

T.C.
KASTAMONU ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI



KARAYOLU KAPLAMA TÜRLERİNİN İYİLEŞTİRİLMESİNİN
TRAFİK KAZALARINA ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI
(KASTAMONU ÖRNEĞİ)

AYSU VAPUR

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DR. ÖĞR. ÜYESİ ADEM AHISKALI

TEMMUZ - 2023

KASTAMONU

TEZ ONAYI

Aysu VAPUR tarafından hazırlanan “**KARAYOLU KAPLAMA TÜRLERİNİN İYİLEŞTİRİLMESİNİN TRAFİK KAZALARINA ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI (KASTAMONU ÖRNEĞİ)**” adlı tez çalışmasının savunma sınavı **10.07.2023** tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Danışman	Dr. Öğr. Üyesi Adem AHISKALI Kastamonu Üniversitesi
Jüri Üyesi	Prof. Dr. Hasbi YAPRAK Kastamonu Üniversitesi
Jüri Üyesi	Prof. Dr. Yüksel TAŞDEMİR Bozok Üniversitesi

Jüri üyeleri tarafından kabul edilmiş olan bu tez Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunca onanmıştır.

Enstitü Müdürü V.

Doç. Dr. Osman ÇİÇEK

TAAHHÜTNAME

Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu; ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını, bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini bildirir ve taahhüt ederim.

Aysu VAPUR

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KARAYOLU KAPLAMA TÜRLERİNİN İYİLEŞTİRİLMESİNİN TRAFİK KAZALARINA ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI (KASTAMONU ÖRNEĞİ)

AYSU VAPUR

KASTAMONU ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI
DANIŞMAN: DR. ÖĞR. ÜYESİ ADEM AHISKALI

Bu tez çalışmasının amacı, trafik yükü, iklim ve zamanla üstyapıda meydana gelmesi kaçınılmaz olan bozulma türlerinin incelenmesi, bakım onarım yöntemlerinin açıklanması ve karayolu üstyapı kaplamasının iyileştirilmesinin trafik kazalarına etkisinin istatistiksel verilerle ortaya konmasıdır. Çalışma kapsamında kaza oluşumunu azaltmak ve trafik güvenliğinin artırılması için oluşan bozulma türlerine göre yol üstyapı kaplamalarında yapılan bakım onarım ve iyileştirme çalışmaları detaylı olarak açıklanmıştır. Trafik kazalarının önlenmesinde kaplamanın en önemli özelliği yol yüzeyinin kayma direncidir. Bu çalışma kapsamında üstyapı kaplama yüzeyinde kayma direncinde azalmaya neden olan tekerlek izinde oturma, cilalanma, kuma gibi farklı bozulmalar meydana gelen üç farklı yolda sürtünme direncinin artırılmasına yönelik yapılan sathi kaplama çalışması, bitümlü sıcak karışım çalışması, yol yüzeyini pürüzlendirme çalışması Kastamonu örneği ile incelenmiş ve trafik kaza istatistikleri üzerine etkileri incelenmiştir. Yolun servis kabiliyeti arttırmaya yönelik ve trafik kazalarını önlemeye yönelik mevcut uygulanan yöntemlerin başarılı olduğu ancak bazı yönleriyle yolun olumsuz etkilendiği, bu sebeple yeni yöntemlere ihtiyaç duyulduğu ortaya çıkmış olup ülkemizde yeni denemeye başlayan microsurfacing uygulaması açıklanmıştır.

ANAHTAR KELİMELELER: Karayolu, karayolu ulaşımı, yol üstyapısı, yüzey bozulmaları, trafik kazaları

Temmuz 2023, 82 Sayfa

ABSTRACT

MSC THESIS

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF IMPROVING ROAD PAVEMENT TYPES ON TRAFFIC ACCIDENTS. (KASTAMONU EXAMPLE)

AYSU VAPUR

**KASTAMONU UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
SUPERVISOR: ASSIST. PROF. DR. ADEM AHISKALI**

The aim of this thesis is to examine, the traffic load, climate and the types of deterioration that are inevitable in the pavement over time, to explain the maintenance and repair methods and to reveal the effect of improving the road pavement pavement on traffic accidents with statistical data. Within the scope of the study, maintenance, repair and improvement works on road pavement pavements are explained in detail according to the types of deterioration in order to reduce the occurrence of accidents and increase traffic safety. The most important feature of the pavement in the prevention of traffic accidents is the slip resistance of the road surface. Within the scope of this study, surface coating work, bituminous hot mix work, road surface roughening work carried out to increase the friction resistance on three different roads, which cause different deteriorations such as rutting, polishing, vomiting, which cause a decrease in the slip resistance on the pavement pavement surface, were examined with the example of Kastamonu and the traffic The effects on accident statistics were examined. It has been revealed that the existing methods to increase the serviceability of the road and to prevent traffic accidents are successful, but the road is negatively affected in some aspects, therefore new methods are needed, and the microsurfacing application, which has just started to be tried in our country, has been explained.

KEYWORDS: Highway, road transportation, road pavement, surface distortions, traffic accidents

July 2023, 82 Page

TEŞEKKÜR

Bu tez alıőmamda Danışman Hocam Dr. Adem AHISKALI'ya teőekkürlerimi sunarım.

alıőmalarımda beni teővik eden ve destekleyen Sayın Bölge Müdürüme, Sayın Bölge Müdür Yardımcıma, Sayın Personel Müdürüme, benden bilgi ve yardımlarımı eksik etmeyen değerli Őefime teőekkürü bir borç bilirim.

Tezimi hazırlarken bilgisi ile bana desteğini bir an olsun esirgemeyen değerli çalışma arkadaőıma katkılarından dolayı ve arkadaőlarıma manevi desteklerinden dolayı teşekkür ederim.

Son olarak sadece bu çalışma sürecinde değil, tüm hayatım boyunca beni cesaretlendiren her zaman yanımda olan annem, babam ve ağabeyime sonsuz sevgi saygılarımı sunarım.

AYSU VAPUR

Kastamonu, 2023

İÇİNDEKİLER

Sayfa

TEZ ONAYI	ii
TAAHHÜTNAME	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
TABLolar DİZİNİ	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xii
1. GİRİŞ	1
2. KARAYOLU ULAŞIMI VE TRAFİK KAZALARI	2
2.1 Ülkemizde Trafik Kazalarına Neden Olan Faktörler ve Kusur Oranları	3
3. KARAYOLU ÜSTYAPISI	6
3.1 Üstyapılarda Görülen Bozulma Sınıflandırmaları.....	6
4. ESNEK ÜSTYAPILARDA GÖRÜLEN BOZULMALAR VE NEDENLERİ	8
4.1 Deformasyonlar	8
4.1.1 Tekerlek İzi Oluşumu	9
4.1.2 Ondülasyon ve Yığılma	10
4.1.3 Çökme	11
4.1.4 Kabarma.....	12
4.2 Ayrışmalar	12
4.2.1 Çukur	12
4.2.2 Sökülme	13
4.2.3 Kaygan Yüzey.....	14
4.2.3.1 Terleme (kusma)	14
4.2.3.2 Agreganın cilalı hale gelmesi.....	15
4.2.3.3 Agreganın soyulması.....	16
4.3 Çatlamalar.....	16
4.3.1 Timsah Sırtı Çatlaklar	17
4.3.2 Büzülme Çatlakları	17
4.3.3 Kenar Çatlakları	18
4.3.4 Ek Yer Çatlakları	19
4.3.5 Kayma (Ötelenme) Çatlakları	20
4.3.6 Yansıma Çatlakları	21
5. BOZULMALARIN BAKIM ONARIM YÖNTEMLERİ	22
5.1 Bitümlü Sıcak Karışımın Yeniden Kullanımı	24
5.2 Geotekstillerin Bitümlü Sıcak Karışım Takviyelerinde Kullanımı	24
5.3 Yeniden Yapım.....	24
5.4 Diğer Onarım Yöntemleri.....	25
5.4.1 Yama Yapılması	25
5.4.2 Çatlak Dolgusu ve Yalıtım	25
5.4.3 Bitümlü Koruyucu Sathi Kaplama (Seal Coat).....	26

5.4.4	Harç Tipi Kaplama (Slurry Seal)	27
5.4.5	İnce Yüzey Kaplaması (Micro-Surfacing).....	27
5.5	Bozulmaların Bakım Onarım Yönteminin Seçimi	27
5.6	Bozulma Şekline Göre Onarım Yöntemleri	29
5.6.1	Tekerlek İzinde Oturma	29
5.6.2	Ondülasyon ve Yığılma	30
5.6.3	Timsah Sırtı Çatlakları.....	30
5.6.4	Enine Çatlaklar	31
5.6.5	Kenar Çatlakları.....	32
5.6.6	Boyuna Çatlaklar	32
5.6.7	Blok Çatlakları.....	33
5.6.8	Yansıma Çatlakları	34
5.6.9	Çukur	34
5.6.10	Ayrışma, Sökülme ve Soyulma	34
5.6.11	Terleme	35
5.6.12	Cilalanma.....	36
5.6.13	Kabarma.....	36
6.	MATERYAL VE YÖNTEM.....	38
6.1	765-01 Kontrol Kesim Numaralı Yolun İncelenmesi	40
6.2	750-01 Kontrol Kesim Numaralı Yolun İncelenmesi	53
6.3	765-04 Kontrol Kesim Numaralı Yolun İncelenmesi	61
6.4	O-20 Otoyolunun İncelenmesi	64
7.	ARAŞTIRMA VE BULGULAR	70
8.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	78
	KAYNAKLAR	80
	ÖZGEÇMİŞ.....	82

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1 2010-2019 yılları arasında trafik kazasına neden olan kusur oranları	3
Şekil 3.1 Yol en kesiti	6
Şekil 4.1 Tekerlek izi (Oluk).....	9
Şekil 4.2 Ondülasyon ve yığılma	10
Şekil 4.3 Çökme	11
Şekil 4.4 Kabarma.....	12
Şekil 4.5 Çukur	13
Şekil 4.6 Sökülme	14
Şekil 4.7 Terleme-kusma	15
Şekil 4.8 Cilalanma	15
Şekil 4.9 Soyulma	16
Şekil 4.10 Timsah sırtı çatlak.....	17
Şekil 4.11 Büzülme çatlakları	18
Şekil 4.12 Kenar çatlakları.....	19
Şekil 4.13 Ek yer çatlakları	20
Şekil 4.14 Kayma çatlakları	20
Şekil 4.15 Yansıma çatlakları	21
Şekil 5.1 Yama yapılmasına ait bir görünüş	25
Şekil 5.2 Terleme (Kusma) meydana gelen kesime kum tatbik edilmesine ait bir görünüş	36
Şekil 6.1 Karayolları 15. Bölge (Kastamonu) Müdürlüğü bakım ve sorumluluk ağında bulunan yollar	38
Şekil 6.2 765-01 Kontrol kesim numaralı yol.....	41
Şekil 6.3 Yol yüzeyi pürüzlülük özellikleri	41
Şekil 6.4 Cilalanmış ve cilalanmamış agrega	41
Şekil 6.5 765-01 K. K numaralı yolda meydana gelen kusma ve cilalanma	42
Şekil 6.6 Devlet yolları trafik hacim haritası	43
Şekil 6.7 Sathi kaplamalı yollar için esnek üstyapı projelendirme formu	46
Şekil 6.8 Abak.....	47
Şekil 6.9 Bitüm sınıfı seçim haritası	48
Şekil 6.10 Kum-yama deneyi.....	49
Şekil 6.11 Çift kat sathi kaplama dizayn formu.....	50
Şekil 6.12 Sathi kaplama yapılması	52
Şekil 6.13 750-01 K.K numaralı yolun sathi kaplama yapıldıktan sonra görünüşü.....	53
Şekil 6.14 750-01 Kontrol kesim numaralı yol.....	54
Şekil 6.15 750-01 K.K. numaralı yolda meydana gelen tekerlek izinde oturma	54
Şekil 6.16 Yoldan karot alınmasına ait görünüş	55
Şekil 6.17 Yoldan alınan karot numunesine ait görünüş.....	55
Şekil 6.18 Devlet yolları trafik hacim haritası	56
Şekil 6.19 Bitüm sınıfı seçim haritası	59
Şekil 6.20 Yolun yapım aşaması.....	60
Şekil 6.21 Yolun son hali	61
Şekil 6.22 Kontrol kesim numaralı yol	62

Şekil 6.23 Yolun 0-5 km aralığı Çankırı'dan Korgun istikametine ait harita görünümü	62
Şekil 6.24 İniş aşağı ve yatay kurplu olan yola ait görünüş.....	62
Şekil 6.25 İşaretlemelerin yoğun olduğuna dair görünüş	63
Şekil 6.26 Yolun yapım aşaması.....	63
Şekil 6.27 Yolun son hali	64
Şekil 6.28 Mevcut kaplamanın deneme uygulaması öncesindeki genel durumu.....	65
Şekil 6.29 Polimer modifiye bitüm emülsiyon üretimi	65
Şekil 6.30 Mikrojet uygulama makinesi	66
Şekil 6.31 Mikrojet uygulama makinesine polimer modifiye bitüm ve su yüklenmesi	66
Şekil 6.32 Microsurfacing deneme uygulaması	67
Şekil 6.33 Microsurfacing deneme uygulaması sonunda yolun görünümü	67
Şekil 6.34 Kaplama yüzeyinde İngiliz pandülü ile yapılan BPN ölçümleri	68
Şekil 7.1 765-01 K.K numaralı yolda iyileştirme öncesi ve sonrası kaza verileri	71
Şekil 7.2 765-01 K.K numaralı yolda mevsime göre kaza verileri	71
Şekil 7.3 750-01 K.K numaralı yolda iyileştirme öncesi ve sonrası kaza verileri	73
Şekil 7.4 765-04 K.K numaralı yolda iyileştirme öncesi ve sonrası kaza verileri	76

TABLolar DİZİNİ

Sayfa

Tablo 2.1 Karayolu yol uzunlukları (km) (01.01.2023).....	2
Tablo 2.2 Trafik kazalarında kusur yüzdeleri - 2021	4
Tablo 2.3 Trafik kazalarına yol açan yol kusur oranları – 2021	5
Tablo 2.4 Meydana geliş şekline göre trafik kazaları – 2021	5
Tablo 2.5 Yolun geometrik özelliklerinin trafik kazalarına etkileri – 2021	5
Tablo 3.1 ASTM bozulma sınıflandırmaları.....	7
Tablo 5.1 Çatlaklar için bakım yöntemi seçilmesi.....	28
Tablo 5.2 Yüzey bozuklukları için bakım yöntemi seçilmesi.....	28
Tablo 5.3 Tekerlek izinde oturmaların değerlendirilmesi ve onarımı.....	29
Tablo 5.4 Ondülelerin ve yığılmaların derecelendirilmesi ve onarımı	30
Tablo 5.5 Enine çatlakların derecelendirilmesi ve onarımı	32
Tablo 5.6 Kenar çatlaklarının derecelendirilmesi ve onarımı.....	32
Tablo 5.7 Boyuna çatlakların derecelendirilmesi ve onarımı	33
Tablo 5.8 Blok çatlakların derecelendirilmesi ve onarımı	33
Tablo 5.9 Çukurun derecelendirilmesi ve onarımı.....	34
Tablo 5.10 Ayırışma, sökülme ve soyulmaların derecelendirilmesi ve onarımı.....	35
Tablo 6.1 15. Bölge yol ağı.....	38
Tablo 6.2 765-01 K.K. numaralı yolun yogt ve hız bilgileri.....	44
Tablo 6.4 750-01 K.K numaralı yolda yogt ve hız bilgileri.....	57
Tablo 7.1 765-01 K.K numaralı yolda iyileştirme çalışması öncesi kaza istatistikleri	70
Tablo 7.2 765-01 K.K numaralı yolda iyileştirme çalışması sonrası kaza istatistikleri	70
Tablo 7.3 750-01 K.K numaralı yolda iyileştirme çalışması öncesi kaza istatistikleri	72
Tablo 7.4 750-01 K.K. nolu yolda iyileştirme çalışması sonrası kaza istatistikleri	72
Tablo 7.5 765-04 K.K numaralı yolda iyileştirme çalışması öncesi kaza istatistikleri (2015)	73
Tablo 7.6 765-04 K.K. numaralı yolda iyileştirme çalışması öncesi kaza istatistikleri (2016)	74
Tablo 7.7 765-04 K.K numaralı yolda iyileştirme çalışması öncesi kaza istatistikleri (2017)	74
Tablo 7.8 765-04 K.K numaralı yolda iyileştirme çalışması sonrası kaza istatistikleri (2018)	75
Tablo 7.9 765-04 K.K numaralı yolda iyileştirme çalışması sonrası kaza istatistikleri (2019)	75
Tablo 7.10 765-04 K.K numaralı yolda iyileştirme çalışması sonrası kaza istatistikleri (2020)	75
Tablo 7.11 765-04 K.K numaralı yolda iyileştirme çalışması sonrası kaza istatistikleri (2021)	76

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Kısaltmalar

ASTM	: Amerika Test ve Malzemeler Birliği Standardı
BPT	: İngiliz Pandül Test Cihazı
BSK	: Bitümlü Sıcak Karışım
EGM	: Emniyet Genel Müdürlüğü
K.K.NO	: Kontrol Kesim Noktası
KGM	: Karayolları Genel Müdürlüğü
SK	: Sathi Kaplama
TUİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
YOGT	: Yıllık Ortalama Günlük Trafik

1. GİRİŞ

Ulaşım, yaşamımızın temel gereksinimlerinden biri olup günümüzde ulaşım sistemleri olmadan hayatın devamı düşünülemez haldedir (Arslan, 2022).

Ülkemizde ulaşımın belli başlı bölümü karayolu ağları ile sağlanmaktadır. Karayollarında güvenlik ve sürüş rahatlığını sağlayan en temel öge karayolu üstyapısı olarak görülmektedir (Kırbaş ve Karaşahin, 2016).

İyi projelendirmiş ve yapım aşamalarına özen gösterilmiş de olsa karayolu kaplaması, zamanla çevresel etkiler ve yük altında yıpranıp aşınır. Dış etkenler haricinde, kaplamayı oluşturan bileşenler ile tasarımına ait değişkenler de bu yaşlanma ve bozulmanın belli bir süre sonra ortaya çıkmasına neden olur. (Kırbaş ve Karaşahin, 2016).

Yol yüzey özellikleri, trafik güvenliği açısından büyük öneme sahiptir. Karayollarında üstyapıların zamanla bozulmaya başlaması, trafik kazalarında sayısal artışa neden olan etmenlerden biridir. Bu durumda, yol üstyapısının yenilenmesi, iyileştirme çalışmaları yapılması ve yapılacak rutin kontroller ile koruyucu önleyici bakım çalışmalarının etkin bir şekilde tatbik edilmesi, trafik kazalarının azaltılmasına yönelik çözüm olarak öne çıkmaktadır.

Bu tez çalışmasının amacı, esnek yol üstyapılarında meydana gelen bozulmaların ve bakım onarım yöntemlerinin ortaya konması ve kaplama türlerinin iyileştirilmesinin trafik kazalarına etkilerinin araştırılmasıdır.

2. KARAYOLU ULAŞIMI VE TRAFİK KAZALARI

Günümüzde ulaşımın büyük bir kısmı karayolları tarafından sağlanmaktadır. Ülkemizde toplam karayolu uzunluğu 01.01 2023 tarihi itibarıyla 3 bin 633 km otoyol, 30 bin 940 km devlet yolu ve 34 bin 116 km il yolu olmak üzere toplam 68 bin 689 km'dir. Var olan yolların büyük kısmı esnek üstyapı şeklinde inşa edilmiş olan sathi ve asfalt betonu kaplamalardır. Bu yolların %53'ü sathi kaplama, %43'ü asfalt betonu, %4'ü parke, stabilize, toprak ve geçit vermez yollardır (Karayolları Genel Müdürlüğü, 2023).

Tablo 2.1 Karayolu yol uzunlukları (km) (01.01.2023)

Yol Sınıfı	Asfalt Betonu	Sathi Kaplama	Parke	Stabilize	Toprak	Geçit Vermez	Toplam Uzunluk
Otoyollar	3.633	--	--	--	--	--	3.633
Devlet Yolları	19.701	10.869	47	22	0 000	301	30.940
İl Yolları	5.844	25.315	240	311	323	2.083	34.116
Toplam	29.178	36.184	287	333	323	2.384	68.689

Ülkemizde topografyanın engebeli olması ve iklim koşullarının sert olması çok fazla karayolu problemini meydana getirmektedir. Trafiğin, özellikle de ağır taşıt trafiğinin her geçen gün daha da artması yol üst yapısında önemli sorunlar ortaya çıkarmaktadır. Ayrıca yol yapımında kullanılan malzemelerin, beklenen performansı gösterememesi yolun hizmet ömrünü düşürmektedir. Bu nedenle bakım yapılarak yol üstyapısının dayanımının yükseltilmesi gerekmektedir.

Yollarda meydana gelen bozulmalar, büyük gayretler sarf edilerek inşa edilen karayollarının belli aralıklarla düzenli bir biçimde kontrol edilmesini ve bakım onarım çalışmalarının yapılmasını zorunlu tutmaktadır. Var olan yollarda meydana gelen bozulmalar iyileştirilerek trafik kazaları ve kayıplar azaltılmalıdır.

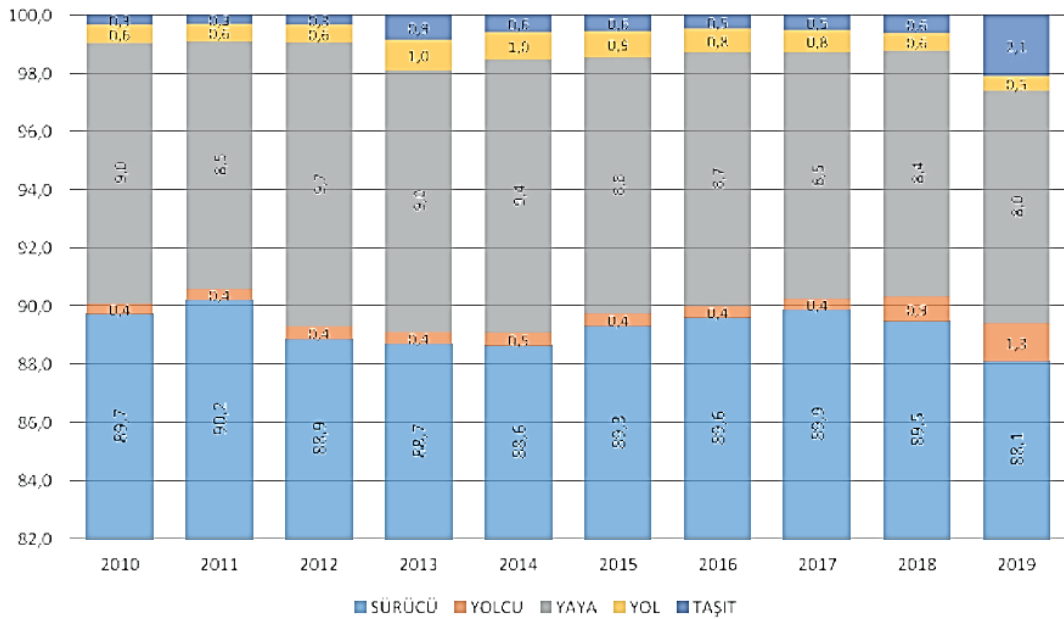
Karayolu iyileştirme çalışmalarının hedefi trafik kazaları yüzünden meydana gelen can kaybı ve maddi hasarı azaltmak, sürücülerin yolda rahat seyretmesini sağlamak ve gelişmiş ülkelerin yol ağlarına uyum sağlamaktır. Güvenli yollar; sağlık, huzur ve ekonomik kalkınma alanları açısından büyük öneme sahiptir.

