KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YOL YÜZEYİNDE BİRİKEN KİLLERİN ASFALT KAPLAMALAR ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Halime SOLAK

HAZİRAN 2022
TRABZON

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YOL YÜZEYİNDE BİRİKEN KİLLERİN ASFALT KAPLAMALAR ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Halime SOLAK

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünce
İNŞAAT YÜKSEK MÜHENDİSİ
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 30 / 05 /2022
Tezin Savunma Tarihi : 27 / 06 /2022

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Erol İSKENDER

Trabzon 2022

ÖNSÖZ

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlamış olduğum "Yol Yüzeyinde Biriken Killerin Asfalt Kaplamalar Üzerindeki Etkilerinin Araştırılması" adlı bu tezin ülke bilimine ve ekonomisine katkıda bulunacağını ummaktayım. Ülkemizde; karayolları yapım ve servis ömrü süresince çevre şartlarına maruz kalmış, iklim, trafik ve kimyasal etkiler ile ekonomiyi önemli ölçüde etkilemiştir. Bu bağlamda, bu tez çalışmasında killerin asfalt kaplamalara verdiği zararlar araştırılarak literatüre katkı yapılması hedeflenmiştir.

Çalışma konusunu öneren ve bu konuda yardımcı olan danışman hocam Sayın Dr. Erol İSKENDER'e çalışmam esnasında değerli vakitlerini bana ayırdıkları ve desteklerini hiç eksik etmedikleri için sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Tüm eğitim hayatım boyunca bana daima destek olan aileme teşekkürlerimi sunarım.

Halime SOLAK
Trabzon 2022

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Yol Yüzeyinde Biriken Killerin Asfalt Kaplamalar Üzerindeki Etkilerinin Araştırılması ” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Doç. Dr. Erol İSKENDER’in sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 27/06/2022

Halime SOLAK

İÇİNDEKİLER

		Sayfa No
ÖNSÖZ		III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ		IV
İÇİNDEKİLER		V
ÖZET		VII
SUMMARY		VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ		IX
TABLOLAR DİZİNİ		XI
SEMBOLLER DİZİNİ		XII
1.	GİRİŞ	1
1.1.	Araştırmanın Konusu	1
1.2.	Tezin Amacı	3
1.3.	Konunun Özgeçmişi	4
2.	Karayolu Tanımı ve Üstyapı Tipleri	7
2.1.	Üstyapı Tipleri	8
2.1.1.	Rijit Üstyapılar	8
2.1.2.	Yarı Rifit Üstyapılar	8
2.1.3.	Esnek Üstyapılar	8
2.1.3.1.	Taban Zemini	10
2.1.3.2.	Alttemel Tabakası	10
2.1.3.3.	Temel Tabakası	11
2.1.3.4.	Kaplama Tabakası	12
3.	Karayolu Esnek Üstyapısından Beklenen Fiziksel ve Mekanik Özellikler	14
3.1.	Stabilite	14
3.2.	Durabilite	15
3.3.	Geçirimsizlik	16
3.4.	İşlenebilirik	16

3.5. Esneklik…….. 17
3.6. Yorulmaya Karşı Direnç…… 17
3.7. Kayma Direnci……... 18
4. Karayolu Üstyapısında Meydana Gelen Bozulmalar……. 19
4.1. Bozulma Ölçüleri……... 21
4.1.1. Servis Yeteneği İndeksi…….. 21
4.1.2. Tekerlek İzi Derinliği……. 21
4.1.3. Çatlak…….. 21
4.1.4. Defleksiyon…… 21
4.2. Üstyapılarda Oluşan Bozulma Nedenleri……... 22
4.2.1. Bitüm Yüzdesinin Fazla Olması……. 22
4.2.2. Bitüm Yüzdesinin Az Olması……. 22
4.2.3. Tasarıma Uygun Olmayan Bitüm Kullanılması……. 23
4.2.4. Uygun Agreganın Kullanılmaması……. 24
4.2.5. Gradasyonun Tasarımdan Farklı Olması…… 24
4.2.6. Filler Oranı……. 25
4.2.7. Hava Boşluğunun Fazla Olması……. 26
4.2.8. Hava Boşluğunun Az Olması……. 27
4.2.9. Yetersiz veya Fazla Sıkıştırma……... 28
4.2.10. Serme Sıcaklığı……... 29
4.2.11. Serme Hataları…… 30
4.2.12. Karıştırma Esnasında Özen Gösterilmemesi…….. 31
4.2.13. Trafiğin Gerektiği Gibi Hesaplanmaması…….. 31
4.2.14. Yetersiz Drenaj Sistemi…….. 31
4.2.15. Çevresel Koşullar……... 32
4.3. Üstyapılarda Meydana Gelen Bozulma Tipleri…….. 34
4.3.1. Şekil Değiştirme……. 36
4.3.1.1. Terleme (Kusma)…… 36
4.3.1.2. Lokal (Yerel) Oturmalar……. 38
4.3.1.3. Ondülasyon, Ötelenmeler ve Yığılmalar…… 39
4.3.2. Çatlaklar……. 40

4.3.2.1. Yorulma Çatlakları……. 41
4.3.2.2. Termal (Enine) Çatlaklar…… 41
4.3.2.3. Kenar Çatlakları……. 42
4.3.2.4. Boyuna Çatlaklar…… 43
4.3.2.5. Blok (Harita) Çatlakları…….. 44
4.3.2.6. Yansıma Çatlakları……. 45
4.3.3. Yamalar ve Çukurlar…….. 46
4.3.3.1. Çukurlar…….. 46
4.3.3.2. Yama Bozulmaları…….. 47
4.3.4. Çok Yönlü Bozulmalar……... 48
4.3.4.1. Ayrışma ve Sökülme…….. 48
4.3.4.2. Çizgisel Agrega Kaybı……... 48
4.3.4.3. Kaplama Agrega Kaybı…….. 49
4.3.4.4. Cilalanma (Kayma Direnci kaybı)……. 50
4.3.4.5. Kabarmalar……. 51
4.3.5. Asfalt Kaplamalarda Su Hasarı…….. 51
4.3.5.1. Ayrılma……... 54
4.3.5.2. Yer Değiştirme……... 54
4.3.5.3. Boşluk Basıncı…… 55
4.3.5.4. Film Kopması……. 55
4.3.5.5. Hidrolik Ovma…… 56
4.3.5.6. pH Kararsızlığı……... 56
4.3.5.7. Adezyon…….. 56
4.3.5.8. Kohezyon…… 57
4.3.5.9. Çevresel Etkiler…….. 57
4.3.5.10. Ani Emülsiyonlaşma…….. 57
5. Killerin Asfalt Kaplamalar Üzerindeki Zararları……... 60
6. YAPILAN ÇALIŞMALAR……... 63
6.1. Materyal ve Metot…….. 63
6.1.1.1. Agrega…… 63
6.1.1.2. Bitümlü Bağlayıcı…….. 67

6.1.1.3. Bentonit Kili……... 68
6.1.2. Karışım Tasarımı…… 70
6.1.3. Metot…….. 74
6.1.3.1. Su Hasarına Karşı Direnç Testi…….. 74
6.1.3.2. Düşük Sıcaklık Çatlama Tetsti……... 78
7. BULGULAR VE İRDELEME……... 80
7.1. Su Hasarı Deneyine Ait Bulgular ve İrdeleme……... 80
7.2. Düşük Sıcaklık Çatlama Deneyine Ait Bulgular ve İrdeleme…… 87
8. SONUÇLAR…….. 92
9. KAYNAKÇA……. 93
ÖZGEÇMİŞ

Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

YOL YÜZEYİNDE BİRİKEN KİLLERİN ASFALT KAPLAMALAR ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Halime SOLAK

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Doç. Dr. Erol İSKENDER
2022, 103 Sayfa

Karayollarında, asfalt kaplama parametreleri kaplamanın ömrü açısından büyük önem arz etmektedir. Asfalt kaplamalarda beklenen performansın sağlanması için servis ömrü boyunca ekonomik, güvenilir, konforlu ve çevre koşullarına dayanıklı olmak gibi bazı koşulların sağlanması beklenir. Bununla birlikte kaplamalar trafiğin etkisi, kimyasal etkiler ve çevre etkisi gibi birçok sebepten dolayı olumsuz etkilenmektedir. Bu sebeplerden dolayı kaplamalarda deformasyonlar görülebilmektedir. Bu deformasyonların başında çevresel etkilere bağlı su hasarı gelmektedir. Çevreden asfalt kaplamalara nüfuz eden killer ile kaplamada bölgesel soyulmalara neden olan su hasarı oluşmaktadır. Killer, bitüm ve agrega bünyesinde bulunduğunda adezyon bağının zayıflamasına sebep olarak soyulmalara ve buna bağlı derin deformasyonların oluşmasında rol oynar. Bu nedenle, bitüm-su-kil etkileşimi asfalt kaplamalarda göz önüne alınması gereken bir durumdur. Bu kapsamda Karayolları Genel Müdürlüğü teknik şartnamesine uygun Marshall Stabilite numunelerine farklı katkılı-katkısız koşullama yöntemleriyle kil nüfuz edilmiş, Modifiye Lottman deneyi ile oluşan dayanım farklılıkları irdelenmiştir. Deney sonucunda katkılı malzemelerin daha fazla dayanım gösterdiği ve kile maruz kalma süresiyle orantılı olarak direncin düştüğü gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Asfalt kaplama, Deformasyon, Su hasarı, Adezyon, Kil, Koşullama, Marshall Stabilite, Modifiye Lottman

SUMMARY

INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF CLAY ACCOUNTED ON THE ROAD SURFACE ON ASPHALT PAVEMENTS

Halime SOLAK

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Civil Engineering Graduate Program
Supervisor: Doç. Dr. Erol ISKENDER
2022, 103 Pages

On highways, asphalt parameters are of great importance for the service life of the pavement. In order to provide the expected performance in asphalt pavements, it is expected to have certain conditions such as being economical, reliable, comfortable and resistant to environmental conditions throughout the service life. However, coatings are adversely affected due to many reasons such as the effect of traffic, chemical effects and environmental effects. For these reasons, deformations can be seen in the coatings. At the beginning of these deformations is water damage due to environmental effects. Clays penetrating into asphalt pavements from the environment cause water damage that causes local peeling of the pavement. When clays are present in bitumen and aggregate, they play a role in the formation of peeling and deep deformations due to weakening of the adhesion bond. Therefore, the bitumen-water-clay interaction should be considered in asphalt pavements. In this context, clay was penetrated into Marshall Stability samples in accordance with the technical specifications of the General Directorate of Highways with different additive-unadded conditioning methods, and the strength differences created by the Modified Lottman test were examined. As a result of the experiment, it was observed that the materials with additives showed more strength and the resistance decreased in proportion to the exposure time to clay.

Key Words: Asphalt pavement, Deformation, Water damage, Adhesion, Clay, Conditioning, Marshall Stability, Modified Lottman

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.	Esnek üstyapı kesitleri……..…….…...	13
Şekil 2.	Hava boşluk oranının yaşlanma üzerindeki etkisi……...	27
Şekil 3.	Asfalt kaplamasında görülen deformasyonlar …….	35
Şekil 4.	Hafif şiddette, orta şiddette ve yüksek şiddette kusma……...	36
Şekil 5.	Zayıf asfalt tabakasında tekerlek izi oluşumu…….	37
Şekil 6.	Tekerlek izi oluşumu ve oluklanma ……..	38
Şekil 7.	Fazla bitüm yüzdesinden meydana gelen tekerlek izi ……	38
Şekil 8.	Kaplamalarda lokal oturma……..……...……..	39
Şekil 9.	Kaplamalarda ondülasyon…….. ……...	40
Şekil 10.	Hafif şiddette, orta şiddette ve yüksek şiddette yorulma çatlağı…….....	41
Şekil 11.	Termal (Enine) çatlaklar...……..	43
Şekil 12.	Kenar çatlağı…….…….…….	42
Şekil 13.	Boyuna çatlaklar……..……...……	44
Şekil 14.	Blok (Harita) çatlakları…….……..	45
Şekil 15.	Yansıma çatlağı……..…...……..	46
Şekil 16.	Kaplamalarda oluşan çukur……..…….…….	47
Şekil 17.	Yama bozulmaları……...……	47
Şekil 18.	Çizgisel agrega kaybı……..……..	49
Şekil 19.	Kaplamada agrega kaybı……	49
Şekil 20.	Cilalanmış agrega……..…….	50
Şekil 21.	Kabarma……...……...	51
Şekil 22.	Asfalt agrega arasındaki adezyon-kohezyon davranışı……...	52
Şekil 23.	Kaplamada görülen soyulma……...……...	53
Şekil 24.	Tekrarlı yüklemelerden dolayı oluşan boşluk basıncı….……	55
Şekil 25.	Adezyona bağlı soyulma……. ……..	56
Şekil 26.	Küçük damlacık halinde parçalanma……...…….	58

Şekil 27.	Bitümün kil ile karışmasıyla gösterdiği renk değişimi…….	61
Şekil 28.	Asfalt kaplamalarda kile bağlı soyulma……..	62
Şekil 29.	Boyutlarına göre ayrılmış agregalar…….	65
Şekil 30.	Agrega karışımının gradasyon eğrisi……..……..	66
Şekil 31.	Wetfix BE katkısı……..……..	68
Şekil 32.	Bentonit kili……...…….	70
Şekil 33.	Üretilen marshall briketleri…….……...	74
Şekil 34.	Koşullandırma süreçlerinden çeşitli resimler a) Killi suyun hazırlanması b) Killi su ve piknometre ile doygun hale getirme c) Numunelerin killi suda bekletilmesi d) Numune son hali……...……..	76
Şekil 35.	Dolaylı çekme mukavemeti deney cihazı……...…….	77
Şekil 36.	İndirekt çekme mukavemeti deney düzeneği……..…….	79
Şekil 37.	Yükleme sonucu kırılan bir numune……	79
Şekil 38.	Kontrol bitüm karışımların indirekt (dolaylı) çekme mukavemeti değerleri (kPa) …….	81
Şekil 39.	Wetfix BE katkılı karışımların indirekt (dolaylı) çekme mukavemeti değerleri……...	82
Şekil 40.	Katkılı ve kontrol bitümlü karışımların (dolaylı) çekme mukavemeti değerlerinin karşılaştırılması……	83
Şekil 41.	Kontrol karışımların koşullandırma türüne göre su hasarı dirençlerinin karşılaştırılması……	84
Şekil 42.	Wetfix BE modifiye bitümlü karışımların koşullandırma türüne göre su hasarı dirençlerinin karşılaştırılması…….……	84
Şekil 43.	Kontrol ve Wetfix BE modifiye karışımların su hasarı dirençlerinin karşılaştırılması……	84
Şekil 44.	Kontrol karışımların koşullandırma türüne göre çatlama dirençlerinin karşılaştırılması……	88
Şekil 45.	Wetfix BE modifiye bitümlü karışımların koşullandırma türüne göre çatlama dirençlerinin karşılaştırılması…….	89
Şekil 46.	Kontrol ve modifiye karışımların çatlama dirençlerinin karşılaştırılması...	89

TABLOLAR DİZİNİ

Sayfa No

Tablo 1. Alttemel kalınlıkları…….…….. 11
Tablo 2. Düşük stabilitenin sebep ve sonuçları……..…….. 15
Tablo 3. Düşük durabilitenin sebep ve sonuçları……...…….. 15
Tablo 4. Geçirgenliğin sebep ve sonuçları……..……..…… 16
Tablo 5. Düşük işlenebilirliğin sebep ve sonuçları …….. 17
Tablo 6. Düşük yorulma direncinin sebep ve sonuçları…… 17
Tablo 7. Asfalt betonu serme sıcaklıkları…….…… 30
Tablo 8. Kullanılan elekler ve açıklık çapları……..…….…….. 65
Tablo 9. Agrega özellikleri……...……. 66
Tablo 10. Kontrol bitüm özellikleri……. 67
Tablo 11. Wetfix BE fiziksel özellikleri……. 67
Tablo 12. Bentonit kilinin kimyasal ve fiziksel özellikleri……. 69
Tablo 13. Bentonit kilinin mühendislik özellikleri……..……..... 69
Tablo 14. Asfalt betonu tasarım sonuçları……..…..…….. 71
Tablo 15. Wetfix BE mofidiye bitümlü Marshall briketlerinin özellikleri……. 72
Tablo 16. Katkısız Marshall briketlerinin özellikleri…….…….…… 73
Tablo 17. Koşullandırma sisteminin kodlanması……..…….. 75
Tablo 18. Kontrol karışımların 25°C'de çekme mukavemeti deney sonuçları……... 80
Tablo 19. Wetfix BE modifiye karışımların 25°C'de çekme mukavemeti deney sonuçları..... 81
Tablo 20. Kontrol numunlerin 0°C sıcaklıkta indirekt çekme mukavemetş deney sonuçları……. 87
Tablo 21. Wetfix BE modifiye bitümlü karışımların 0°C sıcaklıkta dolaylı çekme mukavemeti deney sonuçları……... 88

SEMBOLLER DİZİNİ

AASHTO	Amerika Devlet Karayolu ve Ulaştırma İdareleri Birliği
AC	Asfalt betonu
ASTM	Amerika Test ve Malzeme Kurumu
BS	İngiliz Standardı
HL	Sönmüş kireç
ITSR	Su hasarı çekme mukavemeti oranı
KGM	Karayolları Genel Müdürlüğü
LL	Likit limit
NC	Nanokil
PI	Plastisite indisi
PL	Plastik limit
PV	Plastik viskozite
SBS	Stirenbütadiyenstiren
TS	Türk Standardı
TSR	Dolaylı çekme mukavemeti oranı
VMA	Agrega arası boşluk
D	Asfalt briket örneğinin çapı
Gs	Özgül Ağırlık
V_h	Hava boşluğu
V_f	Asfaltla dolu boşluk
P	Maksimum yük
t	Asfalt briket örneğinin testten önceki yüksekliği
S_t	Çekme mukavemeti
q_u	Serbest basınç
γ_{kmax}	Maksimum kuru birim hacim ağırlığı
W_{opt}	Optimum su muhtevası

1. GİRİŞ

1.1 Araştırmanın Konusu

Ulaşım sistemleri karayolu, deniz yolu, demir yolu, hava yolu, boru yolu vb. şeklinde sıralanabilir. Ulaşım sistemlerinin gelişim süreci ülkelerdeki ulaşım politikalarına bağlı olarak değişir ve gelişmişlik düzeyleri de ulaşım ile doğru orantılıdır. Karayolu ülkemizin ulaşım ağının büyük bir bölümünü kapsamaktadır ve kalkınmasında ve gelişmesinde önemli bir rol oynar. Türkiye'nin konumu itibariyle kıtalar arası geçiş imkânı sağlaması karayollarının ülkemiz için daha farklı bir konuma gelmesini sağlamaktadır. Bu sebeple karayollarının uzun ömürlü olması, gerekli hizmet ömrünü sağlaması ve bakımı çok önemlidir.

Ulaştırma, günümüzde insan yaşantısını doğrudan veya dolaylı yoldan etkileyen bir hizmettir. Bu nedenle de ulaştırmada sağlanan hizmetlerin güvenli, hızlı, konforlu ve ekonomik olması çok önemlidir (Bağdatlı ve Yıldırım, 2017)

Gelişmekte olan ülkelerde bulunan enerji kıtlığı ve ekonomik krizlerin sonucu olarak inşaat sektöründe ortaya çıkan yüksek maliyetler, artan araç yükleri, tüm dünyada yeni karayolu inşa etmekten çok, mevcut karayolunu korumaya ve iyileştirmeyi amaçlayan takviye ve bakım önlemlerini genişletmeyi zorunlu kılmıştır. Bu nedenle 1980'li yılların uluslararası karayolu ve ulaştırma politikasının esasını; mevcudu korumak ve geometrik standartlardan yeterli şekilde yararlanarak yolların performansını arttırıcı çalışmalar teşvik edilmektedir.

Ekonomide kalkınmanın ön şartlarından biri de ulaştırma altyapısının gelişimidir. Gelişmekte olan bir ülkenin artmakta olan üretim ihtiyacını karşılamak için malzemenin dağıtımı kadar, hammaddenin taşınmasını kolaylaştıracak iyi performans sağlayan bir ulaştırma sistemi de büyük önem arz etmektedir (Bağdatlı ve Yıldırım, 2017).

Karayolları sonsuz denilebilecek uzunlukta yapılar olduklarından tasarım aşamasından imalata, hizmete açılmasından servis ömrünün sonuna kadar en doğru şekilde hizmet vermesi gereken yapılardır. Genel olarak alt temel, temel ve kaplama tabakaları olarak inşa edilen tabakalı yapılar olup, bu yapılar esnek üst yapılar olarak adlandırılmaktadır (Arslan, 2012).

Kalkınma açısından büyük öneme sahip karayollarının tasarımından servis ömrünün sonuna kadar gerekli önlemler alınarak korunması ve sürdürülebilirliğinin sağlanması gerekmektedir. Ancak ülkemizde yapımı tamamlanmış karayollarının çoğu öncelik olarak ulaşımı ve devamlılığı esas aldığı ve o dönemin trafik ve çevre koşulları göz önünde bulundurulduğu için bugünün artan trafiği ve farklı çevre koşulları altında kısa sürede bozulmalara uğrayabilmektedir. Diğer yandan karayolları, yoldan geçen taşıtların dingil ağırlıklarına göre projelendirilmektedir. 1980 yılına kadar 8 ton olarak belirlenen nizami dingil yükü, taşımalardaki artış ve süreklilik sebebiyle 11,5 tona kadar yükselmiştir. Böylelikle düşük yükler için projelendirilmiş yollarımız fazla yük altında kalmaktadır. Ayrıca ülkemizin çok geniş ve engebeli coğrafi yapıya sahip olması, sert iklim koşulları birçok karayolu sorunlarını ortaya çıkarmaktadır. Bu da karayollarının dayanımının azalması ve çevresel faktörlerden ve diğer etkenlerden daha fazla etkilenip servis ömrünün azalmasına sebep olmaktadır (İTÜ, 2004).

Bitümlü karışımlar yol yapımında kullanılabilecek en ekonomik malzemelerden birisidir. Tarihte en eski yol yapım malzemesi olarak kullanılan asfalt, sağladığı birçok teknik özellik ile yüksek performanslı, çevre ile uyumlu, uzun ömürlü ve güvenli yolların yapımına olanak sağlamaktadır.

Ülkemizdeki karayollarının %95'ten fazlasını asfalt betonu ve sathi kaplamalar oluşturmaktadır (KGM, 2013). Kaplamalar, taşıma kapasitesinin artırılması, yolların üzerini geçirimsiz tabaka olan bitüm ile örtmek, drenaj sağlamak, konforu arttırmak, çevre etkilerinden korumak ve kaymaları önlemek amacıyla kullanılmaktadır.

Bir yolda trafik yüklerini karşılayan ve çevresel etkilere maruz kalan kısım üst tabakadır. Dingil yüklerinden ve çevreden gelen gerilmeler yol üst yüzeyindeki asfalt kaplamalarda en çok olup, aşağı tabakalara doğru azalmaktadır. Bu sebeple, malzeme kalitesi aşağı tabakalarda yukarı tabakalara doğru artış göstermektedir. Bu şekilde bakıldığında, ağır etkilere maruz kalan yolların daha çabuk bozulmaya uğrayan ve yenilenmeye ihtiyaç duyan yüzeysel tabakalar yerine proje ömrü boyunca sadece genel bakıma ihtiyaç duyan bitümlü sıcak karışım ile kaplanmaları daha doğru bulunmaktadır.

Karayollarında kaplama türü fark etmeksizin belirli bir süre sonra deformasyonlar meydana gelmektedir. Bu deformasyonların başlıca sebebi zamanla artan trafik yükü, iklim

ve çevre etkisi, tasarım ve yapım hataları, malzeme hataları, asfalt beton özellikleri, zayıf zemin tabakası, üstyapı mukavemetinin düşük olması ve yanlış teme tabaka kalınlıkları şeklinde sıralanabilir. Oluşabilecek bozulmalar asfalt kaplamanın performansını önemli ölçüde etkilemektedir (URL-1, 2021).

Bununla birlikte kaplama tabakalarında görülen gereğinden fazla kullanılan bitüm ve filler, yetersiz sıkıştırma, yetersiz tabaka kalınlıkları, yetersiz drenaj ve alt tabaka ve zeminlerde meydana gelen hacim değişikliği gibi sebepler de deformasyona sebep olmaktadır.

20 yıllık trafik artışı esas alınarak tasarlanan geçtikleri güzergaha göre farklılık göstermek koşuluyla farklı çevresel etkilere maruz kalabilmektedir. Ülkemizin coğrafi konumu sebebiyle farklı bölgelere ayrılmış olup bu bölgelerdeki iklim şartları, gece-gündüz arasındaki sıcaklık farklılıkları, kar ve yağmurun kaplamaya etkisi ve yağış durumu ve sıklığı gibi birçok özellik karayolunun bulunduğu bölgeden bölgeye farklılık gösterebilmektedir (Arslan, 2012).

Bu durumlar göz önüne alındığında farklı bölgelere inşa edilecek karayollarının farklı özellik ve durumda olması beklenir. Çok soğuk bölgelerde yağmur ve kara maruz kalan yolların, sıcak bölgelerde nem ve kil etkisinde kalan yollardan özellik bakımından farklı bir tasarım gerektirdiği açıktır.

1.1. Tezin Amacı

Bu tezin amacı, asfalt kaplamaların su hasarı direncinin kil varlığına bağlı olarak değerlendirilmesidir. Kontrol ve yağ asidi türevli modifiye edici katkı maddesi (Wetfix BE) ile modifiye edilmiş bitümle üretilen yoğun gradasyonlu asfalt betonunun su hasarına karşı duyarlılığı AASHTO T283 metoduna göre saf su ve killi su ile araştırılmıştır. Ticari bentonit kili ile belirli oranda kil-su çözeltisi hazırlanmış, saf suda veya killi suda doygunluğa ulaştırılan asfalt karışım örnekleri yine saf su veya kil-su çözeltisi içerisinde değişik bekletme sürelerinde koşullandırılarak killerin asfalt karışımlara verdikleri hasarlar araştırılmıştır. Koşullandırma işleminin ardından asfalt karışımların düşük sıcaklık çatlama özellikleri ve su hasarı dirençleri araştırılmıştır.

1.2. Konunun Özgeçmişi

Asfalt kaplamalarda meydana gelen bozulmalar, kaplamanın servis ömrü ve kullanım konforu açısından hayati öneme sahiptir. Bu bozulma türlerinden en fazla karşılaşılanlardan biri de su hasarıdır. Bu sebeple su hasarının oluşma sebep ve sonuçları açısından birçok bilimsel çalışma yapılmıştır. Bu çalışmaların bir kısmı aşağıda verilmiştir.

Aksoy, A., Şamlıoğlu, K., Tayfur, S., Özen, H. Yaptığı çalışmada, sırasıyla iki yağ amini (Wetfix I, Lilamin VP 75P), bit katalizör (Chemcrete) ve bir polimer (granüler lastik) olmak üzere dört katkı maddesinin asfalt karışımlarda meydana gelen su hasarına olan etkisinin irdelendiği, binderin reolojik özelliklerin bazı yöntemler ile ölçüldüğü, Marshall testleri kullanılarak karışımın mekanik özelliklerinin, Lottman testi ile de dolaylı çekmelerin değerlendirildiği, asfalt karışımlarda Chemcrete, %0.2 oranında Wetfix, %4.6 oranında Lilamin VP 75P kullanıldığı, asfalt briketlerinde dolaylı çekme gerilme oranlarının Marshall stabilite oranlarından daha düşük çıktığı belirtilmiştir (Aksoy vd., 2002).

İskender, E., karışım performansının değerlendirilmesi için statik ve dinamik sünme deneylerinin yapıldığı araştırmada, Marshall tasarımı için 18, sünme deneyleri için 36 tane olmak üzere toplam 54 Marshall briketi üretilmiş, geleneksel (katkısız), modifiye ve premodifiye bitüm kullanılarak hazırlanmış 36 brikete düşük sıcaklık (0°C) ve yüksek sıcaklıkta (40°C) statik sünme ve dinamik sünme deneyleri uygulanarak geleneksel karışımların 0°C sıcaklıkta 40°C'den daha az deformasyona uğradıkları, modifiye ve premodifiye karışımların yüksek sıcaklıkta daha az deformasyona uğradığı, tekrar sünme deneyinde özdeş briketler arasında 40°C sıcaklıkta daha iyi bir korelasyon olduğu fakat 0°C'de eğriler arsındaki farkın daha büyük olduğu ortaya konulmuştur (İskender, 2004).

Marshall yöntemine göre hazırlanan briketler üzerinde performans deneyleri olarak statik sürtünme, dinamik sürtünme, Marshall, dolaylı çekme ve su hasarı deneylerinin gerçekleştirildiği, yoğun tane boyutu dağılımına sahip agrega bileşenindeki filler malzemesinin farklı oranlarda portland çimentosu ile değiştirildiği, statik sürtünme ve dinamik sürtünme deneyleri ile deformasyon oluşum potansiyelinin sıcak karışımlarda karşılaştırmalı olarak incelendiği, statik sünme deneyinde briketlerin 28 günlük kür süresinin ardından deneye tabi tutularak statik sünme deneyinde karışımdaki çimento katkı

miktarını arttıkça numunelerde meydana gelen deformasyonlarda azalma görüldüğü, dolayısıyla çimento katkı miktarı artarken deformasyon oluşma riskinin düştüğü ve karışımdaki kalıntı bitüm içeriği arttırıldıkça numunelerde meydana gelen deformasyonun da arttığı görülmüştür. Buna bağlı olarak karışımın deformasyon riskinin arttığı, çimento katkılı soğuk karışımlardan daha yüksek deformasyon riskinin olduğu, dinamik sünme deneyinde ise sıcak karışımın kalıcı deformasyon direncinin çimento katkılı soğuk karışımlara oranla daha düşük olduğu belirtilmiştir (İskender, 2004).

Cross ve Brown, son yıllarda bazı bölgelerde meydana gelen su hasarı ve yorulmaların sebeplerini araştırmışlardır. Sebep olarak araç lastiklerdeki basınçlarının artması, dingil yüklerinin tahminden fazla artışı, trafik hacmi ve çevresel koşulları göstermişlerdir. Artan araç lastik basıncı, artan araç ağırlıkları sonucu oluşan deformasyonların, malzeme seçimi, karışım tasarımı, fazla ya da az boşluk oranı, çevresel faktörlerin elverişsizliği ve kaplama tabakasına yabancı maddelerin girişiyle gerçekleşeceğini göstermişlerdir. Sonuçlar, hava boşluk içerikleri çok düşük olan karışımlar için agrega özellikleri etkisinin fazla önemli olmadığı, her koşulda su hasarına ve soyulmalara elverişli olduğu görülüştür. Boşluk içerikleri 2,5'ten fazla olan karışımlarda su hasarına ve yorulmaya bağlı kopmalar ve sökülmeleri engellemek için köşeli ve kırılmış agrega kullanılması tavsiye edilmiştir (Cross ve Brown, 1993).

