

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**BITÜM EMÜLSİYONLU HARÇ TİPİ KAPLAMALARIN
PERFORMANS ÖZELLİKLERİNİN
İNCELENMESİ**

**Hazırlayan
Şevket ASLAN**

**Danışman
Doç. Dr. Bekir AKTAŞ**

Doktora Tezi

**Eylül 2019
KAYSERİ**

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**BİTÜM EMÜLSİYONLU HARÇ TİPİ KAPLAMALARIN
PERFORMANS ÖZELLİKLERİNİN
İNCELENMESİ**

(Doktora Tezi)

**Hazırlayan
Şevket ASLAN**

**Danışman
Doç. Dr. Bekir AKTAŞ**

**Bu çalışma, Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi
tarafından FDK-2019-9149 kodlu proje ile desteklenmiştir.**

**Eylül 2019
KAYSERİ**

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK

Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir şekilde elde edildiğini beyan ederim. Aynı zamanda, bu kural ve davranışların gerektirdiği gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi belirtirim.

Adı-Soyadı: Şevket ASLAN

İmza :



YÖNERGEYE UYGUNLUK

Bitüm Emülsiyonlu Harç Tipi Kaplamaların Performans Özelliklerinin İncelenmesi adlı Doktora Tezi, Erciyes Üniversitesi Lisansüstü Tez Önerisi ve Tez Yazma Yönergesi'ne uygun olarak hazırlanmıştır.

Tezi Hazırlayan

Şevket Aslan

İmza


Danışman

Doç. Dr. Bekir AKTAŞ

İmza


İnşaat Mühendisliği ABD Başkanı
Prof. Dr. Ahmet Alper ÖNER

İmza


Doç. Dr. Bekir AKTAŞ danışmanlığında **Şevket ASLAN** tarafından hazırlanan “**Bitüm Emülsiyonlu Harç Tipi Kaplamaların Performans Özelliklerinin İncelenmesi**” adlı bu çalışma, jürimiz tarafından Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında **Doktora Tezi** olarak kabul edilmiştir.


13 / 09 / 2019

JÜRİ:

Danışman : Doç. Dr. Bekir AKTAŞ



Üye : Prof. Dr. Cengiz Duran ATIŞ




Üye : Prof. Dr. Ahmet Alper ÖNER



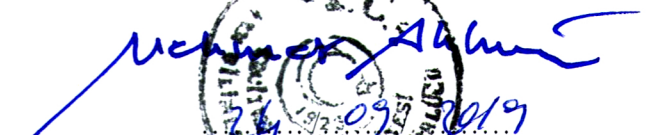
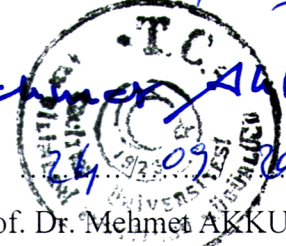
Üye : Prof. Dr. Yüksel TAŞDEMİR



Üye : Doç. Dr. Cahit GÜRER

**ONAY:**

Bu tezin kabulü Enstitü Yönetim Kurulunun 24/09/2019 tarih ve 2019/55-13 sayılı kararı ile onaylanmıştır.



 Prof. Dr. Mehmet AKKURT
 Enstitü Müdürü

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca farklı bakış açıları ve bilimsel katkılarıyla beni aydınlatan, yakın ilgi ve yardımlarını esirgemeyen ve bu günlere gelmemde en büyük katkı sahibi danışman hocam Sayın Doç. Dr. Bekir AKTAŞ'a teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez çalışmasına maddi destek veren Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne (Proje No: FDK-2019-9149) ve tüm çalışanlarına teşekkür ederim.

Almanya'daki araştırma sürecinde bana şantiye imkânlarını açan ve üretime katılmamı sağlayarak bilgi ve tecrübelerini aktaran başta Sayın Peter Austin-Böhm olmak üzere tüm Possehl Spezialbau GmbH firması çalışanlarına teşekkürlerimi sunarım.

Doktora öğrenimim boyunca üzerimde emeği olan tüm hocalarıma, yorucu ve sabır gerektiren deneysel çalışmalarımın yürütülmesinde her türlü destek ve emeklerini esirgemeyen öğrencilerime ve çalışma arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunuyorum.

Ayrıca, çalışmalarım süresince sabır göstererek beni daima destekleyen eşime ve kızıma en içten şükranlarımı sunarım.

Şevket ASLAN
Kayseri, Eylül 2019

BITÜM EMÜLSİYONLU HARÇ TİPİ KAPLAMALARIN PERFORMANS ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Şevket ASLAN

Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü

Doktora Tezi, Eylül 2019

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Bekir AKTAŞ

ÖZET

Bitüm Emülsiyonlu Harç Tipi Kaplamalar, Karayolu Esnek Üstyapıların servis ömrünü uzatmada ve mevcut durumunu iyileştirmede gelişmiş ülkelerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bitümlü Sıcak Karışım (BSK) kaplamaların servis kabiliyetini iyileştirmek ve servis ömrünü uzatmak amacıyla kaplama tabakasının periyodik olarak bakımının yapılması gerekmektedir. Karayollarında uygulanmakta olan bitüm emülsiyonlu harç tipi kaplamalar, ince agrega, emülsiyon, su ve mineral fillerden oluşan bir kaplama tipidir. Bu tip kaplamalar, BSK'larda meydana gelen kılcal çatlakların kapatılmasını sağlamakta, kaplama yüzeyinin pürüzlülüğünü ve kayma direncini artırmakta, kullanılan agrega gradasyonunun ince olması da sürüş konforuna katkı sağlamaktadır.

Yapılan bu tez çalışmasında, farklı agrega tipleri, farklı agrega gradasyonları, farklı oranlardaki bitüm emülsiyonu, su ve çimento kullanılarak üretilen harç tipi kaplama numunelerinin performansına etki eden parametreler incelenmiştir. Üretilen karışımların içerisindeki bitüm emülsiyonu laboratuvar ortamında üretilmiş, bu emülsiyonla üretilen harç tipi kaplamaların performans özellikleri, ıslak yol aşınma (WTAT), kohezyon, dönel viskozite, tekerlek izi testleri ile, yüzey özellikleri ise kayma sürtünme pandülü ve zaman kontrollü sızıntı ölçer (Hydrotimer) testleri ile belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, bazalt agregaları ile üretilen karışımların kalker agregalarına göre daha iyi bir performans gösterdiği tespit edilmiştir. Dönel viskozite deneyinin kohezyon deneyine yardımcı bir deney olarak kullanılabilceği sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Harç Tipi Kaplama, Aşınma, Makrodoku, Mikrodoku, Kohezyon, Dönel Viskozite, Tekerlek İzi

INVESTIGATION OF PERFORMANCE CHARACTERISTICS OF SLURRY SEAL

Şevket ASLAN

Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences

PhD Thesis, September 2019

Thesis Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Bekir AKTAŞ

ABSTRACT

Slurry seal is widely used in the developed countries to extend and improve the service life of asphalt pavements. In order to improve the serviceability and extend the service life, existing pavements must be periodically maintained. Slurry seal is one of the most important maintenance techniques, which consists of fine aggregate, emulsion, water and mineral fillers. This type of method provides the closure of the capillary cracks occurring in the existing pavements and increases the roughness and shear resistance. Due to the use of fine aggregate, slurry seal does not negatively affect the driving comfort.

Within the scope of this thesis, different aggregate types in different gradations with different ratios of bitumen emulsion, water and cement were used in the production of slurry seal samples and the parameters affecting the performance of the samples were examined. The bitumen emulsion produced in the laboratory was added to the mixtures. The performance properties were investigated in terms of abrasion, cohesion, rotational viscosity and rutting tests and the surface properties were evaluated in terms of British Pendulum and Hydrotimer tests. According to the results derived from this study, it was concluded that the mixtures with the basalt aggregates show a better performance compared to those produced with the limestone aggregates. Also, it was found that instead of the cohesion test, the rotational viscosity test can be used as a contributor experiment.

Anahtar Kelimeler: Slurry Seal, Microsurfacing, Abrasion, Macrotexture, Rutting, Microtexture, Cohesion, Rotational Viscosity

İÇİNDEKİLER

BİTÜM EMÜLSİYONLU HARÇ TİPİ KAPLAMALARIN PERFORMANS ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK SAYFASI	iv
YÖNERGEYE UYGUNLUK SAYFASI	v
KABUL VE ONAY SAYFASI	vi
TEŞEKKÜR.....	vii
ÖZET.....	viii
ABSTRACT.....	ix
İÇİNDEKİLER	x
KISALTMA VE SİMGELER.....	xiv
ŞEKİLLER LİSTESİ	xv
TABLolar LİSTESİ.....	xix
GİRİŞ	1

1. BÖLÜM

GENEL BİLGİLER ve KAPSAM

1.1. Yol Üstyapısı.....	5
1.1.1. Rijit Üstyapı.....	5
1.1.2. Esnek Üstyapı	6
1.1.3. Yarı-Rijit Üstyapı.....	6
1.1.4. Esnek Üstyapı Tabakaları.....	6
1.1.4.1. Üstyapı Tabanı	6
1.1.4.2. Tesviye Yüzeyi	6
1.1.4.3. Alttemel	7
1.1.4.4. Temel	7
1.1.4.5. Kaplama Tabakası	7

2. BÖLÜM

YÜZEY İYİLEŞTİRME YÖNTEMLERİ

2.1. Çatlak Dolgusu	10
2.2. Karartma Tabakası (Fog Seal)	11
2.3. Sathi Kaplama (Seal Coat)	12
2.4. İnce Takviye Tabakası (Thin Hot-Mix Overlays)	15

3. BÖLÜM

BITÜM EMÜLSİYONLU HARÇ TİPİ KAPLAMALAR (HTK)

3.1. HTK Uygulamasının Faydaları	22
3.2. Çevresel Etki.....	23
3.3. HTK Uygulama Zamanı.....	24
3.4. HTK Uygulamasında Kullanılan Malzemeler.....	26
3.4.1. Bitüm Emülsiyonu.....	26
3.4.1.1. Bitüm Emülsiyonu Üretimi	33
3.4.2. Agrega	41
3.4.2.1. Kalite Testleri	41
3.4.2.2. Gradasyon.....	42
3.4.3. Mineral Filler.....	44
3.4.4. Su	45
3.4.5. Katkılar	46
3.5. HTK Çeşitleri	46
3.6. HTK Üretim Süreci.....	47
3.6.1. Güvenlik ve Trafik Kontrolü	47
3.6.2. Kullanılan Makineler.....	49
3.6.3. Stok ve Proje Alanı İhtiyaçları.....	53
3.6.4. Yüzey Hazırlama	53
3.6.5. Uygulama Durumları.....	54
3.6.6. Uygulama Tipleri	55
3.6.6.1. Tam Şerit Genişliği (Full Lane Width)	55
3.6.6.2. Sıyırma Tabakası (Scratch Coat)	56
3.6.6.3. Tekerlek İzi Doldurma (Rut Filling)	57

3.6.6.4. Manuel Uygulama (Hand-applied).....	59
3.6.7. Kalite Konuları.....	60
3.6.8. Üretim Sonrası Durumlar	61
3.6.9. Üretim Sonrası İyileştirmeler	62
3.7. Saha Uygulamalarının İncelenmesi.....	62

4. BÖLÜM

LİTERATÜR İNCELEMESİ

4.1. Literatüre Giriş	68
-----------------------------	----

5. BÖLÜM

GEREÇ VE YÖNTEM

5.1. Deneysel Çalışmada Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri	76
5.1.1. Agrega	78
5.1.1.1. Agrega Gradasyonları	78
5.1.2. Bitüm Emülsiyonu.....	81
5.1.3. Su	82
5.1.4. Çimento	82
5.2. Üretim Kombinasyonları.....	82
5.2.1. Aşınma Numuneleri	82
5.2.2. Tekerlek İzi Numuneleri	86
5.2.3. Kohezyon ve Dönel Viskozite Numuneleri.....	87
5.3. Uygulanan Deneyler.....	87
5.3.1. Islak Yol Aşınma Deneyi (ISSA TB 100 Wet Track Abrasion Test).....	88
5.3.2. Hydrotimer Deneyi (Makropürüzlülük).....	91
5.3.3. Sürtünme Deneyi (Mikropürüzlülük)	94
5.3.4. Tekerlek İzi Deneyi (Loaded Wheel Tester).....	95
5.3.5. Kohezyon Deneyi.....	99
5.3.6. Dönel Viskozite Deneyi	101

6. BÖLÜM

ARAŞTIRMA BULGULARI

6.1. Giriş	103
6.2. Deney Sonuçları.....	103
6.2.1. Aşınma Deneyi Sonuçları (Aşınma Kaybı)	103
6.2.2. Hydrotimer Deneyi Sonuçları (MTD)	105
6.2.3. Emülsiyon ve Su Oranlarının MTD Üzerindeki Etkisi	114
6.2.4. Sürtünme Deneyi Sonuçları	117
6.2.5. Emülsiyon ve Su Oranlarının BPN Üzerindeki Etkisi.....	127
6.2.6. Aşınma Kaybı ve MTD Değişim Sonuçlarının Karşılaştırılması.....	129
6.2.7. Aşınma Kaybı ve BPN Sonuçlarının Karşılaştırılması.....	132
6.2.8. MTD ve BPN Sonuçlarının Karşılaştırılması	135
6.2.9. Tekerlek İzi Deneyi Sonuçları.....	139
6.2.10. Kohezyon Deneyi Sonuçları	143
6.2.11. Dönel Viskozite Deney Sonuçları.....	144

7. BÖLÜM

TARTIŞMA, SONUÇ VE ÖNERİLER

7.1. Tartışma	146
7.2. Sonuç ve Öneriler	147

KISALTMA VE SİMGELER

<u>Sembol</u>	<u>Anlamı</u>
HTK	Harç Tipi Kaplama
ISSA	International Slurry Surfacing Association
KGM	Karayolları Genel Müdürlüğü
MTD	Ortalama Doku Derinliği (Mean Texture Depth)
BPN	İngiliz Pandülü Numarası (British Pendulum Number)
TS	Türk Standardları
EN	Avrupa Normu (European Norm)
BSK	Bitümlü Sıcak Karışım
WTAT	Islak Yol Aşınma Deneyi (Wet Track Abrasion Test)
CBR	Kaliforniya Taşıma Oranı
GT	Granüler Temel
PMT	Plent-miks Temel
ÇBGT	Çimento Bağlayıcılı Granüler Temel
KTŞ	Karayolları Teknik Şartnamesi (2013)
ASTM	American Society for Testing and Materials
TMA	Taş Mastik Asfalt
PA	Poroz Asfalt
IKA	Ilık Karışım Asfalt
PCI	Üstyapı Durum İndeksi
SBS	Styrene-Butadiene-Styrene
SBR	Styrene-Butadiene
RAP	Recycled Asphalt Pavement
CSS	Katyonik Yavaş Kesilen
CMS	Katyonik Orta Hızda Kesilen
CRS	Katyonik Çabuk Kesilen
CQS	Katyonik Hızlı Kesilen
RS	Anyonik Çabuk Kesilen
MS	Anyonik Orta Hızda Kesilen
SS	Anyonik Yavaş Kesilen

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Yol Üstyapısı Tip Enkesiti	5
Şekil 3.1. Yol Bakım Türleri ve Üstyapı Durum İndeksi	19
Şekil 3.2. Harç Tipi Kaplama Finişi	21
Şekil 3.3. HTK Uygulamasının Faydası	23
Şekil 3.4. Çevresel Ayak İzi	24
Şekil 3.5. Çukur Oluşumu	25
Şekil 3.6. HTK Uygulama Zamanı	26
Şekil 3.7. Bitüm Taneciklerinin Dağılımı	27
Şekil 3.8. Emülsiyon Tipleri	28
Şekil 3.9. Emülsiyonun Kesilme ve Kür Aşamaları	29
Şekil 3.10. Emülsiyon İfade Şekli	33
Şekil 3.11. Kolloid Değirmen	34
Şekil 3.12. Emülsiyon Üretim Metotları	35
Şekil 3.13. Emülsiyonda Toplanma Aşamaları	37
Şekil 3.14. Emülsiyonun Depolanması Sırasındaki Zamanla Değişimi	38
Şekil 3.15. Emülgatör Moleküllerinin Yüzeydeki Durumu	39
Şekil 3.16. 1 kg Malzeme için Örnek Fraksiyonlar	43
Şekil 3.17. Çimento İlavesiyle Oluşan Kesilme	45
Şekil 3.18. Seyyar Trafik Lambaları	48
Şekil 3.19. Uyarıcı Levhalar	49
Şekil 3.20. Kendi-yürür Finişer	50
Şekil 3.21. Kamyon-üstü Finişer	51
Şekil 3.22. Döner Fırçalı Yol Süpürme Aracı	51
Şekil 3.23. Vakumlu Yol Süpürme Aracı	52
Şekil 3.24. Silindir	52
Şekil 3.25. Stok Alanı	53
Şekil 3.26. Tam Şerit Genişliği Uygulaması.....	55
Şekil 3.27. Sıyırma Tabakası	57
Şekil 3.28. Tekerlek İzi Yayıcı Kutusu	58
Şekil 3.29. Tekerlek İzi Uygulamasında Agregaların Konumu	58
Şekil 3.30. Manuel HTK Uygulaması	59

Şekil 3.31. HTK Üretim Aşamaları Örneği: Nettetal Şehri	63
Şekil 3.32. HTK Uygulama Öncesi ve Sonrası Görünümler	64
Şekil 3.33. Lilienstrasse Caddesi	65
Şekil 3.34. Antoniusstrasse Caddesi	65
Şekil 3.35. Porschesstrasse Caddesi.....	66
Şekil 3.36. Krefelder Weg Caddesi.....	66
Şekil 3.37. Fenland-Ring Caddesi.....	67
Şekil 4.1. Aşınma Öncesi ve Aşınma Sonrası Yüzey Özellikleri	69
Şekil 5.1. İş Akış Şeması	77
Şekil 5.2. G11, G12 ve G13 Gradasyon Eğrileri	79
Şekil 5.3. G21, G22 ve G23 Gradasyon Eğrileri	80
Şekil 5.4. G31, G32 ve G33 Gradasyon Eğrileri	80
Şekil 5.5. Agrega Tartım İşlemi.....	88
Şekil 5.6. Aşınma Numunesi Hazırlama Aşamaları	89
Şekil 5.7. Islak Yol Aşınma Cihazı.....	90
Şekil 5.8. Aşınma Deneyi Öncesi ve Sonrası Durum: K420 Örneği	91
Şekil 5.9. Hydrotimer Cihazı	92
Şekil 5.10. Süre ve MTD İlişkisi.....	93
Şekil 5.11. Hydrotimer Deneyi	93
Şekil 5.12. Sürtünme Pandülü.....	94
Şekil 5.13. Sürtünme Deneyi	95
Şekil 5.14. Tekerlek İzi Cihazı.....	96
Şekil 5.15. Tekerlek İzi Numunesi Üretimi	97
Şekil 5.16. Tekerlek İzi Deneyi Numune Örnekleri	97
Şekil 5.17. Tekerlek İzi Grafikleri: B250 Örneği	98
Şekil 5.18. Kohezyon Deneyi.....	100
Şekil 5.19. Dönel Viskozite Deneyi.....	101
Şekil 6.1. Aşınma Kaybı Grafikleri (Kalker).....	104
Şekil 6.2. Aşınma Kaybı Grafikleri (Bazalt).....	104
Şekil 6.3. Aşınma Öncesi MTD Sonuçları (Kalker)	105
Şekil 6.4. Aşınma Sonrası MTD Sonuçları (Kalker)	106
Şekil 6.5. Aşınma Öncesi MTD Sonuçları (Bazalt).....	107
Şekil 6.6. Aşınma Sonrası MTD Sonuçları (Bazalt).....	107

Şekil 6.7. Aşınma Etkisindeki Kalker Numunelerinin MTD Değerleri.....	108
Şekil 6.8. Aşınma Etkisindeki Bazalt Numunelerinin MTD Değerleri	108
Şekil 6.9. Gradasyon Bazlı Aşınma Öncesi MTD Değerleri (Bazalt)	109
Şekil 6.10. Gradasyon Bazlı Aşınma Öncesi MTD Değerleri (Kalker).....	110
Şekil 6.11. Gradasyon Bazlı Aşınma Öncesi MTD Değerleri (Kalker ve Bazalt).....	110
Şekil 6.12. Gradasyon Bazlı Aşınma Sonrası MTD Değerleri (Bazalt)	111
Şekil 6.13. Gradasyon Bazlı Aşınma Sonrası MTD Değerleri (Kalker).....	111
Şekil 6.14. Gradasyon Bazlı Aşınma Sonrası MTD Değerleri (Bazalt ve Kalker).....	112
Şekil 6.15. Gradasyon Bazlı MTD Değişim (mm) Değerleri (Bazalt ve Kalker).....	113
Şekil 6.16. Gradasyon Bazlı MTD Değişim (%) Değerleri (Bazalt ve Kalker).....	113
Şekil 6.17. Aşınma Etkisindeki MTD Değerleri (Bazalt ve Kalker)	114
Şekil 6.18. Aşınma Öncesi Emülsiyon ve Suyun MTD Üzerindeki Etkisi (Kalker)	115
Şekil 6.19. Aşınma Öncesi Emülsiyon ve Suyun MTD Üzerindeki Etkisi (Bazalt).....	115
Şekil 6.20. Aşınma Sonrası Emülsiyon ve Suyun MTD Üzerindeki Etkisi (Kalker) ...	116
Şekil 6.21. Aşınma Sonrası Emülsiyon ve Suyun MTD Üzerindeki Etkisi (Bazalt)....	116
Şekil 6.22. Aşınma Öncesi BPN Sonuçları (Kalker)	117
Şekil 6.23. Aşınma Sonrası BPN Sonuçları (Kalker)	118
Şekil 6.24. Aşınma Öncesi BPN Sonuçları (Bazalt).....	118
Şekil 6.25. Aşınma Sonrası BPN Sonuçları (Bazalt).....	119
Şekil 6.26. Aşınma Etkisindeki Kalker Numunelerinin BPN Değerleri.....	120
Şekil 6.27. Aşınma Etkisindeki Bazalt Numunelerinin BPN Değerleri.....	120
Şekil 6.28. Gradasyon Bazlı Aşınma Öncesi BPN Değerleri (Bazalt)	121
Şekil 6.29. Gradasyon Bazlı Aşınma Öncesi BPN Değerleri (Kalker).....	121
Şekil 6.30. Gradasyon Bazlı Aşınma Öncesi BPN Değerleri (Bazalt ve Kalker).....	122
Şekil 6.31. Gradasyon Bazlı Aşınma Sonrası BPN Değerleri (Bazalt)	123
Şekil 6.32. Gradasyon Bazlı Aşınma Sonrası BPN Değerleri (Kalker).....	123
Şekil 6.33. Gradasyon Bazlı Aşınma Sonrası BPN Değerleri (Kalker ve Bazalt).....	124
Şekil 6.34. Gradasyon Bazlı BPN Değişim Değerleri (Bazalt ve Kalker).....	125
Şekil 6.35. Gradasyon Bazlı BPN Değişim (%) Değerleri (Bazalt ve Kalker).....	125
Şekil 6.36. Aşınma Etkisindeki BPN Değerleri (Bazalt ve Kalker)	126
Şekil 6.37. Aşınma Öncesi Emülsiyon ve Suyun BPN Üzerindeki Etkisi (Kalker)	127
Şekil 6.38. Aşınma Öncesi Emülsiyon ve Suyun BPN Üzerindeki Etkisi (Bazalt).....	128
Şekil 6.39. Aşınma Sonrası Emülsiyon ve Suyun BPN Üzerindeki Etkisi (Kalker)	128

Şekil 6.40. Aşınma Sonrası Emülsiyon ve Suyun BPN Üzerindeki Etkisi (Bazalt)	129
Şekil 6.41. Aşınma Kaybına Bağlı MTD Değişimi (Kalker).....	130
Şekil 6.42. Aşınma Kaybına Bağlı MTD Değişimi (Bazalt)	131
Şekil 6.43. Aşınma Kaybına Bağlı MTD (%) Değişimi (Kalker).....	131
Şekil 6.44. Aşınma Kaybına Bağlı MTD (%) Değişimi (Bazalt)	132
Şekil 6.45. Aşınma Kaybına Bağlı BPN Değişimi (Kalker).....	133
Şekil 6.46. Aşınma Kaybına Bağlı BPN Değişimi (Bazalt).....	133
Şekil 6.47. Aşınma Kaybına Bağlı BPN (%) Değişimi (Kalker).....	134
Şekil 6.48. Aşınma Kaybına Bağlı BPN (%) Değişimi (Bazalt).....	135
Şekil 6.49. Aşınma Öncesi ve Sonrası MTD ve BPN Karşılaştırılması (Kalker).....	136
Şekil 6.50. Aşınma Öncesi ve Sonrası MTD ve BPN Karşılaştırılması (Bazalt)	137
Şekil 6.51. MTD ve BPN Sonuçlarının Karşılaştırılması (Aşınma Öncesi).....	138
Şekil 6.52. MTD ve BPN Sonuçlarının Karşılaştırılması (Aşınma Sonrası).....	139
Şekil 6.53. Oturma Sonuçları (1000, 2000, 3000 Devir)	140
Şekil 6.54. Şişme Sonuçları (1000, 2000, 3000 Devir).....	141
Şekil 6.55. Oturma Eğimi Değerleri	142
Şekil 6.56. Şişme Eğimi Değerleri.....	142
Şekil 6.57. Kohezyon Deneyi Sonuçları	143
Şekil 6.58. Dönel Viskozite Deney Sonuçları.....	144

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 3.1. Koruyucu Bakım Teknikleri ve Amaçları	20
Tablo 3.2. Bitüm Emülsiyonlarının Çeşitleri ve Kullanım Alanları	29
Tablo 3.3. Uygulama Sıcaklıkları	30
Tablo 3.4. Bitüm Emülsiyonları ve Uygulama Alanları	31
Tablo 3.5. Yavaş Kesilen Bitüm Emülsiyonları	32
Tablo 3.6. Emülsiyon Tiplerine Ait Emülgatör Oranları ve Çeşitleri.....	39
Tablo 3.7. Kalite Testleri	41
Tablo 3.8. Gradasyon Limitleri.....	42
Tablo 3.9. Slurry Seal ve Microsurfacing Arasındaki Farklar	47
Tablo 5.1. Agrega Özellikleri.....	78
Tablo 5.2. Gradasyon Çeşitleri	79
Tablo 5.3. Bitüm Emülsiyonu Özellikleri ve Şartname Limitleri.....	81
Tablo 5.4. Kalker Kombinasyon Kodları.....	83
Tablo 5.5. Bazalt Kombinasyon Kodları	84
Tablo 5.6. Aşınma Kombinasyonları	85
Tablo 5.7. Tekerlek İzi Numuneleri.....	86
Tablo 5.8. Tekerlek İzi Kombinasyonları	87
Tablo 5.9. Kohezyon ve Dönel Viskozite Kombinasyonları	87
Tablo 6.1. Tekerlek İzi Deneyi Sonuçları	140
Tablo 6.2. Kohezyon Numunelerinin Trafiğe Açılma Süreleri	144

GİRİŞ

Karayolu Esnek Üstyapıların servis ömrünü uzatmak ve mevcut durumunu önemli derecede iyileştirmek amacıyla kaplama tabakasının periyodik olarak bakımının yapılması gerekmektedir. Bakım yöntemlerinden birisi olan Bitüm Emülsiyonlu Harç Tipi Kaplamalar (HTK) gelişmiş ülkelerde yaygın olarak kullanılmaktadır. İnce agrega, bitüm emülsiyonu, su ve mineral fillerden oluşan HTK karışımları, mevcut kaplamalarda ortaya çıkan kılcal çatlakları kapatmakta, yüzey doku özelliklerini iyileştirmekte, su ve havaya karşı geçirimsiz bir yüzey oluşturmaktadır. Buna ek olarak, mevcut kaplama yüzeyinde oluşan oksidasyon ve bozulmalar geciktirilerek bitümüm yaşlanması azaltılır. Mevcut kaplamada zamanla oluşan tekerlek izini doldurmanın en etkili ve kolay yöntemlerinden bir tanesi harç tipi kaplama uygulamalarıdır. Bu uygulama sayesinde bozuk yüzey profilleri düzenlenir. Silindiraj gerektirmeyen bu uygulamada yol kısa bir süre sonra tekrar trafiğe açılır. Ayrıca, HTK uygulaması doğru zamanda doğru kaplamaya uygulanırsa, mevcut kaplamanın servis ömrünü ortalama 7 yıl uzatmaktadır.

Yapılan bu tez çalışmasında, farklı gradasyondaki farklı agrega tipleri kullanılarak farklı oranlardaki emülsiyon, su ve çimento ile harç tipi kaplama numunelerinin üretimi gerçekleştirilmiştir. Üretilen numunelere ıslak yol aşınma (WTAT), kohezyon, dönel viskozite, tekerlek izi, kayma sürtünme pandülü ve zaman kontrollü sızıntı ölçer (Hydrotimer) deneyleri uygulanmış ve numunelerin performansına etki eden parametreler incelenmiştir.

Tez çalışmasının birinci bölümünde yol üstyapısı katmanları, esnek, rijit ve yarı-rijit üstyapılar, üstyapı tabanı, tesviye yüzeyi, alttemel, temel, bitümlü sathi kaplama, makadam sathi kaplama, bitümlü koruyucu sathi kaplama (seal coat), aşınma ve binder tabakaları, taş mastik asfalt (TMA), poroz asfalt (PA), ılık karışım asfalt (IKA) kaplama tabakalarının özellikleri, üretim yöntemleri, uygulama sıcaklıkları, kullanılan

malzemeler, birbirlerinden farkları, faydaları ve amaçları anlatılarak genel bilgiler verilmiştir.

İkinci bölümde, yüzey iyileştirme yöntemlerinden olan çatlak dolgusu, karartma tabakası, sathi kaplama ve ince takviye tabakası hakkında bilgiler verilmiştir. Noktasal olarak uygulanan çatlak dolgusu yönteminin mevcut kaplama üzerindeki etkileri ve uygulama metodundan bahsedilmiştir. Kaplama yüzeyini geçirimsiz hale getirmek, zenginleştirmek, küçük çatlakları doldurmak ve sökülme önlemek amacıyla kullanılan karartma tabakası ayrıntılarıyla ele alınmıştır. Yüzey sürtünmesini iyileştiren, yüzeyi suya karşı geçirimsiz hale getiren ve düşük miktarda çatlak dolgusu işlevi gören sathi ve çift kat sathi kaplamalardan bahsedilmiştir. Ayrıca, yüzey pürüzlülüğünü düzenleme, sürtünmeyi yenileme, yol profili iyileştirme ve az da olsa yolun yük taşıma kapasitesini artırmak amacıyla kullanılan diğer bir iyileştirme yöntemi olan ince takviye tabakasından bahsedilmiştir. Buna ek olarak, yüzey iyileştirme yöntemlerinin amaçları, mevcut kaplamaların durumu, bakım yöntemleri, mevsimsel koşulları, beklenen performansları ve hizmet ömürleri, sınırlamaları ve maliyetleri hakkında bilgiler verilmiştir.

Üçüncü bölümde, yüzey iyileştirme yöntemlerinden biri olan harç tipi kaplamalar hakkında detaylı bilgiler verilmiştir. Koruyucu bakım, düzeltici bakım ve acil bakım çeşitleri ve harç tipi kaplama uygulamasının bu bakım çeşitlerinden hangisinin içerisinde yer aldığına değinilmiştir. Üstyapı durum indeksi gösterilmiş ve mevcut kaplamanın servis ömrü boyunca değişen özellikleri anlatılmıştır. Harç tipi kaplama uygulamasının tarihsel gelişimi, amaçları, faydaları, doğurduğu tasarruflar, çevresel etkileri, çeşitleri, bitüm emülsiyonu üretim yöntemleri (batch, in-line), bitüm emülsiyonunun çökme aşamaları, emülgatör tipleri, kullanılan agregalar, gradasyon çeşitleri ve uygulama yerleri, katkıları, harç tipi kaplama üretim aşamaları, uygulama zamanı, güvenlik önlemleri, kullanılan makineler, yüzey hazırlama yöntemi, uygulama tipleri, kalite konuları, uygulama sonrası durumlar, üretim sonrası iyileştirmeler ve saha uygulaması örnekleri anlatılmıştır.

Dördüncü bölümde, literatür çalışması yapılarak Harç Tipi Kaplamalar hakkında yapılan önceki çalışmalar irdelenmiştir. Geri dönüştürülmüş atık asfalt (RAP) kullanılarak oluşturulan HTK karışımlarına uygulanan aşınma, sürtünme pandülü ve kum yama

deneylerinin sonuçlarından bahsedilmiştir. ISSA dizayn yöntemlerine öneriler sunan, şingil (shingle), araç lastikleri ve çelik atıklarının kullanılabilirliğini araştıran, tekerlek izi sonuçlarına göre karşılaştırma yapan, cürufu ve doğal agregaları karşılaştıran, polimer modifiyeli bitüm emülsiyonlarının kıvamını, kesilme süresini ve indirekt çekme mukavemetini inceleyen, agrega gradasyonunun yüzey dokusuna etkisini irdeleyen, reçine ile üretilmiş bitüm emülsiyonlarının reolojisinin ve stabilitesinin çimento etkisi altındaki davranışlarını araştıran, farklı agregalar ve farklı bağlayıcılar arasındaki uyumu tahkik eden, uygulaması yapılan harç tipi kaplamaların yüzey özelliklerini inceleyen, farklı emülgatörlerle üretilen farklı emülsiyonların stabilitesini araştıran ve sertleşmeyi sağlayan çimento yerine alternatif filler malzemesinin kullanılabilirliğini inceleyen çalışmalara yer verilmiştir.

Beşinci bölümde, deneysel çalışmada kullanılan malzemeler ve bu malzemelerle oluşturulan kombinasyonlardan bahsedilmiştir. Deneysel çalışmalarda izlenecek adımlar iş akış şeması ile gösterilerek özetlenmiştir. Kullanılan agrega türleri, agrega gradasyonu, bitüm emülsiyonu, su ve çimento detaylı bir şekilde ele alınmıştır. Agrega gradasyon eğrileri gösterilmiş ve gradasyon kodlarından bahsedilmiştir. Aşınma, tekerlek izi, kohezyon ve dönel viskozite numunelerinin kombinasyonları tablolar halinde verilerek her bir kombinasyona ait agrega türü, gradasyon, emülsiyon oranı ve su oranı gösterilmiştir. Islak yol aşınma, hydrotimer, sürtünme, tekerlek izi, kohezyon ve dönel viskozite deneylerinin yapıları, agrega tartım işlemleri, karışım hazırlama, deney numunesi hazırlama aşamaları anlatılarak kullanılan cihazlar ve özellikleri hakkında bilgiler verilmiştir.

Altıncı bölümde, araştırma bulgularına yer verilmiştir. Aşınma numuneleri için 486 adet, tekerlek izi numuneleri için 54 adet, kohezyon ve dönel viskozite numuneleri için 188 adet olmak üzere toplamda 728 adet numuneye yapılan deney sonuçlarına yer verilmiştir. Aşınma kaybı, MTD (Mean Texture Depth), BPN (British Pendulum Number), emülsiyon ve su oranlarının MTD ve BPN değerleri üzerindeki etkileri, aşınma kaybı değerlerinin MTD ve BPN değerleri ile karşılaştırılması, MTD ve BPN değerlerinin karşılaştırılması, tekerlek izinde oturma ve şişme değerleri, kohezyon ve dönel viskozite deney sonuçları hakkında bilgiler verilmiş ve grafiklerle ifade edilerek deney sonuçları yorumlanmıştır.

Yedinci bölümde, tartışma, sonuç ve önerilerden bahsedilmiştir. Harç tipi kaplama uygulamasının öneminden bahsedilmiş ve laboratuvar ortamında üretimi gerçekleştirilen numunelerin performans özellikleri hakkında özlü bilgiler verilmiştir. Kalker ve bazalt agregalarıyla üretilen numunelerin performans açısından karşılaştırılabilmesi için uygulanan deney sonuçlarına yer verilmiş, yüzey özellikleri sonuçları yorumlanmış ve HTK numunelerinin dizaynı sırasında düşünülmesi gereken parametreler hakkında önerilerden bahsedilmiştir. Ayrıca, kohezyon ve dönel viskozite deneylerinden elde edilen sonuçlar doğrultusunda birtakım önerilerde bulunulmuştur.

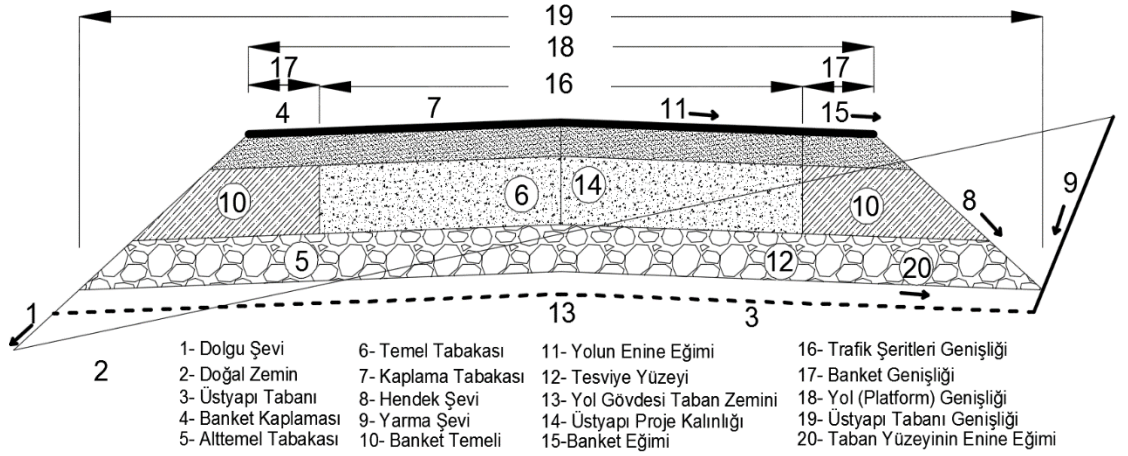


1. BÖLÜM

GENEL BİLGİLER ve KAPSAM

1.1. Yol Üstyapısı

Yol üstyapısı, üstyapı ve altyapı olarak iki ana kısımdan oluşur. Yarma ve dolguların oluşturduğu kısım altyapıdır. Trafik yüklerini karşılayan ve bu yükleri azaltarak altyapıya aktaran tabakalı bir yapıya sahip kısım ise üstyapıdır [1]. Yol üstyapısı (Şekil 1.1) tip enkesiti aşağıda gösterilmiştir [2].



Şekil 1.1. Yol Üstyapısı Tip Enkesiti [2]

Üstyapılar, kullanılan malzemelerin çeşitlerine ve özelliklerine göre Esnek Üstyapı, Rijit Üstyapı ve Yarı-Rijit Üstyapı olmak üzere üçe ayrılırlar [1].

1.1.1. Rijit Üstyapı

Portland çimentosu kullanılarak üretilen beton plaka tarafından yüklerin büyük bir kısmının taşındığı, taşınmayan kısmının ise alt kısımda bulunan altyapıya aktarıldığı bir

üstyapı tipidir. Üstyapı tabanının dayanımı yeterli ise beton plakanın alt kısmına temel tabakası yapılmayabilir [1].

1.1.2. Esnek Üstyapı

Bitümlü bağlayıcılı ya da bağlayıcısız tabakalar tarafından taşıt yüklerinin büyük bir bölümünün taşındığı, kalan kısmın ise tabanda bulunan tabakalara aktarıldığı üstyapı tipidir. Bu tip bir üstyapının agrega kenetlenmesi, dane sürtünmesi ve kohezyonu üstyapının stabilitesini belirler. Esnek üstyapılar, çeşitli özelliklere sahip malzemelerden oluşan birçok tabakayı içerisinde barındırır. Bu tabakaların kalınlıkları ve çeşitleri üstyapı tabanındaki taşıma gücü ve trafik yüklerine göre değişiklik gösterir [1].

1.1.3. Yarı-Rijit Üstyapı

Yükleri geniş bir alana yayarak alt kısımda bulunan tabana ileten, bitümlü kaplama ve hidrolik bağlayıcılı tabakayı barındıran bir üstyapı tipidir [1].

1.1.4. Esnek Üstyapı Tabakaları

Esnek üstyapılar, trafik yükünden kaynaklanan gerilmeleri karşılar ve taban toprağına gelen yükü en az seviyeye indirir. Bu karşılama ve dağıtma işlemi çeşitli tabakalar sayesinde yapılır [1].

1.1.4.1. Üstyapı Tabanı

Tesviye yüzeyi altında bulunan, üstyapıya gelen yüklerin ulaşabildiği bir derinliğe kadar (yaklaşık 25-85 cm) yarma veya dolgularda da sürekliliği olan bir tabakadır. Üstyapı tabakalarının kalınlıklarını ve özelliklerini belirleyen en önemli değer Kaliforniya Taşıma Oranı (CBR) değeridir. Bu değer az ise taşıma yükünü karşılayabilmek için tabaka kalınlığı artırılır [1].

1.1.4.2. Tesviye Yüzeyi

Altyapı zemininin üst yüzeyidir. Bu kısma, yol üstyapısı ve banketler oturur. Diğer katmanların kolay inşa edilmesi için düzgün bir yüzey elde edilir [1].

1.1.4.3. Alttemel

Taban üzerinde bulunan ve temel tabakasını taşımak amacıyla oluşturulmuş bir üstyapı tabakasıdır. Temel tabakasından gelen yükleri dağıtarak azalmasını sağlar [1].

1.1.4.4. Temel

Trafik yükünden gelen gerilmeleri karşılamak için alttemel üzerine belirli bir kalınlıkta oluşturulan bir üstyapı tabakasıdır. Bu tabakanın, kabul edilebilir bir drenaj sağlamak ve don etkisini azaltmak gibi fonksiyonları vardır. Alttemel tabakasından olduğu gibi temel tabakasından da amacı trafik yüklerini kendi içinde sönmek ve bu sayede kesme ve oturma bozulmalarının ortaya çıkmasını engellemektir. Karayollarında Granüler Temel (GT), Plent-miks Temel (PMT) ve Çimento Bağlayıcı Granüler Temel (ÇBGT) olmak üzere üç farklı temel tipi bulunmaktadır [1].

1.1.4.5. Kaplama Tabakası

Üstyapının en üst kısmında bulunur ve genel olarak Bitümlü Sıcak Karışım (BSK) ya da sathi kaplama olarak üretilir. Kaplama tabakasından ana görevi, trafik yüklerini taşımak ve araç trafiğinden kaynaklanan aşınmaları önlemek, çevresel ve iklim koşullarının ayrıştırıcı etkisini engellemek, konforlu bir seyahat sunmak ve su yalıtımı sağlamaktır [1].

Yolun trafik yüküne, kullanım amacına ve üretim yöntemlerinin farklılığına göre bitümlü kaplamalar farklı türdedirler. Genel olarak, karışım tipi kaplamalar (Bitümlü Sıcak Karışımlar) ve sathi kaplamalar olmak üzere iki sınıfa ayrılmışlardır. Bu sınıflandırmaya ek olarak, kullanılan asfaltın türüne göre soğuk kaplamalar ve sıcak kaplamalar olmak üzere iki sınıfa ayrılırlar. Soğuk kaplamalarda bağlayıcı olarak bitüm emülsiyonları veya sıvı petrol asfaltları kullanılır. Sıcak kaplamalarda ise sıcaklığı 150 °C civarında olan bitümlü bağlayıcılar tercih edilir [1].

Bitümlü sathi kaplama, makadam sathi kaplama, bitümlü koruyucu sathi kaplama, aşınma ve binder tabakaları, taş mastik asfalt (TMA), poroz asfalt (PA), ılık karışım asfalt (IKA)

ve bitüm emülsiyonlu harç tipi kaplamalar esnek üstyapıların kaplama tabakasını oluşturur [3].

1.1.4.5.1. Bitümlü Sathi Kaplama

Plent-miks temel, çimento bağlayıcı granüler temel, granüler temel veya benzer temeller üzerine püskürtülerek uygulanan astar tabakası ya da mevcut sathi kaplama yüzeyine öncesinde bitümlü bağlayıcı ve hemen arkasından agrega tabakasının serilip en sonunda ise silindirele sıkıştırma işleminin yapıldığı tek veya çift kat olarak uygulaması yapılan kaplama türüdür [3].

1.1.4.5.2. Makadam Sathi Kaplama

Makadam Sathi Kaplama, taşıma gücü yeterli olan astarı yapılmış temel tabakası üzerine önce kaba agrega serilip üzerine bitüm püskürtülmesi sonrasında yine orta boyutta agrega serilip üzerine ikinci kez bitümün püskürtülüp hemen ardından ince boyuttaki agreganın serilip silindirleme işleminin yapılması ile inşa edilir [3].

1.1.4.5.3. Bitümlü Koruyucu Sathi Kaplama (Seal Coat)

Bitümlü Koruyucu Sathi Kaplama, mevcut kaplamanın kullanım ömrünü uzatmak ve yüzey karakteristiklerini geliştirmek maksadıyla asfalt betonu yüzeyine bitümlü bağlayıcı tabakası ve sonrasında bir agrega tabakasının serilmesi ve sıkıştırılması ile üretilir [3].

1.1.4.5.4. Aşınma ve Binder Tabakaları

Aşınma ve binder tabakaları, kaba, ince ve mineral filler agregalarının belirli gradasyon sınırları içerisinde önceden dizaynı yapılmış işyeri karışım formülüne uygun olarak bitümlü bağlayıcı ile bir asfalt plentinde karıştırılarak bitümlü kaplamalar, temeller veya beton kaplamalar üzerine bir veya birden çok tabakalar halinde sıcak olarak serilen ve silindirele sıkıştırılan kaplamalardır [3].

1.1.4.5.5. Taş Mastik Asfalt (TMA)

Taş Mastik Asfalt kaplamaları, kaba, ince ve mineral filler agregalarının belirli gradasyon sınırları içerisinde önceden dizaynı yapılmış işyeri karışım formülüne uygun olarak bitümlü bağlayıcı ile bir asfalt plentinde karıştırılarak yeterli taşıma yüküne sahip bitümlü kaplamalar veya beton kaplamalar üzerine bir tabaka halinde sıcak olarak serilen ve silindirle sıkıştırılan, projesindeki profil, plan ve enkesitlere uygun olarak inşa edilen açık gradasyonlu kaplamalardır [3].

TMA, kaba agregadan oluşan bir iskelet sistemi ve bu sistemdeki boşlukları dolduran filler-bitüm harcının karıştırılmasıyla oluşan kaplamalardır. İri agregaların arasında yüksek kenetlenme ortaya çıkmasıyla birlikte trafik yükleri karşılanır. İri agregaların arasındaki boşlukları dolduran mastik kısmı, yüksek bitüm oranına sahip olduğu için durabilitesi yüksek bir kaplama türüdür. Bitüm miktarı yüksek olduğundan süzülme engellemenek için karışıma elyaf ilave edilir [1].

1.1.4.5.6. Poroz Asfalt (PA)

Poroz asfalt (PA), yağışlı havalarda su drenajının sağlanması ve sürüş güvenliğinin artırılması için inşa edilen bir kaplama türüdür. Bu sayede, drenaj sağlamak için gereken altyapı ihtiyacı ortadan kaldırılmaktadır ve maliyetler düşmektedir. Geleneksel yöntemle inşa edilen asfalt kaplamalardan farklı olarak poroz asfalt karışımlarda boşluk oranı % 20 civarındadır. Su yalıtımı özelliğine sahip bir tabaka üzerine imalatı yapılan poroz asfalt kaplaması, birbirine bağlı ve sürekliliği olan boşlukları sayesinde yağmur suyunu emerek suyu asfalt kaplamadan uzaklaştırır ve bu sayede drenaj sağlanmış olur [4].

1.1.4.5.7. Ilık Karışım Asfalt (IKA)

Ilık Karışım Asfalt (IKA), geleneksel asfalt betona göre daha düşük sıcaklıklarda üretimi yapılan bir kaplama türüdür. IKA uygulamasının asıl amacı geleneksel asfalt kaplamaların üretilme ve sıkıştırılma sıcaklığını düşürmektir. IKA teknikleri uygulanarak bitümlü bağlayıcının düşük sıcaklıklarda daha düşük viskozite değerinin elde edilmesi sağlanır. Çevresel fayda, enerji tasarrufu, ekonomik fayda, uygulamada kolaylık ve iş sağlığı ve güvenliği açısından ele alındığında büyük avantajları vardır [5].

2. BÖLÜM

YÜZEY İYİLEŞTİRME YÖNTEMLERİ

Yüzey iyileştirme yöntemleri, mevcut asfalt kaplama yüzeyinin yeni bir malzeme ile kapatılması ve mevcut durumun daha da iyileştirilmesi işlemleridir. Mevcut kaplama yüzeyine sürtünme özelliği de eklenmek isteniyorsa agrega ilave edilerek bu durum gerçekleştirilir. Kullanılan bitüm malzemesi katbek (cut-back) veya emülsiyon olabilir. Fakat katbek asfaltların kullanımı çevresel açıdan çeşitli sıkıntılar doğurduğu için emülsiyon kullanımı önerilmektedir.

Yüzey iyileştirme yöntemleri arasındaki en önemli farklar agrega miktarı, agrega türü ve kullanılan emülsiyon çeşididir. Yüzey iyileştirme yöntemleri:

- Çatlak Dolgusu
- Karartma Tabakası (Fog Seal)
- Sathi Kaplama (Seal Coat)
- İnce Takviye Tabakası (Thin Hot-Mix Overlay)
- Harç Tipi Kaplama (Slurry Seal, Microsurfacing) metotlarıdır [6].

2.1. Çatlak Dolgusu [6]

Çatlak dolgusu yöntemi, noktasal olarak uygulanan bir yöntemdir. Başka bir deyişle, çatlak olan nokta tespit edilir ve o noktaya özel bir uygulama yapılarak çatlak tamir edilir. Bu sayede, o noktadaki problem ortadan kaldırılarak mevcut kaplama korunmuş olur. Çatlak dolgusu sayesinde suyun alt katmanlara geçmesi engellenir. Çatlak dolgusu

yöntemi sadece birkaç yıl için etkili olur ve yenilenmesi gerekir. Mevcut kaplamanın ömrünü uzatmada kullanılan etkili yöntemlerden bir tanesidir.

Çatlak dolgusu işleminde çeşitli teknikler kullanılır. Çatlak oluşan bölgenin mevcut yapısı bozulmadan hava basıncı ile temizlenerek serbest malzemelerden arındırılır ve dolgu ile kapatılır. Ayrıca, testere kullanılarak çatlak ve etrafı kesilip tekrar yeni malzeme ile dolgu yapılabilir. Çatlak oluşan bölgenin tamir edilme imkanı yoksa testere ile kesilerek daha belirgin bir alan oluşturulur ve böylece daha düzgün bir üretime imkan sağlanır.

2.2. Karartma Tabakası (Fog Seal) [6]

Karartma tabakası, kaplama yüzeyini geçirimsiz hale getirmek, zenginleştirmek, küçük çatlakları kapatmak ve sökülme önlemek için agrega kullanımına ihtiyaç olmadan bitüm emülsiyonu kullanımıyla yapılan bir uygulamadır. Karartma tabakası uygulaması asfalt distribütörü ile yüzeye bitüm emülsiyonu püskürtülerek uygulanır. Hem düşük hem de yüksek hacimli yollarda uygulanabilir. Yavaş ilerleyen trafiğe sahip yollarda karartma tabakasının uygulanması sınırlıdır. Bunun nedeni, uygulaması yapılan karartma tabakasını trafiğin kolay sökebilmesidir. Orta dereceli sökülme ve/veya oksidasyon meydana geldiğinde hava koşullarının etkisini ortadan kaldırmak için uygulanır.

Mevcut kaplama yüzeyi yeterli miktarda emülsiyonu emecek kapasitedeyse uygulaması yapılır. Mevcut kaplama yüzeyi, karartma tabakasından gelen emülsiyonu içine absorbe etmezse karartma tabakası uygulaması doğru değildir. Karartma tabakası uygulanmadan önce mevcut kaplama yüzeyinin temiz ve kuru olması, gerekli tamiratın yapılarak karartma tabakası uygulamasına hazır hale getirilmesi gerekir. Asfalt distribütörü kullanılarak yapılan üretimde uygulama oranlarının ayarlanması ana unsurdur.

Uygulama için en uygun zaman hava sıcaklığının yüksek veya ılık olduğu zamanlardır. Düşük sıcaklıklarda uygulanması durumunda daha uzun bir kür olma süresi ortaya çıkar. Dolayısıyla, yolun trafiğe açılmasında aksaklıklar ortaya çıkabilir. Emülsiyonun tam olarak sertleştiğinden emin olunduktan sonra yol trafiğe açılmalıdır. Uygun koşullar altında iki ya da üç saat gibi bir süre yeterli olabilir. Yol trafiğe açıldıktan sonra belirli bir

süre yavaş hızla trafiğin seyretmesi sağlanarak yüzeydeki asfaltın bir kısmının aşınması sağlanır. Emülsiyon kullanım oranları, yüzey dokusuna, hava şartlarına ve trafiğe göre değişiklik gösterir. Uygulama oranları az seviyede tutularak emülsiyonun sıçraması ve kayma direnci kaybı engellenir. Püskürtme yapılırken sıcaklık 50 – 70 °C arasındadır. Yüzey sıcaklığı ise en az 10 °C olmalıdır. Yüzey iyileştirilmesi için ilave olarak belirli özellikteki kum kullanılabilir.

Beklenen Performans ve Servis Ömrü: Karartma tabakası uygulamasından sonra beklenen servis ömrü, mevcut kaplamanın özelliklerine ve güneş ışığına maruz kalmasına bağlıdır. Bu uygulamanın performans ömrü kısadır ve bir ile iki yıl arasında değişmektedir.

Sınırlamalar: Olumsuz hava koşulları altında, yolun trafiğe açılmasını bir kaç saat erteleyebilir. Bu nedenle, karartma tabakası genellikle kaplamadaki sürtünme kaybı ihtimalinin önemli olmadığı banketlerde ve otoparklarda uygulanır.

Önlemler: Mevcut kaplamadaki agregaların yüzey özelliği yeterli miktarda emülsiyonu absorbe edecek kapasitede olmalıdır. Çatlakların saç telinden kalın olduğu yerlerde kullanılmaz. Yüksek hacimli yollarda kullanılması ayrı bir özen gerektirmektedir.

Malzemeler: % 50 suyla karıştırılmış CSS-1, CSS-1h gibi türdeki bitüm emülsiyonu ya da gerekli standartları sağlayan gençleştirici (rejüvenatör) malzemelerdir.

Maliyet: Karartma tabakasının maliyeti düşüktür. Maliyet, bitüm türüne, uygulama oranına ve projenin büyüklüğüne bağlıdır.

2.3. Sathi Kaplama (Seal Coat) [6]

Sathi kaplama, bitümün yüzeye püskürtülmesini takiben üzerine agrega serilmesi ve sıkıştırılması ile üretilir. Çift tabaka halinde uygulanırsa çift kat sathi kaplama olarak adlandırılır. Çabuk kesilen bitüm emülsiyonları yaygın bir şekilde kullanılır. Sathi kaplamalar yüzeyi suya karşı geçirimsiz yapabilir, düşük miktarda çatlak dolgusu işlevi görür ve yüzey sürtünmesini iyileştirir.

Zamanlama: Mevcut kaplamanın hangi döneminde olursa olsun sathi kaplama uygulaması yapılabilir.

Amaç: Sathi kaplama uygulamasının temel amacı mevcut kaplamayı güneşin ve suyun zararlı etkilerinden korumaktır. Asfalt kaplamalar, güneşin, rüzgarın ve suyun etkisinde kaldıkça zamanla sertleşmekte ve oksidasyona uğramaktadır. Bu nedenle, kaplama zamanla gevrekleşmekte ve çatlamaya meyilli bir yapı oluşmaktadır. Sathi kaplamalar, sadece su yalıtımı sağlayarak oksidasyon etkisini de yavaşlatmakla kalmayıp aynı zamanda suyun da alt katmanlara geçip sızmasını engeller. Diğer bir faydası ise agreganın yüzey özelliği sayesinde mevcut kaplamanın sürtünme özelliğini iyileştirmesidir. Ayrıca, yüzeyi sökülmiş ve bozulmuş kaplamaların yüzey dokusu sathi kaplamalar sayesinde iyileşir.

Mevcut Kaplama Durumu: Kuru ve bozulmuş kaplamalar, sathi kaplamalar için iyi bir nedendir. Bazı kuruluşlar, mevcut kaplamanın durumu iyi olsa dahi sathi kaplama uygulamasını koruyucu bakım tekniği olarak kullanmaktadır.

Dizayn Yöntemleri: Sathi kaplama dizaynı yapılırken dikkat edilmesi gereken en önemli faktör kullanılan bitüm ve agrega miktarının doğru şekilde ayarlanabilmesidir. Kullanılan agregaların % 70'i gömülecek şekilde üretim yapılmalıdır. Sathi kaplama dizaynı yapılırken karayolundaki trafik hacmi, bitümün mevcut kaplama tarafından emilme oranı, bitümün kullanılan agrega tarafından emilmesi, mevcut kaplamanın dokusu ve agreganın büyüklüğü, şekli ve gradasyonu dikkate alınmalıdır. En doğru uygulama yöntemi, kullanılan agreganın bitüme sökülmeyecek şekilde yapışması ve hiçbir şekilde serbest agreganın kalmaması durumudur.

Uygulama oranlarının doğru olduğundan emin olmak için kullanılan cihazlar sürekli olarak kalibre edilmelidir. Bu kalibrasyon işlemi, distribütörün arkasına bir keçe konularak yapılabilir. Üretim aşamasında keçe üzerine denk gelen malzeme miktarları kontrol edilerek bitüm püskürten uçların açıları ayarlanır. Bu uçlar birbiri üzerine gelecek şekilde bitüm püskürtüyorsa önlem alınmalıdır. Önerilen uç açıları 15 ile 30 derece arasındadır. Uç büyüklükleri, açıları ve uçlar arasındaki boşluklar püskürtme yüksekliğini belirler.

Üretim Aşamaları:

1. Mevcut yüzey kir ve tozdan arındırılır.
2. Distribütör vasıtasıyla bitüm yüzeye püskürtülür.
3. Agregaya yayıcılarla agregalar yüzeye serilir.
4. Pnömatik silindirlerle sıkıştırma yapılır. Beş ya da altı pas yeterlidir.
5. Yüzeyde serbest halde kalan agregalar ertelenmeden temizlenir. Temizleme işlemi genelde ertesi gün yapılır. Fakat modifiye bitüm kullanılıyorsa bu süre daha kısa olabilir.

Mevsimsel Engeller: Sathi kaplama uygulaması büyük oranda mevsimsel koşullardan etkilenir. Nem oranı düşük olan ılık bir yaz günü en uygun zamandır. Yüksek nem oranı ve soğuk hava şartları kür süresini uzatır ve bitüm uzun bir süre yumuşak bir şekilde kalır. Dolayısıyla, trafikten kaynaklı bir zarar görme ihtimali yüksek olur. Yağmur yağması birçok önemli probleme neden olabilir. Kür olmayan bitüm emülsiyonu sıvı halde kaldığı zaman yağmur sebebiyle yukarı yönlü hareket ederek agregaya yüzeyine çıkabilir. Bitüm emülsiyonu buharlaştığında ise agregaya yüzeyinde kalan bitüm, üzerinden geçen araç tekerlerine yapışır ve bu da agregaların fırlatılmasına neden olur. Sathi kaplama yapıldıktan sonra yağmur yağma ihtimali varsa üretimden kaçınılmalıdır.

Gün içinde kaplamanın ve hava sıcaklığının 15 °C üzerinde ve nem oranının % 75'ten küçük olduğu zamanlarda sathi kaplama uygulaması yapılmalıdır.

Sathi kaplama uygulaması yapıldıktan sonra belirli bir süre yol araç trafiğine kapatılmalıdır. Silindirleme işlemi bittikten ve kullanılan emülsiyon tamamen kesilip kür olduktan sonra araçların yolu kullanmasına izin verilmelidir.

Beklenen Performans ve Hizmet Ömrü: Sathi kaplamalarının ömrü yaklaşık üç ile altı yıl arasındadır.

Sınırlamalar: Bitüm malzemesinin içine gömülmeyen serbest haldeki agregalar, araçların ön camlarını kırma ihtimali vardır. Fazla miktarda bitüm kullanılması ya da yağ agregalar

problemlere yol açar. Yolun çıkarmış olduğu ses artmaktadır ve sürüş konforunda ciddi düşüşler yaşanmaktadır.

Maliyet: Sathi kaplamalar, bağlayıcı türüne, agrega tipine ve projenin büyüklüğüne göre değişmektedir. Metrekare başına tahmini bir hesaplama yapılırsa 0.40 \$ ile 0.70 \$ arasında değişen bir maliyeti vardır.

2.4. İnce Takviye Tabakası (Thin Hot-Mix Overlays) [6]

İnce takviye tabakası, agrega ve bitümden oluşur. Yoğun derecelenmiş, açık derecelenmiş ve kesikli derecelenmiş olmak üzere üç tipte kullanılarak mevcut kaplamanın yapısal iyileştirmesi değil aksine işlevsel iyileştirmesi yapılır. Kalınlıkları genelde 19 mm (3/4 inç) ile 38 mm (1-1/2 inç) arasında değişir. İnce takviye tabakalarında kullanılan bitüm genellikle modifiye bitümdür.

Amaç: İnce takviye tabakası, her türdeki yolun yüzeyini iyileştirmek için kullanılır. Bu iyileştirmeler arasında yüzey pürüzlülüğü, sürtünme, yol profili düzenleme ve az da olsa yolun yük taşıma kapasitesini artırma yer alır. Bu kaplama, özellikle yüksek hacimli kent içi yollar için kullanılır. Bunun nedeni ise daha uzun ömürlü olması ve gürültü azaltıcı etkiye sahip olmasıdır. İnce takviye tabakasının en önemli avantajı bütün iklim şartlarında uygulanabilir olmasıdır.

Mevcut Kaplama Durumu: İnce takviye tabakası yapılacak kaplama sağlam bir yapıda, alt kısmında bulunan temel tabakası yeterli taşıyıcı özellikte ve iyi bir yanal desteğe sahip olmalıdır. Mevcut kaplamada gözle görülebilen bozulmalar arasında orta derecede sökülmeler, yüzey aşınması, boyuna ve termal çatlaklar olabilir. Mevcut kaplamaya kaliteli bir yama uygulaması yapılmış olabilir. Mevcut kaplamanın yüzeyinin kazınması ve üzerine ince takviye tabakası uygulanması daha uygundur.

Bakım Yöntemleri: Yüzey kazıma işlemi uygulanması ince takviye tabakasının faydasına olur. Bu şekilde, enkesitlerde de iyileştirmeler olur. Ayrıca, uygulamadan önce bütün çatlakların kapatılması gerekir. İnce takviye tabakasının mevcut kaplama yüzeyine daha iyi tutunması için astar kullanılmalıdır.

Mevsimsel Sınırlamalar: Karışım hemen dökülmeli ve sıkıştırılmalıdır. Oluşan herhangi bir gecikme üretimi aksatır ve doğru bir üretim yapılamaz. İnce bir yapıya sahip oldukları için ısı kayıpları da daha hızlı olur ve çok çabuk soğurlar. Bu yüzden, istenilen yoğunluğa ulaşabilmek için sıcaklık kaybı olmadan hızlı bir şekilde sıkıştırma yapılmalıdır.

Beklenen Performans ve Hizmet Ömrü: İnce takviye tabakalarının ömrü üretimin kalitesine göre değişmekle birlikte yaklaşık olarak beş ile sekiz yıl arasındadır.

Sınırlamalar: İnce takviye tabakası mevcut kaplamanın taşıyıcı özelliğini çok az artırır. Bu yüzden, uygulama yapılacak kaplama yapısal açıdan sağlam olmalıdır. Düzeltilebilir problemler varsa uygulama öncesi düzeltmeler yapılabilir. Mevcut kaplamadaki herhangi bir problemin ince takviye tabakasına doğru aynen iletilerek ince takviye tabakasında da aynı problemin görüleceği unutulmamalıdır.

Maliyet: İnce takviye tabakasının maliyeti büyük oranda kaplamanın kalınlığına ve projenin büyüklüğüne bağlıdır. Ton başına maliyeti yaklaşık 18-30\$ arasındadır.

3. BÖLÜM

BİTÜM EMÜLSİYONLU HARÇ TİPİ KAPLAMALAR

(HTK)

Bitüm Emülsiyonlu Harç Tipi Kaplamalar, 1930'lu yıllarda Almanya'da ortaya çıkmış ve ilk olarak "mikro asfalt betonu" olarak adlandırılmıştır. Yol yüzeylerini korumak için kullanılan bu teknik zamanla dünyanın diğer bölgelerine de yayılmıştır. 1960'ların sonuna doğru emülgatörler, sürekli üretimi kolaylaştıran yeni makineler ve kesilmeyi kontrol eden katkıların geliştirilmesiyle kullanımı artmıştır. 1970'lerin ortalarında, Fransız bir şirket olan Screg Route, daha sonra Alman Raschig ve son yıllarda Ralumac gibi firmalar harç tipi kaplamalar üzerinde çalışmalar yaparak bugünkü gelinen teknolojiye katkı sağlamışlardır [7].

