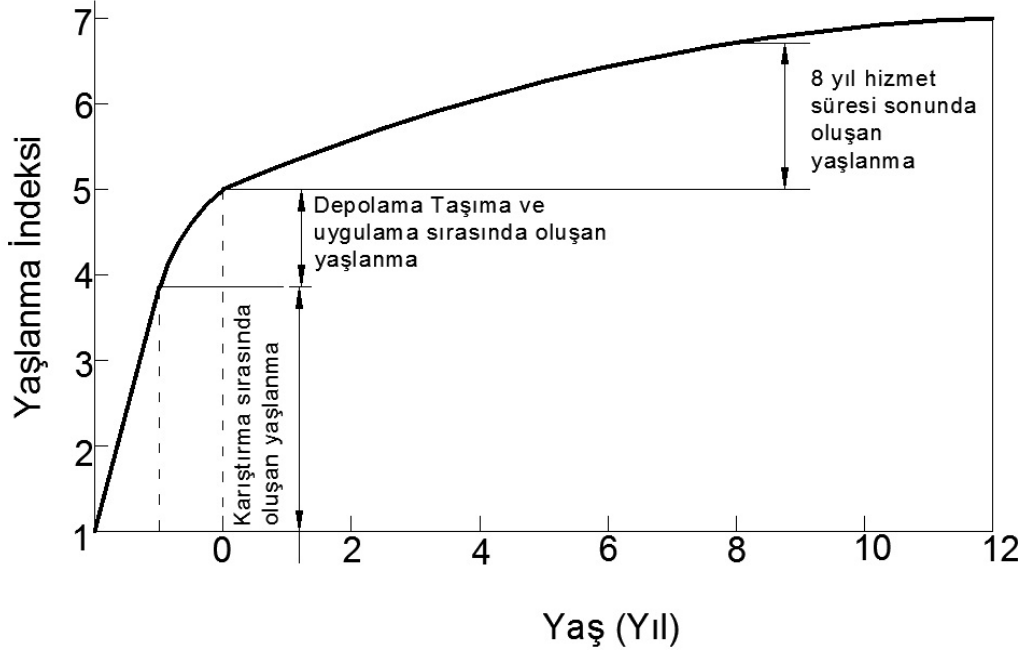


Şekil 1.7. Gün içerisinde sıcaklık farkından dolayı rijit kaplamada gerilme etkisi [6].

Esnek kaplamalarda iklim önemli bir faktördür. Sıcaklığın düşmesi ile bitümlü tabakalar büzülmeğe ister. Bu isteği temel tabakalar engellemeye çalışır. Bu durumda kaplama plağında gerilmeler oluşur. Esnek kaplamalarda hidrokarbon bağlayıcının, agregaya oranla hacimsel genleşme katsayısı çok yüksektir. Bu durumda sıcaklık düşmesinden dolayı agrega ile etrafını saran hidrokarbon film arasında çekme gerilmelerine neden olur. Esnek kaplamalar dondan direkt etkilenirler. Bu nedenle don derinliğine dikkat edilmesi gerekir. Ayrıca sıcak havalarda bitümün tekrar akışkanlaşarak

agreganın üstüne çıkma durumu söz konusudur. Bu duruma kuma diye adlandırılır[23]. Esnek kaplamaların kötü bir özelliği de yaşlanma etkisidir. Hidrokarbon, organik bir malzemedir. Oksijen, ultraviyole ışın ve sıcaklık farklılıkları bu malzemede değişimlere neden olmaktadır. Bu değişimler malzemeyi sertleştirerek penetrasyonunu azaltmaya ve kırılma yaşlanmasına neden olmaktadır. Bu duruma bitümün yaşlanması denilmektedir. Esnek kaplama yaşlanma, yapım aşamasında başlamaktadır. Karıştırma sırasında en hızlı yaşlanma görülmektedir. Ardından depolanma ve uygulama sırasında yaşlanma görülmeye devam etmektedir. Hizmet süresi boyunca yaşlanma, en ağır ilerleyen yaşlanmadır. Şekil 1.8'de yaşlanma etkisi grafik ile verilmiştir. Yaşlanma 4 ana nedenden oluşmaktadır;

- Oksitlenme
- Uçucu bileşen kaybı
- Fiziksel sertleşme
- Sızma sertleşmesi [27]



Şekil 1.8. Esnek kaplamalarda hazırlama, depolama, taşıma, uygulama ve 8 yıllık hizmet sonucu oluşan yaşlanma [27].

İklim koşullarının etkilediği diğer bir husus ise kaplama inşaatının yapımıdır. Esnek üstyapılar, genelde sıcak ve kuru havalarda yapılması uygun kaplamalardır. Havaların belirli bir sıcaklıktan düşük olduğu zaman ekstra önlemler alınması gerekir. Yağışlı ve kış döneminde esnek kaplama yapımı oldukça zorlaşır. Zira esnek üstyapı belirli sıcaklıklarda hazırlanması serilmesi ve sıkıştırılması gereken bir karışımdır. Ayrıca esnek kaplama yapılacak zeminin nem oranının en fazla %2 ve kaplama sırasında kullanılacak agreganın nemli ve tozlu olmaması istenmektedir. Agreganın tozlu veya nemli olması durumunda hidrokarbon bağlayıcı, direk agrega üzerini film şeridi gibi kaplayamaz. Rijit kaplamalar ise neredeyse aşırı yağışlı havalar dışında her hava şartında dökülebilir. 5°C Altında dökümlerde antifriz katkı katılması gerekmektedir. Kaplama yapımı sırasında kullanılacak agreganın tozlu veya ıslak olması veya zeminin nemli olması esnek kaplama kadar önemli değildir. Hatta rijit kaplamalarda zeminin nemli olması kaplama için daha iyidir [11].

Trafik güvenliği açısından buzlanma ve karla mücadele önem arz eder. Buzlanmayı önlemek için kullanılan buz önleyici kimyasallar, tuz gibi malzemeler her iki kaplama tipine de zarar verebilir. Ayrıca çok kar yağdığı dönemlerde greyder, kazıcı yükleyici gibi iş makineleri, yolu trafiğe açabilmek için kaplama üzerinde bulunan kalın karı temizlemektedirler. Bu durum bazı şartlarda esnek kaplamaların, rijit kaplamalardan daha fazla bozulmasına neden olmaktadır.

1.4.2.11. İşçilik ve Kapasite

Gelişmiş yollarda gerek esnek kaplama gerekse rijit kaplama için yol yapımı aynı zorluktadır. Kaplama finisher ile yapılır. Dikkat edilecek hususlar ise şunlardır; esnek kaplamada malzemenin belirli sıcaklıkta sabit gelmesi gerekir. Plentten ortalama 150 °C sıcaklıkta çıkan bitüm serileceği yere ulaştığında 110 °C'nin altına düşmemelidir. Aksi halde tekrar ısıtılması gerekir [23]. Bunun yanı sıra esnek kaplamanın silindir ve benzeri araçlar ile istenilen seviyede sıkışması gerekmektedir. Rijit kaplamalarda dikkat edilecek hususlar ise; kullanılıyorsa donatıların dikkatli yerleştirilmesi ve kayıp bozulmaması ve vibrasyon ile perdahlama işlemlerinin dikkatli yapılması gerekliliğidir. Kırsalda yapılan yol inşaatlarında finisher kullanılmaması durumu ile karşılaşılmaktadır. Esnek kaplama greyder ile serilmektedir. Bu durumda yol taban zemininin hazır olması önemlidir. Ayrıca silindir ve benzeri çeşitli donanımla sıkıştırılması gerekmektedir. Rijit kaplamaların kırsalda uygulama kolaylığı vardır. Kalıp hazırlandıktan sonra transmikser betonu

dökebilir veya çok zorlu yollarda betoniye ile hazırlanan betonla döküm yapılabilir. Yol yapımı sırasında hızı kapasite belirler. Esnek kaplama plent kapasitesi kadar üretim yapar. Plent ise deposundaki bitüm malzeme ile çalışır. Malzeme sıcaklığının korunması çok önemlidir bunun için distribütör kullanılarak veya sıcak havalarda başka taşıtlar ile nakledilir. Rijit kaplamalarda varsa hazır beton santralleri ve onların sahip oldukları transmikserler kapasiteyi belirler. Ayrıca yukarıda açıkladığımız gibi çok zor durumlarda betoniye ile döküm yapılabilir. Bu durum rijit kaplamayı kapasite konusunda esnek kaplamadan biraz üstün tutmaktadır.

1.4.2.12. Genel Değerlendirme

Genel bir değerlendirme yapıldığında; rijit kaplamanın birçok konuda esnek kaplamadan üstün olduğu ancak rijit kaplamanın da bazı eksikliklerinin bulunduğu anlaşılmaktadır. Rijit kaplamaların eksiklerini giderme konusunda Dünya üzerinde birçok araştırma devam etmektedir. Bu araştırmaların sonuçları her geçen gün rijit kaplamayı daha güçlü ve uygulanabilir yapmaktadır. Esnek kaplamanın yapımında genellikle petrol türevleri kullanılmaktadır. Petrol ise tükenen bir kaynaktır. Bir tarafta devamlı gelişen rijit kaplama teknolojiye karşı diğer tarafta tükenen bir kaynak olan petrolden üretilen esnek kaplama arasında karşılaştırma yapılmaktadır. Rijit kaplamanın dünya üzerinde uygulamasına oldukça sık rastlanmasına rağmen Türkiye’de 2012 yılına kadar Türkiye Cumhuriyeti Karayolları tarafından deneme maksatlı 4 mevkide yapılmıştır. Bunlar Afyon Emirdağ, Hasdal Kavşağı Kemerburgaz, Ordu Ulubey ve Karamürsel Şehir geçididir. Bunların yanı sıra birçok köy belde ve belediye yolunda rijit kaplama bulunmaktadır. Rijit ve esnek kaplamaların avantaj ve dezavantajları Tablo 1.5’de karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmada yapılan değerlendirmeler bölge, iklim, malzeme, teknoloji, yapım teknikleri ve benzeri birçok neden ile değişebilir. Bu nedenle bu tablodaki değerler kesin olmayıp genel fikir verme hususunda değerlendirilmelidir. Tablo’da ++ çok iyi, + iyi, - kötü, -- çok kötü olarak değerlendirilmiştir. Karşılaştırma kriterleri de akla gelen ilk kriterlerdir. Bu kriterlere farklı maddeler eklenebilir. Tablo’nun benzeri Sayın Emine Açar, İlhan Süttaş, ve Güven Öztaş’ın yazdıkları “Beton Yollar” adlı kitapta bulunmaktadır. Bu tablo belirtilen kaynaktan esinlenerek ve geliştirilerek oluşturulmuştur.

Tablo 1.5. Esnek ve rijit kaplama karşılaştırması [6].

KARŞILAŞTIRMA KRİTERLERİ	ESNEK KAPLAMA	RİJİT KAPLAMA
İlk yapım maliyeti.	-	--
Ekonomik ömrü	+	++
Yerli kaynakların kullanımı	--	++
Geri dönüşüm	--	++
Deformasyon görmüş hali ile kullanım	-	++
İçinde atık kullanımı	-	+
Bakım onarım ihtiyacı ve sıklığı	--	+
Bakım onarım çalışmalarının zorluğu	++	--
Bakım onarım hızı	++	--
Yolu kullananlara maliyet	+	+
Alttemel ve temel ihtiyacı ve kalınlığı	--	+
Zayıf zeminlerde uygulanabilirlik	--	++
Elastisite modülü farklılıkları nedeni ile kaplama ve zemin arası gerilme	+	--
Kullanılacak agreganın kalite ve üzerinde nem toz bulunması etkisi	--	+
Alttemel ve temelde oluşabilecek oturmalara duyarlılık	--	+
Ağır trafik yüklerine dayanım	+	++
Basınç dayanımı	+	++
Çekme dayanımı	--	-
Plastik deformasyonlar (oluklanma, tekerlek izleri vs.)	-	+
Donatı, çelik lif gibi malzemeler ile güçlendirilebilme	-	+
Banket ihtiyacı	-	+
Sürtünme katsayısı. Kayma direnci	+	+
Islak sürtünme katsayısı ve kayma direnci	-	+
Işığın emilimi/geri yansıtılması	-+	-+
Derz boşlukları	+	-
Sürtünme arttırıcı yivler	+	-
Gürültü	+	-
Kullanıma açılma süresi	++	-
Mevsimsel uygulanabilirlik	-	++
Sıcaklık farklılıkları etkisi genleşme büzülme	--	-
Pompaaj	+	-
Yaşlanma etkisi	--	+
Buz ve kar ile mücadeleden dolayı oluşacak deformasyon	--	-
İşçilik	--	-
İş makinesi ihtiyacı	--	-
Yapım sırasında özel şartlar (zemin nem oranı, bitüm sıcaklığı vb.)	--	++
Kırsalda (engebeli arazide) uygulanabilirlik	--	+

1.4.3. Köy Yolları Hakkında Genel Bilgiler Ve Bazı İstatistikler

Türkiye Cumhuriyetinin ilk kurulduğu günden bu yana, kırsaldan kentlere doğru göç olmaktadır. Nüfusun büyük kısmı Cumhuriyetin ilk yıllarında kırsalda yaşarken, günümüzde nüfus kentlerde yoğunlaşmaktadır. Tablo 1.6’de kırsaldan kentlere doğru göç oranı görülmektedir. Kırsalda azalan nüfus, çeşitli sosyo-kültürel etkiler yaratmaktadır. Ayrıca köylerin ülke ekonomisine katkısını da azaltmaktadır. Şehirleri de bir o kadar kalabalıklaştırmakta, yaşanmasını güçleştirmektedir.

Tablo 1.6. 1927 – 2010 Yıllarında kırsal ve kentsel nüfus değişimi [28].

YIL	Kırsal Nüfus (%)	Kentsel Nüfus (%)
1927	75,8	24,2
2010	23,7	76,3

Nüfusun şehirlerde çoğalması, kent trafik yoğunluğunu arttırmakta, kentlerde git gide daha pahalı ulaşım çözümleri ihtiyacını doğurmaktadır. İşte bu noktada köylerde ulaşımın kolaylaşması, nüfus dağılımının daha dengeli olmasını sağlayacaktır.

Cumhuriyetin ilk yıllarında kısıtlı imkânlar ve köylülerin yoğun gayretleri ile yapılmaya başlanan köy yolları, 1950’li yıllarda “tekerlek dönsün” sloganı eşliğinde Karayolları Genel Müdürlüğü bünyesinde kurulan Köy Yolları Daire Başkanlığı tarafından yapılmış, 1985 yılında ise “Yolu olmayan köyümüz kalmasın” sloganı ile Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğüne yürütülmüştür. 2000’li yıllarda 7. ve 8. Beş yıllık kalkınma planlarına göre 1. Dereceli öncelikli köy yolları master planı hazırlanmış ve bu plana göre köy yolları standartlarının geliştirilmesine bir ivme kazandırmıştır [29].

2012 yılında ülke genelinde 320,366 km [30] köy yolu bulunmaktadır. Bu rakama bakarak Türkiye Cumhuriyetinin köy yolları hakkında ilk hedeflerine ulaştığını rahatlıkla söylenebilir. Ancak köy yollarının standardını geliştirmek ve sıkıntılarını çözmek için daha çok çalışılması gerekmektedir.

1.4.3.1. Karadeniz Bölgesi Köy Yolları İstatistikleri

Karadeniz Bölgesi köy yollarında çeşitli sıkıntılar bulunmaktadır. İklim, nüfus, kültürel yapı ve birçok benzeri neden bölgenin diğer bölgelere oranla köy yolları sıkıntılarını arttırmaktadır. Tablo 1.7'de verilen istatistiksel veriler ile bu durum daha net anlaşılmaktadır. Türkiye'nin en fazla köy yolu ağına sahip 16 ilinin 7 tanesi Karadeniz Bölgesine aittir. Türkiye'nin en uzun köy yolu ağına sahip ilk üç ili Trabzon, Ordu ve Kastamonu Karadeniz Bölgesi illerindedir. Yine nüfusa oranla köy yolu ağına bakıldığında ilk 4, Artvin, Kastamonu, Rize ve Giresun illerinden oluşmaktadır. Aynı şekilde yüzölçümüne düşen köy yolu oranına bakıldığında yine ilk sıralar Trabzon, Ordu, Rize, Giresun, Samsun, Artvin ve Kastamonu illerinden oluşmaktadır. Köy yolu ağının uzunluğu bir avantaj gibi görülse de, Karadeniz Bölgesi için dezavantajlı hal almaktadır. Köy yolu ağının uzun olması nedeniyle yol kalitesi düşüklüğü, bakım onarım zorluğu, yeniden yapım veya yol standartlarının artırılması gibi konularda Karadeniz Bölgesi diğer bölgelerimize göre geri kalmaktadır. Zira yol ağı uzadıkça yatırımlardan gelen paraların öncelikle yollarının ulaşımına açık tutulması için ayrılan kısmı oldukça fazla olmaktadır. Yine bakım onarım için ayrılan kısımda fazla bir yer tutmaktadır. Kalan para ile ise köy yolları standardının artırımı yeterince yapılamamaktadır.

Tablo 1.7. TÜİK 2012 verilerine göre en fazla köy yoluna sahip 16 il [30].

No	İller	Köy yolları uzunluğu (km)	Nüfus	Her yüz kişiye düşen köy yolu	Yüz ölçümü (km ²)*	km ² 'ye düşen köy yolu
1	Trabzon	12172	1762075	0,690	4662	2,610
2	Ordu	10296	741372	1,388	5952	1,729
3	Kastamonu	9245	359808	2,569	13136	0,703
4	Antalya	9024	2092537	0,431	20909	0,431
5	Samsun	8648	1251722	0,690	9352	0,924
6	Sivas	8068	623535	1,293	28619	0,281
7	Konya	8043	2052281	0,391	41001	0,196
8	Ankara	7800	4965542	0,157	25437	0,306
9	Şanlıurfa	7343	757898	0,968	19451	0,377
10	Giresun	6899	419555	1,644	6831	1,009
11	Erzurum	6817	778195	0,876	25355	0,268
12	Malatya	6521	762366	0,855	12146	0,536
13	Rize	6285	324152	1,938	3919	1,603
14	Van	5758	1051975	0,547	21334	0,269
15	Manisa	5691	1346162	0,422	13269	0,428
16	Artvin	5468	167082	3,272	7359	0,743

* Harita Genel Komutanlığı verilerinden alınmıştır.

1.4.4. Karadeniz Bölgesinde Köy Yollarında Karşılaşılan Problemler

1.4.4.1. Topoğrafya - Coğrafik Yapı, Jeolojik Yapı, ve Sosyolojik Problemler

Karadeniz Bölgesi dağları kıyı şeridinin bittiği çizgiden başlayarak kıyıya paralel uzanmaktadır. Akarsular ve kolları, dağlar arasında vadileri oluşturmaktadırlar. Karadeniz Bölgesinde sahil şeridinde birçok yerleşim birimi bu akarsuların veya kollarının oluşturduğu vadilerde kurulmuştur. Bu nedenle Karadeniz Bölgesinde köyler dağlık arazilerde bulunmaktadır. Şekil 1.9'da Sinop İli Ayancık İlçesi merkezi ve yakın birkaç köyü görülmektedir. İlçe merkezi ve köyler akarsu ve kollarının oluşturduğu vadilerinde kurulmuştur. Yerleşim yerlerinde düz arazi çok azdır ve dağınıktır. Üniteleri birbirine bağlayan yollar ise, dağlık ve dağınık yerleşimlerden dolayı oldukça yüksek eğimli yollardan oluşmaktadır. Bu eğim kimi yollarda %25'in üstüne çıkabilmektedir [31]. Şekil 1.9'da sahilin hemen yakınında yükseltilerin başladığı ve bu yükseltiler arasında kalan vadilerde köy yerleşimleri kurulduğu görülmektedir. Karadeniz Bölgesinde bütün sahil ilçeleri ve ilçelerin köyleri bu şekilde yerleşime sahiptir. Yolun daha az eğimle ulaşım sağlayabilmesi için yollarda yatay kurp sayısı oldukça fazladır. Yatay kurpların bazılarının yarıçapları oldukça düşüktür. Bu durum köy yollarında tasarım hızını düşürmektedir. Dağlık yapı nedeniyle genellikle yatay kurp düşey kurplar ile çakışmaktadır veya yatay kurplar eğim içersinde kalmaktadırlar. Bu nedenle Karadeniz Bölgesi köy yolları hem virajlı hem de eğimli olmaktadır. Bu durum yokuş direnci oluşturmakta, taşıtlara ekstra külfetlere neden olmaktadır. Karadeniz bölgesinde köy yollarında yapılan gözlemlere göre virajlar ve yüksek eğimlerin bulunduğu yol araç trafiği sırasında daha fazla yorulmaktadır. Bu durum bölgede köy yolların ömrünü kısaltmaktadır. Şekil 1.10'da eğim ile birlikte yatay kurplardan oluşan bir köy yolu güzergahı görülmektedir. Bu tarz yollar bölgede oldukça fazladır. Özellikle esnek kaplamalar veya stabilize yollar eğim ve virajlar nedeniyle kolaylıkla bozulmaktadır. Bu nedenle Karayolları geometrik standartlarına göre en kötü yol sınıfı olan 3 sınıf yollarda bile eğim %12'den fazla olmamalı denmektedir [2].



Şekil 1.9. Sinop Ayancık İlçe merkezi ve bazı köyleri [32]



Şekil 1.10. Sinop Türkeli İlçesinde bir köy yolu.

Karadeniz Bölgesi genelinde düz arazinin az ve dağınık olmasından dolayı, köyler ve mahalleler de dağınık haldedir. Ayrıca tarımla ilgilenen insanların kendi bahçesine yakın olma isteği, arazinin aile dışında birine satılmasını veya devrini engelleyen geleneksel alışkanlıklar vb. nedenler de, mahalle yapılarının dağınık olmasına sebep olmaktadır. İdareler en ufak yaşam ünitesine dahi ulaşım sağlamaya çalıştığından, bölgede bulunan köy yolu ağı diğer bölgelere göre, daha uzundur. Birinci derece öncelikli yol, köyün veya bağlısı olan yerleşim birimlerinin il, ilçe ve belde ile Devlet il ve grup köy yoluna en uygun güzergâhına ulaşımı sağlayan yollardır. İkinci derece öncelikli yol ise köy veya bağlılarını; birinci derece öncelikli ana ulaşım yolu dışında, birden fazla bağlantı yolu ile bağlısına, köye, grup köy yoluna, Devlet ve il yoluna bağlayan, bir başka ifade ile birinci derece öncelikli köy yolu tanımı dışında kalan yollardır [33]. Karadeniz Bölgesinde 2. Derecede yol ağı oldukça fazla bulunmaktadır. Fazla köy yolu ağı, bakım onarım ve yeniden yapım için ayrılan paranın yetersiz olmasına neden olmaktadır. Bu nedenle ilk etapta birinci derecede köy yollarının standart yükseltme çalışmaları tamamlanması ve daha sonra ikinci derece yollara hizmet verilmesinde fayda vardır. Sahil kısmında bir iki haneden oluşan mahalleler bulunmaktadır. Bu durum içerilere doğru gittiğinde toplu köylere dönmektedir. Bunun yanı sıra ekilebilir arazilerin azlığı, arazinin çeşitli nedenlerden ötürü kıymetli olması ve köy yollarında kamulaştırma yapılamıyor olması yol yapımı sırasında geometrik standartların uygulanamamasına ve yolların standart dışı olmasına neden olmaktadır. Özellikle mahalle içlerinde bu duruma çok sık rastlanmaktadır. Mahalle içlerinde kamulaştırma yapılmadan vatandaş rızasıyla yapılan yollarda 3 metre genişliğinde yollara rastlanmıştır. Şekil 1.11’de Trabzon Beşikdüzü ilçesi Aksaklı köyünde bir mahalle içi yolunda benzer bir sıkıntı görülmektedir. Hendek ve yol platformu bulunmayan 1. Derecede köy yolu trafiğe açık durumdadır. Ayrıca yollarımızın birçoğunda banket bulunmamaktadır [34]. Banket, kaplamayı yandan desteklediği için dağılmasını engellemektedir. Banket bulunmayan esnek kaplamalar daha kolay bozulmaktadırlar [2]. Rijit kaplamalarda ise banket bulunmuyor olması, hendeğin hemen trafik şeridinin yanında olmasına neden olmaktadır. Ayrıca banket bulunmuyor olması, su, kanalizasyon, telekomünasyon ve benzeri hizmetlere ait kablo ve boruların yol platformu altından geçmesine neden olmaktadır. Bu durum yollara zarar veren diğer bir faktördür. Yine bazı mahalle içi yollarda hendek bulunmamaktadır. Yol kenarında hendek bulunmaması yağışlı günlerde suyun yol üzerinden akmasına neden olmakta, yağışlar fazla olduğu zamanlarda vatandaşların ev ve bahçelerine suyun tahribat vermesi gibi sonuçlar doğurmaktadır.



Şekil 1.11. Trabzon Beşikdüzü İlçesi Aksaklı Köyü mahalle içi yolu.

Karadeniz Bölgesinde köylerin geneli dağlık arazilerde kurulması nedeniyle, köylere ulaşım için açılan yollar genellikle şev ve yamaç eteklerinde kazı ve dolgular ile yapılmaktadır. Yamaç ve şev kazıları (Doğal şevin bozulması) heyelan oluşumunun dış etkenlerinden biridir. [35] Ayrıca Karadeniz Bölgesinin sahil kısmında yol platformları açılırken sıkça karşılaşılan jeolojik yapı, bitkisel toprak altında çeşitli kayalardan oluşan yapı şeklindedir. Bu yapı heyelanın en sık yaşandığı zemin tipidir. Zira kaya ile toprak kütlesi arası su girdiği zaman toprak kütlesi kayma eğilimine girmektedir [36]. Heyelanın en önemli iki nedeni su ve eğim, bölgenin neredeyse bütün köy yollarında rastlanan faktörlerdendir. Bu nedenle Karadeniz Bölgesinde yol açılırken şev stabilitesine dikkat edilmesi gereklidir. Ayrıca istinat yapıları ile gerekli yerlerde yolların desteklenmesi gerekmektedir. Aksi takdirde yamaçlar ve yol platformu heyelan ile kayabilmektedir. Şekil 1.12’te Ayancık ilçesi Pazarcık köyünde eğimli arazide açılan yol platformunun altından geçen su nedeniyle oluşan heyelan görülmektedir. Bu heyelan nedeniyle esnek kaplama koparak kullanılmaz hale gelmiştir. Vakfikebir Kirazlık Köyünde oluşmuş benzer bir heyelan Şekil 1.13’te görülmektedir. 2011 yılında yapılan 20 cm kalınlığında ki rijit kaplama sağlam durarak kopmamıştır.



Şekil 1.12. Sinop Ayancık İlçesi Pazarcık Köyü



Şekil 1.13. Trabzon Vakfikebir, Kirazlık Köyü Dere Mevki

1.4.4.2. İklim, Drenaj, Tonaj Aşımı ve Yol Yapım Malzemeleri

Karadeniz bölgesinin sahil kısmı bol yağış almaktadır. Bu yağışlar eğim nedeniyle hızlı bir şekilde derelere ulaşmaktadır. Şev ve yamaç kesilmesiyle hazırlanan yol platformları suyun kısa sürede derelere ulaşmasına engel olmaktadır. Bu durumda suyun kontrollü şekilde derelere ulaşabilmesi için hendek yapımı oldukça önemlidir. Hendeklerin havza hesabı yapılarak sık sık korige borular ile uygun arazilerden derelere boşaltılması gerekmektedir [37]. Aksi halde hendek yetersiz kalmakta veya tıkanarak suyu yol platformunun üzerine vermektedir. Bu durum yol platformlarını veya yol altı şevlerini bozabilmektedir. Ayrıca suyun yol kaplamalarına daha az zarar vermesi için, temel ve alttemel derinliklerinin fazla olması gerekmektedir. Yağışlar yol üzerinde yamaç kaymalarına ve ufak yamaç heyelanlarına neden olmaktadır. Bu durum bazen yolların trafiğe kapanmasına neden olmaktadır. Derelerin çokluğu nedeniyle sık sık menfez, açık kasis ve köprü ihtiyacı doğmaktadır. Ayrıca yağış sonrası yolların kurumması yol yüzeyinde su kalmaması önemlidir. Arazinin kıymetli olması drenaj yapılarının eksikliğine neden olmaktadır. Ayrıca yol kenarında yoğun bitki örtüsü yolun güneş almasını ve kurummasını engellemektedir. Bu durum sonucu olarak su çeşitli şekillerde yolun temel/alttemel veya altyapısına girmekte ve yolun deformasyon hızını arttırmaktadır. Bunun yanı sıra bitkiler yol kenarında drenaj için kullanılan hendek ve diğer yapıları doldurmakta ve tıkanmalarına neden olmaktadır. Tıkanıklığın giderilmesi için her sene, bir veya birkaç defa greyder ve çeşitli iş makineleri ile yolların, hendeklerin ve sanat yapılarının regraj ve temizlik çalışması yapılması gerekmektedir. Şekil 1.14'de tıkanmış bir beton büz görülmektedir. Bölgede uzun zaman beton büz kullanılmıştır. Beton büzler birleşim yerlerinde eğilmeler ve sürtünme katsayısının yüksek olması nedeniyle çok sık tıkanmaktadır. Artık beton büz yerine korige boru kullanılmaktadır. Havza hesabı yapılarak daha sık ve daha geniş açıklıklı korige borular, yollarda yağışlar sonrası oluşan olumsuzlukları oldukça azaltmışlardır [38]. Yol platformunun drenaj için enine eğimi, bölgenin zemin yapısı nedeniyle altyapısında veya alttemel ve temelde oluşan çökmeler ile bozulmaktadır. Bu bozulmalardan rijit kaplamalar esnek kaplamalara oranla daha az etkilenmektedir. Ayrıca rijit kaplamalarda bu eğim, 0,015 olabilirken esnek kaplamalarda 0,02 olmalıdır [2]. Bölgenin bol yağışlı olması yol yapım çalışmalarını da engellemektedir. Özellikle esnek kaplama yapımı sırasında, malzemenin kuru, zeminin en fazla %2 nemlilik oranında ve sıcaklığında belirli bir seviyede olması gerekmektedir. Ancak Karadeniz Bölgesinde

yağışsız ve sıcak gün sayısı oldukça azdır. Bu durumda esnek kaplama yapım çalışmalarının oldukça dar zamanda olmasına neden olmaktadır. Buna karşılık bölgede rijit kaplama yapımını sınırlayan iklim faktörü yoktur. Çok soğuk havalarda antifriz katmak şartıyla ve şiddetli yağış sırasında yapılmamak kaydıyla yılın 12 ayı da rijit kaplama imalatı yapılabilir. Yağışların diğer bir olumsuz etkisi, heyelan ve erozyonlardır. Özellikle yoğun yağışların ardından bölgede heyelan ve erozyon ile yitirdiğimiz yol parçaları oldukça fazladır.