Lopez ve Montilla, yaptıkları çalışmalarda iki sıvının oluşturduğu emülsiyona üçüncü bir maddenin girişiyle kendiliğinden sistemler oluştuğunu ve bu sistemlerin damlacık oluşturarak emülsiyon damlacıklarından daha küçük damlacık oluşturarak dağıldığını gözlemişlerdir. Bu durumun asfalt karışımlarda da meydana geldiği ve su hasarına bağlı soyulmalara sebebiyet verdiği görülmüştür. Kaplamalarda görülen bu ani emülsiyonlaşmanın çözünme hızını arttırdığı, kaplamaya su nüfuz ettiğinde bitüm-agrega adezyonunun emülsiyolaşmaya bağlı olarak kolayca bozulduğu tespit edilmiştir (Lopez ve Montilla, 2003).

Bochner de Araujo, ani emülsiyonlşmanın bir su hasarı türü olduğunu ve kalamada soyulma, dökülme ve malzeme kayıplarına sebep olduğunu göstermiştir. Oluşan bu kayıpların emülgatör ve killerin bitüm içerisindeki davranışlarına bağlı olarak gerçekleştiğini ve mikro damlacıkların incelenmesi gerektiğini söylemiştir. Bu su hasarının

kaplamalarda asfaltenler gibi kompleks moleküllerin su içerisinden tekrar ayrılmasında problemler yaşandığı ve bu durumun homojen yapıyı bozduğunu gösteren Bochner de Araujo, bu durumun su hasarı oluşumunda önemli bir etken olduğu tespit edilmiştir (Bochner de Araujo, 2019).

Lavin, yaptığı çalışmalarda kaplamalarda kullanılan agregaların aşırı tozlu olması, agreganın asfalt ile kaplanmasının zor olduğunu göstermiştir. Agrega üzerindeki toz ve killerin suyun penetrasyonu içi kanallar oluşturabileceği ve aynı zamanda asfaltı absorbe ederek asfalt üzerindeki film kalınlığının az olmasına sebep olduğunu tespit etmiştir. Nem ve suyun asfalt kaplamalara nüfus etmesiyle yetersiz drenaj sebebiyle kaplama boşluklarının doygun hale geldiği ve yüzeye doğru hareketiyle su hasarı oluştuğu, buna bağlı olarak kaplamalarda soyulmalar ve ayrılmaların gerçekleştiği gösterilmiştir (Lavin, 2002).

Ayyıldız, katkılı ve katkısız bitüm karışımlarının su hasarı direnci Modifiye Lottman (AASHTO T 283) deneyine göre belirlemiştir. Yapılan teste göre, 25°C sıcaklıkta koşullu ve koşulsuz dolaylı çekme mukavemeti olmak üzere iki test yapmışlardır. Su hasarı değerlendirmesi çekme mukavemeti oranı (ITSR) değeriyle yapılıp, ITSR, katkılı karışımların çekme mukavemetinin kontrol karışımlarının koşullu çekme mukavemeti değerine oranı olarak hesaplanmıştır. Su hasarı bakımından uygulanan Modifiye Lottman testi, %1HL içeriği, %2 ve %3 sabir NC oranları için, SBS oranlarının azaltılabilmesine, su hasarı bakımından olanak sağladığı görülmüştür. Bütün NC katkılı azalan SBS oranlı modifiye karışımların, %1HL ile daha yüksek su hasarı direnci verildiği tespit edilmiştir. Bu çalışmada zaten katılması zorunlu görülen NC katkısı, HL ile (%1) değerlendirildiğinde su hasarı sonucuna göre SBS oranının azaltılabileceği dile getirilmektedir. Bununla birlikte söz konusu çoklu katkı seçenekleri için Modifiye Lottman testinin belirleyici bir yöntem olduğu ortaya çıkmaktadır.

Lottaman testinde, Standart olarak genellikle 0,70 ila 0,80 arasında bir minimum dolaylı çekme mukavemeti oranı (TSR) kabul kriteri olarak kullanılmıştır. Bu teste koşulsuz numunelerin bölünmüş dolaylı çekme mukavemetini, su ile kısmen doymuş numunelerle karşılaştırılmıştır (Ayyıldız, 2018).

2. KARAYOLU TANIMI VE ÜST YAPI TİPLERİ

Karayolu; her türlü taşıt ve yayanın güvenli ulaşımı için belirli standartları sağlayan kamu yararına açık arazi şeritleridir. Karayolları bir arazi kullanış biçimidir. Özellikle yüksek standartlı ulaşım ağlarının kullanılmasından meydana gelecek gerilme ve yüklere karşı çevrenin duyarlılık kapasitesinin bilinmesinde fayda vardır. Yeryüzünde binlerce yılda oluşan arazi formunun en hızlı ve uzun mesafede değiştirildiği tek alan karayollarıdır. Karayolu; yapısı, görevi, özellikleri ve yapım sırası olarak alt yapı ve üst yapı olmak üzere iki bölümdür (Hanlı, 2009).

Altyapı, yolun toprak işleri bittiğinde daha önceden tespit edilen koordinat, kot ve en kesitleri ile projesine uygun haline getirilmiş şeklidir. Yani tesviye yüzeyi ile asıl zemin sınırı arasındaki kısma altyapı denir. Yolun esas taşıyıcı kısmı ve gerilmelerin iletildiği kısım altyapılardır. Altyapılar dolgu ve yarmaları kapsayan kısımlardır. Yolun standartlarını karşılayacak ve uzun süre hizmet verecek nitelikte oluşması için yapılan menfez, köprü, viyadük, tünel ve istinat duvarları gibi yapılar altyapı olarak görülmektedir (URL-2).

Altyapının görevleri; istenen kotları sağlayarak düzgün yüzey oluşturmak, üstyapı tarafından iletilen gerilmeleri belirli bir doğrultuda daha geniş alanlara yaymak ve yolu dış etkenlerden korumaktır. Altyapı tasarımı yolu trafik yükleri, don, su etkenleri ve çevresel faktörlere karşı dayanıklı olması için titizlikle hazırlanmalıdır. Altyapı oluşturulurken çürük zemin, bitkisel toprak ve sıkıştırılmaya elverişli olmayan zeminler tercih edilmemelidirler.

Karayolu üst yapısı, belirli bir geometrik standarda uygun olarak belirlenmiş bir güzergâh boyunca, doğal zeminin istenilen yükseltilere getirilebilmesi ve üzerinde motorlu ve motorsuz taşıtların istenilen hız, emniyet ve konfor koşullarının sağlanması için yapılan tüm yapılar olarak tanımlanabilir (Ilıcalı vd., 2001).

Karayolu üstyapısı, yolun trafik yük ve gerilmeleri karşılayan, çevresel etkilere maruz kalan ve bu etkileri taban zemininin taşıma gücünü aşmayacak şekilde taban yüzeyine ileterek taşıyan kaplama tabakalarından oluşan kısma denir. Bu yük ve gerilmeleri taşımak için alttemel, temel ve kaplama tabakalarından oluşur. Üstyapılar, kaplama tabakasında

kullanılan malzeme türlerine, özelliklerine ve yöntemlerine göre rijit, yarı rijit ve esnek üstyapılar olmak üzere üç ana sınıfa ayrılır.

2.1. Üstyapı Tipleri

2.1.1. Rijit Üstyapılar

Yüksek eğilme mukavemeti sağlayan portland çimentosundan yapılmış tek tabakalı bir plak ile yükleri altyapıya dağıtan üstyapı türüdür. Yol kaplaması olarak kullanılan betonun görevi trafik yüklerini tabana iletmek, ayrıca tabanda oluşabilecek deformasyonları da olabildiğinde aza indirgemektir. Bir rijit üstyapının davranışı, kaplamanın altında bulunan alttemel ve temel tabakaları ile taban zemininin özelliklerine bağlı olarak değişim gösterebilmektedir. Bu beton yollar her 20-25 m² alanda bir boyuna ve enine derzlerle ayrılmış plaklardan oluşur (URL-3, 2022).

2.1.2. Yarı Rijit Üstyapılar

Bitümlü kaplamalarda bir veya daha fazla hidrolik bağlayıcı tabakalardan meydana gelen yükleri geniş bir yüzeye aktararak altyapıya ileten bir üstyapı şeklidir (URL-3, 2022).

2.1.3. Esnek Üstyapılar

Asfalt kaplama tabakalarının tamamıyla oluşturulan üstyapı esnek üstyapı olarak kabul edilir. Esnek üstyapı, alttemel ve tesviye yüzeyine temas sağlayan ve trafik yükleri ve çevresel etkileri kaplama, temel ve alttemel tabakaları yoluyla taban zeminine ileten ve dağıtan bir üstyapı şekli olup stabilizesi, tane sürtünmesi, kohezyon ve adezyon gibi agrega ve kullanılan bitümlü bağlayıcının özelliklerine bağlıdır (Ilıcalı vd., 2001).

Tasarım olarak, servis ömrü 20 yıl olarak projelendirilen ve servis ömrü bitiminde kalıcı bir değere sahip olan esnek üstyapılar, onarım, bakım ve takviye işlemleri ile gerçekte belirlenen servis ömrünün çok daha fazla sürede kullanılabilecek bir üstyapı tipidir. Zamanla artan trafik hacmi ve yükleriyle, 21. yüzyılda dünya asfalt enstitüsü 50-100 yıl kullanılabilecek kalıcı esnek üstyapılar hedeflemiştir. Bu amaçla özellikle ABD'de 20 yıllık periyotlarla yüzey kaplamasına onarım ve bakım uygulanarak, 50 yıl veya daha uzun süre hizmet verebilecek ve tamamen bitümlü tabakalardan oluşan kalıcı üstyapıların kullanımının yaygınlaştırılmasına yönelik çalışmalar yapılmaktadır. Bu üstyapıların bakımı, bir binanın boyanması ya da çatısının onarılması gibi bir tamir işlemi haline

getirilecek ve hala kullanılabilen, fonksiyonları ve performansı değişmeyen esnek üstyapı yıllarca hizmet verebilecektir.

Esnek üstyapılar, uzun yıllardır karayolu inşaatlarında uygulanan kaplama çeşitlerinden biridir. Türkiye'deki yatırımlar; tesis ve ekipman sayısının yeterli oluşu, konuda uzmanlaşmış ekiplerin çokluğu gibi faktörler sebebiyle esnek üstyapı kaplamaları yaygın olarak kullanılmaktadır. Esnek üstyapı malzemelerinden biri bitümlü karışımların kolay ve hızlı uygulama imkanlarıyla şehir dışı ve şehir içi yollarda trafik artışına sebebiyet vermeden, hızlı ve güvenli bir şekilde yolun trafiğe açılmasına olanak sağladığından uygun görülmektedir. Düşük trafikte esnek yapısından dolayı daha ince bir tabaka olarak uygulanabilmesi, uzun süre bağlayıcı ve esneklik özelliğini koruyabilmesi, içerisinde bulunan malzemelerin belirli oranda tekrar kullanılabilmesi gibi nedenlerden dolayı da üstyapıda tercih edilen malzemelerden olmaktadır.

Karayolunda önem arz eden bir diğer konu da ekonomi unsurudur. Türkiye'de halen tercih edilen esnek yol kaplamaları, taşıt çeşitliliği ve sayısındaki artış nedeni ile ekonomik değerlerinin önemi ortaya konulmaktadır. Trafik hacmi ve kaplama gerilmelerindeki artış, üstyapıdaki problemlerin daha fazla yaşanmasına ve yolların planlanan servis ömründen daha az zamanda bozulmasına olanak sağlamaktadır. Bu durum da ekonomik olarak büyük kayıpların yaşanmasına sebep olmaktadır. Bu duruma sebep olan bir diğer durumlar ise yol yapımında kullanılan malzemelerin, beklenen performans limitini karşılamaması ve iklim-bölge şartlarının yol yüzeyindeki olumsuz etkileridir. Yolun ekonomik ömrü içerisinde faydalanmanın ya da başka bir deyişle hizmet ömrünü arttırmanın tek çözümü, gerekli zamanlarda yeterli bakımın yapılarak yol üstyapısının dayanımını ve kapasitesini arttırmaktır. Bu işlem ile karayolunun işletimi uzun yıllar boyunca en ekonomik düzeyde tutulabilir (Bağdatlı ve Yıldırım, 2017).

Bir üstyapı yapılmadan önce altyapı, üstyapıya uygun olacak ve gerekli desteği sağlayacak şekilde yapılmalıdır. Esnek üstyapının performansı taban zeminin fiziksel özellikleri ile doğrudan etkilemektedir. Bu sebeple üstyapı tabakalarının özellikleri de büyük önem arz etmektedir. Esnek üstyapı tabakaları taban zemini, alttemel, temel tabakası ve kaplama tabakasından oluşmaktadır

2.1.3.1. Taban Zemini

Esnek üstyapının performansı taban zemininin taşıma gücüyle doğrudan bağlantılı olduğundan taban zemin projelendirmesinin şartnamelere uygun olması çok önemlidir. Taban zeminlerinde uygun drenajın sağlanması ve yeraltı su seviyesinin tesviye yüzeyinden en az 150 cm altında tutulması gerekir. Ayrıca uygun drenaj sağlanarak yüzey suları olabildiğince yol gövdesinden uzak tutularak kaplamada oluşabilecek bozulmalar önlenmelidir. Yol üstyapıları çevresel faktörlerin etkisiyle taşıma gücünün azalması sonucu zarar görebilir. Çevre etkilerinin üstyapıya olan zararlarının azaltılması için aşağıdaki parametreler incelenebilir (Ilıcalı vd., 2001).

a) Taban zeminin dona karşı hassasiyeti
b) Üstyapı toplam kalınlığı
c) Donma indeksi
d) Yeraltı su seviyesinin üstyapı düzeyinde ölçülen derinliği
e) Yarma ve dolgu yükseklikleri
f) Güzergahın iklim şartları

2.1.3.2. Alttemel Tabakası

Alttemel, ince taneleri altyapıların temel tabakasına nüfuzunu engellemek, trafik yük ve gerilmelerin taban zeminine yayılmasını sağlamak, su ve don tesirlerine karşı direnç sağlamak ve bir nevi tampon görevi sağlaması için tesviye yüzeyine serilen tabakadır. Yol kaplamasında don meydana geldiğinde yol kaplamasında ayrışmalar meydana gelebilir (Ilıcalı vd., 2001).

Alttemel tabakasında kullanılan malzeme özellikleri taşıma gücünün düşük olduğu zeminlerde oldukça önemlidir. Bu tabakada özellikle granüler malzemeler kullanıldığı için agregalara özellikler oldukça fazladır. Üstyapının birçok bölümünü oluşturan agregalar, yola etkiyen gerilmelerin karşılanmasında önemli bir rol oynamaktadır.

Alttemel sadece don oluşabilecek bölgelerdeki dona karşı direnci düşük zeminlede veya taşıma gücü az olan taban zeminleri üzerine yapılır. Don tehlikesi olmayan bölgelerde tercih edilmeyebilir. Alttemel tabakası, yüksek gerilmelerle taban zeminin taşıma gücünü

aştığında yükleri karşılamalı ve tabanda oluşabilecek don etkisinin üstyapıya ulaşmasını engelleyecek özellikte olmalıdır (Ağar ve Umar, 1985; Yasa, 1954).

Kullanılan malzeme türüne göre alttemel kalınlıkları Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Alttemel kalınlıkları

Malzeme Cinsi	Alttemel Minimum Kalınlığı
Çakıl ve kırmataş	20 cm
Mekanik stabilizasyon	20 cm
Çimento ile stabilizasyon (I. ve II. Sınıf yollarda)	15-18 cm
Bitüm ile stabilizasyon (I. ve II. Sınıf yollarda)	15-18 cm
Kireç ile stabilizasyon (I. ve II. Sınıf yollarda)	15-18 cm

Alttemelin üstyapıya gelen gerilmeleri tutmaktan bir başka fonksiyonu da üstyapının drenajını sağlamak ve aşağı tabakalardan gelen sızmaları engellemektir.

Daneli malzeme yapısına sahip alttemel, dona karşı hassan olan taban zeminine filtre stabilitesine sahip olmalıdır. Bu sebeple, yeteri kadar ince malzeme ve kum içeriğine sahip olmalıdır. Böylece suyun alttan yukarıya yükselme durumunda ince daneler yüzmez ve trafik yükü ve gerilmeler altında alttemel danaleri arasına giremez. Bu da yolun stabilizesini arttırır (Ayçiçek, 2011).

2.1.3.3. Temel Tabakası

Temel tabakası, bağlayıcılı ya da bağlayıcısız bir maddelerle işlem görmüş belirli granülometredeki malzemelerden oluşur. Görevi üstyapının yük taşıma kabiliyetini arttırmak olan temel tabakaları trafik hareketlerinden meydana gelen yüksek kayma gerilmelerine karşı direnç gösterebilecek, drenaj sağlayabilecek ve don olaylarında güvenliği sağlayabilecek özellikte olmalıdır (Ilıcalı vd., 2001).

Temel tabakasının bu özellikleri sağlayabilmesi için yeterli kalitede malzemelerin kullanılması gerekmektedir. Temel tabakasında Karayolları Teknik Şartnamesinde belirlenmiş olan tabaka tipleri kullanılabilir.

Bu temel tipleri;

a) Granüler temel tabakası; çakıl, kırılmış çakıl, kırmataş, kırılmış cüruf ve buna benzer malzemelerden oluşturulur. Gradasyonu iyi derecelendirilmiş olmalıdır. Modifiye proktorda sonucu %98 olmalıdır. Granüler temel kalınlığı ise minimum 15 cm olmalıdır.
b) Plentmix temel tabakası; kırılmış cüruf, kırmataş, çakıl ve ince malzemelerden oluşmaktadır. İnce ve kaba olmak üzere en az iki dane boyutundan oluşmaktadır. %100 modifiye proktoru sağlamalıdır. 15 cm temel kalınlığı sağlanmalıdır.
c) Çimento bağlayıcılı granüler temel tabakası; kırılmış cüruf, kırmataş, çakıl ve ince malzemelerden oluşmaktadır. %98 modifiye proktoru sağlamalıdır. 20 cm temel kalınlığı sağlanmalıdır.
d) Penetrasyon makadam temel tabakası; yolların kaplanması için genellikle 4-7 cm arasında parçalara bölünmüş taşlardan yapılan agreganın alttemel üzerine serilip üzerine AC uygulaması ve ince malzemeyle sıkıştırılmasıdır.
e) Rolled asfalt temel tabakası; karışım malzemesinin sıcakken uygulanmasını ve sıkıştırılmasını sağlayan, nispeten sert bir bitüm ve agregadan oluşan, filler, ince ve kaba agreganın bulunduğu oldukça az boşluklu bir karışımdır (URL-4, 2022).
f) Bitümlü temel; ince agrega mineral filler, kırılmış ve elenmiş kaba agrega ve bitümle yapılan bitümlü temellerin kalınlığı 8 cm olmalıdır.
g) Bitümlü makadam temel; cürufun ve kırılmış taşın asfalt betonu ve ince agrega ile karıştırılmasıyla yapılır (Ağar ve Umar, 1985).

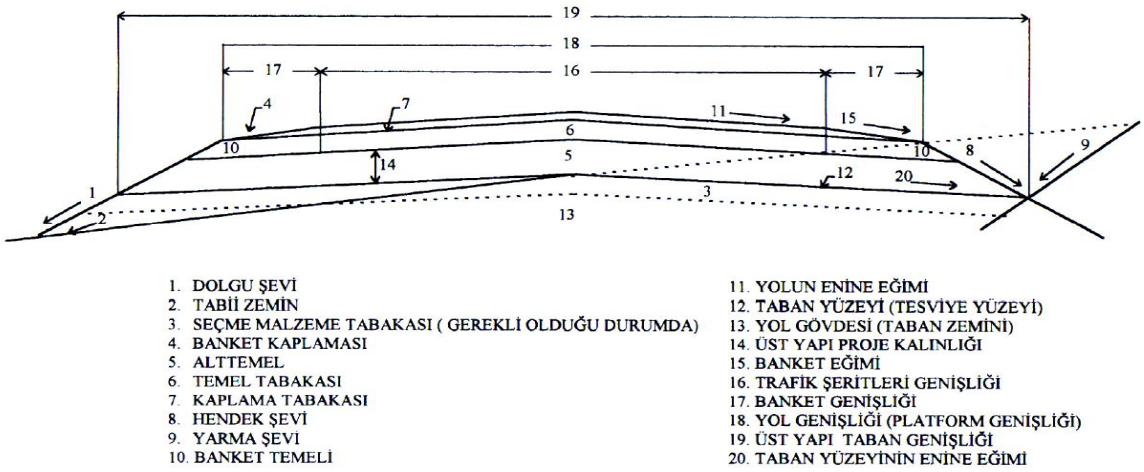
2.1.3.4. Kaplama Tabakası

Kaplama, temel tabakası üzerine inşa edilen, yuvarlama yüzeyini uygun hale getiren, trafik ile oluşan aşınma etkilerine diren sağlayan, çevresel etkileri karşılayan ve yapıya girebilecek su miktarını ve yüzeyden temel tabakasına aktarılan kayma gerilmelerini en aza indirmek amacıyla inşa edilen temel tabakası üzerinde bulunan bir tabakadır (Ilıcalı vd., 2001).

Kaplama tabakası üstyapının trafik yüklerine ve çevresel etkenlere doğrudan maruz kaldığı için tasarımı titizlikle yapılmalıdır. Kaplama tabakasında trafik yükleri ile oluşan çekme ve

basınç gerilmelerinin fazla olmasından dolayı bu tür kaplamalar, üstyapının diğer tabakalarına göre daha fazla elastikiyete sahip olmalıdır. Kaplama tabakası, trafiğin aşındırıcı etkisine karşı dirençli, düzgün ve güvenli bir sürüş sağlamaya ve yolu kalıcı deformasyonlara karşı korumaya karşı elverişli olmalıdır (KGM 2000a).

Kaplama tabakası agrega ve bitüm ile karışımından elde edilen malzemelerden elde edilir. Karayolları esnek üstyapılar projelendirme rehberine göre, kaplama tabakası yüzeysel kaplama ya da bitüm betonu kaplama olabilir. Tipik bir esnek üstyapı kesiti Şekil 1'de görülmektedir.



Şekil 1. Esnek Üstyapı Kesitleri

3. KARAYOLU ESNEK ÜSTYAPISINDAN BEKLENEN FİZİKSEL VE MEKANİK ÖZELLİKLER

Esnek üstyapının uzun süre dayanıklı olması ve bazı özelliklerini koruyabilmesi açısından bazı koşulları sağlaması gerekmektedir. Esnek üstyapı tasarlanırken dikkate alınması gereken özellikler aşağıda verilmiştir. Bunlar;

a) Stabilite
b) Durabilite
c) Geçirimsizlik
d) Esneklik
e) İşlenebilirlik
f) Kaymaya karşı direnç
g) Yorulmaya karşı direnç (Önal ve Kahramangil, 1993).

3.1. Stabilite

Stabilite, yatay ve düşey trafik yükleri altında oluşan çekme, kayma gerilmeleri ve basınca karşı göstermiş olduğu dirençtir (Ilıcalı vd., 2001).

Karışımın stabilitesi, bağlayıcının sahip olduğu kohezyona ve agregalar arasındaki sürtünmeye bağlıdır. Agrega şekilleri ve yüzeyleri içsel sürtünmeyi etkileyen faktörlerdir. Kohezyon ise, bağlayıcının viskozitesi ve trafik yükü arttıkça artar, kaplamanın sıcaklığı azaldıkça azalmaktadır (Asphalt Institue, 1996).

Stabilite değeri esnek üstyapıdaki bağlayıcının artmasıyla bir süre artar ancak, bu artış devamlı olarak gerçekleşmez. Belirli maksimum değerden sonra fazla bağlayıcı miktarının olması stabilitenin azalmasına sebep olur. Düşük stabilite sebep sonuçları Tablo 2'de görüldüğü gibidir.

Tablo 2. Düşük stabilitenin sebep ve sonuçları (Kurtis, 2003)

DÜŞÜK STABİLİTE	
Sebep	Sonuç
Karışımda gerekenden fazla asfalt yüzdesi	Tekerlek izi oluşumu ve kusma
Karışımda aşırı miktarda kum yüzdesi	Sıkıştırma sırasında yumuşama ve sıkıştırma zorluğu
Yuvarlak agrega, kırılmamış ya da az kırılmış agrega yüzeyi	Tekerlek izi oluşumu

3.2. Durabilite

Esnek üstyapıların oksidasyona ve agregaların parçalanmaya karşı kabiliyetine, kaplamanın servis ömrü boyunca gösterdiği dayanıklılık değerine durabilite denir. Genel olarak sıcak karışımların durabilitesi karışımda yeterli dayanıklılıkta agrega kullanımı, maksimum bağlayıcı miktarı ve maksimum geçirimsizlik için gerekli sıkıştırma şeklinde üç faktör ile mümkün olmaktadır (IDTM, 2002).

Durabilite karışımdaki bağlayıcı miktarı ile doğru orantılıdır. Bitüm agregaları film gibi sararak dış etkenlerden korur. Bu sebeple, film kalınlığı yüksek oldukça, karışımın yaşlanmaya karşı direnci de artmış olur. Karışım içerisindeki bağlayıcının artması hava boşluklarının azalmasına sebep olur ve böylelikle kaplamanın içine su ve hava girişi zorlaşır (Kıgguende ve Robert, 1998). Düşük durabilite sebep ve sonuçları Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Düşük durabilitenin sebep ve sonuçları (Kurtis, 2003).

DÜŞÜK DURABİLİTE	
Sebep	Sonuç
Karışımda gerekenden az asfalt yüzdesi	Agrega tanelerinin yerlerinden ayrılması ile yüzeyden aşağıya doğru ve kenarlardan içe doğru gelişen bozulma (Sökülme)
Karışımda yüksek hava boşluğu yüzdesi	Karışımın erken yaşlanması ve bu yüzden çatlak ve ayrılmaların olması.
Karışımda, suya hassas agregaların kullanımı	Bağlayıcının, agrega yüzeyinden soyulması.

3.3. Geçirimsizlik

Asfalt karışımlarının bünyesine hava ve su girişine karşı gösterdiği dirence geçirimsizlik denir ve karışımın içinde bulunan hava boşlukları ile orantılıdır. Kaplamada buluna hava boşlukları sisteme su ve hava girişini mümkün kılsa da hava boşluklarının sayısından çok boşlukların özellikleri geçirimsizliği daha çok etkilemektedir. Bu özellikler, boşlukların boyutu, boşlukların birbiri ile olan bağlantıları ve boşlukların yüzeye ulaşma olasılığı olarak sayılabilir (Kurtis, 2003). Geçirgenlik sebep ve sonuçları Tablo 4'te görüldüğü gibidir.

Tablo 4. Geçirgenliğin sebep ve sonuçları

GEÇİRGEN KARIŞIM	
Sebep	Sonuç
Karışımda gerekenden az asfalt yüzdesi	Sökülme
Karışımda yüksek hava boşluğu yüzdesi	Su ve hava kaplamaya kolayca girerek, oksidasyona ve agregaların parçalanmasına neden olur.
Yetersiz sıkıştırma	Kaplamaya su girer ve dayanım azalır.

3.4. İşlenebilirlik

İşlenebilirlik, karışımın yüzeye serilmesi ve sıkıştırılması esnasında karşılaşılan kolaylık derecesi olarak değerlendirilebilir. İşlenebilirlik, karışımın tasarım özelliklerinde, agrega parametrelerinde ve agrega gradasyonunda yapılacak değişikliklere göre farklılık gösterebilir (Johnson, 2000).

Kaplamada yüksek oranda kaba agrega içeriği, sıkıştırma işleminin yeterince yapılamamasına sebep olur ve taşıma sürecinde segregasyona uğrama eğilimindedirler. Sıcak karışımlara ilave ince malzeme ve bağlayıcı katılarak daha işlenebilir hale getirilebilir (Gardiner ve Brown, 2000). Düşük İşlenebilirliğin sebep ve sonuçları Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 5. Düşük işlenebilirliğin sebepleri ve sonuçları

DÜŞÜK İŞLENEBİLİRLİK	
Sebep	Sonuç
Büyük miktarda kaba agrega	Sıkıştırmada zorluk
Çok düşük karışım sıcaklığı	Kaplanmış agregalar, durabilite eksikliği, sıkıştırmak için fazla sert karışım
Karışımda çok miktarda kum	Sıkıştırma esnasında karışımın hareketi
Karışımda, az miktarda ince agrega	Karışım çok geçirgen
Karışımda, yüksek miktarda ince agrega	Karışım çok kuru, yetersiz durabilite

3.5. Esneklik

Bitümlü tabakaların, trafik yükleri ve çevresel etkenlerden meydana gelebilecek gerilmelere karşı çatlamadan deformasyonlara karşı koyabilme yeteneğine esneklik adı verilmektedir. Esnekliğin yetersiz olduğu kaplamalarda yol gerilmeleri yeterince karşılayamaz ve çatlamalara bağlı deformasyonlar oluşur. Kararlı ve esnek bir karışımın elde edilebilmesi için, kışın donmayıp kırılgan hale gelmeyen, yazın ise kıvamını koruyan bir bağlayıcı gereklidir (Ağar ve Umar, 1985).

3.6. Yorulmaya Karşı Direnç

Yorulma, kaplamalarda meydana gelen zamanla oluşacak tekrarlı eğilmelerine ve dingil yüklerine direnme yeteneği olarak tanımlanabilir. Kaplamalardaki yetersiz sıkıştırma, yüksek orandaki hava boşluğu ve tasarım hataları yorulmaya karşı direnci bir hayli düşürmektedir. Ayrıca kaplamanın zamanla kabiliyetini kaybetmesi ve yaşlanma sonucu sertleşmesi de yorulmaya karşı direnci düşürmektedir (Harold, 1995). Düşük yorulma direncinin sebep ve sonuçları Tablo 6'da görüldüğü gibidir.

Tablo 6. Düşük yorulma direncinin sebep ve sonuçları (Kurtis, 2003).

DÜŞÜK YORULMA DİRENCİ	
Sebep	Sonuç
Karışımda gerekenden az asfalt yüzdesi	Yorulma çatlakları
Karışımda yüksek hava boşluğu yüzdesi	Erken yaşlanma ve buna bağlı yorulma çatlakları
Yetersiz sıkıştırma	Erken yaşlanma ve buna bağlı yorulma çatlakları
Yetersiz üst yapı kalınlığı	Erken yaşlanma ve buna bağlı yorulma çatlakları

3.7. Kayma Direnci

Asfalt karışımlarda araç tekerleği ile yol yüzeyi arasında bulunan sürtünme kuvvetine kaymaya karşı direnç denir. (Ilıcalı vd., 2001) Kayma direnci yol kaplamasında emniyet açısından oldukça önemlidir. Kayma direnci, kaplamada bulunan bitüm yüzdesiyle doğrudan alakalı olup, fazla bitüm yüzdesi kayma direncini azaltmaktadır. Kaplama istenilenden fazla bitüm bulunması, hava boşlukların tıkanması ve sıcak havalarda bitümün yüzeye doğru hareketine sebep olacaktır. Yüzeyde biriken asfalt bitümü kaplamada bir film oluşturacak ve araç tekerleği ile yüzey arasındaki sürtünme kuvvetini azaltıp kaymalara sebep olacaktır.

