



**SİLİNDİRLE SIKIŞTIRILMIŞ BETON (SSB) YOL KAPLAMA
PERFORMANSININ TABAN ZEMİNİ AÇISINDAN
DEĞERLENDİRİLMESİ**

Murat Can YILMAZ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

OCAK 2024

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Murat Can YILMAZ

02/01/2024

SİLİNDİRLE SIKIŞTIRILMIŞ BETON (SSB) YOL KAPLAMA PERFORMANSININ TABAN ZEMİNİ AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Murat Can YILMAZ

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Ocak 2024

ÖZET

Silindirle sıkıştırılmış beton (SSB) yol, agreganın uygun oranda su ve çimentoyla beton santralinde karıştırılmasıyla üretilen, geleneksel sericiler veya yüksek yoğunluklu sericilerle serilip, gerekli sıkışmanın sağlanmasıyla oluşturulan bir yol üstyapısı tipidir. SSB yol, özellikle kırsal yollar, şehir içi yollar, endüstriyel tesisler ve fabrika yollarında yoğun olarak tercih edilen bir yol yapım teknolojisidir. Yapılan SSB yollar, trafik yoğunluğu, artan dingil yükleri, aşırı yükleme, yanlış üstyapı seçimi ve tasarımı, çevre ve iklimsel faktörler, yapım hataları gibi sebeplerle planlanan hizmet ömründen önce bozulabilmektedir. SSB yollarda oluşan bozulmaların nedenleri arasında üstyapı taban zemini önemli bir yer almaktadır. Servis kabiliyetini kaybeden yolların yeniden inşa edilmesi ya da bakım onarım uygulanması gerekmektedir. Bilindiği üzere yol yapım maliyetleri oldukça yüksektir. Bu nedenle bozulan yolların uygun zaman ve metotla bakım onarım önlemlerinin alınması yol üstyapısının planlanan servis ömrü boyunca hizmet sağlaması ve mali kaynakların etkin kullanımı açısından önem arz etmektedir. Tez çalışması kapsamında, SSB yol kaplama performansının taban zemini açısından değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda, Kocaeli İli, Kartepe İlçesinde bulunan Eşmeahmediye-Avluburun SSB yolunda performans değerlendirmesine yönelik vaka çalışması yürütülmüştür. Çalışmada, üstyapı durum indeksi (PCI) değerleri ASTM D6433-23 standardına göre hesaplanmıştır. Söz konusu yolun PCI değerlerinin, 34,9 ile 73,5 arasında değiştiği ve ortalama 53,8 değerinde olduğu belirlenmiştir. Eşmeahmediye-Avluburun SSB yolunda ortalama PCI değerleri ve ortalama CBR değerleri arasında doğrusal bir regresyon ilişkisi olduğu ve belirleme katsayısı yani R-kare (R^2) değerinin 0,846 olduğu tespit edilmiştir.

Bilim Kodu : 91105

Anahtar Kelimeler : Silindirle Sıkıştırılmış Beton, Üstyapı Performansı, Taban Zemini, Beton Kaplama Bozulmaları, Kaliforniya Taşıma Oranı

Sayfa Adedi : 160

Danışman : Prof. Dr. Yüksel YILMAZ

İkinci Danışman : Prof. Dr. İsmail Özgür YAMAN

EVALUATION OF THE PERFORMANCE OF ROLLER COMPACTED CONCRETE
(RCC) PAVEMENT IN TERMS OF SUBGRADE

(M. Sc. Thesis)

Murat Can YILMAZ

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

January 2024

ABSTRACT

Roller Compacted Concrete (RCC) is a pavement type which is produced by mixing aggregate with an appropriate amount of water and cement at a ready-mix concrete plant, then laid and compacted using traditional pavers or high-density pavers to achieve the required compaction ratio. RCC pavements are a preferred road construction technology, especially for rural roads, urban roads, and on-site roads of industrial facilities and factories. Constructed RCC roads can deteriorate before their intended service life due to reasons such as traffic density, increasing axle loads, excessive loading beyond design, improper type selection and design, environmental and climatic factors, and construction errors. The subgrade conditions of the pavement play a significant role among the causes of deformations in RCC roads. Roads that lose their service capability need to be reconstructed or undergo maintenance and repair. As known, pavement construction costs are considerably high. Therefore, timely and appropriate maintenance and repair measurements for deteriorated pavements are crucial for ensuring the planned service life of pavement and the effective utilization of resources. Within the scope of the study, the aim of the study is to evaluate the performance of the RCC pavements in terms of the subgrade conditions. For this purpose, a case study was conducted for the performance evaluation of the RCC road constructed in Esmeahmediye-Avluburun region of Kartepe District, Kocaeli Province, where the California Bearing Ratio (CBR) values of the subgrade are known. In the performance evaluation, the Pavement Condition Index (PCI) values of the Esmeahmediye-Avluburun RCC road were calculated according to the ASTM D6433-23 standard. It was determined that the PCI values of the mentioned road range between 34.9 and 73.5, with an average value of 53.8. A linear regression and coefficient of determination which is R squared (R²) value 0.846 was found between the average PCI values and the average CBR values on the Esmeahmediye-Avluburun RCC road.

Science Code : 91105

Key Words : Roller Compacted Concrete, Pavement Performance, Subgrade,
Concrete Pavement Deformations, California Bearing Ratio

Page Number : 160

Supervisor : Prof. Dr. Yüksel YILMAZ

Co-Supervisor : Prof. Dr. İsmail Özgür YAMAN

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimime başladığım günden bugüne bana mesleki anlamda büyük katkıları olan ve desteğiyle her daim yanımda olan saygıdeğer danışman hocam Sayın Prof. Dr. Yüksel YILMAZ'a, yol göstericiliği, engin bilgi ve tecrübelerinden tez çalışmam ve meslek hayatımın başından bu yana mesleki gelişimimde büyük emeği olan kıymetli danışman hocam Sayın Prof. Dr. İsmail Özgür YAMAN'a, bilgi birikimi ve tecrübesini paylaşarak meslek ve özel hayatımda gelişmemde çok kıymetli katkıları olan Sayın Dr. Ahmet Gürkan GÜNGÖR'e, çalışmaya başladığım ilk günden beri hayatıma dokunan, iş ve özel alanımda her daim yanımda olan meslektaşım, iş arkadaşım, yoldaşım İnş. Yük. Müh. Mustafa Barışcan AKBELN'e, yüksek lisans eğitimim süresince beni hiç yalnız bırakmayarak göstermiş olduğu fedakarlık, destek ve sabrından dolayı motivasyon kaynağım değerli eşim Ceren YILMAZ'a, Tez kapsamında emeğini esirgemeyen değerli arkadaşım Gizem BUZACI'ya, Tez çalışmam boyunca desteğini esirgemeyen TÜRKCİMENTO kurumuna,

Son olarak hayatımın her anında bana destek olan, varlıklarıyla sonsuz güven ve mutluluk duyduğum, şükür kaynağım babam Bekir YILMAZ, annem Süheyla YILMAZ ve kardeşim Burak Can YILMAZ'a, sonsuz minnettarlığımı ve en içten teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xi
RESİMLERİN LİSTESİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xvi
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ÇALIŞMALARI	3
2.1. Beton Yollar	3
2.1.1. Derzli donatısız beton yol.....	5
2.1.2. Derzli donatılı beton yol	5
2.1.3. Sürekli donatılı beton yol	5
2.1.4. Silindirle sıkıştırılmış beton (SSB) yol.....	6
2.2. Türkiye’de Beton Yollar	7
2.3. Beton Yol Bozulmaları	10
2.4. Yol Üstyapı Performans Değerlendirmesi	16
2.4.1. Beton yol üstyapı performans değerlendirmeleri	18
2.4.2. Asfalt yol üstyapı performans değerlendirmeleri	20
2.5. Beton Yollarda Bakım Onarım	21
3. SSB YOL BOZULMALARI VE BAKIM ONARIM YÖNTEMLERİ .	25
3.1. SSB Yol Üstyapı Bozulmaları	25
3.1.1. Yüzeysel bozulmalar	25

	Sayfa
3.1.2. Çatlaklar.....	31
3.1.3. Yüzeysel çatlaklar.....	37
3.1.4. Derz bozulmaları	39
3.1.5. Şerit ve kenar bozulmaları	43
3.1.6. Diğer bozulmalar	44
3.2. SSB Yol Üstyapı Bakım Onarım Yöntemleri	50
3.2.1. Bakım onarım stratejisinin oluşturulması.....	50
3.2.2. Bakım yöntemleri	52
3.2.3. Onarım yöntemleri.....	63
4. SSB ÜSTYAPI PERFORMANS DEĞERLENDİRİLMESİ.....	67
4.1. Üstyapı Performansını Etkileyen Faktörler.....	67
4.1.1. Üstyapı taban zemini ilişkisi.....	69
4.1.2. Üstyapı taban zemini su ilişkisi	70
4.1.3. İklimsel parametreler	74
4.2. SSB Yol Üstyapıları İçin Üstyapı Durum İndeksi (PCI)	79
5. SSB ÜSTYAPI PERFORMANS DEĞERLENDİRMESİ VAKA ÇALIŞMASI	81
5.1. Eşmeahmediye-Avluburun SSB Yolu Özellikleri	81
5.1.1. Eşmeahmediye-Avluburun Yolu SSB karışım bileşenleri	81
5.1.2. Yol geometrik özellikleri ve mevcut durumu.....	81
5.1.3. Eşmeahmediye-Avluburun iklim yapısı	82
5.2. Yol üstyapı Durum İndeksi (PCI) Değerlerinin Hesaplanması.....	84
5.2.1. Üstyapının örnek alanlara bölünmesi	88
5.2.2. Örneklem aralığının belirlenmesi	89

	Sayfa
5.2.3. Bozulma yoğunluklarının hesaplanması.....	90
5.2.4. PCI değerin hesaplanması	93
5.3. PCI ve CBR% Değerlerinin İlişkisi	100
5.4. Eşmeahmediye-Avluburun SSB Yolu Bozulmalar	101
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	105
KAYNAKLAR	107
EKLER.....	115
ÖZGEÇMİŞ	160

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Köy yollarına ilişkin resmi istatistikler	8
Çizelge 2.2. 20 yıl sonunda performans değerleri	16
Çizelge 2.3. Bogasari beton yolu PCI değerleri	20
Çizelge 3.1. Çatlak onarımı şekil faktörleri	54
Çizelge 3.2. Elmas taşılama doku boyutları	59
Çizelge 4.1. SSB yol üstyapısı bozulma tipleri ve etken faktörler	68
Çizelge 4.2. PCI durum ölççeği	79
Çizelge 5.1. Kocaeli ili iklimsel parametreler	83
Çizelge 5.2. Otoriteler tarafından kabul edilen örnekleme sayıları	89
Çizelge 5.3. SSB üstyapı bozulma tipleri ve özellikleri	91
Çizelge 5.4. SSB üstyapı bozulma tipleri ve özellikleri	95
Çizelge 5.5. Kesim 11 toplam sonuç değerleri (TDV)	98
Çizelge 5.6. Kesim 11 doğrulanmış sonuç değerleri (CDV)	99
Çizelge 5.7. Eşmeahmediye-Avluburun SSB yolu CBR% ve PCI değerleri	100
Çizelge 5.8. Kritik kesimlerde oluşan bozulmalar ve şiddet seviyeleri	103

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Türkiye beton yol haritası	9
Şekil 2.2. SSB kaplama yıllık çatlak gelişimi	11
Şekil 2.3. Zemin sınıflarının tasarım kalınlıklarına etkisi	15
Şekil 2.4. Beton yollar düzgünsüzlük ölçümleri	19
Şekil 2.5. Kaplama durumu ve bakım onarım maliyet ilişkisi	23
Şekil 3.1. Kıl topağı oyukları	27
Şekil 3.2. Agreganın sökülmesi	28
Şekil 3.3. Köşe çatlağı	32
Şekil 3.4. Dayanıklılık çatlağı	34
Şekil 3.5. Doğrusal çatlak	35
Şekil 3.6. Derz köşe parçalanması	40
Şekil 3.7. Derz boyunca parçalanma	42
Şekil 3.8. Plak kenar sökülmesi	44
Şekil 3.9. Düşük şiddetli faylanma	49
Şekil 3.10. Bakım ve onarım zamanlaması maliyet etkisi	51
Şekil 3.11. Çatlak kanalı işlevi	54
Şekil 3.12. Şekil faktörü parametreleri	55
Şekil 3.13. Yama alanı ve yüzeyi	57
Şekil 3.14. Tipik elmas taşıma dokusu	59
Şekil 3.15. Mikro yüzey kaplama serim şeması	60
Şekil 3.16. GDA üretim süreci	65
Şekil 4.1. CBR ve su muhtevası ilişkisi	72
Şekil 4.2. CBR su ilişkisi	72

Şekil	Sayfa
Şekil 4.3. ABD yol üstyapı performansı için iklim bölgeleri	74
Şekil 4.4. Beton plak sıcaklık değişimi	75
Şekil 4.5. Gece gündüz beton plak davranışı.....	76
Şekil 4.6. İmalat saati yüzey sıcaklığı ilişkisi Harrington ve diğerleri,2018'den düzenlenmiştir	76
Şekil 4.7. Zemin sınıfı don hassasiyet ilişkisi	78
Şekil 5.1. Eşmeahmediye – Avluburun yolu plan görünümü	81
Şekil 5.2. Eşmeahmediye-Avluburun SSB yolu tip enkesiti	82
Şekil 5.3. Kocaeli ili ortalama aylık don dağılımı	84
Şekil 5.4. Eşmeahmediye-Avluburun SSB yolu değerlendirme kesimleri.....	84
Şekil 5.5. PCI hesaplama prosedürü akış diyagramı ($q_2 \leq 1$ durumu)	86
Şekil 5.6. PCI hesaplama prosedürü akış diyagramı (devam, $q_2 > 1$ durumu).....	87
Şekil 5.7. PCI hesaplama prosedürü	88
Şekil 5.8. Azami incelenecek örnek alan sayıları	88
Şekil 5.9. Kesimlerin yirmi eş parçaya ayrılması	89
Şekil 5.10. Bozulma yoğunluğu-sonuç değer (DV) ilişkileri	92
Şekil 5.11. TDV - CDV ilişkisi	93
Şekil 5.12. Doğal çatlak oluşumu sonuç değer (DV) ilişkisi	95
Şekil 5.13. Pompaj etkisi sonuç değer (DV) ilişkisi	96
Şekil 5.14. Agrega cilalanması sonuç değer (DV) ilişkisi	96
Şekil 5.15. TDV - CDV ilişkisi $q=1$ için	98
Şekil 5.16. TDV - CDV ilişkisi $q=2$ için	98
Şekil 5.17. TDV - CDV ilişkisi $q=3$ için	99
Şekil 5.18. CBR%-PCI ilişkisi.....	101
Şekil 5.19. Yol kesimleri ve üstyapı durumlarının ilişkisi.....	102

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 2.1. Iowa İlk pilot model kayar kalıplı serici	4
Resim 2.2. Derzli donatısız beton yol	5
Resim 2.3. Sürekli donatılı beton yol donatı yerleşimi	6
Resim 2.4. Silindirle sıkıştırılmış beton yol uygulama örneği	6
Resim 2.5. Bağırsız takviye beton yol üstyapı kaplaması	10
Resim 2.6. Yüzeysel bozulmalar	13
Resim 3.1. Agrega cıllanması örneği: Kars, Eylül 2021	26
Resim 3.2. Kil topağı ve oyuğu: Çankırı, Kasım 2020	26
Resim 3.3. Agrega sökülmesi örnekleri: a) Karaman, Temmuz 2022; b) Çanakkale, Haziran 2022; c) Yozgat, Aralık 2021; d) Kars, Eylül 2021	28
Resim 3.4. Bölgesel segregasyon örneği: Yozgat, Aralık 2021	29
Resim 3.5. Bölgesel segregasyon örneği: Yozgat, Aralık 2021	29
Resim 3.6. Bölgesel segregasyon örneği: Bursa, Temmuz 2021	30
Resim 3.7. Çizgisel segregasyon örneği: Ankara, Mayıs 2022	30
Resim 3.8. Sıkıştırma kaynaklı yırtılma	30
Resim 3.9. Köşe çatlağı örnekleri: a) Kocaeli, Eylül 2022; b) Bilecik, Ocak 2023	32
Resim 3.10. Dayanıklılık çatlağı	33
Resim 3.11. Doğrusal çatlak oluşumu örnekleri: a) Ankara, Ağustos 2020; b) Bilecik, Şubat 2021; c) Kars, Ekim 2023; d) Kars, Ekim 2023	35
Resim 3.12. Plak bölünmesi örnekleri: Ankara, Ağustos 2022	36
Resim 3.13. Düşük ve orta şiddetli plak bölünmesi örnekleri: a) Van, Ekim 2021; b) Ankara, Ağustos 2022	37
Resim 3.14. Yüksek şiddetli plak bölünmesi: Ankara, Ağustos 2022	37
Resim 3.15. Harita şeklinde çatlama: Çanakkale, Haziran 2022	38

Resim	Sayfa
Resim 3.16. Büzölme çatlağı örnekleri: a) Burdur, Nisan 2022; b) Ankara, Ağustos 2021.....	39
Resim 3.17. Derz köşe parçalanması örnekleri: a) Antalya, Ocak 2022; b) Çanakkale, Haziran 2022	40
Resim 3.18. Derz boyunca parçalanma örnekleri: a) Kırıkkale, Eylül 2021; b) Aksaray, Ocak 2022	41
Resim 3.19. İnşaat derzi parçalanması örnekleri: a) Ankara, Ağustos 2021; b) Aksaray, Ocak 2022	43
Resim 3.20. Şerit ve kenar kayması örnekleri: a) Kocaeli, Eylül 2022; b) Burdur, Nisan 2022	43
Resim 3.21. Plak kenar sökülmesi örnekleri: a) Sivas, Ekim 2022; b) Van, Ekim 2021 ..	44
Resim 3.22. Basınç patlaması örnekleri: Sakarya, Mayıs 2022.....	45
Resim 3.23. Yüksek şiddetli basınç patlaması örneği: Sakarya, Mayıs 2022.....	46
Resim 3.24. Düşük şiddetli yama bozulması örnekleri: Ankara, Ağustos 2022.....	46
Resim 3.25. Orta şiddetli yama bozulması örnekleri: a) Ankara, Mayıs 2022; b) Malatya, Haziran 2022	47
Resim 3.26. Yüksek şiddetli yama bozulması örnekleri: a) Ankara, Ağustos 2022; b) Kocaeli, Eylül 2022	47
Resim 3.27. Pompaj etkisi	48
Resim 3.28. Pompaj etkisi örneği: Kocaeli, Eylül 2022	48
Resim 3.29. Faylanma örnekleri: Burdur, Aralık 2021	49
Resim 3.30. Yüksek şiddetli faylanma örneği: Burdur, Aralık 2021.....	49
Resim 3.31. Çatlak şiddetinin belirlenmesi: Burdur, Aralık 2021	52
Resim 3.32. Çatlak kanallarının oluşturulması: Eskişehir, Ekim 2021	53
Resim 3.33. Çatlakların temizlenmesi: Eskişehir, Ekim 2021.....	53
Resim 3.34. Dolgu malzemesinin uygulanması: Eskişehir, Ekim 2021	53

Resim	Sayfa
Resim 3.35. Çimento esaslı malzemeyle kısmi derinlikte yama: a) Yama öncesi; b) Yama sonrası	56
Resim 3.36. Bitüm esaslı malzemeyle kısmi derinlikte yama: a) Yama öncesi; b) Yama sonrası	56
Resim 3.37. Ankraj uygulaması	62
Resim 3.38. Ankraj uygulaması	62
Resim 3.39. Yerinde geri dönüşüm	64
Resim 4.1. Çalışmayan drenaj sistemi ve bozulma oluşumu: Bilecik, Ocak 2023.....	71
Resim 5.1. Eşmeahmediye - Avluburun Yolu Oluşan Tipik Bozulmalar.....	85
Resim 5.2. Agrega cilalanması ve düşük şiddette doğrusal çatlak oluşumu	93
Resim 5.3. Pompaj etkisi	94
Resim 5.4. 2+000 - 2+200 doğrusal çatlak şiddet seviyesinin belirlenmesi.....	94
Resim 5.5. Eşmeahmediye-Avluburun SSB yolu doğrusal çatlak oluşumu.....	101
Resim 5.6. Eşmeahmediye-Avluburun SSB yolu faylanma ve agrega cilalanması	102

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler

Açıklamalar

A_d	Plak (ano) kombinasyon sayısı
A_s	Toplam plak (ano) sayısı
D	Derz derinliği
i	Örnekleme aralığı
k	Zemin yatak katsayısı
MR	Zemin esneklik modülü
m	Maksimum bozulma sayısı
N	Toplam alan sayısı
n	Örnek alan sayısı
q	Alt sınır değerden büyük sonuç değer sayısı
SM	Siltli kum
SW	İyi derecelenmiş kum
T_p	Hava sıcaklığı
t_1	Plak üst yüzey sıcaklığı
t_2	Plak ortası sıcaklığı
t_3	Plak alt yüzey sıcaklığı
W	Derz genişliği

Kısaltmalar

Açıklamalar

AASHTO	American Association of State Highway and Transportation OfficialsAmerica
ACPA	American Concrete Pavement Association
ASTM	American Society for Testing and Materials
AC	Asphalt Concrete
BSK	Bitümlü sıcak karışım
CBR	Kaliforniya Taşıma Oranı

Kısaltmalar**Açıklamalar**

CDV	Doğrulanmış Sonuç Değeri
CRCP	Sürekli Donatılı Beton Yol
DV	Sonuç Değer
EAC	Eşdeğer Yıllık Maliyetleri
EICM	Enhanced Integrated Climate Model
FAA	Federal Aviation Administration
GDA	Geri Dönüştürülmüş Agrega
IRI	Uluslararası Düzgünsüzlük İndeksi
JPCP	Derzli Donatısız Beton Yol
JRCP	Derzli Donatılı Beton Yol
KGM	Karayolları Genel Müdürlüğü
KIAE	Kentsel Isı Adası Etkisi
LTPP	Uzun Dönem Üstyapı Performansı
NSW	New South Wales
PCA	Portland Cement Association
PCI	Üstyapı Durum İndeksi
PIARC	World Road Association
SCDOT	South Carolina Department of Transportation
SN	Kayma Direnci
SSB	Silindirle Sıkıştırılmış Beton
ÜYS	Üstyapı Yönetim Sistemi
TDV	Toplam Sonuç Değeri

1. GİRİŞ

Yol üstyapısı trafik yüklerini taban zeminine aktaran kaplama ve temel tabakalarından oluşan katmanlı bir yapıdır. Yol üstyapıları, trafik yükleri altında yolun hizmet verebilme kabiliyeti ve ömrünü etkileyen en önemli unsurdur. Yol ilk yapım maliyetleri açısından üstyapı imalatının son derece önemli bir iş kalemi olduğu bilinmektedir.

Yol üstyapıları genel olarak rijit, esnek ve kompozit (yarı rijit) üstyapılar olarak üçe ayrılmaktadır. Rijit üstyapılarda bağlayıcı malzeme olarak çimento hamuru kullanılmaktayken, esnek üstyapılarda bağlayıcı malzeme olarak petrolün damıtılması ile elde edilen bitüm kullanılmaktadır. Genellikle, kullanılan bağlayıcı malzemeye bağlı olarak rijit yollara beton yollar, esnek yollara ise asfalt yollar adı verilmektedir. Kompozit üstyapılar ise esnek ve rijit üstyapı tabakalarının tasarım kriterleri doğrultusunda birlikte kullanılması ile oluşturulan üstyapı tipidir. Rijit yol üstyapıları yani beton yollar, derzli donatısız beton yollar, derzli donatılı beton yollar, sürekli donatılı beton yollar ve silindirle sıkıştırılmış beton yollar olmak üzere genel olarak dört ana grupta değerlendirilir.

Silindirle sıkıştırılmış beton (SSB) yol, agreganın uygun oranda su ve çimento ile beton santralinde karıştırılmasıyla üretilen, geleneksel veya yüksek yoğunluklu sericilerle (finişerlerle) serilip, silindirlerle sıkıştırılmasıyla oluşturulan bir yol üstyapısı tipidir.

Günümüzde SSB yollar ABD, İspanya, Belçika ve Almanya gibi pek çok ülkede yaygın olarak kullanılmaktadır. Ülkemizde ilk SSB uygulamaları daha çok baraj projelerinde kullanılmıştır. Türkiye'de ilk SSB yol uygulaması 2009 yılında Antalya'da Avrupa Birliği Ecolanes pilot projesi olarak yapılmıştır (Yaman ve Ceylan, 2013).

Yol üstyapı kaplamalarının birincil işlevi, proje ömrü boyunca güvenli ulaşımı sağlamaktır. İkinci bir işlevi ise kapıdan kapıya konforlu ulaşımı sağlamaktır. Gerek asfalt gerek beton yol üstyapıları, trafik yoğunluğu, aşırı yükleme, iklimsel faktörler, taban zeminindeki düzensizlikler, tasarım ve yapım hataları gibi çeşitli nedenlerle planlanan hizmet ömründen önce bozulabilmektedir. Bozulan yolların yeniden inşa edilmesi ya da bakım onarım uygulanması gerekmektedir. Yol ilk yapım maliyetlerinin son derece yüksek olduğu bilinmektedir. Bu nedenle, asfalt ve beton yol üstyapı kaplamalarında belirli periyotlarda üstyapı performans değerlendirmelerinin yapılması ve uygun aralıklarla bakım onarım

faaliyetleri gerçekleştirilip, optimum ekonomik koşullar altında yolun servis kabiliyetinin artırılması oldukça önemlidir. Yol üstyapılarında, doğru yöntem ve uygun zamanda bakım onarım uygulanmazsa, bozulmaların artması sonucunda çok daha maliyetli bakım onarım ihtiyaçları gerekebilir.

Bu tez çalışmasında, SSB üstyapılarda yaygın görünen bozulma tipleri ve özellikleri belirlenmeye çalışılmıştır. İlk olarak bozulmalar oluşum şekillerine göre sınıflandırılmıştır. Sonrasında SSB yollarda uygulanması muhtemel bakım onarım yöntemleri değerlendirilmiş ve bozulmaların şiddet seviyelerine yönelik bakım onarım yöntemleri araştırılmıştır. Çalışma kapsamında ayrıca, SSB yol üstyapı performansının taban zemini açısından değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Bu nedenle taban zemini Kaliforniya taşıma oranı (CBR) değerleri bilinen bir SSB yolda, yol üstyapı performans değerlendirmesine ilişkin vaka çalışması yürütülmüştür. SSB üstyapı performansı, üstyapı durum indeksleri kullanılarak, Standard Practice for Roads and Parking Lots Pavement Condition Index Surveys (ASTM D6433-23) standardı referans alınarak belirlenmiştir.

Vaka çalışmasında, SSB yol üstyapı performans indeksleriyle taban zemini özellikleri arasındaki ilişki belirlenmeye çalışılmıştır. SSB üstyapı performansını etkileyen yolun yarma-dolgu durumu, yatay ve düşey geometri, drenaj tedbirleri gibi diğer unsurlarda vaka çalışması kapsamında değerlendirilmiştir. Çalışmada, SSB yol durumuna ilişkin üstyapı durum indekslerine göre bakım onarım gereken kritik yol kesimleri ve ilgili kesimlerde oluşan bozulmalara uygulanması muhtemel bakım onarım yöntemleri belirlenmeye çalışılmıştır.

2. LİTERATÜR ÇALIŞMALARI

Tez çalışması kapsamında yapılmış olan literatür taraması, beş başlık altında derlenmiştir. Literatür taramasının ilk bölümünde beton yolların tarihsel gelişimi, beton yol ekipmanlarının gelişimi ve beton yol üstyapı tipleri incelenmiştir. İkinci bölümde Türkiye’de beton yolların mevcut durumu ve gelişimi, Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM) yol ağı ve yerel yönetimlerin yol ağı için değerlendirilmiştir. Üçüncü bölümde ise beton yollarda oluşan bozulmalarla bu bozulmalara etki eden faktörlere yönelik çalışmalar incelenmiştir. Literatürün dördüncü bölümünde yol üstyapıları yönetim sistemlerinde kullanılan performans değerlendirme ölçütleri araştırılmıştır. Ayrıca bu bölümde iki farklı başlık altında beton ve asfalt yollarda yapılan performans değerlendirme çalışmalarına yer verilmiştir.

Literatür taramasının son bölümü olan beşinci kısımda ise farklı bölgelerde yapılan beton yol bakım ve onarım çalışmalarıyla birlikte servis ömrü boyunca uygulanan bakım, onarım faaliyetlerinin maliyet etkilerine yönelik yapılan çalışmalar yer almaktadır.

2.1. Beton Yollar

Beton yolların gelişimi, betonun tarihsel gelişimi ile yakından ilişkilidir. Betonun ilk kullanımı Eski Roma Dönemi'ne kadar uzanır. Romalılar, yol inşalarında kullandıkları taşları birbirine bağlamak için M.Ö. I. yüzyılda puzolanik bağlayıcılar kullanmışlardır (THBB, 2003).

Dünyadaki ilk kayıtlı beton yolun İskoçya’da Inverness Bölgesinde 1865 yılında inşa edildiği bilinmektedir (FHWA, 2018). Amerika Birleşik Devletleri’nde ise ilk beton yol Ohio Eyaleti’nin Bellefontaine şehir merkezinde bulunan Court Avenue yoludur. Court Avenue yolu 1891 yılında çamur ve toza çözüm olması için inşa edilmiştir (ASCE, 2023). 130 yılı aşan ömrü ile Court Avenue yolu hala hizmet vermekte olup beton yolların uzun ömürlü olduğunu kanıtlayacak şekilde adeta bir açık hava müzesi gibi kullanılmaktadır.

20. yüzyılın başlarında beton yol kaplamaları için son derece önemli olan kayar kalıplı sericiler gelişmeye başlamıştır. 1940'larda, Iowa eyaletinde kayar kalıplı serici üretimine yönelik çalışmalar yapılmıştır. 1947 yılında Iowa Eyaleti Otoyol Komisyonu Malzeme ve

Test Mühendisi J.W. Johnson, sericinin yan kalıplarının beton prizini almadan önce çıkarılması halinde düzgün bir şekilde sıkıştırılması durumunda beton kaplamanın yerinde kalacağını ve eğim doğrultusunda akmadan stabilitesini koruyacağını düşünmüştür. Bu fikir test edilmek için 1948 yılında kayar kalıplı serici ilk pilot modeli geliştirilmiştir (Resim 2.1). Bu model yaklaşık 8 cm kalınlığında ve yaklaşık 45 cm genişliğinde bir beton plak şeridinin yapılmasında başarılı olarak kullanılmıştır. 1949 yılında 15 cm kalınlıkta, yaklaşık 1 metre genişliğinde beton plak serimi yapabilecek pilot serici modeli yapılarak test edilmiştir. Denemeler haricinde ilk ticari kayar kalıplı serici ise 1955 yılında kullanılmıştır (Smith, 1965).



Resim 2.1. Iowa İlk pilot model kayar kalıplı serici (Smith, 1965)

Yirminci yüzyılın başından sonra beton yolların inşa edilmesi için kayar kalıplı beton sericiler standart yöntem haline gelmiştir. Kayar kalıplı beton sericiler ile inşa edilen rijit kaplamalar yani beton yollar üç ana grupta değerlendirilebilir. Bunlar, derzli donatısız beton yollar, derzli donatılı beton yollar, sürekli donatılı beton yol kaplamalarıdır. Diğer bir rijit kaplama türü olan silindirle sıkıştırılmış beton yol kaplamalarının imalatında ise farklı serim teknikleri kullanılır.

SSB yollarda ise dünyada ilk uygulamanın ABD’de 1940 yılında yapıldığı bilinmektedir (Yaman ve Ceylan, 2013). Silindirle sıkıştırılmış beton yollarla birlikte rijit üstyapı kaplamaları dört ana grupta değerlendirilebilir. Beton yol kaplama tiplerinin tanımları ve teknik bilgileri bu bölümde verilmektedir.

2.1.1. Derzli donatısız beton yol

Derzli donatısız beton yol, dünyada inşa edilen en yaygın beton kaplama tipidir. Bu kaplama tipinin imalatı, kayar kalıplı beton sericilerle yapılır, kaplama boyunca donatı içermez ve görece kısa kontrollü derzler bulunur. Derzli donatısız beton yolda enine derzler boyunca kayma demirleri ve boyuna derzler boyunca da bağ demiri kullanılmaktadır. (Smith ve diğerleri, 2022). Derzli donatısız beton yol uygulama örneği Resim 2.2’de verilmektedir.



Resim 2.2. Derzli donatısız beton yol (Kaşak ve Komut, 2019)

2.1.2. Derzli donatılı beton yol

Derzli donatılı beton yol, 1960 ve 1970'lerde özellikle Amerika Birleşik Devletleri’nde üstyapı tipi olarak sıkça tercih edilmiş olup, günümüzde oldukça az tercih edilmektedir. Bu beton yol kaplama tipi, derzli donatısız beton yol tipine nazaran daha uzun derz aralıklarıyla inşa edilir. Enine kesit alanında; %0,10 ila %0,20 oranında çelik donatı bulunmaktadır. Enine derzlerde kayma demirleri ve boyuna derzlerde bağ demirleri kullanılır. Kayar kalıplı beton sericilerle imalatı yapılır (Smith ve diğerleri, 2022).

2.1.3. Sürekli donatılı beton yol

Sürekli donatılı beton yollar da kayar kalıplı beton sericilerle inşa edilir. Bu beton yol tipinde, kaplama boyunca, enine ve boyuna yönde çelik donatılar bulunur. Tipik olarak kesit alanlarında; %0,6 ila %0,8 oranında donatı bulunmaktadır. Bu yüksek donatı içeriği, kabul edilebilir bir aralıkta enine çatlakların gelişimini engeller bu nedenle sürekli donatılı beton yol kaplamalar düzenli aralıklarla oluşturulmuş enine derzlere sahip değildir. Bazı uygulamalarında aktif çatlak kontrollü için banket kısmından başlayan ve beton plağın

karşılıklı iki kenarında da bulunan platform boyunca uzanmayan yaklaşık 80-120 cm'lik kontrollü derzler yapılmaktadır. Sürekli donatılı beton yol birçok ülkede birinci sınıf bir kaplama tipi olarak kabul edilir. Genellikle yol otoritesi kurumlar tarafından yoğun trafik hacmine sahip ve önem düzeyi yüksek yollarda tercih edilir (Smith ve diğerleri, 2022). Sürekli donatılı beton yol uygulama örneği Resim 2.3'te verilmektedir.



Resim 2.3. Sürekli donatılı beton yol donatı yerleşimi (Kaşak ve Komut, 2019)

2.1.4. Silindirle sıkıştırılmış beton (SSB) yol

Silindirle sıkıştırılmış beton (SSB) yollar, diğer beton yol üstyapı tiplerinin aksine yapımında geleneksel veya yüksek yoğunluklu sericiler ve silindirler gibi asfalt yol ekipmanları kullanılan beton yol kaplama türüdür. Donatısız ve çoğunlukla derzli olarak inşa edilen SSB yollar ağır yükler için ideal bir çözüm olarak öne çıkmaktadır. SSB karışımı özel tasarlanmaktadır. SSB geleneksel beton karışımlarına göre daha fazla ince agrega içerir, daha düşük su/çimento oranlarında ve buna bağlı olarak daha kuru bir kıvamda sahiptir (Güngör, 2021). Boşluksuz yapısı ve düşük su çimento oranı sayesinde çok kısa sürede yüksek dayanım ve yüksek durabilite özellikleri sergilemektedir (Shabani ve diğerleri, 2021). Silindirle sıkıştırılmış beton yol uygulama örneği Resim 2.4'te verilmektedir.



Resim 2.4. Silindirle sıkıştırılmış beton yol uygulama örneği (Betonyol, 2023)

2.2. Türkiye’de Beton Yollar

Ülkemizdeki beton yollar göz önüne alındığında, bilinen en eski beton yol 1953 yılında imalatı yapılan Sinop’ta bulunan NATO radar üssü yoludur. İlgili yol hiçbir bakım onarım gerektirmeksizin 70 yılı aşkın süredir hizmet vermeye devam etmektedir (Şengün & Yaman, 2019). Bu kaplama örneği ülkemizde de beton yolların servis ömrünün uzun olduğu, düşük bakım onarım masrafları ile çok uzun yıllar hizmet sağlayabildiğini göstermektedir.

Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM) bünyesindeki yol ağına bakıldığında, KGM 2022 Faaliyet Raporuna göre 31.12.2022 tarihi itibarıyla, KGM yol ağı kapsamında toplam 68 700 km yol bulunmaktadır. Bunların 3.633 km (%5) otoyol, 30 954 km (%45) devlet yolu ve 34 113 km (%50) il yoludur. Ülkemizde KGM yol ağı kapsamında yollarda kullanılan üstyapı tiplerine bakılırsa; 36 810 km (%54) sathi kaplama, 30 026 km (%44) bitümlü sıcak karışım (BSK) kaplamadır. Kalan yol ağını ise stabilize, parke ve toprak yollar oluşturmaktadır (KGM, 2022).

Mevcut Karayolları Genel Müdürlüğü yol ağında beton yollar ise sadece yapılan dört deneme uygulaması ile kısıtlıdır. Bu uygulamalardan ilki 2004 yılında deneme amaçlı Afyon-İscehisar yolunda 2 km’lik bölünmüş devlet yolunda yapılmıştır. Daha sonra, Hasdal Kavşağı- Kemberburgaz yol kesiminde 2,62 km 15 cm kırmataş alttemel, 15 cm plent miks temel ve 5 cm aşınma tabakası üzerine 27 cm beton kaplama ayrıca 0,88 km 15 cm kırmataş alttemel, 15 cm plent miks temel üzerine 32 cm beton kaplama olmak üzere iki farklı üstyapı kalınlığında derzli donatısız beton yol yapılarak 2006 yılında hizmete açılmıştır. Ordu-Ulubey devlet yolunda ise 2007 yılında bor katkılı çimento kullanılarak mevcut sathi kaplamanın üzerine 28 cm kalınlığında 1 km beton yol deneme kesimi yapılmıştır. İzmit – Yalova D-130 devlet yolunun Karamürsel şehir geçişinde de 1,6 km, 2010 yılında beton yol imalatı gerçekleştirilmiştir (Komut ve diğerleri, 2019).

KGM yol ağı kapsamında, 2017 yılında Karayolları 12.Bölge Müdürlüğü sınırlarında, Erzincan’da bulunan Kemaliye-Dutluca arasında 22 km uzunluğunda beton yol ihalesi yapıldığı bilinmektedir. Bununla birlikte, 2023 yılı itibarıyla Karayolları 9. Bölge Müdürlüğü sorumluluğunda, Şırnak bölgesinde bulunan devlet yolu tek kesimde, gidiş ve geliş olmak üzere çift yönde, 54 km derzli donatısız beton yol yapım çalışmaları devam etmektedir (EKAP, 2023)

SSB ve geleneksel yaş beton yollar göz önüne alınırsa, SSB teknolojisi geçmiş yıllarda ülkemizde daha çok baraj projelerinde uygulanmıştır (Yaman ve Ceylan, 2013). Son yıllarda yapılan çalışmalar doğrultusunda sağladığı avantajlar sebebi ile pek çok ilimizde yerel yönetimler tarafından tercih edilmektedir. Kalıp kurularak yapılan donatılı veya donatısız inşa edilen geleneksel yaş beton yol kaplamaları ise ülkemizde özellikle engebeli coğrafyalarda, zorlu arazi koşulları altında yapım kolaylığı ve dayanıklı olması nedeniyle tercih edilmektedir. Yerel yönetimler yol ağında SSB ve yaş beton yol olmak üzere 15.000 km'den fazla beton yol bulunmakta olduğu tahmin edilmektedir. Beton yolların uygulanma miktarı her geçen yıl artarak devam etmektedir (Akbelen ve diğerleri, 2023).

Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı (ÇŞİDB), Yerel Yönetimler Genel Müdürlüğü, köy yollarında kullanılan üstyapılara ilişkin resmi istatistikleri kümülatif olarak tutmakta ve verileri Çizelge 2.1'de sunulduğu gibi Bakanlığın resmi internet sitesinde yayınlanmaktadır (ÇŞİDB 2023). Resmi olarak açıklanan bu veriler dikkate alındığında, beton yol kaplamalarının payının üç yıl içinde %15,9'dan %18,8'e yükseldiği ve beton kaplamalardaki payı %2,5'ten %6,3'e yükselen SSB yol üstyapılarının da artışta olduğu görülmektedir. Bu web sitesinde sadece bakanlığa bağlı yerel yönetimlerin verilerinin yer aldığı, belediye yol kaplama verilerinin bulunmadığı bilinmektedir. Yerel yönetim yol ağı bakanlığa bağlı idareler ve belediyeler bünyesinde bir bütün olarak düşünüldüğünde, SSB yol miktarının ülkemizde yaklaşık 5.000 km mertebesinde olduğu tahmin edilmektedir (Yılmaz ve diğerleri, 2023).

Çizelge 2.1. Köy yollarına ilişkin resmi istatistikler (ÇŞİDB, 2023)

Yıl	Yol Sınıfı	Esnek Kaplama (km)		Rijit Kaplama (km)		
		SK	BSK	KP	GYB	SSB
2020	1.Derece	51956	11306	840	4272	352
	2.Derece	8137	434	184	605	14
	Köy İçi	5985	797	7981	589	11
	<i>Toplam</i>	<i>66078</i>	<i>12537</i>	<i>9005</i>	<i>5466</i>	<i>377</i>
2021	1.Derece	51611	12085	944	4210	713
	2.Derece	8220	455	148	573	30
	Köy İçi	6609	1063	8669	730	73
	<i>Toplam</i>	<i>66440</i>	<i>13603</i>	<i>9761</i>	<i>5513</i>	<i>816</i>
2022	1.Derece	50757	13354	1209	4394	1048
	2.Derece	8244	518	229	630	36
	Köy İçi	6457	1239	10315	760	91
	<i>Toplam</i>	<i>65458</i>	<i>15111</i>	<i>11753</i>	<i>5784</i>	<i>1175</i>
BSK: Bitümlü Sıcak Karışım; GYB: Geleneksel Yaş Beton;		SK: Sathi Kaplama; KP: Kilit Parke; SSB: Silindirle Sıkıştırılmış Beton				

ÇŞİDB, Yerel Yönetimler Genel Müdürlüğü'nün, köy yollarına ait resmi istatistik verileri incelendiğinde, 2021 yılında 182 km ile en fazla geleneksel yaş beton yol Giresun'da, 2022 yılında ise 130 km ile en fazla geleneksel yaş beton yol imalatının Osmaniye ilinde yapıldığı görülmektedir. SSB yol kaplama tipinde son iki yıl değerlendirilirse 2021 yılında 131 km ile en fazla SSB yol Çanakkale şehrimizde, 2022 yılı verilerine bakıldığında ise 102 km ile en fazla SSB yol imalatının Kırıkkale ilinde yapıldığı görülmektedir. (ÇŞİDB, 2023).

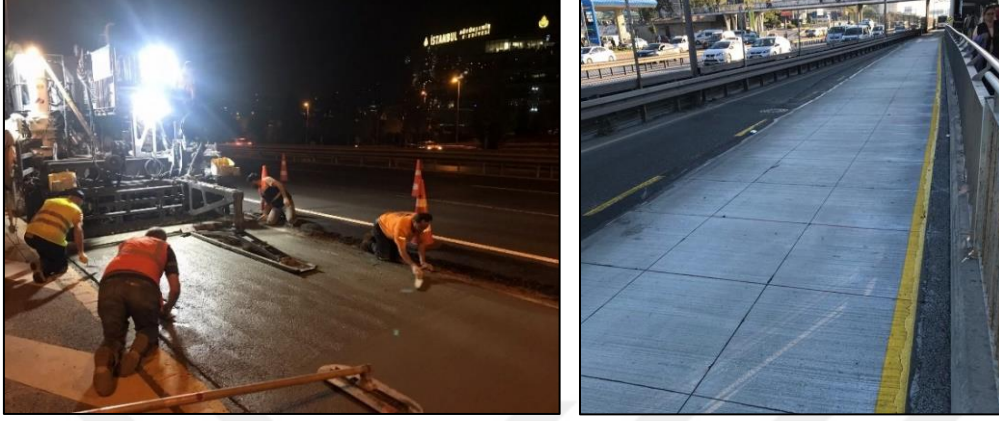
2023 Aralık dönemi itibarıyla 71 şehrimizde beton yol bulunmakla birlikte 57 ilimizde SSB yol üstyapı tipi olarak tercih edilmektedir. Türkiye'de bulunan beton yol üstyapı tiplerine göre oluşturulan beton yollar haritası Şekil 2.1'de verilmektedir (TÜRKÇİMENTO, 2023). İlgili şekilde beton yol üstyapı tipine göre şehirler farklı renklerde belirtilmektedir. Turuncu renkler yaş beton üstyapı türünün bulunduğu, sarı renkler ise SSB üstyapı türünde beton yol bulunduğunu hem sarı hem turuncu ile işaretlenen şehirler ise iki üstyapı tipinde de beton yol bulunduğunu belirtmektedir.



Şekil 2.1. Türkiye beton yol haritası (TÜRKÇİMENTO, 2023)

Son yıllarda kayar kalıplı beton sericileri ile yapılan derzli donatısız beton yol yapımı da ülkemizde yaygınlaşmaktadır. İstanbul bölgesinde 2022 döneminde 45 km'den fazla derzli donatısız beton yol kaplama yapılmıştır 2023 döneminde de derzli donatısız beton yol tipinde İstanbul bölgesinde 12 km'nin üzerinde yol yapım çalışması yapılmıştır. Kayar kalıplı beton sericiler ile inşa edilen; bağlı (bounded), bağımsız (unbounded) takviye (overlays) beton kaplamalar da ülkemizde uygulanmaktadır. Bu kaplama tekniği ile 2022 yılı itibarıyla

yapım çalışmalarına başlanan, İstanbul'da bulunan 54 km takviye beton yol kaplama çalışması 2023 sezonu içerisinde tamamlanmıştır (EKAP, 2023).



Resim 2.5. Bağırsız takviye beton yol üstyapı kaplaması (Yaman, 2022)

Takviye kaplamaları, asfalt kaplama üzerine yapılan beton kaplama sistemleri beyaz kaplama (white-topping), beton yol üzerine asfalt yapılması durumunda siyah kaplama (black-topping), olarak isimlendirilmektedir. Beyaz kaplama, genellikle asfalt kaplamadaki tekerlek izi, soyulma, kusma gibi sorunları gidermek için kullanılır. Beyaz kaplamalar kalınlığına göre, çok ince (<10 cm), ince (10-20 cm) ve standart (>20 cm) olmak üzere üç türü bulunmaktadır (Rashmi ve diğerleri, 2020).

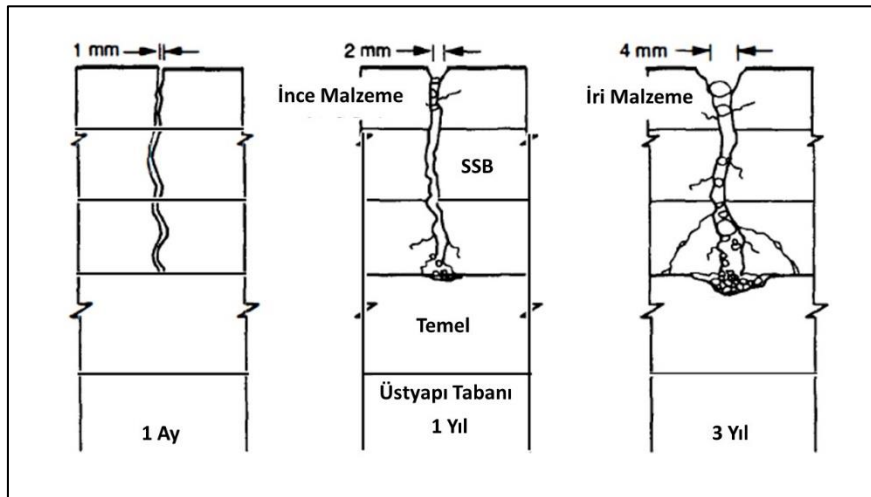
2.3. Beton Yol Bozulmaları

Beton yollar da tüm yol üstyapı kaplamaları gibi yapım ve servis aşaması ile ilgili birçok farklı sebeplerden dolayı bozulabilmektedir. Literatürde SSB üstyapı kaplamalarında oluşan bozulmalar açısından daha çok liman üstyapı kaplamalarının incelendiği görülmüştür. Diğer beton yol üstyapı kaplamalarında oluşan bozulmalara yönelik çalışmalara da bu bölümde yer verilmiştir.

Cortez ve Eaton (1991) tarafından yapılan çalışmada Conley Limanı'nda 1986 ve 1987 yıllarında inşa edilen silindirle sıkıştırılmış beton (SSB) kaplamalar incelenmiştir. Conley Limanında ağır yük konteynerlerinin kısa süreli depolama yaptığı ve yoğun treyler trafiğinin olduğu belirtilmektedir. İlgili limanda geçmişte uygulanan asfalt kaplamaların servis ömrünün yeterince uzun sürmediği belirlenmiş çözüm olarak yükleme ve boşaltma sırasında kaplamaya gelen yükü daha geniş alanlara dağıtmak için takoz kullanılması düşünülmüştür.

Takoz kullanımının oluşturacağı ekstra zamandan dolayı yükü geniş alana yayma yaklaşımından vazgeçilip, çözüm olarak eşdeğer asfalt seçeneğine göre yaklaşık %30 daha ekonomik olan silindire sıkıştırılmış beton (SSB) kaplama tercih edilmiştir.

Cortez ve Eaton (1991) çalışmasında, SSB üstyapıda yapılan detaylı performans değerlendirmesi sonucunda; büzülme çatlakları, kaplama şeritleri boyunca 15-23 m arasında doğrusal olarak meydana geldiği belirtilmektedir. Şeritler arasındaki inşaat derzleri boyunca da ince çatlaklar gelişmiştir. Çatlakların genişliği 0,5 ila 2 mm arasında olduğu belirtilmiştir. Ancak, soğuk derzlerin yakınında yani 60 dakika veya daha sonra imalatın devam ettiği kesimlerde, yüzeyde yoğun olarak serbest malzemenin bulunduğu, bir yıl servis ömrü sonunda rötre çatlaklarının 4 mm'ye ulaştığı ve oluşan soğuk derzlerde bozulmalar olduğu gözlemlenmiştir. İmalat sırasında soğuk derzlerin bulunduğu alanlarda SSB yoğunluğunun da azaldığı belirlenmiştir. Soğuk derzlerin bulunduğu kesimlerin çoğunda doğrusal çatlak oluşumu gözlemlenmiştir. Trafikten kaynaklanan aşınma, soğuk derzlerin yakınında olduğu gibi yüzeyde SSB yoğunluğunun yetersiz olduğu alanlarda da olduğu belirlenmiştir. Üç yıl servis sonrasında çatlaklarında genişliğinin sabit kaldığı tespit edilmiştir (Şekil 2.2).



Şekil 2.2. SSB kaplama yıllık çatlak gelişimi (Cortez ve Eaton, 1991)

Beton yol kaplamalarında çatlaklar tipik olarak ikiye ayrılır. Bunlar, "üstten alta" ve "alttan üste" oluşan çatlaklardır. Bu terimler tipik olarak kaplama yapısında gelişen çatlakların yönünü ifade eder. Üstten alta çatlak, yüzeyden alta oluşan çatlak olarak da bilinir. Beton yol kaplamasında yukarıdan aşağıya bir çatlak kaplamanın yüzeyinde başlar ve betonun içine doğru uzanır. Bu çatlak tipi genellikle çevresel koşullar, trafik yükleri veya inşaatla

ilgili sorunlar gibi faktörlerden kaynaklanır. Alttan üste çatlak ise tabandan yüzeye oluşan çatlak olarak da bilinir. Beton yol kaplamasında alttan üste doğru oluşan çatlak, genellikle kaplama yapısının tabanında, temelde, alttemelde veya üstyapı taban zemini yakınında alt katmanlardan başlar ve yüzeye doğru gelişir. Alttan üste çatlakların nedenleri arasında zayıf sıkıştırma, yetersiz drenaj veya zemin oturması gibi kaplamanın taban veya alt taban katmanlarıyla ilgili sorunlar yer alabilir (Dhakal ve diğerleri, 2022).

NCE (2016) teknik raporunda, Central Freight Terminali'nin üstyapı kaplaması değerlendirilmiştir. İlgili terminal Teksas'ta Austin şehrinde bulunmaktadır. Terminal 14.500 m² alanda olup 1987 yılında silindirle sıkıştırılmış beton kaplama yapılmıştır. İnşaattan 28 yıl sonra, Ekim 2015'te tesiste görsel bir araştırma yapılmıştır. SSB kaplamanın iyi durumda ve yaklaşık otuz yıl boyunca yoğun kamyon trafiği taşımasının ardından çok az bozulma belirtisi ve yapılan onarımların olduğu gözlemlenmiştir. 8,5 m genişliğindeki kaplamanın merkezinde boyuna çatlak oluşmuştur. Enine çatlaklar ise yaklaşık 3,0 m ile 12,2 m aralıklarla oluşmuştur. İnşaattan üç yıl sonra oluşan çatlaklar derz sızdırmazlık malzemesi ile onarılmıştır. Ayrıca, zeminin şişmesi sebebiyle kaplamanın %5'lik bölümünde bozulmalar oluşmuştur. Bu kesimlerde geleneksel beton ile yama çalışmaları yapılmıştır. SSB kaplamada, genellikle serme yönüne dik olarak hizalanan küçük yüzey yırtıkları gözlemlenmiştir. Bu yırtılmaların ilerlemediğini veya zamanla daha şiddetli hale gelmediği, yapısal olarak bir problem oluşturmadığı belirtilmiştir. Dar açılardan kaçınılamayan yerlerde, donatılı yaş beton kullanımının uzun ömürlü bir çözüm oluşturduğu görülmüştür. İmalat planı yapılırken dar açılar en aza indiren serme planlarının yapılması önerilmiştir. Yapılan yamaların birçoğu, şişen zeminin etkisiyle kaplamada oluşan kabarmaların onarımı için yapıldığı belirlenmiştir (NCE, 2016).