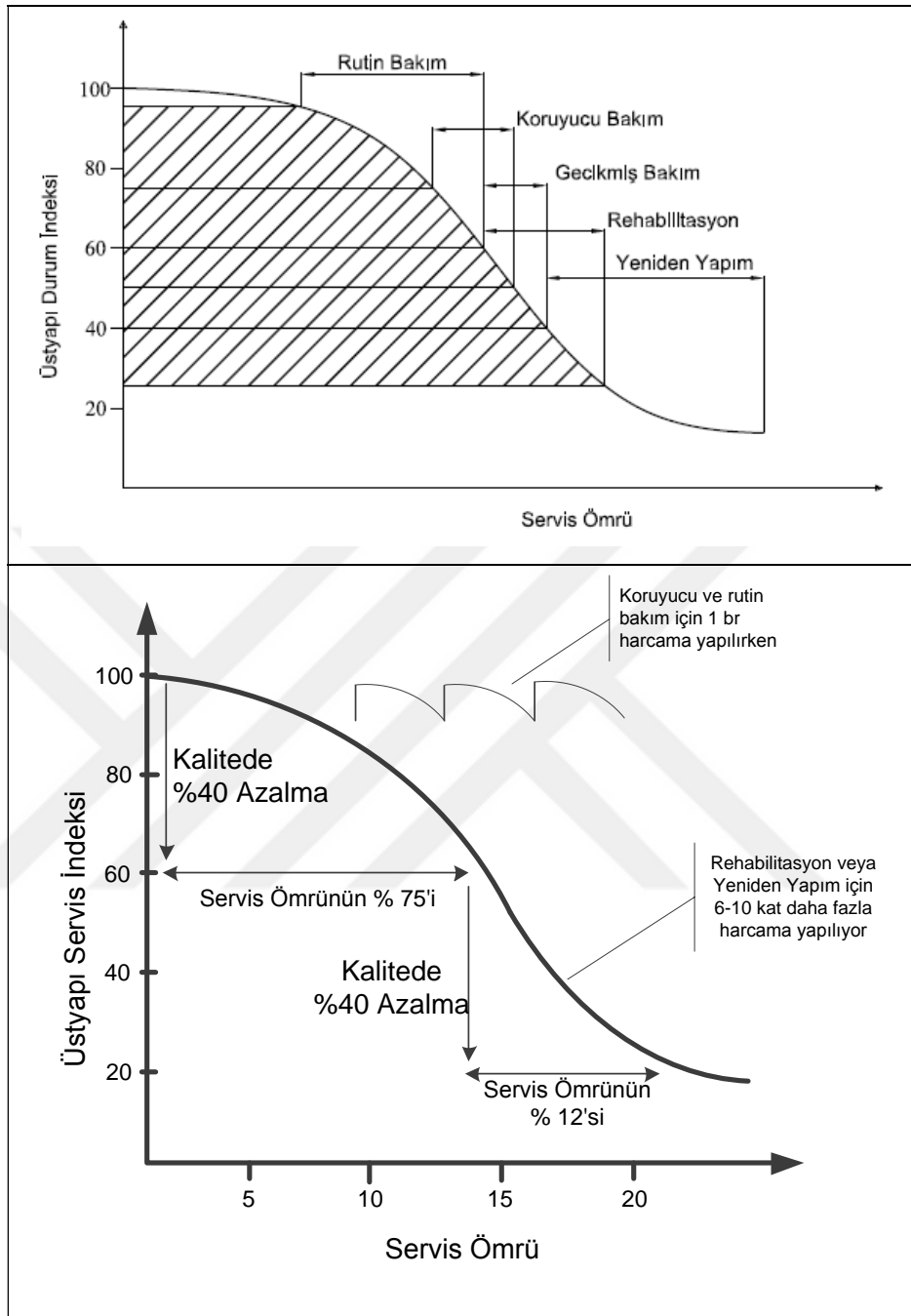
Artık günümüzde yapılan tüm yol tasarımları hem güvenli hem de ekonomik olmak zorundadır. Son yıllarda araç sahipliğinin giderek artması ve araçların ve yolların gelişiminin hızlı bir şekilde ilerlemesi trafik hızını ve trafik yükünü artırmaktadır. Bu gelişmeler, beraberinde artan trafik kazalarını ve güvenlik sorununu gündeme getirmiştir. Güvenli bir sürüşün yapılabilmesi için taşıt tekerleklerinin yol kaplaması ile belirli bir seviyede sürtünme direncine sahip olması gerekmektedir. Bu problemin çözümünde hem ekonomik hem de mevcut kaplamanın özelliklerinin iyileştirilmesine yardımcı olan harç tipi kaplamalar kullanılmaktadır.

Gelişmiş ülkeler de dâhil olmak üzere artık birçok ülke, ekonomik nedenlerden dolayı bütçe kısıtlamalarına gitmektedir. Bu bütçe kısıtlamaları, karayolu kurumlarını ve yerel yönetimleri ciddi bir şekilde etkilemektedir. Dolayısıyla, kurumlar kaynaklarını daha verimli bir şekilde kullanmak durumundadır. Geçmişte ülkelerin karayolu kurumları veya yerel yönetimleri, Bitümlü Sıcak Karışım (BSK) yolların ekonomik ömrünün sona

ermesini beklemekte, daha sonra bu kaplamaların yerine yenisini inşa etmekte veya takviye tabakası yapmaktaydılar. Artık tüm bu ülkelerdeki yeni eğilim, sürekli yeni BSK kaplamalar inşa etmektense bunun yerine mevcut BSK'lı yolların bakımı ve korunması üzerine çalışmalar yapmaktır. Bu değişim üç tip yol kaplaması bakım yöntemini ortaya çıkarmıştır. Bunlar;

- Koruyucu Bakım; Mevcut yol kaplamasının fonksiyonel ömrünü uzatmaya yönelik yapılan çalışmalardır. Mevcut yol kaplaması üzerine yapılan koruyucu bakım uygulamaları ile yolda meydana gelebilecek bozulmaların geciktirilmesi amaçlanmaktadır. Bu tip bakımlar düzenli olarak belirli periyotlarda yapılmaktadır.
- Düzeltici Bakım; Yol yüzeyinde sürtünme kaybı, tekerlek izi oluşumu ya da büyük çatlakların meydana gelmesi ile birlikte yapılan bakım çalışmalarıdır.
- Acil Bakım; Yol yüzeyindeki oluşan çukurlar gibi acil bakım gerektiren durumlarda bu tip yerlerin hızlı bir şekilde tamir edilmesi gerekmektedir. Bu tip bakım işlemleri, ilerleyen zamanlarda muhtemel kalıcı bir bozulma oluşabilecek yerlerin tamir edilmesini de içermektedir.

Bu üç bakım tipinin hepsi detaylı bir planlama yapmayı gerektirmektedir. Bu üstyapı bakım tiplerinin zamanlaması birbirleriyle belirli ve kesin bir şekilde ayrılmamıştır. Koruyucu bakım uygulamalarının yol üstyapısına uygulanması ile birlikte düzeltici bakım faaliyetleri ortadan kaldırılabilir. Koruyucu bakım; doğru zamanda, doğru yerde, doğru bakım yapılması demektir. Araştırmalar, zamanında yapılan koruyucu bakım uygulamaları için gereken harcamaların daha sonra yapılacak rehabilitasyon veya yeniden yapım için gereken harcamalardan 6-10 kat daha tasarruflu olduğunu göstermektedir [8]–[10]. Aşağıdaki şekilde (Şekil 3.1) yol bakım türleri ve üstyapı durum indeksi gösterilmiştir [10].



Şekil 3.1. Yol Bakım Türleri ve Üstyapı Durum İndeksi [10]

Üstyapı koruyucu bakım uygulamalarındaki temel amaç, yol kaplamalarında ciddi oranda bir bozulma oluşmasını beklemeksizin üstyapının durum indeksini yükselterek hem yolun servis kabiliyetini iyileştirmek hem de yolun daha uzun süre hizmet verebilmesini sağlamaktır. Asfalt betonu kaplamalar, oksidasyon, yağmur, güneş ışınları, donma-çözülme döngüleri vb. dış etkilere maruz kaldığından zaman içerisinde bozulmalar meydana getirir. Yapısal bozulmalar başlamadan önce BSK kaplama üzerine yapılacak

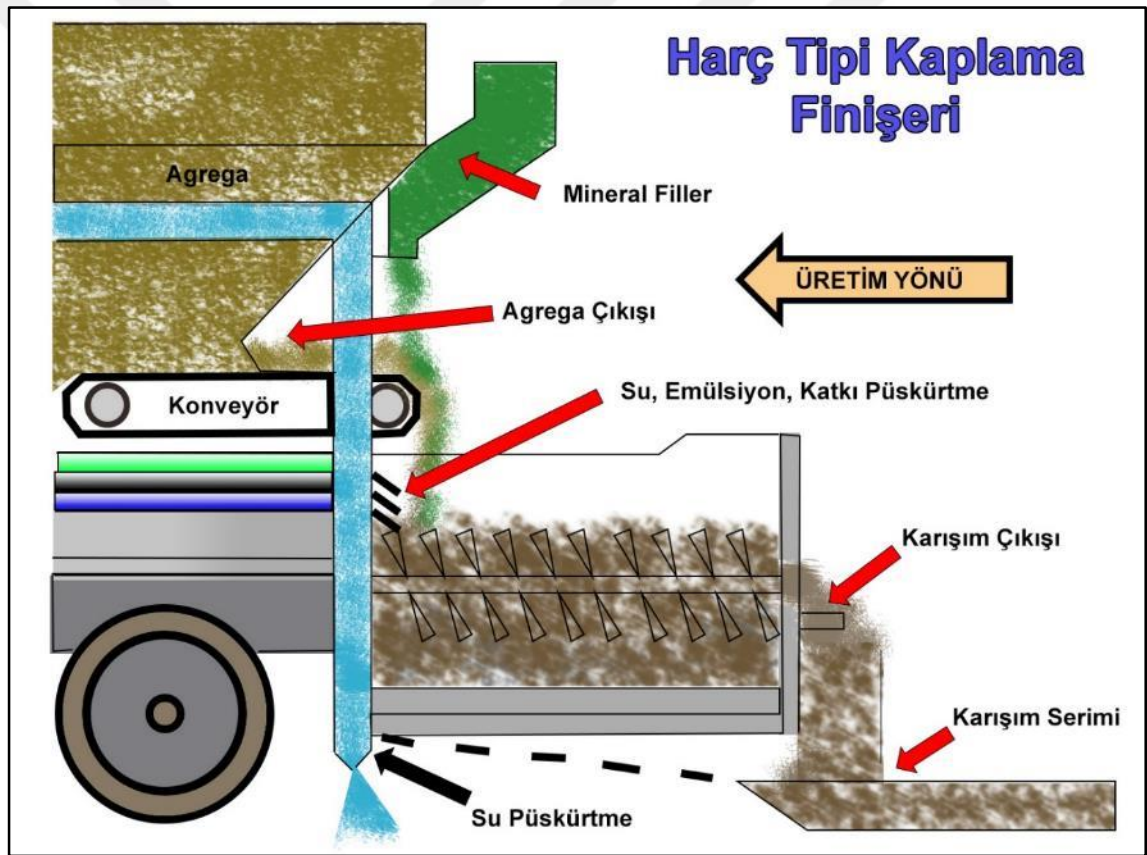
koruyucu uygulamalar, mevcut asfalt betonu kaplamalardaki oluşabilecek bozulmaların geciktirilmesine ve ömrünün daha uzun olmasına katkı sağlar. Koruyucu bakım uygulama tipleri; çatlak dolgusu, sathi kaplamalar, karartma tabakası, bitüm emülsiyonlu harç tipi kaplamalar ve ince takviye tabakası gibi teknikleri içermektedir. Tüm bu uygulamalar yol yüzeyinde yeni bir aşınma tabakası yüzeyi meydana getirmektedir. Aşağıdaki tabloda (Tablo 3.1) koruyucu bakım teknikleri ve amaçları gösterilmiştir [6].

Tablo 3.1. Koruyucu Bakım Teknikleri ve Amaçları [6]

Uygulama Tekniği	Sürtünme	Sökülme	Tekerlek İzi	Çukurlar	Çatlaklar		
					Az	Orta	Çok
Çatlak İyileştirmeleri							
Temizle-Asfaltla kapat					X	X	
Aç-Asfaltla Kapat					X	X	
Çatlak Dolgusu						X	X
Tam derinlikte Çatlak Tamiri							X
Yüzeysel Kaplamalar							
Karartma Tab. (Fog Seal)		X					
Sathi Kaplama	X	X					
Çift Kat Sathi Kaplama	X	X					
Slurry Seal (HTK)	X	X					
Microsurfacing (HTK)	X	X	X				
İnce Takviye Tabakası		X	X				
Yama ve Çukur Tamiri							
Soğuk Karışım				X			X
Sprey Çukur Dolgusu				X			X
Sıcak Karışım				X			X
Slurry Seal ve Microsurfacing ile Yama Uygulaması (HTK)				X			X

Harç Tipi Kaplama; ince agrega, asfalt emülsiyonu ve filler malzemeleri ile suyun değişik oranlarda karıştırılıp serilmesiyle inşa edilen bir kaplama türüdür. Homojen bir görünüme sahip bu harç, yol çatlaklarını doldurur, uygulanan yüzeye sıkıca tutunur ve bu sayede su yalıtımlı ve sürtünme özelliği iyileştirilmiş yeni bir yüzey elde edilir [11], [12]. Bitüm emülsiyonlu harç tipi kaplamalar, mevcut yol kaplamasında ayrışmalar ve sökülmeler oluşmaya başladığında, sürtünme direnci etkisini kaybettiğinde, pürüzlülük azaldığında, mevcut kaplama yüzeyi yaşlanıp okside olduğunda ve mevcut yol kaplamanın suya karşı geçirimsizliği kaybolduğunda tercih edilmektedir. Buna karşılık, yoğun timsah sırtı çatlaklar mevcutsa, derin tekerlek izleri oluşmuş ise oturma, çukur ve tümsek gibi şekil bozuklukları mevcutsa kullanılması uygun değildir [13].

Laboratuvar ortamında oranları belirlenen harç tipi kaplama karışımları özel bir makine (Şekil 3.2) içerisinde karıştırılır. Önceden ayarlanmış agrega gradasyonu ile filler uygun oranlarda karıştırılır ve yeterli miktarda su, emülsiyon ve katkı malzemeleri eklenerek karışım elde edilmiş olur. Elde edilen bu karışım yayıcı kutu yardımıyla yol yüzeyine sürekli olarak serilir. Yol yüzeyindeki sıcaklık fazla ise ve bu durum harç tipi kaplamanın hemen kesilmesine neden oluyorsa üretim öncesinde yol yüzeyine su püskürtülerek yol yüzeyindeki sıcaklık değeri düşürülür ve daha kaliteli bir üretim gerçekleştirilmiş olur [7].



Şekil 3.2. Harç Tipi Kaplama Finişi [7]

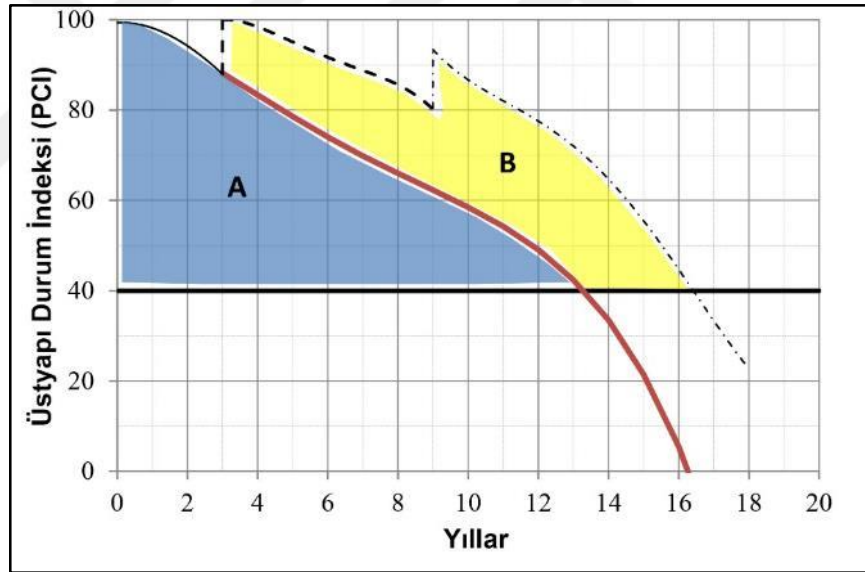
Karışımın kıvamı mevcut kaplama üzerine yayılmasına ve iyi bir bağ oluşturulmasına neden olur. Kıvamı fazla olan karışım, yol yüzeyine daha fazla tutunur ve ayrışma engellenir. Karışım içerisinde homojen veya heterojen bir şekilde flokülasyon yoluyla kesilen bir bitüm emülsiyonu yapısı vardır. İlk durumda birbirinden ayrı halde bulunan bitüm tanecikleri kesildikten sonra bir araya gelerek yapışkan bir malzeme oluştururlar.

Karışımındaki suyun buharlaşmasıyla birlikte mevcut yol yüzeyine bağlanan sert ve yoğun derecelenmiş harç tipi kaplama karışımı kür olmaya devam eder [7]. Harç tipi kaplamalar, mevcut kaplamanın taşıyıcı özelliğini iyileştirmez [14]. Bu nedenle, harç tipi kaplamalar, kaplamayı adeta bir yalıtım malzemesi gibi koruyarak fonksiyonlarını uzun yıllar boyunca korumasını sağlar ve yolun servis ömrünü uzatır [7].

3.1. HTK Uygulamasının Faydaları

Harç tipi kaplama uygulaması doğru zamanda doğru kaplamaya uygulanırsa, mevcut kaplamanın servis ömrünü ortalama 7 yıl uzatmaktadır. Harç tipi kaplamaların en büyük avantajı budur. Ayrıca, 7 yıl sonunda yaşanan harç tipi kaplama yol yüzeyinden ince bir şekilde kazınarak yol üzerine yeniden harç tipi kaplama uygulaması yapılır ve bu sayede kaplama özelliği korunarak yüzey özelliği yeniden iyileştirilmiş olur. Harç tipi kaplamaların uygulanması ile kaplama yüzeyinde oluşan kılcal çatlakların kapatılması sağlanır. Bunun sonucunda, su geçirimsizliği sağlanarak kaplamanın ömrü belirgin bir şekilde uzatılmış olur. Buna ek olarak, mevcut kaplama yüzeyinde oluşan oksidasyon ve bozulmalar geciktirilerek bitümün yaşlanması azaltılır. Dolayısıyla, asfalt kaplamanın ömrü uzatılmış olur. Hava ve rutubetten kaynaklanan olumsuz etkiler ortadan kalkar. Soyulmuş ve eskimiş kaplama yüzeyi yenilenir. Yüzey özellikleri bakımından ise kaplama yüzeyinin pürüzlülüğü artırılarak yolun servis kabiliyeti de artırılmış olur. Sürtünme direnci artar. Bunun sonucunda, fren mesafesi kısalır ve yolun tutuculuğu artar. Yüzey rengi koyulaştığı için daha iyi bir görüş elde edilir. Böylece, sürüş güvenliği artar. Hızlı bir şekilde üretimi yapılabilen harç tipi kaplama, katkılar sayesinde gece çalışma imkânı sunar. Bu sayede, gün içindeki trafik olumsuz yönde etkilenmez. Harç tipi kaplamalar, bitümün yüzeye çıktığı (kuma) veya çıkma ihtimali olan kaplamanın yüzeyine uygulanarak bitümün yüzeye çıkması önlenir. Dolayısıyla, yol daha fazla bozulmadan mevcut yapısı korunmuş olur. Harç tipi kaplama sayesinde estetik açıdan hoş bir görüntü ortaya çıkar ve bölge halkının ilgisini çekecek bir yüzey elde edilir. Mevcut kaplamada zamanla oluşan tekerlek izini doldurmanın en etkili ve kolay yöntemlerinden bir tanesi harç tipi kaplama uygulamasıdır. Yanlış yüzey profilleri düzenlenir. Silindiraj gerektirmeyen bu uygulamada yol kısa bir süre sonra trafiğe açılabilir [3], [15]–[25]. Çevresel etki bakımından değerlendirildiğinde ise ısıtılma işlemi gerekmeden soğuk bir şekilde uygulandığı için çevreye faydalıdır. [26].

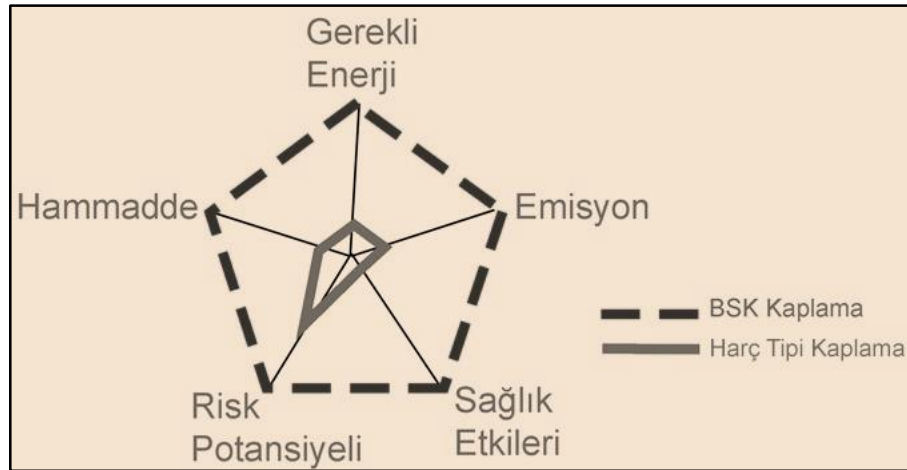
Yol üstyapısı üretiminde ilk başta Üstyapı Durum İndeksi (PCI) değeri yaklaşık %100'dür. Zamanla trafik ve çevre koşullarının etkisiyle bu değer azalma eğilimine girer ve sıfıra doğru yaklaşır. PCI değeri yüksek olan kaplamaların kullanıcılar açısından sağladığı fayda daha fazladır. Bu nedenle, kaplamaların PCI değerini periyodik olarak korumak veya yükseltmek amaçlanmalıdır. Aşağıdaki şekilde (Şekil 3.3), A bölgesinde HTK uygulaması yapılmayan bir kaplamanın zamanla PCI değerindeki azalma gösterilmektedir. Bu değer, üçüncü yılda HTK uygulaması yapılmasıyla birlikte tekrar %100 seviyesine çekilmiştir. Aynı şekilde, dokuzuncu yılda % 80 civarına düşen PCI değerine sahip kaplamaya tekrar HTK uygulaması yapılmış ve yine bu değer artırılarak % 95 civarına gelmesi sağlanmıştır. PCI değerinin artmasıyla birlikte yol üstyapısının servis ömrü uzamış ve B bölgesinin alanı kadar fayda sağlanmıştır [27].



Şekil 3.3. HTK Uygulamasının Faydası [27]

3.2. Çevresel Etki

Harç tipi kaplamaların çevresel ayak izi, en yaygın kaplama koruma ve bakım işlemlerinden daha küçüktür. Yaygın olarak kullanılan çeşitli kaplama koruma ve bakım işlemlerinin çevresel etkileri aşağıda gösterilmektedir (Şekil 3.4). Gösterilen beş kategori için “eko-verimlilik” indeksleri geliştirilmiş ve harç tipi kaplamaların diğer alternatiflerden çok daha düşük bir çevresel ayak izine sahip olduğu görülmüştür [28].



Şekil 3.4. Çevresel Ayak İzi [28]

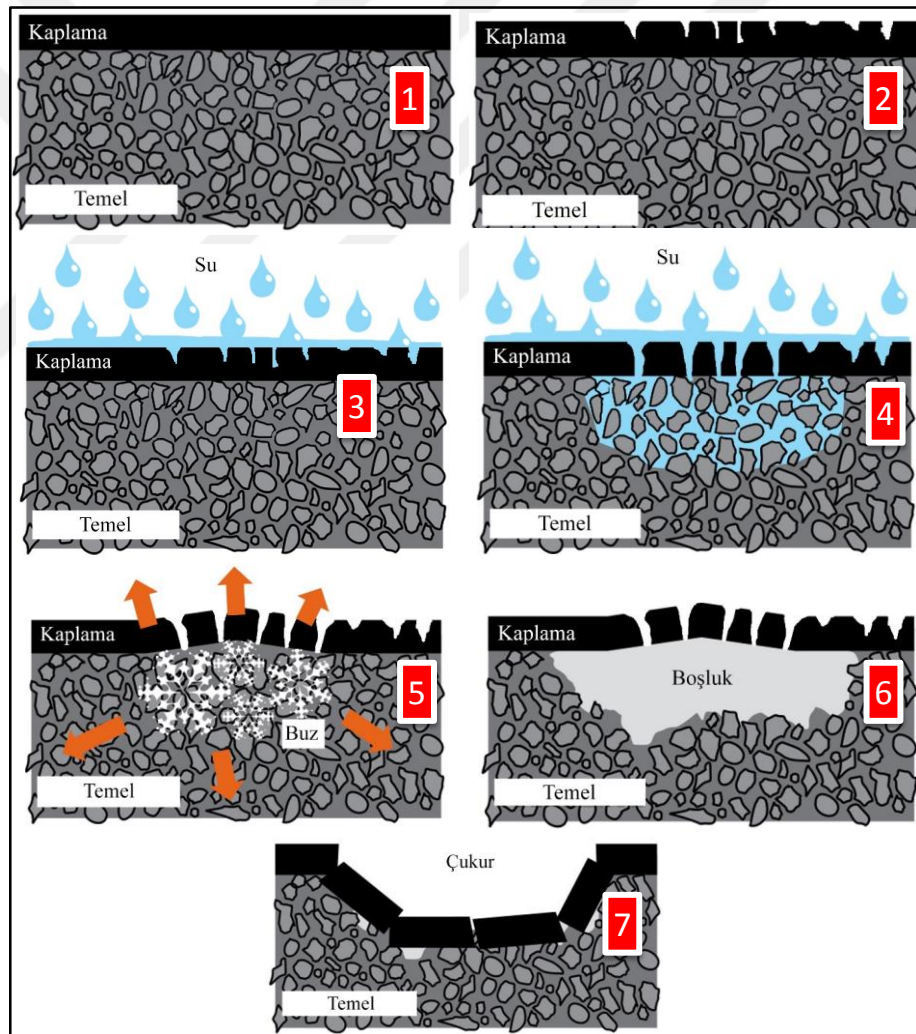
Bu grafik, harç tipi kaplamaların çalışma bölgelerindeki trafik gecikmelerini büyük ölçüde azaltma kabiliyetinden kaynaklanan sera gazı emisyonlarının azaltılmasını içermemektedir. Bu özellik de dikkate alındığında harç tipi kaplamaların çevreye verdiği fayda daha net anlaşılacaktır [29]. Ayrıca, harç tipi kaplamalar, potansiyel risk ve sağlık etkileri kategorileri açısından değerlendirildiğinde, şantiyelerde oluşabilecek kaza risklerini azaltma özelliğine de sahiptir [30].

Bu nedenle, harç tipi kaplamaların gerçek ayak izi, asfalt kaplamaların bakım-onarım çalışmaları için kullanılan bitümlü sıcak karışım asfalt (BSK) seçeneklerine göre daha da azdır. Kaplama bakım ve onarım çalışmaları hakkında hangi seçeneğin daha doğru olacağına karar verilirken harç tipi kaplamaların çevresel etki ve sağlık etkileri gibi artıları da düşünülmeli ve diğer alternatiflere kıyasla üretim maliyetlerinin daha düşük çıkabileceği de göz önünde bulundurulmalıdır [7].

3.3. HTK Uygulama Zamanı

Asfalt kaplamanın üretiminden hemen sonra veya bir yıl sonra HTK uygulaması yapmak hem kullanıcılar açısından hem de maliyet açısından etkili değildir. HTK uygulamasının en uygun zamanı mevcut asfalt kaplamanın durumuna göre değişiklik göstermektedir. Fakat sürdürülebilirlik açısından değerlendirildiğinde, yeni üretilen her çeşit asfalt kaplamaya uygulanacak HTK kaplaması için en uygun zaman üç yıldır [27].

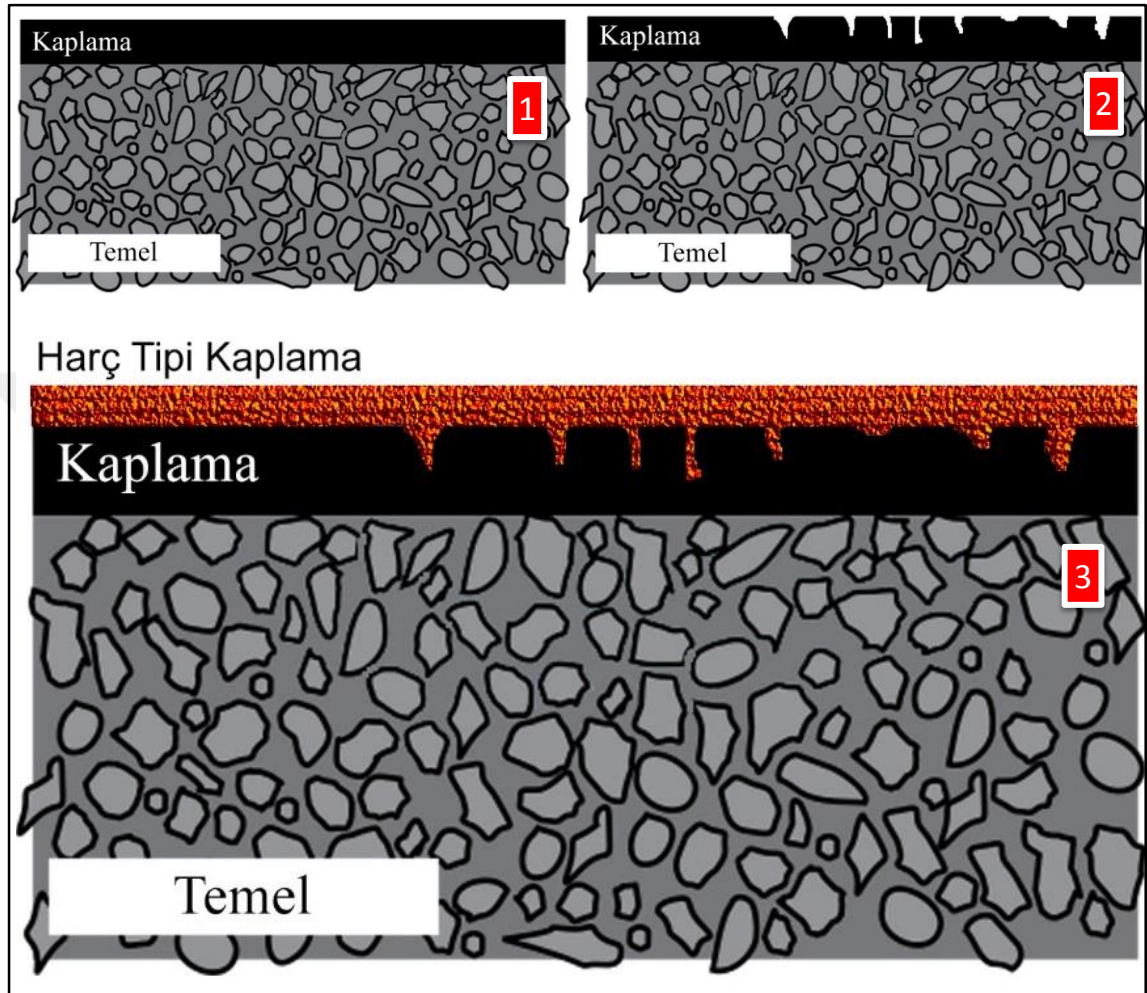
Temel tabakası üzerine imalatı yapılan asfalt kaplama tabakası zamanla yaşlanmakta ve iki-üç yıl gibi kısa bir sürede üzerinde mikro çatlaklar oluştuğu gözlenmektedir. Eğer önlem alınmazsa bu çatlaklar suyun da etkisiyle zamanla büyümekte ve kaplamanın yapısına zarar vermektedir. Su, oluşan bu boşluklardan rahatça geçebilmekte ve temel tabakasına ulaşmaktadır. Sıcak-soğuk döngüsü etkisinde kalan bölge dışa doğru genişmekte ve bu şekilde asfalt kaplamanın alt kısmında çukur (Şekil 3.5) oluşturmaktadır. Son olarak, taşıma yükünü yitiren kaplamada çukur oluştuğu gözlenmektedir. Oluşan bu çukurun tamir edilmesi ve yeniden eski haline getirilmesi maliyetli bir iştir. Bu yüzden, çukur oluşmadan önce gerekli önlemler alınmalı ve kaplama korunmalıdır.



Şekil 3.5. Çukur Oluşumu

Mevcut asfalt kaplama tabakası üretimi yapıldıktan üç yıl sonra üzerinde mikro çatlaklar oluşmaya başladığı zaman harç tipi kaplama uygulaması yapılmalıdır (Şekil 3.6). HTK

uygulamas, adeta bir yalıtım malzemesi olarak görev yapmakta ve mevcut kaplamayı uzun yıllar boyunca koruyarak servis ömrünü uzatmaktadır.



Şekil 3.6. HTK Uygulama Zamanı

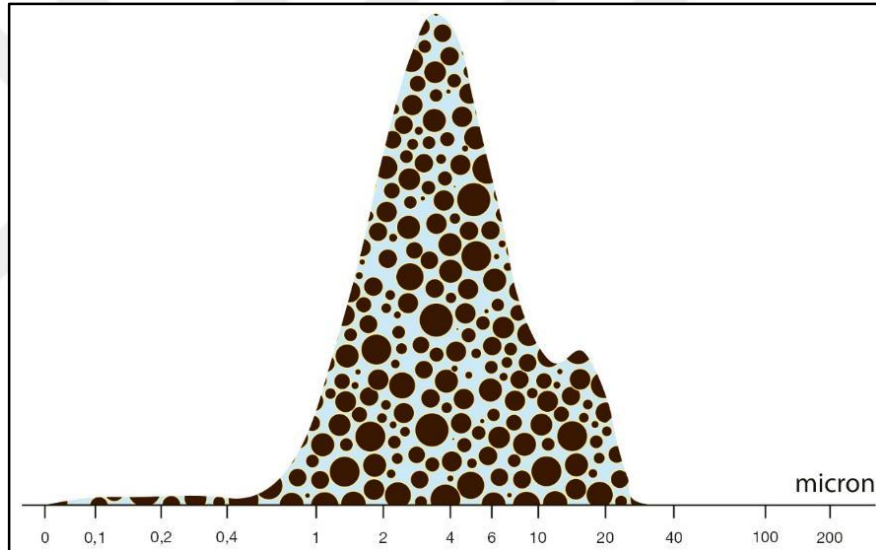
3.4. HTK Uygulamasında Kullanılan Malzemeler

Harç Tipi Kaplamalar; bitüm emülsiyonu, ince agrega, mineral filler, su ve çeşitli katkılardan oluşur. Bu bölümde HTK üretiminde kullanılan malzemelerin özellikleri hakkında bilgi verilmektedir.

3.4.1. Bitüm Emülsiyonu

Genel olarak, bitüm emülsiyonu, normal koşullarda birbiri içinde karışmayan ve çözünmeyen, iki farklı faz halinde kalan sıvıların, çeşitli kimyasal katkıları aracılığıyla

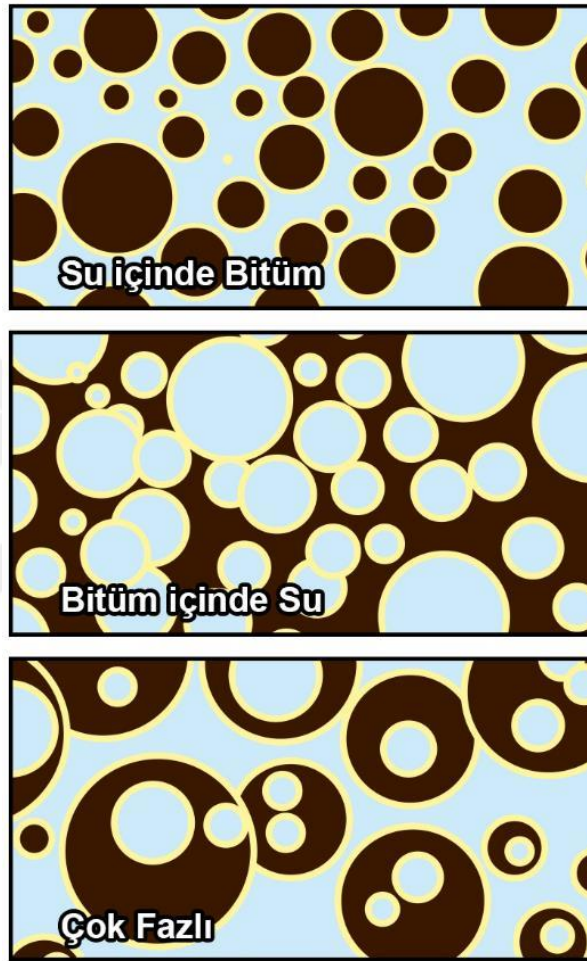
(emülgatör) ile tek faz halinde her bölgede homojen olacak şekilde mikron mertebesinde (Şekil 3.7) karıştırılması ve dağıtılmasıdır. Bu dağıtma sırasında asfalt, dağıtılan faz durumundadır. Dağıtan faz durumunda ise su bulunmaktadır. Mikron mertebesindeki bitüm taneciklerinin su içerisinde dağıtılmasından bitüm emülsiyonları oluşur. Fakat, bitüm taneciklerinin su içerisinde dağıtılması ile oluşturulan bitüm emülsiyonu stabil bir yapıya sahip olmaz. Bunun nedeni, bitüm taneciklerinin birbirine yapışma eğiliminde olmak istemeleridir. Belirli bir süre sonra bitüm tanecikleri bir yerde toplanır ve sudan ayrılır. Bunun önüne geçebilmek için emülgatör olarak adlandırılan katkı maddesi kullanılır. Emülgatör sayesinde bitüm taneciklerinin çevresinde emülgatör filmi oluşturulur ve birbirine yapışarak bitüm emülsiyonunun kesilmesi engellenir [1].



Şekil 3.7. Bitüm Taneciklerinin Dağılımı [31]

Su içinde bitüm (O/W) emülsiyonları, dağıtılan fazın su olduğu ve dağılan (bitüm tanecikleri) fazının suda çözünmeyen bir sıvı olduğu bileşiklerdir. Bitüm içinde su (W/O) emülsiyonları ise dağıtan fazın bitüm ve dağıtılan fazın ise suyun olduğu bir bileşiktir. W/O emülsiyonları bazen 'ters emülsiyonlar' olarak da adlandırılır. Çok fazlı emülsiyonlar ise dağıtılan fazın kendisinin üçüncü bir fazı içermesiyle oluşur. Bitüm ve su karıştırıldığında bir emülsiyon oluşturur. Fakat karıştırma işlemi durdurulduğunda bu iki madde birbirinden ayrılmaya ve kendi içinde bir bölgede toplanmaya başlar. Birbirinden ayrılmayan ve mevcut durumunu koruyan kararlı emülsiyonlar, fazların ayrılmasını önleyen veya geciktiren emülgatör olan üçüncü bir bileşen içerir. Bitüm emülsiyonları normalde O/W (su içinde bitüm) tipindedir. Bitümün çoklu W/O/W

emülsiyonları oluşturabildiğine dair uygulamalar vardır. % 40 ile % 80 bitüm içeren emülsiyonlar, süttten yoğun kremaya kadar değişen kıvamlara sahip kahverengi sıvılardır. Bitüm taneciklerinin çapı 0,1 ila 20 mikron aralığındadır. Aşağıdaki şekilde (Şekil 3.8) su içinde bitüm, bitüm içinde su ve çok fazlı emülsiyon tipleri gösterilmiştir [31].



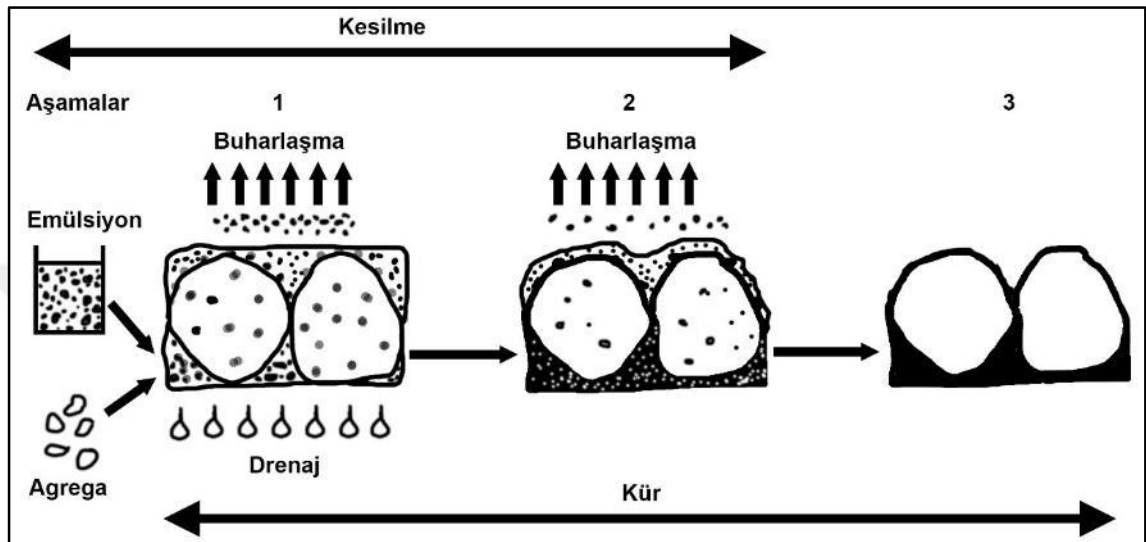
Şekil 3.8. Emülsiyon Tipleri [31]

Yol inşaatlarında kullanılan bitüm emülsiyonları emülgatör cinsine göre iki ana sınıfa ayrılırlar. Bunlar:

- Anyonik Bitüm Emülsiyonları
- Katyonik Bitüm Emülsiyonları'dır [1].

Bitüm emülsiyonununun kesilmesi, yolun yüzeyine püskürtme işlemi uygulandığında veya agrega ile karıştırıldığında (Şekil 3.9) gerçekleşir. Başka bir deyişle, bitüm tanecikleri

sıvı ortamdan uzaklaşarak agrega yüzeylerine yapışır. Bitüm tanecikleri agrega yüzeyine yapıştıktan sonra serbest halde kalan su ise buharlaşır. Yol inşaatlarında kullanılan bitüm emülsiyonlarının çeşitleri ve kullanım alanları aşağıdaki tabloda (Tablo 3.2) verilmiştir [1].



Şekil 3.9. Emülsiyonun Kesilme ve Kür Aşamaları

Tablo 3.2. Bitüm Emülsiyonlarının Çeşitleri ve Kullanım Alanları [1]

		Çabuk Kesilen	Orta Hızda Kesilen	Yavaş Kesilen
Bitüm Emülsiyonu	Anyonik	RS-1	MS-1	SS-1
		RS-2	MS-2	SS-1h
			MS-2h	
	Katyonik	CRS-1	CMS-2	CSS-1
		CRS-2	CMS-2h	CSS-1h
Kullanım Yerleri	Astar Tabakasında	SS-1,SS-1h,CSS-1,CSS-2		
	Yapıştırma Tabakasında	RS-1,RS-2,CRS-1,CRS-2		
	Sathi Kaplamada	RS-1,CRS-1,CRS-2		
	Soğuk Karışımında	MS-2,SS-1		

Yol inşaatında bitüm malzemesinin uygulamadaki yaklaşık sıcaklıkları aşağıdaki tabloda (Tablo 3.3) gösterilmiştir [1].

Tablo 3.3. Uygulama Sıcaklıkları [1]

Bitümlü Asfaltın Tipi ve Sınıfı	Sıcaklık Aralığı minimum-maksimum, °C	
	Püskürtme Sıcaklıkları	Karıştırma Sıcaklıkları
Sıvı Petrol Asfaltı MC-30	30	-
RC,MC-70	50	-
RC,MC-250	75	60-80
RC,MC-800	95	75-100
RC,MC-3000	110	80-115
Asfalt Emülsiyonu RS-1	20-60	
RS-2	50-85	
MS-1	20-70	20-70
MS-2,M5-24	-	20-70
SS-1,1h,CSS-1,1h	20-70	20-70
CRS-1	50-85	-
CRS-2	60-85	-
CMS-2,CMS-2h	40-70	50-60
Bitümler Tüm Sınıflar	maks 180	maks 180

Bitüm emülsiyonlarının kullanımı her uygulama için farklılık göstermektedir. Daha da önemlisi, bitüm emülsiyonlarının hangi uygulama için doğru bir seçim olacağı sorusunun cevabı ülkeden ülkeye de değişiklik göstermektedir. Bir ülkede belirli bir uygulama için kullanılan bitüm emülsiyonunun diğer bir ülkede kullanımına izin verilmeyebilir. Aşağıdaki tabloda (Tablo 3.4) yaygın olarak kullanılan bitüm emülsiyonları ve uygulama alanları özetlenmiştir [31].

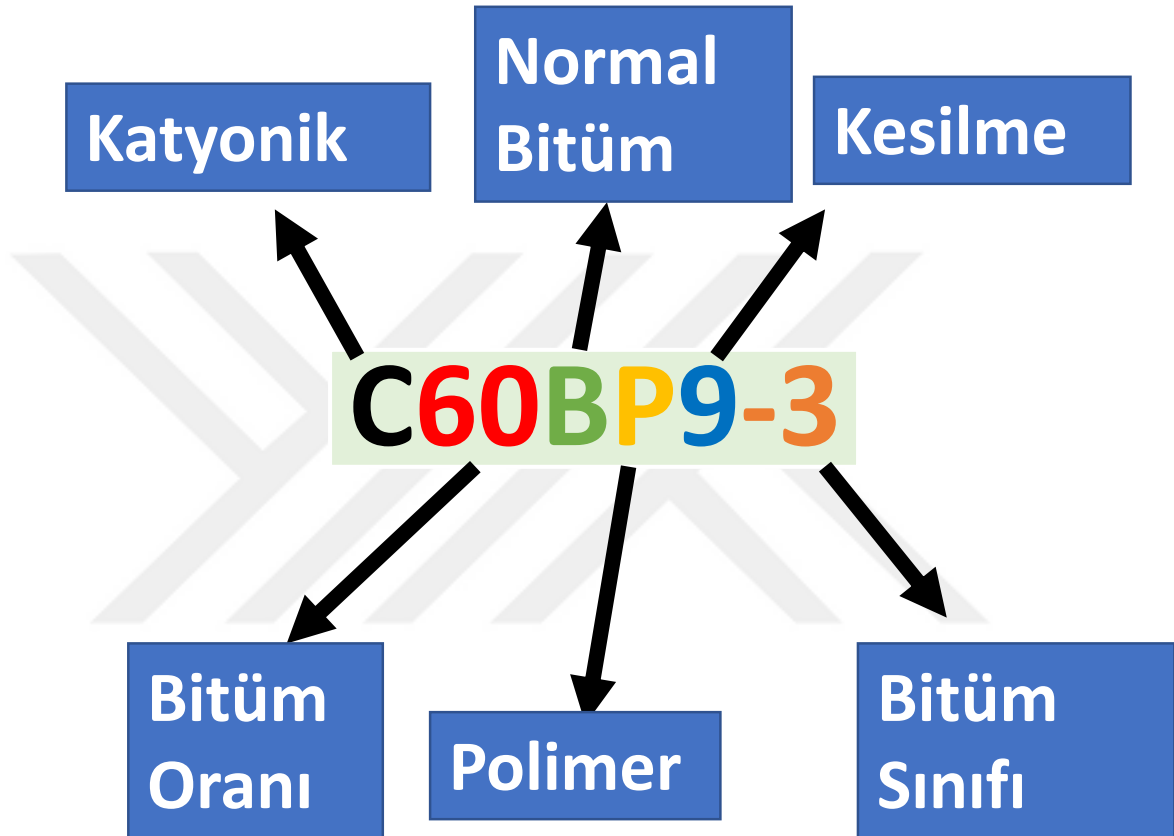
Tablo 3.4. Bitüm Emülsiyonları ve Uygulama Alanları [31]

Uygulama Alanları	Anyonik			Katyonik		
	Çabuk Kesilen	Orta Hızda Kesilen	Yavaş Kesilen	Çabuk Kesilen	Orta Hızda Kesilen	Yavaş Kesilen
Sprey Uygulamaları						
Sathi Kaplama Astarı (Surface Dressing)	X			X		
Karartma Tabakası (Fog Seal)		X	X		X	X
Yapıştırma Tabakası (Tack Coat)		X	X	X	X	X
Astar Tabakası (Prime Coat)			X	X		X
Penetrasyon Makadam (Penetration Macadam)				X		
Harç Tipi Kaplama						
Slurry Seal			X			X
Cape Seal			X			X
Microsurfacing						X
Plent Karışımları						
Açık Gradasyon/Yarı Yoğun		X			X	
Yoğun Gradasyon			X			X
RAP		X				X
Stok Karışımı (Stockpile Mix)		X			X	
Pre-coated Chips					X	X
Yerinde Karışımlar						
RAP		X				X
Zemin İyileştirme			X		X	
Yoğun Gradasyon			X			X

Bitüm emülsiyonu ve bitüm emülsiyonu kalıntısı, SS-1 veya SS-1h için AASHTO M 140 veya ASTM D 977 şartnamelerini sağlamalıdır. CSS-1, CSS-1h veya CQS-1h için ise AASHTO M 208 veya ASTM D 2397 şartnamelerini sağlamalıdır [32].

Harç tipi kaplama uygulamalarında yaygın olarak kullanılan emülsiyon çeşidi (Tablo 3.5) yavaş kesilen emülsiyondur [3].

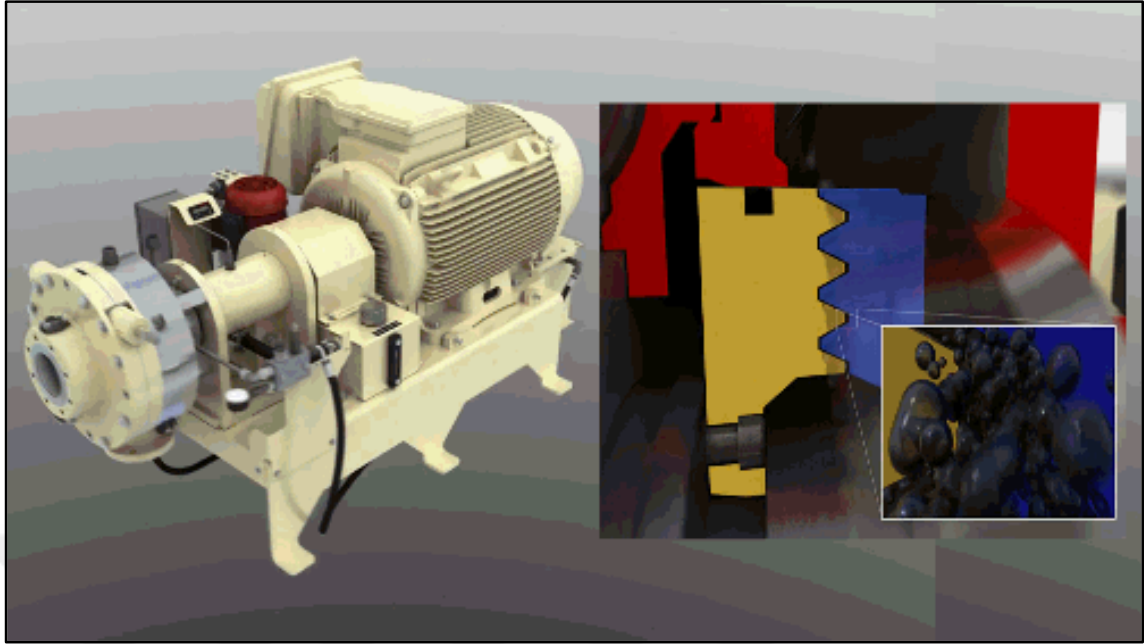
Bitüm emülsiyonları, içeriğindeki bitüm oranına, elektrik yüküne, kesilme süresine, polimer katkısına ve bitüm sınıfına göre çeşitli kodlamalarla ifade edilir. Aşağıdaki şekilde (Şekil 3.10) bitüm emülsiyonlarının ifade edilmesi C60BP9-3 örneği üzerinde ele alınmıştır [3].



Şekil 3.10. Emülsiyon İfade Şekli [3]

3.4.1.1. Bitüm Emülsiyonu Üretimi

Bitüm emülsiyonları genellikle bir kolloid değirmeni kullanılarak üretilir. Ancak, bitüm emülsiyonları üretiminde diğer dispersiyon cihazları da kullanılabilir. Kolloid değirmende sisteme enerji verilerek su ve bitüm fazları yüksek hızda dönen bir rotor ve sabit durumdaki stator disklerinin arasından geçirilip üretim gerçekleştirilir (Şekil 3.11). Rotor veya stator, yüksek devirde çalışan motorda türbülanslı bir akım oluşturmak için oluklu veya dişli yapıda olmalıdır [31].



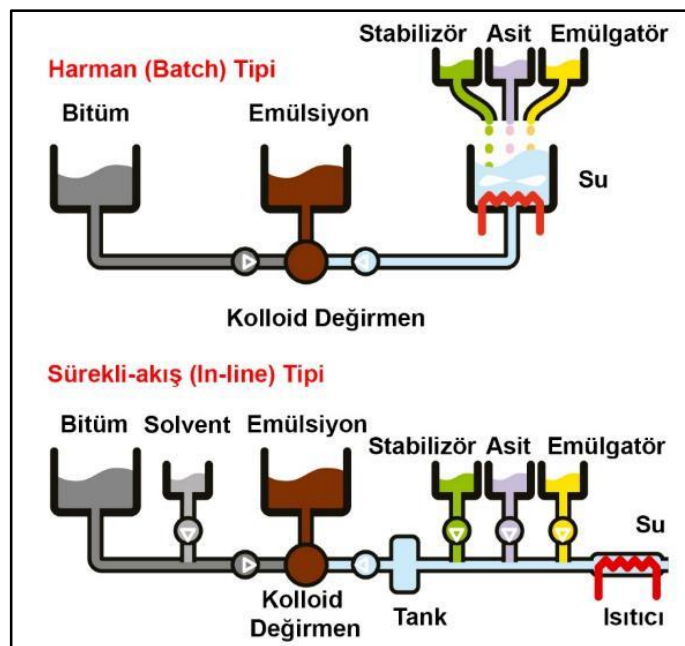
Şekil 3.11. Kolloid Değirmen

Bitüm emülsiyonları harman tipi (batch) veya sürekli-akış tipi (in-line) olmak üzere (Şekil 3.12) iki farklı yöntemle üretilir. Harman tipi üretim metodu, sabun çözeltisi hazırlama ve emülsiyon üretimi olmak üzere iki aşamada yapılır. Sabun çözeltisi hazırlanırken öncelikle ısıtılmış su, emülgatör ve diğer kimyasallar bir tankın içerisinde belirli oranlarda karıştırılır. Emülsiyon üretimi aşamasında ise bitüm ve önceden hazırlanmış sabun çözeltisi kolloid değirmene gönderilir ve yüksek devirde karıştırılır. Eğer bitüme de başka bir katkı katılacaksa bu işlem kolloid değirmene gelmeden önce başka bir tankın içinde yapılır ve sonrasında üretim hattına dâhil edilir [31].

Harman tipi (batch) üretim metodunda üretim manuel olarak yapılır ve birkaç bileşen oranının manuel olarak kontrol edilmesiyle elde edilir. Bununla birlikte, emülsiyonu oluşturan bileşenlerin uygun bir şekilde tartılması ve oranlanması emülsiyonun kalitesi için belirleyici özelliktedir. Bu yüzden, emülsiyon üretimini otomatik veya yarı-otomatik hale getirmek insan tarafından yapılabilecek muhtemel hataları ortadan kaldırır. Aynı zamanda, kullanılan kimyasallar tehlikeli olabilir. Dolayısıyla, iş sağlığı ve güvenliği açısından değerlendirildiğinde açık tanklar ve taşınabilir pompalar yerine kapalı sistemleri tercih etmek daha doğru olur [31].

Sürekli-akış tipi (in-line) işleminde ise su ısıtma ve malzeme oranı ayarlama dâhil bütün işlemler dozaj pompaları kullanılarak sürekli olarak her malzeme için ayrı ayrı yapılır. Harman tipindeki gibi tanklar kullanılmamaktadır. Bunun yerine, sabun çözeltisi içerisindeki kimyasalların reaksiyona girmesi için yeterli süre olacak şekilde tasarım yapılır. Böylece, sabun çözeltisi bitüm ile etkileşime girmeden önce gerekli nötralizasyon işlemini tamamlamış olur. Bu aşamaların kontrolü akımölçerlerle yapılmalıdır. Kullanılan bileşenlerin oranları bu akımölçerlerle belirlenmelidir. Akımölçerlerle ayarlanamayan tek bileşen asittir. Asidin miktarı ise pH ölçerlerle kontrol edilir. Emülsiyonun pH seviyesi istenen duruma gelene kadar asit ilavesi yapılır [31].

Lateks, SBS veya DOP katkılı bitüm gibi çeşitli özel katkı maddeleri kullanılabilir. Fakat bunların kullanımı özel teknikler gerektirir. Örneğin, lateks katkısı kaymaya duyarlıdır ve pompalarda ve hatlarda pıhtılaşarak katılaşabilir. SBS ile modifiye edilmiş bitüm kullanılarak emülsiyon üretilmek isteniyorsa SBS katkısının yumuşaması için gerekli sıcaklık suyun buharlaşma sıcaklığından daha yukarıda olmaktadır. Bu yüksek sıcaklık suyun buharlaşmasına neden olmakta ve üretim zorlaşmaktadır. Bunu engellemek için üretim yüksek hava basıncı ile gerçekleştirilir ve emülsiyon soğuyana kadar bu basınç korunur. Emülsiyon soğuduktan sonra basınç tekrar atmosfer basıncına getirilir [31].



Şekil 3.12. Emülsiyon Üretim Metotları [31]

Bitüm emülsiyonunun en önemli aşaması emülsifikasyon aşamasıdır. Bu aşamada, bitüm küçük taneciklere parçalanır. Bu işlemin yapılmasına direnen özellik, bitüm taneciklerinin içsel kohezyon kuvveti, bitümün viskozitesi ve yüzey gerilmesidir. Bitüm tanecikleri yeniden birleşme eğilimindedirler. Emülsiyon üretiminde en önemli kısım sadece bitüm taneciklerinin mekanik enerjiyle küçük taneciklere parçalanması değil aynı zamanda üretim yapıldıktan sonra bitüm taneciklerinin yeniden birleşmesini engelleyici önlemler almaktır. Üretimi gerçekleştirilen emülsiyonun tanecik boyutu değirmenin tasarımına, motor hızına, rotor ve stator arasındaki mesafeye, değirmende karışma süresine, kullanılan emülgatörün miktarına ve tipine ve emülsifikasyon sıcaklığına bağlıdır [31].

Normalde, bitüm viskozitesini azaltmak ve emülsiyonu rahat bir şekilde üretmek için yüksek bir sıcaklık kullanılır. Bitüm, değirmene rahat bir şekilde pompalanmak için 500 cSt veya daha düşük bir viskoziteye sahip olana kadar yaklaşık 110-160 °C'ye kadar ısıtılır. Su ise, kullanılan emülgatörü çözebilmek ve bitüm ile karıştırıldıktan sonra gerekli emülsifikasyon sıcaklığını elde edebilmek için 30-70 °C'ye kadar ısıtılır. Basınç kullanılmayan kolloid değirmenlerde bu sıcaklık 100 °C ile sınırlıdır. Yüksek basınç kullanılan değirmenlerde ise bu sıcaklık 120 °C veya daha yüksek bir değere ulaşabilir. Kaliteli bir emülsiyon üretebilmek için bitüm ve sabun çözeltisi karıştırıldığında bitüm kısmının viskozitesi 10.000 cSt'den daha düşük bir viskoziteye sahip olması gerekir. Bu da demektir ki sert ve modifiye katkılı bitümler için basınçlı sistemlerin kullanımı tercih edilmelidir [31].

3.4.1.1.1. Emülgatör

Değirmen ile bitüm emülsiyonu oluşturulduktan sonra bitüm tanecikleri toplanmaya karşı stabilize edilmelidir. Bitüm taneciklerinin yüzeyinde emilmiş emülgatörler, bitüm taneciklerinin birbirine yaklaşarak toplanmasını önleyici elektriksel ve sterik bir itme enerjisi oluştururlar. Bu oluşturulan enerji bariyeri bir şekilde aşılsa ve bitüm tanecikleri toplansa bile yüzeyde ince bir film halinde bulunan emülgatörler yine de toplanmayı önler. Emülgatörün varlığından kaynaklanan yüzey gerilimi etkileri, bitüm taneciklerinin deforme olması ve toplanması için enerji bariyerinin aşılması gerektiği anlamına gelir [31].

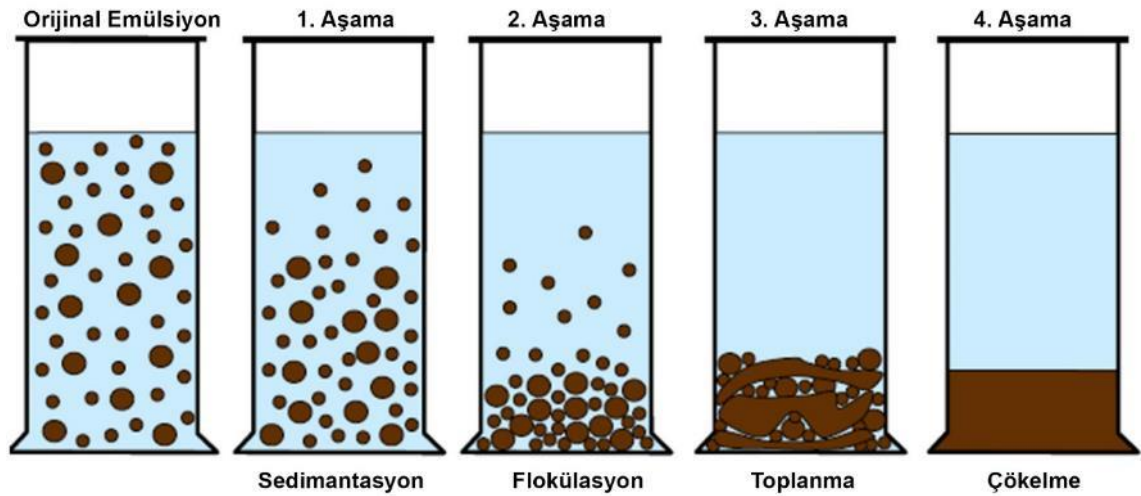
Bitüm emülsiyonunun topaklanması, birleşmesi ve oturması gibi problemlerin (Şekil 3.13) nedeni emülsiyonun kesme kuvvetine maruz bırakılması, kaynatılması veya donması olabilir. Aynı zamanda, emülsiyon, içerisindeki minerallerle temas halinde olması sonucunda belirtilen problemlerle karşılaşabilir. Bu problemler, emülsiyonun kullanılırken ve üretim aşamasındaki kesilmesi, prizlenmesi ve kür olmasıyla büyük ölçüde alakalı ve aynı derecede önemlidir [31].

İyi bir emülsiyon yapısı ve doğru performans sergileyen emülsiyon oluşturmak için gereğinden fazla emülgatör kullanmak doğru bir seçimdir. Gereğinden fazla emülgatör kullanılması sayesinde emülsifikasyon, depolama ve nakliye sırasında oluşabilecek çökmeler engellenir [31].



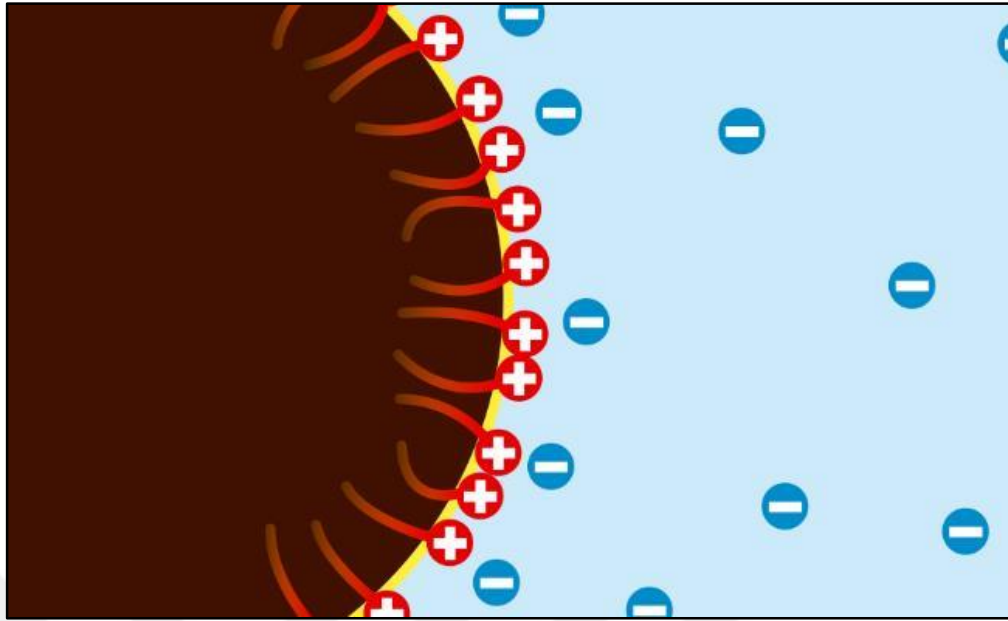
Şekil 3.13. Emülsiyonda Toplanma Aşamaları [31]

Bir emülsiyonun depolanması sırasında, birinci aşamada sedimentasyon meydana gelir (Şekil 3.14). Daha sonra, ikinci aşamada ise flokülasyon meydana gelir. Fakat bunlar emülgatör filmi tarafından kısmen korunmaktadır ve bu nedenle mevcut yapılarını korurlar. Üçüncü aşamada ise toplanma ortaya çıkar ki bu aşamada geri dönüşü olmayan yapı elde edilir. İlk toplanmadan sonra bu problem git gide hızlanır ve bitüm ve su fazlarının ayrılmasına neden olur. Bitüm emülsiyonunun depolanma yeteneği emülsiyonun viskozitesi ve bitüm taneciklerinin ortalama boyutu ile doğrudan alakalıdır [33].