4. KARAYOLU ÜSTYAPISINDA MEYDANA GELEN BOZULMALAR

Mühendislik açısından üstyapı bozulması, "üstyapının özgün fiziksel durumlarından herhangi bir şekilde sapması'' olarak düşünülebilir. Bozulma bazen üstyapının kendiliğinden var olan özellikleri sonucunda ortaya çıkarken bazen de hatalı malzeme ya da tasarım yöntemlerinden meydana gelebilir. Bozulmalar ayrıca, artan trafik yükleri ve elverişsiz iklim koşulları gibi bölgesel etkenler ve yetersiz bakım sonucunda da oluşabilir (İyinam, 1997).

Yollar ilk inşa edildiklerinde iyi haldedirler. Ancak artan trafik sayısı ve yükleri, elverişsiz çevre koşulları, yanlış tasarımlar ve yetersiz bakım gibi sebeplerden dolayı servis ömrünü tamamlayamadan bozulmaya uğrarlar. Oluşan bozulmalar, başlangıç evresinde çok yavaş seyrettiği için yolun servis kapasitesini koruyabilmek için devamlı olarak bakıma ihtiyaç duyarlar. Ancak, ileriki zamanlarda gerekli periyodik bakımlar yapılmazsa, bozulmalar artacak ve yolun kullanılamaz hale gelmesine sebep olacaktır. Bu durum da ekonomik olarak daha fazla bakım ve iyileştirme gerektirecektir. Bu nedenle, bozulmaya başlamış yollarda zamanında ve yeterli bakım yapmak en fazla kazancı sağlamaktadır (Güzel, 2001).

Bir yolun beklenen hizmet ömrünü sağlaması ve ekonomik ömrü içerisinde beklenen faydanın sağlanmasının tek çözümü, yeterli seviyede devamlı bakım yapılıp, gerekirse yol üstyapısının dayanımını onarım yapılarak yükseltmektir.

Yol bozulmaların ortadan kaldırılması, bozulma nedenlerinin iyi anlaşılmasına bağlıdır. Aksi halde, yapılması gereken bakım ve onarım sağlanamayacak, yanlış anlaşılan bozuklukların bakım ve onarım hizmetleri, oluşan bozuklukların giderilmesinden çok uzakta kalacaktır.

Yollar sonsuz uzunlukta yapılar olduklarına göre, yol güzergahı boyunca yol etki edebilecek bozulma sebepleri değişiklik göstermektedir. Yollar şartnameye uygun hazırlanmış olsalar bile mevcut zemin yapısı, iklim şartları, trafik yükleri, nem oranı, farklı dingil yükleri gibi faktörler yolu etkilemektedir. Böylece sayısız bozulmalar yol yüzeyinde kendini gösterirken, kullanıcılar tarafından bu bozukluklar fark edilmekte ve bu bozulmaların giderilmesi için istek ve baskılar artmaktadır.

Genellikle yol üstyapısında oluşan bozulmalar, fonksiyonel bozulma ve yapısal bozulma olmak üzere iki şekilde tanımlanabilir. Fonksiyonel bozulmalarda üstyapıda amaçlanan gereklikleri yerine getirilemez. Yapısal bozulmalar ise, üstyapı malzeme bileşenlerinin bir veya birkaçının kırılması, ayrışması, göçmesi veya bozulması anlamına gelmektedir.

Ülkemiz şartlarında, tasarım metodundaki yanlışlıklar, trafiğin öngörülenden daha fazla artması, iklimsel şartların elverişsiz oluşu, yol bakımı sırasında projeye, tekniğe ve yol yapısına uygun olmayan onarımlar, yapılan onarımın yetersiz oluşu ve diğer birimlerle koordinasyon eksikliğinden dolayı istenileni sağlamaması başlıca bozulma sebepleridir (Doğan, 2006).

Taşıma gücü düşük olan bir zemin iyileştirilmeden yol gövdesi oluşturulması, doğru dolgu malzemesinin seçilmemesi, yetersiz drenaj, asfalt tabaka kalınlıklarının gerektiği kalınlıkta olmaması, kullanılan kaplama malzemesinin yolun tipine, kapasitesine ve çevre koşullarına göre seçilmemesi ve yanlış tipte olması, aşırı ya da yetersiz sıkıştırma, düşük hava sıcaklığında ya da yağışlı havalarda bitümlü karışım uygulaması, kalitesiz işçilik gibi sebepler yapım hataları olarak sayılmaktadır (Doğan, 2006).

Üstyapı tabakalarında oluşabilecek bozulmaların sebepleri, yukarıda belirtildiği gibi uygunsuz sıkıştırma, yapım esnasında uygunsuz hava sıcaklığı, kalitesiz yapım malzemesi gibi sebepler sayılabilir. Asfalt betonu kaplamada ya da yüzeysel kaplamada kullanılacak agreganın temiz, killerden arınmış, sağlam ve şartnamedeki uygun gronülometriye sahip olması gerekir. Kontrol edilmemiş gronülometrili, çabuk cilalanan, çürük, kirli ve dayanımı düşük, yuvarlak agrega oranını yüksek (tüvenan malzeme) içeren malzemeler kullanılmamalıdır. Bitümlü bağlayıcılar da ne çok ne de az kullanılmalıdır. Asfalt betonu kaplamalar için kullanılacak filler oranına özen gösterilmelidir. Ayrıca, aşırı derecede sıkıştırma yapılması, astar tabakalarının özensiz yapılması, asfalt betonu kaplamalar içinde sıkıştırma ve serme sıcaklıklarının düşük olması, segregasyona uğramış karışımın kullanılması veya yapım esnasında karışımın bozulmalara uğraması gibi durumlar genel yapım hatası olarak gösterilebilir (Doğan, 2006).

4.1. Bozulma Ölçüleri

Bozulma ölçütleri dört başlık altında toplanabilir. Bunlar servis yeteneği indeksi, tekerlek izi derinliği, çatlak ve defleksiyondur.

4.1.1. Servis Yeteneği İndeksi

Bir kaplamanın performansı, taşıtların emniyetli ve konforlu bir seyahati uzun süre sağlayabilmesinin bir göstergesidir. Kaplamanın performansı AASHTO-1986 tasarım yönetimine göre ‘servis yeteneği’ kavramı ile tanımlanmaktadır. Kaplamanın başlangıçtaki performansı ve belirli zaman sonraki performansı karşılaştırılıp, servis yeteneğinin nasıl değiştiği belirlenmeye çalışılmış ve buna göre bir takım tasarım formülleri geliştirilmiştir.

4.1.2. Tekerlek İzi Derinliği

Yolun bozulmuş kabul edilmesi için tekerlek izi derinliğinin belirli bir düzeyi aşmış olması gerekmektedir. Tekerlek izinin derinliği bakım ve onarım kararının verilmesi için önemli bir parametredir. Genel ölçüt düşey yönde 1.0-2.5 cm’dir.

4.1.3. Çatlak

Çatlaklar, yol üstyapısında çekme ve basınç gerilmelerinden meydana gelen, yol eksenine paralel ya da dik doğrultuda oluşan yarılmalardır. Çatlama/birim alan yolda meydana gelen çatlama derecesini göstermektedir.

4.1.4. Defleksiyon

Esnek üstyapılarda, geçen tekerlek yükleri altında, düşey yönde meydana gelen deformasyonlara ‘defleksiyon’ denir. Esnek üstyapıların yük ile defleksiyon, elastik deformasyon sınıfına girmektedir. Diğer bir deyişle, yükün oluşmasıyla oluşan defleksiyon, yükün üstyapı üzerinden kalkmasıyla eski haline geri döner. Ancak, trafik yüklerinin belirli aralıklarda tekrarlanması, üstyapıda sürekli tekrarlanan yükler sebebiyle deformasyonların tesirinde kalır ve yorulma meydana gelir. Yorulma, oluşan defleksiyonların seviyesi ve üstyapının mukavemetiyle ilişkilidir. Yani, oluşan yüksek defleksiyonlar üstyapının zayıflık seviyesini belirler ve defleksiyon arttıkça üstyapıda meydana gelen bozulmalarda artış gösterir.

Üstyapıda oluşan bu defleksiyonların ölçümü için birçok alet geliştirilmiştir. Bu cihazlar ile dinamik veya statik yükler altında defleksiyonların ölçümü mümkün kılınmıştır.

Defleksiyon ölçümü için, Benkelman kirişi ve düşen ağırlıklı deflektometre kullanılır (Hanlı, 2009).

4.2. Üstyapılarda Oluşan Bozulma Nedenleri

4.2.1. Bitüm Yüzdesinin Fazla Olması

Asfalt betonun fiziksel karakteristikleri ve kaplamanın uzun ömürlü olması bakımından, asfalt betonu karışımlarındaki bitüm yüzdesi çok önemlidir. Karışımda kullanılan bağlayıcı oranı olması gerekenden daha fazla ise karışımın rijitliği ve stabilitesi oldukça düşük olacaktır. Düşük stabiliteye bağlı olarak üstyapıda, trafik yükleri sebebiyle ondüle, yığılmalar ve tekerlek izi görülecektir.

Yine asfalt miktarının optimumdan fazla olduğu durumlarda sıcak havaların fazla olduğu zamanlarda, asfalt bitümü sıcaklık etkisiyle yumuşayacak ve kaplama üzerine birikecektir. Bu durum da yüzeyde gereğinden fazla kalın bir asfalt filmi oluşturur. Terleme ya da kusma olarak adlandırılan bu durum sonucu yüzeydeki agregaların asfalt filmi ile kaplanıp sürtünme katsayısının düşmesine ve sürüş güvenliğinin azalmasına sebep olacaktır.

Bitüm oranının fazla olduğu kaplamalarda sıcak havaların etkisiyle bitümün yüzeye yansıması görülür ve bu da kaplamanın stabilitesini büyük oranda düşürür. Düşük stabilize kaplamalarda ağır taşıtların geçmesiyle de tekerlek profil izi oluşumuna neden olur.

4.2.2. Bitüm Yüzdesinin Az Olması

Kaplamalarda gereğinden fazla bitüm kullanımı stabiliteyi etkilerken, çok az miktarda bitüm kullanımı da durabiliteyi olumsuz anlamda etkilemektedir. Durabilite, trafik ve çevre şartları ile meydana gelen aşınmaya karşı direnç göstermesi yani, kaplamanın işlevlerini uzun yıllar boyu bozulmadan dayanıklılık ve kalıcılık sağlamasına denir. Bitümlü sıcak karışımlarda; bağlayıcının soyulmasına, agregaların kırılmasına ve ufalanmasına karşı dayanıklılık istenmektedir. Bitüm bu elementleri bir arada tutan malzeme olduğu için, karışımlarda gereğinden az miktarda bitüm kullanımı sökülme, soyulma ve ayrışmalara sebep olarak yüzeyde agrega kayıplarına neden olur.

Bağlayıcı özellikte olan bitüm miktarının az oluşu, karışımın boşluk oranını arttıracağı için geçirgenlik de fazla olacaktır. Geçirgenliğin fazla olması hava ve suyun etkisiyle bağlayıcının yaşlanmasını arttırmakta, çevre etkileriyle yol yüzeyine yapışan

killerin gözeneklerden içeri girerek bitüm-agrega adezyonunu düşürmekte, soyulma mukavemetini azaltmakta ve donma-çözülme tekrarı sonucunda agregaların parçalanmasına sebep olmaktadır.

Yine karışımın beklenenden az olması, kaplamalarda yorulma çatlakları görülünceye kadar geçirebilecek maksimum yük tekerrür sayısı anlamında olan yorulma mukavemetini azaltır. Ayrıca esneklik oranı da bu sebeple azalarak, düşük sıcaklıklarda eğilmelerden oluşan çatlak oluşumuna karşı dayanımı kötü yönde etkiler.

4.2.3. Tasarıma Uygun Olmayan Bitüm Kullanılması

Yapısal olarak viskoelastik özellikte olan bitümde, taşıtların yüksek hızlarında ve düşük sıcaklıklarda elastik katı, yüksek sıcaklıklarda ve düşük hızlarda viskoz sıvı özelliği görülmektedir. Karışım stabilitesinin düşmesinde sebep olarak düşük viskoziteli bitüm kullanımı gösterilmektedir. Düşük viskoziteli bitümün kullanılması fazla sıcaklıklarda yolda akma, ondülasyon ve çökmelere sebep olacaktır.

Bitümlü sıcak karışımlarda malzemelerin hazırlanmasından servis ömrünün sonuna kadar bitümlü bağlayıcılarda meydana gelen ve yaşlanma olarak adlandırılan bir takım yapısal sertleşmeler oluşmaktadır. Yaşlanma, kısa süreli yaşlanma ve uzun süreli yaşlanma olarak iki sınıfa ayrılır. Kısa süreli yaşlanma asfalt karışımın hazırlanması esnasında bitümün oksidasyonu ve bileşenlerin buharlaşmasıyla oluşur. Uzun süreli yaşlanma ise kaplamada kullanılan ve yola uygulanan malzemelerde oluşan oksidasyon ile ilgilidir. Her iki durum da karışımda sertlik ve viskozite artmaktadır. Bu durum, karışım yapısının daha sert ve kırılgan olmasına ve trafik yükleriyle kaplamanın çatlak oluşumu ile meydana gelebilecek dağılmalara karşı daha hassas olmasına sebep olabilmektedir.

Bitümlü bağlayıcı düşük sıcaklıkta meydana gelen çatlamalarda önemli bir rol oynar. Genellikle sert asfaltlarda, yumuşak asfaltlara oranla daha çok çatlama görülür. Bitümler çok fazla oksitlenmeye eğilimli oldukları için veya karışımlarında fazla hava boşluğu olduğu için çok yaşlanmış bitümler düşük sıcaklıkta çatlamaya uğrarlar. Bu sebeple, karışımlarda çatlamayı engellemek için hava boşluğu oranı düzgün ayarlanmalıdır (Ağar ve Umar, 1985).

Bitümlü sıcak karışımlar, asfalt kaplamasının altında oluşabilecek çekme mukavemetine sahip ve tekrar eden yükler altında çatlamaması için yeterince esnek

olmalıdırlar. Yani, bitümlü sıcak karışımların yumuşak elastik malzemeler gibi davranması istenir. Bu sebeple, kaplamalarda bağlayıcının sertlik oranında bir sınır olmalı ve yüksek elastisiteli bağlayıcılar tercih edilmelidir. Çünkü yumuşak asfaltlar, sert bağlayıcılardan daha çok çatlama dayanımına sahiptir.

4.2.4. Uygun Agreganın Kullanılmaması

Kaplamalarda dayanımı etkileyen en önemli malzeme kullanılan agregalardır. Bu sebeple, agregaların dayanıklı olması, olabildiğince az yuvarlak malzeme içerip birbirine kitlenmesi ve yabancı madde içermemesi istenir. Hazırlanan karışımın iç sürtünme direncini ve makaslanmasını arttırmak için keskin köşeli ve ayrıtlı agrega kullanımı çok önemlidir. Tekerlek izi dayanımının azalmasına sebep olarak pürüzlülüğü az, yuvarlak taneli, yeterince kırılmamış ve yassı agregaların asfalt kaplamada kullanılması gösterilebilir (Avcı, 2009).

Karışımın stabilitesini korumak için ince agrega miktarının gerekenden fazla olmaması, agrega şekli ve dayanımı dikkatle seçilmelidir. Kullanılan agregalar ilk başta pürüzlü ve köşeli olsalar bile, zamanla taşıt yüklerinin etkisiyle eskiyip cilalı yuvarlak bir hale gelebilirler. Özellikle kalker türündeki agregalar trafik yüklerine karşı dayanıksızdır ve çabuk cilalı hale gelir (Karakoç, 2006).

Yola serilen ıslak ve kirli agreganın kaplamada agrega kaybına sebep olabileceği gibi, kirli, parçalanmış ve düşük kalitede agreganın kullanılması da trafik yüklerinin kaplamada çukurlaşma, sökülme ve diğer bozulma türlerine sebep olmaktadır.

4.2.5. Gradasyonun Tasarımdan Farklı Olması

Agrega gronülometresi kaplama mineral iskeletindeki hava boşluğunu belirleme açısından önemlidir. Karışımda mekanik direnci arttıran bir iskelet oluşturması bakımından kaba agrega oranının %40-50'ye çıkarılması istenir. Böylece karışı direncinde önemli bir artış oluşur. Kullanılan ince agregalar ise kaba agregalar arasındaki boşluğu doldurarak daha yoğun bir karışım elde edilir (Ilıcalı vd., 2001).

Asfalt karışım kaplamaların sıkıştırılabilirliği açısından kaplama sıcaklığı, bitüm içeriği ve kırık agrega yüzeyi çok önemlidir. Karışımın daha iyi sıkıştırılabilmesi için, kullanılan asfalt kaplamanın hedef yoğunluğunda sıkıştırılmasına da olanak sağlar.

Agrega gradasyonu asfalt karışım yapısını ve gerilme dağılımını büyük ölçüde etkilemektedir. Kaplamada kullanılan agrega gradasyonunun farklı olması homojensizliğe sebep olmaktadır. Kaplamada homojenlik servis ömrü boyunca gösterdiği yorulma ve mekanik dayanım gibi asfalt beton kaplamaların çoğu özelliğini etkilemektedir. Segregasyon ve üniformsuzluk ile azalan rijitlik, çekme mukavemeti ve yorulma sebebiyle kaplamanın servis ömrünü düşürmektedir (İskender, 2019).

Gradasyonda yapılan değişikliklerle meydana gelecek tanelerdeki köşelilik ve şekil özelliklerindeki farklılıklar boşluk hacminde beklenmeyen değişikliklere yol açabilir. Bitümlü karışımların performansında ve servis ömründe agrega dane boyutu, filler oranı ve en büyük dane boyutu önemli yer tutar.

Marshall karışım yönteminde öncelikle karışımı oluşturan bitüm ve agreganın kaplamayı büyük oranda etkileyecek fiziksel özellikleri tayin edilir. Karışıma uygun agrega gronülometresi ve bitüm yüzdesi, yapılan birçok karışımın performansı değerlendirilerek belirlenir. Marshall yönteminde amaçlanan, trafik yükleri altında oluşabilecek deformasyonları en aza indirebilecek stabil karışım oluşturmak, sağlam üstyapı oluşturmak, sıkıştırılmış karışımda kusma, akma ve stabilite düşüklüğüne sebep olmadan yapılabilecek en az sıkışmayı sağlamak, ancak karışım içerisinde fazla hava barındırmayacak ölçüde boşluk sağlamak ve uygun serim ve işlenebilirliği sağlayacak karışım ortaya çıkarmaktır.

Karışım için gerekli gradasyon oranının dışına çıkıldığında; örneğin kullanılan ince malzeme oranı fazla olduğunda asfalt kaplama kalınlığı istenilen düzeye çıkamayacak ve istenilen boşluk oranı sağlanmadığı için sıkıştırmada sorunlar ortaya çıkacaktır. Bu da kaplamada oluklanmaya sebep olacaktır. Gradasyondaki maksimum dane boyutu arttığında ise, segregasyonlar artar, sıkışma zorlaşır ve homojen bir tabaka elde edilemez (Ayçiçek, 2011).

4.2.6. Filler Oranı

Asfalt karışımlarda agreganın içinde belirli miktarda filler bulunması istenilen performansın sağlanması açısından gereklidir. Karışımlarda filler kullanmak, gerekli hava boşluğunu ayarlamak ve dayanımı arttırmak açısından karışımların ana bileşeni olarak sayılmaktadır. Mineral fillerin, fillerin asfalt kaplama performansını arttırmadaki etkisini

belirlemek, karışımın stabilitesini ve durabilitesini arttırarak ayrışma ve tekerlek izini azaltma gibi görevleri vardır. Belirli miktarda mineral filler kullanımı asfalt betonundaki tekerlek izini azaltmaya, kalıcı deformasyonları azaltmaya, yorulma çatlağını ve nem hasarını azaltmaya yarar. Filler, portland çimentosu, hidrate kireç ve uçucu agrega gibi malzemelerin elenmesiyle elde edilir.

Filler malzemesi kolayca akacak kadar kuru olmamalıdır ve içeriğinde kil, toprak, organik ve zararlı maddeler içermemelidir. Filler bitümlü malzeme ile reaksiyona girmemesi açısından nötr olmalıdır. Ayrıca bağlayıcıya karşı iyi bir adezyon göstermesi açısından bitümlü karışımın yapıldığı sıcaklık bir değişikliğe uğramamalıdır.

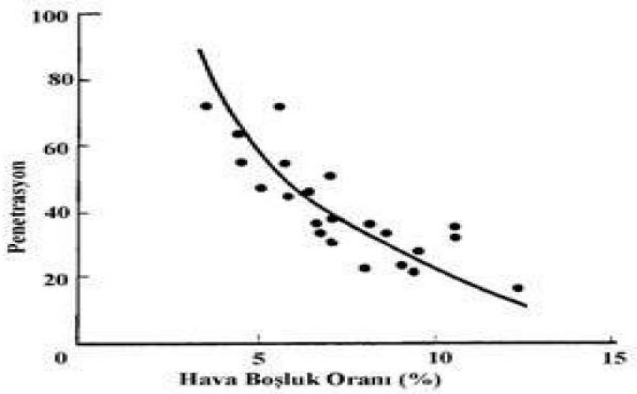
Bu özelliklere bağlı olarak karışımlarda yeterli fillerin bulunmaması, kaplamada fazla boşluk miktarı oluşmasına, yüksek sıcaklıklarda deformasyona karşı dayanımın düşük olmasına ve asfalt kalınlığının artmasına sebep olacaktır. Bu durumlar ise tekerlek izi, ötelenme, soyulma, yorulma çatlakları gibi stabilite ve durabilite eksikliğinden kaynaklanan birçok sorunun oluşmasına neden olacaktır.

4.2.7. Hava Boşluğunun Fazla Olması

Bitümlü kaplamada boşluk hacminin gereğinden fazla olması aşınmaya karşı direncin düşmesine, hava etkisiyle bağlayıcının sertleşmesine, trafik altında oluşacak sıkışmanın artmasına ve bu sebeple de kaplamanın ömrünün kısalmasına yol açar. Ayrıca kaplamada hava boşluğunun olması gerekenden fazla oluşu, kaplamaya su sızmasına sebep olur ve alt tabakalarda oluşacak zayıflama sebebiyle soğuk iklimlerde donma-çözünme olayı sonucu bozulmalar meydana gelecektir (Ayçiçek, 2011).

Kaplamalarda hava boşluğu yüzdesinin fazla olması, çevresel faktörlerin dayanıklılığı azaltmasına sebep olur. Yüksek hava boşluk oranı, kaplama içinde hava geçirgenliği, su sızması ve çevreden gelen killerin kaplamaya yapışarak dayanıklılığı azaltmaya ve yaşlanmanın artmasına sebep olur.

Asfalt organik moleküller içerdiği için oksijenle reaksiyona girme meylindedir. Bu reaksiyona oksidasyon olarak adlandırılır. Oksidasyon yorulma karakteri için önemlidir. Oksidasyon, kaplamada kohezyonu ve rijitliği arttırmaktadır. Bu durum, genellikle ince asfalt tabakalarında görülmektedir ve yorulma çatlaklarının oluşumuna sebep olacaktır (Ilıcalı vd., 2001). Hava boşluk oranının yaşlanma üzerindeki etkisi Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. Hava boşluk oranının yaşlanma üzerindeki etkisi

Bitümlü karışımlarda geçirimsizlik, kaplama içerisine hava ve suyun teması açısından göz önünde bulundurulması gereken bir değerdir. Geçirimsizlik azaldıkça, hava ve suyun etkisiyle soyulma dayanımı düşer, çatlama ve ayrışmalar meydana gelir. Geçirimsizlik istenilenden fazla olduğunda ise soğuk havalarda su kaplama içine sızar ve donma-çözünme olaylarında agrega ve bitümün ayrışmasına sebep olarak kaplamada kopmalara ve trafik yüklerine bağlı olarak tekerlek izlerin oluşmasına sebep olur.

Kullanıma açılmış yollarda trafik yüklerinin etkisiyle zamanla sıkışmalar meydana gelir. Şartnameye göre kaplamalarda minimum oranda boşluk yüzdesi istenir. Ancak minimum boşluk oranı zamanla kaybolmamalıdır. Bu durum ince bir malzeme tekniği ile bağlayıcı miktarı ve agrega gronülometrisinin doğru ayarlanmasıyla sağlanabilir. Ayrıca boşluk oranının tayini için kaplamanın kullanıma açıldıktan sonra ne kadar sıkışabileceğinin bilinmesi gerekir. Fazla sıkışma durumu söz konusu olmayan hafif trafikli yollarda boşluk oranı göz ardı edilebilir (Ağar, 1976).

4.2.8. Hava Boşluğunun Az Olması

Şartnameye göre kaplamanın gerekli deformasyon direncini sağlaması için minimum boşluk oranına sahip olması gerekir. Ancak bu boşluk oranı kaplamanın tipine, bölgenin iklim koşullarına göre değişiklik gösterir. Trafik yükleriyle birlikte kaplamada boşluk oranı kalmazsa, karışım sadece bitüm ve agregadan ibaret olur. Bu tür kaplamalar soğuk iklim şartlarında bozulmaya uğramaz ancak, sıcak havalarda ondülasyona uğrar. Sıcak havanın etkisiyle yumuşayan bitüm kaplama içerisinde yer bulamaz ve yüzeye doğru hareket eder. Bu durum yüzeyde bir film oluşmasına sebep olur ve kayganlık artar. Ayrıca

bu durum kaplamada fazla bitüm birikimine sebep olur ve agregaların yük transfer özelliğini yitirmesine sebep olup gerilme dağılımını olumsuz etkileyecektir.

Hensley ve Leahy (1989) yollarda görülen tekerlek izlerinin zeminden daha zayıf alttemel tasarımı, trafik hacim ve yüklerin doğru kullanılmaması, yüksek filler ve düşük hava boşluğu oranının sebep olduğunu saptamışlardır. Yüksek oranda bitüm kullanmanın ve aşırı sıkıştırma yapılarak hava boşluğu oranının düşürülmesi olarak belirtmişlerdir. Bu hususlara bağlı olarak, esnek üstyapılarda aşırı sıkıştırmadan kaçınılmalı ve hava boşluğu oranının %2'nin altına indirilmemesi gerekmektedir. Sağlanan minimum boşluk oranı ile, stabilite düşmesi ve kusma durumlarının önüne geçer ve yeterli genleşmenin sağlanmasına olanak tanıyarak termal çatlakların oluşmasını engeller (Yumrutaş, 2009).

4.2.9. Yetersiz veya Fazla Sıkıştırma

Sıkıştırma, kaplamanın yeterli yoğunluğu elde etmesi için gerekli mekanik bir işlemdir. Sıkıştırma yolun trafik yükü altındaki hareketleri için önemlidir. Zeminlere ve kaplama malzemelerine sıkıştırma işlemi uygulamak, agrega ve bitümün birbirine daha iyi kenetlenmesini ve zemin birim hacmini azaltarak yoğunluğun arttırılmasını amaçlamaktadır.

Mekanik açıdan sıkıştırma derecesi büyük önem taşımaktadır. Sıkıştırma ile agregaların birbirine teması attırılır ve değme noktaları sürtünmeyi arttırarak daha yüksek karışım stabilitesi ile dayanım arttırılmaktadır (Yumrutaş, 2009).

Kaplamanın yüksek trafik yükleri altında gerekli dayanımı göstermesi için iyi sıkıştırılması gerekir. Yapım sırasında yeterli sıkıştırmanın sağlanamaması trafik yükleri ile karışımda konsolidasyona sebep olur. Bu durum genellikle tekerleklerin geçtiği bölgelerde görünür ve sürücüler için emniyetsiz bir sürüşe sebep olur (Ağar, 1976).

Kaplamada boşluk hacminin fazla olması kaplamaya yabancı maddelerin ve suyun girişini arttırdığı için sertleşmeye ve bozulmalara sebep olur. Bu durumda kaplamanın servis ömrünün azalmasına ve kaplamanın yükler altında orantısız sıkışmasıyla dalgalanmalara neden olur. Bununla birlikte %2'nin altında boşluk oranından da kaçınılmalıdır (Uluçaylı, Yavuz, 2004),

Kaplamalarda fazla sıkıştırma yapılması maliyet açısından da zararlıdır. Ayrıca sıkıştırmada hatalı silindir işlemi yapılması kaplama yüzeyinde boşluklar meydana getirecek ve zamanla agrega kaybına sebep olup bozulmalar ortaya çıkacaktır (Ayçiçek, 2009).

4.2.10. Serme Sıcaklığı

Viskozite sıcaklık ile değişim gösteren ve bitümlü karışımın sıkıştırma direncini belirleyen bir değerdir. Sıcaklık arttıkça akmaya karşı direnç yani viskozite düşer ve gerekli sıkıştırma kuvveti istenilen sıkıştırmayı yapmak için yeterli olmaz. Deneysel çalışmalar sıkıştırma anındaki sıcaklığın yolun stabilitesini önemli oranda etkilediğini ve yüksek oranda direnç elde etmek için optimum serme sıcaklığının bulunmasına olanak verdiği ortaya koyulmuştur. Uygulamada yola serilen karışım, deformasyonlara mahal vermeyecek düzeyde, sıkıştırma makinesini taşıyacak duruma kadar sıkıştırmaya başlanır ve donma seviyesine gelmeden işlem bitirilir (Yumrutaş, 2009).

Bitüm oda sıcaklığında neredeyse katıdır. Ancak karışım yapılırken diğer malzemelerde tam bir yapı oluşturabilmesi için yeterince sıvı halde olmalıdır. Bu sayede bitüm karışımda yağlayıcı etki yaparak karışım soğudukça viskozitesi artar. (Yumrutaş, 2009)

Hava sıcaklığı 5 ℃ veya 5 ℃ altında olduğunda, yağmur ve kar yağışlarında, yolun üzerinde su ya da bölgede kar bulunduğunda bitümlü kaplama yapılmamalıdır. (KGM, 2013) Serme sıcaklıkları Tablo 7'de verilmiştir.

Tablo 7. Asfalt betonu serme sıcaklıkları

Sıkıştırılmış Tabaka Kalınlığı	**< 50 mm**	**50 – 75 mm**	**> 75 mm**
Yol Yüzeyi Sıcaklığı ˚C	**Minimum Serim Sıcaklığı ˚C**		
< 5	Serim yapılmamalıdır.	Serim yapılmamalıdır.	Serim yapılmamalıdır.
5 – 9.9	Serim yapılmamalıdır.	141	135
10 – 14.9	146	138	132
≥ 15	141	135	130

Karışım yola serildikten hemen sonra sıkıştırma işlemine başlanması gerekir. Ayrıca sıkıştırma işlemine başlandığında karışım sıcaklığının 135 ℃' nin, işlem tamamlanmadan ise karışım sıcaklığının 80 ℃' nin altına düşmemesi gerekir. Bu sıcaklık değerleri arasında bitüm sıvı halde olup, agregalar içerisinde yağlayıcı etki yapar ve agregaların karışım içerisinde yoğun bir düzene doğru hareketine olanak sağlar. Karışımın belirtilen sıcaklık değerlerinin altına düşmesi halinde, bitüm viskozitesi artarak katı hal alır ve karışım yoğunlaşması imkânsız hale gelir. Ayrıca karışım sıcaklığı, serimin yapılacağı bölgenin iklim şartlarına, tabaka kalınlığı, yüzeyin sıcaklığı, karışımın soğuma hızı ve sıkıştırma süresi gibi etkenlere bağlıdır (KGM, 2013).