SSB uygulamalarında, sıkıştırma yönteminden kaynaklı bozulma oluşumuna oldukça sık rastlanmaktadır. Şengün ve diğerleri (2017) tarafından yapılan çalışma kapsamında, dayanım ve yüzey pürüzsüzlüğü açısından sahada en uygun sıkıştırma metodolojisi; ilk olarak çelik tamburlu silindir ile titreşimsiz iki kez silindiraj sonrasında çelik tamburlu silindir ile üç kez titreşimsiz ileri ve titreşimli geri silindiraj son olarak lastik tekerlekli silindir ile sekiz kez silindiraj sıralamasında önerilmektedir.

Lee ve diğerleri (2014) çalışmasında titreşimli çelik tamburlu silindir in oldukça ağır olan arka tamburunun bozulmalara sebep olan en önemli etkenlerden biri olduğu aktarılmaktadır.

Yanlış sıkıştırma metodolojisi sebebiyle oluşan yüzeysel bozulma örnekler Resim 2.6’da verilmektedir.



Resim 2.6. Yüzeysel bozulmalar (Lee ve diğerleri, 2014’ten düzenlenmiştir)

SSB yolların servis sonrasında sergilediği özelliklerin laboratuvarında değerlendirilmesine yönelik çalışmalara aşağıda değinilmiştir.

Damrongwiriyanupap ve diğerleri (2012) tarafından yapılan çalışmada devlet ve eyaletler arası yolların bazı kesimlerde SSB kaplamanın dayanım ve durabilite davranışları inşaattan hemen sonra numune alınarak test edilmiş olup kaplamanın bazı malzeme özellikleri de inşaattan dokuz ay sonra da test edilmiştir. Beton numunelerin, hızlı klorür geçirgenliği, kuruma büzülmesi, donma-çözülme direnci, basınç dayanımı, yarma çekme dayanımı ve eğilme dayanımı deneyleri yapılmıştır. SSB kaplamanın dokuz ay sonra klorür geçirgenliği artmış olup donma-çözülme dirençleri, basınç dayanımları da azalmıştır.

Literatür taramasında bahsi geçen beton yollarda kuruma büzülmesi, betonun içindeki suyun buharlaşması nedeniyle oluşan büzülmedir. Beton döküldükten sonra, içindeki su çimento ile reaksiyona girerek sertleşir ve sertleşme sırasında hacim olarak azalır ve büzülme işlemi gerçekleşir (Christopher ve diğerleri, 2006).

Literatür taramasında incelenen kaynaklar kapsamında, kayar kalıplı beton sericilerle inşa edilen beton kaplamalarda oluşan bozulmaların daha detaylı incelendiği ve bozulmaların oluşum etmenlerinin de değerlendirildiği görülmüştür.

Özerdoğan (2005) tarafından yapılan çalışmada, rijit üstyapılar sürekli beton kaplamalar ve derzli beton kaplamalar olarak değerlendirilmiş olup kaplamalarda oluşan bozulmalar ve

sebepleri araştırılmıştır. Oluşarbozulmalar; enine çatlaklar, boyuna çatlaklar ve kaplamada olduğu kesime göre köşe çatlakları, derzlerde oluşan bozulmalar gibi farklı sınıflara ayrılmıştır. Buna ek olarak, bozulmalar düşük, orta ve yüksek seviyeli olmak üzere üç farklı şiddet seviyesinde irdelenmiştir. Beton kaplamalarda oluşan bozulmaların büyük bir kısmı suyun zararlı etkilerinden olduğu belirlenmiştir. Suyun pompaj etkisi sonucu oluşan bozulmalarında sık görüldüğü, pompaj etkisi sonucunda oluşabilecek bozulmaların önüne geçilmesi için zamanında çatlak ve derzlerin yalıtımının sağlanması gerektiği belirtilmiştir.

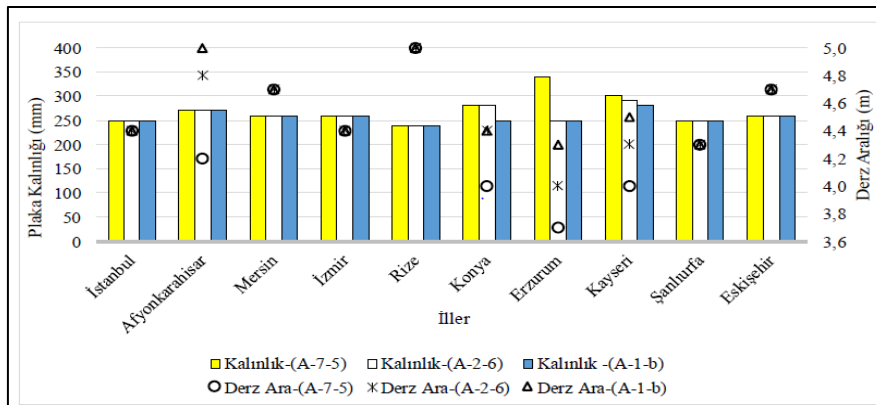
Adlinge ve Gupta (2013) tarafından yapılan çalışmada, rijit kaplamalar ele alınmıştır. Kaplamalarda performansı etkileyen ana etmenler trafik, su etkisi, üstyapı taban zemini, imalat kalitesi ve bakım süreci olmak üzere dört ana gruba ayrılmıştır. Bu etmenler altında oluşan bozulmalar olarak çatlaklar, yüzey bozulmaları, parçalanma, sökölme (çukur, vb.) ve yüzeysel bozulmalar olmak üzere incelenmiştir. Çalışma sonucunda tasarımlarda trafik yükünün az alınması ancak kaplama imalatı sonrası yeni kaplamada oluşan ani trafik yükü artışı kaplamanın yorulmasına sebep olduğu, kenar desteklerinin (bordür, vb.) yapılmamasının kaplama kenarlarında bozulmalara neden olduğu belirlenmiştir. Kaplama bozulmalarının bir diğer nedeninin ise özellikle yağış alan bölgelerde kötü drenaj koşulları sebebiyle kaplama kenarlarından su girişi olduğu tespit edilmiştir. Bunlara ek olarak üstyapı tabanında bulunan malzemenin zayıf killi tabakalardan oluşması bozulmalara neden olduğu belirtilmiştir.

Setiawan (2020) tarafından yapılan çalışmada, rijit üstyapıların yani beton yolların performans değerlendirilmesi yapılırken sadece gerilme, şekil değiştirme gibi etmenlerin yanı sıra hava koşulları ve altyapı parametrelerinin de analiz edilmesi gerektiği belirtilmiştir. Çalışma sonucunda beton plakta oluşan gerilmeler ile taban reaksiyon modülü (yatak katsayısı) ve sıcaklığın doğrusal bir ilişki içerisinde olduğu ortaya konulmuştur. Plak bükülmesi önemli ölçüde sıcaklık farkına bağlı olduğu belirlenmiştir. Bununla birlikte, düşey yer değiştirme davranışı da incelenmiştir. Sıcaklık ve taban reaksiyon modülü arttıkça en yüksek düşey yer değiştirme konumu plağın merkezine doğru kaydığı tespit edilmiştir.

Yol üstyapı tasarımlarında servis ömrü boyunca bozulmaların değerlendirilmesi, yol performanslarının ve güvenliğinin iyileştirilmesi için önemli olduğu bilinmektedir. Literatürde beton yol tasarımlarında iklim koşullarının bölgesel özelliklerin etkisinin değerlendirilmesi amacıyla çalışmaların yapıldığı görülmektedir.

Ongel Harvey (2004) tarafından yapılan çalışmada, Kaliforniya'nın altı farklı bölgesi için yağış ve sıcaklık verileri elde edilerek veri tabanı oluşturulmuştur. Rijit, esnek ve kompozit olmak üzere kaplamaların sıcaklıkları, Enhanced Integrated Climatic Model (EICM) yazılımı kullanılarak simüle edilmiştir. Üstyapı tasarımında iklim bölgelerinin dikkate alınması gerektiği ortaya konulmuştur. Çalışmada sıcaklık dalgalanmaları, plaklarda düzgün olmayan gerilmelere bu da plakların kıvrılmasına veya bükülmesine neden olduğu belirlenmiştir. Bu gerilmelerin beton plaklarda enine, boyuna çatlak oluşumu ve köşe çatlaklarının oluşmasına neden olduğu tespit edilmiştir. Yapılan çalışmada üç farklı beton yol incelenmiştir. Çöl bölgesinde bulunan beton yolların, pozitif sıcaklık gradyanları yani yol üst yüzey sıcaklığının, alt yüzeyindeki sıcaklıktan daha yüksek olması nedeniyle enine yorulma çatlaklarının oluşması ihtimalinin daha yüksek olduğu, Körfez Bölgesi'ndeki beton yollaradaysa negatif sıcaklık gradyanları, üst yüzey sıcaklığının alt yüzeyindeki sıcaklıktan daha düşük olması nedeniyle köşe ve boyuna çatlakların oluşum ihtimalinin yüksek olduğu belirtilmiştir. Ayrıca rijit üstyapı tasarımları için 5 yıllık süreçte sıcaklık gradyanlarının incelenmesinin yeteli olacağı aktarılmıştır.

Öztürk ve diğerleri (2019) tarafından yapılan çalışmada Türkiye'deki farklı iklim koşullarında farklı iller için 20 ve 40 yıllık proje ömürlerinde, farklı trafik, zemin ve beton dayanım sınıfının derzli donatısız beton yol tasarım kalınlığına ve derz aralıklarına etkileri mekanistik-ampirik (ME) tasarım yöntemi ile belirlenmiştir (Şekil 2.3). Çalışma kapsamında taban zeminin etkisini görmek üzere üç farklı taban zemin sınıfı için tasarımlar oluşturulmuştur. Zeminler taşıma gücü düşük olandan yüksek olana doğru sıralanırsa, yüksek plastisiteli killi-siltli zeminler (A-7-5), kumlu çakıllı granüler zeminler (A-2-6) ve kayalık zeminler (A-1-b) tasarımlarda kullanılmıştır.



Şekil 2.3. Zemin sınıflarının tasarım kalınlıklarına etkisi (Öztürk ve diğerleri, 2019)

Şekil 2.3'te görüleceği üzere zemin sınıflarının tasarımlarda, plak kalınlığına çok fazla etki etmediği, bazı bölgelerdeyse derz mesafeleri üzerinde etkili olduğu görülmektedir.

Öztürk ve diğerleri (2019) çalışmasında, İstanbul bölgesi için yapılan tasarımlarda zemin sınıfının performans kriterlerine etkisi de değerlendirilmiştir. Üstyapı taban zeminlerinin üstyapı performans kriterlerinin değerlendirilmesinde etkili olduğu belirtilmiştir (Çizelge 2.2).

Çizelge 2.2. 20 yıl sonunda performans değerleri (Öztürk ve diğerleri, 2019)

Zemin Sınıfı	Düzgünsüzlük (m/km)	Faylanma (mm)	Plak Çatlak Oranı (%)
A-7-5	1,73	1,13	14,56
A-2-6	1,67	0,96	14,52
A-1-b	1,58	0,88	9,63

2.4. Yol Üstyapı Performans Değerlendirmesi

Mali kaynakların verimli kullanılması açısından günümüzde yeni yol yapımından ziyade mevcut yol üstyapıların olabildiğince servis kabiliyetinin yüksek tutularak uzun yıllar kullanılmasını sağlamak son derece önemlidir. Bu kapsamda, mevcut yol üstyapılarının doğru zaman ve teknikte onarımı ve yenilenmesi gibi çalışmalar daha çok önem kazanmaktadır. Dolayısıyla üstyapı servis ömrünün artırılması için yol üstyapı performanslılarının takip edilebilmesi ve üstyapı yönetim sistemlerinin geliştirilmesi ve uygulanması son derece önemlidir.

Üstyapı yönetim sistemleri, mali kaynakların planlanması, tasarım, yapım ve periyodik performans değerlendirmesi gibi oldukça geniş uygulama alanına sahiptir (Hergüner, 2009). Üstyapı yönetim sistemleri kapsamında yolların mevcut durumunu ve gelecekteki performansını tahmin etmek için çeşitli performans kriterleri kullanır.

Üstyapı yönetim sistemlerinde kullanılan performans kriterleri; taşıma gücü, enine ve boyuna düzgünsüzlük değerleri, kayma direnci, gürültü seviyeleri ve üstyapı durum indeksleri olarak değerlendirilebilir (Ünal ve diğerleri, 2023).

Bu kriterler bir arada değerlendirilerek yapılan periyodik performans değerlendirmeleri, üstyapıların bakım onarım faaliyetlerinin etkin olarak ve zamanında uygulanması ve üstyapı yönetimi açısından karar vericiler için son derece önemlidir. Literatür araştırmasının bu aşamasında üstyapı performans kriterlerine ilişkin detaylar yer almaktadır.

Yol üstyapı taşıma gücü, yolların güvenli ve verimli bir şekilde hizmet verebilmesi için önemlidir. Taşıma gücünün ölçümleri, yol bakım ve onarım çalışmalarının planlanması ve uygulanması için kullanılmaktadır. Yol üstyapı taşıma gücü ölçümü için laboratuvar testleri (karot testleri vb.), dinamik yöntemler (düşen ağırlıklı deflektometre vb.) ve statik yöntemler (Benkelman kiriş testi vb.) olmak üzere çeşitli yöntemler kullanılmaktadır (Yayla, 2011).

Uluslararası Pürüzlülük İndeksi (IRI), Dünya Bankası tarafından 1986 yılında geliştirilen yol yüzeyindeki düzgünsüzlükleri nesnel bir ölçüt olarak değerlendiren küresel bir standart göstergeci. Bu indeks, aracın kat ettiği yol miktarını, yol yüzeyindeki dalgalanmaların ve bozuklukların neden olduğu süspansiyon hareketine oranını belirtmektedir. Yani IRI, yolun yüzey düzgünsüzlüğünü belirten ve kullanım konforunu gösteren, yol kalitesini tanımlayan bir performans değeridir (Kırbaş, 2018).

Araçların yol kayma riskini gösteren bir ölçü olan kayma sayısı (Skid Number, SN) ise farklı bir performans ölçütüdür. SN, tekerleklerin yolda ki pürüzlülüğe ve diğer düzensizliklere maruz kalmasıyla meydana gelen kayma kuvvetini ifade eden değerdir. Bu değer, üstyapıya ait standart ölçümler sonucu elde edilir ve 0 ile 100 arasında bir aralıkta değişir. Yol yüzeyinin kaymaya karşı direnci, SN değerinin artmasıyla birlikte artar; yani, kayma sayısı büyüdükçe, yolun kayma direnci de artmış olur (Şengün ve diğerleri, 2020).

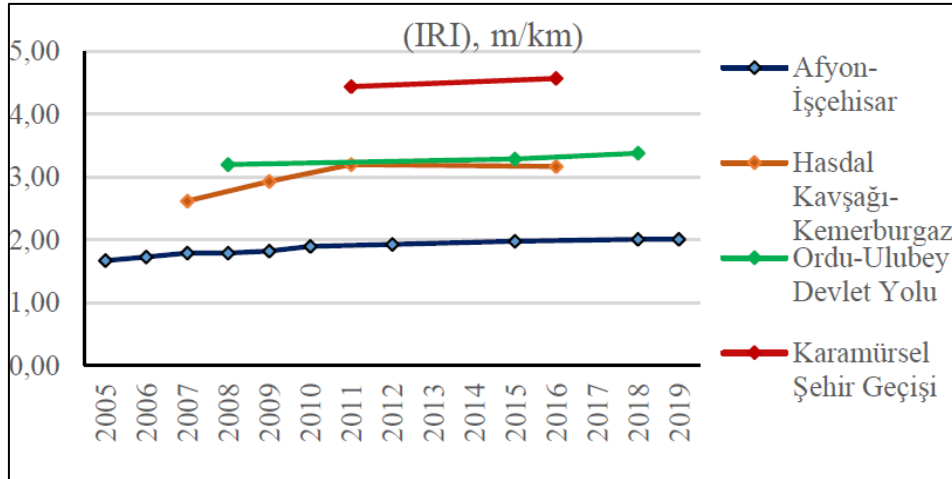
Yol gürültü seviyeleri, ses ölçerler kullanılarak desibel biriminde ölçülür. Ses ölçerler, ses dalgalarını elektrik sinyallerine dönüştürerek çalışır. Bu sinyaller daha sonra, ses seviyesini ölçmek için kullanılan bir alete gönderilerek ölçüm sağlanır. Yol gürültü seviyeleri, çevresel gürültü kirliliğini değerlendirmek ve gürültü azaltma önlemleri geliştirmek için üstyapı kaplamalarında incelenen bir performans kriteridir. Yenilenmiş ve onarılmış yollar ile mevcut yolların, geceyle gündüz durumu ve bulunduğu bölgeye göre kara yolu çevresel gürültü değerleri incelenmektedir (Arıkan ve Demirel, 2023).

Yol üstyapı durum indeksi (PCI), kaplama türü, meydana gelen bozulmaların şiddet ve yoğunluklarına göre değerlendirilmesini sağlayan ve üstyapı mevcut durumunu belirten sayısal bir göstergedir. Kaplama durum indeksinin belirlenmesine ilişkin American Society for Testing and Materials'in, ASTM D6433 koduyla yayınlanmış rijit ve esnek üstyapı bozulmalarını tanımlayan ve değerlendirme prosedürlerini açıklayan uluslararası standart kullanılmaktadır. ASTM D6433 ilk başta 1970'lerde ABD Ordusu Mühendislik Birimi (U.S. Army Corporation of Engineers) tarafından askeri amaçlar için geliştirmiştir (Kırbaş ve Karaşahin 2015).

2.4.1. Beton yol üstyapı performans değerlendirmeleri

Literatür taramasında detayları verilen, Uluslararası Pürüzlülük İndeksi (IRI), Kayma Direnci (SN) ve Üstyapı Durum İndeksi (PCI) performans değerlendirme ölçütlerine yönelik beton yollarda yapılmış incelenen çalışmalar bu bölümde verilmektedir.

Komut ve diğerleri (2019) çalışmaları kapsamında, Karayolları GenelMüdürlüğü yol ağında bulunan, Afyon-İscehisar Yolu, Hasdal Kavşağı –Kemberburgaz Yolu, Ordu-Ulubey Yolu ve Karamürsel Şehir Geçşi yolu olmak üzere 4 farklı güzergahtaki deneme beton yol kesimlerinin performanslarını yerinde gözlemsel ve yapısal incelemeler ile değerlendirmiştir. Bunların yanı sıra yüzey düzgünsüzlüğü (IRI) ve kayma direnci (SN) fonksiyonel durum ölçüm cihazlarıyla da belirli periyotlarda performans izlemesi yapılmıştır. Çalışmalar sonucunda beton üstyapılarda kullanılan betonun basınç dayanımında herhangi bir olumsuzluk gözlenmemekle birlikte, üstyapı kaplamalarında enine çatlaklar, derz kırılmaları, köşe çatlamları, plak kırılmaları, yer yer taşıma gücü yetersizliklerine bağlı bozulmalar, derz doğrultularında sapmalar gibi bozulmalar belirlenmiştir. Karayolları GenelMüdürlüğü tarafından deneme kesimlerinde, profilometre ile gerçekleştirilen yüzey düzgünsüzlük performans ölçümleri Şekil 2.4'te görülmektedir.



Şekil 2.4. Beton yollar düzgünlük ölçümleri (Komut ve diğerleri, 2019)

Ramdhani ve diğerleri (2017) tarafından yapılan çalışmada, Dumai - Duri şehirlerini bağlayan ana yol işlevi gören ulusal beton yolda bozulmaların yoğun olarak görüldüğü, 173+000 – 177+000 arasında kalan kesim incelenmiştir. Dumai – Duri yolunun petrol sahalarına yakın olduğundan dolayı oldukça ağır taşıt trafiğinin hakim olduğu belirtilmiştir. Rijit kaplama performansı PCI yöntemi ile değerlendirilmiştir. Kaplama performansı ölçüm çalışmalarında veriler doğrudan sahada gözlem ve inceleme ile elde edilmiş, görsel olarak, Dumai - Duri şehri beton yol üstyapısında 4 km boyunca etüt yapılmıştır. Etüt ve değerlendirmeler sonucunda 62-69 arasında kaplama durum indeksinin değiştiği ve ortalama 65,25 olduğu tespit edilmiştir.

Isradi ve diğerleri (2019), sanayi bölgesi içinde yer alan, ağır taşıt trafiğinin yoğun olduğu Bogasari Beton Yolu üzerinde ASTM D6433 standardına göre Üstyapı Durum İndeksi (PCI) araştırmaları yapılmıştır. Bogasari Beton Yolu, her biri 3,5 m genişliğinde gidiş geliş olmak üzere toplam dört şeritten oluşmaktadır. İlgili beton yol ASTM D6433 standardına uygun şekilde incelenmesi için 7 m x 100 m boyutlarında olan 14 araştırma bölümüne ayrılmıştır. Bu bölümlerde kendi içerisinde standarda uygun olarak incelenmiştir. Çalışma kapsamında günlük ortalama trafik hacmi 2.883 araç/gün ve ortalama kaplama durum indeksi (PCI) 66,57 olduğu belirlenmiştir. Bu indeks ortalama üstyapı durumunun orta seviyede olduğu anlamına gelmektedir. Çizelge 2.3'te ilgili çalışmaya ait üstyapı kesimleri ve PCI değerleri verilmektedir. Ayrıca, çalışmalar sonucunda geçmişte yapılan iyileştirme çalışmalarının uzun süre etkin olmadığı görülmüştür. Hasar oranı düşük olan kesimlerin fonksiyonel onarım ile ağır hasar bulunan (kesim 1, kesim 6, kesim 7 ve kesim 8) kesimlerde ise yeniden yapım onarım yönteminin gerekli olduğu belirtilmiştir.

Çizelge 2.3. Bogasari beton yolu PCI değerleri (Isradi ve diğerleri, 2019)

Kesim No - Km	PCI	Durum
Kesim 1 (0+900 – 1+000)	50	Kötü
Kesim 2 (1+000 – 1+100)	56	Orta
Kesim 3 (1+100 – 1+200)	55	Orta
Kesim 4 (1+200 – 1+300)	80	Yeterli
Kesim 5 (1+300 – 1+400)	67	Orta
Kesim 6 (1+400 – 1+500)	44	Kötü
Kesim 7 (1+500 – 1+600)	42	Kötü
Kesim 8 (1+600 – 1+700)	48	Kötü
Kesim 9 (1+700 – 1+800)	93	İyi
Kesim 10 (1+800 – 1+900)	97	İyi
Kesim 11 (1+900 – 2+000)	74	Yeterli
Kesim 12 (2+000 – 2+100)	80	Yeterli
Kesim 13 (2+100 – 2+200)	76	Yeterli
Kesim 14 (2+200 – 2+300)	70	Yeterli
<u>Ortalama PCI</u>	66,57	Orta

2.4.2. Asfalt yol üstyapı performans değerlendirmeleri

Esnek üstyapı yani asfalt yollarda performans değerlendirme ölçütlerine yönelik literatür taraması kapsamında incelenen çalışmalarına bu bölümde yer verilmiştir.

Kırbaş ve Karaşahin (2015) tarafından yapılan çalışmada, Samsun İli sınırlarında Büyükşehir ve Merkez İlçe Belediyesi yol ağı kapsamında, yirmi farklı BSK yolda ASTM D6433 standart esas alınarak bozulma verileri değerlendirilmiştir. ASTM D6433 standardına uygun ağ tanımlaması yapılmış ve ardından üstyapılarının mevcut performansları belirlenmiştir. Yapılan çalışmada, üstyapının yaşı, üstyapının yapıldığı tarihten itibaren mevcut performansının belirlendiği tarihine kadar geçen ömründe maruz kaldığı, minimum sıcaklığın, $-0,1^{\circ}\text{C}$ ve daha düşük günlerin sayısı (donlu gün sayısı) ve toplam yağış miktarı (mm) parametreleri dikkate alınmıştır. Çalışmalar sonucunda, donlu gün sayısı ve toplam yağış miktarı parametreleri ile PCI değerleri arasında ilişkinin yüksek olduğu saptanmıştır. Ayrıca çalışmada üstyapının ömrü boyunca maruz kaldığı toplam yağış miktarının en az üstyapının yaşı kadar etkili olduğu belirtilmiştir.

Hanlı (2009) tarafından yapılan çalışma kapsamında, esnek üstyapılarda oluşan bozulma tipleri incelemiştir. Çalışma kapsamında bozulma tiplerine göre uygun bakım onarım

yöntemleri önerilmiştir. Çalışmada bozulma nedenleri, trafik etkileri, çevre ve iklim etkileri, tasarım hataları, yapım hataları ve bakım hataları olmak üzere dört ana parametreden kaynaklandığı belirtilmiştir. Bozulma tipleri çatlaklar, yamalar, sekil değiştirmeler ve çukurlar ile çok yönlü bozulmalar olmak üzere dört ana grupta değerlendirilmiştir. Derinliği; 6 mm'den küçük olan bozulmalar hafif şiddette olduğu ve gözlemlenmesi gerektiği, 6 mm ile 19 mm arasındaki bozulma tipleri orta şiddette bozulmalar olarak adlandırıldığı uygun malzeme ile onarımı yapılması, 19 mm'den büyük bozulmaların da yüksek şiddette bozulmalar olduğu, özel değerlendirilmeleri gerektiği belirtilmiştir. Buna ek olarak çalışma kapsamında üstyapı yönetim sistemleri doğrultusunda yollara uygulanacak bakım onarım müdahale süreçlerinin programlanabileceği belirtilmiştir.

Bağdatlı (2010), üstyapı taban zemini özellikleri, çevre ve iklim, malzeme ve trafik parametreleri olmak üzere dört farklı parametrenin bozulmalara etkisi araştırılmıştır. İlgili parametrelerin tamamı doğrudan veya dolaylı olarak bozulmalara etkisi olduğu tespit edilmiştir. Bunun yanı sıra, malzeme faktörünün birçok esnek üstyapı bozulmasının oluşumunda etkin olduğu belirlenmiştir. Çalışmada bakım onarım maliyeti en yüksek kabarma bozulmasına ait olduğu belirlenmiştir.

2.5. Beton Yollarda Bakım Onarım

Yollarda bakım onarım uzun vadeli sürdürülebilir ulaşım sistemleri oluşturmanın bir parçasıdır. Bakım onarım, yolların ömrünü uzatır ve uzun vadede daha az kaynak kullanımını teşvik eder. Bunlarla birlikte, yol kullanıcılarının düzenli bir şekilde konforlu ve güvenli ulaşımını sağlar. Bu bölüm kapsamında literatürde beton yollarda uygulanan bakım onarım uygulama çalışmaları ve bakım onarım faaliyetlerinin maliyet etkisine yönelik çalışmalar incelenmiştir.

Seferoğlu (2019) tarafından yapılan çalışmada beton yolların bakım onarımı hakkında inceleme yapılmış olup, iyileştirme amaçlı kaplama üzerine yapılan ince asfalt kaplamalarda meydana gelen yansıma çatlaklarının güçlendirme malzemeleri kullanarak engellenmesi veya geciktirilmesi hedeflenmiştir. Beton kaplamaların iyileştirilmesinin kaplama durumuna göre iyileştirme, yeniden kaplama veya yeniden yapım olmak üzere üç farklı yöntemle yapılacağı belirtilmiştir.

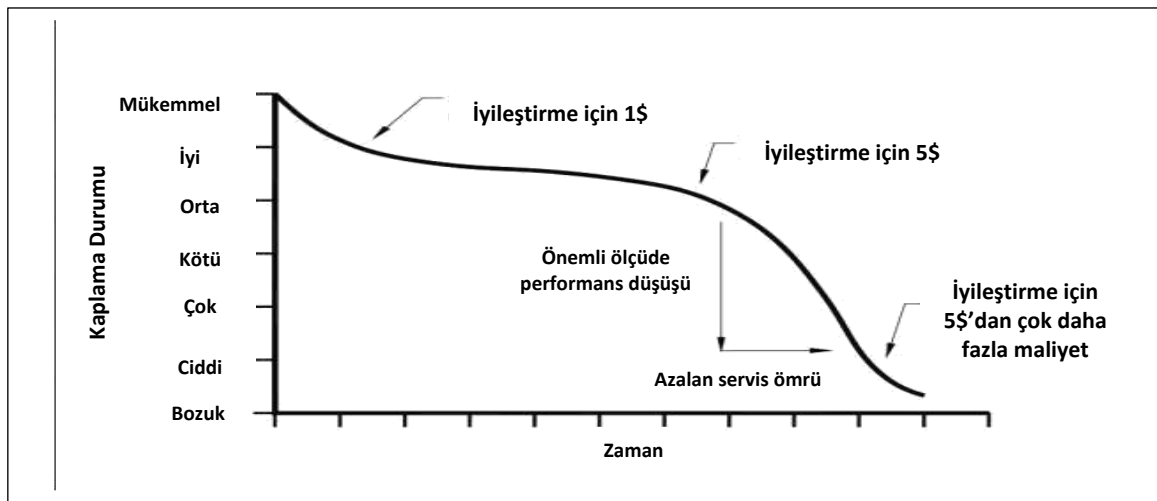
Cortez ve Eaton (1991) tarafından Conley Terminali SSB kaplaması incelenmiştir. Yapılan incelemelerde SSB kaplamalar için yoğunluk parametresinin çok önemli olduğu ve sürekli kontrol edilmesi gerektiği ortaya konmuştur. Katmanlar arası yapıştırma, SSB kaplamalarda da potansiyel bir problem olarak tanımlanmış ve yapıştırma teknikleri geliştirilmesi gerektiği belirtilmiştir. Kontrollü derz kesimi sonrasında kaplama yüzeyinden 3 mm'ye kadar bir bitüm esaslı dolgu malzemesi ile doldurulması, çatlaklarının çoğunu kontrol etmede etkili olduğunu tespit etmiştir. Oluşan rötre çatlakları bitüm esaslı derz dolgu malzemesi ile doldurulmuştur. Rötre çatlaklarının 2 mm'den küçük olduğu bölgelerde derz dolgu malzemesinin derz içine girmediği, trafik etkisiyle kısa sürede derz dışarısına çıktığı belirtilmiştir.

Kadioğlu (2020) tarafından yapılan çalışma kapsamında, Trabzon ilinde kırsal yollarda yapılan bakım-onarım harcamaları, hangi yol kaplamasına daha fazla bakım-onarım gerektiği yayınlanan faaliyet raporlarından karşılaştırılmıştır. Çalışmada asfalt yol ve ilk 15 hizmet yılında beton yol olarak hizmet sağlayan kompozit yol üstyapılarının 20 yıl hizmet ömrü içinde bakım onarım maliyetleri ve ilk yapım maliyetleri mukayese edilmiştir. Yapılan çalışmalarda asfalt yollarda, 15. hizmet yılında 8 cm asfalt betonu binder tabakası ile iyileştirme yapıldığı, 2 yılda bir ise bitüm içerikli yama malzemesi ile bakım yapıldığı değerlendirilmiştir. Kompozit kaplamalarda ise ilk 15 yıl beton yol olarak hizmet sağlayan yolun 15. hizmet yılında 8 cm asfalt betonu binder tabakası ile iyileştirme yapıldığı buna ek olarak 17. ve 19. hizmet yılında bitüm içerikli yama malzemesi ile bakım yapıldığı değerlendirilmiştir. Kompozit ve asfalt kaplama için de her yıl drenaj yapılarının temizliği bakım-onarım masraflarına dahil edilmiştir. İlk 15 yıl beton kaplama olarak hizmet verip son 5 yıl kompozit kaplama olarak değerlendirilen yol üstyapı kaplamasının asfalt yol üstyapı kaplamasına göre bakım masrafının %23 oranında daha az olduğu tespit edilmiştir.

Abut (2017) çalışmasında, SSB yol yaşam döngüsü ve maliyet analizi süresi içerisinde planlanan bakım ve onarım stratejisine göre her yıl SSB yollarda rutin bakım, 10 yılda bir defa periyodik bakım ve 20 yılda bir defa rehabilitasyon onarım faaliyetlerini planlamıştır. Planlanan bakım ve onarım stratejisinde bozulma tipleri ve onarım metotları değerlendirilmiştir. Rutin bakım onarım faaliyetleri kapsamında yapısal olmayan düşük ve orta düzey çatlaklar ve derz bölgelerinde kısmi bozulmaların oluşacağı ön görülmüştür. Rutin bakım kapsamında onarım metodu olarak derz, çatlak dolgusu yapılması planlanmıştır. Periyodik bakım kapsamında, derz bölgelerinde kabarma, derz bölgelerinde

pompaj etkisi, çukur, cıllanmış agrega, agrega sökölmesi 10 mm'den büyük boyuna ve enine çatlaklar ve köşe çatlakları gibi bozulmaların oluşacağı değeriendirilmiş ve bu bozulmaların bölgesel yaş betonla onarılacığı planlanmıştır. 20 yılda bir defa gerçekleştirilmesi planlanan rehabilitasyon onarım faaliyeti kapsamında ise blokların oturması veya ayrılması, durabilite çatlakları, harita çatlakları ve faylanma bozulmalarının oluşacağı ön görölmüştür. Rehabilitasyon onarım faaliyeti kapsamında tam derinlikte kaplamanın yeniden yapılacağı değeriendirilerek analizler gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda yapılan yaşam döngüsü maliyeti açısından SSB yolun asfalt yoldan %46 oranında daha ekonomik bir kaplama alternatifi olduğu tespit edilmiştir.

Bir kaplamanın bakım onarım ihtiyacı için kritik duruma ne zaman ulaştığını belirlemek zordur. Bu sebeple, üstyapı yönetim sistemleri en uygun rehabilitasyon noktasının belirlenmesinde yardımcı olur ve karar vericilerin mevcut kaynakları en etkin kullanılmasına olanak sağlar. Üstyapı bakım onarım faaliyetleri maliyet açısından ciddi masraflar oluşturduğu hatta doğru zaman ve teknikle uygulanmadıklarında ilk yapım maliyetlerine denk olduğu görölmektedir. Yol üstyapı kaplamaları genellikle ömrünün ilk kısmında iyi performans gösterir ardından “kritik duruma” ulaşır ve hızla bozulmaya başlar. İyi durumdaki kaplamanın bakımı ve muhafazası, orta ve kötü durumdaki kaplamanın rehabilite edilmesine kıyasla dört ila beş kat daha ucuzdur (Şekil 2.5). Bir kaplamanın hızlı bozulma noktasına ulaşmadan önce “iyi” durumda kaldığı yıl sayısı, imalat ve kalitesi, kaplama kullanımı, iklim ve bakım faaliyetleri dahil olmak üzere çeşitli faktörlere bağlıdır (FAA, 2014).



Şekil 2.5. Kaplama durumu ve bakım onarım maliyet ilişkisi (FAA, 2014)

Şekil 2.5'ten de görüldüğü gibi, üstyapı performans durumu yavaş hızda azalırken belirli bir performans seviyesinden sonra, iyileştirilmediği takdirde performans durumunun düşüş hızı artmakta ve iyileştirme maliyeti de önemli ölçüde artmaktadır.



3. SSB YOL BOZULMALARI VE BAKIM ONARIM YÖNTEMLERİ

Tez çalışması kapsamında SSB yol üstyapı bozulma tipleri altı ana bozulma grubunda değerlendirilmiştir. Bunlar, yüzeysel bozulmalar, çatlaklar, yüzeysel çatlaklar, derz bozulmaları, şerit ve kenar bozulmaları ile diğer bozulmalar olarak adlandırılmıştır. Bu bölümün ilk kısmında SSB yollarda oluşan bu bozulmaların tanımı, olası oluşum nedenleri ve şiddet seviyelerine yönelik özellikler yer almaktadır. İkinci kısımdaysa SSB yollarda muhtemel uygulanabilir bakım onarım yöntemleri bulunmaktadır.

SSB yollarda oluşan bozulma tipleri ve uygulanabilir bakım onarım yöntemleri, 2019-2023 yılları arasında SSB yol üstyapı uygulamalarında yerinde çekilen kişisel arşiv fotoğrafları ile desteklenmiştir. Kişisel arşiv fotoğraflarının çekildiği yer ve dönemi fotoğraf alt yazılarında belirtilmiştir.

3.1. SSB Yol Üstyapı Bozulmaları

Bu kapsamda altı ana bozulma grubu altında SSB yol üstyapılarında yirmi farklı bozulma tipi incelenmiştir. Bu bozulmalardan, dört tanesi ülkemizde SSB yollarda yerinde yapılan detaylı incelemeler sonucunda belirlenmeye çalışılan sık olarak uygulamalarda gözlenen bozulmalardır. Bu bozulmalar, yüzeysel bozulma grubunda; segregasyon, derz bozulmaları grubunda; inşaat derzi parçalanması, şerit ve kenar bozulmaları grubundaysa; plak kenar sökülmesi ile şerit ve kenar kayması bozulma tipleridir.

3.1.1. Yüzeysel bozulmalar

Yüzeysel bozulmalar grubunda; agreganın cilalanması, kil topağı oyukları, agreganın sökülmesi, segregasyon (agrega ayrışması) ve sıkıştırma kaynaklı yırtılma olmak üzere beş farklı bozulma oluşumu araştırılmıştır.

Agrega cilalanması

Sürekli trafik yükü altında agreganın pürüzlülüğünü kaybetmesi sonucunda oluşan aşınmadır (Resim 3.1). Yol eğiminin yüksek olduğu SSB yol kesimlerinde bu aşınma daha sık gözlemlenmektedir. Agreganın cilalanmasının oluşum nedeni, tekrarlı trafik yükü olmakla birlikte cilalanmanın oluşum süresi agreganın aşınma direnci ile doğrudan ilişkilidir. Aşınma

direnci yüksek agregalar mikro dokusu sayesinde cilalanmaya karşı daha yüksek direnç göstermektedir.



Resim 3.1. Agreganın cilalanması örneği: Kars, Eylül 2021

Agreganın cilalanması şiddet seviyeleri: agreganın özellikleri ile ilişkili oluşan bir bozulma tipi olduğu için şiddet ayrımı yapılamamaktadır. Cilalanma oluşan kesimler performans değerlendirmesinde bölgesel olarak tanımlanabilmektedir (Miller ve Bellinger, 2014).

Kil toprağı oyukları

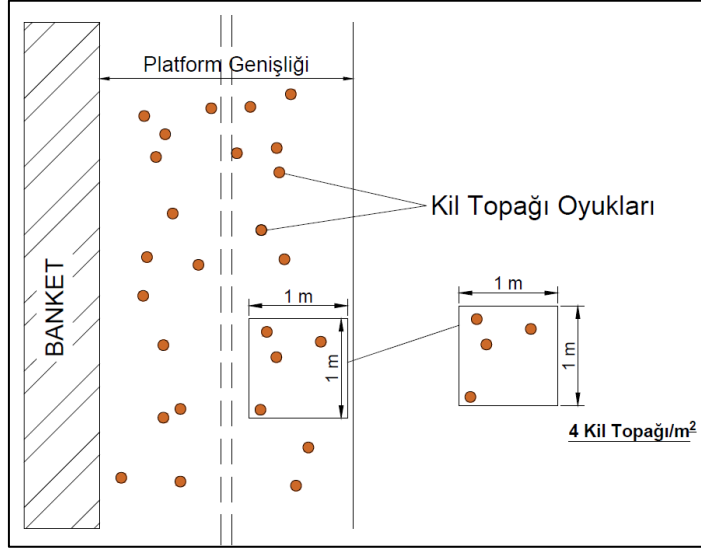
Yüzeyden ayrılan zayıf kaplama parçalarının oluşturduğu oyuk şeklindeki bozulmalardır. Oyukların çapı genellikle 25 ila 100 mm arasında olup derinliği ise 13 ile 50 mm arasında değişiklik göstermektedir (Resim 3.2).

Bu bozulma genellikle atmosferik şartlara sürekli maruz kalan yol betonunda, beton bileşeni olarak kullanılan agreganın içerisinde su ile şişen kil mineralleri (montmorillonit grubu killeri vb.) bulunması nedeniyle yaşanmaktadır.



Resim 3.2. Kil toprağı ve oyukları: Çankırı, Kasım 2020

Kil topağı oyukları şiddet seviyeleri: agrega özellikleri ile ilişkili oluşan bir bozulma tipi olduğu için şiddet ayrımı yapılamamaktadır (Miller ve Bellinger, 2014). Kil topağı oyukları, performans değerlendirmesi yapılırken, m^2 biriminde belirli bir alanda oluşan kil topağı sayısı tanımlanabilmektedir (Şekil 3.1).



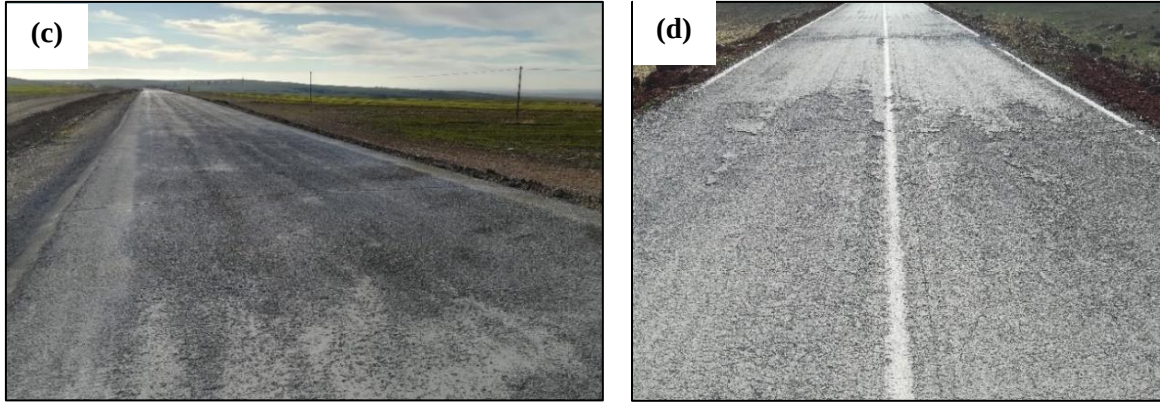
Şekil 3.1. Kil topağı oyukları (Kaşak ve Komut, 2019'dan düzenlenmiştir)

Agrega sökülmesi

SSB'nin bağlayıcılık özelliğini kaybetmesi nedeniyle plak yüzeyinden yaklaşık 3-13 mm arasında oluşan aşınmadır (Resim 3.3).

Genellikle işlenebilirlik özelliğini kaybetmiş betonun imalatı kullanılması veya SSB plağın uygun kür koşullarında muhafaza edilmemesi nedeniyle oluşur. Ayrıca, fazla silindiraj işlemi ve taze SSB yüzeyinin trafik ve suya maruz kalması da agrega sökülmesine neden olmaktadır.



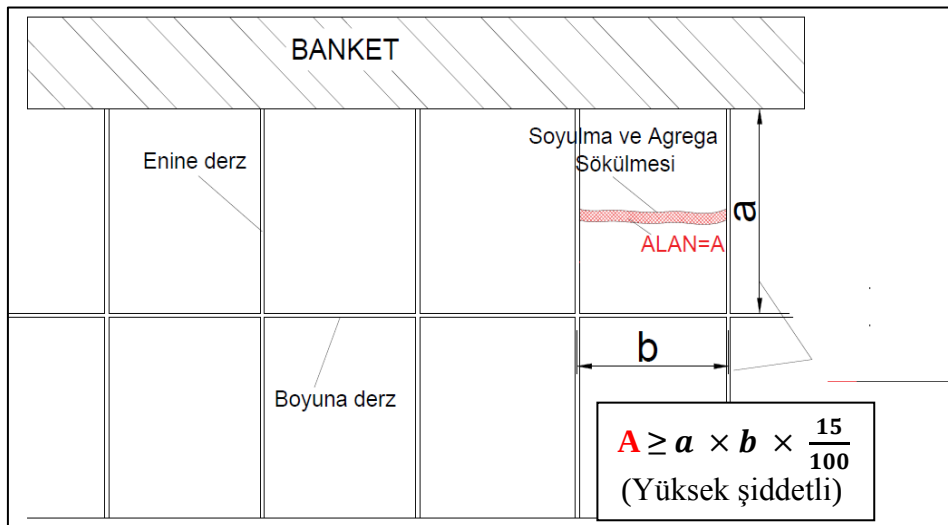


Resim 3.3. Agrega sökölmesi örnekleri: a) Karaman, Temmuz 2022; b) Çanakkale, Haziran 2022; c) Yozgat, Aralık 2021; d) Kars, Eylül 2021

Agrega sökölmesi şiddet seviyeleri:

- Düşük şiddetli agrega sökölmesinde plak yüzeyi iyi durumdadır. Detaylı incelendiğinde lokal sökölme belirlenebilir.
- Orta şiddetli agrega sökölmesinde bozulma plak yüzeyinin %15'inden az alanda bulunmaktadır.
- Yüksek şiddetli agrega sökölmesinde bozulma plak yüzeyinin %15'inden fazla alanda bulunmaktadır (ASTM D6433, 2023).

Agrega sökölmesinin şiddet seviyesi belirlenirken incelenen ano alanının %15'i ve agrega sökölmesi oluşan alan mukayese edilir. Şekil 3.2'de şiddet belirlenmesi için yapılan örnek hesaplama verilmektedir.



Şekil 3.2 Agrega sökölmesi (Miller ve Bellinger, 2014'ten düzenlenmiştir)

Segregasyon (agrega ayrışması)

Segregasyon, SSB karışımının bazı bölgelerinde daha iri agregaların bazı bölgelerindeyse ince agregalar ve çimento hamurunun yoğunlaşmasıyla karışımın homojenliğinin bozulmasını ve ayrışmaların gözlemlenmesini ifade eder (Resim 3.4). SSB tasarımının ve karışım gradasyonunun uygun olmadığı durumlarda (yetersiz ince malzeme içeriği, yetersiz çimento içeriği vb.) oluşmakta ayrıca SSB'nin santralde kamyonlara yüklenmesi, sericilere boşaltılması, serilmesi ve sıkıştırılması gibi imalat aşamalarında da segregasyon meydana gelmektedir. Segregasyon SSB yol üstyapılarında bölgesel olarak veya çizgisel olarak şerit boyunca oluşabilmektedir.

Bölgesel segregasyon bozulma örnekleri Resim 3.4, Resim 3.5 ve Resim 3.6'da verilmektedir. Çizgisel segregasyon bozulma örneği ise Resim 3.7'de verilmektedir.



Resim 3.4. Bölgesel segregasyon örneği: Yozgat, Aralık 2021



Resim 3.5. Bölgesel segregasyon örneği: Yozgat, Aralık 2021



Resim 3.6. Bölgesel segregasyon örneği: Bursa, Temmuz 2021



Resim 3.7. Çizgisel segregasyon örneği: Ankara, Mayıs 2022

Sıkıştırma kaynaklı yırtılma

İmalat doğrultusuna dik plak yüzeyinde paralel yırtılma şeklinde bozulmaların oluşmasıdır (Resim 3.8). Bu bozulma serme hızının yavaş olması, sıkıştırma işleminin tutarlı hızda yapılmaması, demir bandajlı silindir tamburunun uygun olmaması gibi imalat ve ekipman kaynaklı nedenlerle sıkıştırma işlemi sonrasında oluşmaktadır. Ayrıca, SSB karışımının kuru olması, ince malzemenin uygun olmaması gibi karışımla ilgili nedenlerden dolayı da oluşabilmektedir (Harrington ve diğerleri, 2010).



Resim 3.8. Sıkıştırma kaynaklı yırtılma (Harrington ve diğerleri, 2010)

Sıkıştırma kaynaklı yırtılma şiddet seviyeleri; imalat aşamasında oluşan lokal bozulmalar olup, şiddet seviyesi ölçülmemektedir. Performans değerlendirmelerinde mevcut olduğunu belirtmek yeterlidir.

3.1.2. Çatlaklar

Çatlaklar bozulma grubunda; köşe çatlağı, dayanıklılık çatlağı, doğrusal çatlak oluşumu ve plak bölünmesi olmak üzere dört farklı bozulma oluşumu araştırılmıştır.

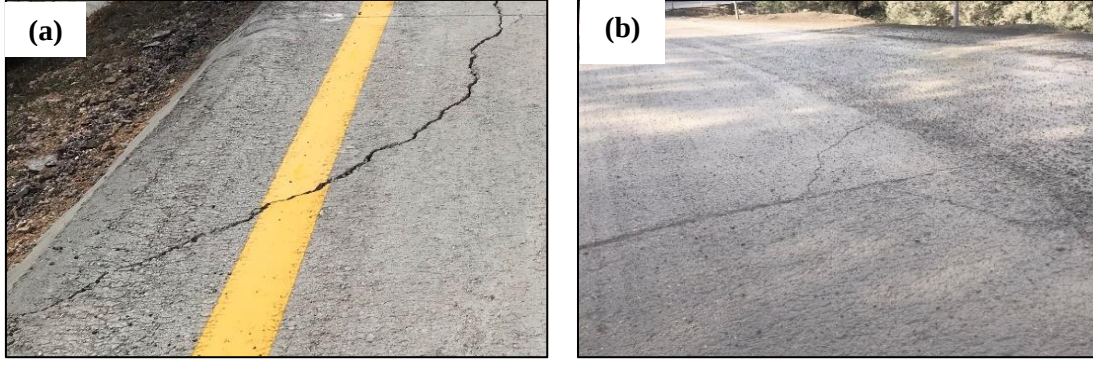
Köşe çatlağı

Köşe çatlakları, kontrollü derzleri yaklaşık 45 derecelik açıyla keserek, plak köşesinde oluşan çatlaklardır (Resim 3.9). Köşe çatlağı gelişimi çoğunlukla, zayıf temel desteği veya zayıf kenar desteğine sahip plak köşelerindeki tekrarlı trafik yükü etkisi nedeniyle oluşmaktadır (Harrington ve diğerleri, 2018).

Harrington ve diğerleri, 2018'e göre köşe çatlağı olası oluşum nedenleri;

- Zayıf enine derz yük aktarımı (çalışmayan etkisiz veya eksik enine derzler),
- Zayıf kenar desteği veya kenar desteğinin olmaması, şerit bağlantılarının olmaması,
- Pompaj etkisi, erozyon veya diğer mekanizmalar nedeniyle temel desteğinin kaybı,
- İlk yapım sırasında temel veya üstyapı tabanında homojen olmayan temel desteği,
- Üstyapı taban zeminlerinin hacim değişimi (büzülme, şişme ve don kabarması),

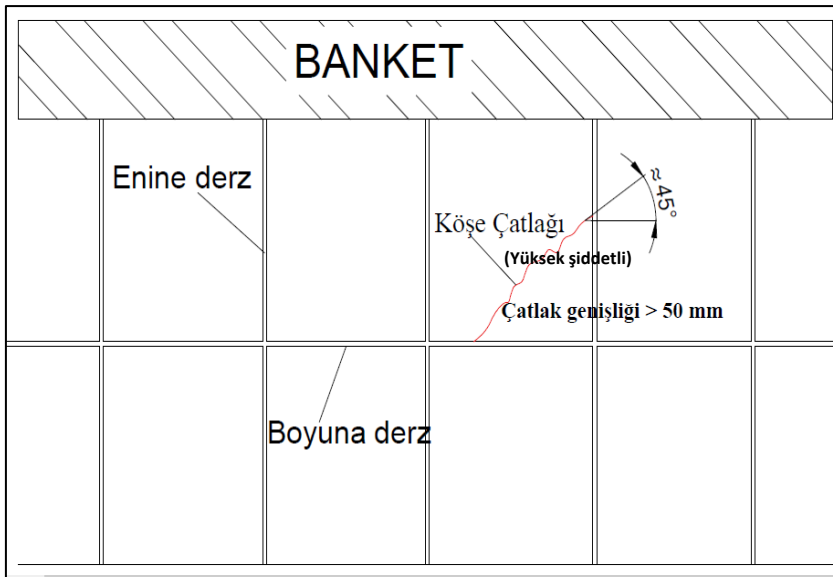
Bunlarla birlikte plağın üstü ve plağın tabanı arasında oluşan büzülme farklılığı, plağın üstü ve tabanı arasında kalıcı şekil değiştirmelere yol açarak plağın kıvrılmasına ya da burulmasına neden olur. Bu hareketler sonucunda plak köşelerinde oluşan gerilmeler karşılanmadığından dolayı da köşe çatlağı oluşumu görülmektedir (Harrington ve diğerleri, 2018).



Resim 3.9. Köşe çatlağı örnekleri: a) Kocaeli, Eylül 2022; b) Bilecik, Ocak 2023

Köşe çatlağı şiddet seviyeleri:

- Düşük şiddette bir köşe çatlamasında çatlak genişliği 13 mm'den küçüktür. Çatlak kenarları arasında kot farkı yoktur. Çatlak ve kontrollü derzler arasında kalan alan farklı parçalara ayrılmamıştır.
- Orta şiddette bir köşe çatlamasında çatlak genişliği 13 mm'den büyük 50 mm'den küçüktür. Çatlak kenarları arasında kot farkı oluşmuş ise 10 mm'den daha küçük çatlak genişliğine sahip köşe çatlakları da orta şiddetli olarak değerlendirilmektedir.
- Yüksek şiddette köşe çatlamasında Şekil 3.3'te de görüldüğü gibi çatlak genişliği 50 mm'den büyüktür. Çatlak kenarları arasında kot farkı oluşmuş ise 10 mm'den daha büyük çatlak genişliğine sahip köşe çatlakları yüksek şiddetli olarak değerlendirilmektedir (ASTM D6433, 2023).



Şekil 3.3. Köşe çatlağı (Miller ve Bellinger, 2014'ten düzenlenmiştir)

Dayanıklılık çatlağı

Dayanıklılık (D) çatlağı, iri agreganın donma-çözülme etkisi altında yapmış olduğu genişleme hareketiyle oluşan çatlak tipidir. Bu bozulma genellikle bir derz veya çatlağın yakınında derz ve çatlaklara paralel uzanan bir çatlak olarak ortaya çıkar (Resim 3.10).