2.1 Ülkemizde Trafik Kazalarına Neden Olan Faktörler ve Kusur Oranları

Trafik kazaları, sosyal açıdan büyük öneme sahip olan bir sorundur. Meydana gelen kazalar maddi ve manevi birçok olumsuz sonuca yol açar. Son zamanlarda kazaya neden olan etmenler göz önünde bulundurularak hem yol güvenliğinin sağlanması hem de sürücülerin ve yayaların farkındalığının artırılması için gerekli çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmalar sayesinde kayıpların önlenmesi için önemli adımlar atılmaktadır. (Karayolu Trafik Güvenliği Strateji Belgesi, 2021).

2021 yılı trafik kaza istatistikleri, ilgili kurumlar tarafından hazırlanan verilere dayanılarak incelenmiştir. Trafik kazası tespit tutanağına göre, trafik kazalarının meydana geldiği kaza yerleri otoyollar, devlet yolları, il yolları ve bağlantı yollarıdır. Bu kazalarda ölümlü ve yaralanmalı vakaların tamamı dikkate alınmış ve çeşitli tablolar aracılığıyla sunulmuştur. Bu tablolarda kaza sayısı, kusur oranı ve nedeni görülmektedir.

2010 ile 2019 yılları arasındaki süreçte trafik kazalarının nedenleri irdelendiğinde; trafik kazalarının gerçekleşmesinde sürücü kusur oranı %89,2; yaya kusur oranı %8,8; yolcu kusur oranı %0,6; karayolu yapısı ve araç kusur oranının %0,7 olduğu anlaşılmıştır (Karayolu Trafik Güvenliği Strateji Belgesi, 2021).



Şekil 2.1 2010-2019 yılları arasında trafik kazasına neden olan kusur oranları

Tablo 2.2 Trafik kazalarında kusur yüzdeleri - 2021

Kaza Yeri	Kaza Faktörleri	Kusur Sayısı	Yüzde %
Otoyol	Sürücü	5.413	95,00
	Yaya	117	2,05
	Taşıt	37	0,65
	Yol	2	0,04
	Yolcu	129	2,26
	Toplam	5.698	100
Devlet Yolu	Sürücü	34.213	92,99
	Yaya	1.105	3,00
	Taşıt	709	1,93
	Yol	65	0,18
	Yolcu	683	1,86
	Toplam	36.775	100
İl Yolu	Sürücü	9.174	91,60
	Yaya	313	3,13
	Taşıt	351	3,51
	Yol	30	0,30
	Yolcu	134	1,34
	Toplam	10.002	100
Bağlantı Yolu	Sürücü	805	88,95
	Yaya	53	5,86
	Taşıt	28	3,09
	Yol	4	0,44
	Yolcu	15	1,66
	Toplam	905	100
Toplam	Sürücü	49.605	92,93
	Yaya	1.588	2,97
	Taşıt	1.125	2,11
	Yol	101	0,19
	Yolcu	961	1,80
	Toplam	53.380	100

Tablo 2.3 Trafik kazalarına yol açan yol kusur oranları – 2021

Yol Kusurları	Kusur Sayısı					%
	Otoyol	Devlet Yolu	İl Yolu	Bağlantı Yolu	Toplam	
Yol Sathında Gevşek Malzeme	-	36	22	1	59	58,42
Şerit Çökmesi	1	13	1	-	15	14,85
Yolda Münferit Çukur	-	4	3	2	9	8,91
Kısmi veya Münferit Çökme	1	3	3	-	7	6,93
Tekerlek İzinde Oturma	-	6	-	-	6	5,94
Düşük Banket	-	3	1	1	5	4,95
TOPLAM	2	65	30	4	101	100

Tablo 2.4 Meydana geliş şekline göre trafik kazaları – 2021

Kaza Oluş Şekli	Kaza Sayısı				
	Otoyol	Devlet Yolu	İl Yolu	Bağlantı yolu	TOPLAM
Yoldan Çıkma	691	8.491	2.992	90	12.264
Arkadan Çarpma	1.745	5.684	658	138	8.225
Yandan Çarpma	671	6.568	1.370	168	8.777
Yayaya Çarpma	124	1.490	376	80	2.070
Karşılıklı Çarpışma	36	991	780	47	1.854
Devrilme/Savrulma/Takla	615	3.745	809	136	5.305
Engel/Cisim ile Çarpışma	728	2.076	275	82	3.161
Zincirleme Çarpışma	39	166	12	7	224
Çoklu Çarpışma	36	119	12	2	169
Park Etmiş Araca Çarpma	24	73	23	1	121

Tablo 2.5 Yolun geometrik özelliklerinin trafik kazalarına etkileri – 2021

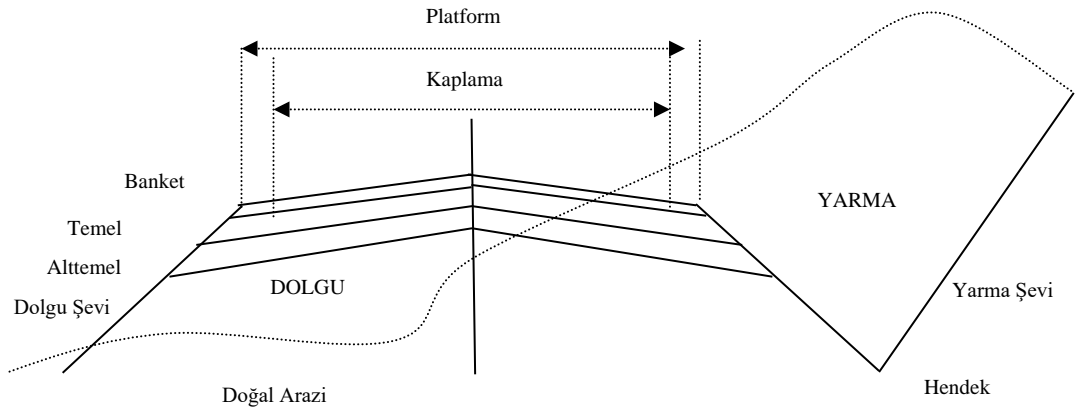
	Kaza Sayısı				
	Otoyol	Devlet Yolu	İl Yolu	Bağlantı Yolu	TOPLAM
Düz Yol	4.398	24.587	4.577	615	34.177
Viraj	440	4.331	1.784	140	6.695
Tehlikeli Viraj	59	1.621	1.224	37	2.941
Eğimsiz	3.935	23.762	4.819	597	33.113
Eğimli	944	6.406	2.521	185	10.056
Tehlikeli Eğim	9	220	198	5	432
Tepe Üstü	9	151	47	5	212
Üç Yönlü (T) Kavşak	-	1.502	542	56	2.100
Üç Yönlü (Y) Kavşak	14	360	195	17	586
Dört Yönlü Kavşak	-	1.667	394	39	2.100
Dönel Kavşak	-	3.358	230	38	3.626
Köprülü Kavşak	9	161	16	17	203
Diğer Kavşak	47	1.029	186	33	1.295
Kavşak Yok	4.827	22.462	6.022	592	33.903

3. KARAYOLU ÜSTYAPISI

Karayolu inşaatlarında sıklıkla esnek yol üstyapısı yapımı yeğlenir. Esnek yol üstyapısı, kaplama, temel ve alt temel tabakalarından oluşur (Ahıskalı, 2022).

Üstyapı kaplaması, karayolunda hareket halindeki taşıtlara pürüzsüz yuvarlanma yüzeyi oluşturmak, trafiğin aşındırıcı kuvvetlerine direnmek, alt tabakalara inen yüzeysel sulara karşı koymak ve temele aktarılan kayma gerilmelerini en aza indirmek için temel tabakasının üstüne inşa edilen tabakadır (İlıcılı vd., 2001).

Trafik yüklerini karşılamak üstyapıyı su ve don etkisinden kurtarmak için kaplamanın altında bulunması gereken kırmataş, doğal kum ve çakıldan oluşan yapıya temel denir. Temel tabakalarının altında bulunan kum, çakıl, yüksek fırın cürufu ve benzeri tanecikli malzemelerin zemine trafik yükünü dağıtmak, su ve don etkilerine karşı taban görevi görmek üzere oluşturduğu yapıya alt temel denir (Bağdatlı ve Yıldırım, 2017). Şekil 3.1’de bir yol en kesiti görülmektedir.



Şekil 3.1 Yol en kesiti

3.1 Üstyapılarda Görülen Bozulma Sınıflandırmaları

Dünyada bozulma tanımlamalarının değerlendirmeleri belli kısıtlar altında yapılması amacıyla bozulmaların önem derecelerine ve yoğunluklarına göre bozulma tanımlama kılavuzları geliştirilmiştir. Kılavuzların çoğunda bozulmalar benzer sınıflara ayrılmış ve hemen hemen aynı kısıtlarla tanımlamaları yapılmıştır.

Amerika Test ve Malzemeler Birliği Standartları (ASTM) tarafından yayınlanan üstyapı bozulma kılavuzu yük, iklim ve diğer olmak üzere bozulma sebeplerini üçe ayırmıştır

Bir yolda öngörülenden fazla trafiğin olması ya da projelendirilenden daha ağır dingil yüklerinin geçmesi, yolda yükten kaynaklanan bozulmalara neden olur. İlâveten, gün içinde ve mevsimler arasında sıcaklık farkı meydana gelmesi iklimden kaynaklı bozulmalara neden olur. Yapım ve bakım hataları, kullanılan malzemelerin yapısı, seyir halindeki araçlardan benzin, yağ gibi kimyasal maddeler damlaması, soğuk iklimlerde buzlanmayı önlemek için yolun tuzlanması gibi diğer etkenler de üstyapının zamanla bozulmasına sebep olur (Bağdatlı ve Yıldırım, 2017).

Tablo 3.1’de ASTM bozulma sınıflandırmaları sunulmuştur.

Tablo 3.1 ASTM bozulma sınıflandırmaları

Bozulma Türü	Nedeni
Timsah Sırtı Çatlak	Yük
Kenar Çatlağı	
Oyulma	
Tekerlek İzi	
Yansıma Çatlağı	İklim
Blok Çatlak	
Boyuna ve Enine Çatlak	
Soyulma ve Sökülme	
Ayrışma	Diğer
Ondülasyon	
Çökme	
Kenar/Banket Düşüklüğü	
Yama	
Cilalanma	
Kabarma ve Oturma	
Demiryolu Geçişİ	
Kusma	
Toplanma	
Tabaka Kayması Çatlağı	
Şişme	

4. ESNEK ÜSTYAPILARDA GÖRÜLEN BOZULMALAR VE NEDENLERİ

Esnek kaplamalı yollarda meydana gelen bozulmalar, trafik yoğunluğu etkisinden, yol tasarımının bugünkü dingil yüklerine göre yapılmamasından, iklim şartlarının ağırlığından, kaplama malzemelerinin yetersizliği ve yapım hatalarından, drenaj yetersizliğinden meydana gelmektedir (Yayla, 2006).

Bozulmalar, genellikle ilkbahar ve sonbahar aylarında yağışla birlikte başlamaktadır. Mevsim şartlarının bakım çalışmalarını engellemesi nedeni ile zamanında bakım ve onarım çalışması yapılmamasından yoldaki bozulmalar daha da fazlalaşmaktadır.

Bir yol ne kadar tekniğine uygun yapılırsa yapılsın, iklim, trafik ve zaman etkisiyle yıpranır ve bozulmaya başlar. Yolun hizmet süresinin uzatılması için devamlı bakım yapılmalı, yol üst yapısının dayanıklılığı onarım çalışmalarıyla artırılmalıdır.

Yolda oluşan bozulmaları ortadan kaldırmak, bozulma nedenini kavramakla ilgilidir. Bozulma sebebi belirlenemeyen bir yolun bakım ve onarımını yapmak meydana gelen bozuklukları gidermekle etkili olmaz. Yoldaki bozulmalar ve nedenleri aşağıda maddeler halinde şekillerle birlikte açıklanmıştır.

Esnek kaplamalarda oluşan kusurlar;

- ❖ Deformasyonlar
- ❖ Ayrışmalar
- ❖ Çatlamlar

4.1 Deformasyonlar

Deformasyonlar, yol imalatı yapıldıktan bir süre sonra kalıcı şekil değiştirmeler şeklinde görülen bozukluklardır. Tekerlek izi oluşumu (oluk), ondülasyon ve yığılma, çökme ve kabarma şeklinde farklı biçimlerde ortaya çıkmaktadır.

4.1.1 Tekerlek İzi Oluşumu

Tekerlek izleri, trafik akışının üstyapı tabakasına uyguladığı sıkıştırma ve yanıl hareket etkisi sonucu tekerleklerin geçtiği izler boyunca oluşurlar. Çoğunlukla engebeli arazilerde ve ağır taşıt trafiği fazla olan yollarda meydana gelirler (Bağdatlı, 2010).

Nedenleri;

- Üstyapı tabakalarının yetersiz sıkıştırılması,
- Asfalt karışımında kullanılan ince malzemenin fazla olması,
- Karışımında bitüm penetrasyonunun yöre sıcaklığına uygun olmayışı, yüksek penetrasyon içeren bitüm kullanılması,
- Özellikle soğuk bölgelerde çivili lastik veya zincir kullanılması sonucu tabakanın aşınması,
- Banketlerin yeteri kadar yanıl destek sağlayamaması,

Tekerlek izi (Oluk) oluşum nedenleri maddeler halinde sıralanmıştır. Şekil 4.1'de tekerlek izine ait görseller sunulmuştur.



Şekil 4.1 Tekerlek izi (Oluk)

4.1.2 Ondülasyon ve Yığılma

Asfalt kaplamalarda oluşan kabarmalara ondüle, tümseklere ise yığılma denilmektedir (Karayolları Genel Müdürlüğü, 1998).

Bu deformasyonlar kavşaklar, otobüs durakları, yaya geçitleri ve eğimli kesimlerde yani araçların dur kalk ve fren yaptığı yerlerde ayrıca keskin kurplarda görülürler. (Bağdatlı, 2010).

Nedenleri;

- Karışımın çok fazla bitüm içermesi ya da karışımda ince agrega miktarının fazla olması nedeniyle stabilitenin yetersiz oluşu,
- Temel tabakasındaki stabilite bozukluğunun yüzeye yansması,
- Yetersiz aşınma tabakası kalınlığı, binder tabakası eksikliği,
- Üstyapı tabakaları arasındaki bağlantının yetersiz oluşu, yapıştırma tabakasının kalın serilmesi,
- Ağır trafik yükü,
- Suya doymuş tabakalar,
- Çok dik kesimlerde, kavşaklarda, otobüs duraklarında durma ve kalkma hareketleri,

Ondülasyon ve yığılmaların oluşum nedenleri maddeler halinde sıralanmıştır. Şekil 4.2’de ondülasyon ve yığılmaya ait görsel sunulmuştur.



Şekil 4.2 Ondülasyon ve yığılma

4.1.3 Çökme

Çökmeler, üstyapının tasarlandığı trafikten daha ağır trafiğe uğramasından kaynaklanır. Zemindeki hareketler sonucu yol sathından 2 - 5 cm. derinlikte meydana gelen küçük alanlardır. Yağmurdan sonra içlerinde su birikerek motorlu taşıt sürücüleri için tehlike oluşturmaktadır. Çökmeler zamanında müdahale edilmezse genişleyerek yolun elden çıkmasına sebep olur (Bağdatlı, 2010).

Nedenleri;

- Temel ve alt temel tabakalarının yetersiz sıkıştırılması,
- Kaplamanın bir yerde sıkıştırılması,
- Drenajın sağlanamaması sebebiyle suyun alt tabakalarda birikmesi,
- Üstyapı tabanının taşıma gücünün zayıf olması,
- Temel ve alt temel malzemelerine kil bulunması,
- Menfezlerde donma kabarma nedeniyle oluşan oturmalar,
- Dolgu şevindeki hatalar,
- Kaplamanın taşıyabileceğinden daha ağır trafik yükü,

Çökmenin oluşum nedenleri maddeler halinde sıralanmıştır. Şekil 4.3'te çökmeye ait fotoğraf görülmektedir.



Şekil 4.3 Çökme

4.1.4 Kabarma

Kabarma, yol tabanında veya üst yapının herhangi bir kesiminde oluşan genişlemeler neticesinde yukarı doğru meydana gelen bozulmalardır. Genişlemeler, üstyapı tabakalarında veya zeminde buz oluşması ve genişlemesinden ya da şişmeye neden olan nemden kaynaklanmaktadır (Karayolları Genel Müdürlüğü, 1998).

Şekil 4.4'te kabarmaya ait fotoğraf görülmektedir.



Şekil 4.4 Kabarma

4.2 Ayrışmalar

Ayrışmalar, aşınma tabakasından agrega danelerinin trafik etkisiyle küçük parçalar halinde koparak ayrılmasından kaynaklanır. Ayrışmalar oluş şekillerine göre çukur, sökölme ve kaygan yüzey şeklinde sınıflandırılmaktadır. Bu bozulmalar sürüş güvenliği açısından tehlike yaratırlar (Bağdatlı, 2010).

4.2.1 Çukur

Çukurlar, kaplamanın ayrışmaya karşı koyamamasından kaynaklanan değişik çap ve derinlikteki yol bozulmalarıdır. (Bağdatlı, 2010).

Nedenleri;

- * Kaplamada kullanılan agreganın zayıf oluşu,
- * Asfalt satih tabakasının yeterli kalınlıkta olmaması,

- * Karışımda asfalt malzemesinin çok az olması,
- * Drenaj yetersizliği,
- * Karışımın homojen serilmemiş olması,

Çukur oluşum nedenleri maddeler halinde sıralanmıştır. Şekil 4.5'te çukura ait fotoğraf görülmektedir.



Şekil 4.5 Çukur

4.2.2 Sökülme

Sökülme, aşınma tabakasının soyulmasıyla agrega danelerinin kopması sonucu oluşur. (Bağdatlı, 2010).

Nedenleri;

- * Yapım esnasında sıkıştırmanın iyi yapılmaması,
- * Agreganın soyulmaya karşı mukavemetinin düşük olması,
- * Asfalt kaplamanın rutubetli ve soğuk havalarda yapılması,
- * Kullanılan agreganın kirli olması,
- * Karışımda kullanılan asfalt malzemesi miktarının çok az olması ve karışımın çok ısıtılması,
- * Asfaltın yorulmadan dolayı sertleşmesi.

Sökülme oluşum nedenleri maddeler halinde sıralanmıştır. Şekil 4.6'da sökülmeye ait görsel sunulmuştur.



Şekil 4.6 Sökülme

4.2.3 Kaygan Yüzey

Bitümlü kaplamalar kuru iken genellikle kaygan olmasa da ıslanmış bir kaplamayı kaygan hale getiren farklı sebepler vardır. Bunlar; satıhta bir asfalt filminin teşekkül etmesi, kaplama tabakasındaki agreganın satıhtaki yüzlerinin cilalı hale gelmesi, yol sathının dökülen yağlar veya yağışlar sonunda bazı yan yollardan toprakla birlikte taşınan killi malzeme ile bulaşmış olmasıdır (Karayolları Genel Müdürlüğü, 1998).

Kaygan yüzeyler, oluşum nedenlerine göre terleme, soyulması ve cilalanma şeklinde farklı isimler alırlar. Bu tür bozulmalar sürüş güvenliği bakımından büyük ölçüde risk oluşturur.

4.2.3.1 Terleme (kuma)

Terleme (kuma), asfalt kaplamalardaki veya diğer asfaltlı üst yapı tabakalarındaki bitüm malzemenin özellikle sıcak havalarda yukarıya çıkarak yol sathında ince bir asfalt tabakası meydana getirmesidir. Yani kaplamada kullanılan fazla asfaltın serbest bitüm halinde kaplamanın sathına çıkmasıdır. Ayrıca satha çıkmayan bitüm agrega danelerinin arasındaki sürtünme miktarını azaltarak stabiliteyi bozma eğilimindedir (Karayolları Genel Müdürlüğü, 1998).

Nedenleri;

- * Hava sıcaklığının yüksek olması,
- * Asfaltın ısıya duyarlı ve yüksek penetrasyona sahip olması,

- * Aşırı asfalt ve çok düşük boşluk oranı,
- * Çok kalın astar veya yapıştırma tabakası,
- * Agreganın aşırı yük nedeniyle oturması,
- * Normalden ağır trafik yüklerinin yarattığı ilave basınç

Terleme oluşum nedenleri maddeler halinde sıralanmıştır. Şekil 4.7’de terlemeye ait fotoğraf görülmektedir.



Şekil 4.7 Terleme-kusma

4.2.3.2 Agreganın cilalı hale gelmesi

Kaplama sathındaki agrega danelerinin cilalı ve pürüzsüz hale gelmesi cilalanma olarak adlandırılır. Cilalanma, malzeme olarak kullanılan agreganın kırılmamış olmasından ve kırma taşın trafik tesiri ile aşınmasından oluşur. Kalker türleri gibi bazı cins agregalar, trafik altında daha çabuk cilalanır. Doğal halinde cilalı ve düzgün satırlı bulunan bazı çakıllar da kaplama yapımında kırılmadan kullanıldığı takdirde kayma tehlikesi yaratırlar. Yüzeyleri cilalı hale gelen agregalar ıslandığında bütünüyle kayganlaşır (Karayolları Genel Müdürlüğü, 1998).



Şekil 4.8 Cilalanma

4.2.3.3 Agreganın soyulması

Soyulma, sathi kaplamada trafik tesiri altında agreganın bitümlü malzemeden kopmasıdır (Karayolları Genel Müdürlüğü, 1998).