Şekil 1.14. Sinop Ayancık Köy yolunda tıkanmış bir beton büz.

Karadeniz Bölgesi köy yollarının bir kısmında teknik şartlar ve geometrik standartlar tam olarak uygulanamamaktadır. Bölgede çay, fındık, kivi, orman envali vb. ürünler üretilmektedir. Bu nedenle bölge, ülke ekonomisi için oldukça kıymetlidir. Standartlara uygun olmayan yollar ağır tonaj nedeniyle bozulmaktadır. Araç trafiği fazla olmamakla beraber tonajlı araçların çokluğu yol alt ve üstyapı projelendirme ve

yapımında dikkat edilmesi gereken bir husustur. Ayrıca orman envalinin kesimi, indirilmesi ve kamyonlara yüklenmesi yol platformlarını bozmaktadır. Şekil 1.15'te buna bir örnek görülmektedir. Fotoğrafın çekildiği yolda hendekler orman envalinin artık malzemesi ile dolmuştur. Bunun yanı sıra orman envalinin taşınması sırasında, ağır yüklü taşıtlar yollara zarar vermiştir. Köy yollarında uygulanan esnek kaplamalı yol üstyapıları, rijit kaplamalı yol üstyapılarına oranla ağır tonajdan daha fazla etkilenmektedirler [23].



Şekil 1.15. Sinop Erfelek grup köy yolu, Orman envali ve atıkları ile dolu hendek.

Karadeniz bölgesinde yol yapımında kullanılan temel ve alttemel malzemesi genellikle akarsular ile taşınan malzemenin kırılmasıyla karşılanmaktaydı. Bölgede sayıca çok akarsu bulunduğundan, malzemelerin köylere taşıma mesafeleri oldukça düşüktü. Ancak derelerin taşkına karşı önlem olarak kanala alınması ve enerji üretimi için üzerinde çeşitli baraj ve regülâtörlerin inşa edilmiş olması, derelerden malzeme alınmasını engellemiştir. Bu durumda bölgede az bulunan kalker kayalarda taş ocakları kurularak malzeme üretilmesine neden olmuştur. Bu ocaklar birçok köye uzak mesafede kalmaktadır. Bu durum yol yapım maliyetlerini arttırmaktadır. Esnek kaplamalı üstyapıların alttemel ve

temelde kırılmış malzemeye ihtiyacı rijit kaplamalı üstyapılardan daha fazladır. Bunu sonucu bölgede esnek kaplama maliyetlerini olumsuz etkilemiştir.

1.4.5. Karadeniz Bölgesi Köy Yollarında Rijit Kaplamaların Durumu

Karadeniz Bölgesi köy yollarında rijit kaplama 25-30 yıldır uygulanan bir metottur. Şekil 1.16'da yaklaşık 20 senedir kullanılan bir rijit kaplama görülmektedir. Kendi köy yollarını kendi imkanları ile yapmak isteyen yöre halkının esnek kaplama ekipman ve malzeme bulma sıkıntılarından dolayı ve rijit kaplamanın malzemesine kolay ulaşılabildiğinden, rijit kaplamayı tercih etmeleri ile bu süreç başlamıştır. Rijit kaplamanın bölgede yol sorunlarının birçoğuna cevap verdiğini gördükten sonra vatandaşlar rijit kaplamayı daha çok tercih etmişlerdir. Daha sonra devlet idarelerinin çimento, agrega veya iş makinesi desteği ve vatandaşların işçiliği üstlenmesi ile bölge köy yollarında rijit kaplama yapımına devlet de katılmıştır. Günümüzde ise idarelerin hazırladığı teknik şartname ve projeler ile rijit kaplamalar yapılmaktadır. Şekil 1.17'de Devletin ihale yoluyla yaptırdığı bir rijit kaplama görülmektedir. Bu kaplamalar bazı köylerde yöre halkının maddi veya iş gücü destekli, bazılarında ise yüklenici firmalar tarafından yürütülmektedir. Bölgede rijit kaplama yapımı her geçen sene artmaktadır. Köylerde bulunan vatandaşlar da "hangi kaplama tipini tercih edersiniz?" diye sorulduğunda rijit kaplama veya kompozit (Rijit altta esnek kaplama üste) kaplamayı tercih ettiklerini belirtmişlerdir. 15-16 Aralık 2011 tarihinde Sinop ilinde, bölgede bulunan İl Özel idarelerinin ve Belediyelerin teknik personelleri, Akademisyenler, Karayolları, Dsi, Çevre ve Orman Müdürlüğü gibi kurumların yetkililerinin katılımıyla yapılan Köy Yolları Çalıştay'ında Karadeniz Bölgesi köy yollarında rijit kaplama yapılması daha uygun olacağı sonucu çıkmıştır. Çalıştayda konuşulan konuların yayımlandığı bildirimler kitabında sık sık bölgenin olumsuz fiziki şartlarına göre rijit kaplamanın esnek kaplamadan üstünlükleri belirtilmiştir. Bölgede köy yollarında uygulanan rijit kaplama iller, ilçeler hatta köyler arasında farklılıklar göstermektedir. Bunun başlıca 2 sebebi vardır;

1. Köy sakinlerinin kendi imkânlarıyla veya devletin malzeme veya araç yardımı ve köy sakinlerinin işçiliği ile yapılan yollarda, daha uzun mesafede yol kaplaması yapabilmek için rijit kaplamanın teknik özellikleri düşürülmektedir. Buna örnek çimento dozajının düşürülmesi veya plak kalınlıkları azaltılması verilebilir. (Örneğin 1 km uzunluğunda 6 metre genişliğinde yolu 20 cm kalınlıkla yapacağına,

15 cm yaparak 1 km yerine 1.34 km yol yapılması gibi.) Yani teknik şartname, proje gibi bağlayıcı evraklar olmadığından, vatandaş teknik olmayan yollar yapması, köyler ilçeler ve iller arasında rijit kaplama farklılıkları doğurmuştur.

2. Rijit kaplamalar hakkında Karayollarının veya diğer idarelerin yayınladığı genel bir teknik şartname veya projelendirme rehberi bulunmadığından (Karayolları Teknik Şartnamesinde birkaç sayfadan oluşan genel bir bilgi bulunmaktadır), idareler kendi yorumlarına göre teknik şartnameler yapmaktadırlar. Bu şartnameler, mühendislerin inisiyatifinde çok değişken olup her il ve ilçe sorumlusu, farklı şekilde uygulamalar projelendirmektedir.



Şekil 1.16.Trabzon Of Uğurlu Beldesi, yaklaşık 20 senedir hizmet veren rijit kaplama üzerine 2013 yılında konfor arttırması için 5 cm binder tabakası serilmiştir.



Şekil 1.17. Rize Hemşin Kantarlı grup köy yolu rijit kaplama

Tablo 1.8. TUİK 2012 verileri, Karadeniz Bölgesi bazı iller rijit kaplama uzunlukları [30]

2012 TUİK verilerine göre Karadeniz Bölgesi bazı illerin beton yol uzunlukları (Km)	Rize	1585
	Trabzon	1222
	Gümüşhane	825
	Giresun	822
	Bayburt	714
	Artvin	397
	Ordu	219
	Kastamonu	43
	Samsun	17
	Sinop	10
	Toplam	5854

Türkiye genelinde, köy yollarının toplam rijit kaplama uzunluğu 6507 km'dir. Yukarıdaki tablodan anlaşılacağı üzere bunun yüzde doksanlık kısmı Karadeniz Bölgesinde bulunmaktadır. Bunun yanı sıra Karadeniz Bölgesi köy yollarında kayıt dışı rijit kaplamalar bulunmaktadır. Vatandaşların kendi imkânları yaptığı bazı yollar resmi kayıtlara işlenmemişlerdir. Ayrıca eski rijit kaplamaların bozulmasıyla veya bozulmadan yol ulaşım konforunu arttırmak için temel malzemesi olarak kullanılmasıyla, esnek kaplama ile kaplanan kilometrelerce yol bulunmaktadır. Bu yollarda artık rijit kaplama sayılmamaktadır. Türkiye'nin en çok rijit kaplama yoluna sahip olan Rize'de özellikle bu uygulama çok sık yapılmaktadır. Şekil 1.18'de 1995'de rijit kaplama yapılmış, son birkaç yıldır da esnek kaplama ile güçlendirilmiş bir köy yolu görülmektedir.

Bölgede bulunan bazı rijit kaplamaların mukavemet değerleri istenilen seviyelerde değildir. Bunun nedeni yolların büyük bir kısmının işçiliğinin vatandaş tarafından yapılmış olması veya genel bir teknik şartname olmamasıdır. Vatandaş, çimento dozajını kısmış veya agregası olarak kırılmamış yuvarlak dere agregası veya özellikleri yeterli olmayan agregaları kullanmıştır. Çimento hamurunu bol sulu yaparak işçiliği kolaylaştırmış ancak betonu kalitesizleştirmişlerdir. Yine işçilik hataları, betonun hidratasyonu sırasında kür ortamının sağlanmaması gibi nedenlerde mukavemet değerlerini düşürmüştür. Plak kalınlıkları hesabı, taşıt yükü ve yoğunluğuna göre değil ekonomi boyutuna göre belirlenmiştir. Derzler ya hiç kesilmemiş yada uygun metotlar ile kesilmemişlerdir. Bu olumsuzluklara rağmen yolların geneli trafiğe açıktır. Birçoğunda ulaşım kalitesi oldukça yüksektir. Çeşitli çatlaklar yol platformlarında mevcuttur ancak, plakta dağılma söz konusu değildir. Çok çatlak oluşmuş rijit kaplamalar, dağılmadıklarından 5-6 cm sıcak karışımdan binder tabakası yapılarak, yolların konforu tekrar kazanılmıştır. Sonuç olarak, bölgede rijit kaplamalarda çatlak oluşumunun başlıca nedenleri şunlardır:

1. Plak kalınlığı yetersizliği
2. Yanlış derz uygulamaları
3. İklim faktörü
4. Ağır yükleme
5. Hatalı Granülometre ve Su-Çimento -Agrega oranları
6. Agregası Kalitesizliği
7. İşçilik Hataları [6].



Şekil 1.18. Rize İyidere Denizgören Köyü, eski bozulmuş rijit kaplama üzerine esnek kaplama. (Rijit kaplama 1995 yılında yapılmıştır)

1.4.6. Karadeniz Bölgesi Köy Yollarında Rijit ve Esnek Kaplamanın Karşılaştırılması

Karadeniz bölgesi köy yollarında uygulanmakta olan rijit ve esnek kaplamaların karşılaştığı problemler ve kaplama tiplerinin bu problemlere çözümleri şunlardır;

- **İşçilik ve Makine Parkı:** Bölgenin dağlık coğrafi yapısı üstyapı inşaatlarını zorlaştırmaktadır. Esnek kaplama özel şartlar ile imal edilmektedir. Bitümün veya bitümlü karışımın belirli bir sıcaklıkta serilmesi ve sıkıştırılması gerekmektedir. Rijit kaplamalar, dağlık arazide imalat konusunda esnek kaplamalardan daha üstündür. Basit kalıp sistemleri kurulduktan sonra hazır beton taşıyan transmikserler ile beton dökülebilir. Transmikserlerin ulaşamayacağı yerlerde gerekirse betonyer ile beton imalatı yapılabilir. Karadeniz Bölgesinde bazı köy yollarına silindir transmikser ve benzeri araçlar ulaşamamaktadır. Böyle yollarda betonyer ile rijit kaplama yapılabilmektedir.

- **Eğim ve Kurplar:** Bölgede bazı yatay kurpların yarıçapları çok düşüktür. Ayrıca dikey kurplarla oldukça sık karşılaşmaktadır. Bölgede esnek kaplama olan yollarda (özellikle eğimli yollarda) yatay ve dikey kurpların çakıştığı yerlerde bozulmalara çok sık rastlanmaktadır. Bu nedenle bazı köylerde yolun bu bölümleri kilit taş veya beton yollar ile aşılmaktadır. Ayrıca bölgede oluşan zemin oturmalarından, rijit kaplamaların boyuna eğimleri, esnek kaplamaların boyuna eğimlerine oranla daha az etkilenmektedir. Esnek kaplamalarda bozulan boyuna eğimler, kaplama üstünde suyun kalmasına ve kaplamanın bozulmasına neden olmaktadır.
- **Geometrik Standart:** Bölgede arazinin kıymetli olması, kamulaştırma yapılamaması vb. nedenlerden dolayı geometrik standardına uygun olmayan yollar bulunmaktadır. Yolların bir kısmında banket ve hendek yapılmamaktadır. Esnek kaplamalar banketsiz daha kolay bozulmaktadır. Rijit kaplamalarda böyle bir sıkıntı bulunmamaktadır. Hendek bulunmaması suyun drene edilememesine ve kaplama üstünden akmasına neden olmaktadır. Su esnek üstyapının temel ve alttemelinde oturmalara neden olabilmektedir bu oturmalar kaplamaları da etkilemektedir. Rijit kaplamalar bu oturmalardan esnek kaplamalara oranla daha az etkilenmektedir.
- **Zemin Yapısı:** Rijit kaplama üzerindeki yükü plaka geneline yayarak iletir. Bu nedenle alttemelde gerilmeler oldukça düşük olmaktadır. Bu durum taşıma kapasitesi düşük olan zeminlerde rijit kaplamanın uygulanabilmesini sağlar. Esnek kaplamalar ise alttemel ve temel malzemesinin taşıma gücü kadar yükü taşıyabilmektedirler. Bölgede özellikle killi nebati toprak oldukça fazladır. İmkânlar doğrultusunda bu toprağın tamamen kaldırarak kırılmış alttemel ve temel malzemesi ile değiştirilmesi çok zordur. Bu nedenle çeşitli kırılmış agreganın serilip sıkıştırılarak yolun taşıma gücü arttırılmaktadır. Alttemel ve temel ihtiyacı daha az olan rijit kaplama bölge için daha avantajlıdır. Son yıllarda geotekstil ve geomebran malzemelerin teknolojileri hızlı bir şekilde gelişmektedir. Bu malzemeler ile Karadeniz Bölgesi köy yollarında zeminin taşıma gücü kapasitesinin arttırmak için kullanılabilir [39],[40],[41].
- **Şev-Yamaç Kaymaları:** Karadeniz bölgesi köy yollarının geneli doğal şev üzerinde dolgu ve kazı yapılarak oluşturulmuştur. Yağışlar ve eğim

nedeniyle şevlerde kaymalar oluşmaktadır. Bu kaymalar sonucu yol üstyapısı veya altı boşalmakta ve yol platformu bozulmaktadır. Rijit kaplamalar bu konuda esnek kaplamalara göre avantajlıdır. Zira kayan şev ardından rijit kaplamalar konsol giriş gibi çalışmakta ve üzerine ağır yük gelmediği müddetçe bozulmadan tamiratı bekleyebilmektedir. Oysa esnek kaplamalar şev ile birlikte kaymaktadırlar.

- **Kaplama Temizliği:** Karadeniz Bölgesinde oluşan yağışlar ve yağışlar etkisiyle yamaç malzemesinin akması neticesinde yol kaplamaları trafiğe kapanmaktadırlar. Kaplama üstü temizliği için iş makinesi kullanılmaktadır. Esnek kaplamalar temizlenirken rijit kaplamalara oranla daha fazla etkilenmektedir.
- **Mevsim:** Karadeniz Bölgesi yağışlı olması, ve yaz sıcaklığının uzun sürmemesi nedeniyle esnek üstyapı yapımı kısıtlı zaman dilimi içerisinde (Bir senede ortalama 4 ay) kalmasına neden olmaktadır. Buna karşılık rijit kaplama neredeyse 12 ay boyunca bölgede uygulanabilir kaplama türüdür. Ayrıca esnek kaplama yapılacak mıcırın kuru, tozsuz ve zeminin en az %2 nemlilikte olması istenmektedir. Bölgede yağışlardan sonra kuruma süreleri hesaba katıldığında esnek kaplama yapılma süresi daha da azalmaktadır. Rijit kaplamanın mevsimler ile ilgili bir sınırlaması yoktur. Çok şiddetli yağışlar dışında her zaman bölgede uygulanabilirler.
- **Ağır Tonaj:** Karadeniz Bölgesi köyleri ekonomik olarak değerli köylerdir. Bölgede çay, fındık, kivi vb. tarım ürünü yanı sıra orman envalinin de taşınması köy yolları üzerinden olmaktadır. Bu yolların ağır tonaja dayanıklı olması önemlidir. Rijit kaplama esnek kaplamaya göre daha fazla ağır tonaja dayanıklıdır.
- **Malzeme Ocaklarının Uzaklığı:** Son yıllarda enerji ve dereleri ıslah projeleri nedeniyle bölgedeki akarsulardan malzeme alınıp kırılması engellenmektedir. Bu durum az sayıda kalker ocaklarından daha maliyetli malzeme üretilmesine neden olmaktadır. Rijit kaplamanın, esnek kaplamaya göre alttemel ve temel ihtiyacı oldukça az olduğundan kırma taş maliyetinin artmasından daha az etkilenmektedir.
- **Kayma-Sürtünme:** Bölgede genelde yollar eğimlidir. Eğim güvenli sürüş için fren mesafesini etkilemektedir. Rijit kaplamaların sürtünme ve kayma

katsayıları esnek kaplamaya göre yüksektir. Gerekli görüldüğü yerlerde rijit kaplamada sürtünme ve kayma katsayılarını yükseltmek için kaplama üzerine çeşitli uygulamalar yapılabilir. Ayrıca yol kaplamasının ıslanması durumunda, esnek kaplamanın kaymaya karşı direnci, rijit kaplamaya oranla daha çok düşmektedir [6].

- **Bakım Onarım Maliyeti:** Rijit kaplamalar tekniğine uygun yapıldığında ekonomik ömürleri boyunca neredeyse hiç bakım onarım ihtiyacı duymazlar [22]. Oysa esnek kaplamalar bölgede birkaç senede bir bakım onarım ihtiyacı duyarlar. Bölgede köy yolu ağının uzunluğu diğer bölgelere göre fazla olduğunu bilinmektedir. Bu nedenle bakım onarım çalışmaları yıl içinde yetiştirilmesinde sıkıntılar yaşanmaktadır. Rijit kaplama, bakım onarım ihtiyacı duymadıklarından bölgede daha avantajlı konuma gelmektedir.
- **Tekrar Kullanım:** Rijit kaplamalar bölgede uzun süre kullanıldıktan sonra bozulmalar ciddi boyuta geldiyse kaldırılmadan temel veya alttemel olarak hizmet verebilmektedir. Bu temeller gayet sağlam olmaktadır ve üzerine yapılacak esnek veya rijit kaplamayı taşımaktadırlar. Oysa esnek kaplamalar bozulmaları durumunda kaldırılmaktadırlar. Gelişmiş teknolojiler kaldırılan esnek kaplamayı tekrar kullanmaktadırlar. Ancak bölgede köy yollarında böyle bir uygulama şimdilik yoktur. Rijit kaplamalar gerekirse mobil konkasörler ile kırılarak agrega halinde tekrar kullanılabilirler.
- **Rafine-Fabrika Uzaklıkları ve Hammadde:** Karadeniz Bölgesinde rafine bulunmadığından, bitümlü malzemeler bölgeye Kırıkkale veya Batman'dan gelmektedir. Oysa rijit kaplama malzemesi bölgede bulunan çimento fabrikalarından karşılanabilmektedir. Ayrıca esnek kaplamalarda fiyat petrol fiyatı ile ilişkili olduğundan ve petrol fiyatlarının hızlı yükselişleri nedeniyle planlamalarda maliyet açısından farklılıklar çıkmaktadır. Rijit kaplama fiyatları esnek kaplama fiyatlarına göre daha stabil durumdadır.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Yöntem ve Materyal

Karadeniz Bölgesi rijit kaplamalı köy yollarında arazi çalışmaları yapılarak numuneler alınmıştır. Numuneler laboratuvar ortamında testlere tabi tutulması ile sonuçlar değerlendirilmiştir. Ayrıca çıkan sonuçlar ışığında sonlu elemanlar yöntemi ile bilgisayar programına rijit kaplama modellemeleri yapılmıştır. Bu modeller esnek kaplama için hazırlanan modeller ile karşılaştırılmıştır. Son olarak bölgede bulunan köy yollarının kaplama tiplerine göre maliyet hesapları yapılmıştır.

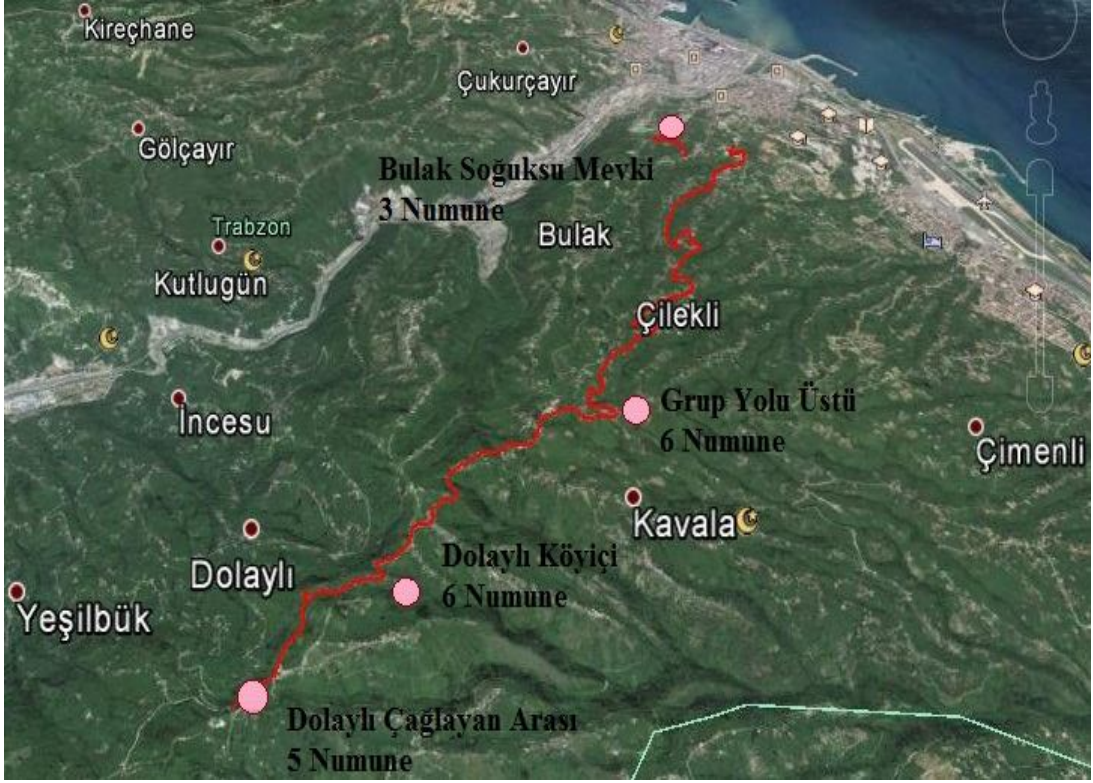
2.2. Karadeniz Bölgesi Köy Yollarında Arazi Çalışması (Numune Alımı)

Bölgede bulunan köy yollarının durumunu daha iyi görebilmek için, bölgenin işlek grup köy yolu olan Trabzon İli Merkez İlçe, Zafanoz caddesi üzerinden ve bu caddeye bağlanan Bulak köyü soğuksu mevki yolu üzerinden numuneler alınmıştır. Zafanoz caddesi mücavir alan içerisinde Kalkınma Mahallesinden başlayarak, Bulak, Çilekli, Kavala, Dolaylı, İncesu, Yeşilyurt, Yeşilbük, Esenyurt, Pınaraltı ve Çağlayan köylerine ulaşım sağlayan grup köy yoludur. Yolun trafik yoğunluğu diğer köy yollarına göre oldukça fazladır. Ayrıca yol Trabzon Maçka Gümüşhane Karayolunun alternatifi durumundadır. Yol üç yöntem ile inşa edilmiştir. Birinci yöntem vatandaşın kendi imkânları ile ikinci yöntem Devletin malzeme ve araç temini ve vatandaşların işçiliği ile son olarak ise Devlet ihale metodu ile müteahhitlere inşa ettirmesiyle. Güzergâh boyunca farklı köy sınırları içersine girildiğinden kaplama yapım tarihleri ve yöntemleri arasında farklılıklar mevcuttur. Bulak soğuksu mevki, vatandaşın kendi imkânları ile yaptığı bir yol olduğundan bu yoldan da numune alınmıştır. Grup köy yolunun muhtelif bölgelerinde plak kenarlarından alınan ölçülerden yola çıkarak genelinde ortalama 14-18 cm arası rijit plak kalınlığı tespit edilmiştir. Daha yakın tarihlerde devlet ihalesi ile yüklenici firmalar tarafından yapılan rijit kaplamalarda bu rakam 20 cm ve üzerine olduğu görülmüştür. Alınan numuneler de yaklaşık bu aralıkta çıkmıştır. Numuneler karot kesme makinesi ile alınmıştır. Genelde çatlak görülen yerlerden ve tahmini tekerlek yükünün bineceği

yerlerden numune alınmaya çalışılmıştır. Numune çapları 10 cm olan silindir numunelerdir. Numune alımından dolayı oluşan boşluklar çimento ve kumdan yapılan harç ile kapatılmıştır. Toplam 20 adet numune alınmıştır. Şekil 2.1’de numunelerin alındığı mevkiler ve kaç adet alındığı harita üzerinde işaretlenmiştir. Bunların 2 tanesi 10 cm altında çıktığı için, bir adet numunede karot makinesinden çıkartılırken ikiye ayrıldığı için teste uygun görülmemiştir. Geri kalan 17 silindir numune test yapılması için laboratuvar ortamına getirilmiştir.

2.2.1. Numunelerin Alındıkları Yerler Hakkında Bilgi

İlk 3 numune Bulak Köyü Soğuksu Mevkiinde vatandaşın kendi imkânları ile döktüğü beton yol üzerinden alınmıştır. Şekil 2.1’de haritanın sol üst kısmında küçük yol parçası olarak görülmektedir. Numuneler içerisinde tek grup köy yolu üzerinden alınmayan numuneler bunlardır. Bu mevkiden numune alımının amacı, vatandaşların imkânlarıyla yapılan rijit kaplamanın durumunu görebilmektir. Bulak Soğuksu Mevkiindeki beton kaplama, grup köy yolunun beton kaplamasına oranla daha fazla bozulmuştur. Alınan numuneler ile bozula nedenleri araştırılacak ve karşılaştırmalar yapılacaktır. Yöre halkından alınan bilgiye göre rijit kaplamanın en az 20 yıldır hizmet verdiği tespit edilmiştir. Ortalama 9-10 cm kalınlığında dökülen rijit kaplamada oldukça fazla uzun ve derin olmayan çatlaklar tespit edilmiştir. Çatlaklar derinleşip yol kaplamasının dağılmasına neden olmamışlardır. Bu nedenle yol halen trafiğe açıktır. Şekil 2.2’de görüleceği gibi çatlakların her hangi bir yönü yoktur. Şekil 2.3’de görüldüğü gibi numunenin çıktığı deliğin ardından taban zemin malzemesi kontrolü yapılmaktadır. Yol üzerinde neredeyse tamamında çatlak oluşumu gözlenmiştir. Yol genişliği ortalama 3,5 metredir. Yol kenarında hendek ve banket bulunmamaktadır. Kaplama altı malzeme çok azdır, yer yer kaya üstüne kaplama yapılmıştır. Yoldan alınan 3 numune içerisinde sadece bir tanesi sağlam çıkması üzerine daha fazla numune alınmamıştır. Numuneler tekerleklerin geçtiği yerlerden alınmaya çalışılmıştır. Numuneler yolun eğimli olan kısmından alınmıştır. Kaplama üzerinde derz aralığı bırakılmamıştır.



Şekil 2.1. Numune alınan yerlerin haritadan gösterilmesi



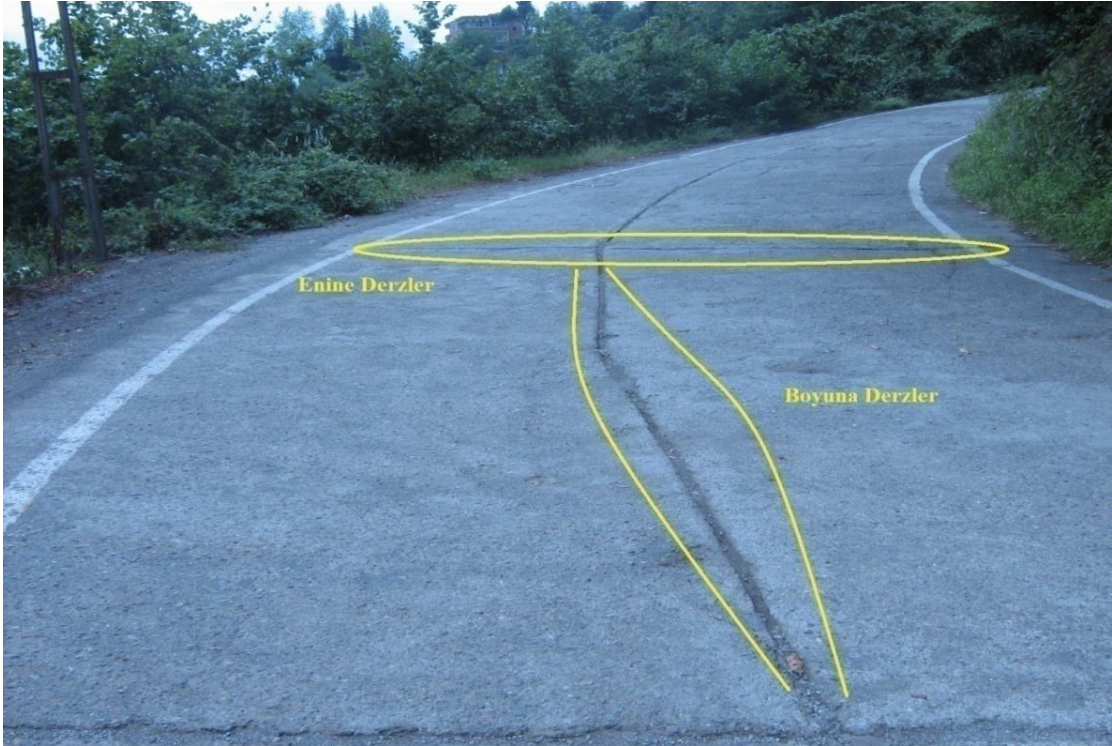
Şekil 2.2. Bulak Köyü, Soğuksu Mevki. Yol üzeri çatlaklar.