Dayanıklılık çatlağının önlenmesi için tedbirler alınabilmektedir. Bu tedbirlerden biri donma-çözülme döngüleri sırasında plağın genişlemesine ve büzülmesine izin vermek için hava sürükleyiciler kullanılmasıdır. Bununla birlikte, donma-çözülme döngülerinde daha iyi performans gösteren agregaların seçilmesi veya agregaların tane boyutunun düşürülmesi gibi tedbirler alınabilmektedir. D çatlaması, yeterli miktarda ve boyutta D çatlamasına duyarlı agregalar içermesi ve betonun tekrarlanan donma ve çözülme döngülerine maruz kaldığı durumlarda meydana gelmektedir (Harrington ve diğerleri, 2018).



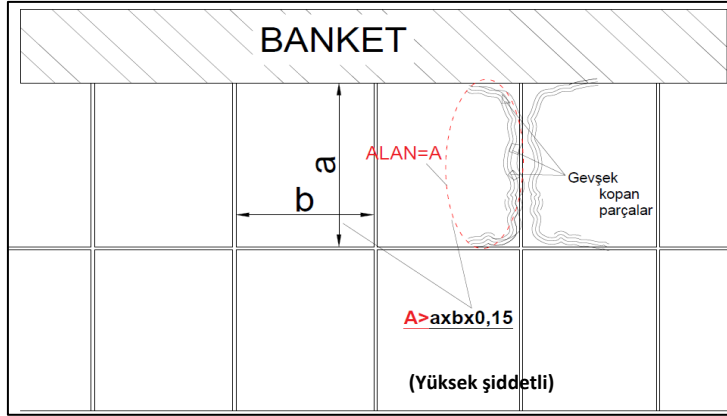
Resim 3.10. Dayanıklılık çatlağı (Harrington ve diğerleri, 2018)

Dayanıklılık Çatlağı şiddet seviyeleri:

Düşük şiddetli dayanıklılık çatlakları ilgili iki enine derz arasında kalan alanın %15'inden daha azını kaplar. Çatlaklar arasında kalan beton parçaları sıkı durumdadır.

Orta şiddetli dayanıklılık çatlakları ilgili iki enine derz arasında kalan alanın %15'inden daha azını kaplar. Çatlaklar arasında kalan beton parçaları gevşek durumdadır.

Yüksek şiddetli dayanıklılık çatlakları Şekil 3.4'te de verildiği üzere, ilgili iki enine derz arasında kalan alanın %15'inden daha fazlasını kaplar. Çatlaklar arasında kalan beton parçaları oldukça gevşek durumdadır (ASTM D6433, 2023).



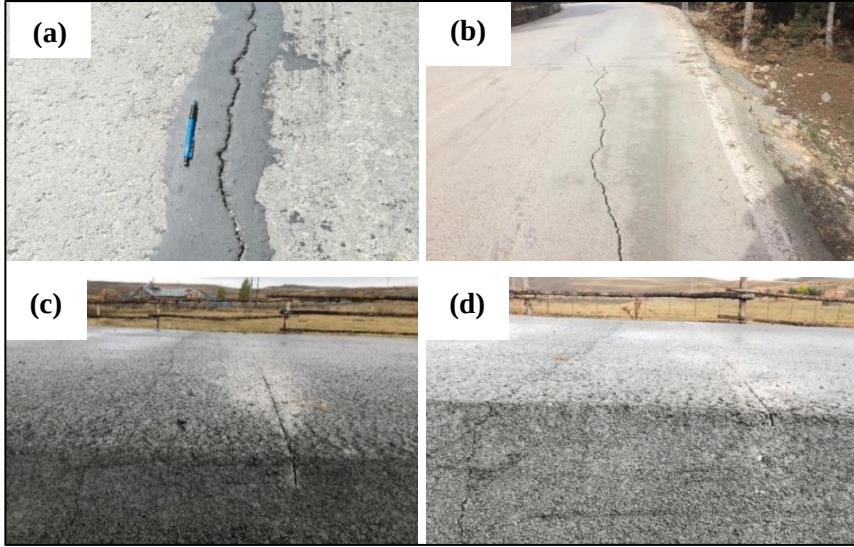
Şekil 3.4. Dayanıklılık çatlağı (Miller ve Bellinger, 2014'ten düzenlenmiştir)

Doğrusal çatlak oluşumu (enine, boyuna, çapraz)

Doğrusal çatlaklar, SSB plağı iki veya üç parçaya bölen ve genellikle yoğun trafik yükleri, termal burulma ve kıvrılma gibi etkenlerin birinden veya kombinasyonundan kaynaklanan bir bozulma tipidir (Resim 3.11). Dört veya daha fazla parçaya bölünmüş plaklar bölünmüş plak olarak sayılmaktadır. Öte yandan sadece birkaç metre uzunluğundaki ve tüm plak kalınlığında oluşmayan ince çizgi çatlaklar, rötre çatlakları olarak sayılır.

Beton plaklar doğası gereği zamanla büzülme eğilimindedir; ancak hareketlerinin kısıtlanmasından dolayı büzülemediklerinde doğrusal çatlaklar oluşur. Doğrusal çatlakların kontrol altına alınması ve plak hareketinin sağlanması için kontrollü derzler oluşturulur. Doğrusal çatlak oluşumu kontrollü oluşturulan derzlerle ve bu derzlerin özellikleri ile de doğrudan ilişkilidir. Kontrollü derzlerin, kesimine geç kalınması, yanlış doğrultuda ve boyutta oluşturulması doğrusal çatlak oluşumu nedenleri arasındadır. Ayrıca doğrusal çatlaklar, yetersiz plak kalınlığı, üniform olmayan kenar ve temel desteği ile trafik yüküne bağlı nedenlerden de oluşabilir (Harrington ve diğerleri, 2010).

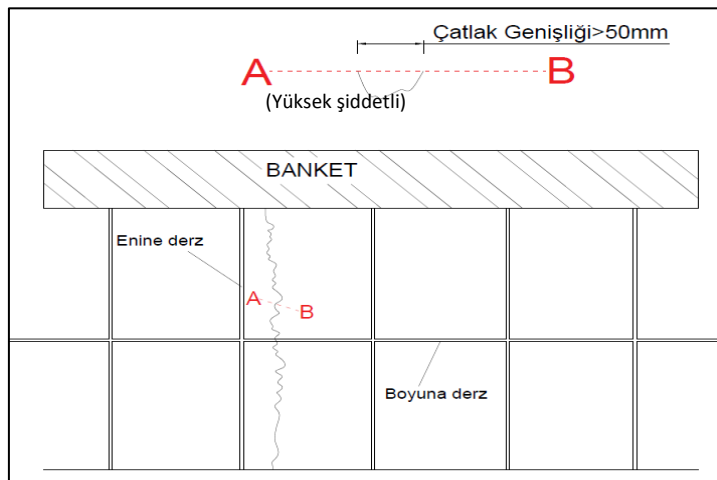
Resim 3.11(c)'de muhtemelen kontrollü derz kesimine geç kalınması nedeniyle oluşan bir doğrusal çatlak verilmektedir. Resim 3.11(d)'de ise muhtemelen kontrollü derz derinliğinin az olması sebebiyle ortaya çıkan bir doğrusal çatlak örneği verilmektedir.



Resim 3.11. Doğrusal çatlak oluşumu örnekleri: a) Ankara, Ağustos 2020; b) Bilecik, Şubat 2021; c) Kars, Ekim 2023; d) Kars, Ekim 2023

Doğrusal çatlak şiddet seviyeleri:

- Düşük şiddetli doğrusal çatlak genişliği 13 mm'ye eşit veya daha az olan derz dolgusuz doğrusal çatlaklardır.
- Orta şiddetli doğrusal çatlak oluşumunda çatlak genişliği 13 mm ve 50 mm arasında olan derz dolgusuz çatlaklar ile çatlak genişliği 10 mm'de az olan derz dolgulu ve kot farkı olan çatlaklar.
- Yüksek şiddetli doğrusal çatlak Şekil 3.5'te verildiği gibi genişliği 50 mm'den fazla olan derz dolgusuz doğrusal çatlak oluşumu veya çatlak genişliği 10 mm'den fazla olan derz dolgulu veya dolgusuz kot farkı olan çatlaklardır (ASTM D6433, 2023).



Şekil 3.5. Doğrusal çatlak (Miller ve Bellinger, 2014'ten düzenlenmiştir)

Plak bölünmesi:

Beton plağın çatlaklarla dört veya daha fazla parçaya bölündüğü bir bozulma tipidir (Resim 3.12).

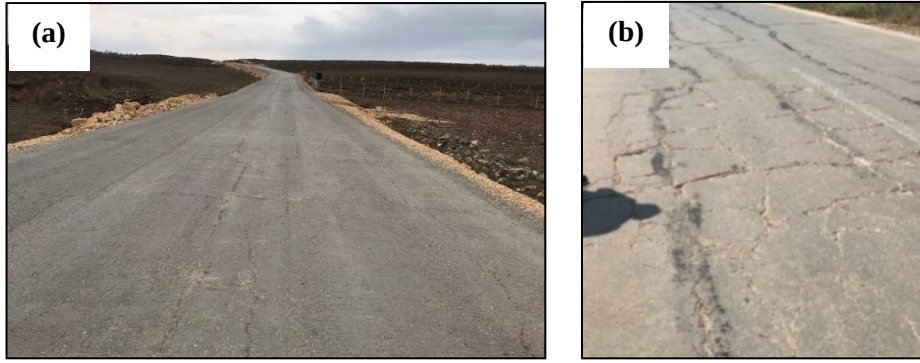
Plak bölünmesi, yetersiz zemin taşıma gücü, plağın aşırı yüklenmesi veya yetersiz plak kalınlığı nedeniyle oluşmaktadır (Titus-Glover ve diğerleri, 2019). Yüksek şiddetli plak bölünmesi, “Blok Çatlak” olarak da tanımlanmaktadır.



Resim 3.12. Plak bölünmesi örnekleri: Ankara, Ağustos 2022

Plak bölünmesi şiddet seviyeleri:

- Düşük şiddetli plak bölünmesinde plak 4 ila 8 parçaya bölünmüş, çatlakların genişliği 13 mm’ye kadar olan bozulmalar veya 4 ila 5 parçaya bölünmüş 13 ile 50 mm arasında çatlak genişliğindeki bozulmalardır. Ayrılan, bölünen parçalar hareket etmez (Resim 3.13).
- Orta şiddetli plak bölünmesinde plak 8’den fazla parçaya bölünmüş, çatlakların genişliği 13 mm’ye kadar olan bozulmalar veya 6 ila 8 parçaya bölünmüş, 13 ile 50 mm arasında çatlak genişliğinde olan bozulmalardır. Bunlarla birlikte 4 veya 5 parçaya bölünmüş 50 mm’den büyük çatlak genişliğindeki bozulmalar da orta şiddetli plak bölünmesi olarak adlandırılır. Ayrılan, bölünen plak parçaları hareket edebilir, ancak sökölme oluşmamaktadır (Resim 3.13).
- Yüksek şiddetli plak bölünmesinde plak 8’den fazla parçaya bölünmüş 13 ile 50 mm çatlak genişliğinde olan bozulmalardır veya 6’dan fazla parçaya bölünmüş 50 mm’den büyük çatlak genişliğindeki bozulmalardır (ASTM D6433, 2023; Pereira, 2014). Yüksek şiddetli plak bölünmesi örneği Resim 3.14’te verilmektedir.



Resim 3.13. Düşük ve orta şiddetli plak bölünmesi örnekleri: a) Van, Ekim 2021; b) Ankara, Ağustos 2022



Resim 3.14. Yüksek şiddetli plak bölünmesi: Ankara, Ağustos 2022

Resim 3.14'te de görüldüğü üzere yüksek şiddetli plak bölünmesinde ayrılan plak parçaları sökülmemektedir.

3.1.3. Yüzeysel çatlaklar

Yüzeysel çatlaklar grubunda, harita şeklinde çatlama ve büzülme çatlağı bozulmaları araştırılmıştır.

Harita şeklinde çatlama

Beton plağın üst yüzeyinde yer alan sığ, ince yani kılcal çatlaklardan oluşan bir ağı ifade etmektedir. Bu tip çatlaklar 120 derecelik açılarla kesişme eğilimindedir (Resim 3.15). Plak yüzeyinden yaklaşık 6 ila 13 mm derinliğe kadar oluşmaktadır. Harita şeklinde çatlama bölgesel olabilir veya beton plağın tüm yüzeyinde meydana gelebilir. Plakta enine büyük

çatlaklar varsa, harita şeklinde çatlama genellikle kaplamanın uzunlamasına yönünde oluşur ve enine veya gelişigüzel çatlaklarla bağlanır.

Çatlak ağı oluşumu genellikle SSB'nin uygun kıvamda olmamasından, fazla silindiraj yapılmasından, geç veya yetersiz kütleme işlemlerinden kaynaklanır (Harrington ve diğerleri, 2018).



Resim 3.15. Harita şeklinde çatlama: Çanakkale, Haziran 2022

Harita şeklinde çatlama şiddet seviyeleri:

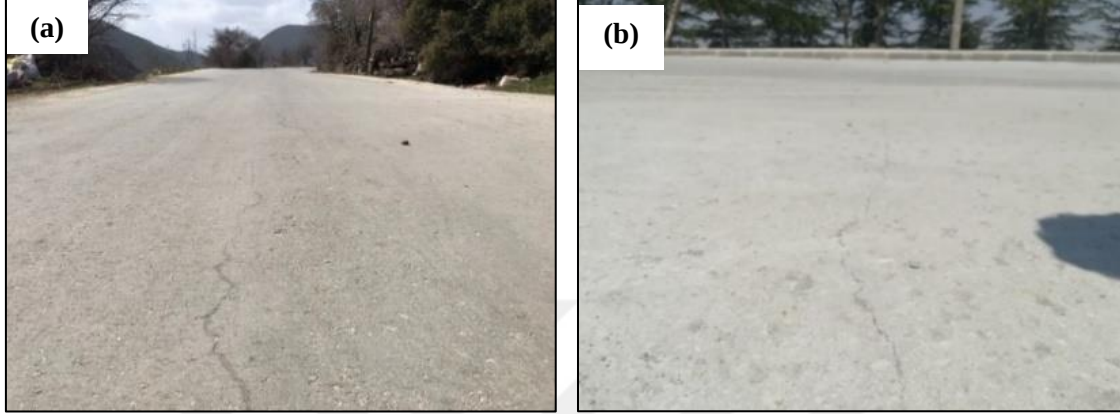
- Düşük şiddetli harita şeklinde çatlama yüzey iyi durumdadır. Detaylı incelendiğinde kılcal çatlaklar belirlenebilir.
- Orta şiddetli harita şeklinde çatlama yüzeyin %15'inden az alanda çatlak bulunmaktadır.
- Yüksek şiddetli harita şeklinde çatlama yüzeyin %15'inden fazla alanda çatlak bulunmaktadır. (ASTM D6433, 2023).

Büzülme çatlakları

Büzülme çatlakları, genellikle birkaç metre uzunluğunda olan kılcal çatlaklardır (Resim 3.16). Betonun priz alması veya kürlenmesi sırasında oluşurlar ve genellikle derinliği SSB plak kalınlığınca uzanmaz.

Plak yüzeyinden hızlı su kaybı betonda büzülme çatlaklarının gelişmesine yol açabilir. Düşük su muhtevası, imalat sırasında ve hemen sonrasında rüzgârlı hava koşulları ve doğrudan güneş ışığına maruz kalma gibi olumsuz hava koşulları altında uygun tedbirlerin alınmaması plak içerisinde hidrasyon için gerekli olan suyun yüzeyden hızlıca kaybına neden

olmaktadır. Büzülme çatlaklarının oluşumunda sık rastlanan sebeplerden biri de etkin kür işleminin yapılamamasıdır. Bunun yanı sıra su çimento oranı yüksek tasarımlar veya fazla miktarda çimento içeren karışımlar, büzülme çatlaklarının gelişmesine daha açıktır (Harrington ve diğerleri, 2018).



Resim 3.16. Büzülme çatlağı örnekleri: a)Burdur, Nisan 2022; b) Ankara, Ağustos 2021

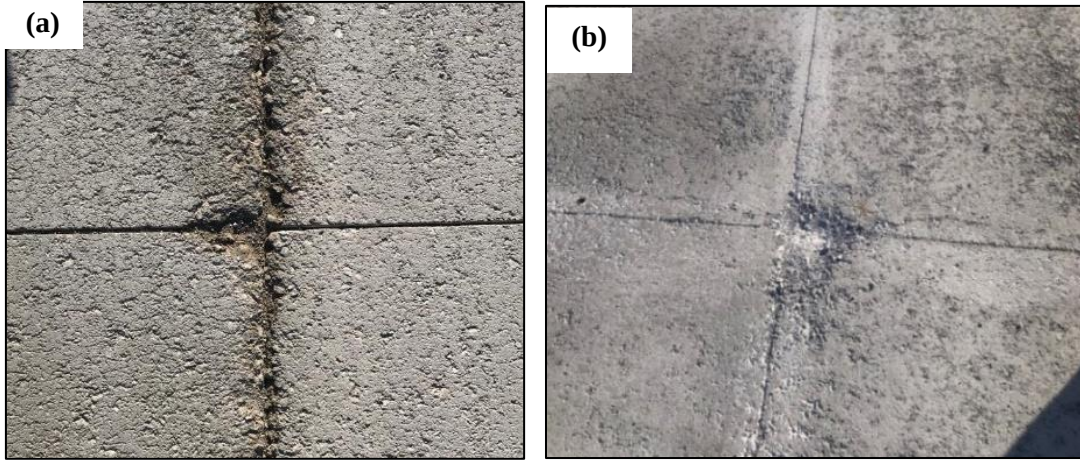
Büzülme çatlağı şiddet seviyeleri; yüzeysel kılcal çatlaklar olup, şiddet seviyesi ölçülmemektedir. Performans değerlendirmelerinde büzülme çatlaklarının mevcut olduğunu belirtmek yeterlidir.

3.1.4. Derz bozulmaları

Derz bozulmaları grubunda; derz köşe parçalanması, derz boyunca parçalanma ve inşaat derzi parçalanması olmak üzere SSB üstyapılarda kontrollü oluşturulan derzlerde meydana gelen üç farklı bozulma oluşumu araştırılmıştır.

Derz köşe parçalanması

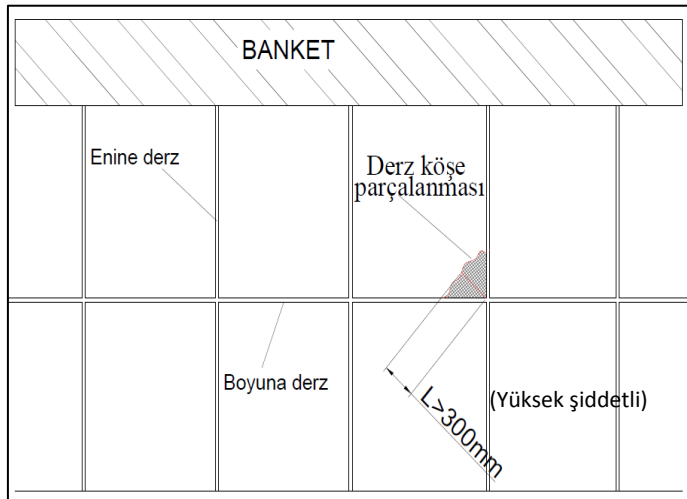
Derz köşe parçalanması, SSB plakta derzlerin kesiştiği noktadan yaklaşık 0,3-0,5 m uzaklıkta oluşan parçalanmadır (Resim 3.17). Kontrollü derzlerin erken kesilmesi, plağın erken dönemde donma çözülme döngüsüne maruz kalması ve durabilite çatlamlarından dolayı derz köşe parçalanmaları oluşabilir. Ayrıca, yanlış derz yerleşimi ve yoğun trafik yükü derz köşe parçalanmalarının oluşum sebepleri arasındadır.



Resim 3.17. Derz köşe parçalanması örnekleri: a) Antalya, Ocak 2022; b) Çanakkale, Haziran 2022

Derz köşe parçalanması şiddet seviyeleri:

- Düşük şiddetli derz köşe parçalanması, parçalanma derinliği 13 mm'ye eşit veya daha az olan bozulmalar veya derz köşesine uzaklığı en fazla 300 mm olan parçalanma derinliği 13 ila 50 mm arasında olan bozulmalardır.
- Orta şiddetli derz köşe parçalanması, derz köşesine uzaklığı 300 mm'den fazla olan ve parçalanma derinliği 13 ila 50 mm arasında olan bozulmalar veya derz köşesine uzaklığı en fazla 300 mm olan parçalanma derinliği 50 mm'den fazla bozulmalardır.
- Yüksek şiddetli derz köşe parçalanması, Şekil 3.6'da da çizimi verildiği üzere parçalanması derz köşesine uzaklığı 300 mm'den fazla ve parçalanma derinliği 50 mm'den büyük olan bozulmalar (ASTM D6433, 2023).

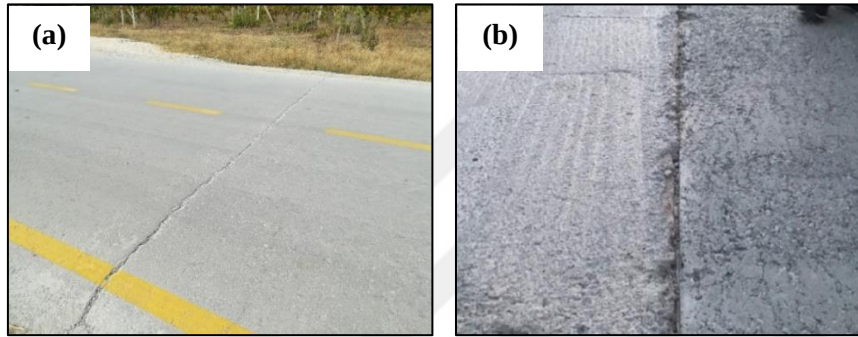


Şekil 3.6. Derz köşe parçalanması (Miller ve Bellinger, 2014'ten düzenlenmiştir)

Derz boyunca parçalanma

Kontrollü derzlerde veya derze yakın noktada plağın parçalanmasıdır. Derz boyunca parçalanma derzin tamamında veya derzin belli bir kesiminde meydana gelmektedir (Resim 3.18).

Genel oluşum nedenleri, yoğun trafik yükü ve iklimsel faktörler nedeniyle derzde aşırı gerilmeler oluşmasıdır. Ayrıca, derzde su birikmesi ve donma-çözünme etkisi de bu bozulmaun oluşumunda oldukça etkilidir (Harrington ve diğerleri, 2018).



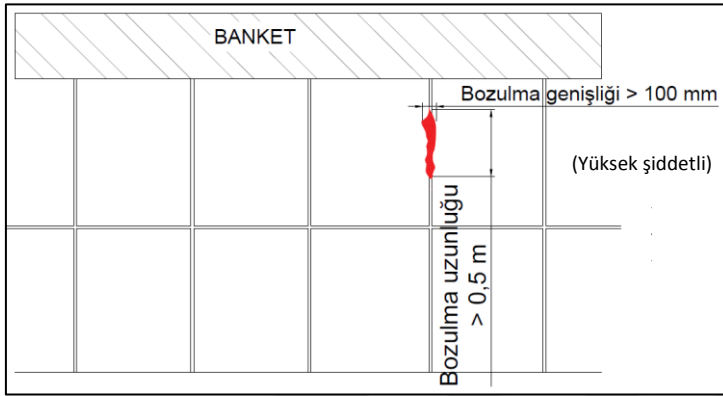
Resim 3.18. Derz boyunca parçalanma örnekleri: a) Kırıkkale, Eylül 2021; b) Aksaray, Ocak 2022

Derz boyunca parçalanma şiddet seviyeleri (ASTM D6433, 2023):

- Düşük şiddetli derz boyunca parçalanma koşulları listelenmektedir:
 - Parçaları sıkı kolayca çıkarılmayan tüm bozulmalar.
 - Bazı parçaları sökülen, bozulma uzunluğu 0,5 m'den küçük olan bozulmalar.
 - Parçalarının tamamına yakını sökülen, bozulma uzunluğu 0,5 m'den küçük olan ve parçalanma genişliği 100 mm'den az olan bozulmalar.
- Orta şiddetli derz boyunca parçalanma koşulları listelenmektedir:
 - Bazı parçaları sökülen, bozulma uzunluğu 0,5 m'den büyük bozulmalar.
 - Parçalarının tamamına yakını sökülen, bozulma uzunluğu 0,5 m'den büyük olan ve bozulma genişliği 100 mm'den az olan bozulmalar.
 - Parçalarının tamamına yakını sökülen, bozulma uzunluğu 0,5 m'den küçük olan ve bozulma genişliği 100 mm'den fazla olan bozulmalar.

- Yüksek şiddetli derz boyunca parçalanma koşulları listelenmektedir:
 - Parçalarının tamamına yakını sökülün, bozulma uzunluğu 0,5 m'den fazla olan ve parçalanma genişliği 100 mm'den fazla olan bozulmalar (ASTM D6433, 2023).

Şekil 3.7'de yüksek şiddette derz bozulması şematik olarak verilmektedir.

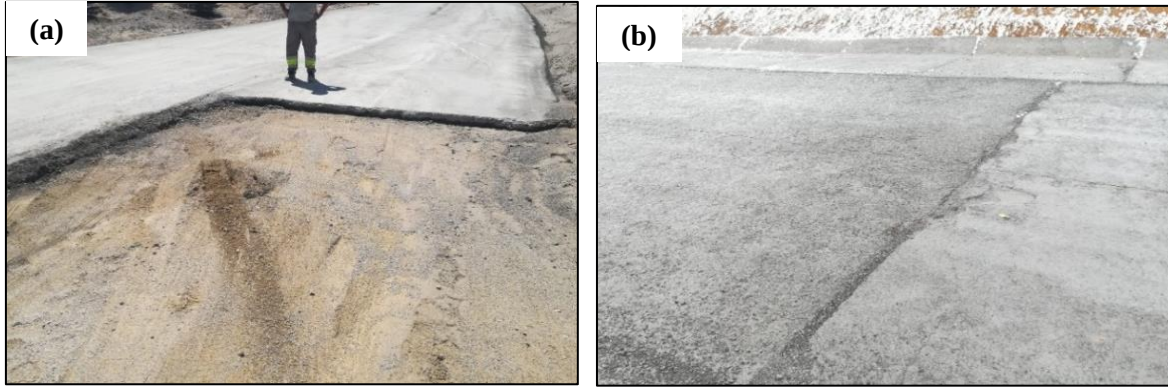


Şekil 3.7. Derz boyunca parçalanma (Miller ve Bellinger, 2014'ten düzenlenmiştir)

İnşaat derzi parçalanması

İnşaat derzleri, SSB'nin farklı zamanlarda farklı parçalar haline imalatının yapılması durumunda, bu farklı kesimler arasında oluşturulan planlı derzlerdir. İnşaat derzlerinin köşe ve kenarlarında agrega kopmaları ve parça sökülmesi şeklinde oluşan bozulmalar inşaat derzi parçalanması şeklinde tanımlanabilir (Resim 3.19).

İnşaat derzleri imalat aşamasında en çok hata yapılan bölgelerdir. Bu bölgelerde imalata devam edilmeden önce SSB plak kalınlığı boyunca dik olarak kesilmelidir. Kesilen derz yüzeyinin temizlenmesi ve nemlendirilmesi işlemlerinden sonra serime devam edilmesi gerektiğine dikkat edilmelidir. Genellikle uygun olmayan inşaat derzi imalatları nedeniyle bu kesimlerde bozulma, derzde köşelerinde kopma ve parça sökülmesi oluşabilmektedir. Bozulan inşaat derzlerinden su girişi olması ve donma çözülme etkisine maruz kalması durumunda inşaat derzlerinde kırılma ve parçalanmalar oluşmaktadır.



Resim 3.19. İnşaat derzi parçalanması örnekleri: a) Ankara, Ağustos 2021; b) Aksaray, Ocak 2022

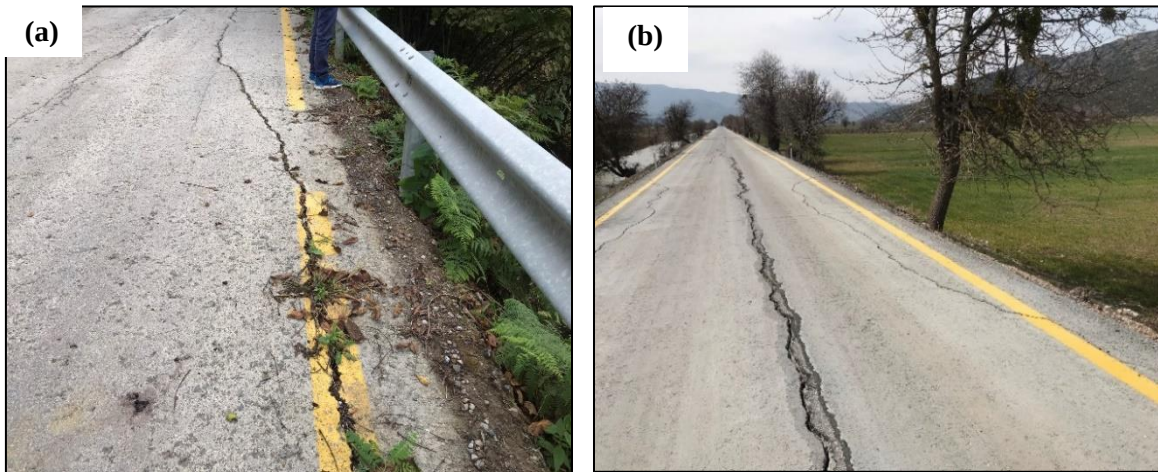
3.1.5. Şerit ve kenar bozulmaları

Şerit ve kenar kayması ve plak kenar sökülmesi olmak üzere, SSB üstyapılarda plak kenar bölgesinde oluşan iki farklı bozulma oluşumu araştırılmıştır.

Şerit ve kenar kayması

Kaplama kenarında ayrılma veya kayma nedeniyle oluşan, plak kenarına yakın çatlaklardır (Resim 3.20).

Bu bozulma şev stabilite problemi, banket seviyesinin ayarlamadan yol imalatının yapılması ve inşaat sırasındaki yetersiz sıkıştırma, banket erozyonu veya banket oturması gibi nedenlerden oluşmaktadır.

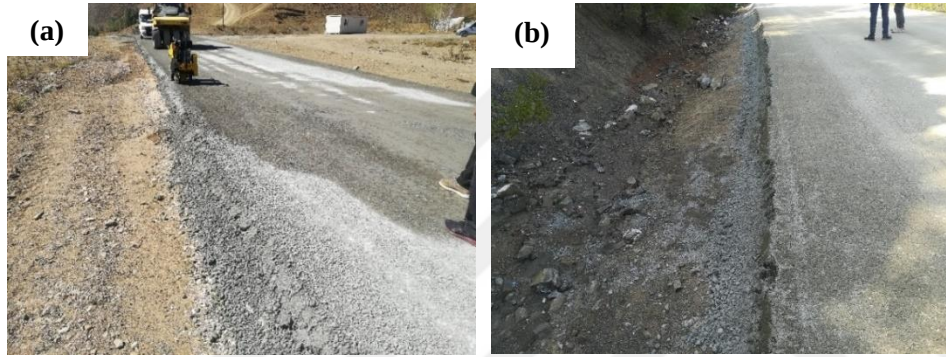


Resim 3.20. Şerit ve kenar kayması örnekleri: a) Kocaeli, Eylül 2022; b) Burdur, Nisan 2022

Plak kenar sklmesi

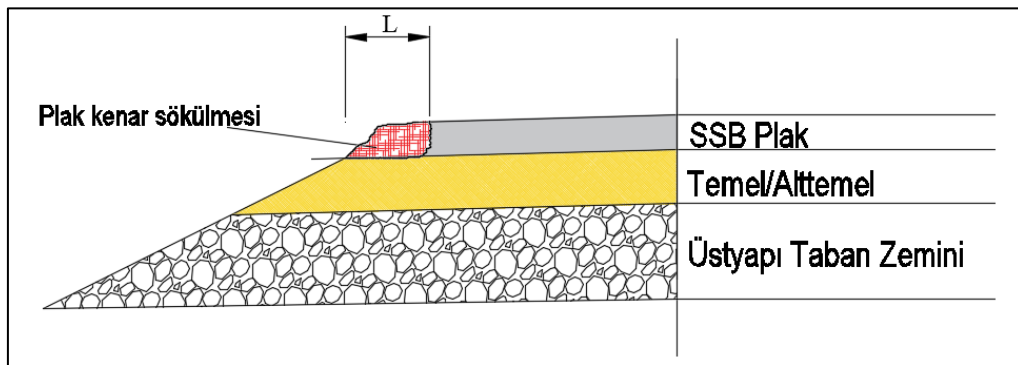
Plak kenar sklmesi, kenar desteği olmayan SSB yol uygulamalarında, SSB plak yan kısımlarında yer alan malzemenin yeteri kadar sıkıştırılmaması sonucunda serbest (sıkışmamış) durumdaki yan yüzeylerin trafik ve çevre koşulları altında parçalanması ve dökülmesi şeklinde oluşan bozulmadır (Resim 3.21).

Plak kenar sklmesinin nedenleri; kenar desteğinin olmaması, plak kenar kısımlarında yetersiz sıkışma ve doğru uygulanmayan kr işlemiyle trafik ve çevresel faktörlerdir.



Resim 3.21. Plak kenar sklmesi örnekleri: a) Sivas, Ekim 2022; b) Van, Ekim 2021

Plak kenar sklmesinin oluştuğu alanın belirtildiği en kesit şekli şekil 3.8'de verilmektedir.



şekil 3.8. Plak kenar sklmesi

3.1.6. Diğer bozulmalar

Basınç patlaması, yama ve yama bozulmaları, pompaj etkisi ve faylanma bozulmaları diğer bozulmalar başlığı altında incelenmiştir.

Basınç patlaması

Genellikle yaz aylarında oluşan bu bozulma, plağın genişlemesine izin verecek kontrollü derz eksikliğinde meydana gelir. Genleşmeden kaynaklanan basınç gerilmesi karşılanamadığında oluşmaktadır. Ayrıca, drenaj girişlerinde de basınç patlaması oluşmaktadır.

Patlamalar tipik olarak kaplamalarda enine çatlaklar veya kontrollü derzlerin bulunduğu kesimlerde oluşur. Plağın ısı genleşmesi, bu mekanizmayı harekete geçirmek için kritik öneme sahiptir. Isıl genleşme sadece kaplamanın sıcaklığına değil aynı zamanda kaplama içindeki neme de bağlıdır. Sıcaklık veya nemdeki artış veya düşüşler beton plakta aksel gerilmelere neden olmaktadır (Harrington ve diğerleri, 2018).

Özellikle görece soğuk (serin) havalarda imalat yapıldıktan sonra oluşan sıcak iklim koşulları altında oluşan bu bozulma, yetersiz kontrollü derzlerden dolayı plağın genişmesi mümkün olmadığı için oluşur. Genleşmeden kaynaklanan basınç gerilmesi karşılanmadığından, derzin yakınında plak kenarlarının lokalize bir yukarı hareketi sonucunda ortaya çıkmaktadır (Resim 3.22).



Resim 3.22. Basınç patlaması örnekleri: Sakarya, Mayıs 2022

Basınç patlaması şiddet seviyeleri:

- Düşük şiddetli basınç patlamasında, düşük düzeyde sürüş kalitesini etkiler.
- Orta şiddetli basınç patlaması, sürüş kalitesini etkiler ve yukarı yönde plakların hareketi sürüş sırasında araç içerisinde hissedilir.
- Yüksek şiddet basınç patlamasında, Resim 3.23'te verildiği üzere, SSB plak iki ayrı parçaya ayırmış ve ilgili kesimde yukarı yönlü hareket başlamış olup plak üzerinde geçiş yapılamaz durumdadır (ASTM D6433, 2023).



Resim 3.23. Yüksek şiddetli basınç patlaması örneği: Sakarya, Mayıs 2022

Yama ve yama bozulmaları

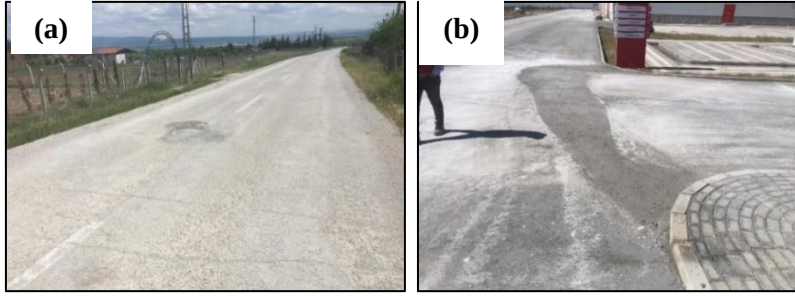
Yama, SSB kaplamada $0,1 \text{ m}^2$ 'ye eşit veya daha büyük bir alanın sökülerek yerine onarım yama malzemesi yerleştirilmesidir. Onarım malzemesi ve bu malzemenin plak ile birleşim kesimlerinde oluşan bozulmalara ise yama bozulması adı verilmektedir. Yama alanında oluşan destek kaybı, zayıf zemin koşulları, ağır yük tekrarları, nem ve termal genişmeden kaynaklanan gerilmelerin kombinasyonları onarım malzemesinde ve bu malzemenin plak ile birleşim kesimlerinde bozulmalara neden olabilmektedir.

Yama ve yama bozulması şiddet seviyeleri:

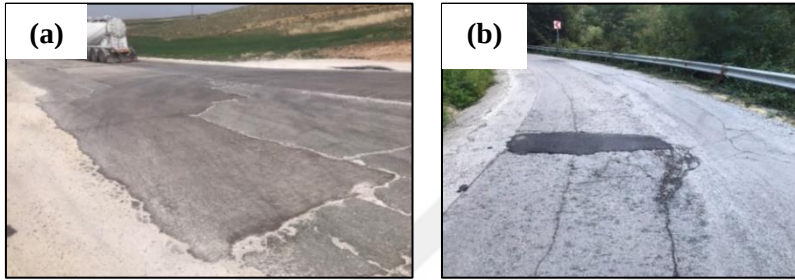
- Düşük şiddetli yama ve yama bozulması, yamada küçük bir bozulma haricinde herhangi bir bozulma yoktur ve kaplama ile yama arasında kot farkı oluşmamıştır (Resim 3.24).
- Orta şiddetli yama ve yama bozulması, yama yapılan alanda yama malzemesinde yer değiştirme ya da yama ve yama kenarlarında bozulmalar oluşmaktadır veya yama alanında 6 mm'ye kadar oturma vardır (Resim 3.25).
- Yüksek şiddetli yama ve yama bozulması, yamalarda bozulma (dağılma, parçalanma vb.) oluşmaktadır veya yama alanında 6 mm üzerinde oturma vardır (Miller ve Bellinger, 2014). Bozulma yolun konfor düzeyini oldukça etkiler (Resim 3.26).



Resim 3.24. Düşük şiddetli yama bozulması örnekleri: Ankara, Ağustos 2022



Resim 3.25. Orta şiddetli yama bozulması örnekleri: a)Ankara, Mayıs 2022; b) Malatya, Haziran 2022



Resim 3.26. Yüksek şiddetli yama bozulması örnekleri: a) Ankara, Ağustos 2022; b) Kocaeli, Eylül 2022

Pompaj etkisi

Üstyapı tabanında bulunan malzemenin su ile birlikte derzler veya oluşan çatlaklar yoluyla dışarı atılmasıdır (Resim 3.27). Pompaj etkisi trafik yükü altında plağın yapmış olduğu tekrarlı hareketten kaynaklanır. Su ve ince malzeme yük altındaki plaklar arasında hareket ederken, su plağın altına doğru sıkışır ve gerilmelere yol açar. Bu hareket, taban zeminini de aşındırır ve nihayetinde kaplama desteğinin kademeli olarak kaybolmasına neden olur. Bazı durumlarda pompaj etkisi ile beton plağın altında bulunan ince malzeme de sürüklenerek yüzeye çıkmaktadır (Resim 3.28).

Pompaj etkisinin ana nedeni plağın altında su birikmesidir. Bu bozulma, zayıf drenaj veya suyun alttaki malzemeye sızmasına izin veren çatlak ve derzler nedeniyle oluşmaktadır (Titus-Glover ve diğerleri, 2019).



Resim 3.27. Pompaj etkisi (Wu ve Mahdi, 2015)



Resim 3.28. Pompaj etkisi örneği: Kocaeli, Eylül 2022

Pompaj etkisi şiddet seviyeleri; pompaj etkisi sonucunda oluşan bozulma değişen iklim koşullarına göre oldukça farklılık gösterdiği için şiddet ayrımı yapılamamaktadır. Pompaj etkisi olan kesimler performans değerlendirmesinde belirtilmelidir (Miller ve Bellinger, 2014).

Faylanma

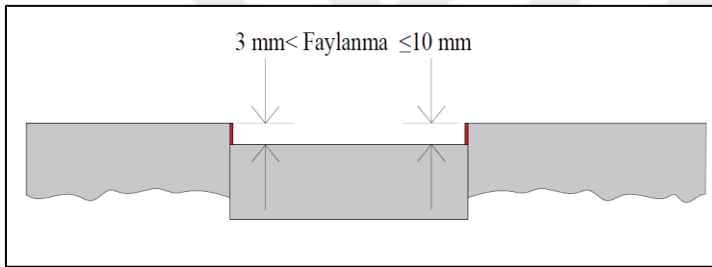
Çatla veya derz kenarları arasında kot (yükseklik) farkı oluşumudur (Resim 3.29). Başlıca oluşum nedeni SSB üstyapı tabanında zayıf zemin bulunmasıdır. Buna ek olarak plağın altında bulunan temel malzemesinin sürüklenmesi veya pompaj etkisi de oluşum nedenleri arasında yer almaktadır. İklimsel faktörlerden dolayı aşırı genleşme ve büzülme hareketi faylanma oluşumuna katkı sağladığı bilinmektedir (Christopher ve diğerleri, 2006).



Resim 3.29. Faylanma örnekleri: Burdur, Aralık 2021

Faylanma şiddet seviyeleri:

- Düşük şiddetli faylanmada çatlak kenarları arasında kot farkı oluşumu 3 ila 10 mm arasındadır (Şekil 3.9).



Şekil 3.9. Düşük şiddetli faylanma

- Orta şiddetli faylanmada çatlak kenarları arasında kot farkı oluşumu 10 ila 20 mm arasındadır.
- Yüksek şiddetli faylanma örneği Resim 3.30'da verilmektedir. Bu şiddet düzeyindeki faylanmada çatlak kenarları arasında kot farkı oluşumu 20 mm'den büyüktür (ASTM D6433, 2023).



Resim 3.30. Yüksek şiddetli faylanma örneği: Burdur, Aralık 2021

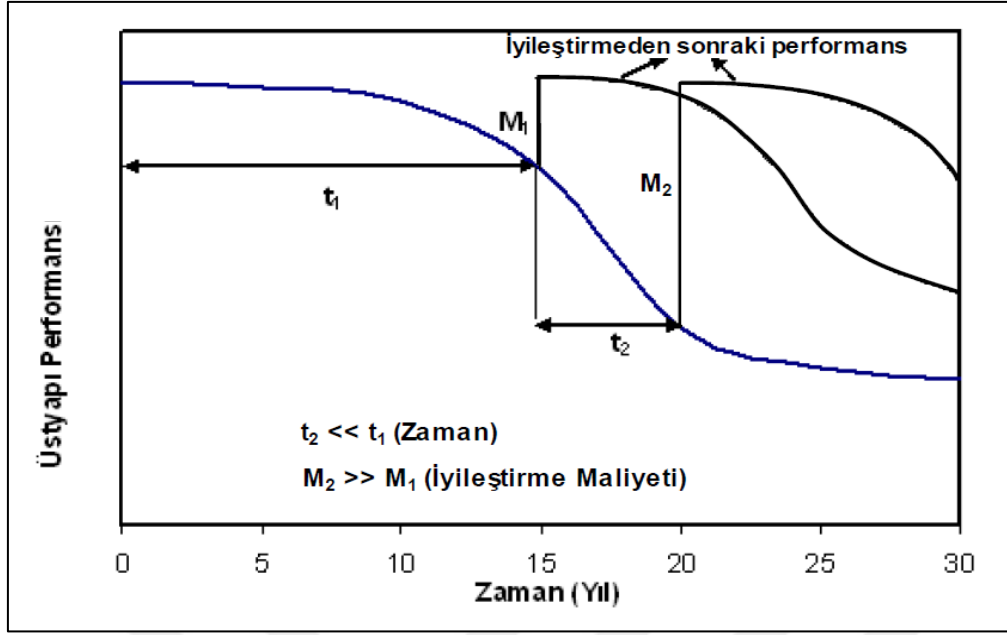
3.2. SSB Yol Üstyapı Bakım Onarım Yöntemleri

Yol üstyapısı yolun en önemli unsurudur ve yol kullanıcıları üstyapının kalitesinden doğrudan etkilenir. Bununla birlikte yol yapım maliyetlerinin de büyük bir kısmını yol üstyapısı oluşturmaktadır. Bu nedenlerle üstyapı tipinin seçimi, projelendirilmesi, yapımı ve bakımı son derece önemlidir. Bakım faaliyetlerinin uygun yöntem ve zamanlama ile belirli bir strateji içerisinde uygulanması yol kaynakların verimli kullanılması açısından son derece önemlidir. Bu bölüm kapsamında SSB yol üstyapısına ilişkin bakım onarım yöntemleri verilmektedir.

3.2.1. Bakım onarım stratejisinin oluşturulması

Servis kabiliyeti yol üstyapısının yol kullanıcılarına verdiği hizmetin bir göstergesi olup bu değer uygun seviyede tutulması amacıyla yolun proje ömrü boyunca planlanmış periyotlarda koruyucu periyodik bakım onarım faaliyetleri yapılmalıdır.

Bakım onarım faaliyetleri yoldan sağlanacak verimin artması için belirli bir strateji içerisinde yapılmalıdır. ŞekiB.10'dan da görüldüğü üzere üstyapı performansı önce yavaş hızda azalırken belirli bir bozulma seviyesinden sonra, onarılmadığı takdirde üstyapı performansı hızlıca düşerek yol kısa süre içerisinde ömrünü tamamlamaktadır. Dolayısıyla belirli seviyede yolun nispeten daha az bir maliyet ile onarılması mümkün iken, onarımın birkaç sene geciktirilmesi halinde, hızlı performans azalması nedeniyle onarım maliyeti büyük oranda artmaktadır (Sağlık ve Güngör, 2008). Bakım onarım faaliyetleri yoldan sağlanacak verimin artması için belirli bir strateji içerisinde yapılmalıdır. Bozulmaya başlamış yollarda, zamanında yapılmış iyileştirme programları, sınırlı kamu kaynaklarına kazanç sağlar.



Şekil 3.10. Bakım ve onarım zamanlaması maliyet etkisi (Sağlık ve Güngör, 2008)

Yapısal ve fonksiyonel durum verilerine bağlı olarak yolun mevcut durumunu ortaya koymak, uygulanacak bakım onarım stratejilerini belirlemek suretiyle yolda ne zaman nasıl bir müdahale uygulanacağını verimli olarak belirlenmesi amacıyla Üstyapı Yönetim Sistemleri (ÜYS) kullanılmaktadır. İyi bir üstyapı yönetim sistemi, doğru ve verimli bir üstyapı performansı ve tahmin modeli gerektirir. Üstyapı Yönetim Sistemleri (ÜYS), yolların mevcut durumunun belirlenmesi sonrasında, trafik, çevre ve iklim koşulları altında gelecekteki durumunu tahmin ile bakım onarım alternatifleri belirleyerek gerekli fayda-maliyet analizlerinin yapılması sonucu, en optimum çözümlerin saptandığı sistemdir (Hergüner, 2009).

Bu kapsamda, ülkemizde genellikle yerel yönetimlerin tercih ettiği üstyapı tipi olan, SSB kaplamalarda ÜYS sistemlerinin oluşturulması için düzenli üstyapı performans değerlendirmeleri yapılarak, bozulma, tipleri, özellikleri ve gelişimleri, belirlenerek, verimli bakım onarım stratejilerinin belirlenmesi faydalı olabilir. Bu kapsamda, beton yollarda bakım onarımla ilgili kaynaklar (Harrington ve diğerleri, 2018; Shahin, 2005; Smith ve diğerleri, 2022) esas alınarak SSB yol bozulmalarında değerlendirilebilir bakım onarım yöntemleri incelenmiştir.

Ek-1 bölümünde SSB yol üstyapı bozulmalarına yönelik muhtemel uygulanabilir bakım onarım yöntemleri verilmektedir.

3.2.2. Bakım yöntemleri

Çatlak dolgusu ve yalıtımı, yamalar, elmas taşlama, koruyucu yüzey kaplamaları, ankrajlar gibi bakım faaliyetleri, bozulma oranını yavaşlatarak kaplama ömrünü uzatmak için kullanılan tekniklerdir. SSB kaplamanın performansı, bu bakım tekniklerinin uygulama zamanlamasına, tipi ve kalitesine doğrudan bağlıdır. Bu bölüm kapsamında, SSB üstyapılarda oluşan bozulmalar için uygulanabilir bakım yöntemleri ve detayları verilmektedir.

Çatlak dolgusu ve yalıtımı

Üstyapı tabanına su sızması, temel desteğin zayıflamasına, pompaj etkisine ve köşe kırılmaları ile plak parçalanmasına neden olur. Çatlak dolgusu ve yalıtımı, kaplama temeline yüzey suyunun sızmasını engellemek ve çatlak şiddetinin artışını durdurmak için uygulanan bir bakım yöntemidir.

Derz çatlak onarım metodolojisi aşamaları aşağıda verildiği gibi sıralanabilir.

İlk aşamada, varsa eski dolgu malzemesinin sökülmesi: Derz veya çatlakların, köşe ve kenarlarına hasar verilmeden, mevcut eski dolgu malzemesi sökülür.

İkinci aşamada, şiddet ve yoğunluklarının belirlenmesi: Çatlak genişlikleri, faylanma miktarı ve çatlak sayısı belirlenir. Resim 3.31’de çatlak genişliği ve faylanmaya miktarının ölçümleri verilmektedir.



Resim 3.31. Çatlak şiddetinin belirlenmesi: Burdur, Aralık 2021

Üçüncü aşamada çatlak kanallarının oluşturulması: Çatlak dikey bir kazıyıcı kullanılarak genişletilir, keskin düzensiz çatlak kenarları düzeltilir. Bu aşamada beton plak parçalanacağı için döner darbeli bıçaklar kullanılmamalıdır (Resim 3.32).



Resim 3.32. Çatlak kanallarının oluşturulması: Eskişehir, Ekim 2021

Dördüncü aşamada çatlakların temizlenmesi: Çatlaklar basınçlı hava ve su ile temizlenir ve kuruması sağlanır (Resim 3.33).



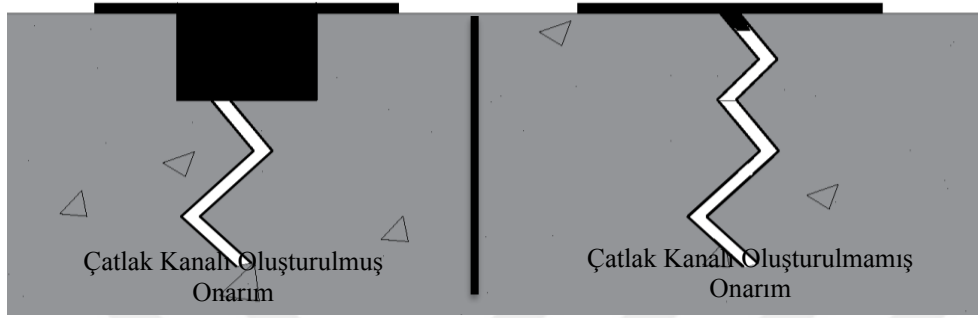
Resim 3.33. Çatlakların temizlenmesi: Eskişehir, Ekim 2021

Son olarak beşinci aşamada dolgu malzemesinin uygulanması: Dolgu malzemesi çatlak sınıflandırması ve uygulama özelliklerine göre farklılık gösterebilir (Resim 3.34).



Resim 3.34. Dolgu malzemesinin uygulanması: Eskişehir, Ekim 2021

Derz ve çatlak onarım işlemlerinin performansı, dolgu malzemesinin türü, onarım alanının boyutları, iklim koşulları ve imalatın kalitesine bağlı olarak önemli ölçüde değişmektedir (Smith ve diğerleri, 2022). Çatlak kanalı oluşturulduğunda derz dolgu malzemesinin etki yüzeyi uygulanamayan duruma nazaran çok daha fazla olmaktadır (Şekil 3.11).



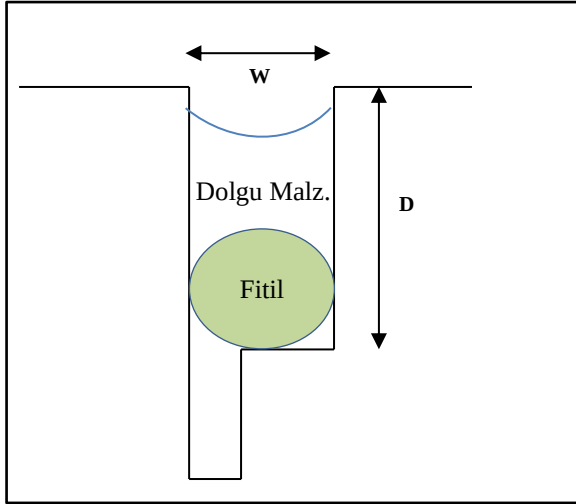
Şekil 3.11. Çatlak kanalı işlevi (Smith ve diğerleri, 2022'den düzenlenmiştir)

Çatlak genişliği ve derinliği uygulanacak dolgu malzemesine göre değişkenlik göstermektedir (Çizelge 3.1).

Çizelge 3.1. Çatlak onarımı şekil faktörleri (Smith ve diğerleri, 2022)

Dolgu Malzeme Tipi	Şekil Faktörü (W/D)
Sıcak uygulamalı (bitüm esaslı)	1:1
Soğuk uygulamalı (silikon esaslı)	2:1
Polisülfid ve Poliüretan	1:1

Çatlak genişliğinin derinliğe oranı şekil faktörü (W/D) olarak tanımlanmaktadır. Şekil faktörü parametreleri Şekil 3.12'de verilmektedir.



