



**T.C. ULAŖTIRMA VE
ALTYAPI BAKANLIğI**



**KARAYOLLARI
GENEL MÜDÜRLÜğÜ**

ÜSTYAPI YÖNETİM SİSTEMİ (ÜYS) REHBERİ



**ARAŖTIRMA VE GELİŖTİRME DAİRESİ BAŖKANLIđI
ÜSTYAPI GELİŖTİRME ŖUBESİ MÜDÜRLÜğÜ
ANKARA - 2024**





T.C.
ULAŖTIRMA VE ALTYAPI BAKANLIĞI
KARAYOLLARI GENEL MÜDÜRLÜĞÜ



ÜSTYAPI YÖNETİM SİSTEMİ (ÜYS) REHBERİ

HAZIRLAYANLAR

Mehmet Göksel GÖÇMEZ
İnŖaat Yüksek Mühendisi

Mehmet Ali ALKAN
İnŖaat Mühendisi

Muhammet KOMUT
İnŖaat Yüksek Mühendisi

ARAŖTIRMA VE GELİŖTİRME DAİRESİ BAŖKANLIĐI
ÜSTYAPI GELİŖTİRME ŖUBESİ MÜDÜRLÜĞÜ
ANKARA – 2024

Her hakkı saklıdır. Bu kitabın bir kısmı veya tamamı Karayolları Genel Müdürlüğü'nün yazılı izni olmadan çoğaltılamaz. Bilgi erişim sistemine yüklenemez veya herhangi bir şekilde bir başka yere aktarılamaz.

ÖNSÖZ

Karayolu ulaşımı, özellikle kısa ve orta mesafeli yolculuklarda hızlı, konforlu ve ekonomik hizmet vermesi, diğer ulaşım modları ile kolayca entegre olabilmesi ve erişim imkânı sağlayan esnek yapısı nedeniyle dünyada ve ülkemizde en çok tercih edilen ulaşım türüdür. Bugün Türkiye’de yolcu ve yük taşımacılığının yaklaşık %91’i karayoluyla gerçekleştirilmektedir.

Karayolu altyapısının yüksek standartlı hizmet vermesi ve sürdürülebilirliğinin sağlanması büyük önem arz etmekte olup karayolu ulaşımının etkin ve verimli bir şekilde yönetilmesi, olumsuz çevresel etkilerin en aza indirilmesi ve altyapı hizmet kalitesinin artırılması, Kurumumuzun öncelikli hedefleri arasında yer almaktadır.

Üstyapı Yönetim Sistemi, karayolu üstyapılarının mümkün olan en uzun süre boyunca dayanıklı, güvenli ve maliyet etkin şekilde hizmet verebilir durumda kalmasını sağlamak amacıyla geliştirilmiş bir yönetim aracıdır. Bu sistem, karayolu yönetimi alanında faaliyet gösteren tüm kurumların bakım ve rehabilitasyon stratejilerine ilişkin bilinçli kararlar almasını, yatırımları objektif kriterlere göre önceliklendirmesini ve nihayetinde seyahat eden topluma daha iyi hizmet sunulmasını sağlamaktadır.

Hazırlanan Üstyapı Yönetim Sistemi Rehberi ile, karayolu mühendisleri ve sektörün diğer paydaşları için değerli bir kaynak oluşturulmuştur. Bilimsel verileri temel alarak ülkemizin karayolu altyapısını güçlendirmeyi amaçlayan rehber, Karayolları Genel Müdürlüğümüzün karmaşık ve çok disiplinli olan üstyapı yönetim sistemlerinin, küresel ulaşım trendlerine ve uluslararası standartlara uygun bir yapıda geliştirilmesini ve uygulanmasını sağlayacaktır.

Bu rehberin başta Kurumumuz olmak üzere ilgili tüm kurumlar ve profesyoneller için faydalı bir kılavuz olacağı ve sektöre önemli katkılar sağlayacağı inancıyla, Rehberin hazırlanmasında emeği geçen tüm çalışma arkadaşlarıma teşekkür ederim.



Ahmet GÜLŞEN

Karayolları Genel Müdürü

ÖNSÖZ

Üstyapı Yönetim Sistemi (ÜYS), gün geçtikte büyüyen ve gelişen karayolu üstyapı ağlarımızın etkin ve sürdürülebilir bir şekilde yönetilmesi adına önemli bir bileşendir. ÜYS, karayolu idarelerine envanter verilerinin toplanması, performanslarının izlenmesi ve çeşitli analizler yaparak optimum stratejilerin belirlenmesinde rehberlik eder.