4.2.11. Serme Hataları

Serme esnasında segregasyona sebep olabilecek derecede hava boşlukları bitüm oranı düşük agrega yığılmalarına sebep olur ve bu sebeple oluşan soyulma, sökülme ile kaplamada çukurlaşmalar oluşur. Diğer taraftan sathi kaplamalarda çizgisel agrega kaybının görülmesinin sebepleri; püskürtme borusunun yanlış açıda tutulması, dağılım tanklarının püskürtme borularının uygun olmayan yükseklikte ve istenilen şekilde olmaması, boru üzerindeki memelerin tıkalı olması, borunun yeterli bakımının sağlanmaması, bitümün düşük basınçla ve uygun olmayan hızla dökülmesi, düşük bitüm sıcaklığı ve kötü işçilik olarak sayılabilir (Ayçiçek, 2009).

4.2.12. Karıştırma Esnasında Özen Gösterilmemesi

Kaplama performansı açısından karıştırma sıcaklığı, süresi ve karıştırma esnasındaki özen çok önemlidir. Bu etkenler karıştırma esnasında göz ardı edilirse kaplama kalitesi ve performansı düşük olur.

4.2.13. Trafiğin Gerektiği Gibi Hesaplanmaması

Kaplama projelendirmesinde dikkat edilmesi gereken bir diğer etken ise kaplama üzerinde oluşacak trafiğin yük etkisidir. Taşıt yüklerinin gerek tekrar etme sayısı gerekse tonaj ile olması gerekenden düşük olması veya gelecekteki trafik yüklerinde oluşacak artışın yanlış alınması, yapılan geometrik boyutların yetersiz kalmasına ve yüklemelerin ve gerilmelerin kaplama üzerinde çatlaklar oluşturmasına sebep olacaktır (Ayçiçek, 2009).

4.2.14. Yetersiz Drenaj Sistemi

Taban zemini doğal zeminlerden ya da işlemden geçirilerek sıkıştırılmış dolgu malzemesinden oluşur. Taban zeminlerinde uygun yeraltı drenajı sağlanarak su seviyesi, tesviye yüzeyinin en az 100 cm altında tutulmalıdır. Kaplama içine nüfuz eden su taban zeminlerinin taşıma gücünün azalmasına sebep olur. Bu sebeple, drenaj sistemi yolun servis ömrü boyunca suyu tabandan ve üstyapılardan uzaklaştırmalıdır. Yol üstyapıları, suyun kaplamaya nüfuzuyla aşırı don kabarması ve donma-çözünme mevsimlerinde taşıma gücünün azalmasına sebep olarak zarar görebilir. Drenajdan kaynaklanan deformasyonların en aza indirilmesi için üstyapı toplam kalınlığı, donma indeksi, taban zeminin dona karşı direnci ve yeraltı su seviyesinin üstyapıya göre ölçülen derinliği gibi faktörlerin incelenerek uygun değerlerde tasarım yapılmalıdır (Ağar, Umar, 1985).

Drenaj sistemi, yağış dönemlerinde yağmur ve kar sularının kaplamadan uzaklaştırılmasını sağlar. Taban zemininde bulunan kil ve silt gibi maddeler su ve nem ile temas ettiklerinde hacim değişikliklerine uğrayarak şişmeye başlar. Bu sebeple oluşan hacim değişikliği sonucu meydana kabarmalar ise üstyapıda kırılmalara ve ayrışmalara sebebiyet verir. Yetersiz drenaj sebebiyle temel altına biriken sular zamanla agrega ve bitüm arasındaki adezyon kuvvetinin azalmasına ve ayrışmalara sebep olur.

Drenajın yeterince sağlanmadığı durumlarda, yağışlardan sonra yüzeye biriken sular, emniyetli sürüşü azaltır ve yol yüzeyi, yarma, dolgu ve banket şevlerinin erozyona uğramasına sebep olur.

4.2.15. Çevresel Koşullar

Bitümlü bağlayıcılar açısından, bağlayıcının viskozitesi doğrudan sıcaklık ile ilgili olduğundan iklim bu açıdan oldukça önemlidir. Sıcaklığın düşmesi kaplamalarda büzülmelere sebep olur. Temel tabakası, kaplama ile aralarındaki sürtünme sebebiyle büzülme hareketini engellemek isteyecek ve tabakada çekme gerilmeleri meydana gelecektir. Esnek üstyapılarda genleşme katsayısının mineral agrega katsayısından büyük olması durumunda, düşük sıcaklıklarda agrega arasındaki bitümlerde çekme gerilmelerin oluşmasına sebep olur. Sıcaklığın düşüşü, zemini ver zemin suyunu etkilediğinde, boşluklar arası sularda donmalar meydana gelecektir. Bu donmalar yüzeye doğru yükselir ve hem emniyetli sürüş açısından hem de agrega ve bitüm arasındaki adezyon açısından sıkıntılar meydana gelir. Bazı durumlarda, don kabarması sebebiyle bitümlü tabakada meydana gelen çekme gerilmeleri kaplamanın mukavemetini aşarak çatlak gibi deformasyonların ortaya çıkmasına sebep olur. Bu nedenle, kaplamanın inşa edileceği bölgenin donma indeksi, hidrolik koşullar ve don penetrasyon derinliği gibi hususlar göz önünde bulundurularak dona karşı önlemin gerekliliği araştırılmalıdır (Ilıcalı vd., 2001).

Karayolu esnek üstyapılarda meydana gelen bozulmalar, trafik yükleri ve iklim koşullarından kaynaklanan gerilmeler nedeniyle oluşmaktadır. Bu bozulmalar sebebiyle yollarda hizmet performansı ve konfor düşüşünün yanı sıra can ve mal kayıpları yaşanabilmekte ve ekonomiyi olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Ayrıca bozulmaya uğrayan yol kullanılamaz hale gelmektedir. Bu sebeplerden dolayı, karayolu üstyapısının geliştirilerek yollardaki olası bozulmaların engellenmesi ve kaplama kalitesinin arttırılması zorunlu hale gelmiştir (Umar, Ağar, 1985)

Asfalt betonunda bozulma kavramı, üstyapının trafik yükleri ve çevresel etkenlerin sonucu olarak düşmesi beklenen servis kabiliyetinin derecesi olarak ifade edilmiştir. Ayrıca servis yeteneği kavramının açıklanması gerektiği ve konunun detaylandırılıp incelenmesinin zorunlu olduğu belirtilmiştir (Çakıroğlu, 1993).

Asfalt betonunda meydana gelen bozulmalar genel olarak, kırılma (çatlama), şekil değiştirme ve ayrışma olarak üç sınıfa ayrılabilir. Bu bozulmaların ana nedenleri temel, alttemel ve taban zemininin istenilen taşıma günün sağlamaması, trafiğin zamanla artan

yükleri, çevre koşulları ve asfalt kaplamanın özellikleri olarak sıralanmaktadır (Çetin, 1997).

Bitümlü kaplamalarda kullanılacak agregaların içerikleri (tortul, magmatik, metamorfik) ne olursa olsun, farklı kaplama tipleri için sağlaması gereken fiziksel özellikler şartnamede verilmiş, ancak tüm özellikleri sağlayan agregaların uygulamada kullanılabileceği belirtilmiştir. Ayrıca şartnamede yassı düz ve uzun tanelerin filler özelliğini düşüreceği belirtilmiş ve filler malzemesinin kaplamanın diğer malzemeleriyle reaksiyona girmeyecek yapısal özellikte olması istenmiştir (Ilıcalı, 2001).

Çevre ve iklim koşulları, kaplamada meydana gelen bozulmalar için dikkate alınacak konulardır. Bu koşulların, üstyapının davranışını önemli oranda etkilediği açıkça belirtilmiştir. Yağış almayan ve kurak bir bölgede yeterli dayanımı sağlayan bir üstyapı tipi, yağışlı bölgede zor iklim şartları sebebiyle kısa hizmet ömrüne sahip olabilir. Koşulların elverişsiz olduğu durumlarda zamanla artan trafik yükünün verebileceği zararın, uygun koşullarda oluşabilecek zararlardan daha büyük olduğu saptanmıştır (Umar, Ağar, 1985).

Bitümlü bağlayıcının viskozitesi sıcaklık ile doğrudan bağlantılıdır. Çok soğuk veya çok sıcak daha da önemlisi sıcaklık farkının çok yüksek olduğu bölgelerde, ani gerilmeler betonun yapısını ve özelliklerini etkilemektedir. Kaplamalarda sıcaklık farklarından meydana gelen bu gerilme ve deformasyonların belirli bir kısmı genleşme derzleri ile karşılanmaktadır (Karakoç,2006).

Soğuk iklim sebebiyle üstyapıda meydana gelen çekme gerilmeleri, dayanımı aştığında düşük sıcaklık çatlakları oluşur. Bu çatlaklar arasından sızan sular, çatlakları derinleştirerek asfalt kaplamanın servis ömründen çok daha kısa sürede kullanım dışı kalmasına neden olur. Ayrıca sızan sular, altyapı malzemesine kadar ulaşır ve ufalanmaya müsait malzemelerin segregasyonuna sebep olarak yollarda çöküntülere sebebiyet verir. Uzun süre soğuk iklim yaşayan bölgedeki yollarda oluşan düşük sıcaklık çatlamaları, özellikle Kanada, ABD ve İskandinav ülkelerinde sık görülen üstyapı bozukluğudur (Seçginli, 2007).

4.3. Üstyapılarda Meydana Gelen Bozulma Tipleri

Karayollarının her geçen gün daha fazla trafik yükü etkisinde kalması, araçların zamanla artan yükleri ve çevresel koşulları (iklim, coğrafik durum) asfalt kaplama performansını etkileyen etkenlerdir. Asfalt kaplamanın iyi performans göstermesi o kaplamanın ekonomik, çevre etkilerine karşı dayanıklı, emniyetli ve sürücü konforu sağlaması gibi koşulların sağlanması gibi koşullar ile sağlanmaktadır. Herhangi bir tasarım için performans faktörleri şu amaçları içerir:

a) Yorulma ömrünü arttırmak
b) Oluşabilecek tekerlek izlerini azaltmak
c) Düşük sıcaklığın çatlamalar üzerindeki etkisini azaltmak
d) Yaşlanma hızını kontrol ya da minimize etmek
e) Suyun etkisini azaltmak

Çevre koşulları ve trafiğin etkisiyle kaplamalarda deformasyonlar oluşur. Oluşan bu deformasyonlar; iklim ve çevre etkisi, trafik etkisi, yapım ve tasarım yanlışlıkları, malzeme hataları, asfalt ve beton özellikleri, zayıf zemin tabakası, üstyapı mukavemetinin düşük olması, yanlış temel tabaka kalınlıkları gibi sebeplerle meydana gelebilir (URL-5, 2021).

Esnek üstyapılarda meydana gelen bozulmalar üç başlıkta toplanabilir. Bunlar; deformasyonlar, ayrışmalar ve çatlamalardır.

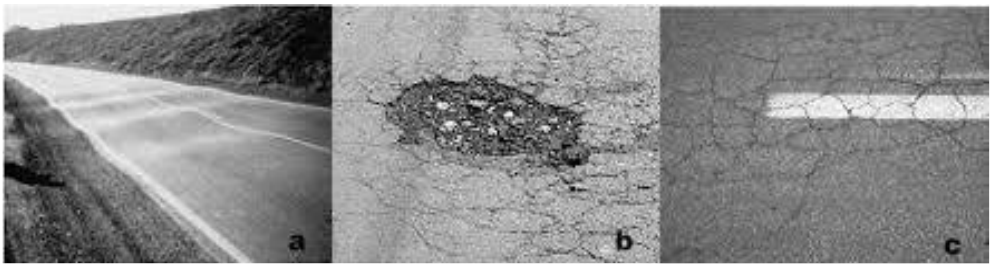
Deformasyonlar, kaplamanın imalatından sonra zamanla meydana gelen yapısal sınıf bozulmalardır. Bu deformasyonlar yol güzergahı boyunca veya bazı bölgelerde, yolun tamamında veya belirli yerlerde bölgesel şeklinde görülebilen kalıcı deformasyonlardır. Sürüş emniyeti ve konforu açısından büyük problemlere yol açabilecek bu deformasyonlar hizmet seviyesini düşürmemek için bakım-onarım veya takviye tabakasına ihtiyaç duyar. Deformasyonlar çoğunlukla düşük stabiliteye sahip bitümlü sıcak karışımların kullanılmasından kaynaklanır. Diğer taraftan tabakalardaki yetersiz sıkıştırma, aşınma tabakasında aşırı bitüm ve filler kullanımı, zeminde ve alt tabakalardaki fazla hacim değişikliği, yetersiz tabaka kalınlığı ve yetersiz drenaj gibi deformasyon oluşumunda önemli nedenlerdir. Deformasyonlar çökme, kabarma ve ondülasyon olarak görülmektedir.

Bu tip deformasyonlar, trafiğinde etkisiyle küçük parçalar halinde kopma ve parçalanma şeklinde görülür (Bağdatlı ve Yıldırım, 2017).

Ayrışmalar genellikle, yapım hataları, düşük kalite malzeme kullanımı (kirli, ıslak agrega gibi), yapım sırasında segregasyon oluşumu, homojen yapıda olmayan karışım, yetersiz ve yüksek penetrasyonlu asfalt (yetersiz adezyon) gibi sebeplerden oluşur. Ayrışmalar; çanak çapında ve derinliğinde çukurlar, aşınma katmanının tabaka halinde soyulması sebebiyle oluşan agrega soyulması, sökülmeler; asfaltın terlemesi ve agrega cilalanması veya kusması sonucunda oluşan kaygan yüzeyler olarak sınıflandırılabilir.

Çatlamalar ise, genellikle trafik yüklerinden ve zamanla artan ve tekrarlanan gerilmelerinden ve dingil yükünün oluşturduğu gerilmelerin kaplamanın mukavemetinin aştığı zamanlar meydana gelir. Ek olarak taşıtların ani hızlanma ani hızlanma ve yavaşlamalarıyla meydana gelen yatay doğrultudaki kuvvetler de çatlamaların oluşmasını tetikler. Çevresel etkenler de çatlama sebepleri olarak sayılabilir. Örneğin, soğuk iklime maruz kalan bitümlü kaplamalar, trafik yüklerinin etkisiyle sıcaklık değişiminden kaynaklanan gerilmeler altında kalmaktadır. Bu gerilmelerin oluşturduğu çatlaklara termal çatlaklar denilmektedir (Taşdemir ve Ağar, 2005).

Oluşan çatlamalarda asfaltın çekme mukavemeti önemli rol oynamaktadır. Soğuk hava koşullarında çekme mukavemetinde artış görülürken, yavaş yüklemelerde ise düşüş olduğu gözlemlenmiştir. Meydana gelen çatlamalar şu şekilde sıralanabilir; büzülme çatlakları, timsah sırtı çatlaklar, ek yerleri (derz) çatlakları, kayma (ötelenme) çatlakları, kenar çatlakları, yansıma çatlaklarıdır (Bağdatlı ve Yıldırım, 2017). Asfalt kaplamalarda görülen bazı deformasyon çeşitleri Şekil 3'te gösterilmiştir.



Şekil 3. Asfalt kaplamasında görülen deformasyonlar

4.3.1. Şekil Değiştirme

4.3.1.1. Terleme (Kusma)

Karışım içerisinde bulunan bağlayıcının sıcaklık etkisiyle yüzeye doğru ilerlemesiyle kaplama üzerindeki asfalt filminin kalınlaşması durumudur. Kusma ile yüzeyde bulunan agregalar tamamen bitüm filmiyle kaplanır ve sürtünme katsayısı düşer.

Kusma daha çok sıcak havalarda kaplamada fazla bağlayıcı miktarına bağlı olarak ortaya çıkar. Ayrıca, fazla dingil yükü altında fazla basınç ile de bağlayıcı yüzeye ilerleyebilir. Asfalt yüzdesi yüksek olan karışımlarda hava boşluğu yüzdesi de çok düşükse, sıcak havalarda genleşen ve kaplama içinde uygun boşluk bulamayan asfalt yüzeye çıkma eğilimi gösterecektir.

Yollarda bakım yapılan bölgelerde de görülebilen kusma, bağlayıcı ve boşluk yüzdelerinin doğru tespiti yoluyla önlenebilir. Zamanında ve yeterli yapılan bakım, bozulmaları tam anlamıyla engelleyemese de ilerlemeyi durdurabilir.

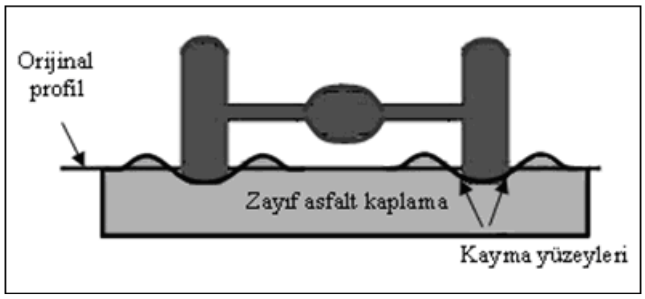
Çok sıcak havalarda, kusma görülen yerlere ideal granülometriye sahip agrega serilip, gerekli silindir ile sıkıştırılarak kusma tipindeki bozulmalar giderilebilir (Ayçiçek, 2011). Kusma aşamaları Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 4. Hafif şiddette, orta şiddette ve yüksek şiddette kusma

Bitümlü tabakaların kendi içlerinde erken deformasyonların oluşmasıyla erken tekerlek izleri oluşabilir. Bunun nedeni yüklerin oluşturduğu gerilmelerin bitümlü kaplamaların dayanım mukavemetini aşmasıdır. Yetersin sıkıştırma ve yüksek bitüm yüzdesi gibi asfalt kaplama ile ilgili nedenlerin yanı sıra bölgenin yüksek sıcak havaya sahip oluşu gibi çevresel etkenler de tekerlek izi oluşumunu tetikleyen durumlardandır. Kaplamalarda filler yüzdesinin fazla oluşu ve yuvarlak tipte agregaların kullanımı da

tekerlek izinin görülmesine sebep olabilir (Ayçiçek, 2011). Tekerlek izi oluşumu Şekil:5'te verilmiştir.



Şekil 5. Zayıf asfalt tabakasında tekerlek izi oluşumu

Zayıf asfalt karışımlarında, tekerlek izi oluşumu genellikle yaz mevsiminde fazla yüksek sıcaklıklarda görülür. Tekerlek izinin meydana gelmesi sadece bitümlü bağlayıcı olarak öne sürülmemeli, ayrıca bağlayıcı maddenin ve agreganın birlikte göz önünde bulundurulması gerekir (Ağar ve Umar, 1985).

Tekerlek izi ayrıca sıcak havalarda lastik desenlerinin kaplama yüzeyinde görülmesi şeklinde de görülebilir. Tekerlek profili izi tam olarak bozulma sınıfına girmese de karayolu bakımı için önemli bir kriterdir. Bu tip profil izleri ağır taşıtların park etmelerinden kaynaklanıyorsa stabilize yetersizliği, hareket halindeki taşıtlardan oluşuyorsa o kesimde kusma olduğu söylenebilir. Bu tür tekerlek profil izi oluşumunun önüne geçilmesi için yüksek stabiliteli karışım ya da kusma önleyici önlemler alınmalıdır.

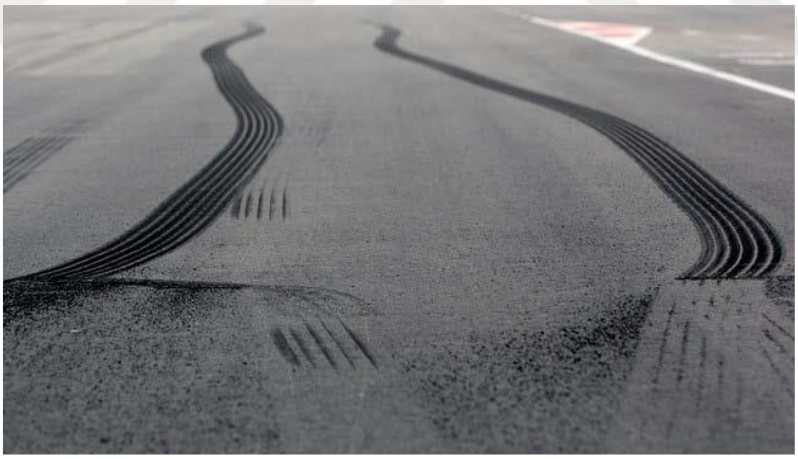
Tekerlek izi oluşumu kalıcı deformasyon sınıfına girmektedir. Kalıcı deformasyon, sıcak karışım tabakası enkesitinin, kapasitesini muhafaza edememesi ve bozulmaya uğramasıdır. Sıcak karışım kaplamasına her yükleme yapıldığında küçük miktarlarda geri dönümsüz deformasyonlar oluşur. Bu deformasyonlar ilerleyen zamanda birikerek kalıcı deformasyonları oluşturur. Tekerlek izi oluşumu bu deformasyonda en yaygın görülen türüdür. Tekerlek izi oluşumunun, aşınma, trafik yükleri ve nem hasarının yoğunlaşmasıyla kaplama temelinin zayıflaması gibi birçok nedeni vardır. Ancak iki ana sebep daha önemlidir (Ağar ve Umar 1985).

Birinci durumda, fazla tekrarlı yüklerin asfalt kaplamalara ve altındaki temellere baskısıyla yüzeyde tekerlek izi oluşur. Mukavemeti diğerlerine göre daha fazla olan malzemelerin kullanılması tekerlek izlerini azaltsa da bu olay malzemeden çok, yapısal bir

problem olarak değerlendirilmelidir. Tekerlek izi oluşumu, biriken küçük deformasyonlardan meydana geldiği için, daha sert yapılı asfalt kullanmak yerine yüksek kaplama sıcaklığında elastik ama katı gibi davranan asfalt kullanılmalıdır. Kaplamada tekerlek izi oluşumu Şekil 6 ve Şekil 7'de gösterilmiştir.



Şekil 6. Tekerlek izi oluşumu ve oluklanma



Şekil 7. Fazla bitüm yüzdesinden meydana gelen tekerlek izi

4.3.1.2. Lokal (Yerel) Oturmalar

Kaplamaların düşey yönde yaptığı bozulmalardır. Oluşum nedenleri şu şekilde sıralanabilir.

a) Kaplama tabakalarında yetersiz sıkışma ile meydana gelen yer değiştirmeler.

b) Üstyapı taşıma gücünün düşük olması.
c) Yetersiz sıkışma ve yetersiz drenaj ile oluşan çökmeler
d) Donma-kabarma olayları
e) Hatalı dolgu şev yapımı



Şekil 8. Kaplamalarda lokal oturma

4.3.1.3. Ondülasyon, Ötelenmeler ve Yığılmalar

Bu tür bozulmalar yol yüzeyine dik veya paralel gerçekleşen, sıcak havalarda tekerleklerin mekanik etkisiyle yolun ötelenmesiyle meydana gelir. Yol yüzeyinde tepecik, ondülasyon, çukurlar ve düzensizlikler bulunur. Bu durum sürüş konforunu düşürmesi gibi büyük emniyet problemlerine sebep olur (Hanlı, 2009).

Asfalt karışımın yetersiz stabilitesi, serme ve sıkıştırmada teknik hatalar, durak, kavşak ve ışıklarda duruş ve kalkışlar, tabakalar arası yetersiz bağlantı, stabilize bozukluğunun yüzeyde belirginleşmesi ve ağır trafik yükleri altında suya doygun granüler tabakaların varlığı gibi sebepler bunlara sebep olarak sayılabilir. Bu bozulmalar görünüm olarak birbirine çok benzediği için bakım açısından da aynı işlemlere ihtiyaç duyar. Bozulmalar ilk oluşmaya başladığı andan itibaren takibi yapılmalı, eğer tehdit derecesi üst seviyelerdeyse bozuk kısımlar gerekli makineler ile kesilmeli ya da yama yapılmalıdır. Yapılan müdahalelere rağmen yetersiz gelirse daha kapsamlı üstyapı etüdü yapılarak yeni yapım metodu uygulanmalıdır. Ondülasyon görünümü Şekil 9'da verilmiştir.



Şekil 9. Kaplamalarda ondülasyon

4.3.2. Çatlaklar

Çatlaklar, tekrarlanan dingil yüklerinin oluşturduğu gerilmelerden meydana gelir. Bu gerilmeler malzeme mukavemetini aştığında yol kaplamalarında tepki olarak çatlamalar oluşturur. Araçların yol güzergahında ani yavaşlama ve hızlanmasıyla meydana gelen yatay kuvvetler de neden olur. Nem ve sıcaklık değişimleri, fazla agrega yüzdesi, kaplama içerisindeki uçucu maddeleri buharlaşması gibi etkenler de trafik etkisiyle birlikte çatlaklıklara sebep olmaktadır. Çatlamada, asfalt çekme mukavemeti çok önemlidir. Soğuk iklimlerde çekme kuvvetinde artış görülürken, yavaş yüklemeler de ise çekme kuvveti düşmektedir.

Trafik etkeni ve değişiklikleri hariç çatlamalara sebep olan nedeler şunlardır:

a) Fazla miktarda yük tekrarı
b) Yetersiz kaplama kalınlığı
c) Kaplama altı tabakaların yetersiz kalınlığı
d) Yüksek deformasyon ile malzeme ayrışımı ve dağılımı
e) Yetersiz drenaj
f) Dona hassas temel ve alttemel malzemeleri
g) Satıh ve banketlerin nem farklılıkları
h) Banket yetersizliği
i) Yatay kuvvetler
j) Yapım sırasında finişerin sık sık durması
k) Dikkatsiz derz yapımı (Ilıcalı vd., 2001)

4.3.2.1. Yorulma Çatlakları

Çatlakların bir diğer türü de yorulma çatlağıdır. Bu çatlaklar devamlı gerilmeler ile dayanımın aşılması sebebiyle meydana gelir. Yorulma çatlağının ilk işareti, tekerlek izi oluşumudur. Yorulma çatlamaları, küçük boyutta çatlakların artan yükler ile birleşip artması nedeniyle oluşan çatlaklardır. Bu durumun bir ileri aşaması timsah derisine benzetildiği için, timsah sırtı çatlak olarak adlandırılmaktadır (Ağar ve Umar, 1985). Yorulma Çatlağı aşamaları Şekil 10'da verilmiştir.



Şekil 10. Hafif şiddette, orta şiddette ve yüksek şiddette yorulma çatlağı

Kaplamalarda yorulma çatlaklarının görünmesi genellikle tasarımın yük sınırına ulaştığının göstergesidir. Bu sebeple planlı ve etkili bir onarım çalışması gerektirir. Eğer yorulma çatlağı kaplamanın servis ömrünün sonunda görülüyorsa bunlara doğal çatlama denilebilir. Ama servis ömrünü tamamlamadan kaplamada çatlamalar görülüyorsa, kaplamanın tahmin edilenden daha çok trafik yüklerine maruz kaldığı anlamına gelir.

Kaplamada çatlaklar ayrıca kenar çatlakları, boyuna çatlaklar, büzülme çatlaklar, yansıma çatlakları, ek yeri çatlakları, kayma çatlakları ve genişleme çatlakları şeklinde ayrılabilir (Ayçiçek, 2011).

4.3.2.2. Termal (Enine) Çatlaklar

Bu tür çatlaklar trafik yükleriyle değil, olumsuz hava koşullarının sebep olduğu düşük sıcaklık çatlaklarıdır. Enine devam eden bu çatlaklar, belirli aralıklarda görülür ve trafik yönüne dik olarak meydana gelir. Bu tür bozulmaların ana sebebi soğuk havalarda kaplama tabakasının büzülmesidir. Kaplama büzüldüğünde meydana gelen iç çekme gerilmeleri çekme dayanımını aşar ve kaplamada çatlamalar meydana gelir.

Sert asfaltlar, sıcak asfaltlara oranla daha çok oksitlenmeye eğilimli oldukları ve bünyelerinde daha fazla boşluk oranı bulundurdukları için düşük hava koşullarında daha fazla çatlamaya uğrarlar. Bu sebeple, bu tür çatlamaları engellemek için yaşlanma dayanımı fazla olan ve boşluk yüzdesi kontrol altında olan kaplama karışımların tercih edilmesi gerekir.

Ayrıca, asfalt kaplamalarda düşük sıcaklıklarda görülen büzülme, daha önceden oluşan çatlakların yüzeye ilerlemesi, don etkisi, su içeriği değişikliği, sıcaklığa yüksek hassasiyet gösteren bitüm kullanımı ve yetersiz drenaj gibi sebepler de kaplamada termal (enine) çatlamaların görünmesine sebep olabilir (Hanlı, 2009). Enine çatlak görünümü Şekil 11'de göründüğü gibidir.



Şekil 11. Termal (Enine) çatlaklar

4.3.2.3. Kenar Çatlakları

Kenar çatlakları, yol kaplamaların kenarlarından ortalara doğru ilerleyen bozulma türüdür. Bu tür çatlaklar kaplama kenarlarına paralel olup, 300-600 mm kadar içeri ilerlemiş olabilir. Bu tür çatlaklar bağımsız olarak boyuna olabileceği gibi bazı durumlarda dalga şeklinde görülebilirler. Kaplamada kenar çatlaklarının kaplama ortasına ulaşma derecesine göre şiddeti değerlendirilebilir.

Kenar çatlaklarının oluşum sebepleri don etkisi, kaplama kenarlarına aşırı trafik yüklemesi, yetersiz taşıma gücü, kaplama kenar ve banketlerdeki yetersiz drenaj, yetersiz üstyapı genişliği ve kaplama kenarlarındaki bitki örtüsüne bağlı olarak yol gövdesinde meydana gelen su çekilmeleri olarak sayılabilir. Bu tür çatlakların bozulma şiddetine göre çatlaklı bölge kesilip atılabilir ya da bozuk kesim yüzeysel kaplama ile kaplanmalıdır.

Ayrıca bozulmayı önlemenin bir diğer yolu yeterli drenaj bakımının zamanında yapılması ve yol çevresindeki bitki örtüsünün temizlenmesidir (Hanlı, 2009). Kenar çatlağı görünümü Şekil 12'de verilmiştir.