Nedenleri;

- * Sathi kaplama yapımında havanın serin veya soğuk olması,
- * Sathi kaplamadan sonra yolun süratle trafiğe açılması,
- * Serilen agreganın çok tozlu veya ıslak olması,
- * Asfalt sathi kaplama yapımında bitüm tatbik edildikten sonra agreganın geç serilmesi,
- * Agregaya serildikten sonra hemen silindirleme yapılmaması ya da çelik bandajlı silindir kullanılması durumunda kaplamanın alçak bölgelerine dikkat edilmemesi,
- * Sathi kaplama asfaltının, büyük kısmını absorb edecek bir satha tatbik edilmesi,

Agrega soyulmasının oluşum nedenleri maddeler halinde sıralanmıştır. Şekil 4.9’da soyulmaya ait fotoğraf görülmektedir.



Şekil 4.9 Soyulma

4.3 Çatlamlar

Çatlamlar, dingil yükleri ve bunların fazla tekrarıyla kaplama tabakasında oluşan gerilmelerin yolu oluşturan malzemelerin dayanımından fazla olduğu zaman oluşurlar. Taşıtların ani hareketleriyle yatay doğrultuda oluşan kuvvetler ve iklim gibi dış etkiler çatlak oluşumun tetikler. Soğuk yerlerde trafik etkisi ve sıcaklık değişimleri

kaplamada gerilmelere neden olur ve termal çatlaklar ortaya çıkar (Bağdatlı ve Yıldırım, 2017).

Çatlamalar, oluşum nedenlerine göre 6 sınıfa ayrılırlar.

4.3.1 Timsah Sırtı Çatlaklar

Bu çatlaklar, birbirine bağlı diziler halindeki küçük çatlaklardır (Karayolları Genel Müdürlüğü, 1998).

Nedenleri;

- * Su alan temel ve alt temel tabakalarının taşıma güçlerini kaybetmesi,
- * Yetersiz drenaj,
- * Çok fazla trafik etkisiyle kaplamanın yorulması,
- * Kötü malzeme ve yapım tekniği,
- * Donma ve çözülme etkisi

Timsah sırtı çatlağın oluşum nedenleri maddeler halinde sıralanmıştır. Şekil 4.10'da Timsah sırtı çatlağa ait görselde sunulmuştur.



Şekil 4.10 Timsah sırtı çatlak

4.3.2 Büzülme Çatlakları

Büzülme çatlakları, geniş blok serileri şeklindeki birbirine bağlı çatlaklardır (Bağdatlı, 2010).

Nedenleri;

- * Taban ve alt yapıda meydana gelen genişleme ve büzülme etkisi,
- * Donma,
- * Drenaj yetersizliği,
- * Kaplamanın zamanla yaşlanarak sertleşmesi ve kırılması,

Büzülme çatlaklarının oluşum nedenleri maddeler halinde sıralanmıştır. Şekil 4.11’de Büzülme çatlaklarına ait görsel sunulmuştur.



Şekil 4.11 Büzülme çatlakları

4.3.3 Kenar Çatlakları

Kenar çatlakları, bankete doğru uzanan enine çatlaklar ya da kaplama kenarındaki boyuna çatlaklar şeklinde görülürler (Bağdatlı, 2010).

Nedenleri;

- * Banketlerin sağladığı yanal desteğin yetersizliği,
- * Üstyapı kenarında ve bankette yetersiz drenaj,
- * Kaplama kenarı yakınında ağaç, çalı veya diğer nebatların olması,
- * Yol genişliğinin az olmasından trafiğin banket kenarının yakınından geçmesi,
- * Üst yapının taşıma gücü veya bankette aşırı trafik yükünden dolayı çatlayan kısmın altındaki malzemede oturma veya çökme oluşması

Kenar çatlaklarının oluşum nedenleri maddeler halinde sıralanmıştır. Şekil 4.12’de kenar çatlaklarına ait fotoğraf sunulmuştur.



Şekil 4.12 Kenar çatlakları

4.3.4 Ek Yer Çatlakları

Ek yer çatlakları, yolun yapım aşamasında malzeme finişer yardımıyla şeritler halinde serilirken boyuna olarak, serim çalışma saati sonunda bitirildiğinde enine olarak oluşur. Bu çatlaklar, ek yerlerinde sıkıştırma işlemi yapılırken uygun tekniklerin kullanılmamasından kaynaklanır (Bağdatlı, 2010).

Nedenleri;

- * Banket temelinin bir ıslanıp bir kurumması,
- * Banketin kaplamadan yüksek olması,
- * Kaplama kenarının oturmuş olması,
- * Satış sularının iyi drene edilememesi,
- * Banketlerde meydana gelen oturma,
- * Ağır taşıt trafiği,

Ek yer çatlaklarının oluşum nedenleri maddeler halinde sıralanmıştır. Şekil 4.13’te ek yer çatlaklarına ait fotoğraf sunulmuştur.



Şekil 4.13 Ek yer çatlakları

4.3.5 Kayma (Ötelenme) Çatlakları

Kayma çatlakları, tabakaların yanal olarak yer değiştirmesi nedeniyle oluşur. Taşıtların kaplama üzerinde meydana getirdiği kaydırma kuvvetlerinden dolayı hilal şeklinde meydana gelirler (Bağdatlı, 2010).

Nedenleri;

- * Yolun kaplaması ile altındaki tabaka arasında yapışmayı önleyen su, yağ, toz gibi malzemelerin bulunmasından dolayı iyi bir yapışmanın sağlanamaması,
- * Trafik tesiri,
- * Karışımda fazla ince malzemenin olması,

Kayma çatlaklarının oluşum nedenleri maddeler halinde sıralanmıştır. Şekil 4.14'te kayma çatlaklarına ait görsel sunulmuştur.



Şekil 4.14 Kayma çatlakları

4.3.6 Yansıma Çatlakları

Bu çatlaklar, takviye tabakası uygulandığında oluşur. Mevcut kaplama yapısında daha önce var olan çatlakların üst tabakaya yansımasıyla meydana gelirler (Karayolları Genel Müdürlüğü, 1998).

Nedenleri,

- * Asfalt takviye tabakası altındaki kaplamada oluşan ısı ve nem farkından kaynaklanan genişleme ve büzölmeler,
- * Zemin hareketleri,
- * Trafik yoğunluğunun ve dingil yüklerinin fazla oluşu,

Yansıma çatlaklarının oluşum nedenleri maddeler halinde sıralanmıştır. Şekil 4.15'te yansıma çatlaklarına ait görsel sunulmuştur.



Şekil 4.15 Yansıma çatlakları

5. BOZULMALARIN BAKIM ONARIM YÖNTEMLERİ

Karayolları ağıımızda yapımı tamamlanan ve hizmete açılan yollarımızın çoğu ilk olarak ulaşılabilirliği amaçladığından zamanın taleplerine göre projelendirilip inşa edildiklerinden, bugünün trafiğini, bilhassa ağır taşıt trafiğini taşıyamaz hale gelmiştir. Dingil yüklerinin arttırılması nedeniyle ağır yük altında kalan yol temelleri ve üst yapıları tahrip olmaktadır. Bu nedenle mevcut alt yapıyı korumak ve hizmette tutmak amacıyla, takviye ve bakım önlemleri almak zorunlu hale gelmiştir. Bu nedenle, bir yandan var olan yollar sağlamlaştırılırken diğer yandan bakım-onarım metotları uygulanarak yol kaplamalarının iyi ve kullanılabilir halde kalmaları sağlanmalıdır (Hanlı, 2009).

Yol yapım ve onarımındaki gelişmelere paralel olarak düzenleme işleri de artmaktadır. Genel anlamda bakım çalışmalarının amacı, devlet ve il yolları üzerinde, araçların her türlü hava şartlarında güvenli ve rahat seyahatlerini temin etmektir.

Esnek üstyapılarda, yolda görülen bozuklukların onarımı haricinde yapılacaklar (Hanlı, 2009):

- Yolun yapımı tamamlandıktan sonraki beş yılda, küçük onarımlara ve yüzey kaplamasına ihtiyaç duyulabilir.
- Yol yüzeyinin on yıl sonra yenilenmesi veya pürüzlendirilmesi gerekebilir. Çünkü zamanla yol yüzeyinde tekerlek izleri oluşabilir. Yol yüzeyi aşınabilir. Bu aşınma, kayma sürtünme katsayısının düşmesine yol açabilir. Ayrıca, yolun üzerinde çökme veya kopmalar meydana gelebilir.
- On beşinci yılda tekrar yüzey yapısını yenilemek gerekebilir.
- Yirmi yıl sonra ise tasarım ömrünü tamamlayan yolda yeni bir üstyapı takviyesine ihtiyaç duyulur. Temelin sürekli trafik yükü altında kalarak zayıflatıldığı durumlarda ve tekerlek izlerinden belirgin yapısal çöküntülerin meydana geldiği alanlarda, mutlaka temel yeniden inşa edilmelidir.
- Ek olarak, temel altı tabakalarının ve temelin bakımı ve yenilenmesi de gerekebilir.

Kaplamayı mümkün olduğu kadar ilk yapıldığı halde tutabilmek amacıyla yapılan

rutin işlere bakım denir. Her kaplama bakıma ihtiyaç duyar çünkü küçük bozulmalara neden olan gerilmeler her cins kaplamaya sürekli etki eder. Bu gerilmeler, hava sıcaklığı değişimi, nem miktarındaki farklılıklar, trafik etkisi veya zemindeki hareketler nedeniyle ortaya çıkar (Hanlı, 2009).

Hasarlar ilk ortaya çıktığında bakım ve onarımla önlenmelidir. Trafik etkisiyle hasar gören yer genişleyerek kaplamanın yeniden yapılmasını zorunlu kılacaktır. Hiçbir zaman yol bozulmalarının zamanla gelişeceği ve bozulma şekillerinin çoğunlukla birbiriyle ilişkili olduğu unutulmamalıdır. Örneğin; herhangi bir oturma, çatlamaya bu da zamanla timsah sırtı çatlamaya dönüşecek ve bu durum çeşitli etkilerle ayrışmayı, parçalanmayı, sökülme ve çukurları kolayca oluşturacaktır (Hanlı, 2009).

Bu bakımdan kaplamayı kontrol edebilmek için, trafik etkisinde kaplamada oynamalar olmuşsa bozulmanın ne kadar olduğunu araştırmak için hareket sapma ölçümleri yapılmalıdır. Ayrıca drenaj şebekesi mevsimlere göre gözlemlenmeli ve temizlenmelidir. Eğer drenler iyi çalışırsa kaplamada oluşabilecek bozuklukların ilk nedeni ortadan kaldırılmış olur. Yapılma amaçlarını yerine getirdiklerinden emin olmak için her türlü sath drenaj tesisleri, hendekler ve kanallar denetlenmelidir. Herhangi bir tıkanıklık var ise temizlenmelidir. Sath altı drenleri gözlemlenmeli ve düzgün çalıştıklarından emin olunmalıdır. Kaplamada normalin üzerinde su birikintisi oluşmasından drenlerinin yerlerinin uygun olmadığı, tasarımlarının yanlış olduğu veya tikalı olduklarını gösterir (Bağdatlı, 2010).

Gerekliliğine karar verildiğinde hızlı bir şekilde onarıma başlanmalıdır. Özellikle, kaplamadaki bozulmalar araç kullanmayı riske atıyorsa geciktirilmemelidir. Hava şartları izin vermezse gerekli onarım çalışmalarına başlanıncaya kadar kaplamada oluşan bozulmanın büyümesini önlemek için geçici onarımlar yapılmalıdır. Örneğin, en iyi sonucu almak için sathi kaplamalar ve koruyucu tabakalar sıcak ve yağışsız havalarda yapılmalıdır.

Kaplama bozulmalarında atılacak ilk adım sadece sebebi tespit etmektir. Sebebi doğru tespit ettikten sonra yapılacak onarımlar hem bozulmayı giderir hem de bozulmanın tekrarlanmasını önler.

Esnek üstyapılarda bakım onarım amaçlı farklı önlemler alınabilir. Bu yöntemler dört farklı başlık altında toplanmıştır.

5.1 Bitümlü Sıcak Karışımın Yeniden Kullanımı

Çevre koşulları ve trafik yükü gibi nedenlerle bozulmuş asfalt kaplamalar ihtiyaç duyulursa yeniden kullanılabilir. Bu sayede bitüm ve agrega tekrar kullanılarak ekonomik bir çözüm sağlanmış olur. Ayrıca üstyapı kalınlığı çok az arttırılarak taşıma gücünde artış sağlanır, yüzeydeki bozukluklar giderilir (Sağlık ve Güngör, 2008).

Bu yöntem, üstyapıda çatlak, ondülasyon ve tekerlek izinde oturmaları gidermede kullanılabilir. Üstyapıda bozulmaların hangi tabakaya kadar ilerlediği çukur açılarak ya da karot alınarak incelenir. Kazım derinliği tespit edilir. Sonrasında kazım yapılarak çıkan malzemelere bitüm ve yeni agrega eklenerek tekrar üstyapıda kullanılır (Hanlı, 2009).

5.2 Geotekstillerin Bitümlü Sıcak Karışım Takviyelerinde Kullanımı

Çatlakların oluştuğu yol üstyapılarında, taşıma gücünü arttırmak amacıyla var olan kaplamanın üzerine yeni bitümlü sıcak karışım tabakası serilirse mevcut çatlakların yüzeye kısa sürede yansımaları kaçınılmazdır (Sağlık ve Güngör, 2008).

Hafif ya da orta şiddette çatlaklı bir yüzey üzerine takviye tabakası getirilmeden önce geotekstil serilmesi, gerilmeleri azaltarak çatlakların üst tabakaya yansımalarını geciktirir. Ayrıca su geçirimini azaltır (Hanlı, 2009).

5.3 Yeniden Yapım

Yollarda meydana gelen yüzey bozuklukları, vaktinde ele alınmazsa artar ve yüksek bozulma şiddetine ulaşır. Sonucunda yol üstyapısı taşıma gücünün büyük bir kısmını kaybeder. Bu gibi durumlarda bozuk yol yüzeyi üzerine yeni bir tabakaya gereksinim duyulur. Mevcut haldeki üstyapı yol tabanı olarak değerlendirilir. Üzerine tabakalarının kalınlıkları CBR değeri ve standart dingil yükü tekrar sayısına göre belirlenen yeni tabaka serilir (Sağlık ve Güngör, 2008).

5.4 Diğer Onarım Yöntemleri

5.4.1 Yama Yapılması

Kaplamanın belli bir kesiminde bozulma olduğunda yeni kaplama yapılması ya da takviye tabakası yapılmasından ise kusurlu bölgeler yama yapılarak onarılmalıdır. Timsah sırtı çatlaklar, çukur, tekerlek izinde oturma ve ayrışmaların meydana geldiği yerlerde yama yapılabilir. Yama yapılması sık uygulanan bir bakım yöntemidir (Sağlık ve Güngör, 2008).

Yama yapılması esnasında kusur oluşan bölge düzgün şekilde kesilerek bozulmanın bittiği yere kadar kazılır. Kazıma genişliği silindirleme genişliği kadar genellikle 1 metre olacak şekilde üst tabakalara doğru ise her tabakada alttaki tabakaya göre artırılarak basamaklı olacak şekilde uygulanmalıdır. Kazı yüzeylerine yapıştırıcı püskürtülür ve sıcak karışım malzemeleri teşkil edilip silindirlerle veya konkasörlerle sıkıştırılarak yama uygulaması bitirilir (Bağdatlı, 2010).



Şekil 5.1 Yama yapılmasına ait bir görünüş

5.4.2 Çatlak Dolgusu ve Yalıtım

Yol üstyapısı üzerinde çatlak oluşması suyun alt tabakalara sızarak üstyapının ömrünün kısılmasına neden olmaktadır. Bu durumun önüne geçmek için çatlak dolgusu ve çatlak yalıtımı uygulanmaktadır.

Suyun girişini engellemek için oluk açılarak yalıtım malzemeleriyle doldurulmasına çatlak yalıtımı, çatlağın basınçlı hava ile temizlenerek dolgu malzemesiyle doldurulmasına çatlak dolgusu denir. Her iki uygulama da hareketsiz çatlaklara

uygulanır. Aktif çatlaklarda takviye tabakası yapılmadan önce yolun bir süre hizmet vermesi amacıyla yapılmaktadır (Karayolları Genel Müdürlüğü, 1998).

Çatlak genişliği 3 mm'den küçükse herhangi bir uygulamaya gerek yoktur. Fakat çatlakların yol sathında büyümesi ve yaygınlaşması halinde ince yüzey kaplaması, sathi kaplama yahut harç tipi kaplama yapılabilir. 3-20 mm arasındaki çatlaklarda ise boyuna oluşan bozulmalarda çatlak dolgusu, enine oluşan bozulmalarda çatlak yalıtımı uygulanacaktır. Genişliği 20 mm'den fazlaysa ince taneli bitümlü sıcak karışım ya da harç tipi kaplama ile kapatılacaktır (Karayolları Genel Müdürlüğü, 1998).

Çatlak dolgusu ve yalıtımı, yol sathının çok fazla bozulduğu, tekerlek izinde oturmaların timsah sırtı çatlakların ve oturmaların meydana geldiği yerlerde kullanılmamalıdır. Bu gibi durumlarda yama yapılması uygun olacaktır. (Sağlık ve Güngör, 2008)

5.4.3 Bitümlü Koruyucu Sathi Kaplama (Seal Coat)

Bu kaplama, var olan yol üstyapısının aşınması durumunda bitümlü bağlayıcı ile agreganın kaplama üzerine ardı ardına serilip sıkıştırılmasıyla uygulanan kaplama türüdür.

Bitümlü kaplamalar çevresel etkiler altında olduğundan, sıcaklık, su gibi dış etmenler bitümlü bağlayıcının oksidasyona uğramasına ve böylece kaplamanın sertleşerek trafik altında daha narin bir hale kavuşmasına sebep olur. Ek olarak trafiğin aşındırıcı etkisi altında bulunan yol kaplaması geçen zaman içinde sökülür. Yol malzemesi içinde bulunan agregalar düz ve cilalı bir hale gelerek azalan kayma direnci trafik güvenliğini tehlikeye atar (Hanlı, 2009).

Koruyucu sathi kaplama uygulaması, kaplamanın oksidasyonunu azaltmasının yanı sıra yol üstyapısı üstünde geçirimsiz bir satih meydana getirir. Suyun tabakalara ulaşmasına mâni olur ayrıca yüzey pürüzlülüğünü arttırarak güvenli bir sürüş ortamı yaratır (Sağlık ve Güngör, 2008).

5.4.4 Harç Tipi Kaplama (Slurry Seal)

Bu kaplamalar, temeli taşıma gücü açısından yeterli ve sağlam olan tüm yollarda kaplama yüzey işlemi olarak uygulanan hem koruyucu hem de düzeltici bakım yöntemidir. Kaplamayı oluşturan bileşenler bitüm emülsiyonu, su, ince agrega, mineralli filler ve katkı maddeleridir (Karayolları Genel Müdürlüğü, 2013) (KTSŞ kısım 410).

Kullanım ömrünü tamamlayan yol üstyapısı üzerine doğru tatbik edildiğinde harç tipi kaplama etkili netice vermektedir. Bu kaplama, bitümün oksidasyonu ve karışımın kırılmaşmasının neden olduğu yol kusurlarının giderilmesine yardımcı olmakta, yol sathındaki çatlakların doldurulmasını sağlayarak dış etkenlere karşı geçirimsiz sath meydana getirmekte, agrega kaybı ile sökülmei engellemekte, kayma direnci oluşturarak sürüş güvenliğini sağlamaktadır. Daha düşük trafik yoğunluğu olan yollarda kullanımı seçilmeli ve şiddetli çatlak, ondülasyon ve tekerlek izinde oturma olan yerlerde uygulanmamalıdır (Sağlık ve Güngör, 2008).

5.4.5 İnce Yüzey Kaplaması (Micro-Surfacing)

Bu kaplama, agrega sökülmesi ile cilalanma gibi kaplamada meydana gelen bozulmaları tamir etmeye yarayan, tekerlek izinde oturma gibi profil düzgünlüklerini gidermeyi sağlayan, kaplamanın yaşlanmasını geciktiren ve kayma direncini arttıran iyi bir yöntemdir. Bu yöntem, düşük veya yüksek trafik yoğunluğuna sahip her yolda kullanılabilir. Fakat, taban taşıma gücü yetersiz olan yerlerde meydana gelen oturmalarda ve şiddetli çatlak oluşan yerlerde uygulanmamalıdır (Sağlık ve Güngör, 2008).

5.5 Bozulmaların Bakım Onarım Yönteminin Seçimi

Kaplamalarda meydana gelen bozulmaların bakım onarımı için gerekli olan en uygun metot aşağıda verilen tablolar yardımıyla seçilir.

Tablo 5.1 Çatlaklar için bakım yöntemi seçilmesi

Çatlak Şekli	Şiddeti	Bakım Yöntemi			
		Yama	Çatlak Dolgusu	Sathi Kaplama	Harç Tipi/İnce Yüzey Kaplama
Timsah Sırtı Çatlak	Düşük			X	
	Orta	X			
	Yüksek	X			
Enine Çatlak	Düşük		X	X	
	Orta		X	X	X
	Yüksek	X	X	X	
Boyuna Çatlak	Düşük		X		
	Orta	X	X		X
	Yüksek	X	X		
Blok Çatlak	Düşük		X		
	Orta		X	X	X
	Yüksek	X	X	X	
Yansıma Çatlağı	Düşük		X		
	Orta		X		
	Yüksek	X	X		

Tablo 5.2 Yüzey bozuklukları için bakım yöntemi seçilmesi

Bozulma Şekli	Şiddeti	Bakım Yöntemi			
		Yama	Sathi Kaplama	Harç Tipi Kaplama	İnce Yüzey Kaplama
Tekerlek İzinde Oturma	Düşük	X		X	X
	Orta	X		X	X
	Yüksek	X			X
Çukurlar	Düşük	X			
	Orta	X			
	Yüksek	X			
Ötelenme	Düşük				
	Orta	X			
	Yüksek	X			
Cıalanmış Agrega	Düşük		X	X	X
	Orta		X	X	X
	Yüksek		X	X	X
Sökülme	Düşük				
	Orta		X		
	Yüksek	X	X	X	X

5.6 Bozulma Şekline Göre Onarım Yöntemleri

Yol bozulmalarını ortadan kaldırmak için bozulma nedenleri net bir şekilde anlaşılmalı ve meydana gelen bozulma şekline göre nasıl bir bakım onarım yöntemi uygulanacağına karar verilmelidir. Aksi takdirde oluş sebebi anlaşılmayan ve incelenmeyen bir yol kesiminin bakım ve onarım çalışmaları, var olan eksiklikleri iyileştirmekten aciz kalır (Karayolları Genel Müdürlüğü, 2000).