Karayolu üstyapısının etkin yönetimi, doğru veri toplama ve analiz süreçlerine dayanmaktadır. Bu kapsamda, ÜYS, karayolu ağının mevcut durumunu belirlemek için envanter verilerini toplar ve bu verileri düzenli olarak günceller. Böylece, yol durumu, kaplama özellikleri, trafik yükü ve diğer faktörler sürekli olarak izlenir ve değerlendirilir.

Üstyapı Yönetim Sistemleri sadece veri toplamakla kalmaz, aynı zamanda bu verileri analiz ederek yolların önceliklendirilmesi ve verimliliği artırma faaliyetlerinde karayolu idarelerine stratejik yönlendirmeler sunar. Böylece, kaynakların etkin bir şekilde kullanılması ve karayolu üstyapı ağımızın uzun vadeli sürdürülebilirliği sağlanır.

Başkanlığımız bünyesinde Üstyapı Geliştirme Şubesi Müdürlüğü tarafından hazırlanan Üstyapı Yönetim Sistemi (ÜYS) Rehberi, bu önemli süreci anlamak ve uygulamak için karayolu mühendislerine ve ilgili paydaşlara kılavuzluk edecektir.

Üstyapı Yönetim Sistemi'nin etkin kullanılabilmesi adına, bu rehber içerisinde belirtilen dikkat edilmesi gereken hususların yerine getirilmesi büyük önem arz etmektedir.

Bu rehberin, ülkemizin karayolu üstyapılarımızın daha sürdürülebilir, güvenli ve verimli bir şekilde yönetilmesine önemli katkılar sağlayacağını umut ediyor, hazırlanmasında emeği geçen tüm çalışma arkadaşlarıma içtenlikle teşekkür ediyorum.


Emine BALABAN

Araştırma ve Geliştirme Dairesi Başkanı

İÇİNDEKİLER

SAYFA NO

1. ÜSTYAPI YÖNETİM SİSTEMİ (ÜYS) TANIMI VE BİLEŞENLERİ.....	1
1.1 Üstyapı Yönetim Sistemi (ÜYS) Tanımı	1
1.2 Üstyapı Yönetim Sistemi Bileşenleri.....	2
1.2.1. Üstyapı Yönetim Sistemi Veri Tabanı.....	2
1.2.2. Üstyapı Yönetim Sistemi Girdileri.....	3
1.2.3 Üstyapı Yönetim Sistemi Analiz Modelleri	7
1.2.4. Üstyapı Yönetim Sistemi Çıktıları	8
1.2.5. Üstyapı Yönetim Sistemi Karar Kriterleri	9
1.2.6. Üstyapı Yönetim Sistemi Optimizasyonu	10
1.2.7. Üstyapı Yönetim Sistemi Raporlama Araçları	10
2. ÜSTYAPI YÖNETİM SİSTEMİ ANALİZ SEVİYELERİ	12
2.1 Ağ Düzeyinde Analiz	13
2.2 Proje Düzeyinde Analiz	14
3. ÜSTYAPI YÖNETİM SİSTEMİ KAPSAMINDA KAPLAMALARIN MEVCUT DURUMUNUN DEĞERLENDİRİLMESİ	16
3.1 Üstyapının Sürüş Konforunun Değerlendirilmesi ve Düzgünsüzlük Ölçümleri.....	16
3.2 Üstyapının Tekerlek İzinde Oturma Ölçümleri.....	21
3.3 Üstyapı Güvenliğinin Değerlendirilmesi ve Kayma Direnci Ölçümleri.....	23
3.4 Üstyapının Tekerlek Gürültü Seviyesi Ölçümleri	26
3.5 Üstyapının Yapısal Kapasitesinin Düşen Ağırlık Deflektometresi (FWD) Testiyle Belirlenmesi.....	28
3.6 Üstyapının Performans Gözlemlerinin Gerçekleştirilmesi	30
4. ÜSTYAPI GELECEK DURUM TAHMİN MODELLERİ VE ANALİZ DEĞERLENDİRMELERİ	34
5. ÜSTYAPI YÖNETİM SİSTEMİ (ÜYS) ÜSTYAPI KAPLAMA KORUMA PROGRAMI	39