Şekil 12. Kenar çatlağı

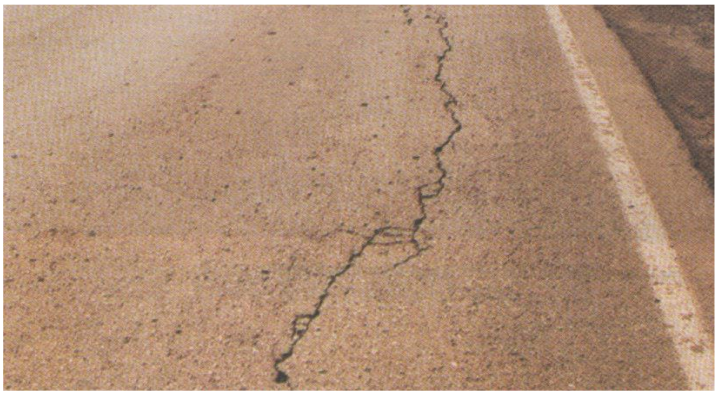
4.3.2.4. Boyuna Çatlaklar

Boyuna çatlaklar şeritler arasında veya kaplama ile banket arasında görülen, yol eksenine paralel yönde meydana gelen bozulma türüdür. Genişlik olarak 19mm'den fazla görülmesi boyuna çatlağın yüksek şiddete ulaştığını göstermektedir. Bu tür bozulmaların şiddeti arttıkça, kaplamada görülen ayrışmalar derinleşir ve malzemeler ayrışmaya başlayarak sürüş konforunu ve emniyetini azaltır.

Boyuna çatlakların oluşma nedeni olarak yetersiz sıkışma ile oluşan oturmalar, yanal dolgu hareketi, çevre ve iklim koşulları, yetersiz drenaj, yetersiz üstyapı taşıma gücü ve ek yerlerinin uygun olmayan tasarımı sayılabilir.

Bu tür bozulmalarda meydana gelen çatlaklar uygun yöntemlerde genişletilip dolgu malzemesi ile doldurulabilir. Kaplamadaki diğer bozulma türleriyle birlikte görülüyorsa, özel bir çatlak etüdü yapılarak çatlak oluşum nedenleri belirlenir. Bu işlemler takip edilerek asfalt kaplamanın onarım ile yeniden kullanımı, yeniden yapımı ya da dolgu iyileştirme metotlarından birisi seçilir ve işlem yapılır (Hanlı, 2009).

Ayrıca uygulanacak işlemde boyuna çatlağın derecesi çok önemlidir. Boyuna çatlak 6-19mm arasında gözlemleniyorsa ayrışmalar başlamış ve kılcal çatlamalar oluşmuş demektir. Bu tür çatlaklar uygun dolgu malzemesi ile doldurularak tamir edilebilir. Ancak çatlak genişliği 19 mm'yi aşmışsa çatlak etüdü yapılır ve gerekirse zemin iyileştirmesinin yanı sıra asfalt üstyapının yeniden yapım metodu kullanılmalıdır.



Şekil 13. Boyuna çatlaklar

4.3.2.5. Blok (Harita) Çatlakları

Blok çatlaklar enine ve boyuna çatlakların birleşerek oluşturduğu harita şeklindeki bozulmalardır. Bu bozulmalar da kenar çatlakları gibi 6-19 mm ya da 19 mm'den fazla genişliğe ulaşabilirler. Çatlak şekil olarak çatlakların birleşerek blok halinde kopmalar görülmesi ya da bozulmaların ilerleyip timsah sırtı desenine dönüşmesi olarak görülür.

Bu tür çatlaklara sebep olarak don etkisi, şişme ve büzülme etkisi ve asfalt kaplamaların zamana bağlı yaşlanmasıyla sertleşip kırılması söylenebilir.

Bu tür bozulmaların ortadan kaldırılması, bozuk kesimin düzgün bir şekilde kesilerek yerine sıcak ya da soğuk yama yapılması gerekir. Diğer çözüm yöntemi olarak bozuk kısmın yüzey harç tipi belirlenerek tabaka yüzeysel kaplama ile kaplanabilir. Bozulmanın derecesi bakım-onarım tekniği için oldukça önemlidir. Dereceye göre bozuk yüzeyler kaldırılmadan tamir yöntemi ya da düzeltme tabakası ve geotekstil ile düzeltildikten sonra defleksiyon etüdü sonucu belirlenen takviye kalınlıkları uygulanarak bozulmalar giderilebilir. Eğer bu yöntemler de yeterli gelmezse yeniden yapım tekniği değerlendirilmelidir.

Yüzeyde oluşan çatlamalar 6mm'den inceyse hafif şiddette demektir ve bu tür çatlamaların devam etmemesi için yol gözlem altında tutulmalıdır. 6-19 mm arasında bir genişliğe sahip çatlak ise birden fazla çatlağın ayrılıp kopması şeklinde görülür. Çözüm olarak takviye tabaka yöntemi kullanılabilir. Eğer çatlak genişliği 19 mm'den fazla ise bu çatlaklar yüksek şiddette çatlaklar olarak değerlendirilir. Bu tür çatlaklar yol yüzeyinde timsah sırtı desenli görülürler. Bakım yöntemi olarak üstyapı etüdü yapıldıktan sonra

yeniden kullanım ya da yeniden yapım metodu kullanılmalıdır. Kaplamalarda görülen blok çatlak görünümü Şekil 14'te verilmiştir.



Şekil 14. Blok (Harita) çatlaklar

4.3.2.6. Yansıma Çatlakları

Altta meydana gelen çatlakların takviye tabakasına yükselmesiyle oluşan asfalt takviye tabakasında görülen çatlak türleridir. Bu çatlaklar blok, diyagonal, boyuna ve enine oluşabilirler. Bu çatlaklardan su ve yabancı maddeler asfalt içine sızarak kaplama yapısını bozar ve sürüş kalitesini bozarak yolun servis ömrünü kısaltır. Çatlak genişliğine bakılarak yapım metodu hakkında bilgi sahibi olunabilir. Çatlak genişliği 6mm'den ince ise hafif çatlak olarak değerlendirilir ve boyuna, enine ve blok şeklinde meydana gelir. Bu tür çatlakların gelişimi sürekli gözetim altında tutulmalıdır. Ancak çatlak genişliği 6-19 mm arasında görülüyorsa orta şiddette yansıma çatlaklarıdır ve bozuk bölge yüzeysel kaplama veya harç tipi örtü tabakası ile kaplanmalıdır. 19 mm'lik genişlikte görülen çatlaklar yüksek şiddette yorulma çatlağı olarak değerlendirilir ve asfalt kaplamaların yeniden kullanım metodu ile iyileştirme yapılmalıdır ya da yeniden yapım metodu kullanılmalıdır (Hanlı, 2009). Yansıma çatlağı Şekil 15'te görülebilir.



Şekil 15. Yansıma çatlağı

4.3.3. Yamalar ve Çukurlar

4.3.3.1. Çukurlar

Yüzey üzerinde 5-10 cm arasında ya da daha fazla, çapı ise 10-30 cm arasında oluşan, yetersiz kalite, aşırı dingil yükleri ve mevsimsel hava koşulları nedenlerine bağlı olarak oluşan büyük boyutlu oluklardır. Bu tür bozulmalar sürüş konforunu ve güveliğini en çok düşüren bozulma türlerindendir.

Diğer bozulma etkileri, düşük kaliteli agrega kullanımı, yanlış yapım tekniği, düşük kalite kontrolü ve yetersiz üstyapı kalınlığı gibi etkenler çukurların oluşmasına sebep olur.

Çukurlarda derinlik 25 mm'den çapı ise 10 mm'de az ise hafif, derinlik 25-50 mm arası çap ise 10-30 cm arası ise orta, çukur derinliği 50 mm'den fazla çap ise 30cm'den fazla ise yüksek şiddette çukur olarak adlandırılır. Çukur görülen kaplamaların bakım ve onarımları bu derecelendirmelere göre yapılmaktadır (Hanlı, 2009). Çukur oluşumu Şekil 16'da gösterilmiştir.



Şekil 16. Kaplamalarda oluşan çukur

4.3.3.2. Yama Bozulmaları

Yamalar yol kaplamaların bozulan kısımlarına kaldırma, yer değiştirme ve ilave uygulamasıyla oluşan kısımlardır. Karayollarında çukur tamiri olarak kullanılan yama karışımları içerisinde bulunan agrega, bitüm ve katkı tipinin özelliklerinin belirlenmesi yolun yapılan yama tamiri sonrası performansı için en önemli unsurlardandır. Yollardaki çukurları kapatmak için yapılan yamalar yol kaplama malzemesiyle yeterli adezyonu sağlayamadığında trafik yüklerinin de etkisiyle kopmalar meydana gelir. Bu kopmalar tamir edilen çukurların daha da büyümesine sebep olur. Bu tür yama bozulmalarında tamir malzemesi yoldan temizlenmeli ve diğer tamir yöntemleri seçilmelidir. Şekil 17'de yansıma bozulmaları verilmiştir.



Şekil 17. Yama bozulmaları

4.3.4. Çok Yönlü Bozulmalar

4.3.4.1. Ayrışma ve Sökülme

Yol yüzeyinde belirli yerlerde görülen çukurlar, agrega kayıpları ve kopmalar şeklinde görülen bozulma şekilleridir. Bu bozulmalara neden olarak su ve trafik etkisi, yüksek boşluk yüzdesi ve zayıf sıkıştırma sebebiyle soğuk hava koşullarında yapılan kaplamalara su ve tuzların tabakalar arasına sızıp donma ve erime ile asfalt bozulmalarına sebep olması, yetersiz bitüm yüzdesi, yaşlanmayla meydana gelen asfalt sertleşmesi, uygun olmayan yapım tekniği ve ekipmanların kullanımı ve donma-çözünme olaylarının fazla tekrarı sonucunda absorbsiyonu ve kırılganlığı yüksek agregaların karışımlarda ayrışmaya sebep olması sayılabilir. (Ayçiçek, 2011)

Ayrışma ve sökülmelere neden olarak killerin varlığı önemli bir yer tutar. Karışımın içine killerin girmesi ya da kille kaplı agrega kullanımı bozulmaların başlıca sebeplerindendir. Killer kaplama içerisine girdiklerinde bitüm ve agrega arasındaki adezyon kuvvetinin azalmasına sebep olur. Adezyonu düşen karışımda bitüm ve agrega ayrışarak bütünlüğün bozulmasına sebep olur. Ayrıca içerisinde kil barındıran karışımlara su sızdığında killer su birleşerek şişmeler oluşur. Oluşan şişmeler kaplama yüzeyine doğru çıkarak ayrışmalara sebep olur.

Sökülmeler ise; asfalt kaplamalarda bulunan agregalar arasındaki bağın yeterli olmamasından kaynaklanır. Trafiğin sebep olduğu yatay gerilmeler ve vakum etkisiyle bağlantısı zayıf agregalar yerinden oynar ve delik oluşumuna sebep olur.

Sökülmelerde genellikle önce ince danelerde ayrışma görülür. Sökülme olayı yükler sebebiyle devam ettikçe daha iri daneler serbest kalmaya başlar ve kaplamada kısa sürede pürüzlü satıh aşınması görülür. Sökülmelere sebep olarak yapım sırasında sıkıştırma yetersizliği, yorulmalara bağlı sertleşme, karışımların normalden fazla ısıtılması, kaplama uygulamasını rutubetli ya da soğuk havalarda yapılmış olması, düşük miktarda asfalt karışımı kullanılması ve kirli parçalanmış agrega kullanımı sayılabilir.

4.3.4.2. Çizgisel Agrega Kaybı

Bu tür kayıplar doğrusal deformasyonlar olarak adlandırılır. Agrega kaybının devamı ile kaplama yüzeyleri üzerinde açık dokulu kaplama yüzeyi oluşur. Çizgisel agrega oluşumunun sebepleri olarak püskürtme borusunun yanlış açıda tutulması, püskürtme

borusunun bakım eksikliği, bitümün uygun olmayan sıcaklıkta veya hızda dökülmesi, kötü işçilik ve distribütör yükünün azalması sebebiyle asfalt dökülme yüksekliğinin değişmesi sayılabilir (Ayçiçek, 2011). Çizgisel agrega kaybı Şekil 18'deki gibidir.



Şekil 18. Çizgisel agrega kaybı

4.3.4.3. Kaplama Agrega Kaybı

Bu tür bozulmalarda kaplama yüzeyinde ayrışmalar meydana gelir ve yüzeyde asfalt lekelerine rastlanır. Kaplamada agrega kaybının artışıyla, yüzeyde derin olmasa da çukurlar meydana gelir ve agrega kayıpları oluşur. Bu sebeple kaplama yüzeyinde agrega soyulması sebebiyle siyahlaşma görülür ve serbest malzemeler meydana gelir.

Agrega kaybı sebebi olarak agregaların asfalt sıcaklığı düştükten sonra serilmesi, geç sıkıştırma işlemi, serilen agreganın tozlu ve ıslak oluşu, sıkıştırma esnasında kullanılan ekipmanların uygunsuz oluşu, uygunsuz hava koşulları, yetersiz asfalt kullanımı, kaplamanın kür süresi bitmeden hızlı trafiğe maruz kalması ve hatalı silindir seçiminden kaynaklanan düzgün olmayan yüzeyde sıkışmamış yüzeylerin olması sayılabilir (Ayçiçek, 2011). Agrega kaybı Şekil 19'da verilmiştir.



Şekil 19. Kaplamada Agrega Kaybı

4.3.4.4. Cilalanma (Kayma Direnci Kaybı)

Bu bozulma türü kaplamada kullanılan agregaların kalitesiz olmasından kaynaklanan, agregaların zamanla iç sürtünmelerden dolayı aşınıp yuvarlak hal almasıdır. Bu tip bozulma hem doğal olarak pürüzsüz yüzeyli agrega kullanımı hem de kırmataş türü agregaların trafik yükleriyle zamanla aşınmasıyla meydana gelir (Doğan, 2006).

Agregalar trafik yüklerini karşılayan iskelet yapıyı oluşturdukları için seçilen agrega türü büyük önem arz etmektedir. Özellikle kalker türündeki agregalar trafik yüklerinin oluşturduğu gerilmeler altında daha çabuk cilalanır. Kaplama malzemesi olarak cilalanmış yuvarlak agregalar ya da cilalanmaya meyilli agregalar kullanılırsa kaplama yüzeyinde pürüzlülük oluşmaz ve kaygan bir yüzey meydana gelir. Kayma direncinin düşmesiyle sürüş emniyeti ve konforu düşer.

Kaplama-lastik arasındaki sürtünme katsayısı, özellikle yağışlı havalarda büyük oranda düşer ve 60-80 km/saat' ten yüksek hızlarda kaymalara sebep olur. Ayrıca pürüzsüz yüzeye sahip olan agrega bitüm ile tam adezyonu sağlayamaz ve bozulmalara sebep olur. Yüzeyleri cilalanmış agregalar yağışlı havalarda tamamen kaygan hale gelir (Ayçiçek, 2011).

Kullanıma açılmış karayollarında cilalanma görülüyorsa sonradan bakım olanağı kısıtlıdır. Cilalanmaları önlemek için karışım yapım aşamasındayken gerekli tedbirler alınmalıdır. Karışımda kullanılacak agreganın pürüzlü yüzeye ve gerekli dayanım mukavemetine sahip olması gerekir. Cilalanmış agrega Şekil 20'de görüldüğü gibidir.



Şekil 20. Cilalanmış Agrega

4.3.4.5. Kabarmalar

Kabarmalar üstyapının ya da tabanın bir kısmında yukarı doğru meydana gelen ve şişme ile oluşan bozulmalardır. Kabarmalara ana etken olarak don etkisi gösterilebilir. Ayrıca kaplama malzemesi olarak genişlemeye meyilli maddeler kullanılmış ya da kil gibi su ile temas ettiğinde genişleyen malzemeler asfalt kaplama bünyesinde bulunuyorsa rutubet tesiriyle de kabarmalar oluşabilir.

Kabarmaların önlenebilmesi için üstyapı tasarımında don etkisi göz önünde bulundurulmalıdır. Eğer kaplamanın yapılacağı zeminde şişme potansiyeli varsa üstyapı inşasına başlanmadan önce drenaj, stabilizasyon gibi önlemler düşünülmelidir. Ondüle ve yığılmalara sebep olan nedenler aynı zamanda kabarmalara da sebep olabilir (Ayçiçek, 2011). Kaplamada görülen kabarmalar Şekil 21'deki gibidir.



Şekil 21. Kabarma

4.3.5. Asfalt Kaplamalarda Su Hasarı

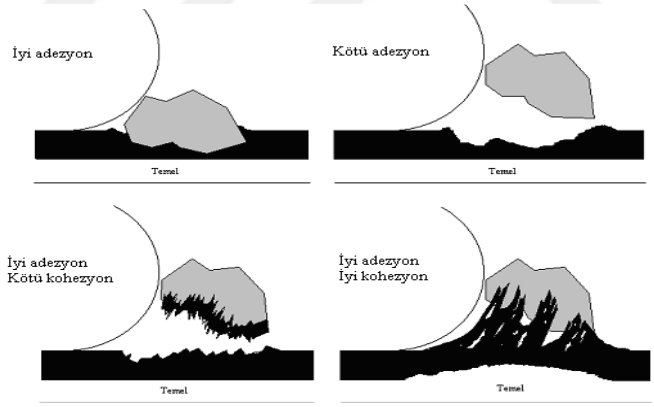
Asfalt kaplamaları etkileyen asıl problemler olarak boyuna profil de oluşan düzensizlikleri gibi genellikle yol kaplamasında tekerleğin geçtiği güzergahlara enine profil deformasyonu şeklinde görülen kalıcı deformasyonlar, kaplamanın su hasarı (taşıma kapasitesinin daha da düşmesine sebep olacak muhtemel su girişi) ve çatlama mekanizmalarıdır (Abo-Quadis, 2007).

Asfalt kaplamalarda başlıca hasar biçim olarak su hasarı ve kalıcı deformasyonlar neden gösterilebilir. Kaplamadan beklenen performansın sağlanması agrega ve asfalt bağlayıcı arasında bulunan kohezif ve adezif kuvvet ile doğrudan ilişkilidir. Agrega ile

bağlayıcı arasındaki adezif bağın kopması, kohezyon kuvvetinin azalması, asfalt filminin rijitliği asfalt kaplamalarda su hasarının temel mekanizmalarıdır.

Kaplamada oluşan adezyon kaybı agrega ve asfalt arasındaki bağın zayıflaması, kohezyon kaybı ise asfalt mastiğin yumuşamasıyla agrega arasındaki bağların zayıflamasıyla oluşur. Eğer bu iki mekanizma kaplamada aynı anda görülürse karışım su hasarına uğrar. Bununla birlikte, su hasarı, bitüm malzemesinde oluşan değişiklikler, film kalınlığındaki azalma, yetersiz kalite kontrolü, farklı kalitedeki agregalar ve tasarım farklılıkları gibi etkenlerin fonksiyonu olarak da gerçekleşmektedir (Aksoy ve diğ., 2012).

Zor iklim koşullarında gerilmeler kaplamada zayıf malzemeler kullanıldığında artış göstermektedir. Yeterli bakım yapılmazsa, trafik yükleri ve bünyeye giren su asfalt kaplamaların bozulmasında önemli rol oynar. Su, bitüm-agrega ara yüzeyinde adezyon kaybına sebep olur. Bu prematüre adezyon kaybı yaygın olarak kaplamalarda soyulma olarak adlandırılır (Fromm, 1974; Taylor ve Khosla, 1983; Kandal vd. 1989). Bitüm agrega arasındaki adezyon kohezyon ilişkisi Şekil 22'deki gibidir.



Şekil 22. Asfalt agrega arasındaki adezyon-kohezyon davranışı
(Kök, 2007)

Soyulma; kaplamada bulunan agrega ve bağlayıcının sahip olduğu kohezyon bağının kopması ve agreganın bağlayıcıdan ayrılması anlamına gelmektedir. Asfaltın uzun ömürlü olmasını sağlayan en önemli faktörlerden biri aradaki bağın kalıcılığıdır.

Agreganın bitüme tutunması bir yüzey olayıdır. Yapıların birbirine yapışması agrega ve bitüm malzemelerinin birbirleri ile temasına karşılıklı olarak yüzeylerin birbirini çekmesine, malzemelerin kimyasal ve minerolojik özelliklerine bağlıdır. Ayrıca kaplama

bünyesine su ve killerin girişi de soyulmalara sebep olur. Su ve kilin nüfuz ettiği kaplamalarda trafik yükü etkisiyle de soyulmalar hızlı ilerler (URL-7, 2021).

Agrega yüzeyi ince su tabakasıyla kaplanırsa bitümün su tabakasını geçip agrega ile adezyon bağı kurması olanaksız hale gelir. Bu sebeple agrega yüzeyden kolayca sökülüp atılır ve soyulma başlar.

Boşluk oranı bitümlü temel tabakalarında daha fazladır ve kaplamaya giren sular boşluklarda serbest şekilde dolaşabilmektedir. Aşınma tabakası su ile dolduğunda araç tekerleklerinin hareketiyle su kaplama içine doğru oluşan basınçla ilerleyecektir. Aşınma tabakasında zamanla değişikliğe uğrayan basınç sebebiyle oluşan pompalanma soyulma sürecinin başlamasına sebep olur. Daha sonra harç agregadan ayrılmaya başlayacak ve soyulma bu şekilde devam edecektir.

Granüler temel ıslak veya yetersiz drenaj sebebiyle aşağı tabakalardan kapilarite ile su gelmesi durumunda soyulma asfalt tabakasının alt kısmında başlayabilir. Su, soyulmaya sebep olacak asfalt tabakasının içine işler ve bu durum taşıma kapasitesinin düşmesine sebep olur. Trafiğin de etkisiyle çatlak oluşumu görülür ve ileriki aşamalarda asfalt kaplamada parçalanmalar meydana gelir (URL-7, 2021).

Kaplamalarda meydana gelen soyulmaların tespiti oldukça zordur. Su hasarı sebebiyle oluşan deformasyonları azaltmak ya da kontrol altına almak için soyulma önleyici kimyasallar kullanılabilir. Soyulma önleyici katkılar bitüm ve agrega arasındaki fiziko-kimyasal bağları arttırmak ve bitüm yüzey gerilmesinin azaltarak iyileştirmek için tercih edilmektedir (Görkem ve Şengöz, 2009; Stuart, 1990). Soyulma türü Şekil:23'te verilmiştir.



Şekil 23. Kaplamada görülen soyulma

Nemin suyun ve killerin bitümlü sıcak karışım tabakasına girmesinin birçok yolu vardır. Yer altı suyu seviyesinin yükselmesi, yağış ve kaplama çevresindeki arazinin özellikler bunların başlıca sebepleridir. Yeraltı drenajı mevcut değilse bitümlü sıcak karışım içerisindeki boşluklar nem ve su ile doygun hale gelerek, iç basıncın artmasına sebep olur. Killer ise agrega ve bitüm arasındaki adezyonun azalmasına sebep olur (Kök, 2007).

Kaplama bünyesindeki killer bitümlere yapışarak kimyalarını bozar ve yapışma kuvvetinin azalmasına sebep olur. Aşırı tozlu agrega kullanımı, bağlayıcı ve agreganın temasını engelleyerek agreganın asfalt ile kaplanmasını engellemektedir. Agrega üzerindeki toz ve killer suyun penetrasyonu için kanallar oluşturur ve aynı zamanda asfaltı absorbe ederek asfalt üzerindeki film kalınlığının azalmasına sebep olur. Literatürde, ayrılma, yer değiştirme, boşluk basıncı, film kopması, hidrolik ovam, pH kararsızlığı, çevresel etkiler, adezyo, kohezyon ve ani emülsiyonlaşma olmak üzere on soyulma mekanizması tanımlanmıştır (Lavin, 2002).

4.3.5.1. Ayrılma

Ayrılma türü soyulmalarda, asfalt filmi agregadan herhangi bir kırılma olmaksızın ince su filmi ile dağılır. Kaplamada su bulunduğunda agrega ile bağlayıcı ara yüzeyindeki serbest enerjiye göre, agrega yüzeyinin su ile daha çok enerjiye sahip olduğu görülmüştür. Bu sebeple agrega bitüm ile bağlanmak yerine su yüzeyi ile çekime girecek ve ayrılmalar oluşacaktır. Asfalt agrega arasındaki yüzey gerilmesi ölçümünde suyun varlığı ile negatif değerler çıkmaktadır. Negatif değerler bu tip soyulma ile asfaltın agregadan ayrılma kuvvetini bir o kadar arttıracaktır (Majidzadeh, 1968).

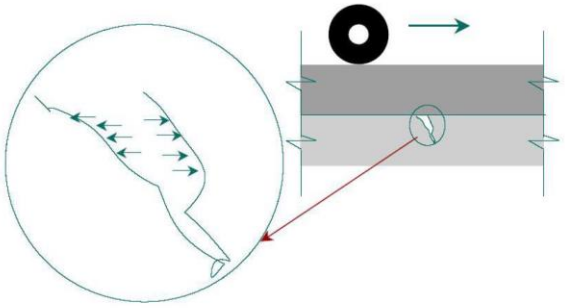
4.3.5.2. Yer Değiştirme

Yer değiştirme türü soyulmalar bir yönüyle ayrılma tipi soyulmalardan farklıdır. Burada asfalt yüzeyindeki agreganın yer değiştirmesi asfalt filmindeki bir kısırlmadan meydana gelmektedir (Tarrer ve Wagh, 1991).

Yer değiştirmede, agrega yüzeyindeki suda oluşan pH değişikliğinden dolayı ilerler. Bu pH değişikliği asfalt yüzeyinde negatif yüklü yüzeyler oluşmasına sebep olur ve gözle görülür fiziksel ayrışmalara sebep olur.

4.3.5.3. Boşluk Basıncı

Malzemeler arasındaki kohezyon bağının eksikliği dayanım ve rijitlikte önemli eksikliklere neden olmaktadır. Havanın ya da nemin kaplamada bulunan hava boşluklarına girişi yaşlandırmayı hızlandırır ve böylece üstyapı servis ömrü azalır. Kaplama içindeki boşluklarının karakteristiği performans üzerinde önemli bir etkisi vardır. %4 hava boşluğu ile tasarlanan karışımlar, bağlayıcı ve gradasyon oranının iyi tespit edilmemesi ve sıkıştırmanın yeterli olmamasından dolayı hava boşluğu oranı %8-10'a yükselmektedir. Bu boşlukların su ile dolduktan sonra doygun halde donma-çözünme olayların maruz kalması kaplamanın direncini, kuru olanlara oranla epey azaltmaktadır. Trafik yüklerinin etkisiyle birlikte gerilmelerin gözeneklerdeki suya aktarılmasına, asfalt filminin çatlamasına ve filmin agrega yüzeyinden ayrılmasına sebep olmaktadır (Kök, 2007). Oluşan boşluk basıncı Şekil 24'te gösterildiği gibidir.



Şekil 24. Tekrarlı yüklemelerden dolayı oluşan boşluk basıncı

4.3.5.4. Film Kopması

Film kopmasının nedeni agrega yüzeyinin tam olarak asfalt ile karışmaması, agreganın keskin köşelerinin agrega etrafındaki filmi kırması ve agreganın kaplanması sırasında asfalt filminde küçük delikler oluşmasıdır. Agreganın keskin köşelerinin asfaltla yeterince kaplanmamasıyla oluşan delikler, olası su girişlerine karşı kaplamayı dayanıksız kılar. Agrega ile asfalt kaplama içerisine giren su kohezyonu kırar ve bölgesel kopmalara sebep olur. Çevresel etkenler de film kopması oluşumunda oldukça etkilidir. Kaplama bünyesine gire kil ve tozlar bitümün kimyasal yapısını bozar ve agregalardan ayrılmasına sebep olur.

4.3.5.5. Hidrolik Ovma

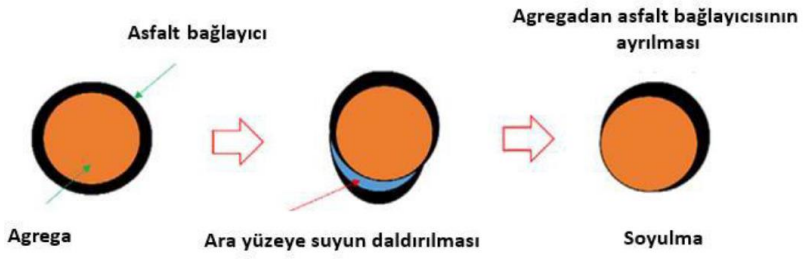
Hidrolik ovma, üstyapının yüzeyinde meydana gelen bozulma tipidir. Hidrolik ovmada soyulma, tekerlek izlerinin doygun yüzeyi etkilemesiyle oluşur. Tekerleklerin önünde bulunan suyun, basıncın etkisiyle kaplama içine doğru itilmesi ve sonrasında basınç-çekme periyodu oluşturan tekerlek arkasında tekrar emilme asfalt filminin kopmasına sebep olmaktadır (Taylor ve Khosla, 1983).

4.3.5.6. pH Kararsızlığı

Suyun pH'ı asfalt-agrega yapışmasını önemli ölçüde etkilemektedir. Asfaltla ve agrega arasında bulunan suyun pH'ı orta derecelerde olduğu zaman (9'a kadar) en yüksek değere ulaştığı belirlenmiştir (Scott, 1978). Kayma deneyinde, farklı kaynaklardan farklı pH'a sahip suların agrega yüzeyi üzerinde önemli farklılıklara sebep olduğu görülmüştür (Kennedy, 1984). Asfalt ve agrega arasında kuvvetli bir bağın sağlanabilmesi için pH değişikliklerden ve yüksek pH değerlerinden kaçınmak gerekmektedir. pH değişiklikleri kimyasal bağı çok fazla etkilememesine rağmen bu değerdeki değişiklikleri uygun bir değerde tutulmalıdır (Tarrer ve Wagh, 1996).

4.3.5.7. Adezyon

Adezyon agrega ile asfalt arasındaki yapışma olarak da isimlendirilebilir. Trafik, çevre koşulları ve kullanılan malzeme özellikleri gibi parametreler bağlayıcı-agrega arası adezyonun kötü yönde etkilenmesinin sonucu olarak soyulmalar meydana gelebilir. Bu durumu etkileyecek birçok sebep sayılabilir. Su, agrega ve asfalt filmi içerisine nüfuz ederek adezyon bağının kırılmasına ve buna bağlı olarak bozulmasına sebep olmaktadır (Gransberg and James, 2005; You et al. 2019). Adezyona bağlı soyulma Şekil 25'te verilmiştir.



Şekil 25. Adezyona bağlı soyulma

4.3.5.8. Kohezyon

Kohezyon bitüm moleküllerinin bir arada tutan ve ayrılmasına karşı koyan kuvvettir. Hidrokarbonlu bir bağlayıcı olan bitüm, kolloidal yapısı sebebiyle belirli bir dinlenme süresiden sonra, süngeri andıran tikroskopik bir yapı kazanır. Daha sonra bu yapı güçlenerek rijitlik özelliği gösterir. Ancak, dış kuvvetler etkisiyle oluşan gerilmelerin ağ yapısının direncini kırmasıyla bu özellik zarar görür ve asfaltta deformasyonlar oluşur. Oluşan gerilmeler ile asfalt filminde kırılmalar ve soyulmalar gerçekleşir (URL-8, 2021).

4.3.5.9. Çevresel Etkiler

Kaplamanın bulunduğu bölgede yaşanan iklim değişiklikleri agrega ile asfalt arasındaki bağı önemli derecede etkilemektedir. Çok sıcak havalarda, asfalt bitümü eriyerek yüzeye birikebilir. Bu durum, asfaltın agregadan ayrılmasını ve bir araya toplanmasına sebep olur. Trafiğinde etkisiyle yüzeye biriken asfalt filminde kırılmalar oluşmaya başlar. Çok soğuk havalarda ise kaplanma içerisinde bulunan boşluklara su ve aşındırıcı tuzların girmesiyle donma-çözünme durumu yaşanır. Bu durum asfaltın agregadan ayrılarak kopmasına sebep olur.