Şekil 3.12. Şekil faktörü parametreleri (Shahin, 2005'ten düzenlenmiştir)

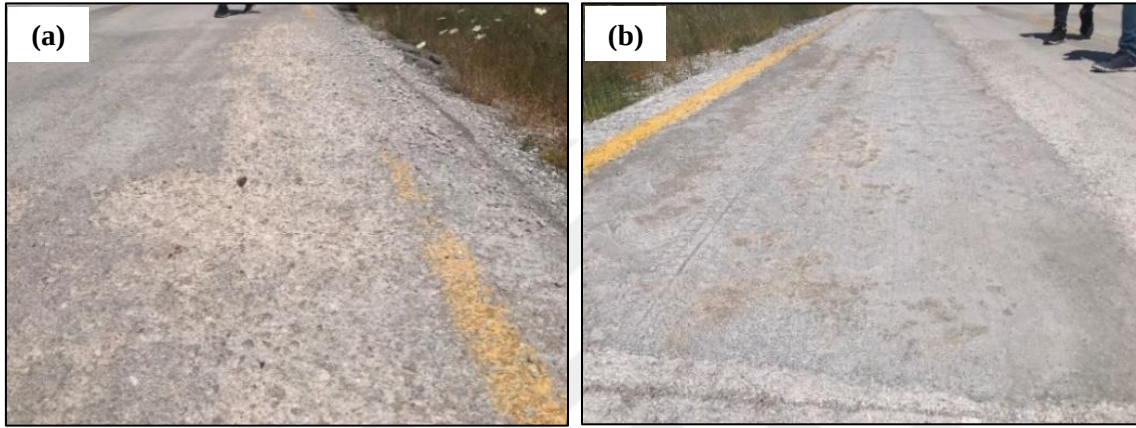
Shahin (2005) tarafından, çatlak genişliğine ve parçalanma miktarına bağlı olarak önerilen çatlak onarım prosedürü aşağıda verilmektedir.

- 3,2 mm'ye kadar çatlaklarda parçalanma yoksa onarım işlemine gerek yoktur.
- 3,2 mm'ye kadar çatlaklarda lokal parçalanma varsa çatlak kanalı oluşturmadan dolgu malzemesi ile onarılır.
- 3,2 mm ila 9,5 mm arasındaki çatlaklar için çatlak kanalı oluşturup dolgu malzemesiyle onarılır.
- 9,5 mm ila 19,1 mm arasında parçalanma olmayan çatlaklar için çatlak kanalı oluşturulur ve çatlak derinse bir fital kullanılarak onarım sağlanır.
- 9,5 mm ila 19,1 mm arasında parçalanma varsa; çatlak parçaları ile bir bütün olarak onarılır.
- 38,1 mm ve daha fazla çatlak genişliğinde oluşan çatlaklar, çalışan (hareketli) çatlaklar değilse, asfalt betonu kullanılarak geçici olarak onarımı sağlanabilir. Kalıcı bir onarım için tam derinlikte onarım sağlanmalıdır.

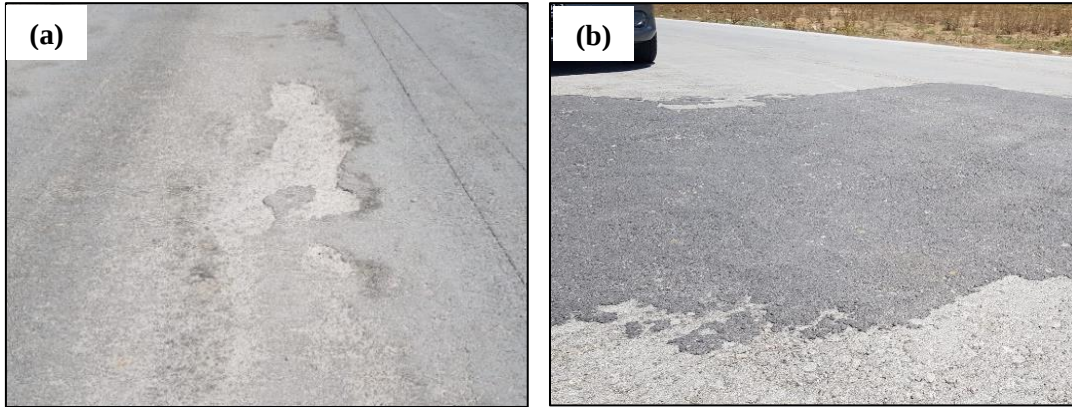
Yama bakımı

Yama bakımı, bozulmaların olduğu kısmi alanlarda, bozulan plağın kaldırılarak yerine yeni bir malzeme ikame edilmesidir. Kısmi derinlikte ve plak kalınlığınca olmak üzere iki şekilde uygulanabilir. Bozulma tip ve şiddetine göre yama malzemesi ve uygulama prosedürü değişmektedir.

Kısmi yamalarda yama malzemesinin alt tabakaya bağlanması için yeterli kütleyi sağlaması gerekir. Bu nedenle onarım en az 5,1 cm derinlikte olmalıdır. Maksimum kısmi derinlik kalınlığının plak kalınlığının 1/3'ü olması tavsiye edilir. Malzeme ile ilgili sorunların olduğu alanlar için 1/2 plak kalınlığı kullanılabilir. Yama alanının, temizlenmesi güçlü bir aderans için son derece önemlidir (Smith ve diğerleri, 2022). SSB yollarda, çimento esaslı ve bitüm esaslı malzemeler ile kısmi derinlikte yapılan yama örnekleri Resim 3.35 ve Resim 3.36'da verilmektedir.



Resim 3.35. Çimento esaslı malzemeyle kısmi derinlikte yama:
a) Yama öncesi; b) Yama sonrası



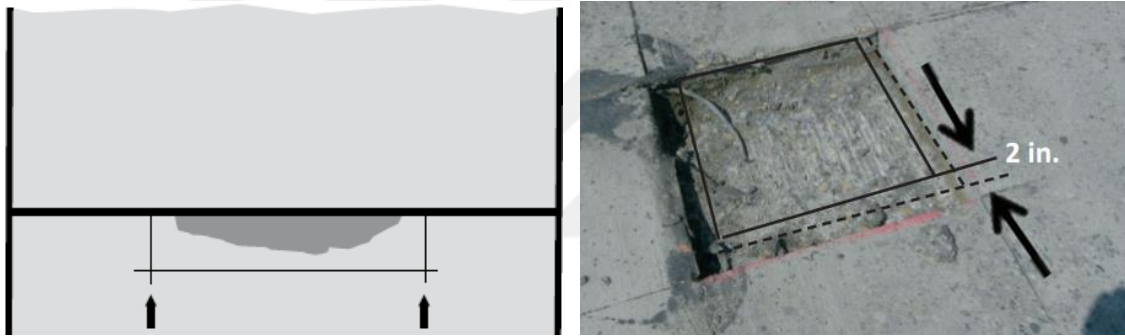
Resim 3.36. Bitüm esaslı malzemeyle kısmi derinlikte yama:
a) Yama öncesi; b) Yama sonrası

Yama onarım malzemesinde çatlakların oluşmasına neden olabilecek düzensiz şekillerden kaçınmak için onarım alanı aynı zamanda kare veya dikdörtgen şeklinde ve mevcut derz bulunuyor ise derz modeliyle aynı hizada tutulmalıdır. Ayrı yama onarım alanları birbirine 61 cm'den daha yakınsa, maliyetleri azaltmak ve çok sayıda küçük onarımı ortadan kaldırmak için birleştirilebilirler (Smith ve diğerleri, 2022).

Yamalarda, geleneksel beton ve SSB yanı sıra erken dayanımı yüksek özel çimentolar veya polimerik katkı malzemeleri içeren çeşitli malzemeler kullanılabilir. Ayrıca, çeşitli bitümlü karışımlar da yama uygulamaları için mevcuttur.

Smith ve diğerleri (2022) tarafından beton yollarda yama uygulanırken önerilen adımlar;

- Yama yapılacak kaplama yüzeyi kare veya dikdörtgen kesit oluşacak şekilde derz kesme makinesi ile kesilir. Kesme yüzeyi 30-60 derece açılı olabilir.
- Yama yapılacak yüzey tozdan ve yabancı maddelerden temizlenir.
- Yama uygulanacak yüzeyde çatlak mevcut ise çatlak usulüne uygun şekilde doldurulur.
- Yama malzemesi özelliklerine göre gerekirse yan yüzeylere astar malzemesi uygulanır.
- Yama malzemesi yerleştirilerek onarım tamamlanır.



Şekil 3.13. Yama alanı ve yüzeyi (Smith ve diğerleri, 2022)

Elmas taşlama

Elmas taşlama, yakın aralıklı dönen elmas bıçaklar kullanılarak mevcut beton yüzeyinden ince bir tabakanın çıkarılması işlemidir. Bu yöntem, kaplamada düzensizliklerin azaltılması ve bozulan kaplama yüzey dokusunu iyileştirmek için kullanılır.

Elmas taşlama yönteminden önce, çatlak ve yama bozulmalarının bakımlarının yapılması gerekmektedir. Bozulmaların şiddet seviyeleri artmadan önce elmas taşlama yapılmalıdır. Aksi halde taşlama pahalı olacaktır (Shahin, 2005).

SSB kaplamanın yüzeyi, geleneksel betonun yüzeyinden bir miktar farklılık göstermekte olup yüzey özellikleri bakımından daha ziyade asfalt kaplamalara benzer. SSB kaplamalar özel önlemler alınmadığı sürece, geleneksel beton kaplamalar gibi imalat sırasında yüzeye

doku verilecek kıvamda değildir; ancak geleneksel beton kaplamalar gibi elmas taşlama veya kanal açma yoluyla yüzey dokusu oluşturulmaktadır. Mikro freze makineleri düşük hızlı uygulamaların yüzey düzeltmesi için kabul edilebilirdir (ACR, 2014).

Elmas taşlamanın en büyük etkisi, kaplamanın sürüş konforunu artırmasıdır. Bununla birlikte, yüzey makro dokusundaki önemli artış ve bunun sonucunda gürültü azaltma gibi avantajları nedeniyle SSB kaplamalarda da tercih edilen bakım yöntemleri arasında yer almaktadır. SSB yollarda yapılan elmas taşlama ile ilgili çalışmalar incelenmiştir. Bu çalışmalara ilişkin bilgiler bu bölüm kapsamında verilmektedir.

SSB imalatından sonra yüzey elmas taşlanırsa agrega kaybı en aza indirilir. Elmas taşlama genellikle yol düzgünlüğünü artırmak ve istenen sürtünme özelliklerine sahip daha iyi yüzey dokusuna ulaşmak için tercih edilir (Zollinger, 2016).

Güney Karolina Ulaştırma Bakanlığı (SCDOT), bozulan bit asfalt yolun onarımında asfalt kaplamayı kazıp, yerine 10 inç (25,4 cm) SSB plak uygulamıştır. Sonrasında yüksek hızlı trafikte istenen sürüş kalitesini sağlamak için SDOT, elmas taşlama yöntemi uygulanmıştır. Taşlamadan önce, yeni inşa edilen SSB kaplamanın ortalama Uluslararası Pürüzlülük İndeksi (IRI) başına 100-120 inç/mil (1,58-1,90 m/km) düzeyindeydi. Elmas taşlama sonrasında, kaplama IRI'nın mil başına 50 ila 60 inç (0,79-0,95 m/km) aralığında olduğu belirlenmiştir (PCA, 2010).

Elmas taşlama genellikle plak kalınlığını 4 ila 6 mm azaltır. Beton dayanımındaki artış dikkate alınırsa, plak kalınlığındaki küçük azalmanın servis ömrü üzerinde ihmal edilebilir bir etkisi vardır. Aşırı pürüzlü veya çatlaklı tüm beton kaplamalar, elmas taşlama için uygun değildir. Elmas taşlama tek başına mevcut bozulmaları çözmek için yeterli olmayabilir. Pompaj etkisi, köşe kırılmaları, hareketli çatlaklar ve blok kırılmalar gibi yapısal bozulmaların, taşlama yapılmadan önce onarımı gerekmektedir (Correa ve Wong, 2001).

SSB, Amerika Birleşik Devletleri'nde birçok projede kullanılmakta ve kullanım oranı artmaya devam etmektedir. SSB imalatları artmaya devam ettikçe kullanılan teknolojiler de artışla birlikte gelişmektedir. Nem kaybını kontrol etmek için katkıların kullanılması, bitmiş yüzey görünümünü iyileştirmek için daha küçük kaba agrega kullanılması gibi karışım tasarımıyla ilgili gelişmeler meydana gelmiştir. Bunların yanı sıra yüzey düzgünlüğünü

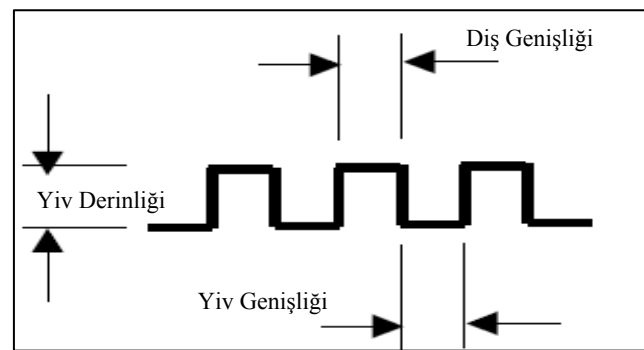
iyileştirmek, sürtünmeyi artırmak ve gürültüyü azaltmak için elmas taşlamanın kullanılması da artmaktadır. Son 10 yılda, SSB kaplamalarda nihai düzgünlüğü iyileştirmek ve kayma direnci artırmak için elmas taşlama veya kompozit kaplama kullanılmaya başlanmıştır. 2011'den bu yana incelenen proje sayısının %2'si elmas taşlama, %30'u SSB plak üzerine asfalt kaplamalı kompozit kaplama, %60'ı ise işlem görmeden SSB plak olarak kalmış olup %8'inde veri bulunmamaktadır (Zollinger, 2015).

Elmas taşlama yapılmış yüzeylerin geliştirdiği doku ve sürtünme, taşlama başlığındaki bıçak yerleşimine göre değişir. Bıçakların uygun şekilde yerleştirilmesi sürtünmeyi artırabilir ve yeni yüzeyin servis ömrünü uzatabilir. Bıçak yerleşimi, farklı agregalar için Çizelge 3.2'de verilmektedir.

Çizelge 3.2. Elmas taşlama doku boyutları (Correa ve Wong, 2001)

Özellik	Değer Aralığı	Sert Agreg	Yumuşak Agreg
Yiv Genişliği	2.0-4.0 mm	2.5-4.0 mm	2.5-4.0 mm
Diş Genişliği	1.5-3.5 mm	2.0 mm	2.5 mm
Yiv Derinliği	1.5 mm	1.5 mm	1.5 mm
Yiv sayısı/metre	164-194	174-194	164-177

Çizelge 3.2'den görüleceği üzere elmas taşlama için bıçak yerleşimi kalker gibi yumuşak agreg



Şekil 3.14. Tipik elmas taşlama dokusu (Correa ve Wong, 2001'den düzenlenmiştir)

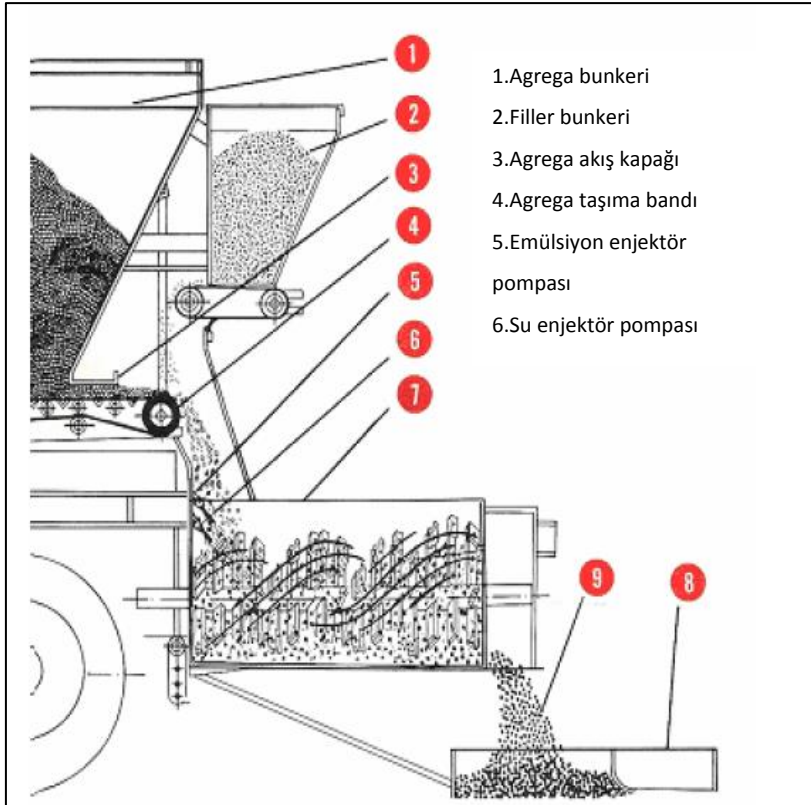
New South Wales (NSW) yol servis ve bakım otoritesi tarafından yayımlanan resmi dokümanda, elmas taşlama işlemi sonrasında beton plağın servis ömrünün azalması riskini düşürmek için azami toplam yiv derinliğinde, 10 mm'lik üst sınır vardır. Bu üst sınır, belirli

bir beton kaplama için mevcut koşullara bağlı olarak değiştirilebilir. Yaklaşık 180 mm'den daha az kalınlığa sahip beton plaklar için elmas taşlama, plağın servis ömrünün azalması riski nedeniyle önerilmez (NSW, 2016).

Koruyucu yüzey kaplamaları

Koruyucu yüzey kaplamaları, mevcut kaplamanın iyileştirilmesi amacıyla kaplama yüzeyinin yeni bir malzeme ile kapatılması işlemleridir. Bitümlü koruyucu yüzey kaplamaları arasındaki en belirgin farklar; kullanılan emülsiyon çeşidi, agrega türü, boyutları ve miktarıdır. Literatürde, rijit kaplamalar için mikro yüzey kaplama (microsurfacing) yönteminin daha yaygın tercih edildiği görülmektedir.

Mikro yüzey kaplama, mevcut kaplama yüzeyine su, asfalt emülsiyonu, agrega (genellikle ince boyutlarda), çimento ve kimyasal katkı maddelerinin bir karışımının uygulanmasından oluşur. Daha iyi karışım özellikleri sağlamak için asfalt emülsiyonuna genellikle polimer eklenir (Shatnawi, 2008). Oluşturulan mikro yüzey kaplama harcı mevcut yol yüzeyi üzerine bir dağıtıcı kutu üzerinden serbest şekilde akıtılarak uygulanmaktadır (Şekil 3.15).



Şekil 3.15. Mikro yüzey kaplama serim şeması (Oikonomou ve Eskioglou, 2007)

Serilen harç tipi karışımda, normal koşullar altında 1 saat veya daha kısa süre içerisinde su kaybederek kurlenir. Mikro yüzey kaplama mevcut kaplamanın taşıma gücüne herhangi bir katkı sağlamamaktadır. Kaplama yüzeyinin işlevini iyileştirici bir bakım yöntemi olarak uygulanır (Shatnawi, 2008).

Almanya’da Karlsruhe ve Frankfurt arasında kalan beton üstyapı kullanılan A5 otobanının Karlsruhe'ye yakın bir kesiminde ağır trafiğin hakim olduğu sağ şeritte mikro yüzey kaplama bakım işlemi yapılmıştır. Mikro yüzey kaplama, toplamda 25 kg/m² sarfiyat ile iki kat olmak üzere 40.000 m² alana 4 gün içerisinde uygulanmıştır. Yapılan bakım işleminin nedenleri, beton plak yüzey dokusunun kaybolması, sürtünme direncinin azalması ve düzgünsüzlük olarak sıralanmaktadır (Soliman, 2018).

Soliman (2018) tarafından, beton yolda yapılan mikro yüzey kaplama uygulama adımları ve detayları aşağıda verilmektedir.

- Beton yüzeyinin temizlenmesi: Öncelikle uygulama yapılacak yüzey süpürülmüş ve yüksek basınçlı su uygulanarak temizlenir.
- Mevcut derzlerin ve oluşan çatlakların bakımlarının yapılması
- Yapıştırma tabakası (tack coat) uygulanması
- Birinci kat mikro yüzey kaplama: Yapıştırma tabakası uygulanmasından hemen sonra 12-13 kg/m² sarfiyat ile harç serilip 18 tonluk lastik tekerlekli silindir ile sıkıştırma sağlanır.
- İkinci kat mikro yüzey kaplama: birinci kat mikro yüzey kaplama sıkışması tamamlandıktan 30 dakika sonra, yapıştırma tabakası uygulanmadan 12-13 kg/m² kullanım miktarında harç serilir, 18 tonluk lastik tekerlekli silindir ile sıkıştırma sağlanır.

Yapıştırma tabakasına, normalde ihtiyaç olmamakla birlikte, çok kuru yüzey uygulaması ile beton kaplamalar üzerine yapılan uygulamalarda harç tipi kaplamaların altında yavaş kesilen bitüm emülsiyonu ile yüzey durumuna göre 0,23 l/m² – 0,68 l/m² arası oranlarda yapıştırma tabakası (tack coat) uygulaması yapılmaktadır (Çalışkan ve diğerleri, 2021)

Ankrajlar

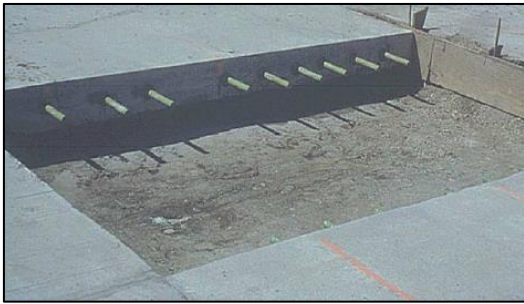
Ankrajlama, diğer beton yol tiplerinde olduğu gibi SSB Yollarda da kullanılan bir bakım yöntemidir. Özellikle şerit yenileme ve tam derinlikli plak onarımlarında tercih edilir.

Ankrajlama yönteminin temel amacı yenilenen kesimle mevcut kaplama arasında etkin bir yük transferi sağlamaktır. Ankrajlama uygulama örnekleri Resim 3.37 ve Resim 3.38’de verilmektedir.



Resim 3.37. Ankraj uygulaması (PIARC, 2013)

Onarım amacıyla beton plağın kesilen yüzü görece pürüzsüz bir yüzey olduğundan, yapılan yama ile kesilen plak kesimi arasındaki yük aktarımı donatı çeliği ve taban desteği sayesinde gerçekleştirilir. Bu nedenle, mevcut plak kesiminin kesilen yüzeyinde doğru tasarlanmış ve uygulanmış bir delme ve epoksileme işlemi donatı çubuklarının uygun şekilde yerleştirilmesi açısından çok önemlidir. Saha araştırmaları, başarısız olan yama çalışmalarının önemli bir kısmında donatı çubuğu ile beton arasında oluşan yetersiz bağ eksikliğinin önemli rol oynadığını göstermektedir (PIARC, 2013).



Resim 3.38. Ankraj uygulaması (PIARC, 2013)

Ankrajlama işleminde dikkat edilmesi gereken ilk adım mevcut beton kaplamaya bağlanacak donatı çubuklarının yerleştirileceği deliklerin düşey düzlemde mevcut kaplamanın plak kalınlığının yarısında açılması gerektiğidir. Delikler yatay düzlemdeyse belirlenen bakım/onarım projesine uygun aralıklarla açılmalıdır (PIARC, 2013).

Beton yollarda yapılan ankrajlama çalışmalarında genellikle delik çapı 27 mm seviyesindedir. Bu çapın daha geniş olması donatıların düşey düzlemde istenmeyen

hareketine ve eğilmesine yol açacağı için özellikle kaçınılması gereken bir hatadır. Genellikle delik çapı için ± 1 mm tolerans payı kabul edilebilir. Ankrajda kullanılan donatı çubuklarının çapı genellikle 20 mm seviyesinde olup boyları projesinde bağlı olarak azami 650 mm seviyelerindedir.

Ankrajlama işleminde sökülen beton plak kesiminin altında yer alan temel tabakası incelenmeli ve ihtiyaç halinde gerekli onarımlar yapılmalıdır. Bu sayede yeni kesim üzerinde herhangi bir yansıma çatlağı oluşumu engellenir. Ayrıca yeni beton kesiminin bağlanacağı mevcut beton plak yüzeylerinin tamamen dik şekilde ve herhangi bir girinti/çıkıntıya mahal vermeyecek şekilde özenle kesilmesine önem verilmelidir. Gerekli durumlarda iki plak arasında geosentetik kullanılması da değerlendirilmelidir (PIARC, 2013).

3.2.3. Onarım yöntemleri

Onarım (rehabilitasyon), mevcut bir kaplamanın yapısını önemli ölçüde etkileyen ve bozulma sürecini büyük ölçüde durduran işlemdir. Örnek olarak, bir SSB üstyapının proje ömrü ortasında %10 plak bozulma oranınca bozulması sonucunda, bozulan %10'luk üstyapı kesiminin kaldırılması ve ilgili kesimin yeniden inşa edilmesi düşünülebilir. Bu bölüm kapsamında, SSB üstyapıların servis kabiliyetini önemli oranlarda kaybetmesi sonucunda muhtemel uygulanabilir onarım yöntemleri ve detayları verilmektedir.

Yeniden yapım

Belirli plak bozulma oranınca, servis kabiliyetini yitirmiş SSB plaklarda uygulanan bu yöntem ilgili bozulma oranı oluşan plak kesiminin sökülüp yeniden inşa edilmesini kapsamaktadır. Kaplamanın ve alt tabakalarının yenilenmesi ve sadece kaplamanın yenilenmesi olmak üzere iki farklı şekilde yapılmaktadır.

Sadece kaplamanın yenilenmesi durumunda beton yol üstyapı projelendirme rehberlerindeki kriterler gereğince mevcut üstyapı temel veya alttemel olarak kabul edilebilir (Kaşak ve Komut, 2019).

Yeniden yapım, bozulmaların bakım veya onarım önlemleri ile giderilemediğinde gereklidir. Özellikle yetersiz taşıma kapasitesinden kaynaklanan bozulmalar olduğunda yeniden yapım gerekli hale gelir. Yeniden yapımı gerçekleştirmeden önce, alt tabakanın, tabanın veya

yüzeyin iyileştirilmesinin gerekli olup olmadığı ve drenaj sisteminin işlevselliğinin ne ölçüde olduğu kontrol edilmelidir. Eğimlerde değişiklik yapılması gerekiyorsa, bu değişiklik yenileme sırasında yapılabilir. Yeniden yapım aşamasında yeni beton tabakasının kalınlığı doğru belirlenmelidir. Her durumda, temel tabakası tipi, mevcut üstyapı kalınlığı, mevcut üst yapının durumu dikkate alınmalıdır (PIARC, 2013).

Yeniden yapım uygulanan SSB kaplamalarda oluşan çatlakların çatlak dolgu malzemesi ile usulüne uygun bir şekilde doldurulması sonrasında mevcut SSB kaplama temel kabul edilerek üzerine yeni kaplama yapılması durumunda ara yüzeyde geosentetik kullanılabilir. Bu amaçla kullanılan geosentetik alt grubu genellikle geogridlerdir. Mevcut kaplamada oluşan çatlakların üst tabakalara yansımaları geciktirmek amacıyla uygulanmaktadır.

Geri kazanım metotları

Üstyapıların geri dönüşümü, mevcut bozulmuş bir üstyapının modifiye edilerek gereksinimleri karşılayabilecek bir yapıya dönüştürüldüğü tekniklerdir. Daha spesifik olarak, mevcut kaplamadaki malzemelerin yeni bir katmanın inşası için yeniden kullanılmasını kapsamaktadır. Geri kazanım işlemi; agreganın kabul edilebilir bir kaynaktan kırılması, çıkarılması ve tekrardan işlenerek geri dönüştürülmüş agrega (GDA) olarak üretimde kullanılması işlemlerinden oluşmaktadır. Beton geri dönüşümü için yerinde geri dönüşüm (Resim 3.39) ve stoklanarak geri dönüşüm olmak üzere iki farklı yöntem bulunmaktadır.

GDA, yolun veya banketlerin bir alt temel tabakasında kullanılacağı zaman, yerinde bir beton geri dönüşüm treni kullanılarak üretim gerçekleştirilebilir. Bu tür sistemlerde tipik olarak, yerinde geri dönüşüm için özel olarak uyarlanmış ve paletlere monte edilmiş birincil ve ikincil kırıcılar kullanılır (ACPA, 2009).

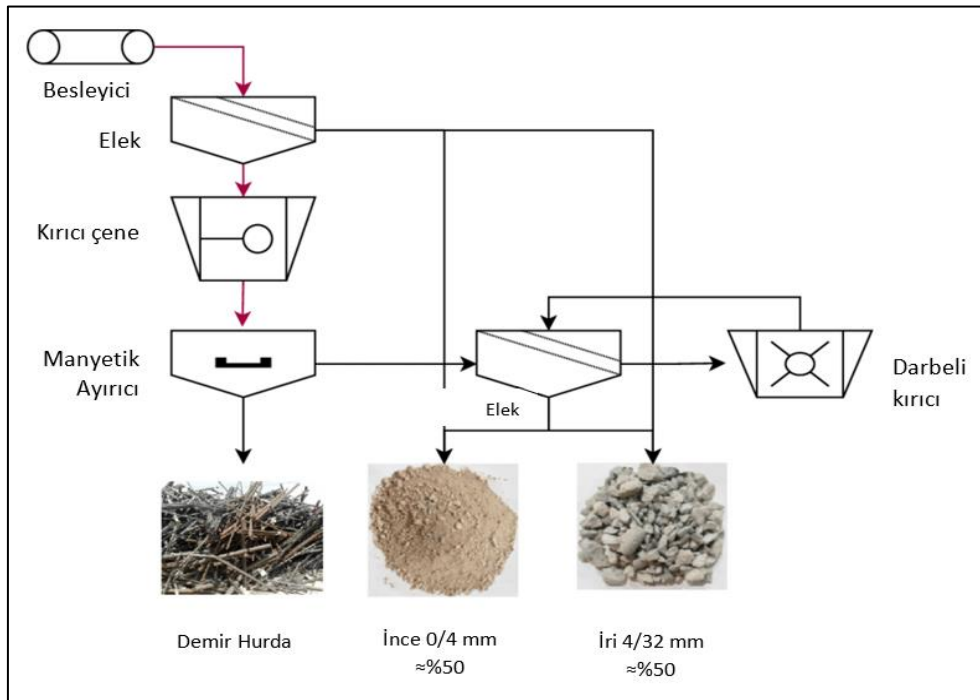


Resim 3.39. Yerinde geri dönüşüm (Snyder ve diğerleri, 2018)

Kaplamanın yerinde geri dönüşüm tekniği, mevcut kaplama tabakasının bulunduğu yerde kazıyıp öğütmeyi, çimento ve gerektiğinde su ile karıştırmayı içermektedir. Çimento ile optimum karışım sağlayacak agrega granülometrisi elde etmek için gerektiğinde ilave agrega katılabilmektedir. Bu yöntem, tali yolların yenilenmesi açısından çok uygun bir teknik olduğu değerlendirilmektedir (Snyder ve diğerleri, 2018).

Lopez-Uceda ve diğerleri (2016) tarafından SSB GDA kullanımına yönelik yapılan çalışmada, çimento 175 kg/m³'lük dozajda, iri agrega yerine %100 GDA ikamesiyle oluşturulan SSB karışımının, kırsal alanlar gibi düşük yoğunluklu trafiğe sahip bölgelerde SSB üstyapı kaplaması olarak kullanılması önerilmiştir. Ağır taşıtların bulunduğu yol kaplamalarındaysa kaplamanın alt tabakalarında kullanılması tavsiye edilmiştir. Daha yüksek taşıma gücü gereklilikleri olan yollarda ise yaklaşık 250 kg/m³ dozajda ve %50 GDA oranıyla SSB kaplama yapılması önerilmiştir.

GDA, stabilize edilmemiş yoğun gradasyonlu alttemel uygulamaları için etkili ve ekonomik bir malzemedir. Düzgün derecelendirildiğinde stabilite sağlar. Ek olarak, ince GDA, ikincil çimentolaşma etkisi sayesinde genellikle alt temel katmanını daha da güçlendiren ve rijit olmasını sağlayan özelliktedir (Snyder ve diğerleri, 2018). Genel kapsamda, GDA ayrışım şeması Şekil 3.16'da verilmektedir.



Şekil 3.16. GDA üretim süreci (Villagrán-Zaccardi ve diğerleri, 2022)

GDA, hemen hemen her türlü geleneksel agreganın yerine geçecek şekilde üretilebilir ve geri kazanılmış harcın kimyasal ve bağlayıcı özellikleri nedeniyle, GDA ayrıca bazı ek uygulamalarda da kullanılabilir. Bunlardan bazıları, zemin stabilizasyonu, boru yatağı, peyzaj malzemeleri, üstyapı dolguları, temel ve alttemel malzemeleri, demiryolu balastı, tarımsal toprak işlemleri, göl sularının arıtılması, beton karışımları, erozyon kontrol yapıları ve istiridye yatakları oluşturmak için yapay resif oluşturma gibi uygulamalardır (ACPA, 2009).

Üretilmekte olan GDA'nın yeni bir beton karışımında kullanılması düşünülecekse, üretim süreci boyunca kirletici maddelerin girme potansiyelini en aza indirmek gerekir. GDA'da bulunan veya karışan kirletici maddeler, alttemel agregası ve dolgu uygulamalarında kullanılması durumunda çok daha az teknik risk oluşturur. Beton yol kaplaması geri dönüşümündeki potansiyel kirleticiler tipik olarak derz dolgu malzemeleri, asfalt parçaları yama malzemeleri, donatılar ve zemin malzemeleri olarak değerlendirilebilir (ACPA, 2009).

4. SSB ÜSTYAPI PERFORMANS DEĞERLENDİRİLMESİ

Yol üstyapıları, trafik yoğunluğu, artan dingil yükleri, aşırı yükleme, iklimsel faktörler, tasarım ve yapım hataları ile taban zeminindeki düzensizlikler gibi çeşitli nedenlerle planlanan hizmet ömründen önce bozulabilmektedir. Bu nedenle, periyodik performans değerlendirmeleri, üstyapıların bakım onarım faaliyetlerinin etkin ve zamanında uygulanması için üstyapı performansının takip edilebilmesi yol otoriteleri açısından son derece önemlidir.

Ülkemizde de son yıllarda özellikle Belediyeler ve İl Özel İdareleri tarafından SSB üstyapılar tercih edilmekte ve başarılı uygulamalar yapılmaktadır. SSB kaplamalarda belirli periyotlarda üstyapı performans değerlendirmeleri yapılabilir ve sonrasında bozulma özellikleri ve gelişimleri belirlenebilir. Bu işlemleri takiben bakım onarım stratejileriyle optimum ekonomik koşullar altında yolun servis kabiliyetinin artırılması ekonomik kazanç sağlayabilir. Bu kapsamda bu bölüm içeriğinde ilk kısımda üstyapı performansına etki eden faktörler, ikinci kısımda ise SSB üstyapıların performans değerlendirilmesinde ve üstyapı yönetim sistemlerinde kullanılan durum değerlendirme yöntemine ilişkin bilgiler verilmektedir.

4.1. Üstyapı Performansını Etkileyen Faktörler

Çalışma kapsamında, üstyapı performansını etkileyen faktörler; trafik yükü, çevresel faktörler (yağış ve nem durumu, sıcaklık ve üstyapı taban zemini) ile inşaat aşamasında oluşan faktörler (malzeme ve imalat kalitesi) olmak üzere üç ana gruba ayrılmıştır. Bu faktörler oluşan bozulmalara ana etmen veya katkıda bulunan etmen olarak etki etmektedir. Üstyapı taban zemini; plak bölünmesi, şerit ve kenar kayması ve faylanma bozulmalarında birincil etmendir. Köşe çatlağı, doğrusal çatlak oluşumu, pompaj etkisi bozulma tiplerinde ise ikinci etmendir. Diğer bozulmalarda etkisi ihmal edilebilir düzeydedir. Bozulma nedenlerinin etki düzeyleri Çizelge 4.1’de verilmektedir.

Çizelge 4.1’de bulunan etmenler incelendiğinde, yüzeysel bozulmalar grubunda bozulma oluşumuna etki eden en önemli etmenler imalatla ilgilidir. Çatlaklar grubunda ise dinamik yük etkisi ve iklimsel ve çevresel faktörler daha etkilidir. Yüzeysel çatlaklar ve derz bozulmaları grubunda imalatla ilgili faktörler başta olmak üzere iklimsel ve çevresel faktörler etkilidir. Şerit ve kenar bozulmaları ve diğer bozulmalar grubunda faktörlerin birincil ve ikincil etmen olma durumu diğer bozulma gruplarına nispeten daha eşit dağılmıştır. Tüm bozulma tipleri göz önüne alınıp birincil ve ikincil etmenler değerlendirilirse, iklimsel ve çevresel faktörlerin beton yol bozulmalarında daha etkili olduğu saptanmıştır.

Çevre ve iklimsel faktörlerin yol üstyapı performansına etkilerine yönelik detaylar aşağıda verilmektedir.

4.1.1. Üstyapı taban zemini ilişkisi

Üstyapı taban zemini, yol kaplama yapısının ayrılmaz bir parçasıdır. Zemin, doğrusal olmayan yük-oturma davranışına sahip bir malzeme olduğundan yük altında sergileyeceği davranışı öngörmek zordur. Üstyapı taban zemininin ana işlevi, kaplamaya yeterli desteği vermek ve olumsuz iklim ve yükleme koşulları altında yeterli stabiliteye sahip olmaktır.

Üstyapı taban zemininin ana işlevini yerine getirebilmesi ve üstyapı taban zemini kaynaklı bozulmaların önüne geçmek için SSB plak yapımı öncesinde üstyapı tabanında bulunan zeminin fiziksel ve mühendislik özelliklerini değerlendirmek amacıyla zemin etüdü çalışmaları yapılır; imalat öncesinde sorun teşkil eden zeminlerde gerekli zemin iyileştirme çalışmaları yapılmalıdır. Gerekli geoteknik önlemler alınmadan zayıf zeminlerin üzerine yapılacak imalatlarda yolda ani veya zamana bağlı oturmalar gelebilir. Zemin iyileştirme (stabilizasyon), zeminin mühendislik ve yapısal performansını kalıcı olarak iyileştirmek için zemin özelliklerini güçlendirmektir. Zeminin mühendislik özellikleri, bileşimi, farklı jeolojik süreçler ve zemin tanelerinin fiziksel ve kimyasal etkileşimi gibi çeşitli mühendislik faktörlerine bağlıdır. Zemin iyileştirmede güçlendirme, iyileştirme ve tedavi etme olmak üzere üç temel yaklaşım aşağıda verilmektedir.

- Güçlendirme: Zemin içerisine değişik malzemeler kullanılarak güçlendirilmesi (kaya dolgu, taş kolon, jet grout, geosentetikler vb.).

- İyileştirme: Zemin içerisindeki mevcut boşlukların mekanik araçlarla sıkıştırılarak azaltılması (kompaksiyon).
- Tedavi etme: Zemin boşluklarının çeşitli bileşimdeki karışımlarla doldurulması (kimyasal malzemeler, enjeksiyon, çimento, kireç vb.).

Yol inşaatlarında taban zemininin iyileştirme ihtiyacını belirlemek ve üstyapı tabaka kalınlıklarını projelendirmek için taban zemini taşıma gücü belirlenir. Zemin taşıma gücünü belirlemek için yol yapım işlerinde, Kaliforniya taşıma oranı (CBR) değeri oldukça yaygın kullanılmaktadır. CBR değeri, TS EN 13286-47 “Bağlayıcısız ve hidrolik bağlayıcılı karışımlar- Bölüm 47: Kaliforniya taşıma oranı, anlık taşıma indisi ve doğrusal şişmenin tayini için deney yöntemi” standardında belirtilen esaslar dahilinde belirlenir (TÜRKÇİMENTO, 2018).

CBR testi 1930'larda Kaliforniya Karayolları Bölümü tarafından geliştirilmiştir ve CBR testinin temel amacı, kaplamalar için taban zemini, alttemel ve temel malzemelerinin taşıma gücünü belirlemektir. CBR testleri, kaplamanın ve bileşen katmanlarının kalınlığını belirlemek için kullanılır. Bu deney, kesit alanı $19,35 \text{ cm}^2$ olan pistonun dakikada 1.20 mm 'lik hızla zemine itilerek elde edilen yük-penetrasyon bağlantısının bulunmasını kapsar. Penetrasyonun herhangi bir değeri için ölçülen yükün standart yüke ($1,25 \text{ mm}$ 'lik penetrasyonda 860 kg , $2,5 \text{ mm}$ 'de 1360 kg , $5,0 \text{ mm}$ 'de 2040 kg , $7,5 \text{ mm}$ 'de 2585 kg) oranı olarak bulunur. CBR genellikle, $2,54 \text{ mm}$ 'lik penetrasyon için verilir. Ancak $5,08 \text{ mm}$ 'lik bir penetrasyon için daha büyük bir değer çıkarsa büyük olan değer verilir (Büyükakın, 2020).

4.1.2. Üstyapı taban zemini su ilişkisi

Yolun bir yapı olarak öngörülen hizmet ömrü boyunca servis sağlayabilmesi için sadece üstyapının iyi şekilde yapılmasının yeterli olmadığı, üstyapının oturduğu altyapı ve taban zemininin durumu ve drenaj sistemleri de yolun yapımı ve uzun dönem maliyetlerinde büyük önem taşıdığı bilinmektedir. Taşıt hızlarında ve dingil yüklerinde görülen artış ayrıca her geçen gün trafik yoğunluğunun da artması daha dayanıklı bir üstyapı yanı sıra dayanıklı altyapı inşasını ve drenaj sistemlerinin sürekli aktif tutularak yol gövdesine su girişinin engellenmesini zorunlu hale getirmektedir. Bu nedenle yol yapımında sadece üstyapı kaplamasına önem verilmemeli, taban zemini ve drenaj yapılarına da azami özen

gösterilmelidir. SSB yol üstyapılarının tabanına su girmesi durumunda taban desteğinin zayıfladığı ve bozulmaların oluştuğu örnekler görülmüştür (Resim 4.1).

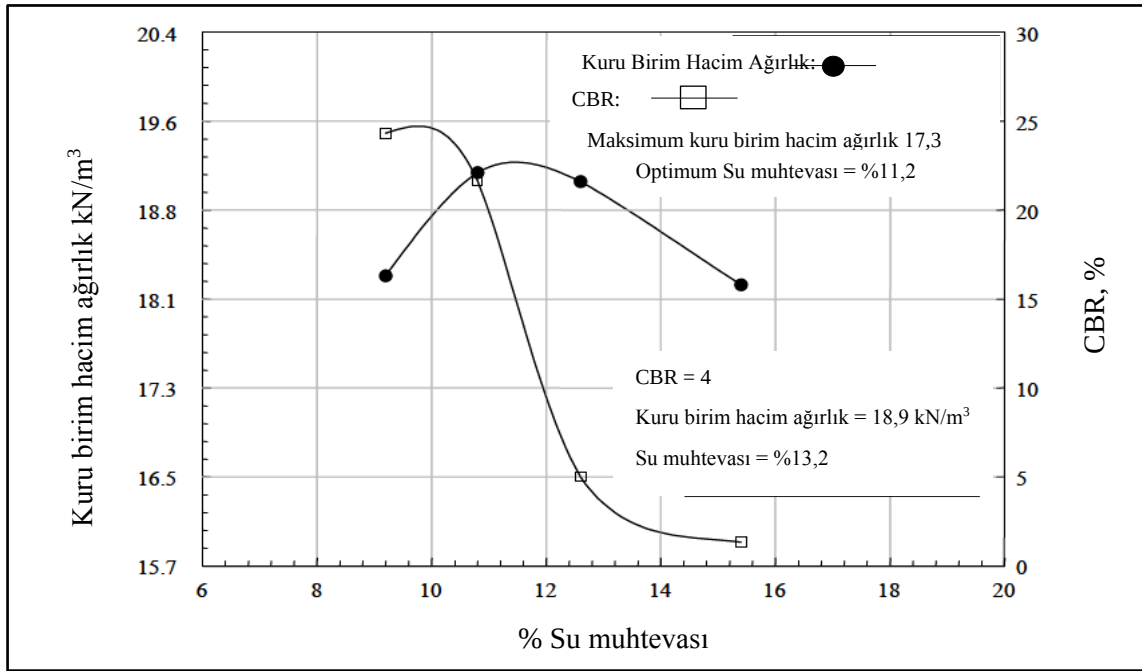


Resim 4.1. Çalışmayan drenaj sistemi ve bozulma oluşumu: Bilecik, Ocak 2023

Üstyapı tabanını oluşturan zeminler veya zemin karışımlarının özellikleri su muhtevası ile çok yakından ilgilidir. Zemin taşıma gücü zemindeki nemin yani su muhtevasının belli bir değerinde yeterli iken başka bir su muhtevası değerinde yetersiz olabilir. Zemin taşıma gücü değerleri zeminin su muhtevası durumuna göre değişkenlik gösterebilir.

Farklı zemin sınıflarının değişen su muhtevalarında taşıma gücü parametrelerinin incelendiği bazı çalışmalar bu bölüm kapsamında yer almaktadır.

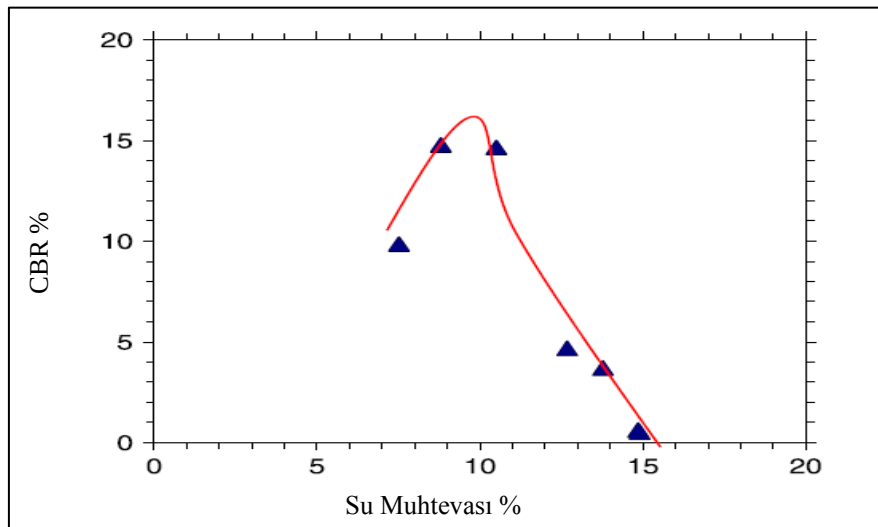
Kwon ve diğerleri (2007) tarafından yapılan çalışma kapsamında, temel ve üstyapı taban malzemesinde uygun laboratuvar ve saha testleri yoluyla mekanik kaplama analizi için verilerinin nasıl toplanacağına, malzeme karakterizasyonlarının gerçekleştirilmesine ve kaplama inşaatı sırasında saha zemin özelliklerinin nasıl kontrol edileceğine ilişkin bir metodoloji çalışması yapılmıştır. Çalışma kapsamında oluşturulan üstyapı test bölümlerinde su muhtevası ve CBR testleri (ASTM D1883 ve AASHTO T-193-81) su muhtevası ile yoğunluk ilişkisini tanımlamak için Standart Proctor (AASHTO D698) deneyleri yapılmıştır. Yapılan çalışmaya yönelik üstyapı taban zemini su muhtevası ile birim hacim ağırlık ve yaş CBR değerlerinin ilişkisi Şekil 4.1’de verilmektedir.



Şekil 4.1. CBR ve su muhtevası ilişkisi (Kwon ve diğerleri, 2007)

Şekil 4.1'de görüldüğü üzere çalışmada zemin su muhtevasının yaklaşık olarak, %10 mertebesinde %16 mertebesine yükselmesiyle CBR% oranı 20-25 kat mertebesinde azalmıştır.

ASTM 2487' ye göre iyi derecelenmiş siltli kum, (SW-SM) olarak sınıflandırılan zeminin Şekil 4.2'de gösterildiği gibi, farklı su muhtevalarında yaş CBR% değerleri tespit edilmiştir (Tang ve diğerleri, 2008).



Şekil 4.2. CBR su ilişkisi (Tang ve diğerleri, 2008)

Suyun yol gövdesini oluşturan zemin tanelerini bir miktar nemli tuttuğu ve bu surette ince taneler arasında görünür kohezyon oluşturmasıyla zemin kayma direncine faydalı etki sağladığı bilinmekle birlikte zeminin belli bir miktardan fazla su muhtevasına sahip olması durumunda zararlı etki ve olaylara sebep olduğu bilinmektedir. Suyun yol tabanında oluşturabileceği bazı zararlı etkiler aşağıda verilmiştir.

- Yol tabanı ve gövdesini oluşturan zemin kısmen veya tamamen suya doymun duruma geçmesi sonucunda, zeminin içsel sürtünme açısı azalacağından kayma mukavemeti düşer, taşıma gücünde azalma meydana gelir.
- Kil ve silt gibi bazı zeminler bünyelerine su aldıklarında büyük hacim değişikliği gösterirler. Bu hacim değişikliği sonucu meydana gelen şişmeler ise üstyapıda kırılma ve dağılmalara yol açar.
- Yolun yarma kesimlerinde, yol gövdesine doğru olan yeraltı suyu akımları zeminde kayma yüzeyleri oluşturarak yarma şevinin stabilizesini bozup kaymasına (heyelanına) neden olurlar. Aynı durum yüksek dolgu şevleri için de söz konusudur. Ayrıca, yüzey suları yarma ve dolgu şevlerinde erozyona sebep olur.
- Yol gövdesini oluşturan zeminin bünyesinde serbest kapiler ve adsorbe vaziyette bulunan su donunca önce hacim artması, bunun sonucu üstyapıda kırılmalar meydana gelir. Daha sonraki aşamada ise havanın ısınması ile çözünen don zemin ve su karışımı trafik tesiri ile pompaj etkisi sonucu yukarı doğru ilerleyip üstyapı tabakalarına girerek taşıma gücünün azalmasına sebebiyet verir (Yayla, 2011).

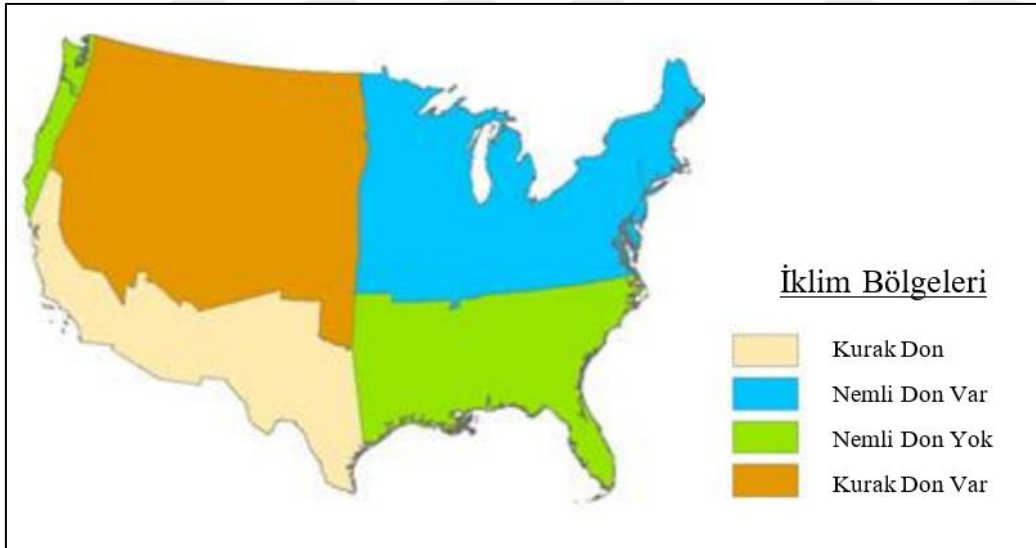
Bunlarla birlikte zeminlerin su muhtevastaki değişimleri şişme ve büzülme davranışları sergilemekte ve yol üstyapılarına zarar verebilmektedir. Büzülme ve şişme olayları tamamıyla geri dönebilen elastik davranışlar değildir. Zemin her zaman gerilme geçmişi veya önceki şişme büzülme etkilerini gösterir. Ortalama olarak şişme kuvvetleri 100-200 kPa mertebesinde. Bu mertebedeki basınçlar için yaklaşık 5-10 m yüksekliğinde dolgulara ihtiyaç duyulmaktadır. Zeminlerin şişme ve büzülmesinden dolayı oluşan hasarların maliyeti Amerika Birleşik Devletleri'nde yıllık ortalama 10-13 milyar dolar düzeyindedir. Bu maliyet yine Amerika Birleşik Devletleri'nde sel, kasırga, tornado ve depremlerin oluşturduğu hasarın iki katı mertebesinde. İnce daneli zeminlerin hem büzülmesi hem de şişmesinden dolayı oluşan hacimsel değişiklikler yol kaplamalarına zarar vermektedir (Holtz ve diğerleri, 2011).

Yol üstyapı imalatından sonra zemini kaplayan üstyapı buharlaşmayı engeller. Diğer yandan zeminin su muhtevası kapilariteden dolayı artabilir. Bu durumda suya maruz kalan zeminin yapısı son derece önem arz etmektedir. Şişen zeminler, genellikle montmorillonit ve vermikulit gibi smektit grubu kil mineralleri içerir. Kapilariteden dolayı suya maruz kalan zemin duyarlı ise şişme davranışı gösterir, kaplamadan dolayı uygulanan düşey gerilme şişme basıncından daha az ise kabarma oluşur. Bu sebeple üstyapı taban zemininde şişme potansiyeli bulunan zeminler bulundurulmamalıdır (Holtz ve diğerleri, 2011).

4.1.3. İklimsel parametreler

Yol üstyapıları, sürekli çevresel etkilere maruz kalarak trafiğe hizmet etmektedir. Çevresel koşullar üstyapının performansını farklı şekillerde etkiler. Bu nedenle bir yol üstyapısının performansını etkileyen önemli faktörlerden biri de iklimsel etkilerdir.