Şekil 3.14. Emülsiyonun Depolanması Sırasındaki Zamanla Değişimi [33]

Bitüm taneciklerinin yüzey aktivitesi hem lipofilik (yağ seven) hem de hidrofilik (su seven) kısımlara sahip olan emülgatör moleküllerine bağlıdır. Tipik bir emülgatör, hidrofilik bir baş kısma ve hidrofobik (lipofobik) bir kuyruk kısma sahiptir (Şekil 3.15). Bitüm taneciğinin yüzeyinde bulunan emülgatörün yağ seven kuyruk kısmı bitüm taneciğinin içerisine girer ve su seven baş kısmı ise bitüm taneciğinin yüzeyinde asılı kalır ve bu sayede bitüm tanecikleri birbirinden uzaklaştırılmış olur. Toplanmayı önlemek için bitüm taneciklerinin birbirinden uzakta tutulması gerekir. Anyonik ve katyonik emülgatörlerin birçoğunda elektriksel yük, emülsiyondaki pH değerine bağlı olduğundan pH değerindeki herhangi bir değişim emülsiyonun çökmesine neden olur. Emülgatör molekülleri bitüm taneciklerinden oldukça küçüktür ve her bir bitüm taneciği binlerce emülgatör molekülünün kendisine tutunmasıyla diğer bitüm taneciklerinden uzakta tutulur. Bir bitüm taneciği dünya büyüklüğünde olsaydı kendisine tutunan emülgatörün baş kısmı on kilometrekare kadar yer kaplardı ve kuyruk kısmı ise bitüm taneciğinin yüzey kısmından 8 km kadar içeri girerdi. Katyonik emülgatörler asit kullanılarak nötrleştirilirler. Bunun için yaygın olarak kullanılan asit çeşitleri hidroklorik, fosforik, asetik veya sülfürik asittir. Aynı şekilde anyonik emülgatörler için de çeşitli bazlar kullanılır. En yaygın kullanılan baz çeşitleri ise sodyum, amonyum veya potasyum hidroksittir [31].



Şekil 3.15. Emülgatör Moleküllerinin Yüzeydeki Durumu [31]

Bitüm emülsiyonunun katyonik veya anyonik olma ve yavaş veya hızlı kesilme durumu, içerisinde barındırdığı emülgatörün çeşidine ve miktarına bağlıdır. Yavaş kesilen emülsiyonlardaki bitüm tanecikleri, çabuk ve orta hızda kesilen emülsiyon tiplerine göre daha küçüktür. Bu yüzden, yavaş kesilen emülsiyonlarda bitüm taneciklerinin toplam yüzey alanı daha fazladır. Dolayısıyla, yavaş kesilen emülsiyon tipinin daha fazla oranda emülgatör ihtiyacı olur. Aşağıdaki tabloda (Tablo 3.6) emülsiyon tipine göre kullanılan emülgatör oranları, pH seviyesi ve emülgatör çeşitleri verilmiştir [31].

Tablo 3.6. Emülsiyon Tiplerine Ait Emülgatör Oranları ve Çeşitleri [31]

Emülsiyon Tipi	Emülgatör Oranı, %	pH Seviyesi	Emülgatör Çeşidi
Katyonik Çabuk Kesilen	0.15-0.25	2-3	tallow diamine
Katyonik Orta Hızda Kesilen	0.3-0.6	2-3	tallow diamine
Katyonik Yavaş Kesilen	0.8-2.0	2-5	quaternary amine
Anyonik Hızlı Kesilen	0.2-0.4	10.5-12	tall acid
Anyonik Orta Hızda Kesilen	0.4-0.8	10.5-12	tall acid
Anyonik Yavaş Kesilen	1.2-2.5	7.5-12	nonionic + lignosulphonate

Bitüm emülsiyonlarının, koruyucu kaplamalarda veya yol üstyapılarında bağlayıcı görevini üstlenmeleri için sürekliliği olan bir yapıya dönüşmeleri gerekir. Kesilme ve kür aşamalarının hızı emülsiyonun ve agreganın reaktivitesine ve sıcaklık, nem gibi çevre koşullarına bağlıdır [31].

Agregalar, pH değerine ve minerallerin yapısına bağlı olarak, su içinde kendilerine has bir yüzey yükü alır. İçeriğinde silika minerali fazla olan asidik agregalar su içerisinde iken negatif bir yük alırken içeriğinde kalsiyum barındıran kalker gibi bazik agregalar su içerisinde iken pozitif yük alır. pH değeri yükseldikçe, agregalar negatif yüklü hale gelirken sudaki kalsiyum tuzlarının veya diğer katyonların varlığı agrega yüzeyini daha az negatif hale getirme eğilimindedir. Genel olarak, yüzeydeki yükün negatif olduğu agregalar, katyonik emülsiyonlarla daha hızlı reaksiyona girer. Ancak emülgatörün agrega yüzeyindeki emilimi, bitüm taneciklerinin agrega yüzeyine hareketi, pH değerindeki değişimler ve suyun buharlaşması gibi faktörler de etkili olur [31].

3.4.1.1.1. Emülgatörün Agregaya Yüzeyinde Emilimi

Bitüm emülsiyonu ile agrega temas haline geldiğinde ilk önce bitüm emülsiyonunun içerisindeki serbest halde dolaşan emülgatörler hızlı bir şekilde agrega tarafından emilirler. Daha sonrasında ise bitüm taneciklerinin etrafındaki emülgatörler emilmeye başlar. Emülsiyonun tipi ister yavaş kesilen ister çabuk kesilen olsun serbest haldeki emülgatörler emülsiyonun tipine bakılmaksızın hızlı bir şekilde emilirler. Emülsiyonun yavaş, orta hızda veya çabuk kesilmesini belirleyen özellik bitüm taneciklerinin etrafındaki emülgatörlerdir. Katyonik emülgatörler, anyonik emülgatörlere göre silika bakımından zengin agregalarla daha güçlü tutunurlar. Nitekim bu durum, asidik agregalar için katyonik emülgatörlerin kullanılmasının faydalı olduğunu açıklamaktadır [31].

3.4.1.1.2. Bitüm Taneciklerinin Agregaya Yüzeyine Hareketi

Emülsiyondaki bitüm tanecikleri, dış yüzeyindeki yükün işaretine zıt bir yüke sahip agregaların yüzeyine doğru hareket ederler. Bu harekete elektroforez denir. Bu yüzeydeki yükler sayesinde bitüm tanecikleri bir araya gelerek flokülasyon ve toplanmaya neden olurlar [31].

3.4.1.1.1.3. pH Değerindeki Değişimler

Kalker, kireç veya çimento gibi bazı malzemeler katyonik emülsiyonlardaki asidi nötrleştirerek pH değerinin yükselmesine ve emülsiyonun kararsız hale gelmesine neden olabilirler. Bazı durumlarda ise agregalar hidrojen iyonlarını emerek pH değerinde az bir artışa yol açar ve bu artış az da olsa malzemeyi kararsız hale getirmeye yeterlidir. Kalker gibi suda kolay iyonlaşan agregalar, çözeltiliye kalsiyum veya magnezyum iyonları vererek anyonik emülsiyonların yükünü nötrleştirebilirler [31].

3.4.1.1.1.4. Suyun Buharlaşması

Su, buharlaşma yoluyla sistemi terk ederken bitüm tanecikleri bir araya gelerek toplanmaya başlar. Buharlaşma, yavaş kesilen emülsiyonlar için temel parametre olabilir. Kesilme işleminin tamamlanmasından ve suyun buharlaşmasından sonra bitüm ve agregası arasında güçlü bağ oluşur [31].

3.4.2. Agregası

Kullanılan agregası, harç tipi kaplama uygulaması için gerekli koşulları sağlayacak tipte olmalıdır. Agregası kırma taş olmalı ve granit, cüruf, kireçtaşı veya diğer kaliteli agregası veya bunların kombinasyonundan oluşmalıdır [32].

3.4.2.1. Kalite Testleri

Kullanılan agregalar, tabloda (Tablo 3.7) belirtilen maksimum ve minimum değerleri sağlamalıdır [32].

Tablo 3.7. Kalite Testleri

Test	Test Metodu		Şartname
Aregalarda İnce Tanelerin Tayini- Kum Eşdeğeri Tayini	T 176	D 2419	45 Minimum
Magnezyum Sülfat Kütlece Kayıp Değeri	T 104	C 88	% 25 Maksimum
Parçalanma Direncinin Tayini (Los Angeles Deneyi)	T 96	C 131	% 35 Maksimum

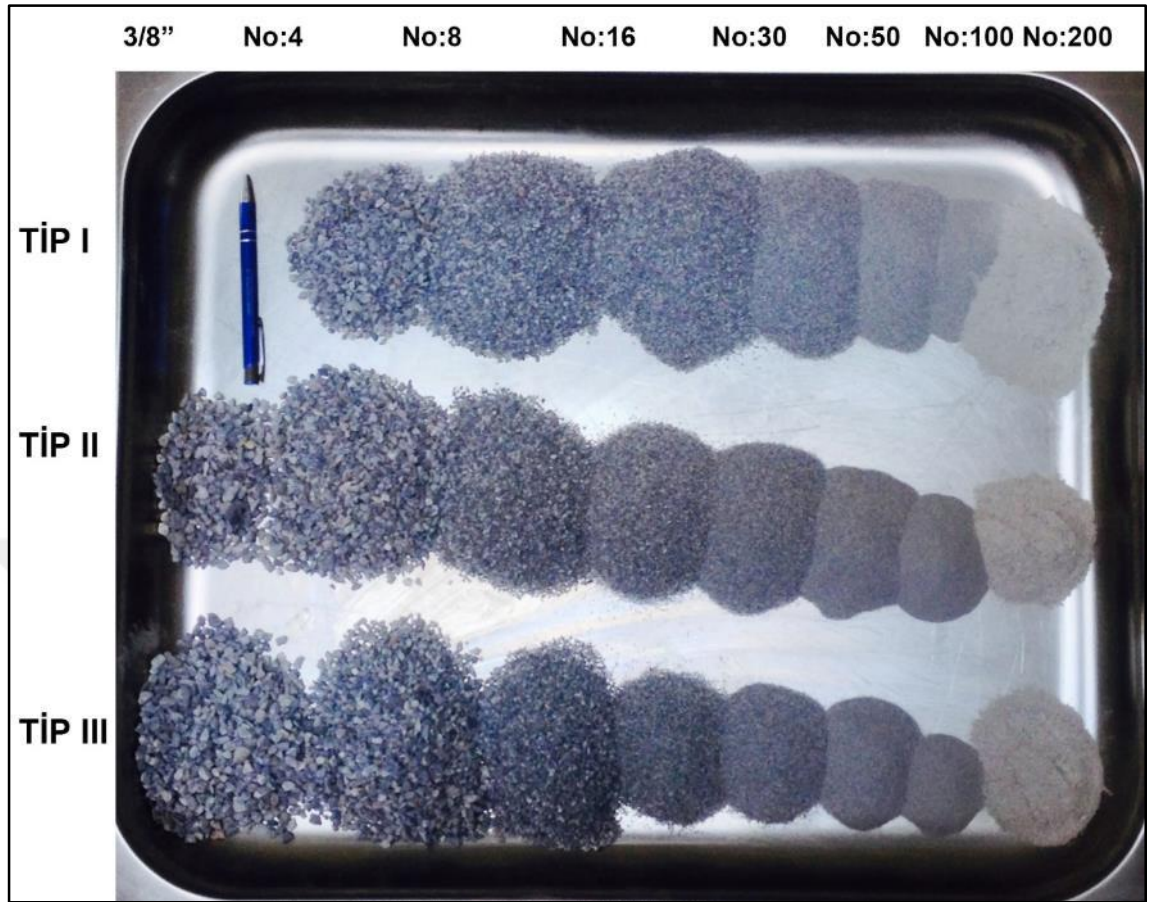
3.4.2.2. Gradasyon

AASHTO T 27 (ASTM C 136) ve AASHTO T 11'e (ASTM C 117) standartlarına uygun olarak yapıldığında karışım dizaynı agrega gradasyonu aşağıdaki tablodaki (Tablo 3.8) aralıklardan birinde olmalıdır.

Tablo 3.8. Gradasyon Limitleri [32]

Elek Boyutu	Yüzde Geçen			Tolerans
	Tip I	Tip II	Tip III	
9.5 mm (3/8")	100	100	100	
4.75 mm (No.4)	100	90-100	70-90	± %5
2.36mm (No.8)	90-100	65-90	45-70	± %5
1.18 mm (No.16)	65-90	45-70	28-50	± %5
0.600 mm (No.30)	40-60	30-50	19-34	± %5
0.300 mm (No.50)	25-42	18-30	12-25	± %4
0.150 mm (No.100)	15-30	10-21	7-18	± %3
0.075 mm (No.200)	10-20	5-15	5-15	± %2

Harç tipi kaplamalarda kullanılan agrega gradasyon tipleri için oluşturulan 1 kg'lık örnek fraksiyonlar aşağıdaki şekilde (Şekil 3.16) gösterilmiştir.



Şekil 3.16. 1 kg Malzeme için Örnek Fraksiyonlar

Harç tipi kaplamalarda kullanılan agrega gradasyonu ince olduğundan konfor açısından değerlendirildiğinde diğer yüzeysel kaplama türlerine göre oldukça avantajlıdır. Literatürde kullanılan üç tip agrega gradasyonu bulunmaktadır. Bunlar:

- Tip I: Yol yüzeyindeki kalınlığı 4-5 mm civarındadır. Trafik yoğunluğunun düşük olduğu yerler ile yoldaki deformasyon ve çatlakların az olduğu yerlerde tercih edilir.
- Tip II: En yaygın kullanılan türdür. Uygulama sonrası yüzeydeki kalınlık 6-7 mm civarındadır. Genellikle normal ve yoğun trafiğin bulunduğu yerlerde kullanılır. Bu tip karışımlar yoldaki çatlakların kapatılması ve kayma direncinin artırılması için kullanılır.
- Tip III: Yoldaki ciddi yüzey bozukluklarını düzeltip çok ağır trafik yüklerinde kayma direncini artırır ve sudaki kaymayı önler. Yüzeyde oluşturduğu kalınlık 8-

9,5 mm'dir. Kamyon şeritleri ve ağır yüklü tonajlı araçlar için ideal ve dayanıklı bir agrega tipidir [32].

Karışım dizaynında belirtilen agrega gradasyonunun tolerans limitleri göz önüne alındığında stoklarda depolanan agregaların tolerans limitleri de karışım dizaynında belirtilen tolerans limitleri arasında kalacak şekilde ayarlanmalıdır. Ardışık iki elekten geçen agrega yüzdesi bir baştan diğer başa gidildiğinde değişmemelidir. AASHTO T 2 (ASTM D 75) standartlarına göre beş defa numune alınmalı ve bu numuneler üzerinde deney yapılarak agregalar şantiye veya stok alanında kabul edilmelidir. Analiz edilen bu beş numunenin deney sonucunun ortalaması eğer karışım dizaynının stok toleransı içerisindeyse malzeme kabul edilmelidir. Diğer türlü, agrega gradasyonu uygun değildir. Böyle durumlarda ya agrega tamamen çekilerek taşınmalı ve kullanılmamalıdır ya da gradasyon limitleri içerisine girecek şekilde farklı bir gradasyona sahip yeni bir agrega ile karıştırılarak mevcut gradasyon güncellenmelidir. Kullanılacak olan yeni agrega da aynı şekilde gerekli şartnameyi sağlamalıdır. Yeni agregayla karıştırma işlemi düzgün bir şekilde yapılmalı ve karışım işlemi bittiğinde bütün bölgelerde homojen bir görünüm elde edilmelidir. Agrega karıştırma işlemi yapıldığında gerekiyorsa yeni bir karışım dizaynı yapılmalıdır. Stok alanı içerisinde normalden daha iri agregalar varsa elek işlemi uygulanmalı ve iri agregalar çıkarılmalıdır [32].

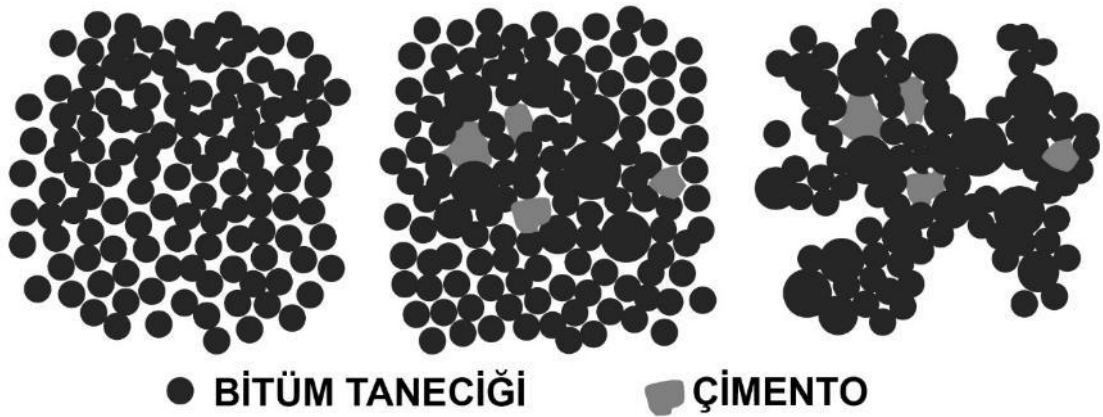
3.4.3. Mineral Filler

Mineral filler malzemesi karışımın kıvamını artırmak ve düzenlemek, emülsiyonun kesilme ve kür olma süresini kontrol etmek için kullanılır. Genellikle kullanım aralığı %0 - %3 arasındadır ve mineral filler karışım gradasyonunun bir parçası olarak kabul edilmeli ve agrega gradasyonuna eklenmelidir [32].

Portland çimentosu ya da diğer ince özellikteki malzemeler karıştırma süresini uzatmak ve yayılması kolay krem kıvamında bir malzeme elde etmek için kullanılır. Hidroksil iyonları, emülgatördeki iyonlarla etkileşime girerek çabuk kesilen ve kısa sürede kür olan bir karışım elde edilmesini sağlar. Portland çimentosunun kendisi ince bir kıvama sahiptir ve bu yüzden Portland çimentosu emülsiyon içerisindeki suyu emer ve emülsiyonun kesilmesine neden olur. HTK üretimindeki yaygın kullanılan mineral filler malzemeleri

- Portland çimentosu,
- Sönmüş Kireç,
- Kalker Tozu,
- Uçucu Kül,
- Fırın Tozu vb. malzemelerdir [7].

Bitüm emülsiyonuna çimento ilave edilmeden önce her bir bitüm taneciğinin dış yüzeyindeki itici kuvvetler sayesinde tanecikler birbirinden uzaklaşırlar ve stabil bir yapıda bulunurlar. Bu durumda, bitüm taneciklerinin arasında herhangi bir bağ bulunmaz. Çimento ilavesiyle birlikte (Şekil 3.17) bitüm tanecikleri toplanmaya başlar ve küçük küçük topaklanmalar oluştururlar. Aynı zamanda, çimentoyla temas halinde bulunan bitüm tanecikleri de artık toplanmaya ve bir araya gelmeye başlar. Bunun nedeni, çimentonun bitüm taneciklerinin yükünü nötrlestirmesidir. Çimento, zamanla çözüldükçe de topaklanma daha da hızlanır ve topaklanan bitüm tanecikleri daha büyük kütleler oluştururlar. Bu sayede, bitüm emülsiyonu kesilir ve viskozite artar [23].



Şekil 3.17. Çimento İlavesiyle Oluşan Kesilme

3.4.4. Su

Harç tipi kaplama üretiminde kullanılacak su içerisinde zararlı tuzlar ve yabancı maddeler olmamalıdır. Eğer suyun kalitesi ile ilgili bir şüphe varsa sudan bir örnek alınıp laboratuvar testine tabi tutulmalıdır [32].

3.4.5. Katkılar

Harç tipi kaplama karışımlarının kesilme ve kür olma sürelerini hızlandırmak veya yavaşlatmak için çeşitli katkılar kullanılmalıdır. Bu katkıların uygun olup olmadığı veya hangi oranda kullanılması gerektiğini sınırlandıran aralıklar laboratuvar ortamında denenmeli ve bunun sonucuna göre karışım dizaynı yapılmalıdır [32].

Diğer katkılar da gerektiğinde harç tipi kaplamaya eklenerek üretim yapılabilir. Bu katkı maddeleri uygulama çeşidine veya kullanım alanına göre farklılık gösterebilir. Harç tipi kaplama üretiminde kullanılan katkılar genellikle emülsiyonların kesilmesini geciktirici özelliğe sahiptir. Yaygın olarak kullanılan katkı maddeleri arasında emülgatör çözeltileri, alüminyum sülfat, alüminyum klorür ve boraks bulunur. Üretim yapılırken katkı maddesinin oranını ve çeşidini değiştirmek kesilme ve kür olma sürelerinin kontrol edilmesini sağlar. Örneğin, hava sıcaklıklarının fazla olduğu bir bölgede kesilme ve kür sürelerinin uzatılarak daha kontrollü bir üretim yapılması gerekir. Aynı şekilde, hava sıcaklıklarının düşük olduğu bir bölgede kesilme ve kür süresinin yavaş olacağı için çeşitli katkıları katılarak bu süreler hızlandırılır ve daha uygun bir üretim elde edilmiş olur [8], [34]. Yaygın olarak kullanılan katkı maddeleri;

- Alüminyum sülfat kristalleri,
- Amonyum sülfat
- İnorganik tuzlar
- Sıvı alüminyum sülfat,
- Aminler
- Soyulma önleyici maddelerdir [7].

3.5. HTK Çeşitleri

Harç tipi kaplama uygulamaları, agrega gradasyonu, agrega kalitesi, bitüm emülsiyonu çeşidi ve kullanılan katkıları bakımından “Slurry Seal” ve “Microsurfacing” olmak üzere iki sınıfa ayrılırlar. Microsurfacing genel olarak Slurry Seal uygulamasının polimer modifiyeli bağlayıcı kullanılması halidir ve Microsurfacing uygulamasında daha kaliteli ve sağlam agregalar kullanılır. Bununla birlikte, Slurry Seal’den en önemli farkı ise Microsurfacing uygulamasında kür, kimyasal bir işlem iken, Slurry Seal uygulamasında

bu termal olarak gerçekleşir. Buna ek olarak, Microsurfacing özel bir serici aparatı ile kullanılmak suretiyle tekerlek izi dolgularında da kullanılmaktadır. Aşağıdaki tabloda (Tablo 3.9) Slurry Seal ve Microsurfacing arasındaki belirgin farklar gösterilmiştir [7], [35], [36].

Tablo 3.9. Slurry Seal ve Microsurfacing Arasındaki Farklar [7]

Özellik	Slurry Seal	Microsurfacing
Asfalt Emülsiyonu	Polimer kullanma zorunluluğu yoktur.	Her zaman polimer ile modifiye edilir.
Agrega Gradasyonu	Şartnameye göre Tip I, Tip II ve Tip III kullanılır.	Şartnameye göre sadece Tip II ve Tip III kullanılır.
Agrega Kalitesi	Az kalitede agregalar kullanılır.	Bazalt gibi yüksek kalitede agregalar kullanılır.
Reaksiyon	Prizlenme ve kür süresi hava şartlarına göre değişir.	Kimyasal reaksiyonu hava şartlarına göre bağımsızdır.
Uygulamalar	Sökülmeyi, yaşlanmayı, oksidasyonu ve kusmayı önlemek, yüzey sürtünmesini iyileştirmek. Estetik görünüm kazandırmak. Mikro çatlakları doldurarak yüzey suyunun yer altına inmesini önlemek.	Slurry Seal'deki uygulamalara ek olarak, tekerlek izi doldurmak, gece çalışma, yanlış yüzey eğimlerini düzenlemek.

3.6. HTK Üretim Süreci

HTK üretim süreçleri, Güvenlik ve Trafik Kontrolü, Kullanılan Makineler, Stok ve Proje Alanı İhtiyaçları, Yüzey Hazırlama, Uygulama Durumları, Uygulama Tipleri, Kalite Konuları, İnşaat Sonrası Durumlar ve İnşaat Sonrası İyileştirmelerdir. Bu bölümde HTK üretim süreçleri hakkında detaylı bilgi verilmektedir.

3.6.1. Güvenlik ve Trafik Kontrolü

HTK uygulaması sırasında güvenlik tehlikesi diğer uygulamalara göre daha azdır. Fakat yine de dikkat edilmesi gereken hususlar vardır. HTK uygulaması, hava sıcaklığının yüksek olduğu zamanlarda yapılırsa üretim kalitesi açısından daha iyi sonuçlar verir. Bu nedenle, üretim zamanı hava sıcaklığının yüksek olduğu gündüz vakitleri içerisinde olmaktadır. Gündüz vakitlerinde üretim olması ise yoğun araç trafiğinin olduğu saatlere denk gelmektedir. Araç trafiğinin yoğun olduğu bir zamanda HTK uygulaması yapmak

güvenlik açısından sakınca doğurmaktadır. Bu durumun önüne geçebilmek için çeşitli önlemler alınmalıdır.

- Çalışmanın yapılacağı alan trafiğin olduğu alandan net bir şekilde ayrılmalıdır.
- Kullanılan aletler etrafta unutulmamalı ve gerekirse kullanılmayan aletler elde taşınmalı veya depolanmalıdır.
- Çalışma yapılacak yoldaki trafiği diğer bölgeye yönlendirebilmek mümkünse çalışma alanı emniyetli halde kapatılmalı ve araç trafiğini yönlendirecek seyyar trafik lambaları (Şekil 3.18) kullanılmalıdır.
- Personelin üzerinde ışık yansıtıcı fosfor özelliğine sahip kıyafetler olmalıdır.
- Çalışma alanı öncesinde konulan uyarıcı levhaların gerekli mesafeye sahip olması gerekir ve bayrakçı kullanılarak trafik yönlendirilmelidir.
- Trafik levhaları, kaybolma ve devrilme gibi problemlerle karşılaşabileceği için sürekli olarak kontrol edilmelidir.
- İşi aksatacak şekilde park edilen araçların olmaması için bölge halkı birkaç gün önceden bilgilendirilmeli ve gerekli duyurular (Şekil 3.19) asılmalıdır.



Şekil 3.18. Seyyar Trafik Lambaları



Şekil 3.19. Uyarıcı Levhalar

3.6.2. Kullanılan Makineler

HTK üretimi sırasında kullanılan makinelerin kalitesi HTK uygulamasının servis ömrü boyunca kalitesine ve performansına direkt olarak etki etmektedir. Bu nedenle, kullanılan makinelerin kalitesi iyi olmalı ve sürekli olarak kontrol edilmelidir. Üretim kalitesi genel olarak bölgeden bölgeye farklılık göstermektedir. Bunun nedeni, kullanılan makinelerin üretildiği bölgelerin veya firmaların farklı olmasıdır. Bir firmada üretilen bir makine diğer bir firmada üretilene göre farklılık gösterebilir. Dolayısıyla, bu iki farklı makinenin yaptığı HTK üretimleri birbirinden farklı olur. Bu farklılığın önüne geçebilmek için başarı ile sonuçlanan üretimlerde kullanılan makineler tercih edilmelidir [7].

HTK üretiminde kullanılan makinelerin amacı hazırlanan işyeri karışım formülüne uygun karışımı gerekli malzemelerle uygun bir şekilde karıştırıp yola sermektir. Bunu yaparken

kendi-yürür veya kamyon-üstü olmak üzere iki çeşit finişer kullanılabilir. Diğer makineler ise bu finişeri besleyici ve destekleyici özelliktedir [37].

HTK uygulamasında kullanılan başlıca makineler,

- Finişer (malzemeyi karıştırmak ve sermek)
- Besleme Araçları (tır, kamyon vs. ile finişere malzeme getirerek beslemek)
- Yol Süpürme Makinesi (döner veya vakumlu temizleme)
- Silindir (pnömatik veya statik, ihtiyaç halinde) makineleridir [7].

Kendi-yürür (Şekil 3.20) ve kamyon-üstü (Şekil 3.21) finişerler kullanılarak sorunsuz bir HTK uygulaması yapılabilir. Bu bahsedilen iki finişerin arasındaki en büyük fark kendi-yürür finişerin sürekli çalışabilir olmasıdır. Sürekli çalışan finişer sayesinde üretim hızlı olur ve uygulamada bağlantı bölgeleri minimize edilmiş olur. Kamyon-üstü finişer ise içerisindeki malzeme bittiğinde yeniden malzeme yüklenmesi için durmak zorundadır. Her duruş yeni bir bağlantı bölgesi demektir ve üretimde süreksizlik ortaya çıkar. Bu nedenle, sürekli çalışan kendi-yürür finişerlerin kullanılması tercih edilmelidir [7].



Şekil 3.20. Kendi-yürür Finişer [38]



Şekil 3.21. Kamyon-üstü Finişer [39]

Yol süpürme makineleri ve silindirler, HTK uygulamalarında destekleyici araçlardır. Yol süpürme araçları kullanılarak mevcut kaplama üzerindeki kir, toz, lastik parçacıkları vs. temizlenir ve HTK karışımının yol yüzeyine daha iyi tutunması sağlanır. HTK uygulamasından sonra döner fırçalı (Şekil 3.22) ve vakumlu (Şekil 3.23) yol süpürme makineleri kullanılarak serbest halde gezen tutunmamış agregalar temizlenir. Temizleme işlemi yapılırken vakumlu yol süpürme makinelerinin kullanımı temassız olduğu için tercih edilmesi daha uygundur [7].



Şekil 3.22. Döner Fırçalı Yol Süpürme Aracı [40]



Şekil 3.23. Vakumlu Yol Süpürme Aracı [40]

Silindir (Şekil 3.24) kullanılarak HTK uygulaması sıkıştırılabilir. Silindirleme işleminin HTK uygulamasının mevcut kaplama yüzeyine daha fazla tutunduğu düşünülmektedir. Fakat silindirleme işleminin etkisi henüz bilimsel olarak ispatlanmamıştır. Silindirler kullanılmadan da üretim yapılabilmektedir [7].



Şekil 3.24. Silindir [41]

3.6.3. Stok ve Proje Alanı İhtiyaçları

HTK uygulamalarında iki temel malzeme kullanılmaktadır. Bunlardan birincisi agrega, ikincisi ise emülsiyondur. Emülsiyon, genellikle kendine ait araçlarda muhafaza edilir. Fakat agrega şantiye sahasında depolanması gereken bir malzemedir. Agregalar temiz bir bölgede (Şekil 3.25) muhafaza edilmelidir. Yabancı madde ve çeşitli malzemelerin bulunduğu ortamdan uzakta tutulmalıdır. Nehir ve göl kenarına mümkün olduğunca depolama yapılmamalıdır. Bu bölgelere depolamak kaçınılmaz ise gerekli tedbirler alınmalı ve su yalıtımı sağlanmalıdır. Yağmur nedeniyle ıslanma durumu olduğunda ise nem miktarı belirlenmeli ve üretim aşamasında katılacak su miktarı ayarlanmalıdır. Su miktarı ayarlama da tereddüt yaşıyorsa agrega, çadır, örtü vs. ile korunmalı ve kuru halde tutulmalıdır.



Şekil 3.25. Stok Alanı

3.6.4. Yüzey Hazırlama

Yüzey hazırlığının amacı, harç tipi kaplamanın ve kaplama yüzeyinin birbirine yapışacağı temiz ve sağlam bir yüzey oluşturmaktır [42]. Çoğu kaplama bakım-onarım uygulamalarında olduğu gibi, yüklenici firmanın gerekli çatlak dolgularını yapması ve yama tamir işlerini tamamlaması gerekir. Çatlak tamiri işlemi diğer asfalt bakım tekniklerine kıyasla zaman içinde bütçenin en etkin şekilde kullanılmasını sağlar [37].

Harç tipi kaplama üretimi öncesi yol yabancı maddelerden temizlenir. Bazen bu, kil veya organik madde gibi çıkarılması zor malzemeler olabilir. Bu durum varsa yüksek tazyikli su ile temizleme yapılmalıdır. Kil veya organik madde gibi çıkarılması zor maddeler, kaplama üzerinde mevcutsa daha özenli temizleme yapılmalıdır. Temizleme işlemindeki başarısızlık, harç tipi kaplama üretimin doğru yapılmamasına ve harç tipi kaplamanın kısa süre içerisinde sökülmesine neden olur. Boya ile oluşturulmuş çizgiler ve işaretlemeler kazınır veya aşındırılarak sökülür. Tekerlerin oluşturduğu fren izleri de varsa onlar da kazınır. Harç tipi kaplama üretimi öncesinde rögar kapaklarına, ızgaralara vb. sonradan sökmek üzere keçe veya kalın kâğıt yapıştırılır. Ayrıca, bütün başlangıç ve bitiş noktalarında veya el ile üretim yapılan bölgelerde keçe kullanılarak mevcut kaplama ile bağlantısı sağlanır ve düz bir bağlantı bölgesi elde edilir. Bu sayede, homojen ve düzgün bir kesişim noktaları ve kenarlar elde edilir [34].

3.6.5. Uygulama Durumları

HTK uygulaması yaparken hava koşullarının etkisi hiçbir zaman unutulmamalıdır. Bir HTK uygulamasının başarısızlıkla sonuçlanmasının nedeni büyük ölçüde hava koşullarıdır [43]. Her ne kadar HTK uygulamaları sırasında kullanılan emülsiyonların kimyasal yollarla adezyonu gelişse de hava sıcaklığı, nem ve rüzgâr hızı HTK uygulamasının yapılabirliğini etkilemektedir [32]. İdeal hava koşulları düşük nem, hafif meltem ve yüksek sıcaklığın olduğu hava koşullarıdır [44]. Yüksek nem olması durumunda emülsiyonun kesilmesi zorlaşacağından HTK üretiminde aksaklıklar meydana gelir [45]. Nem oranının % 60 ve altı olduğu durumlarda üretim yapılması ISSA tarafından önerilmektedir [32]. Yüksek sıcaklıklar, kesilmeyi ve kür olmayı hızlandırır. Bu nedenle, HTK uygulamasından önce yüzeye emülsiyon püskürtülerek yüzey biraz daha soğutulur ve karışımın yüzeye teması sonrasında erken kesilmesi önlenir [34]. İlave su kullanılarak yoldaki yüksek sıcaklıklar da düşürülebilir ve karışımın yayıcı kutuda dehidrasyon olması engellenir [32]. Yüksek sıcaklıklarla karşılaşıldığı durumlarda üretim yapan operatörler makinenin serpm hızını artırmalı veya değirmende karıştırma oranı azaltılmalıdır. Yayıcı kutuda fazla durmayacak şekilde üretim yapılmalı ve 45 saniye üzerinde karıştırma işlemi uygulanmamalıdır [35].

3.6.6. Uygulama Tipleri

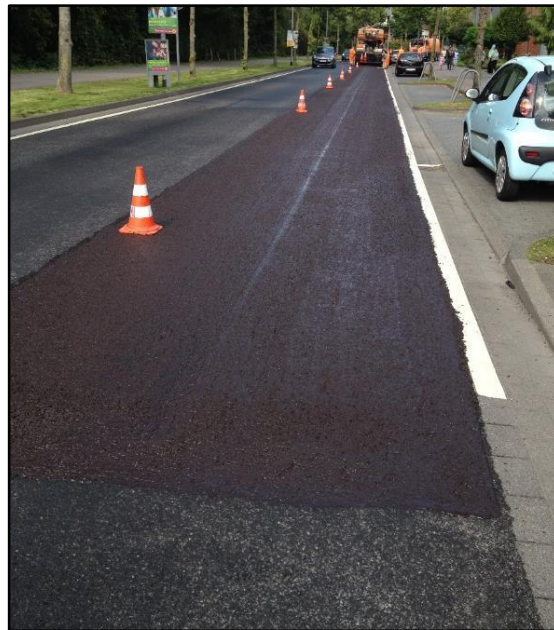
HTK uygulama tipleri dört adettir.

- Tam Şerit Genişliği (Full Lane Width)
- Sıyırma Tabakası (Scratch Coat)
- Tekerlek İzi Doldurma (Rut Filling)
- Manuel Uygulama (Hand-applied)

Bu bölümde HTK uygulamalarının tiplerinden bahsedilmektedir.

3.6.6.1. Tam Şerit Genişliği (Full Lane Width)

Tam şerit genişliği en yaygın kullanılan uygulama tipidir. Standart bir yayıcı kutu kullanılır ve uygulama bir şerit genişliği boyunca (Şekil 3.26) sürekli olarak yapılır. HTK uygulaması yapılırken her geçişte kenarlar düzenli olmalı ve boyuna birleşmeler ile şerit çizgileri birbiriyle aynı paralellikte olmalıdır. İki şeritli bir yol için üç geçiş uygundur. Bunun en büyük avantajı kenarların daha temiz çıkması ve üst üste binmelerin en aza indirilmesidir. Üst üste binen üretimler sadece kaplama sağlamsa yapılmalıdır [7].



Şekil 3.26. Tam Şerit Genişliği Uygulaması

Tam şerit genişliği uygulama tipinde en dikkat edilmesi gereken nokta yayıcı kutunun seviyesinin ayarlanması ve hiçbir şekilde titreşime maruz bırakılmayarak üretim yapılmasıdır. Yayıcı kutu sürekli olarak temiz tutulmalıdır. Her çalışma adımının sonunda yayıcı kutu temizlenmeli gerekirse yıkanmalıdır. Uygulama aşamasında arka kısımda karışım topaklanarak dökülüyorsa üretim durdurulmalı ve temizlik yapılmalıdır [32].

Yayıcı kutu içindeki malzeme hiçbir şekilde kenarlara taşmamalıdır. Boyuna üretimde oluşan kenarlar düzgünce oluşturulmalıdır. Gerekirse çekpas yardımıyla kenarlar düzeltilmelidir. Yayıcı kutunun arka kısmındaki çelik levha çok sağlam bir yapıda olmalı ve herhangi bir kuvvete karşı esnememelidir. Bu yayıcı kutu üretimin her bölgesinde homojen olacak şekilde malzeme yaymalıdır. Yayıcı kutunun arkasında bulunan kauçuk çekpas sürekli olarak yenilenmeli ve kalınlığı, genişliği ve sertliği kaliteli bir üretim ortaya koyacak şekilde ayarlanmalıdır [32].

Yayıcı kutuyu çeken makinenin hızı sürekli sabit olmalı ve titreşimden etkilenmemelidir. Ani hızlanmalar kutunun takılmasına, titremesine ve zıplamasına neden olabilir ve arkasında enine çizgiler oluşturabilir. Farklı tasarıma sahip yayıcı kutular farklı şekilde üretime neden olmaktadır. Bu yüzden, en iyi üretime göre en uygun yayıcı kutu seçilmelidir. Bir yayıcı kutuya ait olan hız, diğerine uygun olmayabilir. Bu nedenle, yayıcı kutuya ait olan hız, ortaya çıkardığı üretime göre belirlenmelidir. Aracın hızı uygulama oranına, agrega gradasyonuna, karışımın viskozitesine ve doku ve pürüzlülük gibi yüzey özelliklerine bağlıdır [32].

3.6.6.2. Sıyırma Tabakası (Scratch Coat)

12.7 mm (1/2 inç) veya daha az derinliğe sahip tekerlek izini doldurmak için sıyırma tabakası uygulaması (Şekil 3.27) yapılır. Bu işlem, sürekliliği olan tekerlek izi veya belirli bölgelerde oluşan tekerlek izi için yapılır. Daha çok derinliğe sahip tekerlek izi bozulmaları için iki veya daha fazla katman oluşturarak problem giderilebilir [36].



Şekil 3.27. Sıyırma Tabakası

Kaplamaların hemen hemen hepsi servis ömrü boyunca sürekli olarak tekerlek izi problemi ile karşı karşıya kalırlar. Yapısal açıdan sağlam kaplamalarda bile üzerindeki tekerlerin hareketi ile kaplamanın yüzeyinde çökmeler oluşur [8]. Beton yollarda, araç tekerleklerinin takip ettiği güzergâhtaki aşınmaya bağlı olarak önemsiz derecede tekerlek izi oluşur [46]. Sıyırma tabakasının uygulanmasının amacı tekerlek izini doldurmak ve HTK uygulamasının kolay inşa edilebilmesi için daha düzgün bir yüzey hazırlamaktır [7]. Sıyırma tabakası uygulanırken kauçuk levha kullanılması doğru değildir. Bunun yerine, çelik levha kullanılır. Dolayısıyla, daha düzgün bir yeni yüzey elde edilmiş olur [7]. Sıyırma tabakası uygulamasında kullanılan agreganın gradasyonu tam şerit uygulamasında kullanılan agregayla farklı olabilir. Sıyırma tabakasında daha küçük boyuttaki agregalar kullanılabilir [34]. Fakat üretimin homojen olması ve hata yapma ihtimalinin ortadan kaldırılması için sıyırma tabakasında kullanılan agregalarla tam şerit uygulamasında kullanılan agregaların aynı boyutta olması herhangi bir probleme neden olmamaktadır. [7].

3.6.6.3. Tekerlek İzi Doldurma (Rut Filling)

Tekerlek izi doldurma işlemi harç tipi kaplama uygulamalarının bir çeşidi olan “Microsurfacing” uygulaması ile yapılır. Slurry Seal türü harç tipi kaplama ile tekerlek izi doldurma işlemi yapılamaz. Microsurfacing uygulamasının en büyük avantajı tekerlek izi doldurmaktır [47].

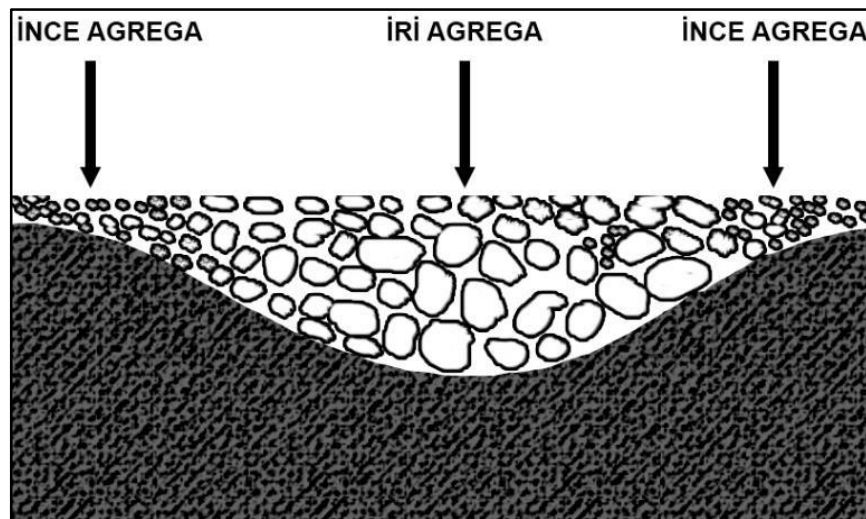
Tekerlek izi doldurma uygulaması yapılırken standart yayıcı kutunun aksine tasarımı farklı olan bir yayıcı kutu kullanılır. Tekerlek izinde kullanılan yayıcı kutu (Şekil 3.28) bu uygulama için gerekli bir cihazdır. Bunun nedeni, yayıcı kutudaki karışım direkt olarak tekerlek izi boşluğunun içine doldurulur. Tekerlek izi yayıcı kutusu, karışımı yola

sererken bombeli bir yüzey bırakır. Dolayısıyla, araçların etkisiyle bu bombeli yüzey sıkışarak düzleşir ve mevcut kaplama ile aynı seviyeye gelir. Tekerlek izi doldurma işlemi yapıldıktan sonra beklenen uygulama, tam şerit genişliği uygulamasıdır. Fakat herhangi biri olmadan da yol trafiğe açılabilir [36].



Şekil 3.28. Tekerlek İzi Yayıcı Kutusu [48]

Tekerlek izi doldurma işlemi yapıldıktan sonra istenirse üzerinden silindir geçirilerek yüzey düzleştirilir ve tekerlek izine doldurulan malzeme sıkıştırılarak mevcut kaplamayla aynı seviyeye getirilir [49], [50]. Bazı uygulamalarda ise tekerlek izi doldurma işleminden sonra hemen yol trafiğe açılır ve 24 saat boyunca araçların yolu kullanmasına izin verilerek tekerlek izindeki malzemenin sıkışması sağlanır. Ardından tam şerit genişliği uygulaması yapılarak HTK uygulaması sonlandırılmış olur [32].



Şekil 3.29. Tekerlek İzi Uygulamasında Agregaların Konumu [7]

Tekerlek izi doldurma işlemi (Şekil 3.29) sadece ve sadece yapısal açıdan sağlam ve uzun dönemde oluşan tekerlek izlerine uygulanmalıdır. Eğer alttemelde veya temelde sıkıntı varsa uygulamak doğru değildir [32], [42]. Tamir edilemeyecek tekerlek izlerine HTK uygulaması yapmak ileride ortaya çıkacak tekerlek izlerinin gelişimi engellemekte zorlanacaktır. Kaplamanın yapısından, temelden veya alttemelden kaynaklanan tekerlek izi oluşumu varsa doldurma işleminden sonra tekrar tekerlek izleri görülmeye başlar [14].

Tekerlek izi doldurma uygulaması ayrı bir şekilde önceden yapılmazsa tam şerit uygulaması sırasında tek seferde serim yapılacağı için uygulama miktarları farklı olur. Tekerlek izi, tek bir çizgi halinde bile olsa malzeme uygulama oranı ciddi şekilde artar. Bu yüzden, eğer uygulama oranına dikkat edilmek isteniyorsa tekerlek izi boşlukları da dikkate alınarak hesaplama yapılmalıdır [32].

3.6.6.4. Manuel Uygulama (Hand-applied)

HTK uygulamaları, kendine özel finişer yardımıyla hızlı bir şekilde üretilir. Fakat bazen yayıcı kutunun giremeyeceği yerler olabilir. Bu yerlere karışım dökülerek çekpas kullanımı ile manuel olarak (Şekil 3.30) uygulama yapılır [42]. Manuel uygulamalarının en büyük problemi makine ile yapılan uygulamadaki görünüşten farklı olmasıdır. Doku farklılığı ortaya çıktığı zaman estetik açıdan hoş bir görüntü ortaya çıkmaz ve itici bir yüzey elde edilmiş olur. Teknik açıdan değerlendirildiğinde ise iki uygulamanın da yüzey özellikleri aynı olmaz. Fakat burada hedeflenmesi gereken en büyük amaç iki uygulamanın da hem estetik hem de teknik açıdan birbirine benzemesi olmalıdır [32].



Şekil 3.30. Manuel HTK Uygulaması [51]

Dikkat edilmesi gereken diğerk bir nokta ise HTK karışımı kesilmeden önce malzemenin yayılmasıdır. Manuel uygulamalarda, çalışanların zaman kaybetmesi emülsiyonun kesilmesi anlamına gelir. Dolayısıyla, vakit kaybetmeden malzemenin mevcut kaplamaya yayılması gerekir. Aksi takdirde, malzeme kesildiği için yayılması zorlaşır ve mevcut kaplamaya tutunması imkânsız hale gelerek aşınmaya elverişli bir üretim ortaya çıkar [32].

Ayrıca, manuel uygulamalarda hava sıcakken yapılan çalışmalar olumsuz yönde etkilenir. Bunun nedeni, emülsiyonun sıcak havalarda kesilmeye yatkın olmasıdır. Manuel uygulama ile HTK üretimi yapılacaksa sıcak havalardan kaçınılmalı ve çalışma planı soğuk havalara denk gelecek şekilde ayarlanmalıdır. Buna ek olarak, manuel uygulamada malzemenin sadece yayılmasına yetecek kadar süre tanınması yeterli olmaz. İlave süre tanınmasıyla, malzemenin yüzey dokusunun da ayarlanması gerekir. Bu sayede, estetik açıdan iyi bir görüntü oluşturacak yeterli zaman sağlanmış olur [32].

Manuel uygulama yapılacak mevcut kaplama yüzeyinin kuru olması kullanılan malzemenin kısa süre içerisinde kesilmesine neden olur. Bu problemin önüne geçebilmek için mevcut kaplama yüzeyinin ıslatılması malzemenin kesilme süresini erteler ve karışımın rahat bir şekilde yayılmasını sağlar [32].

Manuel HTK uygulamasında en temel konu malzemenin gereğinden fazla karıştırılmamasıdır. Malzemenin çok fazla karıştırıldığı durumlarda segregasyon problemi ortaya çıkar. İri agregalar yüzeyde serbest halde kalırken ince agregalar ise dibeye çöker. Bu üretim şekli doğru değildir ve kısa sürede bozulmalar kendini gösterir. Manuel uygulama yapılacak bölge çok geniş bir alana sahipse işin tamamı tek seferde bitirilmemelidir. Bölge, kendi içinde daha küçük parçalara ayrılmalı ve bir parça bittiğinde diğerine geçilmelidir [32].

3.6.7. Kalite Konuları

Üretimin, işyeri karışım formülüne uygunluğu kontrol edilmelidir. İşyeri karışımına uygun olan üretimlerin bile kaliteli bir üretim olmama ihtimali unutulmamalıdır. HTK uygulamasında laboratuvar ortamında hazırlanan formül, pratikte uygun bir üretim

olmayabilir. Bu nedenle, büyük çapta bir üretime başlamadan önce deneme yolu yapılmalı ve sonrasında üretime geçilmelidir. Deneme yolu yapılmadan yapılan üretimde sıkıntıların çıkması doğaldır. Kalite ile ilgili bir sıkıntı ortaya çıkmasından kaçınmak için objektif bir bakış açısıyla değerlendirme yapacak üçüncü bir firma/kurum da işe katılarak daha iyi bir sonuç elde edilebilir [7].

3.6.8. Üretim Sonrası Durumlar

HTK uygulaması yapıldıktan sonra yapılacak ilk iş uyarıcı trafik levhalarını kaldırıp yolu trafiğe açmaktır. Yol trafiğe açılmadan önce emülsiyon kesilmeli ve karışım kür olmalıdır. Hava koşulları, kesilme ve kür sürelerini etkiler. Sıcak havalar ve düşük nem, emülsiyonun kesilip suyun buharlaşmasını hızlandırır. Havanın soğuk ve nemli olması, kesilme ve kür süresini uzatır ve yolun trafiğe açılmasını geciktirir [32].

Üretim yapıldıktan sonra yolun trafiğe açılma kararının verilebilmesi için iki basit yöntem vardır. Bunlardan birincisi çubuk yöntemi diğeri ise ayakkabı yöntemidir. Çubuk yönteminde, HTK karışımı yola serildikten sonra bir çubuk yardımıyla yüzeye çizgi çekilerek karışım yüzeyden sökülme çalışılır. Sökülen karışım tekrar yüzeye düzgün bir şekilde yayılabiliyorsa emülsiyon kesilmemiş demektir. Kazınan karışım ne zaman sertleşmiş ve düzleştirilmesi zor halde ise emülsiyon kesilmiş demektir. Ayakkabı yönteminde ise ayakkabı tabanı karışım üzerine konur ve bastırılır. Eğer ayakkabı yerinden kaldırıldığında agregayı sökmeden yerinde bırakıyorsa yol trafiğe açılabilir demektir. Bu şekilde trafiğe açılan yollarda büyük derecede problemler ortaya çıkmaz. Fakat manevraların çok olduğu bir trafik varsa biraz daha beklenmeli ve yol tamamen trafiğe açılır hale gelmelidir. Manevraların çok olduğu bir trafiğe sahip yolun trafiğe açılıp açılmadığını anlamak için ayakkabı topuğuna yapılan baskı ile ayakkabı 180 derece döndürülür ve karışımın durumuna bakılır. Çok büyük sökülmeler görülüyorsa yolun trafiğe açılmasında sakınca yoktur. Fakat yine de gerekli bütün önlemler alınmalı ve özellikle keskin manevra yapan ağır tonajlı araçların etkisi göz önünde bulundurulmalıdır. Bu bahsedilen iki yöntem de bilimsel açıdan değerlendirildiğinde kabul edilmesi zordur. Fakat yine de bir fikir vermektedirler. Bu yüzden, bu yöntemi uygulayan kişilerin tecrübeli olması ve karşılaşılabilecek sorunları yorumlayıcı bir kapasitede olması gerekir [32].

HTK uygulamaları yapılan yol genellikle bir saat sonra trafiğe rahatlıkla açılabilir [7]. Fakat kavşakların ve dur-kalkların yoğun olduğu yollarda kür süresi için biraz daha süre gerekmektedir [44].

HTK karışımı yola serildikten sonra belki de haftalarca içerisinde su barındırır. Bu süre boyunca içerisinde bulunan su, donma tehlikesiyle karşı karşıya kalırsa bitüm parçalanır ve karışım kaplamadan sökülmeğe başlar. Bunu önlemek için hava durumlarına bakılmalı ve iki haftalık süre içerisinde tehlike arz edecek bir durum gözlenmiyorsa üretime başlanmalıdır. Böyle bir tehlike ihtimali varsa üretime kesinlikle başlanmamalıdır [34].

HTK uygulaması sonrasında yağmur yağdığında bozulma riski vardır. HTK karışımları, üç saat sonra başlayan hafif yağmura karşı dayanıklıdır. Fakat yağmurun şiddeti artarsa ve bu yolda da ağır bir trafik varsa HTK karışımı kısa bir süre içerisinde bozulur. Buna ek olarak, dur-kalklar ve manevralar da mevcutsa HTK uygulaması daha kısa bir süre içerisinde zarar görür [7].

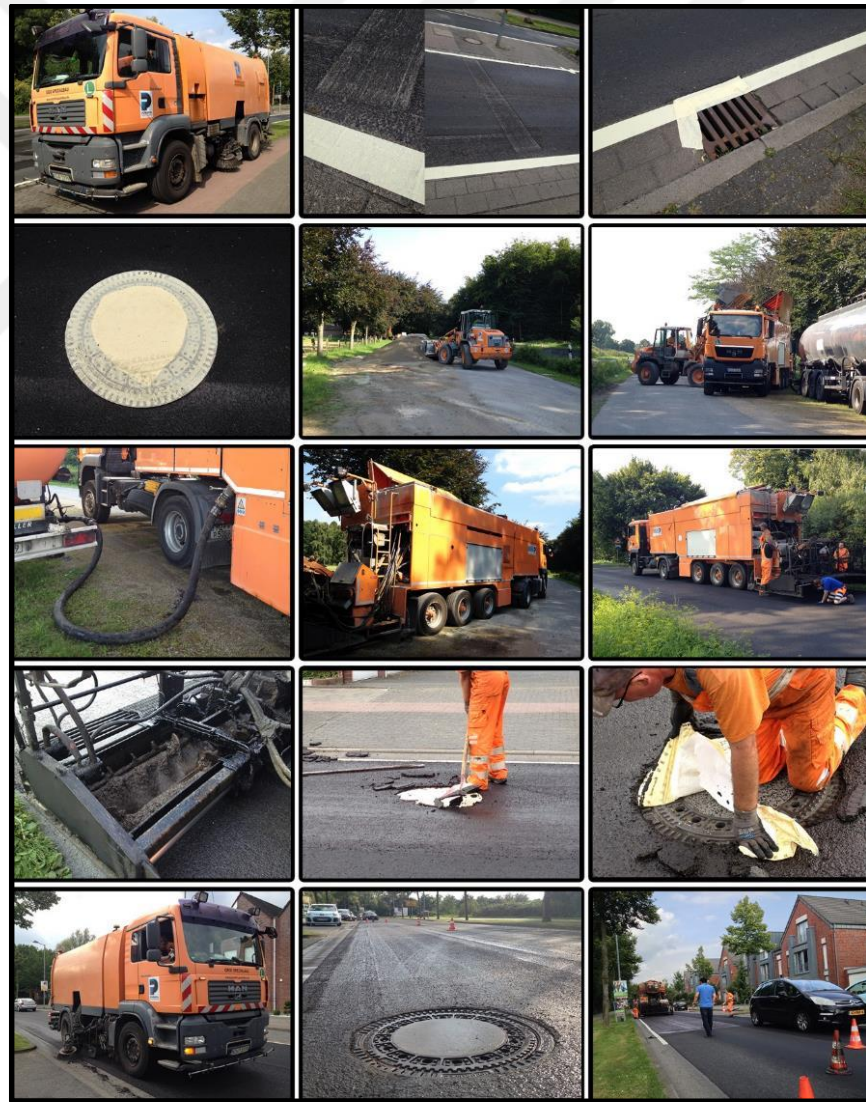
3.6.9. Üretim Sonrası İyileştirmeler

HTK uygulaması yapıldıktan sonra üretim kontrol edilmeli ve gözle görülür bir sorun varsa düzeltme yoluna gidilmelidir. HTK uygulaması sonrası yaygın olarak görülen iki adet iyileştirme yöntemi ortaya çıkmaktadır. Birincisi serbest haldeki agregaların temizlenmesidir. HTK uygulaması hangi kalitede yapılıyorsa yapılsın kaplamaya tutunmayan serbest haldeki agregalar yol yüzeyinde gezinir. Bu serbest agregalar, belirli bir süre sonra fırça ile temizlenerek toplanmalıdır. Yol temizlenip trafiğe açıldıktan sonra hâlâ yol yüzeyinde serbest agregalar varsa temizleme işlemi tekrar yapılmalıdır. Diğer bir iyileştirme ise kumlama. Kumlama, kavşak gibi bölgelere ilave koruma sağlar. Nemli bölgelere kumlama yapıldığı zaman kolayca trafiğe açılabilir [34].

3.7. Saha Uygulamalarının İncelenmesi

Bu bölümde, Almanya'nın farklı kentlerinde ve caddelerinde Possehl Spezialbau GmbH firması tarafından yapılan HTK uygulama örneklerine yer verilmiştir. Üretim aşamaları incelenmiş ve mevcut yol görünüşü ile üretim sonrası görünüş karşılaştırılmıştır.

Harç tipi kaplama üretim aşamaları için öncelikle yol yüzeyindeki çeşitli çizgiler kazınır. Yol yüzeyi, tozdan ve kirden arındırılarak temiz hale getirilir. Kaplama kenarlarına ve kapaklara daha sonra sökülme üzere özel bantlar yerleştirilir. Daha önce hazırlanmış uygun gradasyonlu agrega karışımı araca yüklenir. Emülsiyon tankından yeterli miktarda emülsiyon alınır. Çimento ve su depolandıktan sonra belirli oranlarda herhangi bir ısıtma işlemi uygulanmadan karıştırılır. Elde edilen harç tipi kaplama karışımı yayıcı kutu yardımıyla yol yüzeyine serilir. Harç tipi kaplama uygulaması kür olduktan sonra bantlar sökülür, yol tekrar temizlenir. Almanya'nın Nettetal şehrinde üretimi yapılan harç tipi kaplama uygulaması ve aşamaları aşağıdaki şekilde (Şekil 3.31) görülmektedir.



Şekil 3.31. HTK Üretim Aşamaları Örneği: Nettetal Şehri

Almanya'nın Kempen şehrindeki "Krefelder Weg" caddesinde uygulama öncesi mevcut durum aşağıdaki şekilde (Şekil 3.32) görülmektedir. Harç tipi kaplama uygulaması öncesinde mevcut kaplamanın yüzey özelliklerinin ve yapısal durumunun iyi olmadığı açık bir şekilde görülmektedir. Aynı zamanda, bu kaplamada tekerlek izi oluşmaya başlamıştır. Oksidasyon etkileri gözlenmektedir. Mikro çatlaklar çoğalmaya başlamış, makropürüzlülük özelliği azalmaya başlamış durumdadır. Mevcut kaplamanın servis durum indeksinin azaldığı gözlenmektedir. HTK uygulaması sırasında mevcut kaplama üzerine serilen HTK karışımının rengi ilk aşamada kahverengidir. Bu aşamada, emülsiyon henüz kesilmediği için çekpas yardımıyla karışıma şekil verilerek küçük düzeltmeler yapılabilir. Uygulamadan yirmi dakika sonra emülsiyonun kesilmesiyle kaplamanın kahverengi rengi biraz daha koyulaşarak siyaha dönmektedir. Yirmi dakika sonunda sertleşen kaplama üzerinde rahatça dolaşılabilen ve yol trafiğe açılabilir. Gerçekleştirilen harç tipi kaplama uygulamasının üç hafta sonundaki görünümü incelendiğinde yüzey pürüzlülüğünün oldukça iyi durumda olduğu, kaplamanın gençleştiği dolayısıyla servis kabiliyetinin oldukça arttığı görülmektedir. Suya ve havaya karşı geçirimsiz bir yüzey elde edilmiştir. Estetik açıdan ise hoş bir görüntü oluşturulmuş ve bölge halkının ilgisini çekecek bir yüzey elde edilmiştir.



Şekil 3.32. HTK Uygulama Öncesi ve Sonrası Görünümler

HTK uygulamasında kullanılan maksimum agrega boyutu nedeniyle kaplama kalınlığı diğer uygulamalara göre daha azdır. Bu nedenle, mevcut kaplamanın yüzey kotunda aşırı bir değişiklik gözlenmez. Dolayısıyla, rögar, ızgara, oluk, baca, parke, bordür gibi elemanların çalışmasını engellemez. Lilienstrasse (Şekil 3.33), Antoniusstrasse (Şekil 3.34), Porschesstrasse (Şekil 3.35), Krefelder Weg (Şekil 3.36) ve Fenland-Ring (Şekil 3.37) caddelerindeki HTK uygulamasının kalınlığı ve bordür, oluk gibi elemanlarla olan uyumu gösterilmiştir.



Şekil 3.33. Lilienstrasse Caddesi



Şekil 3.34. Antoniusstrasse Caddesi



Şekil 3.35. Porschesstrasse Caddesi



Şekil 3.36. Krefelder Weg Caddesi



Şekil 3.37. Fenland-Ring Caddesi

4. BÖLÜM

LİTERATÜR İNCELEMESİ

4.1. Literatüre Giriş

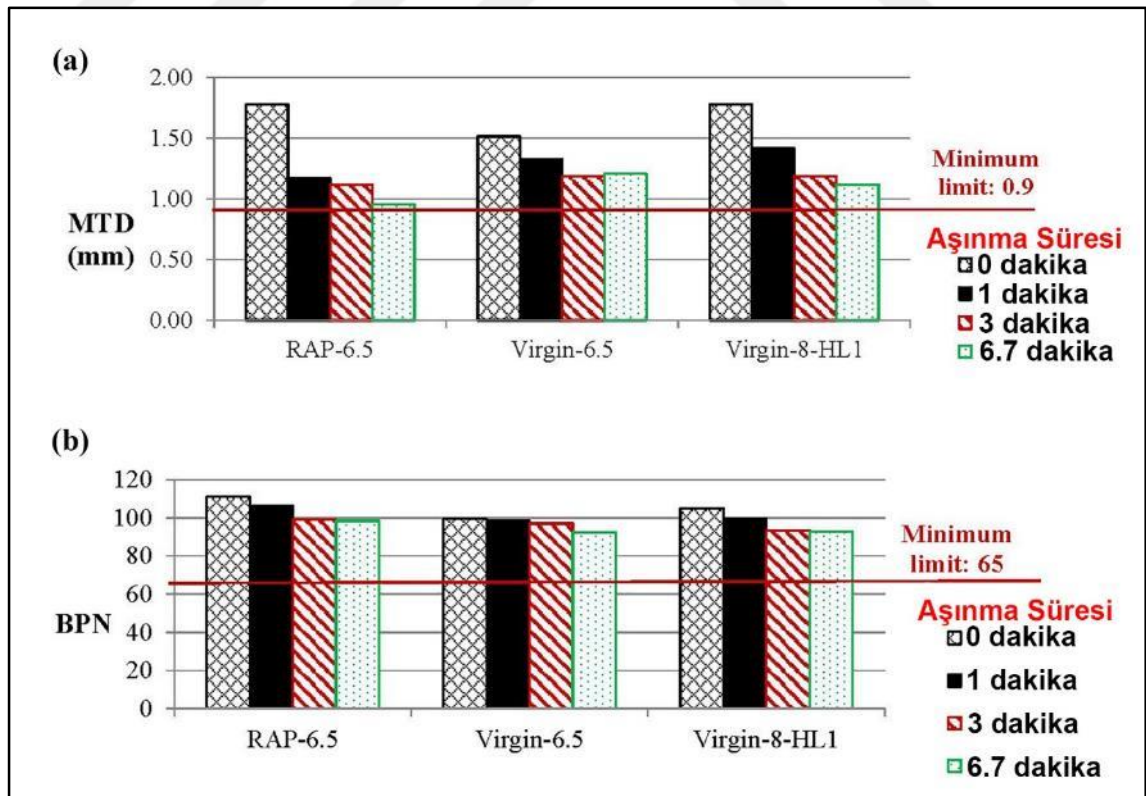
Karayolu ağı, bir ülkenin ekonomik gelişiminde kayda değer bir göreve sahiptir. Bu nedenle, gelişen teknolojiyle birlikte karayolu ağının performansını ve güvenliğini iyileştirmek büyük önem arz etmektedir. Sürdürülebilir bir karayolu ağının oluşturulabilmesi için kullanılan iyileştirme yöntemlerinden bir tanesi bitüm emülsiyonlu harç tipi kaplamalardır. Bitüm emülsiyonlu harç tipi kaplamaların performansı, faydaları, etkileri ve kullanılabilirliği araştırmacılar tarafından sürekli olarak irdelenmiş ve bu konu ile alakalı bilimsel incelemeler yapılmıştır. Bu bölümde, bitüm emülsiyonlu harç tipi kaplamalar (HTK) üzerine yapılan bilimsel çalışmalardan bahsedilmiştir.