5.1 ÜYS Kapsamında Bakım-Onarım, İyileştirme ve Rehabilitasyon Stratejilerinin Belirlenmesi.....	40
6. ÜYS YAŞAM DÖNGÜ MALİYET ANALİZİ (YDMA) VE YOLLARIN ÖNCELİKLENDİRİLMESİ.....	43
6.1 Erken Müdahalenin Önemi.....	43
6.2 Yolların Önceliklendirilmesi	45
7. ÜSTYAPI YÖNETİM SİSTEMİNİN UYGULANMASI VE KGM-ÜYS WEB PROGRAMI.....	50
7.1 KGM-ÜYS Web Yazılımı (2023 Sürümü)	53
7.1.1 Envanter Girişi Arayüzü	53
7.1.2 Performans Gözlemi	63
7.1.3 Ölçüm Girişi.....	64
7.1.4 Ölçüm Görüntüle	66
7.1.5 Trafik Verileri	67
7.1.6 Üstyapı İtinereri	67
7.1.7 Performans Analiz (PMS).....	68
7.1.8 Veri Raporlama	72
7.1.9 Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS)	74
7.1.10 ÜYS Web Yazılımı Mobil Uygulaması	77
7.2 Üstyapı Yönetim Sistemi'nin Etkin Kullanılabilmesi Adına Dikkat Edilmesi Gereken Hususlar.....	78
7.3 Üstyapı Yönetim Sistemi'nin Geleceği ve İhtiyaç Duyulacak Yenilikler ...	79

Şekil 1: Üstyapı Yönetim Sistemi Bileşenleri	2
Şekil 2: Üstyapı Yapısal ve Fonksiyonel Durum Tespit Yöntemleri	4
Şekil 3: Üstyapı Trafik Dağılımı ve Standart Dingil	5
Şekil 4: Üstyapı İklim Etkileri.....	6
Şekil 5: Üstyapı Yönetim Sistemi Döngüsü.....	11
Şekil 6: Üstyapı Yönetim Sistemi Analiz Düzeyleri	12
Şekil 7: Üstyapı Yönetim Sistemi İçerisinde Ağ ve Proje Düzeyi İlişkisi.....	13
Şekil 8: Ağ ve Proje Düzeyi Analizlerin Etkileşimi	14
Şekil 9: Yol Boyuna Düzgünsüzlüğü ve Kullanıcılara olan Etkisi	16
Şekil 10: KGM Bünyesinde Kullanılan Profilometre Ölçüm Cihazı.....	17
Şekil 11: KGM Bünyesinde Kullanılan Profilometre Ölçüm Cihazı ve Ölçüm Aletleri.....	18
Şekil 12: Profilometre Ölçüm Cihazı İç Donanımı ve Ölçüm Ekranı Örneği.....	19
Şekil 13: KGM Bünyesinde Gerçekleştirilen Ödeme Ölçüm Uygulaması Örneği	20
Şekil 14: Tekerlek İzinde Oturma Bozulmasına Sahip Yol Örneği	21
Şekil 15: Profilometre Cihazının Tekerlek İzinde Oturma Hesaplarında Kullandığı Üstyapı Düşey Profili.....	22
Şekil 16: KGM Bünyesinde Bulunan Kayma Direnci Ölçüm Cihazı	24
Şekil 17: Yol Yüzey Dokularının Tanımlanması.....	25
Şekil 18: KGM Bünyesinde Bulunan Gürültü Seviyesi Ölçüm Cihazı (OBSI).....	27
Şekil 19: Düşen Ağırlık Deflektometresi (FWD) Çalışma Prensipleri	29
Şekil 20: Düşen Ağırlık Deflektometresi (FWD) Hesap Parametreleri	29
Şekil 21: KGM Bünyesinde Gerçekleştirilen Düşen Ağırlık Deflektometresi (FWD) Testi	30
Şekil 22: KGM Bünyesinde Gerçekleşen Performans Gözlemi Örneği.....	31
Şekil 23: Mevcut Kaplamaların Gelecek Bozulma Modelleri ve Kalan Ömür Hesabı	34
Şekil 24: Tipik Lineer Elastik Analiz Kesiti ve Kritik Üstyapı Tepki Noktaları.....	35
Şekil 25: HDM-4 Düzgünsüzlük İlerleme Eğrisi Örneği.....	36