Amerika’da üstyapı performansı açısından tanımlanan dört farklı iklim bölgesi bulunmaktadır. Bu bölgelerin belirtildiği harita Şekil 4.3’te verilmektedir.



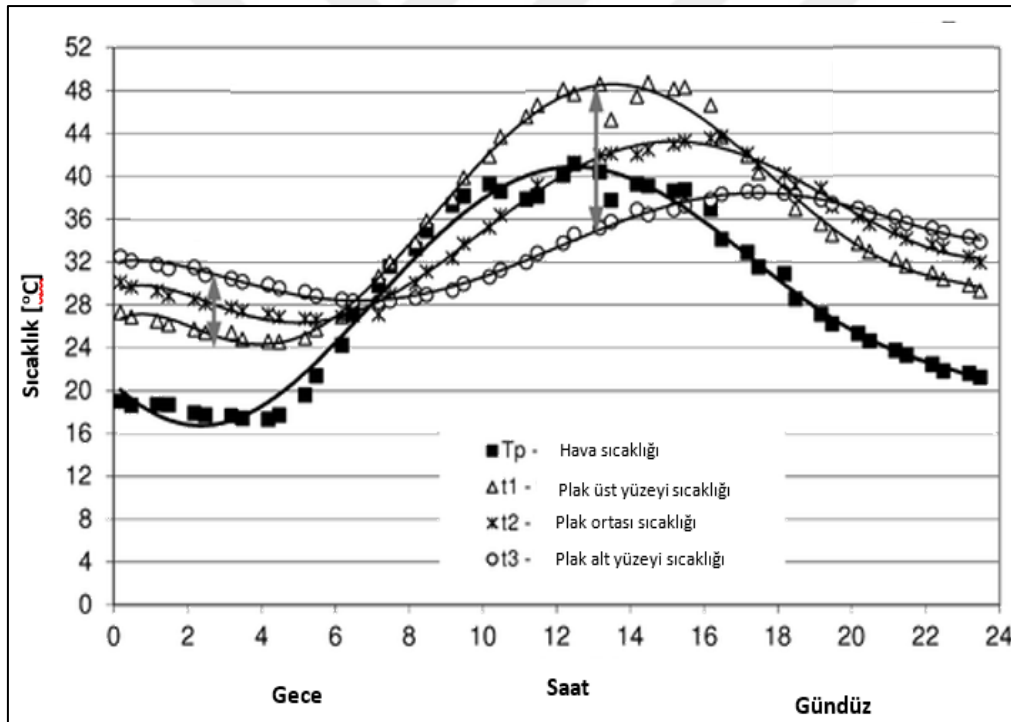
Şekil 4.3. ABD yol üstyapı performansı için iklim bölgeleri (FHWA, 2016)

Türkiye için henüz tanımlanmış benzeri bir bölgelendirme mevcut değildir. Ülkemiz için ABD örneğindeki gibi bir bölgelendirme yapılmasının oldukça faydalı olacağı düşünülmektedir. Bu kapsamda meteorolojiden elde edilecek en yüksek sıcaklık, en düşük sıcaklık, ortalama yağışlı gün sayısı, don etkisi gibi iklimsel verilerle üstyapı performans değerlendirme çalışmalarının ilişkilendirilmesi için kullanılabilir.

Bu bölüm kapsamında, iklimsel verilere ilişkin sıcaklık, don etkisi ve yağmurun rijit yol üstyapılarına etkileri değerlendirilmeye çalışılmıştır.

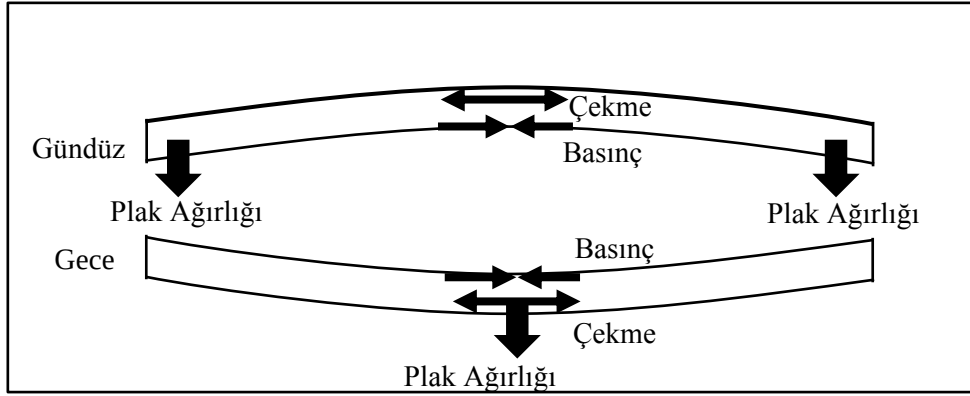
Sıcaklık

Rijit üstyapılarda sıcaklık etkisi, sıcaklık değişimleri ciddi gerilmeler oluşturmaktadır. Bu gerilmeler en az trafik yükü kadar kaplamayı etkilemektedir. Gün içerisinde değişen hava sıcaklığı beton kaplama sıcaklığını da değiştirmektedir. Sürekli oluşan bu sıcaklık değişimi termal gerilmelerin oluşumunda etkilidir. Bunun yanı sıra beton kaplamada oluşan sıcaklık dağılımı plak kalınlığınca doğrusal oluşmaz. Gündüz gece sıcaklık farklarından en çok etkilenen alan plak yüzeyidir. Plak tabanına doğru ilerledikçe sıcaklık değişimi azalır. Gündüzleri beton yüzeyi geceleri ise plak tabanı daha sıcaktır (Şekil 4.4).



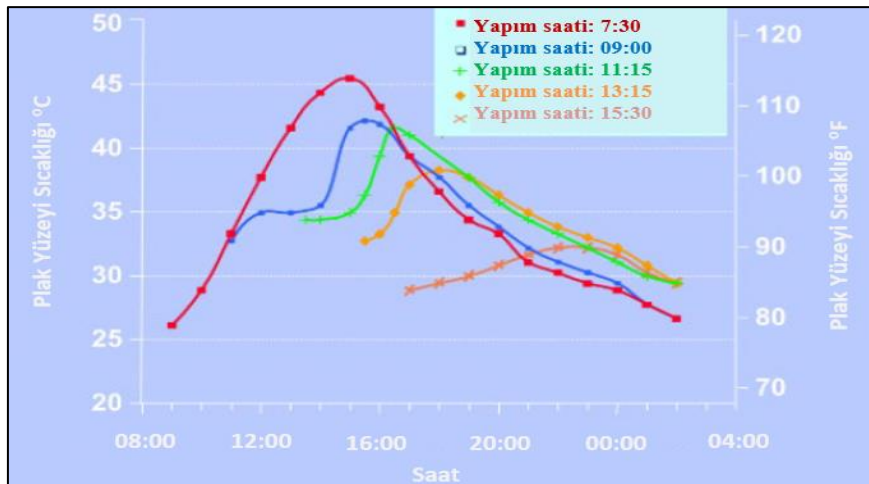
Şekil 4.4. Beton plak sıcaklık değişimi (Mackiewicz ve Szydło, 2020)

Şekil 4.5'te görüldüğü üzere hava sıcaklığının düşük olduğu gece saatlerinde beton plağın alt yüzeyi üst yüzeyine nazaran daha sıcakken hava sıcaklığının yüksek olduğu öğle saatlerinde plak üst yüzey sıcaklığı daha yüksektir. Bu sıcaklık farklarından dolayı beton plaklarda gündüz çekme gerilmesi plağın üst yüzeyinde ve merkezinde daha etkinken geceleri ise plağın alt yüzeyinde çekme gerilmeleri hakimdir (Şekil 4.6).



Şekil 4.5. Gece gündüz beton plak davranışı

Sıcaklıklar ve çevre koşulları ile ilgili bir diğer önemli husus, betonun imalatının yapıldığı saattir. Şekil 4.6'da görüldüğü üzere tipik bir yaz gününde erken yerleştirilen beton kaplama günün geç saatlerinde yerleştirilen beton kaplamalar daha yüksek bir tepe sıcaklığına ulaşmaktadır. Yüksek sıcaklıklar yol betonunu priz alma sırasındaki kimyasal reaksiyonlara bağlı, daha da fazla sıcaklık dalgalanmalarına neden olmaktadır. Yüksek sıcaklıklarda yapılan imalatlarda çekme gerilmesi, priz alma aşamasındaki kaplama betonunun çekme dayanımından daha fazla olursa, erken çatlaklar oluşabilir. Bu sebeple sıcak havalarda beton yol imalatı sırasında uygulama saatine dikkat edilmeli ve gerekli durumlarda özel önlemler alınmalıdır.



Şekil 4.6. İmalat saati yüzey sıcaklığı ilişkisi (Harrington ve diğerleri, 2018'den düzenlenmiştir)

Betonun en yüksek hidrasyon ısısı imalattan sonra yaklaşık 4 ila 8 saat sonra ortaya çıkar (Şekil 4.6). Maksimum hidrasyon ısısının yaz günlerinde en sıcak zamanla çakışması durumunda, betonda yüksek sıcaklıklar ve yüksek oranda erken yaş çatlama riski ortaya

çıkar. İmalat için sabahın erken saatlerinden kaçınmak veya beton karışımında önlemler almak, yaz mevsiminde yaşanabilecek yüksek termal gerilmeleri azaltmak için alınabilecek önlemlerdendir (Harrington ve diğerleri, 2018).

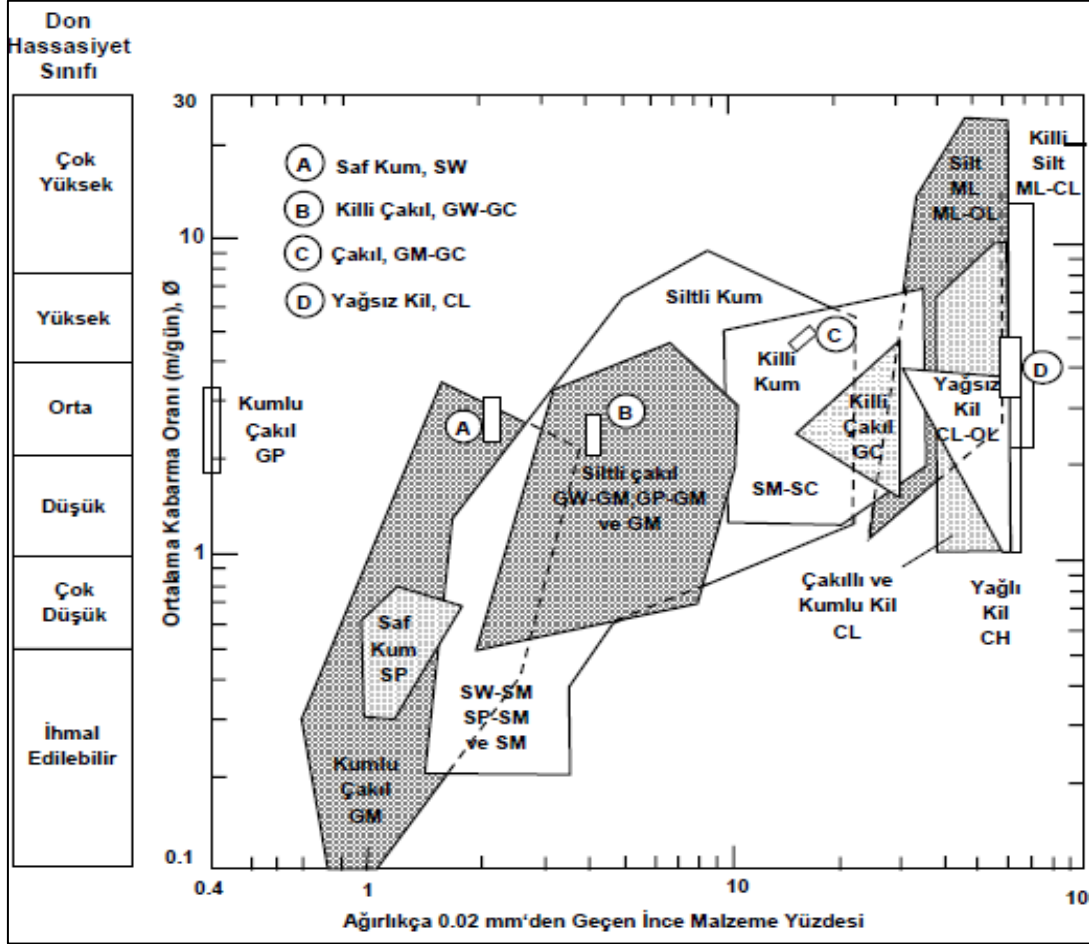
Don etkisi

Don, beton yollarda ciddi hasarlara neden olabilir. Don olayı, beton içindeki suyun donmasıyla başlar. Donmuş su, betonun hacmini genişletir. Bu genişleme, kaplamada bozulmalara neden olabilir. Beton yollarda don etkisini azaltmak için önlemler alınabilmektedir. Bu önlemler kapsamında, betona hava sürükleyici katkı maddeleri eklenerek, dona karşı dayanıklılık artırılabilir. Betonun yerleştirilmesi ve sıkıştırılması boşluksuz yapılarak dışardan su girişi engellenir ve donun oluşturacağı zararlı etki azaltılabilir. Diğer bir önlem olarak ise tasarım kriterleri doğrultusunda beton karışımın su muhtevası azaltılabilir.

Yol üstyapısını taşıyan taban zemininin de don etkisine maruz kalması durumunda gösterdiği davranış yol üstyapı bozulmalarına sebep olabilmektedir.

Tamamen suya doymuş zeminlerde don etkisi sebebiyle yaklaşık %10 hacimsel genişleme gerçekleşebilir. Ayrıca uygun şartlar altında zeminlerde buz lensleri oluşabilir. Bu lensler, birkaç santimetre büyüklüğe ulaşarak yol kaplamaları gibi yapılarda kabarmalar oluşturabilir. Zeminlerde donma olayı homojen gerçekleşmediğinden üstyapıda yapısal hasarlar oluşur. İlkbaharda buz lenslerinin erimesi ile zemin su muhtevası oldukça artar ve zemin taşıma gücünde azalmalar meydana gelebilir ve bahar erimesi sonucunda üstyapı kaplamalarında yapısal hasarlar (bahar bozulmaları) oluşabilir. Buz lenslerinin oluşumunun zeminin donma hızına da bağlı olduğu bilinmektedir. Eğer zemin hızlı bir şekilde donarsa daha az buz lensleri oluşma eğilimindedir. Daha yavaş donma hızında daha fazla buz lensleri oluşur. Kışın hava sıcaklıkları gün esnasında donma derecesinin üzerinde olsa bile zemin su ilişkisi düşük ısı iletkenliği dolayısıyla alttaki taban zemini kışın çoğunda donmuş kalabilir. Kış sıcaklıklarının şiddetinin ölçüsü, donma derecesinin altındaki gün sayısı olarak tanımlanan donma indeksidir. Donma indeksine ek olarak zemin örtüsü, topografya, kar durumu vb. çevresel faktörler de don derinliğini ve donma hızını etkiler (Holtz ve diğerleri, 2011).

Üstyapı taban malzemesinin şişme potansiyeli yüksek olması ve dona hassas zeminlerden oluşması durumunda, üstyapı projelendirmesinde geoteknik önlemler (zemin iyileştirmesi vb.) alınması gerekmektedir. Don kabarması zemin sınıfına ve ince malzeme yüzdesine bağlı olarak değişmektedir (Şekil 4.7).



Şekil 4.7. Zemin sınıfı don hassasiyet ilişkisi (Sağlık ve Güngör, 2008)

Yağmur

Yağmur etkisiyle zeminde oluşabilecek su muhtevsındaki değişimler, üstyapının ve yol tabanının dayanımı, durabilitesi üzerinde önemli derecede etkiye sahiptir. Yağmurla oluşacak olan su drene edilemediğinde temel, alttemel veya taban zeminde malzeme sürüklenmesine ve pompaja neden olabilir.

Bunların yanı sıra beton yol kaplamalarının yapımı aşamasında karşılaşılabilecek yağmur; priz almayan alanlarda su muhtevsını tamamen değiştirmekte, taşıma gücünü olumsuz etkilemekte ve yüzey dokusunun bozulmasına neden olabilmektedir.

4.2. SSB Yol Üstyapıları İçin Üstyapı Durum İndeksi (PCI)

Üstyapı durum indeksi (PCI), yol üstyapı kaplamalarında meydana gelen bozulmaların şiddet ve yoğunluklarına göre değerlendirilmesini sağlayan ve üstyapı mevcut durumunu belirten sayısal bir gösterge olup bakım ve onarım için referans olarak kullanılabilir. Tez çalışması kapsamında, üstyapı yönetim sistemlerinde yaygın olarak kullanılan yöntemlerden biri olan PCI yöntemi SSB üstyapıların performans değerlendirilmesinde kullanılmıştır.

PCI yöntemi ile SSB üstyapıların performans değerlendirilmesiyle;

- Mevcut üstyapı durumu belirlenebilir.
- Farklı seviyelerdeki bozulmalarla ilgili gerekli bakım ve onarım gereksinimleri tahmin edilebilir.
- Bakım onarım için çözüm olarak kullanılan malzeme ve tekniklerin performansı ölçülebilir.

PCI değerinin belirlenmesine yönelik olarak beton ve asfalt yol üstyapı bozulmalarını tanımlama ve değerlendirme prosedürleri ASTM D6433'e göre ele alınmıştır. PCI hesaplanmasına ilişkin durum ölçeği Çizelge 4.2'de verilmektedir.

Çizelge 4.2. PCI durum ölçeği (ASTM D6433, 2023)

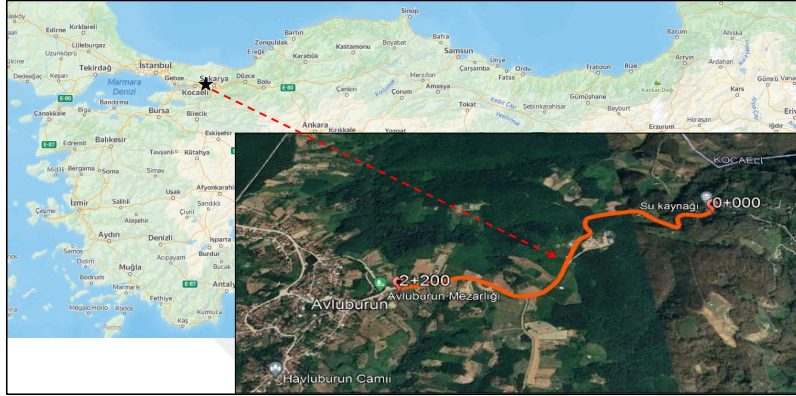
<u>PCI Aralığı</u>	<u>Durum</u>
86–100	İyi
71–85	Yeterli
56–70	Orta
41–55	Kötü
26–40	Çok Kötü
11–25	Ciddi
0–10	Bozuk

Çizelge 4.3'ten de görüleceği üzere ASTM D6433 standardı yol üstyapı performansını, PCI değerlerine göre yedi kademeye ayırmıştır.



5. SSB ÜSTYAPI PERFORMANS DEĞERLENDİRMESİ VAKA ÇALIŞMASI

SSB üstyapı performans değerlendirmesine yönelik olarak taban zemin özellikleri bilinen Kocaeli İli, Kartepe İlçesi, Eşmeahmediye-Avluburun mevkiinde 2016-2017 yılları arasında inşa edilen SSB yol (Şekil 5.1) üzerinde bir vaka çalışması yürütülmüştür.



Şekil 5.1. Eşmeahmediye – Avluburun yolu plan görünümü (Google Earth, 2023)

5.1. Eşmeahmediye-Avluburun SSB Yolu Özellikleri

Eşmeahmediye – Avluburun yolu üstyapısında kullanılan SSB bileşenleri, yolun geometrik özellikleri, mevcut durumu ve bulunduğu bölgenin iklim özellikleri aşağıda sunulmuştur.

5.1.1. Eşmeahmediye-Avluburun Yolu SSB karışım bileşenleri

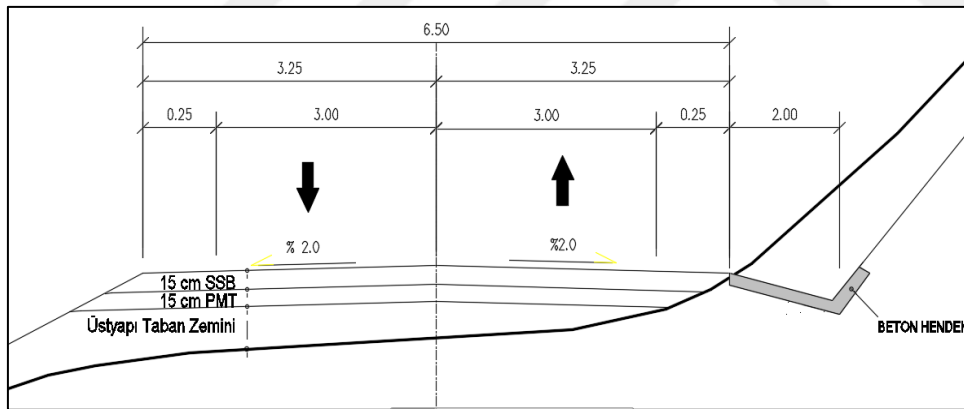
Eşmeahmediye-Avluburun SSB Yolu için kullanılacak beton karışımı ASTM C642'ye uygun olarak tasarlanmıştır. Abut, 2017 tarafından yapılan çalışma kapsamında bulunan, Eşmeahmediye-Avluburun Yolu için 1 m³ SSB malzeme bileşenleri; çimento (CEM I 42,5 R) 300 kg, 2 no agrega (9,5-25,0 mm) 540 kg, 1 no agrega (4,75-19,0 mm) 536 kg, K1 agrega (0-4,75 mm) 522 kg, K2 agrega (0-4,75 mm) 526 kg, su 110 kg olmak üzere belirlenmiştir (Abut, 2017).

5.1.2. Yol geometrik özellikleri ve mevcut durumu

Eşmeahmediye-Avluburun SSB yolunun geometrik yapısı bakıldığında, ortalama 240 m aralıklarla yatay kurpların bulunduğu enine ve boyuna eğimin sık sık değiştiği ve 400-450 m rakımda konumlandığı görülmektedir. Yolun başlangıç kesimi olan Eşmeahmediye Mahallesi (km:0+000) yönünden yolun bitiş kesimi olan Avluburun Mahallesi (km:2+200)

yönüne boyuna profil incelendiğinde; başlangıç kesiminden yolun ortası olan (km:1+100) kesimine kadar ortalama %7 mertebesinde çıkış eğiminde geri kalan kısmı ise ortalama %6 oranında iniş eğimindedir. Ayrıca, km atış yönünde 0+000 – 1+600 km’leri arasında yolun solunun yarma, sağının ise dolgu kesimde olduğu, 1+600 – 1+700 km’leri arasında yolun iki tarafının da dolgu kesimde bulunduğu, 1+700 – 2+200 arasında ise yolun sağ tarafının yarma kesimde olduğu sol kesiminin ise dolguda geçtiği tespit edilmiştir. Şekil 5.2’de Eşmeahmediye-Avluburun SSB yolu tip en kesiti verilmiştir.

Eşmeahmediye-Avluburun SSB yolu, 6,5 m genişliğinde; 2,2 km uzunluğundadır. SSB yol üstyapısı 15 cm sıkışmış kalınlıkta olup 15 cm plent miks temel üzerine inşa edilmiştir. Üstyapı kalınlık tasarımında çeşitli taşıt kategorileri kapsamında yapılan trafik analiz ve araştırmalarına göre, ortalama günlük trafik sayısı treyler, kamyon, orta yüklü ticari araç, otobüs ve otomobil olmak üzere toplamda 900 araç geçişi olduğu belirlenmiştir. Proje ömrü olan 20 yıllık süre içerisinde gerçekleşmesi tahmin edilen standart dingil yükü tekerrür sayısı (T8.2) 8.589.992 olarak hesaplanmıştır (Abut, 2017).



Şekil 5.2. Eşmeahmediye-Avluburun SSB yolu tip en kesiti

5.1.3. Eşmeahmediye-Avluburun iklim yapısı

Üstyapı performansını etkileyen en önemli etmenlerden biri de iklimdir. Bu nedenle üstyapı performans değerlendirmesi vaka çalışması yürütülen yolun bulunduğu bölgenin iklimsel özellikleri bu bölüm kapsamında verilmektedir.

Performans değerlendirmesi vaka çalışması yürütülen yol; Marmara ikliminin hakim olduğu bölgede bulunmaktadır. Marmara iklim bölgesinin, kışları Akdeniz iklimi kadar ılık, yazları

Karadeniz iklimi kadar yağışlı değildir. Karasal iklim kadar kışı soğuk, yazı da kurak geçmemektedir. Bu özelliklerden dolayı Marmara iklimi, karasal Karadeniz ve Akdeniz iklimleri arasında bir geçiş özelliği göstermektedir. Buna bağlı olarak doğrusal bitki örtüsünü alçak kesimlerde Akdeniz kökenli bitkiler, yüksek olan kesimlerde ve kuzeye bakan yamaçlarında Karadeniz bitki topluluğu özelliğindeki nemli ormanlar oluşturmaktadır. Bölgede soğuk ay olan ocak ayı ortalama sıcaklığı 6,2 °C, sıcak ay olan ağustos ayı ortalama sıcaklığı 23,9 °C, yıllık ortalama sıcaklık 14,9 °C'dir. Yaz yağışlarının yıllık toplam içindeki payı %11,7'dir. Yıllık ortalama bağıl nem %73'tür (ÇŞİDB, 2022).

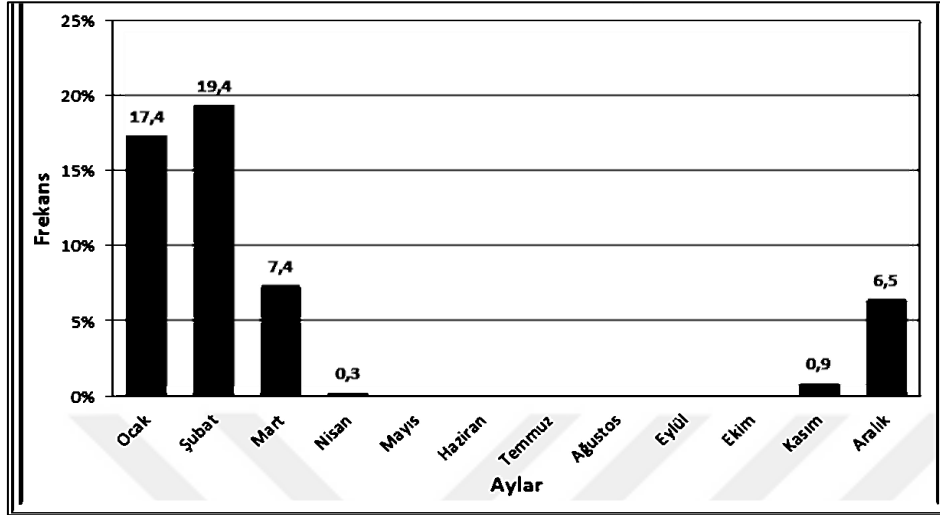
Üstyapı performans değerlendirmesi yapılan, Eşmeahmediye-Avluburun yolunun bulunduğu Kocaeli ilinin mevsim normalleri Çizelge 5.1'de verilmektedir.

Çizelge 5.1. Kocaeli ili iklimsel parametreler (ÇŞİDB, 2022)

KOCAELİ	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
	Ölçüm Periyodu (1929-2022)												
Ortalama Sıcaklık (°C)	6,2	6,7	8,5	13	17,6	21,7	23,8	23,9	20,5	16,2	12,2	8,4	14,9
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	9,7	10,6	13,2	18,5	23,3	27,5	29,5	29,8	26,2	21	16,5	11,9	19,8
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	3,2	3,4	4,8	8,5	12,8	16,6	19,0	19,2	16,1	12,5	8,7	5,4	10,9
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	2,5	3,0	4,0	5,7	7,3	8,9	9,5	9,0	7,0	4,7	3,6	2,6	5,6
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	17,06	14,89	13,92	11,26	9,75	8,33	5,76	5,08	7,29	11,4	12,31	16,26	133,3
Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)	93,6	75,8	71,5	51,1	48,3	56,0	45,0	43,1	59,1	85,2	77,4	108,7	814,8

Kocaeli Meteoroloji İstasyonu gözlem kayıtlarına göre, yıllık ortalama sıcaklık 14,9 °C'dir. Maksimum sıcaklık 44,1°C olarak ölçülmüştür. Minimum sıcaklık ise -18°C olarak ölçülmüştür. Kocaeli Meteoroloji İstasyonu gözlem kayıtlarına göre maksimum yağışın görüldüğü ay ortalama 108,7 mm ile aralık ayı olup, yıllık ortalama toplam yağış miktarı 814,80 mm'dir. Kocaeli ili 2022 yılı günlük sıcaklıklar incelendiğinde, yılın ilk çeyreğine 50 gün, ikinci çeyreğinde 2 gün, üçüncü çeyreğinde ise hava sıcaklığının 0°C altına hiç düşmediği, son çeyreğinde ise 9 gün hava sıcaklığının 0°C altına düşmüştür. 2022 yılı içerisinde toplamda 61 gün hava sıcaklığı 0°C altına düştüğü, don olayına uygun ortam oluştuğu görülmektedir. Kocaeli Meteoroloji İstasyonu gözlem kayıtlarına göre, don

frekansının şubat ayında %19,4 değer ile en yüksek değerdedir. Ortalama don dağılımı Şekil 5.3'te verilmektedir (ÇŞİDB, 2022).

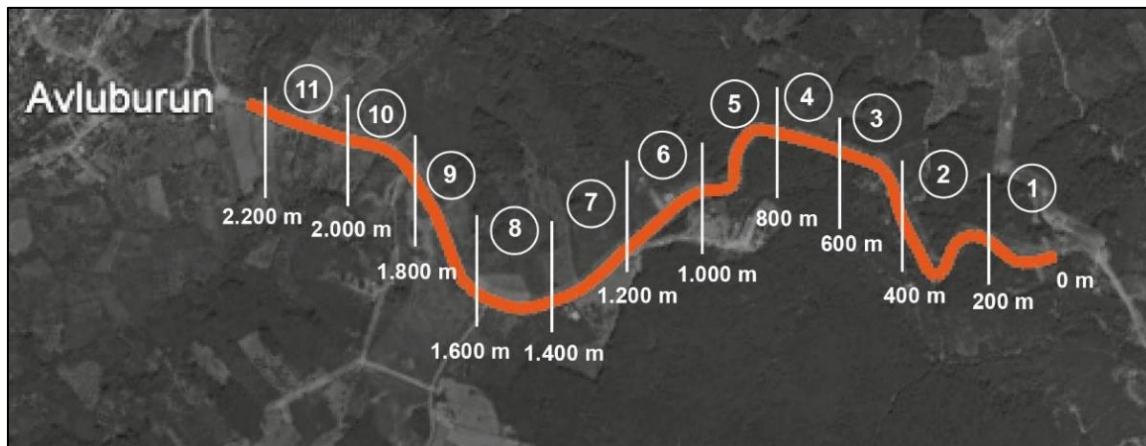


Şekil 5.3. Kocaeli ili ortalama aylık don dağılımı (ÇŞİDB, 2022)

Şekil 5.3'te görüldüğü üzere Kocaeli ilinde en yoğun don etkisinin oluşabileceği dönem; ocak, şubat ve mart aylarının bulunduğu yılın ilk çeyrek olan dönemdir.

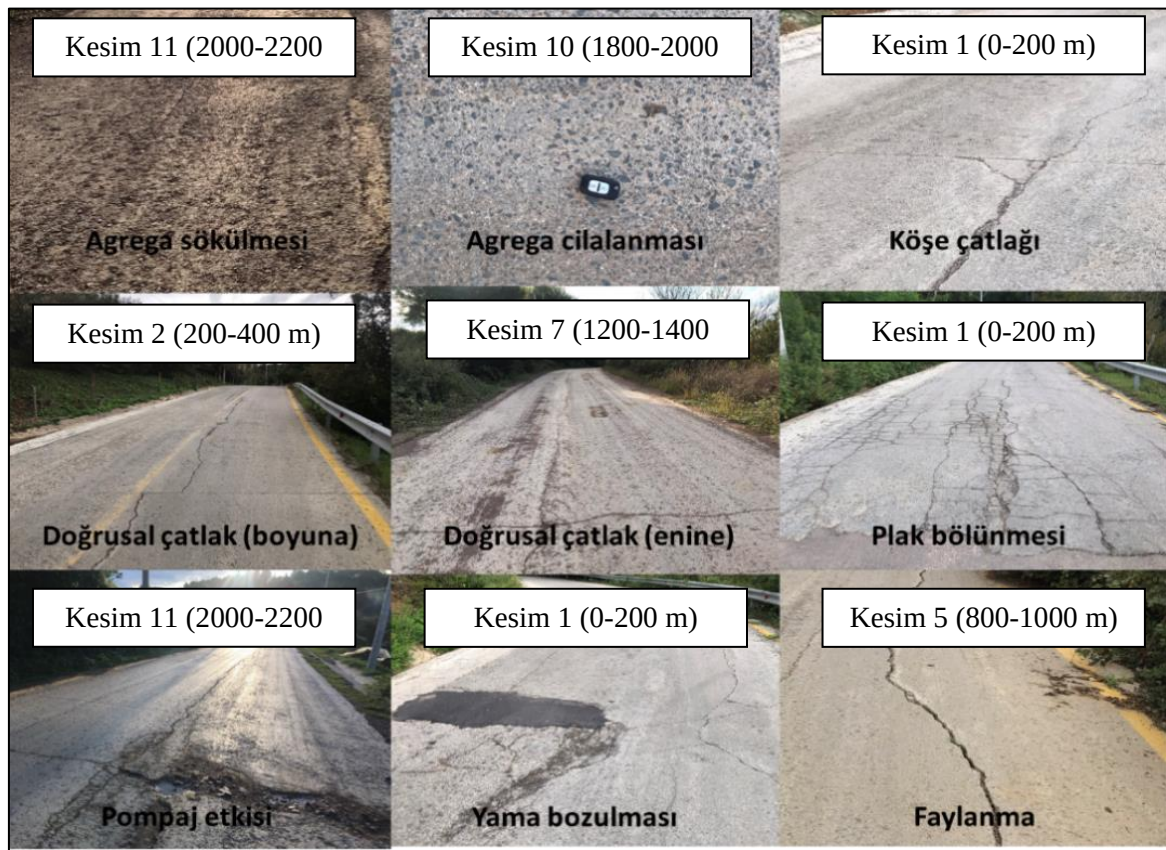
5.2. Yol üstyapı Durum İndeksi (PCI) Değerlerinin Hesaplanması

Üstyapı Durum İndeksi için kullanılan, ASTM D6433-23 standardı kapsamında beton yolların üstyapı durumu indeksi (PCI) hesaplanmasında üstyapının eşit 20 ± 8 bölümde (anoda) incelenebileceği belirtilmektedir. Performans değerlendirmesi kapsamında her bir kesim 200 m uzunluğunda olup inceleme 11 kesimde gerçekleştirilmiştir (Şekil 5.4).



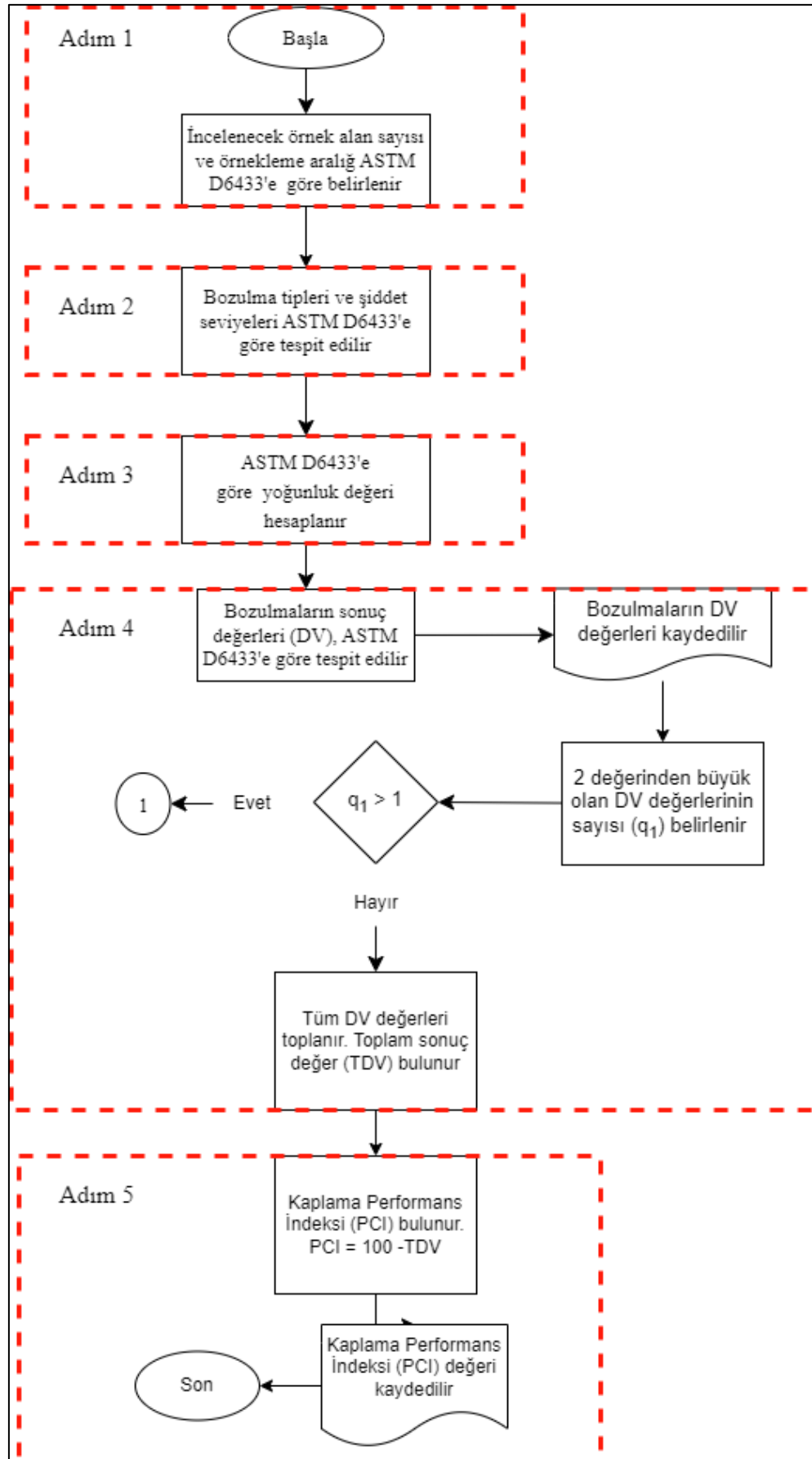
Şekil 5.4. Eşmeahmediye-Avluburun SSB yolu değerlendirme kesimleri

Tüm kesimler yerinde detaylı incelenerek oluşan bozulma tipleri belirlenmiştir. Ek-2’de incelenen 11 kesimin bozulma tipleri plan üzerinde verilmekle birlikte oluşan bozulmaların fotoğrafları bulunmaktadır. İlgili yolda yüzeysel bozulmalar grubunda; agrega cilalanması ile agrega sökülmesi olduğu, çatlaklar bozulma grubunda; köşe çatlağı, doğrusal çatlak oluşumu ve plak bölünmesi bulunduğu, diğer bozulmalar grubunda ise pompaj etkisi, yama bozulması ve faylanma olmak üzere toplamda 8 farklı SSB bozulma tipinin bulunduğu tespit edilmiştir. Tespit edilen bozulma tiplerine ilişkin temsili 9 fotoğraf Resim 5.1’de verilmektedir.

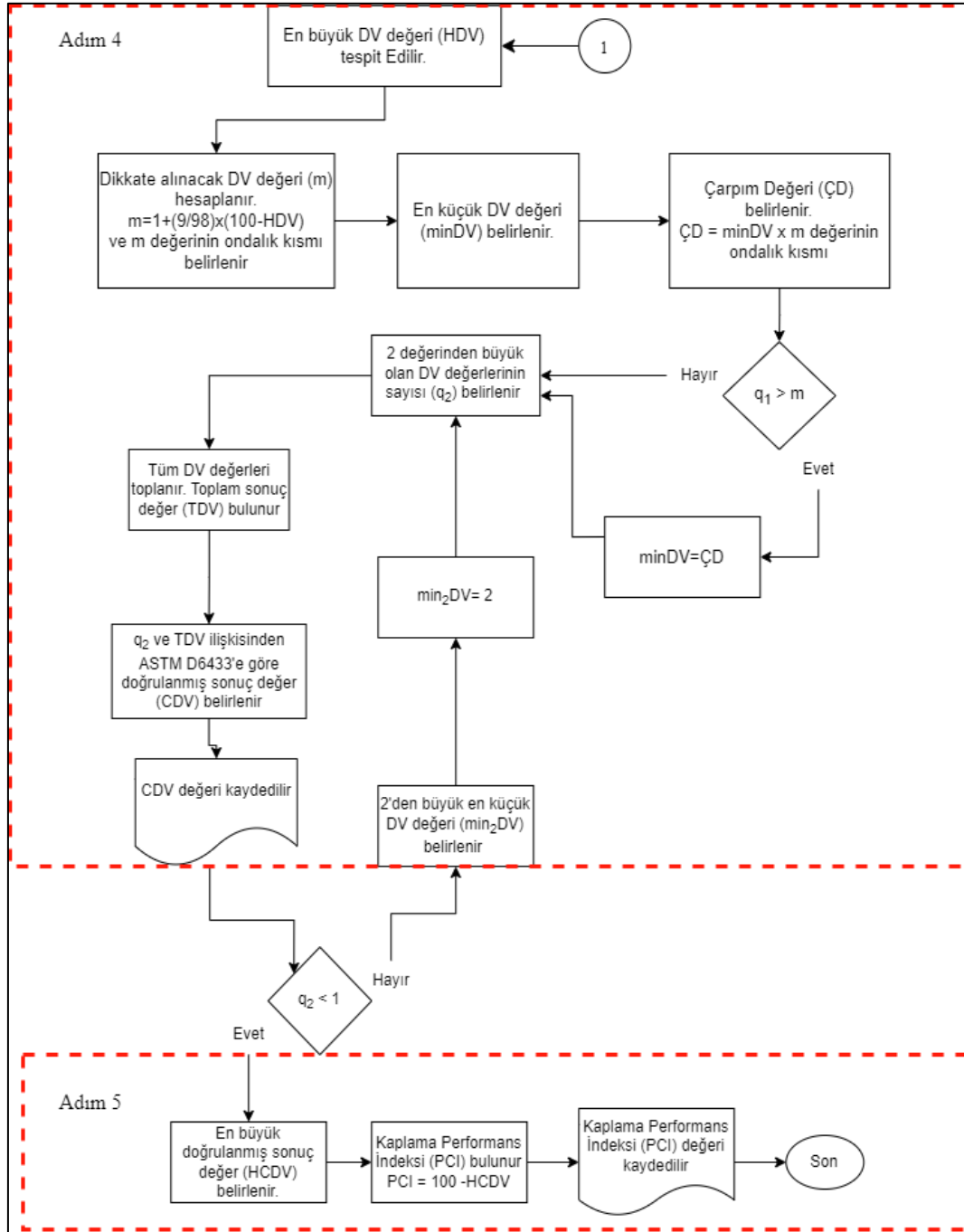


Resim 5.1. Eşmeahmediye - Avluburun Yolu Oluşan Tipik Bozulmalar

Tez çalışması kapsamında ASTM D6433 standart esaslarınca yapılan PCI hesaplamalarında izlenen prosedüre ilişkin akış diyagramı Şekil 5.5 ve Şekil 5.6’da verilmektedir.

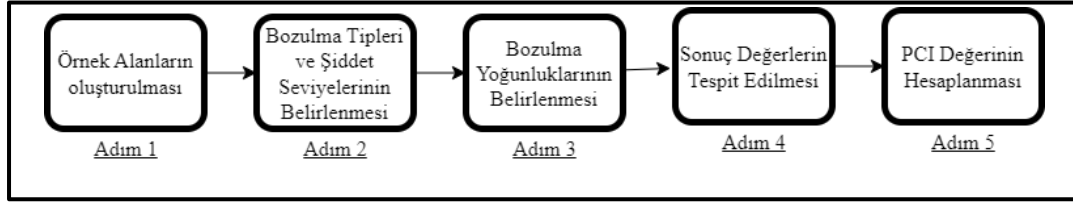


Şekil 5.5. PCI hesaplama prosedürü akış diyagramı ($q_2 \leq 1$ durumu)



Şekil 5.6. PCI hesaplama prosedürü akış diyagramı (devam, $q_2 > 1$ durumu)

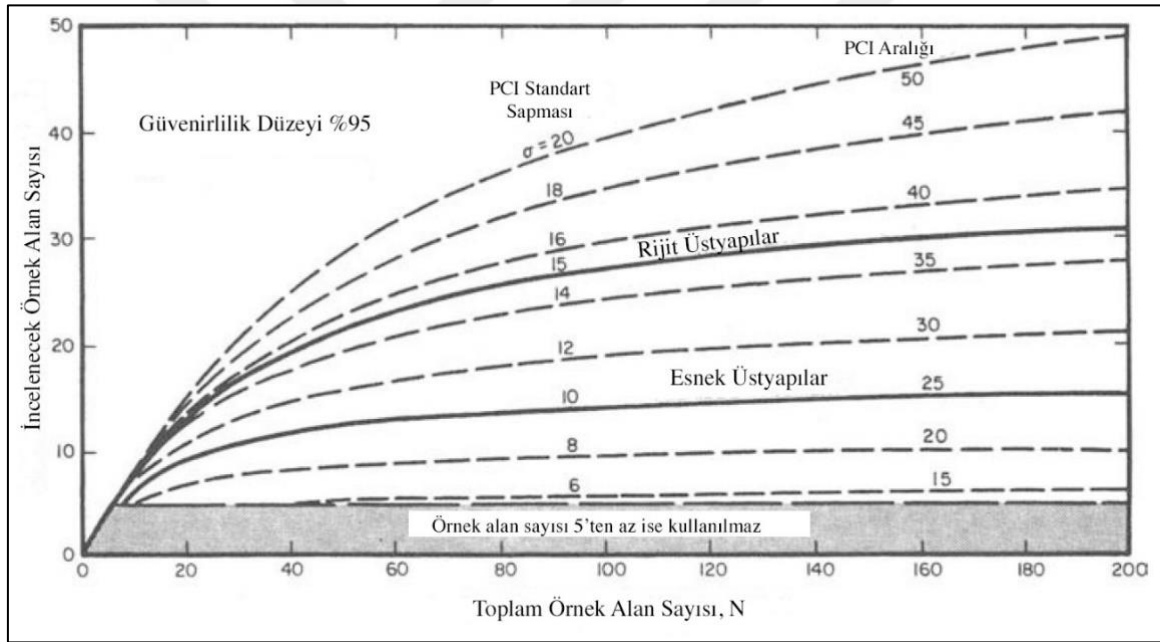
Özet olarak bir PCI hesaplamasında; yol örnek alanlara bölünüp, kaplamadaki bozulmanın tipi ve şiddeti, kaplama kesitlerinin görsel olarak incelenmesiyle değerlendirilir. Bozulmalar tespit edildikten sonra bozulma şiddet seviyeleri belirlenir. Bozulmanın gözlemlendiği toplam beton kaplama bölüm sayısı sayılmalı ve daha sonra inceleme yapılan yolda toplam bölüm sayısına bölünerek yoğunluk hesaplanır. Her bir bozulma tipi, şiddeti ve yoğunluk değeri kombinasyonu için elde edilen sonuç değerlerine karşılık gelen PCI değerleri tespit edilir (Şekil 5.7).



Şekil 5.7. PCI hesaplama prosedürü

5.2.1. Üstyapının örnek alanlara bölünmesi

Örnekleme işleminin PCI değerinin yeterli bir doğrulukta elde etmek için ilk adım incelenmesi gereken örnek alan sayısını (n) belirlemektir. Örnek alan sayısı, bir üstyapı değerlendirme projesi için Şekil 5.8'de gösterilen eğrileri kullanarak belirlenebilir.



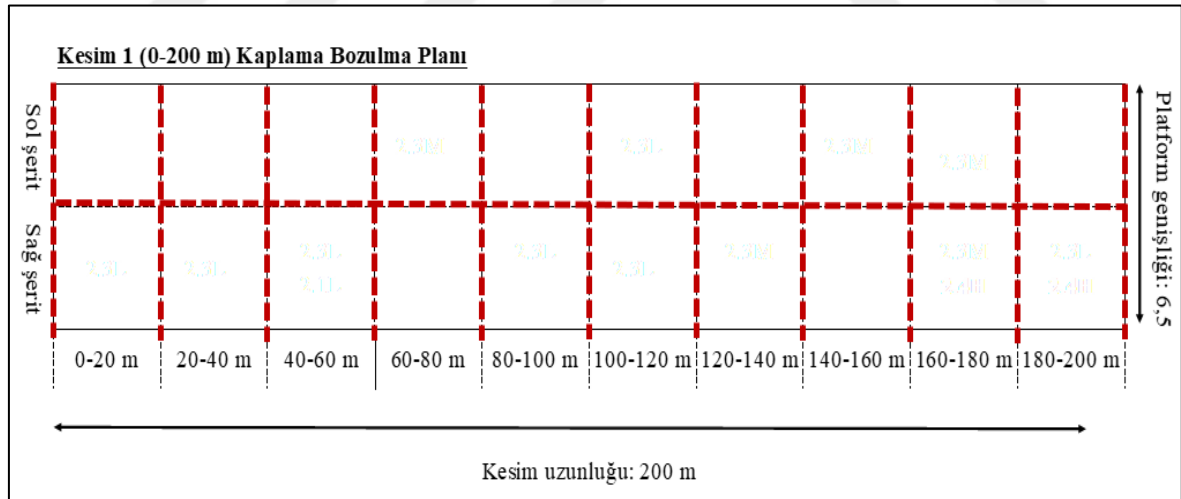
Şekil 5.8. Azami incelenecek örnek alan sayıları (Shahin, 2005)

Bir üstyapı kesiminde, özellikle incelenen kesim büyük bir alansa her bir örnek alanın incelenmesi ve kontrolü büyük bir iş gücü ve zaman gerektirebilir. Bu nedenle, gözlemler için ayrılan kaynaklar sınırlı olduğunda, makul doğrulukta PCI değeri tahmin etmek için sınırlı sayıda örnek alanı içeren bir örnekleme planı oluşturmak gerekir. Bu örnekleme planı, üstyapı kesiminin kullanım türüne ve toplanacak verilerin yönetim sistemi planına göre değişebilir. Çizelge 5.2'de %95 güvenirlilik seviyesi için kabul edilen incelenecek örnek alan sayıları (n) verilmektedir.

Çizelge 5.2. Otoriteler tarafından kabul edilen örnekleme sayıları (Shahin, 2005)

Kesimdeki toplam örnek alan sayısı (N)	İncelenecek örnek alan sayısı (n)
1-5	1
6-10	2
11-15	3
16-40	4
40 ve üzeri	%10 (bir üst değere yuvarlanır)

Vaka çalışmasında 2,2 km'lik güzergahtaki 11 kesimde kendi içerisinde boyuna yönde platform ortasından 2 bölüme, enine yönde ise 20 m aralıklarla 10 parçaya bölünmüştür. Yani tüm kesimler kendi içerisinde 20 eş parçaya ayrılmıştır (Şekil 5.8). Tüm kesimlerde oluşturulan 20 bölümün tamamı incelenerek kesimlerin PCI değerleri tespit edilmiştir.



Şekil 5.9. Kesimlerin yirmi eş parçaya ayrılması

5.2.2. Örnekleme aralığının belirlenmesi

Örnekleme aralığı (i); incelenen bölümlerin aralık sayısı homojen inceleme için $i = N/n$ eşitliği kullanılarak hesaplanır. Burada, N toplam örnek alan sayısını ve n minimum sayıda incelenen örnek alanı sayısıdır. Uygulamada örnekleme aralığı olarak bulunan değer bir

alt değere yuvarlanarak hesaplamalarda kullanılır. Yürütülen vaka çalışmasında $i=1$ belirlenerek tüm alanlar kullanılmıştır.