Saghafi, M., Tabatabaee, N. ve Nazarian, S., 2019. [52]

Bu çalışmada, geri dönüştürülmüş atık asfaltın (RAP) harç tipi kaplamalarda kullanılabilirliği araştırılmıştır. Çimento ve sönmüş kireç içeren iki farklı harç tipi kaplama karışımına deneyler yapılmıştır. Birinci karışım, kontrol agregalarıyla üretilmiştir. İkinci karışım ise RAP kullanılarak üretilmiştir. Karışımların performansının ölçülebilmesi için ıslak yol aşınma ve tekerlek izi testleri uygulanmıştır. Uygulanan bu deneylerde en iyi performans gösteren karışımlar seçilmiş ve bu karışımlara kohezyon ve sürtünme deneyleri (kum yama ve İngiliz pandülü) yapılmıştır. Çalışma sonucunda harç tipi kaplamalarda RAP kullanımının mümkün olduğu kanaatine varılmıştır. RAP içeren karışımların kontrol karışımlarına göre daha uzun bir kür olma süresine sahip olmasına rağmen aşınma kaybına bakıldığında RAP karışımlarının daha iyi bir performans gösterdiği gözlenmiştir. Ayrıca, RAP karışımları ile oturma ve İngiliz sürtünme pandülü değerlerinin iyileştiği tespit edilmiştir. Buna ek olarak, maliyet analizi yapılmış ve RAP

kullanımıyla maliyetlerin % 14 oranında azaldığı saptanmıştır. Genel itibariyle bakıldığı zaman RAP kullanımının daha iyi bir performans sergilediği ve daha ucuz bir maliyete sahip olduğu bulunmuştur.

Ayrıca, üretilen numunelerin yüzey doku derinliği ve sürtünme pandülü değerleri aşınma işlemine tabi tutulmadan önce ölçülmüştür. Daha sonra, numunelere 1, 3 ve 6.7 dakikalık sürelerle aşınma işlemi yapılmış ve her aşınma işleminden sonra numunelerin yüzey doku derinliği (kum yama) ve sürtünme pandülü (İngiliz sürtünme pandülü) değerleri (Şekil 4.1) elde edilmiştir. Bu sayede, aşınma etkisinde kalan numunelerin aşınma öncesi ve sonrasındaki yüzey özelliklerinin değişimleri incelenmiştir. Aşınma öncesi ve aşınma sonrası yüzey doku derinliği (MTD) değerlerinin 0.9 mm'nin ve sürtünme pandülü değerlerinin 65'in altında kalıp kalmadığı kontrol edilmiştir. Buna göre, RAP-6.5, Virgin-6.5 ve Virgin-8-HL1 kombinasyonları, aşınma işlemine maruz kalarak bozulsa bile yine de şartname değerlerini sağladığı görülmüş ve harç tipi kaplamalarda kullanılmasının uygun olduğu sonucunda varılmıştır.



Şekil 4.1. Aşınma Öncesi ve Aşınma Sonrası Yüzey Özellikleri [52]

Masoud, R., Alan, C. ve Daniel, P., 2014. [53]

Bu çalışmada, Tip III gradasyonuna sahip microsurfacing karışımları için literatürde bulunan ISSA dizayn yöntemlerinin güncellenmesi için öneriler sunulmaktadır. Bunun için, ISSA standardında bahsedilen tekerlek izi testi (ISSA TB 109), ıslak yol aşınma testi (ISSA TB 100), kohezyon testi (ISSA TB 139), düşey oturma testi (ISSA TB 109, Metot A) ve karıştırma süresi testi (ISSA TB 113) için agrega gradasyonunun ve emülsiyonun etkisi incelenmiştir. Çalışmanın ikinci kısmında ise tip III microsurfacing karışımlarının agrega gradasyonu sınırları belirlenmiştir. Bu sınırlandırmayla birlikte çeşitli öneriler sunulmuş ve agrega gradasyonunun alt limiti ve üst limiti hakkında tezler ortaya konulmuştur. Sonuçta, oluşturulan çeşitli karışımların tekerlek izi testine karşı gösterdiği dayanım incelenmiş, elde edilen sonuçlar çeşitli istatistiksel yöntemlerle yorumlanarak mevcut şartnamelerle karşılaştırması yapıp aralarındaki farklar çıkarılmış ve mevcut şartnamelere faydalı olabilecek öneriler sunulmuştur.

Garfa, A., Dony, A. ve Carter, A., 2016. [54]

Atık malzemelerin kullanılabilirliğinin incelendiği bu çalışmada, microsurfacing türü harç tipi kaplama karışımlarının performans özellikleri incelenmiş ve geri dönüştürülmüş atık asfalt malzemesi (RAP) ve çatı kaplama uygulamasından çıkan şingil (shingle) atıkları kullanılarak laboratuvar ortamında karışımlar hazırlanmıştır. Deneyler sonucunda, microsurfacing karışımlarında %100 RAP kullanımının standartlara uygun olduğu ve bir sıkıntı ortaya çıkarmadığı saptanmıştır. Tekerlek izi sonuçlarına bakıldığında zamanla ise filler özelliklerinin çok büyük etkisinin olduğu bulunmuştur. Hazırlanan karışımların suya karşı hassasiyeti ve zamana göre davranışlarını belirlemek için prosedürler geliştirilmiştir.

Sengoz, B., Topal, A. ve Tanyel, S., 2012. [21]

Bu çalışmada, asfalt kaplamaların 31 farklı noktasında yüzey profil derinliği (MPD) ve yüzey doku derinliği (MTD) değerleri elde edilmiştir. Tarama ile ölçüm yapan 3D lazer ve hacimsel ölçüm yapan kum yama yöntemi uygulanarak elde edilen bu sonuçlar karşılaştırılmış ve aralarında iyi bir korelasyon olduğu belirlenmiştir.

Uz, V. E. ve Gökalp, İ., 2017. [17]

İki farklı hacimsel test yöntemiyle, sathi kaplamaların ve harç tipi kaplamaların yüzey doku derinliğinin değerlendirildiği bu çalışmada kum yama ve hydrotimer yöntemleri kullanılmıştır. Farklı agregalar ve farklı agrega gradasyonları ile sathi kaplama ve harç tipi kaplama karışımları oluşturulmuştur. Ortalama doku derinliği (MTD) değerleri her iki yöntemde de hesaplanmış ve her iki yöntemin uygulanabilirliği değerlendirilmiştir. Ayrıca, sathi kaplamalar ve harç tipi kaplamaların yüzey özellikleri karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak, her iki yöntem de MTD değerleri ile ilgili sonuçlar vermekte fakat 6 mm değeri hydrotimer yöntemi için eşik değer olmaktadır.

Robati, M., 2013. [55]

Geri dönüştürülmüş atık asfalt malzemesinin (RAP) ve çatı kaplamasında kullanılan şingil (shingle) atıklarının kullanılabilirliğinin araştırıldığı bu çalışmada kohezyon testi, ıslak yol aşınma testi ve düşey/dikey deplasman testi uygulanmıştır. Atık malzemeler kullanılarak hazırlanan karışımlara bahsedilen bu testler uygulanarak karışımların özellikleri incelenmiştir. Çalışmanın diğer bölümünde ise sadece geri dönüştürülmüş asfalt atıkları ve şingil kullanılarak microsurfacing karışımlarının oluşturulması denenmiştir. Geleneksel yöntemde kullanılan agregaların aksine bu çalışmada %100 RAP kullanımının mümkün olduğu gözlenmiştir. Şingil kullanımına bakıldığında ise % 17 oranında bir sınırlamanın olması gerektiği önerilmiştir.

Uz, V. E. ve Gökalp, İ., 2017 [56]

Cürufun ve doğal agregaların kullanıldığı bu çalışmada farklı agregalar ve farklı tane boyutlarına sahip yüzeysel kaplama karışımları oluşturulmuştur. Hazırlanan karışımların kayma direnci performansı incelenmiştir. Yüzeysel kaplamalardan olan sathi kaplamaların 2-19 mm arasında değişen yedi tipteki agrega gradasyonu ve harç tipi kaplamaların ise üç tipteki gradasyonu karşılaştırılmıştır. Kayma dirençleri ve makro dokuları ASTM E 303 ve ASTM E 965 standartları kullanılarak belirlenmiştir. Deney sonuçlarına göre karşılaştırma yapıldığında cüruf kullanılarak üretilen karışımların doğal

agrega kullanılarak üretilen karışımlara göre daha iyi bir sonuç ortaya çıkardığı tespit edilmiştir.

Singgih, C., Handayani, D. ve Setyawan, A., 2017. [57]

Polimer modifiyeli bitüm emülsiyonlarının kıvam, kesilme süresi ve indirekt çekme mukavemetinin incelendiği bu çalışmada optimum bitüm kalıntısı miktarı belirlenmiştir. Kullanılan agrega, karışım öncesi az miktarda nemlendirildiği zaman daha az oranda su miktarı ile daha iyi sonuçlar vermektedir. Fakat su miktarı her ne kadar azalsa da emülsiyon miktarı artmaktadır. Bu artış, maliyet açısından iyi olmasa da harç tipi kaplamanın performansı açısından değerlendirildiğinde iyi bir sonuç vermektedir. Bu şekilde hazırlanan karışımların dayanımları indirekt çekme mukavemeti sonuçlarına göre polimer modifiye bitüm kullanılmasıyla ciddi oranda artış göstermiştir.

Lee, D.Y. ve Ordemir, O., 1984. [58]

Bu araştırma makalesi, agrega gradasyonunun yüzey dokusu üzerindeki etkileri hakkında sonuçlar vermektedir. Harç tipi kaplamanın kayma direncini doğrudan etkileyen agrega gradasyonu üzerine incelemelerde bulunulmuştur.

Üç seride 47 farklı harç tipi kaplama karışımı oluşturulmuştur. Yüzey özellikleri incelendiğinde yüzey dokusunun harç tipi kaplamanın kalınlığına ve maksimum dane boyutuna göre farklılık gösterdiği tespit edilmiştir. Aynı zamanda, asfalt filminin 5.5 ile 6.5 mikrometre aralığında olması kaplamanın yüzey dokusu üzerinde önemli bir etkisinin olduğunu göstermiştir.

Fang, X., Garcia-Hernandez, A., Winnefeld, F. ve Lura, P., 2015 [59]

Bu çalışmada amaçlanan hedef, reçine ile üretilmiş anyonik bitüm emülsiyonlarının reolojisi ve stabilitesinin çimento etkisi altındaki davranışlarını incelemektir. Bu amaçla, anyonik emülsiyona değişik oranlardaki çimento ve kalker filleri eklenmiş ve Brookfield viskozimetre kullanılarak özellikleri incelenmiştir. Çimento ve kalker fillerinin etkisindeki bitüm emülsiyonunun kesilmesinin ve bitüm taneciklerinin morfolojisinin

araştırılması için mikroskop kullanılmıştır. Buna ek olarak, anyonik bitüm emülsiyonlarının stabilitesi, pH ve Kalsiyum konsantrasyonundaki değişimleri ile incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar, anyonik bitüm emülsiyonu üzerinde önemli bir etkiye sahip olmayan kalker fillerinin aksine çimentonun reçine ile tepkimeye girdiğini ve flokülasyon ve topaklaşmanın gerçekleştirdiğini göstermektedir. Bu katılaşmanın nedeni çimento tanecikleri ile emülgatör arasındaki etkileşimdir. Ayrıca, pH değerindeki bir azalma emülgatörün çözünürlüğünü azaltırken çimentonun çözünmesi pH değerini artırdığı için endişe duyulacak bir durumdan uzaklaşmaktadır.

Shafaghat Lonbar, M. Ve Nazirizad, M., 2016 [60]

Kohezyon, ıslak yol aşınma kaybı, fazla bitüm ve oturma gibi parametrelerin incelendiği bu çalışmada, farklı agregalar ve bağlayıcı malzemeler ve bunların arasındaki uyum araştırılmıştır. Agregalar nehir ve dağ kaynaklı olmak üzere iki farklı bölgeden temin edilmiştir. Bağlayıcılar ise CSS-1h ve CQS-1h olarak alınmıştır. Kohezyon testi sonuçlarına bakıldığında nehir agregalarının daha iyi sonuçlar verdiği gözlenmiştir. Ayrıca, nehirden elde edilen agregalar ıslak yol aşınma deneyine tabi tutulduğunda kendi içinde daha sıkı kenetlendiği ve bu yüzden aşınmaya karşı daha dayanıklı olduğu tespit edilmiştir. Emülsiyonlar karşılaştırıldığında ise CQS-1h emülsiyon tipinin aşınma açısından daha iyi bir yapışma özelliği gösterdiği bulunmuştur. Tekerlek izi testi sonuçlarında ise nehir agregalarının daha dayanıksız olduğu sonucuna varılmıştır.

Güneş, M., 2015. [61]

İzmir şehrinde farklı yerlerde üretimi yapılan harç tipi kaplama uygulamalarının yüzey özellikleri belirli periyotlar dâhilinde incelenmiştir. Bu inceleme, ortalama doku derinliği parametresini veren kum yama deneyi ve sürtünme direnci parametresini veren dinamik sürtünme ölçer deneyi ile yapılmıştır. Ortalama doku derinliği ve sürtünme direnci değerleri elde edildikten sonra kaza istatistikleri yorumlanmıştır. Harç tipi kaplama uygulamalarının yapıldığı bölgelerde gerçekleşen kazalar büyük oranda azalma göstermiştir. Böylece, harç tipi kaplama uygulamasının olumlu etkileri rakamsal olarak ispatlanmıştır.

Hou, S., Chen, C., Zhang, J., Shen, H. ve Gu, F., 2018. [25]

Dört farklı emülgatörün kullanıldığı bu çalışmada, farklı emülsiyonlar üretilmiş ve emülsiyonların stabilitesi incelenmiştir. Bu inceleme, stok stabilitesi testi, lazer tanecik boyutu ölçer testi ve diferansiyel tarama kalorimetresi ile yapılmıştır. Buna ek olarak, üretilen emülsiyonlar agregalarla karıştırılmış ve harç tipi kaplama karışımları elde edilmiştir. Brookfield viskozimetre kullanılarak viskozite özellikleri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre bitüm emülsiyonlarının stabilitesi bitümün tanecik boyutuna ve yüzey alanına bağlı olduğu saptanmıştır. Deney sonuçları sayesinde en uygun emülsiyon seçilmiş ve harç tipi kaplama karışımları üretilmiştir. Performans testleri uygulandıktan sonra agrega gradasyonu, agrega sıcaklığı, su ve çimento miktarının karıştırma süresine etki ettiği sonucuna ulaşılmıştır. Islak yol aşınma testi ile yüksek bitüm miktarı ve kum eşdeğerlik değeri ile karışımların erken dayanımının ve düşük suya karşı hassasiyetinin olduğu bulunmuştur.

Mavridou, S. ve Oikonomou, N., 2011. [62]

Atık araç lastiklerinin pudra haline getirilip harç tipi kaplama karışımlarına katılmasıyla üretilen karışımlar irdelenmiştir. Doğal agregalar yerine lastik kullanılmış ve karıştırma ve kesilme süresi, kıvam ve ıslak yol aşınma deneyleri yapılmıştır. Deney sonuçlarına göre düşük oranlarda lastik kullanımının şartnamelere göre bir çelişki oluşturmadığı görülmüştür. Dolayısıyla, atık lastiklerin kullanımı ile oluşturulan harç tipi kaplamaların asfalt kaplama tabakalarında koruyucu tabaka olarak kullanılması ve bu sayede çevreye zararı olan atık lastiklerin değerlendirilmesi gerektiği vurgulanmıştır.

Khan, M. I. ve Al-Abdul Wahhab, H. I., 1998. [63]

Çelik cüruflarının harç tipi kaplama karışımlarında kullanılabilirliğinin araştırıldığı bu çalışmada çeşitli deneyler yapılarak karışımların performansı incelenmiştir. Çelik cürufları ve kalker agregalarıyla oluşturulan karışımlar karşılaştırılmış ve çelik cüruflu karışımların aşınmaya karşı daha iyi bir yapıda olduğu ve daha iyi bir kenetleme özelliğinde olduğu bulunmuştur. Kalker ve çelik cürufunun tek başına kullanıldığı

karışımlarda ise iyi sonuçlar ortaya çıkmamıştır. Yüksek oranda kalker kullanılan karışımların aşınma kaybı değeri de yüksek çıkmıştır.

Wang, H. ve Wang, Z., 2013. [64]

Bu araştırma çalışmasında, koruyucu bakım yöntemlerinden olan harç tipi kaplama, sathi kaplama, ince takviye tabakası ve çatlak bakımı yöntemlerinin özellikleri karşılaştırılmıştır. Karşılaştırılan özellikler arasında yüzey sürtünmesi ve bu yüzey sürtünmelerinin uzun vadedeki değişimi incelenmiştir. Koruyucu bakım yöntemlerine etkisi olan parametreler (trafik, yağış, sıcaklık, mevcut kaplama durumu ve alt katmanların durumu) doğrultusunda değerlendirilmiştir. İstatistiksel sonuçlardan elde edilen verilere göre değerlendirme yapılmış ve yüzey sürtünmesi açısından en iyi sonucu harç tipi kaplamalar vermiştir. Alt katmanların ve mevcut kaplamanın, iklimsel ve trafik etkilerine göre yüzey sürtünme özelliğine daha az etkisi olduğu görülmüştür.

Oikonomou, N. ve Eskioglou, P., 2018. [65]

Bu makalede, harç tipi kaplamaların sertleşmesi için kullanılan ve çok fazla enerji harcanarak üretimi gerçekleştirilen çimento yerine alternatif filler malzemelerinin kullanılabilirliği araştırılmıştır. Kullanılan bu filler malzemeleri yan atık ürünlerdir ve miktar olarak çok fazla depolandığında çevreye çok büyük olumsuz etkileri vardır. Uçucu kül, pota fırını cürufu, çimento fırın tozu ve mermer tozu kullanılarak üretilen harç tipi kaplama karışımlarının deney sonuçlarına göre şartnamelere uygun olduğu gözlenmiştir. Karıştırma süresi, kıvam, kesilme, kohezyon, aşınma ve tekerlek izi testi gibi testler yapılmış ve karışımların özellikleri belirlenmiştir. Sonuç olarak, bu filler malzemelerinden belirli oranlarda kullanılmasının sakınca doğurmadığı aksine atıkların kullanılmasıyla çevreye fayda sağladığı kanıtlanmıştır.

5. BÖLÜM

GEREÇ VE YÖNTEM

Bu bölümde, deneysel çalışmalarda kullanılan malzeme türleri, özellikleri, oranları, oluşturulan kombinasyonlar ve bu kombinasyonlara yapılan deneylerden söz edilmiştir.

5.1. Deneysel Çalışmada Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri

Tez çalışması kapsamında, farklı gradasyona sahip farklı agrega türleri (kalker ve bazalt) ile farklı oranlarda bitüm emülsiyonu, su ve çimento kullanılarak numuneler üretilmiştir. Üretilen bu numunelere iş akış şeması (Şekil 5.1) dâhilinde çeşitli performans deneyleri yapılmış ve numune özellikleri incelenmiştir.

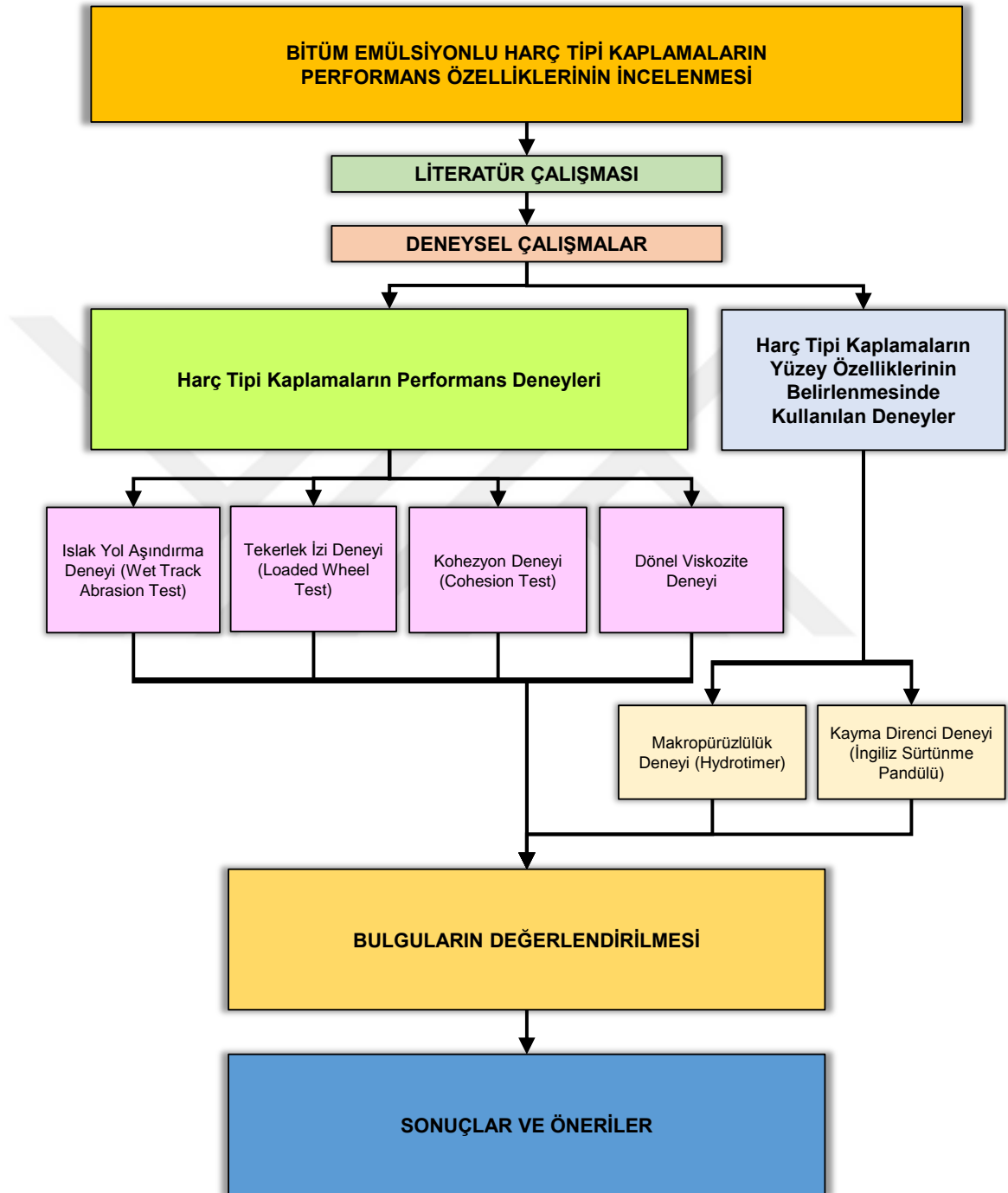
Agrega türleri bakımından değerlendirildiğinde iki farklı agrega türü kullanılmıştır. Bu agrega türleri ülkemizde asfalt kaplama üretiminde yaygın olarak kullanılan bazalt ve kalker türleridir.

Harç tipi kaplama (HTK) uygulamalarında üretimin çeşidine göre üç farklı tipte üretim yapılmaktadır. Bu çalışmada, harç tipi kaplamalarda kullanılan her tip gradasyonda üretimler gerçekleştirilmiş ve üzerinde performans deneyleri yapılmıştır.

Numunelerin üretimleri için gerekli bitüm emülsiyonu ise laboratuvar ortamında üretilmiştir. Numunelere gerekli kıvamın verilebilmesi için su kullanılmıştır.

Harç tipi kaplama numunelerinin kesilmesi ve bu sayede sertleşerek sağlam bir üretimin ortaya çıkabilmesi için Portland çimentosu kullanılmıştır.

Bu bölümde, numune üretiminde kullanılan malzemeler ve üretim kombinasyonları detaylı bir şekilde ele alınmıştır.



Şekil 5.1. İş Akış Şeması

5.1.1. Agregâ

HTK numunelerin üretilmesi için Kayseri Tuzhisar Bazalt Taş Ocağı'ndan ve Kayseri Bürüngüz Kalker Taş Ocağı'ndan temin edilen 0-5 mm ve 5-13 mm dane boyutunda kalker ve bazalt agregaları kullanılmıştır. Bütün agregalar, No:200 elekte yıkanmıştır. Ardından, yıkanan agregalar kurutulmuş ve elenerek farklı boyutlara ayrılmıştır. No:200 elekten geçen ve kullanılmayan kısım yerine yine Kayseri Bürüngüz Kalker Taş Ocağı'ndan temin edilen filler malzemesi kullanılmıştır. Kullanılan agregalar ve özellikleri aşağıdaki tabloda (Tablo 5.1) verilmiştir.

Tablo 5.1. Agregâ Özellikleri

Deney Adı	Kalker		Bazalt		Kalker	Deney Standardı
	İri Agregâ	İnce Agregâ	İri Agregâ	İnce Agregâ	Filler	
Hacim Özgül Ağırlık (gr/cm ³)	2.664	2.619	2.775	2.738	-	TS EN 1097-6
Zahiri Özgül Ağırlık (gr/cm ³)	2.736	2.689	2.856	2.850	2.757	TS EN 1097-6
Su Absorpsiyonu (%)	1.07	1.31	1.04	1.43	-	TS EN 1097-6
Parçalanma Direnci, Los Angeles (%)	26.6	-	14.2	-	-	AASHTO T-96
Yassılık İndeksi (%)	18.4	-	11.0	-	-	TS EN 933-3
Metilen Mavisi (g/kg) (İnce agreganın 0/2 mm'lik kısmına)	-	1.00	-	2.50	-	TS EN 933-3
Likit Limit (%)	-	NP	-	-	-	TS 1900-1
Plastik Limit (%)	-	NP	-	-	-	TS 1900-1

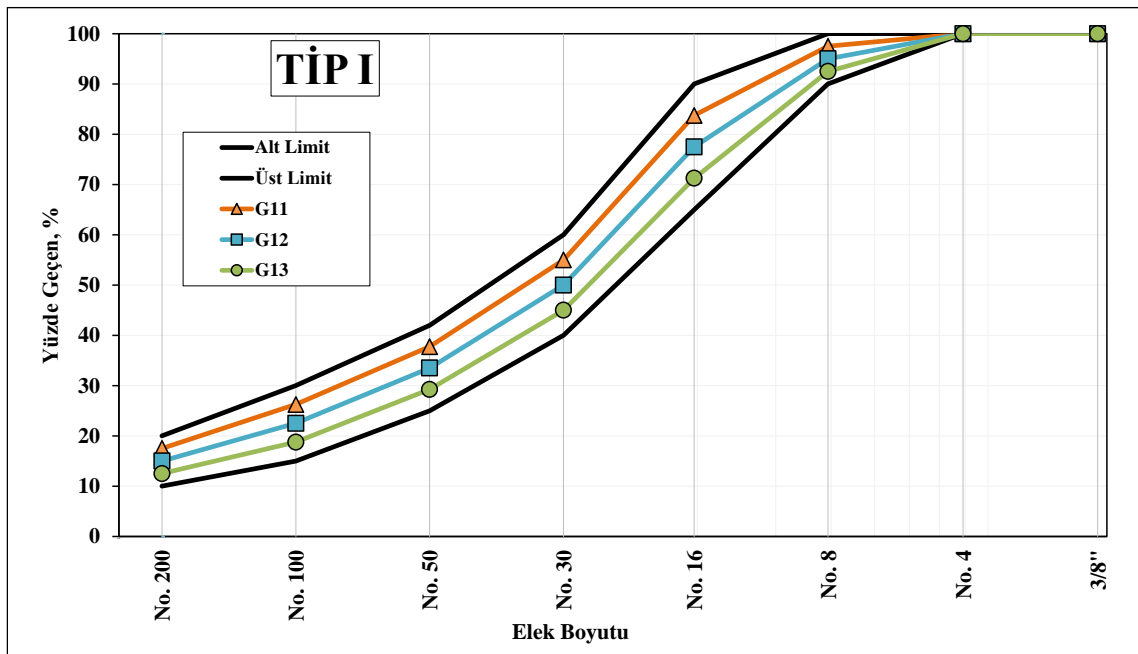
5.1.1.1. Agregâ Gradasyonları

Bu çalışmada, bazalt ve kalker malzemelerinin her biri için dokuz farklı gradasyon kullanılmıştır. Tip I, Tip II ve Tip III gradasyon limitleri içerisinde kalacak şekilde her

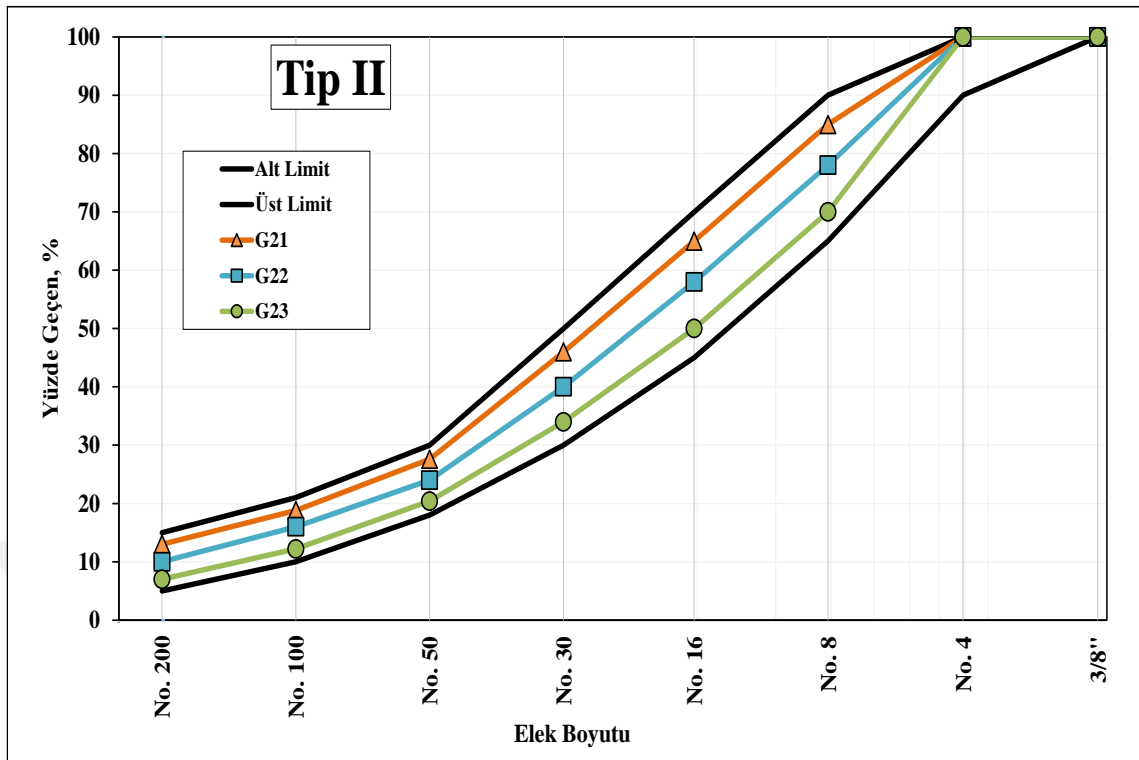
tip kendi içinde üç farklı gradasyona daha ayrılmış ve toplamda dokuz farklı gradasyon elde edilerek kodlanmıştır. Aşağıdaki tabloda (Tablo 5.2) en ince gradasyona sahip G11'den en iri gradasyona sahip G33'e kadar bütün gradasyonlar yüzde geçen değerleri ile birlikte gösterilmiştir. Ayrıca, G11, G12, G13, G21, G22, G23, G31, G32 ve G33 gradasyonlarına ait gradasyon eğrileri aşağıdaki şekillerde (Şekil 5.2, Şekil 5.3 ve Şekil 5.4) gösterilmiştir.

Tablo 5.2. Gradasyon Çeşitleri

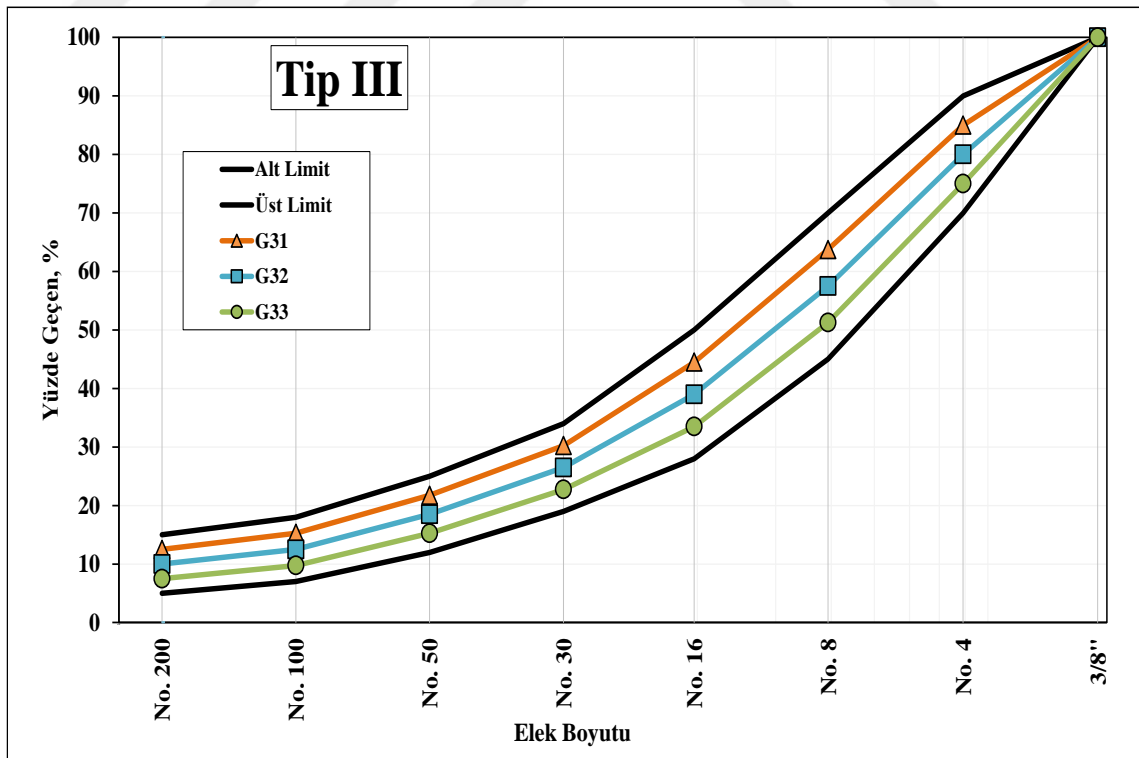
Elek No	Elek Boyutu (mm)	Yüzde Geçen								
		Tip I			Tip II			Tip III		
		G11	G12	G13	G21	G22	G23	G31	G32	G33
3/8"	9.54	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
No. 4	4.75	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	85.0	80.0	75.0
No. 8	2.36	97.5	95.0	92.5	85.0	78.0	70.0	63.8	57.5	51.3
No. 16	1.18	83.8	77.5	71.3	65.0	58.0	50.0	44.5	39.0	33.5
No. 30	0.6	55.0	50.0	45.0	46.0	40.0	34.0	30.3	26.5	22.8
No. 50	0.3	37.8	33.5	29.3	27.6	24.0	20.4	21.8	18.5	15.3
No. 100	0.15	26.3	22.5	18.8	18.8	16.0	12.2	15.3	12.5	9.8
No. 200	0.075	17.5	15.0	12.5	13.0	10.0	7.0	12.5	10.0	7.5



Şekil 5.2. G11, G12 ve G13 Gradasyon Eğrileri



Şekil 5.3. G21, G22 ve G23 Gradasyon Eğrileri



Şekil 5.4. G31, G32 ve G33 Gradasyon Eğrileri

5.1.2. Bitüm Emülsiyonu

Kırıkkale Rafinerisi'nden temin edilen 160/220 sınıfındaki bitüm ile C65B9-4 tipinde bitüm emülsiyonu üretimi gerçekleştirilmiştir. Laboratuvar ortamında üretilen bitüm emülsiyonunun özellikleri ve şartname limitleri aşağıdaki tabloda (Tablo 5.3) verilmiştir.

Tablo 5.3. Bitüm Emülsiyonu Özellikleri ve Şartname Limitleri [3]

Özellik	Birimi	TS EN	C65B9-4
Bitüm emülsiyonu üzerinde yapılan deneyler			
Kesilme Değeri		12848	> 2 (9)
Bitüm İçeriği	%	1431	63-67 (7)
Akma Zamanı, 2 mm, 40°C	S	12846-1	15-70 (3)
Akma Zamanı, 4 mm, 40°C	S	12846-1	
Elek Üstü Kalıntısı, 0.5 mm elek	% m/m	1429	≤ 0.2 (3)
7 Gün Depolama Sonrası Elek Üstü kalıntı, 0.5 mm elek	% m/m	1429	≤ 0.5 (4)
Çökme Eğilimi	%	12847	≤ 5 (2)
Yapışkanlık	%	13614	≥ 90 (3)
TS EN 13074-1 'e göre geri kazanılan buharlaştırma kalıntısı üzerinde yapılan			
Penetrasyon (25°C)	0.1 mm	1426	≤ 150 (4)
Yumuşama Noktası	°C	1427	≥ 39 (7)
Kohezyon (Sadece elastomerik polimer modifiye bitüm emülsiyonları için)			
Kuvvet Ölçümlü Duktilite, 20°C	J/mm ²	13589,13703	
Elastik Geri Dönme (10°C)	%	13398	
Kararlı hale getirilmiş buharlaştırma kalıntısı (TS EN 13074-1 sonrası TS EN 13074-2) üzerinde yapılan deneyler			
Penetrasyon (25°C)	0.1 mm	1426	≤ 150 (4)
Yumuşama Noktası	°C	1427	≥ 43 (6)
Kohezyon (Sadece elastomerik polimer modifiye bitüm emülsiyonları için)			
Kuvvet Ölçümlü Duktilite, 20°C	J/mm ²	13589, 13703	
Elastik Geri Dönme (10°C)		13398	

Laboratuvar ortamında bitüm emülsiyonu üretimi hakkında patent başvurusu yapılacağından detaylı bilgi verilememiştir.

5.1.3. Su

İçerisinde zararlı tuzlar ve yabancı maddeler içermeyen çeşme suyu, harç tipi kaplama numunelerinin üretiminde kullanılmıştır.

5.1.4. Çimento

Üretimde, TS EN 197-1:2012 standardına uygun, yüksek, erken ve nihai mukavemeti sağlayan Çimsa CEM I 42.5 R Portland çimentosu kullanılmıştır.

5.2. Üretim Kombinasyonları

Bu tez çalışmasında, farklı agrega türündeki farklı gradasyona sahip farklı su, emülsiyon ve çimento oranlarındaki numune üretimi gerçekleştirilmiş ve performans özellikleri incelenmiştir. Aşınma numuneleri için 486 adet, tekerlek izi numuneleri için 54 adet ve kohezyon ve dönel viskozite numuneleri için 188 adet olmak üzere toplamda 728 adet numune üretilmiştir. Bu bölümde, farklı oranlarda malzeme bulunan HTK kombinasyonlarının içeriğinden bahsedilmektedir.

5.2.1. Aşınma Numuneleri

Aşınma numunelerinin üretilmesi sırasında değişen emülsiyon, su oranları ile farklı gradasyonda kalker ve bazalt agregaları kullanılmıştır. Aşınma numunelerinin hepsinde çimento oranı % 1 olarak seçilmiştir. Üretilen her numuneye aşağıdaki tablodaki gibi farklı kod numarası verilmiş ve içeriği aynı olan üçlü numuneler grup koduyla kodlanmıştır. Agregası türü kalker olan numuneler “K” harfi (Tablo 5.4), bazalt olan numuneler “B” harfi ile (Tablo 5.5) başlamaktadır.

Tablo 5.4. Kalker Kombinasyon Kodları

Kod	Numune Kodu				Kod	Numune Kodu				Kod	Numune Kodu				Kod	Numune Kodu								
	Gradyasyon	Emülsiyon Oranı (%)	Su Oranı (%)			Gradyasyon	Emülsiyon Oranı (%)	Su Oranı (%)			Gradyasyon	Emülsiyon Oranı (%)	Su Oranı (%)			Gradyasyon	Emülsiyon Oranı (%)	Su Oranı (%)						
K01	K398	G11	15	12	K10	K344	G12	15	12	K19	K371	G13	15	12	K28	K209	G21	14	10	K37	K137	G22	14	10
	K399	G11	15	12		K345	G12	15	12		K372	G13	15	12		K210	G21	14	10		K138	G22	14	10
	K400	G11	15	12		K346	G12	15	12		K373	G13	15	12		K211	G21	14	10		K139	G22	14	10
K02	K401	G11	19	12	K11	K347	G12	19	12	K20	K374	G13	19	12	K29	K212	G21	17	10	K38	K140	G22	17	10
	K402	G11	19	12		K348	G12	19	12		K375	G13	19	12		K213	G21	17	10		K141	G22	17	10
	K403	G11	19	12		K349	G12	19	12		K376	G13	19	12		K214	G21	17	10		K142	G22	17	10
K03	K404	G11	24	12	K12	K350	G12	24	12	K21	K377	G13	24	12	K30	K215	G21	20	10	K39	K143	G22	20	10
	K405	G11	24	12		K351	G12	24	12		K378	G13	24	12		K216	G21	20	10		K144	G22	20	10
	K406	G11	24	12		K352	G12	24	12		K379	G13	24	12		K217	G21	20	10		K145	G22	20	10
K04	K407	G11	15	14	K13	K353	G12	15	14	K22	K380	G13	15	14	K31	K218	G21	14	12	K40	K146	G22	14	12
	K408	G11	15	14		K354	G12	15	14		K381	G13	15	14		K219	G21	14	12		K147	G22	14	12
	K409	G11	15	14		K355	G12	15	14		K382	G13	15	14		K220	G21	14	12		K148	G22	14	12
K05	K410	G11	19	14	K14	K356	G12	19	14	K23	K383	G13	19	14	K32	K221	G21	17	12	K41	K149	G22	17	12
	K411	G11	19	14		K357	G12	19	14		K384	G13	19	14		K222	G21	17	12		K150	G22	17	12
	K412	G11	19	14		K358	G12	19	14		K385	G13	19	14		K223	G21	17	12		K151	G22	17	12
K06	K413	G11	24	14	K15	K359	G12	24	14	K24	K386	G13	24	14	K33	K224	G21	20	12	K42	K152	G22	20	12
	K414	G11	24	14		K360	G12	24	14		K387	G13	24	14		K225	G21	20	12		K153	G22	20	12
	K415	G11	24	14		K361	G12	24	14		K388	G13	24	14		K226	G21	20	12		K154	G22	20	12
K07	K416	G11	15	16	K16	K362	G12	15	16	K25	K389	G13	15	16	K34	K227	G21	14	14	K43	K155	G22	14	14
	K417	G11	15	16		K363	G12	15	16		K390	G13	15	16		K228	G21	14	14		K156	G22	14	14
	K418	G11	15	16		K364	G12	15	16		K391	G13	15	16		K229	G21	14	14		K157	G22	14	14
K08	K419	G11	19	16	K17	K365	G12	19	16	K26	K392	G13	19	16	K35	K230	G21	17	14	K44	K158	G22	17	14
	K420	G11	19	16		K366	G12	19	16		K393	G13	19	16		K231	G21	17	14		K159	G22	17	14
	K421	G11	19	16		K367	G12	19	16		K394	G13	19	16		K232	G21	17	14		K160	G22	17	14
K09	K422	G11	24	16	K18	K368	G12	24	16	K27	K395	G13	24	16	K36	K233	G21	20	14	K45	K161	G22	20	14
	K423	G11	24	16		K369	G12	24	16		K396	G13	24	16		K234	G21	20	14		K162	G22	20	14
	K424	G11	24	16		K370	G12	24	16		K397	G13	24	16		K235	G21	20	14		K163	G22	20	14
K46	K182	G23	14	10	K55	K290	G31	12	8	K64	K236	G32	12	8	K73	K281	G33	12	6					
	K183	G23	14	10		K291	G31	12	8		K237	G32	12	8		K282	G33	12	6					
	K184	G23	14	10		K292	G31	12	8		K238	G32	12	8		K283	G33	12	6					
K47	K185	G23	17	10	K56	K293	G31	15	8	K65	K239	G32	15	8	K74	K284	G33	15	6					
	K186	G23	17	10		K294	G31	15	8		K240	G32	15	8		K285	G33	15	6					
	K187	G23	17	10		K295	G31	15	8		K241	G32	15	8		K286	G33	15	6					
K48	K188	G23	20	10	K57	K296	G31	18	8	K66	K242	G32	18	8	K75	K287	G33	18	6					
	K189	G23	20	10		K297	G31	18	8		K243	G32	18	8		K288	G33	18	6					
	K190	G23	20	10		K298	G31	18	8		K244	G32	18	8		K289	G33	18	6					
K49	K191	G23	14	12	K58	K299	G31	12	10	K67	K245	G32	12	10	K76	K263	G33	12	8					
	K192	G23	14	12		K300	G31	12	10		K246	G32	12	10		K264	G33	12	8					
	K193	G23	14	12		K301	G31	12	10		K247	G32	12	10		K265	G33	12	8					
K50	K194	G23	17	12	K59	K302	G31	15	10	K68	K248	G32	15	10	K77	K266	G33	15	8					
	K195	G23	17	12		K303	G31	15	10		K249	G32	15	10		K267	G33	15	8					
	K196	G23	17	12		K304	G31	15	10		K250	G32	15	10		K268	G33	15	8					
K51	K197	G23	20	12	K60	K305	G31	18	10	K69	K251	G32	18	10	K78	K269	G33	18	8					
	K198	G23	20	12		K306	G31	18	10		K252	G32	18	10		K270	G33	18	8					
	K199	G23	20	12		K307	G31	18	10		K253	G32	18	10		K271	G33	18	8					
K52	K200	G23	14	14	K61	K308	G31	12	12	K70	K254	G32	12	12	K79	K272	G33	12	10					
	K201	G23	14	14		K309	G31	12	12		K255	G32	12	12		K273	G33	12	10					
	K202	G23	14	14		K310	G31	12	12		K256	G32	12	12		K274	G33	12	10					
K53	K203	G23	17	14	K62	K311	G31	15	12	K71	K257	G32	15	12	K80	K275	G33	15	10					
	K204	G23	17	14		K312	G31	15	12		K258	G32	15	12		K276	G33	15	10					
	K205	G23	17	14		K313	G31	15	12		K259	G32	15	12		K277	G33	15	10					
K54	K206	G23	20	14	K63	K314	G31	18	12	K72	K260	G32	18	12	K81	K278	G33	18	10					
	K207	G23	20	14		K315	G31	18	12		K261	G32	18	12		K279	G33	18	10					
	K208	G23	20	14		K316	G31	18	12		K262	G32	18	12		K280	G33	18	10					

Tablo 5.5. Bazalt Kombinasyon Kodları

Kod	Numune Kodu				Kod	Numune Kodu				Kod	Numune Kodu				Kod	Numune Kodu								
	Gradyasyon	Emülsiyon Oranı (%)	Su Oranı (%)			Gradyasyon	Emülsiyon Oranı (%)	Su Oranı (%)			Gradyasyon	Emülsiyon Oranı (%)	Su Oranı (%)			Gradyasyon	Emülsiyon Oranı (%)	Su Oranı (%)						
B01	B344	G11	15	12	B10	B290	G12	15	12	B19	B317	G13	15	12	B28	B155	G21	14	10	B37	B101	G22	14	10
	B345	G11	15	12		B291	G12	15	12		B318	G13	15	12		B156	G21	14	10		B102	G22	14	10
	B346	G11	15	12		B292	G12	15	12		B319	G13	15	12		B157	G21	14	10		B103	G22	14	10
B02	B347	G11	19	12	B11	B293	G12	19	12	B20	B320	G13	19	12	B29	B158	G21	17	10	B38	B104	G22	17	10
	B348	G11	19	12		B294	G12	19	12		B321	G13	19	12		B159	G21	17	10		B105	G22	17	10
	B349	G11	19	12		B295	G12	19	12		B322	G13	19	12		B160	G21	17	10		B106	G22	17	10
B03	B350	G11	24	12	B12	B296	G12	24	12	B21	B323	G13	24	12	B30	B161	G21	20	10	B39	B107	G22	20	10
	B351	G11	24	12		B297	G12	24	12		B324	G13	24	12		B162	G21	20	10		B108	G22	20	10
	B352	G11	24	12		B298	G12	24	12		B325	G13	24	12		B163	G21	20	10		B109	G22	20	10
B04	B353	G11	15	14	B13	B299	G12	15	14	B22	B326	G13	15	14	B31	B164	G21	14	12	B40	B110	G22	14	12
	B354	G11	15	14		B300	G12	15	14		B327	G13	15	14		B165	G21	14	12		B111	G22	14	12
	B355	G11	15	14		B301	G12	15	14		B328	G13	15	14		B166	G21	14	12		B112	G22	14	12
B05	B356	G11	19	14	B14	B302	G12	19	14	B23	B329	G13	19	14	B32	B167	G21	17	12	B41	B113	G22	17	12
	B357	G11	19	14		B303	G12	19	14		B330	G13	19	14		B168	G21	17	12		B114	G22	17	12
	B358	G11	19	14		B304	G12	19	14		B331	G13	19	14		B169	G21	17	12		B115	G22	17	12
B06	B359	G11	24	14	B15	B305	G12	24	14	B24	B332	G13	24	14	B33	B170	G21	20	12	B42	B116	G22	20	12
	B360	G11	24	14		B306	G12	24	14		B333	G13	24	14		B171	G21	20	12		B117	G22	20	12
	B361	G11	24	14		B307	G12	24	14		B334	G13	24	14		B172	G21	20	12		B118	G22	20	12
B07	B362	G11	15	16	B16	B308	G12	15	16	B25	B335	G13	15	16	B34	B173	G21	14	14	B43	B119	G22	14	14
	B363	G11	15	16		B309	G12	15	16		B336	G13	15	16		B174	G21	14	14		B120	G22	14	14
	B364	G11	15	16		B310	G12	15	16		B337	G13	15	16		B175	G21	14	14		B121	G22	14	14
B08	B365	G11	19	16	B17	B311	G12	19	16	B26	B338	G13	19	16	B35	B176	G21	17	14	B44	B122	G22	17	14
	B366	G11	19	16		B312	G12	19	16		B339	G13	19	16		B177	G21	17	14		B123	G22	17	14
	B367	G11	19	16		B313	G12	19	16		B340	G13	19	16		B178	G21	17	14		B124	G22	17	14
B09	B368	G11	24	16	B18	B314	G12	24	16	B27	B341	G13	24	16	B36	B179	G21	20	14	B45	B125	G22	20	14
	B369	G11	24	16		B315	G12	24	16		B342	G13	24	16		B180	G21	20	14		B126	G22	20	14
	B370	G11	24	16		B316	G12	24	16		B343	G13	24	16		B181	G21	20	14		B127	G22	20	14
B46	B128	G23	14	10	B55	B263	G31	12	8	B64	B182	G32	12	8	B73	B227	G33	12	6					
	B129	G23	14	10		B264	G31	12	8		B183	G32	12	8		B228	G33	12	6					
	B130	G23	14	10		B265	G31	12	8		B184	G32	12	8		B229	G33	12	6					
B47	B131	G23	17	10	B56	B266	G31	15	8	B65	B185	G32	15	8	B74	B230	G33	15	6					
	B132	G23	17	10		B267	G31	15	8		B186	G32	15	8		B231	G33	15	6					
	B133	G23	17	10		B268	G31	15	8		B187	G32	15	8		B232	G33	15	6					
B48	B134	G23	20	10	B57	B269	G31	18	8	B66	B188	G32	18	8	B75	B233	G33	18	6					
	B135	G23	20	10		B270	G31	18	8		B189	G32	18	8		B234	G33	18	6					
	B136	G23	20	10		B271	G31	18	8		B190	G32	18	8		B235	G33	18	6					
B49	B137	G23	14	12	B58	B272	G31	12	10	B67	B191	G32	12	10	B76	B209	G33	12	8					
	B138	G23	14	12		B273	G31	12	10		B192	G32	12	10		B210	G33	12	8					
	B139	G23	14	12		B274	G31	12	10		B193	G32	12	10		B211	G33	12	8					
B50	B140	G23	17	12	B59	B275	G31	15	10	B68	B194	G32	15	10	B77	B212	G33	15	8					
	B141	G23	17	12		B276	G31	15	10		B195	G32	15	10		B213	G33	15	8					
	B142	G23	17	12		B277	G31	15	10		B196	G32	15	10		B214	G33	15	8					
B51	B143	G23	20	12	B60	B278	G31	18	10	B69	B197	G32	18	10	B78	B215	G33	18	8					
	B144	G23	20	12		B279	G31	18	10		B198	G32	18	10		B216	G33	18	8					
	B145	G23	20	12		B280	G31	18	10		B199	G32	18	10		B217	G33	18	8					
B52	B146	G23	14	14	B61	B281	G31	12	12	B70	B200	G32	12	12	B79	B218	G33	12	10					
	B147	G23	14	14		B282	G31	12	12		B201	G32	12	12		B219	G33	12	10					
	B148	G23	14	14		B283	G31	12	12		B202	G32	12	12		B220	G33	12	10					
B53	B149	G23	17	14	B62	B284	G31	15	12	B71	B203	G32	15	12	B80	B221	G33	15	10					
	B150	G23	17	14		B285	G31	15	12		B204	G32	15	12		B222	G33	15	10					
	B151	G23	17	14		B286	G31	15	12		B205	G32	15	12		B223	G33	15	10					
B54	B152	G23	20	14	B63	B287	G31	18	12	B72	B206	G32	18	12	B81	B224	G33	18	10					
	B153	G23	20	14		B288	G31	18	12		B207	G32	18	12		B225	G33	18	10					
	B154	G23	20	14		B289	G31	18	12		B208	G32	18	12		B226	G33	18	10					

Aşağıdaki tabloda (Tablo 5.6) ise bu kombinasyonların sadeleştirilmiş hali gösterilmektedir.

Tablo 5.6. Aşınma Kombinasyonları

Gradasyon	Emülsiyon Oranı (%)	Su Oranı (%)	Agrega Türü	Kuru Agregat (g)
G11	15	12	Kalker Bazalt	800
	19	14		
	24	16		
G12	15	12	Kalker Bazalt	800
	19	14		
	24	16		
G13	15	12	Kalker Bazalt	800
	19	14		
	24	16		
G21	14	10	Kalker Bazalt	800
	17	12		
	20	14		
G22	14	10	Kalker Bazalt	800
	17	12		
	20	14		
G23	14	10	Kalker Bazalt	800
	17	12		
	20	14		
G31	12	8	Kalker Bazalt	1200
	15	10		
	18	12		
G32	12	8	Kalker Bazalt	1200
	15	10		
	18	12		
G33	12	6	Kalker Bazalt	1200
	15	8		
	18	10		

5.2.2. Tekerlek İzi Numuneleri

Tekerlek izi numuneleri üretiminde G23 gradasyonundaki kalker ve bazalt agregaları kullanılarak farklı emülsiyon ve su oranlarına sahip % 1 çimentolu kombinasyonlar kullanılmıştır (Tablo 5.7).

Tablo 5.7. Tekerlek İzi Numuneleri

Kod	Numune Kodu	Gradasyon	Emülsiyon Oranı (%)	Su Oranı (%)	Agrega Türü	Kod	Numune Kodu	Gradasyon	Emülsiyon Oranı (%)	Su Oranı (%)	Agrega Türü
K82	K317	G23	14	10	Kalker	B82	B236	G23	14	10	Bazalt
	K318	G23	14	10			B237	G23	14	10	
	K319	G23	14	10			B238	G23	14	10	
K83	K320	G23	17	10		B83	B239	G23	17	10	
	K321	G23	17	10			B240	G23	17	10	
	K322	G23	17	10			B241	G23	17	10	
K84	K323	G23	20	10		B84	B242	G23	20	10	
	K324	G23	20	10			B243	G23	20	10	
	K325	G23	20	10			B244	G23	20	10	
K85	K326	G23	14	12		B85	B245	G23	14	12	
	K327	G23	14	12			B246	G23	14	12	
	K328	G23	14	12			B247	G23	14	12	
K86	K329	G23	17	12		B86	B248	G23	17	12	
	K330	G23	17	12			B249	G23	17	12	
	K331	G23	17	12			B250	G23	17	12	
K87	K332	G23	20	12		B87	B251	G23	20	12	
	K333	G23	20	12			B252	G23	20	12	
	K334	G23	20	12			B253	G23	20	12	
K88	K335	G23	14	14		B88	B254	G23	14	14	
	K336	G23	14	14			B255	G23	14	14	
	K337	G23	14	14			B256	G23	14	14	
K89	K338	G23	17	14		B89	B257	G23	17	14	
	K339	G23	17	14			B258	G23	17	14	
	K340	G23	17	14			B259	G23	17	14	
K90	K341	G23	20	14		B90	B260	G23	20	14	
	K342	G23	20	14			B261	G23	20	14	
	K343	G23	20	14			B262	G23	20	14	

Aşağıdaki tabloda (Tablo 5.8) tekerlek izi kombinasyonlarının sadeleştirilmiş şekli bulunmaktadır. Harç tipi kaplama uygulamalarında tekerlek izi dolgularında Tip II ve Tip III gradasyon çeşitleri kullanılmaktadır. Bu çalışmada, her iki gradasyon çeşidini temsil etmesi açısından Tip II gradasyonlarından en iri agregaya sahip olan G23 gradasyonu seçilmiştir.

Tablo 5.8. Tekerlek İzi Kombinasyonları

Gradasyon	Emülsiyon Oranı (%)	Su Oranı (%)	Agrega Türü	Kuru Agregası (g)
G23	14	10	Kalker Bazalt	500
	17	12		
	20	14		

5.2.3. Kohezyon ve Dönel Viskozite Numuneleri

Kohezyon ve dönel viskozite deneylerini karşılaştırmak amacıyla HTK numuneleri için uygulamalarda yaygın olarak kullanılan Tip II gradasyonunun alt ve üst limitlerinin ortalaması olan G22 gradasyonu kullanılmıştır. Agregası türü bazalt, emülsiyon oranı %17, su oranı ise %12 olarak seçilmiştir. Agregası türü, agregası gradasyonu, emülsiyon oranı ve su oranı aynı olan fakat çimento oranı % 1, % 2 ve % 3 olarak değişen kombinasyonlar (Tablo 5.9) kullanılmıştır. Üretimi gerçekleştirilen 188 adet numunenin zamana bağlı kür değişimleri incelenmiş ve kohezyon ve dönel viskozite deneyleri karşılaştırılmıştır.

Tablo 5.9. Kohezyon ve Dönel Viskozite Kombinasyonları

Gradasyon	Emülsiyon Oranı (%)	Su Oranı (%)	Çimento Oranı (%)	Agregası Türü	Deneysel
G22	17	12	1	Bazalt	Kohezyon
			2		Dönel Viskozite
			3		

5.3. Uygulanan Deneyler

Bu tez çalışmasında oluşturulan HTK kombinasyonlarına performans deneyleri uygulanmış ve kaplamanın yüzey özellikleri incelenmiştir. Bu deneyler Islak Yol

Aşınma, Hydrotimer, Sürtünme, Tekerlek İzi, Kohezyon ve Dönel Viskozite deneyleridir. Bu bölümde, bahsedilen deneyler ayrıntılarıyla ele alınmıştır.

5.3.1. Islak Yol Aşınma Deneyi (ISSA TB 100 Wet Track Abrasion Test)

Kısaca Aşınma deneyi olarak adlandırılan Islak yol Aşınma deneyi, harç tipi kaplama numunelerinin sulu ortamda aşınma kalitelerini ölçmektedir. Kullanılan malzemeler kaliteli ve birbiriyle uyumlu ise aşınma değeri o kadar düşük çıkmaktadır. Ayrıca, bu deney sayesinde HTK karışımlarının minimum bitüm emülsiyonu miktarı belirlenmektedir. Harç tipi kaplama numunelerinin bitüm emülsiyonu az olduğunda aşınma değeri fazla çıkmaktadır. Bunun nedeni, agregaları birbirine bağlayan bağlayıcı yani bitüm malzemesinin yeterli olmayışdır. Bu nedenle, üretimi yapılan karışımlarının minimum bitüm emülsiyonu miktarı aşınma deneyi sonucunda belirlenir [66]. Aşınma kaybı değeri 807 g/m^2 değerinden fazla olmamalıdır [32].

Aşınma numunelerinin hazırlanması için kalker ve bazalt agregaları No:200 elekten yıkanmış ve kurutulmuştur. Ardından, eleme işlemi yapılarak farklı boyutlara göre depolanmıştır. Daha önce belirlenen agrega gradasyonu değerlerine göre agregalar tartılmış ve aşağıdaki şekildeki gibi (Şekil 5.5) kaplara yerleştirilmiştir.



Şekil 5.5. Agrega Tartım İşlemi

Sonraki aşamada karıştırma kabına agregalar dökülür ve kuru halde karıştırılır. Sırasıyla su ve emülsiyon döküldükten sonra her bölgede homojen yapı elde edilene kadar karıştırılır. Bu karıştırma işlemi hızlı bir şekilde yapılmalıdır. Gereğinden fazla süren karıştırma işlemlerinde emülsiyon kesilerek sertleşir ve kalıba dökme işlemi zorlaşır. Sonra, içerisinde dairesel boşluk olan kare kalıplara karışım boşaltılır. Kalıptaki boşluğun iç yarıçapı 28 cm'dir. Yüksekliği ise kullanılan agreganın maksimum dane boyutuna göre (6.35 mm ve 10.0 mm) değişmektedir. Karışım, zaman kaybetmeden bir cetvel yardımıyla sıyırılarak kalıp içerisine yayılır. Bir süre bekledikten sonra kalıp çıkarılır ve yıkanır. 60 °C'deki etüvde 24 saat bekletilir ve çıkarılıp oda sıcaklığına gelmesi sağlanır. Daha sonra 25 °C'deki su içerisinde 1 saat bekletilir (Şekil 5.6).



Şekil 5.6. Aşınma Numunesi Hazırlama Aşamaları

Aşınma deneyine hazır hale getirilen numuneler Islak Yol Aşınma cihazına (Şekil 5.7) konur. Bu cihaz, Erciyes Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Ulaştırma Laboratuvarı'nda bulunan güçlü bir mikserin modifiye edilmesiyle üretilmiştir. Modifikasyon ile oluşturulan yeni tasarım ISSA TB 100 standardında belirtilen Hobart C-100 modeline göre uygun olarak yapılmıştır. HTK numunelerinin yüzeyinde gezinerek yüzeyi aşındıran 127 mm uzunluğa sahip 80'lik hortum, aynı uzunluktaki metal malzemeden üretilmiş bir T kanala yerleştirilmiş ve sabitlenmiştir. Düşey ekseninde serbest hareket edebilen T kanal ise bir mil içerisine girdirilerek miksere takılmıştır. T kanala, ilave yükler eklenerek toplam ağırlığı 2.27 kg olacak şekilde ayarlama yapılmıştır. Böylece, hortumun HTK yüzeyine etki ettiği toplam ağırlık 2.27 kg seviyesine sabitlenmiştir. Hortum, kendi eksenini ve aşınma cihazı eksenini etrafında dönmektedir. Dönüş hızı 60 devir/dakika olarak ayarlanmıştır.