Şekil 2.3. Bulak Köyü Soğuksu mevki, karot numune alımı.

İkinci numuneler Zafanoz grup yolu üzerinde Yeşilyurt Çatak ve Dolaylı Köylerine giden yol üzerinden alınmıştır. Yol yaklaşık 20 yıl önce inşa edilmiş bir yoldur. Devletin ihale etmesi ve vatandaşın işçilik yardımıyla ile yol inşaatı yapılmıştır. Yol genişliği ortalama 7,5 metre olup hem enine hem boyuna derzler bulunmaktadır. Numune alınan yerler içersinde enine ve boyuna derzlerin birlikte yapıldığı tek mevki burasıdır. Numuneler yolun virajlı ve boyuna eğimli olan kısmından alınmıştır. Numuneler ortalama 14,5 cm kalınlığındadır. Yol üzerinde bölgesel çatlaklar oluşmuştur. Bu çatlaklar yüzeyseldir. Çatlaklar hiçbir dağılmaya neden olmamışlardır ve çok büyük boyutlara ulaşmadığından trafiği engelleyecek veya konforu aşırı düşürecek bir durum oluşmamıştır. Yol sağlıklı bir şekilde hizmet vermektedir. Her hangi bir oturma veya büyük deformasyon bulunmamaktadır. Yer yer agreganın çimentodan kopması nedeniyle yol üstünde soyulmalar görülmüştür. Yol ağır trafik yüklerine ve araç yoğunluğuna sahiptir. Kaplama altı zeminde kırılmış agrega görülmüştür. Toplam 6 numune alınmıştır. Numuneler tekerlek yükünün olduğu yerden alınmıştır. Şekil 2.4'te enine ve boyuna derz uygulamaları görülmektedir. Şekil 2.5'te yaklaşık olarak tekerlek yükünün denk geleceği bölgeden numune alımı görülmektedir.

Üçüncü numuneler grup köy yolu içerisinde Dolaylı köy içi yolundan alınmıştır. Yol yaklaşık 20 yıl önce inşa edilmiş bir yoldur. Devletin ihale etmesi ve vatandaşın işçilik yardımıyla ile yol inşaatı yapılmıştır. Yol genişliği köy içi yolu olduğu için 5,5-6 metre arasındadır. Numuneler yaklaşık 15 cm civarında çıkmıştır. Kaplama altında kırılmış agrega veya eski stabilize yoldan kalan malzemeler vardır. Yolda ufak çatlaklar bulunmaktadır ancak ciddi boyutlarda ve derinliklerde değildir. Genelde çatlaklar yüzeysel tespit edilmiştir. Trafiği engelleyecek veya yol ulaşım konforunu bozacak bir dağılma tespit edilememiştir. Yoldaki çatlakların özellikle hendeğin bulunduğu tarafta yoğunlaştığı görülmektedir. Her hangi bir oturma veya büyük deformasyon bulunmamaktadır. Numuneler genelde çatlakların yoğunlaştığı taraftan alınmıştır. Ayrıca tekerlek yükünün bindiği yerden de numune alınmıştır. Yol yüzeyinde soyulmalar tespit edilmiştir. Yolda bazı çatlakları plentmiks malzeme ile doldurularak yama yapıldığı tespit edilmiştir. Toplam 6 adet numune alınmıştır. Yolda enine derz uygulaması vardır. Ancak 3-6 metrede bir düzenli bir şekilde uygulanmamıştır. Şekil 2.6'da roadmiks yama malzemesi uygulaması ve yol genişliği görülmektedir. Şekil 2.7'de tahmini tekerlek yükünün geldiği bölgelerden numune alımı görülmektedir.



Şekil 2.4. Grup yolu üzerinde Yeşilyurt Çatak ve Dolaylı'ya giden derzli rijit kaplama.



Şekil 2.5. Yeşilyurt Çatak ve Dolaylı mevkisinden beton yoldan karot numune alımı.



Şekil 2.6. Dolaylı Köy içi beton yolu. Bazı kısımlarda yama malzemesi görülmüştür.



Şekil 2.7. Dolaylı köy içi yolundan alınan iki adet numunenin alındığı yerler.

Dördüncü ve son numune alınan mevki, Dolaylı köyü çıkışı, Çağlayana ve Maçka Karayoluna giden grup yolu üzerinden alınmıştır. Kaplama devlet ihalesi ile yüklenici firma tarafından yapılmıştır. Yol yaklaşık 15 yıldır rijit kaplama olarak hizmet vermektedir. Yol genişliği ortalama 6,5 metredir. Enine ve boyuna derz uygulaması vardır. Ancak derzler düzenli değildir. Kaplama altında kırılmış agrega veya eski stabilize yoldan kalan malzemeler vardır. Numuneler ortalama 20 cm'dir. En kalın numuneler buradan alınmıştır. Yolda ince ve kısa çatlaklar oluşmuş olup ciddi boyutlarda değildirler. Diğer numune alınan yerlere göre çatlaklar daha az tespit edilmiştir. Ayrıca beton plakta herhangi bir dağılma söz konusu değildir. Oturma veya büyük deformasyon bulunmamaktadır. Kaplama üst yüzeyinde soyulmalar görülmüştür. Bazı çatlakların üzerine roadmiks yama malzemesi dökülmüştür. Yolda trafik sıkıntısız şekilde devam etmektedir. Numunelerin alımı sırasında bir adet numune Şekil 2.10'da görüldüğü gibi kırılmıştır. Toplam 5 adet numune alınmıştır. Numuneler genelde hendeğe yakın yerlerden ve tekerlek yükünün bindiği yerlerden alınmıştır. Şekil 2.8'de karot alma işlemine hazırlık aşaması görülmektedir. Şekil 2.9'da yol yüzeyinin durumu ve roadmiks yama malzemesi görülmektedir.



Şekil 2.8. Dolaylı Çağlayan arası kaplama kenarından numune alımı.



Şekil 2.9. Dolaylı Çağlayan arası, yol yüzeyi durumu.



Şekil 2.10. Dolaylı Çağlayan arası alınan numuneler

2.2. Sonlu Elemanlar Yöntemi İle Modelleme

Bu bölümde farklı yol üstyapılarında oluşacak gerilme ve şekil değiştirmeleri yüzeysel bir karşılaştırma yapabilmek için çeşitli kabuller ışığında, sonlu elemanlar yazılımı olan ANSYS programı kullanılmıştır. Tasarımlar tam olarak gerçek üstyapıları yansıtamamaktadırlar. Ancak karşılaştırma yapabilmek için tasarımlarda ortak kabuller yapılmış ve mümkün mertebe gerçek değerler kullanılmaya çalışılmıştır. Türkiye’de sonlu elemanlar kullanılarak yol tasarımı ile ilgili çok fazla çalışma bulunmamaktadır [42],[43].

Beton üç fazlı anizotropik gevrek bir malzeme olarak tanımlanır. Küçük gerilmeler altında elastik davranış gösterebilir. [44] Beton ile ilgili mühendislik tasarımlarında da elastik malzeme olarak kabul edilir [45][46]. Bitümlü sıcak karışımlar ise visko-elasto-plastik malzemelerdir[47]. Hızlı yüklenip boşaldığında elastik davranışa yaklaşır, yavaş yüklendiğinde ise viskos malzemeler gibi davranır yani gerilme süresi kadar kalıcı deformasyon artar. Yükleme hızının yavaş veya hızlı olmadığı durumlarda ise iki davranış biçiminin kombinasyonu olarak visko-elastik davranış gösterir [24]. Bazı araştırmacılar esnek kaplamalarda gerilme ve şekil değiştirme hesapları yapılırken elastisite modülünden faydalanır. Bunlardan bir tanesi Boussinesq Teorisidir. Boussinesq Teorisine göre malzeme ideal yani elastik ve homojen kabul edilir. Burmister Teoriside esnek kaplamanın katmanlarına farklı elastisite modülü vererek ve malzemeyi elastik homojen ve izotrop kabul ederek problemin çözümüne gider [48],[49]. Sonlu elemanlar yöntemini kullanarak köy yollarında rijit ve esnek kaplamaları modellerken, programa elastisite modülü, poisson oranı ve birim hacim ağırlığı girilmiştir. Poisson oranı bir malzemenin bir doğrultuda şekil değiştirmesinin diğer doğrultularda ters şekil değiştirmelerine oranıdır. Elastisite modülü ise malzemenin uygulanan kuvvet neticesinde şekil değiştirmesine karşı durmasının oranıdır [50].

Rijit kaplamalarda tasarım için kullanılan elastisite modülleri basınç dayanım deneyi sonucu elde edilmiş verilere göre belirlenmektedir. Esnek kaplamalarda ise tasarım için kullanılacak elastisite modülü değerini etkileyen birçok faktör vardır. Örneğin sıkıştırma, iklim özellikleri vb. nedenler ile elastisite modülünde farklılıklar gösterebilir [51]. Bu tez içerisinde basit bir esnek kaplama modeli oluşturulacağından elastisite modülü seçilirken birçok faktör hesaba katılmayacaktır. L. Gevrek tarafından hazırlanan “Yol Katmanlarında Meydana Gelen Gerilme Dağılımının Ansys Bilgisayar Programının İle Nonlinear Sonlu Eleman Analizi” konulu yüksek lisans tezinde kullanılan elastisite

modülü, poisson oranı ve birim hacim ağırlığı bu tez kapsamında yapılan tasarımda kullanılmıştır. S. Özcanan ve M. V. Akpınar tarafından yayınlanan “Esnek Üstyapılarda Kritik Tekerleke ve Aks Konfigürasyonların Mekanistik Analizlere Göre Tespit Edilmesi” adlı makalede, esnek üstyapının katmanlarında kullanılan elastisite modülleri, poisson oranları ve birim hacim ağırlıkları, tez içerisinde kullanılan değerler ile örtüşmektedir. [52]

Programda tasarım yapabilmek için kullanılan kriterler şunlardır:

1. Tasarım Yüğü: Yasal tek dingil yüğü olan 11.5 ton ile yasal çift dingil yüğü (İki Dingil Arası 1 ile 1.3 m) olan 16 ton kullanılarak tasarım yapılmıştır [53].
2. Tekerlekler çift tekerlek alınmıştır. Yani bir dingilde 4 tekerlek kullanılmıştır.
3. Tekerleklerin kaplamaya temas eden yüzey alanı 10*30 cm yani 300 cm² girilmiştir. Bu değer kamyonların tekerlek ölçüleri ile örtüşmektedir.
4. Altyapısı bitmiş ham yolda taban zeminin özellikleri, Karadeniz Bölgesi köy yollarında çok çeşitlikler gösterebilmektedir. Kimi yerlerde sağlam kaya blokları kimi yerlerde sıkışmış CBR'ı yüksek kayalar kimi yerlerde ise zayıf zemin türleri görülmektedir. Tasarım sırasında kritik olan zayıf zemin üzerine tasarım yapılmıştır. Bu nedenle zayıf zeminin elastisite modülü 30 MPa alınmıştır. Birim hacim ağırlığı 2200 kg/m³ ve poisson oranı 0,3 alınmıştır [51], [52]. Her iki üstyapı kaplama tipine ait modellerde aynı taban zemin kullanılmıştır.
5. Rijit üstyapılarda sadece alttemel malzemesi kullanılmış ve 100 MPa elastisite modülü kullanılmıştır. Birim hacim ağırlığı 2200 kg/m³ poisson oranı 0,3 alınmıştır [51], [52]. Esnek üstyapıların da alttemel malzemesi olarak temel tabakasının altında yine aynı tasarım özelliklerine sahip alttemel kullanılmıştır.
6. Esnek üstyapı tasarımlarında binder tabakası elastisite modülü 3500 MPa plentmiks temel elastisite modülü 600 MPa Alınmıştır. İki katmanında poisson oranı 0,35 alınmıştır. Esnek kaplama birim hacim ağırlığı, 2400 kg/m³ , plentmiks temelin birim hacim ağırlığı 2200 kg/m³ alınmıştır [51], [52].
7. Rijit kaplamalarda betonun elastisite modülleri basınç dayanımlarına göre tablo 2.1'deki gibi alınmıştır. Beton birim hacim ağırlığı 2400 kg/m³ ve poisson oranı 0,2 alınmıştır [54]. C8/10 beton sınıfına ait elastisite modülü literatürde bulunamadığından diğer beton dayanım sınıflarının değerlerinden interpolasyon yapılarak yaklaşık bir değer bulunmuştur.

Tablo 2.1 Beton sınıflarının elastisite modülleri [54].

C8/10	24500 MPa
C12/15	25800 MPa
C16/20	27000 MPa
C20/25	28000 MPa

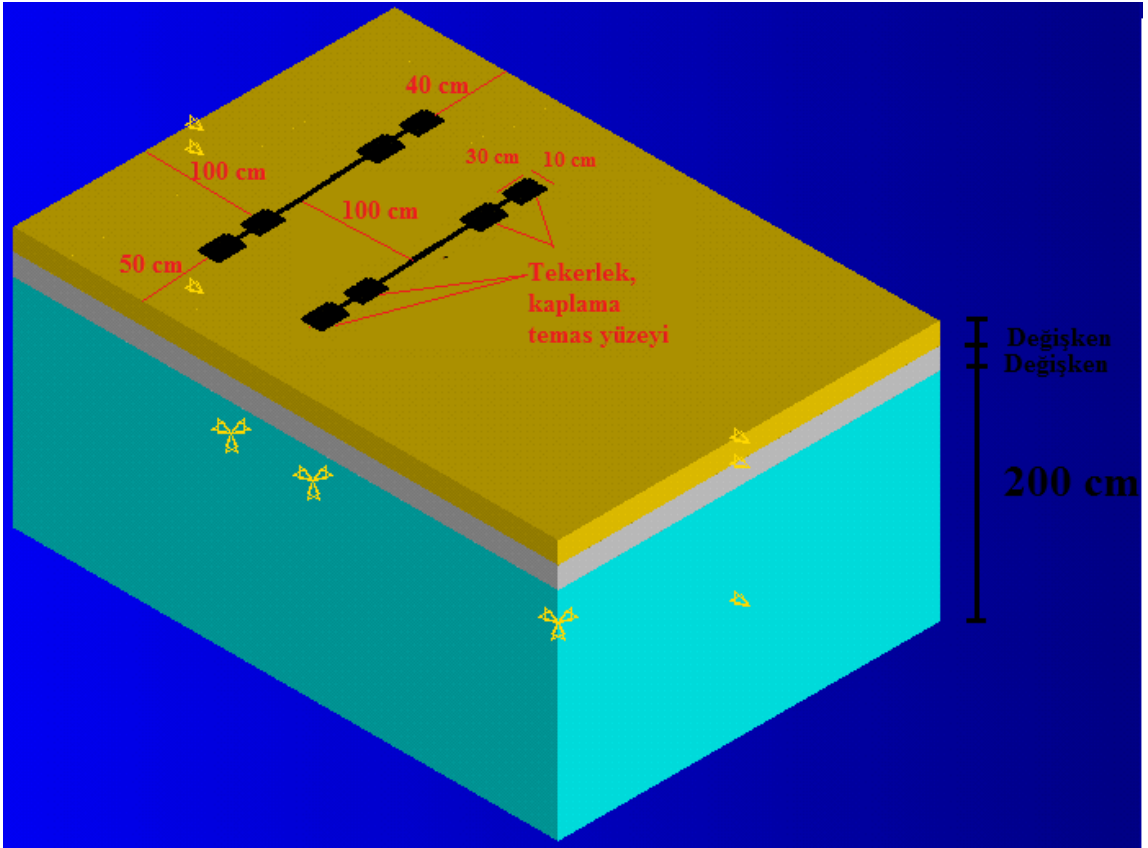
8. Plakların kalınlıkları çeşitli varyasyonlara göre değiştirilmiştir. Sadece taban zemini bütün modellerde 200 cm sabit kalınlıkta alınmıştır.
9. Plaklar X yönünde 500 cm Z yönünde 350 cm olarak düzenlenmiştir. Bu sayede tek yön bir yol tasarlanmaya çalışılmıştır. Ayrıca derz aralıkları kesilmiş kabul edilmiştir.

Tasarımda kullanılan Ansys Kriterleri ise şöyledir:

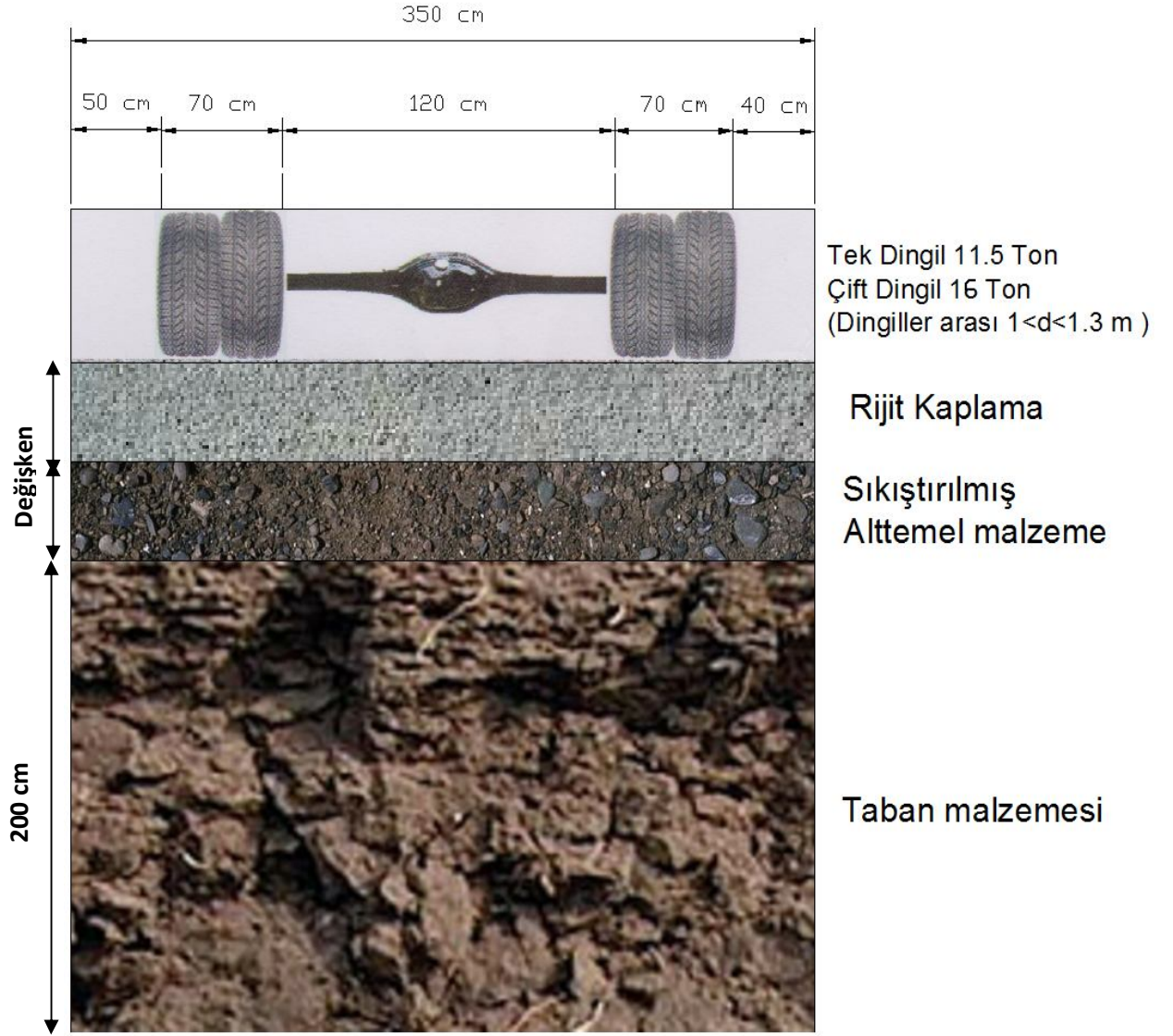
1. Yük sabit ve tekerleklerin izdüşümü kadar alana yayılı yük olarak yüklenmiştir.
2. Granüler malzemeyi yansıtan “Solid 186” element tipi ile alttemel, temel ve bitümlü sıcak karışım modellenmiştir.
3. Taban zemin “Solid 45” ile modellenmiştir.
4. Beton kaplama “ Solid 65 Concrete ”olarak modellenmiştir.
5. Şekil 2.11’de görüldüğü gibi X yönünde sağdan ve soldan sabit hareketli mesnet ile sabitlenmiştir. Taban zemin altı plak alanı tamamı ankastre mesnet ile sabitlenmiştir. Z yönünde mesnetleme yapılmamıştır.
6. Arka Tekerlekler X yönünde 100 cm ile 110 cm arasına yerleştirilmiştir. Arka ve ön akslar Z yönünde dıştan 50 cm içten 40 cm banket bırakılarak yerleştirilmiştir. Çift dingil yüklemelerinde ise ikinci dingil birinci dingilin 100 cm ilerisine koyulmuştur. Şekil 2.11’de tekerleklerin kaplamaya temas alanları görülmektedir.
7. Çözümün uzun sürmemesi için ilk çözümde sonlu eleman olarak çok fazla mesh (bölme) kullanılmış daha sonra aynı çözümü sadece kritik olan bölgelerin meshleri detaylandırılarak diğer kısımlar daha az bölmeli meshler yapılmıştır. Çıkan sonuçlarda farklılıklar virgülden sonra dört sayı olana kadar mesh detaylandırılmasına devam edilmiş ve bu hali ile tasarım yapılmıştır. Burada

amaç detaylı meshleri program çözerken yaklaşık 1 saat gibi bir süre beklemesi engellemektir.

8. Malzemeler tamamen elastik kabul edilerek statik çözümlenmeleri yapılmıştır.
9. Analizler sonucu x ve y yönünde gerilme ve birim şekil değiştirmelere bakılmıştır. Ayrıca Von Meis yöntemine göre maksimum gerilme ve birim şekil değiştirmelerde değerlendirilmiştir.
10. Kaplama plağı altında oluşan gerilme tespit edilmiştir.



Şekil 2.11. Model’de tekerleklerin, kaplamaya temas alanları gözükmekte.



Şekil 2.12. Rijit model kaplama ve alt katmanlar.

2.3. Üstyapı Kaplama Maliyetleri Detaylı Karşılaştırması

Ulaştırma ihtiyacı her geçen gün artmaktadır. ABD'de yapılan araştırmalar 25 yıl içinde ABD'de 50 milyon yeni araç ve sürücünün trafiğe gireceğini öngörmektedir [20]. Bu sonuç nüfus ve gelişmişlik ile orantılı olarak diğer ülkeler ve Türkiye'de de kaçınılmaz sonuçtur. Ulaşım ihtiyacını karşılayabilmesi için yeni yol inşaatları veya mevcut yolların genişletilmesi ve iyileştirilmesi gerekecektir.

Yeni yol inşaatlarında ve yolların şartlarının iyileştirilmesinde şüphesiz kaplama türü seçimi önemli bir mali kriter olacaktır. Esnek kaplama fiyatının devamlı artıyor olması buna nazaran rijit kaplamanın maliyetinin ise daha az artış göstermesi rijit kaplamayı avantajlı hale getirmektedir. ABD 'de 1 mil standart çift şerit yolun 2003 yılında bitümlü sıcak karışım ile yapılması rijit kaplamaya göre 225.000 \$ daha ucuz bulunmuştur. Ancak petrol fiyatlarının %200 artışına karşılık çimento fiyatlarında %37 artışı neticesiyle, 2008 yılında ilk yapım maliyetleri eşitlenmiş, daha sonra rijit kaplama 2009 yılında 65.000 \$, 2010 yılında 78.500 \$ 2011 yılında ise 192.700 \$ daha ucuz hale gelmiştir [20].

Maliyet karşılaştırması yapılırken hizmet süresi boyunca bakım onarım ve yeniden yapım maliyetleri de hesaba katılmalıdır. Bu bölümde Türkiye'de aynı bölgede yaklaşık aynı oranda uygulanan esnek ve rijit kaplamaların maliyet karşılaştırması yapılacaktır. Doğu ve Orta Karadeniz Bölgesi köy yollarında özellikle son yıllarda rijit kaplama oldukça sık yapılmaya başlamıştır. Trabzon İl Özel İdaresi bünyesinde 2011 yılında 95 km 2012 yılında ise 21 km beton yol yapılmıştır [55]. Yapılan rijit kaplamalar donatısız derzli rijit kaplamalardır. Esnek kaplama olarak temel ve alttemel üzerine bitümlü sıcak karışımdan oluşan binder tabakası maliyeti verilecektir. Binder tabakası tek kat olup aşınma ve benzeri başka bir tabaka bulunmamaktadır. Maliyet karşılaştırması yaparken uygulanan kaplama tiplerinin diğer detayları da verilecektir.

2.3.1. Yeni Üstyapı Kaplaması Yapılan Yollarda Maliyet

Bölgede yeni yol yapımında veya eski ağır tahribatlara uğramış yol kaplamalarının kaldırarak tekrar yapılmasında bitümlü sıcak karışım veya beton yollar kullanılmaktadır. Sathı kaplama, ömrünün kısa olması ve ağır trafik yüklerine dayanamıyor olması nedeniyle son birkaç yıldır bölgede tercih edilmemektedir.

Bölgenin iki büyük şehrinde köy yolların genelinde uygulanan BSK ve Beton yol kaplamalarının kalınlıkları ile ilgili detay Tablo 2.2’de verilmiştir. Tablodaki bilgileri Samsun ve Trabzon İl Özel İdareleri Yol ve Ulaştırma Şube Müdürlüklerinden alınmıştır. Samsun bilgileri 2011 yılına ait olup, Trabzon ile ilgili bilgiler 2013 yılına aittir. Bilgiler resmi evraklardan alınmamış, bizzat uygulamayı yapanlar ile görüşülerek, uygulama değerlerinin ortalamaları olarak hazırlanmıştır.

Tablo 2.2. Trabzon ve Samsun’da köy yollarında uygulanan BSK ve Beton Yollar.

İller	Bitümlü Sıcak Karışım			Beton Yol	
	Binder (cm)	Plentmiks veya Astarlı alttemel (cm)	Kırma taş temel (cm)	Beton Kaplama (cm)	Astarlı Temel veya Kırma taş (cm)
Samsun	7-8	15	20	20	25
Trabzon	8	15-20	20-25	20-25	15-20

Karadeniz Bölgesinde köy yollarında uygulanmakta olan çeşitli üstyapı kaplamalarının maliyet hesapları hem rijit hem esnek kaplama için 2013 fiyatlarına göre yapılmıştır. Analizler Trabzon ili konkasör veya plente ortalama 25 km mesafede bir köy yolu için düzenlenmiştir. Bitüm, Batman Rafinerisinden 654 km mesafeden nakledilecek şekilde hesaplanmıştır. Rijit üstyapılar hakkında Karayolları Genel Müdürlüğü'nün hali hazırda yayınlamış olduğu bir yapım rehberi bulunmamaktadır. Ayrıca Mülga Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü veya benzeri kurumlarında yayını olmadığından her il hatta ilçe ve köylerde farklı yöntemler ile rijit üstyapı yapmaktadır. Esnek üstyapılar içinde farklı uygulamalar mevcuttur. Bu nedenle Karadeniz Bölgesi köy yollarında uygulanan hem rijit hem de esnek üstyapıya ait maliyet analizleri çıkartılırken bölgede uygulanan plaka kalınlıklarının ortalaması alınmıştır. Bu değerler Tablo 2.3’de verilen AASHTO 3-10 milyon tekerrür sayısına sahip plaka kalınlıkları ile örtüşmektedir.

Tablo 2.3. AASHTO formülleri kullanılarak üstyapı kalınlıkları [8].

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

3. BULGULAR ve İRDELEME

Bu bölümde numunelerin, Basınç Dayanım Deneyi sonuçları ve değerlendirmeleri yapılmaktadır. Kırılan numunelerin, çatlak tipleri ve kırılma yüzeyleri incelenmekte, kırılma nedenleri hakkında bilgi verilmektedir.