5.2.3. Bozulma yoğunluklarının hesaplanması

Bozulma yoğunluğu incelenen alan için alan veya toplam uzunluk yüzdesidir. Ölçülen SSB üstyapı bozulmaları, adet, metrekare veya metre biriminde olabilir. Bu çalışmada SSB üstyapı birim bozulma yoğunluğu Eşitlik 5.1 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\text{Bozulma yoğunluk } \% = \frac{A_d}{A_s} \times 100 \quad (5.1)$$

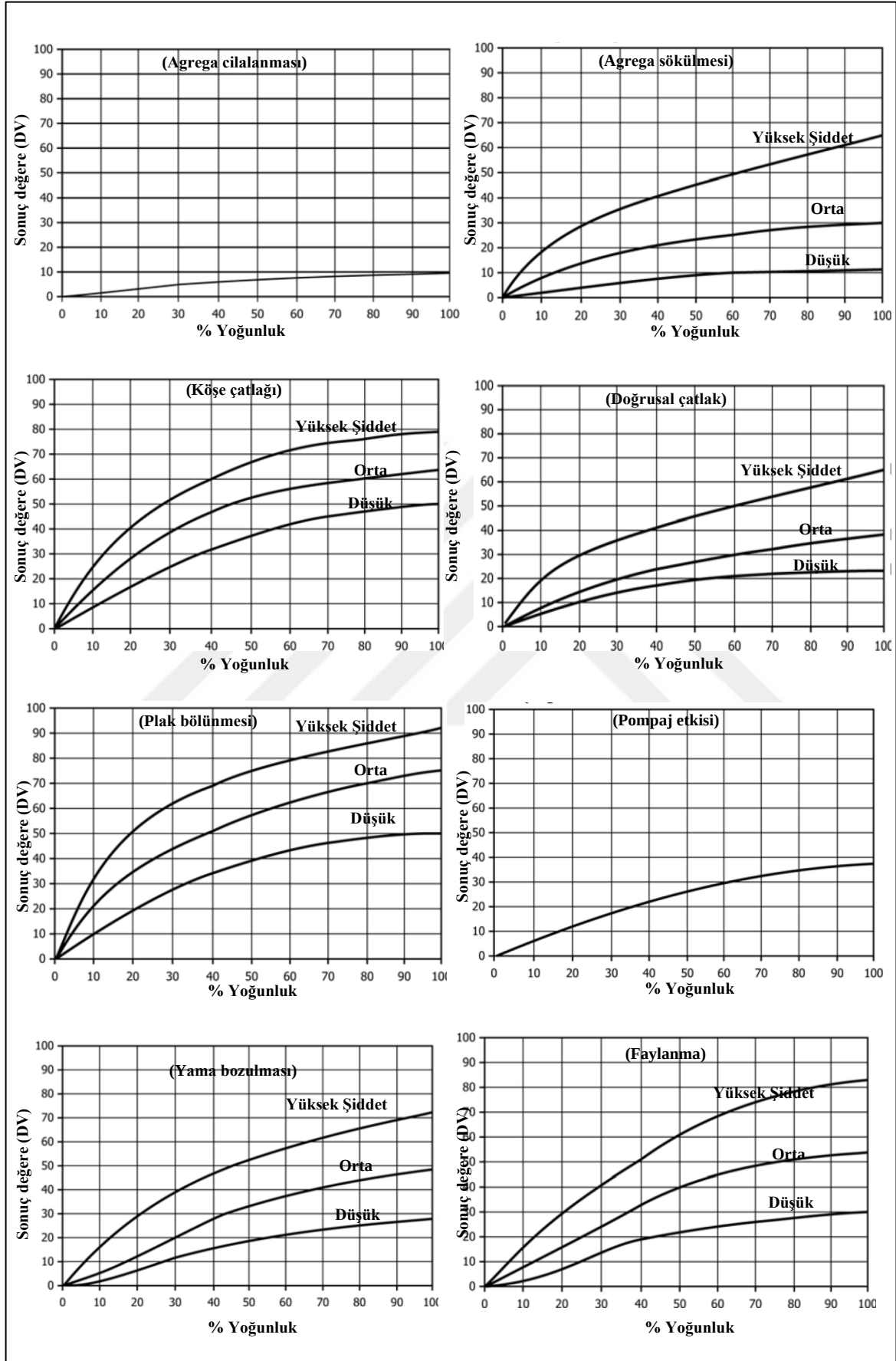
- A_d : Plakta meydana gelen aynı hasarın hasar türü ve şiddet düzeyinde bölüm (ano) kombinasyonlarının sayısı.
- A_s : Değerlendirilen toplam bölüm (ano) sayısı.

Performans değerlendirmesi kapsamında bozulma tiplerine ilişkin şiddet seviyelerinin ölçülebilir olma durumu, yoğunluk ölçü birimleri ve plan üzerinde belirtilmesinde kullanılan bozulma kodları Çizelge 5.3'te verilmiştir.

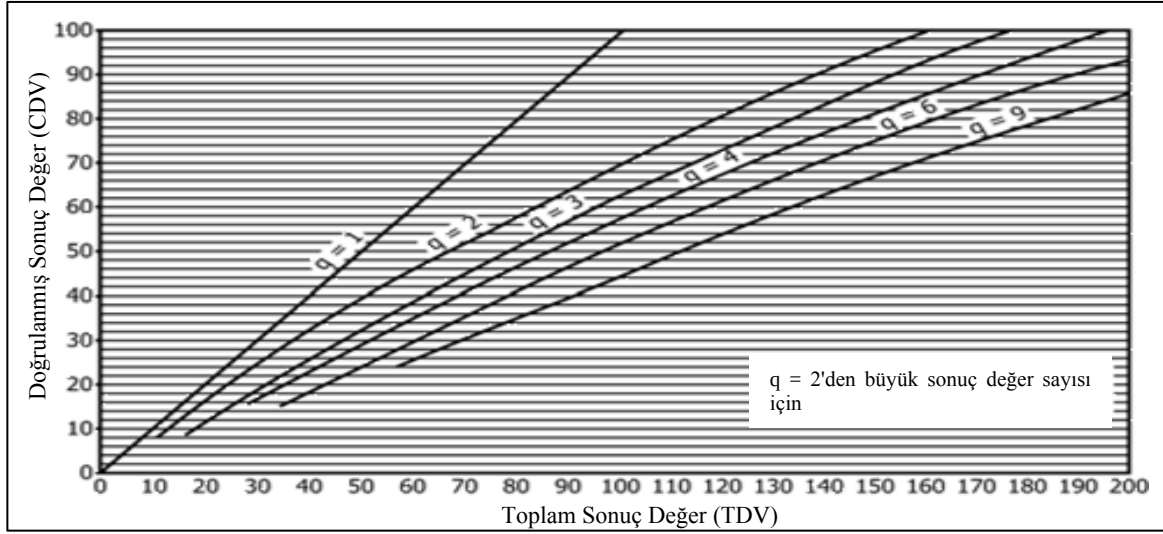
Çizelge 5.3. SSB üstyapı bozulma tipleri ve özellikleri (ASTM D6433, 2023)

Bozulma Grubu	Bozulma Adı	Bozulma Kodu	*Birim	Şiddet
Yüzeysel Bozulmalar	Agrega Cilalanması	1.1	Sayı	Ölçüm yok
	Kil Topağı Oyukları	1.2	Sayı, m ²	Ölçüm yok
	Agrega Sökülmesi	1.3	Sayı, m ²	Var
	Segregasyon	1.4	m	Ölçüm yok
	Sıkıştırma Kaynaklı Yırtılma	1.5	m ²	Ölçüm yok
Çatlaklar	Köşe Çatlağı	2.1	Sayı	Var
	Dayanıklılık Çatlağı	2.2	Sayı, m ²	Var
	Doğrusal Çatlak Oluşumu	2.3	Sayı, m	Var
	Plak Bölünmesi	2.4	Sayı	Var
Yüzeysel Çatlaklar	Harita Şeklinde Çatlama	3.1	Sayı	Var
	Büzülme Çatlakları	3.2	Sayı	Ölçüm yok
Derz	Derz Köşe Parçalanması	4.1	Sayı	Var
	Derz Boyunca Parçalanma	4.2	Sayı, m	Var
	İnşaat Derzi Parçalanması	4.3	m	Ölçüm yok
Kenar ve Köşe	Şerit ve Kenar Kayması	5.1	m	Ölçüm yok
	Plak Kenar Sökülmesi	5.2	m	Ölçüm yok
Diğer	Basınç Patlaması	6.1	Sayı	Var
	Yama ve Yama Bozulmaları	6.2	Sayı, m ²	Var
	Pompaj Etkisi	6.3	Sayı, m	Ölçüm yok
	Faylanma	6.4	Sayı	Var
*Sayı: bozulmanın olduğu bölüm (ano) sayısıdır (ASTM D6433, 2023).				

Vaka çalışmasında bulunan bozulma türlerine ilişkin bozulmanın PCI değerine etki düzeyini gösteren sonuç değer (DV) grafikleri Şekil 5.8 ve doğrulanmış sonuç değer grafiği (CDV) Şekil 5.10'da verilmektedir.



Şekil 5.10. Bozulma yoğunluğu-sonuç değeri (DV) ilişkileri (ASTM D6433, 2023)



Şekil 5.11. TDV - CDV ilişkisi (ASTM D6433, 2023)

5.2.4. PCI değerinin hesaplanması

Kesim 11 (2000-2200 m) için yapılan PCI hesap detayları aşağıda verilmiştir. Diğer tüm kesimlerin PCI hesap detayları ve kesimlerde oluşan bozulmaların fotoğrafları Ek-2’de verilmiştir.

Kesim 11 (2000-2200 m) bozulma tiplerinin belirlenmesi

ASTM D6433-23’te belirtilen esaslar doğrultusunda, 20 m aralıklarla incelenen Kesim 11 de düşük şiddet seviyesinde doğal çatlak oluşumu, agrega cilalanması (Resim 5.2) ve pompaj etkisi (Resim 5.3) bozulma oluşumları görülmüştür.



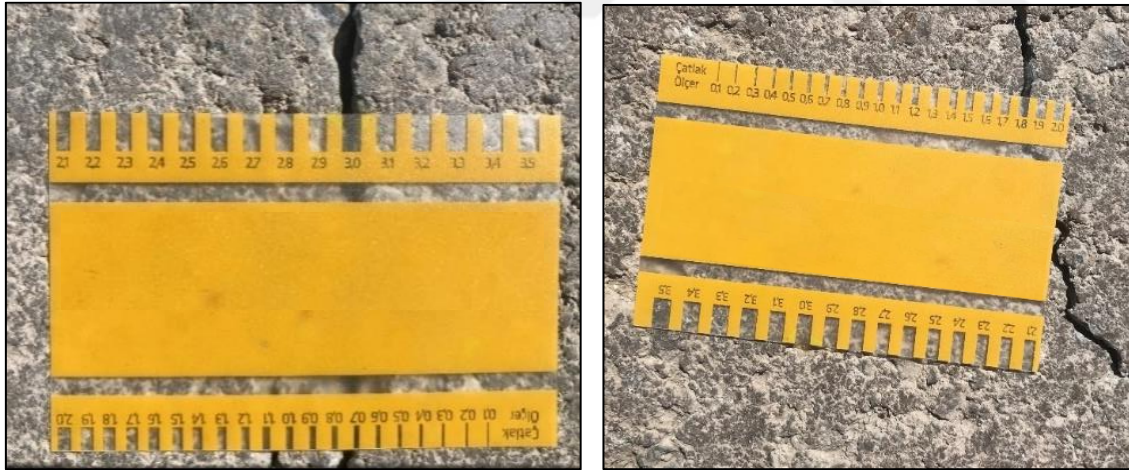
Resim 5.2. Agrega cilalanması ve düşük şiddette doğrusal çatlak oluşumu



Resim 5.3. Pompaj etkisi

Kesim 11 (2000-2200 m) bozulma şiddet seviyelerinin belirlenmesi

Faylanma ve pompaj etkisi bozulma tiplerinin şiddet düzeyi ölçülmemektedir. Doğrusal çatlak oluşumuna ilişkin bozulmaların şiddet seviyeleri belirlenmiştir (Resim 5.4).



Resim 5.4. 2+000 - 2+200 doğrusal çatlak şiddet seviyesinin belirlenmesi

Kesim 11 (2000-2200 m) bozulma yoğunluklarının belirlenmesi

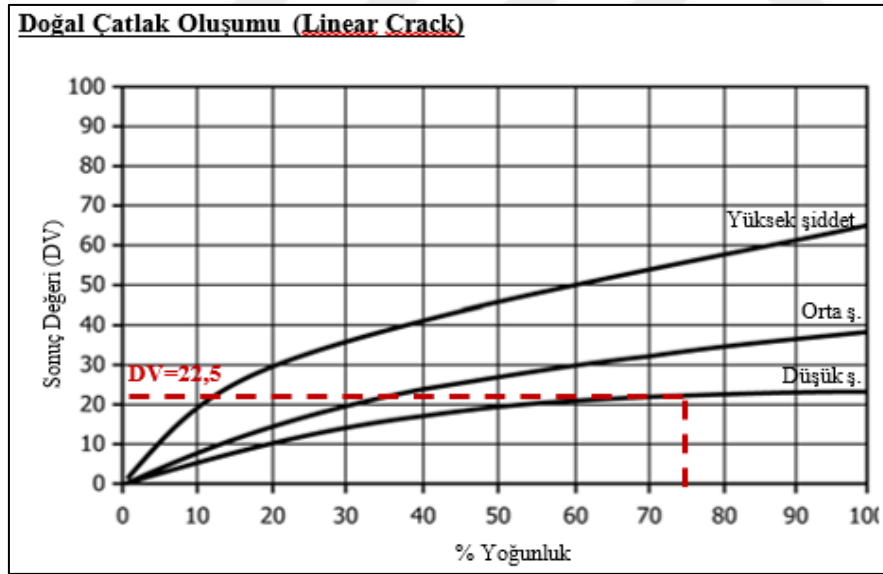
Bozulmaların olduğu plak sayısı toplam plak sayısına oranlanarak (Eşitlik 5.1), yoğunluk değerleri tespit edilmiştir (Çizelge 5.4).

Çizelge 5.4. SSB üstyapı bozulma tipleri ve özellikleri (ASTM D6433, 2023)

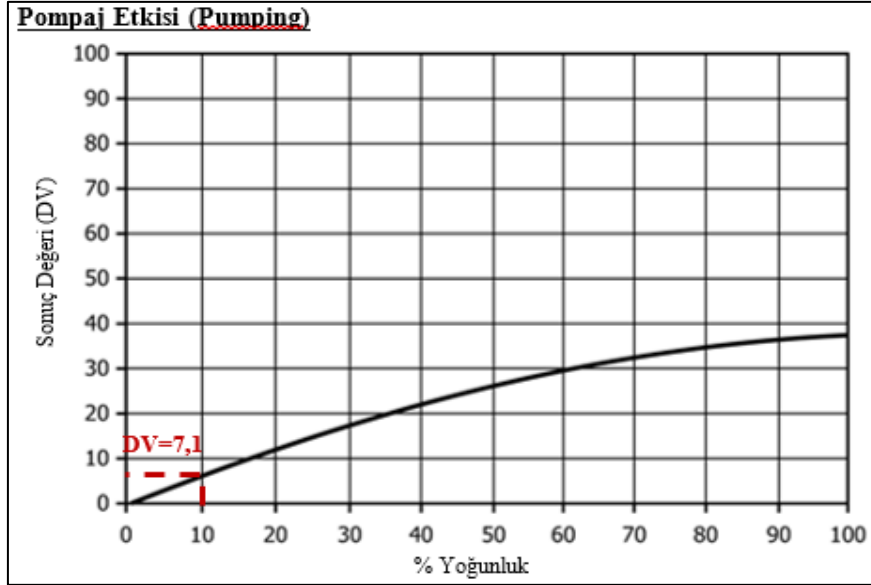
Bozulma Adı	Bozulma Şiddeti	Bozulma Oluşan Plak (Ano) Sayısı	Bozulma Yoğunluğu, %
Doğrusal Çatlak	Düşük	15	75
Agrega Cilalanması	-	20	100
Pomopaj Etkisi	-	2	10

Kesim 11 (2000-2200 m) bozulma sonuç değerlerinin belirlenmesi

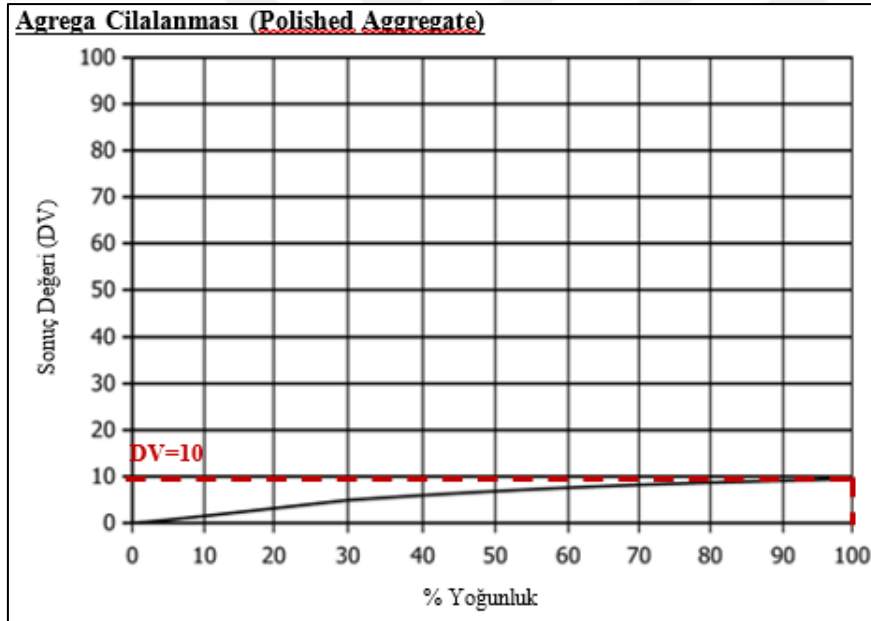
Bozulma şiddet ve yoğunlukları elde edildikten sonra sonuç değerleri (DV) belirlemek amacıyla ASTM D6433-23 standardında her bir bozulma için ayrı olan DV grafik eğrileri kullanılmaktadır. Bu grafiklerde yatay apsis eksenlerinde bozulma yoğunluğu dikey ordinat eksenlerinde ise DV değerleri bulunmakta ve şiddet seviyesine bağlı değişen fonksiyonlar yer almaktadır. Şiddet ve yoğunluk seviyesi bilinen bozulmaların DV değerleri Şekil 5.12, Şekil 5.13 ve Şekil 5.14'te verilen ilgili grafikler kullanılarak tespit edilmiştir.



Şekil 5.12. Doğal çatlak oluşumu sonuç değer (DV) ilişkisi (ASTM D6433, 2023)



Şekil 5.13. Pompaj etkisi sonuç değer (DV) ilişkisi (ASTM D6433, 2023)



Şekil 5.14. Agreg a cilalanması sonuç değ er (DV) ilişkisi (ASTM D6433, 2023)

Kesim 11 (2000 – 2200 m) HCDV değ erinin belirlenmesi için öncelikle, En Yüksek DV değ eri (HDV) belirlenmelidir. İlgili kesim için 22,5, 10 ve 7,1 DV değ erleri tespit edilmiştir. En yüksek DV değ eri (HDV) ise 22,5 değ eridir.

Doğ rulanmış sonuç değ erlerinin (CDV) hesaplanmasında eğer hiçbir DV değ eri veya yalnızca bir tane DV değ eri 2 değ erinden büyükse PCI belirlenirken CDV değ erleri hesaplanmaz sadece toplam DV değ eri (TDV) kullanılır (Eş. 5.2). Vaka çalışması

kapsamında ASTM D6433-23 standardı gereğince 2 değeri alt sınır değer olarak belirlenmektedir.

$$PCI = 100 - (TDV) \quad (5.2)$$

ASTM D6433-23 standartı gereğince Eğer birden fazla DV değeri 2'den büyükse CDV değerleri Şekil 5.11'den hesaplanıp, en büyük CDV değeri (HCDV) belirlenerek PCI değeri tespit edilir (Eş. 5.3).

$$PCI = 100 - (HCDV) \quad (5.3)$$

Bir sonraki adımda, izin verilen dikkate alınacak maksimum bozulma sayısı “*m*” Eşitlik 5.4 kullanılarak tespit edilmiştir.

$$m = 1 + \left(\frac{9}{98}\right) \times (100 - HDV) \quad (5.4)$$

HDV: En büyük DV değeridir.

Kesim 11'de baz alınan DV değerlerine göre; $m = 1 + \left(\frac{9}{98}\right) \times (100 - 22,5) = 8,12$ hesaplanmıştır.

Diğer bir adım da ise en küçük DV değerleri ile *m* değerinin ondalık kısmı çarpılmasıyla ($7,1 \times 0,12 = 0,83$) elde edilen sayının hesaplamalarda kullanılma durumunun değerlendirilmesidir. Bu değerlendirme için 2'den büyük DV değeri sayısı *q* değeri olarak kaydedilir. İlgili kesimde tüm DV değerleri de 2'den büyük olduğundan dolayı *q*=3'tür.

m değeri ile *q* değeri karşılaştırıldığında, *m* değerinden az *q* değeri vardır. Bu nedenle hesaplamalara çarpım değeri 0,83 kullanılmamıştır.

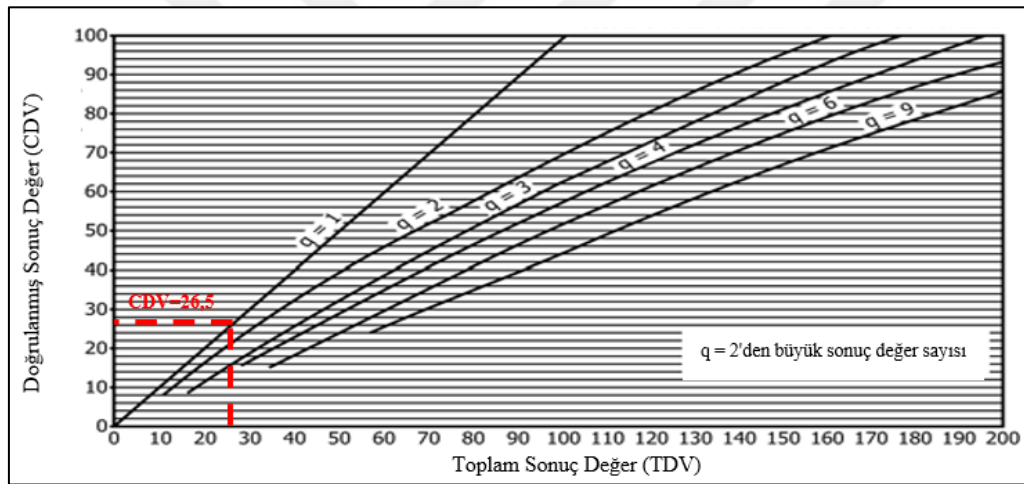
Bir sonraki adımda ise DV değerleri büyükten küçüğe sıralanıp kaydedilir. Her satır için 2'den büyük DV değeri sayısı ise “*q*” satırına sırasıyla yazılır. *q*=1 değerine kadar her alt satırda 2'den büyük, en küçük DV değeri alt sınır değeri 2 ile hesaplanmalıdır. Bu iterasyon işlem döngüsü *q*=1 değerine kadar devam ettirilir.

Her satırda DV değerleri toplanarak toplam sonuç değeri (TDV) verileri hesaplanır (Çizelge 5.5).

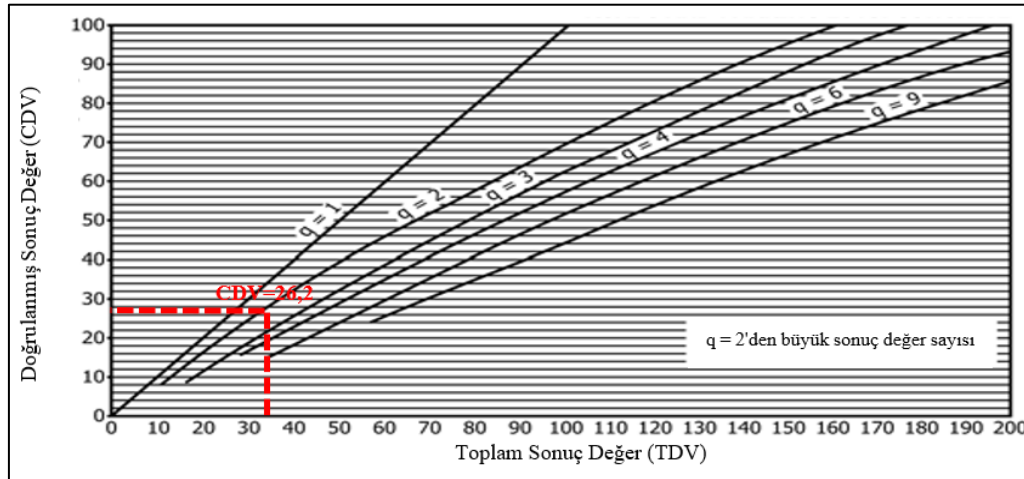
Çizelge 5.5. Kesim 11 toplam sonuç değerleri (TDV)

Sonuç Değeri (DV)			Toplam (TDV)	q
22,5	10	7,1	39,6	3
22,5	10	2	34,5	2
22,5	2	2	26,5	1

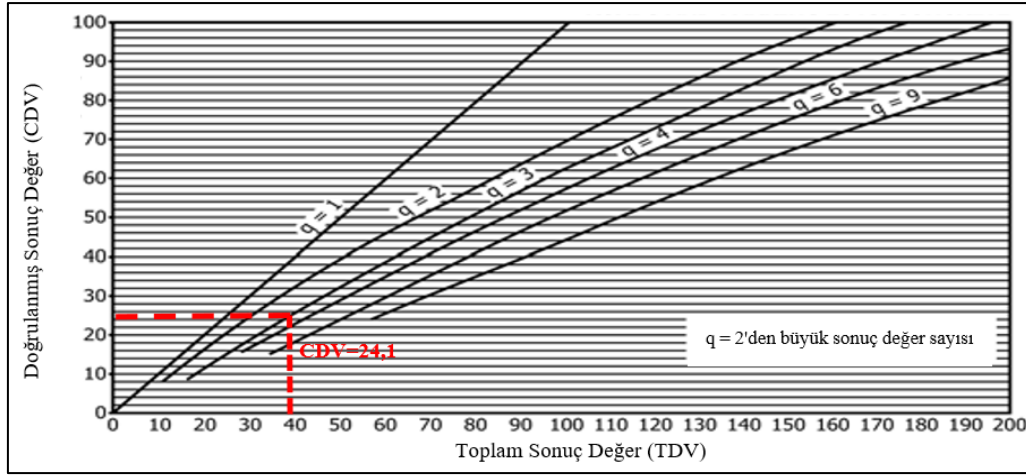
Toplam sonuç değerleri (TDV) ve q değerleri ile bağıntılı Şekil 5.11'de verilen grafik kullanılarak, doğrulanmış sonuç değerler (CDV) belirlenir. Kesim 11 için q sırasında göre CDV değerleri Şekil 5.15, Şekil 5.16 ve Şekil 5.17'de verildiği şekilde belirlenmiştir.



Şekil 5.15. TDV - CDV ilişkisi q=1 için (ASTM D6433, 2023)



Şekil 5.16. TDV - CDV ilişkisi q=2 için (ASTM D6433, 2023)



Şekil 5.17. TDV - CDV ilişkisi $q=3$ için (ASTM D6433, 2023)

CDV değerleri q sırasına göre hesap cetveline kaydedilir (Çizelge 5.6).

Çizelge 5.6. Kesim 11 doğrulanmış sonuç değerleri (CDV)

Sonuç Değeri (DV)			Toplam (TDV)	q	CDV
22,5	10	7,1	39,6	3	24,1
22,5	10	2	34,5	2	26,2
22,5	2	2	26,5	1	26,5

En yüksek doğrulanmış sonuç değeri (HCDV), 26,5 bulunmuştur.

HCDV değeri 100'den çıkartılarak kaplama performans indeksi belirlenir (Eş. 5.3).

$$PCI = 100 - 26,5 = 73,5 \quad (\text{Yeterli durumda üstyapı kaplaması})$$

PCI değeri 73,5 bulunmuş ilgili kesimin Çizelge 4.3'te verilen durum ölçeği kullanılarak Kesim 11'in yeterli durumda olduğu tespit edilmiştir.

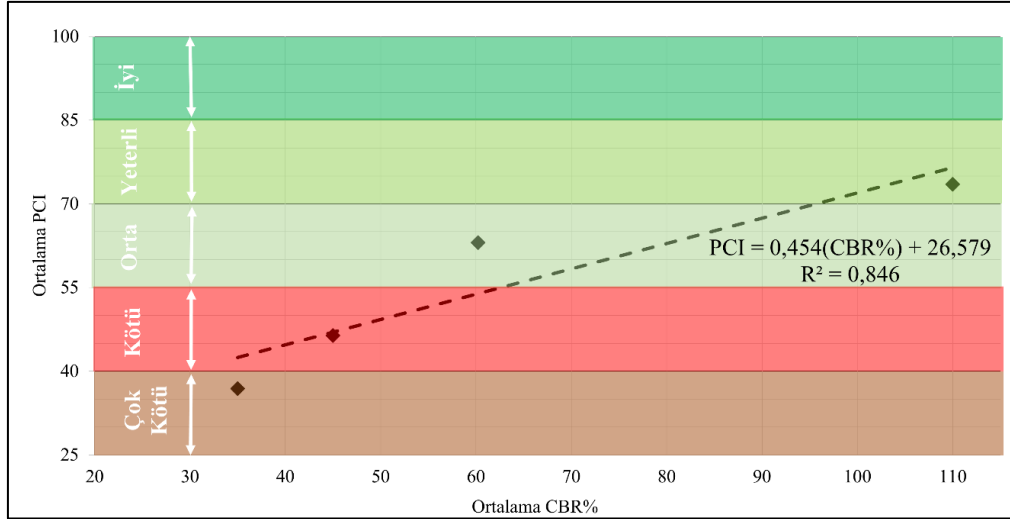
5.3. PCI ve CBR% Değerlerinin İlişkisi

Yapılan hesaplamalar sonucunda 200 m aralıklarla SSB yol üstyapı PCI değerleri belirlenmiştir. Üstyapı durum indeksi PCI ve SSB yol imalatı öncesi belirlenen CBR% değerleri Çizelge 5.7’de verilmektedir.

Çizelge 5.7. Eşmeahmediye-Avluburun SSB yolu CBR% ve PCI değerleri

Yol Kesimi Km	* CBR %	Ort. CBR %	PCI	Ort. PCI	Kaplama Durumu
Kesim 3 (400-600 m)	35	35,0	34,9	36,9	Çok Kötü
Kesim 1 (0-200 m)	45		37,5		Çok Kötü
Kesim 6 (1000-1200 m)	25		38,3		Çok Kötü
Kesim 4 (600-800 m)	50	45,0	43	46,4	Kötü
Kesim 7 (1200-1400 m)	40		49,8		Kötü
Kesim 8 (1400-1600 m)	43	60,2	57,9	63,1	Orta
Kesim 2 (200-400 m)	50		59,9		Orta
Kesim 5 (800-1000 m)	63		61,5		Orta
Kesim 9 (1600-1800 m)	70		67,2		Orta
Kesim 10 (1800-2000 m)	75		68,8		Orta
Kesim 11 (2000-2200 m)	110	110,0	73,5	73,5	Yeterli
* SSB yol üstyapı imalatı öncesinde taban zemininde ölçülen CBR değerleri, Abut (2017) çalışmasından alınmıştır.					

Ortalama PCI – Ortalama CBR% ilişkisi Şekil 5.18’de sunulmuştur. Şekil 5.18’e göre Ortalama PCI – Ortalama CBR% değerleri arasındaki belirleme katsayısı yani R-kare (R^2) değeri 0,846’dır ve $PCI = 0,454(CBR\%) + 26,579$ olmak üzere değerler doğrusal ilişkilidir.



Şekil 5.18. CBR%-PCI ilişkisi

Eşmeahmediye-Avluburun SSB yol üstyapısında oluşan bozulma grupları ve tiplerine aşağıda yer verilmiştir.

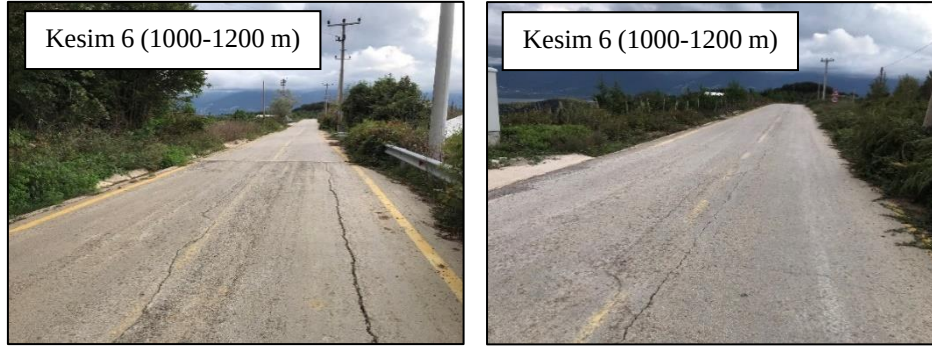
5.4. Eşmeahmediye-Avluburun SSB Yolu Bozulmalar

Eşmeahmediye-Avluburun SSB yolunda, yüzeysel bozulmalar ana grubunda; agreg a cı lananması ve agreg a sökölmesi oluştuğu, çatlaklar bozulma ana grubunda; köşe çatlağı, doğrusal çatlak oluşumu ve plak bölünmesi bulunduğu, diğ er bozulmalar ana grubunda ise pompaj etkisi ve faylanma olmak üzere toplamda 8 farklı SSB bozulma tipinin bulunduğu tespit edilmiştir.

Eşmeahmediye-Avluburun SSB yolunda en sık rastlanan bozulma tipinin doğrusal çatlak oluşumu (Resim 5.5) olduğ u tespit edilmiştir. Faylanma ve agreg a cı lananması bozulma tiplerinin (Resim 5.6) doğrusal çatlak oluşumundan sonra en sık oluş an bozulma tipidir.



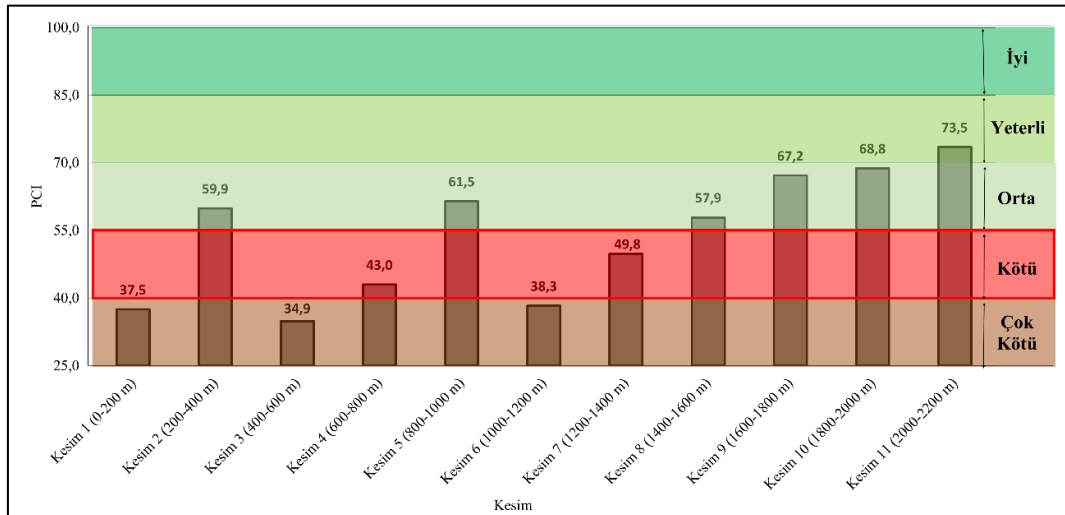
Resim 5.5. Eşmeahmediye-Avluburun SSB yolu doğrusal çatlak oluşumu



Resim 5.6. Eşmeahmediye-Avluburun SSB yolu faylanma ve agrega cilalanması

Eşmeahmediye-Avluburun SSB yolu kritik kesimler

Eşmeahmediye-Avluburun SSB yolunda, Kesim 1 (0-200 m), Kesim 3 (400-600 m) ve Kesim 6 (1000-1200 m) yol kesimlerinin kaplama performans indeksi (PCI) değerinin 40'ın altında olduğu, ASTM D6433-23 standardında verilen durum ölçeklerine göre bu kesimlerin çok kötü durumda olduğu belirlenmiştir. Bu nedenle, Kesim 1, Kesim 3 ve Kesim 6 kritik kesimler başlığı altında değerlendirilmiştir. Ayrıca, CBR% değeri 50'nin üzerinde olduğu halde üstyapı durumu çok kötü seviyesine yakın olan Kesim 4 (600-800 m) kesimi de kritik kesimler kapsamında değerlendirilmiştir (Şekil 5.19).



Şekil 5.19. Yol kesimleri ve üstyapı durumlarının ilişkisi

Kritik Kesimlerde Oluşan Bozulmalar

Kritik kesimlerde yüzeysel bozulmalar grubunda; agrega cilalanması ile agrega sökülmesi olduğu, çatlaklar bozulma grubunda; köşe çatlağı, doğrusal çatlak oluşumu ve plak

bölünmesi bulunduğu, diğer bozulmalar grubunda ise yama bozulması ve faylanma olmak üzere toplamda 7 farklı SSB bozulma tipinin bulunduğu belirlenmiştir.

Kritik kesimler başlığı altında değerlendirilen kesimlerde oluşan bozulma tipleri ve şiddet seviyeleri Çizelge 5,8’de verilmektedir.

Çizelge 5.8. Kritik kesimlerde oluşan bozulmalar ve şiddet seviyeleri

Kesim Adı	Grubu	Yüzeysel Bozulmalar				Çatlaklar									Diğer Bozulmalar					
	Tipi	Agrega Cıalanması	Agrega Sökülmesi			Köşe Çatlağı			Doğrusal Çatlak			Plak Bölünmesi			Yama Bozulmaları			Faylanma		
	Şiddeti	Şid. Seviyesi Yok	Düşük Şid.	Orta Şid.	Yüksek Şid.	Düşük Şid.	Orta Şid.	Yüksek Şid.	Düşük Şid.	Orta Şid.	Yüksek Şid.	Düşük Şid.	Orta Şid.	Yüksek Şid.	Düşük Şid.	Orta Şid.	Yüksek Şid.	Düşük Şid.	Orta Şid.	Yüksek Şid.
Kesim 1 0-200 m					X				X	X			X			X			X	X
Kesim 3 400-600 m		X		X					X	X	X								X	X
Kesim 4 600-800 m		X		X					X	X	X		X							
Kesim 6 1000-1200 m		X		X					X	X	X									X

Kritik Kesimlerin Bakım Onarımı

Plak bölünmesi ve faylanma bozulmasının ana nedeni yetersiz taban desteği olduğu bilinmektedir (Christopher ve diğerleri, 2006; Titus-Glover ve diğerleri, 2019). Bu nedenle, drenaj yapılarının etkin çalışmaması sonucunda üstyapı tabanına su girişi olmasıyla taban malzemesinde sürüklenme etkisi ile taban desteğinin zayıfladığı ve faylanmaların oluştuğu değerlendirilmiştir. SSB plak üzerinde faylanma olan kesimlerin kazılarak çıkartılması ve temel tabakasının yenilenmesi, plak yerine tam derinlikte ankrajlama yapılarak, onarım sonuçları gözlemlenebilir. Plak bölünmesi oluşan kesimlerde de plağın kaldırılıp gerekli

temel desteği sağlandıktan sonra yeniden yapım metotları kullanılarak onarılması ve etkin çalışmayan drenaj sistemlerinin etkin hale getirilmesi iyileştirme açısından değerlendirilebilir.

Oluşan doğrusal çatlaklardaysa 3,2 mm genişliğine kadar oluşan düşük şiddetli çatlaklarda onarım işlemine gerek yoktur. 25 mm genişliğe kadar oluşan doğrusal çatlaklar, çatlak kanalı oluşturularak, temizlenip, çatlak dolgu malzemesi ile onarılabilir. 25-50 mm çatlak genişliğinde oluşan çatlaklarınsa varsa plak parçaları sökülmeden çatlak kanalı oluşturularak çatlak dolgu malzemesi ile onarılması mümkündür. 50 mm üzerinde oluşan ve hareketsiz çatlaklar, asfalt betonu kullanılarak geçici olarak onarılabilir (Shahin, 2005).

Eşmeahmediye-Avluburun SSB yol üstyapı kaplamasında yüzeysel bozulma tipinde orta şiddette agrega sökülmesi ile cilalanma olduğu belirlenmiştir. Resim 5.5'te verilen örnek pürüzlendirme işlemi gibi mikro freze makineleri ile agrega sökülmesi ile cilalanma oluşan ilgili kesimlerde enine yönde yüzey pürüzlülüğü oluşturulabilir. Bu işlem yüzeysel bozulmaların iyileştirilmesi ve yol üstyapı yüzey dokusunu düzeltilmesi için değerlendirilebilir (ACPA, 2014).

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Ülkemizde son yıllarda özellikle yerel yönetimler tarafından düşük ilk yapım maliyeti ve sağladığı diğer avantajlar nedeniyle SSB üstyapılar tercih edilmekte ve birçok başarılı uygulama yapılmaktadır. Ancak, bütçe kısıtlamaları genellikle kapsamlı saha ve zemin etütlerini engellemekte, bu da uygun drenaj sistemlerinin eksikliğine ve zayıf üstyapı taban zeminlerinin iyileştirme işlemlerinin ihmal edilmesine neden olmaktadır. İmalat kusurları da hesaba katıldığında, bu durumlar üstyapı performanslarında bir sorun haline gelmekte ve SSB yollar beklenen 20 yıllık ömrüne nazaran çok daha erken bozulma riskiyle karşı karşıya kalmaktadır.

Tez çalışmasında, SSB yol üstyapılarda oluşan bozulmalar ile özellikleri, bozulma oluşumuna etki eden faktörler ve bozulmalara yönelik uygulanabilir bakım onarım yöntemleri araştırılmıştır. Tez kapsamında, SSB yol kaplama performansının taban zemini açısından değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda, Kocaeli İli, Kartepe İlçesinde bulunan Eşmeahmediye-Avluburun SSB yolunda performans değerlendirmesine yönelik vaka çalışması yürütülmüştür. Çalışmada, ASTM D6433-23 standardına göre Eşmeahmediye-Avluburun yolunun üstyapı durum indeks (PCI) değerleri hesaplanmıştır.

Vaka çalışmasında, 200 m'lik bölümlerde elde edilen ortalama PCI değerinin 53,8; en düşük kaplama performans indeksinin 34,9; en yüksek olan ise 73,5 olduğu tespit edilmiştir. ASTM D6433-23 standardına göre yolun %55'lik bölümünün orta seviyenin üzerinde olduğu tespit edilmiştir. Yol 6 yılı aşkın bir süredir herhangi bir bakım veya onarım yapılmadan hizmet vermektedir. Uygun bakım ve onarımlarla birlikte yol üstyapı performansının artması beklenmektedir. Çalışmada çıkarılan diğer spesifik sonuçlar aşağıdaki verilmektedir:

Vaka çalışmasında, yol kesimlerinin üstyapı taban zemini ortalama CBR değerleri ile ortalama PCI değerleri arasında doğrusal bir regresyon ilişkisi olduğu ve belirleme katsayısı yani R-kare (R^2) değerinin 0,846 olduğu belirlenmiştir.

Yolun km artış yönünde 0+000 – 1+600 km'leri arasında yolun solunun yarma, sağının ise dolgu kesimde olduğu bilinmektedir. İlgili kesimlerde dolgu tarafında kalan sağ şeritte özellikle blok çatlak, doğrusal çatlak ve faylanma bozulmalarının daha yoğun olduğu görülmektedir. Bu durum, yarma şev dibi hendeğinin üstyapı tabanına su girişini bir miktar

engellediği ve dolgu kesimde ise malzeme sürüklenmesi vb. etkilerle taban zemin desteğinin zayıfladığını göstermektedir.

Özellikle Kesim 1 ve Kesim 4 kesimlerinde drenaj tedbirlerinin yetersiz olduğu ve üstyapı tabanına su girişi olduğu belirlenmiştir. Bu nedenle üstyapı tabanında imalat öncesinde ölçülen zemin taşıma gücünün görece yüksek olmasına rağmen taban zemini kaynaklı bozulmaların olduğu görülmüştür. Üstyapı performansı araştırmalarında üstyapı taban zemini ile su ilişkisinin büyük öneme sahip olduğu ve bu nedenle taban zemini ile iklimsel faktörlerin ve drenaj tedbirlerinin muhakkak bir arada değerlendirilmesi gerektiği söylenebilir.

SSB karışım içeriğindeki agrega özellikleri, yolun yüzeysel özelliklerini önemli derecede etkilemektedir. SSB hizmet koşullarına uygun agrega seçimi üstyapının sergileyeceği performans açısından önemlidir. Örneğin, kalker ve dolomit gibi çok sert olmayan ve pürüzlülüğü az olan agregalara, nazaran granit, bazalt ve benzeri daha sert ve pürüzlü agregalar, cilalanmaya karşı dirençleri daha yüksek ve aşınmaya karşı daha dayanıklı yapıdadırlar. SSB kaplamaların aşırı aşınmaya maruz kalması muhtemel durumlarda, kaplamalarda sert agregaların kullanılması başta cilalanma olmak üzere yüzeysel bozulmalara karşı önleyici etki sağlayacak ve betonun ömrünü uzatacaktır.

SSB yollarda gözlemlenen; segregasyon, inşaat derzi parçalanması, şerit ve kenar kayması ve plak kenar sökülmesi bozulmalarının şiddet tanımları ve hesap parametrelerinin belirlenerek PCI hesaplamalarında dikkate alınması, SSB yollarda daha verimli performans değerlendirmelerinin yapılmasına katkı sağlayacaktır.

Yol üstyapı performansı ve iklim arasındaki ilişkilerin daha iyi anlaşılabilmesi, uzun dönem yol üstyapı performanslarının daha sağlıklı şekilde değerlendirilmesi için önemlidir. Yol üstyapı performans değerlendirmelerinde iklimsel verileri kaydetmek, yol üstyapı performansına yönelik bölgelerin oluşturulmasına yardımcı olacaktır. Böylece, uluslararası literatürde olduğu gibi ülkemizde de üstyapı performanslarının daha başarılı tahmin edilebilmesi mümkün olacaktır. Ayrıca, yol üstyapı tasarımlarında bu bölgeleri dikkate almak mekanistik-ampirik tasarım yöntemlerinin uygulanabilmesini sağlayacaktır. İklimin yol üstyapı performansına olan etkisini daha iyi anlamak, bozulmalara karşı gerekli önlemlerin alınması ve verimli bütçe planlamaları için fırsat sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

- Abut, Y. (2017) *Silindirle sıkıştırılmış beton yol: Kocaeli İlinde bir durum çalışması*. Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 37-121.
- Adlinge, S. S., & Gupta, A. K. (2013). Pavement deterioration and its causes. *International journal of innovative research and development*, (4), 437-450.
- ACPA (2009). *Recycling Concrete Pavements*. American Concrete Pavement, Washington, DC, USA, 5-33.
- ACPA (2014). *Roller-Compacted Concrete Pavements as Exposed Wearing Surface*. Ver. 1.2. American Concrete Pavement, Washington, DC, USA, 3-29.
- Akbelen, B., Bulut, İ. & Yaman, İ. O., (2023). *İklim Değişikliği ile Mücadelede Beton Yolların Potansiyeli*. Beton 2023 Kongresi, 8-10 Kasım, İstanbul, 260-275.
- İnternet: ASCE (2023). *First Concrete Pavement*. Reston, Virginia, ABD.
URL: <https://www.asce.org/about-civil-engineering/history-and-heritage/historic-landmarks/first-concrete-pavement>, Son Erişim Tarihi: 01.10.2023.
- Arıkan, E. D., ve Demirel, F. (2023). Avrupa Ortak Gürültü Değerlendirme Modeli (CNOSSOS-EU) ile Karayolu Gürültü Kestiriminde Kullanılan Uluslararası Modellerin Karşılaştırılarak Değerlendirilmesi. *PLANARCH-Design and Planning Research*, 7(2), 216-222.
- ASTM (2023). *Standard Practice for Roads and Parking Lots Pavement Condition Index Surveys (D 6433-23)*. American Society for Testing and Materials, United States.
- Bağdatlı, M. (2010). *Esnek üst yapı kaplamalarındaki hasar özelliklerinin bakım maliyetleri üzerine etkisi* Yüksek Lisans Tezi, Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 63-67.
- İnternet: Betonyol (2023). *Fotoğraflar*. Yayınlar,
URL: <https://www.betonyol.org.tr/yayinlar/fotograflar>, Son Erişim Tarihi: 15.07.2023.
- Büyükakın, V. (2020). *Investigating The Effects of Various Reinforcements on The Bearing Capacity of Highway Pavement*. Master Thesis, Graduate School of Science and Engineering, Hacettepe University, Ankara, 3-5.
- İnternet: Cementconcrete (2019). *California Bearing Ratio (CBR Test) of Subgrade Soil - Procedure, apparatus, and use for pavement Design*. Geotechnical pavement materials. URL: <https://cementconcrete.org/geotechnical/california-bearing-ratio-cbr-test/1914/>, Son Erişim Tarihi: 18.07.2023.

Christopher, B. R., Schwartz, C. W., Boudreaux, R., & Berg, R. R. (2006). *Geotechnical aspects of pavements* (No. FHWA-NHI-05-037). United States. Federal Highway Administration, (1),18.

Correa, A. L., & Wong, B. (2001). *Concrete Pavement Rehabilitation-Guide for Diamond Grinding* (No. FHWA-SRC 1/10-01 (5M)), 12.

Cortez, E. R., & Eaton, R., A. (1992). *Environmental monitoring and performance evaluation of roller-compacted concrete pavement: Conley Terminal, Boston, Massachusetts* (Vol. 91, No. 25). US Army Cold Regions Research and Engineering Laboratory, 1-7.

Çalışkan, K., Tutan, S. N., Komut M., Altıok, Ş. (2021). *Koruyucu Bakım Amaçlı Bitüm Emülsiyonlu Harç Tipi Kaplamalar Micro Surfacing Uygulaması Performans Değerlendirmesi*. 8. Asfalt Sempozyumu ve Sergisi, Ankara.

İnternet: ÇŞİDB (2022). *Resmi İstatistikler*. İllere Ait Mevsim Normalleri. T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM).URL:<https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-statistik.aspx?m=KOCAELI>, Son Erişim Tarihi: 08.05.2023.

İnternet: ÇŞİDB (2023). *Resmi İstatistik*. Köy Yollarına İlişkin Resmi İstatistikler. T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Yerel Yönetimler Genel Müdürlüğü, Ankara. URL: <https://yerelyonetimler.csb.gov.tr/resmi-istatistik-i-88465>, Son Erişim Tarihi: 29.12.2023.

Damrongwiriyanupap, N., Liang, Y. C., & Xi, Y. (2012). *Application of Roller Compacted Concrete in Colorado's Roadways* (No. CDOT-2012-11). Colorado. DTD Applied Research and Innovation Branch, 6-36.

Dhakal, N., Elseifi, M. A., Zihan, Z. U., Zhang, Z., Fillastre, C. N., & Upadhyay, J. (2022). Classification of surface pavement cracks as top-down, bottom-up, and cement-treated reflective cracking based on deep learning methods. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 49(4), 644-656.

İnternet: EKAP (2023), *EKAP (Elektronik Kamu Alımları Platformu) İhale Arama*. Türkiye. URL: <https://ekap.kik.gov.tr/EKAP/Ortak/IhaleArama/index.html>, Son Erişim Tarihi: 29.12.2023.

FAA (2014). *Airport Pavement Management Program (PMP)*. Federal Aviation Administration, Advisory Circular, Washington, 3-4.

İnternet: Federal Highway Administration (FHWA) (2018). *1909 - Rural Concrete Roads*. Washington, DC, ABD. URL: <https://www.fhwa.dot.gov/rakeman/1909.htm>, Son Erişim Tarihi: 21.07.2023.

- İnternet: Federal Highway Administration. (2016). *Highway Performance Monitoring Sys. Manual* (2125-0028). Washington, DC: Office of Highway Policy Information. (4), 123. URL: https://www.fhwa.dot.gov/policyinformation/hpms/fieldmanual/hpms_field_manual_dec2016.pdf, Son Erişim Tarihi: 15.08.2023.
- THBB (2003). *Beton Yollar*. Türkiye Hazır Beton Birliği Beton Yollar Teknik Çalışma Grubu, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası Türkiye Mühendislik Haberleri 427, 40.
- Güngör, A. G., (2021). *Silindirle Sıkıştırılabilir İki Tabakalı Beton Kaplamalar Arası Bağ Performansının DeneySEL Olarak Belirlenmesi*. Doktora Tezi 727918, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gazi Üniversitesi, Ankara.
- Hanlı, E. (2009). *Esnek yol üstyapısında oluşan bozulmalar ve değerlendirmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Harrington, D., Abdo, F., Adaska, W., Hazaree, C., & Bektas, F. (2010). *Guide for roller-compacted concrete pavements*. Iowa State University, National Concrete Pavement Technology Center, Portland Cement Association (PCA), Skokie, IL 60077, 85-86.
- Harrington, D., Ayers, M., Cackler, T., Fick, G., Schwartz, D., Smith, K., & Dam, T. V. (2018). *Guide for Concrete Pavement Distress Assessments and Solutions: Identification, Causes, Prevention, and Repair*. Ames, IA: National Concrete Pavement Technology Center, Tech. Rep.
- Hergüner, A. T. (2009). *Türkiye Otoyol Ağı İçin Üstyapı Yönetim Sistemi*. Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Holtz, R. D., Kovacs, W. D., & Sheahan, T. C. (2011). *Geoteknik Mühendisliğine Giriş- An introduction to geotechnical engineering*. (2. Baskı) Zemin ve Kayalarda Hidrostatik. Englewood Cliffs: Prentice-Hall, (6), 214-271.
- Isradi, M., Arifin, Z., & Sudrajat, A. (2019). Analysis of the Damage of Rigid Pavement Road by Using Pavement Condition Index (PCI). *Journal of Applied Science, Engineering, Technology, and Education*, 1(2), 193-202.
- Kadioğlu, T. (2020). *Beton ve asfalt yolların dayanım, dayanıklılık (durabilite) ve maliyet değişimlerinin karşılaştırılması: Trabzon örneği*. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, Türkiye.
- İnternet: Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM) (2022). *2022 Faaliyet Raporu*, Yıllar İtibariyle Faaliyet Raporu. Karayolları Strateji Geliştirme Dairesi Başkanlığı. (1), 59. URL: <https://www.kgm.gov.tr/Sayfalar/KGM/SiteTr/Kurumsal/FaaliyetRaporu.aspx>, Son Erişim Tarihi: 10.05.2023.
- Kaşak, S., & Komut, M. (2019). *Karayolları Beton Yol Üstyapılar Projelendirme Rehberi*, Karayolları Genel Müdürlüğü, Araştırma ve Geliştirme Dairesi Başkanlığı, Ankara.