Şekil 5.7. Islak Yol Aşınma Cihazı

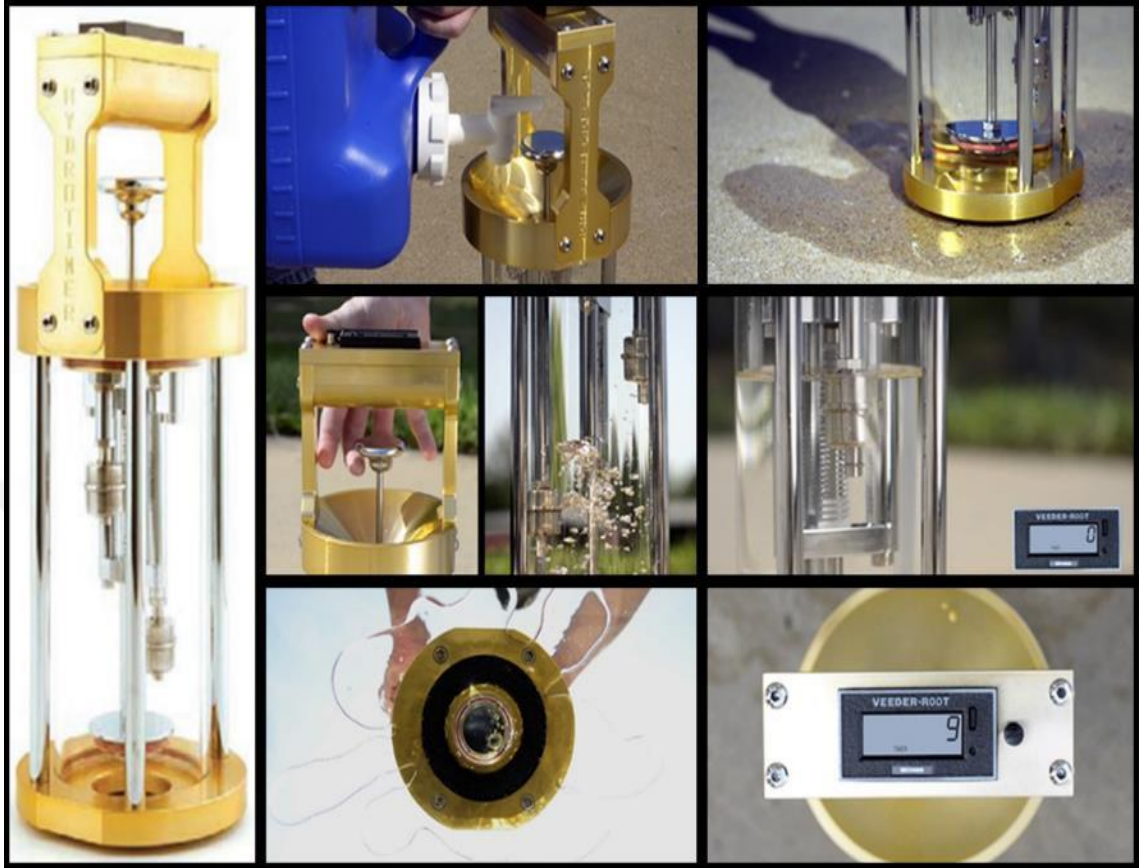
Aşınma deneyinde, hortum 300 saniye boyunca dönerek su içerisindeki numunenin yüzeyini aşındırır. 20 cm çapındaki dairesel bölgede aşınma gerçekleştirilir, numune yıkanarak temizlenir ve kurutulur. Aşınmadan önce ağırlığı bilinen numune aşındıktan sonra tekrar tartılır. Aradaki ağırlık farkına göre aşınma kaybı hesaplanır ve metrekaredeki aşınma kaybı bulunur. Aşağıdaki şekilde (Şekil 5.8) aşınma deneyi öncesi ve sonrası durum K420 numunesi örneği ile gösterilmiştir. K420 numunesi örneğinde görüldüğü gibi hortumun dönme etkisiyle yüzeyde aşınmış bir dairesel bölge oluşmuştur. Yüzeydeki agregaların beyaz rengi kolayca görülmektedir. Kullanılan malzemelerin kalitesi, miktarı ve birbiriyle olan uyumu iyi olduğunda aşınma kaybı düşük çıkmaktadır.



Şekil 5.8. Aşınma Deneyi Öncesi ve Sonrası Durum: K420 Örneği

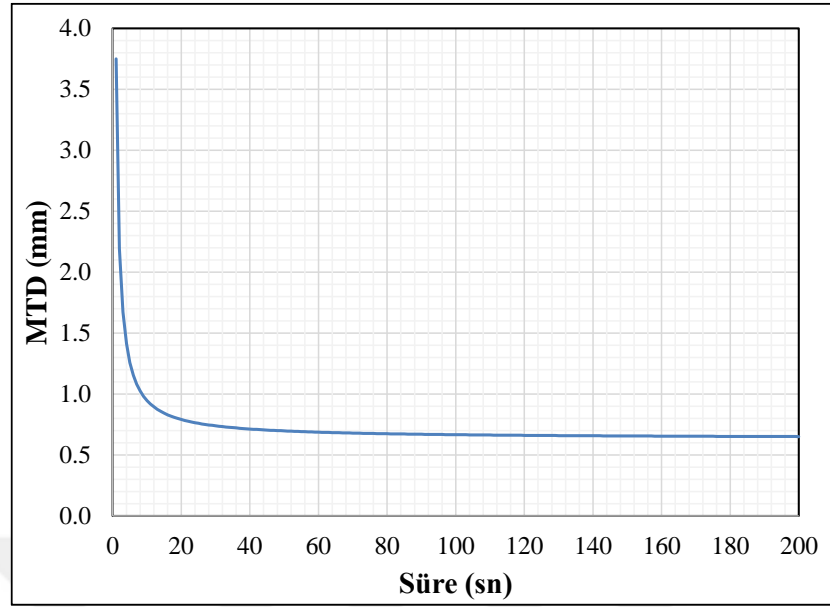
5.3.2. Hydrotimer Deneyi (Makropürüzlülük)

Zaman kontrollü sızıntı ölçer (Hydrotimer) cihazı, kaplama yüzeyinin makro dokusu hakkında bilgi verir. Hydrotimer cihazının (Şekil 5.9) çalışma prensibi hacmi bilinen suyun, çapı bilinen bir kauçuk ayaktan akma süresinin ölçülmesidir. Hydrotimer cihazının alt ve üst kısımda olmak üzere iki adet sensörü vardır. Bu sensörler, su seviyesine göre çalışmaktadır. Su seviyesi üstteki sensöre geldiği zaman elektronik kronometre süreyi başlatır ve su, kauçuk halkadan akmaya devam eder. Su seviyesi alttaki sensöre geldiği zaman süre durdurulur ve elektronik kronometrede saniye cinsinden bir değer (t) okunur. Okunan bu değer formülle ($MTD = [3.114/t] + 0.636$) milimetre cinsine çevrilir. Bu sayede, ortalama doku derinliği değeri (Mean Texture Depth, MTD) hesaplanmış olur [67].



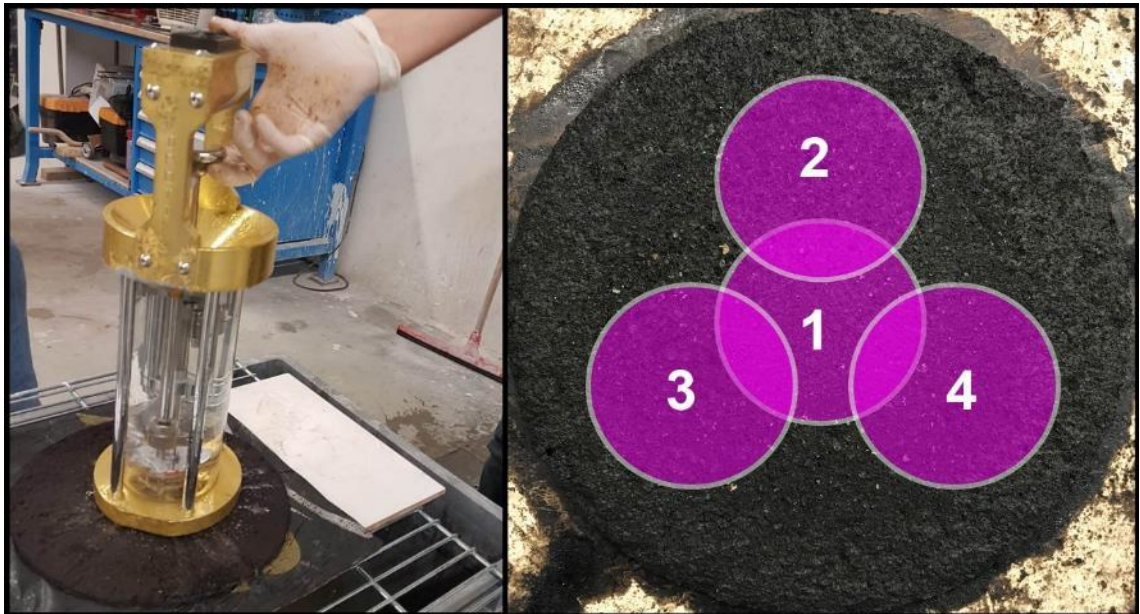
Şekil 5.9. Hydrotimer Cihazı [68]

Yüzey dokusu pürüzlü olan kaplamalardaki t değeri, yüzey dokusu pürüzsüz olan kaplamalardakine göre daha düşük çıkmaktadır. Bunun nedeni, yüzey dokusu pürüzlü olan kaplamalarda suyun kolayca kaçacak yer bulabilmesidir. Yüzey dokusu tamamen düz olan kaplamalara hydrotimer cihazı konulduğunda su kaçacak yer bulmakta zorlanır ve t değeri çok yüksek çıkar. Bu nedenle, hydrotimer cihazının ne aşırı pürüzlü ne de aşırı pürüzsüz yüzeylerde kullanılması uygun değildir. Aşağıdaki grafikte (Şekil 5.10) görüldüğü gibi t süresi arttıkça MTD değeri düşmektedir. Fakat süre başlangıcının ilk aşamalarında MTD değeri hızlı bir düşüş göstermektedir. Sonrasında yavaşlamakta ve yatay seviyeye gelmektedir. En son kısımda ise her ne kadar t süresi artsa da MTD değerinde bir değişiklik görülmemektedir.



Şekil 5.10. Süre ve MTD İlişkisi

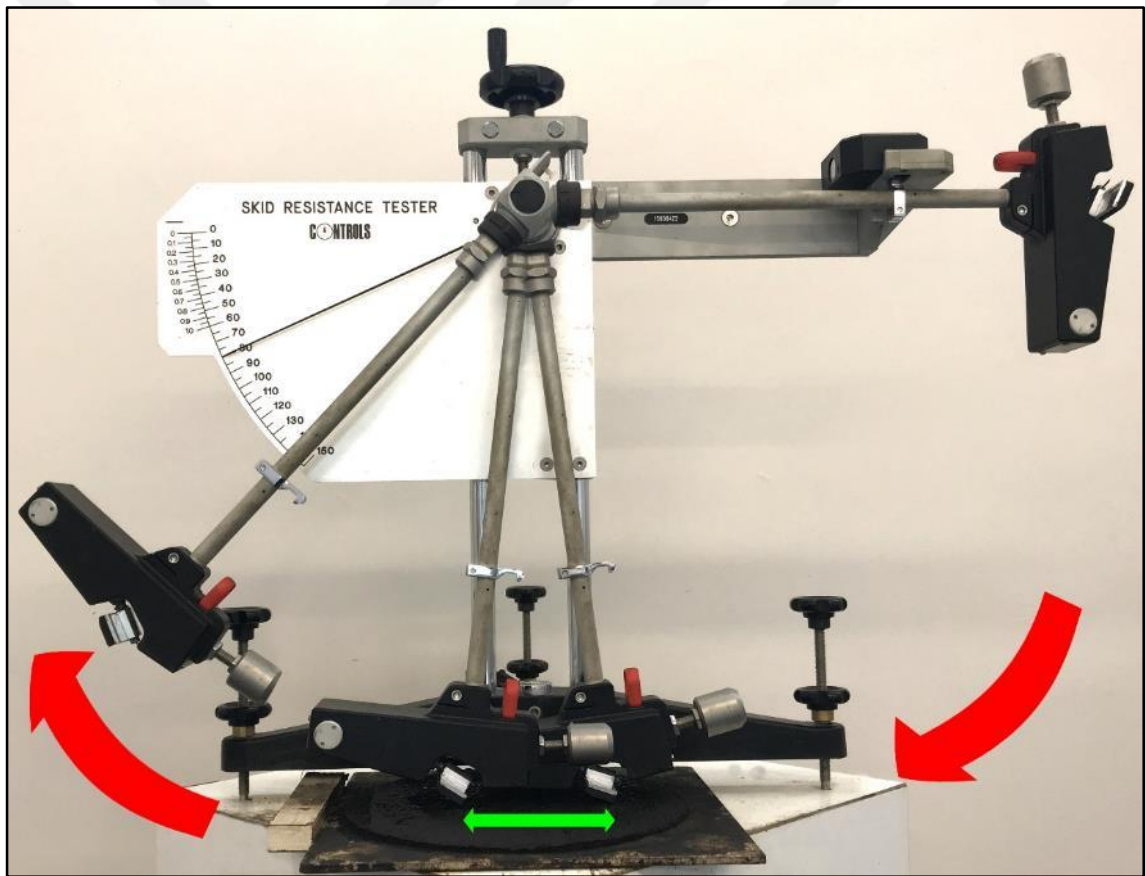
Üretilen aşınma numunelerinin ortalama doku derinliğini (MTD) daha doğru bir şekilde ölçebilmek için numunelere dört farklı bölgeden (Şekil 5.11) Hydrotimer deneyi yapılmış ve elde edilen dört değerin ortalaması alınmıştır. Farklı agrega gradasyonuna ve agrega türü gibi farklı özelliklere sahip numunelerin aşınma öncesi ve sonrası MTD değerleri hesaplanmıştır.



Şekil 5.11. Hydrotimer Deneyi

5.3.3. Sürtünme Deneyi (Mikropürüzlülük)

Sürtünme deneyi, kaplama yüzeylerinin mikro pürüzlülüğünün ölçülmesi için yapılan bir deneydir [69]. Sürtünme pandülü cihazının (Şekil 5.12) serbest halde hareket eden bir pandülü vardır. Pandülün alt kısmında ise kauçuk bir ayak bulunmaktadır. Bu pandül sabit iken belirli bir potansiyel enerjiye sahiptir. Serbest bırakıldığında bu enerji kinetik enerjiye dönüşür. Eğer pandülün temas ettiği bir yüzey yoksa yani pandülün alt kısmındaki kauçuk ayak herhangi bir yüzeye temas etmiyorsa ibrede okunan değer sıfır olur. Fakat, kauçuk ayak bir yüzeye temas ediyorsa yüzeyin sürtünme özelliği kadar enerji kaybı olur. Dolayısıyla, ibrede okunan değer sıfırdan büyük olur.

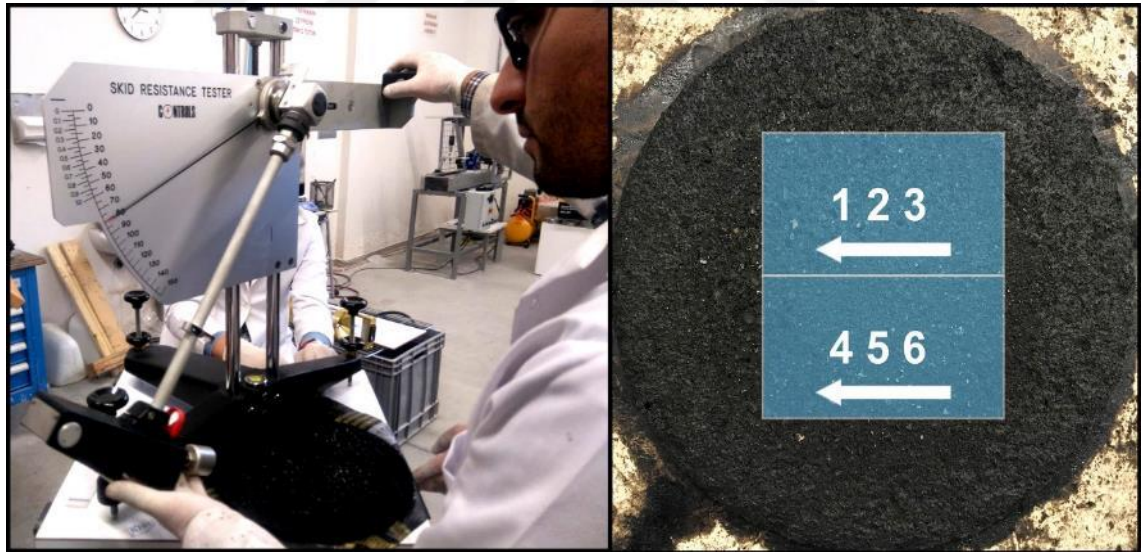


Şekil 5.12. Sürtünme Pandülü

Kauçuk ayağın temas ettiği yüzey 125 mm olacak şekilde sürekli kontrol edilmelidir. Bunun nedeni, her deney için eşit koşulların oluşmasını sağlamaktır. Pandül, yüzeye temas ettikten sonra kinetik enerjinin bir kısmını kaybetmiş bir şekilde tekrar yukarı yönlü hareket eder ve ibreyi de kendisiyle beraber yukarı yönlü hareket ettirir. Yüzeydeki

sürtünme özelliği az ise pandül, enerji kaybetmediği için daha yukarı çıkacak ve ibreyi daha yukarı taşıyacaktır. Aynı şekilde, yüzeydeki sürtünme özelliği fazla olan kaplamada pandül, daha çok enerji kaybedecek ve pandülü yavaşlatacaktır. Bu yüzden, pandül daha az yukarı çıkacak ve ibreyi daha az yukarı taşıyacaktır. Sürtünme özelliği fazla olan kaplamalarda ibrede okunan değer daha fazla olmaktadır. Sürtünme pandülü cihazında okunan değerlerin bir birimi yoktur, kendine öz bir değeri (BPN) vardır.

Aşınma numunelerinin sürtünme değerlerini bulabilmek için iki farklı bölgeden (Şekil 5.13) üçer okuma yaparak toplamda altı değer elde edilmiş ve ortalamaları alınarak numunelerin BPN değeri bulunmuştur. Farklı gradasyon, tür, malzeme gibi farklı özelliklere sahip aşınma numuneleri nemlendirilerek sürtünme deneyi yapılmış ve BPN değerleri elde edilmiştir. Bütün numunelerde aynı koşulları oluşturulabilmek için aşınma öncesinde ve sonrasında aynı bölgeye aynı yönde deney yapılmıştır.



Şekil 5.13. Sürtünme Deneyi

5.3.4. Tekerlek İzi Deneyi (Loaded Wheel Tester)

Tekerlek izi deneyinin amacı HTK kaplamalarının belirli bir yük etkisindeki oturma özelliklerini incelemektir [70]. HTK karışımlarında kullanılan malzemelerin kalitesi, miktarı ve birbiriyle olan uyumu tekerlek izi cihazıyla (Şekil 5.14) ölçülmektedir. Bu cihaz, ISSA TB 147 standardına uygun olarak tasarlanmış, modifiye edilmiş ve kullanılabilir hale getirilmiştir.



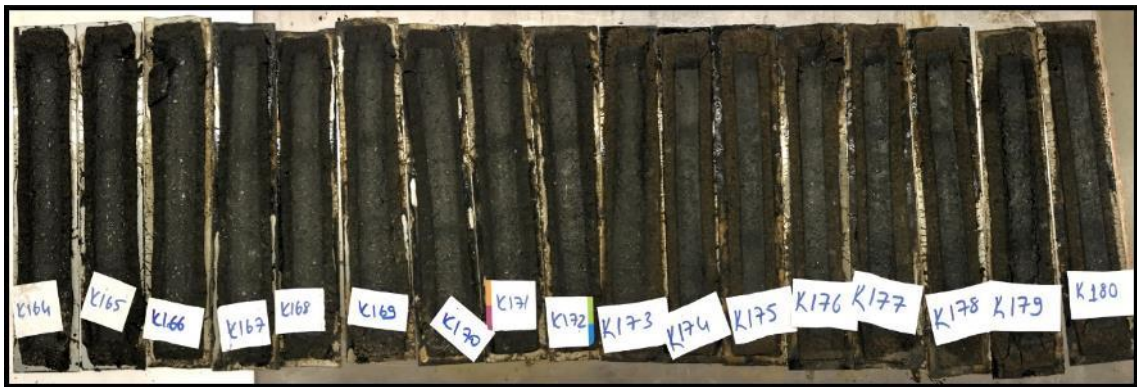
Şekil 5.14. Tekerlek İzi Cihazı

Tekerlek izi numuneleri üretimi için öncelikle 500 gram kuru agregaya belirli oranlarda su, emülsiyon ve çimento katılarak oda sıcaklığında karıştırılır. Ardından, yeterli homojen karışım elde edildikten sonra 30 saniye süre geçmeden galvaniz sac üzerine konan çerçeve kalıba dökülür ve bir spatula yardımıyla (Şekil 5.15) dikkatlice yayılır. Karışım kalıba yayıldıktan sonra kısa bir süre prizlenmesi beklenir. Prizlenme gerçekleştikten sonra çerçeve kalıp çıkarılır ve numune 24 saat boyunca oda sıcaklığında bekletilerek kurutulur. Ardından, numune etüve konarak 60 °C sıcaklıkta 24 saat boyunca yeniden kurutulur, etüvden çıkarılarak oda sıcaklığında 2 saat bekletilir ve tekerlek izi deneyine hazır hale getirilir.



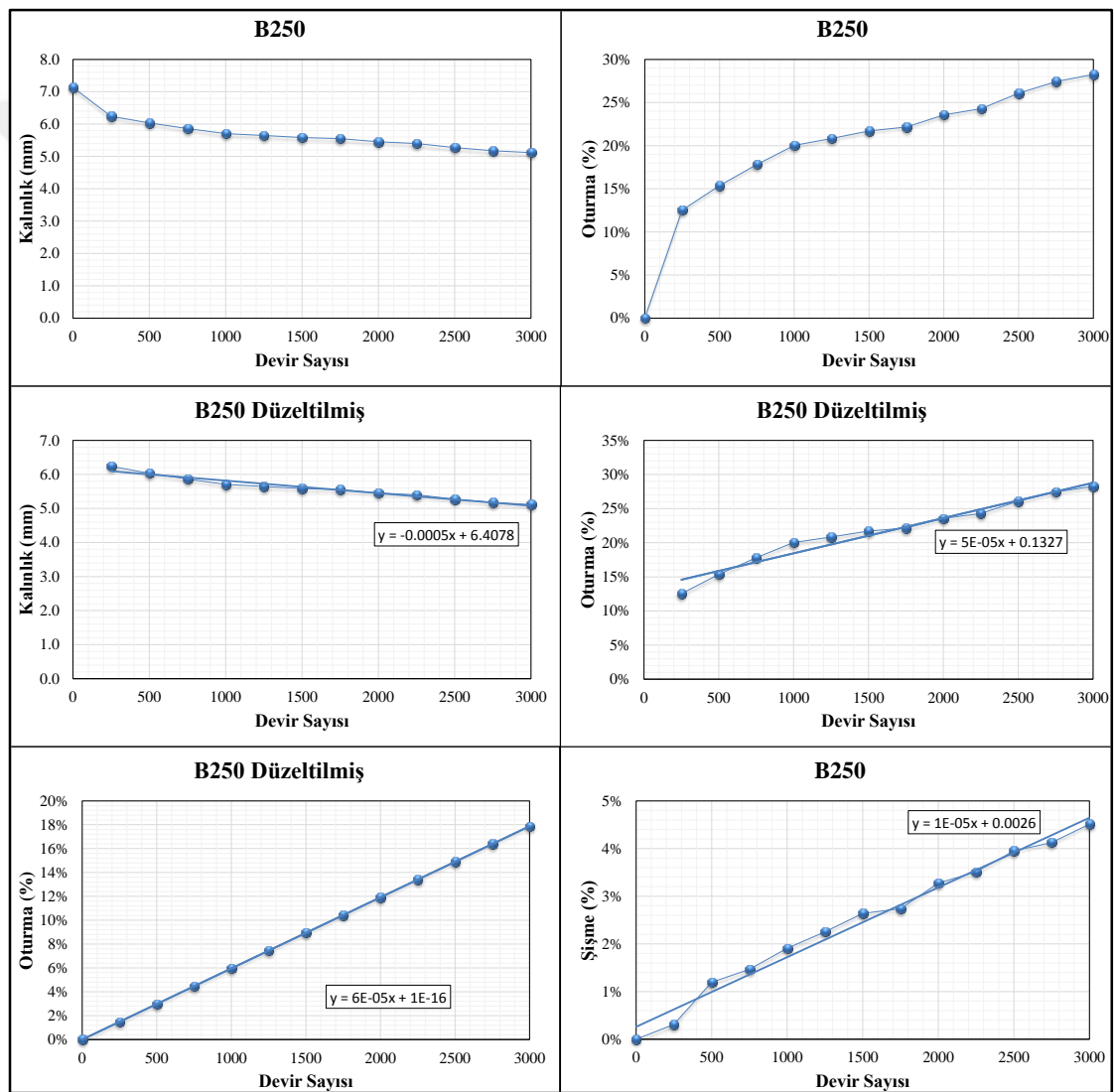
Şekil 5.15. Tekerlek İzi Numunesi Üretimi

Hazır hale gelen numune, tekerlek izi cihazına yerleştirilir ve çeşitli aparatlarla cihaza sıkıca sabitlenir. Numunenin kalınlığı ve genişliği ölçülür. Sonra, sertliği 70, çapı 76.5 mm ve genişliği 26 mm olan tekerlek 56.7 kg ağırlıkla yüklenir ve numune üzerinde 44 tur/dakika hızında 1000 devir yapar. 1000 devir sonunda orta noktadaki oturma ve şişme miktarları ölçülür. Oturma ve şişme miktarları malzemelerin kalitesine, agrega gradasyonuna, agrega cinsine ve kullanılan malzemelerin birbiriyle olan uyumuna göre değişmektedir. Bu tez çalışmasında, tekerlek izi numunelerinin 3000 devir boyunca oturma ve şişme özellikleri 5 santimetrelik orta kısımda 1 cm aralıklarla her 250 devirde bir ölçülmüş ve ortalamaları alınarak kaydedilmiştir. Üretimde kullanılan toplam 54 adet farklı özellikteki kalker ve bazalt numunelerinin oturma, şişme, oturma eğimi ve şişme eğimi değerleri karşılaştırılmıştır. Aşağıdaki şekilde (Şekil 5.16), tekerlek izi deneyine tabi tutulmuş numuneler görülmektedir.



Şekil 5.16. Tekerlek İzi Deneyi Numune Örnekleri

Örnek olarak, B250 numunesine ait devir sayısı ile değişen kalınlık, oturma, düzeltilmiş kalınlık, düzeltilmiş oturma ve şişme grafikleri aşağıda (Şekil 5.17) gösterilmiştir. Kalınlık grafiğinde görüldüğü gibi, numune ilk aşamada 7.07 mm kalınlığa sahiptir. 250 devir sonunda hızlı bir düşüşle kalınlık 6.24 mm'ye kadar düşmektedir. Diğer devirlerde ise daha doğrusal bir grafik gözlenmektedir. Bu nedenle, malzeme özelliklerini daha doğru bir şekilde inceleyebilmek için düzeltmeye ihtiyaç duyulmuştur. Düzeltme yapılarak oturma ve şişme değerleri ve bu değerlerin eğimleri hesaplanmıştır.



Şekil 5.17. Tekerlek İzi Grafikleri: B250 Örneği

Ayrıca, bu deney ile karışımda kullanılan maksimum emülsiyon miktarı belirlenir. Karışımın ihtiyacından fazla bitüm emülsiyon oranı kullanılırsa kusmalar meydana gelmektedir. Bunun önlenmesi için hazırlanan numune üzerinde çift yönlü hareket

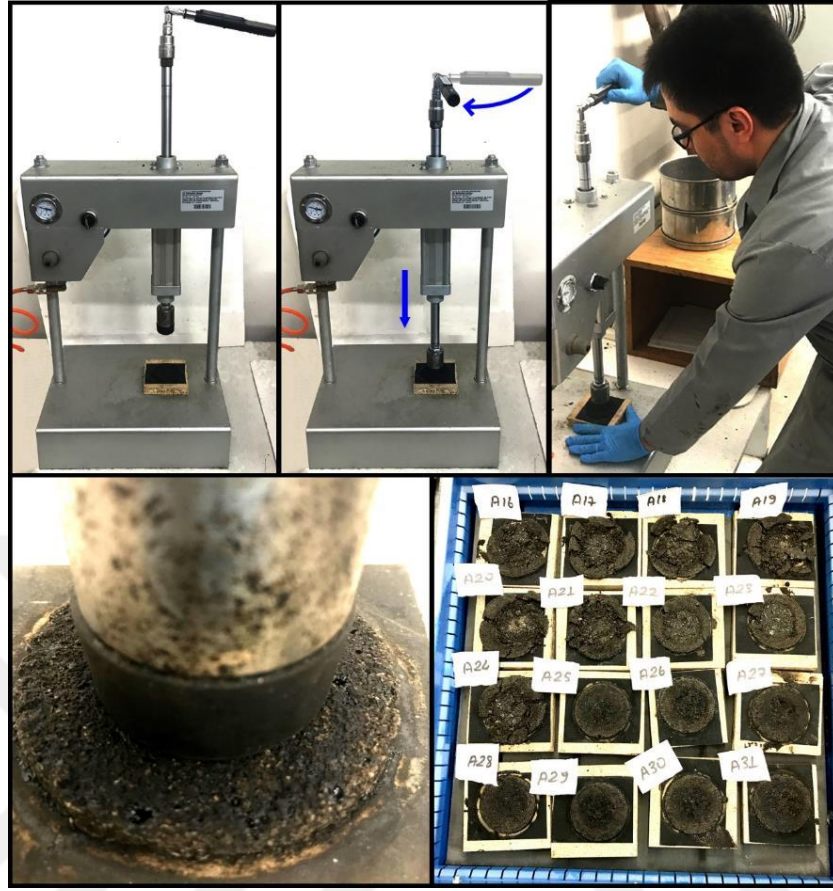
eden bir teker ile karışıma sonradan ilave edilen Ottawa kumunun yapışması sağlanır. Yapışan kum ne kadar fazla ise bitüm emülsiyonu o kadar fazla katılmış demektir [70].

5.3.5. Kohezyon Deneyi

Kohezyon deneyinin amacı belirli çimento oranına sahip HTK karışımlarının prizlenme ve kür olma özelliklerinin zamana bağlı değişimini tork bakımından incelemektir. Kohezyon cihazı ile HTK uygulaması yapılan yolun ne zaman trafiğe açılacağı belirlenir [71]. Bu deneyde kullanılan kohezyon cihazı, ISSA TB 139 standardına uygun olarak tasarlanmış, modifiye edilmiş ve kullanılır hale getirilmiştir.

Kohezyon numuneleri üretimi için öncelikle belirli oranlarda kuru agrega, su, emülsiyon ve çimento oda sıcaklığında karıştırılır. Homojen hale gelen karışım zaman kaybetmeden düz bir yüzeye sahip zımpara üzerine konulan yüzük kalıpların içerisine dökülür ve yüzey düzleştirilir. Karışım, akmayacak kadar sertleştikten sonra yüzük çıkarılır. Yeterli sayıda üretilen numuneler, belirli zaman aralıklarıyla her bir numune için bir defa olmak kaydıyla kohezyon testine tabi tutulur ve tork değerleri elde edilir. Kohezyon cihazında bulunan kauçuk ayak (Şekil 5.18) 2 bar basınçtaki piston yardımıyla numuneye baskı uygular ve numuneyi sıkıştırır. Kauçuk ayak, numuneye temas ettikten 5-6 saniye sonra torkmetre 90 - 120 derece açıyla 0.5 - 0.7 saniye süre içerisinde yatayda hızlı bir şekilde çevrilir. Torkmetrede okunan tork değeri kg-cm cinsinden belirli zaman aralıklarında kaydedilir. Tork değeri düşük çıkan karışımlar henüz sertleşmemiş demektir. Sertleşen numunelerin tork değeri yüksek çıkar. Torkmetrede okunan değer 12 kg-cm olduğunda prizlenme süresine, 20 kg-cm olduğunda ise yolun trafiğe açılabilme süresine ulaşılmış demektir [71].

Kohezyon deneyinde test numunelerinin kırılma biçimi de tork değeri için düzeltmeler yapmayı gerektirebilir. Maksimum tork değerine ulaşıldığında kohezyon deneyine tabi tutulan başka bir numune maksimum tork değerinden daha düşük bir değer verebilir. Bunun nedeni, numune yüzeyindeki sürtünme özelliğinin az olması ve torkmetrede daha düşük bir değer okunmasıdır [71].



Şekil 5.18. Kohezyon Deneyi

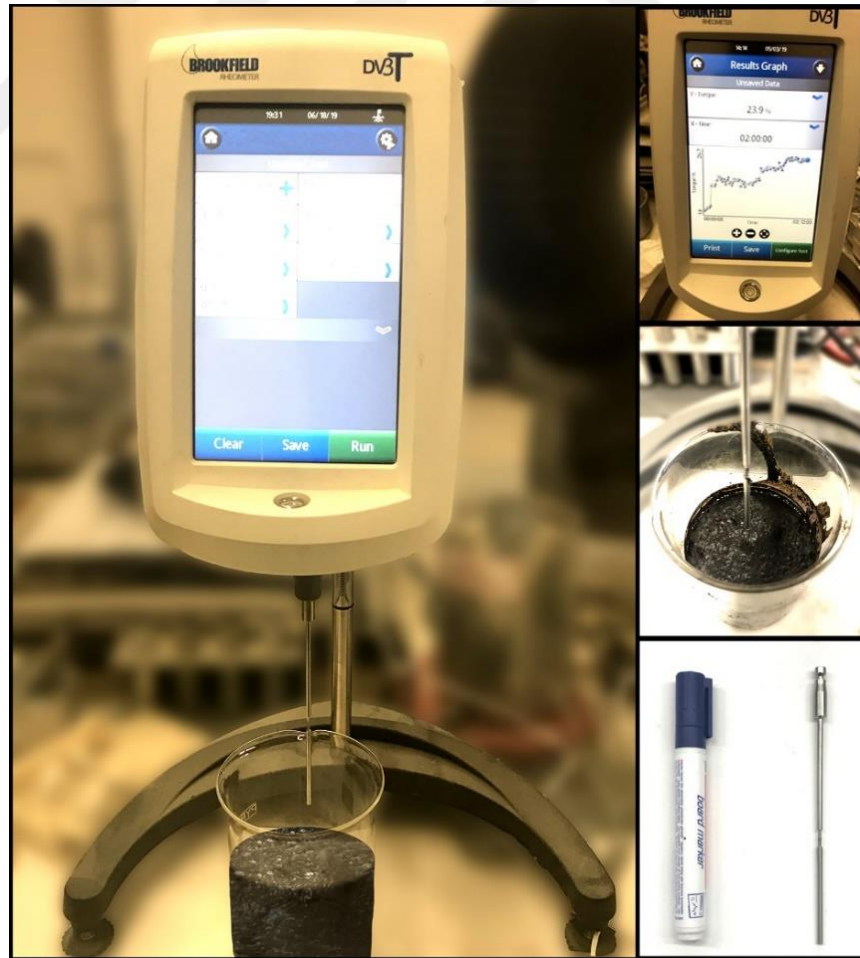
Bu deneyi yaparken dikkat edilmesi gereken önemli bir nokta muhafaza edilen numunelerin eşit koşullara sahip olmasıdır. Nitekim, rüzgar, sıcaklık, segregasyon gibi parametrelerin kohezyon sonuçları üzerine ciddi etkileri vardır. Bu nedenle, kohezyon değerlerinin birbiriyle tutarlılık göstermesi için segrege olmamış numuneler gölgede ve rüzgar etkisi olmayan bir yerde tutulmalıdır. Bu tez çalışmasında, zamana bağlı kohezyon değişiminin incelenmesi için üretilen HTK numuneleri kapalı bir çekmece içerisinde oda sıcaklığında bekletilmiştir.

Kohezyon deneyinin sonuçlara etki eden diğer bir zorluğu ise numunelere bağlı olarak deneyin bazen günlerce belirli aralıklarla sürekli olarak gece-gündüz yapılması gerekliliğidir. Bu durumda, deney sonuçları deneyi yapan kişiye bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Aynı şekilde, deneyi birden fazla kişi yapıyorsa torkmetrenin yatayda döndürülme hızı değişiklik gösterir. Bu durum, yine deney sonuçlarında farklılık ortaya koyar.

5.3.6. Dönel Viskozite Deneyi

Dönel viskozite deneyinin amacı malzemenin seçilen bir uçta (spindle) meydana getirdiği tork etkisini belirlemektir. Ortaya çıkan tork değerleri, kullanılan malzemenin kıvamı ve akışkanlık karakteristikleri hakkında bilgi verir. Malzemenin kıvamı yüksek ve akıcı ise viskozite değeri düşüktür. Dönel viskozite cihazı birçok sektörde kullanılmaktadır. Ulaştırma sektöründe ise genel olarak bitüm malzemesinin sıcaklık değişimi etkisindeki viskozitesini belirlemek için kullanılır. Bu çalışmada ise üretilen çimento katkılı HTK numunelerinin oda sıcaklığındaki zamana bağlı viskozite değişimi incelenmiştir.

Kohezyon deneyinde kullanılan numunelerle aynı özelliğe sahip HTK karışımları, Brookfield Dönel Viskozite cihazında (Şekil 5.19) 10 rpm hızındaki 07 numaralı spindle ile deneye tabi tutularak viskozite değerleri her dakikada bir kaydedilmiştir.



Şekil 5.19. Dönel Viskozite Deneyi

Elde edilen sonuçlarla kohezyon deneyi sonuçları karşılaştırılmış ve kohezyon deneyi yerine dönel viskozite deneyinin uygulanabilirliği araştırılmıştır. Karışımların viskozite değeri sürekli olarak cihaz tarafından otomatik olarak kaydedilmektedir. Bu yüzden, dönel viskozite deneyinin en büyük faydası deney sistemi bir defa kurulduktan sonra aynı malzemeyle deney bitene kadar operatör ihtiyacı olmadan saatlerce kendi kendine çalışabilmesidir.



6. BÖLÜM

ARAŞTIRMA BULGULARI

6.1. Giriş

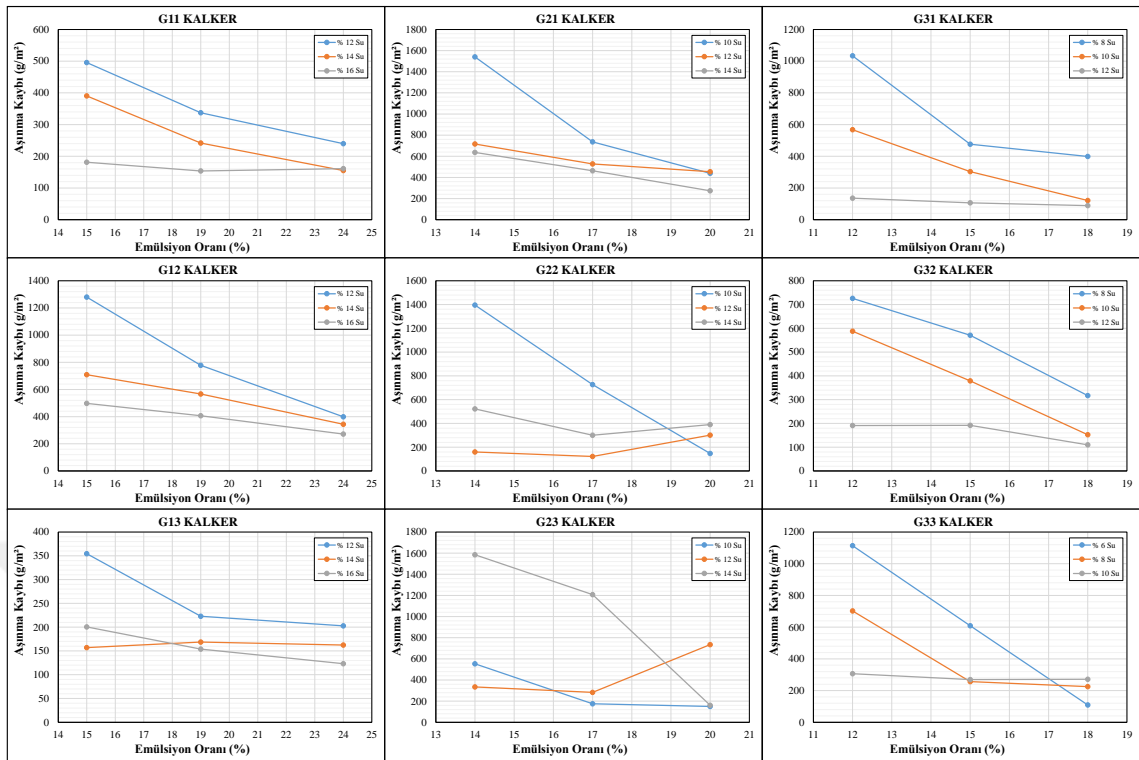
Bu tez çalışmasında, farklı gradasyona sahip farklı agrega türleri ile farklı oranlarda bitüm emülsiyonu, su ve çimento harç tipi kaplama (HTK) numuneleri üretiminde kullanılmış ve performansına etki eden parametreler incelenmiştir. Aşınma numuneleri için 486 adet, tekerlek izi numuneleri için 54 adet ve kohezyon ve dönel viskozite numuneleri için 188 adet olmak üzere toplamda 728 adet numune üretilmiş ve üretilen HTK numunelerinin performans özellikleri, Aşınma, Kohezyon, Tekerlek İzi testleri ile, yüzey özellikleri ise makropürüzlülük parametreleri ile incelenmiş, Kayma Sürtünme Pandülü ve Zaman Kontrollü Sızıntı Ölçer ölçümleri yapılmıştır.

6.2. Deney Sonuçları

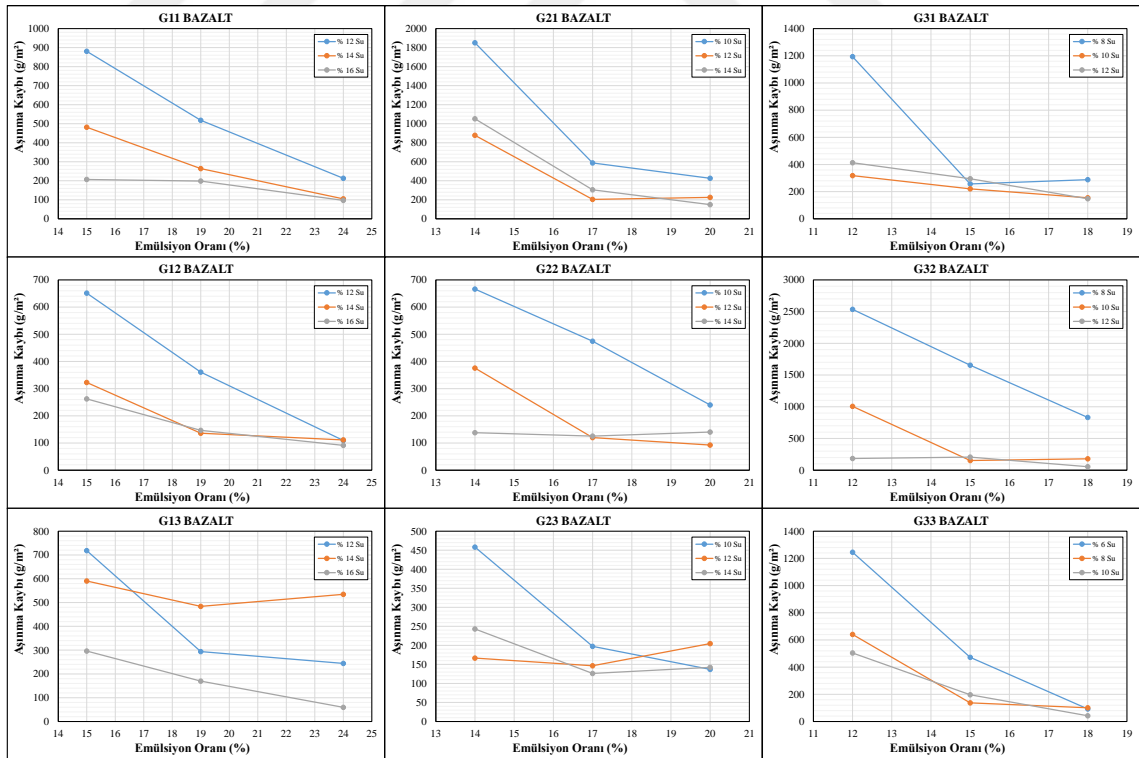
Bu bölümde, üretimi gerçekleştirilen HTK karışımlarına yapılan Aşınma, Kohezyon, Tekerlek İzi, Sürtünme, Hydrotimer ve Dönel Viskozite deney sonuçlarına yer verilmiştir.

6.2.1. Aşınma Deneyi Sonuçları (Aşınma Kaybı)

Bu bölümde, farklı gradasyondaki farklı agrega türlerinde farklı oranlarda emülsiyon ve su kullanılarak üretilen HTK numunelerinin Islak Yol Aşınma test cihazında yapılan aşınma deneyi sonuçlarına yer verilmiştir. Kalker ve bazalt numunelerine ait aşınma kaybı grafikleri aşağıdaki şekillerde (Şekil 6.1 ve Şekil 6.2) sırasıyla gösterilmiştir.



Şekil 6.1. Aşınma Kaybı Grafikleri (Kalker)



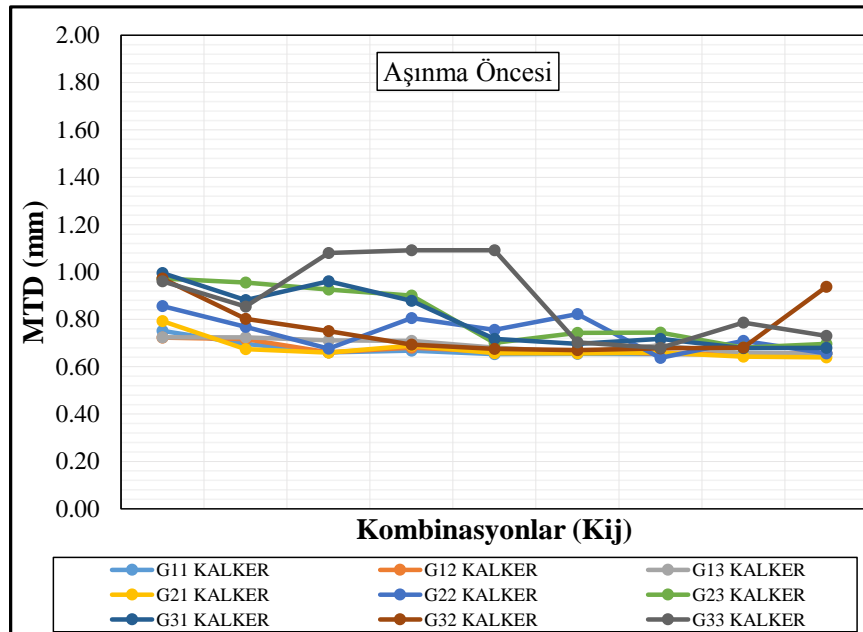
Şekil 6.2. Aşınma Kaybı Grafikleri (Bazalt)

Şekil 6.1 ve Şekil 6.2, kalker ve bazalt kullanılarak üretilen HTK karışımlarının farklı emülsiyon ve su miktarlarındaki aşınma kaybı değerlerini göstermektedir. Bütün

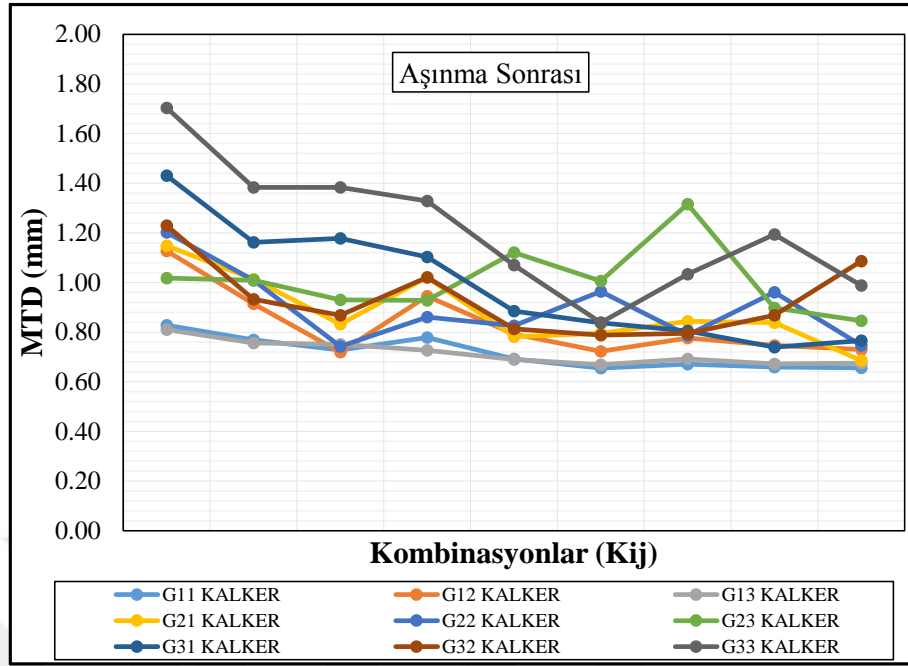
gradasyon çeşitlerine bakıldığı zaman emülsiyon miktarı arttıkça genel olarak aşınma kaybı değerlerinin de ters orantılı olarak azaldığı gözlenmektedir. Bunun nedeni, bağlayıcı miktarının artmasıyla agregalar birbirine daha sıkı şekilde bağlanmakta ve sağlam bir yapı oluşturmaktadırlar. Dolayısıyla, emülsiyon miktarı arttıkça aşınma etkisi azalmaktadır. Farklı su oranlarındaki aşınma kaybı değerlerine bakıldığı zaman su oranı arttıkça emülsiyon oranı aynı kalsa bile aşınma kaybı değerlerinin azaldığı gözlenmektedir. Başka bir deyişle, aynı emülsiyon miktarına sahip bir karışıma su eklendiğinde daha az aşınma kaybı değerinin ortaya çıktığı görülmektedir. Su oranının artması, numunelerin akışkanlığını artırdığı için agrega danelerinin numune içerisinde daha iyi yerleşmesine ve aşınma kaybının daha düşük çıkmasına sebep olduğu düşünülmektedir. Sonuç olarak, üretimi gerçekleştirilen HTK numunelerinin aşınma kaybı değerleri sadece içerisindeki emülsiyon oranına bağlı değil, aynı zamanda karışımda kullanılan su miktarına da bağlıdır.

6.2.2. Hydrotimer Deneyi Sonuçları (MTD)

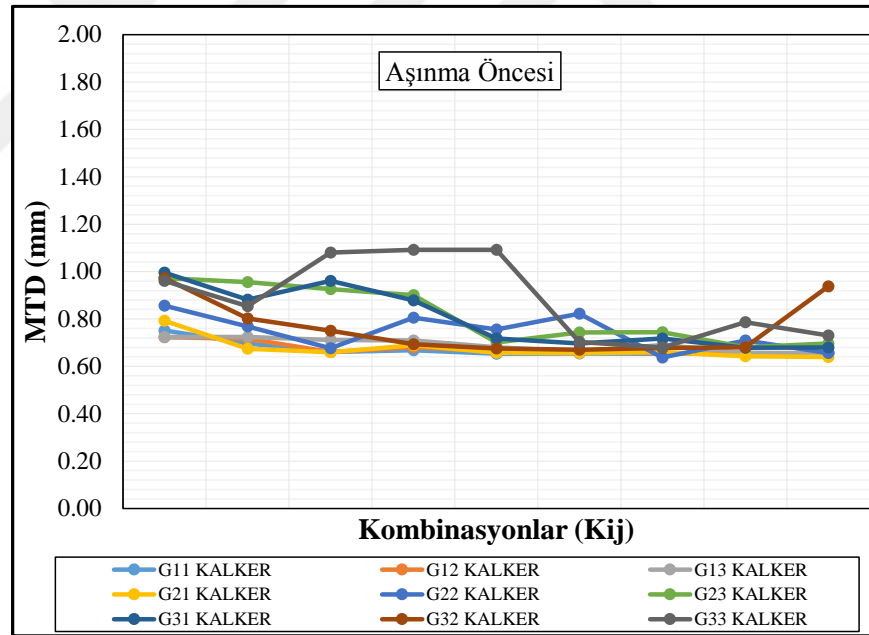
Bu bölümde, farklı gradasyondaki farklı agrega türlerine sahip farklı emülsiyon ve su oranlarındaki HTK numunelerinin aşınma öncesi ve aşınma sonrası hydrotimer (MTD) deney sonuçlarına yer verilmiştir. Kalker ve bazalt numunelerine ait aşınma öncesi ve sonrası MTD grafikleri aşağıdaki şekillerde (Şekil 6.3, Şekil 6.4, Şekil 6.5 ve Şekil 6.6) gösterilmiştir.



Şekil 6.3. Aşınma Öncesi MTD Sonuçları (Kalker)

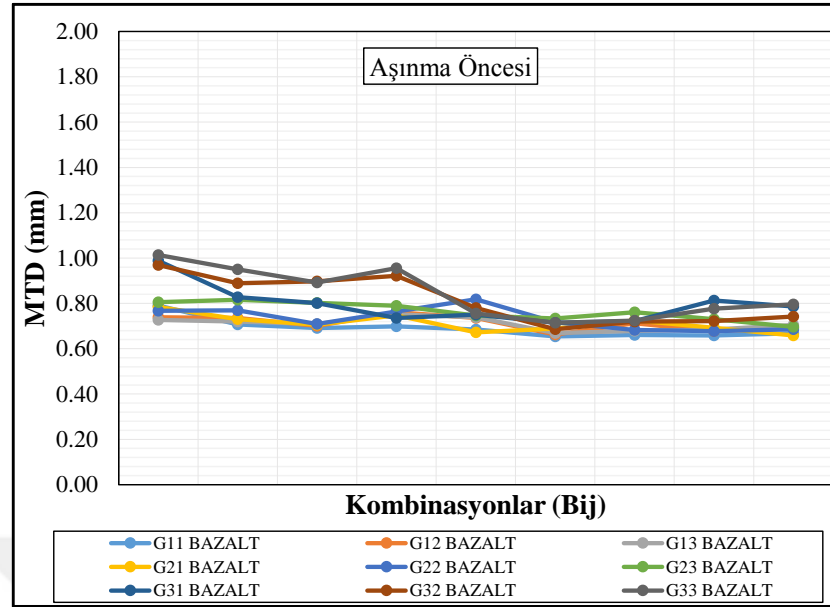


Şekil 6.4. Aşınma Sonrası MTD Sonuçları (Kalker)

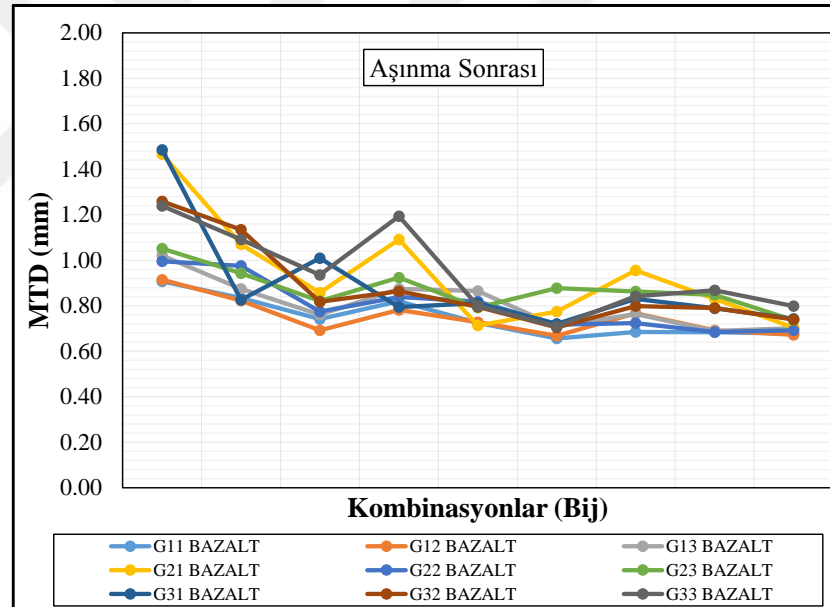


Şekil 6.3. Aşınma Öncesi MTD Sonuçları (Kalker)

Şekil 6.3, kalker kullanılarak üretilen farklı gradasyondaki numunelerin aşınma öncesi MTD değerlerini göstermektedir. Farklı emülsiyon ve farklı su oranlarındaki bu numunelerin MTD değerlerinin 0.64 mm ile 1.09 mm arasında olduğu gözlenmektedir. Aşınma sonrasında (Şekil 6.4) ise genel olarak bütün numunelerin MTD değerlerinde artış olduğu ve MTD değerlerinin 0.65 mm ile 1.70 mm arasında yayıldığı gözlenmektedir.



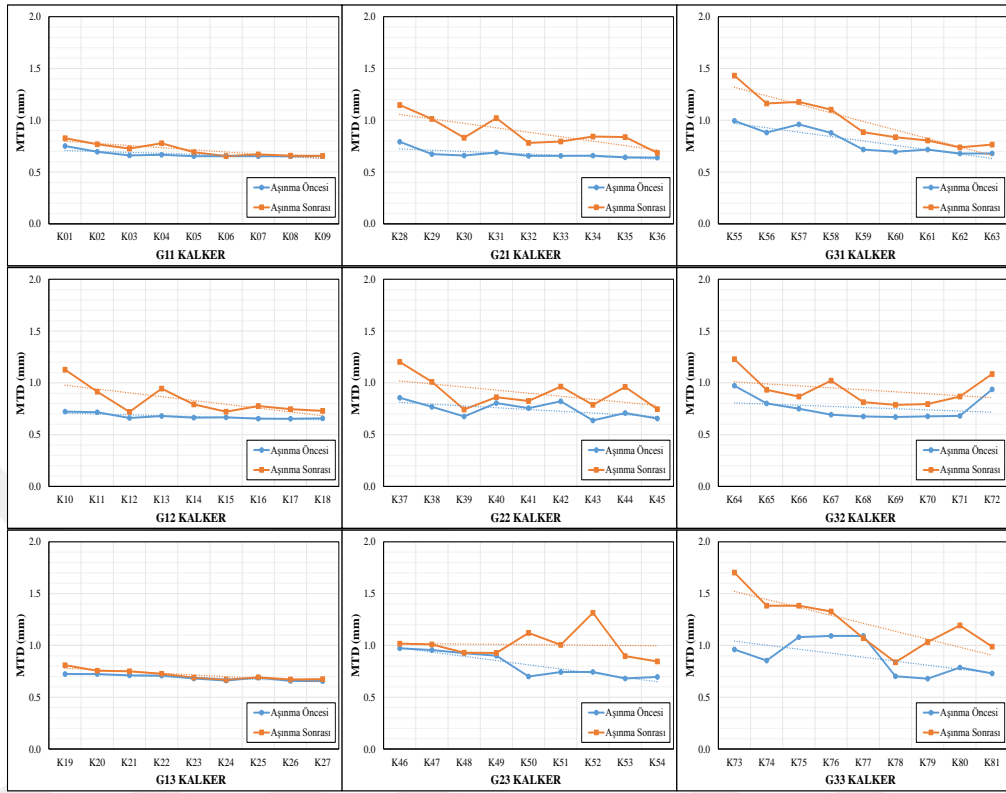
Şekil 6.5. Aşınma Öncesi MTD Sonuçları (Bazalt)



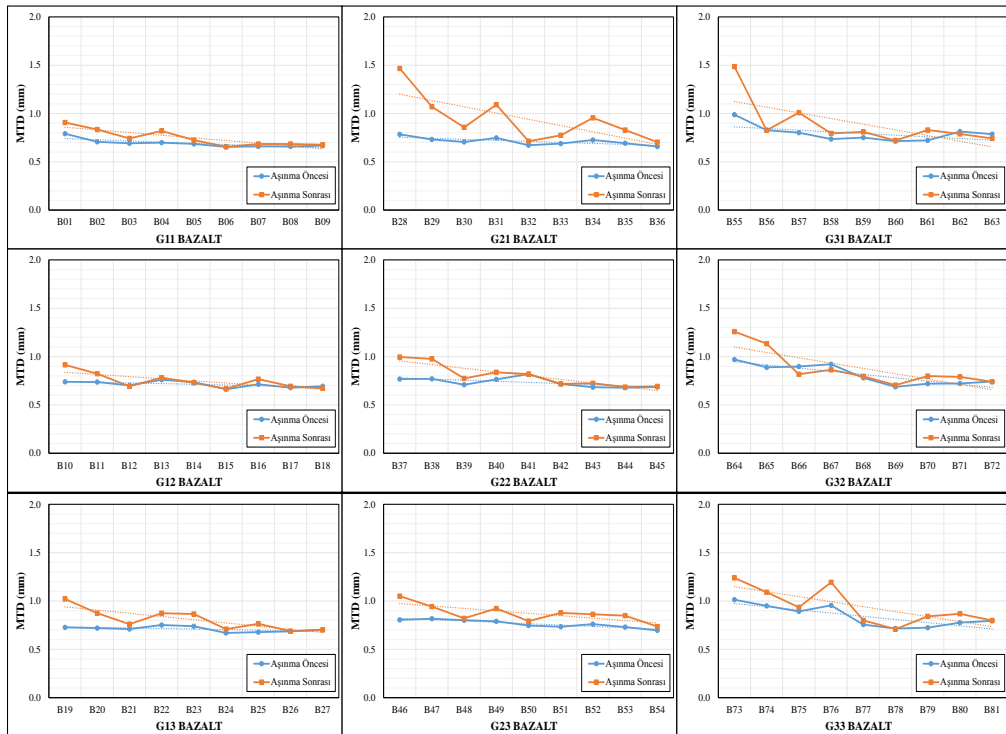
Şekil 6.6. Aşınma Sonrası MTD Sonuçları (Bazalt)

Şekil 6.5, bazalt kullanılarak üretilen farklı gradasyondaki numunelerin aşınma öncesi MTD değerlerini göstermektedir. Farklı emülsiyon ve farklı su oranlarındaki bu numunelerin MTD değerlerinin yaklaşık olarak 0.65 mm ile 1.01 mm arasında olduğu gözlenmektedir. Aşınma sonrasında (Şekil 6.6) ise genel olarak bütün numunelerin MTD değerlerinde artış olduğu ve bu değerlerin yaklaşık olarak 0.66 mm ile 1.49 mm arasında yayıldığı gözlenmektedir.

Aşınma etkisindeki kalker ve bazalt numunelerine ait MTD grafikleri aşağıdaki şekillerde (Şekil 6.7 ve Şekil 6.8) sırasıyla gösterilmiştir.



Şekil 6.7. Aşınma Etkisindeki Kalker Numunelerinin MTD Değerleri

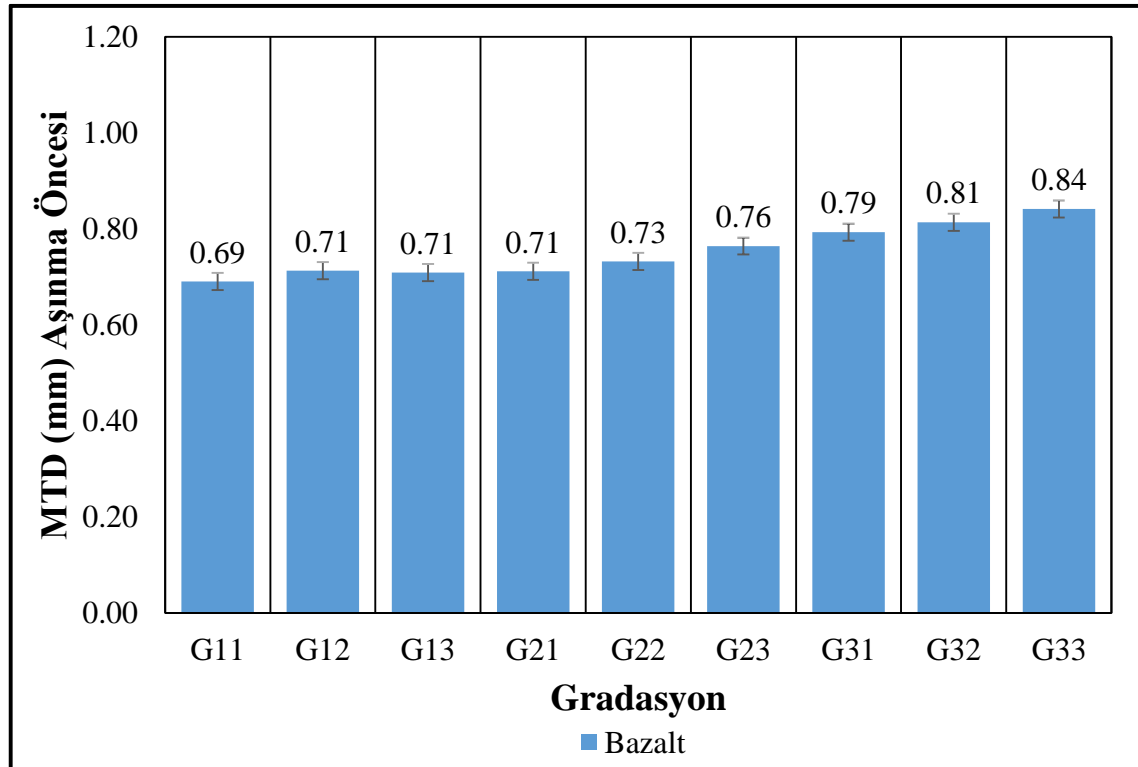


Şekil 6.8. Aşınma Etkisindeki Bazalt Numunelerinin MTD Değerleri

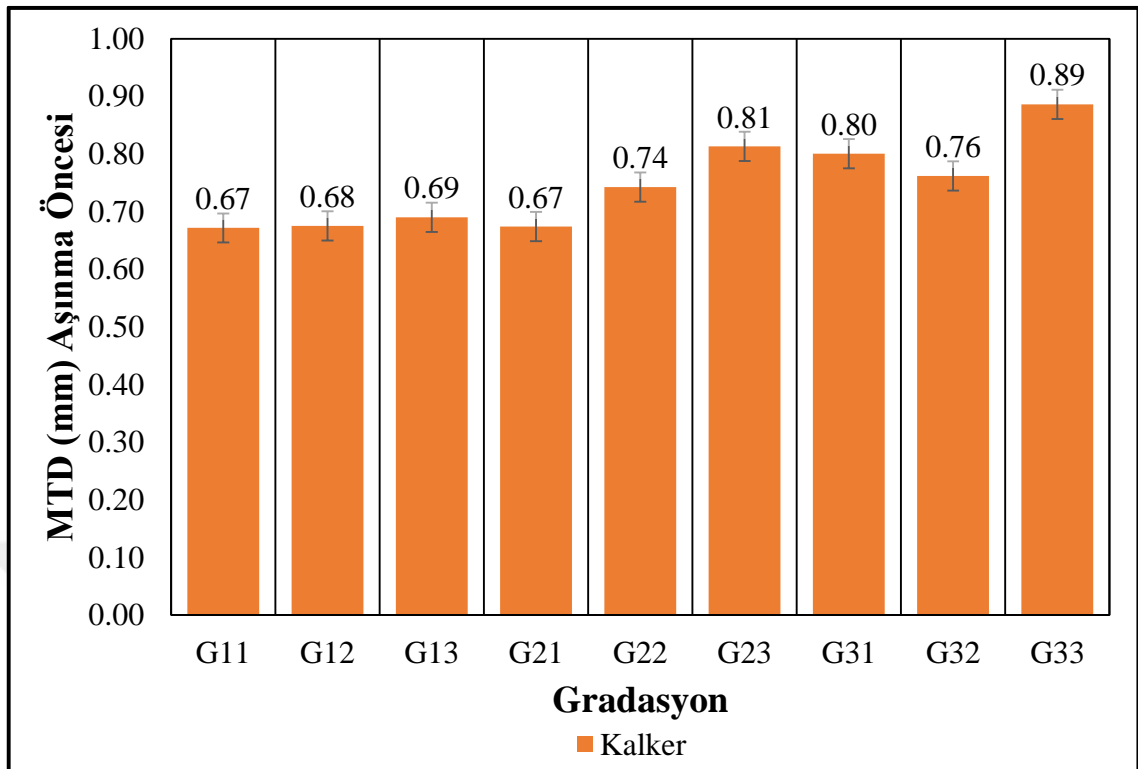
Şekil 6.7 ve Şekil 6.8, kalker ve bazalt karışımlarının aşınma etkisindeki MTD değerlerini detaylı bir şekilde göstermektedir. Aşınma etkisindeki numunelerin MTD değerlerinin aşınma sonrasında genel olarak arttığı gözlenmektedir. Bu grafiklerde önemli olan başka bir nokta ise aşınma sonrası MTD değerlerine göre oluşturulan doğrusal eğilim çizgilerinin aşınma öncesi MTD değerlerine göre daha yukarıda olmasıdır. Başka bir deyişle, aşınma etkisiyle MTD değerlerinde artış görülmektedir. Ayrıca, agrega boyutu arttıkça, bu eğilim çizgilerinin arasındaki mesafe miktarı açılmaktadır. Son olarak, su ve emülsiyon oranı arttıkça bu eğilim çizgilerinin birbirine yaklaştığı anlaşılmaktadır.