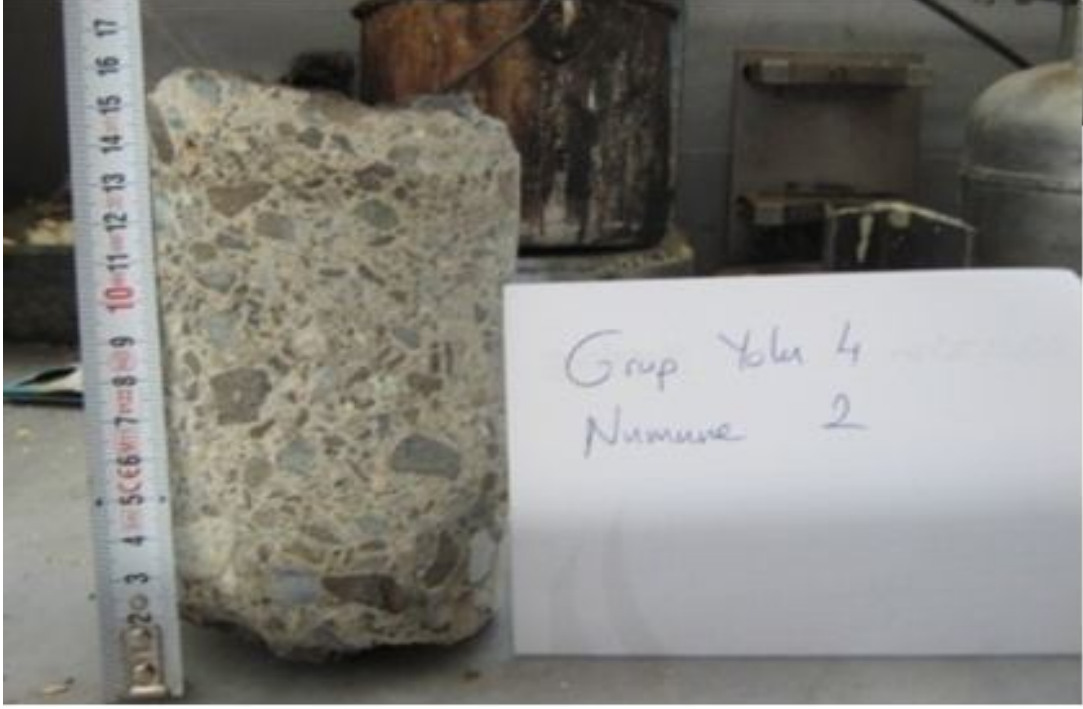
İkinci kısımda yüzeysel olarak hazırlanan modellerin Ansys programı kullanılarak bulunan sonuçları ve bunların değerlendirmelerinden bahsedilmektedir. Bu değerlendirmeler, numune üzerinde yaptığımız basınç dayanımı sonuçları ile örtüşüp, örtüşmediği incelenmiştir.

Bölümün üçüncü kısmında maliyet analizleri yapılmaktadır. Maliyet analizlerine numune basınç dayanımı testi sonuçları ve Ansys sonuçlarına göre değerlendirilmektedir. Uygun maliyetli kaplama türleri belirlenmeye çalışılmıştır.

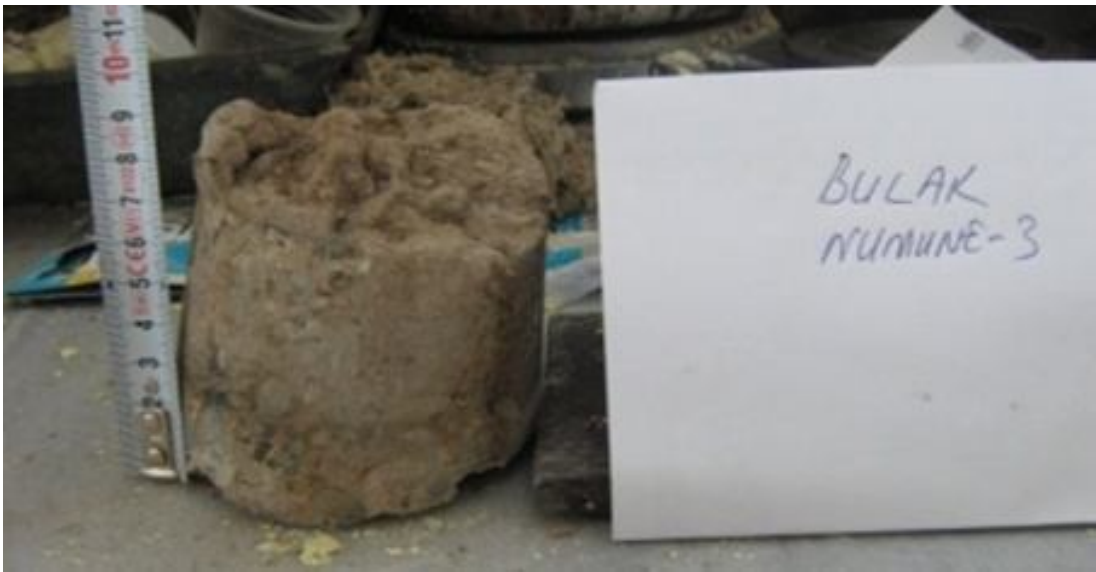
3.1. Numuneler Üzerinde Basınç Dayanım Testi

Trabzon Merkez İlçe Zafenoç Grup Köy Yolundan alınan silindir numuneler basınç dayanım testine sokulmadan önce boyları 10 cm olacak şekilde üst ve alt kısımlarından kesildi ve bu şekilde üst ve alt kısımları pürüzsüz hale getirildi. Bu kesim öncesinde her bir numunenin tek tek boyları ölçüldü ve fotoğraflandı. Bu fotoğraflara yakın bakıldığında numunelerin granülometresi hakkında bilgiler edilmektedir. Numunelerin birçoğunda agreganın dağılımın düzgün olmadığı görülmüştür. Bazı numunelerde yassı agregalar tespit edilmiştir. Birçok numunede en iri agrega boyu 19 mm'den küçük olduğu tespit edilmiştir. Oysa rijit kaplamalarda agrega boyunun normal beton yapımından daha iri olması istenir [6]. Şekil 3.1, 3.2 ve 3.3'de örnek olarak numune agrega dağılımları görülmektedir. Numunelere dikkatlice bakıldığında şekil 3.1'de ki numunede kalın agreganın fazla olmadığı görülmektedir. 3.2'de alınan numunede oldukça fazla kil tespit edilmiştir. Bu numunenin alındığı bölgedeki diğer numunelerde de durum aynıdır. Ayrıca killi numuneler karot makinesinden çıkan en kısa numuneleri oluşturmaktadır. Şekil 3.3'te görülen numune ise gradasyon açısından diğer numunelerden üstün görülmektedir ayrıca bu numune ve bölgesinde alınan diğer numuneler karot makinesinden çıkan en uzun numunelerdir.

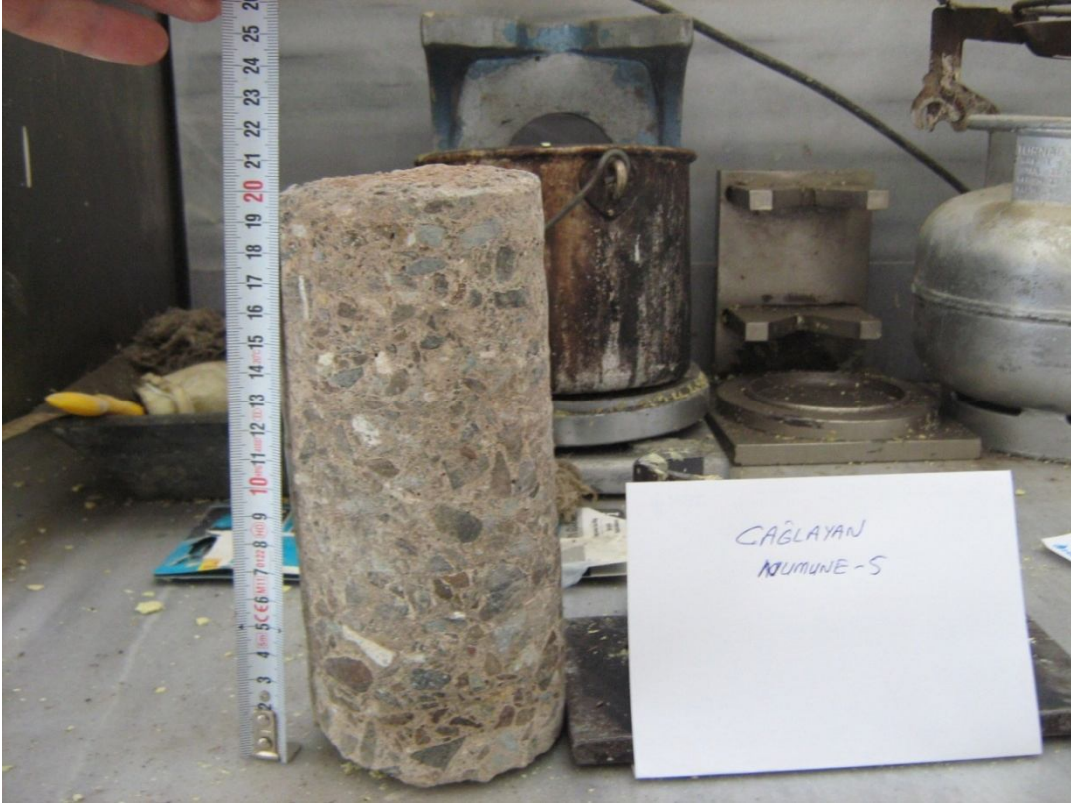
10 cm çapında yani 78,53 cm² st ve alt yüzey alanına sahip 10 cm boyundaki silindirlerimizin, standartlarına uygun olarak 0,4 MPa/sn yükleme hızı ile yüklendi. Laboratuar ortamında yükleme işlemi Şekil 3.4'de görülmektedir. Numunelerin alındıkları yerler, boyları, maksimum yük ve basınç dayanımları gibi bilgiler Tablo 3.1'de verilmiştir.



Şekil 3.1. Numunelerin baş ve dip kısımları düzeltilmeden önce boyları lld.



Şekil 3.2. Bulak Soğuksu mevkiinden alınan ve killi malzemenin bulunduğu numune.



Şekil 3.3. Dolaylı Çağlayan arası alınan numuneler yaklaşık 20 cm çıkmıştır.



Şekil 3.4. Laboratuvar ortamında numuneler hazırlanırken.

Tablo 3.1. Numuneler hakkında bilgi ve basınç dayanımları

Mevki	No	Boy (cm)	Ortalama Boy (cm)	Yük (KN)	Ortalama Yük (KN)	Basınç Dayanımı (MPa)	Ortalama Basınç Dayanımı (MPa)
Bulak Soğuksu Mevki	1	9	9,83	Numuneler 10 cm'den küçük çıkmıştır			
Bulak Soğuksu Mevki	2	12		77,24	77,24	9,84	9,84
Bulak Soğuksu Mevki	3	8,5		Numune 10 cm'den küçük çıkmıştır			
Çatak Yeşilyurt Dolay Grup Yolu	1	15	14,6	88,42		11,26	
Çatak Yeşilyurt Dolay Grup Yolu	2	15		122,82		15,65	
Çatak Yeşilyurt Dolay Grup Yolu	3	16,5		112,03	99,187	14,27	12,635
Çatak Yeşilyurt Dolay Grup Yolu	4	13		73,17		9,32	
Çatak Yeşilyurt Dolay Grup Yolu	5	15		104,64		13,33	
Çatak Yeşilyurt Dolay Grup Yolu	6	13		94,04		11,98	
Dolaylı Köy içi Grup Yolu Üstü	1	15		14,3	100,75		12,83
Dolaylı Köy içi Grup Yolu Üstü	2	15,5	80,11			10,21	
Dolaylı Köy içi Grup Yolu Üstü	3	13	66,95		84,88	8,53	10,813
Dolaylı Köy içi Grup Yolu Üstü	4	14	92,7			11,81	
Dolaylı Köy içi Grup Yolu Üstü	5	14	81,53			10,39	
Dolaylı Köy içi Grup Yolu Üstü	6	14	87,25			11,11	
Dolay çıkış Çağlayan Yolu	1	19	20,4	82,66		10,53	
Dolay çıkış Çağlayan Yolu	2	22		Numune karot makinesi içinde kırılmıştır			
Dolay çıkış Çağlayan Yolu	3	20		71,96	100,18	9,17	12,7625
Dolay çıkış Çağlayan Yolu	4	21		120,67		15,37	
Dolay çıkış Çağlayan Yolu	5	20		125,44		15,98	

3.1.1. Basınç Dayanım Deneyi'nin Değerlendirilmesi

Deney sonucu elde edilen verilerde görüldüğü gibi köy yollarımızda beton değerlerimizin hepsi C8/10 ile C12/15 beton sınıflarında çıkmıştır [56]. Bu sonuçlar beton kalitesinin düşük olduğunu göstermektedir. Özellikle Bulak Soğuksu Mevkiinde alınan numunelerin değeri oldukça düşüktür. Diğer numunelere nazaran bu numune üzerinde trafik yükü az olmasına rağmen, değerlerin düşük olmasının nedeni, bu köy yolunu vatandaşların kendi imkanları ile yapmış olmalarıdır. Numune boylarının sadece bir tanesi 10 cm'i geçmiştir. Çatak, Yeşilyurt, Dolaylı Grup Yolu ve Dolaylı Köy içi üzerinden alınan numunelerin boyları ortalama 14-15 cm civarında çıkmıştır. Dolaylı Çağlayan arası yoldan alınan numuneler ise 20 cm'nin üstünde çıkmıştır. Diğer yollara göre en yakın

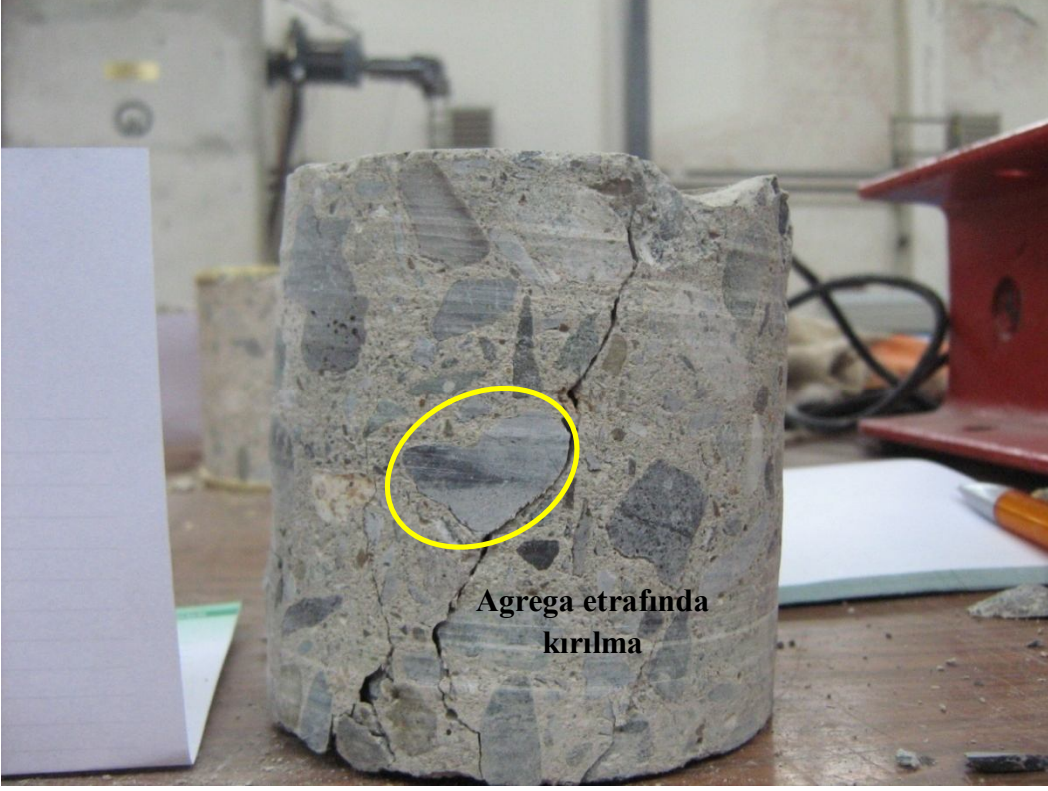
tarihte bu yol yapıldığından ve yüklenici firmadan proje ve teknik şartlarına uygunluk arandığından bu yol diğerlerinden farklıdır. Basınç dayanımı olarak da bu yol diğerlerinden çok az daha iyidir. Ayrıca bu yoldan alınan numunelerde diğerlere göre daha iyi granülometre görülmüştür

Numunelerin basınç dayanımlarının düşük olmasına rağmen hizmet sürelerine ve hizmet konforlarına baktığımızda, rijit kaplamaların üstünlüğünü net bir şekilde görülmektedir. Ortalama 15-20 yıllık rijit kaplamalar C8/10 ve C12/15 sınıflarında gösterdiği başarı oldukça yüksektir. Aynı bölgede 15-20 yıldır hizmet verebilen bir esnek kaplama bulunmamaktadır. 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 3.5 görüldüğü gibi agrega etrafından dolaşarak kırılma olmuştur. Şekilde agrega çimentodan yüzeyi boyunca ayrılmaktadır. Aderansın güçlü olmaması bunun nedenidir. Aderans çimento hamurunun kaliteli olmaması, agrega yüzeyinin pürüzlü olmamasından, agreganın çok tozlu olmasından ve benzeri nedenlerden dolayı güçsüzleşmektedir. İşçilik vatandaşın, malzeme devletten şeklinde yapılan yollarda, vatandaşların her türlü agregayı kullandıklarını, özellikle dere agregasını kırmadan kullandıkları bilinmektedir. Kırılmamış dere agregasının yuvarlak pürüzsüz yüzeyleri kuvvetli aderans sağlayamamaktadır. Ayrıca vatandaşlar işçiliği kolaylaştırmak için çimento hamuruna bol su koymaktadır oysa beton yollarda su çimento oranı 0,35-0,4'dan fazla olmamalıdır [6]. Katılan su neticesinde işçilik kolaylaşmakta ancak aderans güçsüzleşmektedir. Son olarak beton yapımında kullanılan çimentonun kalitesizliği veya düşük dozajlı olması, çimento hamurunun ve dolayısıyla aderans bağlarının güçsüz olmasına neden olmaktadır. Betonlu oluşturan malzemelerin teknik özelliklerine uyulmadan ve kolay işçilik ile hazırlanan numuneler mukavemet değerlerini düşük çıkmasına neden olmuştur.
- Bazı numunelerde agrega kırılmaları görülmüştür. Kırılan agregaların bazılarının yassı oldukları tespit edilmiştir. Şekil 3.6'da yassı ve iri bir agrega görülmektedir. Ayrıca kırılan numunelerde kalitesiz agregalara

rastlanmıştır. Gerek rijit gerekse esnek kaplamalarda agregaların belirli mukavemet değerlerine sahip olması istenmektedir. Özellikle agrega numunelerin taşıma gücünü ciddi miktarda etkileyen faktördür. Agregayı kullanılmadan önce çeşitli deneylere sokulmalıdır. Kırılmış mümkünse tozsuz agrega kullanılmalıdır. Ancak yaklaşık 20 sene önce yapılan bu yollarımızda agrega seçiminde teknik hususlara pek dikkat edilmemiştir.

- Bazı numunelerde gradasyona hiç dikkat edilmediği tespit edilmiştir. Malzemenin genellikle ince agrega ve altı hatta istenmeyen kil-silt ve benzeri malzemeler olduğu tespit edilmiştir. Şekil 3.8’de bu tür bir numune görülmektedir. Numunenin genelinde kalın agrega neredeyse hiç yoktur. Bu numuneler rahatlıkla ufalanmışlardır. Oysa rijit kaplamalarda normal betona göre biraz daha kalın gradasyon tercih edilir [6]. Ayrıca ince malzeme daha çok çimento dozajı ihtiyacı ve hidrasyon için daha çok kür ortamı ister. Bu tarz numunelerde kırılmanın diğer bir nedeni de çimento dozajının yetersizliği ve kür ortamının sağlanmamış olmasıdır.
- En kısa numuneler olan Bulak Köyü, Soğuksu mevkiinde çıkan numuneler içerisinde aşırı miktarda kil malzeme tespit edilmiştir. Şekil 3.7’de kil malzeme net bir şekilde görülmektedir. Kil malzeme nedeninin kötü zemin üzerinde bol su muhteva eden ince kaplama yapılmış olması düşünülmektedir. Şekil 3.10’da numunede olduğu gibi bir çok mevkiden alınan numunelerde, kötü ve kolay kırılan örneğin kil taşı gibi agregalar görülmüştür. Yerli halkın beton dökümü sırasında civarda bulunan malzemenin betona katması sonucu bu tarz agregalar numunelerde görülmüştür.



Şekil 3.5. Çatlak agrega ile çimento hamurunun birleşim yerinden geçmektedir. Bu durum agrega ile çimentonun yeterli aderans sağlamadığını göstermektedir.



Şekil 3.6. Kırılan yüzeyde zayıf gradasyon ve yassı agrega görülmektedir.



Şekil 3.7. Bulak Soğuksu Mevkiinden alınan numuneler içersinden killi tozlu malzeme oldukça fazla görülmüştür.



Şekil 3.8. Granülometre eksikliği ve çimento hamurunun kaliteli olmaması net şekilde anlaşılmaktadır. İşaretli kısımda ince agrega dikkat çekmektedir.



Şekil 3.9. Kırılan Numuneler toplu olarak görülmektedir. Basınç dayanımlarına ulaşmış olmalarına rağmen birçoğu dağılmamıştır.



Şekil 3.10. Dolaylı köy içi 3 nolu numunede kalın agregaların elle kırılabilen zayıf agregalar olduğu görülmüştür.

3.2. Ansys Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Ansys programı yardımıyla, yüzeysel olarak ve çeşitli kabuller ile tasarlanmış rijit ve esnek kaplamaların tek dingil ve çift dingil yük altında farklı kalınlık ve beton sınıfları kullanılarak gerilme ve şekil değiştirmeleri bulunmuştur. Bu değerler rijit ve esnek kaplamaları karşılaştırabilmek için hazırlanmış gerçeği tam yansıtmayan değerlerdir. Ayrıca Von Mises gerilme değerlerine bakılmış, ancak Von Mises gerilme sonuçları, bulunan maksimum gerilmelerden büyük çıkmadığından değerlendirmeye almaya gerek görülmemiştir. Rijit kaplamalarda tek dingil yük nedeniyle oluşan gerilmeler Tablo 3.2'de verilmiştir. Bu değerler, beton ve alttemel kalınlıkları değiştirilerek bulunmuştur. Ayrıca beton sınıflarına göre düzenlenmiştir. Tablo 3.3'te ise aynı işlemler çift dingil yük altında rijit kaplamalar için yapılmıştır. Tablo 3.4'de çift dingil yük altında ve tek dingil yük altında esnek kaplama için ansys modellerin sonuçları verilmiştir. Tablo 3.4'de binder ve plentmiks temel kalınlıkları değişken alttemel kalınlığı ise sabittir. Esnek kaplama sonuçlarında da Von Mises gerilme değerleri maksimum gerilmeden fazla çıkmamıştır. Tablolarda kaplama plağı altında maksimum gerilmeye denk gelen noktadan gerilme ve şekil değiştirmenin değerleri de verilmiştir. Plak altında temel ve alttemelde oluşacak gerilme ve şekil değiştirmeler bu şekilde incelenmektedir.

Tablo 3.2, 3.3, 3.4'de oluşan gerilmelere bakıldığında, X doğrultusunda oluşan gerilme çekme gerilmesi Y doğrultusunda oluşan gerilme ise basınç gerilmesidir. Yükler Y doğrultusunda bulunmaktadır bu doğrultuya dik doğrultu olarak X ve Z doğrultusunda oluşan gerilmelere bakıldığında X doğrultusunda oluşan gerilmelerin Z Doğrultusunda oluşan gerilmelerden daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu nedenle tabloda Z doğrultusunda oluşan gerilmelere yer verilmemiştir. Tabloda bulunan Element ve node numaraları yol kaplama plağı altında maksimum şekil değiştirme ve gerilmelerin bulunduğu yerleri göstermektedir.

Tablo 3.2. Tek dingil yüklemeye rijit kaplamada oluşan gerilme ve şekil değiştirmeler.

Tek Dingil (11.5 Ton) altında Rijit Kaplama											
Beton Sınıfı	Beton Plak Kalınlığı (cm)	Alttemel Kalınlığı (cm)	Y Doğrultusunda oluşan Mak. Gerilme MPa	X Doğrultusunda Oluşan Mak. Gerilme MPa	Von Mises Gerilme MPa	Y Doğrultusunda oluşan şekil değiştirme (mm)	X Doğrultusunda oluşan Şekil Değiştirme mm	Beton Plak Altı Gerilme MPa		Elementary Node	
								X Yönünde	Y Yönünde		
C8/10	20	20	-1,21955	-1,75494	1,56674	-0,899402	0,15264	1,4942	-1,2032	Elem 474	1566
C12/15	20	20	-1,21964	-1,75494	1,58432	-0,89649	0,151236	1,5047	-1,1896	Elem 474	1566
C16/20	20	20	-1,21972	-1,79756	1,60017	-0,8938	0,149979	1,525	-1,1896	Elem 474	1566
C20/25	20	20	-1,21978	-1,81404	1,61312	-0,891603	0,148961	1,5537	-1,2032	Elem 474	1566
C20/25	20	10	-1,21939	-1,82269	1,61827	-0,888821	0,14333	1,5559	-1,1892	Elem 474	1566
C20/25	20	-	-1,22224	-1,82952	1,62375	-0,889225	0,13506	1,5677	-1,1919	Elem 474	1566
C8/10	20	-	-1,22235	-1,77323	1,58018	-0,894228	0,138535	1,512	-1,192	Elem 474	1566
C8/10	15	20	-1,35054	-2,487	2,31866	-0,960608	0,170357	2,2281	-1,3028	Elem 474	1566
C12/15	15	20	-1,35047	-2,51376	2,33963	-0,955769	0,16922	2,2567	-1,3027	Elem 474	1566
C16/20	15	20	-1,3504	-2,5376	2,35824	-0,951537	0,168211	2,2821	-1,3026	Elem 474	1566
C20/25	15	20	-1,35035	-2,55695	2,37326	-0,948166	0,167398	2,3026	-1,3025	Elem 474	1566
C20/25	15	10	-1,34932	-2,58994	2,3995	-0,945056	0,161119	2,3453	-1,3013	Elem 474	1566
C20/25	15	-	-1,35109	-2,61688	2,42193	-0,940926	0,152463	2,3837	-1,3027	Elem 474	1566
C8/10	15	-	-1,3514	-2,55442	2,37539	-0,954089	0,155411	2,3187	-1,3031	Elem 474	1566
C8/10	10	20	-1,52701	-4,1552	3,96091	-1,13896	0,19177	3,9954	-1,4346	Elem 474	1566
C12/15	10	20	-1,52657	-4,20679	4,00489	-1,12907	0,190824	4,0505	-1,434	Elem 474	1566
C16/20	10	20	-1,52618	-4,25187	4,04343	-1,12052	0,189982	4,0986	-1,4335	Elem 474	1566
C20/25	10	20	-1,52588	-4,28793	4,07417	-1,11379	0,189304	4,1371	-1,4331	Elem 474	1566
C20/25	10	10	-1,52322	-4,43799	4,20809	-1,12266	0,180656	4,3113	-1,4299	Elem 474	1566
C20/25	10	-	-1,52261	-4,56434	4,32234	-1,12764	0,175135	4,4756	-1,4283	Elem 474	1566
C8/10	10	-	-1,52347	-4,45164	4,22884	-1,15806	0,177947	4,3597	-1,4293	Elem 474	1566

Tablo 3.3. Çift dingil yüklemeye rijit kaplamada oluşan gerilmeler ve deformasyonlar.

Çift Dingil 16 Ton altında Rijit Kaplama											
Beton Sınıfı	Beton Plak Kalınlığı (cm)	Alttemel Kalınlığı (cm)	Y Doğrultusunda oluşan Mak. Gerilme MPa	X Doğrultusunda Oluşan Mak. Gerilme MPa	Von Mises Gerilme MPa	Y Doğrultusunda oluşan şekil değiştirme (mm)	X Doğrultusunda oluşan Şekil Değiştirme (mm)	Beton Plak Altı Gerilme MPa		Elementary Node	
								X Yönünde	Y Yönünde		
C8/10	20	20	-0,827348	-1,1975	0,999463	-0,915711	0,142271	0,78072	0,11213	Elem 827	1997
C12/15	20	20	-0,827332	-1,20945	1,01008	-0,912127	0,140916	0,79644	0,11231	Elem 827	1997
C16/20	20	20	-0,827317	-1,22154	1,01947	-0,908964	0,139703	0,81035	0,11246	Elem 827	1997
C20/25	20	20	-0,827303	-1,23122	1,02703	-0,906591	0,138731	0,82154	0,11258	Elem 827	1997
C20/25	20	10	-0,826967	-1,24498	1,03711	-0,897022	0,133166	0,83963	0,11288	Elem 827	1997
C20/25	20	-	-0,828049	-1,22134	1,04457	-0,895974	0,129392	0,85235	0,11364	Elem 827	1997
C8/10	20	-	-0,828049	-1,25454	1,01861	-0,896703	0,12605	0,81435	0,11332	Elem 827	1997
C8/10	15	20	-0,95446	-1,68634	1,51139	-0,971945	0,159795	0,96693	0,097046	Elem 827	1997
C12/15	15	20	-0,954395	-1,70861	1,52877	-0,968139	0,15866	0,99105	0,097258	Elem 827	1997
C16/20	15	20	-0,954339	-1,72832	1,54411	-0,964845	0,157655	1,02124	0,09744	Elem 827	1997
C20/25	15	20	-0,954296	-1,74418	1,55641	-0,962243	0,156846	1,0297	0,09758	Elem 827	1997
C20/25	15	10	-0,953631	-1,7773	1,58162	-0,953088	0,15096	1,0707	0,098182	Elem 827	1997
C20/25	15	-	-0,954288	-1,80286	1,55989	-0,94254	0,143699	1,1011	0,098966	Elem 827	1997
C8/10	15	-	-0,954458	-1,74819	1,55989	-0,952691	0,146752	1,0418	0,098577	Elem 827	1997
C8/10	10	20	-1,13593	-2,64523	2,55969	-1,08321	0,181397	1,1307	0,063086	Elem 827	1997
C12/15	10	20	-1,13564	-2,68412	2,59339	-1,077	0,180464	1,1691	0,063368	Elem 827	1997
C16/20	10	20	-1,13539	-2,71872	2,62327	-1,0728	0,179633	1,2035	0,063611	Elem 827	1997
C20/25	10	20	-1,1352	-2,74667	2,64728	-1,06895	0,178962	1,2315	0,063802	Elem 827	1997
C20/25	10	10	-1,13346	-2,83898	2,73746	-1,06833	0,171265	1,3282	0,065117	Elem 827	1997
C20/25	10	-	-1,13296	-2,91639	2,81174	-1,0658	0,166395	1,4044	0,066127	Elem 827	1997
C8/10	10	-	-1,13346	-2,82073	2,73367	-1,0825	0,169179	1,3048	0,06559	Elem 827	1997

Tablo 3.4. Esnek Kaplama üzerinde tek ve çift dingil yüklerinin oluşturduğu deplasman ve gerilmeler.