5.6.1 Tekerlek İzinde Oturma

Tekerlek izi oluşumunun nedenine göre bazı hallerde kaplama tabakasının kaldırılması gerekirken daha hafif bozulmaların olduğu hallerde tekerlek izleri kazınır. Sıcak asfalt karışımı ile doldurularak sonrasında takviye tabakası yapılmaktadır (Hanlı, 2009).

Onarım sırası;

1. Oluşan olukların sınırları master ya da ip yardımıyla belirlenir,
2. Yapıştırma tabakası ince bir katman oluşturacak şekilde uygulanır,
3. Aşınma tabakasında doldurma işlemi yapılırken, tekerlek izi olan yerlere malzeme serilir,
4. Gevşek malzeme silindir yardımıyla sıkıştırılır,
5. Sıcak karışım uygulamasının ardından takviye tabakası uygulanır,
6. Eğer aşınma tabakası uygulanmayacaksa su girişini önlemek amacıyla yama işlemi yapıldıktan sonra kumlu silkot adı verilen bir koruyucu tabaka uygulanır.

Tablo 5.3 Tekerlek izinde oturmaların değerlendirilmesi ve onarımı

Bozulma Tanımı	Derecesi	Onarımı
Oturma derinliği 15 mm'den az	Hafif	Bozukluklar gözlem altında tutulmalıdır.
15-30 mm aralığında	Orta	Bozukluklar gözlem altında tutulmalıdır.
30 mm'den fazla	Yüksek	3-5 cm arasında ise derinlik kadar üst yapı sökülüp atılmalı, yerine aynı kalınlıkta malzeme getirilmelidir. 5 cm'den fazla ise üstyapı etüdü yapılmalıdır.

5.6.2 Ondülasyon ve Yığılma

Bozulmanın oluştuğu yol üstyapısı granül temel üzerine ince bir sathi kaplama ise, bozulmayı gidermek amacıyla sathın kaldırılarak çıkan malzemenin temel malzemesiyle karıştırılıp sıkıştırılması gerekir. Fakat yol üstyapısı bitümlü temel üzerine kalın bir kaplama ise, ondüleler sıcak sıyırıcıyla düzeltilerek asfalt karışımı ya da koruyucu tabaka ile kaplanır (Hanlı, 2009).

Sathi kaplamada onarım sırası:

1. Sert yüzeyli tabakaya ulaşıncaya kadar kazıma işlemi gerçekleştirilir.
2. Tabaka kalınlığı eksik olan yerlere yama yapılır.
3. Temel sıkıştırılır ve düzeltme işlemi yapılır.
4. Ardından astar tabakası uygulanır ve yeni kaplama serilir.

Bitümlü sıcak karışım kaplamada onarımı sırası:

1. Freze ile kaplamadaki bozulmalar düzeltilir.
2. Düzeltildikten sonra bitüm emülsiyonu akıcı harç ya da bitümlü sıcak karışım gibi malzemeler kullanılarak koruyucu tabaka uygulanır, ihtiyaç halinde takviye tabakası için bitümlü sıcak karışım kullanılabilir.

Tablo 5.4 Ondülelerin ve yığılmaların derecelendirilmesi ve onarımı

Bozulma Tanımı	Derecesi	Onarımı
Enine ondülasyonlar ve lokal şekil değişmeler olmuştur.	Hafif	Bozulmalar kontrol altında tutulmalıdır.
Sürüş konforu bozulmuş, yol yüzeyi tümsekli hale gelmiştir.	Orta	Bozuk kesim kazınarak yama yapılmalıdır.
Düzensüzlükler artmıştır. Güvenli sürüş için hız azaltılmalıdır.	Yüksek	Bozuk kesim kazınarak yama yapılmalıdır.

5.6.3 Timsah Sırtı Çatlakları

Timsah sırtı çatlakların onarımı ıslak malzemenin değiştirilmesini ve gerekli drenajın sağlanmasını kapsar. Yorulma çatlaklar olarak da adlandırılırlar. Bu çatlaklar ihtiyaç

olursa yama yapılarak veya agrega içeren koruyucu tabakaya silkot uygulayarak kalıcı bir çözüm olmasa da onarılabilir (Karayolları Genel Müdürlüğü, 1998).

Onarım sırası:

1. Yamanacak kesim belirlenir.
2. Kaplama kaldırılır ve temel kazılır.
3. Timsah sırtı çatlak oluşumunun nedeni su ise drenaj eksiklikleri giderilir.
4. Açılan çukurun yüzeylerine yapıştırma tabakası uygulanır ve bitümlü sıcak karışım ile doldurulur.
5. Tabakalar iyice sıkıştırılır. Bu işlem küçük yama işleri vibrasyonlu kompaktörle, diğer işlerde silindirle yapılır.
6. Eğer aşınma tabakası olarak granül malzeme kullanılıyorsa, yama üzerine koruyucu tabaka yapılması gerekmez. Ancak, yama malzemesi olarak boşluk içindeki oranı çok olan plentmiks, bitümlü sıcak karışım ya da soğuk karışım kullanılıyorsa, yama üzerine silkot uygulanır.

5.6.4 Enine Çatlaklar

Geniş çatlakların onarımında ince kum-sıvı asfalt karışımı ya da akıcı harç gibi malzemeler kullanılır. Genişliği 3 mm'den az olan çatlakların ise önce bir alet yardımıyla genişletilmesi gerekir (Hanlı, 2009).

Onarım sırası:

1. Bozulma olan kesim, süpürülür.
2. Çatlak, asfalt emülsiyon içeren akıcı harç kullanılarak yüzeye ulaşmayacak şekilde doldurulur.
3. Kalan kısım ince ağızlı asfalt dökme kapları kullanılarak harç veya karışım kürü ile tamamen kapatılır.
4. Üzerine kuru kum dökülerek trafik etkisiyle asfaltın yerinden çıkmasının önüne geçilir.

Tablo 5.5 Enine çatlakların derecelendirilmesi ve onarımı

Bozulma Tanımı	Derecesi	Onarımı
Çatlaklar 12 mm'den incedir.	Hafif	Bozukluk gözlenmelidir. Çatlaklar doldurulmalıdır.
12 ile 19 mm arasındadır. Kaplama kenarlarında hafif kopmalar olabilir.	Orta	Çatlaklar doldurulmalıdır.
20 mm'den fazladır. Kopma ve oturmalar meydana gelmiştir.	Yüksek	Çatlaklar doldurulmalı ve üstyapı etüdü yapılmalıdır

5.6.5 Kenar Çatlakları

İnce çatlakların onarımına ihtiyaç duyulmaz. 3 mm'den geniş çatlaklar ise bitüm emülsiyonu içeren akıcı harç ile doldurulurlar (Hanlı, 2009).

Onarım sırası, enine çatlaklarda uygulanan aşamaların aynısı takip edilerek uygulanır.

Tablo 5.6 Kenar çatlaklarının derecelendirilmesi ve onarımı

Bozulma Tanımı	Derecesi	Onarımı
Çatlaklar kaplama kenarından 30 cm içeri ilerlemiştir.	Hafif	Yoldaki bozulmalar gözlenmelidir. Çatlaklar doldurulmalıdır.
Çatlaklar dış teker izine kadar gelmiş ve kaplama kenarından 60 cm içeri ilerlemiştir.	Orta	Çatlak olan kısım kesilip atılarak yama yapılmalıdır.
60 cm'den daha fazla ilerlemiştir.	Yüksek	Çatlak olan yer kesilmeli ve yama yapılmalıdır. Ek olarak banket drenajı iyileştirilmelidir.

5.6.6 Boyuna Çatlaklar

Dar çatlakların genişletilmesi için özel bir alet kullanılırken, 3 mm'den daha geniş çatlaklar, akıcı harç veya asfalt karışımı gibi malzemelerle titizlikle doldurulur (Hanlı, 2009).

Onarım sırası, enine çatlaklarda uygulanan aşamaların aynısı takip edilerek uygulanır.

Tablo 5.7 Boyuna çatlakların derecelendirilmesi ve onarımı

Bozulma Tanımı	Derecesi	Onarımı
Çatlaklar 12 mm'den incedir, ayrışma yoktur.	Hafif	Bozulmalar gözlenmelidir. Çatlaklar doldurulmalıdır
12 ile 19 mm arasındadır.	Orta	Çatlaklar doldurulmalıdır.
20 mm'den fazladır. Ayrışmalar derinleşmiştir ve çok yönlü çatlaklar artmıştır.	Yüksek	Çatlaklar doldurulmalı ve üstyapı etüdü yapılmalıdır.

5.6.7 Blok Çatlakları

Blok çatlaklarının diğer ismi harita çatlaklarıdır. Bu çatlakların onarımı için, ince kum-sıvı asfalt karışımı veya akıcı harç ile doldurma işlemi gerçekleştirilir. Daha sonra, yolun tamamına harç tipi koruyucu tabaka uygulanarak ya da sathi kaplama yapılarak onarılan alanın korunması sağlanır (Karayolları Genel Müdürlüğü, 1998).

Onarım sırası:

1. Çatlaklar basınçlı hava ile temizlenir.
2. Kaplama yüzeyinin yan cidarları su ile ıslatılır ve yapıştırıcı tatbik edilir.
3. Çatlaklar doldurularak karışımın fazlası sıyrılır.
4. Karışımlar kür sürecini tamamlayarak sertleştikten sonra yolun tamamı sathi kaplama veya koruyucu tabaka ile kaplanır.

Tablo 5.8 Blok çatlakların derecelendirilmesi ve onarımı

Bozulma Tanımı	Derecesi	Onarımı
Çatlaklar 12 mm'den incedir.	Hafif	Bozulma gözlemlenmeli ve çatlaklar doldurulmalıdır.
12 mm ile 19 mm arasındadır.	Orta	Harç tipi örtü tabakası ya da sathi kaplama yapılarak çatlak yüzey onarılmalıdır.
20 mm'den fazladır.	Yüksek	Kaplama yapılmalı. Yeniden yapım düşünülmeli ve üstyapı etüdü yapılmalıdır.

5.6.8 Yansıma Çatlakları

Çatlaklar, ince kum-sıvı asfalt karışımı ile ya da akıcı harç ile doldurulur (Karayolları Genel Müdürlüğü, 1998).

Onarım sırası, enine çatlaklarda uygulanan aşamaların aynısı takip edilerek uygulanır.

5.6.9 Çukur

Çukur oluşan yerler sağlam zemine kadar kesildikten sonra yeni malzeme kullanılarak üzeri doldurulur. Bu şekilde tamir edilir (Hanlı, 2009).

Onarım sırası:

1. Yama yapılacak kesim sınırlandırılır
2. Yeni temel malzemesi kullanılarak çukurun temelde bulunan bölümü doldurulur ve sıkıştırılır.
3. Çukur yüzeylerine astar tabakası sürülür.
4. Çukur tabakalar şeklinde doldurularak her tabaka silindir ile baskılanır. Yama yapılan bölgeye agrega içeren koruyucu tabaka tatbik edilir.

Tablo 5.9 Çukurun derecelendirilmesi ve onarımı

Bozulma Tanımı	Derecesi	Onarımı
Oyuğun derinliği $h < 5$ cm ve boyu 10 cm'den azdır.	Hafif	Soğuk veya sıcak yama yapılmalıdır.
Derinliği $5 \text{ cm} < h < 10$ cm ve boyu 10 cm ile 30 cm arasındadır.	Orta	Düzeltilip yama yapılmalıdır.
Derinliği $10 \text{ cm} < h$ ve boyu 30 cm'den fazladır.	Yüksek	İki tabaka yama yapılmalıdır.

5.6.10 Ayrışma, Sökülme ve Soyulma

Ayrışmaların oluşması ve yol üstyapısının eskimesi genelde kaplama üzerine yeni bir kaplama yapılmasını gerektirir (Hanlı, 2009).

Ayrışma ve sökülme onarım sırası:

1. Yerinden sökülmiş agregalar süpürülerek yol temizlenir.
2. Trafik hacmine ve kaplama yüzeyinin durumuna göre, yol yüzeyine sathi kaplama, harç tipi koruyucu tabaka veya agregaya içeren koruyucu tabakadan biri uygulanır.

Soyulma onarım sırası:

1. Isıtılmış iri kum serilerek lastik tekerlekli silindir ile sıkıştırılır.

Tablo 5.10 Ayrışma, sökülme ve soyulmaların derecelendirilmesi ve onarımı

Bozulma Tanımı	Derecesi	Onarımı
Kaplama malzemesinde gözle görülür bir şekilde azalma vardır.	Hafif	Gelişmeler gözlenmelidir.
Agrega kaybı kaplamada açık bir doku meydana getirir.	Orta	Sathi kaplama, silkot ya da harç tipi kaplama uygulanır.
Yüzeydeki malzeme azalması belirgin hale gelir. Bazı yerlerde çukur meydana gelebilir.	Yüksek	Sıcak karışım yama veya harç tipi örtme tabakası uygulanır. Sathi kaplama uygulanır.

5.6.11 Terleme

Kusma olarak da adlandırılır. Terleme olan yerlere sıcak kum, elek altı malzeme ya da cüruf dökülerek terlemeyi gidermek mümkündür. Emici agregaya kullanılarak sathi kaplaması yapılması ya da agregaya içeren koruyucu uygulanması da terlemenin fazla olmadığı durumlarda yeterlidir. Ayrıca bitüm oranı az olan sıcak karışım hazırlanarak düzeltme tabakası uygulanabilir. Bununla birlikte, kaplama yüzeyinde sökülme mevcut ise düzeltme tabakasından sonra yeni bir aşınma tabakası yapılması zorunludur (Hanlı, 2009).

Sıcak agregaya ile onarım:

1. Terleme olan kısma kum, cüruf veya elek altı malzemesi uygulanır.
2. Tatbik edilen agregaya ısıtılır ve serme işlemi yapılır.
3. Serim işleminin hemen ardından agregalar lastik tekerlekli silindir ile sıkıştırılır.
4. Agregaya soğuduğunda gevşek malzeme süpürülür.

Sıyırıcı ile onarımı:

1. Yüzeydeki bitüm tabakası sıcak sıyırıcı ile sıyırılır.
2. Satih kaplaması ya da koruyucu tabaka uygulanır.



Şekil 5.2 Terleme (Kusma) meydana gelen kesime kum tatbik edilmesine ait bir görünüş

5.6.12 Cilalanma

Cilalanma olması kayma direnci kaybı olduğu anlamına gelir. Bu yollarda yüzeye kumlu koruyucu tabaka veya agrega içeren koruyucu tabaka uygulanması çözüm için iyi ve pratik bir yöntemdir. Kullanılacak malzeme dayanıklı ve pürüzlü olmalıdır (Hanlı, 2009).

Onarım sırası:

- 1) İnce bir yapıştırıcı tabaka uygulanır.
- 2) Kırılmış cüruf veya silisli kum gibi agregalar kullanılarak hazırlanan plentmiks sıcak karışım satha serilir. Eğer plentmiks sıcak karışım mevcut değilse kumlu ya da agrega içeren koruyucu tabaka uygulanır.
- 3) Lastik tekerlekli veya çelik bandajlı silindir kullanılarak düzeltme tabakası silindir yardımı ile sıkıştırılır.

5.6.13 Kabarma

Kabarmaların meydana gelmesini engellemek için, yol geçkisi don etkisinin olmayacağı bir şekilde planlanmalıdır. Ayrıca tabii zemin iyi sıkıştırılmalı ve yeterli

drenajın sağlanmalıdır (Karayolları Genel Müdürlüğü, 1998).

Onarım sırası:

1. Oluşan bombelik tıraşlanarak çukur açılır. Yamanacak olan çukur için sınırlama yapılır.
2. Kaplama kaldırılarak temel kazılır.
3. Bozulma sudan kaynaklı oluştuysa drenaj yapıları kontrol edilerek eksiklikler tamamlanır.
4. Açılan çukurun yüzeylerine yapıştırma tabakası uygulanır.
5. Çukur, tabakalar halinde bitümlü sıcak karışım ile doldurularak sıkıştırılır
6. Yamanın yüksekliği master veya ip ile denetlenir.
7. Granül malzeme olarak aşınma tabakası kullanıldığında, yama üzerine koruyucu tabaka yapılması gerekmez. Ancak, yama malzemesi olarak bitümlü sıcak karışım ve soğuk karışım malzemeleri gibi boşluk yüzdesi fazla olan malzemeler kullanılırsa, yama üzerine yamanın korunmasını ve dayanıklılığını artırmak için agrega içeren koruyucu tabaka uygulanır.

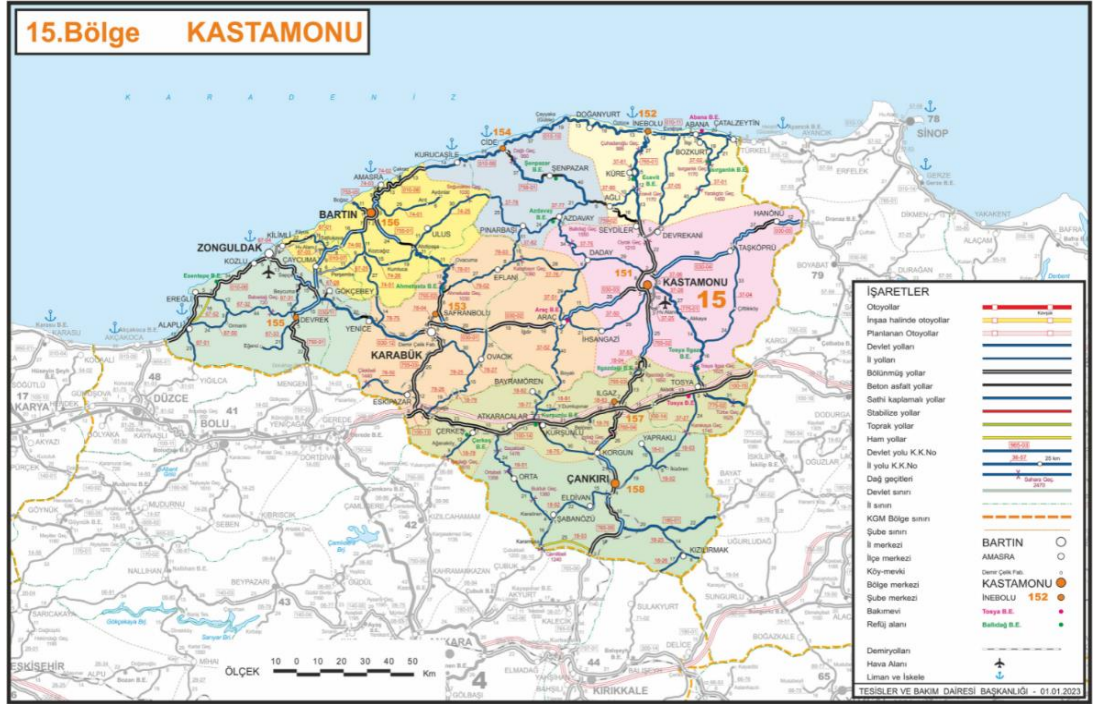
6. MATERYAL VE YÖNTEM

Yol üstyapısında meydana gelen bozulmaların iyileştirilmesinin trafik kazalarına etkilerinin araştırılması bu çalışmanın hedefini oluşturmaktadır.

Bu çalışmada Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM), Emniyet Genel Müdürlüğü (EMG) ve Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) tarafından düzenlenen veriler kullanılmıştır. Karayolları 15. (Kastamonu) Bölge Müdürlüğü sorumluluk altında bulunan yollarda yapılan iyileştirme çalışmaları incelenmiştir.

Tablo 6.1 15. Bölge yol ağı

Yol Sınıfı	Asfalt Betonu	Sathi Kaplama	Parke	Stabilize	Toprak	Geçit Vermez	Toplam Uzunluk
Devlet Yolu	689	774	10	-	-	-	1.473
İl Yolu	100	1.368	13	-	-	41	1.522
Toplam	789	2.142	23	-	-	41	2.995



Şekil 6.1 Karayolları 15. Bölge (Kastamonu) Müdürlüğü bakım ve sorumluluk altında bulunan yollar

Sürüş emniyetini en çok tehdit eden yol bozulması kaygan yüzey oluşmasıdır. Kayma tipi kazalar çoğunlukla kaplama kayma direncinin az olmasından kaynaklanan ve sık karşılaşılan bir kaza şeklidir. Trafik güvenliği için önemli olan bir değişken olan kayma direnci, kaplama yüzeyi ve araç lastiği arasındaki sürtünme kuvvetinin bir göstergesidir (Pratico vd., 2015).

Uzun süredir kaza oluşumu ile kayma direnci arasındaki etkileşim araştırma konusu olmuştur. Bu araştırmalar trafik kazalarına engel olma ve trafik güvenliğinin artırma amacıyla, iyileştirilmesi gereken yol yüzey özelliklerinden en önemlisinin kaplama kayma direncini sağlama üzerine olduğunu gözler önüne sermektedir. Kayma direncini azaltan birçok neden mevcuttur. Bunlar; cilalanma, terleme, tekerlek izi gibi bozulmalar ve yüzey kirliliği, yağışlı hava ve sıcaklık gibi çevresel faktörlerdir (Uz ve Gökalp, 2017).

Bu tezin çalışma alanı kaplama yüzeyinde sürtünme katsayısının artırılarak yoldaki kayma direncinin artırılması ve böylece trafik güvenliğinin sağlanmasıdır.

Bu çalışma kapsamında:

1) Kastamonu ili ile İnebolu ilçesi arasında bulunan, Karayolları 15. Bölge (Kastamonu) Müdürlüğü bakım ve sorumluluk altında bulunan 765-01 K.K numaralı ((010-10/11) DYA (İnebolu)- Devrekani (37-01) İYA) yolunda kuma ve cilalanmadan kaynaklanan bozulmanın iyileştirilmesi amacıyla yapılan sathi kaplama çalışması sonucunda, trafik kaza istatistiklerindeki değişim tablolarla incelenmiş ve yapılan değerlendirmeler sunulmuştur.

2) Zonguldak ili Devrek ilçesi ile Mengen ilçesi arasında bulunan, Karayolları 15. Bölge (Kastamonu) Müdürlüğü bakım ve sorumluluk altında bulunan 750-01 K.K numaralı ((010-06) DYA (Zonguldak) - Devrek - (Zonguldak - Bolu) İl Sn.) yolunda meydana gelen tekerlek izinde oturmaların iyileştirilmesi amacıyla aşınma tabakası kaldırılarak, yeniden BSK serimi yapılan yolda trafik kaza istatistiklerindeki değişim tablolarla incelenmiş ve yapılan değerlendirmeler sunulmuştur.