- Kayıpmaz M. T. (2019). *Beton Yollarda Isıl Genleşme ve Gerilmelerin Araştırılması*. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, Türkiye.
- Kırbaş, U. (2018). Konforlu Sürüş İçin Uluslararası Düzgünsüzlük İndeksi Sınır Değerlerinin Belirlenmesi. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 6(2), 301-309.
- Kırbaş, U., & Karaşahin, M. (2015). Şehiriçi Bitümlü Sıcak Karışım Kaplamalı Yollarda İklim ve Üstyapı Yaşına Endeksli Bir Üstyapı Bozulma Tahmin Modeli Geliştirilmesi. *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 11(2), 10-19.
- Komut, M., Ünal, E. N., & Altıok, Ş. (2019). *Karayolları Genel Müdürlüğü Ağındaki Beton Deneme Yolların Performans Değerlendirmesi*. 1.Beton Yollar Kongresi ve Sergisi, 13-14 Kasım 2019 KGM Halil Rifat Paşa Konferans Salonu, Ankara, 1-16
- Kwon, J., Tutumluer, E., Al-Qadi, I. L., & Anochie-Boateng, J. (2007). Geomaterial characterizations of full scale pavement test sections for mechanistic analysis and design. *In Soil and Material Inputs for Mechanistic-Empirical Pavement Design*, 1-10.
- Lee, S. W., Cho, Y. H., & Park, C. (2014). Mechanical performance and field application of low cement based concrete under compaction energy. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 18, 1053-1062.
- Mackiewicz, P., & Szydło, A. (2020). Thermal stress analysis in concrete pavements. *Journal of Transportation Engineering, Part B: Pavements*, (3), 146.
- Miller, J. S., & Bellinger, W. Y. (2014). *Distress identification manual for the long-term pavement performance program (Fifth Revised Edition)*, (No. FHWA-RD-13-092). United States. Federal Highway Administration. Office of Infrastructure Research and Development, 35-80.
- Ünal E. N., Komut M., & Altıok Ş. (2023). *Yeni Yapılan Asfalt Kaplamalarda Kayma Direnci Değerlendirmeleri*. Karayolu 5. Ulusal Kongresi ve Sergisi, 22-23 Kasım, Ankara, 157-167
- NCE, (2016). *Central Freight Yard Roller-Compacted Concrete Pavement*. RCC Pavement Council.
- NSW (2016). *Technical Guide Grinding Concrete Pavements (No: P-G-003)*. New South Wales Government Transport Roads & Maritime Services, 9-23.
- Oikonomou, N., & Eskioglou, P. (2007). Alternative fillers for use in slurry seal. *Global NEST Journal*, 9(2), 182-186.
- Ongel, A., & Harvey, J. (2004). *Analysis of 30 years of pavement temperatures using the enhanced integrated climate model (EICM)*. Pavement Research Centre, 61-63.

- Özerdoğan, E. (2005). *Rijit Üstyapılarda Bakım ve Onarım*. Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 5-65.
- Öztürk, H. I., Şengün, E., & Yaman, İ. Ö. (2019). Comparison of jointed plain concrete pavement systems designed by mechanisticempirical (ME) method for different traffic, subgrade, material and climatic conditions, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University* 34(2),773-782.
- Pereira, T. D. D. C. P. (2014). *Rigid pavements distresses-pavement condition index evaluation*. Master Thesis, Faculty of Science and Technology, New University of Lisbon, Portugal, 119-121.
- PIARC (2013). *Guide for maintenance of concrete roads (ISBN: 978-2-84060-317-7)*. Permanent International Association of Road Congresses Technical Committee D.2 Road Pavements, 30-37.
- Portland Cement Association (PCA). (2010). *Diamond Ground RCC Replaces Failed Asphalt Highway Pavement (PL 635)*.
- Ramdhani, F., Mubarak, H., & Equinaldo, E. (2017). Rigid Pavement Condition Assessment With Bina Marga Method and Pavement Condition Index (PCI) Method in Dumai-Duri City at STA 173+ 000-177+ 000. *Journal of Dynamics (International Journal of Dynamics in Engineering and Sciences)*, 2(1), 34-36.
- Rashmi, S. M., Kumar, K. R., Akki, B., & Reddy, I. R. (2020, December). *Performance Studies on white topping layers over flexible pavement*. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 981 (3), 032076. IOP Publishing, 1-2.
- Sağlık, A., & Güngör, A. G. (2008). *Karayolları esnek üstyapılar projelendirme rehberi*, 1.Baskı, Karayolları Genel Müdürlüğü, Ankara, 38-92.
- Seferoğlu, M. T. (2019). *Beton üstü asfalt kaplamalarda oluşan yansıma çatlaklarının incelenmesi*. Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, Türkiye.
- Setiawan, D. M. (2020). The role of temperature differential and subgrade quality on stress, curling, and deflection behavior of rigid pavement. *Journal of the Mechanical Behavior of Materials*, 29(1), 94-105.
- Shabani, R., Şengün, E., Öztürk, H. I., Yaman, İ. Ö. (2021). Silindirle Sıkıştırılmış Beton (SSB) Kaplamaların Yüzey Özelliklerine Karışım Parametrelerinin Etkisi. *Teknik Dergi*, 32(5), 11153-11174.
- Shahin, M. Y. (2005). *Pavement management for airports, roads, and parking lots (Vol. 501)*. New York: Springer.

- Shatnawi, S. (2008). *Maintenance Technical Advisory Guide Volume I Flexible Pavement Preservation*. California Department of Transportation, Sacramento (CA), 1.
- Smith, K. D., Harrington, D. S., Grogg, M., Ram, P., & Smith, K. L. (2022). *Concrete Pavement Preservation Guide* Third Edition .United States. Federal Highway Administration, 79-108.
- Smith, P. (1965). *Introducing Slip-Form Concrete Paving*. Highway Research Record, (98).
- Snyder, M. B., Cavalline, T. L., Fick, G., Taylor, P., & Gross, J. (2018). *Recycling concrete pavement materials: A practitioner's reference guide*, 2-3.
- Soliman, S. (2018). Microsurfacing on Concrete Pavement. Emulsion Bitumen Applications. 16-17 August 2018. Almaty.
- Şengün, E., Öztürk, H. İ., & Yaman, İ. Ö. (2020). Mekanistik-ampirik ve geleneksel beton yol tasarım yöntemlerinin karşılaştırılması: Afyon-Emirdağ deneme kesimi. *Teknik Dergi*, 31(5), 10251-10274.
- Şengün, E., & Yaman, İ. Ö., (2019). *Beton Yollar... Neden olmasın?* 10. Uluslararası Beton Kongresi. Bursa, 288-296.
- Şengün, E., Kıran, E., & Yaman, İ. Ö. (2017). *Türkiye’de Beton Yol ve Beton Bariyer Fırsatları*. Hazır Beton, Mayıs–Haziran, 80-81.
- Tang, X., Chehab, G. R., & Palomino, A. (2008). Evaluation of geogrids for stabilising weak pavement subgrade. *International Journal of Pavement Engineering*, 9(6), 413-429.
- Titus-Glover, L., Darter, M. I., & Von Quintus, H. L. (2019). *Impact of environmental factors on pavement performance in the absence of heavy loads (No. FHWA-HRT-16-084)*. United States. Federal Highway Administration. Office of Infrastructure Research and Development, 19-37.
- TÜRKÇİMENTO (2023). *Türkiye Beton Yol istatistikleri*. Türkiye Çimento Sanayicileri Birliği, Ankara.
- İnternet:TÜRKÇİMENTO (2018) *Yayınlarımız- Beton Yol*. Kırsal Kesim Yol Ağı için SSB ve BSK Yollar Teknik ve Ekonomik Analiz Raporu, Türkiye ÇimentSanayicileri irliği. URL: <https://www.turkcimento.org.tr/tr/yayinlarimiz/beton-yol>, Son Erişim Tarihi: 13.02.2023.
- Villagrán-Zaccardi, Y. A., Marsh, A. T., Sosa, M. E., Zega, C. J., De Belie, N., & Bernal, S. A. (2022). *Complete re-utilization of waste concretes–Valorisation pathways and research needs*. Resources, Conservation and Recycling, 105955, 177.

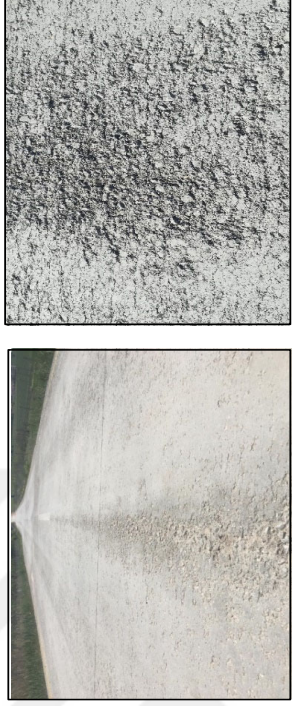
- Wu, Z., & Mahdi, M. (2015). *Roller compacted concrete over soil cement under accelerated loading*. In *Airfield and Highway Pavements 2015*, 418-428.
- Yaman, İ. Ö., & Ceylan, H. (2013). *Silindirle sıkıştırılmış beton yollar*. Beton 2013 Hazır Beton Kongresi, 21-23.
- Yaman, İ. Ö. (2022). *Overlay Applications in the Bus Rapid Transit Lanes of Istanbul*. Middle East Technical University (METU) - Turkish Cement Manufacturers' Association (TURKÇIMENTO). EUPAVE 7th Best Practices workshop, 19 October 2022. Brussels, Belgium
- Yayla, N. (2011). *Karayolu mühendisliği*. (1. Baskı). İstanbul: Birsen Yayınevi, 75-145.
- Yılmaz, M. C., Yaman, İ. Ö. & Yılmaz, Y., (2023). *Silindirle Sıkıştırılmış Beton Yol Üstyapı Performans Değerlendirmesi*. Karayolu 5. Ulusal Kongresi ve Sergisi Bildiri Kitabı, 22-23 Kasım, Ankara, 325-335.
- Zollinger, C. (2015). *Recent advances and uses of roller compacted concrete pavements in the united states*. Paving Solutions.
- Zollinger, D. (2016). *Roller-Compacted Concrete Pavement (No. FHWA-HIF-16-003)*. Pavement Construction. United States, 8-9.





EKLER

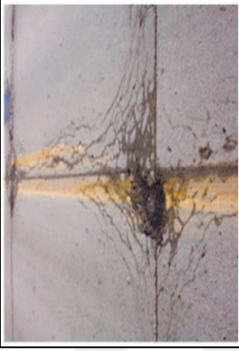
EK-1. SSB yol bozulmaları uygulanabilir bakım onarım stratejileri

SİLİNDİRLE SIKIŞTIRILMIŞ BETON (SSB) ÜSTYAPILARDA OLUŞAN YÜZEYSEL BOZULMA TIPLARI VE BAKIM ONARIM YÖNTEMLERİ					
Adı	Ölçü Birimi	Şiddet Düzeyi / Önerilen Bakım Onarım Metodu			Örnek Fotoğraflar
		Düşük (L)	Orta (M)	Yüksek (H)	
Agrega Sökülmesi	m ²	-Müdahale edilmez	-Yama (kısmi derinlik)	-Elmas taşlama -Koruyucu yüzey kaplama -Yama (kısmi derinlik)	
Segregasyon	m ²	-Yama (kısmi derinlik)			
Sıkıştırma Kaynaklı Yırtılma	m ²	-Müdahale edilmez	-Yama (kısmi derinlik)	-Elmas taşlama -Yama (kısmi derinlik)	 Fotoğraf Kaynak: Harrington ve diğerleri, 2010

EK-1. (devam) SSB yol bozulmaları uygulanabilir bakım onarım stratejileri

SİLİNDİRLE SIKIŞTIRILMIŞ BETON (SSB) ÜSTYAPILARDA OLUŞAN YÜZEYSEL BOZULMA TİPLERİ VE BAKIM ONARIM YÖNTEMLERİ					
Adı	Ölçü Birimi	Şiddet Düzeyi / Önerilen Bakım Onarım Metodu			Örnek Fotoğraflar
		Düşük (L)	Orta (M)	Yüksek (H)	
Agrega Cıalanması	Ano Sayısı, m ²	-Elmas taşlama -Koruyucu yüzey kaplama			 
Kil Topağı Oyukları	Ano Sayısı	-Müdahale edilmez -Koruyucu yüzey kaplama			 

EK-1. (devam) SSB yol bozulmaları uygulanabilir bakım onarım stratejileri

SİLİNDİRLE SIKIŞTIRILMIŞ BETON (SSB) ÜSTYAPILARDA OLUŞAN ÇATLAK TIPLARI VE BAKIM ONARIM YÖNTEMLERİ					
Adı	Ölçü Birimi	Şiddet Düzeyi / Önerilen Bakım Onarım Metodu			Örnek Fotoğraflar
		Düşük (L)	Orta (M)	Yüksek (H)	
Köşe Çatlağı	Ano Sayısı	-Çatlak Dolgusu ve Yalıtımı	-Yama (tam derinlik) -Çatlak Dolgusu ve Yalıtımı	Yama (tam derinlik)	
Dayanıklılık Çatlağı	Ano Sayısı, m ²	-Yama (tam derinlik) ve Ankrajlama	-Koruyucu yüzey kaplama	-Yeniden yapım	 Fotoğraf kaynak: Portland Cement Association, t.y.

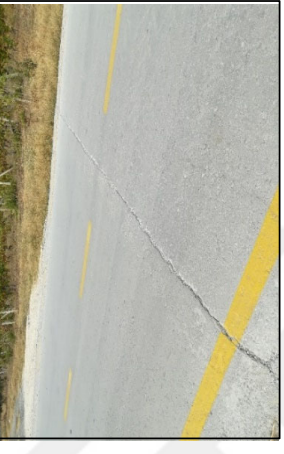
EK-1. (devam) SSB yol bozulmaları uygulanabilir bakım onarım stratejileri

SİLİNDİRLE SIKIŞTIRILMIŞ BETON (SSB) ÜSTYAPILARDA OLUŞAN ÇATLAK TIPLARI VE BAKIM ONARIM YÖNTEMLERİ					
Adı	Ölçü Birimi	Şiddet Düzeyi / Önerilen Bakım Onarım Metodu			Örnek Fotoğraflar
Doğrusal Çatlak Oluşumu (Enine, Boyuna, Çapraz)	Adet, m	-Çatlak Dolgusu ve Yalıtımı	-Çatlak Dolgusu ve Yalıtımı	-Yama (tam veya kısmi derinlik)	 
Plak Bölünmesi	Ano Sayısı	-Çatlak Dolgusu ve Yalıtımı	-Çatlak Dolgusu ve Yalıtımı	-Yama (tam derinlik) ve Ankrajlama	 

EK-1. (devam) SSB yol bozulmaları uygulanabilir bakım onarım stratejileri

SİLİNDİRLE SIKIŞTIRILMIŞ BETON (SSB) ÜSTYAPILARDA OLUŞAN YÜZEYSEL ÇATLAK TIPLARI VE BAKIM ONARIM YÖNTEMLERİ					
Adı	Ölçü Birimi	Şiddet Düzeyi / Önerilen Bakım Onarım Metodu			Örnek Fotoğraflar
		Düşük (L)	Orta (M)	Yüksek (H)	
Harita Şeklinde Çatlama	Ano Sayısı	-Müdahale edilmez	-Müdahale edilmez	-Müdahale edilmez -Koruyucu yüzey kaplama	
Büzülme Çatlakları	Ano Sayısı	-Müdahale edilmez			

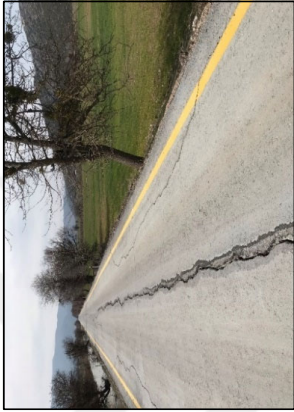
EK-1. (devam) SSB yol bozulmaları uygulanabilir bakım onarım stratejileri

SİLİNDİRLE SIKIŞTIRILMIŞ BETON (SSB) ÜSTYAPILARDA OLUŞAN DERZ BOZULMA TIPLERİ VE BAKIM ONARIM YÖNTEMLERİ					
Adı	Ölçü Birimi	Şiddet Düzeyi / Önerilen Bakım Onarım Metodu			Örnek Fotoğraflar
		Düşük (L)	Orta (M)	Yüksek (H)	
Derz Köşe Parçalanması	Adet	-Yama (kısmi derinlik)	-Yama (kısmi derinlik)	-Yama (kısmi veya tam derinlik)	 
Derz Boyunca Parçalanma	m	-Yama (kısmi derinlik) -Çatlak Dolgusu ve Yalıtımı	-Yama (tam derinlik)	-Yama (tam derinlik)	 

EK-1. (devam) SSB yol bozulmaları uygulanabilir bakım onarım stratejileri

SİLİNDİRLE SIKIŞTIRILMIŞ BETON (SSB) ÜSTYAPILARDA OLUŞAN DERZ BOZULMA TİPLERİ VE BAKIM ONARIM YÖNTEMLERİ					
Adı	Ölçü Birimi	Şiddet Düzeyi / Önerilen Bakım Onarım Metodu			Örnek Fotoğraflar
		Düşük (L)	Orta (M)	Yüksek (H)	
İnşaat Derzi Parçalanması	m	- Yama (kısmi derinlik) -Çatlak Dolgusu ve Yalıtımı			 

EK-1. (devam) SSB yol bozulmaları uygulanabilir bakım onarım stratejileri

SİLİNDİRLE SIKIŞTIRILMIŞ BETON (SSB) ÜSTYAPILARDA OLUŞAN ŞERİT VE KENAR BOZULMA TIPLERİ VE BAKIM ONARIM YÖNTEMLERİ					
Adı	Ölçü Birimi	Şiddet Düzeyi / Önerilen Bakım Onarım Metodu			Örnek Fotoğraflar
		Düşük (L)	Orta (M)	Yüksek (H)	
Şerit ve Kenar Kayması	m	-Çatlak Dolgusu ve Yalıtımı --Yama (tam derinlik) ve Ankrajlama			 
Plak Kenar Sökülmesi	m	- Uygun sıkıştırılabilir malzeme ile köşe desteği sağlanmalıdır. - Yama (tam derinlik) ve Ankrajlama			 

EK-1. (devam) SSB yol bozulmaları uygulanabilir bakım onarım stratejileri

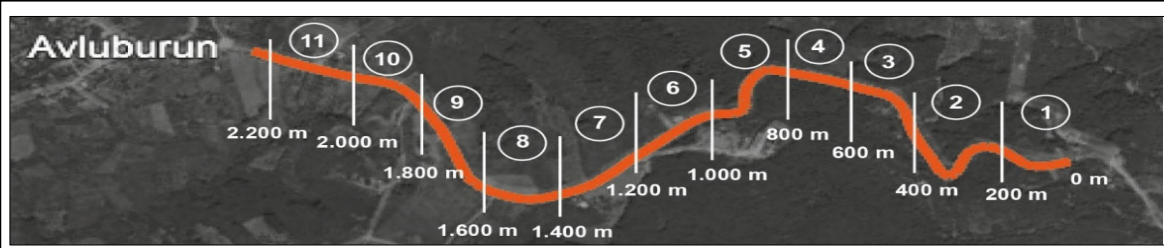
SİLİNDİRLE SIKIŞTIRILMIŞ BETON (SSB) ÜSTYAPILARDA OLUŞAN DİĞER BOZULMA TİPLERİ VE BAKIM ONARIM YÖNTEMLERİ					
Adı	Ölçü Birimi	Şiddet Düzeyi / Önerilen Bakım Onarım Metodu			Örnek Fotoğraflar
		Düşük (L)	Orta (M)	Yüksek (H)	
Basınç Patlaması	Adet	-Yama (tam derinlik) ve Ankrajlama	-Yama (tam derinlik) ve Ankrajlama	-Yama (tam derinlik) ve Ankrajlama	 
Yama ve Yama Bozulmaları	Adet, m ²	-Müdahale edilmez	-Yama (tam derinlik) ve Ankrajlama -Çatlak Dolgusu ve Yalıtımı	-Yama (tam derinlik) ve Ankrajlama	 

EK-1. (devam) SSB yol bozulmaları uygulanabilir bakım onarım stratejileri

SİLİNDİRLE SIKIŞTIRILMIŞ BETON (SSB) ÜSTYAPILARDA OLUŞAN DIĞER BOZULMA TIPLERİ VE BAKIM ONARIM YÖNTEMLERİ					
Adı	Ölçü Birimi	Şiddet Düzeyi / Önerilen Bakım Onarım Metodu			Örnek Fotoğraflar
		Düşük (L)	Orta (M)	Yüksek (H)	
Faylanma	AnoSayısı	-Yama (tam derinlik) ve Ankrajlama -Çatlak Dolgusu ve Yalıtımı	-Yama (tam derinlik) ve Ankrajlama	-Yeniden yapım	 
Pompaj Etkisi	Adet, m	-Yama (tam derinlik) ve Ankrajlama			 

Fotograf: Wu ve diğerleri, 2015

EK-2. Eşmeahmediye–Avluburun SSB yolu bozulmalar ve yerleşim planı



Kesim 1 (0-200 m) Kaplama Bozulma Planı

Sol şerit	2.4M 6.4M		2.4M 6.4M			2.3L 6.2M			2.3M	2.1L 2.3L
Sağ şerit	2.4M 6.4M 2.3M	2.3M	2.4M 6.4H 2.3M	2.4M 6.4M	2.3M 6.4M	2.3L	2.3M 6.4M	2.3M 6.4M	2.3M	2.3L
	0-20 m	20-40 m	40-60 m	60-80 m	80-100 m	100-120 m	120-140 m	140-160 m	160-180 m	180-200 m

Kesim uzunluğu: 200 m

Plan İçin Bozulma Numaraları:

1- Yüzeysel Bozulmalar

- 1.1 Agrega Cırlanması
- 1.2 Kil Topağı Oyukları
- 1.3 Agrega Sökülmesi
- 1.4 Segregasyon
- 1.5 Sıkıştırma Kaynaklı

4- Derz Bozulmaları

- 4.1 Derz Köşe Parçalanması
- 4.2 Derz Boyunca Parçalanma
- 4.3 Gün Sonu Derzi Parçalanması

2-Çatlaklar

- 2.1 Köşe Çatlağı
- 2.2 Dayanıklılık Çatlağı
- 2.3 Doğrusal Çatlak Oluşumu (Enine, Boyuna, Çapraz)
- 2.4 Plak Bölünmesi

5- Şerit ve Kenar Bozulmaları

- 5.1 Şerit ve Kenar Kayması
- 5.2 Plak Kenar Sökülmesi

3- Yüzeysel Çatlaklar

- 3.1 Harita Şeklinde Çatlama
- 3.2 Büzülme Çatlakları

6- Diğer Bozulmalar

- 6.1 Basınç Patlaması
- 6.2 Yama ve Yama Bozulmaları
- 6.3 Pompaj Etkisi
- 6.4 Faylanma

Şiddet Seviyeleri: L (Düşük) - M (Orta) - H (Yüksek)

Örnek Bozulma Fotoğrafları



0 m



50 m



100 m



150 m

EK-2. (devam) Eşmeahmediye–Avluburun SSB yolu bozulmalar ve PCI hesap detayları

Kesim 1 (0-200 m) PCI değerinin hesaplanması

ASTM D6433-23'te belirtilen esaslar doğrultusunda, 20 m aralıklarla incelenen ilgili 0-200 m kesiminde orta şiddet seviyesinde plak bölünmesi, düşük ve orta şiddet seviyesinde doğrusal çatlak oluşumu, orta ve yüksek şiddet seviyesinde faylanma, orta şiddette yama bozulması ve düşük şiddette köşe çatlağı bozulmalarının bulunduğu tespit edilmiştir.

Bozulmaların oluştuğu plak sayısı incelenen kesimdeki toplam plak sayısına oranlanarak (Eş. 5.1) yoğunluk değerleri tespit edilmiştir (Çizelge 2.1).

Çizelge 2.1. Kesim 1 (0-200 m) bozulma yoğunlukları

Bozulma / *Şiddet	Oluşan Plak Sayısı	Yoğunluk %
2.1L	1	5
2.4M	5	25
6.4M	7	35
6.4H	1	5
2.3L	4	20
2.3M	7	35
6.2M	1	5
*Şiddet Düzeyleri L: Düşük, M: Orta, H: Yüksek		

Bozulma şiddet ve yoğunlukları elde edildikten sonra sonuç değerleri (DV) belirlemek amacıyla ASTM D6433-23 standardında her bir bozulma için ayrı olan DV grafik eğrileri kullanılmaktadır. Bu grafiklerde yatay apsis eksenlerinde bozulma yoğunluğu düşey ordinat eksenlerinde ise DV değerleri bulunmakta ve şiddet seviyesine bağlı değişen fonksiyonlar yer almaktadır. Şiddet ve yoğunluk seviyesi bilinen bozulmaların DV değerleri Şekil 5.10'da verilen ilgili grafikler kullanılarak tespit edilmiştir.

Kesim 1 (0-200 m) kapsamında PCI hesaplamalarında öncelikle en yüksek DV değeri (HDV) belirlenmelidir. İlgili kesim için 40; 28; 21,8; 10; 9,2; 8 ve 3,6 DV değerleri tespit edilmiştir (Şekil 5.10). En yüksek DV değeri (HDV) ise 40 değeridir.

EK-2. (devam) Eşmeahmediye–Avluburun SSB yolu bozulmalar ve PCI hesap detayları

Eğer birden fazla DV değeri 2’den büyükse CDV değerleri Şekil 5.11’den hesaplanıp, en büyük CDV değeri (HCDV) belirlenerek PCI değeri tespit edilir (Eş. 2.1).

$$PCI = 100 - (HCDV) \quad (2.1)$$

Doğrulanmış sonuç değerlerinin (CDV) hesaplanmasında eğer hiçbir DV değeri veya yalnızca bir tane DV değeri 2 değerinden büyükse PCI belirlenirken CDV değerleri hesaplanmaz sadece toplam DV değeri (TDV) kullanılır (Eş. 2.2). Vaka çalışması kapsamında ASTM D6433-23 standardı gereğince 2 değeri alt sınır değer olarak belirlenmektedir.

$$PCI = 100 - (TDV) \quad (2.2)$$

Kesim 1 için CDV değerleri hesaplanması gerekmektedir. CDV değerlerini hesaplamak için takip edilecek adımlar aşağıda verilmektedir.

İlk olarak izin verilen dikkate alınacak maksimum bozulma sayısı “*m*”; Eşitlik 2.3 kullanılarak tespit edilmiştir.

$$m = 1 + \left(\frac{9}{98}\right) \times (100 - HDV) \leq 10 \quad (2.3)$$

Kesim 1’de hesaplanan DV değerlerine göre; $m = 1 + \left(\frac{9}{98}\right) \times (100 - 40) = 6,51$ hesaplanmıştır.

Diğer bir adım da ise en küçük DV değerleri ile *m* değerinin ondalık kısmı çarpılmasıyla ($3,6 \times 0,51 = 1,8$) elde edilen sayının hesaplamalarda kullanılma durumunun değerlendirilir. Bu değerlendirme için 2’den büyük DV değeri sayısı *q* değeri olarak kaydedilir. İlgili kesimde tüm DV değerleri de 2’den büyük olduğundan dolayı *q*=7’dir.

m değeri ile *q* değeri karşılaştırıldığında, *m* değerinden fazla *q* değeri vardır. Bu nedenle standart gereği hesaplamalarda en küçük DV olan 3,6 değeri yerine çarpım değeri 1,8 kullanılmıştır.

EK-2. (devam) Eşmeahmediye–Avluburun SSB yolu bozulmalar ve PCI hesap detayları

Bir sonraki adımda DV değerleri büyükten küçüğe sıralanıp kaydedilir. Her satır için 2’den büyük DV değer sayısı ise “q” satırında sırasıyla belirtilir. q=1 değerine kadar her alt satırda 2’den büyük en küçük DV değeri alt sınır değer 2 ile hesaplanmalıdır. Bu iterasyon işlem döngüsü q=1 değerine kadar devam ettirilir. Her satırda DV değerleri toplanarak toplam sonuç değer (TDV) verileri hesaplanır (Çizelge 2.2).

Çizelge 2.2. Kesim 1 toplam sonuç değerleri (TDV)

Sonuç Değeri (DV)							Toplam (TDV)	q
40,0	28,0	21,8	10,0	9,2	8,0	1,8	118,8	6
40,0	28,0	21,8	10,0	9,2	2,0	1,8	112,8	5
40,0	28,0	21,8	10,0	2,0	2,0	1,8	105,6	4
40,0	28,0	21,8	2,0	2,0	2,0	1,8	97,6	3
40,0	28,0	2,0	2,0	2,0	2,0	1,8	77,8	2
40,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	1,8	51,8	1

Toplam sonuç değerleri (TDV) ve q değerleri ile bağıntılı Şekil 5.11’de verilen grafik kullanılarak, doğrulanmış sonuç değerleri (CDV) belirlenir. Hesaplamalar için q sırasında göre CDV değerleri Çizelge 2.3’te verildiği gibi hesap cetveline kaydedilir.

Çizelge 2.3. Kesim 1 doğrulanmış sonuç değerleri (CDV)

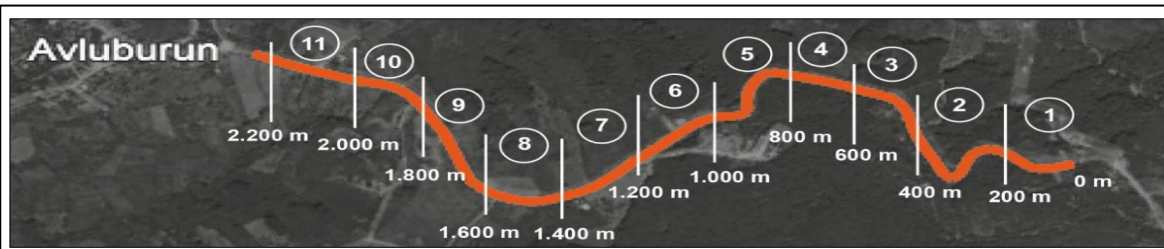
Sonuç Değeri (DV)							Toplam (TDV)	q	CDV
40,0	28,0	21,8	10,0	9,2	8,0	1,8	118,8	6	59,9
40,0	28,0	21,8	10,0	9,2	2,0	1,8	112,8	5	62,5
40,0	28,0	21,8	10,0	2,0	2,0	1,8	105,6	4	60,3
40,0	28,0	21,8	2,0	2,0	2,0	1,8	97,6	3	61,1
40,0	28,0	2,0	2,0	2,0	2,0	1,8	77,8	2	56,0
40,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	1,8	51,8	1	51,0

En yüksek doğrulanmış sonuç değeri (HCDV) belirlenir. Kesim 1 için HCDV değeri 62,5 bulunmuştur.

HCDV değeri 100’den çıkartılarak kaplama performans indeksi belirlenir (Eş. 2.1).

$$PCI = 100 - 62,5 = 37,5 \text{ (Çok kötü durumda üstyapı kaplaması)}$$

EK-2. (devam) Eşmeahmediye–Avluburun SSB yolu bozulmalar ve yerleşim planı



Kesim 2 (200-400 m) Kaplama Bozulma Planı

Soil series			2.3M		2.3L		2.3M	2.3M	
Sage series	2.3L	2.3L	2.3L 2.1L		2.3L	2.3L	2.3M	2.3M 2.4H	2.3L 2.4H
	200-220 m	220-240 m	240-260 m	260-280 m	280-300 m	300-320 m	320-340 m	340-360 m	360-380 m

Kesim uzunluğu: 200 m

Plan İçin Bozulma Numaraları:

- ## 1- Yüzeysel Bozulmalar

- 1.1 Agrega Cilalanması
- 1.2 Kil Topağı Oyukları
- 1.3 Agrega Sökülmesi
- 1.4 Segregasyon
- 1.5 Sıkıştırma Kaynaklı

4- Derz Bozulmaları

- 4.1 Derz Köşe Parçalanması
4.2 Derz Boyunca Parçalanma
4.3 Gün Sonu Derzi Parçalanması

2-Çatlaklar

- 2.1 Köşe Çatlağı
- 2.2 Dayanıklılık Çatlağı
- 2.3 Doğrusal Çatlak Oluşumu
(Enine, Boyuna, Çapraz)
- 2.4 Plak Bölünmesi

3- Yüzeysel Çatlaklar

- ### 3.2 Büzülme Çatlakları

6- Diğer Bozulmalar

- 6.1 Basınç Patlaması
- 6.2 Yama ve Yama Bozulmaları
- 6.3 Pompaj Etkisi
- 6.4 Faylanma

Şiddet Seviyeleri: L (Düşük) - M (Orta) - H (Yüksek)

Örnek Bozulma Fotoğrafları



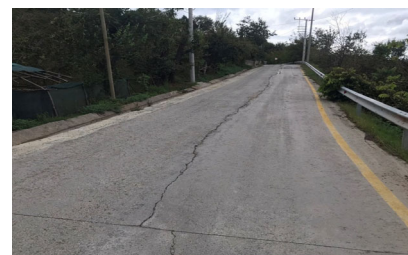
200 m



250 m



300 m



350 m

EK-2. (devam) Eşmeahmediye–Avluburun SSB yolu bozulmalar ve PCI hesap detayları

Kesim 2 (200-400 m) PCI değerinin hesaplanması

ASTM D6433-23'te belirtilen esaslar doğrultusunda, 20 m aralıklarla incelenen ilgili 200-400 m kesiminde yüksek şiddette plak bölünmesi, düşük ve orta şiddet seviyesinde doğrusal çatlak oluşumu ve düşük şiddette köşe çatlağı bozulma oluşumları bulunduğu tespit edilmiştir.

Bozulmaların oluştuğu plak sayısı toplam plak sayısına oranlanarak (Eş. 5.1) yoğunluk değerleri tespit edilmiştir (Çizelge 2.4).

Çizelge 2.4. Kesim 2 (200-400 m) bozulma yoğunlukları

Bozulma / Şiddet	Oluşan Plak Sayısı	Yoğunluk %
2.1L	1	5
2.4H	2	10
2.3L	7	35
2.3M	5	25
*Şiddet Düzeyleri L: Düşük, M: Orta, H: Yüksek		

Bozulma şiddet ve yoğunlukları elde edildikten sonra sonuç değeri (DV) değerleri Şekil 5.10'da verilen grafikler kullanılarak tespit edilmiştir.

Kesim 2 (200-400 m) için 30; 18; 14,8 ve 4,3 DV değerleri tespit edilmiştir (Şekil 5.10). En yüksek DV değeri (HDV) ise 30 değeridir.

Bir sonraki adımda, izin verilen dikkate alınacak maksimum bozulma sayısı “m” Eşitlik 2.3 kullanılarak tespit edilmiştir., Kesim 2’de baz alınan DV değerlerine göre; $m = 1 + \left(\frac{9}{98}\right) \times (100 - 30) = 7,43$ hesaplanmıştır.

Diğer bir adım da ise en küçük DV değerleri ile m değerinin ondalık kısmı çarpılmasıyla ($4,3 \times 0,43 = 1,8$) elde edilen sayının hesaplamalarda kullanılma durumunun değerlendirilmesidir. Bu değerlendirme için 2’den büyük DV değeri sayısı q değeri olarak kaydedilir. İlgili kesimde tüm DV değerleri de 2’den büyük olduğundan dolayı $q=4$ ’tür.

EK-2. (devam) Eşmeahmediye–Avluburun SSB yolu bozulmalar ve PCI hesap detayları

m değeri ile q değeri karşılaştırıldığında, m değerinden az q değeri vardır. Bu nedenle hesaplamalara çarpım değeri 1,8 kullanılmamıştır.

Bir sonraki adımda ise DV değerleri büyükten küçüğe sıralanıp kaydedilir. Her satır için 2’den büyük DV değer sayısı ise “q” satırına sırasıyla yazılır. q=1 değerine kadar her alt satırda 2’den büyük en küçük DV değeri alt sınır değer 2 ile hesaplanmalıdır. Bu iterasyon işlem döngüsü q=1 değerine kadar devam ettirilir.

Her satırda DV değerleri toplanarak toplam sonuç değer (TDV) verileri hesaplanır (Çizelge 2.5).

Çizelge 2.5. Kesim 2 toplam sonuç değerleri (TDV)

Sonuç Değeri (DV)				Toplam (TDV)	q
30,0	18,0	14,8	4,3	67,1	4
30,0	18,0	14,8	2,0	64,8	3
30,0	18,0	2,0	2,0	52,0	2
30,0	2,0	2,0	2,0	36,0	1

Toplam sonuç değerleri (TDV) ve q değerleri ile bağıntılı Şekil 5.11’de verilen grafik kullanılarak, doğrulanmış sonuç değerleri (CDV) belirlenir. Hesaplamalar için q sırasında göre CDV değerleri Çizelge 2.6’da verildiği gibi hesap cetveline kaydedilir.

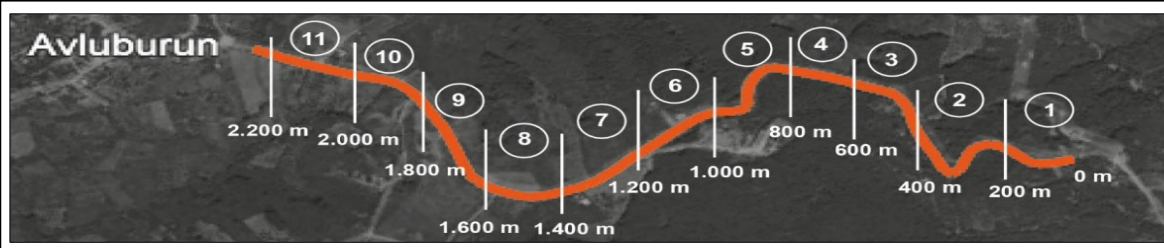
Çizelge 2.6. Kesim 2 doğrulanmış sonuç değerleri (CDV)

Sonuç Değeri (DV)				Toplam (TDV)	q	CDV
30,0	18,0	14,8	4,3	67,1	4	40,0
30,0	18,0	14,8	2,0	64,8	3	40,1
30,0	18,0	2,0	2,0	52,0	2	36,2
30,0	2,0	2,0	2,0	36,0	1	35,7

En yüksek doğrulanmış sonuç değeri (HCDV), 40,1 bulunmuştur. HCDV değeri 100’den çıkartılarak kaplama performans indeksi belirlenir (Eş. 2.1).

$$PCI = 100 - 40,1 = 59,9 \quad (\text{Orta durumda üstyapı kaplaması})$$

EK-2. (devam) Eşmeahmediye–Avluburun SSB yolu bozulmalar ve yerleşim planı



Kesim 3 (400-600 m) Kaplama Bozulma Planı

Soğ. şerit	6.4H 1.3M 2.3H 1.1	6.4H 1.3M 2.3H 1.1	1.1 1.3M	2.3M 1.1 1.3M	2.3L 1.1 1.3M	2.3L 1.1 1.3M	1.3M 1.1	1.3M 1.1	2.3M 1.3M 1.1	6.4M 1.3M 2.3M 1.1
Sağ. şerit	6.4H 1.3M 2.3H 1.1	1.3M 1.1	2.3M 1.3M 1.1	2.3M 1.1 1.3M	2.3M 1.1 1.3M	2.3M 1.1 1.3M	2.3L 1.1 1.3M	2.3M 1.3M 1.1	2.3M 1.3M 1.1	6.4M 1.3M 2.3M 1.1
	400-420 m	420-440 m	440-460 m	460-480 m	480-500 m	500-520 m	520-540 m	540-560 m	560-580 m	580-600 m

Kesim uzunluğu: 200 m

Plan İçin Bozulma Numaraları:

1- Yüzeysel Bozulmalar

- 1.1 Agrega Cırlanması
- 1.2 Kil Topağı Oyukları
- 1.3 Agrega Sökülmesi
- 1.4 Segregasyon
- 1.5 Sıkıştırma Kaynaklı

4- Derz Bozulmaları

- 4.1 Derz Köşe Parçalanması
- 4.2 Derz Boyunca Parçalanma
- 4.3 Gün Sonu Derzi Parçalanması

2-Çatlaklar

- 2.1 Köşe Çatlağı
- 2.2 Dayanıklılık Çatlağı
- 2.3 Doğrusal Çatlak Oluşumu (Enine, Boyuna, Çapraz)
- 2.4 Plak Bölünmesi

5- Şerit ve Kenar Bozulmaları

- 5.1 Şerit ve Kenar Kayması
- 5.2 Plak Kenar Sökülmesi

3- Yüzeysel Çatlaklar

- 3.1 Harita Şeklinde Çatlama
- 3.2 Büzülme Çatlakları

6- Diğer Bozulmalar

- 6.1 Basınç Patlaması
- 6.2 Yama ve Yama Bozulmaları
- 6.3 Pompaj Etkisi
- 6.4 Faylanma

Şiddet Seviyeleri: L (Düşük) - M (Orta) - H (Yüksek)

Örnek Bozulma Fotoğrafları



400 m



450 m



500 m



550 m

EK-2. (devam) Eşmeahmediye–Avluburun SSB yolu bozulmalar ve PCI hesap detayları

Kesim 3 (400-600 m) PCI değerinin hesaplanması

ASTM D6433-23'te belirtilen esaslar doğrultusunda, 20 m aralıklarla incelenen ilgili 400-600 m kesiminde düşük, orta ve yüksek şiddet seviyesinde doğrusal çatlak oluşumu, orta ve yüksek şiddet seviyesinde faylanma, orta şiddette agrega sökülmesi ve cilalanma bozulma oluşumları bulunduğu tespit edilmiştir.

Bozulmaların oluştuğu plak sayısı toplam plak sayısına oranlanarak (Eş. 5.1) yoğunluk değerleri tespit edilmiştir (Çizelge 2.7).

Çizelge 2.7. Kesim 3 (400-600 m) bozulma yoğunlukları

Bozulma / Şiddet	Oluşan Plak Sayısı	Yoğunluk %
6.4M	2	10
6.4H	2	10
2.3L	3	15
2.3M	10	50
2.3H	3	15
1.3M	20	100
1.1	20	100

*Şiddet Düzeyleri` L: Düşük, M: Orta, H: Yüksek

Bozulma şiddet ve yoğunlukları elde edildikten sonra sonuç değeri (DV) değerleri Şekil 5.10'da verilen grafikler kullanılarak tespit edilmiştir.

İlgili kesim için 30; 28,5; 26; 18; 10; 9 ve 8,6 DV değerleri tespit edilmiştir (Şekil 5.10). En yüksek DV değeri (HDV) 30 değeridir. Bir sonraki adımda, izin verilen dikkate alınacak maksimum bozulma sayısı “m” Eşitlik 2.3 kullanılarak tespit edilmiştir. Kesim 3'te baz alınan DV değerlerine göre; $m = 1 + \left(\frac{9}{98}\right) \times (100 - 30) = 7,43$ hesaplanmıştır.

Diğer bir adım da ise en küçük DV değerleri ile m değerinin ondalık kısmı çarpılmasıyla $(8,6 \times 0,43 = 3,69)$ elde edilen sayının hesaplamalarda kullanılma durumunun değerlendirilmesidir. Bu değerlendirme için 2'den büyük DV değeri sayısı q değeri olarak kaydedilir. İlgili kesimde tüm DV değerleri de 2'den büyük olduğundan dolayı $q=7$ 'dir.

EK-2. (devam) Eşmeahmediye–Avluburun SSB yolu bozulmalar ve yerleşim planı

m değeri ile q değeri karşılaştırıldığında, m değerinden az q değeri vardır. Bu nedenle hesaplamalara çarpım değeri 3,69 kullanılmamıştır.

Bir sonraki adımda ise DV değerleri büyükten küçüğe sıralanıp kaydedilir. Her satır için 2’den büyük DV değer sayısı ise “q” satırına sırasıyla yazılır. q=1 değerine kadar her alt satırda 2’den büyük en küçük DV değeri alt sınır değer 2 ile hesaplanmalıdır. Bu iterasyon işlem döngüsü q=1 değerine kadar devam ettirilir. Her satırda DV değerleri toplanarak toplam sonuç değeri (TDV) verileri hesaplanır (Çizelge 2.8).

Çizelge 2.8. Kesim 3 toplam sonuç değerleri (TDV)

Sonuç Değeri (DV)							Toplam (TDV)	q
30,0	28,5	26,0	18,0	10,0	9,0	8,6	130,1	7
30,0	28,5	26,0	18,0	10,0	9,0	2,0	123,5	6
30,0	28,5	26,0	18,0	10,0	2,0	2,0	116,5	5
30,0	28,5	26,0	18,0	2,0	2,0	2,0	108,5	4
30,0	28,5	26,0	2,0	2,0	2,0	2,0	92,5	3
30,0	28,5	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	68,5	2
30,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	42,0	1

Toplam sonuç değerleri (TDV) ve q değerleri ile bağıntılı Şekil 5.11’de verilen grafik kullanılarak, doğrulanmış sonuç değerleri (CDV) belirlenir. Hesaplamalar için q sırasında göre CDV değerleri Çizelge 2.9’da verildiği gibi hesap cetveline kaydedilir.

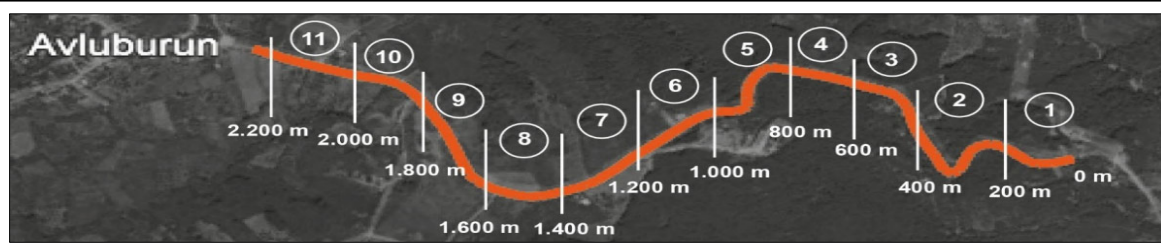
Çizelge 2.9. Kesim 3 doğrulanmış sonuç değerleri (CDV)

Sonuç Değeri (DV)							Toplam (TDV)	q	CDV
30,0	28,5	26,0	18,0	10,0	9,0	8,6	130,1	7	64,3
30,0	28,5	26,0	18,0	10,0	9,0	2,0	123,5	6	62,6
30,0	28,5	26,0	18,0	10,0	2,0	2,0	116,5	5	63,0
30,0	28,5	26,0	18,0	2,0	2,0	2,0	108,5	4	61,8
30,0	28,5	26,0	2,0	2,0	2,0	2,0	92,5	3	58,0
30,0	28,5	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	68,5	2	48,0
30,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	42,0	1	42,5

En yüksek doğrulanmış sonuç değeri (HCDV), 65,1 bulunmuştur. HCDV değeri 100’den çıkartılarak kaplama performans indeksi belirlenir (Eş. 2.1).

$$PCI = 100 - 65,1 = 34,9 \quad (\text{Çok kötü durumda üstyapı kaplaması})$$

EK-2. (devam) Eşmeahmediye–Avluburun SSB yolu bozulmalar ve yerleşim planı



Kesim 4 (600-800 m) Kaplama Bozulma Planı

Sol şerit:	1.1 1.3M	1.1 1.3M	1.1 1.3M	2.3L 1.1	2.3L 1.1	2.3L 1.1	2.3L 1.1	2.3L 1.1	2.3L 1.1	2.3L 1.1
Sağ şerit:	1.1 1.3M	1.1 1.3M	2.3M 1.1 1.3M	2.4M 2.3M 1.1	2.3H 1.1	2.3M 1.1	2.3H 1.1	2.4M 1.1	2.4M 1.1	2.4M 1.1
	600-620 m	620-640 m	640-660 m	660-680 m	680-700 m	700-720 m	720-740 m	740-760 m	760-780 m	780-800 m

Kesim uzunluğu: 200 m

Plan İçin Bozulma Numaraları:

1- Yüzeysel Bozulmalar

- 1.1 Agrega Cırlanması
- 1.2 Kil Topağı Oyukları
- 1.3 Agrega Sökülmesi
- 1.4 Segregasyon
- 1.5 Sıkıştırma Kaynaklı

4- Derz Bozulmaları

- 4.1 Derz Köşe Parçalanması
- 4.2 Derz Boyunca Parçalanma
- 4.3 Gün Sonu Derzi Parçalanması

2-Çatlaklar

- 2.1 Köşe Çatlağı
- 2.2 Dayanıklılık Çatlağı
- 2.3 Doğrusal Çatlak Oluşumu (Enine, Boyuna, Çapraz)
- 2.4 Plak Bölünmesi

5- Şerit ve Kenar Bozulmaları

- 5.1 Şerit ve Kenar Kayması
- 5.2 Plak Kenar Sökülmesi

3- Yüzeysel Çatlaklar

- 3.1 Harita Şeklinde Çatlama
- 3.2 Büzülme Çatlakları

6- Diğer Bozulmalar

- 6.1 Basınç Patlaması
- 6.2 Yama ve Yama Bozulmaları
- 6.3 Pompaj Etkisi
- 6.4 Faylanma

Şiddet Seviyeleri: L (Düşük) - M (Orta) - H (Yüksek)

Örnek Bozulma Fotoğrafları



600 m



650 m



700 m



750 m

EK-2. (devam) Eşmeahmediye–Avluburun SSB yolu bozulmalar ve PCI hesap detayları

Kesim 4 (600-800 m) PCI değerinin hesaplanması

ASTM D6433-23'te belirtilen esaslar doğrultusunda, 20 m aralıklarla incelenen ilgili 600-800 m kesiminde düşük, orta ve yüksek şiddet seviyesinde doğrusal çatlak oluşumu, orta ve yüksek şiddet seviyesinde faylanma, orta şiddette agrega sökülmesi ve cilalanma bozulma oluşumları bulunduğu tespit edilmiştir.

Bozulmaların oluştuğu plak sayısı toplam plak sayısına oranlanarak (Eş. 5.1) yoğunluk değerleri tespit edilmiştir (Çizelge 2.10).

Çizelge 2.10. Kesim 4 (600-800 m) bozulma yoğunlukları

Bozulma / Şiddet	Oluşan Plak Sayısı	Yoğunluk %
2.4M	4	20
2.3L	7	35
2.3M	3	15
2.3H	2	10
1.3M	6	30
1.1	20	100
*Şiddet Düzeyleri: L: Düşük, M: Orta, H: Yüksek		

Bozulma şiddet ve yoğunlukları elde edildikten sonra sonuç değeri (DV) değerleri Şekil 2.10'da verilen grafikler kullanılarak tespit edilmiştir.

İlgili kesim için 35; 20; 18,5; 14,8; 11 ve 10 DV değerleri tespit edilmiştir (Şekil 5.10). En yüksek DV değeri (HDV), 35 değeridir. Bir sonraki adımda, izin verilen dikkate alınacak maksimum bozulma sayısı “m” Eşitlik 2.3 kullanılarak tespit edilmiştir. Kesim 4'te baz alınan DV değerlerine göre; $m = 1 + \left(\frac{9}{98}\right) \times (100 - 35) = 6,97$ hesaplanmıştır.

Diğer bir adımda ise en küçük DV değerleri ile m değerinin ondalık kısmı çarpılmasıyla ($10 \times 0,97 = 9,69$) elde edilen sayının hesaplamalarda kullanılma durumunun değerlendirilmesidir. Bu değerlendirme için 2'den büyük DV değeri sayısı q değeri olarak kaydedilir. İlgili kesimde tüm DV değerleri de 2'den büyük olduğundan dolayı $q=6$ 'dır.

EK-2. (devam) Eşmeahmediye–Avluburun SSB yolu bozulmalar ve PCI hesap detayları

m değeri ile q değeri karşılaştırıldığında, m değerinden az q değeri vardır. Bu nedenle hesaplamalara çarpım değeri 9,69 kullanılmamıştır.

Bir sonraki adımda ise DV değerleri büyükten küçüğe sıralanıp kaydedilir. Her satır için 2’den büyük DV değer sayısı ise “q” satırına sırasıyla yazılır. q=1 değerine kadar her alt satırda 2’den büyük en küçük DV değeri alt sınır değer 2 ile hesaplanmalıdır. Bu iterasyon işlem döngüsü q=1 değerine kadar devam ettirilir. Her satırda DV değerleri toplanarak toplam sonuç değer (TDV) verileri hesaplanır (Çizelge 2.11).

Çizelge 2.11. Kesim 4 toplam sonuç değerleri (TDV)

Sonuç Değeri (DV)						Toplam (TDV)	q
35,0	20,0	18,5	14,8	11,0	10,0	109,3	6
35,0	20,0	18,5	14,8	11,0	2,0	101,3	5
35,0	20,0	18,5	14,8	2,0	2,0	92,3	4
35,0	20,0	18,5	2,0	2,0	2,0	79,5	3
35,0	20,0	2,0	2,0	2,0	2,0	63,0	2
35,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	45,0	1

Toplam sonuç değerleri (TDV) ve q değerleri ile bağıntılı Şekil 5.11’de verilen grafik kullanılarak, doğrulanmış sonuç değerleri (CDV) belirlenir. Hesaplamalar için q sırasında göre CDV değerleri Çizelge 2.12’de verildiği gibi hesap cetveline kaydedilir.