Esnek Kaplama											
Binder Kalınlık (cm)	Plentmiks Temel Kalınlık (cm)	Alttemel Kalınlık (cm)	Y doğrultusunda oluşan Mak. Gerilme MPa	X Doğrultusunda Oluşan Mak. Gerilme MPa	Von Mises Gerilme MPa	Y Doğ. Şekil Değişirme (mm)	X Doğ. Şekil Değişirme (mm)	Beton Plak Altı Gerilme		Elementary Node	
							X Yönünde	Y Yönünde			
Tek Dingil (11.5 Ton) altında Esnek Kaplama											
7	15	20	-3,16103	-2,9366	2,06044	-1,26942	0,244878	0,21577	-0,93616	Ele 2154	2381
7	20	20	-3,18017	-2,78287	1,91047	-1,17445	0,238454	0,12087	-0,95177	Ele 2154	2381
8	15	20	-3,08313	-2,80026	1,9197	-1,23629	0,243455	0,28196	-0,80971	Ele 2154	2381
8	20	20	-3,09866	-2,65981	1,78392	-1,14902	0,237091	0,18566	-0,82408	Ele 2154	2381
10	15	20	-2,92442	-2,55219	1,66756	-1,17775	0,239953	0,36211	-0,60853	Ele 2154	2381
10	20	20	-2,93511	-2,434	1,55597	-1,10448	0,234455	0,26738	-0,62136	Ele 2154	2381
12	15	20	-2,76989	-2,33655	1,45865	-1,12775	0,23704	0,39978	-0,46297	Ele 2154	2381
12	20	20	-2,77767	-2,2366	1,36536	-1,06609	0,231873	0,30994	-0,47473	Ele 2154	2381
Çift Dingil 16 Ton altında Esnek Kaplama											
7	15	20	-2,20303	-1,98931	1,40715	-1,13086	0,2327	0,17033	-0,64634	Ele 2154	2381
7	20	20	-2,21421	-1,89706	1,31196	-1,07555	0,006297	0,10721	-0,65642	Ele 2154	2381
8	15	20	-2,14682	-1,90108	1,31317	-1,1104	0,23099	0,20956	-0,55826	Ele 2154	2381
8	20	20	-2,15612	-1,81668	1,22848	-1,0597	0,224733	0,14634	-0,56765	Ele 2154	2381
10	15	20	-2,03332	-1,73879	1,14792	-1,07445	0,227643	0,25434	-0,41845	Ele 2154	2381
10	20	20	-2,04007	-1,66812	1,07734	-1,03185	0,221715	0,19362	-0,427	Ele 2154	2381
12	15	20	-1,92547	-1,59603	1,00914	-1,04377	0,224346	0,27246	-0,31765	Ele 2154	2381
12	20	20	-1,93068	-1,53673	0,949833	-1,00798	0,218785	0,21608	-0,32558	Ele 2154	2381

Tablodaki gerilmelerin veya şekil değiştirmelerin eksi çıkması doğrultusu ile alakalı bir durum olduğundan maksimum veya minimum gerilme ve şekil değiştirmeyi değerlendirirken verileri mutlak değerleri kullanılmaktadır. Tablo 3.2 ve 3.3’de tek dingil ve çift dingil yük altında rijit kaplamalara bakıldığında, tek dingil yük altında gerilme ve şekil değiştirmeler çift dingil yük altında oluşanlardan daha büyük olduğu görülmüştür. (Ortalama σ_Y ’ler arasında %40,1, ortalama σ_X ’ler arasında %51,2, ortalama Δ_Y ’ler arasında %1,2 ve ortalama Δ_X ’ler arasında %6,3 oranında fark çıkmaktadır.) Tablo 3.4’e baktığımızda esnek kaplamalarda aynı şekilde tek ve çift dingil yüklemeler incelendiğinde yine tek dingil yük altında daha fazla gerilme ve şekil değiştirme olduğu görülmüştür. (Ortalama σ_Y ’ler arasında %43,7, ortalama σ_X ’ler arasında %46,63, ortalama Δ_Y ’ler arasında %9,1 ve ortalama Δ_X ’ler arasında %12,5 oranında fark çıkmaktadır.) Bu farkın nedeni olarak tek dingil araçlarda yükün 11.5 ton çift dingilde toplam 16 ton (dingil başına 8 ton) olmasıdır. Tablolarda bulunan veriler incelenirken tek dingil yük daha fazla gerilme ve şekil değiştirme sonucu verdiği için, tek dingil yükün verileri karşılaştırılacaktır.

Tablo 3.5’de tablo 3.2 ve 3.4’ün özeti olarak en yüksek şekil değiştirme ve gerilme veren model ile en düşük şekil değiştirme ve gerilmeyi veren modeller verilmiştir. Ayrıca bütün modellerin ortalama şekil değiştirmeleri ve gerilmeleri verilmiştir. Buna göre Tablo 3.2 ve 3.4’de tek dingil araçlarda oluşan gerilmeler ve şekil değiştirmeler incelendiğinde, esnek üstyapılarda en az gerilmeler ve şekil değiştirmeler 20 cm alttemel, 20 cm temel ve 12 cm binder tabakasından toplam 52 cm kalınlığında üstyapıda olduğu görülmektedir. Rijit üstyapılarda da en az gerilmeler ve şekil değiştirmeler 20 cm alttemel ve 20 cm C20/25 beton kaplama toplam 40 cm olan üstyapıda oluşmaktadır. Esnek ve rijit üstyapıda en az oluşan gerilmeler oranlandığında esnek üstyapılarda rijit üstyapılara oranla σ_Y %127,7, σ_X %23,2 daha fazla gerilme olduğu görülmüştür. Şekil değiştirmeler oranlandığında esnek kaplamalar, rijit kaplamalardan Δ_Y %19,7 Δ_X %55,6 oranla daha fazla şekil değiştirdiği görülmektedir. Bu değerler Tablo 3.5’de verilmiştir.

Tablo 3.5’de tablo 3.2 ve 3.4’ün özeti olarak tek dingil yük altında en yüksek gerilme ve şekil değiştirmeler esnek üstyapılarda 7 cm binder 15 cm alttemel ve 20 cm temel kalınlığı ile toplam 42 cm üstyapıda rijit üstyapılarda ise 10 cm C8/10 Beton kaplamalı (Alttemelsiz ve temelsiz) üstyapıda oluşmuştur. Rijit üstyapıların bu modeli arazi çalışmaları sırasında en kötü sonuçları veren Bulak Soğuksu Mevkii numunelerine uygun modellenmiştir. Oluşan en yüksek gerilmeler incelendiğinde esnek üstyapılarda rijit üstyapıdan σ_Y %107,4 fazla olduğu ancak σ_X %51,5 oranında az olduğu görülmüştür. Rijit üstyapının X yönünde gerilmesinin fazla olmasının nedeninin, rijit plak kalınlığının yetersiz (10 cm) olmasıdır. Zira tablolara

bakıldığında rijit üstyapı kalınlığı 10 cm olan modellerde X yönünde oluşan gerilmeler kalınlığı 15 cm olan modelden ortalama %69,8 kalınlığı 20 cm olan modelden ortalama %141,8 oranında daha fazla olduğu görülmektedir. Bu durum rijit üstyapılarda beton kalınlığının önemini göstermektedir. Plak kalınlığı arttıkça gerilmeler ve şekil değişimleri düşmektedir. Oluşan en yüksek şekil değiştirmeler incelendiğinde esnek üstyapılarda rijit üstyapıdan Δ_Y %9,5, Δ_X %21,7 oranında daha fazla olduğu görülmüştür. Rijit üstyapının, esnek üstyapıya oranla x yönünde gerilmelerinin fazla olmasına rağmen şekil değiştirmelerinin az çıkmasının nedenini betonun elastisite modülünün asfaltın rijitlik modülünden yüksek olmasıdır.

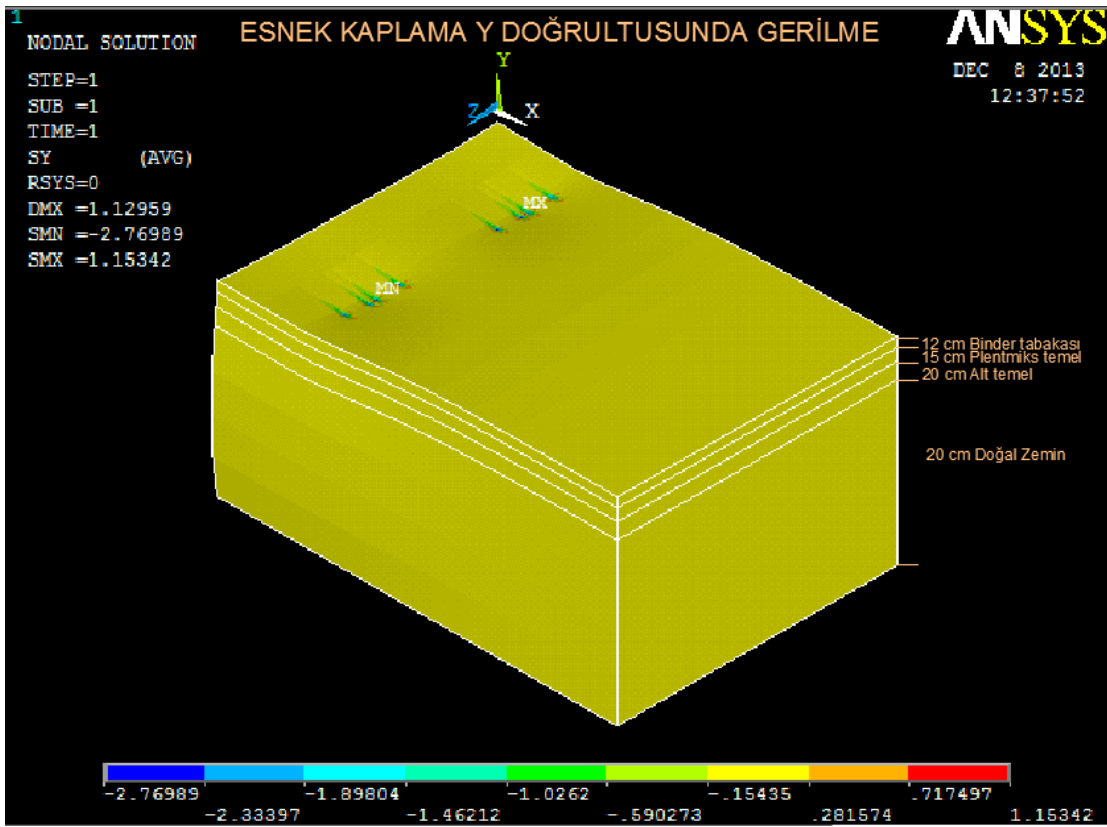
Son olarak Tablo 3.5’de tablolarda bulunan değerlerin ortalamalarına bakıldığında esnek kaplamaların ortalama 46,75 cm üstyapı kalınlığından oluştuğunu, rijit kaplamaların ise ortalama 27,85 cm üstyapı kalınlığına sahip olduğu görülmektedir. Esnek kaplama rijit kaplamaya oranla ortalama üstyapı kalınlığı olarak %68 oranında, gerilmelerde ortalama σ_Y %119 ortalama σ_X %74,6 oranında ve şekil değiştirmelerde ortalama Δ_Y %17,4 ortalama Δ_X %44,7 oranında daha fazla değerlere sahiptir. Tablo 3.5’de italik olarak yazılan değer, rijit kaplamanın esnek kaplamadan daha büyük olduğu tek değerdir.

Tablo 3.5. Ansys sonuçlarına göre üstyapıların gerilme ve şekil değiştirme oranları.

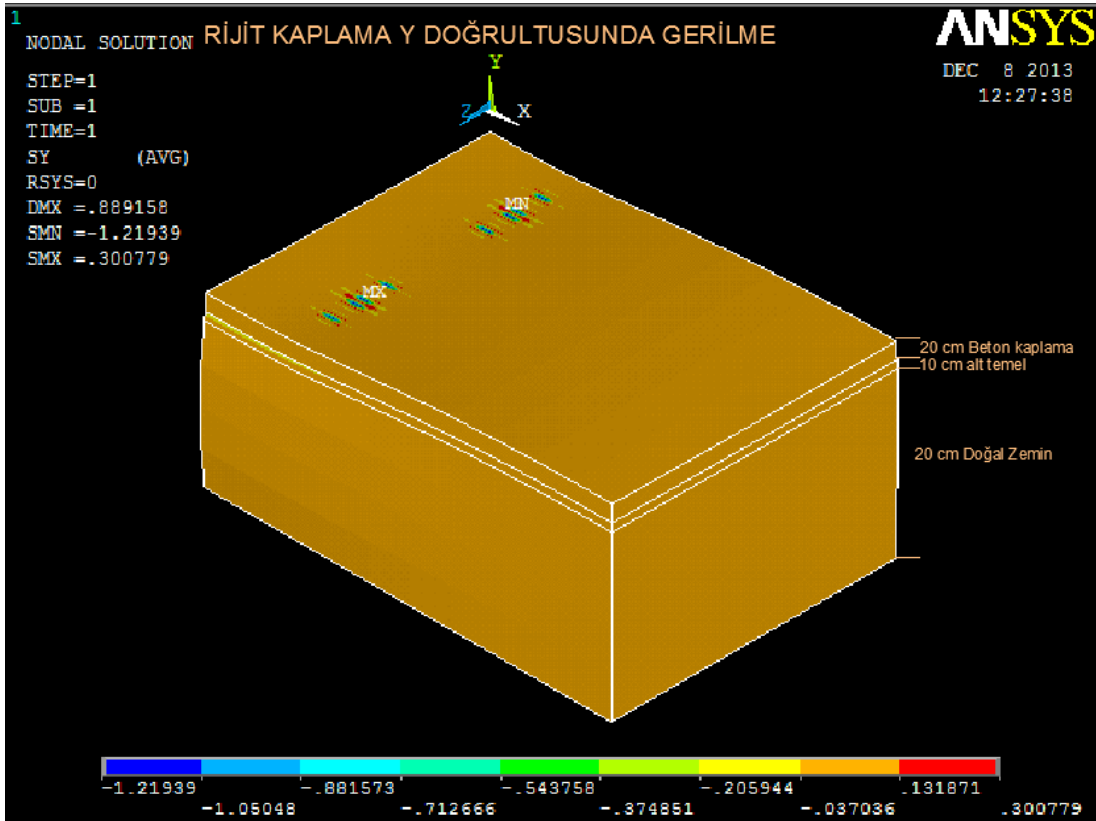
	Kaplama Türü	Üstyapı			Üstyapı Toplam cm	Gerilme MPa		Şekil Değiştirme mm	
		Alttemel	Temel	Kaplama		σ_Y	σ_X	Δ_Y	Δ_X
Düşük Değerler	Esnek	20 cm	20 cm	12 cm	52	2,77767	2,2366	1,066	0,2318
	C20/25 Rijit	20 cm	-	20 cm	40	1,2198	1,81404	0,8916	0,14896
	Esnek ve Rijit kaplama Fark Oranı				%30	%127,70	%23,20	%19,70	%55,60
Yüksek Değerler	Esnek	20 cm	15 cm	7 cm	42	3,16103	2,9366	1,26942	0,21577
	C8/10 Rijit	-	-	10 cm	10	1,52347	4,45164	1,15806	0,17795
	Esnek ve Rijit kaplama Fark Oranı				%320	%107,40	%-51,50	%9,50	%21,20
Ortalama Değerler	Esnek	17,5 cm	20 cm	9,25 cm	46,75	2,99126	2,59236	1,1631	0,23839
	Ort. Rijit	12,85 cm	-	15 cm	27,85	1,36529	1,484	0,9914	0,16474
	Esnek ve Rijit kaplama Fark Oranı				%68	%119,00	%74,60	%17,40	%44,70

Tablo 3.5’de özetlendiği gibi aynı yük altında rijit kaplama esnek kaplamalara oranla daha az gerilmelere ve şekil değiştirmelere maruz kalmaktadır. Ayrıca esnek kaplamaların üstyapı kalınlıkları rijit kaplamalara oranla daha fazla olmaktadır. Üstyapı kalınlığının fazlalığı maliyeti arttırmaktadır.

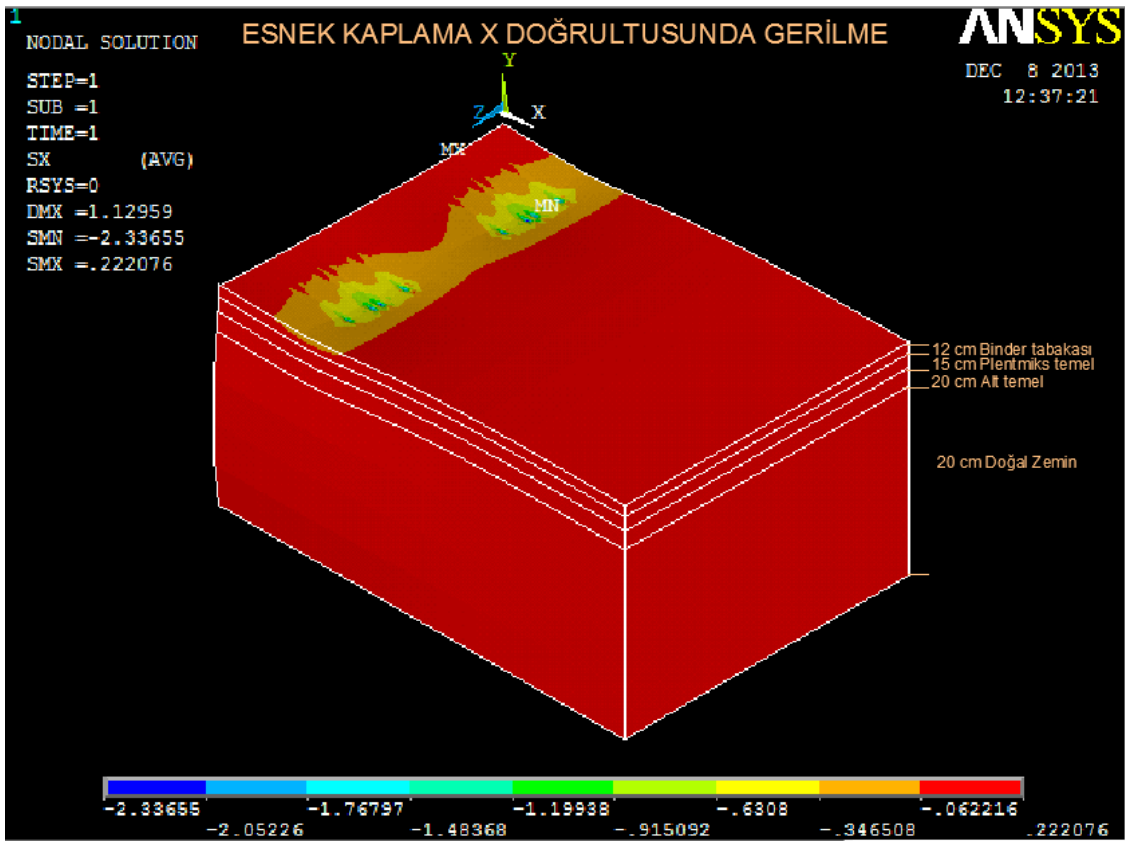
Esnek kaplamaların ve rijit kaplamaların ortalama yakın gerilme değerlerini ve ortalama yakın şekil değiştirme sonuçlarını veren modellerin çözümlene bittikten sonra oluşan şekil değiştirme ve gerilme şekilleri aşağıda verilmiştir. (Esnek üstyapı 12 cm, 15 cm plentmiks temel ve 20 cm alttemelden, Rijit üstyapı 20 cm beton kaplama ve 10 cm alttemelden oluşmaktadır.) Buna göre Şekil 3.11 Esnek kaplamanın Y yönünde gerilmesi, Şekil 3.12 Rijit kaplama Y yönünde gerilmesi, Şekil 3.13 Esnek kaplamanın X yönünde gerilmesi, Şekil 3.14 Rijit kaplama X yönünde gerilmesi verilmiştir. Aynı şekilde Şekil 3.15, Şekil 3.16, Şekil 3.17 ve Şekil 3.18’de sırasıyla esnek kaplama Δ_Y , rijit kaplama Δ_Y , esnek kaplama Δ_X ve rijit kaplama Δ_Y verilmiştir. Şekilde oluşan renklere ve renk çizelgesinde verilen değerlere bakarak gerilme ve şekil değiştirmelerin nerelerde oluştuklarına bakılabilir. Renk çizelgeleri her model için aynı değeri vermemektedir. Bu nedenle altta verilen renk çizelgelerine bakarak değerlendirme yapmak gerekir. Örneğin Rijit kaplama ile Esnek kaplama arasında şekil değiştirmelerde renk çizelgesi değerlerinin aynı olduğu renkler yaklaşık 2 ton farklılık göstermektedir. Z yönünde oluşan gerilme ve şekil değiştirmeleri, X doğrultusunda oluşan gerilme ve şekil değiştirmelerden az olduğundan tablolara alınmamıştır. Ancak gerilme ve şekil değiştirmelerin yerini bilmek gerektiğinden Z doğrultusunda oluşacak ortalama gerilme ve şekil değiştirmelerin şekilleri, Şekil 3.19, Şekil 3.20, Şekil 3.21 Şekil 3.22’de verilmiştir. Buna göre tekerleklerin temas yüzeylerinin etrafında minimum gerilmeler (Mutlak değerde en büyük gerilmeler) ve tekerlekler arasında maksimum gerilmeler oluşmaktadır. Şekil değiştirmeler ise tekerlek yüzeylerinden dışa doğru ve taban zemin tabakası ortalarında maksimum olmaktadır. Şekillere bakıldığında esnek ve rijit kaplamalarda oluşan gerilme ve şekil değiştirme renk yerleri ve geçişleri birbirine benzemektedir. Ancak değerler açısından bakıldığında rijit kaplama esnek kaplamadan daha düşük değerlere sahiptir.



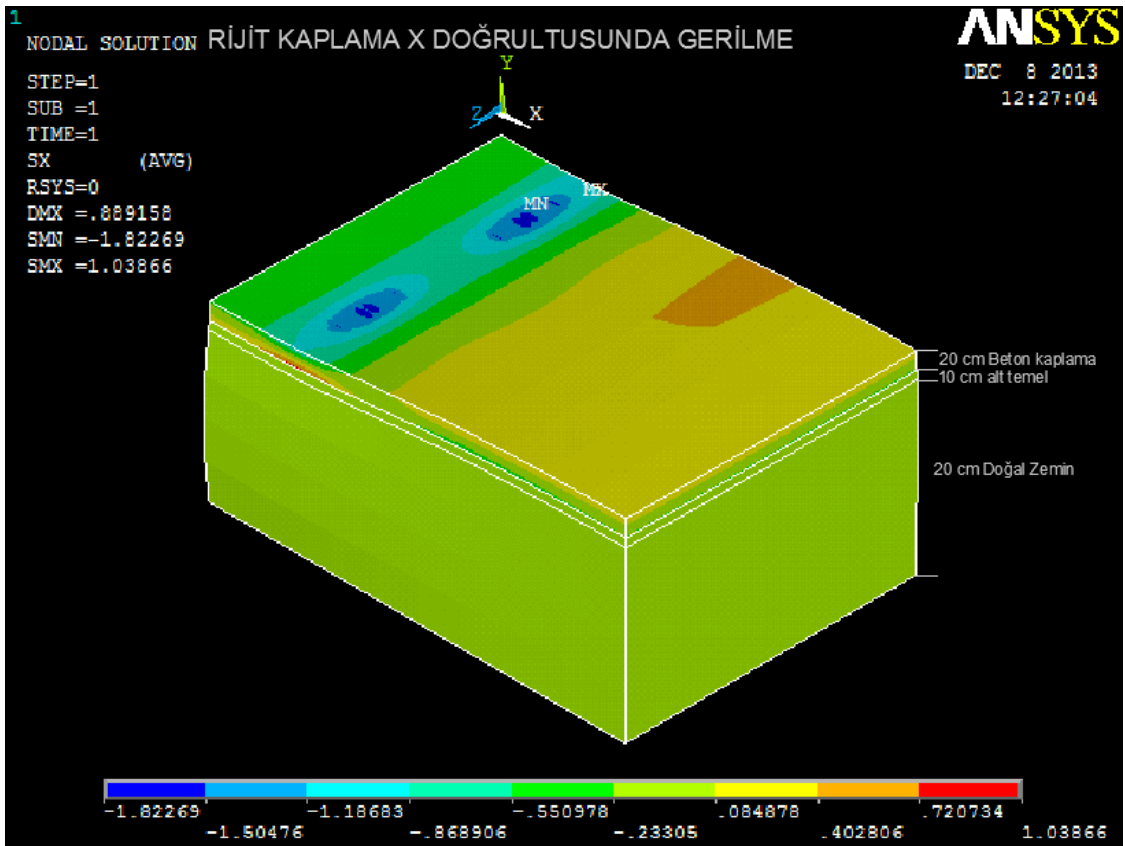
Şekil 3.11. Esnek kaplamada y doğrultusunda gerilmeler.



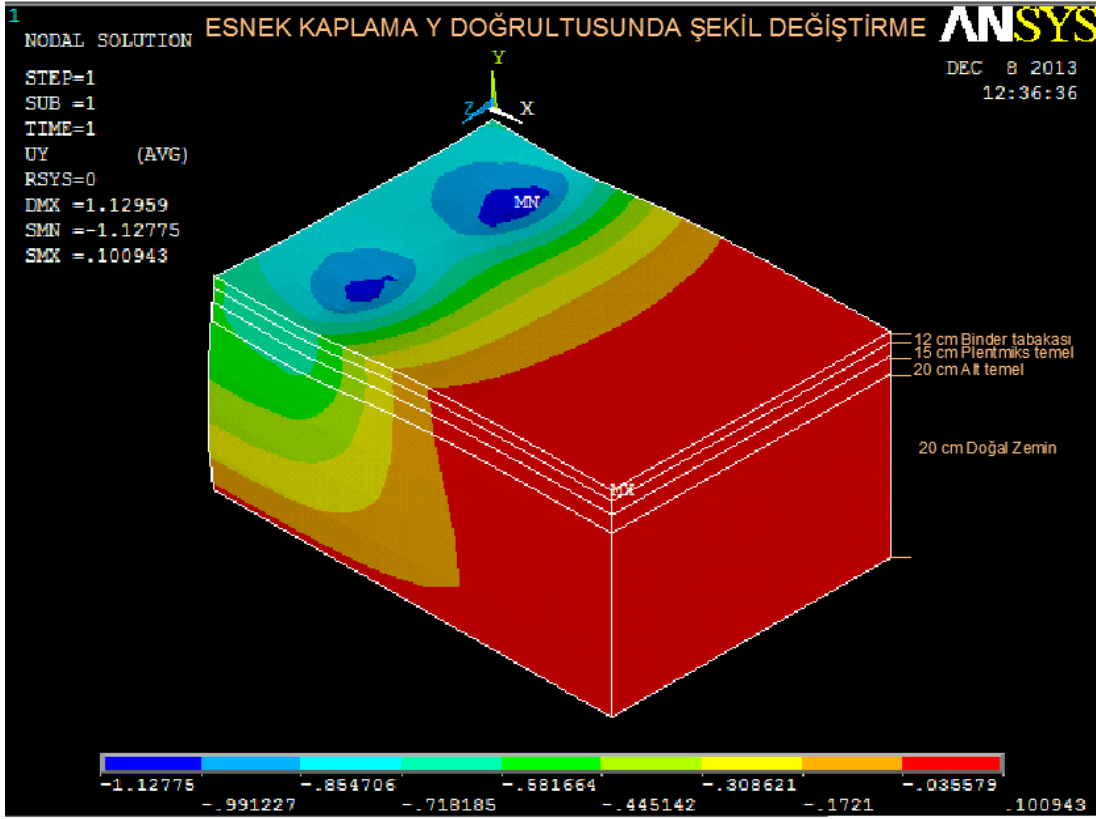
Şekil 3.12. Rijit kaplamalarda y doğrultusunda gerilmeler.



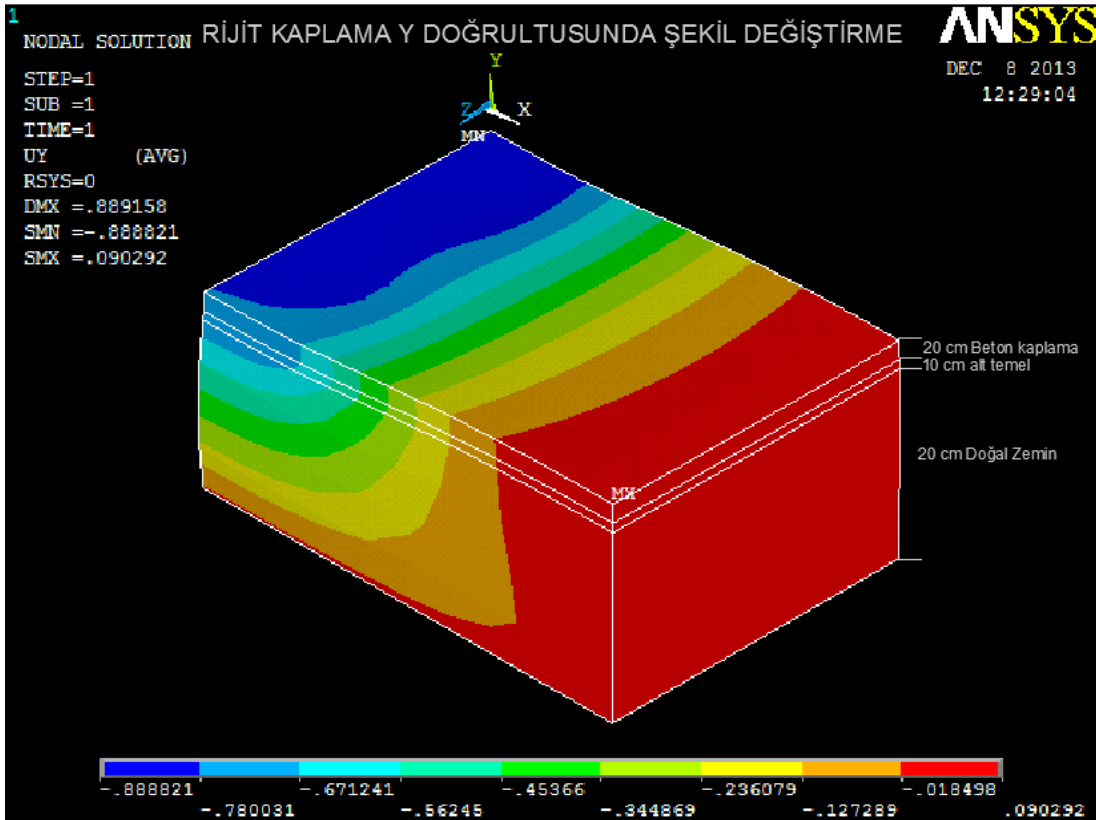
Şekil 3.13. Esnek kaplamada y doğrultusunda şekil değiştirmeler.