Şekil 26: HDM-4 Çatlak Başlangıç ve İlerleyişi Tipleri için Kalibrasyon	
Katsayılarının Etkileri	38
Şekil 27: Üstyapı Kaplama Koruma Programı Konsepti Örneği	39
Şekil 28: Üstyapı Bozulma/Maliyet İzafi Varsayım Modeli	44
Şekil 29: Üstyapı Bozulma Hızı ve Erken Müdahalenin Önemi	45
Şekil 30: Fayda/Maliyet Analizi Örnek Grafiği	46
Şekil 31: Kullanıcı Maliyeti ve Bakım-Onarım Maliyetinin Zaman İçerisinde	
Değişimi	47
Şekil 32: ÜYS Kapsamında Gerçekleştirilen Yol ve Ağ Düzeyi Analizlerin	
Akış Şeması.....	48
Şekil 33: ÜYS Geliştirme Çalışmalarında Kullanılan Performans Ölçüm	
Araçları	50
Şekil 34: Ağ Geneli Analiz Çalışmalarında Kullanılan 98 Yolun Harita	
Gösterimi	51
Şekil 35: Gecikme Maliyet Oranlarına Göre İlk 10 Sırada Bulunan Yol	
Kesimleri	52
Şekil 36: Ağ Düzeyi Analizinde İlk 10 Sırada Yer Alan Karayolu	
Kesimlerinin Son Durumu (2021 Yılı İtibariyle)	53
Şekil 37: Envanter Girişi Arayüzü- Şerit Bilgilerinin Görüntüsü ve Detayları	54
Şekil 38: Envanter Girişi- Şerit Bilgileri Düzenleme Ekranı	54
Şekil 39: Envanter Veri Girişi- Kesim Bilgileri ve Detayları	55
Şekil 40: Envanter Veri Girişi- Kesim Bilgileri Düzenleme Ekranı	55
Şekil 41: Envanter Veri Girişi- Tabaka Bilgileri (Kesimlerden Otomatik	
Oluşturulmuş Hali)	56
Şekil 42: Envanter Veri Girişi- Tabaka Bilgileri	56
Şekil 43: Envanter Veri Girişi- Bitümlü Tabaka (Aşınma) Bilgileri	
Düzenleme Ekranı	57
Şekil 44: Envanter Veri Girişi- Bitümlü Tabaka (B.Temel) Bilgileri	
Düzenleme Ekranı	57
Şekil 45: Envanter Veri Girişi- Tabaka Düzenleme Ekranı Tabaka Yoktur	
Seçeneği.....	58
Şekil 46: Envanter Veri Girişi- Tabaka Düzenleme Ekranı Çoklu Seçim.....	58
Şekil 47: Envanter Veri Girişi- Temel/Alttemel Tabaka Bilgileri Düzenleme	
Ekranı	59

Şekil 48: Envanter Veri Girişi- Taş Ocağı Bilgileri Düzenleme Ekranı	59
Şekil 49: Envanter Veri Girişi- Taş Ocağı Listesi	60
Şekil 50: ÜYS Web Yazılımı ve GTBYS Koordinasyonu	60
Şekil 51: Envanter Veri Girişi – Trafik Verileri Bilgi Ekranı	61
Şekil 52: Envanter Veri Girişi – İklim Verileri Bilgi Ekranı.....	61
Şekil 53: Envanter Veri Girişi – Bitüm Sınıfı Hesaplama Ekranı	62
Şekil 54: Performans Gözlemi- Gidiş İstikameti Örnek Puanlama	63
Şekil 55: Performans Gözlemi- Üstyapı Durum Ölçeği	63
Şekil 56: Ölçüm Girişi- Giriş Ekranı	64
Şekil 57: Ölçüm Girişi- Düzgünlük Ölçümü Dosya Yükleme Ekranı	64
Şekil 58: Ölçüm Girişi- Düzgünlük Dosya Yükleme Ekranı Sonuç	65
Şekil 59: Ölçüm Girişi- Sürtünme Ölçümü Dosya Yükleme Ekranı	65
Şekil 60: Ölçüm Girişi- Yapısal Performans Ölçümü Dosya Yükleme Ekranı	66
Şekil 61: Ölçüm Görüntüle- Görüntüleme Ekranı.....	66
Şekil 62: Trafik Verileri- Raporlama Sayfası	67
Şekil 63: Üstyapı İtinereri Oluşturma Ekranı	67
Şekil 64: Üstyapı İtinereri- Oluşturulan Örnek Çalışma	68
Şekil 65: Performans Analizi (PMS) – Üstyapı Puanı ve Düzgünlük (IRI) Değerleri Kullanılarak Gerçekleştirilen Homojenleştirme Örneği	68
Şekil 66: Performans Analizi (PMS) – KGM Modül Geri Hesaplama Uygulaması Ekran Görüntüsü	69
Şekil 67: Performans Analizi- Çalışma Oluşturma ve Düzenleme Ekranı.....	70
Şekil 68: Performans Analizi- Örnek Çalışma İçin Seçilen Yollar	70
Şekil 69: Performans Analizi- Analiz Sonuçlarını İnceleme Ekranına Geçiş	71
Şekil 70: Performans Analizi- Örnek Çalışmaya Ait Alt Bölümler.....	71
Şekil 71: Performans Analizi – Örnek Çalışma ÜP Modellemesi Sonuçları	72
Şekil 72: Veri Raporlama- Yol Envanter Veri Raporları	72
Şekil 73: Veri Raporlama- Yol Envanter Şerit Verisi Detayları- Şerit Girilen Yollar.....	73
Şekil 74: Veri Raporlama- Yol Envanter Şerit Verisi Detayları- Şerit Girilmeyen Yollar	73