Ayrıca kurak bölgelerde yaz mevsiminde killerin asfalt kaplamanın boşluklarını doldurduğu görülür. Killer asfalt kaplamalarda büyük bozucu özelliklere sahiptir. Bitümün bağlayıcı özelliği bünyeye killerin girmesiyle bozulmaya uğrar.

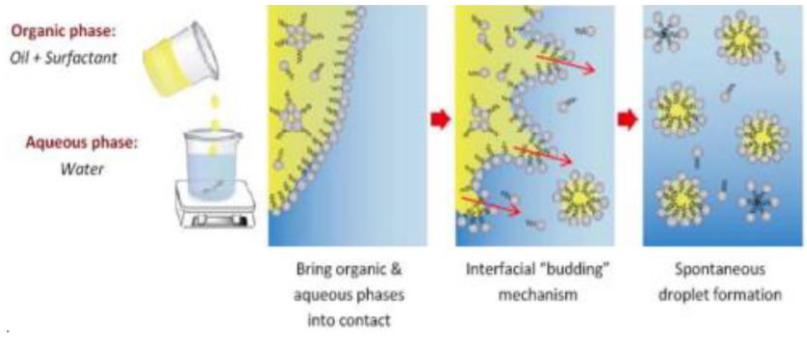
4.3.5.10. Ani Emülsiyonlaşma

Emülsiyonlar termodinamik olarak birbirine karışmayan en az iki sıvıdan birinin diğeri içinde damlacık oluşturarak dağıldığı kararsız sistemlerdir. Emülsiyonlar fazın içine dağıldığında sistemin serbest enerjisinde azalma görülür. Bu sebeple, sistemin dengesinin sağlanabilmesi için karışımda belirli bir mekanik enerjinin sağlanması gerekmektedir.

Ayrıca, iki sıvının oluşturduğu bir emülsiyona en az üçüncü maddenin girişi kendiliğinden sistemlerin oluşmasına sebep olur. Bu tür sistemler termodinamik olarak emülsiyon damlacıklarının büyüklüğünde daha küçük damlacıklar oluşturarak dağılırlar. Bu mikroemülsiyon damlacıklarının yüzey gerilmeleri oldukça düşüktür. Karışımda bu tür mikroemülsiyonların varlığı belirli koşullar altında ani emülsiyonlaşmaya sebep olabilmektedir (Lopez-Montilla, 2003).

Ani emülsiyonlaşma durumunda, oluşan damlacıklardan hafif damlacıklar, ağır damlacıklar üzerine birikir. Bu birikme sonucunda karışım ara yüzü kararsız davranışlar sergilemeye başlar. Bu davranışın sonucu olarak, yüzey gerilmelerinin düşmesiyle türbülans oluşmaya başlar. Bu türbülans ile tek aşamadan başlayarak bir sıvı diğer sıvı damlacığı bünyesine nüfuz etmeye başlar ve parmaklanmalar oluşturarak küçük damlacıklar oluşturmaya başlar (Lopez-Montilla, 2003).

Ani emülsiyonlaşmada en önemli faktör organik faz ve sulu fazın karışmasıyla gerçekleşmektedir. Organik faz olarak homojen yağ, lipofilik aktif yüzey madde veya sudan oluşmaktadır. Karışımlarda ani emülsiyonlaşma yüzey gerilimi düşen damlacıkların yüzeye doğru birikimi gözlenir. Bu birikme sonucu damlacıkların çözelti içindeki homojen dağılımı bozulmaktadır. Bu tür olayların oluşmasıyla karışımda bulunan maddelerin çözünme hızı artmaktadır. Örneğin; çözünme hızı bir saatten fazla süren fenol ve kristal suya daldırıldığında anında yayılır ve su yüzeyinde birikir. Bu birikme ardından hızlı bir şekilde çözünür. Buna benzer ani yayılmayı H.D. Bruce kendi laboratuvarında asfalt kaplamalar üzerinde incelemiştir (McBrain ve Woo, 1936). Ani emülsiyonlaşmaya bağlı soyulma Şekil 26'da verilmiştir.



Şekil 26. Küçük damlacık halinde parçalanma (URL-9, 2021)

Ani emülsiyonlaşma kozmetik, tıp, gıda ve ilaç endüstrisi ve petrol endüstrisinde sıklıkla karşılaşılan bir durumdur. Örneğin; petrol rafinerisinin ilk adımı olan petrolü aşındırıcı tuzlardan ayırma işleminde ani emülsiyonlaşma görülebilmektedir. Bu işlem, ham petrolün su ile karıştırılıp ayrışma işlemine tabi tutulmasıyla meydana gelir. Petrol elde edilmesi için bu karışımın tekrar ayrılmasında ani emülsiyonlaşma görülebilir (Bochner de Araujo, 2019).

Ani emülsiyonşlaşma bir su hasarı türüdür ve kaplamada soyulma, dökülme ve malzeme kayıplarına sebep olmaktadır. Bu kayıplar emülgatörler ve killerin bitüm içerisindeki davranışlarına bağlı olarak gerçekleşmektedir. Ani emülsiyonların tam anlaşılması için karışımdaki mikro damlacıklar incelenmelidir. Çünkü su içerisinde viskoelasti ve stabilize su/yağ emülsiyonu oluşturan asfaltenler gibi ham petrolden oluşan kompleks moleküllerin su içerisinden tekrar ayrılmasında bazı problemler yaşanabilir. Dahası, asfaltların mikron çaptaki damlacıklarının hızla yüzeye çıktığı görülmüştür. Bu durum emülsiyonda en önemli faktör olan homojen yapıyı bozmakta ve damlacık yapılarının zarar görmesine neden olmaktadır (Bochner de Araujo, 2019).

5. KİLLERİN ASFALT KAPLAMALAR ÜZERİNDEKİ ZARARLARI

Şişen zeminler özellikle kurak ve yarı-kurak alanlarda olmak üzere Dünyanın birçok yerinde görülmektedir. Genellikle aktif kil mineralleri barındıran bu zeminler, sisteme giren su etkisiyle büyük hacim değişikliklerine uğrar ve hafif yapılarda olan yolda önemli hasarlara sebep olur.

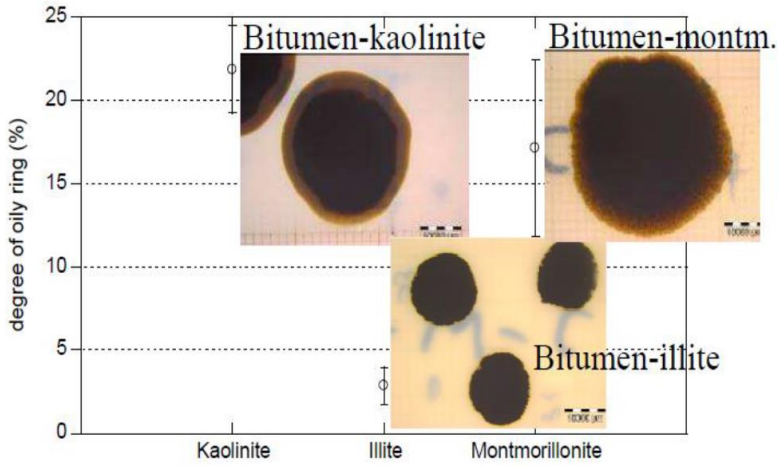
Çevresel etkiler asfalt kaplamalar üzerinde önemli etkenlere sahiptir. Kaplamanın güzergahının geçtiği bölgede etkili iklim koşulları kaplamanın performansı ve servis ömrü açısından oldukça önemlidir. Soğuk iklim şartlarında kaplamalarda meydana gelen donma-çözünme olayları, sıcak havalarda meydana gelen bitüm erimesi ve yüzeye birikme ve bunlara bağlı bozulmalar çevresel etkiler olarak gösterilebilir. Çevreden kaplamaya nüfuz eden nem, su ve kil gibi malzemeler karışım yapısını bozarak birçok bozulmalara sebep olmaktadır. Bu tür yabancı maddeler sisteme girdiğinde en çok bitüm-agrega adezyonunu etkilemektedir.

Killer tane boyutu 0.02 mm' den küçük ince taneli sedimanlar toprağımsı, belirli miktarda su ile karıştığında şişip plastikliği artan, alümina ve silis içeriği çok yüksek mineral türleridir. Belirli şartlar altında killer feldspatların ayrışması veya volkanik kayaçların çözünmesinden, değişmesinden meydana gelmektedir. Ayrıca, killer doğada toprak türü olarak da fazla miktarda görülebilir (Malayoğlu ve Akar, 1995).

Bitümlerin oluşturacağı adezyonun daha iyi anlaşılabilmesi için bitüm-kil-su etkileşiminin incelenmesi gerekir. Doğada kaolinit, illit ve montmorilloit çeşitleri bulunan killerin asfalt kaplamalarda soyulma potansiyeli meydana getirdiği görülmüştür. Kil, bitüm içerisinde emülgatör görevi görerek ani emülsiyonlaşmaya sebep olur ve deformasyonlar oluşturur.

Bitümler doymuş yağlar, aromatikler, asfaltenler ve reçinelerden oluşmaktadır. Bu bitüm bileşenleri su ile yüksek çekim içerisindedirler. Kimyasal açıdan, bitüm bileşikleri kil ile tepkimeye girdiğinde bitüm kilde bulunan katyonlara kolayca bağlanır ve bu durum bitümde hidrojen kayıplarına sebep olur. Kil sebebiyle oluşan u bitüm-kil bağı su molekülleri ile kolayca kırılabilir. Bunun sebebi kil yüzeyindeki katyonların kararsızlığıdır. Bu kararsızlık yüzeyde zayıf elektrostatik bağ oluşturur ve bu bağın suya karşı direnci

oldukça düşüktür (Chen, 2015). Kilin nüfus ettiği bitümde oluşan renk değişimi Şekil 27'de verilmiştir.



Şekil 27. Bitümün kil ile karışmasıyla gösterdiği renk değişimi

Bitüm ve kilin teması viskozitenin düşmesine ve ağır moleküllerin dağılmasına sebep olur. Bununla birlikte, killer bitüm ile reaksiyona girdiğinde ana tabakalarda genişler ve moleküllerin difüzyonunu kolaylaştırıp ayrışmaya neden olmaktadır. Şekil:27' de de gösterildiği gibi bitüm-kil birleşmesinde bitümün uğradığı deformasyon yüzeylerde oluşan saman renginden de anlaşılabilmektedir. Bitüm bu durumda doymuş bir yapı kazanır ve kil etkisiyle yüzeylerden parçalanmaya başlar (Chen, 2015). Bitümün yapısı bu şekilde deformasyonlara uğrar ve karışım içerisindeki agrega ve diğer kimyasallar ile yeterli adezyonu sağlayamaz, bunun sonucu olarak da kaplamda ani emülsiyonlaşmaya bağlı soyulmalar meydana gelir. Bitüm ve kilin pH değeri uyumunun belirlenmesiyle bitüm ve kil arasındaki etkileşim yakalanabilir. Bu sebeple, kil bakımından zengin asfalt karışımların su direnci, bitüm ve kil arasındaki mineral özellikler dikkate alınarak tahmin edilebilir. Bitüm ve killer bu kapsamda minerolojik olarak analiz edilmelidir ve değişebilir katyon özellikleri, yüksek pH değerleri, damlacık boyutu ve doğada bulunan kil çeşitleri göz önüne alınmalıdır (Chen, 2015).

Asfalt bitümleri gibi ham petrolden oluşan kompleks moleküller su içerisinde kolayca absorbe olabilirler. Ancak asfalt kaplamaların su içerisinde oluşturduğu damlacık özellikleri bu durumu önemli bir biçimde etkiler. Örneğin; karışım içerisinde gereğinden

fazla küçük damlacık oluşumu bakterilerin damlacık yüzey gerilimini kırmasına ve bozulmanın hızlanmasına sebep olabilir (Bochner de Araujo, 2019).

Killerin bir diğer özelliği ise su ile reaksiyona girdiğinde kolayca şişmesidir. Sıcak iklim şartlarında kaplamaya nüfuz eden killer boşlukları doldurur. Daha sonra su ile etkileşime giren kaplamalarda sular, killer tarafından emilmektedir. Bünyesine su alan killer şişerek kaplamanın yüzeyine doğru taşınır ve bu süreçte ayrılma ve sökülmelere sebebiyet verir. Ayrıca yüzeye taşınan killer kayma direncini büyük oranda düşürerek sürüş konfor ve emniyetini olumsuz yönde etkiler. Su ile reaksiyona girdiğinde şişme potansiyeli çok yüksek olan kil türü de montmorillonittir.

Kaplamaya giren killerin hacim değişikliği, zemin tabakasında bulunan su varlığı, emme ve oluşan farklı gerilmelerden meydana gelmektedir. Kil daneleri etrafında absorbe su olarak adlandırılan, neredeyse bitişik ve kil danesine güçlü bir şekilde bağlı olan dört su tabakası bulunmaktadır. Bu suyun dışında olan, bağlanma olarak daha zayıf olan başka bir su tabakası daha bulunur ve çift tabaka olarak adlandırılır. Çift tabakanın kalınlıklarındaki ve absorbe su tabaka kalınlıklarındaki değişiklikler ise zeminlerin rötresine ve şişmesine sebep olmaktadır (Uzer ve Olgun, 2006).

Killerin düşük sıcaklıkta bünyesinde barındırdığı su miktarı kilin, fiziksel ve kimyasal karakteristiğini etkileyen önemli bir faktördür. Ticari alanda, killerde aranan kolloidal, plastisite ve bağlama gibi durumları etkileyen kaplamaya nüfuz eden bünye suyudur. Kaplamaya giren kil çeşidine göre killer ortalama kendi ağırlıklarının 2 ile 15 katı arasında su absorbe edebilirler (Malayoğlu ve Akar, 1995). Kile bağlı soyulmalara örnek Şekil 28'de verilmiştir.



Şekil 28. Asfalt kaplamalarda kile bağlı soyulma (URL-10, 2021)

6. YAPILAN ÇALIŞMALAR

6.1. Materyal ve Metot

6.1.1. Materyal

6.1.1.1. Agrega

Bitümlü kaplamalarda kullanılan agrega türlerinin kökeni fark etmeksizin, her kaplama tipine göre farklı fiziksel özelliklerin sağlanması gerekir. İri, ince ve fillerden oluşan üç tip malzemenin tamamı, bitümlü karışım özelliklerini farklı olanlarda kontrol eder. Bitümlü karışımlarda kullanılan iri agrega yüzdesi %40-50'ye çıkarıldığında, karışımın mekanik direncini arttıran iskelet oluşur ve karışımın direncinde kayda değer farklılıklar görülür. İnce agrega ve filler ise iri agregaların oluşturduğu boşlukları doldurarak karışımın yoğunluğunu ve direncini arttırır (Ilıcalı vd., 2001).

Agrega tipi, yassılık durumu, gradasyon ve yüzey pürüzlülüğü, gibi özellikler bitümlü sıcak karışımların tekerlek izi, yorulma, su hasarı, çatlama direnci gibi performanslarını büyük oranda etkiler (Avcı, 2009).

Agrega kökenleri magmatik, tortul ve metamorfik olarak sınıflandırılabilir. Ancak agrega kökeni fark etmeksizin, her kaplama tipi için şartnamelerde istenen fiziksel özellikleri sağlaması gerekmektedir. Agregalar boyutlarına göre üç grupta incelenmektedir. Bunlar;

a. Kaba agrega; No:4 (4,75 mm) elek üzerinde kalan
b. İnce agrega; No:4 (4.75 mm)- No:200 (0.075 mm) arası
c. Mineral filler; No:200 (0.075 mm) den geçen agrega.

Karışımda kullanılan ince agrega satıh dokusu da çok önemlidir. Örneğin; mineral filler oranı agrega miktarının çok az bir yüzdesini oluşturmasına rağmen karışım özelliklerinin belirlenmesinde önemli bir rol oynar ve pürüzsüz çakıllar daha düşük deformasyon direnci sağlar. Mineral filler düzgün bir granülometrik bileşime sahip olmalıdır bu sebeple tane çapı 0.075 mm'den küçük olan hiçbir malzeme filler olarak sayılmaz. Tanelerin şekli de önemli bir yer tutmaktadır. Yassı, düz ve uzun tanelerin yüzdesinin arttırılması filler özelliğini düşürür. Ayrıca filler bitüm diğer kaplama malzemeleri ile reaksiyona girmemelidir.

Mineral filler; mermer tozu, taş tozu, portland çimentosu, sönmüş kireç vb. maddeler olarak sayılabilir. Filler içinde toprak, kil, organik madde ve zararlı maddeler gibi adezyonu bozacak malzemeler olmamalıdır (Ilıcalı, 2001).

Asfalt kaplama malzemelerin %90'ından fazlasını agregalar oluşturmaktadır. Agregalar yolun servis ömrünü önemli derecede etkilemektedir. Bu sebeple, kullanılan agregalarda bazı özellikleri karşılaması beklenir. Yol tabakası, çeşitli kalınlıklara sahip ve farklı görevleri olan birden fazla katmandan oluşmaktadır. Yol güvenliği açısından önemli parametrelere sahip tabaka aşınma tabakasıdır. Yolun servis ömrü boyunca güvenlik ve uzun süre dayanım göstermesi için agregaların, cilalanmaya karşı dayanım göstermesi ve sürtünme katsayılarının yüksek olması istenmektedir (Avcı, 2009).

Agreganın mekanik özellikleri ve maliyeti esnek kaplama yapımında kullanılabilmesi için en önemli parametrelerdendir. Seçilen agregaların ve bağlayıcıların özellikleri kaplamanın ömrü, stabilitesi, performansı ve mukavemeti vb. özellikleri üzerinde oldukça önemli etkiye sahiptir. Agregaların üretimde kaplamanın servis ömrü boyunca ekonomik, emniyetli ve konforlu olması için kalite kontrol işlemlerinin titizlikle yapılması gerekmektedir. Yapım esnasında agregaların kolaylıkla yerleştirilmesi ve sıkıştırılması, bağlayıcı ile karıştırılması, segregasyon oluşmaması vb. hususlar için de gereken özelliklere sahip olması gerekir. Yapısal ve fonksiyonel olarak istenilen özellikleri yerine getirebilmesi için agreganın içsel sürtünme direnci, stabilite gibi dayanımları göstermesi gerekir. Ayrıca agregalarda, iç gerilmelere karşı direnç, dinamik ve statik yükler altında bozulmalara karşı dayanım, bağlayıcı ile güçlü bağ, çevre ve kimyasal etkilere karşı diren. Ve yüzey tabakalarında kullanıldığında; sürtünme direnci sağlaması için pürüzlülük, ışık ve teker yansıtması, görünüm, gürültü ve elektrostatik özellik olan bir takım yüzey karakteristiklerini sağlaması gerekmektedir (Tunç, 2004).

Bu çalışmada kullanılan agregalar, Taş ocaklarından kontrollü olarak alınan kayaçlardan ticari konkasörde kırılarak kaba, orta ve ince boyutta temin edilmiştir. Alınan agregalar, Tablo 8'de gösterilen standart ASTM eleklerinden elenerek sınıflandırılmıştır. Eleme işlemi önce sarsma makinesi ile yapılmış, sonra sarsma makinesi ile elenen agregalar hassasiyeti artırmak amacı ile elle tekrar elenmiştir. Elenen agregalardan bir görüntü Şekil 29'da agregaların diğer özellikleri de Tablo 9'da sunulmuştur.

Tablo 8. Kullanılan elekler ve açıklık çapları

Elek Boyutları (mm)	İnç
19 mm	(3/4”)
12.5 mm	(1/2”)
9.5 mm	(3/8”)
4.75 mm	(No.4)
2.00 mm	(No.10)
0.425 mm	(No.40)
0.180 mm	(No.80)
0.075 mm	(No.200)

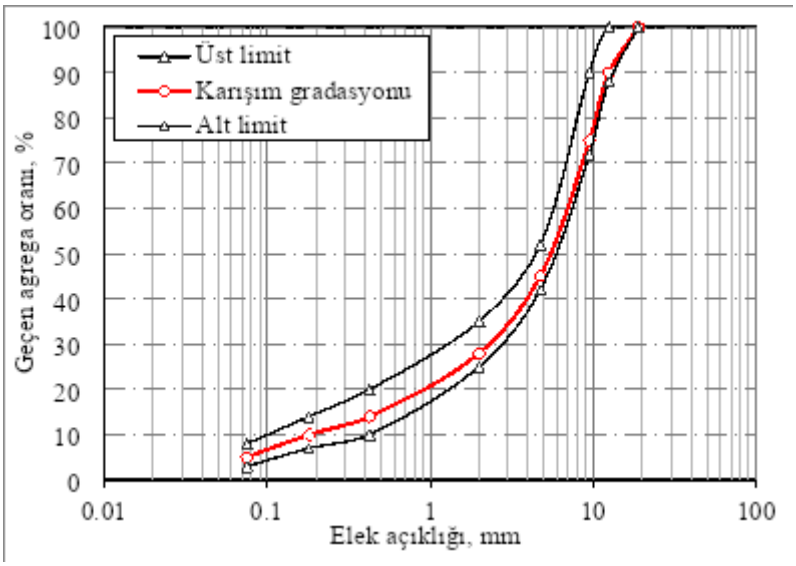


Şekil 29. Boyutlarına göre ayrılmış agregalar

Tablo 9. Agrega özellikleri

Özellik	Deney metodu	Değer	Şartname limitleri
Özgül ağırlık (kaba agrega)	ASTM C 127		
Hacim		2.707	
Zahiri		2.733	
Özgür ağırlık (ince agrega)			
Hacim	ASTM C 128		
Zahiri		2.763	
Özgül ağırlık (filler)		2.776	
Parçalanma direnci (Los Angeles) % kayıp		2.242	
Yassılık indeksi, (%)	TS EN 1097-2	26.70	En fazla 25
Soyulma direnci (katkısız) (%)	BS 812	9.71	En az 60
Kil topakları ve ufalanabilir daneler (%)	ASTM D-1664	60-65	Bulunmayacak
İnce agregalar için plastisite indeksi	ASTM C 142		Plastik değil
İnce agrega için organik madde, (%)	TS-1900-1	Plastik değil	Negatif
	TS EN 1744-1		

Agrega gradasyonu karayolları genel müdürlüğü karayolları Teknik Şartnamesinde (KGM, 2013) belirtilen yoğun gradasyonlu asfalt betonu gradasyonuna uygun olarak belirlenmiştir. Agrega gradasyonu Şekil 30'da gösterilmiştir.



Şekil 30. Agrega karışımının gradasyon eğrisi

Agrega karışımında kaba agrega oranı %54.96; ince agrega oranı %40; filler oranı ise %5.04 olarak hesaplanmıştır.

6.1.1.2. Bitümlü Bağlayıcı

Bu çalışmada özellikleri Tablo 10'da gösterilen 50-70 penetrasyon dereceli bitüm kullanılmıştır. Karışım performansının değerlendirilmesinde kontrol bitümün yanı sıra özellikleri Tablo 11'de verilen Wetfix BE modifiye bitüm de çalışılmıştır. Wetfix BE, bitüm ağırlığına oranla %0.3 oranında, bitüme eklenmiştir. Modifiye etme işlemi 2000 ml'lik beherde 1.5 kg ağırlığında bitüm kullanılarak yapılmıştır. Modifikasyon yüksek kesme etkili mikserde 160ºC sıcaklıkta 4000 dev/dak. karıştırma hızında 20 dakika süreyle yapılmıştır. Wetfix BE katkısının görünümü Şekil 31'de verilmiştir.

Tablo 10. Kontrol bitüm özellikleri

Test	Yöntem	Değer	Şartname limitleri
Özgül ağırlık (25℃)	ASTM D-70	1.011	
Yumuşama noktası (℃)	TS EN 1427	52	46-54
Parlama noktası (℃)	TS EN İSO 2592	240	En az 230
Penetrasyon (25℃) 0.1mm	TS EN 1426	63	50-70
Düktilite (25℃)	ASTM D-113	100+	

Tablo 11. Wetfix BE fiziksel özellikleri (URL-11)

Fiziksel Özellikler	
Görünüm (20℃)	Kahverengi viskoz sıvı
Yoğunluk (20℃) (kg/m³)	980
Akma noktası (℃)	<0
Yanma noktası (20℃) (cP)	>100
Viskozite (20℃) (cP)	3000
Viskozite (50℃) (cP)	400



Şekil 31. Wetfix BE katkısı

6.1.1.3. Bentonit Kili

Üretilen asfalt karışım örneklerinin koşullandırılmasında saf su ve su-bentonit kili çözeltisi kullanılmıştır. Bentonit kili montmorillonit kil türü olup %500 ya da yüksek limit değerine sahip bir kil mineralidir. Bu kil türü tüf, lav ve volkanik küllerin ayrışmasıyla meydana gelen alüminyum ve magnezyum içeriği zengin olan killerdir (Akbulut, 1996; Önem, 2000; Mitchell ve Soga, 2005).

Bentonitler su ile temas halinde şişme özelliği gösterirler. Bentonitler şişme özelliklerine ve sodyum kalsiyum iyonlarına göre üç sınıfta incelenebilir. Bentonit killerinin oluşumu bakımından jeolojik özellikleri farklılık göstermektedir. Sodyum bentonit ticari amaçla kullanılan yaygın bir türdür. Ancak sodyum bentonitin tabiatta rezervi az olduğundan bu kil türüne ulaşmak için fazla şişme özelliği olmayan kalsiyum ve sodyum kalsiyum kil çeşitleri bir takım kimyasal işlemlerden geçirilir (Akbulut, 1996; Özdemir ve Özcan, 2005). Tablo 12’de bentonit kilinin kimyasal ve fiziksel özellikleri, Tablo 13’de ise mühendislik özellikleri verilmiştir.

Tablo 12. Bentonit kilinin kimyasal ve fiziksel özellikleri

Kimyasal Analiz (%)	Değer
SiO_2 (Silisyum dioksit)	61.28
Al_2O_3 (Alüminyum oksit)	17.79
Fe_2O_3 (Demir oksit)	3.01
CaO (Kalsiyum oksit)	4.54
Na_2O (Sodyum oksit)	2.70
MgO (Magnezyum oksit)	2.10
K_2O (Potasyum oksit)	1.24
Fiziksel Özellikler	
Nem	8.0
Elek Analizi (200 mesh) %	1.24
Viskozite 600 rpm'de	46
Plastik Viskozite (PV)	15.6
YP (esneme sınır / plastik)	0.4

Tablo 13. Bentonit kilinin mühendislik özellikleri

Özellikler	
Likit Limit (LL) %	640
Plastik Limit (PL)%	28
Plastisite İndisi (PI)%	612
Maksimum kuru Birim Hacim Ağırlığı (γ_{kmax}) gr/cm³	1.12
Optimum Su Muhtevası (Wopt) %	48
Özgül Ağırlık (Gs)	2.69
Serbest Basınç (qu) (kg/cm²)	1.87

Bentonitler şişme özelliği olan ve şişme özelliği olmayan olmak üzere iki sınıfa ayrılabilir. Şişme özelliği olan bentonitler bünyelerine yaklaşık 1 ile 15 kat su alabilen bentonitleri teşkil eder. Su ile karıştırıldığında kolloidal özelliği göstererek su ve bazı organik sıvı ortamlarında kilin yüksek poroziteye sahip olması, hacimce şişmesi, bu killere fazlaca geniş kullanım sağlamaktadır.

Şişme özelliği göstermeyen bentonitler Ca- bentonit olarak tanımlanmaktadır. Bu tür bentonitler bünyesinde tabakalar arasında değişebilen iyonlarda kalsiyum barındırır. Her iki bentonitte fiziksel olarak aynı özellikleri gösterir ve asit ile reaksiyona girdiğinde kullanım alanlarında farklılıklar oluşabilir. Örneğin; Ca-bentonit asit ile reaksiyonundan sonra petrol yağlarında tasfiye edici özellikte olmasına rağmen Na bentonitlerde böyle bir özellik bulunmamaktadır (Malayoğlu ve Akar, 1995). Çalışmada kullanılan bentonit kilinden bir görüntü Şekil 32'de verilmiştir.



Şekil 32. Bentonit kilinden bir görüntü

6.1.2. Karışım Tasarımı

Marshall tasarım metodu, bitümlü sıcak karışım tasarımında kullanılır ve bitüm mühendisi olan Bruce Marshall tarafından formüle edilip, American Society for Testing and Materials (ASTM) tarafından standart hale getirilmiştir. ASTM D 1559 (ASTM D 1559, 1998)'da metot Marshall aleti ile bitümlü karışımın plastik akmaya karşı direnci olarak tanımlanıp Türk standardı olan TS 3720 (TS 3720, 2010)'de yer almıştır. Bu metot, sadece maksimum boyutu 25 mm veya daha küçük agrega barındıran bitümlü sıcak karışım kaplama asfaltlarına uygulanmaktadır. Metot sıcak karışım asfalt kaplamaların laboratuvarda optimum bitüm içeriklerinin hesaplanması için geliştirilmiştir (Yıldız ve Özgan, 2003).

Bu çalışmada, Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM) Teknik Şartnamesine (KGM, 2013) göre, kontrol (katkısız) bitüm ile yoğun gradasyonlu asfalt betonu tasarımı

yapılmıştır. Optimum bitüm içeriği %4 hava boşluğuna karşılık gelen bitüm içeriği olarak alınmış ve %5.10 olarak hesaplanmıştır. Katkısız bitüm ile hesaplanan optimum bitüm içeriği wetfix BE modifiye bitümlü karışım üretimi için de kullanılmıştır. Optimum bitüm içeriğindeki karışım özellikleri Tablo 14'te verilmiştir.

Tablo 14. Asfalt betonu tasarım sonuçları

Tasarım parametreleri	Şartname limitleri	Karışım değerleri
Darbe sayısı, her bir yüze	75	75.00
Yoğunluk, gr/cm^3		2.44
Marshall stabilitesi, kg	En az 900	1189
Boşluk, V_h, %	3-5	4.00
Asfaltla dolu boşluk, V_f, %	65-75	71.64
Akma, mm (mm)	2-4	3.48
Bitüm içeriği, (%)	4-7	5.10
VMA, %	14-16	14.37

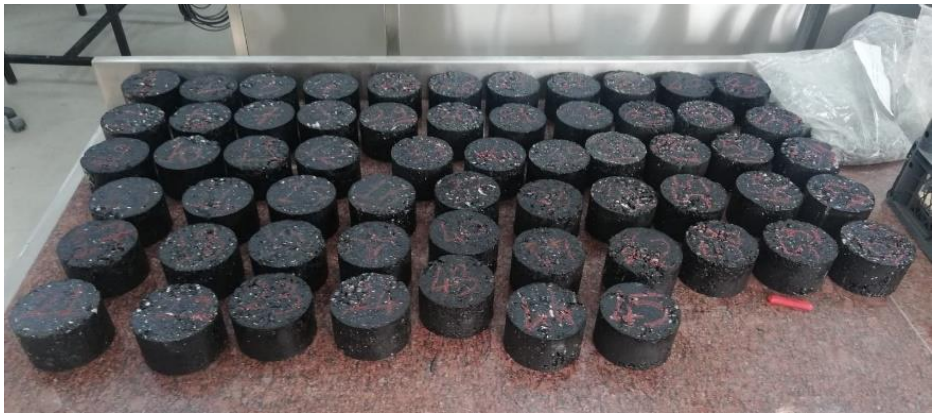
Hesaplanan optimum bitüm içeriği kullanılarak 36 adet katkısız bitümlü ve 36 adet Wetfix BE modifiye bitümlü Marshall briketi üretilmiştir. Üretilen briketlerin özellikleri Tablo 15'te ve Tablo 16'da, üretilen briketlerden bir görüntü de Şekil 33'de verilmiştir.