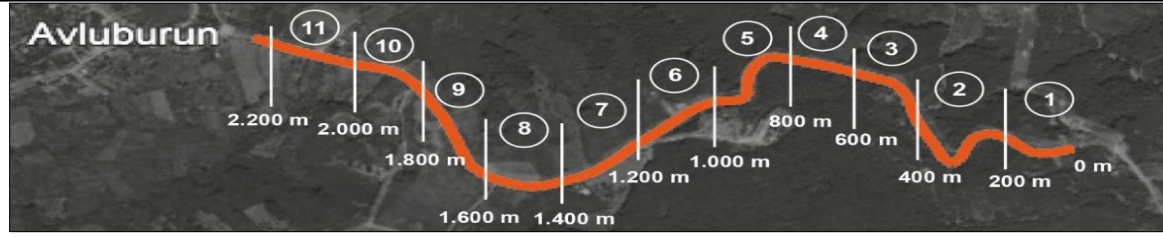
Çizelge 2.12. Kesim 4 doğrulanmış sonuç değerleri (CDV)

Sonuç Değeri (DV)						Toplam (TDV)	q	CDV
35,0	20,0	18,5	14,8	11,0	10,0	109,3	6	57,0
35,0	20,0	18,5	14,8	11,0	2,0	101,3	5	56,5
35,0	20,0	18,5	14,8	2,0	2,0	92,3	4	53,8
35,0	20,0	18,5	2,0	2,0	2,0	79,5	3	50,6
35,0	20,0	2,0	2,0	2,0	2,0	63,0	2	46,8
35,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	45,0	1	45,0

En yüksek doğrulanmış sonuç değeri (HCDV), 57,0 bulunmuştur. HCDV değeri 100’den çıkartılarak kaplama performans indeksi belirlenir (Eş. 2.1).

$$PCI = 100 - 57,0 = 43,0 \quad (\text{Kötü durumda üstyapı kaplaması})$$

EK-2. (devam) Eşmeahmediye–Avluburun SSB yolu bozulmalar ve yerleşim planı



Kesim 5 (800-1000 m) Kaplama Bozulma Planı

Sol şerit	2.3L	2.3L	1.3M	1.3M	1.3M	2.3M 1.3M	2.3M 1.3M	2.3M 1.3M	1.3M	1.3M
Sağ şerit	-	-	2.3L 1.3M	2.3L 1.3M	2.3L 1.3M	1.3M	1.3M	1.3M	6.4L 2.3M 1.3M	6.4M 2.3M 1.3M
	800-820 m	820-840 m	840-860 m	860-880 m	880-900 m	900-920 m	920-940 m	940-960 m	960-980 m	980-1000 m

Kesim uzunluğu: 200 m

Plan İçin Bozulma Numaraları:

1- Yüzeysel Bozulmalar

- 1.1 Agrega Cırlanması
- 1.2 Kil Topağı Oyukları
- 1.3 Agrega Sökülmesi
- 1.4 Segregasyon
- 1.5 Sıkıştırma Kaynaklı

4- Derz Bozulmaları

- 4.1 Derz Köşe Parçalanması
- 4.2 Derz Boyunca Parçalanma
- 4.3 Gün Sonu Derzi Parçalanması

2-Çatlaklar

- 2.1 Köşe Çatlağı
- 2.2 Dayanıklılık Çatlağı
- 2.3 Doğrusal Çatlak Oluşumu (Enine, Boyuna, Çapraz)
- 2.4 Plak Bölünmesi

5- Şerit ve Kenar Bozulmaları

- 5.1 Şerit ve Kenar Kayması
- 5.2 Plak Kenar Sökülmesi

3- Yüzeysel Çatlaklar

- 3.1 Harita Şeklinde Çatlama
- 3.2 Büzülme Çatlakları

6- Diğer Bozulmalar

- 6.1 Basınç Patlaması
- 6.2 Yama ve Yama Bozulmaları
- 6.3 Pompaj Etkisi
- 6.4 Faylanma

Şiddet Seviyeleri: L (Düşük) - M (Orta) - H (Yüksek)

Örnek Bozulma Fotoğrafları



800 m



850 m



900 m



950 m

EK-2. (devam) Eşmeahmediye–Avluburun SSB yolu bozulmalar ve PCI hesap detayları

Kesim 5 (800-1000 m) PCI değerinin hesaplanması

ASTM D6433-23'te belirtilen esaslar doğrultusunda, 20 m aralıklarla incelenen ilgili 800-1000 m kesiminde düşük ve orta şiddet seviyesinde doğrusal çatlak oluşumu, düşük ve orta şiddet seviyesinde faylanma, orta şiddette agrega sökülmesi bulunduğu tespit edilmiştir.

Bozulmaların oluştuğu plak sayısı toplam plak sayısına oranlanarak (Eş. 5.1) yoğunluk değerleri tespit edilmiştir (Çizelge 2.13).

Çizelge 2.13. Kesim 5 (800-1000 m) bozulma yoğunlukları

Bozulma / Şiddet	Oluşan Plak Sayısı	Yoğunluk %
6.4L	1	5
6.4M	1	5
2.3L	5	25
2.3M	5	25
1.3M	16	80
*Şiddet Düzeyleri A: Düşük, M: Orta, H: Yüksek		

Bozulma şiddet ve yoğunlukları elde edildikten sonra sonuç değeri (DV) değerleri Şekil 5.10'da verilen grafikler kullanılarak tespit edilmiştir.

İlgili kesim için 29; 17; 12; 4,9 ve 1,7 DV değerleri tespit edilmiştir (Şekil 5.10). En yüksek DV değeri (HDV), 29 değeridir. Bir sonraki adımda, izin verilen dikkate alınacak maksimum bozulma sayısı "m" Eşitlik 2.3 kullanılarak tespit edilmiştir. Kesim 5'de baz alınan DV değerlerine göre; $m = 1 + \left(\frac{9}{98}\right) \times (100 - 29) = 7,52$ hesaplanmıştır.

Diğer bir adımda ise en küçük DV değerleri ile m değerinin ondalık kısmı çarpılmasıyla ($1,7 \times 0,52 = 0,88$) elde edilen sayının hesaplamalarda kullanılma durumunun değerlendirilmesidir. Bu değerlendirme için 2'den büyük DV değeri sayısı q değeri olarak kaydedilir. İlgili kesimde tüm DV değerleri de 2'den büyük olduğundan dolayı $q=4$ 'tür.

EK-2. (devam) Eşmeahmediye–Avluburun SSB yolu bozulmalar ve PCI hesap detayları

m değeri ile q değeri karşılaştırıldığında, m değerinden az q değeri vardır. Bu nedenle hesaplamalara çarpım değeri 0,88 kullanılmamıştır.

Bir sonraki adımda ise DV değerleri büyükten küçüğe sıralanıp kaydedilir. Her satır için 2’den büyük DV değer sayısı ise “q” satırına sırasıyla yazılır. q=1 değerine kadar her alt satırda 2’den büyük en küçük DV değeri alt sınır değer 2 ile hesaplanmalıdır. Bu iterasyon işlem döngüsü q=1 değerine kadar devam ettirilir.

Her satırda DV değerleri toplanarak toplam sonuç değer (TDV) verileri hesaplanır (Çizelge 2.14).

Çizelge 2.14. Kesim 5 toplam sonuç değerleri (TDV)

Sonuç Değeri (DV)					Toplam (TDV)	q
29,0	17,0	12,0	4,9	1,7	64,6	4
29,0	17,0	12,0	2,0	1,7	61,7	3
29,0	17,0	2,0	2,0	1,7	51,7	2
29,0	2,0	2,0	2,0	1,7	36,7	1

Toplam sonuç değerleri (TDV) ve q değerleri ile bağıntılı Şekil 5.11’de verilen grafik kullanılarak, doğrulanmış sonuç değerleri (CDV) belirlenir. Hesaplamalar için q sırasında göre CDV değerleri Çizelge 2.15’de verildiği gibi hesap cetveline kaydedilir.

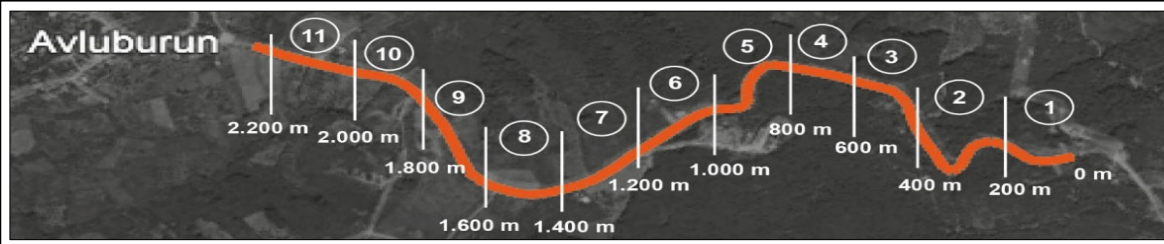
Çizelge 2.15. Kesim 5 doğrulanmış sonuç değerleri (CDV)

Sonuç Değeri (DV)					Toplam (TDV)	q	CDV
29,0	17,0	12,0	4,9	1,7	64,6	4	37,1
29,0	17,0	12,0	2,0	1,7	61,7	3	38,5
29,0	17,0	2,0	2,0	1,7	51,7	2	38,4
29,0	2,0	2,0	2,0	1,7	36,7	1	36,7

En yüksek doğrulanmış sonuç değeri (HCDV), 38,5 bulunmuştur. HCDV değeri 100’den çıkartılarak kaplama performans indeksi belirlenir (Eş. 2.1).

$$PCI = 100 - 38,5 = 61,5 \quad (\text{Orta durumda üstyapı kaplaması})$$

EK-2. (devam) Eşmeahmediye–Avluburun SSB yolu bozulmalar ve yerleşim planı



Kesim 6 (1000-1200 m) Kaplama Bozulma Planı

Sol şerit	2.3L 1.3M	1.3M	1.3M	1.3M	1.3M 1.1	1.3M 1.1	2.3L 1.3M 1.1	1.3M 1.1	2.3L 1.3M 1.1	2.3L 1.3M 1.1
Sağ şerit	6.4H 2.3H 1.3M	6.4H 2.3H 1.3M	2.3L 1.3M	6.4H 2.3H 1.3M	2.3L 1.3M 1.1	2.3L 1.3M 1.1	2.3M 1.3M 1.1	2.3L 1.3M 1.1	2.3L 1.3M 1.1	2.3L 1.3M 1.1
	1000-1020 m	1020-1040 m	1040-1060 m	1060-1080 m	1080-1100 m	1100-1120 m	1120-1140 m	1140-1160 m	1160-1180 m	1180-1200 m

Kesim uzunluğu: 200 m

Plan için Bozulma Numaraları:

1- Yüzeysel Bozulmalar

- 1.1 Agrega Cırlanması
- 1.2 Kil Topağı Oyukları
- 1.3 Agrega Sökülmesi
- 1.4 Segregasyon
- 1.5 Sıkıştırma Kaynaklı

4- Derz Bozulmaları

- 4.1 Derz Köşe Parçalanması
- 4.2 Derz Boyunca Parçalanma
- 4.3 Gün Sonu Derzi Parçalanması

2-Çatlaklar

- 2.1 Köşe Çatlağı
- 2.2 Dayanıklılık Çatlağı
- 2.3 Doğrusal Çatlak Oluşumu (Enine, Boyuna, Çapraz)
- 2.4 Plak Bölünmesi

5- Şerit ve Kenar Bozulmaları

- 5.1 Şerit ve Kenar Kayması
- 5.2 Plak Kenar Sökülmesi

3- Yüzeysel Çatlaklar

- 3.1 Harita Şeklinde Çatlama
- 3.2 Büzülme Çatlakları

6- Diğer Bozulmalar

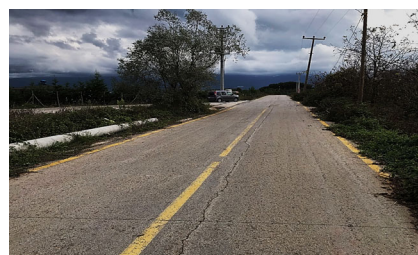
- 6.1 Basınç Patlaması
- 6.2 Yama ve Yama Bozulmaları
- 6.3 Pompaj Etkisi
- 6.4 Faylanma

Şiddet Seviyeleri: L (Düşük) - M (Orta) - H (Yüksek)

Örnek Bozulma Fotoğrafları



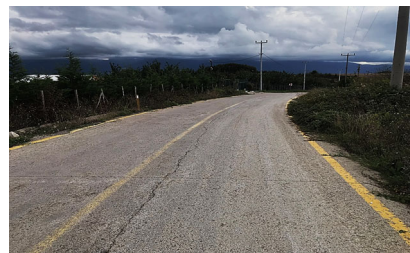
1000 m



1050 m



1100 m



1150 m

EK-2. (devam) Eşmeahmediye–Avluburun SSB yolu bozulmalar ve PCI hesap detayları

Kesim 6 (1000-1200 m) PCI değerinin hesaplanması

ASTM D6433-23’te belirtilen esaslar doğrultusunda, 20 m aralıklarla incelenen ilgili 1000-1200 m kesiminde düşük, orta ve yüksek şiddet seviyesinde doğrusal çatlak oluşumu, yüksek şiddet seviyesinde faylanma, orta şiddette agrega sökülmesi ve agrega cıllanması bulunduğu tespit edilmiştir.

Bozulmaların oluştuğu plak sayısı toplam plak sayısına oranlanarak (Eş. 5.1) yoğunluk değerleri tespit edilmiştir (Çizelge 2.16).

Çizelge 2.16. Kesim 6 (1000-1200 m) bozulma yoğunlukları

Bozulma / Şiddet	Oluşan Plak Sayısı	Yoğunluk %
6.4H	3	15
2.3L	9	45
2.3M	2	10
2.3H	3	15
1.3M	20	100
1.1	12	60
*Şiddet Düzeyleri L: Düşük, M: Orta, H: Yüksek		

Bozulma şiddet ve yoğunlukları elde edildikten sonra sonuç değeri (DV) değerleri Şekil 5.10’da verilen grafikler kullanılarak tespit edilmiştir.

İlgili kesim için 30; 26; 24; 19; 9 ve 8 DV değerleri tespit edilmiştir (Şekil 5.10). En yüksek DV değeri (HDV), 30 değeridir. Bir sonraki adımda, izin verilen dikkate alınacak maksimum bozulma sayısı “m” Eşitlik 2.3 kullanılarak tespit edilmiştir. Kesim 6’da baz alınan DV değerlerine göre; $m = 1 + \left(\frac{9}{98}\right) \times (100 - 30) = 7,43$ hesaplanmıştır.

Diğer bir adım da ise en küçük DV değerleri ile m değerinin ondalık kısmı çarpılmasıyla ($8 \times 0,43 = 3,43$) elde edilen sayının hesaplamalarda kullanılma durumunun değerlendirilmesidir. Bu değerlendirme için 2’den büyük DV değeri sayısı q değeri olarak kaydedilir. İlgili kesimde tüm DV değerleri de 2’den büyük olduğundan dolayı $q=6$ ’dır.

EK-2. (devam) Eşmeahmediye–Avluburun SSB yolu bozulmalar ve PCI hesap detayları

m değeri ile q değeri karşılaştırıldığında, m değerinden az q değeri vardır. Bu nedenle hesaplamalara çarpım değeri 3,43 kullanılmamıştır.

Bir sonraki adımda ise DV değerleri büyükten küçüğe sıralanıp kaydedilir. Her satır için 2’den büyük DV değer sayısı ise “q” satırına sırasıyla yazılır. q=1 değerine kadar her alt satırda 2’den büyük en küçük DV değeri alt sınır değer 2 ile hesaplanmalıdır. Bu iterasyon işlem döngüsü q=1 değerine kadar devam ettirilir.

Her satırda DV değerleri toplanarak toplam sonuç değeri (TDV) verileri hesaplanır (Çizelge 2.17).

Çizelge 2.17. Kesim 6 toplam sonuç değerleri (TDV)

Sonuç Değeri (DV)						Toplam (TDV)	q
30,0	26,0	24,0	19,0	9,0	8,0	116,0	6
30,0	26,0	24,0	19,0	9,0	2,0	110,0	5
30,0	26,0	24,0	19,0	2,0	2,0	103,0	4
30,0	26,0	24,0	2,0	2,0	2,0	86,0	3
30,0	26,0	2,0	2,0	2,0	2,0	64,0	2
30,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	40,0	1

Toplam sonuç değerleri (TDV) ve q değerleri ile bağıntılı Şekil 5.11’de verilen grafik kullanılarak, doğrulanmış sonuç değerleri (CDV) belirlenir. Hesaplamalar için q sırasında göre CDV değerleri Çizelge 2.18’de verildiği gibi hesap cetveline kaydedilir.

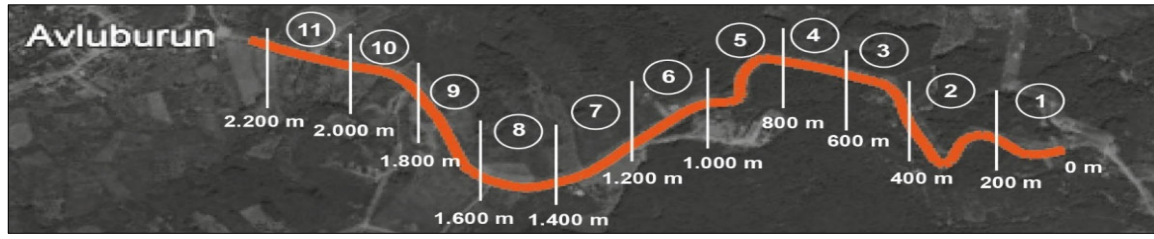
Çizelge 2.18. Kesim 6 doğrulanmış sonuç değerleri (CDV)

Sonuç Değeri (DV)						Toplam (TDV)	q	CDV
30,0	26,0	24,0	19,0	9,0	8,0	116,0	6	60,3
30,0	26,0	24,0	19,0	9,0	2,0	110,0	5	61,7
30,0	26,0	24,0	19,0	2,0	2,0	103,0	4	58,9
30,0	26,0	24,0	2,0	2,0	2,0	86,0	3	54,8
30,0	26,0	2,0	2,0	2,0	2,0	64,0	2	47,5
30,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	40,0	1	40,0

En yüksek doğrulanmış sonuç değeri (HCDV), 61,7 bulunmuştur. HCDV değeri 100’den çıkartılarak kaplama performans indeksi belirlenir (Eş. 2.1).

$$PCI = 100 - 61,7 = 38,3 \quad (\text{Çok kötü durumda üstyapı kaplaması})$$

EK-2. (devam) Eşmeahmediye–Avluburun SSB yolu bozulmalar ve yerleşim planı



Kesim 7 (1200-1400 m) Kaplama Bozulma Planı

Sol şerit	2.3L 1.3M 1.1	2.3L 1.3M 1.1	1.3M	1.3M	2.3M 1.3M	2.3M 1.3M	2.3M 1.3M	2.3L 1.3M	2.3L 1.3M 1.1	2.3H 1.3M 6.3 1.1
Sağ şerit	2.3L 1.3M 1.1	2.3L 1.3M 1.1	1.3M	2.3L 1.3M	1.3M	1.3M	2.3L 1.3M	2.3L 1.3M	2.3L 1.3M 1.1	2.3H 1.3M 6.3 1.1
	1200-1220 m	1220-1240 m	1240-1260 m	1260-1280 m	1280-1300 m	1300-1320 m	1320-1340 m	1340-1360 m	1360-1380 m	1380-1400 m

Kesim uzunluğu: 200 m

Plan İçin Bozulma Numaraları:

1- Yüzeysel Bozulmalar

- 1.1 Agrega Cırlanması
- 1.2 Kil Topağı Oyukları
- 1.3 Agrega Sökülmesi
- 1.4 Segregasyon
- 1.5 Sıkıştırma Kaynaklı

4- Derz Bozulmaları

- 4.1 Derz Köşe Parçalanması
- 4.2 Derz Boyunca Parçalanma
- 4.3 Gün Sonu Derzi Parçalanması

2-Çatlaklar

- 2.1 Köşe Çatlağı
- 2.2 Dayanıklılık Çatlağı
- 2.3 Doğrusal Çatlak Oluşumu (Enine, Boyuna, Çapraz)
- 2.4 Plak Bölünmesi

5- Şerit ve Kenar Bozulmaları

- 5.1 Şerit ve Kenar Kayması
- 5.2 Plak Kenar Sökülmesi

3- Yüzeysel Çatlaklar

- 3.1 Harita Şeklinde Çatlama
- 3.2 Büzülme Çatlakaları

6- Diğer Bozulmalar

- 6.1 Basınç Patlaması
- 6.2 Yama ve Yama Bozulmaları
- 6.3 Pompaj Etkisi
- 6.4 Faylanma

Şiddet Seviyeleri: L (Düşük) - M (Orta) - H (Yüksek)

Örnek Bozulma Fotoğrafları



1200 m



1250 m



1300 m



1350 m

EK-2. (devam) Eşmeahmediye–Avluburun SSB yolu bozulmalar ve PCI hesap detayları

Kesim 7 (1200-1400 m) PCI değerinin hesaplanması

ASTM D6433-23’te belirtilen esaslar doğrultusunda, 20 m aralıklarla incelenen ilgili 1200-1400 m kesiminde düşük, orta ve yüksek şiddet seviyesinde doğrusal çatlak oluşumu, orta şiddette agrega sökülmesi, pompaj etkisi ve agrega cilalanması bulunduğu tespit edilmiştir.

Bozulmaların oluştuğu plak sayısı toplam plak sayısına oranlanarak (Eş. 5.1) yoğunluk değerleri tespit edilmiştir (Çizelge 2.19).

Çizelge 2.19. Kesim 7 (1200-1400 m) bozulma yoğunlukları

Bozulma / Şiddet	Oluşan Plak Sayısı	Yoğunluk %
2.3L	10	50
2.3M	3	15
2.3H	2	10
1.3M	20	100
1.1	8	40
6.3	2	10
*Şiddet Düzeyleri L: Düşük, M: Orta, H: Yüksek		

Bozulma şiddet ve yoğunlukları elde edildikten sonra sonuç değeri (DV) değerleri Şekil 5.10’da verilen grafikler kullanılarak tespit edilmiştir.

İlgili kesim için 30; 20; 19,5; 11; 7,1 ve 7 DV değerleri tespit edilmiştir (Şekil 5.10). En yüksek DV değeri (HDV), 30 değeridir. Bir sonraki adımda, izin verilen dikkate alınacak maksimum bozulma sayısı “m” Eşitlik 2.3 kullanılarak tespit edilmiştir. Kesim 7’de baz alınan DV değerlerine göre; $m = 1 + \left(\frac{9}{98}\right) \times (100 - 30) = 7,43$ hesaplanmıştır.

Diğer bir adım da ise en küçük DV değerleri ile m değerinin ondalık kısmı çarpılmasıyla ($7 \times 0,43 = 3,01$) elde edilen sayının hesaplamalarda kullanılma durumunun değerlendirilmesidir. Bu değerlendirme için 2’den büyük DV değeri sayısı q değeri olarak kaydedilir. İlgili kesimde tüm DV değerleri de 2’den büyük olduğundan dolayı $q=6$ ’dır.

EK-2. (devam) Eşmeahmediye–Avluburun SSB yolu bozulmalar ve PCI hesap detayları

m değeri ile q değeri karşılaştırıldığında, m değerinden az q değeri vardır. Bu nedenle hesaplamalara çarpım değeri 3,01 kullanılmamıştır.

Bir sonraki adımda ise DV değerleri büyükten küçüğe sıralanıp kaydedilir. Her satır için 2’den büyük DV değer sayısı ise “q” satırına sırasıyla yazılır. q=1 değerine kadar her alt satırda 2’den büyük en küçük DV değeri alt sınır değer 2 ile hesaplanmalıdır. Bu iterasyon işlem döngüsü q=1 değerine kadar devam ettirilir. Her satırda DV değerleri toplanarak toplam sonuç değer (TDV) verileri hesaplanır (Çizelge 2.20).

Çizelge 2.20. Kesim 7 toplam sonuç değerleri (TDV)

Sonuç Değeri (DV)						Toplam (TDV)	q
30,0	20,0	19,5	11,0	7,1	7,0	94,6	6
30,0	20,0	19,5	11,0	7,1	2,0	89,6	5
30,0	20,0	19,5	11,0	2,0	2,0	84,5	4
30,0	20,0	19,5	2,0	2,0	2,0	75,5	3
30,0	20,0	2,0	2,0	2,0	2,0	58,0	2
30,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	40,0	1

Toplam sonuç değerleri (TDV) ve q değerleri ile bağıntılı Şekil 5.11’de verilen grafik kullanılarak, doğrulanmış sonuç değerleri (CDV) belirlenir. Hesaplamalar için q sırasında göre CDV değerleri Çizelge 2.21’de verildiği gibi hesap cetveline kaydedilir.

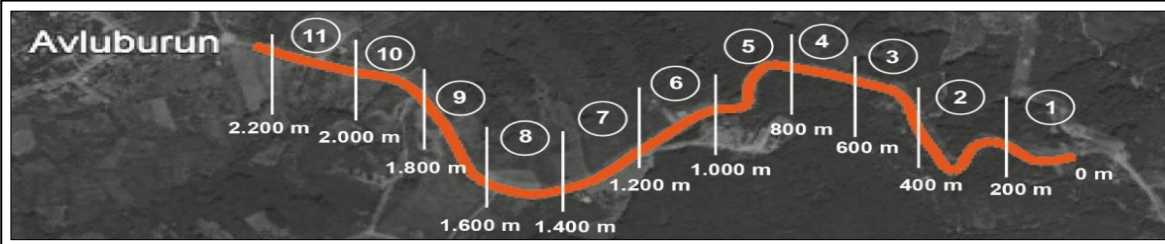
Çizelge 2.21. Kesim 7 doğrulanmış sonuç değerleri (CDV)

Sonuç Değeri (DV)						Toplam (TDV)	q	CDV
30,0	20,0	19,5	11,0	7,1	7,0	94,6	6	49,1
30,0	20,0	19,5	11,0	7,1	2,0	89,6	5	50,2
30,0	20,0	19,5	11,0	2,0	2,0	84,5	4	48,1
30,0	20,0	19,5	2,0	2,0	2,0	75,5	3	48,0
30,0	20,0	2,0	2,0	2,0	2,0	58,0	2	44,1
30,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	40,0	1	40,0

En yüksek doğrulanmış sonuç değeri (HCDV), 50,2 bulunmuştur. HCDV değeri 100’den çıkartılarak kaplama performans indeksi belirlenir (Eş. 2.1).

$$PCI = 100 - 50,2 = 49,8 \quad (\text{Kötü durumda üstyapı kaplaması})$$

EK-2. (devam) Eşmeahmediye–Avluburun SSB yolu bozulmalar ve yerleşim planı



Kesim 8 (1400-1600 m) Kaplama Bozulma Planı

Sol şerit	1.1	2.3L 1.1	2.3L 1.1	2.3L 1.1	2.3L 1.1	2.3L 1.1	2.3L 1.1	2.3L 1.1	2.3L 1.1	2.3L 1.1											
Sağ şerit	1.1	2.3L 1.1	2.3L 1.1	2.3L 1.1	2.3L 1.1	2.3L 1.1	2.3L 1.1	2.3L 1.1	2.3L 1.1	2.3L 1.1											
1400-1420 m		1420-1440 m		1440-1460 m		1460-1480 m		1480-1500 m		1500-1520 m		1520-1540 m		1540-1560 m		1560-1580 m		1580-1600 m			
Kesim uzunluğu: 200 m																					

Plan için Bozulma Numaraları:

1- Yüzeysel Bozulmalar

- 1.1 Agrega Cırlanması
- 1.2 Kil Topağı Oyukları
- 1.3 Agrega Sökülmesi
- 1.4 Segregasyon
- 1.5 Sıkıştırma Kaynaklı

4- Derz Bozulmaları

- 4.1 Derz Köşe Parçalanması
- 4.2 Derz Boyunca Parçalanma
- 4.3 Gün Sonu Derzi Parçalanması

2-Çatlaklar

- 2.1 Köşe Çatlağı
- 2.2 Dayanıklılık Çatlağı
- 2.3 Doğrusal Çatlak Oluşumu (Enine, Boyuna, Çapraz)
- 2.4 Plak Bölünmesi

5- Şerit ve Kenar Bozulmaları

- 5.1 Şerit ve Kenar Kayması
- 5.2 Plak Kenar Sökülmesi

3- Yüzeysel Çatlaklar

- 3.1 Harita Şeklinde Çatlama
- 3.2 Büzülme Çatlakları

6- Diğer Bozulmalar

- 6.1 Basınç Patlaması
- 6.2 Yama ve Yama Bozulmaları
- 6.3 Pompaj Etkisi
- 6.4 Faylanma

Şiddet Seviyeleri: L (Düşük) - M (Orta) - H (Yüksek)

Örnek Bozulma Fotoğrafları



1400 m



1450 m



1500 m



1550 m

EK-2. (devam) Eşmeahmediye–Avluburun SSB yolu bozulmalar ve PCI hesap detayları

Kesim 8 (1400-1600 m) PCI değerinin hesaplanması

ASTM D6433-23'te belirtilen esaslar doğrultusunda, 20 m aralıklarla incelenen ilgili 1400-1600 m kesiminde düşük, orta ve yüksek şiddet seviyesinde doğrusal çatlak oluşumu ve agrega cırlanması bulunduğu tespit edilmiştir.

Bozulmaların oluştuğu plak sayısı toplam plak sayısına oranlanarak (Eş. 5.1) yoğunluk değerleri tespit edilmiştir (Çizelge 2.22).

Çizelge 2.22. Kesim 8 (1400-1600 m) bozulma yoğunlukları

Bozulma / Şiddet	Oluşan Plak Sayısı	Yoğunluk %
2.3L	8	40
2.3M	8	40
2.3H	2	10
1.1	20	100

*Şiddet Düzeyleri: L: Düşük, M: Orta, H: Yüksek

Bozulma şiddet ve yoğunlukları elde edildikten sonra sonuç değeri (DV) değerleri Şekil 5.10'da verilen grafikler kullanılarak tespit edilmiştir. İlgili kesim için 24; 20; 18; ve 10 DV değerleri tespit edilmiştir (Şekil 5.10). En yüksek DV değeri (HDV), 30 değeridir.

Bir sonraki adımda, izin verilen dikkate alınacak maksimum bozulma sayısı " m " Eşitlik 2.3 kullanılarak tespit edilmiştir. Kesim 8'de baz alınan DV değerlerine göre; $m = 1 + \left(\frac{9}{98}\right) \times (100 - 24) = 7,98$ hesaplanmıştır.

Diğer bir adım da ise en küçük DV değerleri ile m değerinin ondalık kısmı çarpılmasıyla ($10 \times 0,98 = 9,80$) elde edilen sayının hesaplamalarda kullanılma durumunun değerlendirilmesidir. Bu değerlendirme için 2'den büyük DV değeri sayısı q değeri olarak kaydedilir. İlgili kesimde tüm DV değerleri de 2'den büyük olduğundan dolayı $q=4$ 'tür.

EK-2. (devam) Eşmeahmediye–Avluburun SSB yolu bozulmalar ve PCI hesap detayları

m değeri ile q değeri karşılaştırıldığında, m değerinden az q değeri vardır. Bu nedenle hesaplamalara çarpım değeri 9,80 kullanılmamıştır.

Bir sonraki adımda ise DV değerleri büyükten küçüğe sıralanıp kaydedilir. Her satır için 2’den büyük DV değer sayısı ise “q” satırına sırasıyla yazılır. q=1 değerine kadar her alt satırda 2’den büyük en küçük DV değeri alt sınır değer 2 ile hesaplanmalıdır. Bu iterasyon işlem döngüsü q=1 değerine kadar devam ettirilir.

Her satırda DV değerleri toplanarak toplam sonuç değer (TDV) verileri hesaplanır (Çizelge 2.23).

Çizelge 2.23. Kesim 8 toplam sonuç değerleri (TDV)

Sonuç Değeri (DV)				Toplam (TDV)	q
24,0	20,0	18,0	10,0	72,0	4
24,0	20,0	18,0	2,0	64,0	3
24,0	20,0	2,0	2,0	48,0	2
24,0	2,0	2,0	2,0	30,0	1

Toplam sonuç değerleri (TDV) ve q değerleri ile bağıntılı Şekil 5.11’de verilen grafik kullanılarak, doğrulanmış sonuç değerleri (CDV) belirlenir. Hesaplamalar için q sırasında göre CDV değerleri Çizelge 2.24’te verildiği gibi hesap cetveline kaydedilir.

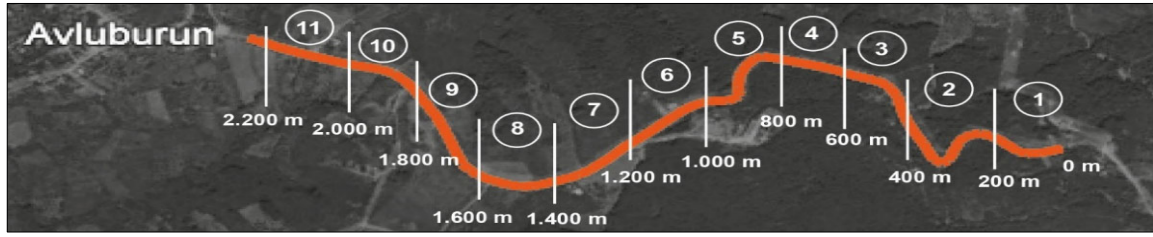
Çizelge 2.24. Kesim 8 doğrulanmış sonuç değerleri (CDV)

Sonuç Değeri (DV)				Toplam (TDV)	q	CDV
24,0	20,0	18,0	10,0	72,0	4	42,1
24,0	20,0	18,0	2,0	64,0	3	40,1
24,0	20,0	2,0	2,0	48,0	2	38,6
24,0	2,0	2,0	2,0	30,0	1	30,0

En yüksek doğrulanmış sonuç değeri (HCDV), 42,1 bulunmuştur. HCDV değeri 100’den çıkartılarak kaplama performans indeksi belirlenir (Eş. 2.1).

$$PCI = 100 - 42,1 = 57,9 \quad (\text{Orta durumda üstyapı kaplaması})$$

EK-2. (devam) Eşmeahmediye–Avluburun SSB yolu bozulmalar ve yerleşim planı



Kesim 9 (1600-1800 m) Kaplama Bozulma Planı

Sol şerit	2.3H 1.1	2.3L 1.1	1.1	2.3L 1.1	2.3L 1.1	1.1	1.1	2.3L 1.1	2.3L 1.1	2.3M 1.1
Sağ şerit	2.3H 1.1	2.3L 1.1	2.3L 1.1	2.3L 1.1	2.3L 1.1	2.3L 1.1	2.3L 1.1	1.1	2.3L 1.1	2.3L 1.1
	1600-1620 m	1620-1640 m	1640-1660 m	1660-1680 m	1680-1700 m	1700-1720 m	1720-1740 m	1740-1760 m	1760-1780 m	1780-1800 m

Kesim uzunluğu: 200 m

Plan İçin Bozulma Numaraları:

1- Yüzeysel Bozulmalar

- 1.1 Agrega Cilalanması
- 1.2 Kil Topağı Oyukları
- 1.3 Agrega Sökülmesi
- 1.4 Segregasyon
- 1.5 Sıkıştırma Kaynaklı

4- Derz Bozulmaları

- 4.1 Derz Köşe Parçalanması
- 4.2 Derz Boyunca Parçalanma
- 4.3 Gün Sonu Derzi Parçalanması

2-Çatlaklar

- 2.1 Köşe Çatlağı
- 2.2 Dayanıklılık Çatlağı
- 2.3 Doğrusal Çatlak Oluşumu (Enine, Boyuna, Çapraz)
- 2.4 Plak Bölünmesi

5- Şerit ve Kenar Bozulmaları

- 5.1 Şerit ve Kenar Kayması
- 5.2 Plak Kenar Sökülmesi

3- Yüzeysel Çatlaklar

- 3.1 Harita Şeklinde Çatlama
- 3.2 Büzülme Çatlakları

6- Diğer Bozulmalar

- 6.1 Basınç Patlaması
- 6.2 Yama ve Yama Bozulmaları
- 6.3 Pompaj Etkisi
- 6.4 Faylanma

Şiddet Seviyeleri: L (Düşük) - M (Orta) - H (Yüksek)

Örnek Bozulma Fotoğrafları



1600 m



1650 m



1700 m



1750 m

EK-2. (devam) Eşmeahmediye–Avluburun SSB yolu bozulmalar ve PCI hesap detayları

Kesim 9 (1600-1800 m) PCI değerinin hesaplanması

ASTM D6433-23'te belirtilen esaslar doğrultusunda, 20 m aralıklarla incelenen ilgili 1600-1800 m kesiminde düşük, orta ve yüksek şiddet seviyesinde doğrusal çatlak oluşumu ve agrega cırlanması bulunduğu tespit edilmiştir.

Bozulmaların oluştuğu plak sayısı toplam plak sayısına oranlanarak (Eş. 5.1) yoğunluk değerleri tespit edilmiştir (Çizelge 2.25).

Çizelge 2.25. Kesim 9 (1600-1800 m) bozulma yoğunlukları

Bozulma / Şiddet	Oluşan Plak Sayısı	Yoğunluk %
2.3L	12	60
2.3M	2	10
2.3H	2	10
1.1	20	100
*Şiddet Düzeyleri L: Düşük, M: Orta, H: Yüksek		

Bozulma şiddet ve yoğunlukları elde edildikten sonra sonuç değeri (DV) değerleri Şekil 5.10'da verilen grafikler kullanılarak tespit edilmiştir.

Kesim 9 (1600-1800 m) için 20; 19,5; 10 ve 9 DV değerleri tespit edilmiştir (Şekil 5.10). En yüksek DV değeri (HDV), 20 değeridir. Bir sonraki adımda, izin verilen dikkate alınacak maksimum bozulma sayısı “m” Eşitlik 2.3 kullanılarak tespit edilmiştir. Kesim 9'da baz alınan DV değerlerine göre; $m = 1 + \left(\frac{9}{98}\right) \times (100 - 20) = 8,35$ hesaplanmıştır.

Diğer bir adım da ise en küçük DV değerleri ile m değerinin ondalık kısmı çarpılmasıyla ($9 \times 0,35 = 3,12$) elde edilen sayının hesaplamalarda kullanılma durumunun değerlendirilmesidir. Bu değerlendirme için 2'den büyük DV değeri sayısı q değeri olarak kaydedilir. İlgili kesimde tüm DV değerleri de 2'den büyük olduğundan dolayı $q=4$ 'tür.

EK-2. (devam) Eşmeahmediye–Avluburun SSB yolu bozulmalar ve PCI hesap detayları

m değeri ile q değeri karşılaştırıldığında, m değerinden az q değeri vardır. Bu nedenle hesaplamalara çarpım değeri 3,12 kullanılmamıştır.

Bir sonraki adımda ise DV değerleri büyükten küçüğe sıralanıp kaydedilir. Her satır için 2’den büyük DV değer sayısı ise “q” satırına sırasıyla yazılır. q=1 değerine kadar her alt satırda 2’den büyük, en küçük DV değeri alt sınır değer 2 ile hesaplanmalıdır. Bu iterasyon işlem döngüsü q=1 değerine kadar devam ettirilir.

Her satırda DV değerleri toplanarak toplam sonuç değer (TDV) verileri hesaplanır (Çizelge 2.26).

Çizelge 2.26. Kesim 9 toplam sonuç değerleri (TDV)

Sonuç Değeri (DV)				Toplam (TDV)	q
20,0	19,5	10,0	9,0	58,5	4
20,0	19,5	10,0	2,0	51,5	3
20,0	19,5	2,0	2,0	43,5	2
20,0	2,0	2,0	2,0	26,0	1

Toplam sonuç değerleri (TDV) ve q değerleri ile bağıntılı Şekil 5.11’de verilen grafik kullanılarak, doğrulanmış sonuç değerleri (CDV) belirlenir. Hesaplamalar için q sırasında göre CDV değerleri Çizelge 2.27’de verildiği gibi hesap cetveline kaydedilir.

Çizelge 2.27. Kesim 9 doğrulanmış sonuç değerleri (CDV)

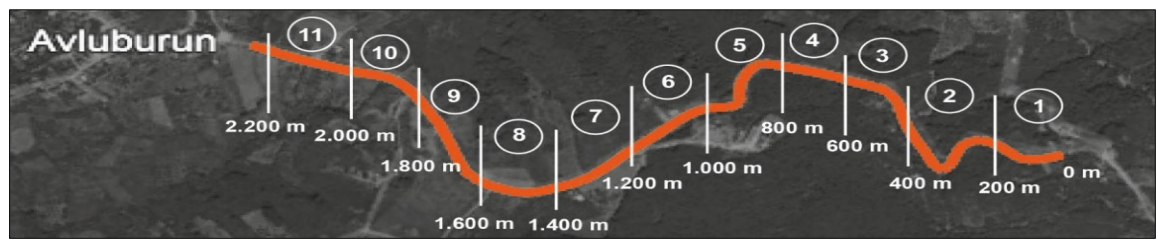
Sonuç Değeri (DV)				Toplam (TDV)	q	CDV
20,0	19,5	10,0	9,0	58,5	4	31,8
20,0	19,5	10,0	2,0	51,5	3	31,0
20,0	19,5	2,0	2,0	43,5	2	32,8
20,0	2,0	2,0	2,0	26,0	1	26,0

En yüksek doğrulanmış sonuç değeri (HCDV), 32,8 bulunmuştur.

HCDV değeri 100’den çıkartılarak kaplama performans indeksi belirlenir (Eş. 2.1).

$$PCI = 100 - 32,8 = 67,2 \quad (\text{Orta durumda üstyapı kaplaması})$$

EK-2. (devam) Eşmeahmediye–Avluburun SSB yolu bozulmalar ve yerleşim planı



Kesim 10 (1800-2000 m) Kaplama Bozulma Planı

Sol şerit	2.3H 1.1	2.3L 1.1	2.3L 1.1	2.3L 1.1	2.3L 1.1	2.3L 1.1	1.1	1.1	1.1	1.1
Sağ şerit	2.3H 1.1	2.3L 1.1	2.3L 1.1	2.3L 1.1	2.3L 1.1	2.3L 1.1	2.3L 1.1	2.3L 1.1	2.3L 1.1	2.3L 1.1
	1800-1820 m	1820-1840 m	1840-1860 m	1860-1880 m	1880-1900 m	1900-1920 m	1920-1940 m	1940-1960 m	1960-1980 m	1980-2000 m

Kesim uzunluğu: 200 m

Plan İçin Bozulma Numaraları:

1- Yüzeysel Bozulmalar

- 1.1 Agrega Cilalanması
- 1.2 Kil Topağı Oyukları
- 1.3 Agrega Sökülmesi
- 1.4 Segregasyon
- 1.5 Sıkıştırma Kaynaklı

4- Derz Bozulmaları

- 4.1 Derz Köşe Parçalanması
- 4.2 Derz Boyunca Parçalanma
- 4.3 Gün Sonu Derzi Parçalanması

2-Çatlaklar

- 2.1 Köşe Çatlağı
- 2.2 Dayanıklılık Çatlağı
- 2.3 Doğrusal Çatlak Oluşumu (Enine, Boyuna, Çapraz)
- 2.4 Plak Bölünmesi

5- Şerit ve Kenar Bozulmaları

- 5.1 Şerit ve Kenar Kayması
- 5.2 Plak Kenar Sökülmesi

3- Yüzeysel Çatlaklar

- 3.1 Harita Şeklinde Çatlama
- 3.2 Büzülme Çatlakları

6- Diğer Bozulmalar

- 6.1 Basınç Patlaması
- 6.2 Yama ve Yama Bozulmaları
- 6.3 Pompaj Etkisi
- 6.4 Faylanma

Şiddet Seviyeleri: L (Düşük) - M (Orta) - H (Yüksek)

Örnek Bozulma Fotoğrafları



1800 m



1850 m



1900 m



1950 m

EK-2. (devam) Eşmeahmediye–Avluburun SSB yolu bozulmalar ve PCI hesap detayları

Kesim 10 (1800-2000 m) PCI değerinin hesaplanması

ASTM D6433-23’te belirtilen esaslar doğrultusunda, 20 m aralıklarla incelenen ilgili 1800-2000 m kesiminde düşük ve yüksek şiddet seviyesinde doğrusal çatlak oluşumu ve agrega cıllanması bulunduğu tespit edilmiştir.

Bozulmaların oluştuğu plak sayısı toplam plak sayısına oranlanarak (Eş. 5.1) yoğunluk değerleri tespit edilmiştir (Çizelge 2.28).

Çizelge 2.28. Kesim 10 (1800-2000 m) bozulma yoğunlukları

Bozulma / Şiddet	Oluşan Plak Sayısı	Yoğunluk %
2.3L	14	70
2.3H	2	10
1.1	20	100
*Şiddet Düzeyleri: L: Düşük, M: Orta, H: Yüksek		

Bozulma şiddet ve yoğunlukları elde edildikten sonra sonuç değeri (DV) değerleri Şekil 5.10’da verilen grafikler kullanılarak tespit edilmiştir.

Kesim 10 (1800-2000 m) için 21,8; 20 ve 10 DV değerleri tespit edilmiştir (Şekil 5.10). En yüksek DV değeri (HDV), 21,8 değeridir. Bir sonraki adımda, izin verilen dikkate alınacak maksimum bozulma sayısı “*m*” Eşitlik 2.3 kullanılarak tespit edilmiştir. Kesim 10’da baz alınan DV değerlerine göre; $m = 1 + \left(\frac{9}{98}\right) \times (100 - 21,8) = 8,18$ hesaplanmıştır.

Diğer bir adım da ise en küçük DV değerleri ile *m* değerinin ondalık kısmı çarpılmasıyla ($10 \times 0,18 = 1,8$) elde edilen sayının hesaplamalarda kullanılma durumunun değerlendirilmesidir. Bu değerlendirme için 2’den büyük DV değeri sayısı *q* değeri olarak kaydedilir. İlgili kesimde tüm DV değerleri de 2’den büyük olduğundan dolayı $q=3$ ’tür.

EK-2. (devam) Eşmeahmediye–Avluburun SSB yolu bozulmalar ve PCI hesap detayları

m değeri ile q değeri karşılaştırıldığında, m değerinden az q değeri vardır. Bu nedenle hesaplamalara çarpım değeri 1,8 kullanılmamıştır.

Bir sonraki adımda ise DV değerleri büyükten küçüğe sıralanıp kaydedilir. Her satır için 2’den büyük DV değer sayısı ise “q” satırına sırasıyla yazılır. q=1 değerine kadar her alt satırda 2’den büyük, en küçük DV değeri alt sınır değer 2 ile hesaplanmalıdır. Bu iterasyon işlem döngüsü q=1 değerine kadar devam ettirilir.

Her satırda DV değerleri toplanarak toplam sonuç değer (TDV) verileri hesaplanır (Çizelge 2.29).

Çizelge 2.29. Kesim 10 toplam sonuç değerleri (TDV)

Sonuç Değeri (DV)			Toplam (TDV)	q
21,8	20,0	10,0	51,8	3
21,8	20,0	2,0	43,8	2
21,8	2,0	2,0	25,8	1

Toplam sonuç değerleri (TDV) ve q değerleri ile bağıntılı Şekil 5.11’de verilen grafik kullanılarak, doğrulanmış sonuç değerleri (CDV) belirlenir. Hesaplamalar için q sırasında göre CDV değerleri Çizelge 2.30’da verildiği gibi hesap cetveline kaydedilir.

Çizelge 2.30. Kesim 10 doğrulanmış sonuç değerleri (CDV)

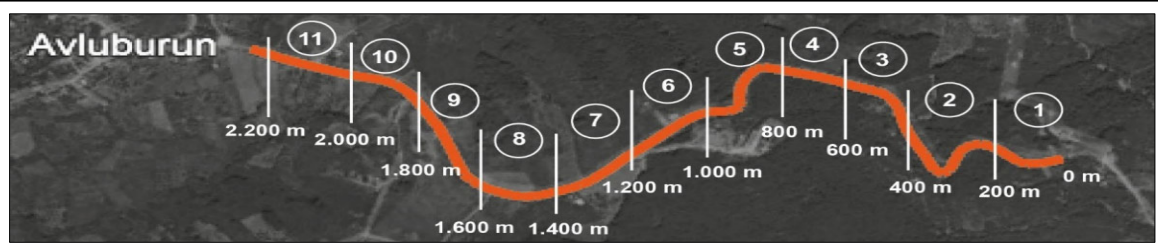
Sonuç Değeri (DV)			Toplam (TDV)	q	CDV
21,8	20,0	10,0	51,8	3	31,2
21,8	20,0	2,0	43,8	2	31,0
21,8	2,0	2,0	25,8	1	25,8

En yüksek doğrulanmış sonuç değeri (HCDV), 31,2 bulunmuştur.

HCDV değeri 100’den çıkartılarak kaplama performans indeksi belirlenir (Eş. 2.1).

$$PCI = 100 - 31,2 = 68,8 \quad (\text{Orta durumda üstyapı kaplaması})$$

EK-2. (devam) Eşmeahmediye–Avluburun SSB yolu bozulmalar ve yerleşim planı



Kesim 11 (2000-2200 m) Kaplama Bozulma Planı

Sol şerit	1.1	2.3L 1.1	1.1	2.3L 1.1	1.1	2.3L 1.1	1.1	2.3L 1.1	2.3L 1.1 6.3	1.1
Sağ şerit	2.3L 1.1	2.3L 1.1	2.3L 1.1	2.3L 1.1	2.3L 1.1	2.3L 1.1	2.3L 1.1	2.3L 1.1	2.3L 1.1 6.3	2.3L 1.1
	2000-2020 m	2020-2040 m	2040-2060 m	2060-2080 m	2080-2200 m	2100-2120 m	2120-2140 m	2140-2160 m	2160-2180 m	2180-2200 m

Kesim uzunluğu: 200 m

Plan İçin Bozulma Numaraları:

1- Yüzeysel Bozulmalar

- 1.1 Agrega Cilalanması
- 1.2 Kil Topağı Oyukları
- 1.3 Agrega Sökülmesi
- 1.4 Segregasyon
- 1.5 Sıkıştırma Kaynaklı

4- Derz Bozulmaları

- 4.1 Derz Köşe Parçalanması
- 4.2 Derz Boyunca Parçalanma
- 4.3 Gün Sonu Derzi Parçalanması

2-Çatlaklar

- 2.1 Köşe Çatlağı
- 2.2 Dayanıklılık Çatlağı
- 2.3 Doğrusal Çatlak Oluşumu (Enine, Boyuna, Çapraz)
- 2.4 Plak Bölünmesi

5- Şerit ve Kenar Bozulmaları

- 5.1 Şerit ve Kenar Kayması
- 5.2 Plak Kenar Sökülmesi

3- Yüzeysel Çatlaklar

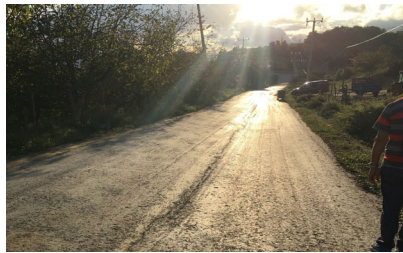
- 3.1 Harita Şeklinde Çatlama
- 3.2 Büzülme Çatlakları

6- Diğer Bozulmalar

- 6.1 Basınç Patlaması
- 6.2 Yama ve Yama Bozulmaları
- 6.3 Pompaj Etkisi
- 6.4 Faylanma

Şiddet Seviyeleri: L (Düşük) - M (Orta) - H (Yüksek)

Örnek Bozulma Fotoğrafları



2000 m



2050 m



2100 m



2150 m

EK-2. (devam) Eşmeahmediye–Avluburun SSB yolu bozulmalar ve PCI hesap detayları

Kesim 11 (2000-2200 m) PCI değerinin hesaplanması

ASTM D6433-23'te belirtilen esaslar doğrultusunda, 20 m aralıklarla incelenen ilgili 2000-2200 m kesiminde düşük şiddet seviyesinde doğrusal çatlak oluşumu ve agrega cıllanması bulunduğu tespit edilmiştir.

Bozulmaların oluştuğu plak sayısı toplam plak sayısına oranlanarak (Eş. 5.1) yoğunluk değerleri tespit edilmiştir (Çizelge 2.31).

Çizelge 2.31. Kesim 11 (2000-2200 m) bozulma yoğunlukları

Bozulma / Şiddet	Oluşan Plak Sayısı	Yoğunluk %
2.3L	15	75
1.1	20	100
6.3	2	10
*Şiddet Düzeyleri A: Düşük, M: Orta, H: Yüksek		

Bozulma şiddet ve yoğunlukları elde edildikten sonra sonuç değeri (DV) değerleri Şekil 5.10'de verilen grafikler kullanılarak tespit edilmiştir. Kesim 11 (2000-2200 m) için 22,5; 10 ve 7,1 DV değerleri tespit edilmiştir (Şekil 5.10). En yüksek DV değeri (HDV), 22,5 değeridir.

Bir sonraki adımda, izin verilen dikkate alınacak maksimum bozulma sayısı “m” Eşitlik 2.3 kullanılarak tespit edilmiştir.

Kesim 11'de baz alınan DV değerlerine göre; $m = 1 + \left(\frac{9}{98}\right) \times (100 - 22,5) = 8,12$ hesaplanmıştır.

Diğer bir adım da ise en küçük DV değerleri ile m değerinin ondalık kısmı çarpılmasıyla ($7,1 \times 0,12 = 0,83$) elde edilen sayının hesaplamalarda kullanılma durumunun değerlendirilmesidir. Bu değerlendirme için 2'den büyük DV değeri sayısı q değeri olarak kaydedilir. İlgili kesimde tüm DV değerleri de 2'den büyük olduğundan dolayı $q=3$ 'tür.

EK-2. (devam) Eşmeahmediye–Avluburun SSB yolu bozulmalar ve PCI hesap detayları

m değeri ile q değeri karşılaştırıldığında, m değerinden az q değeri vardır. Bu nedenle hesaplamalara çarpım değeri 0,83 kullanılmamıştır.

Bir sonraki adımda ise DV değerleri büyükten küçüğe sıralanıp kaydedilir. Her satır için 2’den büyük DV değer sayısı ise “q” satırına sırasıyla yazılır. q=1 değerine kadar her alt satırda 2’den büyük, en küçük DV değeri alt sınır değer 2 ile hesaplanmalıdır. Bu iterasyon işlem döngüsü q=1 değerine kadar devam ettirilir.

Her satırda DV değerleri toplanarak toplam sonuç değer (TDV) verileri hesaplanır (Çizelge 2.32).

Çizelge 2.32. Kesim 11 toplam sonuç değerleri (TDV)

Sonuç Değeri (DV)			Toplam (TDV)	q
22,5	10	7,1	39,6	3
22,5	10	2	34,5	2
22,5	2	2	26,5	1

Toplam sonuç değerleri (TDV) ve q değerleri ile bağıntılı Şekil 5.11’de verilen grafik kullanılarak, doğrulanmış sonuç değerleri (CDV) belirlenir. Hesaplamalar için q sırasında göre CDV değerleri Çizelge 2.33’te verildiği gibi hesap cetveline kaydedilir.

Çizelge 2.33. Kesim 11 doğrulanmış sonuç değerleri (CDV)

Sonuç Değeri (DV)			Toplam (TDV)	q	CDV
22,5	10	7,1	39,6	3	24,1
22,5	10	2	34,5	2	26,2
22,5	2	2	26,5	1	26,5

En yüksek doğrulanmış sonuç değeri (HCDV), 26,5 bulunmuştur.

HCDV değeri 100’den çıkartılarak kaplama performans indeksi belirlenir (Eş. 2.1).

$$PCI = 100 - 26,5 = 73,5 \quad (\text{Yeterli durumda üstyapı kaplaması})$$



Gazili olmak ayrıcalıktır