3) Çankırı ili Ilgaz İlçesi İndağı mevkiinde yer alan, Karayolları 15. Bölge (Kastamonu) Müdürlüğü bakım ve sorumluluk ağıında bulunan 765-04 K.K numaralı (Ilgaz (100-14) DYA - Şabanözü (18-52) İYA) yolunda mevcut bitümlü sıcak karışım kaplamalı yolun sürtünme katsayısını arttırmak amacıyla yapılan trimer çalışması sonucunda, trafik kaza istatistiklerindeki değışim tablolarla incelenmiş ve yapılan değerlendirmeler sunulmuştur.

4) Ayrıca Türkiye'deki karayolu uygulama şartnamelerinde malzeme özellikleri ve gradasyon tipleri haricinde, uluslararası standartlara atıf yapılan bitüm emülsiyonu harç tipi kaplamaların, Türkiye için tasarım ve uygulama esaslarının ortaya konulmuştur. KGM yol ağıında bulunan O-20 Otoyolunda yaklaşık 450 metrelik bir kesiminde deneme amaçlı uygulanan mevcut TMA aşınma tabakası üzerine çift kat micro surfacing uygulamasının özellikleri ve performansı bakımından elde edilen sonuçlar sunulmuştur.

Trafik yükü, iklim koşulları, zamanla kaplamanın eskimesi gibi nedenlerle üstyapı kaplamasında kaygan yüzey oluşmuştur. Sürüş konforu ve emniyeti açısından sakınca oluşturan kesimlerde yol pürüzlülüğünü arttırarak yoldaki kayma direncini sağlamak amacıyla yapılmış olan dört farklı iyileştirme yöntemi açıklanmıştır. Bakım çalışması yapılmadan önce ve sonra yolda meydana gelmiş olan trafik kazaları incelenmiş istatistiksel olarak değerlendirilmesi sunulmuştur.

6.1 765-01 Kontrol Kesim Numaralı Yolun İncelenmesi

Kastamonu ili İnebolu ilçesi arasında bulunan 765-01 kontrol kesim numaralı yol sathi kaplamalı, bölünmemiş devlet yoludur. 17 ile 45'inci kilometreleri arasında kuma ve cilalanma meydana gelmiştir. Trafik kazalarına mahal vermemesi için 2022 yılı ağustos ayında sathi kaplama çalışması yapılarak kaplama yenilenmiştir.

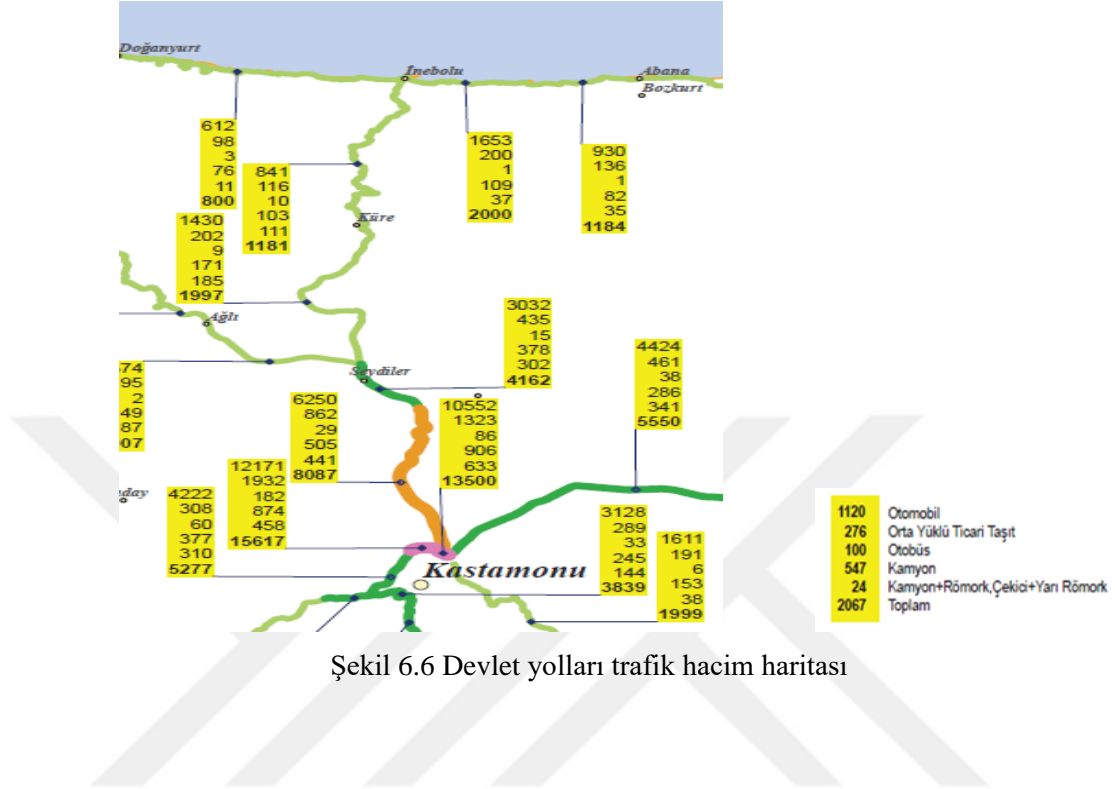


Şekil 6.5 765-01 K. K numaralı yolda meydana gelen kuma ve cilalanma

Yüzey pürüzlülüğü bozulmuş mevcut kaplama yüzeyinin geçirimsizliğini arttırmak ve kayma direnci yeterli olan yeni bir yüzey oluşturmak amacıyla sathi kaplama yapılmasına karar verilmiştir. Mevcut yolda kullanılan agrega, trafik hacmi veya sahada oluşacak gerilmeye karşı düşük kayma sürtünme katsayısına sahip olduğunda agrega cilalanır ve ömrünü tamamlamış kabul edilir. Çözüm olarak, cilalanma değeri yüksek agregala yeniden sathi kaplama uygulaması gereklidir.

Sathi kaplama orta ve hafif trafiği olan yollarda çok ekonomik olan bir kaplama şeklidir. Trafiğe açılma süresi oldukça kısadır. Yüksek kayma sürtünme katsayısı elde edilir. Basit yapım teknikleriyle yapılır ve kademeli inşaatla olanak sağlar. Şartname

limitleri içerisinde hazırlanmış ve tekniğine uygun bir temel tabakası üzerinde inşa edilmiş ise on yıla kadar hizmet ettiği gözlenmiştir.



Şekil 6.6 Devlet yolları trafik hacim haritası

Tablo 6.2 765-01 K.K. numaralı yolun yogt ve hız bilgileri

İli	K.k no	Dilim No	Uzunluk Km	Sayım Türü	Toplam Yogt Taşıt/Gün	Otomobil				Orta Yüklü Ticari Taşıt				Otobüs				Kamyon				Kamyon + Römork, Çekici + Yarı Römork				Ağır Taşıt (Yük) Yüzdesi
						Yogt Taşıt/Gün	Ort. Hız Km/Sa	%85'lik Hız Km/Sa	Hız İhlali %	Yogt Taşıt/Gün	Ort.Hız Km/Sa	%85'lik Hız Km/Sa	Hız İhlali %	Yogt Taşıt/Gün	Ort.Hız Km/Sa	%85'lik Hız Km/Sa	Hız İhlali %	Yogt Taşıt/Gün	Ort.Hız Km/Sa	%85'lik Hız Km/Sa	Hız İhlali %	Yogt Taşıt/Gün	Ort. Hız Km/Sa	%85'lik Hız Km/Sa	Hız İhlali %	
Kastamonu	765-01	1	32	Otss1	1.181	841	79	94	22	116	75	91	35	10	66		8	103	68	83	20	111	67	77	7	18
		2	25	Otss1	1.997	1.430	97	115	63	202	95	116	78	9	88		89	171	87	100	72	185	79	85	47	18
		3	8	Otss1	4.162	3.032	100	120	28	435	96	117	58	15	86	96	40	378	85	99	46	302	78	85	14	16

Trafik yükü ve taşıtların seyir hızı yol yüzeyindeki agregaların durumunu etkilemektedir. Ağır taşıt trafiği veya yavaş seyreden taşıtlar agregaya gömülmelerine, hızlı seyreden taşıtlar agregaya sökülmelerine neden olmaktadır. Ayrıca yol yüzey özellikleri de agreganın yüzeye yapışmasını ve gömülme oranını değiştirir. Yumuşak sathlarda agregalar gömülme eğilimi gösterirken, sert sathlarda ise az miktarda yapışma sebebiyle sökülme eğilimindedir (Karayolları Genel Müdürlüğü, 1998).

Buna ilaveten makro doku derinliği çok olan kaplama yüzeyinde bitüm ihtiyacı artar, bu da agreganın yapışmasına engel olur. Agreganın mekanik ve fiziksel özellikleri, çeşidi, dane boyutu gibi faktörler agreganın yüzeye tutunmasını ve sürtünme direncini etkiler. Yüksek emilime sahip agreganın kullanımı daha fazla bitüme ihtiyaç duyulmasına neden olmaktadır (Karayolları Genel Müdürlüğü, 1998).

Sathi kaplamalı yollar, yolun proje süresinde geçmesi öngörülen standart dingil sayısına ve üstyapı tabanı esneklik modülüne göre projelendirilir. Hizmet süresince yoldan tek yönde geçecek olan toplam standart dingil sayısı 3×10^6 'dan az ise sathi kaplama uygulanmaktadır. Bu sayı 500.000'den küçük ise tek kat, üstünde ise çift kat sathi kaplama yapılması uygundur (Sağlık ve Güngör, 2008).

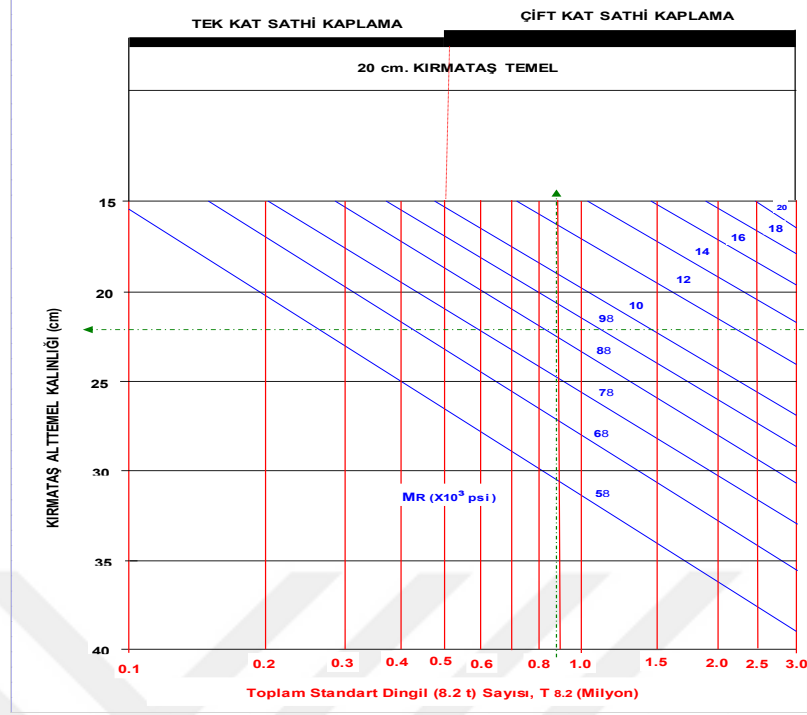
KARAYOLLARI GENEL MÜDÜRLÜĞÜ						EK-1		
15. Bölge Müdürlüğü								
SATHİ KAPLAMALI YOLLAR İÇİN ESNEK ÜSTYAPI PROJELENDİRME FORMU								
Yolun İsmi :								
Yolun Km :		Bölgesi : 15		K.K.No : 765-01				
Yol sınıfı :		İL YOLU		Güvenilirlik (%) ,R :		70%		
Son servis kabiliyeti (Pt) :		2		Stan.Normal Sapma,Zr:		-0.524		
Hesap şeridi faktörü (η) :		1		Toplam Stan.Sapma,So:		0.45		
Şerit sayısı(i*j)		2		i=Trafik yönü sayısı		2		
j=Aynı yöndeki şerit sayısı		1		Proje süresi t=(yıl)		10		
TRAFİK GURUPLARI		TREYLER	KAMYON	OTOBÜS	OR.YÜK. TIC.TŞ	OTOMOBİL	TOPLAM	
Sayım yılı (YOGT)		2019	29	36	5	43	333	
Trafik artış katsayısı, r (%) :		4	4	5	5	5		
(İlk trafik) yılı, Ti :		2022	33	40	6	50	385	
(Son trafik) yılı, Ts :		2032	48	60	9	81	628	
Proje trafiği=0,4343*(Ts-Ti) / log(Ts/Ti), tp :		40	50	7	64	497	658	
Taşıt eşdeğerlik faktörü, TEF :		4,10	2,90	3,20	0,60	0,0006		
Hesap şeridine düşen günlük standart dingil yükü tekerrür sayısı,Wg=(Tp / i)*(TEF)*η		81	71	11	19	0	182	
Toplam standart dingil (8,2 t) tekerrür sayısı, (T8.2)=Wg*365*t		664.300						
Bölgenin iklim özellikleri	Yıllık ortalama yağış(mm)	3	Maks. Sıcaklık (°C)		Yer altı suyunun taban yüzeyinden derinliği			
	Yağışlı günler sayısı		Minimum Sıcaklık (°C)		Rakım (m)			
	Donlu günler sayısı		Maks.Rüzgar Hızı (m/sn)		Don indeksi (°C-Gün)			
	Maks. Kar kalınlığı (cm)	4	Rüzgar yönü		Maks.don derinliği(cm)			
ÜSTYAPI TABAKALARI		İLGİLİ ŞARTNAME			a	D(cm)	a*D (cm)	
ÇİFT KAT SATHİ KAPLAMA		KTŞ. 404. KISIM						
KIRMATAŞ TEMEL		KTŞ. 402 KISIM				20		
ALTTEMEL		KTŞ. 401 KISIM				?		

Şekil 6.7 Sathi kaplamalı yollar için esnek üstyapı projelendirme formu

Söz konusu yolda esnek üstyapılar projelendirme formunda toplam standart dingil tekerrür sayısı 664.300 olduğundan çift kat sathi kaplama yapılmasına karar verilmiştir.

Sathi kaplamalı üstyapıların tabaka kalınlıkları, abak kullanılarak seçilir. Abakta ortalama proje süresi on yıl kabul edilmekle birlikte yolun önem derecesi ve özelliğine bağlı olarak proje süresi değişebilir.

Taban esneklik modülü değeri ve tamsayısı belirlendikten sonra üstyapı kalınlıkları tespit edilir. Yatay eksende T₈₂ değeri belirlenerek eksene dik olacak şekilde doğru çizilir. Taban esneklik modülünü (Psi) temsil eden eğik çizgi ile doğrunun kesiştiği yer bulunur. Buradan yatay eksene paralel bir doğru çizildiğinde, düşey ekseni bulduğu yerden yeterli alt temel kalınlığına ulaşılır. Abağın üst kısmından ise T₈₂'ye denk düşen temel kalınlığı ve sathi kaplama şekli seçilir (Topal vd., 2018).

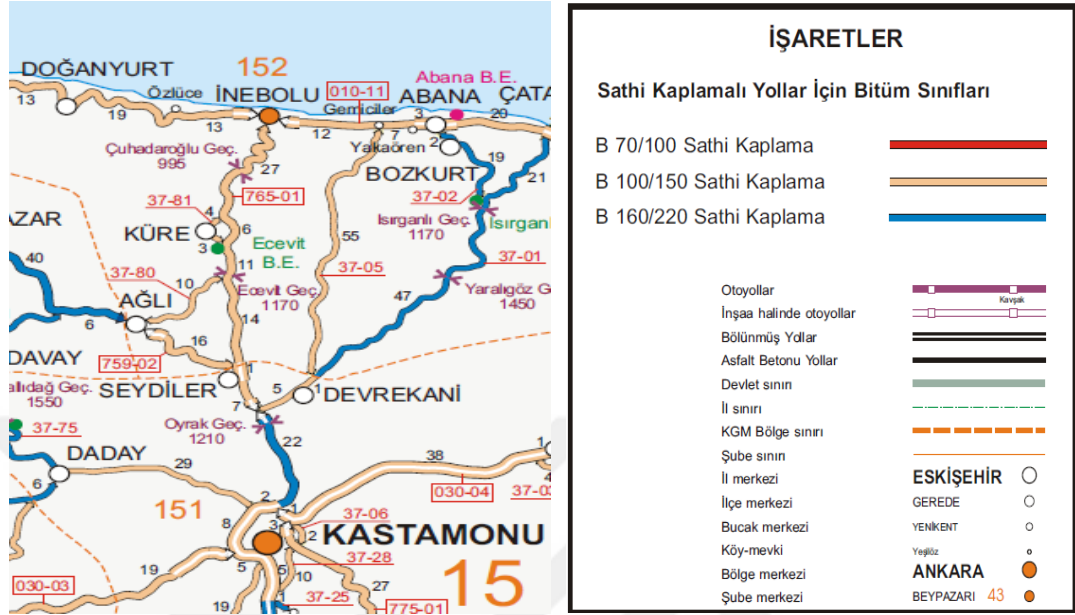


Şekil 6.8 Abak

Sathi kaplamalı yollar için hazırlanan bitüm sınıfı seçim haritasına riayet edilmiştir. Kaplamada bağlayıcı görevi üstlenen bitümlü malzemenin seçilmesi, malzemenin yol yüzeyini düzgün bir şekilde kaplaması ve püskürtme için yeterli akıcılığa sahip olması açısından önemlidir. Mevsim koşulları, nem miktarı, rüzgâr, yolun durumu, ısısı, agreganın özellikleri gibi etkenler bitümlü malzeme seçiminde oldukça önemli parametrelerdir (Melikoğlu, 2019).

Sathi kaplama performansını, bitümlü bağlayıcının yük altında zamanla şekil değiştirmesi, fiziksel özellikleri, kullanım miktarı ve sıcaklığı büyük ölçüde etkiler. Bitümlü bağlayıcının temel görevi agregaların alt tabakaya yapışmasını ve yüzeyin su geçirmemesini sağlamaktır. Agregaların yerlerinden oynamaması ve bitümün düşük sıcaklıklarda çatlamaması için, bitüm serilirken yeterli viskoziteye sahip olmalıdır. Ayrıca, bitümlü bağlayıcı miktarı, agregaların yapışmasını sağlayacak kadar olmalı ve agregalar arasındaki boşlukları dolduracak şekilde aşırı miktarda kullanılmamalıdır. Aksi takdirde yüzey doku derinliği düşebilir. Sathi kaplama performansını etkileyen diğer hususlar da çevresel faktörler, yolun geometrik özellikleri, aynı zamanda uygulama anındaki hava durumudur. Bu faktörlerin dikkate alınması, sathi kaplamanın

dayanıklılığını ve uzun ömürlülüğünü sağlamak açısından büyük önem taşır (Karayolları Genel Müdürlüğü, 2021).



Şekil 6.9 Bitüm sınıfı seçim haritası

Sathi kaplama uygulanacak yüzeyin dokusu karışımında hangi miktarda bağlayıcı kullanılacağını belirlemede etkindir. Pürüzlü yüzeylerde daha fazla bağlayıcı kullanılırken, pürüzsüz yüzeylerde daha az miktarda bağlayıcı kullanmak yeterli olur. Yüzeyin pürüzlülük seviyesi yani makro doku derinliği, ASTM E 965 veya TS EN 13036-1 standartlarındaki Kum Yama Yöntemi kullanılarak ölçülebilir. Bu yöntemle elde edilen yüzey doku derinliği bağlayıcı miktarını ayarlamak için kullanılır (Tutan ve Komut, 2020).

Bu yöntem, yol yüzeyi üzerinde hacmi bilinen kumun yayılması yoluyla uygulanır. Birinci aşamada yol yüzeyine belirlenen miktarda kum dökülerek tokmak yardımıyla yayılır. Bu dağıtma işlemi dairenin sabit bir çapı oluncaya kadar ve boşluklar tamamen kumla doluncaya kadar sürdürülür. Sonrasında dairenin çapı dört yönden ölçülerek dört okumanın ortalaması belirlenir. Kum hacminin kapladığı alana bölünmesiyle ortalama doku derinliği elde edilir (Uz ve Gökalp, 2017).



Şekil 6.10 Kum-yama deneyi

İklimin sathi kaplama performansına etkisi büyüktür. Sıcak coğrafyalarda trafik nedeniyle agregaların yerinden oynaması ve kuma gibi yol bozulmaları çokça görülürken, soğuk ve yağışlı coğrafyalarda agrega sökülmeleriyle karşılaşmaktadır. Sonuç olarak sathi kaplama uygulamasında bitümün sınıfı ve miktarı seçilirken iklim koşulları göz ardı edilmemelidir (Terzi vd., 2007).

Tek veya çift tabakalı sathi kaplama dizaynı yapılırken, yol yüzeyine serilecek olan agrega ve bitümlü malzeme miktarı, elek analizi yapılarak belirlenen agreganın dane boyutu, yassılık indeksi, yolun trafik hacmi ile satıh durumu ve iklim etkisi göz önüne alınır. Tüm bu değerlendirmeler sonucunda uygun bir tasarım yöntemi belirlenerek raporlanmıştır.