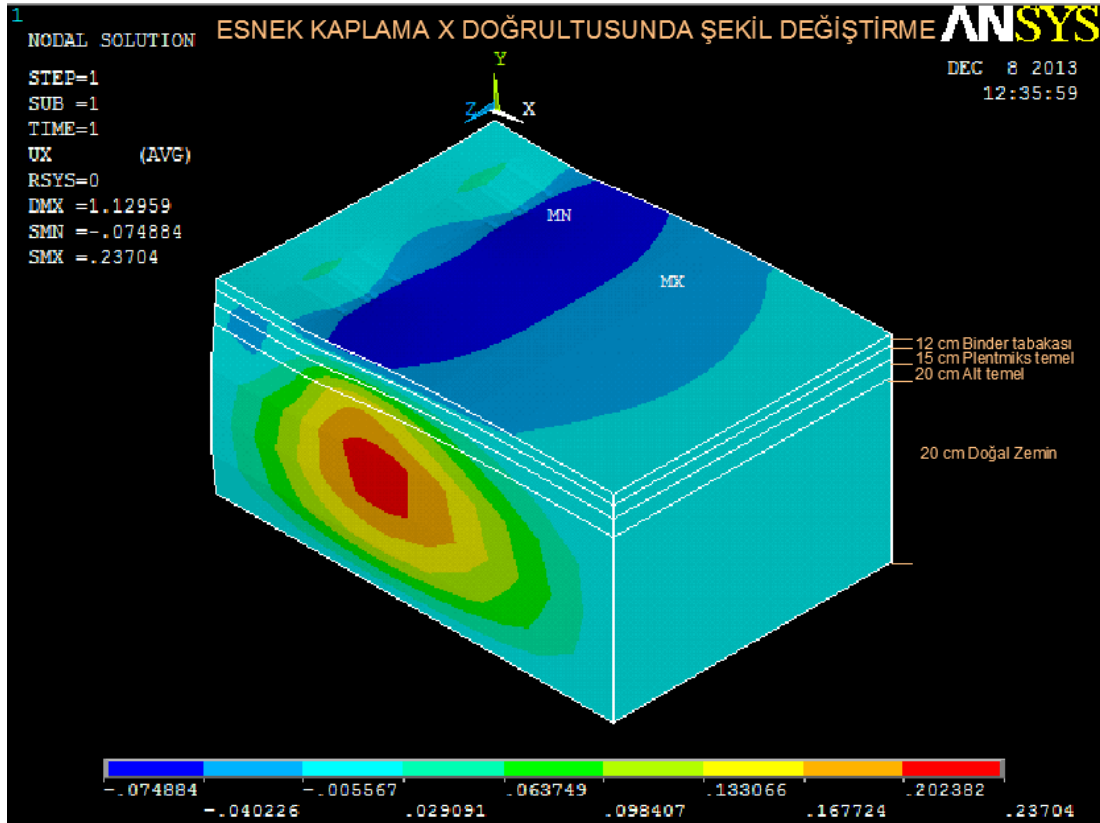
Şekil 3.14. Rijit kaplamalarda y doğrultusunda şekil değiştirmeler.



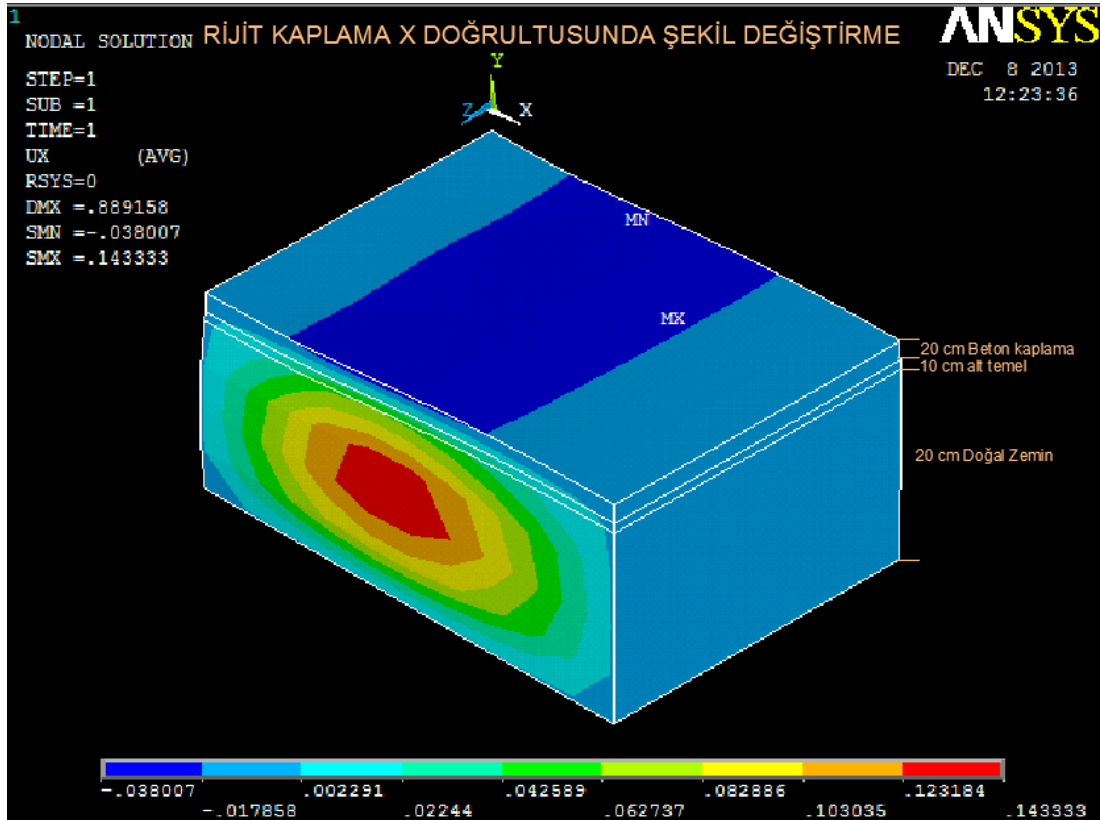
Şekil 3.15. Esnek kaplamada y doğrultusunda oluşan şekil değiştirmeler.



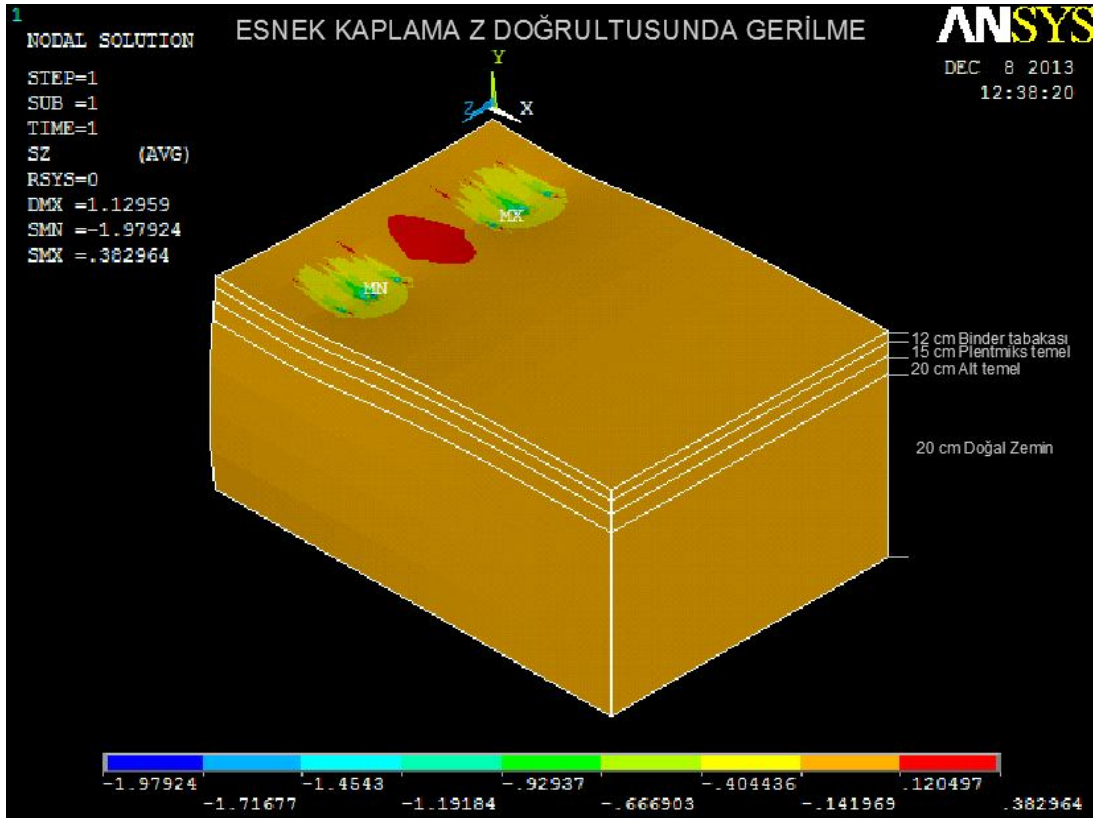
Şekil 3.16. Rijit kaplamada y doğrultusunda oluşan şekil değiştirmeler.



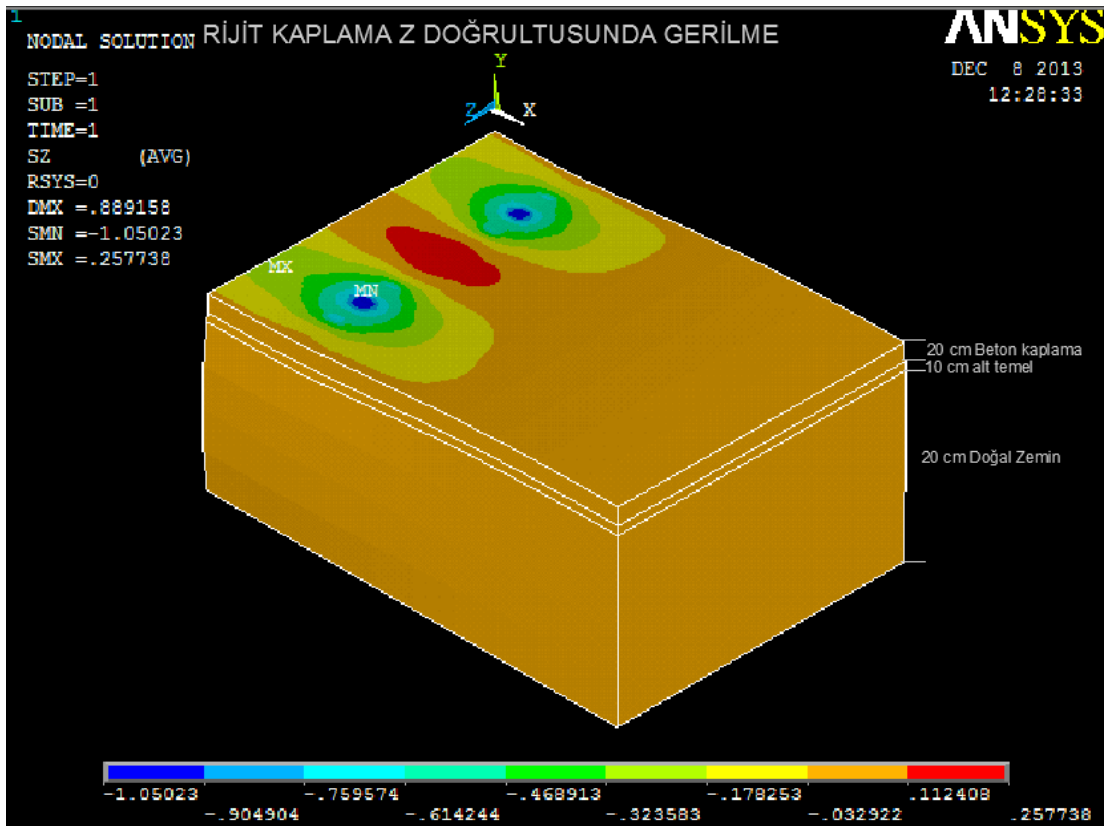
Şekil 3.17. Esnek kaplamada x doğrultusunda oluşan şekil değiştirmeler.



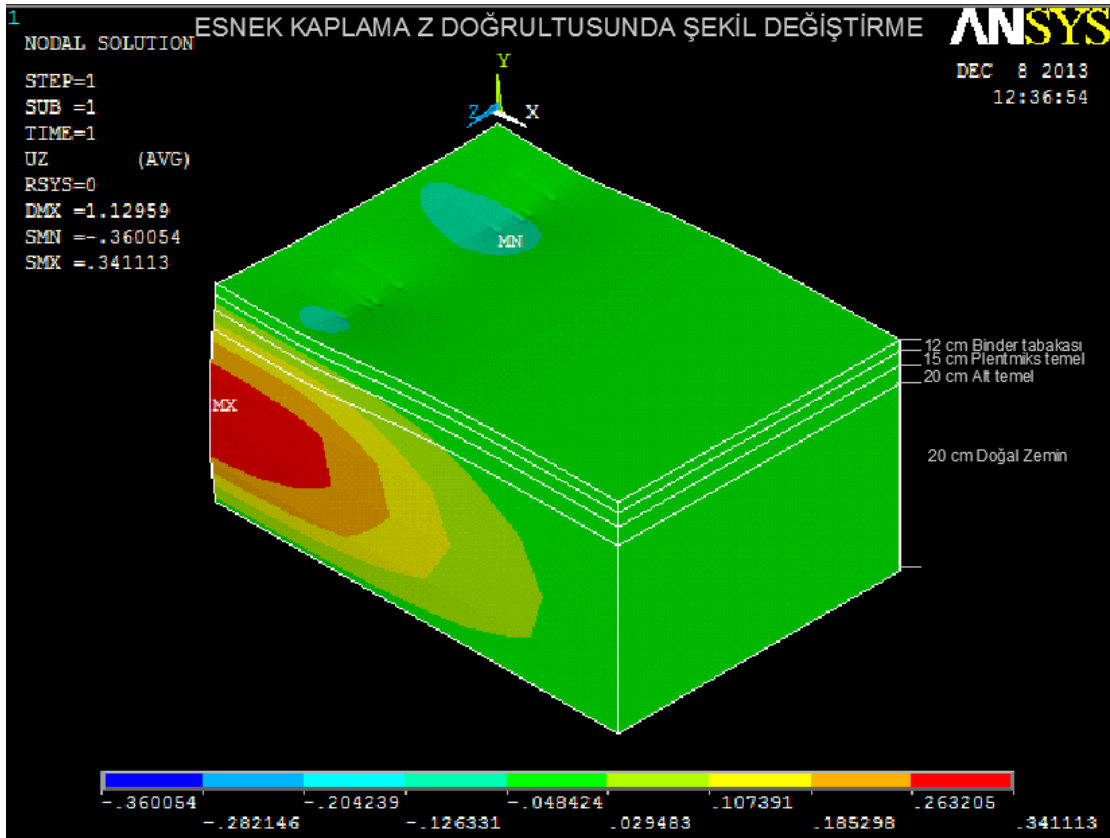
Şekil 3.18. Rijit kaplamada x doğrultusunda oluşan şekil değiştirmeler.



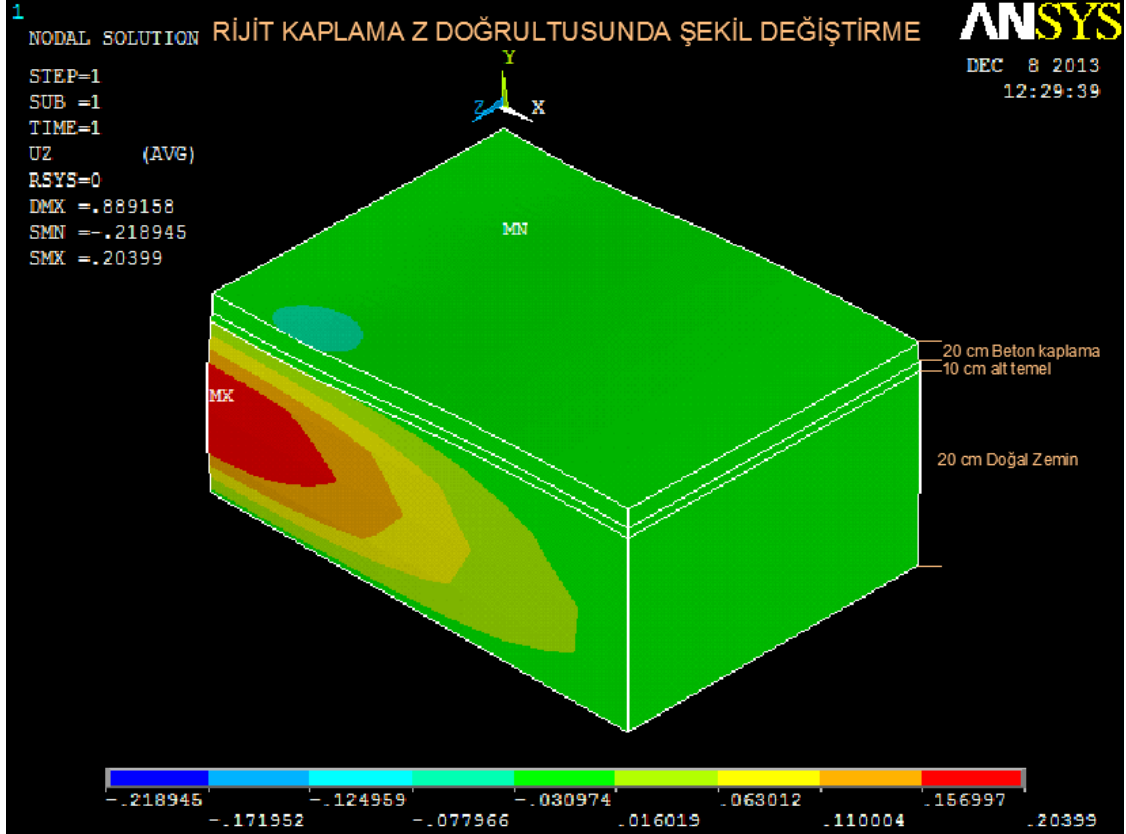
Şekil 3.19. Esnek kaplamada z doğrultusunda oluşan gerilmeler.



Şekil 3.20. Rijit kaplamada z doğrultusunda oluşan gerilmeler.



Şekil 3.21. Esnek kaplamada z doğrultusunda oluşan şekil değiştirmeler.



Şekil 3.22. Rijit kaplamada z doğrultusunda oluşan şekil değiştirmeler.

Tablo 3.2’de rijit üstyapılarda 20 cm alttemel ve 20 cm beton kaplamanın sabit olduğu ancak beton sınıflarının (C8/10, C12/15, C16/20 ve C20/25) değiştiği modellere bakıldığında, şu şekilde gerilme ve şekil değiştirmeler oluşmuştur; Gerilme Y doğrultusunda neredeyse hiç değişmemiştir. (%0,01 oranla artmıştır) Gerilme X doğrultusunda C20/25 beton sınıfına sahip model, C8/10 beton sınıfına sahip modelden %3,3 oranında daha fazla gerilme sonucu vermiştir. Şekil değiştirmelerde ise C8/10 beton sınıfına sahip model Y doğrultusunda %0,8, X doğrultusunda %2,4 daha fazla şekil değiştirmiştir. Aynı şekilde farklı beton kalınlıklarında (15 cm, 10 cm) bu karşılaştırmalar yapıldığında benzer sonuçlar çıkmıştır. Bu durum beton ve alttemel kalınlığının aynı olduğu modellerde beton sınıfının etkisinin pek fazla olmadığını göstermektedir.

Tablo 3.2’de rijit üstyapılarda 20 cm beton kaplama altında farklı alttemel kalınlıklarına (20 cm, 10 cm ve alttemelsiz) sahip modellere baktığımızda X ve Y yönünde gerilmelerde ve y yönünde oluşan şekil değiştirmelerde ciddi bir değişiklik görülmemiş ancak alttemelsiz modelin 20 cm alttemelli modele oranla X yönünde %10,2 oranında daha fazla şekil değiştirdiği görülmüştür. Bu durum bize Türkiye’de yasal dingil yükü altında alttemelin, plaka kalınlığı arttıkça etkisinin azaldığını ancak plakaların yetersiz olduğunda etkisinin fazla olduğunu göstermektedir.

Rijit üstyapılarda sabit beton sınıfında (C20/25) beton kalınlıklarının (20 cm, 15 cm ve 10 cm) gerilme ve şekil değiştirmelerine etkisi ise şöyledir; Beton kalınlığı 10 cm olan model beton kalınlığı 20 cm olan modelden Y doğrultusunda gerilmede %25 X doğrultusunda gerilmede %136,3, Y doğrultusunda şekil değiştirme %24,9 ve X doğrultusunda şekil değiştirmede %27 orada fazla çıkmıştır. Beton kalınlığının önemini belirtmek için 15 cm beton kalınlığı ile 20 cm beton kalınlığını karşılaştırılmıştır. Buna göre beton kalınlığı 15 cm olan model beton kalınlığı 20 cm olan modelden, Y doğrultusunda gerilmede %10,7 X doğrultusunda gerilmede %40,9, Y doğrultusunda şekil değiştirme %6 ve X doğrultusunda şekil değiştirmede %12,3 oranda fazla çıkmıştır. Sonuçlara bakıldığında beton plakaların kalınlığının önemi gözükmektedir. Beton kalınlığı 10 cm olduğunda oluşan gerilmeler ve şekil değiştirmeler oldukça fazla çıkmaktadır. Arazi çalışmalarında da 10 cm olan beton kaplamaların çok fazla hasarlı olduğu görülmüştür. 15 cm beton kalınlığı 10 cm beton kalınlığına nispeten daha uygulanabilir gözükmektedir.

Sabit temel ve alttemel tabakasına sahip (20 cm temel 20 cm alttemel) esnek üstyapılarda binder tabakasının kalınlığının gerilmeye ve şekil değiştirmeye etkisi incelenmiştir. Buna göre 7 cm binder tabakası sahip modeli 12 cm binder tabakası

modelinden Y doğrultusunda gerilmeye %14,4 X doğrultusunda gerilmeye %24,4, Y doğrultusunda şekil değiştirme %10,1 ve X doğrultusunda şekil değiştirmede %2,8 orada fazla çıkmıştır. Bu durum binder tabakası kalınlığının önemini göstermektedir. Ancak rijit üstyapıların kalınlığının gerilmeye ve şekil değiştirmeye olan etkisi esnek üstyapılardan daha fazladır.

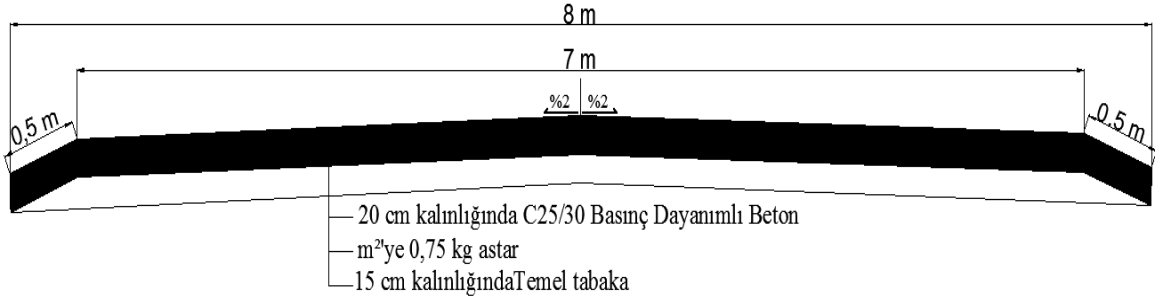
Binder tabakası ve alttemel tabakası sabit tutuklan (12 cm binder 20 cm alttemel) esnek üstyapılarda, plentmiks temel tabakasının kalınlığının gerilmeye ve şekil değiştirmeye etkisi incelenmiştir. Buna göre 15 cm plentmiks temel tabakasına sahip model 20 cm plentmiks temel tabakasına sahip modelden, Y doğrultusunda gerilmelerde fark çıkmamıştır (%0,2) X doğrultusunda gerilmeye %4,4, Y doğrultusunda şekil değiştirme %5,7 ve X doğrultusunda şekil değiştirmede %2,2 orada fazla çıkmıştır. Bu durum Türkiye’de yasal dingil yükü altında plentmiks temelin önemini göstermekte ancak binder tabakası kadar önemli olmadığını ortaya koymaktadır.

3.3. Maliyet Analizleri

Yol inşaatlarında üstyapı tipi değerlendirirken, en önemli kriterlerden biri maliyet konusudur. Üstyapılar için ekonomik ömür boyunca maliyet, ilk yapım maliyeti bakım onarım çalışmalarının maliyeti ve tekrar yapım maliyetinden oluşmaktadır. Bu üç maliyetin değerlendirilmesi ile üstyapı türü tercih edilmektedir. Karadeniz Bölgesi köy yollarında uygulanan 2013 yılı birim fiyatlarına göre yapılan maliyet analizleri sonucu şu bilgiler elde edilmiştir.

3.3.1. Rijit Üstyapı Maliyeti

Bu tez içerisinde maliyet olarak incelenen rijit üstyapıda temel 1" 'lik (2,54 cm) elekten geçen malzeme ile 15 cm kalınlığında ve yoğunluğu $2,3 \text{ t/m}^3$ olacak şekilde serilip sıkıştırılmıştır. Temel üzerine distribütör ile serilmiş astar bulunmaktadır. Astar m^2 'ye 0,75 kg serilecek şekilde hesaplanmıştır ve onun üstünde 20 cm kalınlıkta C25/30 basınç dayanımlı beton kaplama fiyat analizleri bulunmaktadır. Şekil 3.23'de görüldüğü gibi 7 metre trafik şeridi ve 1 metre hendek betonu ile 8 metre genişliğinde yol platformunu oluşturmaktadır. Hendek beton kalınlığı da 20 cm kadardır. Hendek betonu esnek kaplamalarda bulunan bankete karşılık yapılmıştır. Bu sayede karşılaştırma kriterleri birbirine benzetilmiştir. Rijit üstyapıda kullanılan malzemelerin miktarı, birim fiyatları ve kullanılan pozları Tablo 3.6'da verilmiştir. Bu pozlara göre bitüm en yakın rafine olan Batman Rafine fiyatı alınmıştır. Bitüm nakliyesi 654 km'ye göre hesaplanmıştır. Köy yolunun beton ve konkasör tesislerine ortalama uzaklığı 25 km alınmıştır.



Şekil 3.23. Maliyeti hesaplanan rijit üstyapı en kesiti

Tablo 3.6. Bir km uzunluğunda rijit üstyapı örnek maliyeti

S.No	Birim Fiyat No	İŞ AÇIKLAMASI	Ölçü	Miktar	Birim Fiyat	Tutar
1	Y.16.050/05	C25/30 Basınç Dayanımlı Beton Yol ve Tretuar Nakliye Dahil	m ³	1600,00	115,60 TL	184.960,00 TL
2	KGM/6040	1" malzemeden temel Hazırlanması	m ³	1200	22,09 TL	26.508,00 TL
3	N-042	Konkasöre yola Taş Nakli	ton	2760	9,33 TL	25.750,80 TL
4	N-122	Bitüm Nakli (Batman-Depo)	ton	5,25	133,10 TL	698,78 TL
5	N-042	Depo şantiye astar nakli	ton	5,25	9,33 TL	48,98 TL
6	04.610/1B	Bitüm Bedeli	ton	5,25	1.120,00 TL	5.880,00 TL
7	21.001	Ahşaptan yapılan seri kalıp	m ²	400	8,05 TL	3.220,00 TL
8	4365	Sarıncılı vagon, tanker, kamyon ve roley tank gibi kaplarda taşınan malzemenin dep.	ton	5,25	1,75	9,1875
9	4393	Distribütör makinesi ile astar malzemesi püskürtülmesi (Boru ile)	da	1	41,83	41,83
1 km Rijit üstyapı KDV HARİÇ TOPLAM FİYAT :					247.117,58 TL	

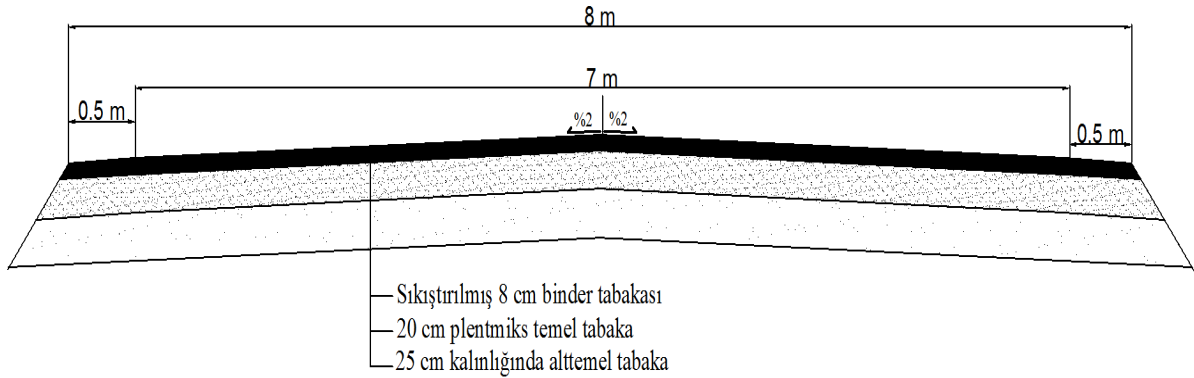
Tablo 3.7'de dozaja ve kalınlığa göre farklı fiyatlar gözükmektedir. Bu tablodan anlaşılacağı üzere aynı plak kalınlığında dozajın 200 ile 350 kg/m³ arasında olması ile oluşan fiyat farkı, aynı dozajda beton plak kalınlığının 15 cm yerine 25 cm olması arasındaki fiyat farkından daha azdır. Bu nedenle beton yolların kalınlıklarını azaltmaya yönelik çalışmalar yapmak maliyet açısından daha önemlidir. Ayrıca taban zemini eski beton olan yerlerde veya eski esnek kaplamaların üzerlerine rijit kaplamalar yapılmaktadır. Bu kaplamalardan bazılarında temel yapılmamaktadır. Bu nedenle Tablo 3.7'nin son iki satırı temelsiz 15 cm ve 20 cm beton plak fiyatları verilmiştir.