Kalker ve bazalt numunelerinin gradasyon bazlı MTD değerlerini incelemek için oluşturulan grafikler aşağıdaki şekillerde (Şekil 6.9 ve Şekil 6.10) verilmiştir.

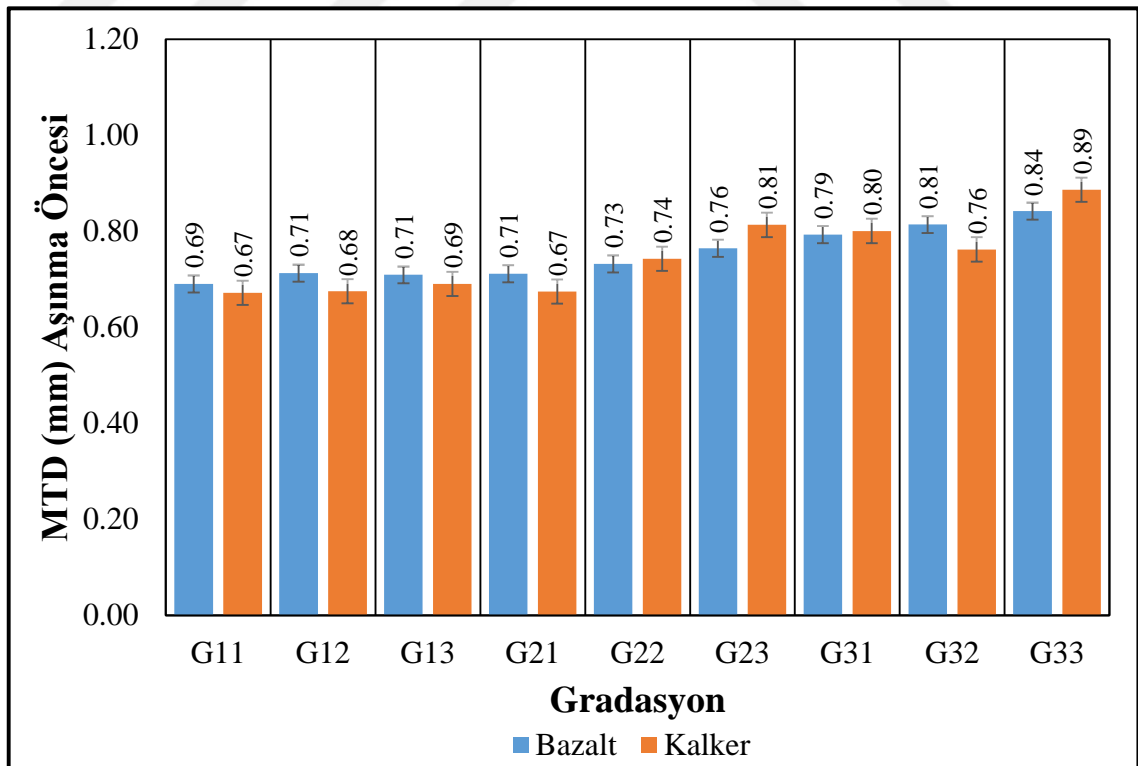
Şekil 6.9 ve Şekil 6.10, kalker ve bazalt ile üretilen numunelerin gradasyon bazlı aşınma öncesi MTD değerlerini göstermektedir. Bu değerler, her bir gradasyon için üretilen 27 adet numunenin ortalaması alınarak hesaplanmıştır. Grafiklerde görüldüğü üzere, en ince gradasyona sahip G11'den en iri gradasyona sahip G33'e doğru gidildikçe MTD değerlerinin doğrusal bir artış gösterdiği açık bir şekilde görülmektedir.



Şekil 6.9. Gradasyon Bazlı Aşınma Öncesi MTD Değerleri (Bazalt)

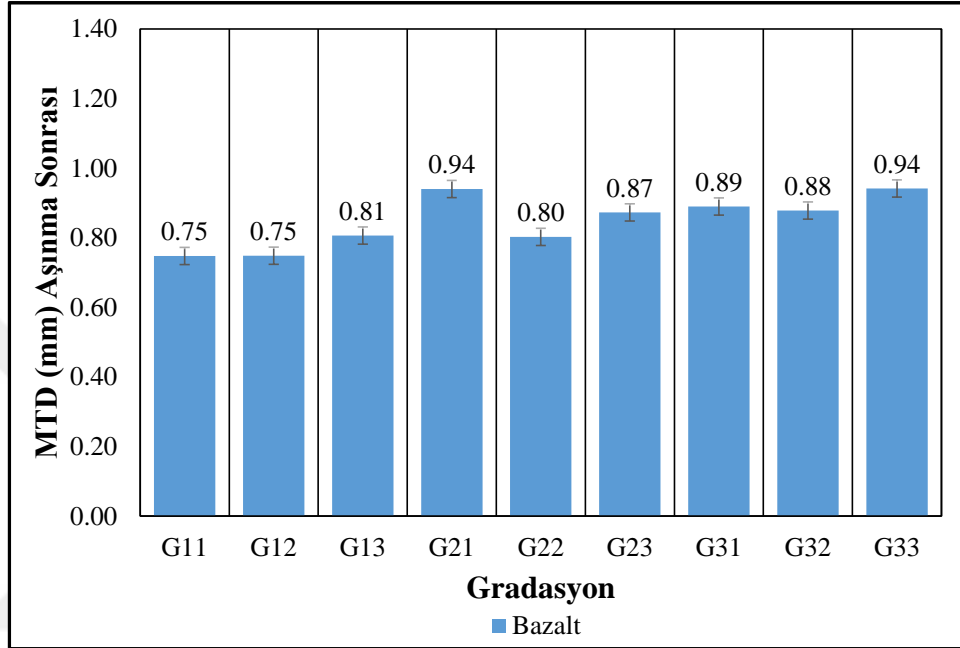


Şekil 6.10. Gradasyon Bazlı Aşınma Öncesi MTD Değerleri (Kalker)

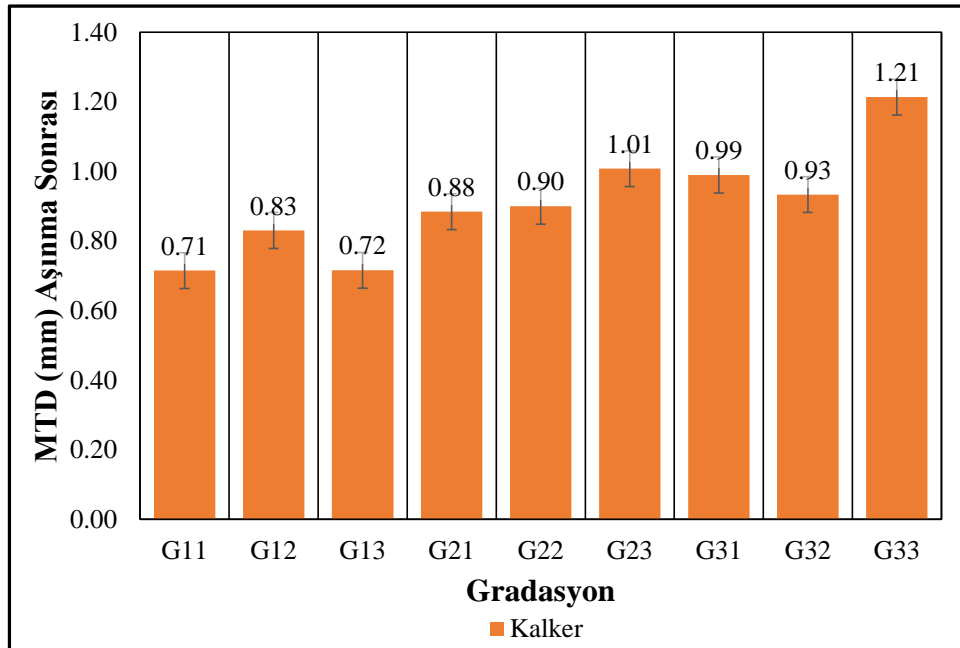


Şekil 6.11. Gradasyon Bazlı Aşınma Öncesi MTD Değerleri (Kalker ve Bazalt)

Şekil 6.11, kalker ve bazalt numunelerinin gradasyon bazlı aşınma öncesi MTD değerlerini karşılaştırmaktadır. Grafiklerde görüldüğü gibi, aynı gradasyona sahip kalker ve bazalt numunelerinde aşınma öncesi MTD değerlerinin birbirine yakın değerler olduğu anlaşılmaktadır.

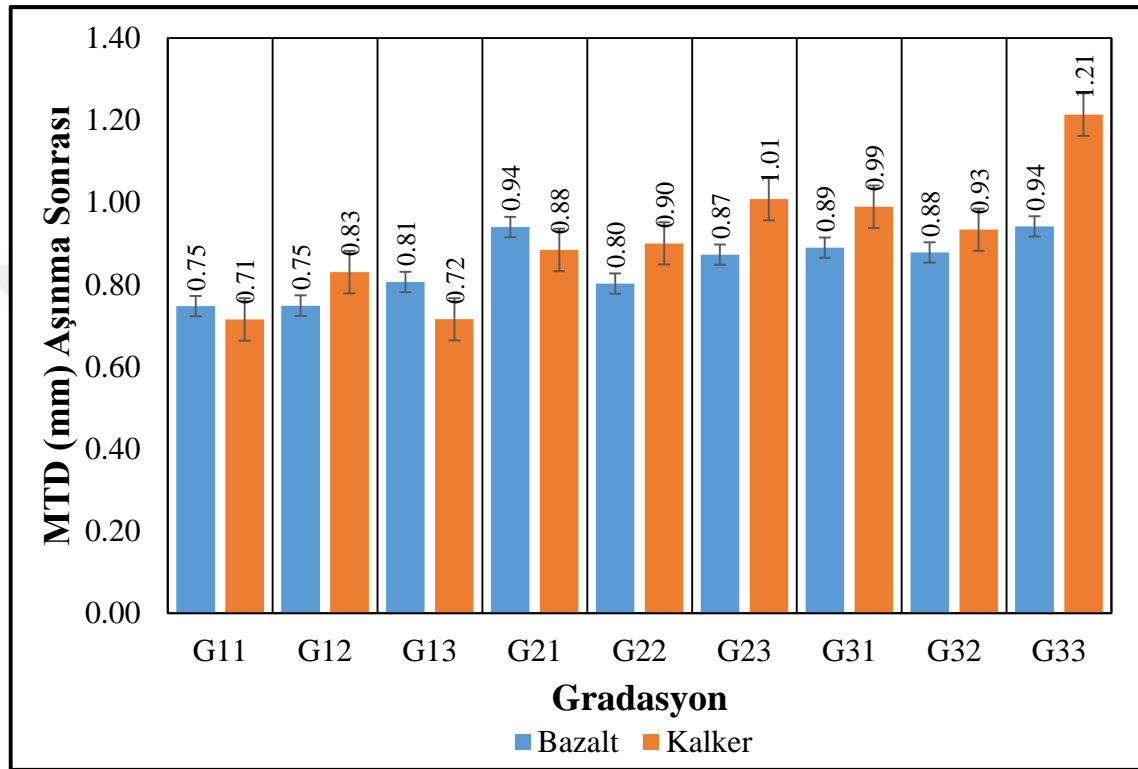


Şekil 6.12. Gradasyon Bazlı Aşınma Sonrası MTD Değerleri (Bazalt)



Şekil 6.13. Gradasyon Bazlı Aşınma Sonrası MTD Değerleri (Kalker)

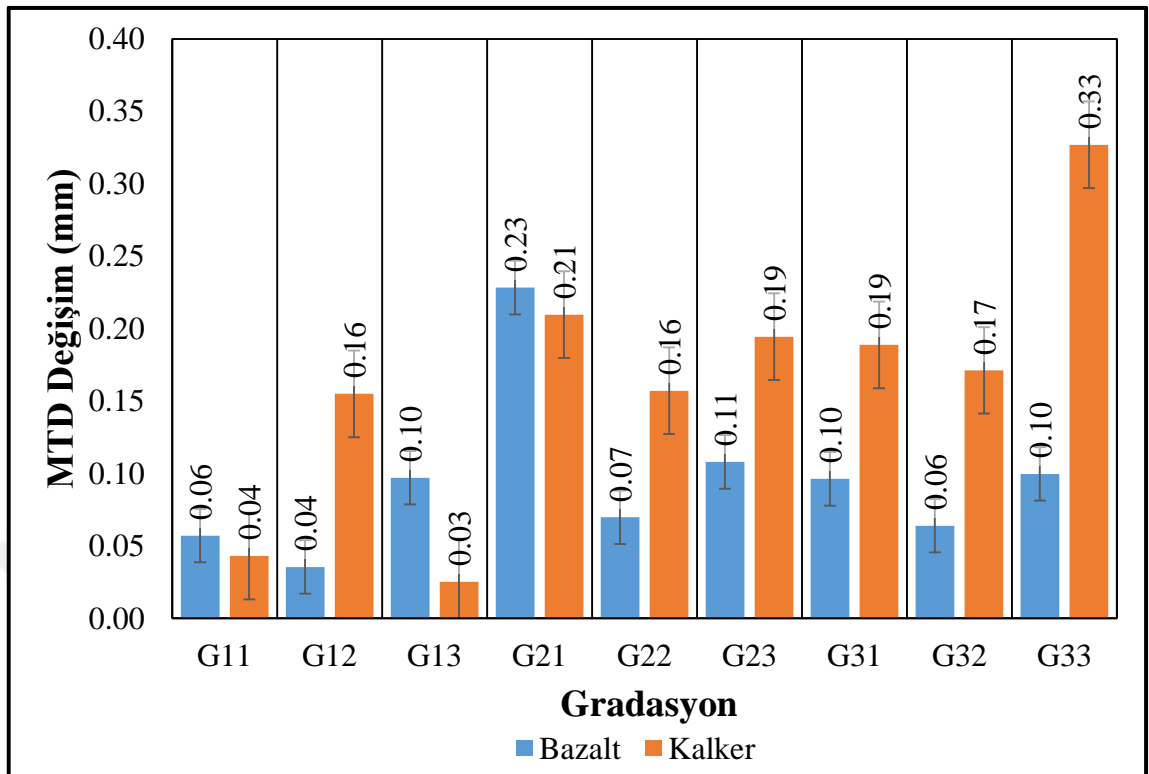
Şekil 6.12 ve Şekil 6.13, kalker ve bazalt ile üretilen numunelerin gradasyon bazlı aşınma sonrası MTD değerlerini göstermektedir. Grafiklerde görüldüğü üzere, en ince gradasyona sahip G11'den en iri gradasyona sahip G33'e doğru gidildikçe MTD değerlerinin genel olarak artış gösterdiği açık bir şekilde görülmektedir.



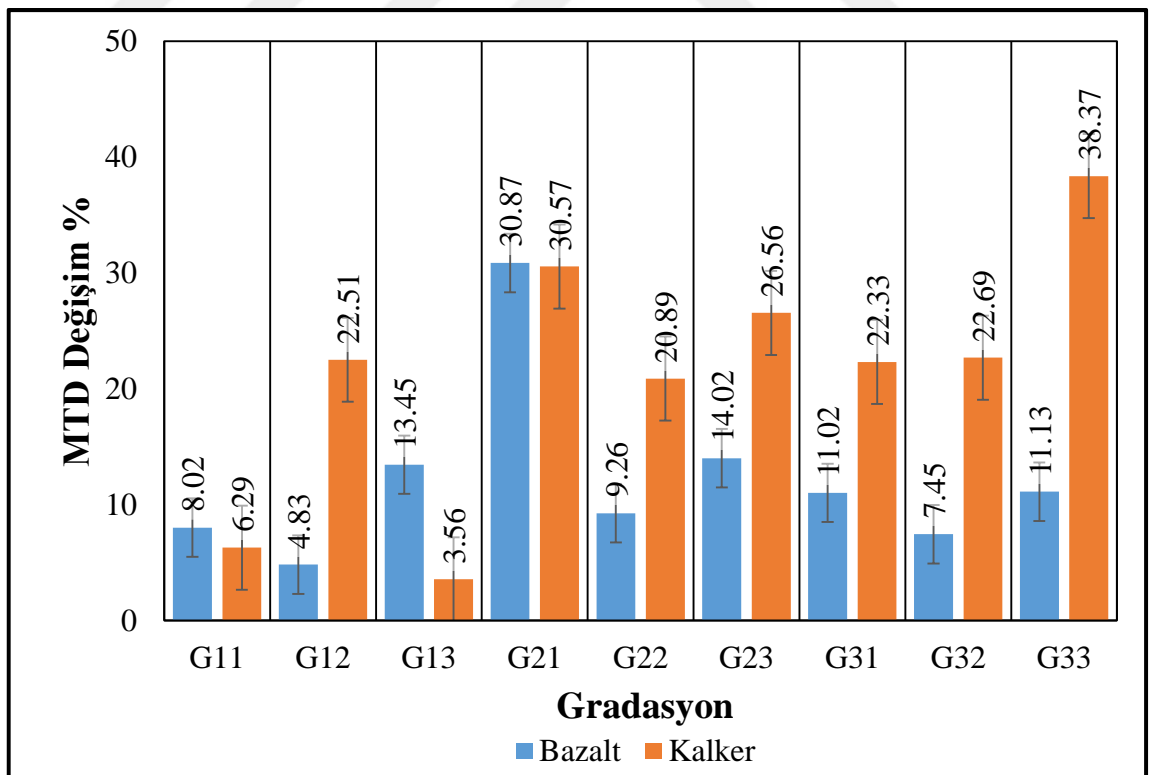
Şekil 6.14. Gradasyon Bazlı Aşınma Sonrası MTD Değerleri (Bazalt ve Kalker)

Şekil 6.14, kalker ve bazalt numunelerinin gradasyon bazlı aşınma sonrası MTD değerlerini karşılaştırmaktadır. Grafiklerde görüldüğü gibi, aynı gradasyona sahip kalker ve bazalt numunelerinde aşınma sonrası MTD değerlerinin farklılaştığı ve bu farklılığın gradasyon çeşidine göre özelleştiği ortaya çıkmaktadır.

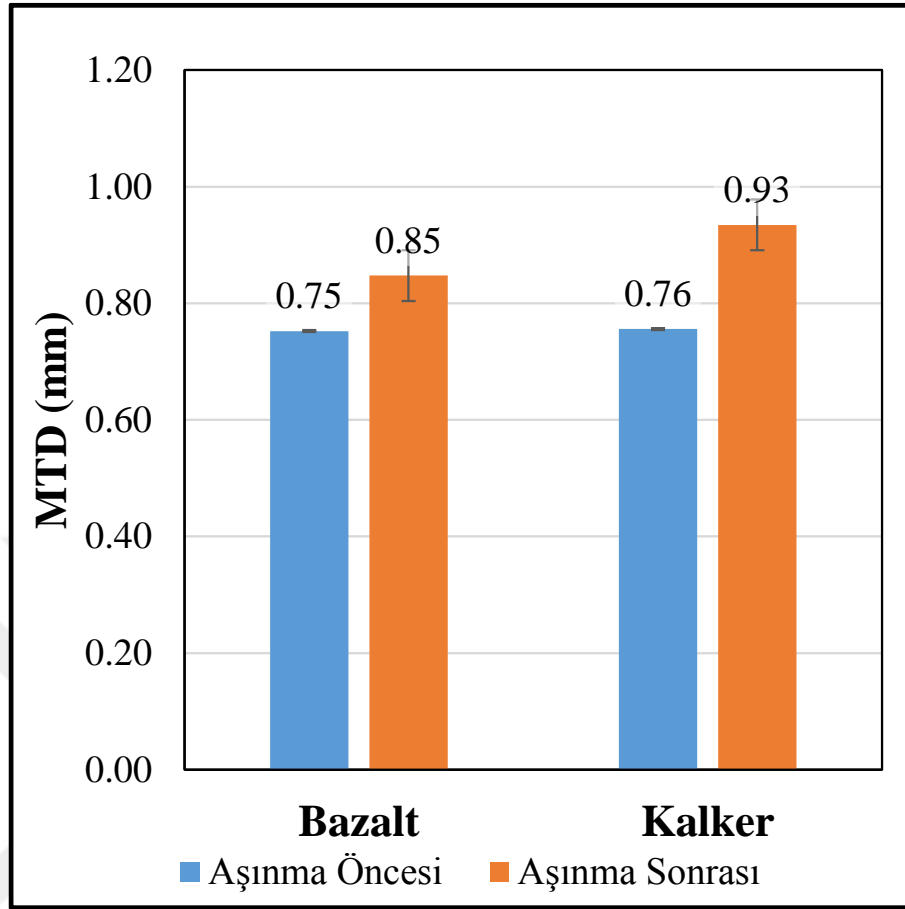
Şekil 6.15 ve Şekil 6.16, kalker ve bazalt numunelerinin gradasyon bazlı MTD değişimlerini göstermektedir. Grafiklerde görüldüğü üzere, kalker numunelerinin aynı gradasyona sahip bazalt numunelerine göre daha fazla MTD değişim değerlerine sahip olduğu görülmektedir. İnce gradasyonlu numunelerin iri gradasyonlu numunelere göre daha düşük MTD değişim değerlerine sahip olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 6.15. Gradasyon Bazlı MTD Değişim (mm) Değerleri (Bazalt ve Kalker)



Şekil 6.16. Gradasyon Bazlı MTD Değişim (%) Değerleri (Bazalt ve Kalker)

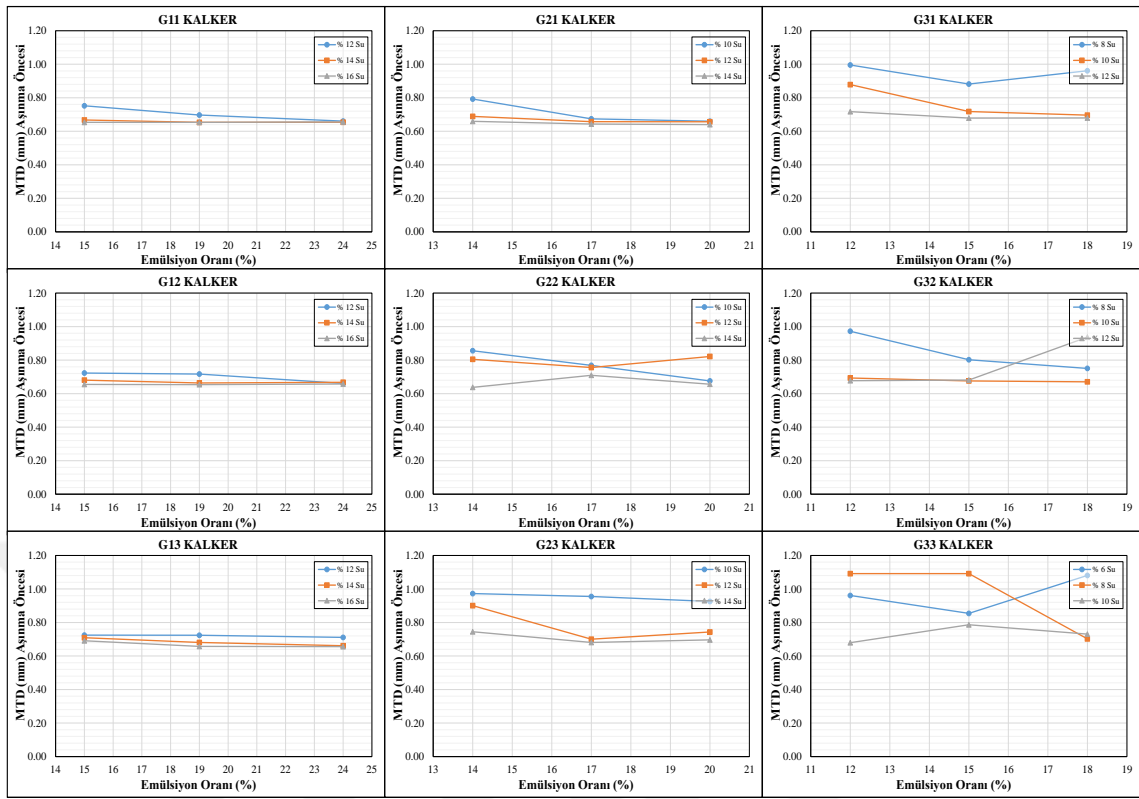


Şekil 6.17. Aşınma Etkisindeki MTD Değerleri (Bazalt ve Kalker)

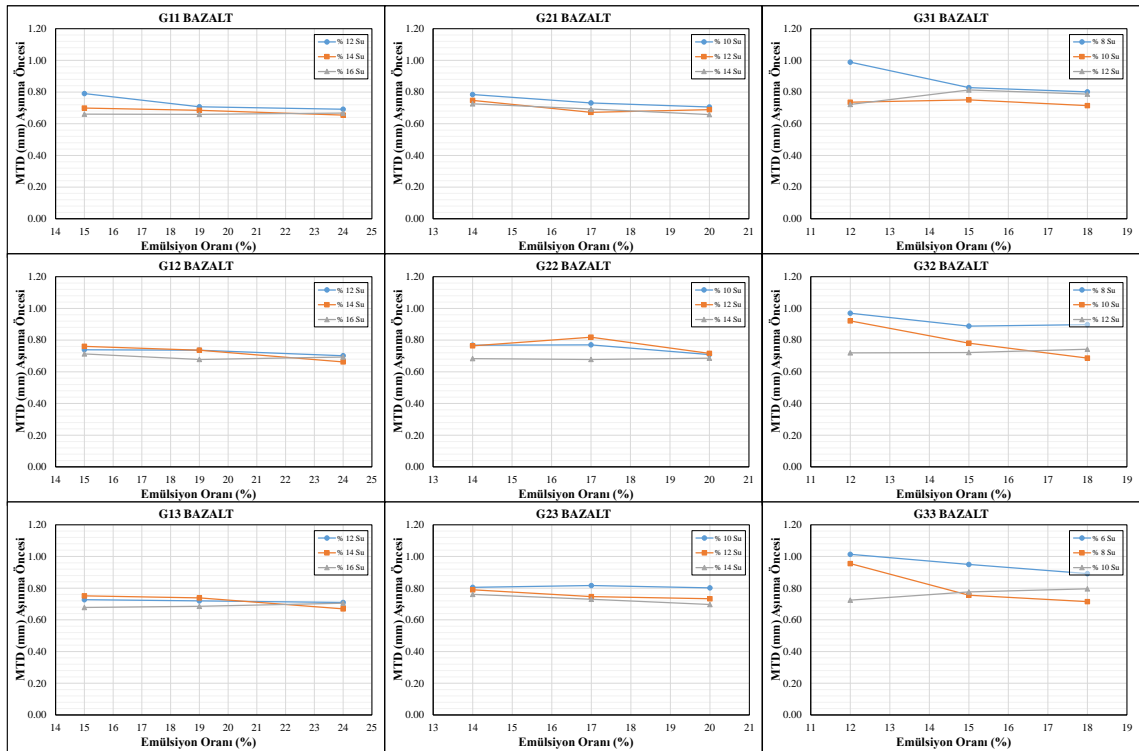
Şekil 6.17, kalker ve bazalt agregalarıyla oluşturulan numunelerin aşınma etkisindeki MTD değerlerinin ortalamasını göstermektedir. Grafikte görüldüğü gibi aşınma öncesi bazalt (0.75 mm) ve kalker (0.76 mm) numunelerinin MTD değerleri birbirine çok yakındır. Fakat, kalker numunelerinin aşınma sonrası MTD değerleri 0.85 mm ortalama değerine sahip bazalt numunelerine göre daha fazla artış göstererek 0.93 mm seviyesine çıkmıştır. Bu durumda, aşınma etkisi ile kalkerin bazalta göre daha pürüzlü bir yüzeye sahip olduğu ispatlanmaktadır.

6.2.3. Emülsiyon ve Su Oranlarının MTD Üzerindeki Etkisi

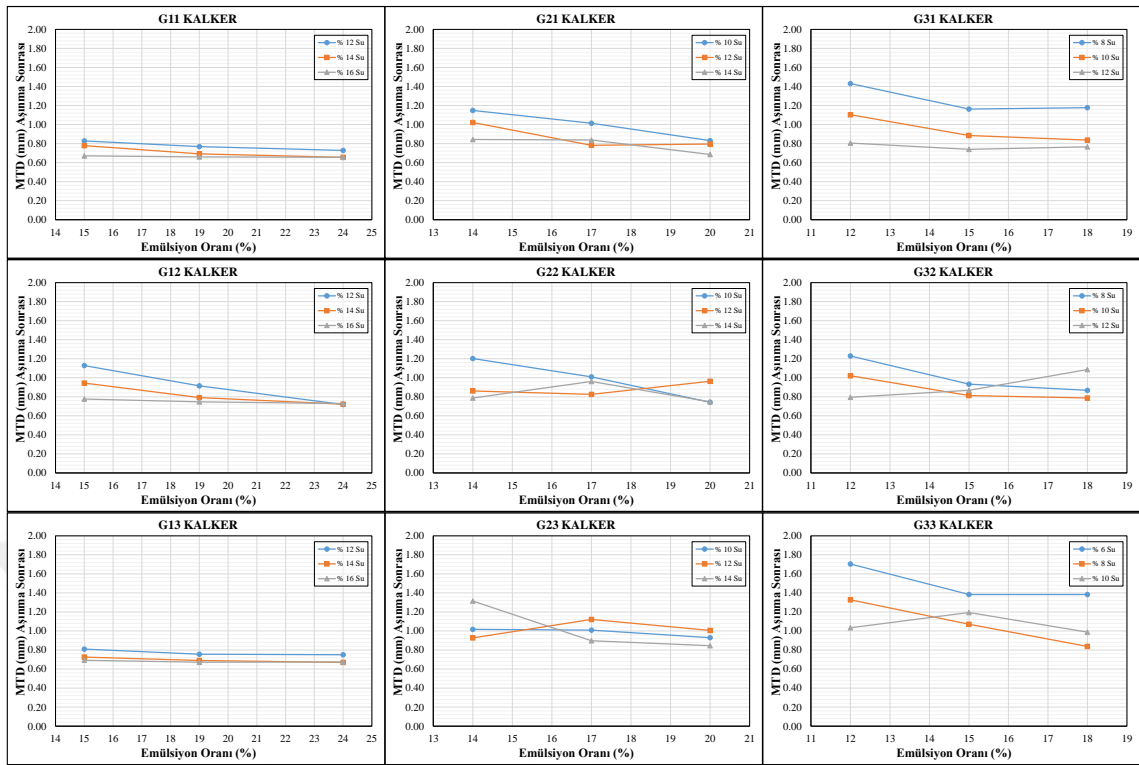
Bu bölümde, farklı gradasyondaki farklı agrega türlerine sahip farklı emülsiyon ve su oranlarındaki HTK numunelerinin aşınma öncesi ve aşınma sonrası elde edilen MTD değerlerine etki eden emülsiyon ve su oranlarına yer verilmiştir. Kalker ve bazalt numunelerine ait aşınma öncesi emülsiyon ve su oranlarının MTD üzerindeki etkisi aşağıdaki şekillerde (Şekil 6.18 ve Şekil 6.19) gösterilmektedir.



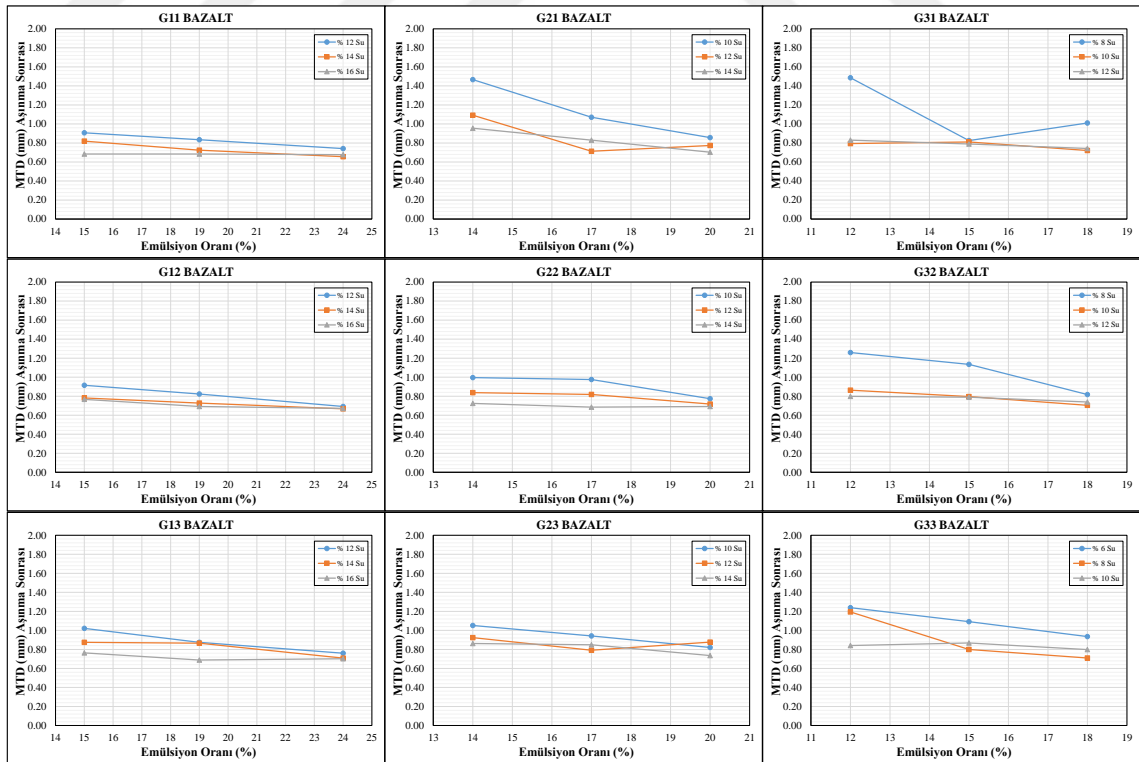
Şekil 6.18. Aşınma Öncesi Emülsiyon ve Suyun MTD Üzerindeki Etkisi (Kalker)



Şekil 6.19. Aşınma Öncesi Emülsiyon ve Suyun MTD Üzerindeki Etkisi (Bazalt)



Şekil 6.20. Aşınma Sonrası Emülsiyon ve Suyun MTD Üzerindeki Etkisi (Kalker)



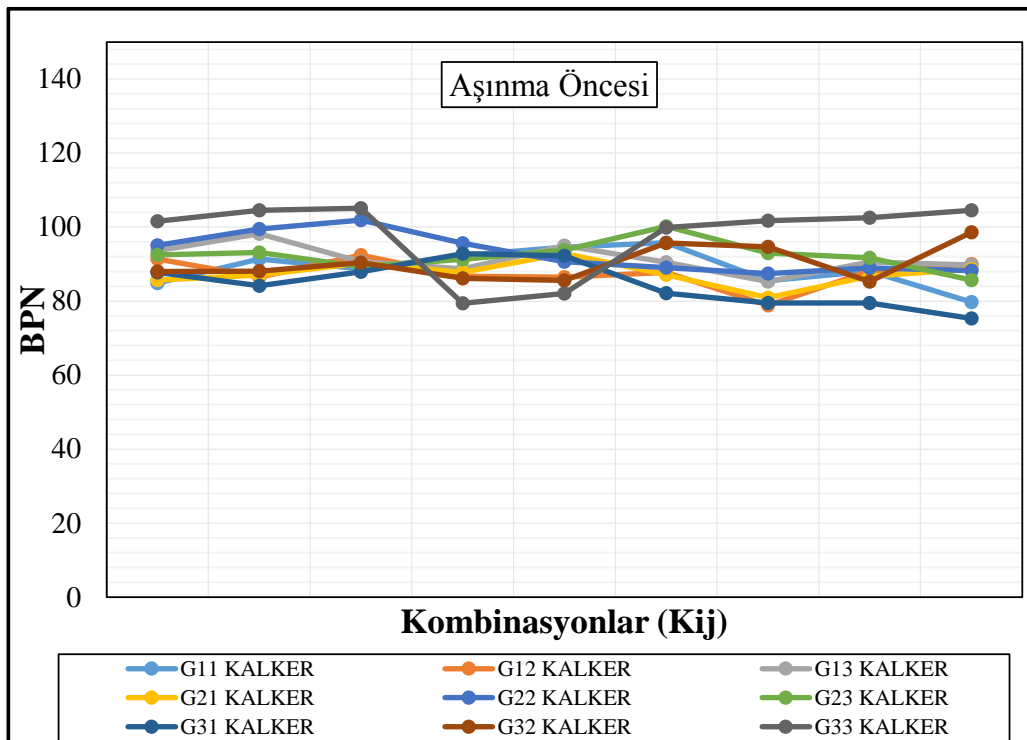
Şekil 6.21. Aşınma Sonrası Emülsiyon ve Suyun MTD Üzerindeki Etkisi (Bazalt)

Şekil 6.18 ve Şekil 6.19, kalker ve bazalt numunelerinin aşınma öncesi emülsiyon ve su oranlarının MTD üzerindeki etkisini göstermektedir. Farklı emülsiyon ve su oranlarının agrega boyutu arttıkça daha fazla etkili olduğu görülmektedir. Ayrıca, emülsiyon miktarı sabitken su oranı arttıkça MTD değerinin genel itibariyle düştüğü gözlenmektedir.

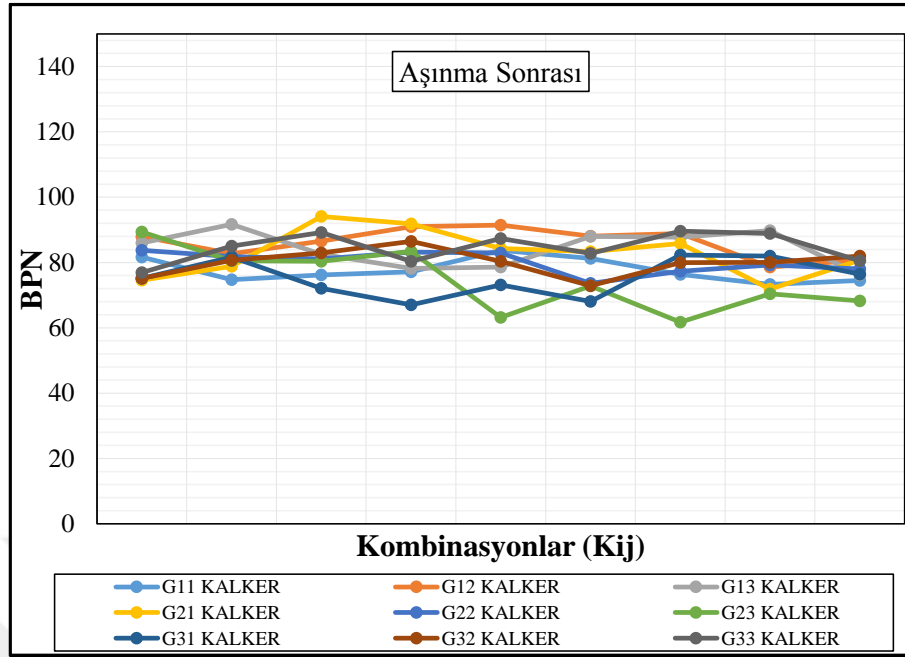
Şekil 6.20 ve Şekil 6.21, kalker ve bazalt numunelerinin aşınma sonrası emülsiyon ve su oranlarının MTD üzerindeki etkisini göstermektedir. Farklı emülsiyon ve su oranlarının agrega boyutu arttıkça daha fazla etkili olduğu görülmektedir. Ayrıca, emülsiyon miktarı sabitken su oranı arttıkça MTD değerinin genel itibariyle düştüğü gözlenmektedir. Su oranı düşük olan numunelerin, aşınma sonrası MTD değerlerinin çoğunlukla yüksek çıktığı görülmektedir.

6.2.4. Sürtünme Deneyi Sonuçları

Bu bölümde, farklı gradasyondaki farklı agrega türlerine sahip farklı emülsiyon ve su oranlarındaki HTK numunelerinin aşınma öncesi ve aşınma sonrası sürtünme (BPN) deney sonuçlarına yer verilmiştir. Kalker ve bazalt kullanılarak üretilen farklı gradasyondaki numunelere ait aşınma öncesi ve sonrası BPN değerleri aşağıdaki şekillerde (Şekil 6.22, Şekil 6.23, Şekil 6.24 ve Şekil 6.25) gösterilmektedir.

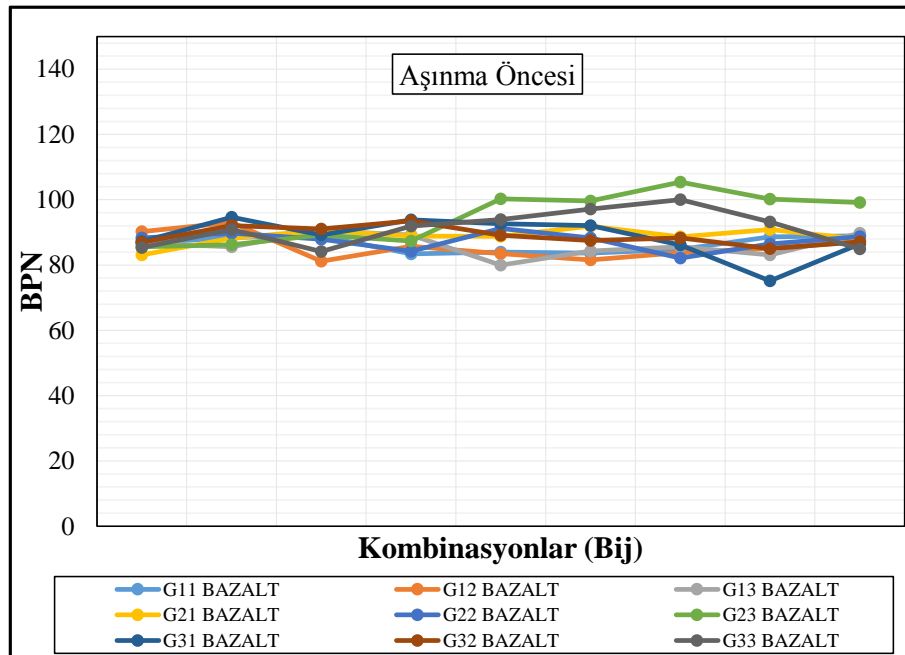


Şekil 6.22. Aşınma Öncesi BPN Sonuçları (Kalker)

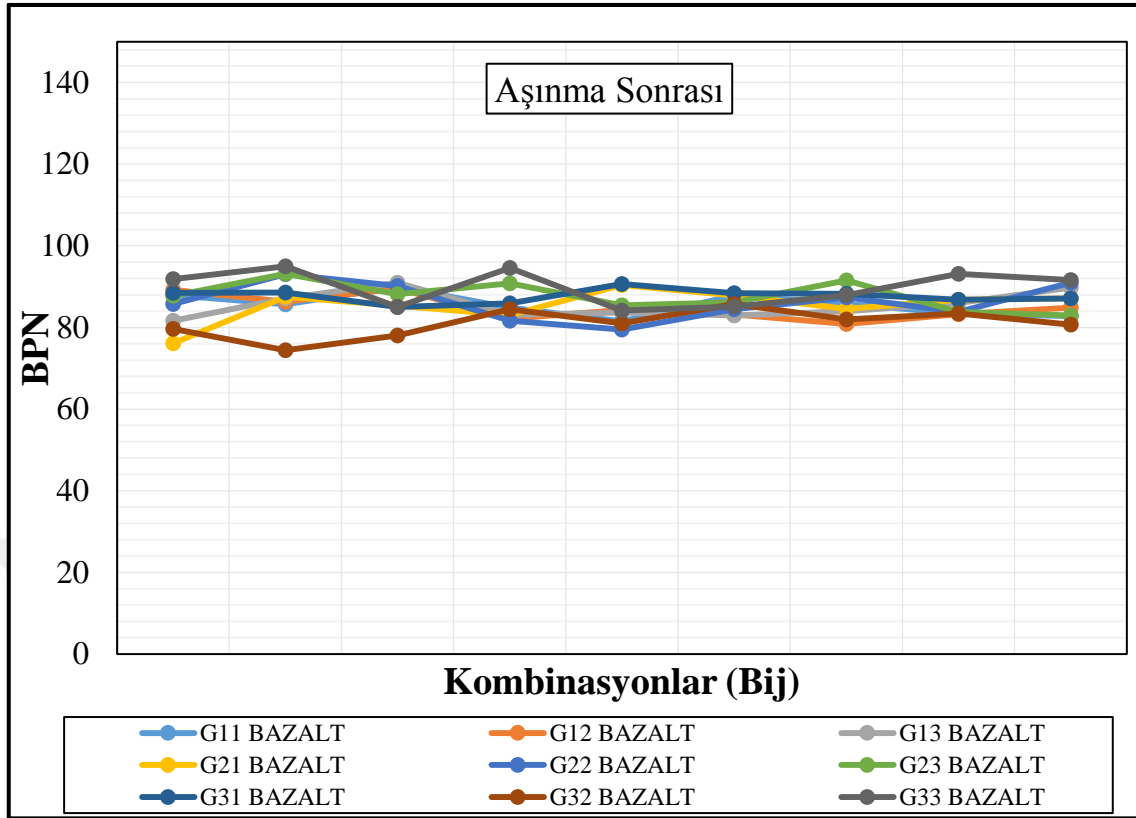


Şekil 6.23. Aşınma Sonrası BPN Sonuçları (Kalker)

Şekil 6.22, kalker kullanılarak üretilen farklı gradasyondaki numunelerin aşınma öncesi BPN değerlerini göstermektedir. Farklı emülsiyon ve farklı su oranlarındaki bu numunelerin BPN değerleri 75.3 ile 105.1 arasında olduğu gözlenmektedir. Aşınma sonrasında (Şekil 6.23) ise genel olarak bütün numunelerin BPN değerlerinde azalma olduğu ve 61.7 ile 94.1 arasında yayıldığı gözlenmektedir.



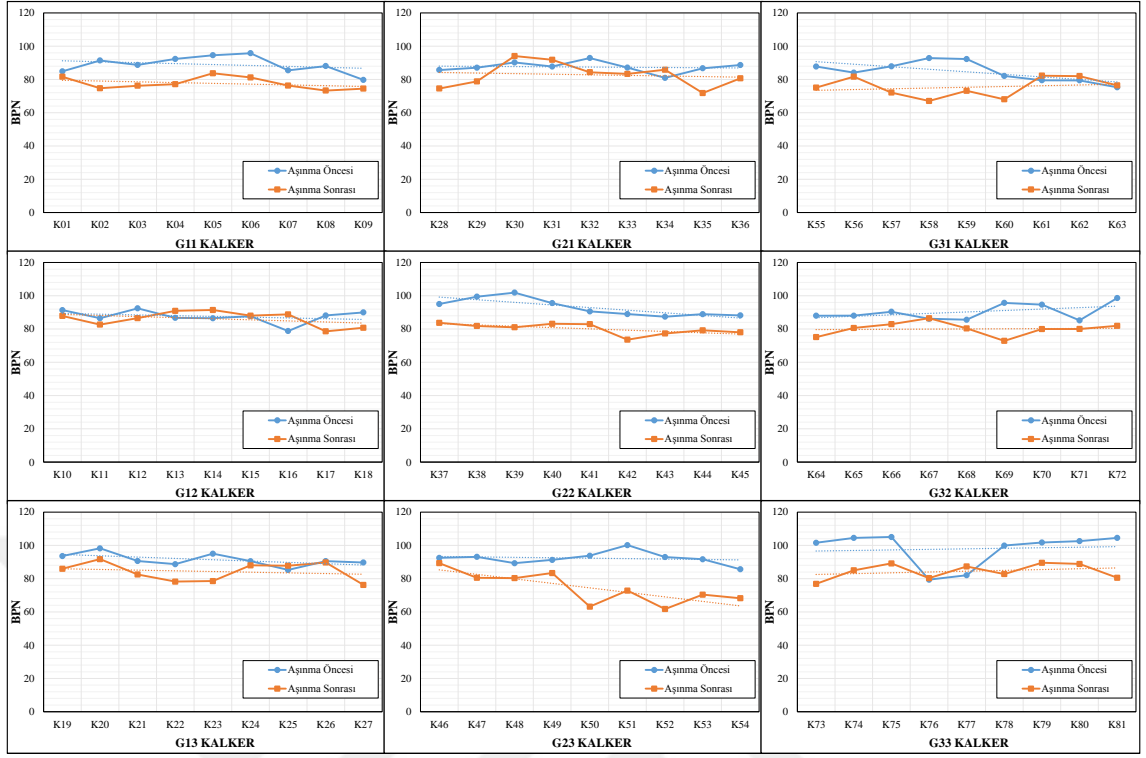
Şekil 6.24. Aşınma Öncesi BPN Sonuçları (Bazalt)



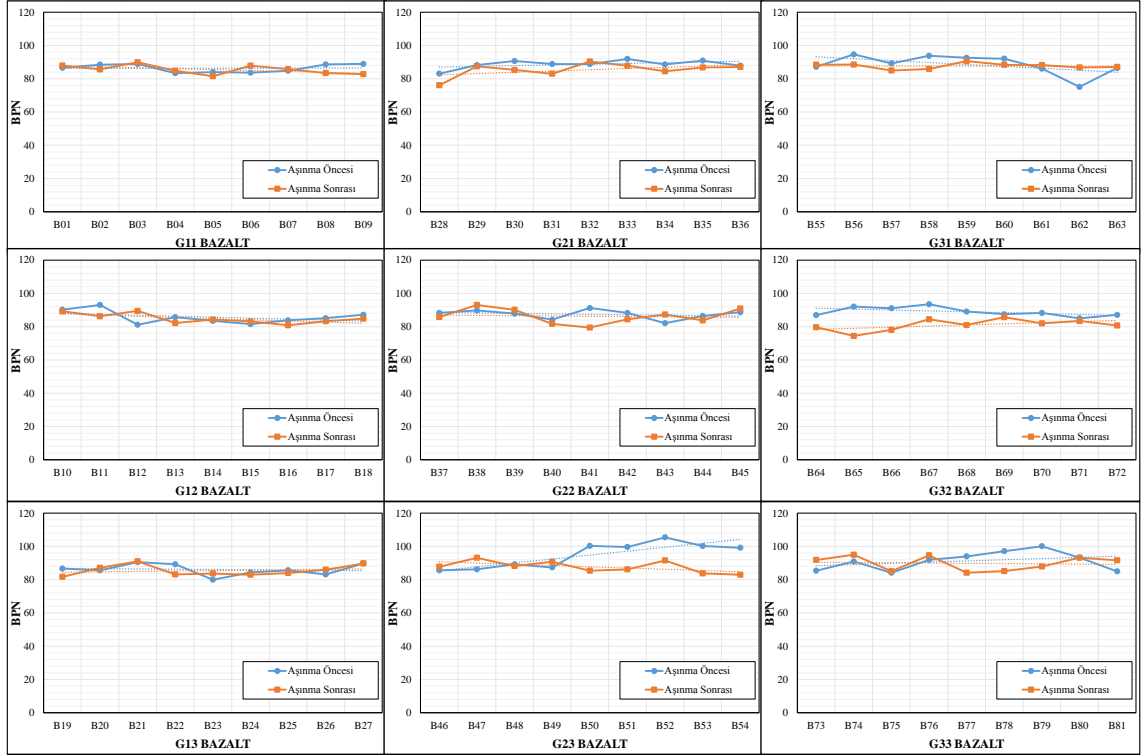
Şekil 6.25. Aşınma Sonrası BPN Sonuçları (Bazalt)

Şekil 6.24, bazalt kullanılarak üretilen farklı gradasyondaki numunelerin aşınma öncesi BPN değerlerini göstermektedir. Farklı emülsiyon ve farklı su oranlarındaki bu numunelerin BPN değerleri 75.1 ile 105.4 arasında olduğu gözlenmektedir. Aşınma sonrasında (Şekil 6.25) ise genel olarak bütün numunelerin BPN değerlerinde azalış olduğu ve 74.4 ve 94.9 arasında yayıldığı gözlenmektedir.

Şekil 6.26 ve Şekil 6.27, kalker ve bazalt karışımlarının aşınma etkisindeki BPN değerlerini detaylı bir şekilde göstermektedir. Aşınma etkisindeki numunelerin BPN değerlerinin, aşınma sonrasında genel olarak azaldığı gözlenmektedir. Bu grafiklerde önemli olan başka bir nokta ise aşınma sonrası BPN değerlerine göre oluşturulan doğrusal eğilim çizgilerinin aşınma öncesi BPN değerlerine göre daha aşağıda olmasıdır. Başka bir deyişle, aşınma etkisiyle BPN değerlerinde azalış görülmektedir. Agrega boyutu arttıkça, bu eğilim çizgilerinin arasındaki mesafe miktarı açılmaktadır. Son olarak, su ve emülsiyon oranı arttıkça bu eğilim çizgilerinin birbirine genel olarak yaklaştığı anlaşılmaktadır.

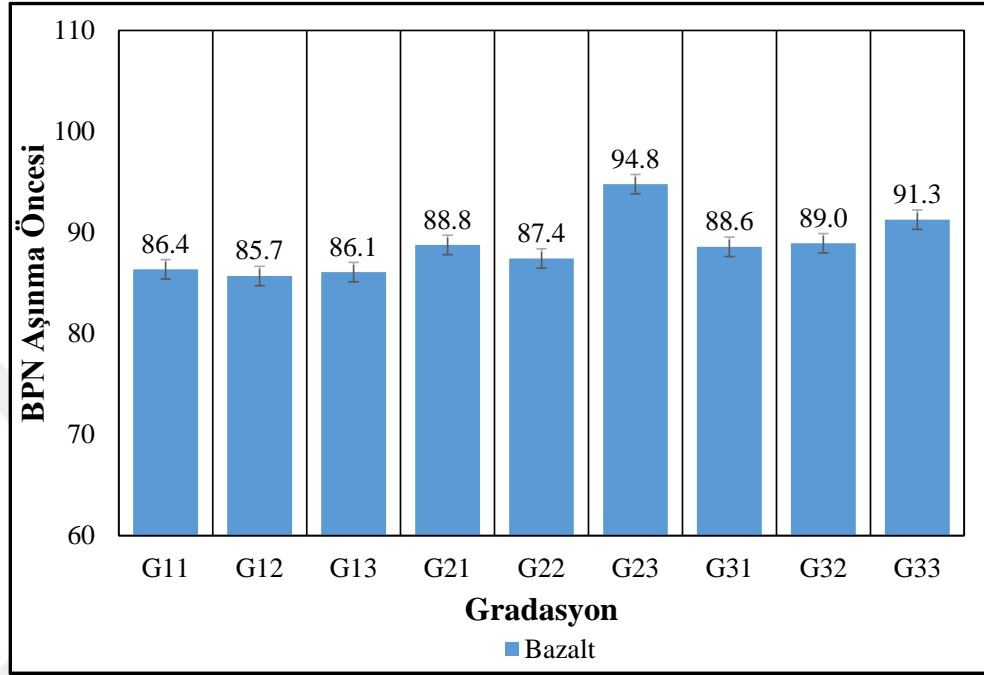


Şekil 6.26. Aşınma Etkisindeki Kalker Numunelerinin BPN Değerleri

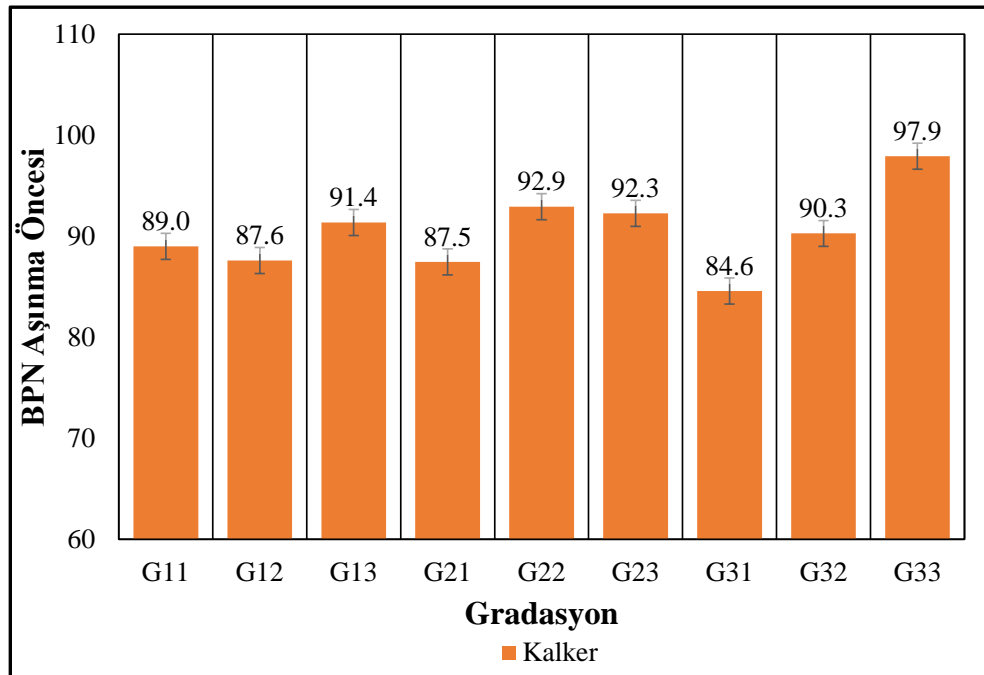


Şekil 6.27. Aşınma Etkisindeki Bazalt Numunelerinin BPN Değerleri

Oluşturulan farklı gradasyondaki farklı agrega türüne sahip kalker ve bazalt numunelerine ait gradasyon bazlı aşınma öncesi ve aşınma sonrası BPN değerleri aşağıdaki şekillerde (Şekil 6.28, Şekil 6.29, Şekil 6.30, Şekil 6.31, Şekil 6.32 ve Şekil 6.33) gösterilmiştir.

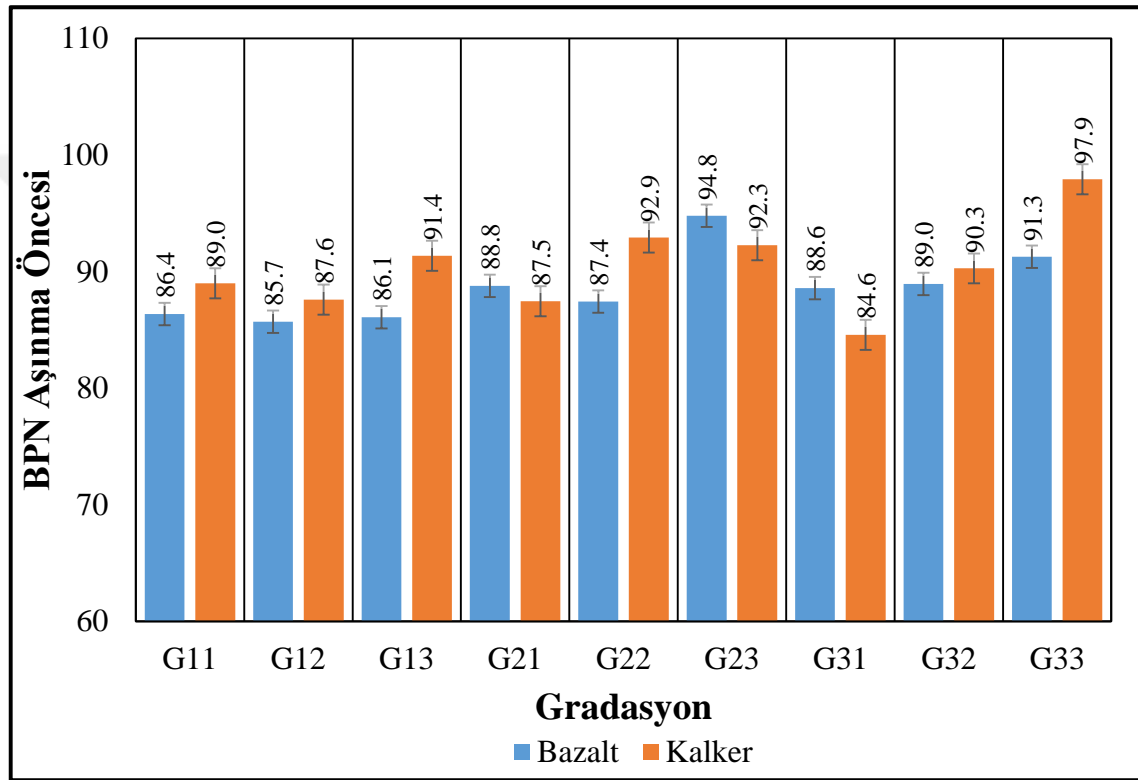


Şekil 6.28. Gradasyon Bazlı Aşınma Öncesi BPN Değerleri (Bazalt)



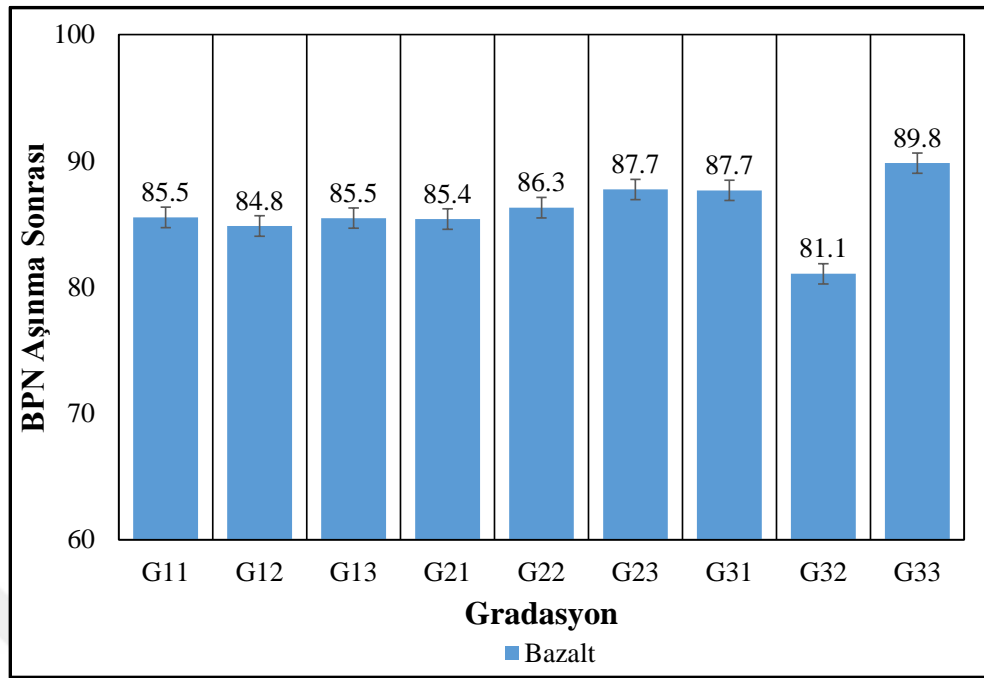
Şekil 6.29. Gradasyon Bazlı Aşınma Öncesi BPN Değerleri (Kalker)

Şekil 6.28 ve Şekil 6.29, kalker ve bazalt ile üretilen numunelerin gradasyon bazlı aşınma öncesi BPN değerlerini göstermektedir. Bu değerler, her bir gradasyon için üretilen 27 adet numunenin ortalaması alınarak hesaplanmıştır. Grafiklerde görüldüğü üzere, en ince gradasyona sahip G11'den en iri gradasyona sahip G33'e doğru gidildikçe BPN değerlerinde doğrusal bir artışın olmadığı açık bir şekilde görülmektedir. Başka bir deyişle, agrega boyutunun artması BPN değerinin de artması anlamında gelmemektedir.