Tablo 15. Wetfix BE modifiye bitümlü Marshall briketlerin özellikleri

Örnek No	Ortalama Yükseklik, mm	Pratik yoğunluk, gr/cm^3
1	59.537	2.493
2	59.167	2.484
3	59.303	2.481
4	58.917	2.490
5	58.940	2.483
6	59.137	2.478
7	59.117	2.476
8	58.897	2.475
9	59.777	2.477
10	59.013	2.481
11	59.317	2.478
12	59.783	2.491
13	59.037	2.488
14	59.370	2.488
15	59.303	2.492
16	59.567	2.481
17	59.833	2.482
18	60.497	2.484
19	59.673	2.485
20	60.120	2.485
21	59.503	2.481
22	59.967	2.488
23	59.567	2.484
24	59.747	2.489
25	60.180	2.486
26	59.910	2.484
27	59.928	2.487
28	59.946	2.484
29	59.964	2.486
30	59.982	2.483
31	60.112	2.486
32	60.147	2.487
33	60.182	2.482
34	60.217	2.489
35	60.252	2.480
36	60.287	2.481

Tablo 16. Katkısız Marshall briketlerin özellikleri

Örnek No	Ortalama Yükseklik, mm	Pratik yoğunluk, gr/cm3
37	60.770	2.487
38	59.890	2.485
39	58.493	2.487
40	59.537	2.481
41	59.777	2.485
42	60.187	2.485
43	60.170	2.484
44	59.453	2.487
45	58.900	2.484
46	59.333	2.484
47	59.637	2.481
48	60.033	2.477
49	59.137	2.482
50	60.523	2.476
51	60.290	2.489
52	60.443	2.488
53	60.000	2.484
54	58.900	2.483
55	59.863	2.482
56	59.727	2.483
57	59.830	2.492
58	59.833	2.491
59	60.053	2.483
60	60.117	2.488
61	60.417	2.481
62	60.056	2.479
63	60.076	2.482
64	60.097	2.484
65	60.117	2.485
66	60.138	2.480
67	60.158	2.477
68	60.178	2.488
69	60.199	2.489
70	60.219	2.480
71	60.239	2.475
72	60.260	2.482



Şekil 33. Üretilen Marshall briketlerinden bir görüntü

6.1.3. Metot

Katkısız bitüm ve Wetfix BE modifiye bitüm ile üretilen Marshall briketlerinin düşük sıcaklık çatlaması ve su hasarına karşı dirençleri araştırılmıştır. Düşük sıcaklık çatlama direnci 0 ºC sıcaklıkta yapılan dolaylı çekme mukavemeti deneyi ile; su hasarına karşı direnç de dolaylı çekme mukavemeti oranı ile araştırılmıştır. Her iki deney yöntemi için koşullandırılmamış ve çeşitli prosedürlere göre koşullandırılmış asfalt karışım örnekleri kullanılmıştır. Koşullandırma prosedürlerinde AASHTO T283 yöntemi esas alınmış ancak farklı bekletme süreleri ve bentonit kili- su çözeltisi de kullanılmıştır.

6.1.3.1. Su Hasarına Karşı Direnç Testi

Bitümlü sıcak karışımların neme karşı gösterdiği davranışları incelemek için birçok yöntem geliştirilmiştir. Laboratuvar testleri de bu yöntemler içerisinde bulunmaktadır. Su hasarının etkilerini araştıran bu testler hem sıkıştırılmış bitümlü sıcak karışım numune dayanım kayıplarını hem de oluşan soyulma ile bitümün agrega yüzeyinden sıyrılmasını inceler (Liang, 2008).

Dayanım kayıplarını inceleyen testlerden biri olan Lottman prosedüründe, hazırlanan numuneler vakumlandıktan ve donma-çözünme evrelerinden geçirildikten sonra koşullu olarak test edilir. Koşullu numunelerden elde edilen çekme mukavemeti değerlerin koşulsuz numunelerinkine oranlanması ile indirekt çekme mukavemeti oranı (İÇMO) hesaplanır. Karayolları Teknik Şartnamesinde, bir kaplamanın su hasarına karşı dirençli olabilmesi için en az 0.8 çekme mukavemeti oranı aranmaktadır. Lottman testi

prosedürünün vakum sonrası donma-çözünme işlemi yapılmasının iç basınç şiddetini çok fazla arttırdığı ifade edilmektedir (Hicks, 1991).

Asfalt karışımların su hasarına karşı dirençlerinin belirlenmesi için beş koşullandırma sistemi uygulanmıştır. Birinci koşullandırma sisteminde (K1) AASHTO T283 prosedürü olduğu gibi izlenmiştir. Briketleri doygun hale getirmek için saf su kullanılmıştır. Vakumlu piknometre 10 dakika boyunca 0.7 bar basınçta tutularak briketler %70-80 oranında doygun hale getirilmiştir. Suya doygun hale getirilmiş numuneler önce 5 dakika serbest olarak (vakumsuz) su içerisinde bekletilmiş, ardından streç film ile sarılarak içerisinde 10 ml saf su bulunan kilitli poşetlere konulmuş ve önceden -18℃'ye getirilmiş koşullandırma kabinine konulmuştur. Koşullandırma kabininde 20 saat bekletilen örnekler bekletilmeden +60℃'deki su banyosuna streç filmleri sökülerek konmuştur. +60℃'de 24 saat bekletilen örneklerin koşullandırma süreci tamamlanmıştır. Koşullandırma süreci tamamlanan örnekler suyu boşaltılan kabinde iki saat bekletildikten sonra diğer süreçlerde kullanılmıştır.

Diğer dört koşullandırmada saf su yerine bentonit kili – saf su çözeltisi kullanılmıştır. Saf suya %16.67 oranında bentonit kili katılarak çözelti elde edilmiş, briketler bentonit kili çözeltisi ile doygun hale getirilmiş, doygun hale getirilen örnekler de bentonit kili içerisinde belirli sürelerde bekletilmiştir. Diğer süreçler (donma kabini, sıcak suda bekletme) birinci koşullandırma yöntemi ile aynı uygulanmıştır. Koşullandırma kodları ve bekletme süreleri Tablo 17'de koşullandırma aşamaları ise Şekil 34'te gösterilmiştir.

Tablo 17. Koşullandırma sistemlerinin kodlaması

Koşullandırma adı	Koşullandırma kodu	Kullanılan sıvı	Doygun örneklerin sıvı içerisinde bekletilme süresi
Koşullandırılmamış	Koşulsuz	-	-
AASHTO T283 koşullandırması	K1	Saf su	5 dakika
Koşullandırma 2	K2	Bentonit kili çözeltisi	5 dakika
Koşullandırma 3	K3	Bentonit kili çözeltisi	24 saat
Koşullandırma 4	K4	Bentonit kili çözeltisi	72 saat
Koşullandırma 5	K5	Bentonit kili çözeltisi	120 saat



Şekil 34. Koşullandırma süreçlerinden çeşitli resimler a) Killi suyun hazırlanması b) Killi su ve piknometre ile doygun hale getirme, c) Numunelerin killi suda bekletilmesi, d)Numune son hali

Asfalt karışım örneklerinin su hasarına karşı dirençleri dolaylı çekme mukavemeti oranı ile hesaplanmıştır. Koşullandırılmış ve koşullandırılmamış Marshall briketleri 25°C'lik su banyosunda 2 saat bekletildikten sonra bekletilmeden dolaylı çekme mukavemeti deneyi yapılmıştır. Deneyler dolaylı çekme mukavemeti test çerçevesi kullanılarak Marshall stabilite cihazında gerçekleştirilmiştir. İndirekt çekme mukavemeti deney düzeneği Şekil 35'te verilmiştir.



Şekil 35. Dolaylı çekme mukavemeti deney cihazı

Deneyler, her koşullandırma grubundan örneklere yapılmıştır. Örnekler her grupta üç örnek olacak şekilde gruplandırılmıştır. Özdeş asfalt karışım örnekleri (yoğunlukları arasında %2'den daha düşük fark olan örnekler kullanılmıştır) gruplara ayrılırken her bir gruptaki örneklerin ortalama yoğunluklarının yaklaşık olarak eşit olmasına özen gösterilmiştir.

Kaydedilen değerler ve numune büyüklükleri kullanılarak çekme mukavemeti testi aşağıdaki 1. denklem ile hesaplanmıştır.

$$S_t = \frac{2000 \cdot P}{\pi \cdot t \cdot D} \quad (1)$$

Burada;

S_t: çekme mukavemeti, kPa

P: maksimum yükleme, N

t: numune kalınlığı, mm

D: numune çapı, mm olarak verilmiştir.

Su ve donma-çözünmeden kaynaklanan dayanım kaybını belirlemek için her gruptaki numunelerin dolaylı çekme dayanımlarının ortalamaları elde edilir ve denklem 2'de gösterildiği gibi oranlanır.

$$TSR = \frac{S_2}{S_1} \quad (2)$$

Burada;
TSR: çekme mukavemeti oranı
S_1: koşulsuz numunelerin ortalama çekme mukavemeti oranı, kPa
S_2: koşullu numunelerin ortalama çekme mukavemeti oranı, kPa olarak verilmiştir.

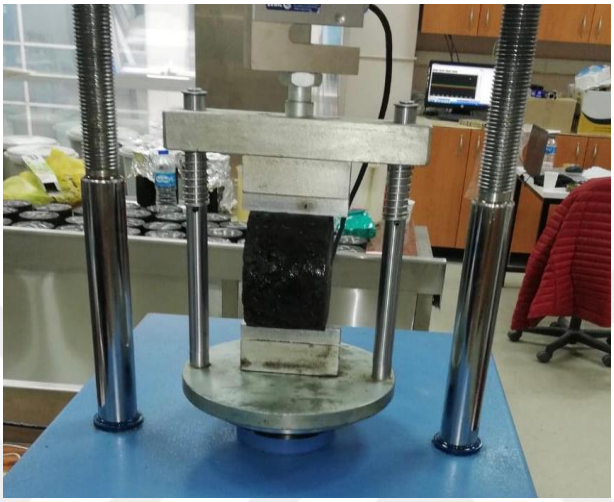
ITSR değeri ve karışımın su hasarına karşı direnci doğru orantılıdır ve genellikle 0.80 sınır değeri olarak kabul edilir, TSR değeri 0.80'den düşük olan asfalt karışımları su hasarına dayanıksız, daha yüksek olanlar ise dayanıklı olarak kabul edilir (İskender, Aksoy ve İskender, 2020).

6.1.3.2. Düşük Sıcaklık Çatlama Testi

Düşük sıcaklık çatlama testi yol kaplamalarının düşük sıcaklıkta göstereceği davranışları incelemek amacıyla yapılmaktadır. Asfalt numunesine sabit bir deformasyonla yüke dik doğrultuda bozulma görülünceye kadar (ilk çatlak oluşumu) basınç yükü uygulanmaktadır. Test aşamasında bozulma, uygulanan yükte artış gözlemlenmediğinde ya da en büyük yükün oluştuğu zaman olarak değerlendirilir ve numunenin bozulmadan önce gösterdiği en büyük yük dolaylı çekme mukavemeti olarak alınır. Ayrıca test aşamasında yatay ve düşey yönde meydana gelen yer değiştirmeler de kaydedilebilir. Bu test sonucunda bulunan değerler bozulma deformasyonu, kaplamanın yorulma çatlaklarının oluşma potansiyeli ve optimum bitüm içeriğinin belirlenmesinde kullanılmaktadır (İskender, 2008). Çekme mukavemeti ne kadar büyük ise çatlama direncinin o kadar yüksek olduğu değerlendirilir.

Bu çalışmada üretilen asfalt karışım numuneleri 0°C'de test edilmiştir. Deney başlatılmadan önce örnekler test yapılacak sıcaklığa gelmesi için 0°C sıcaklıkta 12 saat bekletilmiştir. Her karşım türü ve koşullandırma seçeneği için üçer özdeş örnek

kullanılmış, değerlendirmeler ortalama çekme mukavemetine göre yapılmıştır. Koşullandırma yöntemleri Bölüm 6.1.3.1.'de anlatıldığı gibi yapılmıştır. Deney düzeneğinden bir görüntü Şekil 36'da ve deney sonucunda kırılan bir briketin görüntüsü Şekil 37'de verilmiştir.



Şekil 36. İndirekt çekme mukavemeti deney düzeneği



Şekil 37. Yükleme sonucu kırılan bir numune

7. BULGULAR VE İRDELEME

7.1. Su Hasarı Deneyine Ait Bulgular ve İrdeleme

Kontrol bitüm ve Wetfix BE modifiye bitümlü karışım örneklerinin dolaylı çekme mukavemeti deney sonuçları Tablo 18 ve Tablo 19'da verilmiştir.

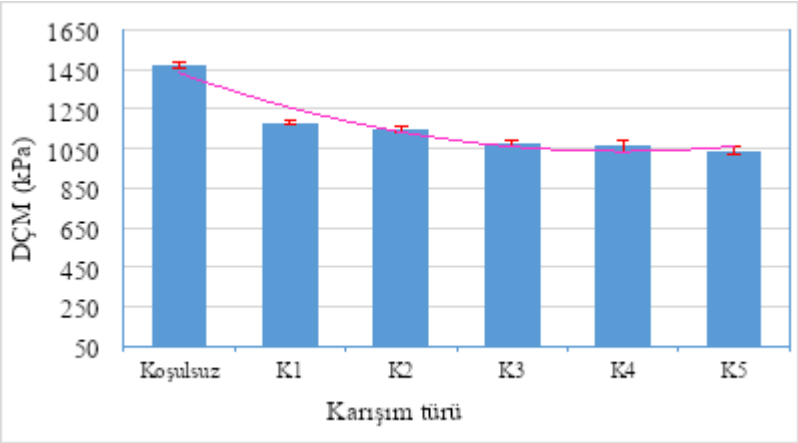
Tablo 18. Kontrol karışımların 25 ºC'de çekme mukavemeti deney sonuçları

Koşullandırma adı	Koşullandırma kodu	Çekme mukavemeti, kPa	Ortalama çekme mukavemeti, kPa
Koşullandırılmamış	Koşulsuz	1451.21	1471.862
		1496.13	
		1468.24	
AASHTO T283 koşullandırması	K1	1179.59	1180.199
		1197.57	
		1163.44	
Koşullandırma 2	K2	1177.82	1147.182
		1142.55	
		1121.18	
Koşullandırma 3	K3	1078.72	1079.188
		1105.72	
		1053.13	
Koşullandırma 4	K4	1120.52	1061.779
		1001.39	
		1063.43	
Koşullandırma 5	K5	1042.43	1037.397
		1073.44	
		996.31	

Tablo 19. Wetfix BE modifiye karışımların 25 ºC'de çekme mukavemeti deney sonuçları

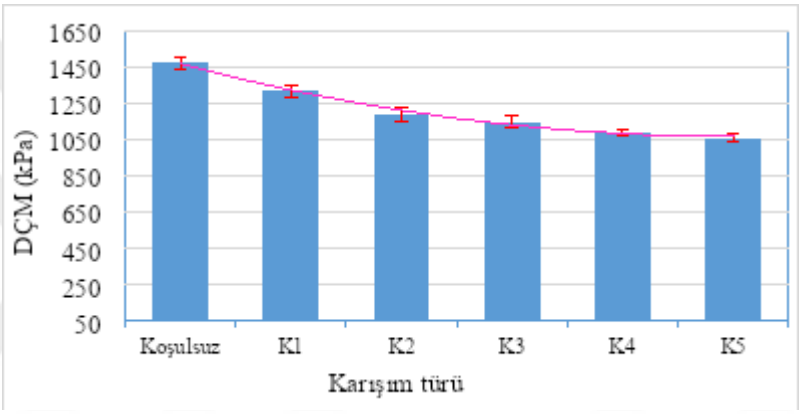
Koşullandırma adı	Koşullandırma kodu	Çekme mukavemeti, kPa	Ortalama çekme mukavemeti, kPa
Koşullandırılmamış	Koşulsuz	1490.67	1473.914
		1530.14	
		1400.93	
AASHTO T283 koşullandırması	K1	1250.02	1316.437
		1366.96	
		1332.33	
Koşullandırma 2	K2	1137.20	1192.546
		1282.26	
		1158.18	
Koşullandırma 3	K3	1183.11	1146.225
		1179.45	
		1076.12	
Koşullandırma 4	K4	1101.42	1089.328
		1052.95	
		1113.61	
Koşullandırma 5	K5	1011.13	1058.542
		1107.90	
		1056.59	

Koşullu ve koşulsuz örneklerin dolaylı çekme dayanımları özdeş örneklerden elde edilen değerlerin ortalaması alınarak Şekil 38-41'de verilmiştir.



Şekil 38. Kontrol bitüm karışımların indirekt (dolaylı) çekme mukavemeti değerleri

Şekil 38 incelendiğinde, kontrol karışımların çekme dayanımlarının koşullandırılmamış durumda 1471,86 kPa, AASHTO T283 koşullaması yapılması durumunda 1180,20 kPa, ikinci koşullamada 1147,18 kPa, üçüncü koşullamada 1079,19 kPa, dördüncü koşullamada 1061,78 kPa ve son koşullamada ise 1037,40 kPa olduğu görülmüştür. Koşullama uygulanması ile karışımların çekme dayanımlarında azalma olduğu görülmüştür. Bentonit kili çözeltisi ile yapılan koşullandırmalar saf su koşullandırmasına göre daha yüksek hasar oluşturarak karışımların çekme dayanımını daha fazla düşürmüştür.

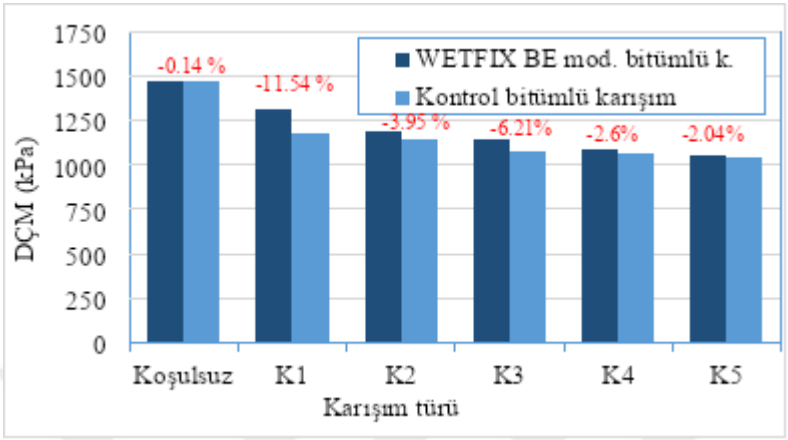


Şekil 39. Wetfix BE katkılı karışımların indirekt (dolaylı) çekme mukavemeti değerleri

Şekil 39 incelendiğinde Wetfix BE katkılı karışımların çekme mukavemeti değerlerinin koşullandırılmamış karışımlarda 1473,92 kPa, AASHTO T283 koşullamasında 1316,44 kPa, ikinci koşullamada 1192,58 kPa, üçüncü koşullamada 1146,23 kPa, dördüncü koşullamada 1089,33 kPa ve son koşullamada 1058,54 kPa olduğu görülmüştür. Bu değerler sonucunda kontrol karışımlarda olduğu gibi koşullamalarda bentonit kili çözeltisinde bekletme süresi uzadıkça çekme dayanımın önemli derecede azaldığı görülmüştür.

Vakumlu piknometre ile suya doygun hale getirilen asfalt karışım briketlerinin donma aşamasından hemen önce su içerisinde bekletilme aşamaları bentonit kili çözeltileri için değiştirilerek uygulanmıştır. K2 koşullandırması K1 koşullandırmasına göre (her iki koşullandırmada da aynı bekletme süreleri uygulanmıştır) daha yüksek hasar seviyesi göstermiştir. Bentonit kili çözeltisinde bekletme sürelerinin artması ile çekme

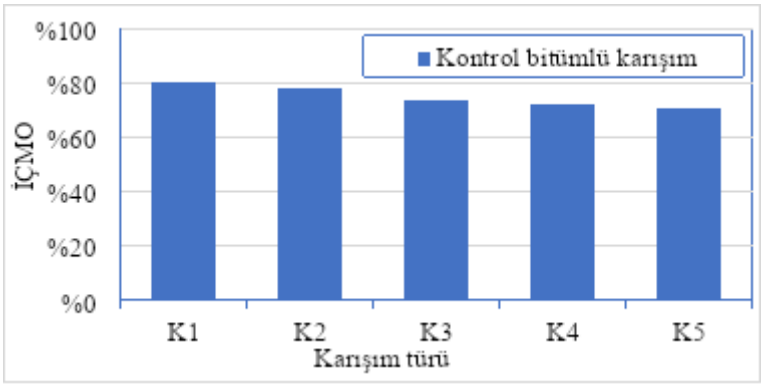
mukavemetlerinin de azaldığı ancak bekletme süresi arttıkça çekme mukavemetlerindeki azalış hızının da azaldığı görülmüştür.



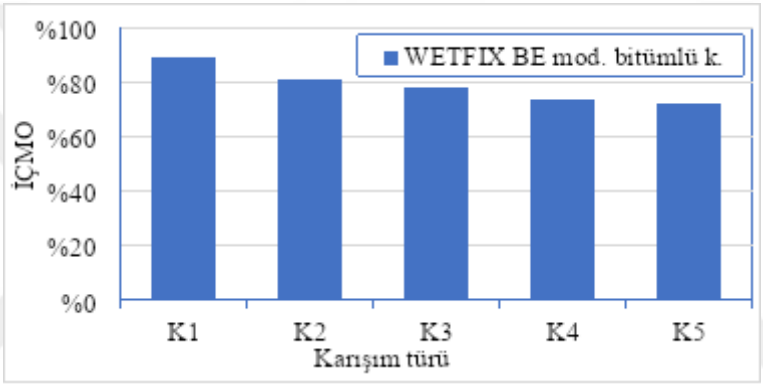
Şekil 40. Katkılı ve kontrol bitümlü karışımların indirekt (dolaylı) çekme mukavemeti değerlerinin karşılaştırılması

Şekil 40 incelendiğinde koşullandırılmamış karışımlarda wetfix BE modifiye bitümlü karışımların kontrol karışımlara oranla %0.14 fazla dayanım gösterdiği gözlemlenmiştir. Modifiye karışımlar bütün koşullandırma yöntemlerinde kontrol karışımlara göre daha yüksek çekme mukavemetleri sergilemiştir. K1 koşullandırmasında modifiye karışımlar %11.54 daha yüksek çekme mukavemeti gösterirken K2, K3, K4 ve K5 koşullandırmalarında sırasıyla %3.95, %6.21, %2.6 ve %2.04 daha fazla çekme dayanımı oluşturmuştur. Verilerden de anlaşıldığı üzere doygun halde bentonit kili çözeltisinde karışımların bekletilme süreleri artırıldıkça çekme dayanımı açısından modifiye ve kontrol karışımların performans seviyeleri arasındaki farkın azaldığı görülmüştür.

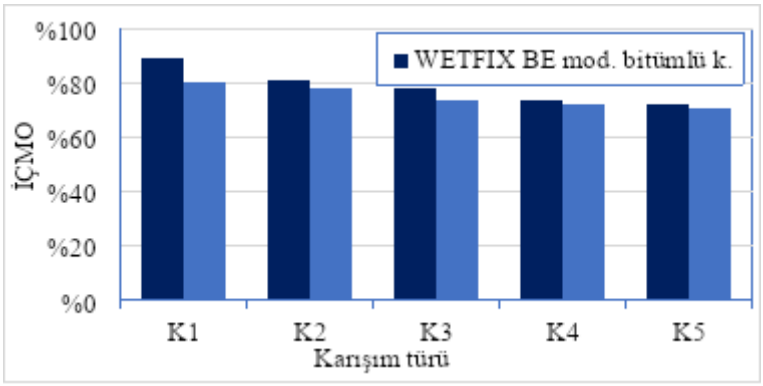
Şekil 41- Şekil 43'te kontrol ve Wetfix Be modifiye bitümlü karışımların çekme mukavemeti oranları grafikler halinde sunulmuştur.



Şekil 41. Kontrol karışımların koşullandırma türü su hasarı ilişkisi



Şekil 42. Wetfix BE modifiye karışımların koşullandırma türü su hasarı ilişkisi



Şekil 43. Kontrol ve Wetfix BE modifiye karışımların su hasarı dirençlerinin karşılaştırılması

Şekil 41- Şekil 43'te saf su ile koşullandırılmış karışımların bentonit kili çözeltisi ile koşullandırılmış örneklerden daha yüksek su hasarı direnci gösterdiği anlaşılmaktadır. Wetfix BE katkısı bütün koşullandırma yöntemlerinde kontrol karışımlara göre daha

yüksek İÇMO ve dolayısıyla daha yüksek su hasarı direnci göstermiştir. Koşullandırma bekletme süreleri arttıkça kontrol ve modifiye karışımların çekme mukavemeti oranları arasındaki farkın azaldığı buna rağmen modifiye karışımların kontrol karışımlara göre yüksek soyulma dirençlerini koruduğu görülmüştür.

Bentonit kili, yüksek şişme özelliğine sahip bir kil olarak bilinmektedir. Asfalt karışım briketleri içerisine giren killer muhtemelen karışım içerisinde şişerek karışımın içsel yapısına zarar vererek hasar seviyesini artırmaktadır. Böylelikle karışımların çekme mukavemetleri azalmaktadır. Saf su koşullandırmasında suya doygun haldeki örneklerin içerisindeki su donma aşamasında hacimce genişlemekte ve asfalt örneğine hasar vermektedir. Diğer yandan kil/su çözeltisinde donma aşamasında da hacimsel artışın olduğu değerlendirilmektedir.

Briket içerisindeki su veya kil/su çözeltisinin hacimsel genişleme ile brikete hasar verme mekanizmasının yanı sıra suyun varlığında agrega – bitüm adezyonunun azaldığı bilinmektedir. Bu nedenle su içerisinde bekletme sürelerinin artırılmasının karışımların su hasarına karşı direnci düşürmüş olabileceği düşünülmektedir. K1 ve K2 koşullandırması haricinde asfalt karışımların 0.80 TSR değerinin altında kaldığı görülmektedir.

Asfalt karışımlar, su ve kilin varlığında ani emülsiyonlaşmaya uğrayabilmektedir. Kendiliğinden emülsifikasyonda, su ve asfalt, asfaltın sürekli fazı ve suyun süreksiz fazı temsil ettiği ters bir emülsiyon oluşturmak üzere birleşir. Böyle bir emülsiyonun oluşumu soyulmaya yol açar ve mineral killer ve bazı asfalt katkı maddeleri gibi emülgatörlerin varlığı ile daha da kötüleşir (Taylor ve Khosla, 1983). Kil/su çözeltisi içerisinde bekletme sürelerinin artması ile su hasarı direncinin düşme eğilimi göstermesinin ani emülsiyonlaşma mekanizması ile açıklanabileceği değerlendirilmektedir.

Wetfix BE modifiye karışımlar su hasarına karşı daha yüksek dirençler sergilemiştir. Koşullandırmanın şiddeti arttırıldığında hem modifiye hem de kontrol karışımların çekme mukavemet oranları azalmıştır. Buna rağmen her koşullandırmada modifiye karışımlar kontrol karışımlara göre daha yüksek oranlar vermiştir. Bulunan sonuçlar literatürle uyumlu görülmektedir.

Su hasarı, mukavemet kaybına yol açan adezyon ve kohezyon olmak üzere iki mekanizma içerebilir. Asfalt filmi ile agrega yüzeyi arasına su sızabilir ve adezyon

problemine neden olabilir. Ayrıca su, su asfalt çimentosu ile birleşebilir ve kohezyonu etkiler bu da rijitliğin azalmasına neden olabilir (Maupin, 1995).

Sıvı soyulma önleyici katkı maddeleri, agreganın yüzey gerilimini azaltan ve böylece daha iyi yüzey yapışmasını destekleyen kimyasal yüzey aktif maddelerdir (Sebaaly vd., 2007). Asfalt karışımlarında kullanılan kimyasal katkı maddelerinin çoğunun bileşimi, amonyaktan türetilen temel bir bileşik olan aminlerdir. Aminler, agregaların silika bileşiklerine güçlü uyumları nedeniyle agrega yüzeyini verimli bir şekilde ıslatabilen uzun hidrokarbon zincirlerinden oluşur (Mercado, 2007). Böylelikle bitüm ile agrega arasında daha güçlü bir bağ oluşur.

Su hasarı problemi asfalt karışımın bileşenlerinin bireysel olarak test edilmesiyle değerlendirilemeyen, asfalt karışımın temel bir özelliğidir. Dolaylı çekme mukavemeti oranı gibi yöntemlerle su hasarı direncinin değerlendirilmesinin daha gerçekçi olacağı düşünülmektedir.

Sıvı soyulma önleyici katkılar asfalt çimentosunu yumuşatarak agregayı daha iyi ıslatması ile adezyonun artmasına neden olmaktadır. Fakat bitümün yumuşaması kohezyonun azalmasına sebebiyet verebilir. Bu nedenle soyulma önleyici katkı maddesinin dozajı çok dikkatli belirlenmelidir. Diğer yandan yumuşayan bitüm ile su ve kil gibi mineral maddeler birleştiğinde harici emülsiyonlaşma ile karışımın rijitliği daha da azalabilir. Uzun süreli kil/su çözeltisi koşullandırmasında dolaylı çekme mukavemeti değerlerinde ve oranlarında düşüş görülmesi bu nedenle ilişkili olabileceği düşünülmektedir.

7.2. Düşük Sıcaklık Çatlama Deneyine Ait Bulgular ve İrdeleme

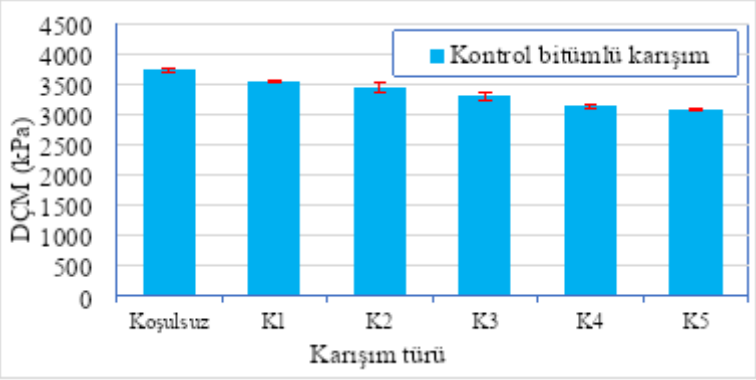
Kontrol ve modifiye asfalt karışımların farklı koşullandırma prosedürleri altında düşük sıcaklık özellikleri 0 ºC sıcaklıkta dolaylı çekme mukavemeti deneyi ile belirlenmiştir. Deney üçer özdeş örnek üzerinde tekrarlanmıştır. Kontrol karışımların deney sonuçları Tablo 20'de ve modifiye karışımların deney sonuçları da Tablo 21'de verilmiştir. Koşullandırma prosedürü – çatlama direnci ilişkisi Şekil 44 –Şekil 46'da sunulmuştur.