Yolun Adı : Ersizlerdere mevkii - Cuhadoruğu mevkii(765-01)				K.K.No: 765-01		
Yol Sınıfı : TY 1A(2x1)				Mevsim Koşulları: Sıcak		
Kilometre : -						
Mevcut Yüzey Tabakası Özellikleri			Sathi Kaplamada Kullanılacak Bitümlü Bağlayıcı Özellikleri			
Yüzey Tabakası		Sathi Kaplama	Bitümlü Bağlayıcı		B 100 /150	
Yüzey Pürüzlülük Sınıfı		Az Pürüzlü	Bitüm Kalınlığı % 'si		100	
			Güzergahın PG Sınıfı		PG 58 - 16	
Sathi kaplama Micirı Gradasyonu				Agrega Özellikleri		
Elek No		Elek Çapı (mm)		1.KAT		2.KAT
				Hasküçükler T. O		Hasküçükler T.O
				Kalker		Kalker
1"		25		100		100
3/4"		19		93		100
1/2"		12.5		8		100
3/8"		9.5		2		90
No:4		4.75		0		4
No:10		2.0		0		0
				Agrega Cinsi		Kalker
				Micir Tipi		B
				Yassılık İndeksi %		11
				Gevşek Birim Ağırlık kg/m³		1422
				Ortalama Boyut (OB) mm		15,7
				Enküçük Boyutlar Ortalaması (EBO) mm		12,2
						5,8
Taşıt Kategorisi		YOGT		Sol Şerit		Sağ Şerit
Treyler		111		816		816
Kamyon		103		341		341
Otobüs		10		26		26
Orta Yük Tic. Taşıt		116		49		49
Otomobil		841		60		60
Şerit Başına Düşen Eşdeğer Günlük Trafik (SEGT)				1290		1290
BİTÜMLÜ BAĞLAYICI - MICIR DİZAYN VE UYGULAMA MİKTARLARI						
1.Kat		Dizayn Bitüm (L/m²)		1,1		1,1
		Uygulama Bitüm (L/m²)		1,1±0,2		1,1±0,2
2.Kat		Dizayn Bitüm L/m²		0,7		0,7
		Uygulama Bitüm (L/m²)		0,7±0,2		0,7±0,2
Agrega kg/m² Dizayn, Uygulama		1.Kat		19,5		19,5
		2.Kat		9,9		9,9

Şekil 6.11 Çift kat sathi kaplama dizayn formu

Belirlenen dizayn raporuna göre sathi kaplama yapımı ağustos ayında, aşağıda verilen adımlar sırasıyla uygulanarak gerçekleştirilmiştir.

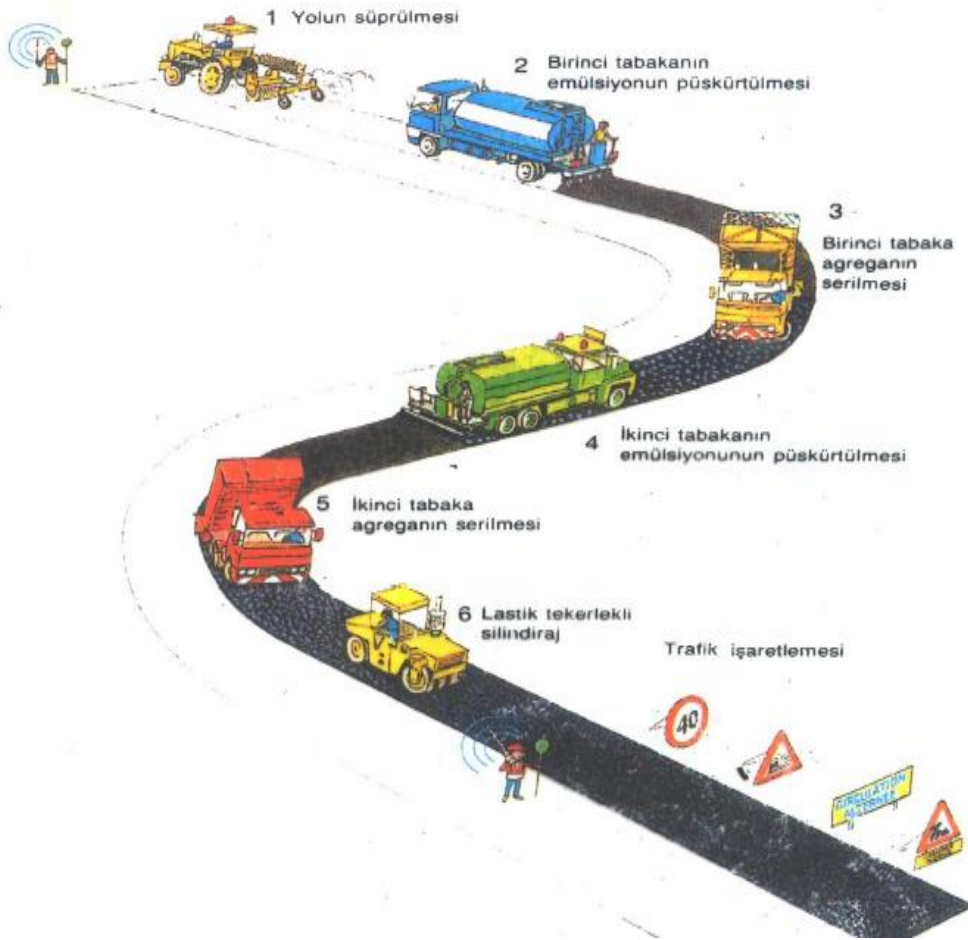
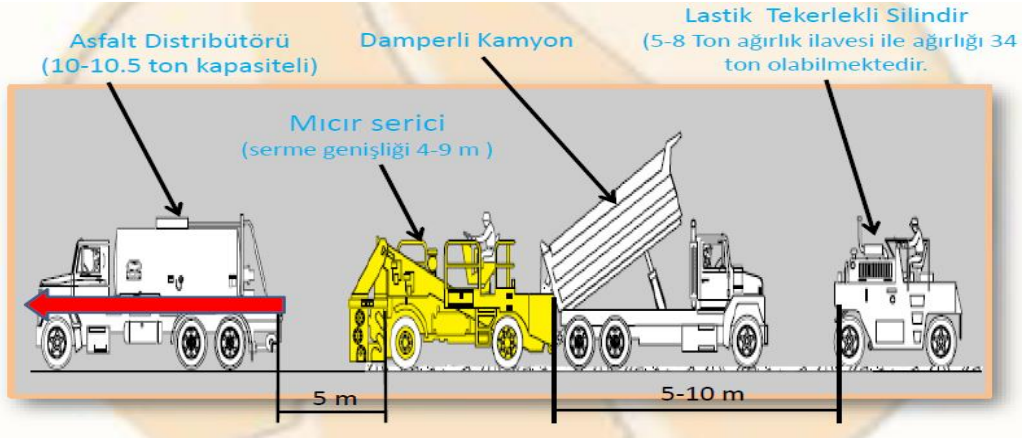
1. İş güvenliği ilkelerine uygulanması, yol emniyetinin sağlanması,
2. Trafik düzeninin ayarlanması,
3. Agreganın temini,
4. Bitümlü astar ve bağlayıcı malzemenin temini,
5. Kaplama yapılacak sathın greyder ile ince tesviyesinin yapılması,

6. Kaplama yapılacak sathın süpürülmesi,
7. Yol sathının astarlanması ve astarın kür edilmesi.

Astarlama işlemi, yüzeyi sudan korumak, agregada danelerini sararak yapışmasını sağlamak amacıyla yapılır. Aynı zamanda temel tabakasının sertleşmesini ve daha stabil hale gelmesini sağlar.

1. Bitümün yola tatbik edilmesi,
2. Bitüm tatbikinin peşinden agreganın (agrega) tatbik edilmesi,
3. Agreganın silindir ile sıkıştırılması.

Sathi kaplama yaz mevsiminde, ağustos ayında yapılmıştır. Bunun nedeni ıslak agregalarla, soğuk hava koşullarında kaplama yapıldığı durumlarda agregalar bitümlü malzeme tarafından yeterince bağlanamaz. Bu durumda soyulmalar ve yol yüzeyinde ayrışmalar ortaya çıkar. Yaz mevsiminde daha sıcak ve kuru bir hava koşulunda bitümlü malzeme daha akışkan davranış göstererek agregaların sağlam bir şekilde yapışmasını sağlar. Böylece sathi kaplama çalışması daha başarılı olur ve yol yüzeyinin dayanıklılığını artırır.



Şekil 6.12 Sathi kaplama yapılması



Şekil 6.13 750-01 K.K numaralı yolun sathi kaplama yapıldıktan sonra görünüşü

6.2 750-01 Kontrol Kesim Numaralı Yolun İncelenmesi

Zonguldak ili Devrek ilçesi ile Mengen ilçesi arasında bulunan, 750-01 kontrol kesim numaralı yol BSK kaplamalı, bölünmüş devlet yoludur. Yolun 79 ile 83 kilometreleri arasında tekerlek izinde oturma meydana gelmiştir. Tekerlek izinin oluşturduğu yükseklik farkından dolayı yüzeyde biriken suların tahliyesi sağlanamadığından kayma direnci zafiyeti meydana gelmektedir. Trafik kazalarına mahal vermemesi için 2021 yılı kasım ayında aşınma tabakası kaldırılarak yeniden BSK serimi yapılmıştır.



Şekil 6.14 750-01 Kontrol kesim numaralı yol



Şekil 6.15 750-01 K.K. numaralı yolda meydana gelen tekerlek izinde oturma

Malzeme kaybı ile oluşan yani özellikle, soğuk bölgelerde çivili lastik veya zincir kullanılması sonucunda, tabakanın aşınması ile meydana gelen tekerlek izindeki oturmalar. Oturma derinliği bitüm sıcak karışımı ile doldurulmak suretiyle onarılır. Ancak, plastik deformasyon sonucu oluşmuş tekerlek izindeki oturmalarda doldurma suretiyle onarım yapılmaz. Oturma derinliği trafik emniyetini tehdit eden bir kalınlıkta ise genellikle kazınıp yerine yeni tabaka getirilir (Karayolları Genel Müdürlüğü, 1998).

Tekerlek izinde oturma olan kesimden karot alınarak tabaka kalınlıkları ölçülmüş aşınma tabakasının kaç cm kaldırılacağı belirlenmiştir.

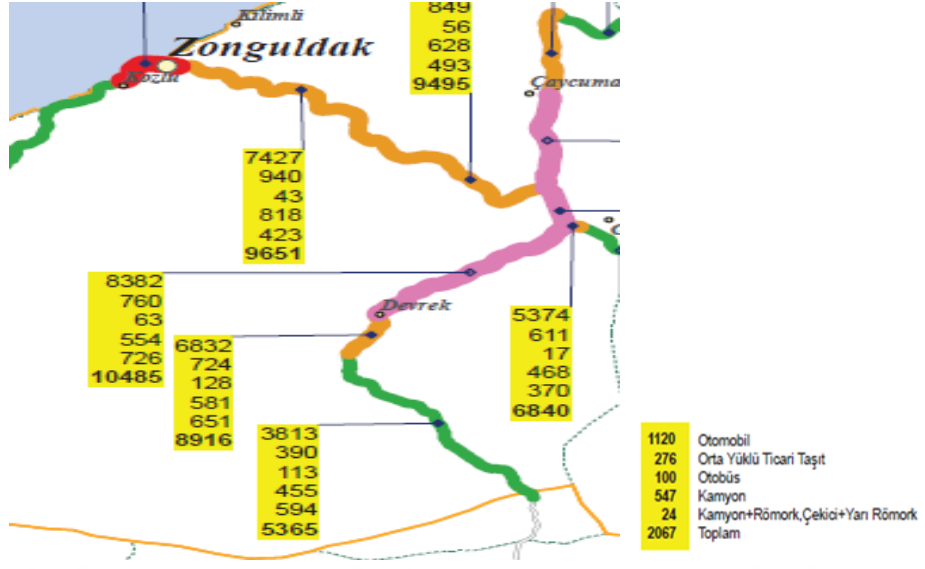


Şekil 6.16 Yoldan karot alınmasına ait görünüş



Şekil 6.17 Yoldan alınan karot numunesine ait görünüş

Proje süresi boyunca toplam standart dingil sayısı üç milyondan çok olduğu için bu yolda kaplama olarak BSK kullanılmıştır. BSK, yeterli düzeyde yüzey pürüzlülüğü, kayma direnci, yüksek dayanıklılık ve sürüş konforu sağlaması açısından tercih edilir. Ayrıca tekerlek izi derinliğinin 15 mm den fazla olması durumunda Sathi Kaplama yapılmaz. Bitümlü sıcak karışım, hava koşullarına ve trafik yüklerine karşı sathi kaplamaya kıyasla daha dayanıklı olup su geçişine karşı daha geçirimsizdir



Şekil 6.18 Devlet yolları trafik hacim haritası

Tablo 6.3 750-01 K.K numaralı yolda yolg ve hız bilgileri

İli	K.K no	Dilim No	Uzunluk Km	Sayım Türü	Toplam Yolg Taşıt/Gün	Otomobil				Orta Yüklü Ticari Taşıt				Otobüs				Kamyon				Kmy+Römork, Çekici+Yarı Römork				Ağır Taşıt (Yük) Yüzdesi
						Yolg Taşıt/Gün	Ort. Hız Km/Sa	%85'lik Hız Km/Sa	Hız İhlali %	Yolg Taşıt/Gün	Ort.Hız Km/Sa	%85'lik Hız Km/Sa	Hız İhlali %	Yolg Taşıt/Gün	Ort. Hız Km/Sa	%85'lik Hız Km/Sa	Hız İhlali %	Yolg Taşıt/Gün	Ort. Hız Km/Sa	%85'lik Hız Km/Sa	Hız İhlali %	Yolg Taşıt/Gün	Ort. Hız Km/Sa	%85'lik Hız Km/Sa	Hız İhlali %	
Zonguldak	765-01	1	20	OTSS1	9.651	7.427	84	103	8	940	78	98	25	43	75	92	19	818	66	85	16	423	59	76	4	13
		2	15	OTSS1	9.495	7.469	95	112	18	849	90	109	47	56	89	97	56	628	83	97	44	493	75	84	11	12
		3	4	OTSS1	13.618	10.482	87	104	77	1.217	82	101	82	141	88	97	87	969	74	88	78	809	70	80	75	13
		4	16	OTSS3	10.485	8.382	91	110	14	760	79	96	24	63	90	99	62	554	72	86	15	726	74	87	18	12
		5	5	OTSS1	8.916	6.832	89	107	54	724	83	102	66	128	90	98	78	581	76	89	62	651	72	82	54	14
		6	22	OTSS1	5.365	3.813	93	113	97	390	85	106	94	113	89	97	99	455	77	90	95	594	74	83	98	20

Bitüm sıcak karışım (BSK), kaplama malzemesinin işlenebilir, homojen olması, agregaların nemini uzaklaştırma ve bitüm bağlayıcının viskozitesini azaltma amacıyla, malzemeleri karıştırmadan önce yüksek sıcaklıkta ısıtılmasına dayanan bitüm içeren karışım çeşididir. Kırmataş, kırılmış çakıl veya bunların karışımından oluşan agregalar, bitümlü bağlayıcı ve katkı malzemeleri kullanılarak plant tesisinde ısıtılıp karıştırılır. Oluşan karışım temel tabakası veya diğer bitümlü kaplamalar üzerine tabakalar halinde sıcak olarak serilip sıkıştırılarak BSK kaplama elde edilir. Sağlam ve servis ömrü yeterli olan bir kaplama, tasarım yöntemine ve yapım amaçlarına uygun olarak inşa edilir (Karayolları Genel Müdürlüğü, 2021).

Karışımında bulunan agregalar temiz, sert, dayanıklı ve yassılık indeksi şartname sınırlarında kalan danelerden olup, kil, bitkisel maddeler, yabancı maddeler bulunmayacaktır. Ağır trafikli yollarda aşınma tabakasında bazalt gibi magmatik kayalardan üretilmiş agregalar kullanılabilir.

Karışım dizaynı Marshall metodu kullanılarak yapılmıştır. Marshall dizayn metoduna kaplama karışımı için en uygun bitüm miktarını belirlemek amacıyla başvurulur. Bu yöntem, trafik altında şekil değiştirmeyen, çevre ve iklim koşullarına dayanıklı bir karışım elde etmek için tercih edilir. Ayrıca bitüm kusması veya stabilite sorunları ortaya çıkmadan tekerlek yükleri altında yeterli dayanımı sağlayan, içerisinde nem oluşmasına izin vermeyecek şekilde yeterli hava boşluğuna sahip olur. Bunun yanı sıra ayrışmadan yeterli serim ve sıkıştırma imkânı sağlayan, işlenebilirliği yüksek agrega gradasyonu ile ekonomik bir karışım meydana getirmek tasarımın hedefleridir (Karayolları Genel Müdürlüğü, 2021).

Marshall dizayn yönteminde, hacimsel ve dayanım kriterlerini sağlayan en uygun bitüm miktarını belirlemek amacıyla deneyler yapılır. Bu deneylerde dane boyutu dağılımı en çok 25 mm olan agregalar ile beş farklı bitüm içeriğinde hazırlanan ve Marshall tokmağı ile sıkıştırılan numuneler kullanılır. Yapılan deneyler analiz edilerek sonuca ulaşılır (Karayolları Genel Müdürlüğü, 2021).

Karışım dizaynında en uygun bitüm miktarını belirlemek yolun bozulmaya karşı direnci ve stabilitesi açısından çok önemlidir.

Karışım dizaynında fazla miktarda bitümlü bağlayıcı kullanıldığında, tekerlek izi oluşumunun ve tekerlek izi derinliğinin arttırdığı gözlenmiştir. (Taşdemir, 2003)

Asfalt betonu için hazırlanacak karışımda agregaya eklenecek bitümlü bağlayıcı, Bitüm Sınıfı Seçim Haritasına uygun olarak seçilerek kullanılmıştır.



Şekil 6.19 Bitüm sınıfı seçim haritası

Astar malzemesi, TS EN 15322 ya da TS EN 13808 standartlarına göre seçilecektir.

Yapıştırıcı için, TS EN 13808, standardına göre malzeme kullanılacaktır (Karayolları Genel Müdürlüğü, 2022).

Bitümlü sıcak karışım yapım aşamaları sırası:

- Bitümlü sıcak karışım serilmeden, yol sathı yabancı maddelerden temizlenir.
- Çukur, dalgalanma, çatlak gibi bozulmalar var ise onarımı tamamlanır.
- Bitümlü temel ile temel tabakası arasında aderans sağlayacak olan astarlama işlemi yapılır.
- Astarlama tamamlanıp yeterli süre geçtikten sonra bitümlü yapıştırıcı, proje ve hava şartlarına uygun olarak tatbik edilir.
- Asfaltlama makinesi (Finişer) ile serim yapılır.
- Karışımın serim işlemi bittikten sonra üç aşamada silindir yardımı ile sıkıştırma işlemi yapılır. İlk aşamada tespit silindir aşaması uygulanır. Hemen sonra bir noktadan iki sefer geçilecek şekilde yolda oluşabilecek dalgalanmaları önlemek

için demir bandajlı veya vibrasyonlu silindir ile ara silindiraj yapılır. Karışım yeterince soğuduktan sonra son aşama olarak ağır demir bandajlı silindir ile kaplamadaki kılcal çatlakların kapatılması ve zeminin düzgün ve trafiğe açılacak hale gelmesi sağlanır.



Şekil 6.20 Yolun yapım aşaması



Şekil 6.21 Yolun son hali

6.3 765-04 Kontrol Kesim Numaralı Yolun İncelenmesi

Çankırı ili Ilgaz İlçesi İndağı mevkiinde yer alan yol, 765-04 kontrol kesim numaralı BSK kaplamalı, çift şeritli bölünmüş devlet yoludur. Söz konusu yolda iniş eğimi ve yatay kurb mevcuttur. Standartların üzerinde trafik işaretlemesi yapılmasına rağmen trafik kazaları meydana gelmiştir.

Trafiğin cilalanma etkisine karşı, kaplama yüzeyinin pürüzlü olması ve bu sayede kayma direncinin sağlanması en önemli etkidir (Kane ve Cerezo, 2015).

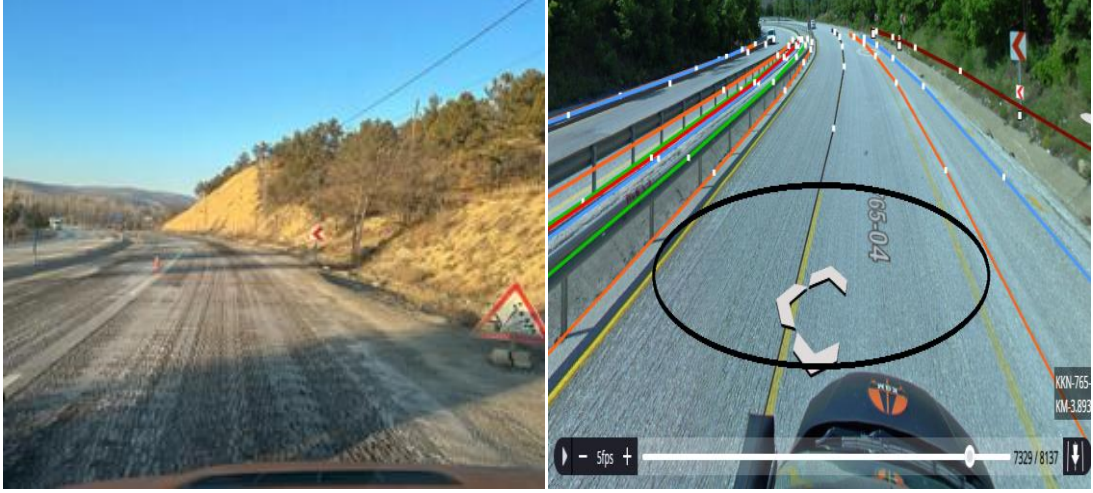
Bu nedenle yolumuzun Çankırı'dan Kastamonu istikametine giderken 0-5 km arasında yoldaki sürtünme katsayısını arttırarak trafik kazalarına engel olmak amacıyla 2017 haziran ayında yol pürüzlendirme (Trimleme) çalışması yapılmıştır.



Şekil 6.25 İşaretlemelerin yoğun olduğuna dair görünüş



Şekil 6.26 Yolun yapım aşaması



Şekil 6.27 Yolun son hali

6.4 O-20 Otoyolunun İncelenmesi

2021 yılı başı itibariyle %39'u BSK kaplamalı olmak üzere yaklaşık 69 bin kilometre yol ağına sahip olan Karayolları Genel Müdürlüğü'nün tüm yollarını önümüzdeki dönemlerde kademeli olarak BSK'ya dönüştürme hedefleri vardır. Mevcut BSK'lı yolların, servis kabiliyetinde aşırı kayıplar olmaksızın uzun süre hizmet edebilmesi koruyucu ve düzeltici bakım - onarım faaliyetlerini elzem kılmaktadır. Bu bağlamda karayollarında yeni yöntemler araştırılmaya ve denenmeye başlamıştır (Çalışkan vd., 2015).

6 - 10 Ekim 2020 tarihleri arasında Karayolları 4. Bölge Müdürlüğü sorumluluk sahasındaki O-20 otoyolunun (Ankara Çevre Yolu) yaklaşık 450 metrelik bir kesiminde, tüm şeritleri kapsayacak şekilde mevcut TMA aşınma kaplaması üzerine bitüm emülsiyonu harç tipi microsurfacing deneme uygulaması yapılmıştır. Belirli aralıklarla uygulama izlenmiş olup, elde edilen bilgiler ve performans gözlemleri aktarılmıştır.