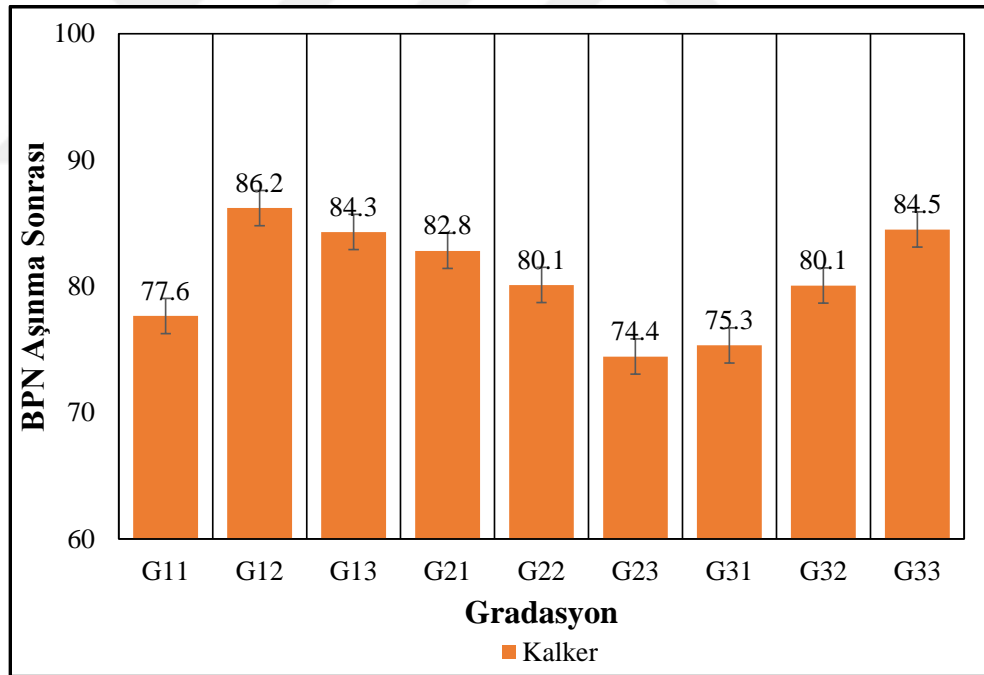


Şekil 6.30. Gradasyon Bazlı Aşınma Öncesi BPN Değerleri (Bazalt ve Kalker)

Şekil 6.30, kalker ve bazalt numunelerinin gradasyon bazlı aşınma öncesi BPN değerlerini karşılaştırmaktadır. Grafiklerde görüldüğü gibi, aynı gradasyona sahip kalker ve bazalt numunelerinde aşınma öncesi BPN değerlerinin birbirinden farklı olduğu ortaya çıkmaktadır. Farklı agrega türleri ile üretilen harç tipi kaplama numuneleri aynı gradasyona sahip olsalar bile aşınma öncesi BPN değerlerinin farklı olduğu ve BPN değerlerinin ne agrega türüne ne de gradasyonuna bağlı olduğu görülmektedir.

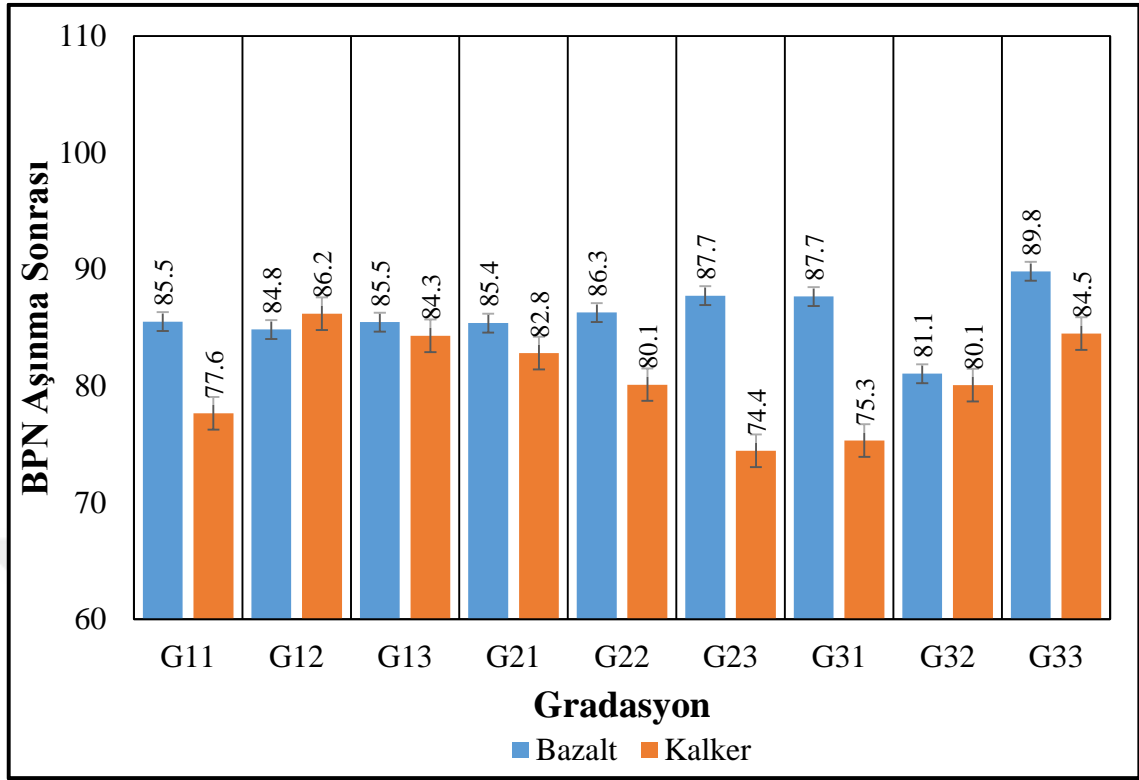


Şekil 6.31. Gradasyon Bazlı Aşınma Sonrası BPN Değerleri (Bazalt)



Şekil 6.32. Gradasyon Bazlı Aşınma Sonrası BPN Değerleri (Kalker)

Şekil 6.31 ve Şekil 6.32, kalker ve bazalt ile üretilen numunelerin gradasyon bazlı aşınma sonrası BPN değerlerini göstermektedir. Grafiklerde görüldüğü üzere, gradasyon çeşidine ve agrega türüne göre BPN değerlerinde farklılık görülmektedir.

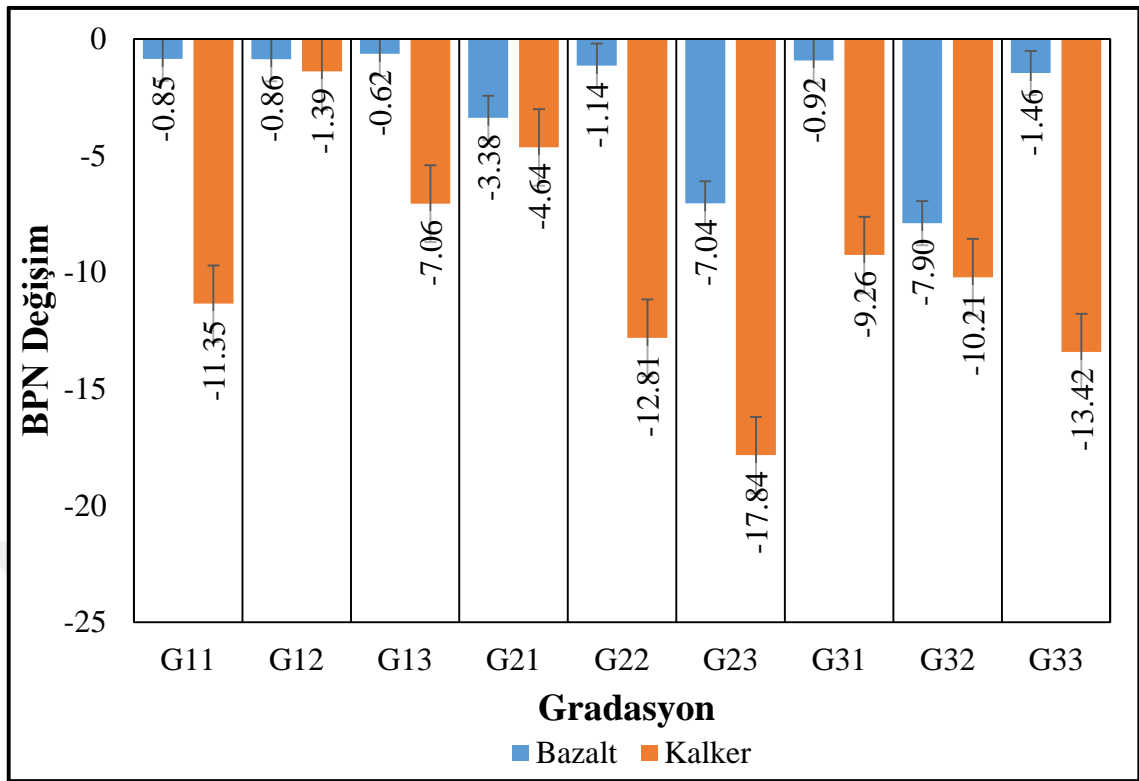


Şekil 6.33. Gradasyon Bazlı Aşınma Sonrası BPN Değerleri (Kalker ve Bazalt)

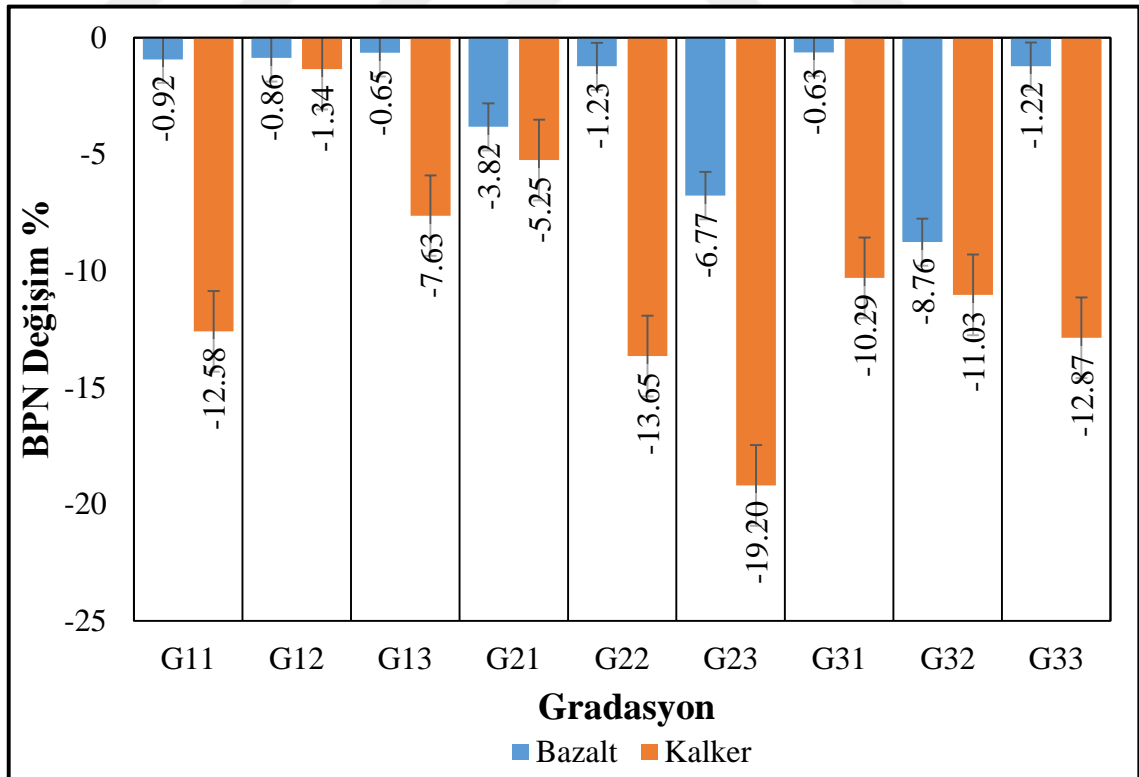
Şekil 6.33, kalker ve bazalt numunelerinin gradasyon bazlı aşınma sonrası BPN değerlerini karşılaştırmaktadır. Grafiklerde görüldüğü gibi, aynı gradasyona sahip kalker ve bazalt numunelerinde aşınma sonrası BPN değerlerinin farklılaştığı ve bu farklılığın gradasyon çeşidine göre özelleştiği ortaya çıkmaktadır. Bu durum, kalker agregaları ile üretilen harç tipi kaplama numunelerinin bazalt agregaları ile üretilenlere göre aşınma sonrasında daha düşük BPN değerlerine sahip olduğunu göstermektedir.

Aşağıdaki şekillerde (Şekil 6.34 ve Şekil 6.35) ise kalker ve bazalt numunelerinin BPN değişimleri hem rakamsal olarak hem de yüzdesel olarak gösterilmiştir.

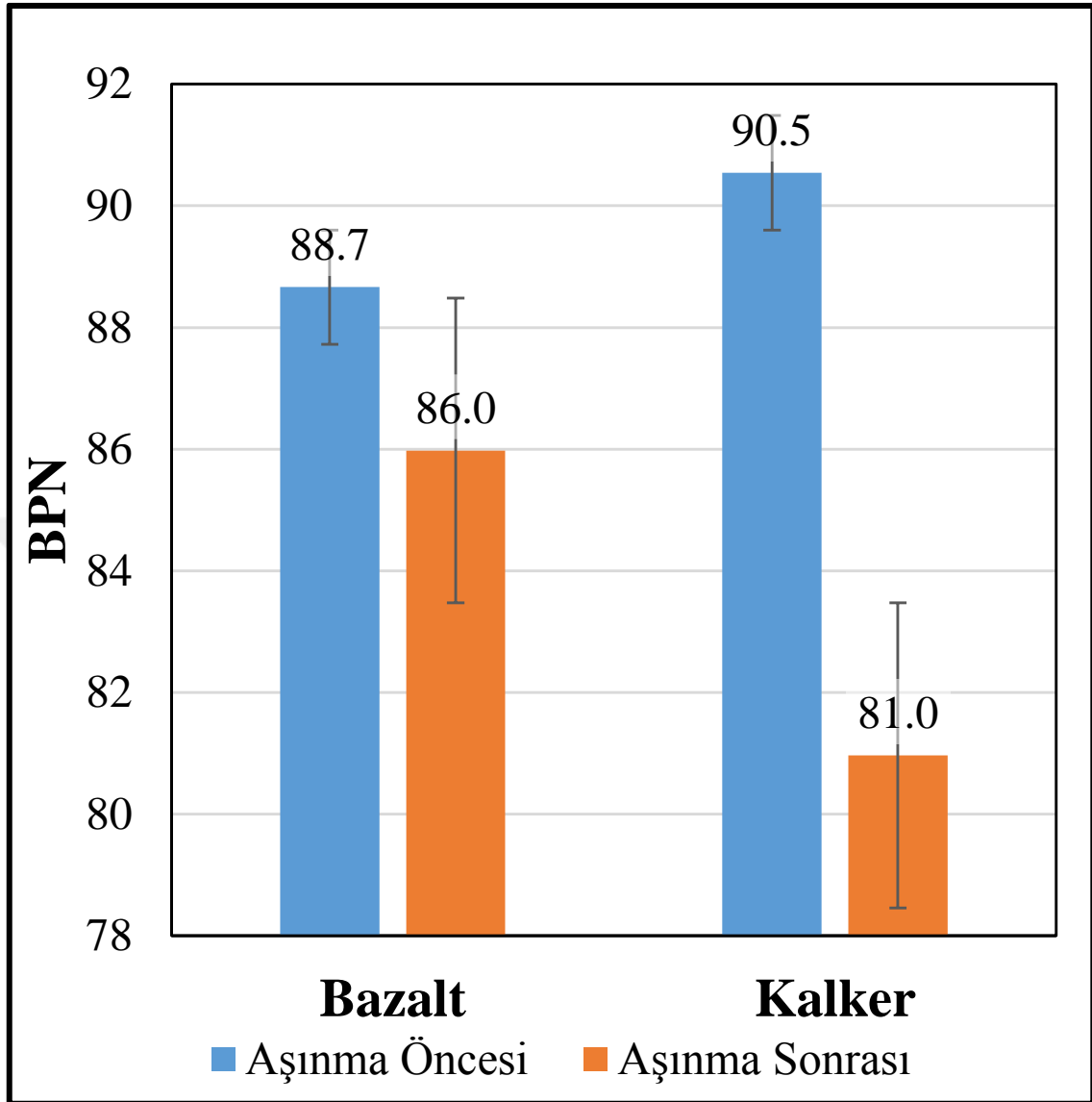
Şekil 6.34 ve Şekil 6.35, kalker ve bazalt numunelerinin gradasyon bazlı BPN değişimlerini göstermektedir. Grafiklerde görüldüğü üzere, kalker numunelerinin aynı gradasyona sahip bazalt numunelerine göre daha fazla BPN değişim değerlerine sahip olmaktadır.



Şekil 6.34. Gradasyon Bazlı BPN Değişim Değerleri (Bazalt ve Kalker)



Şekil 6.35. Gradasyon Bazlı BPN Değişim (%) Değerleri (Bazalt ve Kalker)

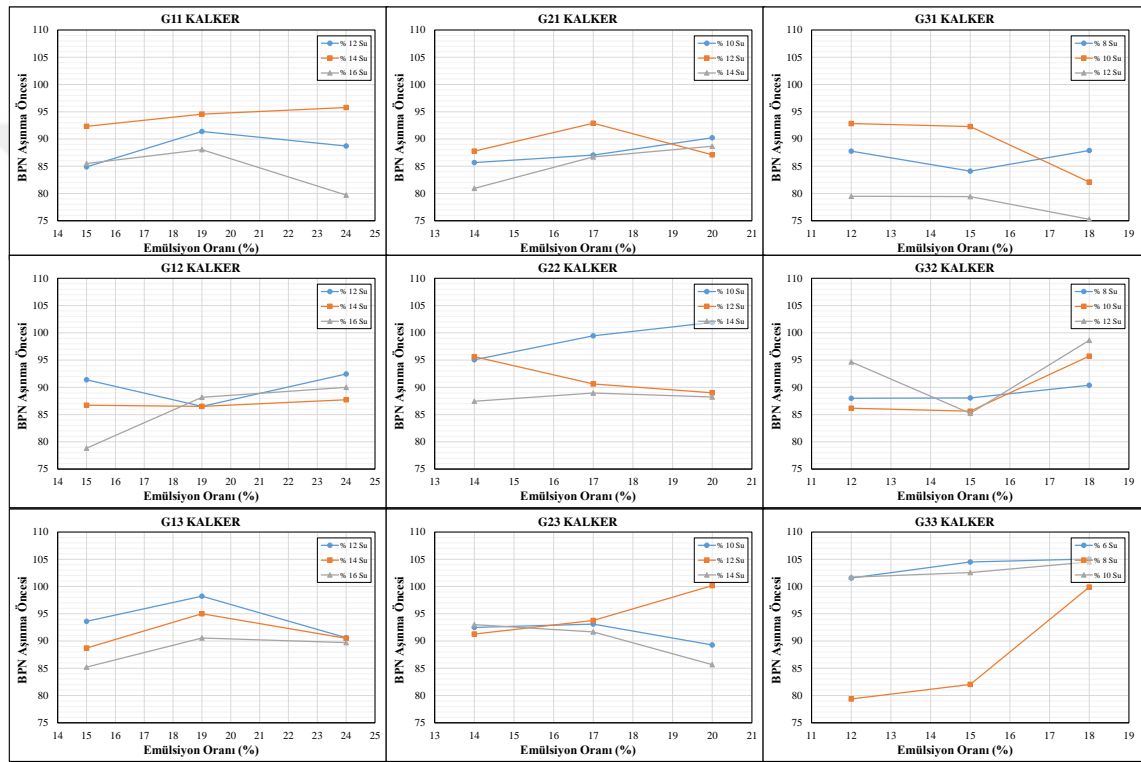


Şekil 6.36. Aşınma Etkisindeki BPN Değerleri (Bazalt ve Kalker)

Şekil 6.36, kalker ve bazalt agregalarıyla oluşturulan numunelerin aşınma etkisindeki BPN değerlerinin ortalamasını göstermektedir. Grafikte görüldüğü gibi, aşınma öncesi bazalt numunelerinin BPN değeri 88.7 ve kalker numunelerinin BPN değeri 90.5 olmaktadır. Aşınma öncesinde kalker numunelerinin BPN değerleri bazalt numunelerine göre fazla çıkmaktadır. Fakat, aşınma sonrasında bazalt numuneleri mevcut yüzey özelliğini korumakta ve kalker numunelerine göre daha fazla BPN değerine sahip olmaktadır. Aşınma sonrasında bazalt numunelerinin BPN değeri 86.0 ve kalker numunelerinin BPN değeri 81.0 olmaktadır. Sonuç olarak, bazalt numunelerinin aşınma etkisinde görülen yüzey özelliği değişiminin daha az olduğu ve kalker numunelerine göre daha kaliteli bir yapıya sahip olduğu ortaya çıkmaktadır.

6.2.5. Emülsiyon ve Su Oranlarının BPN Üzerindeki Etkisi

Bu bölümde, farklı gradasyondaki farklı agrega türlerine sahip farklı emülsiyon ve su oranlarındaki HTK numunelerinin aşınma öncesi ve aşınma sonrası elde edilen BPN değerlerine etki eden emülsiyon ve su oranlarına yer verilmiştir. Kalker ve bazalt numunelerine ait aşınma öncesi emülsiyon ve su oranlarının BPN üzerindeki etkisi aşağıdaki şekillerde (Şekil 6.37 ve Şekil 6.38) gösterilmektedir.

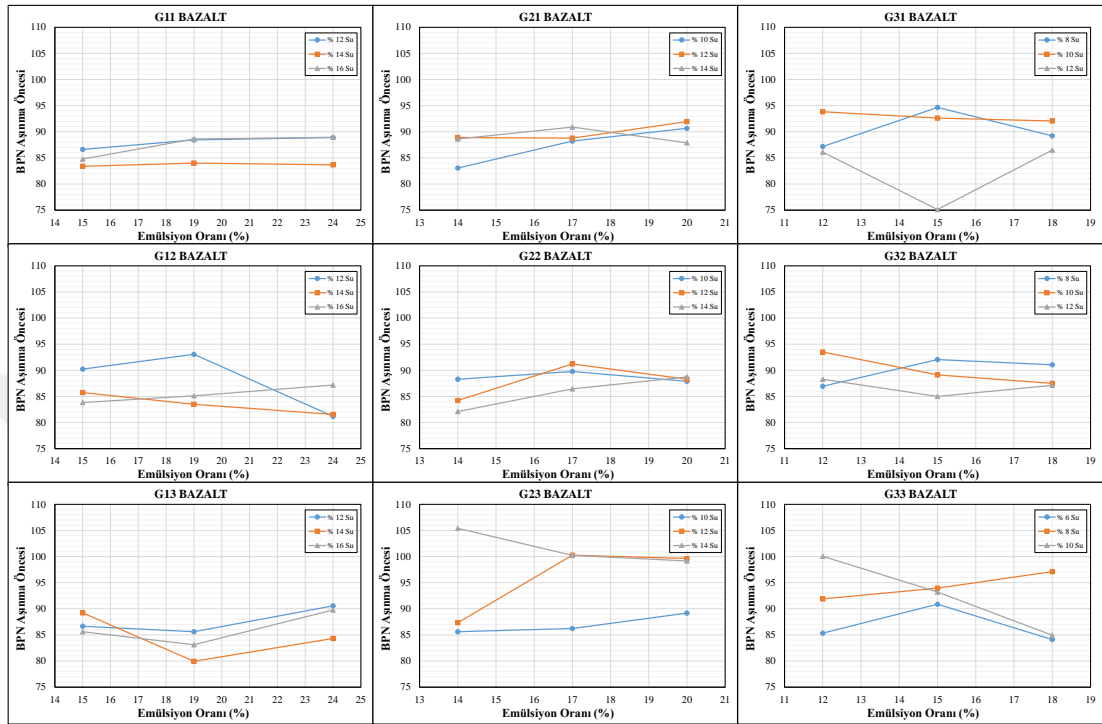


Şekil 6.37. Aşınma Öncesi Emülsiyon ve Suyun BPN Üzerindeki Etkisi (Kalker)

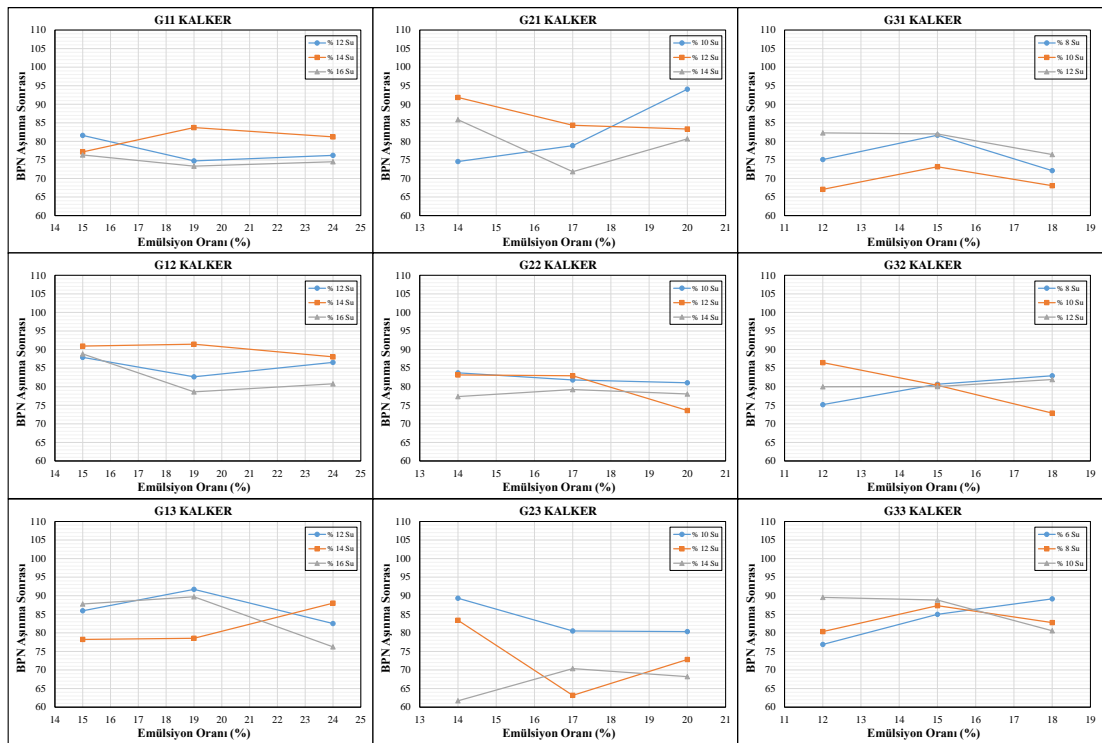
Şekil 6.37 ve Şekil 6.38, kalker ve bazalt numunelerinin aşınma öncesi emülsiyon ve su oranlarının BPN üzerindeki etkisini göstermektedir. Farklı emülsiyon ve su oranlarının ortaya çıkmasıyla BPN değerinin değişimi ile ilgili doğrusal bir ilişki yoktur. Aynı emülsiyon ve aynı agrega gradasyonuna sahip numunelerin su miktarı arttıkça BPN değeri azalmakta veya artmaktadır.

Şekil 6.39 ve Şekil 6.40, kalker ve bazalt numunelerinin aşınma sonrası emülsiyon ve su oranlarının BPN üzerindeki etkisini göstermektedir. Farklı emülsiyon ve su oranlarının ortaya çıkmasıyla BPN değerinin değişimi ile ilgili doğrusal bir ilişkinin olmadığı

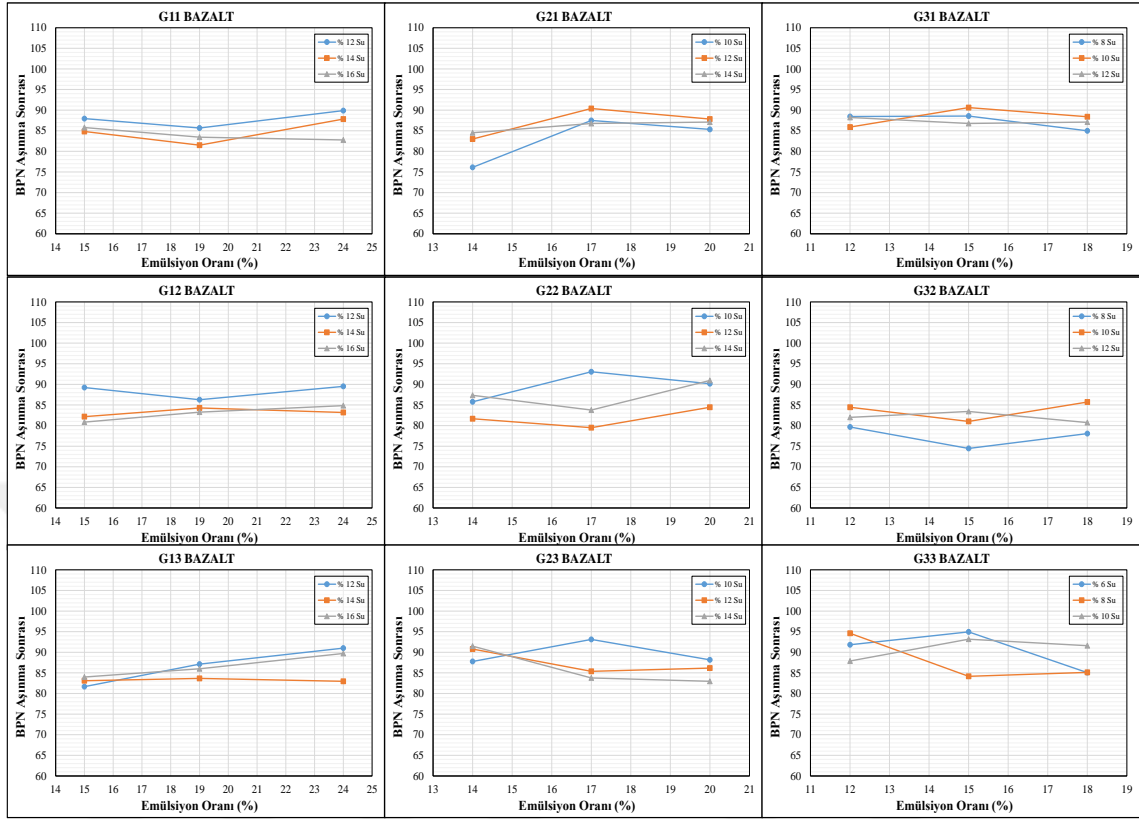
gözlenmektedir. Aynı emülsiyon ve aynı agrega gradasyonuna sahip numunelerin su miktarı arttıkça BPN değeri azalmakta veya artmaktadır.



Şekil 6.38. Aşınma Öncesi Emülsiyon ve Suyun BPN Üzerindeki Etkisi (Bazalt)



Şekil 6.39. Aşınma Sonrası Emülsiyon ve Suyun BPN Üzerindeki Etkisi (Kalker)



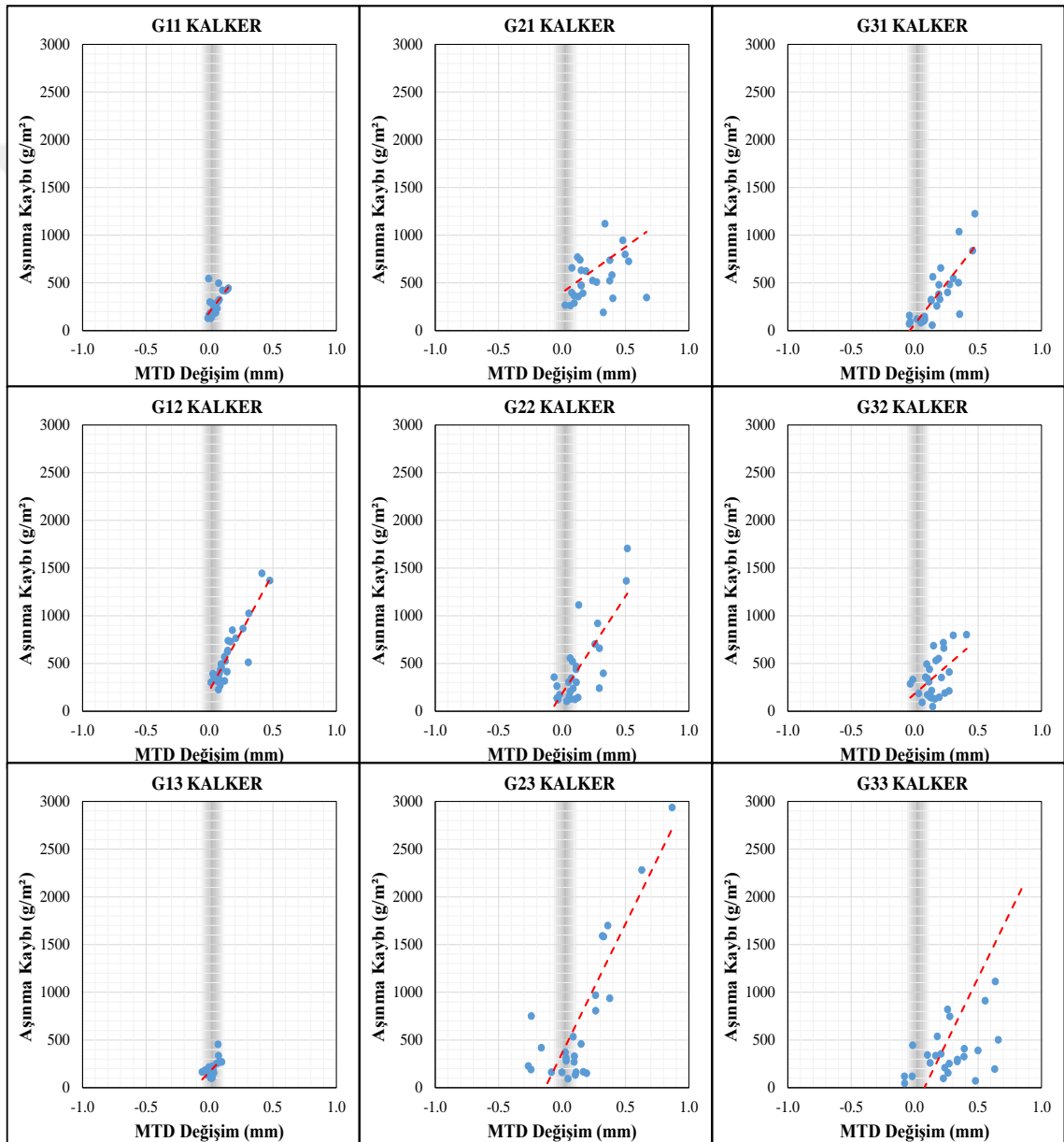
Şekil 6.40. Aşınma Sonrası Emülsiyon ve Suyun BPN Üzerindeki Etkisi (Bazalt)

6.2.6. Aşınma Kaybı ve MTD Değişim Sonuçlarının Karşılaştırılması

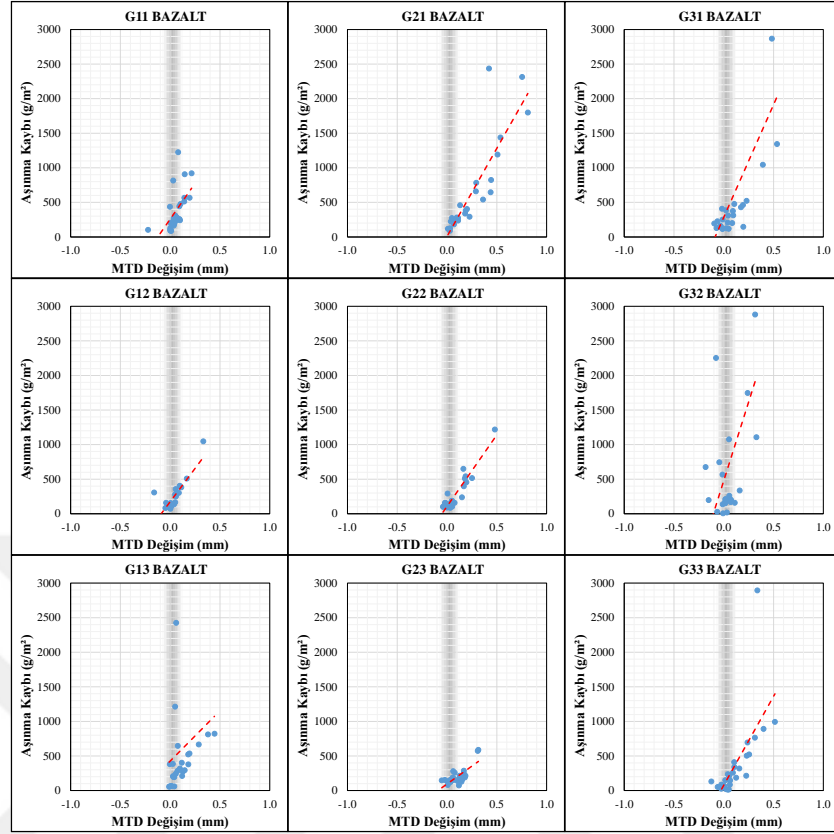
Bu bölümde, farklı gradasyondaki farklı agrega türlerine sahip farklı emülsiyon ve su oranlarındaki HTK numunelerinden elde edilen aşınma kaybı ve MTD değerleri karşılaştırılmıştır. Aşınma etkisiyle değişen MTD değerleri incelenmiştir. Aşağıdaki şekillerde (Şekil 6.41, Şekil 6.42, Şekil 6.43 ve Şekil 6.44) aşınma kaybına bağlı olarak değişen MTD değerleri hem rakamsal hem de yüzdesel olarak gösterilmektedir.

Şekil 6.41, Şekil 6.42, Şekil 6.43 ve Şekil 6.44, aşınma kaybına bağlı olarak değişen MTD değerlerini göstermektedir. Grafiklerde görüldüğü gibi, kalker ve bazalt numunelerinin MTD değişimi bütün gradasyonlarda genellikle sıfırdan büyüktür. Oluşturulan doğrusal eğilim çizgilerinin eğimi kalker numunelerinde daha az iken bazalt numunelerinde daha fazladır. Ayrıca, eğilim çizgileri bazalt numunelerinde daha ortaya toplanmış ve sıfır değerine daha yakın olacak şekilde yerleşmiştir. Son olarak, ince gradasyonlu numunelerin aşınma kaybına bağlı MTD değişimi daha dar bir alana toplanmıştır. İri

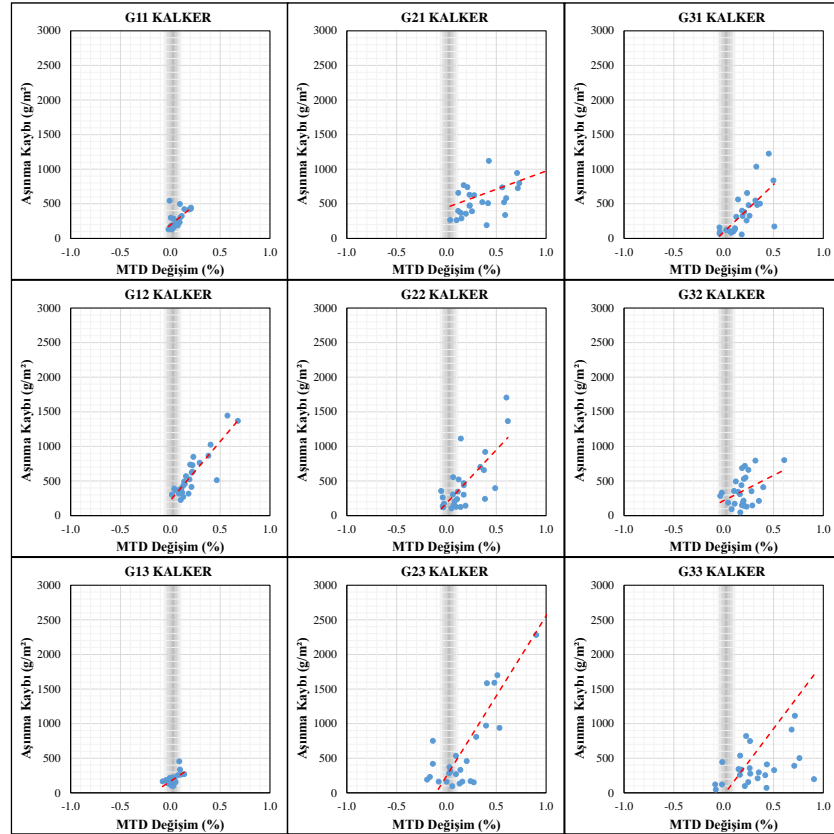
gradasyonlu numunelerin aşınma kaybına bağlı MTD değişimleri daha geniş bir alana yayılmıştır. Bu sonuçlara göre, kalker ve bazalt numunelerine ait MTD değişim değerleri aşınma kaybına bağlı olarak artmaktadır. Fakat bu artış kalker numunelerinde bazalt numunelerine göre daha fazla olmaktadır. Üretimi gerçekleştirilen harç tipi kaplama numunelerinden bazalt numunelerinin kalker numunelerine göre mevcut durumunu daha fazla koruma eğiliminde olduğu görülmektedir.



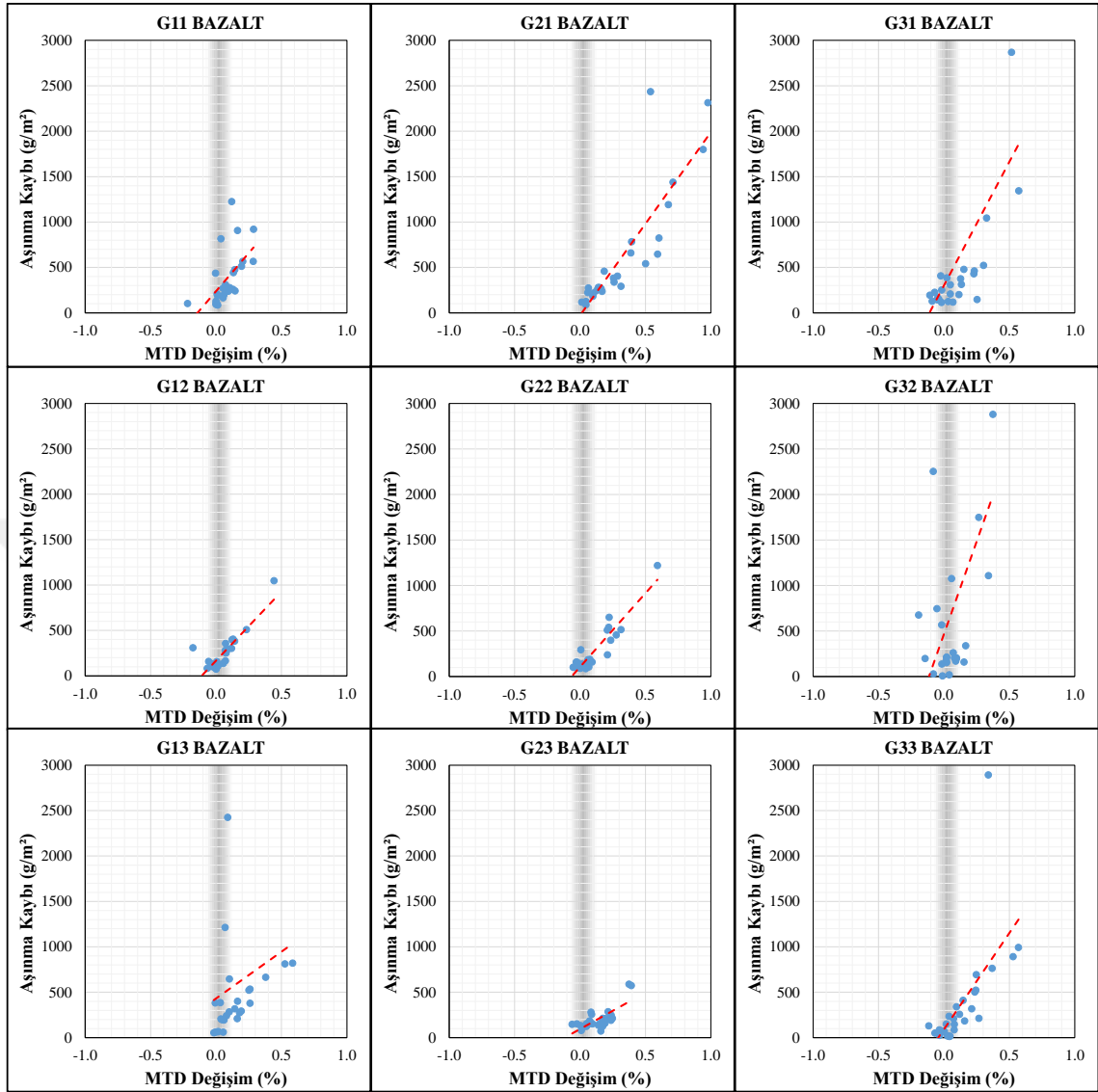
Şekil 6.41. Aşınma Kaybına Bağlı MTD Değişimi (Kalker)



Şekil 6.42. Aşınma Kaybına Bağlı MTD Değişimi (Bazalt)



Şekil 6.43. Aşınma Kaybına Bağlı MTD (%) Değişimi (Kalker)

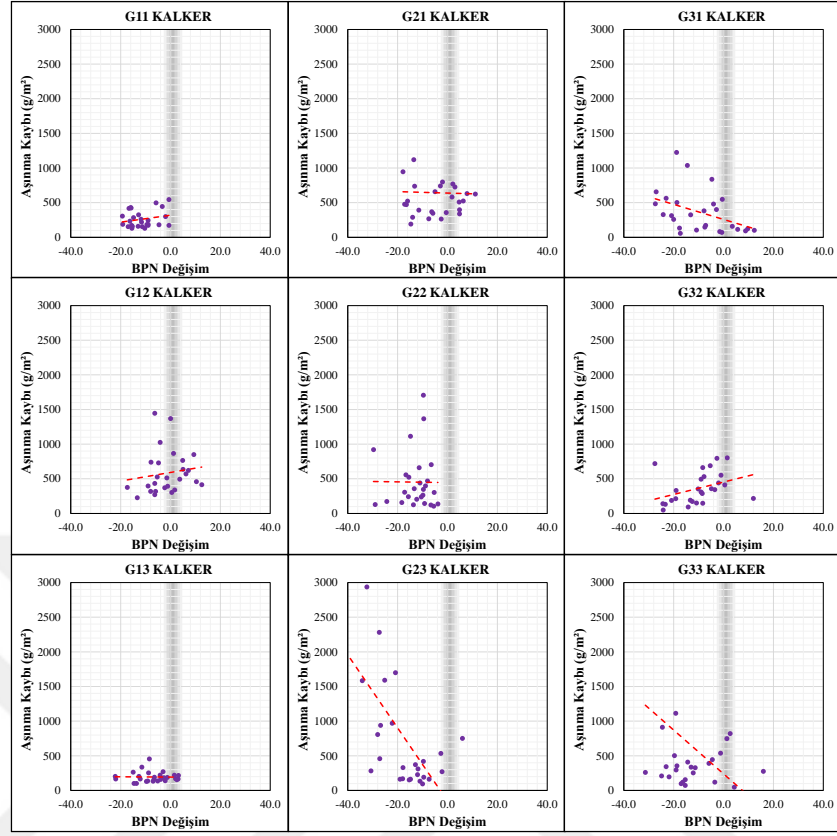


Şekil 6.44. Aşınma Kaybına Bağlı MTD (%) Değişimi (Bazalt)

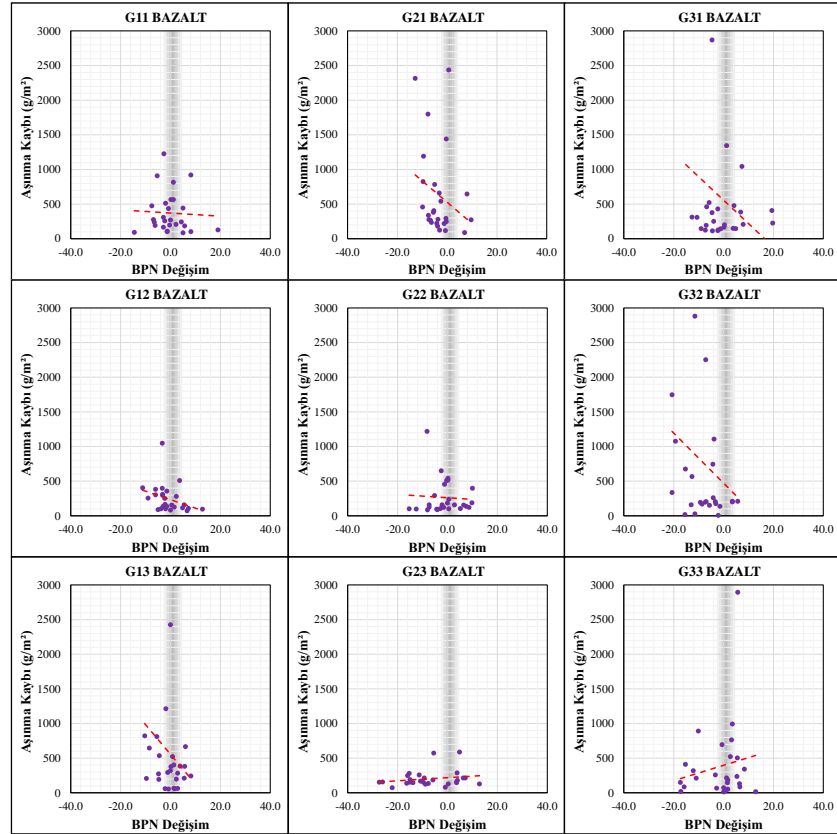
6.2.7. Aşınma Kaybı ve BPN Sonuçlarının Karşılaştırılması

Bu bölümde, farklı gradasyondaki farklı agrega türlerine sahip farklı emülsiyon ve su oranlarındaki HTK numunelerinin elde edilen aşınma kaybı ve BPN değerleri karşılaştırılmıştır. Aşınma etkisiyle değişen BPN değerleri incelenmiştir.

Aşağıdaki şekillerde (Şekil 6.45, Şekil 6.46, Şekil 6.47 ve Şekil 6.48) aşınma kaybına bağlı olarak değişen BPN değerleri hem rakamsal hem de yüzdesel olarak gösterilmektedir.

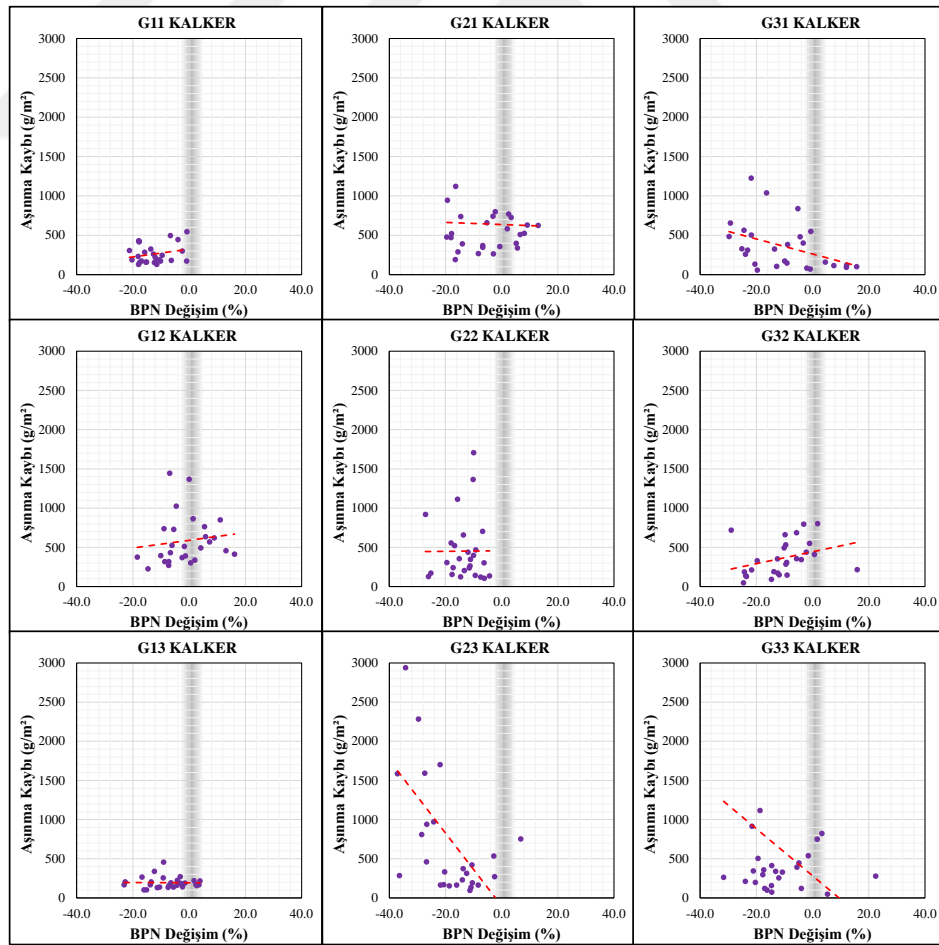


Şekil 6.45. Aşınma Kaybına Bağlı BPN Değişimi (Kalker)

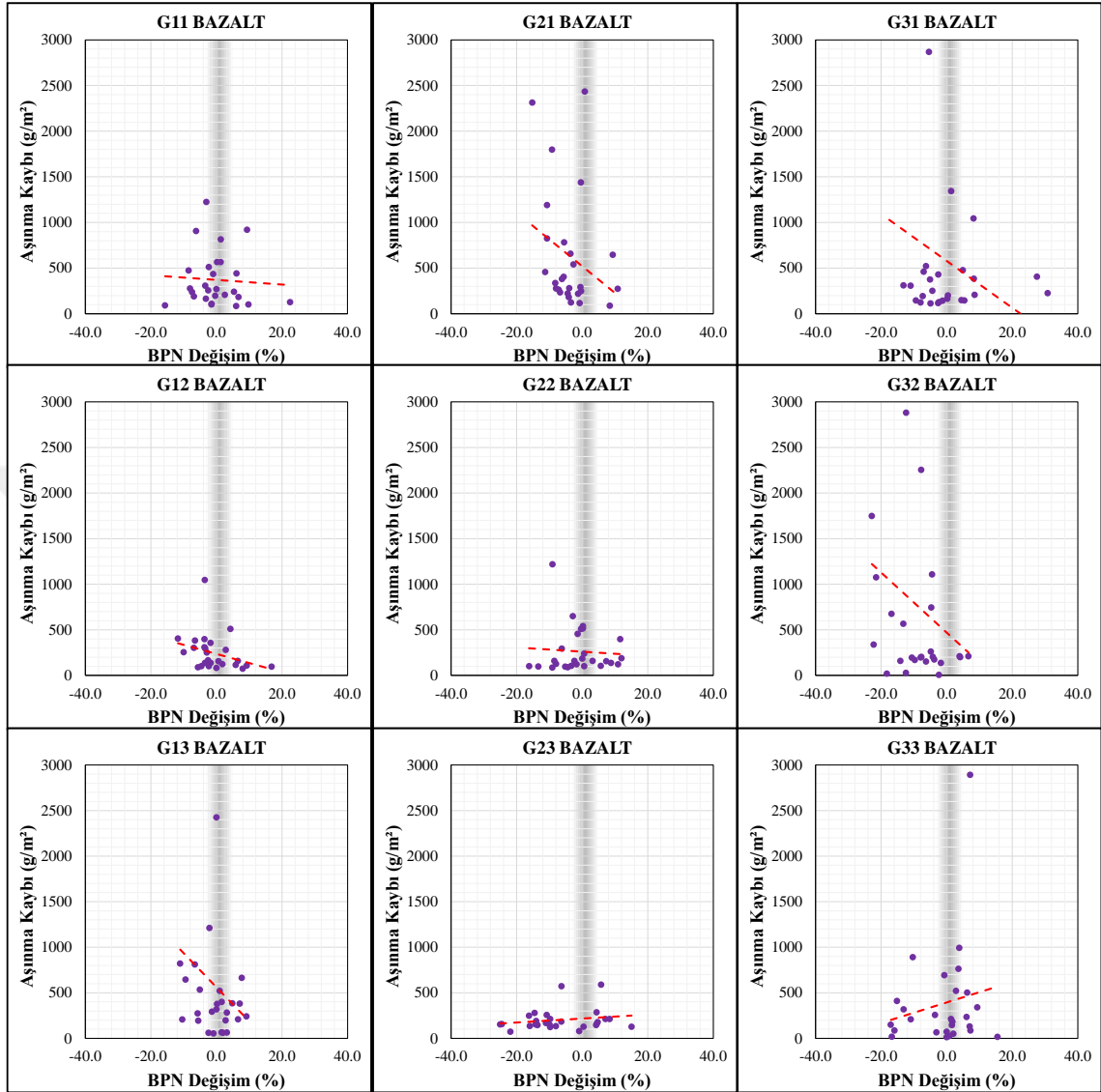


Şekil 6.46. Aşınma Kaybına Bağlı BPN Değişimi (Bazalt)

Şekil 6.45, Şekil 6.46, Şekil 6.47 ve Şekil 6.48, aşınma kaybına bağlı olarak değişen BPN değerlerini göstermektedir. Grafiklerde görüldüğü gibi, kalker ve bazalt numunelerinin BPN değişimi bütün gradasyonlarda genellikle sıfırdan küçük olup negatif değerlidir. Başka bir deyişle, kalker ve bazalt numunelerinin aşınma sonrası BPN değerlerinde çoğunlukla azalma meydana gelmiştir. Oluşturulan doğrusal eğilim çizgileri, kalker numunelerinde sıfırdan küçük bölgede yer alırken bazalt numunelerinde biraz daha sıfıra yakın bölgede bulunmaktadır. Son olarak, ince gradasyonlu numunelerin aşınma kaybına bağlı BPN değişimi daha dar bir alana toplanmıştır. İri gradasyonlu numunelerin aşınma kaybına bağlı BPN değişimleri daha geniş bir alana yayılmıştır. Bu sonuçlara göre, kalker ve bazalt numunelerine ait BPN değişim değerleri aşınma kaybına bağlı olarak azalmaktadır. Fakat bu azalış kalker numunelerinde bazalt numunelerine göre daha fazla olmaktadır. Bazalt numunelerinin mevcut durumunu koruma eğiliminde olduğu görülmektedir.



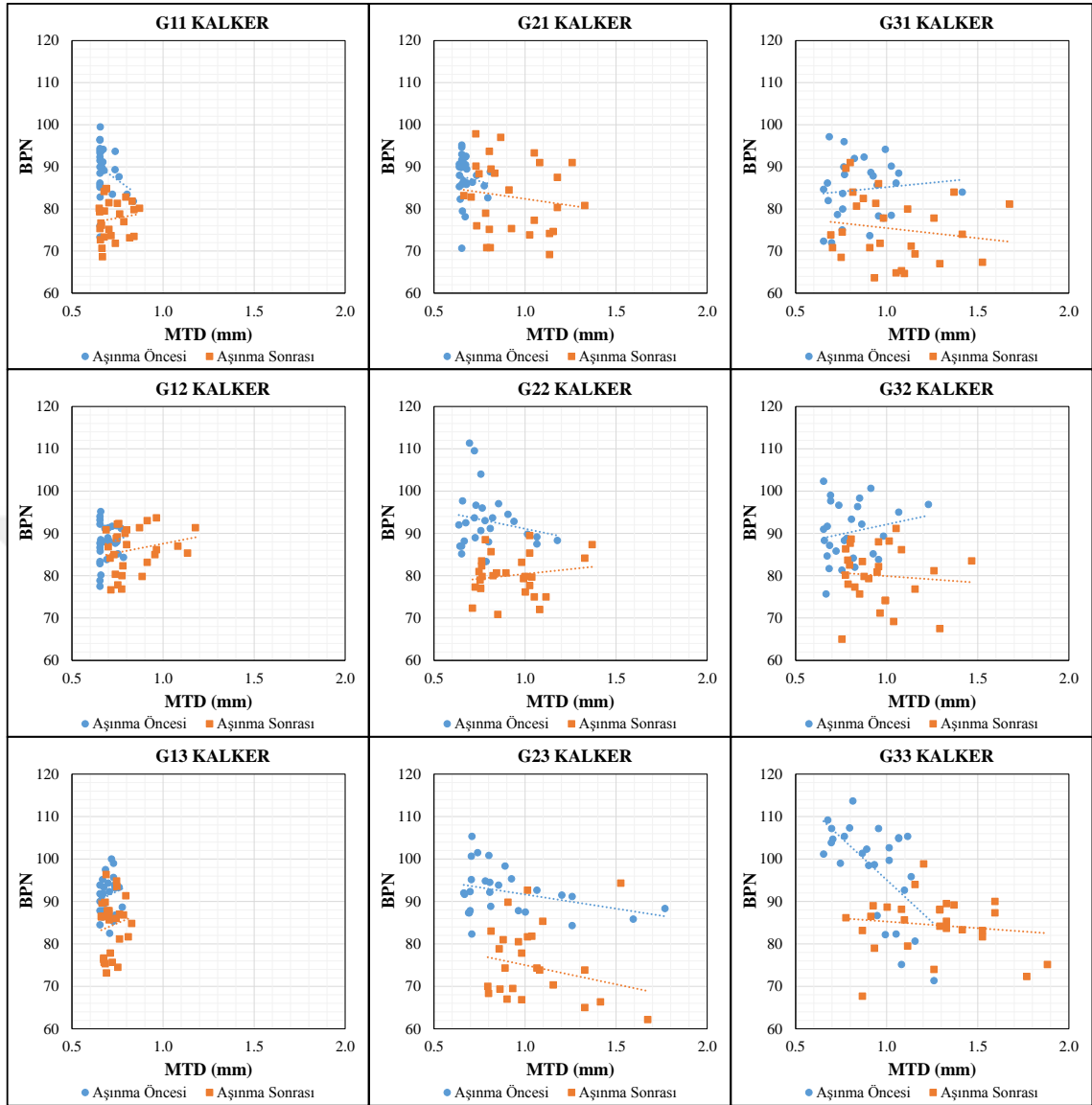
Şekil 6.47. Aşınma Kaybına Bağlı BPN (%) Değişimi (Kalker)



Şekil 6.48. Aşınma Kaybına Bağlı BPN (%) Değişimi (Bazalt)

6.2.8. MTD ve BPN Sonuçlarının Karşılaştırılması

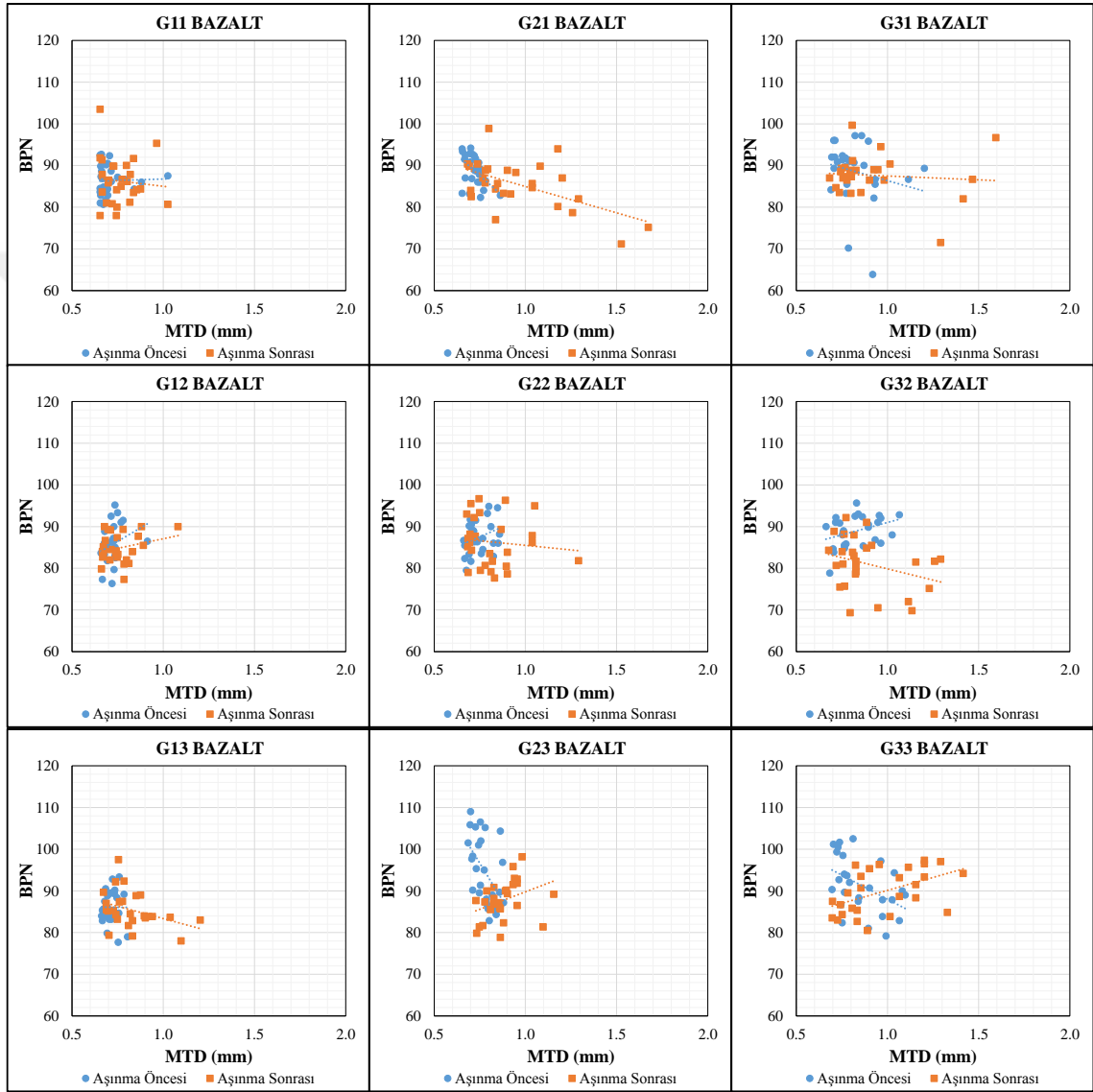
Bu bölümde, farklı gradasyondaki farklı agrega türlerine sahip farklı emülsiyon ve su oranlarındaki HTK numunelerinden elde edilen MTD ve BPN değerleri karşılaştırılmıştır. MTD ve BPN değerlerinin arasındaki ilişki incelenmiştir. Kalker ve bazalt numunelerine ait aşınma öncesi ve aşınma sonrası MTD ve BPN sonuçları aşağıdaki grafiklerde (Şekil 6.49 ve Şekil 6.50) karşılaştırılmıştır.