Tablo 3.7. 1 km uzunluğunda rijit kaplamalı yolun 1 m³ betonda kullanılan çimento dozajlarının ve beton plak kalınlıklarının fiyata etkisi. (Temel kalınlığı 15 cm)

Dozaj kg/m³	200	250	300	350
Kalınlık cm				
15	199.432,18 TL	204.748,18 TL	209.992,18 TL	217.492,18 TL
17	215.842,18 TL	221.866,98 TL	227.810,18 TL	236.310,18 TL
20	240.457,18 TL	247.545,18 TL	254.537,18 TL	264.537,18 TL
22	256.867,18 TL	264.663,98 TL	272.355,18 TL	283.355,18 TL
25	281.482,18 TL	290.342,18 TL	299.082,18 TL	311.582,18 TL
Temelsiz 15 cm Beton Kaplama			140.213,78 TL	184.758,78 TL
Temelsiz 20 cm Beton Kaplama			147.713,78 TL	194.758,78 TL

3.3.2. Esnek Üstyapı Maliyeti

İkinci analiz esnek üstyapı analizidir. Esnek üstyapı analizi, Karayolları Teknik Şartnamesinde ve Esnek Üstyapı Projelendirme rehberinde tarif edilen şekilde agrega tipi ve bitüm yüzdeleri vb. seçimler ile yapılmıştır. Şekil 3.24’de detayı verilen esnek üstyapı analizi, Karadeniz Bölgesi köy yollarında uygulanmakta olan bir esnek üstyapı türüdür. 25 cm kalınlığında 2 "lik (5.08 cm) elekten geçen malzeme ile yapılmış alttemel, üzerinde 20 cm kalınlığında plentmiks temel ve üzerinde sıkıştırılmış kalınlığı 8 cm olan binder tabakası inşa edilerek yapılan üstyapı kaplaması incelenmiştir. Köy yollarında genellikle aşınma tabakası yapılmamaktadır. 7 metre trafik şeridi ve 1 metrede banketler ile toplam platform genişliği 8 metredir. Esnek üstyapıda kullanılan malzemelerin miktarı, birim fiyatları ve kullanılan pozları Tablo 3.8’de verilmiştir. Tabloda tabakaların renkleri farklı verilmiştir. Buna göre ilk kısım binder tabakası ikinci kısım temel tabakası ve son kısım alttemel tabakasıdır. Bu pozlara göre bitüm en yakın rafine olan Batman Rafine fiyatı alınmıştır. Bitüm nakliyesi 654 km’ye göre hesaplanmıştır. Alttemel ve temel için sıkıştırılmış yoğunluk 2,2 ton/m³ alınmıştır. Binder tabakası için sıkıştırılmış yoğunluk 2,3 ton/m³ alınmıştır. Köy yolunun plent ve konkasör tesislerine ortalama uzaklığı 25 km alınmıştır.



Şekil 3.24. Maliyeti hesaplanan esnek üstyapı en kesiti.

Tablo 3.8. Bir km uzunluğa sahip plentmiks temel ve alttemel ile yapılmış esnek üstyapı maliyeti (Renkler alttemel, temel ve kaplama olarak ayrılmıştır.)

S. No	Birim Fiyat No	İŞ AÇIKLAMASI	Ölçü	Miktar	Birim Fiyat	Tutar
1	KGM/6200-A	Bitümlü Sıcak Temel Karışım Malzemelerinin Temini (Kırılmış ve Elenmiş Ocak Taşı ile) (Tip-A)	Ton	1472	14,80 TL	21.785,60 TL
2	KGM/4378	Beton ve her nevi asfalt yolların makine ile süpürülmesi	da	8	11,36 TL	90,88 TL
3	KGM/4440	Plentte karışımın hazırlanması finişerle serilmesi sıkıştırılması	ton	1472	28,43 TL	41.848,96 TL
4	N-042	Konkasörden Plente Agregası Nakli	ton	1398,4	9,33 TL	13.047,07 TL
5	N-042	BSK yola Nakli	ton	1472	9,33 TL	13.733,76 TL
6	N-122	Bitüm Nakli	ton	73,6	133,10 TL	9.796,16 TL
7	04.610/1B	Bitüm Bedeli	ton	73,6	1.120,00 TL	82.432,00 TL
8	KGM/6100/3	Plentmiks Temel Hazırlanması (Kırılmış ve elenmiş Ocak taşı ile)	ton	3520	23,29 TL	81.980,80 TL
9	N-042	Konkasörden Yola Agregası Nakli	ton	3520	9,33 TL	32.841,60 TL
10	KGM/6030	Alttemel Yapılması (Kırılmış ve Elenmiş Ocak taşı ile)	m ³	2000	12,24 TL	24.480,00 TL
11	N-042	Konkasöre yola Agregası Nakli	ton	4400	9,33 TL	41.052,00 TL
1 km Esnek üstyapı KDV HARIÇ TOPLAM FİYAT:					363.088,33 TL	

Esnek üstyapıların farklı temel ve binder kalınlıklarına göre maliyetleri tablo 3.9'da verilmiştir. Buna göre binder kalınlığının artması, temel kalınlığının artmasından daha fazla mali külfete neden olmaktadır. Temel kalınlığının 15 cm binder kalınlığının 5 cm ve alttemel kalınlığının 25 cm olan esnek üstyapı modelin maliyeti, rijit üstyapının 15 cm temel ve 20 cm beton kaplamalı modelinden daha maliyetlidir. Tablo 3.9'da son satır olarak temelsiz ve alttemelsiz farklı binder tabakalarının fiyatları verilmiştir. Karadeniz Bölgesi köy yollarında temelsiz ve/veya alttemelsiz binder uygulamaları yapılmaktadır. Örneğin daha önce stabilize yol olarak hizmet veren yollarda alttemel olmadan esnek kaplama yapılmaktadır. Yine daha önce rijit kaplama yapılmış yollarımızda rijit kaplamalar ekonomik ömürlerini bitirdiklerinde veya yolun konforunu arttırmak için eski rijit kaplama üzerine alttemelsiz ve temelsiz 5-6 cm binder tabakası yapılmaktadır.

Tablo 3.9. 1 km uzunluğunda sabit alttemel kalınlığında (25 cm) esnek üstyapılarda farklı temel ve binder kalınlıklarına ait maliyetler.

Binder cm	12	10	8	7	6	5
Temel cm						
25	483.116,21 TL	437.455,32 TL	391.794,43 TL	368.963,99 TL	346.113,54 TL	323.303,10 TL
20	454.410,61 TL	408.749,72 TL	363.088,83 TL	340.258,39 TL	317.427,94 TL	294.597,50 TL
15	452.705,01 TL	380.044,12 TL	334.383,23 TL	311.552,79 TL	288.722,34 TL	265.891,90 TL
Temel ve Alttemelsiz			182.734,43 TL	159.903,99 TL	137.073,54 TL	114.243,10 TL

3.3.3. Esnek ve Rijit Üstyapı Maliyet Karşılaştırması

Esnek üstyapıların taşıma gücü, alttemel ve temelin taşıma gücü kadardır. Bu nedenle esnek üstyapılarda alttemel ve temel kalınlığı oldukça önemlidir. Alttemel ve temelin önemi, esnek üstyapıları rijit üstyapılardan daha maliyetli olmasına neden olan faktörlerden biridir. Karadeniz Bölgesinde özellikle zemin yapısı, eğim ve suyun drenajı nedeniyle alttemel ve temel kalınlıkları diğer bölgelere oranla daha fazla olmaktadır. AASHTO içerisinde, esnek üstyapının tasarımında bölgesel faktör değeri bulunmaktadır. Bu faktör drenaj yağış ve yükseltiye göre değişmektedir. Bölgesel faktör değerini değiştiren üç etkende Karadeniz Bölgesinde bulunmaktadır. Bu faktörün büyük çıkması, daha fazla plak kalınlığı ihtiyacını doğurmaktadır. [57] Esnek üstyapılarda, temel yapımı sırasında petrol türevi kullanılması maliyeti daha da arttırmaktadır. Köy yollarında temel yapımında petrol türevi kullanılması, aşınma tabakası yapılması veya aşınmayı engellemek için katkı malzemeleri kullanılması maliyeti daha fazla arttırmaktadır. Ancak Karadeniz Bölgesi köy yollarında bu seçenekler fazla tercih edilmemektedir.

Karadeniz Bölgesinde köy yollarında 30 yılı aşkın süredir hizmet veren rijit üstyapılar bulunmaktadır. Bu durum maliyetin diğer önemli konusu olan ekonomik ömrü boyutunda, rijit üstyapıyı esnek üstyapıya oranla oldukça üstün kılmaktadır. Ayrıca rijit kaplamalı üstyapı ile yapılan köy yollarında bakım onarım masraflarının da nerdeyse hiç olmadığı tespit edilmiştir. Esnek kaplamalar çeşitli etkiler nedeniyle daha kısa ekonomik ömürlere sahiptir. Ortalama bir bitümlü sıcak karışım 15 yıllık bir tasarım ömrü vardır. Ancak bölgenin fiziksel etkileri nedeniyle bu ömür azalmaktadır. Yine esnek kaplamalarda bakım onarım çalışmaları bir veya iki senede bir yapılmalıdır. Aksi halde oluşan

bozulmalar daha da büyüyerek yolun daha kolay bozulmasına ve ekonomik ömrünün daha da kısılmasına neden olabilir.

3.3.4. Bakım Onarım Maliyetleri

Karadeniz Bölgesi köy yolları fiziksel etkilerden, diğer bölgelerimizde bulunan köy yollarımıza göre daha fazla etkilenmektedirler. Bu etkiler sonucu Karadeniz Bölgesinde bakım onarım çalışmalarının maliyetleri oldukça fazla artmaktadır. Bölgede yol üstyapısının eğiminin ve yağışların fazla olması sonucu hendekler, kutu menfezler, açık kasisler ve köprüler gibi sanat yapılarında bakım onarımı gerekmektedir. Aksi halde yol üstyapısının bozulmasına neden olan durumlar ortaya çıkmaktadır. Özellikle bölgelerde hendekler yıllık otlar, yamaç molozu ve benzeri malzemeler ile dolmakta ve çalışamaz hale gelmektedir. Bu nedenle yıl içinde köy yollarının büyük kısmında regraj çalışması yapılması gerekmektedir. Çeşitli nedenlerle taban zemininde veya temellerde oluşan oturmalar ve yamaç akmaları, esnek kaplamaların bozulmasına neden olmaktadır. Bu bozulmalar kısa sürede düzeltilmelidir.

Türkiye Cumhuriyeti Karayolları tarafından hazırlanmış olan “2005-2010 Yılları Arası Devlet ve İl Yolları Bakım-İşletme Harcamaları Analizi” adlı rapor incelendiğinde Karayolları 10. Bölge olan Doğu Karadeniz Bölgesi 17 bölge içersinde en fazla bakım-işletme masrafları yapılan 3 bölgeden biri durumundadır. Rapor içerisinde Doğu Karadeniz Bölgesinde 2011 yılında ihale edilerek yapılan bakım-işletim masrafları 11.410 TL/km Türkiye Cumhuriyeti Karayollarının kendi çalışan ve ekipmanı ile yaptığı bakım-işletim masrafları 16.585 TL/km toplam masrafın ise 27.995 TL/km olduğu görülmektedir. Yine aynı raporda Doğu Karadeniz Bölgesinde 2010 yılı esnek üstyapı yolların bakım onarım masrafı 14.261 TL/km olarak verilmiştir. Karayolu Genel Müdürlüğünün gelişmiş teknolojiler kullanılarak büyük projeler ile hazırlanan devlet ve il yollarında, bakım onarım masraflarının ne kadar fazla olduğu ortadadır [58]. Köy yollarında projelendirme süreci KGM’de yapıldığı gibi işlememektedir bu nedenle köy yolları dış etkilerden daha fazla etkilenmektedir. Ayrıca köy yollarında ihaleli bakım onarım yapılmadığından, maliyetler biraz daha fazla olmaktadır.

3.3.5. Üstyapı Kaplamalarının 30 Yıllık Toplam Maliyetleri

Tablo 3.12’de Karadeniz Bölgesinde bir köy yolunun farklı üstyapı tiplerine göre otuz yıllık ömürleri incelenmiştir. İnceleme yapılan yol 8 metre genişliğinde (Esnek kaplama 7 metre trafik şeridi 1 metre banket, rijit kaplamalarda 7 metre trafik şeridi 1 metre hendek) ve 1 km uzunluğundadır. Bölgenin fiziksel özellikleri ve aşınma tabakası yapılmaması nedeniyle Karadeniz illerinin genelinde bitümlü sıcak karışımdan yapılan kaplamalar ortalama 15 yılda yıpranmakta ve yeni bir binder tabakası ihtiyacı doğmaktadır. Eski binder tabakası kullanılmaz hale geldiğinden sökülüp taşınmakta ve gerekli yerlerde temel ve alttemel güçlendirilmesi yapılarak tekrar binder tabakası yapılmaktadır. Yine her sene oluşan çatlak ve çökmelerin tamiri gerekmektedir. Aksi halde bu çatlak ve çökmeler hızla büyüyerek kaplama ömrünü 15 yıldan daha kısa süreye indirmektedir. Esnek kaplamalı üstyapılarda, kaplama kalitesi de ekonomik ömrünü etkilemektedir. Şekil 3.25’de karşılaştırılması yapılan rijit üstyapıların ömrü 30 yıl kabul edilmiştir. Zira bölgede 30 yılı yakın zamandır hizmet veren rijit kaplamalı yollar bulunmaktadır. Bu yollardan alınan numuneler basınç dayanımının düşük ve teknik olarak yetersiz oldukları görülmüştür. Teknik yapılacak rijit üstyapıların ekonomik ömürleri 30 yılı geçecektir. 30 yıllık maliyet hesabı yapılan esnek üstyapı 25 cm alttemel üzerine 20 cm plentmiks temel ve en üst kısımda 8 cm sıkıştırılmış kalınlıklı binder tabakasına göre ilk yapım maliyeti hesaplanmıştır. Rijit üstyapılarda ise 15 cm astar serilmiş temel üzerine 25 cm C25/30 beton kaplama yapılmıştır. Üstyapı kalınlıkları, Tablo 2.3’de verilen AASHTO formülleri kullanılarak üstyapı kalınlıkları esinlenilerek ve köy yollarında uygulanan yöntemlere göre oluşturulmuştur. Rijit üstyapılara trafik yükü bakımından denk olması ve bölgenin olumsuz etkilerinden daha az etkilenmesi için plentmiks temelli esnek üstyapı seçilmiştir. Tablo 2.3’de AASHTO’ya göre derzli donatısız rijit üstyapı ile esnek üstyapının 8,2 ton standart dingil yükünün tekrar sayısına göre kaplama kalınlıkları verilmiştir. Bu tabloda verilen yük tekrür sayılarının en küçüğü ekonomik ömrü boyunca 3-10 milyon defadır. Karadeniz Bölgesinde hiç bir köy yolumuz bu yük tekrür sayısına ulaşmamaktadır. Ancak dingil yükümüzün ağırlığı ve diğer çeşitli olumsuz etkiler göz önüne alınarak bu tekrür sayısını hesaplara altlık yaparak maliyet analizlerini şekillenmektedir. Ayrıca tabloda verilen değerler Karadeniz Bölgesi köy yolların da uygulanan kaplama kalınlıkları ile örtüşmektedir. Ancak aşınma tabakası köy yollarında uygulanmamaktadır. Bu nedenle hesaplara alınmamıştır. Alternatif üstyapı tipi olarak kompozit üstyapıların maliyeti verilmiştir. Rijit

üstyapılar tamamen bozulmadan, 20. senede üzerine esnek kaplama yapılarak kompozit üstyapı oluşturulmuştur. Kompozit üstyapının sıkıştırılmış binder kalınlığı 8 cm olacak şekilde inşa edilmiştir. Bu şekilde yolun konforu arttırılmaya çalışılmıştır. Kompozit üstyapılarda ilk 20 yıl rijit üstyapı bakım onarım masrafı sonraki 10 yıl esnek üstyapı bakım onarım masrafı hesaba katılmıştır.

Samsun ve Trabzon İl Özel İdarelerinden alınan bilgiler ışığında, ortalama iki yılda bir esnek kaplamalara bakım onarım çalışması yapılmaktadır. Bu çalışmalar kimi yerde her sene kimi yerlerde 3-4 senede bir olmaktadır. Ortalama bir köy yolunda, bakım onarım için 10 ile 20 m³ plentmiks düzeltme tabakası kullanılmaktadır. Yolun bozulma oranına göre bu rakam değişmektedir. Bir m³ plentmiks düzeltme tabakasının yaklaşık maliyeti tablo 3.10'da verilmiştir. Maliyet hesabını yapılan köy yolumuzda 1 km bakım onarım çalışmasında 15 m³ malzeme kullanılmıştır. 1 m³ fiyatı tablo 3.10'da 341,16 TL olarak verilmiştir. Bu durumda 15 m³ malzemenin fiyatı 5.117,4 TL'dir. Tablo 3.10'da verilen fiyatlar çeşitli kurumların 2013 birim fiyatlarıdır. [59] Ancak astar ve bitüm fiyatı 2011 yılına ait rayiç bedellerdir. Tablo 3.11'de ise regraj temizlik çalışmasının yaklaşık maliyeti verilmiştir. Regraj ve temizlik çalışması, yol hendeklerinin, platformunun, drenaj sistemlerinin ve sanat yapılarının temizlenmesini içermektedir. Gerek esnek üstyapı, gerekse rijit üstyapılarda regraj ve temizlik çalışması her yıl bakım onarım masrafı olarak eklenmiştir. Türkiye Cumhuriyeti Karayolları tarafından hazırlanmış olan "2005-2010 Yılları Arası Devlet ve İl Yolları Bakım-İşletme Harcamaları Analizi" adlı raporda 10. Bölgede asfalt kaplamalı il ve devlet yollarının bakım onarım masrafı 11.410 TL/km'dir. Bu fiyat esnek kaplamalı köy yollarının bakım onarım masrafının yaklaşık 2 katı kadardır.

Tablo 3.10. 2013 fiyatlarına göre 1 m³ plentmiks düzeltme tabakası yaklaşık maliyeti

Sıra	Poz No	İşin Cinsi	Ölçü	Miktarı	B.Fiyatı	Tutar
1	04.610/1B	MC 800 Bitüm Bedeli	ton	0,067	2.122,50	142,21
2	04.610/1G	MC 30 Astar Bedeli	ton	0,024	2.403,75	57,21
3	4358	Katı bitümlü malzemenin sarnıç veya tanklarda ısıtılması	ton	0,067	28,53	1,91
4	4365	Sarnıçlı vagon, tanker, kamyon ve roley tank gibi kaplarda taşınan malzemenin depolanması	ton	0,091	1,75	0,16
5	4375	Beton ve her nevi asfalt yolların dışındaki yolların el ile süpürülmesi	1000m ²	0,010	495,00	4,95
6	4393	Distribütör makinası ile astar bitümlü malzemesi püskürtülmesi (Boru ile)	1000m ²	0,005	41,83	0,21
7	4394	Distribütör makinası ile astar bitümlü malzemesi püskürtülmesi (El ile)	1000m ²	0,005	93,80	0,47
8	4102	Ocak taşından konkasörle kırılmış ve elenmiş 25 mm (1") lik temel malzemesi temini	m ³	1,000	12,81	12,81
9	4270	Mineral filler hazırlanması	ton	0,050	26,25	1,31
10	4440	Büyük plent ünitesi ile bitümlü düzeltme tabakası karışımlarının hazırlanması, greyderle serilmesi ve silindirle sıkıştırılması	ton	2,300	28,43	65,39
11	N-042	Temel malzemesinin nakli (Konkasör-Şantiye 25 km)	ton	2,20	9,33	20,53
12	N-042	Mineral Filler Nakli (25 km)	ton	0,05	9,33	0,47
13	N-042	Plentmiks Nakli (25 km)	ton	2,300	9,33	21,46
14	N-122	Bitümlü malzeme Nakli (Batman 654 km)	Ton	0,09	133,10	12,09
KDV hariç m³ maliyet toplam:					341,16 TL	

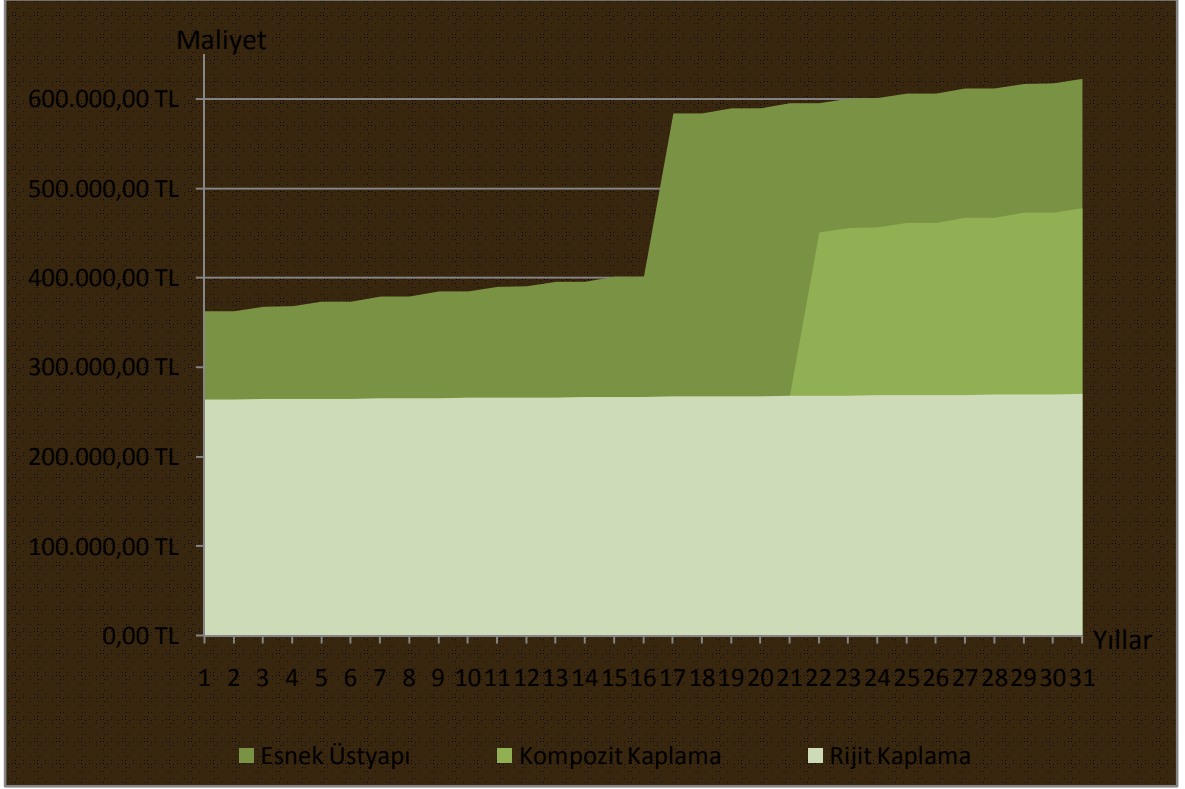
86

Tablo 3.11. 2013 fiyatlarına göre 1 km köy yolu ve temizlik yaklaşık maliyeti

Sıra	Poz No	İşin Cinsi	Ölçü	Miktarı	B.Fiyatı	Tutar
1	03.508	Greyder 1 saat çalışma	saat	1,000	68,16	68,16
2	03.520	MC 30 Astar Bedeli	saat	1,000	67,64	67,64
3	03.538/2	Katı bitümlü malzemenin sarnıç veya tanklarda ısıtılması	saat	1,000	67,53	67,53
1 km regraj çalışması toplam:					203,33 TL	

Tablo 3.12. Üç farklı kaplama türü 30 yıl maliyeti.

Yıl	25 cm Alttemel 20 cm Plentmiks Temel 8 cm Binder	Rijit Üstyapı 20 cm temel 20 cm C25/30 Beton	Kompozit Kaplama İlk 20 Sene Rijit sonra 8 cm Binder
	BSK (TL)	Beton (TL)	Kompozit Kap. (TL)
0	363.088,33	264.537,18	264.537,18
1	363.291,66	264.740,51	264.740,51
2	368.612,39	264.943,84	264.943,84
3	368.815,72	265.147,17	265.147,17
4	374.136,45	265.350,50	265.350,50
5	374.339,78	265.553,83	265.553,83
6	379.660,51	265.757,16	265.757,16
7	379.863,84	265.960,49	265.960,49
8	385.184,57	266.163,82	266.163,82
9	385.387,90	266.367,15	266.367,15
10	390.708,63	266.570,48	266.570,48
11	390.911,96	266.773,81	266.773,81
12	396.232,69	266.977,14	266.977,14
13	396.436,02	267.180,47	267.180,47
14	401.756,75	267.383,80	267.383,80
15	401.960,08	267.587,13	267.587,13
16	584.694,51	267.790,46	267.790,46
17	584.897,84	267.993,79	267.993,79
18	590.218,57	268.197,12	268.197,12
19	590.421,90	268.400,45	268.400,45
20	595.742,63	268.603,78	268.603,78
21	595.945,96	268.807,11	451.338,21
22	601.266,69	269.010,44	456.658,94
23	601.470,02	269.213,77	456.862,27
24	606.790,75	269.417,10	462.183,00
25	606.994,08	269.620,43	462.386,33
26	612.314,81	269.823,76	467.707,06
27	612.518,14	270.027,09	467.910,39
28	617.838,87	270.230,42	473.231,12
29	618.042,20	270.433,75	473.434,45
30	623.362,93	270.637,08	478.755,18



Şekil 3.25. 3 Farklı kaplama türünün grafik ile maliyet karşılaştırması.

Tablo 3.12’de verilere bakıldığında, 30 yıllık ömürleri içerisinde esnek üstyapı, rijit üstyapıya oranla ilk yapım, bakım onarım ve tekrar yapım maliyetlerinin toplamında yaklaşık % 130 daha maliyetli çıkmıştır. Maliyet analizlerimiz bize Karadeniz Bölgesinde köy yollarında rijit üstyapının esnek üstyapıya oranla daha uygun olduğunu göstermiştir. Bunun birçok nedeni vardır ama en önemlilerinden iki tanesi şudur; Karadeniz Bölgesinde temel ve alttemel seviyesi derin olmakta bu durum esnek kaplamaları daha çok etkilediğinden maliyetini arttırmaktadır. İkincisi ise son on senede esnek kaplamanın genelde ham maddesi olan petrolün fiyatının, rijit kaplamanın genelde ham maddesi olan çimentoya oranla çok yüksek fiyat artışıdır. Ayrıca ekonomik ömür içinde değerlendirildiği zaman bölgede köy yollarında rijit kaplama daha uzun yaşamaktadır. Kompozit üstyapıların 30 yıllık maliyetleri, esnek kaplamalardan % 30 daha az çıkmıştır.

4. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

4.1. Deneysel Çalışmalar

Rijit kaplamalardan alınan numuneler üzerine uygulanan basınç dayanım deneylerinden elde edilen sonuçlar neticesinde, Karadeniz Bölgesi köy yollarında hizmet veren rijit kaplamaların, beton kalitesinin çok düşük olduğu tespit edilmiştir. Numunelerin geneli C12/15 beton sınıfında çıkmıştır. Vatandaşın kendi imkânları ile döktüğü Bulak Soğuksu mevkiinde C8/10 beton sınıfı değerleri görülmüştür. Kırılan numunelerin kırılma yüzeyleri ve kırılma çatlakları incelenerek basınç değerlerinin çok düşük çıkma nedenleri değerlendirilmiştir. Buna göre agrega kalitesizliği, hatalı granülometre ve su-çimento-agrega oranları tespit edilmiştir. Alınan numunelerde beton plakların kalınlıklarının yetersiz olduğu tespit edilmiştir. Plak kalınlığının ortalama 15 cm olması, fiziksel etkilerin plaklar üzerine daha fazla bozulmalara neden olduğu görülmüştür. Bu bilgilere rağmen yolların ortalama 20 yıldır hizmet verdiği görülmüştür. Bölgede hazır beton firmalarının yaygınlaşması neticesinde pürüzsüz agrega yerine kaliteli kırma taş ve yassılık indeksi gibi istenilmeyen özelliklerden arındırılmış agrega üretimi git gide yaygınlaşmıştır. Ayrıca hazır beton sayesinde çimento su agrega oranı ayarlanmış beton hazırlanabilmektedir. Bunun yanı sıra hazır beton içerisinde agrega gradasyonu en uygun olacak şekilde ayarlanmaktadır. Su çimento ve agrega karıştırma işlemi de araçlar vasıtasıyla yapıldığından uygun karışımlar elde edilmektedir. Alınan numunelerde numune boyu arttıkça, beton basınç dayanımı da arttığı görülmüştür. Beton kaplama kalınlığı en az 20 cm ve C20/25 yapıldığında yolların çok daha uzun ömürlü olacağı tespit edilmiştir. Bu noktada üzerinde araç trafiği diğer köy yollarına oranla fazla olan bir köy yoluna teknik yeterliklere sahip, hazır betondan yapılacak bir rijit kaplama yapılması ve bu beton yolun belirli zaman aralıklarında alınan numuneler ile incelenmesi neticesinde fiziksel etkilerin beton plaklar üzerine etkisi daha net görülebilir.