Bitüm emülsiyonu harç tipi kaplamaların temel amacı, yüzey koruması ve su yalıtımı olup dayanımı arttırmazlar. Harç tipi kaplamalar, hızlı uygulanarak yol bakım çalışmalarında zaman tasarrufu sağlayarak küçük yüzey bozulmalarını düzelterek mevcut yollardaki tahribatın onarılmasını sağlar. Ayrıca yüksek kayma direnci sayesinde yol yüzeyinden araçların kaymasını engelleyerek güvenliğin artmasını sağlar. Orta şiddette bozulmaları olan, yeterli dayanıma sahip BSK kaplamalar

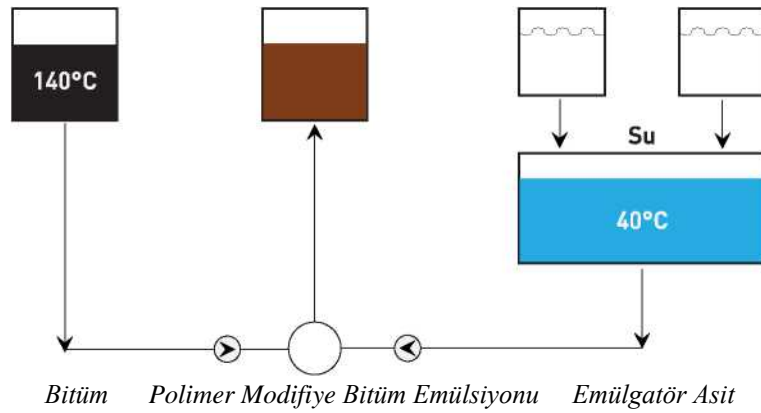
üzerinde düzeltme tabakası olarak teşkil edilmektedir. Katyonik bitüm emülsiyonu ile tek tabaka halinde uygulanması slurry seal olarak isimlendirilirken polimer modifiye katyonik bitüm emülsiyonu ile çok tabakalı olarak uygulanması micro surfacing olarak isimlendirilmektedir (Karayolları Genel Müdürlüğü, 2021).

Micro surfacing uygulanmadan önce mevcut BSK kaplamada TMA aşınma tabakası yüzeyinde bitüm soyulmaları ile yer yer agrega kopmaları görülmüş olup, genelde boyuna yönde yüzeysel çatlakların olduğu tespit edilmiştir. Taşıma gücü yeterli olan yolda tekerlik izinde oturma veya çökme tarzı deformasyonlar olmadığı, makro doku ve sürtünme direnci bakımından kaplamanın iyi bir durumunda olduğu gözlenmiştir (Şekil 6.28).



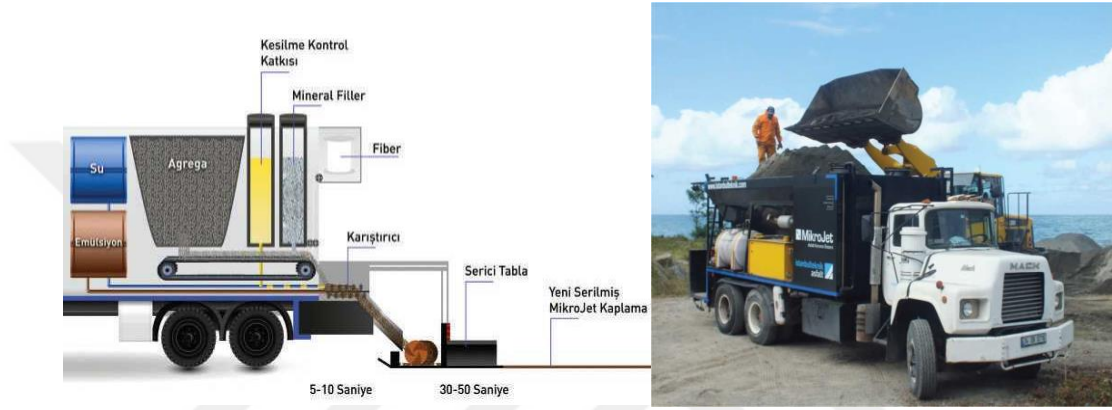
Şekil 6.28 Mevcut kaplamanın deneme uygulaması öncesindeki genel durumu.

Çalışmada kullanılmak için 140° bitüm fazı ile 40° su fazı emülsiyon değirmeninden geçirilerek polimer modifiye bitüm emülsiyonu elde edilmiştir.



Şekil 6.29 Polimer modifiye bitüm emülsiyon üretimi

Kullanılan agrega, tamamı KGM 4. Bölge Müdürlüğü sorumluluk bölgesinde bulunan, özel Yakup Abdal bazalt taş ocağından üretilmiş kırmataş agregadır. Bitümlü emülsiyonu Kırıkkale rafinerisi B70/100 penetrasyon sınıfı bitümle şantiye emülsiyon tesisinde üretilmiştir. Mikrojet harç, bir kamyonu monte edilmiş mobil bir araçtaki tanklarda tutulan katyonik polimer bitüm emülsiyonunun dizayna uygun şekilde agrega, çimento ve fiber ile araçtaki mikserde karıştırılması ile elde edilir. Uygulama Makinesinin çalışma sistemi Şekil 6.30’da gösterilmektedir.

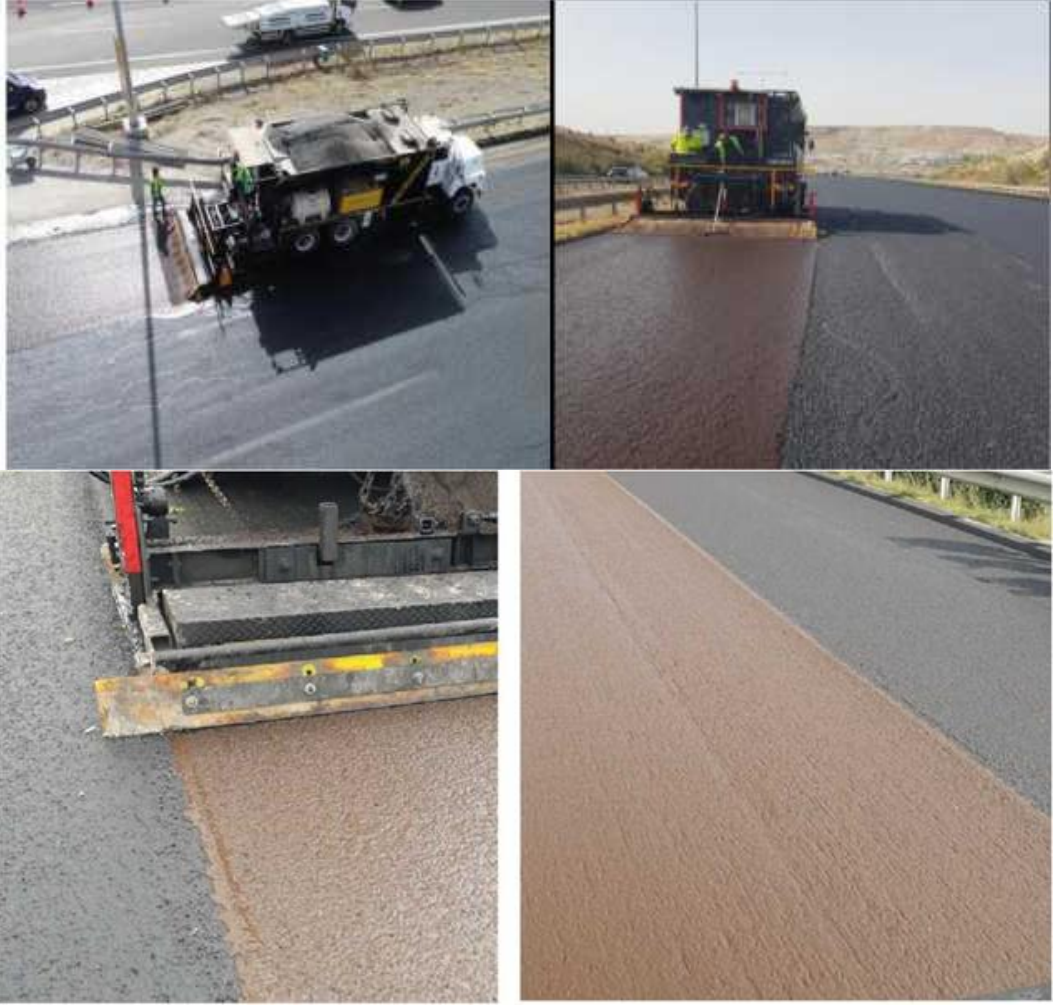


Şekil 6.30 Mikrojet uygulama makinesi



Şekil 6.31 Mikrojet uygulama makinesine polimer modifiye bitüm ve su yüklenmesi

Harç tipi microsurfacing kaplaması birer gün arayla 2 katman olarak, kendinden tahrikli sürekli karıştırma ve serim yapabilen surfacing makinesi ile yapılmış olup, her bir tabakada metrekareye 10 kg - 12 kg arası bir malzeme serilmiştir (Şekil 6.32). Serim sonrası yeterince kürünü alan microsurfacing tabakalarına basıncı ayarlanabilir lastik tekerlekli silindire 3 pas silindirleme yapılmıştır.



Şekil 6.32 Microsurfacing deneme uygulaması



Şekil 6.33 Microsurfacing deneme uygulaması sonunda yolun görünümü

Harç tipi microsurfacing kaplama uygulaması tamamlandıktan sonra yol, çizgileri yeniden çizilerek trafiğe açılmıştır.

Kaplama öncesinde ve yapım sonrasında kaplamanın yüzey özelliklerindeki değişimi incelemek için sürtünme ölçümleri yapılmıştır.



Şekil 6.34 Kaplama yüzeyinde İngiliz pandülü ile yapılan BPN ölçümleri

Kayma sürtünme testleri İngiliz Pandül Test Cihazı olarak adlandırılan portatif sürtünme pandülü ile gerçekleştirilmiştir.

İngiliz Pandül Test Cihazı (BPT) kayma direncini ölçmek amacıyla dünya genelinde ve ülkemizde yaygın olarak kullanılan basit ve ucuz bir deney aletidir. Deneyde dinamik bir pandülün kauçuk malzeme bulunan kaydırıcı kenarlarının kaplama yüzeyinden hareketi sırasında meydana gelen enerji kaybı ölçülür (Uz ve Gökalp, 2017).

Bu test cihazı ölçümleri ASTM E303 standardına göre yapılır. Ölçümler düşük hızda gerçekleştirilir. Bu sebeple malzemenin mikro doku ölçümlerinde de kullanılmaktadır. Bu çalışmada kayma direncinin tayin edilmesinde BPT yöntemi kullanılmıştır.

Yöntemin uygulanmasında ilk olarak test alanı serbest parçalardan arındırılıp BPT yerleştirilir. Su terazisi yardımıyla denge sağlanır. Pandül mekanizması yükseltilip kilitlenir. Ardından pabucun numune üzerine temas etmesi için kaydırıcı yükseklik ayarı yapılır. Teste başlamadan hemen önce, yüzey ve pabuç su ile ıslatılır. Pandül kolu serbest bırakılır ve dönerken kolun kaydırıcı yüzeye teması engellenir. Test, numune yüzeyi ıslak olacak şekilde beş defa yapılır ve sonuçlar kaydedilir (Uz ve Gökalp, 2017).

Harç tipi Mikrojet kaplama öncesindeki mevcut BSK'nın uygulama öncesinde ve sonrasında yüzeyin kayma sürtünme katsayısı belirlenerek yapılan iyileştirmenin seviyesi belirlenmiştir.

Bu yöntem kullanılarak kaplamadaki yaşlanmayı geciktirmek, aşınma nedeniyle meydana gelen kopmalar ve bitüm kusmasına mâni olmak, yüzeydeki küçük çatlakları kapatarak kaplamayı su geçirmez hale getirmek yeni bir yüzey dokusu meydana getirerek sürtünme direncini arttırmak hedeflenmiştir.



7. ARAŞTIRMA VE BULGULAR

Sathi kaplama çalışması yapılmadan bir yıl önce ve yapıldıktan günümüze kadar olan trafik kazalarını kapsayacak şekilde trafik kaza istatistikleri 17-45. kilometreler aralığında araştırılarak tablo halinde sunulmuştur.

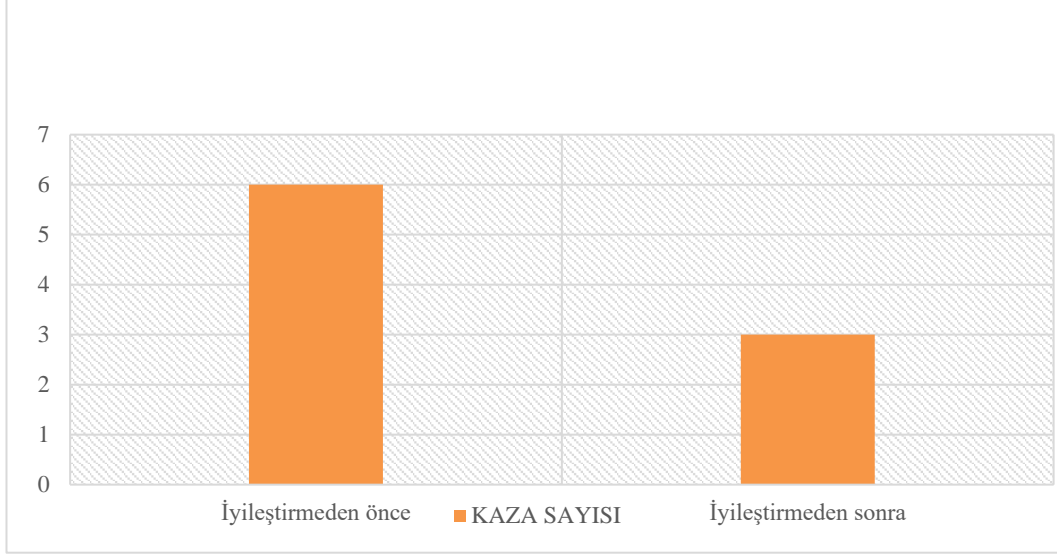
Tablo 7.1 765-01 K.K numaralı yolda iyileştirme çalışması öncesi kaza istatistikleri

Tarih	Saat	Yerleşim	Km	m	Kaza Oluş Şekli	Yol Adı	Kavşak	Yol Şekli
06.11.2021	18:40	Yerleşim İçi	45	200	Arkadan Çarpma	Çift Yönlü Yol	Kavşak Yok	Devlet Yolu
24.08.2021	10:09	Yerleşim Dışı	23	500	Devrilme, Savrulma, Takla	Çift Yönlü Yol	Kavşak Yok	Devlet Yolu
04.03.2022	10:55	Yerleşim Dışı	10	600	Karşılıklı Çarpışma	Çift Yönlü Yol	Kavşak Yok	Devlet Yolu
28.03.2022	15:50	Yerleşim Dışı	3	950	Arkadan Çarpma	Çift Yönlü Yol	Kavşak Yok	Devlet Yolu
04.04.2022	15:00	Yerleşim Dışı	9	350	Yoldan Çıkma	Çift Yönlü Yol	Kavşak Yok	Devlet Yolu
02.06.2022	07:10	Yerleşim Dışı	53	900	Yoldan Çıkma	Çift Yönlü Yol	Kavşak Yok	Devlet Yolu

Tablo 7.2 765-01 K.K numaralı yolda iyileştirme çalışması sonrası kaza istatistikleri

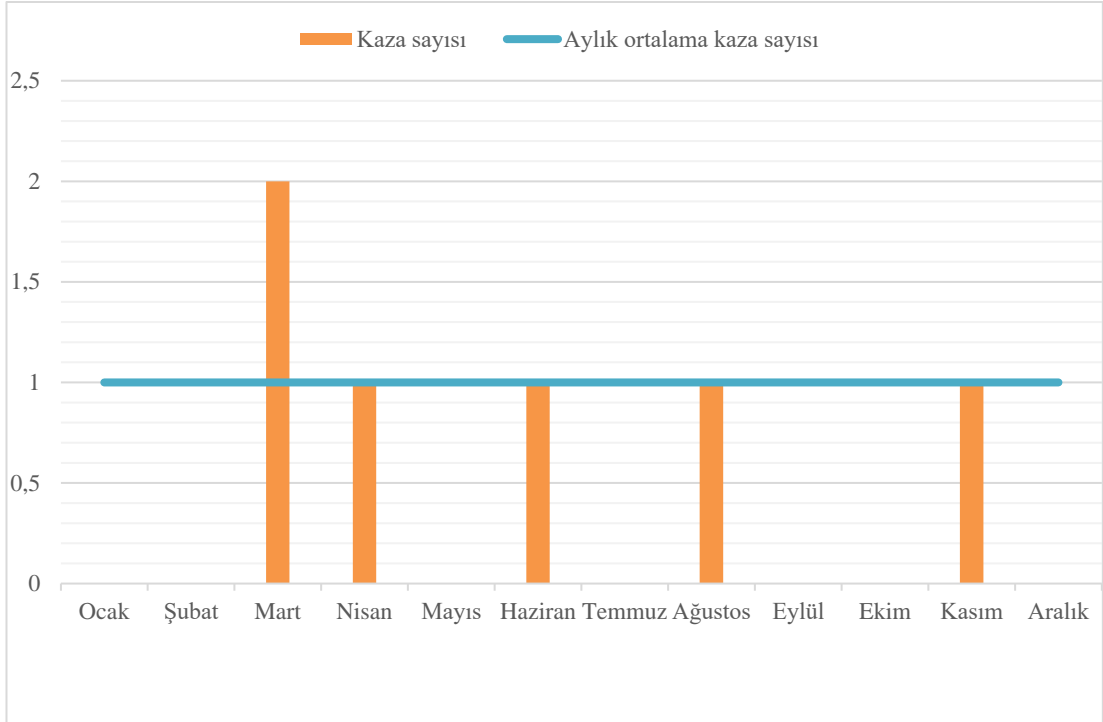
Tarih	Saat	Yerleşim	Km	m	Kaza Oluş Şekli	Yol Adı	Kavşak	Yol Şekli
26.12.2022	08:50	Yerleşim İçi	43	0	Arkadan Çarpma	Bölünmüş Yol	Kavşak Var	Devlet Yolu
13.09.2022	18:50	Yerleşim İçi	48	250	Arkadan Çarpma	Çift Yönlü Yol	Kavşak Yok	Devlet Yolu
24.09.2022	09:50	Yerleşim İçi	48	750	Yoldan Çıkma	Çift Yönlü Yol	Kavşak Yok	Devlet Yolu

2021-2022 yılları arasında tablolardan da görüldüğü üzere kazaların nedeni çoğunlukla yoldan çıkma olarak kayıtlara geçmiştir. Kaplama yüzeyi yenilenmeden önce 2022 ağustos ayından önceki bir yılda 6 kaza olurken sonrasında 3 kaza meydana gelmiştir. Kayma direncinin artırılması trafik güvenliğini olumlu etkilemiştir. Yol üstyapısı yenilendikten sonra belirgin şekilde trafik kazalarında azalma gözlemlenmiştir.



Şekil 7.1 765-01 K.K numaralı yolda iyileştirme öncesi ve sonrası kaza verileri

Terleme ve cilalanma meydana gelen yolda gerçekleşen 6 kazanın 5 inin ilkbahar ve yaz aylarını kapsadığı gözlemlenmektedir. Kayma direnci kışın daha yüksektir çünkü karla mücadele sırasında yola tatbik edilen tuz, kum ve agrega mikro pürüzlülüğü artırır. Yaz mevsiminde ise yol yüzeyindeki agregalar aşınarak toz haline gelir ve mikro pürüzlülüğün azalmasına neden olur.



Şekil 7.2 765-01 K.K numaralı yolda mevsime göre kaza verileri

BSK kaplama çalışması yapılarak yol üstyapısı yenilendikten sonra ve iyileştirilme çalışması yapılmadan bir yıl önceki trafik kazalarını kapsayacak şekilde trafik kaza istatistikleri 79-83 km aralığında araştırılarak tablo halinde sunulmuştur.

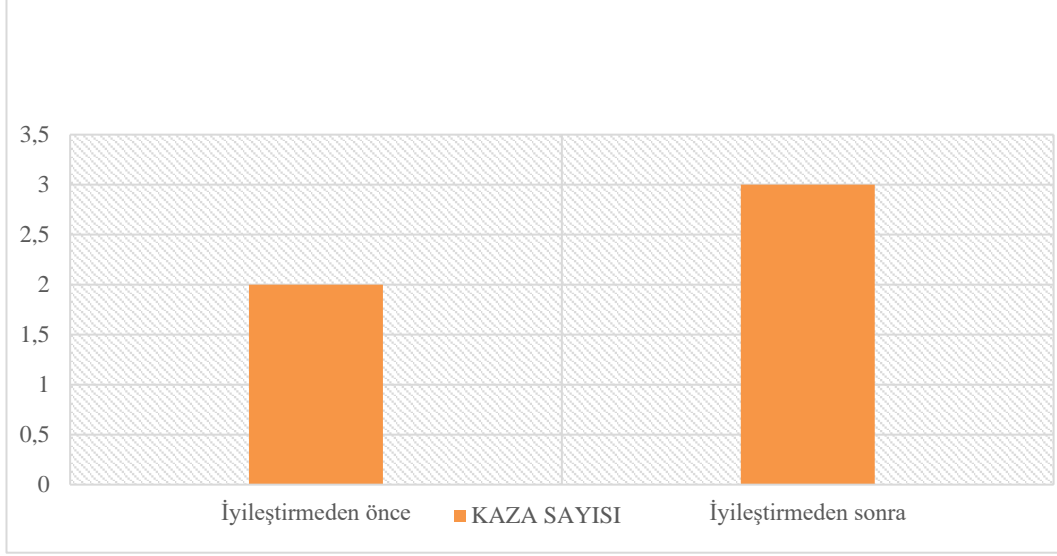
Tablo 7.3 750-01 K.K numaralı yolda iyileştirme çalışması öncesi kaza istatistikleri

Tarih	Saat	Yerleşim	Km	m	Kaza Oluş Şekli	Yol Adı	Kavşak	Yol Şekli
21.02.2021	22:40	Yerleşim Dışı	79	0	Yoldan Çıkma	Bölünmüş Yol	Kavşak Yok	Devlet Yolu
03.01.2021	08:45	Yerleşim Dışı	81	800	Yoldan Çıkma	Bölünmüş Yol	Kavşak Yok	Devlet Yolu

Tablo 7.4 750-01 K.K. nolu yolda iyileştirme çalışması sonrası kaza istatistikleri

Tarih	Saat	Yerleşim	Km	m	Kaza Oluş Şekli	Yol Adı	Kavşak	Yol Şekli
04.07.2022	18:51	Yerleşim Dışı	81	500	Yoldan Çıkma	Bölünmüş Yol	Kavşak Yok	Devlet Yolu
24.04.2022	06:30	Yerleşim Dışı	79	900	Yoldan Çıkma	Bölünmüş Yol	Kavşak Yok	Devlet Yolu
20.03.2022	11:40	Yerleşim Dışı	80	0	Yoldan Çıkma	Bölünmüş Yol	Kavşak Var	Devlet Yolu

2021-2022 yılları arasında tablolardan da görüldüğü üzere kazaların nedeni çoğunlukla yoldan çıkma olarak kayıtlara geçmiştir. Kaplama yüzeyi yenilenmeden önce 2021 kasım ayından önceki bir yılda 2 kaza olurken sonrasında 3 kaza meydana gelmiştir. Yol üstyapısı yenilendikten sonra trafik kazalarında azalma gözlemlenmemiştir.