Şekil 6.49. Aşınma Öncesi ve Sonrası MTD ve BPN Karşılaştırılması (Kalker)

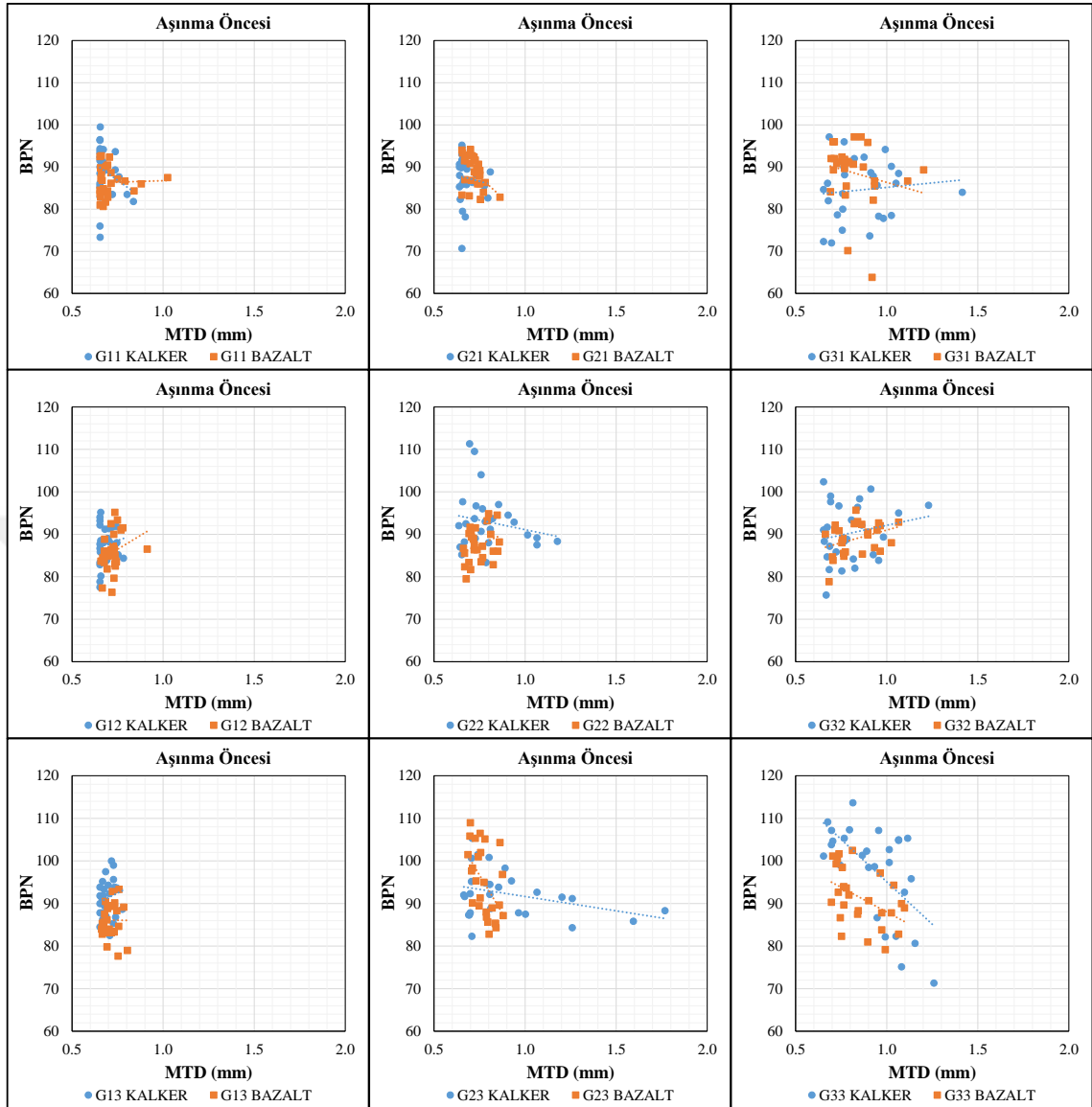
Şekil 6.49 ve Şekil 6.50, aşınma öncesi ve sonrası MTD ve BPN değerleri arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Oluşturulan doğrusal eğilim çizgilerine bakıldığında aşınma öncesi eğilim çizgisinin aşınma sonrası eğilim çizgisinden daha yukarıda olduğu gözlenmektedir. Bu eğilim çizgileri, bazalt numunelerinde yatay eksendeki mevcut durumunu korumaktadır. Kalker numunelerinde ise bu eğilim çizgileri hem aşağı yönlü hareket etmekte yani BPN değerleri düşmekte hem de sağ yönlü hareket etmektedir yani MTD değerleri artmaktadır. Ayrıca, grafikte görülen noktalar bazalt numunelerinde aşınma öncesi ve sonrasında kalker numunelerine göre fazla yer değiştirmemekte ve mevcut durum korunmaktadır. Kalker numunelerinde aşınma etkisiyle noktalar daha fazla alana yayılmaktadır. Son olarak, ince gradasyonlu numunelerde daha dar bir alana

toplanma olurken iri gradasyonlu numunelerde toplanma daha geniş bir alanda yer almaktadır. Bu sonuçlara göre, MTD değerlerinin BPN değerlerine doğrudan bağlı olmadığı, MTD değerleri sabit kalsa bile BPN değerlerinin azalabileceği veya sabit kalabileceği çıkarımı yapılabilmektedir.



Şekil 6.50. Aşınma Öncesi ve Sonrası MTD ve BPN Karşılaştırılması (Bazalt)

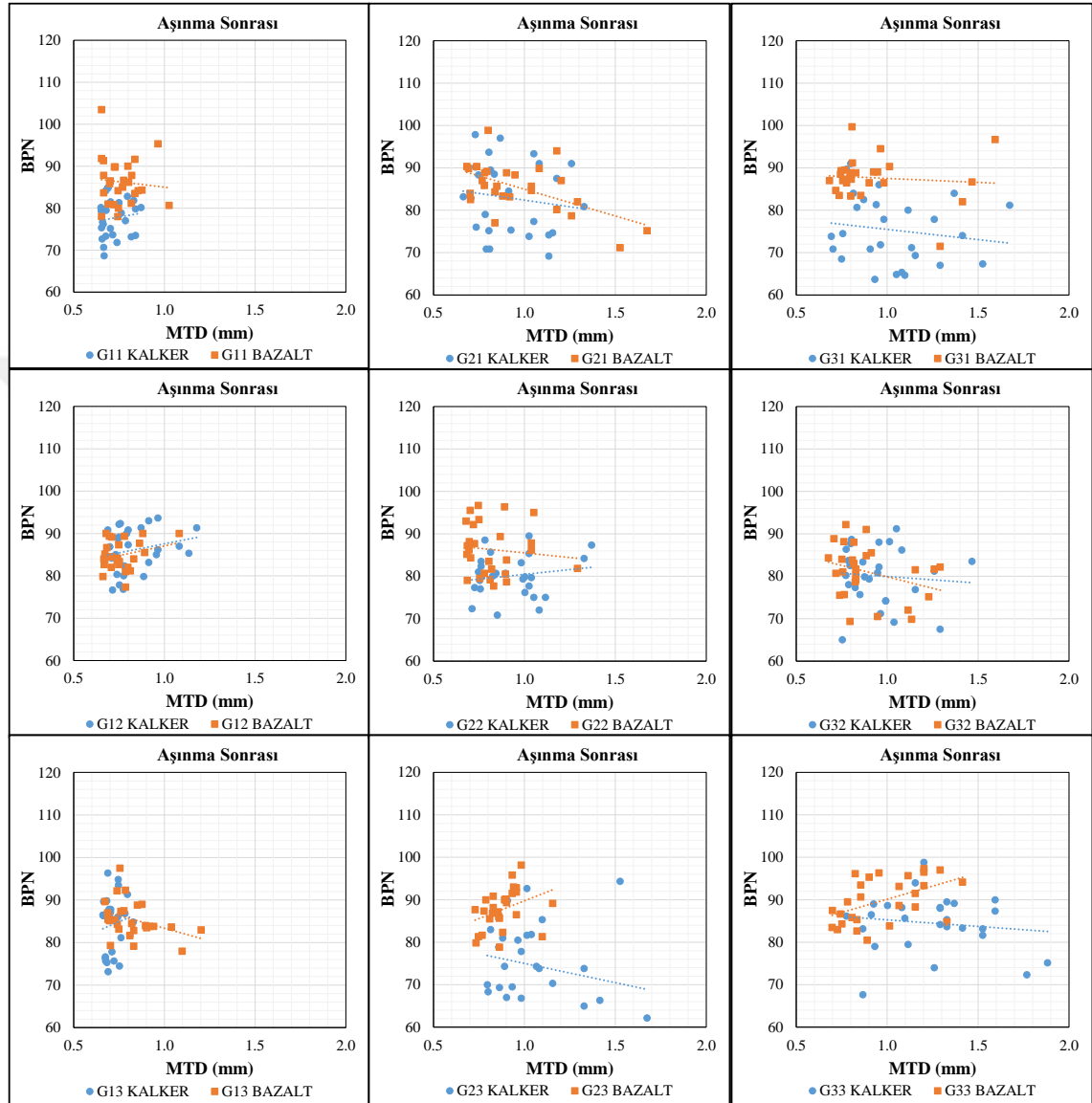
Aşağıdaki grafiklerde (Şekil 6.51 ve Şekil 6.52) ise kalker ve bazalt numunelerinin MTD ve BPN değerleri arasındaki ilişki aşınma öncesi ve sonrası haliyle aynı gradasyona göre gösterilmektedir.



Şekil 6.51. MTD ve BPN Sonuçlarının Karşılaştırılması (Aşınma Öncesi)

Şekil 6.51 ve Şekil 6.52, aynı gradasyona sahip kalker ve bazalt numunelerinin MTD ve BPN değerleri arasındaki ilişkiyi aşınma öncesi ve sonrası haliyle göstermektedir. Oluşturulan eğilim çizgilerine bakıldığı zaman çoğu grafikte bu çizgilerin yatay seyrettiği görülmektedir. Başka bir deyişle, MTD değerinin artması veya azalması BPN değerine doğrudan etki etmediği anlaşılmaktadır. Kalker ve bazalt numunelerinin oluşturduğu noktalar bulutu aşınma öncesi üst üste binmiş durumda iken aşınma sonrasında bu noktalar bulutu biraz daha birbirinden uzaklaşmaktadır. Kalker numunelerinde aşınma etkisiyle noktalar daha fazla alana yayılmaktadır. Son olarak, ince gradasyonlu numunelerde daha dar bir alana toplanma olurken iri gradasyonlu numunelerde toplanma daha geniş bir alana yayılmaktadır. Bu sonuçlara göre, MTD değerlerinin BPN

değerlerine doğrudan bağlı olmadığı, MTD değerleri sabit kalsa bile BPN değerlerinin azalabileceği veya sabit kalacağı çıkarımı yapılabilmektedir.



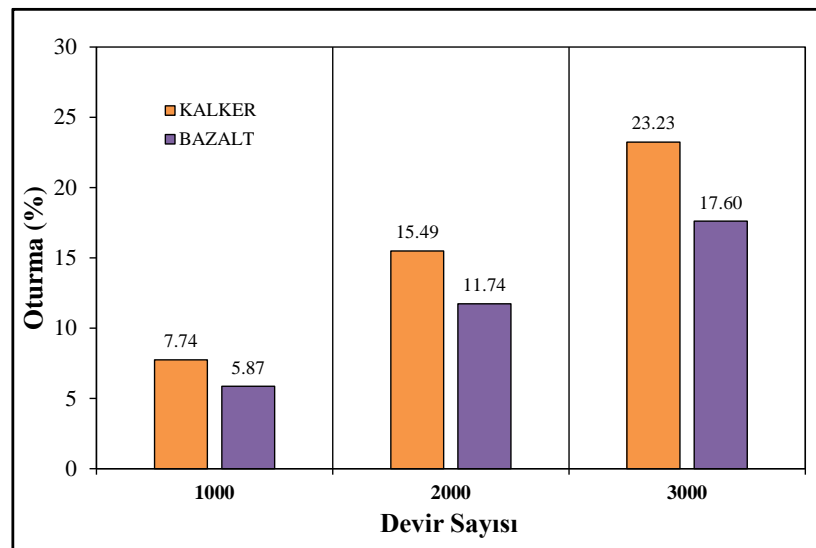
Şekil 6.52. MTD ve BPN Sonuçlarının Karşılaştırılması (Aşınma Sonrası)

6.2.9. Tekerlek İzi Deneyi Sonuçları

Farklı gradasyon ve farklı agrega türüne sahip HTK numuneleri tekerlek izi deneyine tabi tutularak oturma, şişme, oturma eğimi ve şişme eğimi değerleri hesaplanmış ve performans özellikleri incelenmiştir. Aşağıdaki tabloda (Tablo 6.1), elde edilen sonuçlar farklı emülsiyon ve su oranlarıyla birlikte verilmiştir.

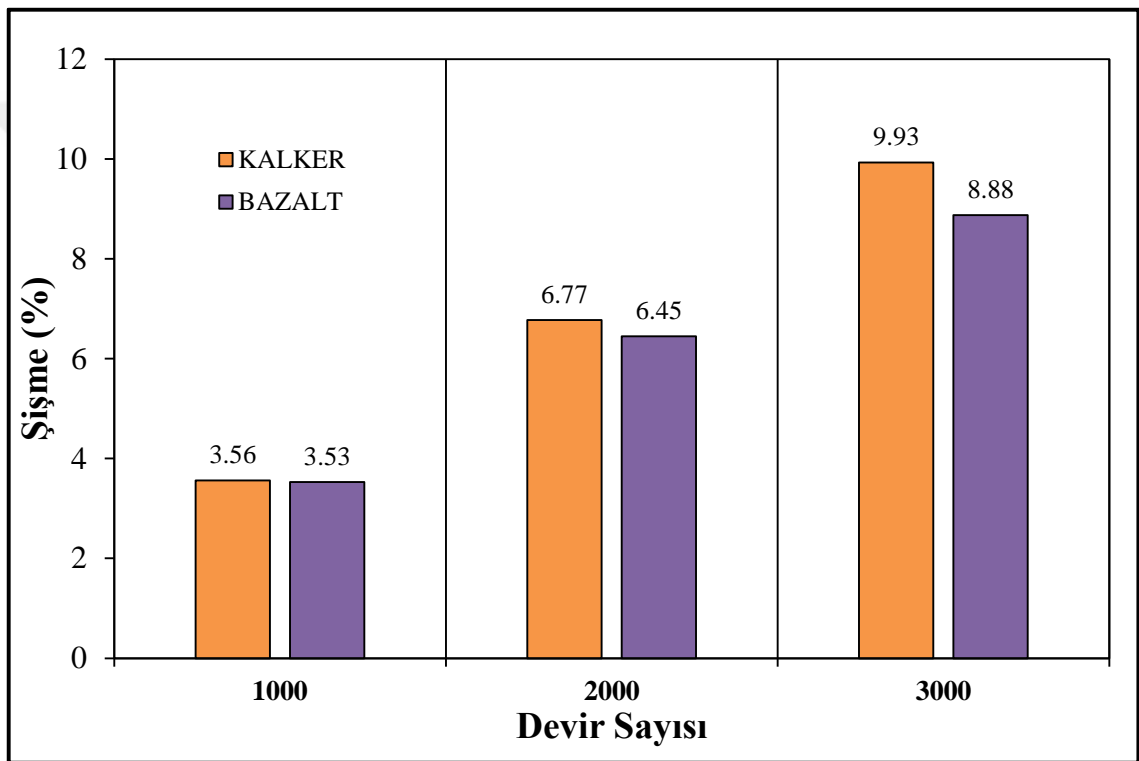
Tablo 6.1. Tekerlek İzi Deneyi Sonuçları

Kod	Emülsiyon Oranı (%)	Su Oranı (%)	Oturma Eğimi (%)	İlk Kalınlık (mm)	Şişme Eğimi (%)	Oturma (1000 Devir) (%)	Oturma (2000 Devir) (%)	Oturma (3000 Devir) (%)	Şişme (1000 Devir) (%)	Şişme (2000 Devir) (%)	Şişme (3000 Devir) (%)
K82	14	10	0.0424	4.77	0.0048	8.8	17.6	26.4	7.2	12.0	16.4
K83	17	10	0.0410	4.62	0.0056	9.6	19.2	28.8	6.3	13.0	16.4
K83	20	10	0.0353	3.83	0.0030	8.2	16.5	24.7	2.4	5.3	8.8
K84	14	12	0.0393	4.72	0.0019	7.2	14.4	21.5	3.0	5.1	6.6
K84	17	12	0.0379	5.01	0.0032	6.9	13.8	20.7	3.4	6.3	10.2
K85	20	12	0.0354	5.02	0.0034	7.3	14.5	21.8	2.6	5.7	9.7
K85	14	14	0.0414	5.67	0.0020	6.9	13.7	20.6	2.1	3.8	6.6
K86	17	14	0.0306	4.64	0.0009	5.9	11.9	17.8	2.4	3.0	3.8
K86	20	14	0.0427	4.79	0.0034	8.9	17.8	26.7	2.6	6.6	10.8
B82	14	10	0.0243	5.34	0.0018	4.6	9.2	13.8	3.4	5.8	6.9
B83	17	10	0.0247	4.90	0.0033	4.5	8.9	13.4	3.0	7.4	9.7
B84	20	10	0.0223	5.79	0.0034	4.8	9.7	14.5	3.3	6.4	10.0
B85	14	12	0.0493	5.54	0.0018	8.2	16.4	24.6	2.5	4.1	5.9
B86	17	12	0.0336	6.19	0.0019	6.1	12.2	18.4	2.3	4.4	5.8
B87	20	12	0.0341	6.56	0.0020	5.8	11.5	17.3	2.2	4.6	6.2
B88	14	14	0.0370	5.94	0.0036	6.5	13.1	19.6	4.9	9.4	11.5
B89	17	14	0.0372	5.78	0.0036	6.4	12.7	19.1	4.9	8.5	11.6
B90	20	14	0.0315	5.34	0.0032	6.0	11.9	17.9	5.3	7.4	12.3



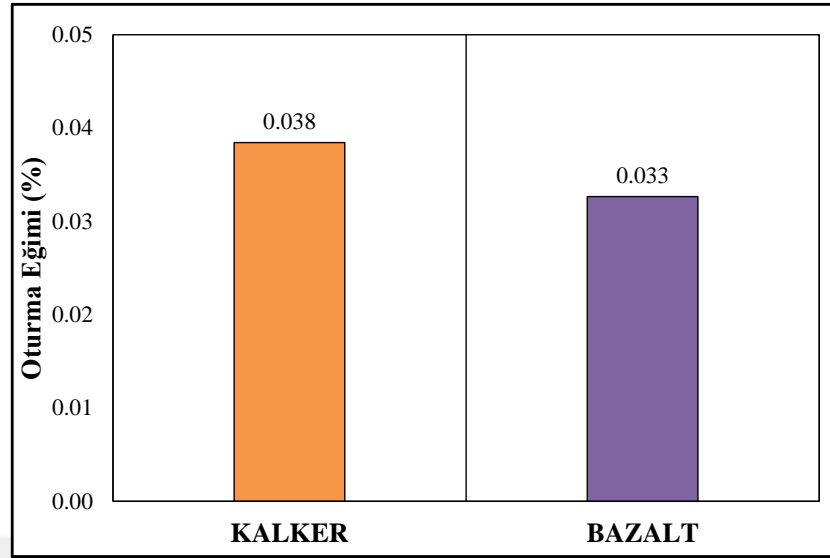
Şekil 6.53. Oturma Sonuçları (1000, 2000, 3000 Devir)

Şekil 6.53, bazalt ve kalker kullanılarak üretilen HTK numunelerinin tekerlek izi etkisindeki oturma sonuçlarını göstermektedir. Kalker numunelerinin 1000, 2000 ve 3000 devir sonrası oturma değerleri sırasıyla % 7.74, % 15.49 ve % 23.23 olmaktadır. Bazalt numunelerinin ise 1000, 2000 ve 3000 devir sonrası oturma değerleri sırasıyla % 5.87, % 11.74 ve % 17.60 olmaktadır. Sonuç olarak, bazalt numunelerinin tekerlek izi oturma değerlerinin daha iyi olduğu ve kalkere göre daha iyi bir performans gösterdiği görülmüştür.



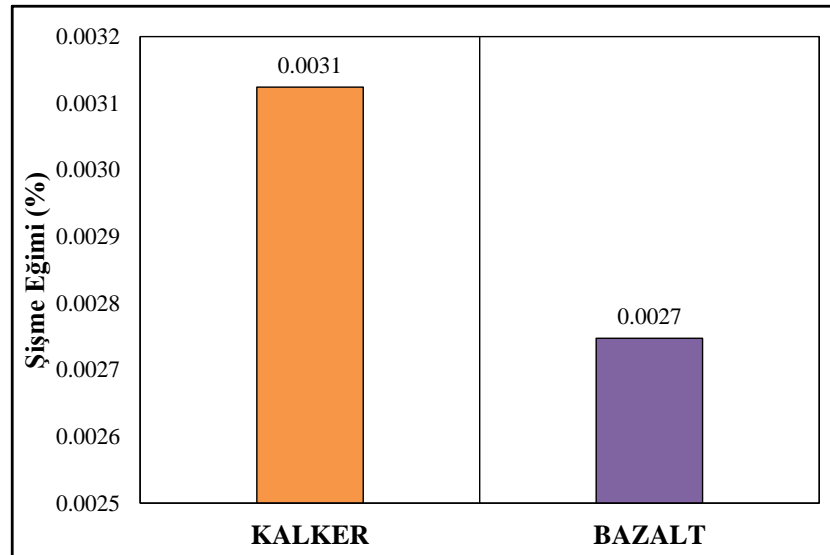
Şekil 6.54. Şişme Sonuçları (1000, 2000, 3000 Devir)

Şekil 6.54, bazalt ve kalker kullanılarak üretilen HTK numunelerinin tekerlek izi etkisindeki şişme sonuçlarını göstermektedir. Kalker numunelerinin 1000, 2000 ve 3000 devir sonrası oturma değerleri sırasıyla % 3.56, % 6.77 ve % 9.93 olmaktadır. Bazalt numunelerinin ise 1000, 2000 ve 3000 devir sonrası oturma değerleri sırasıyla % 3.53, % 6.45 ve % 8.88 olmaktadır. Sonuç olarak, her ne kadar kalker ve bazalt numunelerinin ilk aşamada şişme değerleri birbirine yakın olsa da bu değerler devir sayısının artırılmasıyla birlikte birbirinden uzaklaşmaktadır. Dolayısıyla, bazalt numunelerinin kalker numunelerine göre uzun vadede daha iyi bir performans gösterdiği görülmektedir.



Şekil 6.55. Oturma Eğimi Değerleri

Kalker ve bazalt kullanılarak üretilen HTK numunelerinin oturma eğimi değerleri hesaplanmış ve bu değerlerin ortalaması alınarak agrega türüne ait oturma eğimi değerleri (Şekil 6.55) ortaya çıkarılmıştır. Kalker ve bazalt karışımlarında oturma eğimi değerleri sırasıyla % 0.038 ve % 0.033 olarak bulunmuştur. Daha az oturma eğimi değerine sahip bazalt numunesinin daha iyi bir performans özelliğine sahip olduğu görülmüştür.



Şekil 6.56. Şişme Eğimi Değerleri

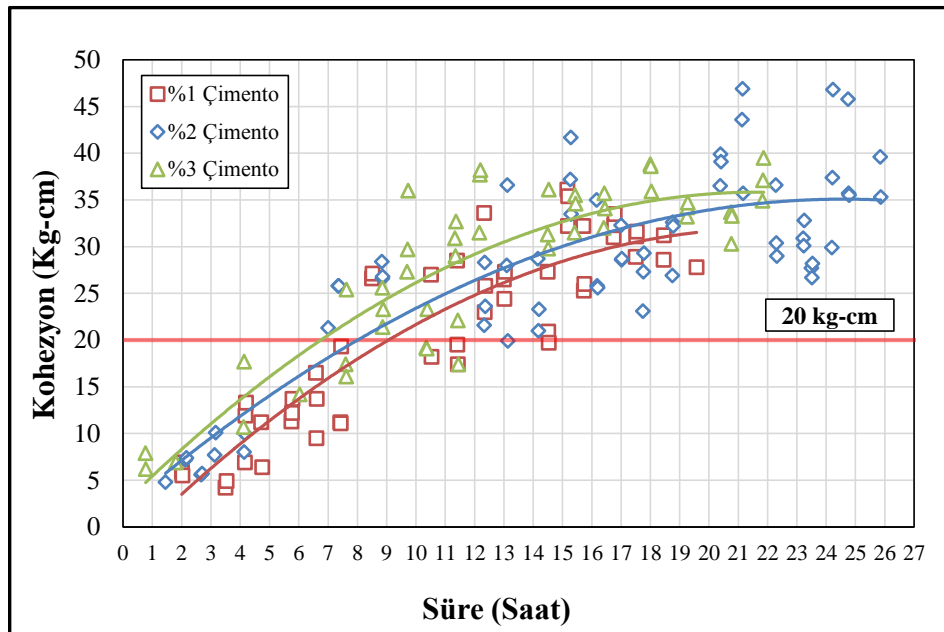
Ayrıca, kalker ve bazalt kullanılarak üretilen HTK numunelerinin şişme eğimi değerleri hesaplanmış ve bu değerlerin ortalaması alınarak agrega türüne ait şişme eğimi değerleri

(Şekil 6.56) ortaya çıkarılmıştır. Kalker ve bazalt karışımlarında şişme eğimi değerleri sırasıyla % 0.0031 ve % 0.0027 olarak bulunmuştur. Daha az şişme eğimi değerine sahip bazalt numunesinin daha iyi bir performans özelliğine sahip olduğu görülmüştür.

6.2.10. Kohezyon Deneyi Sonuçları

Kohezyon ve dönel viskozite deneylerini karşılaştırmak amacıyla üretilen numuneler için uygulamalarda yaygın olarak kullanılan Tip II gradasyonunun alt ve üst limitlerinin ortalaması olan G22 gradasyonu kullanılmıştır. Agrega türü bazalt, emülsiyon oranı % 17, su oranı ise % 12 olarak seçilmiştir. Agrega türü, agrega gradasyonu, emülsiyon oranı ve su oranı aynı olan fakat çimento oranı % 1, % 2 ve % 3 olarak değişen kombinasyonlar kullanılmıştır. Üretimi gerçekleştirilen 188 adet numune, rüzgar ve sıcaklık etkisinden uzaklaştırılmak için kapalı bir çekmece içerisinde oda sıcaklığında bekletilmiş ve zamana bağlı kür değişimleri incelenerek bahsedilen deneyler karşılaştırılmıştır.

Aşağıdaki şekilde (Şekil 6.57), % 1, % 2 ve % 3 çimento katkılarıyla oluşturulan kohezyon numunelerinin zamana bağlı değişen kohezyon değerleri görülmektedir. Grafikte görüldüğü gibi, aynı sürede elde edilen kohezyon değerleri çimento oranına göre farklılık göstermektedir. Çimento oranı arttıkça karışımların daha çabuk sertleştiği ve bu nedenle kaplamanın trafiğe açılma sürelerinin kısaldığı gözlenmektedir.



Şekil 6.57. Kohezyon Deneyi Sonuçları

HTK kaplamalarının kohezyon değeri 20 kg-cm olduğu zaman yol trafiğe açılabilir. 20 kg-cm değeri yolun trafiğe açılması için yeterli bir tork değeridir. Aşağıdaki tabloda (Tablo 6.2), çeşitli oranlardaki çimentonun etkisiyle değişen trafiğe açılma süreleri görülmektedir. % 1, % 2 ve % 3 çimento oranlarındaki karışımların trafiğe açılma süreleri sırasıyla 9.06, 8.01 ve 6.75 saat olmaktadır.

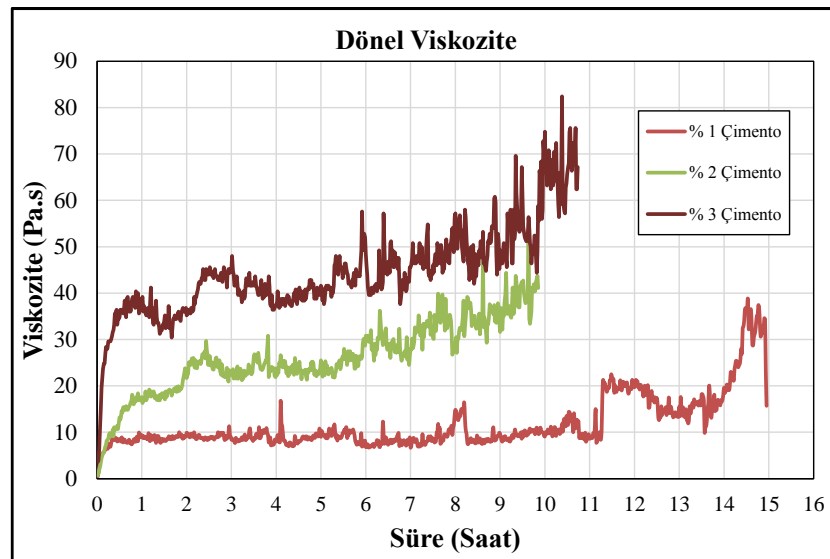
Tablo 6.2. Kohezyon Numunelerinin Trafiğe Açılma Süreleri

Karışım	Süre (Saat) @ 20 kg-cm
% 1 Çimento	9.06
% 2 Çimento	8.01
% 3 Çimento	6.75

Sonuç olarak, HTK kaplamalarının kohezyon değerleri, içerisindeki çimento miktarına bağlı olarak değişmekte ve çimento miktarı arttıkça kohezyon değerlerinde de artış gözlenmektedir. Dolayısıyla, trafiğe açılma süreleri de çimento katkısıyla azalmaktadır.

6.2.11. Dönel Viskozite Deney Sonuçları

Dönel viskozite ve kohezyon deneylerini karşılaştırmak için üretilen numuneler dönel viskozite cihazına konularak deneye tabi tutulmuştur. % 1, % 2 ve % 3 çimento katkılı numunelerin dönel viskozite değerleri aşağıdaki şekilde (Şekil 6.58) görülmektedir. Çimento oranı arttıkça viskozite değerlerinde doğru orantılı bir artış gözlenmektedir.



Şekil 6.58. Dönel Viskozite Deney Sonuçları

HTK numunelerinden elde edilen kısa süreli viskozite değerleri ilk 1 saat içinde farklılık göstermektedir. % 3 katkılı numunenin viskozite değerinde kısa süre içerisinde hızlı bir artış gözlenmekte iken % 2 ve % 1 çimento katkılı numunelerde bu artış daha yavaş olmaktadır. İlk 1 saatlik zaman dilimi göz önüne alındığında % 1, % 2 ve % 3 çimento katkılı numunelerin viskozite değerleri sırasıyla yaklaşık 9 Pa.s, 18 Pa.s ve 38 Pa.s olmaktadır. Bu değerler belirli bir süre sabit gitmekte ve sonra yine artışa geçmektedirler. Uzun vadede viskozite değerlerinin artışa geçtiği süreler dikkate alındığında kohezyon testinden elde edilen yolun trafiğe açılma süreleri ile benzerlik gösterdiği görülmektedir.

Sonuç olarak, rüzgar, sıcaklık ve segregasyon gibi parametrelerin kohezyon deneyi sonuçları üzerindeki etkileri dikkate alındığında dönel viskozite deneyinin kohezyon deneyine yardımcı bir deney olarak değerlendirilebileceği gözlenmiştir. Aynı malzemeyle tek bir numune üretilerek gece-gündüz deney yapan operatöre ihtiyaç olmadan sürekli kayıt halindeki cihazla dönel viskozite deneyi yapılarak sonuçlara ulaşmak ve kullanılan katkıların karışımlar üzerindeki etkileri hakkında bilgi edinmek mümkündür.

7. BÖLÜM

TARTIŞMA, SONUÇ VE ÖNERİLER

7.1. Tartışma

Gelişmiş ülkelerde yaygın olarak kullanılan Bitüm Emülsiyonlu Harç Tipi Kaplamalar (HTK), Karayolu Esnek Üstyapıların servis ömrünü uzatan ve servis kabiliyetini geliştiren bakım yöntemlerinden bir tanesidir. İçeriğinde ince agrega, bitüm emülsiyonu, su, çimento ve çeşitli katkıları bulunmaktadır. Isıtma işlemine gerek duyulmaksızın üretimi gerçekleştirilen HTK uygulamaları kılcal çatlakları doldurarak su geçirimsizliği sağlar ve bu sayede mevcut kaplama korunmuş olur. Mevcut kaplamanın yüzey özelliğini iyileştirerek fren mesafesini kısaltır ve güvenli bir sürüş elde edilmiş olur. Doğru zamanda doğru kaplamaya uygulanması durumunda mevcut kaplamanın servis ömrü 7 yıl uzamaktadır.

Farklı agrega tipleri yine farklı gradasyonlarda farklı oranlardaki emülsiyon, su ve çimento, harç tipi kaplama numuneleri üretiminde kullanılmış ve HTK numunelerinin performansına etki eden parametreler bu tez çalışmasında incelenmiştir. Laboratuvar ortamında üretilen bitüm emülsiyonu kullanılarak hazırlanan harç tipi kaplama karışımlarının performans özellikleri, ıslak yol aşınma (WTAT), kohezyon, dönel viskozite, tekerlek izi testleri ile, yüzey özellikleri ise makropürüzlülük parametreleri ile incelenmiş, Kayma Sürtünme Pandülü ve Zaman Kontrollü Sızıntı Ölçer ölçümleri yapılmıştır. Elde edilen aşınma kaybı, hydrotimer ve sürtünme deneyleri sonuçlarının birbiriyle olan ilişkisi araştırılmış ve tekerlek izi, kohezyon, dönel viskozite deneyleriyle bulunan sonuçlarla HTK karışımlarının performans özellikleri incelenmiştir.

7.2. Sonuç ve Öneriler

Laboratuvarında yapılan deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen sonuçlar şu şekildedir:

Kalker ve bazalt kullanılarak üretilen HTK karışımlarının farklı emülsiyon ve farklı su miktarlarındaki aşınma kaybı değerleri incelenmiştir. Bütün gradasyon çeşitlerine bakıldığı zaman emülsiyon miktarı arttıkça genel olarak aşınma kaybı değerlerinin de ters orantılı olarak azaldığı gözlenmiştir. Dolayısıyla, emülsiyon miktarı arttıkça aşınma etkisinin azaldığı gözlenmiştir. Farklı su oranlarındaki aşınma kaybı değerlerine bakıldığı zaman su oranı arttıkça emülsiyon oranı aynı kalsa bile aşınma kaybı değerlerinin azaldığı gözlenmiştir. Başka bir deyişle, aynı emülsiyon miktarına sahip bir karışıma su eklendiğinde daha az aşınma kaybı değerinin ortaya çıktığı bulunmuştur. Su oranının artması, numunelerin akışkanlığını artırdığı için agrega danelerinin numune içerisinde daha iyi yerleşmesine ve aşınma kaybının daha düşük çıkmasına sebep olduğu düşünülmektedir. Üretimi gerçekleştirilen HTK numunelerinin aşınma kaybı değerleri sadece içerisindeki emülsiyon oranına bağlı değil, aynı zamanda karışımda kullanılan su miktarına da bağlı olduğu sonucuna varılmıştır.

Kalker ve bazalt agregalarıyla oluşturulan numunelerin aşınma etkisindeki MTD değerlerinin ortalaması incelenmiştir. Aşınma öncesi bazalt (0.75 mm) ve kalker (0.76 mm) numunelerinin MTD değerleri birbirine çok yakındır. Fakat, kalker numunelerinin aşınma sonrası MTD değerleri 0.85 mm ortalama değerine sahip bazalt numunelerine göre daha fazla artış göstererek 0.93 mm seviyesine çıkmıştır. Bu durumda, aşınma etkisi ile kalkerin bazalta göre daha pürüzlü bir yüzeye sahip olduğu ispatlanmaktadır.

Buna ek olarak, kalker ve bazalt agregalarıyla oluşturulan numunelerin aşınma etkisindeki BPN değerlerinin ortalaması incelenmiştir. Aşınma öncesi bazalt numunelerinin ortalama BPN değeri 88.7 ve kalker numunelerinin ortalama BPN değeri 90.5 olmaktadır. Aşınma öncesinde kalker numunelerinin BPN değerleri bazalt numunelerine göre fazla çıkmaktadır. Fakat, aşınma sonrasında bazalt numuneleri mevcut yüzey özelliğini korumakta ve kalker numunelerine göre daha fazla BPN değerine sahip olmaktadır. Aşınma sonrasında bazalt numunelerinin BPN değeri 86.0 ve kalker numunelerinin BPN değeri 81.0 olmaktadır. Sonuç olarak, bazalt numunelerinin aşınma

etkisinde görülen yüzey özelliği değişiminin daha az olduğu ve kalker numunelerine göre daha kaliteli bir yapıya sahip olduğu ortaya çıkmaktadır. Aşınma kaybına bağlı olarak değişen MTD değerleri incelendiğinde kalker ve bazalt numunelerinin MTD değişim değerlerinin bütün gradasyonlarda genellikle sıfırdan büyük olduğu gözlenmiştir. Oluşturulan doğrusal eğilim çizgilerinin eğimi kalkerde daha az iken bazaltta daha fazla olduğu görülmüştür.

Aşınma kaybına bağlı olarak değişen BPN değerleri incelendiğinde kalker ve bazalt numunelerinin BPN değişim değerlerinin bütün gradasyonlarda genellikle sıfırdan küçük olduğu ve negatif değere sahip olduğu gözlenmiştir. Başka bir deyişle, kalker ve bazalt numunelerinin aşınma sonrası BPN değerlerinde çoğunlukla azalma meydana geldiği anlaşılmıştır. Oluşturulan doğrusal eğilim çizgileri, kalker numunelerinde sıfırdan küçük bölgede yer alırken bazalt numunelerinde biraz daha sıfıra yakın bölgede bulunduğu görülmüştür. Son olarak, ince gradasyonlu numunelerin aşınma kaybına bağlı BPN değişimi daha dar bir alana toplandığı ve iri gradasyonlu numunelerin ise aşınma kaybına bağlı BPN değişimleri daha geniş bir alana yayıldığı sonucuna varılmıştır. Bu sonuçlara göre, kalker ve bazalt numunelerine ait BPN değişim değerleri aşınma kaybına bağlı olarak azalmaktadır. Fakat bu azalış kalker numunelerinde bazalt numunelerine göre daha fazla olmaktadır. Bazalt numunelerinin mevcut durumunu koruma eğiliminde olduğu görülmektedir.

Aynı gradasyona sahip kalker ve bazalt numunelerinin MTD ve BPN değerleri arasındaki aşınma öncesi ve sonrası ilişki incelenmiştir. Doğrusal eğilim çizgilerinin yatay seyrettiği görülmüştür. Başka bir deyişle, MTD değerinin artması veya azalması BPN değerine doğrudan etki etmediği anlaşılmıştır. Kalker ve bazalt numunelerinin oluşturduğu noktalar bulutu, aşınma öncesi üst üste binmiş durumda iken aşınma sonrasında bu noktalar bulutunun biraz daha birbirinden uzaklaşmış olduğu gözlenmiştir. Kalker numunelerinde aşınma etkisiyle noktalar daha fazla alana yayıldığı anlaşılmıştır. Son olarak, ince gradasyonlu numunelerde daha dar bir alana toplanma olurken iri gradasyonlu numunelerde toplanmanın daha geniş bir alanda yer aldığı sonucuna varılmıştır. Bu sonuçlara göre, MTD değerlerinin BPN değerlerine doğrudan bağlı olmadığı, MTD değerleri sabit kalsa bile BPN değerlerinin azalabileceği veya sabit kalabileceği çıkarımı yapılmıştır.

Kalker ve bazalt kullanılarak üretilen HTK numunelerinin tekerlek izi etkisindeki oturma sonuçları incelendiğinde kalker numunelerinin 1000, 2000 ve 3000 devir sonrası oturma değerleri sırasıyla % 7.74, % 15.49 ve % 23.23 olmaktadır. Bazalt numunelerinin ise 1000, 2000 ve 3000 devir sonrası oturma değerleri sırasıyla % 5.87, % 11.74 ve % 17.60 olmaktadır. Sonuç olarak, bazalt numunelerinin tekerlek izi oturma değerlerinin daha iyi olduğu ve kalkere göre daha iyi bir performans gösterdiği görülmüştür. Kalker ve bazalt kullanılarak üretilen HTK numunelerinin tekerlek izi etkisindeki şişme sonuçları incelendiğinde kalker numunelerinin 1000, 2000 ve 3000 devir sonrası oturma değerleri sırasıyla % 3.56, % 6.77 ve % 9.93 olmaktadır. Bazalt numunelerinin ise 1000, 2000 ve 3000 devir sonrası oturma değerleri sırasıyla % 3.53, % 6.45 ve % 8.88 olmaktadır. Sonuç olarak, her ne kadar kalker ve bazalt numunelerinin ilk aşamada şişme değerleri birbirine yakın olsa da bu değerler devir sayısının artırılmasıyla birlikte birbirinden uzaklaşmaktadır. Dolayısıyla, bazalt numunelerinin kalker numunelerine göre uzun vadede daha iyi bir performans gösterdiği görülmüştür.

Kalker ve bazalt kullanılarak üretilen HTK numunelerinin oturma eğimi değerleri hesaplanmış ve bu değerlerin ortalaması alınarak agrega türüne ait oturma eğimi değerleri ortaya çıkarılmıştır. Kalker ve bazalt karışımlarında oturma eğimi değerleri sırasıyla % 0.038 ve % 0.033 olarak bulunmuştur. Daha az oturma eğimi değerine sahip bazalt numunesinin daha iyi bir performans özelliğine sahip olduğu görülmüştür. Kalker ve bazalt kullanılarak üretilen HTK numunelerinin şişme eğimi değerleri hesaplanmış ve bu değerlerin ortalaması alınarak agrega türüne ait şişme eğimi değerleri ortaya çıkarılmıştır. Kalker ve bazalt karışımlarında şişme eğimi değerleri sırasıyla % 0.0031 ve % 0.0027 olarak bulunmuştur. Daha az oturma eğimi değerine sahip bazalt numunesinin daha iyi bir performans özelliğine sahip olduğu görülmüştür.

Kohezyon ve dönel viskozite deneylerini karşılaştırmak amacıyla HTK numuneleri üretilmiştir. Çimento oranı %1, %2 ve %3 olarak değişen kombinasyonlar kullanılmıştır. Çeşitli oranlarda kullanılan çimentonun etkisiyle değişen trafiğe açılma süreleri hesaplanmıştır. %1, %2 ve %3 çimento oranlarındaki karışımların trafiğe açılma sürelerinin sırasıyla 9.06, 8.01 ve 6.75 saat olduğu görülmüştür. Sonuç olarak, HTK kaplamalarının kohezyon değerleri, içerisindeki çimento miktarına bağlı olarak

değişmekte olduğu ve çimento miktarı arttıkça aynı süredeki kohezyon değerlerinde artış olduğu gözlenmiştir. Dolayısıyla, çimento katkısının artmasıyla yolun trafiğe açılma sürelerinin kısaldığı sonucuna varılmıştır.

Dönel viskozite deneyi sonuçlarına göre çimento oranı arttıkça elde edilen viskozite değerlerinde doğru orantılı bir artış olduğu gözlenmiştir. HTK numunelerinden elde edilen kısa süreli viskozite değerlerinin ilk 1 saat içinde farklılık gösterdiği görülmüştür. % 3 katkılı numunenin viskozite değerinde kısa süre içerisinde hızlı bir artış gözlenmekte iken % 2 ve % 1 çimento katkılı numunelerde bu artışın daha yavaş olduğu anlaşılmıştır. İlk 1 saatlik zaman dilimi göz önüne alındığında % 1, % 2 ve % 3 çimento katkılı numunelerin viskozite değerleri sırasıyla yaklaşık 9 Pa.s, 18 Pa.s ve 38 Pa.s olduğu gözlenmiştir. Uzun vadede viskozite değerlerinin artışa geçtiği süreler dikkate alındığında kohezyon testinden elde edilen yolun trafiğe açılma süreleri ile benzerlik gösterdiği sonucuna varılmıştır. Netice itibariyle, rüzgar, sıcaklık ve segregasyon gibi parametrelerin kohezyon deneyi sonuçları üzerindeki etkileri dikkate alındığında dönel viskozite deneyinin kohezyon deneyine yardımcı bir deney olarak değerlendirilebileceği gözlenmiştir. Aynı malzemeyle tek numune üretilerek gece-gündüz deney yapan operatöre ihtiyaç olmadan sürekli kayıt halindeki cihazla dönel viskozite deneyi yapılarak sonuçlara ulaşmanın ve kullanılan katkıların karışımlar üzerindeki etkileri hakkında bilgi edinmenin mümkün olduğu sonucuna varılmıştır.

Sonuç olarak, kalker ve bazalt agrega türleri ile üretimi gerçekleştirilen Harç Tipi Kaplama numunelerinin performans özellikleri incelenmiş ve agrega gradasyonları aynı olsa bile bu iki farklı agrega ile üretilen numunelerin farklı performans gösterdiği tespit edilmiştir. Bazalt agregası ile yapılan üretimlerin daha kaliteli olduğu ve aşınma etkisine karşı daha iyi bir performans gösterdiği tespit edilmiştir. Ayrıca, yüzey özellikleri ve tekerlek izi deneyi bakımından değerlendirildiğinde bazalt numunelerinin sergilediği performansın kalker numunelerine göre daha kabul edilebilir olduğu görülmüştür. Dolayısıyla, harç tipi kaplama dizaynı yapılırken aşınma etkisindeki yüzey özelliği değişimi dikkate alınmalıdır. Trafik etkisindeki karışımın yüzey özelliğinde ciddi oranlarda değişim varsa tercih edilmemelidir. Buna ek olarak, kohezyon ve dönel viskozite deneyleri karşılaştırılmış ve dönel viskozite deneyinin kohezyon deneyine yardımcı bir deney olarak kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

KAYNAKLAR

1. Orhan, F., 2012. Bitümlü Karışımlar Laboratuvarı Çalışmaları. Karayolları Genel Müdürlüğü Araştırma Geliştirme Dairesi Başkanlığı, Ankara, 40 s.
2. Sağlık, A., Güngör, A. G., 2008. Karayolları Esnek Üstyapılar Projelendirme Rehberi. Teknik Araştırma Dairesi Başkanlığı, Ankara, 159 s.
3. Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM)., 2013. Karayolları Teknik Şartnamesi. Karayolları Genel Müdürlüğü, Ankara, 431 s.
4. Özay, O., 2011. Farklı Modifiye Katkılarla Hazırlanan Poroz Asfalt Karışımların Performansının İncelenmesi. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 121 s.
5. Aytekin, Ş., 2018. Ilık Asfalt Üretiminde Kullanılan Katkıların Performans Değerlendirmeleri ve Bu Katkılarla KGM Şartnamelerine Göre Asfalt Kaplama Dizaynları. Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kayseri, 94 s.
6. Johnson, A., 2000. Best Practices Handbook on Asphalt Pavement Maintenance. Minnesota Technology Transfer/LTAP Program, Center for Transportation Studies, Minnesota, 123 s.
7. Gransberg, D. D., 2010. Microsurfacing. National Academies Press, Washington, D.C., 115 s.
8. Hicks, R. G., Moulthrop, J. S., Daleiden, J., 2007. Selecting a preventive maintenance treatment for flexible pavements. **Transportation Research Record**, **1680** (1): 1-12.
9. Galehouse, L., Moulthrop, J. S., Hicks, R. G., 2003. Principles of pavement preservation. **Tr News**, **4** (9): 4-9.
10. Gransberg, D. D., James, D. M. B., 2005. Chip Seal Best Practices. Transportation Research Board, Washington, D.C., 119 s.
11. Broughton, B., Lee, S-J., Kim, Y-J., 2012. 30 years of microsurfacing: a review. **ISRN Civil Engineering**.
12. Hajj, E., Salazar, L. G. L., Sebaaly, P. E., 2012. Estimating effective performance grade of asphalt binders in 2 high rap mixtures using different methodologies: case study. **Transportation Research Record**.
13. Street, W. B., 2014. Comparative analysis of microsurfacing and portland cement slurry seal for rut filling. **Transportation Research Record**, **14** (7):7-56.

14. Smith, R. E., Beatty, C. K., 2007. Microsurfacing usage guidelines. **Transportation Research Record**, **1680** (1): 13-17.
15. Lamptey, G., Labi, S., Li, Z., 2008. Decision support for optimal scheduling of highway pavement preventive maintenance within resurfacing cycle. **Decision Support Systems**, **46** (1):376-387.
16. Lee, D. Y., Orhan, O., 1984. Slurry seal texture as affected by aggregate gradation. **Bulletin of the International Association of Engineering Geology**, **30** (1):89-92.
17. Uz, V. E., Gökalp, İ., 2017. Comparative laboratory evaluation of macro texture depth of surface coatings with standard volumetric test methods. **Construction and Building Materials**, **139** (1): 267-276.
18. Overby, C., Pinard, M. I., 2007. Development of an economic and practical alternative to traditional bituminous surface treatments. **Transportation Research Record**, **1989** (1): 226-233.
19. Chan, S., Lane, B., Kazmierowski, T., Lee, W., 2011. Pavement preservation. **Transportation Research Record**, **2235** (1): 36-42.
20. Robati, M., Carter, A., Perraton, D., 2014. Evaluation of test methods and selection of aggregate grading for type III application of microsurfacing. **International Journal of Pavement Engineering & Asphalt Technology**, **14** (2): 11-66.
21. Sengoz, B., Topal, A., Tanyel, S., 2012. Comparison of pavement surface texture determination by sand patch test and 3D laser scanning. **Periodica Polytechnica Civil Engineering**, **56** (1):73-78.
22. Ilias, M., Adams, J., Castorena, C., Kim, Y. R., 2017. Performance-related specifications for asphalt emulsions used in microsurfacing treatments. **Transportation Research Record**, **2632** (1):1-13.
23. Fang, X., Garcia-Hernandez, A., Winnefeld, F., Lura, P., 2015. Influence of cement on rheology and stability of rosin emulsified anionic bitumen emulsion. **Journal of Materials in Civil Engineering**, **28** (5): 04015199.
24. Lonbar, S. M., Nazirizad, M., 2016. Laboratory investigation of materials type effects on the microsurfacing mixture. **Civil Engineering Journal**, **2** (3): 86-94.
25. Hou, S., Chen, C., Zhang, J., Shen, H., Gu, F., 2018. Thermal and mechanical evaluations of asphalt emulsions and mixtures for microsurfacing. **Construction and Building Materials**, **191** (1): 1221-1229.

26. Takamura, K., Lok, K. P., Wittlinger, R., 2001. Microsurfacing for preventive maintenance: eco-efficient strategy. *International Slurry Seal Association Annual Meeting*, 2001, Maui, Hawaii.
27. Sebaaly, P., E., Hajj, E. Y., 2016. Effectiveness of preventive maintenance of asphalt pavements. *Proceedings of 6th Eurasphalt & Eurobitume Congress*, Haziran 2016, Prag, Czech Technical University, 3211 s.
28. Takamura, K., Lok, K. P., Wittlinger, R., 2001. Microsurfacing for preventive maintenance: eco-efficient strategy. *International Slurry Seal Association Annual Meeting*, 2001, Maui, Hawaii, 72 s.
29. Johnson, E. N., Wood, T. J., Olson, R. C., 2007. Flexible slurry-microsurfacing system for overlay preparation. **Transportation Research Record**, **1989** (1):321-326.
30. Erwin, T., Tighe, S. L., 2008. Safety effect of preventive maintenance - a case study of microsurfacing. **Transportation Research Record**, **2044** (1):79-85.
31. Akzonobel., 2015. Bitumen Emulsion. Akzonobel Surface Chemistry, Amsterdam, 24 s.
32. ISSA A105., 2010. Recommended Performance Guideline For Emulsified Asphalt Slurry Seal. International Slurry Surfacing Association (ISSA), Glen Ellyn, IL.
33. Querol, N., Barreneche, C., Cabeza, L., 2017. Storage stability of bimodal emulsions vs. monomodal emulsions. **Applied Sciences**, **7** (12):1267.
34. California Department of Transportation., Maintenance technical advisory guide volume 1: flexible pavement preservation chapter 9: microsurfacing. (Web Sayfası:http://www.dot.ca.gov/hq/maint/FPMTAG_Chapter9_Micorsurfacing_June2009.pdf.), (Erişim tarihi: Haziran 2019).
35. Johnson, E. N., Wood, T., Olson, R., 2007. Flexible slurry-microsurfacing system for overlay preparation: construction and seasonal monitoring at Minnesota Road Research Project. **Transportation Research Record**, **1989**.
36. Labi, S., Lamptey, G., Kong, S-H., 2007. Effectiveness of microsurfacing treatments. **Journal of Transportation Engineering**, **133** (5): 298-307.
37. Nebraska Department of Roads., 2002. Pavement Maintenance Manual. Nebraska Department of Roads, Lincoln, 104 s.

38. Bergkamp., 2019. M1 pavimentadora continua. (Web Sayfası: <https://www.bergkampinlatam.com/products/m1-continuous-paver/>), (Erişim tarihi: Temmuz 2019).
39. Bergkamp., 2019. M2 series slurry seal and micro surfacing pavers. (Web Sayfası: <https://www.sdcinter.com/index.php/products/asphalt-paver/127-bergkamp-m2-series-slurry-seal-and-micro-surfacing-pavers.>), (Erişim tarihi: Temmuz 2019).
40. North Carolina Department of Transportation., 2015. Chip Seal Best Practices. North Carolina Department of Transportation, North Carolina, 58 s.
41. Wiegmann, R., 2015. Microsurfacing on concrete highways. *Pavement Preservation & Recycling Summit*, 2015, Paris, 21 s.
42. New Mexico Department of Transportation (NMDOT)., 2009. Pavement Preservation Manual, New Mexico Department of Transportation, New Mexico, 317 s.
43. Olsen, S., 2019. An introduction to slurry seal and micro-surfacing systems. (Web Sayfası: https://wrapp.org/images/pdf/files/2104Conference/Steve_Olsen_Slurry_Overview.pdf), (Erişim tarihi: Temmuz 2019).
44. FHA., 2008. Pavement preservation treatment construction guide, chapter 8 – microsurfacing. (Web Sayfası: <https://trid.trb.org/view/884616>), (Erişim tarihi: Temmuz 2019).
45. Asphalt Institute., 1998. Asphalt Surface Treatments - Construction Techniques. Lexington, KY, 145 s.
46. Washington State Department of Transportation (WSDOT)., 2009. Wear Resistant Pavement Study. Washington State Department of Transportation, Olympia, 124 s.
47. Wood, T. J., Geib, G., 1999. Statewide Micro Surfacing Project. St. Paul, 50 s.
48. Bergkamp., 2019. Rut box. (Web Sayfası: <https://www.bergkampinc.com/products/rut-box/>), (Erişim tarihi: Temmuz 2019).
49. PennDOT., 2009. Special Provision 9483-3004, Cold-Laid Latex Modified Emulsion Pavement Course, Type A, SRL-E. District 3, Valley, 74 s.
50. Main Roads., 2008. Specification 507 Microsurfacing. Perth, Western Australia, 20 s.

51. Ethiopian Roads Authority., 2013. Bituminous Sealing of Low Volume Roads Using Labour Based Methods. Ethiopian Roads Authority, Addis Ababa, Ethiopia, 148 s.
52. Saghafi, M., Tabatabaee, N., Nazarian, S., 2019. Performance evaluation of slurry seals containing reclaimed asphalt pavement. **Transportation Research Record**, **2673** (1):358-368.
53. Robati, M., Carter, A., Perraton, D., 2014. Evaluation of test methods and selection of aggregate grading for type III application of micro-surfacing. **International Journal on Pavement Engineering & Asphalt Technology**, **14** (2): 11-66.
54. Garfa, A., Dony, A., Carter, A., 2016. Performance evaluation and behavior of microsurfacing with recycled materials. *Proceedings of 6th Eurasphalt & Eurobitume Congress*, Haziran 2016, Prag, Czech Technical University, 3211 s.
55. Robati, M., 2013. Incorporation of reclaimed asphalt pavement and post-fabrication asphalt shingles in micro-surfacing mixture incorporation of reclaimed asphalt pavement and post-fabrication asphalt shingles in micro-surfacing mixture. *Conference: Canadian Technical Asphalt Association*, Kasım 2013, Newfoundland, Canada, 21 s.
56. Uz, V. E., Gökalp, İ., 2017. Farklı tür agregalarla üretilen yüzeysel kaplamaların kayma direnci performanslarının incelenmesi. **Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi**, **32** (1): 109-120.
57. Singgih, C., Handayani, D., Setyawan, A., 2017. Assessing the durability of polymer modified asphalt emulsions slurry seal. **Materials Science and Engineering**, **176** (1): 1-6.
58. Lee, D. Y., Ordemir, O., 1984. Slurry seal texture as affected by aggregate gradation. **Bulletin of the International Association of Engineering Geology**, **1** (22): 22-28.
59. Fang, X., Garcia-Hernandez, A., Winnefeld, F., Lura, P., 2015. Influence of cement on rheology and stability of rosin emulsified anionic bitumen emulsion. **Journal of Materials in Civil Engineering**, **28** (5): 04015199.
60. Shafaghat Lonbar, M., Nazirizad, M., 2016. Laboratory investigation of materials type effects on the microsurfacing mixture. **Civil Engineering Journal**, **2** (3):86-94.

61. Güneş, M., 2015. Yüzey İyileştirme Yöntemlerinden Harç Tipi Kaplamaların Yol Sürtünme Direncine Etkisinin Belirlenmesi. Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İzmir, 180 s.
62. Mavridou, S., Oikonomou, N., 2011. Slurry seal mixtures with tire rubber particles. *Proceedings of the 3rd International CEMEPE & SECOTOX Conference*, 2011, Skiathos, Yunanistan, 871 s.
63. Khan, M. I., Al-Abdul Wahhab, H. I., 1998. Improving slurry seal performance in Eastern Saudi Arabia using steel slag. **Construction and Building Materials**, **12**(4):195-201.
64. Wang, H., Wang, Z., 2013. Evaluation of pavement surface friction subject to various pavement preservation treatments. **Construction and Building Materials**, **48**(1):194-202.
65. Oikonomou, N., Eskioglou, P., 2018. Alternative fillers for use in slurry seal. **Global NEST Journal**, **9** (2): 182-186.
66. ISSA TB 100., 2017. Laboratory Test Method for Wet Track Abrasion of Slurry Surfacing Systems. International Slurry Surfacing Association (ISSA), Glen Ellyn, IL.
67. ASTM E2380., Standard Test Method for Measuring Pavement Texture Drainage Using an Outflow. American Society for Testing and Materials (ASTM), West Conshohocken, PA.
68. Hydrotimer., 2019. Hydrotimer. (Web Sayfası: <http://hydrotimer.com>), (Erişim tarihi: Temmuz 2019).
69. ASTM E303. Standard Test Method for Measuring Surface Frictional Properties Using the British Pendulum Tester. American Society for Testing and Materials (ASTM), West Conshohocken, PA.
70. ISSA TB 147., 2005. Test Method for Measurement of Stability and Resistance to Compaction, Vertical and Lateral Displacement of Multilayered Fine Aggregate Cold Mixes. International Slurry Surfacing Association (ISSA), Glen Ellyn, IL.
71. ISSA TB 139., 2017. Test Method to Determine Set and Cure Development of Slurry Surfacing Systems by Cohesion Tester. International Slurry Surfacing Association. International Slurry Surfacing Association (ISSA), Glen Ellyn, IL.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı, Soyadı: Şevket ASLAN

Uyruğu: Türkiye (TC)

Doğum Yeri: Kayseri

Medeni Durumu: Evli

Tel: +90 352 207 66 66

E-posta: sevketaslan@erciyes.edu.tr

Yazışma Adresi: Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü 38039 Talas / KAYSERİ

EĞİTİM

Derece	Kurum	Mezuniyet Tarihi
Yüksek Lisans	ERÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği	2015
Lisans	İTÜ İnşaat Fakültesi, İstanbul, İnşaat Mühendisliği Bölümü	2011
Lisans	UB, State University of New York at Buffalo, USA, Faculty of Civil Engineering, Department of Civil Engineering	2011
Lise	Sema Yazar Anadolu Lisesi, Kayseri	2004

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görev
2014- Halen	Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi	Araştırma Görevlisi
2012–2014	TSE Kayseri Bölge Müdürlüğü	Dış İnceleme Uzmanı

YABANCI DİL

İngilizce

YAYINLAR

- Aslan, Ş., & Aktaş, B. (2018). Use of diatomite and pumice as stabilizers in stone mastic asphalt mixtures. Revista de la Construcción. Journal of Construction, 17(3), 531-541.
- Aktaş, B., & Aslan, Ş. (2017). Comparative Evaluation of Replacement Foundry Sand With Mineral Fine Aggregates on Hma Properties. The Online Journal of Science and Technology, 7(3), 19-23.
- Aktaş, B., Aytakin, Ş., & Aslan, Ş. (2018). Effects of Selected Warm Mix Asphalt Additives on Viscosity Properties of Binder. 6th International Symposium on

Innovative Technologies in Engineering and Science 09-11 Kasım 2018 (ISITES2018 Alanya – Antalya - Turkey)

4. Aslan, Ş., & Aktaş, B. (2018). Determining the Consistency Values of Slurry Seal Mixtures Having Different Amounts of Water, Emulsion and Mineral Filler. 13th International Congress on Advances in Civil Engineering, İzmir, Türkiye, 12 - 14 Eylül 2018.
5. Aktaş, B., & Aslan, Ş. (2018). Importance of Highway Surface Macrotecture and Current Test Methods. International Congress On Fundamental and Applied Sciences, Üsküp, Makedonya, 18 - 22 Haziran 2018
6. Aktaş, B., & Aslan, Ş. (2018). A Comparative Evaluation of Car Parking Layout Design of Urban Areas. International Congress On Fundamental and Applied Sciences, Üsküp, Makedonya, 18 - 22 Haziran 2018
7. Aslan, Ş., & Aktaş, B. (2018). Surface Characteristics and Skid Resistance Testing of Road Pavements. International Congress on Engineering and Life Science, Kastamonu, Türkiye, 26 - 29 Nisan 2018
8. Aslan, Ş., & Aktaş, B. (2018). Test Methods of Determining Slurry Surfacing Performance for Highways. International Congress on Engineering and Life Science, Kastamonu, Türkiye, 26 - 29 Nisan 2018
9. Aktaş, B., & Aslan, Ş. (2017). Pedestrian and Vehicle Safety in Light Rail Systems. International Conference on Civil and Environmental Engineering, 8 - 10 Mayıs 2017
10. Aslan, Ş., & Aktaş, B. (2016). Laboratory Evaluation On Waste Slag Produced Zinc Industry As Mineral Filler In Stone Mastic Asphalt. 6th Eurasphalt & Eurobitume Congress, Prag, Çek Cumhuriyeti, 1 - 03 Haziran 2016
11. Aktaş B., Aslan Ş., "Assessment Of The Use Of Diatomite And Pumice In Stone Mastic Asphalt As Stabilizer", International Science and Technology Conference, St. Petersburg, RUSYA, 2-4 Eylül 2015, pp.0-0
12. Aktaş B., Aslan Ş., "Karayollarında Bitüm Emülsiyonlu Harç Tipi Kaplamalar ve Performans Özellikleri", 7. Kentsel Altyapı Sempozyumu, TRABZON, TÜRKİYE, 13-14 Kasım 2015, ss.607-614
13. Aktaş B., Baydilli E., Aslan Ş., "CBR Behavior Of Zinc Factory Slag For Highway Embankment", 1st IRF Europe & Central Asia Regional Congress, İSTANBUL, TÜRKİYE, 15-18 Eylül 2015, pp.0-0
14. Aktaş B., Aslan Ş., "Comparing Transportation Modes Of Intercity Passenger Surveys In Kayseri", 11 th International Congress on Advances in Civil Engineering (ACE), İSTANBUL, TÜRKİYE, 21-25 Ekim 2014, ss.0-0