Tablo 20. Kontrol numunelerin 0°C sıcaklıkta indirekt çekme mukavemeti deney sonuçları

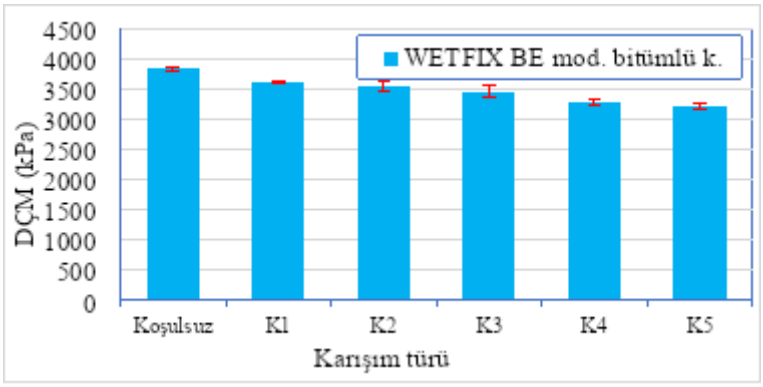
Koşullandırma adı	Koşullandırma kodu	Çekme mukavemeti, kPa	Ortalama çekme mukavemeti, kPa	Koşullandırılmamış karışımlara göre çekme mukavemetinde azalma (%)
Koşullandırılmamış	Koşulsuz	3711.89477	3738.056	0
		3704.21213		
		3798.06123		
AASHTO T283 koşullandırması	K1	3536.14638	3540.468	-5.29
		3513.99773		
		3571.2606		
Koşullandırma 2	K2	3350.09758	3448.104	-7.76
		3613.18992		
		3381.02427		
Koşullandırma 3	K3	3180.04375	3298.917	-11.75
		3392.05772		
		3324.64838		
Koşullandırma 4	K4	3181.55948	3139.725	-16.01
		3059.89038		
		3177.72553		
Koşullandırma 5	K5	3102.78701	3068.771	-17.90
		3065.29331		
		3038.23407		

Tablo 21. Wetfix BE modifiye bitümlü karışımların 0°C sıcaklıkta dolaylı çekme mukavemeti deney sonuçları

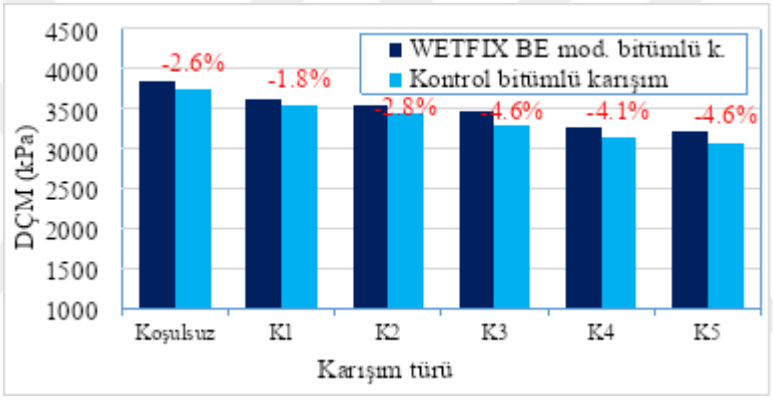
Koşullandırma adı	Koşullandırma kodu	Çekme mukavemeti, kPa	Ortalama çekme mukavemeti, kPa	Koşullandırılmamış karışımlara göre çekme mukavemetinde azalma (%)
Koşullandırılmamış	Koşulsuz	3810.895	3838.056	0
		3805.212		
		3898.061		
AASHTO T283 koşullandırması	K1	3633.146	3606.135	-6.04
		3613.998		
		3571.261		
Koşullandırma 2	K2	3339.912	3545.793	-7.61
		3616.443		
		3681.023		
Koşullandırma 3	K3	3258.123	3457.484	-9.92
		3620.55		
		3493.78		
Koşullandırma 4	K4	3154.401	3273.52	-14.71
		3326.412		
		3339.747		
Koşullandırma 5	K5	3274.175	3216.427	-16.20
		3136.291		
		3238.815		



Şekil 44. Kontrol karışımların koşullandırma türüne göre çatlama dirençlerinin karşılaştırılması



Şekil 45. Wetfix BE modifiye bitümlü karışımların koşullandırma türüne göre çatlama dirençlerinin karşılaştırılması



Şekil 46. Kontrol ve modifiye karışımların çatlama dirençlerinin karşılaştırılması

Şekil 44 incelendiğinde kontrol karışımlarda düşük sıcaklık çatlama dayanımı ortalama değerlerinin koşullandırılmamış karışımlarda 3738,06 kPa, AASHTO T283 koşullandırmasında 3540, 47 kPa, ikinci koşullandırmada 3448,10 kPa, üçüncü koşullandırmada 3298,73 kPa, dördüncü koşullandırmada 3139,73 kPa ve beşinci koşullandırma türünde 3068,77 kPa olduğu görülmüştür.

Tablo 21 ve Şekil 45 incelendiğinde Wetfix BE katkılı karışımlarda düşük sıcaklık çatlama dayanımlarının ortalama değerlerinin koşullandırılmamış karışımlarda 3838,06 kPa, AASHTO T283 koşullandırmasında 3606,14 kPa, ikinci koşullandırmada 3545,79 kPa, üçüncü koşullandırmada 3457,48 kPa, dördüncü koşullandırmada 3273,52 kPa ve son koşullandırmada 3216,43 kPa olduğu gözlemlenmiştir. Bu değerler karşılaştırıldığında koşullama süresinin arttıkça karışımların düşük sıcaklık çatlama dayanımının düştüğü görülmüştür.

Şekil 46 incelendiğinde Wetfix BE katkılı karışımların kontrol bitüm karışımlara oranla koşulsuz numunelerde %2.6, birinci koşullamada %1.8, ikinci koşullamada %2.8, üçüncü koşullamada %4.6, dördüncü koşullamada %4.1 ve beşinci koşullamada %4.6 daha fazla dayanım gösterdiği tespit edilmiştir. Bu durum Wetfix BE katkısının karışımlarda kullanımının düşük sıcaklık çatlama dayanımını arttığını ortaya koymaktadır.

Şekil 44 - Şekil 46 incelendiğinde düşük sıcaklık çatlama deneyine tabi tutulan numunelerden saf su ile koşullandırılmış olanların bentonit kili ile koşullandırılmış numunelere göre daha fazla dayanım gösterdiği görülmüştür. Wetfix BE katkılı numuneler ile kontrol numuneler karşılaştırıldığında Wetfix BE katkılı numunelerin daha fazla çekme dayanımı gösterdiği, koşullandırma süresi arttıkça kontrol karışım ile farkın artmasına rağmen örneklerin dirençlerini yüksek oranda koruduğu görülmüştür.

Asfalt karışımlarda su bulunması durumunda sıkıştırılmış karışım mekanik özelliklerini kaybedebilir. Bu tür bir hasar, başlı başına önemli bir hasar olmasının yanı sıra, yorulma çatlağı, tekerlek izi, asfalt bağlayıcısının agregadan ayrılması ve asfalt kaplamalarda boşluk ve çatlakların oluşması gibi hasarların oluşmasına ve bu hasarların şiddetlenmesine sebep olabilir. Soyulma olarak da bilinen nem hasarı yoğunluğu, birçok nedene bağlanabilir. Bu nedenlerden dış faktör olarak çevre koşulları ve asfalt kaplamalara giren kil gibi yabancı maddeler büyük önem arz etmektedir (Hamedi vd., 2021).

Bu tür soyulmaları engellemek ve agrega-bağlayıcı adezyon özelliğini arttırmak için kaplamaya katkı maddeleri eklenebilir. Bu katkılar agregaların hidrofilik eğilimini azaltan ve agrega yüzey özelliklerini değiştiren kimyasallardır böylece su bağlayıcı-agrega sistemine girerken soyulma azaltılabilir buna bağlı olarak da kapamanın çekme mukavemeti gibi diğer mekanik özellikleri iyileşebilir.

Sıvı soyulma önleyici katkı maddelerinin kullanımının, karışım asfalt performansının yorulmaya karşı direnç sağlandığı görülmüştür. Buradaki ana sebebin katkıların bağlayıcı-agrega adezyonunu arttırdığı, nem hasarına karşı direnci arttırmanın yanı sıra doğal olarak yorulma direncini iyileştirdiği gözlemlenmiştir (Hamedi vd., 2019).

Asfalt kaplamalarda, yan yollardan araç tekerleklerine yapışarak taşınan, hafriyat kamyonlarından dökülen veya rüzgarla savrulan killerin yol yüzeyinde birikmesinin, su ile temas ettiğinde kaplamanın çekme mukavemeti ve su hasarı direncini düşürebileceği

değerlendirilmektedir. Bu nedenle, yol yüzeyine taşınan kil gibi maddelerin trafik etkisiyle birleşerek su / kil çözeltisi olarak kaplama-tekerlek ara yüzeyinde oluşan basınç etkisi ile kaplama içerisindeki boşlukları doldurmadan temizlenmesinin kaplama ömrü üzerinde etkili olabileceği düşünülmektedir.

Wetfix BE katkısının modifiye asfalt ve deformasyonlar üzerindeki etkilerini incelemek üzere çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmaların sonucunda karışımlara %0.2-%0.3 oranlarında Wetfix BE katkısının eklemesinin adezyon kuvvetinin ve Marshall stabilitesinin artmasına, yüksek deformasyon direncine sebep olan tekerlek izinde azalmalara neden olduğu görülmüştür (Podolsky vd., 2016).

Düşük sıcaklık çatlama deneyi su/kil çözeltisinin asfalt kaplamalarda oluşturduğu hasarı incelemede ve verilerin saptanmasında kullanılan etkili bir yöntemdir. Kaplama içerisinde bulunan çözeltilerin düşük sıcaklık etkisiyle bulunduğu boşluklarda genişlediği ve adezyon kuvvetini çok daha fazla etkilediği görülmüştür. Kaplama içerisinde bulunan killer de donma-çözünme döngülerinde genişler ve agrega-bağlayıcı arasındaki bağı koparark hasara sebep olur.

Düşük sıcaklık çatlak mekanizması, asfalt tabakalarında sıcaklık düştüğünde meydana gelen termal gerilmelerle doğrudan ilişkilidir. Düşük sıcaklık ile meydana gelen çekme gerilmeleri tabakanın çekme mukavemetini aştığında, kaplamada çatlamalar meydana gelir. Viskoelastik yapısı nedeniyle termal gerilmenin tahmini oldukça zordur. Sıcaklığın düşmesiyle asfalt karışım sertliği artar, bu da çekme gerilmelerinde artışa sebep olur (Pszczola vd., 2022).

Yapılan düşük sıcaklık çatlama testini sonuçlarının literatüre uygun olduğu, koşullama sürelerinin arttıkça kaplama bünyesine daha fazla kil nüfuz ettiği ve bu killerin donma-çözünme döngülerinde şişerek adezyonu azalttığı, karışımın içsel gerilmelerini arttırdığı düşünülmektedir. Wetfix BE katkılı karışımların kontrol karışımlara oranla adezyon bağını destekleyerek hasara karşı daha fazla direnç sağladığı, koşullandırma süresi arttıkça kontrol karışım ile olan çekme dayanımı farkının artma eğiliminde olduğu, dolayısıyla katkının etkinliğinin ağırlaştırılmış koşullandırmalarda daha iyi gözlemlenebileceği değerlendirilmiştir.

8. SONUÇLAR

Bu çalışmada killerin asfalt kaplamaların su hasarı ve düşük sıcaklık çatlaması üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Kontrol karışımlar ve Wetfix BE modifiye karışımlar üretilmiş ve dolaylı çekme mukavemeti deneyi ile test edilmiştir. Saf su ve bentonit kili/saf su çözeltisi ile koşullandırma prosedürleri uygulanmıştır. Asfalt karışım örneklerinin çözelti içerisinde bekletilme süreleri değiştirilerek farklı prosedürler geliştirilmiştir. Çalışma sonucunda aşağıdaki çıkarımlara ulaşılmıştır.

Saf su / kil çözeltisinin asfalt karışımların su hasarı direncini düşürdüğü görülmüştür. Modifiye Lottman koşullandırması aynı değişkenlerle uygulanan saf su/bentonit kili koşullandırmasına göre daha yüksek çekme mukavemeti oranları göstermiştir. Çözelti içerisinde bekletme süreleri artıkça hasar seviyesinin de arttığı görülmüştür. Ancak bekletme sürelerinin artması ile hasar seviyesinin artış hızında azalma olmuştur. Bu durumun asfalt karışımın belirli bir süre sonra doygunluğa ulaştıktan sonra daha fazla kilin karışımın içerisine giremediği ve kilin şişme sürecinin yüksek oranda tamamlandığı şeklinde yorumlanmıştır.

Wetfix BE modifiye karışımların çekme mukavemeti oranları bütün koşullandırma sistemlerinde kontrol karışımlara göre daha yüksek çıkmıştır. Kullanılan katkı maddesi kil çözeltisi koşullarında da etkisini ortaya koymuştur.

Hem kontrol karışımların hem de modifiye karışımların düşük sıcaklık çekme mukavemetlerinin kil/su çözeltisi koşullandırmasından olumsuz etkilendiği görülmüştür. Koşullandırma ile birlikte Wetfix BE modifiye karışımların çekme dayanımları %16.19, kontrol karışımlarınki ise %17.9 azalmıştır.

Deney sonuçlarına göre kil çözeltisinin asfalt kaplamanın düşük sıcaklık çatlama direncini ve su hasarı direncini düşürdüğü anlaşılmıştır. Kaplama ömrünün daha uzun tutulabilmesi için yol yüzeyinde biriken killerin kaplamaya zarar vermeden temizlenmesinin yararlı olabileceği değerlendirilmektedir.

Bu çalışmada saflık özelliğinden dolayı bentonit kili kullanılmıştır. Farklı killerin etkilerinin de araştırılması önemli görülmektedir. Karışımların boşluk oranları değiştirilerek, kaplamanın servise açıldığı ilk anki koşullarda, en kötü boşluk kavramı ile konunun araştırılabilir.

9. KAYNAKÇA

Abo-Quadis, M., 2007. The Effects of Damage Evaluation Techniques on the Prediction of Environmental Damage in Asphalt Mixtures, Building and Environment, 4, 288-296.

Ağar, E., 1976. Bitümlü Yol Kaplamalarının Sıkıştırılması, İstanbul Teknik Üniversitesi Matbaası, İstanbul.

Ağar, E. ve Umar, F., 1985. Yol Üstyapısı, İstanbul Teknik Üniversitesi Matbaası, İstanbul.

Akbulut, A., 1996. Bentonit, MTA Eğitim Serisi-32, 78s, Ankara.

Aksoy, A., İskender, E., Oruç, Ş. ve Sözen, H., 2012. SBS Polimer ve Su Hasarı Önleyici Katkıların Asfalt Kaplamalarda Performans Karşılaştırması. İMO Teknik Dergi, 5967-5986, Yazı 380.

Aksoy, A., Samlıoğlu, K., Tayfur S. ve Özen, H., Effects of Various Additives on the Moisture Damage Sensitivity of Asphalt Mixtures, Construction and Buildings Materials, May, 2004.

Arslan, İ., 2012. Farklı Çevre Şartlarına Maruz Kalan Asfalt Betonunun Mühendislik Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Düzce Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Düzce.

Asphalt Institue., 1996. Mix Design Methods for Asphalt Concrete and Other Hot Mixes Types, Asphalt Instutie, Manuel Series No.2 (MS-2) Kentucky.

ASTM D 1559, 1998. American Society for Testing and Materials, Test Method for Resistance of Plastic Flow of Bituminous Mixtures Using Marshall Apparatus, USA.

Avcı, E., 2009. Sıcak İklimli Bölgelerde Kullanılan Asfalt Betonu Karışım Değişkenlerinin Kaplama Tabakası Performansına Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.

Ayçiçek, S., 2011. Esnek Üstyapılarda İmalat ve Uygulama Kusurları, Yüksek Lisans Tezi, Bahçeşehir Üniversitesi, İstanbul.

Ayyıldız, D., 2018. Nanokil, SBS ve Sönmüş Kireç Katkılı Asfalt Kaplamaların Karışım Performanslarının Araştırılması, Doktora Tezi, K.T.Ü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.

Bağdatlı, M. ve Yıldırım, M., 2017. Karayolu Üstyapılarındaki Bozulmaların Bakım Maliyetine Etkisi, Ömer Halisdemir Üniversitesi, Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi Cilt 6(1) 102-111, Niğde.

Bochner de Araujo, S., Reyssat, M., Monteux, C. ve Fuller, G., 2019. Ablation of Water Drops Suspendedn in Asphaltene/Heptol Solutions Due To Spontaneous Emulsification, Science Advances, Research Article: eaax8227

Chen, J., 2012. Rheological Examinition of Aging in Bitümen with Inorganic Nanoparticles ang Organic Expanded Vermiculite, Colloge of Civil Rngineering, Hunan University, Changsha 410082, PR, China.

Cross, S. ve A., Brown, E. R., 1993. Effect of Segregation on Performance of Hot-Mix Asphalt Transportation Research Record, 1417, 117-126.

Çakıroğlu, M., 1993. Doğu Karadeniz Bölgesine Uygun Trafik Tahmin Modelinin Araştırılması, Doktora Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.

Çetin, A., 1997. Endüstriyel Atıkların Asfalt Beton Kaplama Karışımında Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Fakültesi, Eskişehir.

Doğan, O., 2006. Esnek Üstyapılı Devlet Yollarındaki Bozulmaların Bulanık Mantık ile Tahmini, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Fromm, H.J., 1974. Mechanism of Asphalt Stripping From Aggregate Surfaces. AAPT, 43, 191-223.

Garnier S.M. ve Brown, E.R., 2000. Segregation in Hot-Mix Asphalt Pavements, National Cooperative Highway Research Program, NCHRP Report 441.

Gransberg, D.D. ve James, D.M.B., 2005. Chip Seat Best Practices, Transportation Research Board, 26-32.

Görkem, C. ve Şengöz, B., 2009. Predicting Stripping and Mouisture Induced Damage of Asphalt Concrete Prepared With Polymer Modified Bitümen and Hydrated Lime Construction and Building Materials, 23, 2227-2236.

Güzel, G., 2001. Seminer Çalışması, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Hamedi, G.H., Sahraei, A. ve Esmaeeli M.R., 2021. Investigate the Effect of Using Polymeric Anti-Stripping Additives on Moisture Damage of Hot Mix Asphalt, European Journal of Environmental and Civil Engineering, 25:1, 90-103.

Hamedi, G.H., Sakanlou, F. ve Sohrabi, M., 2019. Laboratory Investigation of Using Liquid Anti-Stripping Additives On the Performance Characteristics of Asphalt Mixtures, International Journal of Pavement Research and Technology, Department of Civil Engineering, University of Guilan, P.O. Box 3756, Rasht, Iran.

Hanlı, E., 2009. Esnek Yol Üstyapısında Oluşan Bozulmaların Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Fakültesi, İstanbul.

Harol, R., Paul, P. E. ve Chris, P. E., 1995. Pavement Distress, Tecnical Assistance Report, LTRC.

Hicks, R.G., 1991. Accelerated Load Tests for Aphalt-Aggregate Mixtures and Their Role in AAMAS, Association of Asphalt Paving Technologists (AAPT), ISSN: 0270-2932, Seattle.

IDTM, 2002. Iowa Department of Transportation Office of Materials (IDTM), Methods of Design of Hot-Mix Asphalt.

Ilıcalı M., 2001. Asfalt Kaplamalar, İstanbul Asfalt Sanayi ve Ticaret A.Ş Yayınları, Yayın No:1, İstanbul.

Ilıcalı, M., Tayfur S., Özen, H., Sözmez, İ. ve Eren K., 2001. Asfalt ve Uygulamaları, Yıldız Teknik Üniversitesi Yayın Merkezi Başkanlığı, İsfalt, Seçil Ofset 1-3, İstanbul.

İskender, E., 2004. Asfalt Kaplamalarda Kalıcı Deformasyon (Tekerlek İzi) Probleminin Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.

İskender, E., 2008. Koşullandırma Sistemlerinin Geleneksel ve Modifiye Asfalt Karışımlar Üzerindeki Etkilerinin Araştırılması, Doktora Tezi, K.T.Ü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.

İskender, E., 2019. Asfalt Kaplama Kalınlığının Karışım Homojenitesi Üzerindeki Etkisi, Araştırma Makalesi, 10.17714/gumusfenbil.528321, Trabzon.

İskender, E., Sayın, A., Aksoy. ve İskender, C., 2020. Evaluation of the Effect of Glass Granule Size on Water Damage Performance of Asphalt Mixtures, Teknik Detgi, 31(6), 10399-10411, doı:10.18400/tekderg.504698.

İTÜ, 2004. Ulaştırma Ana Plaı Stratejisi II. Ara Rapor/T.C. Ulaştırma Bakanlığı, Uygar Merkezi, İstanbul.

İyinam, Ş., 1997. Karayollarında Üstyapı Bakım Çalışmalarını Planlama Metodolijisi, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Johnson, G.D., 2000. Evaluation of Aggregate Section at Mn/Road, Final Report, Minnesota Transportation Institute, Minnesota.

Kandal, P.S., Lubold, C.W. ve Roberts, F.L., 1989. Water Damage to Asphalt Overlays: Case Histories, AAPT, 58, 40-76.

Karakoç, M.N., 2006. Çanakkale İli Karayollarında Meydana Gelen Bozulmaların Araştırılması ve Profilometre Cihazının Etüdü, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

KGM, 2000. Karayolları Genel Müdürlüğü, Yol Bozulmalarının Sınıflandırılması Nedenleri ve Bu Konuda Alınabilecek Önlemler, Karayolları Genel Müdürlüğü Teknik Araştırma Daire Başkanlığı, Ankara.

KGM, 2013. Karayolları Genel Müdürlüğü, Karayolları Esnek Üstyapılar Projelendirme Rehberi, Karayolları Genel Müdürlüğü Teknik Araştırma Dairesi Başkanlığı, Ankara.

Kıgguende, B.M. ve Robert, F.L., 1998. Stripping in HMA Mixtures: State of The Art and Critical Rewiev of Test Methods, National Center for Asphalt Technology, NCAT Report, No.88-2.

Kök, B.V., 2007. Bitümlü Sıcak Karışımların Üretiminde Yeni Bir Karıştırma Yönteminin Araştırılması, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.

Kurtis, K., 2003. Asphalt and Asphalt Concrete, School of Civil Engineering, Georgia.

Lavin, P., 2002. The Effects of Dusty Aggregates Towatds Stripping in Asphalt Pavements, The Asphalt Institue Spring Meeting, Texas.

Liang, R.Y., Rabab'ah, S. ve Khasawneh, M., 2008. Predicting Moisture-Dependent Resilient Modulus of Cohesive Soils Using Soil Suction Concept, Journal of Transportation Engineering/Volume 134 Issue 1.

Lopez-Montilla, J.C., 2003. Spontaneous Emulsification: Mechanisms, Physcochemical, Aspects and Applications, University of Florida.

Majidzadeh, K. ve Brovold, F.N., 1968. Effect of Water on Bitümen-Aggregate Mixtures, State of The Art, Highway Research Board Special Report, No 98, Washington, D.C.

Malayoğlu, U. ve Akar, A., 1995. Killerin Sınıflandırılmasında ve Kullanım Alanlarının Saptanmasında Aranan Kriterlerin İrdelenmesi, Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İzmir.

Maupin, G.W., 1995. Effectiveness of Antistripping Additives in the Field, Virginia Transportation Research Council, Report No. VTRC 96-R-5, September 1995.

McBrain, J.W. ve Woo, T., 1936. Spontaneous Emulsification and Reactions Overshooting Equilibrium, Department of Chemistry, Stanford University, California.

Mercado, E.A., 2007. Influence of Fundamental Material Properties and Air Void Structure on Moisture Damage of Asphalt Mixes, Civil Engineering, A&M University, Texas.

Mitchell, J.K. ve Soga, K., 2005. Fundamantals o Soil Behavior Third Edition, John Wiley & Sons, 577s, New York.

Önal, M. ve Kahramangil, M., 1993. Bitümlü Karışımlar Laboratuvarı El Kitabı, Karayolları Genel Müdürlüğü Teknik Araştırma Dairesi Başkanlığı, Ankara.

Önem, Y., 2000. Sanayi Madenleri, Kozan Ofset, 386s, Ankara.

Özdemir, A. ve Özcan, E., 2005. Bentonitin Sondaj Mühendisliği Özellikleri, http://www.adilozdemir.com/dosyalar/1278920712_62.pdf Erişim Tarihi: 01.07.2013.

Podolsky, V.P., Long, N.V., Hao, N.K. ve Sy, N.D., 2016. The Study of Operating Capacity of Asphalt Concrete Modified With An Additive Wetfix BE, Scientific Herald of the Voronezh State Uniersity of Architecture and Civil Engineering, Construction and Architecture, ISSN: 2075-0811.

Pszczola, M., Rys, D. ve Jaczewski, M., 2022. Field Evaluation of High Modulus Asphalt Concrete Resistance to Low-Temperature Cracking, Materials, 15, 369, 2.

Sebaaly, P.E., Hajj, E.Y. ve Shretha, R., 2007. A Laboratory Evaluation on the Use of Recyled Asphalt Pavements in HMA Mixtures, Department of Civil&Environmental Engineering, University of Nevada, Reno, Nevada.

Seçginli, M., 2007. Karayolu Esnek Üstyapılarında Sönmüş Kireç Katkısının Düşük Sıcaklık Çatlama Direncine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Stuart, K.D., 1990. Moisture Damage in Asphalt Mixtures: A State os Art Report, Research Development and Technology, Turner-Fairbank Highway Research Center.

Tarrer, A.R. ve Wagh, V., 1991. The Effect of The Physical and Chemical Characterisrics of The Aggregate on Bonding, Strategic Highway Research Program National Research Council, Washington, D.C.

Taşdemir, Y. ve Ağar, E., 2005. Bitümlü Kaplamalarda Düşük Sıcaklık Çatlakların İncelenmesi, İTÜ Dergisi/d Mühendislik, Cilt:4, Sayı 1, 59-70.

Taylor, M.A. ve Khosla, N.P., 1983. Stripping of Asphalt Pavements: State of Art, Transportation Research Record 911, TRB, National Research Council, Washington (DC), 150-8.

TS 3720, 2010. Teknik Spesifikasyon, Bitümlü Karışımlar-Asfalt Betonu-Karışım Tasarımı Hesap Esasları-Marshall Yöntemi, TSE.

Tunç, A., 2004. Esnek Kaplama Malzemeleri El Kitabı, Asil Yayın Dağıtım, Ankara, 352.

Uluçaylı, M. ve Yavuz, A., 2004. Asfalt El Kitabı, İsfalt Yayınları, İstanbul.

Uzer, A. ve Olgun, M., 2006. Şişen Zeminler Üzerinde İki Farklı Şişme Deney Yöntemi Sonuçlarının Değerlendirilmesi, Selçuk Teknik Dergisi, Cilt 5, Sayı:3, Konya.

Yumrutaş, H.İ., 2009. Karayollarında Sıkıştırma, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Yıldız, K. ve Özgan, E., 2003. Asfalt Betnunda Bitüm Yüzdesinin Stabiliteye Etkisinin Araştırılması, Araştırma Mkalaesi, Dumlupınar Üniversitesi Fenbilimleri Enstitüsü Dergisi, Cilt, Sayı, 005, 229.

URL-1:https://www.bisantiye.com/asfalt-betonu-kaplamalarda-meydana-gelen-bozulmalar-nedenleri-ve-iyilestirilmeleri/. 11 Kasım 2021.

URL-2:https://insaatt.com/karayolu-nedir-karayolu-altyapisi-ve-ustyapisi/#:~:text=Karayolu%20altyap%C4%B1s%C4%B1%2C%20yolun%2C%20toprak%20i%C5%9Fleri,s%C4%B1n%C4%B1r%C4%B1%20aras%C4%B1ndaki%20b%C3%B6lgeye%20altyap%C4%B1%20denir. 7 Ocak 2022

URL-3:https://insaatt.com/karayolu-nedir-karayolu-altyapisi-ve-ustyapisi/. 13 Kasım 2021.

URL-4:https://www.biymed.com/forum/mesleki-teknik-terimler-sozlugu/insaat-terimleri/rolled-asfalt.html. 23 Aralık 2021

URL-5:https://docplayer.biz.tr/48297242-Bolum-6-asfalt-betonu-kaplamalarda-meydanagelen-bozulmalar-nedenleri-ve-iyilestirilmeleri-6-1-giris-her-cesit-kaplamada-trafik-etkisiiklim.html. 4 Ocak 2021.

URL-6: https://www.google.com/search?q=asfalt+kaplamalarda+deformasyon&sxsrf=ALeKk. 7 Ocak 2022

URL-7: http://www.giritliasfalt.com/haberler/8-soyulma-ve-baslica-nedenleri.html. 4 Ocak 2021.

URL-8: file:///C:/Users/Halime%20Solak/Downloads/INS%20362%20YOL%20%C3%9CSTYAPISI_(7_Asfalt%20Betonu%20ve%20MalzemelerBit%C3%BCml%C3%BC%20Ba%C4%9Flay%C4%B1c%C4%B1lar.pdf).pdf. 5 Ocak 2021.

URL-9:https://www.researchgate.net/figure/Schematic-representation-of-proposed-mechanism-for-spontaneous-emulsification-oil_fig6_50833989. 6 Ocak 2021.

URL-10:https://www.alamy.com/muddy-tyre-tracks-on-cracked-road-surface-from-farm-vehicles-france-image159678660.html. 3 Şubat 2022.

URL-11:http://fospak.com/files/pbc/Wetfix%20BE.pdf. 27 Ocak 2022.

ÖZGEÇMİŞ

Halime SOLAK, Eğitimine Aksaray'da başlayan SOLAK, ilköğretimini Sultanhanı Yunus Emre İlköğretim Okulu'nda tamamladı. Ortaöğretim ve Lise eğitimine, Yunus Emre Ortaokulu ve Yunus Emre Anadolu Lisesi'nde devam etti. 2018 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Of Teknoloji Fakültesinde İnşaat Mühendisliği Bölümü'nden mezun oldu.

Halen Karadeniz Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Ulaştırma Anabilim Dalı'nda yüksek lisans öğrencisi olan SOLAK, China CAMC Engineering Co. LTD. şirketinde Kalite Mühendisi olarak çalışma hayatına devam etmektedir.