4.2. Sonlu Elemanlar Yöntemi

Sonlu elemanlar çalışması ile incelenen rijit ve esnek üstyapı modellerinde, aynı dingil yükü altında karşılaştırma yapılmıştır. Bu modellere göre çıkan sonuçlar şu şekildedir;

Modeller içerisinde en az gerilme ve şekil değiştirme sonuçları veren esnek ve rijit modeller karşılaştırılmıştır. Bu modeller esnek üstyapıda 12 cm binder 20 cm temel ve 20 cm alttemel tabakalarından oluşmaktadır. Rijit kaplamada ise 20 cm beton plak 20 cm temel tabakalarından oluşmaktadır. Bu modellerde esnek üstyapı rijit üstyapıdan kalınlık olarak %30 daha fazla kalınlığa sahiptir. Esnek kaplama daha fazla üstyapı kalınlığına sahip olmasına rağmen, düşey yönde % 127,7 ve yatay yönde % 23,20 daha fazla gerilmeye maruz kalmıştır. Ayrıca esnek üstyapı, rijit üstyapıdan düşey yönde % 19,7 ve yatay yönde % 55,6 daha fazla şekil değiştirmiştir.

Karadeniz Bölgesi köy yolları genelinde kullanılan esnek üstyapı modeli olan 8 cm binder 20 cm temel ve 20 cm alttemel ile rijit üstyapı modeli olan 20 cm beton ve 15 cm temelden oluşan modeller karşılaştırıldığında; Esnek üstyapı rijit üstyapıdan kalınlık olarak %20 daha fazla kalın olduğu görülmüştür. Esnek kaplama daha fazla üstyapı kalınlığına sahip olmasına rağmen, düşey yönde % 154 ve yatay yönde % 46 daha fazla gerilmeye maruz kalmıştır. Ayrıca esnek üstyapı, rijit üstyapıdan düşey yönde % 28 ve yatay yönde % 59,1 daha fazla şekil değiştirmiştir. Farklı modellerin hepsinde rijit kaplamalar daha düşük üstyapı kalınlığı ile daha düşük gerilme ve şekil değiştirme sonuçları vermiştir.

Rijit üstyapı modellerini kendi içerlerinde değerlendirildiğinde beton kalınlığının artması, gerilme ve şekil değiştirmeleri düşürdüğü görülmüştür. Gerilme ve şekil değiştirmeler beton plaklarda çimento dozajının artması veya temel tabakasının kalınlığının artmasıyla da düşmektedir. Beton kalınlığının artması, dozajın artması ve temel kalınlığının artmasından, gerilme ve şekil değiştirme değerlerinin düşmesinde daha etkili olduğu görülmüştür.

Bu çalışmada kullanılan model geliştirilebilir. Özellikle yükü hareketli ve tekrar eden yük olarak alınması gerçeği daha çok yansıtacaktır. Ayrıca esnek kaplamalar elastik kabul edilmeden, visko-elasto-plastik malzeme ile modellenmesi gerçeğe çok daha yakın sonuçlar verecektir.

4.3. Maliyet Karşılaştırması

Bölgede uygulanan rijit ve esnek kaplamaların 2013 yılı kamu kuruluşlarının yayınladığı fiyatlarına göre maliyetleri çıkartılmış ve köy yollarında ilk yapım maliyeti olarak rijit kaplamanın, esnek kaplamadan % 37 daha az maliyetli olduğu görülmüştür. Son senelerde petrol fiyatlarının hızlı artışı bunun en büyük nedenidir. Ayrıca bölgede iklim ve benzeri nedenlerden dolayı yol ömrü hesaba katılarak 30 yıllık ömürleri boyunca rijit kaplamanın esnek kaplamadan ilk yapım bakım onarım ve yeniden yapım maliyeti olarak, %130 oranla daha az maliyetli olduğunu göstermiştir. 30 yıllık ömürde maliyet farkını bu denli artmasının sebebi, esnek kaplamaların her sene ciddi bir bakım onarım ihtiyacı duyması ve 15. Senede binder tabakasının yenilenmesidir. Rijit kaplamanın bölgede ekonomik ömrü bittiğinde alttemel veya temel olarak kullanıldığını da hesaba katarak çıkartılan kompozit kaplama maliyetinin ise esnek kaplama maliyetinden yaklaşık %30 daha az maliyetli olduğu görülmüştür. Sonuç olarak bölgenin uzun vadede köy yolları sıkıntılarını çözmek için rijit kaplama yapımı maliyet açısından da tercih edilmelidir.

5. KAYNAKLAR

1. Tunç, A., Kaplama Mühendisliği ve Uygulamaları, 1. Baskı, Asil Yayın Dağıtım, Ankara, 2004
2. Umar, F. ve Yayla, N., Yol İnşaatı, 4. Baskı, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul, 1994
3. T.C. Bayındırlık ve İskân Bakanlığı Karayolları Genel Müdürlüğü, Karayolu Teknik Şartnamesi 2006, Yayın No: 267, Karayolları Genel Müdürlüğü Matbaası, Ankara, 2006.
4. THBB Beton Yollar Çalışma Grubu, Beton Yollar, Türkiye Mühendislik Haberleri, 427. Sayı, 2003, Syf 38-44
5. Özkan, Ş., Kimyasal Etkilere Dayanıklı Çimento Üretimi Üzerine Bir Araştırma, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, 2009
6. Açar, E., Süttaş, İ. ve Öztaş, G., Beton Yollar (Rijit Yol Üstyapıları) İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Matbaası, 1998
7. <http://www.asnud.org.tr/asfalt.php?sayfa=27> Türkiye Asfalt Müteahhitleri Derneği 05.Ocak.2014
8. Yeğınobalı, A., Niçin Beton Yol, Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği Arge Enstitüsü, Ankara, 2009
9. Güngör, A.G., Sağlık, A. ve Ünal, N. , Karayolları Genel Müdürlüğü Beton Yol Deneme Kesimleri Performans Deęerlendirmesi, 2. Karayolları Ulusal Kongresi, 11-13 Ekim 2011, Ankara, Syf 71-85
10. The British In-sitü Concrete Paving Association, Cement&Concrete Association in Pavement Construction, BCA Crowthorne, Berkshire, 2002
11. Ecevit, O., Karayollarında Rijit Üstyapı Uygulamaları ve Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2007
12. Giriş, Ü., Esnek Üstyapılar İle Rijit Üstyapıların Teknik Ve Ekonomik Yönden Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara
13. American Association of State Highway and Transportation Officials, AASHTO Guide for Design of Pavement Structures., Washington, D.C.: 1993
14. Kuloğlu, N., Kök, B.V., Yılmaz, M. ve Tanyıldızı, M. AASHTO Metodunda Rijit Üstyapı Kaplama Kalınlığına Etki Eden Parametrelerin İncelenmesi, Fırat Üniversitesi Elazığ 2011
15. The Indian Concrete Journal, Çeviren: Akakın T. THBB Teknik Ofis Sorumlusu, Almanya'daki Beton Otoyolların Yapım ve Tasarımında Son Gelişmeler (Şubat 2002)

16. Kumbasar, S., Dünyada Beton Yollar, Hazır Beton Dergisi Türkiye Hazır Beton Birliği, Eylül-Ekim Syf: 110-113
17. Darter, M.I., Report on The 1992 U.S. Tour of European Concrete Highways, Federal Highway Administration FHWA-SA-93-012, Washington, DC, January 1993
18. Huber, G.A., Kriech, J.A. ve Selçuk, S., Karışım Tasarım Teknolojilerinin Üstyapı performansına etkileri: Karayolu Ulaşımının Geleceği İçin Önemi, 2. Karayolları Ulusal Kongresi 11-13 Ekim 2011, Ankara, Syf 132-141
19. Temren, Z., Asfalt Üstyapıların Südürülebilirliği, 2. Karayolları Ulusal Kongresi, 11-13 Ekim 2011, Ankara, Syf 30-40
20. 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
21. Türkiye’de Bulunan Çimento Fabrikaları
<http://www.tcma.org.tr/index.php?page=icerikgoster&cntID=99> Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği 05.Ocak.2014
22. Avcı, E., Karayolu Üstyapı Seçim Metodolojisinin Maliyet Ve Teknik Çerçevede Analizi, 2. Karayolları Ulusal Kongresi, 11-13 Ekim 2011, Ankara, Syf 120-131
23. Ilıcalı, M., Tayfur, S., Özen, H., Sönmez, İ. ve Eren, K., Asfalt ve Uygulamaları, İsfalt Bilimsel Yayınları No:1 , İstanbul Büyükşehir Belediyesi, İstanbul, 2001
24. Tunç, A., Esnek Kaplama Malzemeleri Elkitabı, 1. Baskı, Asil Yayın Dağıtım, Ankara, 2004
25. Yurt, M., Trafik Yükleri Köyolları Güzergah Seçimi Esnek Üstyapılarda Oluşan Yüzey Bozuklukları, Köy Yolları Çalıştay Bildirimler Kitabı, 15-16 Aralık 2011, Sinop Syf: 6-10
26. Lav, A.H., Mekanistik-Ampirik Beton Yol Tasarımı İçin Gerekli Temel Bilgiler, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul
27. Whiteoak, D., Çeviren: Lav, A.H., Lav, M.A., Bitüm El Kitabı, İsfalt Bilimsel Yayınları No:3 İstanbul Büyükşehir Belediyesi, İstanbul, 2004
28. Danış, D., Demografi: Nüfus Meselelerine Sosyolojik Bir Bakış, Galatasaray Üniversitesi, İstanbul
29. Can, H., Köy Yolları, Köy Yolları Çalıştay Bildirimler Kitabı, 15-16 Aralık 2011, Sinop
30. Köy Yolları Hakkında İstatistiksel Bilgiler <http://www.tuik.gov.tr> Türkiye İstatistik Kurumu, 11.Kasım.2013
31. Karahasan, T.Z., Genel Değerlendirme, Köy Yolları Çalıştay Bildirimler Kitabı, 15-16 Aralık 2011, Sinop Syf: 15
32. <http://www.ayancikgazetesi.com> Ayancık Gazetesi, 11.Kasım.2013

33. Köy yolları Yönetmeliği Samsun İl Özel İdaresi Altyapı Daire Başkanlığı, Samsun, 2008
34. Özdemir, M.A., Karadeniz Bölgesi Köy Yolları Sorunları Sosyolojik Nedenleri Köy Yolları Çalıştayı Bildirimler Kitabı, 15-16 Aralık 2011, Sinop Syf: 4-5
35. Şentürk, N. ve Acar, H., Orman Yol Ağları, Heyelanlar Ve Mühendislik Jeolojisi, İ.Ü.Orman Fakültesi Dergisi, cilt.75, ss.71-84, 1995
36. Ünsal, N., İnşaat Mühendisleri İçin Jeoloji, Alp Yayınevi, 2. Baskı Ankara, 2006
37. Tunç, A., Yol Güvenlik Mühendisliği ve Uygulamaları, 1. Baskı, Asil Yayın Dağıtım, Ankara, 2004
38. Koruge Boru fiziksel özellikleri, http://www.altyapisistemleri.com/index2.php?sayfa_id=101&u=sahinler-insaat_100423c0&k_id=1003&id=775&lng=1 Şahin İnşaat Altyapı, 05.Ocak.2014
39. Sert, T. ve Akpınar, M.V., Investigation Geogrid Aperture Size Effects On Subgrade Subbase Stabilization Of Asphalt Pavements, Baltic Journal, 2012
40. Akpınar, M.V. ve Benson, C.H., Textured Surface and Strain Rate Effects on Geomembrane and Geotextile Interface Shear Strength at Different Temperatures, Journal of Geotextiles and Geomembranes, Elsevier, Vol.23, pp. 443-453, 2005.
41. Sert T. ve Akpınar, M.V., Analysis of Geogrid Performance on Highway Subbase with Special Designed Pullout Test, IMO Journal, Cilt 22 Sayı 1, Ocak, 2011
42. Akpınar, M.V., Effects of Truck Load Position on Longitudinal Joint Deterioration, Indian Journal of Engineering Matrials Science, IJEMS, Vol. 15, pp. h41-50, 2008
43. Oruç, Ş., Çelik, F. ve Akpınar, M.V., Effect of Cement on Emulsified Asphalt Mixtures, Journal of Materials Engineering and Performance, Vol.16, Number 5/, 578-583, 2007
44. Mehta, P.K., Concrete, Prentice-Hall Inc. USA
45. Erdoğan, T.Y., Beton, Middle East Technical University Press, Ankara, 2003
46. Mindess, S. ve Young, J.F., Concrete, Prentice- Hall Inc., New Jersey, USA, 1981.
47. Karaşahin, M., Bitümlü Karışımların Mekanik Özelliklerinin Laboratuarda Ölçülmesi, 15. Yıl Sempozyumu, Çukurova Üniv. Müh. Mim. Fak. Adana, 1994
48. Umar F. ve Ağar, E., Yol Üstyapısı, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul 1991
49. Yoder, E.J., Principles of Pavement Design, John Wiley & Sons Inc. New York
50. Onaran, K., Malzeme Bilimi, Bilim Teknik Yayınevi, İstanbul, 1999
51. Gevrek, L., Yol Katmanlarında Meydana Gelen Gerilme Dağılımının Ansys Bilgisayar Programı İle Nonlinear Sonlu Eleman Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Kocatepe Üniversitesi, Afyon, 2008

52. Özcanan, S. ve Akpınar, M.V., Esnek Üstyapılarda Kritik Tekerlek ve Aks Konfigurasyonunların Mekansitik Analizlere Göre Tespit Edilmesi, sayfa 6625, IMO Journal, Cilt 25 Sayı 1, Ocak, 2014
53. Karayolları Trafik Yönetmeliği, T.C. Bayındırlık ve İskân Bakanlığı Karayolları Genel Müdürlüğü, Ankara, 1997
54. Pintea, A. ve Traian, O., Elastic Deformation Of Concrete. Determination Of Secant Modulus Of Elasticity In Compression, Technical University of Cluj-Napoca, Napoca, Romanya, Eylül,2012
55. www.trabzonozelidare.gov.tr Trabzon İl Özel İdaresi Faaliyet Raporu, Trabzon, 05 Ocak 2014
56. Uğurlu, A., Türk Standartlarında Beton Kabul Kriterleri Arasındaki Çelişkiler, Türkiye Mühendislik Haberleri, Sayı 439-440, Mayıs Haziran 2005, Syf: 60-66
57. American Association of State Highway and Transportation Officials, AASHTO Guide for Design of Pavement Structures, Washington, D.C.: 1986
58. Türkiye Cumhuriyeti Karayolları, 2005-2010 Yılları Arası Devlet ve İl Yolları Bakım-İşletme Harcamaları Analizi, Ulaşım Maliyetleri Verimlilik Şube Müdürlüğü, Mart, 2012
59. Yüksek Fen Kurulu Başkanlığı, 2013 Yılı İnşaat ve Tesisat Birim Fiyatları, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara, 2013

6. EKLER

Ek Şekil 1. Trabzon ZafenoZ Grup Köy Yolu. Numunelerin alındığı güzergah üzerinde yol kalınlığı



Ek Tablo 1. 2005-2010 yılları arası Karayolları Genel Müdürlüğü'nün personeli tarafından (Emanet) yapılan bakım onarım maliyetleri [58].

BÖLGELER	2005			2006			2007			2008			2009			2010			ORTALAMA ASFALT YOL BAKIM BİRİM MALİYETİ (TL/KM)
	Bakım (Km.)	Asfalt Yol Bakım Harcaması (TL)	Birim Maliyet (TL/KM)	Bakım (Km)	Asfalt Yol Bakım Harcaması (TL)	Birim Maliyet (TL/KM)	Bakım (Km)	Asfalt Yol Bakım Harcaması (TL)	Birim Maliyet (TL/KM)	Bakım (Km)	Asfalt Yol Bakım Harcaması (TL)	Birim Maliyet (TL/KM)	Bakım (Km)	Asfalt Yol Bakım Harcaması (TL)	Birim Maliyet (TL/KM)	Bakım (Km)	Asfalt Yol Bakım Harcaması (TL)	Birim Maliyet (TL/KM)	
1	3.422	34.717.009	10.145	3.323	38.965.473	11.726	3.294	51.514.895	15.639	3.280	42.531.711	12.967	3.276	35.469.481	10.827	3.421	40.157.386	11.739	12.174
2	5.056	40.226.397	7.956	5.020	38.327.823	7.635	5.023	44.848.361	8.929	5.000	41.304.263	8.261	5.014	51.832.892	10.338	5.040	50.248.058	9.970	8.848
3	4.968	26.132.857	5.260	4.981	26.084.546	5.237	4.981	30.931.046	6.210	5.083	28.857.281	5.677	5.077	29.984.035	5.906	5.087	29.034.532	5.708	5.666
4	3.427	33.772.390	9.855	3.430	27.055.164	7.888	3.431	28.202.418	8.220	3.453	28.596.835	8.282	3.477	33.827.417	9.671	3.515	31.825.656	9.054	8.828
5	4.676	29.106.047	6.225	4.548	26.331.056	5.790	4.527	21.269.837	4.698	4.547	25.301.535	5.564	4.509	35.754.828	7.930	4.499	37.904.580	8.425	6.439
6	3.761	25.830.105	6.868	3.711	26.723.343	7.201	3.718	29.054.555	7.815	3.718	31.237.327	8.402	3.635	27.090.491	7.453	3.709	30.042.877	8.100	7.640
7	4.203	32.126.097	7.644	4.276	34.005.183	7.953	4.278	37.607.809	8.791	4.287	36.256.397	8.457	4.276	43.148.324	10.091	4.324	40.628.243	9.396	8.722
8	3.333	30.598.022	9.180	3.333	30.891.152	9.268	3.432	34.107.399	9.938	3.382	40.754.303	12.050	3.402	36.859.704	10.835	3.401	40.199.487	11.820	10.515
9	3.676	31.972.631	8.698	3.712	36.650.642	9.874	3.883	31.107.141	8.011	3.887	23.982.630	6.170	3.886	37.963.814	9.769	3.980	39.942.438	10.036	8.760
10	2.351	29.577.389	12.581	2.416	28.611.349	11.842	2.536	32.386.453	12.771	2.576	33.761.304	13.106	2.683	35.336.866	13.171	2.730	38.931.996	14.261	12.955
11	2.268	23.552.254	10.385	2.296	24.388.585	10.622	2.413	23.269.638	9.643	2.409	28.428.969	11.801	2.451	26.948.067	10.995	2.542	29.803.271	11.725	10.862
12	3.026	29.566.942	9.771	3.051	31.238.421	10.239	3.101	33.932.364	10.942	3.127	32.751.266	10.474	3.142	35.820.331	11.400	3.174	38.707.224	12.196	10.837
13	3.343	31.764.173	9.502	3.346	26.453.706	7.906	3.335	28.669.028	8.596	3.333	25.549.117	7.666	3.337	29.374.669	8.803	3.340	28.564.317	8.552	8.504
14	4.567	39.741.341	8.702	4.572	36.465.712	7.976	4.578	43.138.812	9.423	4.576	44.198.246	9.659	4.594	57.827.835	12.588	4.646	46.450.867	9.998	9.724
15	2.748	25.936.991	9.438	2.790	26.017.258	9.325	2.839	26.988.785	9.506	2.810	26.988.898	9.604	2.810	33.261.180	11.837	2.828	33.806.301	11.883	10.266
16	2.557	21.291.588	8.327	2.558	20.439.791	7.991	2.656	24.122.965	9.082	2.831	22.608.787	7.986	2.894	25.870.283	8.939	2.890	28.939.105	10.014	8.723
GENEL TOPLAM	57.382	485.912.232	8.468	57.363	478.649.202	8.344	58.025	521.149.104	8.981	58.299	513.106.868	8.801	58.463	576.170.217	9.855	59.126	584.984.338	9.893	9.057

Ek Tablo 2. 2005-2010 yılları arası Karayolları Genel Müdürlüğü ihaleli yapılan bakım onarım maliyetleri [58].

BÖLGELER	2005			2006			2007			2008			2009			2010			ORTALAMA İHALELİ BAKIM BİRİM MALİYETİ (TL/KM)
	Bakım (Km)	Toplam İhaleli Harcama (TL)	Birim Maliyet (TL/KM)	Bakım (Km)	Toplam İhaleli Harcama (TL)	Birim Maliyet (TL/KM)	Bakım (Km)	Toplam İhaleli Harcama (TL)	Birim Maliyet (TL/KM)	Bakım (Km)	Toplam İhaleli Harcama (TL)	Birim Maliyet (TL/KM)	Bakım (Km)	Toplam İhaleli Harcama (TL)	Birim Maliyet (TL/KM)	Bakım (Km)	Toplam İhaleli Harcama (TL)	Birim Maliyet (TL/KM)	
1	3.453	8.015.156	2.321	3.354	8.248.887	2.459	3.311	12.899.727	3.836	3.297	10.514.457	3.189	3.292	19.144.236	5.815	3.429	30.223.624	8.827	4.408
2	5.105	11.578.022	2.268	5.063	15.018.129	2.966	5.069	13.498.848	2.663	5.044	15.092.701	2.992	5.054	22.672.829	4.486	5.080	25.503.568	5.042	3.403
3	5.018	12.342.104	2.460	5.025	8.875.755	1.766	5.005	8.424.349	1.683	5.094	10.481.673	2.058	5.086	6.908.745	1.358	5.089	20.063.772	3.954	2.213
4	3.486	6.278.852	1.801	3.489	6.657.605	1.908	3.496	8.190.349	2.343	3.512	15.908.132	4.530	3.489	11.411.786	3.271	3.521	24.299.347	6.924	3.463
5	4.883	9.577.885	1.961	4.897	5.041.961	1.073	4.673	5.750.627	1.231	4.673	8.477.051	1.814	4.633	11.889.443	2.566	4.626	24.340.980	5.381	2.338
6	3.808	8.992.266	2.361	3.758	7.615.092	2.026	3.759	9.812.626	2.610	3.759	7.342.255	1.953	3.667	8.211.949	2.239	3.724	12.869.779	3.464	2.442
7	4.394	10.344.790	1.987	4.413	12.698.829	2.878	4.408	14.236.391	3.230	4.418	16.357.540	3.702	4.397	18.440.346	4.194	4.455	46.802.208	10.660	4.442
8	3.798	9.429.676	2.483	3.817	10.323.493	2.705	3.854	12.755.981	3.310	3.735	22.918.873	6.136	3.735	23.346.507	6.251	3.730	48.992.629	14.179	5.844
9	4.082	14.939.453	3.660	4.106	11.681.057	2.845	4.161	15.326.613	3.683	4.173	10.118.018	2.425	4.204	19.595.437	4.661	4.282	30.622.640	7.803	4.179
10	2.821	15.838.576	5.615	2.893	34.724.804	12.003	3.020	27.104.959	8.975	3.027	33.076.656	10.927	3.136	27.731.791	8.843	3.187	63.528.657	22.095	11.410
11	2.990	10.402.966	3.479	2.990	7.482.007	2.502	2.990	10.771.580	3.603	2.990	15.945.247	5.333	2.986	24.792.743	8.303	2.986	70.465.961	27.318	8.423
12	3.500	9.522.669	2.721	3.506	8.154.540	2.326	3.392	7.939.261	2.341	3.324	5.741.470	1.727	3.317	6.725.586	2.028	3.316	16.921.749	5.269	2.735
13	3.391	9.174.380	2.706	3.377	9.578.730	2.836	3.374	10.036.576	2.975	3.372	11.462.219	3.399	3.375	12.276.299	3.637	3.377	33.990.772	10.109	4.277
14	4.605	9.161.491	1.989	4.610	7.266.445	1.576	4.641	9.181.340	1.978	4.640	10.280.390	2.216	4.656	10.047.997	2.158	4.707	21.460.893	4.607	2.421
15	2.827	12.870.740	4.553	2.869	8.031.497	2.799	2.868	10.242.883	3.571	2.839	11.168.607	3.934	2.839	16.137.480	5.684	2.864	51.523.604	18.166	6.451
16	2.890	9.927.081	1.289	2.889	8.222.876	2.846	2.900	6.981.250	2.407	3.032	10.516.394	3.468	3.050	10.806.315	3.543	3.061	26.691.831	9.222	3.796
GENEL TOPLAM	61.051	168.394.108	2.758	60.856	169.621.505	2.787	60.921	182.953.340	3.003	60.929	215.401.685	3.535	60.916	250.139.488	4.106	61.434	548.101.994	9.258	4.241

Ek Tablo 2. 2005-2010 yılları arası Karayolları Genel Müdürlüğü'nün toplam yapılan bakım onarım maliyetleri [58].

BÖLGELER	2005			2006			2007			2008			2009			2010			Ortalama İhaleli Birim Maliyet (TL/KM)	Ortalama Emanet Birim Maliyet (TL/KM)	Ortalama Toplam Birim Maliyet (TL/KM)
	İhaleli Birim Maliyet (TL/KM)	Emanet Birim Maliyet (TL/KM)	Toplam Birim Maliyet (TL/KM)	İhaleli Birim Maliyet (TL/KM)	Emanet Birim Maliyet (TL/KM)	Toplam Birim Maliyet (TL/KM)	İhaleli Birim Maliyet (TL/KM)	Emanet Birim Maliyet (TL/KM)	Toplam Birim Maliyet (TL/KM)	İhaleli Birim Maliyet (TL/KM)	Emanet Birim Maliyet (TL/KM)	Toplam Birim Maliyet (TL/KM)	İhaleli Birim Maliyet (TL/KM)	Emanet Birim Maliyet (TL/KM)	Toplam Birim Maliyet (TL/KM)	İhaleli Birim Maliyet (TL/KM)	Emanet Birim Maliyet (TL/KM)	Toplam Birim Maliyet (TL/KM)			
1	2.321	14.607	16.928	2.459	16.239	18.698	3.836	19.827	23.662	3.189	15.442	18.631	5.815	14.266	20.082	8.827	15.179	24.006	4.408	15.927	20.334
2	2.268	10.641	12.909	2.966	9.976	12.942	2.663	11.392	14.055	2.992	10.290	13.282	4.486	12.408	16.894	5.042	12.201	17.243	3.403	11.151	14.554
3	2.460	8.390	10.850	1.766	7.807	9.573	1.683	8.658	10.342	2.058	7.722	9.780	1.358	9.140	10.499	3.954	8.594	12.548	2.213	8.385	10.598
4	1.801	16.093	17.894	1.908	14.392	16.300	2.343	15.177	17.520	4.530	12.732	17.261	3.271	16.266	19.537	6.924	14.539	21.463	3.463	14.866	18.329
5	1.961	8.880	10.842	1.073	8.452	9.525	1.231	8.138	9.368	1.814	8.283	10.097	2.566	10.407	12.973	5.381	10.562	15.943	2.338	9.120	11.458
6	2.361	10.652	13.014	2.026	9.765	11.791	2.610	10.683	13.293	1.953	10.643	12.596	2.239	11.388	13.627	3.464	11.500	14.964	2.442	10.772	13.214
7	1.987	10.677	12.664	2.878	10.586	13.464	3.230	11.673	14.903	3.702	10.829	14.531	4.194	12.787	16.981	10.660	11.872	22.532	4.442	11.404	15.846
8	2.483	12.473	14.956	2.705	12.792	15.496	3.310	12.851	16.161	6.136	14.857	20.993	6.251	15.159	21.410	14.179	15.908	30.087	5.844	14.007	19.851
9	3.660	11.391	15.051	2.845	12.656	15.501	3.683	10.472	14.155	2.425	9.055	11.479	4.661	12.025	16.686	7.803	14.537	22.340	4.179	11.689	15.869
10	5.615	16.309	21.923	12.003	15.454	27.457	8.975	16.955	25.930	10.927	15.918	26.845	8.843	16.079	24.922	22.095	18.795	40.891	11.410	16.585	27.995
11	3.479	17.499	20.978	2.502	17.003	19.506	3.603	15.909	19.511	5.333	17.065	22.397	8.303	18.167	26.470	27.318	17.720	45.038	8.423	17.227	25.650
12	2.721	14.952	17.673	2.326	15.332	17.658	2.341	16.948	19.288	1.727	14.508	16.235	2.028	16.711	18.738	5.269	16.898	22.167	2.735	15.891	18.627
13	2.706	12.215	14.921	2.836	11.051	13.888	2.975	11.478	14.453	3.399	10.536	13.935	3.637	12.232	15.870	10.109	11.927	22.036	4.277	11.573	15.850
14	1.989	11.667	13.656	1.576	11.127	12.703	1.978	11.639	13.618	2.216	11.490	13.705	2.158	14.880	17.038	4.607	12.894	17.500	2.421	12.283	14.704
15	4.553	13.414	17.966	2.799	12.677	15.476	3.571	12.490	16.062	3.934	12.190	16.124	5.684	15.482	21.167	18.166	14.648	32.814	6.451	13.483	19.935
16	1.289	12.699	13.988	2.846	11.845	14.692	2.407	13.420	15.827	3.468	12.959	16.427	3.543	14.495	18.038	9.222	14.925	24.147	3.796	13.390	17.186
GENEL TOPLAM	2.758	12.175	14.933	2.787	11.842	14.629	3.003	12.521	15.524	3.535	11.664	15.199	4.106	13.484	17.590	9.258	14.181	23.439	4.241	12.644	16.886

ÖZGEÇMİŞ

Muhammet ÇELİK, 1984 yılında Rize'de doğdu. 2002 yılında Ankara Kalaba Anadolu Lisesinden mezun oldu. Aynı yıl Gazi Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümüne girdi. 2008 yılında mezun oldu. 2007 yılında üniversiteyi bitirmeden özel sektörde çalışmaya başladı. 2009 yılında Sinop İl Özel İdaresinde çalışmaya başladı. 2012 yılından itibaren Trabzon İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğünde çalışmaya devam etmekte. 2012 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesinde İnşaat Mühendisliği Bölümünde Yüksek Lisans Yapmaya başladı. Evli ve bir çocuk babasıdır. İyi derece İngilizce bilmektedir.