Şekil 75: Veri Raporlama- Filtrelenmiş Düzgünsüzlük (IRI) Veri Girişi	
Detayları	73
Şekil 76: Veri Raporlama- Ülke Geneli Veri Raporları Pasta Grafik Örneği	74
Şekil 77: Coğrafi Bilgi Sistemleri- Bölge Geneli Envanter Kesim Örnek	
Gösterimi	74
Şekil 78: Coğrafi Bilgi Sistemleri- Genel Envanter Ülke Geneli Veri Girişi	
Örnek Gösterimi.....	75
Şekil 79: Coğrafi Bilgi Sistemleri- İklim Sıcaklık Verileri ve Aşınma	
Tabakaları için PG Bitüm Sınıfı Seçme Haritası Örneği.....	75
Şekil 80: Coğrafi Bilgi Sistemleri- Düzgünsüzlük Ölçümleri Yapılan Yolların	
KKNO Bazlı IRI Ortalama Değerlerinin Gösterimi.....	76
Şekil 81: Coğrafi Bilgi Sistemleri- Düzgünsüzlük Ölçüm Sonuçlarının 20	
veya 50 Metre Gruplanmış Şekilde Gösterimi.....	76
Şekil 82: Coğrafi Bilgi Sistemleri- Düzgünsüzlük Ölçümleri (RSP) ve Düşen	
Ağırlık Deflektometresi (FWD) Ölçümleri Bulunan KKNO'ların	
Gösterimi	77
Şekil 83: ÜYS Web Yazılımı Mobil Uygulaması	77
Şekil 84: Yapay Zekâ ve Makine Öğrenimi Gibi Gelişmiş Veri Analitiği	
Yöntemlerinin ÜYS Sistemine Aktarılması	79
Şekil 85: Sürdürülebilirlik Odaklı ÜYS Yaklaşımı	80

Tablo 1: Karayolları Genel Müdürlüğü ÜYS Performans Ölçümlerinde Uygulanan IRI Sınıflandırması ve Limitleri	19
Tablo 2: Karayolları Genel Müdürlüğü BSK Kaplamalar için Ödeme Ölçüm Limitleri	20
Tablo 3: Karayolları Genel Müdürlüğü Beton Kaplamalar için Ödeme Ölçüm Limitleri	21
Tablo 4: Karayolları Genel Müdürlüğü Tekerlek İzinde Oturma Limitleri.....	23
Tablo 5: Karayolları Genel Müdürlüğü ÜYS Performans Ölçümlerinde Kullanılan Sürtünme Direnci Kriterleri	25
Tablo 6: Örnek Gürültü Seviyesi Değerleri	27
Tablo 7: Üstyapı Puanlama Tablosu Örneği	32
Tablo 8: Üstyapı Durum Ölçeği.....	33
Tablo 9: HDM-4 İçerisinde Tanımlı Sıcaklık Sınıfları	37
Tablo 10: HDM-4 İçerisinde Tanımlı Nemlilik Sınıfları	37
Tablo 11: HDM-4 Uygulamasında Kullanılan Kaplama Koruma Programı Stratejileri.....	41

1. ÜSTYAPI YÖNETİM SİSTEMİ (ÜYS) TANIMI VE BİLEŞENLERİ

1.1 Üstyapı Yönetim Sistemi (ÜYS) Tanımı

Üstyapı Yönetim Sistemi (ÜYS), karayolu üstyapılarının mümkün olan en uzun süre dayanıklı, güvenli ve ekonomik şekilde hizmet verebilir durumda kalmalarını sağlamak amacıyla envanter verilerinin toplanması, performanslarının izlenmesi ve çeşitli analizler yapılarak optimum stratejilerin belirlenmesinde karayolu idarelerini yönlendiren araçların ve metotların bütünüdür.