Şekil 7.3 750-01 K.K numaralı yolda iyileştirme öncesi ve sonrası kaza verileri

Yol pürüzlendirme çalışması yapılmadan üç yıl önce ve 2017 yılının haziran ayında yapılan iyileştirme çalışmasından üç yıl sonrasını kapsayacak şekilde trafik kaza istatistikleri 0-5 km aralığında araştırılarak tablo halinde sunulmuştur.

Tablo 7.5 765-04 K.K numaralı yolda iyileştirme çalışması öncesi kaza istatistikleri (2015)

Kaza Tarihi	Kaza Saati	Yerleşim	Km	m	Kaza Oluş Şekli	Yol Adı	Kavşak	Yol Şekli
10.02.2015	12:05	Yerleşim Dışı	3	900	Yoldan Çıkma	Bölünmüş Yol	Kavşak Var	Devlet Yolu
30.05.2015	23:30	Yerleşim Dışı	3	900	Yoldan Çıkma	Bölünmüş Yol	Kavşak Yok	Devlet Yolu
22.07.2015	12:55	Yerleşim Dışı	5	800	Devrilme, Savrulma, Takla	Bölünmüş Yol	Kavşak Var	Devlet Yolu
07.09.2015	17:15	Yerleşim Dışı	4	0	Yoldan Çıkma	Bölünmüş Yol	Kavşak Yok	Devlet Yolu
12.09.2015	06:55	Yerleşim Dışı	3	800	Devrilme, Savrulma, Takla	Bölünmüş Yol	Kavşak Yok	Devlet Yolu
12.09.2015	08:35	Yerleşim Dışı	4	200	Duran Araca Çarpma	Bölünmüş Yol	Kavşak Yok	Devlet Yolu
12.09.2015	10:45	Yerleşim Dışı	4	0	Yoldan Çıkma	Bölünmüş Yol	Kavşak Yok	Devlet Yolu
30.09.2015	18:00	Yerleşim Dışı	3	950	Yoldan Çıkma	Bölünmüş Yol	Kavşak Yok	Devlet Yolu
12.10.2015	14:50	Yerleşim Dışı	3	900	Yoldan Çıkma	Bölünmüş Yol	Kavşak Yok	Devlet Yolu
09.11.2015	10:55	Yerleşim Dışı	3	800	Devrilme, Savrulma, Takla	Bölünmüş Yol	Kavşak Yok	Devlet Yolu

Tablo 7.6 765-04 K.K. numaralı yolda iyileştirme çalışması öncesi kaza istatistikleri (2016)

Kaza Tarihi	Kaza Saati	Yerleşim	Km	m	Kaza Oluş Şekli	Yol Adı	Kavşak	Yol Şekli
05.02.2016	09:25	Yerleşim Dışı	2	100	Yoldan Çıkma	Bölünmüş Yol	Kavşak Yok	Devlet Yolu
15.02.2016	20:30	Yerleşim Dışı	0	400	Yoldan Çıkma	Bölünmüş Yol	Kavşak Yok	Devlet Yolu
21.03.2016	07:55	Yerleşim Dışı	3	500	Engel/Cisim İle Çarpışma	Bölünmüş Yol	Kavşak Yok	Devlet Yolu
13.05.2016	06:25	Yerleşim Dışı	5	490	Yoldan Çıkma	Bölünmüş Yol	Kavşak Yok	Devlet Yolu
23.05.2016	13:15	Yerleşim Dışı	3	200	Engel/Cisim İle Çarpışma	Bölünmüş Yol	Kavşak Yok	Devlet Yolu
28.05.2016	15:30	Yerleşim Dışı	3	800	Yoldan Çıkma	Bölünmüş Yol	Kavşak Yok	Devlet Yolu
06.06.2016	17:55	Yerleşim Dışı	3	550	Yoldan Çıkma	Bölünmüş Yol	Kavşak Yok	Devlet Yolu
08.06.2016	09:25	Yerleşim Dışı	3	600	Yandan Çarpma	Bölünmüş Yol	Kavşak Yok	Devlet Yolu
14.08.2016	16:17	Yerleşim Dışı	0	300	Yoldan Çıkma	Bölünmüş Yol	Kavşak Yok	Devlet Yolu
22.11.2016	10:20	Yerleşim Dışı	5	700	Yoldan Çıkma	Bölünmüş Yol	Kavşak Yok	Devlet Yolu
03.12.2016	09:40	Yerleşim Dışı	0	300	Engel/Cisim İle Çarpışma	Bölünmüş Yol	Kavşak Yok	Devlet Yolu
19.12.2016	09:00	Yerleşim Dışı	1	700	Arkadan Çarpma	Bölünmüş Yol	Kavşak Yok	Devlet Yolu
26.12.2016	08:30	Yerleşim İçi	0	250	Yoldan Çıkma	Bölünmüş Yol	Kavşak Yok	Devlet Yolu

Tablo 7.7 765-04 K.K numaralı yolda iyileştirme çalışması öncesi kaza istatistikleri (2017)

Kaza Tarihi	Kaza Saati	Yerleşim	Km	m	Kaza Oluş Şekli	Yol Adı	Kavşak	Yol Şekli
21.05.2017	15:08	Yerleşim İçi	0	300	Yoldan Çıkma	Bölünmüş Yol	Kavşak Yok	Devlet Yolu

Tablo 7.8 765-04 K.K numaralı yolda iyileştirme çalışması sonrası kaza istatistikleri (2018)

Tarih	Saat	Yerleşim	Km	m	Kaza Oluş Şekli	Yol Adı	Kavşak	Yol Şekli
02.10.2018	06:30	Yerleşim Dışı	0	400	Engel/Cisim ile Çarpışma	Bölünmüş Yol	Kavşak Yok	Devlet Yolu
20.10.2018	11:00	Yerleşim Dışı	0	500	Engel/Cisim ile Çarpışma	Bölünmüş Yol	Kavşak Yok	Devlet Yolu
21.11.2018	11:30	Yerleşim Dışı	0	500	Devrilme Savrulma, Takla	Bölünmüş Yol	Kavşak Yok	Devlet Yolu

Tablo 7.9 765-04 K.K numaralı yolda iyileştirme çalışması sonrası kaza istatistikleri (2019)

Tarih	Saat	Yerleşim	Km	m	Kaza Oluş Şekli	Yol Adı	Kavşak	Yol Şekli
17.12.2019	07:14	Yerleşim Dışı	4	200	Devrilme Savrulma, Takla	Bölünmüş Yol	Kavşak Yok	Devlet Yolu
12.12.2019	09:55	Yerleşim Dışı	3	800	Engel/Cisim İle Çarpışma	Bölünmüş Yol	Kavşak Yok	Devlet Yolu
27.11.2019	12:05	Yerleşim Dışı	4	200	Yandan Çarpma	Bölünmüş Yol	Kavşak Yok	Devlet Yolu

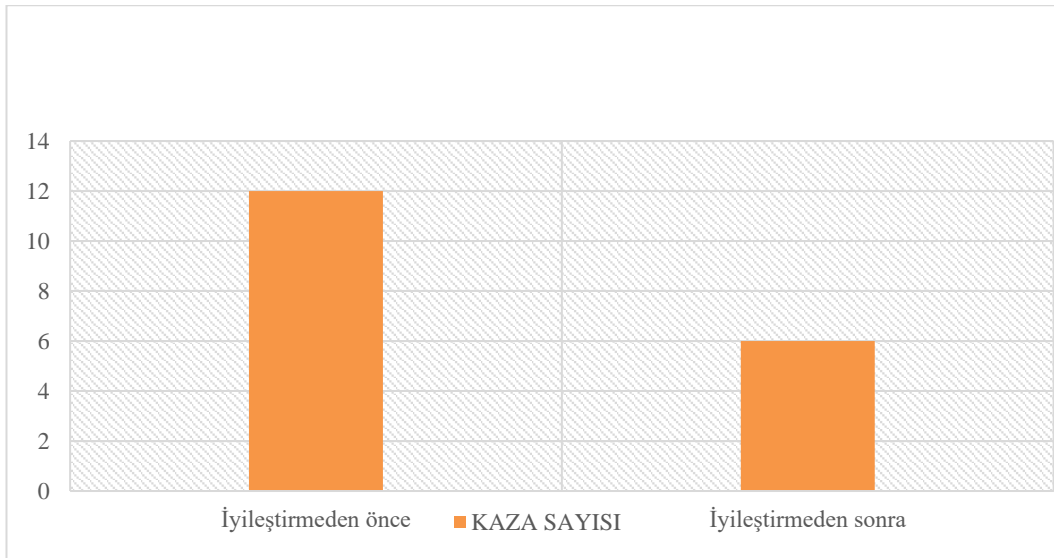
Tablo 7.10 765-04 K.K numaralı yolda iyileştirme çalışması sonrası kaza istatistikleri (2020)

Tarih	Saat	Yerleşim	Km	m	Kaza Oluş Şekli	Yol Adı	Kavşak	Yol Şekli
06.01.2020	14:30	Yerleşim Dışı	3	900	Devrilme, Savrulma, Takla	Bölünmüş Yol	Kavşak Yok	Devlet Yolu
25.09.2020	12:00	Yerleşim Dışı	1	0	Devrilme, Savrulma, Takla	Bölünmüş Yol	Kavşak Yok	Devlet Yolu
04.10.2020	18:55	Yerleşim İçi	0	0	Arkadan Çarpma	Bölünmüş Yol	Kavşak Var	Devlet Yolu
21.10.2020	13:00	Yerleşim İçi	0	200	Yoldan Çıkma	Bölünmüş Yol	Kavşak Var	Devlet Yolu

Tablo 7.11 765-04 K.K numaralı yolda iyileştirme çalışması sonrası kaza istatistikleri (2021)

Tarih	Saat	Yerleşim	Km	m	Kaza Oluş Şekli	Yol Adı	Kavşak	Yol Şekli
12.03.2021	03:20	Yerleşim Dışı	5	600	Engel/Cisim İle Çarpışma	Bölünmüş Yol	Kavşak Yok	Devlet Yolu
08.08.2021	21:20	Yerleşim Dışı	0	500	Yoldan Çıkma	Bölünmüş Yol	Kavşak Yok	Devlet Yolu
05.10.2021	17:00	Yerleşim Dışı	3	0	Engel/Cisim İle Çarpışma	Bölünmüş Yol	Kavşak Yok	Devlet Yolu
01.11.2021	17:55	Yerleşim Dışı	4	0	Engel/Cisim İle Çarpışma	Bölünmüş Yol	Kavşak Yok	Devlet Yolu
22.11.2021	07:50	Yerleşim Dışı	4	300	Yoldan Çıkma	Bölünmüş Yol	Kavşak Yok	Devlet Yolu

2015-2021 yılları arasında tablolardan da görüldüğü üzere kazaların nedeni çoğunlukla yoldan çıkma olarak kayıtlara geçmiştir. Yol kayma direnci arttırılmadan önce 2015-2016 yıllarında ortalama 12 kaza olurken 2018-2021 yılları arasında ortalama 6 kazaya düşmüştür. Kayma direnci arttırıldıktan sonra belirgin şekilde trafik kazalarında azalma gerçekleşmiştir.



Şekil 7.4 765-04 K.K numaralı yolda iyileştirme öncesi ve sonrası kaza verileri

Harç tipi kaplama uygulaması yapılan bir yolda yapılan kaza analiz çalışması sonuçları; uygulama sonrasındaki kaza miktarlarında uygulama öncesine oranla büyük oranda azalma meydana geldiğini ortaya koymuştur (Topal vd., 2018).

Slurry seal ve microsurfacing gibi uygulama tipleri olan bitümlü harç tipi karışımlar, kirli olmayan temiz bir kaplama yüzeyine uygulanmaları kaydıyla 5 ile 7 yıl arasında dayanabilen bir hizmet ömrüne sahiptir (Van Kirk, 2000)

Koruyucu ile önleyici bakımın, onarımdan çok daha ekonomik olduğu bilinmektedir. Yapılan bir çalışmada BSK kaplamalı bir yolda, harç tipi kaplamalı koruyucu bakım ile BSK'lı onarım kıyaslanmış olup, her iki durum için ayrı ayrı çıkarılan 20 yıllık maliyet analizlerine göre, harç tipi kaplama ile yapılan düzeltmenin BSK ile yapılan onarıma kıyasla ekonomik olduğu sonucuna varılmıştır (Topal vd., 2018).



8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yol üstyapısında iklim, trafik yükü, zaman gibi faktörler etkisiyle bozulma meydana gelir. Bu bozulmalar, kazaların meydana gelmesinde pay sahibidir. Yol üstyapısının kazaya neden olan en önemli unsuru yol yüzeyinin kayma direnci olup trafik kazalarının önüne geçilmesinde kayma direnci önemli bir unsurdur.

Bu çalışmada üç farklı yol üstyapı kaplama yüzeyinde meydana gelen ve kayma direncinde azalmaya neden olan tekerlek izinde oturma, cilalanma ve kuma gibi farklı bozulma türleri ile birlikte bozulmaların giderilmesi ve sürtünme direncinin artırılmasına yönelik yapılan sathi kaplama çalışması, bitümlü sıcak karışım çalışması ve yol yüzeyini pürüzlendirme çalışması incelenmiştir. Yol üstyapı kaplamasında kayma direnci artırılması için yapılan iyileştirme çalışmalarının trafik kaza istatistikleri üzerine etkileri analiz edilerek aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

Cilalanma ve bitüm kuma mikro pürüzlülüğün azalmasına neden olur. Suyun kaplama yüzeyine çıkmasıyla birlikte yüzey özellikleri bozulur ve ıslak kaplamada kayma direnci düşer. Yapılan sathi kaplama çalışması ile yol yüzeylerinde kayma direncinin yüksek olması sağlanmıştır. Uygulama hızı ve kolaylığı ile beraber ekonomik bir bakım türü olan sathi kaplamanın az ve orta dereceli trafikli yollarda uygulanan etkili bir yöntem olduğu anlaşılmıştır. Ancak bazı olumsuz yanları da mevcuttur. Sürüş konforu düşük ve tekerlek gürültüsü fazla olmakla birlikte sürtünme direncinin fazla olması nedeniyle taşıt işletme gideri de yüksektir.

Tekerlek izi olan kesimlerde su birikerek kayma direncinin azalmasına neden olur. Bitümlü sıcak karışım uygulaması yapıldıktan sonra trafik kazalarında azalma görülmemiştir. Trafik kazalarında azalma gözlenmemesinin nedeninin kaplama kalitesinin ve sürüş konforunun artması ve dolayısıyla sürücülerin yüksek hızla seyretemelerinin neden olduğu düşünülmektedir.

Düşey ve yatay kurların bulunduğu kesimde uygulanan trimleme çalışması, hem maliyetinin az olması hem hızlı ve pratik olması açısından tercih edilmiş olup trafik güvenliğini sağlama konusunda da beklenen katkıyı sağlamıştır. Ancak bazı

dezavantajları olduğu düşünölmektedir. Motosiklet lastikleri, araç lastiklerinden daha ince ve farklı bir yapıya sahip olduğundan yol pürüzlölüğü motosikletli sürücüler için tehlike oluşturabilir. Kış aylarında boşluklara su dolarak buzlanmaya sebep olabilir. Trimleme çalışması yapıldıktan belli bir süre sonra trafik yüküyle birlikte tekrar yoldaki sürtünme azalabilir. Bunların yanı sıra BSK yolun kalitesi ve standardı düşürölmüş olmakta, güröltü ve sarsıntıya neden olmaktadır.

Yolun servis kabiliyeti arttırmaya yönelik ve trafik kazalarını önlemeye yönelik mevcut uygulanan yöntemlerin başarılı olduğu anlaşılmıştır. Ancak bazı yönleriyle yolun olumsuz etkilendiğı görölmüştür. Bu noktada üstyapıya zarar vermeyecek, uzun vadeli yeni bir yöntem ihtiyacı duyulmuştur ve ölkemizde yeni denenmeye başlayan microsurfacing uygulaması açıklanmıştır.

Microsurfacing uygulaması, BSK yüzeyini kaplayarak yoldaki mikro çatlakların büyümesini önler yolun yüzeyine sağladığı pürüzlölük sayesinde daha emniyetli sürüş ve fren mesafesi sağlar. Deneme uygulaması yapılan mevcut BSK kaplamanın kayma sürtünme sayısında uygulama sonrasında artış gözlemlenmiştir. Bu durum yolun özellikle yağışlı havalarda daha güvenli hale geldiğı anlamına gelmektedir. Ayrıca makro dokunun düşük olması yüzey drenajını yeterli seviyede sağlaması koşuluyla güröltü ve konfor açısından diğere yöntemlere göre büyük fayda sağlar.

Uygulama kolaylığı ve sonrasında sürüş konforunun çok az etkilenmesi, kısa ve uzun vadede getirmiş olduğu faydalar nedeniyle gelişmiş ölkelerde yaygın olarak kullanılmakta olan bu tür kaplamalarla ilgili farklı teknik ve değişkenlerin ölkemiz şartlarına uygunluğu konusunda daha fazla çalışma yapılarak uygulamaya geçilmesinin faydalı olacağı düşünölmektedir. Ayrıca düşey kurpları ve yatay kurpları fazlaca olan, kireçtaşı gibi düşük cilalanma değerlerine sahip agregalarla inşa edilmiş, sürtünme direnci düşük kaplamalı bir yol kesiminde de deneme uygulaması yapılmasının harç tipi kaplamanın performans etkinliği adına faydalı olacağı düşünölmektedir.

KAYNAKLAR

- Ahıskalı, A. (2022). *Karayolu ve Altyapı Tasarımı*. Nobel.
- Arslan, A. (2022). *Karayolu Güvenlik Sistemlerinin Trafik Kazalarına Etkisinin Zonguldak-Bolu İl Sınır Örneği*.
- Bağdatlı, M. E., & Yıldırım, M. Ş. (2017). Karayolu Üstyapılarındaki Bozulmaların Bakım Maliyetlerine Etkisi. *Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi* , 6 (1), 102-111.
- Çalışkan, K. K., Tutan, S. N., Komut, M., & Altıok, Ş. (2015). *Koruyucu Bakım Amaçlı Bitüm Emülsiyonlu Harç Tipi Kaplamalar Micro Surfacing Uygulaması Performans Değerlendirmesi*.
- Gürer, C., Akbulut, H., & Çetin, S. (2007). Afyonkarahisar Şehir İçi Kaplamalarında Kullanılan Agregaların Kayma Direncinde Özelliklerinin Araştırılması. *Mühendislik Bilimleri Dergisi* , 13 (2), 129-134.
- Hanlı, E. (2009). *Esnek Yol Üstyapısında Oluşan Bozulmalar ve Değerlendirilmesi*.
- İstanbulteknik asfalt. (2021). *Mikrojet-Soğuk Harç Tipi Mikroyüzey Kaplama Saha Uygulaması*.
- Kane, M., & Cerezo, V. (2015). A Contribution to Tire/Road Friction Modeling: From a Simplified Dynamic Frictional Contact Model to a 'Dynamic Friction Tester' Model.
- Karayolları Genel Müdürlüğü. (2021). *Bitümlü Karışımlar Laboratuvar El Kitabı*. Ankara.
- Karayolları Genel Müdürlüğü. (1998). *Karayolları Bakım El Kitabı*. Ankara.
- Karayolları Genel Müdürlüğü. (2000). *Karayolları Esnek Üstyapılar Projelendirme Rehberi*. Ankara.
- Karayolları Genel Müdürlüğü. (2022). *Karayolları Kontrol Mühendisi El Kitabı*. Ankara.
- Karayolları Genel Müdürlüğü. (2013). *Karayolu Teknik Şarhnamesi*. Ankara.
- Karayolları Genel Müdürlüğü. (2023, 02 02). *KGM Devlet ve İl Yolları Envanteri*. www.kgm.gov.tr. adresinden alınmıştır
- Karayolu Trafik Güvenliği Strateji Belgesi*. (2021).
- Kırbaş, U., & Karaşahin, M. (2016). *Şehiriçi Yollarda Üstyapı Bozulma Değerlendirmeleri ve Ülkemizde Karşılaşılan Zorluklar*.

- Melikoğlu, F. (2019). *Köy Yollarında Sathi Kaplama ile Bsk Yapımının Fayda ve Maliyet Analizi'Kütahya İli,Aslanapa İlçe Merkezi-Altıntaş İlçe Merkezi Grup Köy Yolu Örneği'*.
- Pratico, F. G., Vaiana, R., & Fedele, R. (2015). A Study On The Dependence of PEMs Acoustic Properties On Incidence Angle. *International Journal of Pavement Engineering* , 632-645.
- Sağlık, A., & Güngör, G. (2008). *Karayolları Esnek Üstyapular Projelendirme Rehberi*. Ankara.
- Taşdemir, Y. (2003). *Bitümlü Kaplamaların Termal Davranışlarının Performans Testleri ile İncelenmesi*. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Topal, A., Güneş, M., Kaya, D., & Şengöz, B. (2018). Harç Tipi Kaplamaların Yüzey Özelliklerinin Sıcak Karışım Asfalt Kaplamalar ile Karşılaştırılması. *TMMOB İMO Teknik Dergi* , 29 (3).
- Tutan, S. N., & Komut, M. (2020). *Sathi Kaplama Dizayn Rehberi*. Ankara.
- Uz, V.E., & Gökalp, İ. (2017). Farklı Tür Agregalarla Üretilen Yüzeysel Kaplamaların Kayma Direnci Performanslarının İncelenmesi. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi* , 32 (1), 109-120.
- Van Kirk, J. (2000). *Long Lasting Slurry Pavements*. Amelia Island Florida: International Slurry Seal Association Conference.
- Yayla, N. (2006). *Karayolu Mühendisliği*. İstanbul: Birsen Yayınevi.