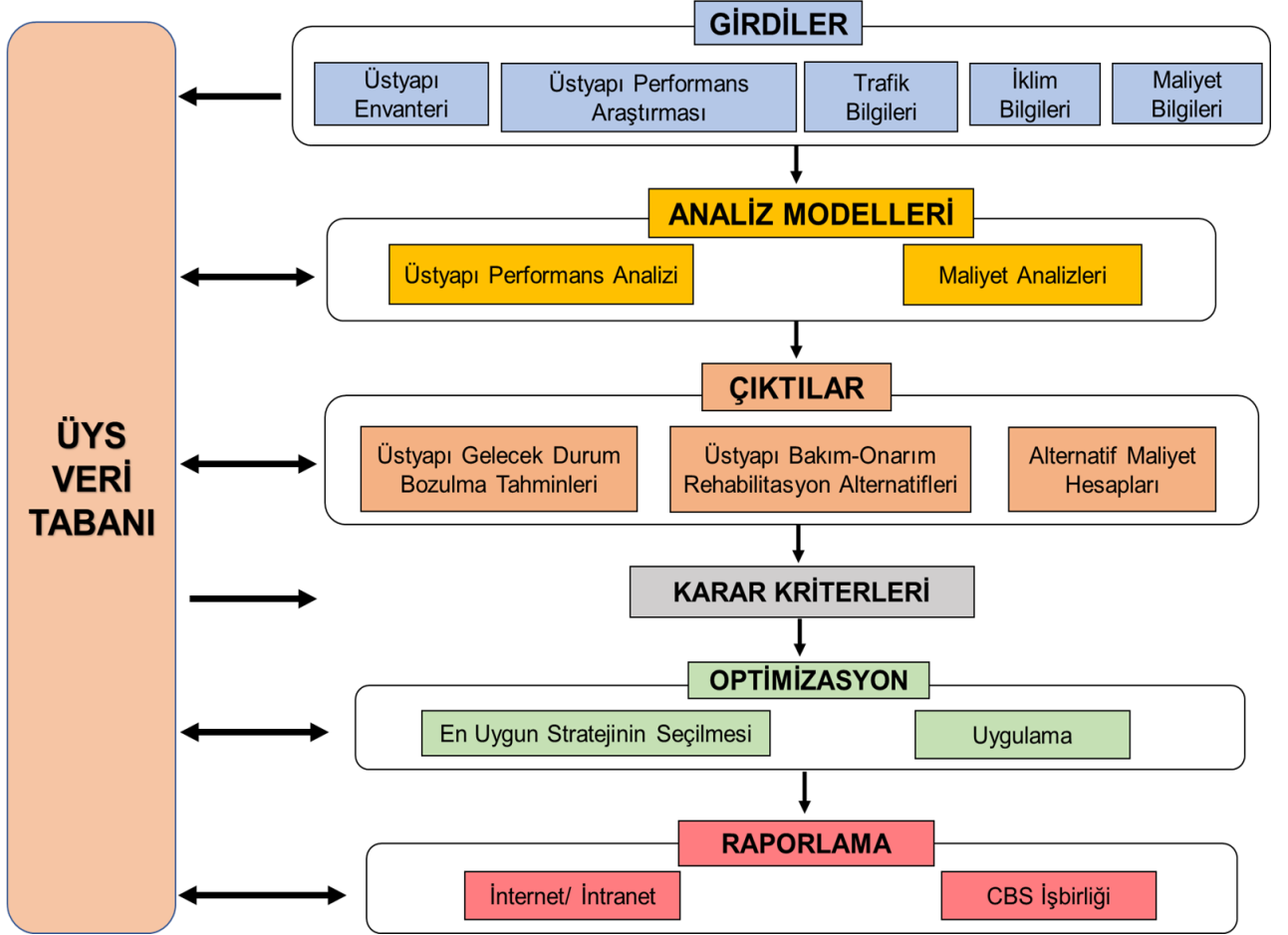
Bir ÜYS, en yaygın biçimiyle, karayolu ağı içerisinde yer alan kaplamaların, planlama, programlama, proje, inşaat, takviye veya yenileme, bakım, onarım ve iyileştirmelerini kapsayan tüm faaliyetleri içerir. Yol üstyapılarının faaliyetlerini ve ihtiyaçlarını önceliklendirmeye ve tanımlamaya yardımcı olmak amacıyla güvenilir üstyapı envanter bilgileri ile yapısal ve fonksiyonel performans durum verilerini kullanır.

Dünya genelinde Üstyapı Yönetim Sistemleri bilgisayar yazılımına dayalı veya yazılımsız olarak yürütülmektedir. Toplanan performans ölçüm verilerinin çok fazla olması ve yapılan analizlerin karmaşık hesaplar içermesi nedeniyle üstyapı yönetim sistemi için yazılım desteği oldukça önemlidir. Zira bilgisayar destekli ÜYS yazılımı gelecekteki üstyapı durumları ve yol ağının uzun dönemdeki koşulları için bugünden tayin edilen kararların etkisini önceden ve hızlı bir şekilde değerlendirebilen bir yöntem sağlar. Böylece karayolu İdareleri, kamu kaynaklarını daha efektif kullanmakla sonuçlanan daha etkin ve optimum maliyetli bakım ve onarım kararlarını bu yöntemle gelen bilgiler ışığında alabilmektedir.

Sonuç olarak ÜYS, karayolu ağındaki yol kaplamalarında; nispeten daha iyi durumda iken yapılacak düşük maliyetli koruyucu ve düzeltici bakım–onarım işlemi ile ileri seviyede bozulma durumunda yapılacak çok daha maliyetli takviye ya da yenileme faaliyetlerini fayda/maliyet ve performans açısından karşılaştırmalı değerlendirerek en uygun rehabilitasyon yöntemlerini ve stratejilerini belirleyebilen sağlam bir veri tabanı ile tahmin ve analiz modellerine dayalı bir sistem yapısıdır. Doğru veriler ve etkin modellerle işleyen ÜYS, iyi durumdaki yolların mümkün olduğu kadar uzun süre daha iyi durumda kalmasını sağlarken, aynı zamanda onarımı oldukça maliyetli olan kötü durumdaki yol sayısının da azaltılmasını sağlamaktadır.

1.2 Üstyapı Yönetim Sistemi Bileşenleri

Üstyapı Yönetim Sistemi'nin tipik bileşenleri Şekil 1'de gösterilmekte olup, her bir üstyapı yönetim sistemi bileşeninin tanımlaması takip eden bölümde yapılacaktır.



Şekil 1: Üstyapı Yönetim Sistemi Bileşenleri

1.2.1. Üstyapı Yönetim Sistemi Veri Tabanı

Üstyapı Yönetim Sistemlerinin temelini sahip olduğu veri tabanı oluşturur. Doğru ve güncel bilgilerle donatılmış, kendini yenileyebilen bir veri tabanına sahip olmayan bir ÜYS'nin sağlıklı çalışması mümkün değildir. Sürekli gelişen bilgisayar ve yazılım teknolojisiyle birlikte depolanabilen ve kolayca erişilebilen veri miktarında gelişmeler yaşanırken, veri tabanlarında saklanması gereken veri ihtiyaçları ve verilerin önemi de artmaya devam etmektedir.

Üstyapı veri tabanı, üstyapının envanter, yapısal/fonksiyonel durum verileri, trafik hacmi ve türü, bakım ve rehabilitasyon geçmişi, iklim ve maliyet verileri dahil olmak

üzere üstyapı ağıyla ilgili tüm verileri muhafaza eden merkezi bir depodur. ÜYS içerisinde veri tabanı, analizlerin gerçekleştirilmesi ve farklı bakım-onarım stratejilerinin değerlendirilmesinde kullanıldığı gibi, analiz sonuçları ile diğer uygulama çıktıları da ÜYS veri tabanında kaydedilmektedir. Bu bağlamda her bir ÜYS temel bileşeni, ÜYS veri tabanı ile doğrudan bağlantılıdır (Şekil 1). Üstyapı Yönetim Sistemi altındaki veri tabanı fonksiyonu merkezileştirilerek, ilgili birimlerin istenilen verilere anında ulaşımı ve oluşabilecek zaman kayıplarının azaltılması sağlanabilir.

1.2.2. Üstyapı Yönetim Sistemi Girdileri

Üstyapı Yönetim Sistemleri, üstyapıların durumunu ve performansını etkili bir şekilde yönetmek için tipik olarak farklı kategori ve alanlara ait girdi verisine ihtiyaç duyar. ÜYS'ler, bu çeşitli girdileri analiz ederek, kurumlarının üstyapı performansını en üst düzeye çıkarmak ve uzun vadede maliyetleri en aza indirmek için üstyapı bakımı, onarımı ve iyileştirilmesi hakkında bilinçli kararlar almasına yardımcı olurlar. ÜYS için temel girdilerden bazılarının: a) üstyapı envanteri ve yapım geçmişi b) üstyapı mevcut yapısal ve fonksiyonel durumları c) trafik bilgileri d) iklim bilgileri ve e) maliyet bilgileri olduğu söylenebilir.

1.2.2.A Üstyapı Envanteri

Üstyapı envanter verileri, yönetilen üstyapı kaplamaları hakkında temel bilgiler sağladığından üstyapı yönetim sistemleri (ÜYS) için oldukça kritik bir girdidir. İhtiyaç duyulan veri bileşenleri üstyapı türüne göre çeşitlilik göstermekle birlikte, genelde envanterler aşağıdaki tipte bilgiler içerir:

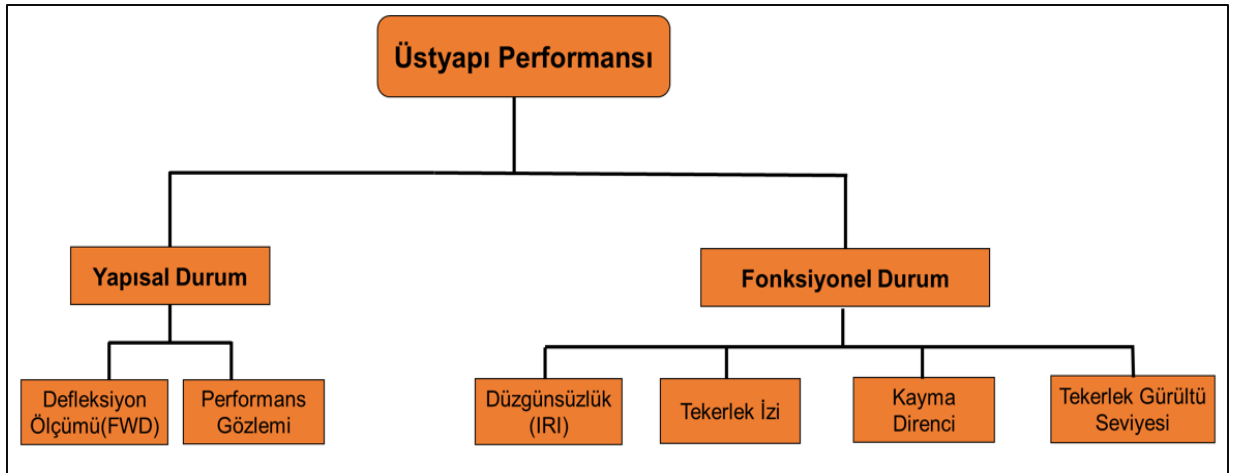
- Her bir üstyapı kesiminin başlangıç ve bitiş noktasını içeren lokasyon bilgisi,
- Yolun proje sınıfı (bölünmüş yol, tek yol vb.),
- Yolun geometrik özellikleri (yolun uzunluğu, kaplama genişliği, şerit sayısı, şerit ve banket genişliği vb.),
- Yolun ilk yapım (trafiğe açılma) tarihi, en son iyileştirme tarihi ve bakım geçmişi gibi üstyapı geçmişine ait bilgiler,
- Yolun yüzeyi, kaplama türü, kaplama tabakalarında kullanılan bitüm ve agrega özellikleri, bitümlü ve granüler tabaka kalınlıkları ve durumları gibi üstyapı özellikleri.

Herhangi bir ÜYS kararının verilmesinde envanter bilgisi her aşamada oldukça önemlidir. Şöyle ki yol sınıfı ya da yüzey durum bilgisi ilk aşamada hesaba katılabilirken, zaman içerisinde karar verme sürecinde daha az kritik olan, fakat belirli bir bozulma tipi ya da tek bir yol kesimi için geçerli olan ilave bilgiler envantere eklenebilir veya üstyapının imalat geçmişine ait kayıtları ikinci aşamada envantere eklenebilir.

Sonuç olarak, üstyapı envanter verileri iyi işleyen bir üstyapı yönetim sisteminin kilit bir bileşenidir ve ülkemizin karayolu üstyapısının uzun vadeli işlerliğini ve sürdürülebilirliğini sağlamak için gereklidir.

1.2.2.B Üstyapı Yapısal ve Fonksiyonel Durum Bilgileri

Üstyapı yönetim sistemi, şimdiki ve gelecekteki bakım ve onarım stratejilerini belirleyebilmek için üstyapı yapısal ve fonksiyonel performans ölçüm bilgilerini kullanır. Üstyapı yapısal durum verileri, yolların fiziksel bütünlüğü ve taşıma kapasitesiyle ilgili değerleri içerirken, fiziksel durum verileri genellikle sürücülerin sürüş konforunu ve güvenliğini etkileyen değerleri dikkate alır. Bu bağlamda kaplamanın mevcut durumuna ilişkin toplanan; bozulma türleri ve şiddeti, düzgünsüzlük, kayma direnci, gürültü düzeyi ve yapısal dayanım bilgileri analizlerde girdi olarak kullanılır. Bu veriler görsel denetimler veya yapısal/fonksiyonel kaplama test ekipmanları ile toplanabilir. Temel üstyapı yapısal ve fonksiyonel durum tespit yöntemleri Şekil 2’de gösterildiği gibidir.



Şekil 2: Üstyapı Yapısal ve Fonksiyonel Durum Tespit Yöntemleri

Analiz sonuçlarında ÜYS tarafından verilen bütün bakım-onarım veya takviye önerileri üstyapının toplanan bu performans ölçüm verilerine bağlıdır. Dolayısıyla

performansına bağılı olarak üstyapının gelecekteki durumunu tahmin etmek ve en uygun bakım onarım stratejisini belirlemek, yol ağındaki üstyapının güncel durumunun belirli aralıklarla ölçülerek sisteme dinamik ve sürekli olarak yüklenmesiyle sağlanır.

Kaplama yapısal/fonksiyonel test ekipmanları ve yöntemleri ile ilgili ayrıntılı bilgiler “Bölüm 3: Üstyapı Yönetim Sistemi Kapsamında Kaplamaların Mevcut Durumunun Değerlendirilmesi” başlığı altında anlatılacaktır.

1.2.2.C Trafik Bilgileri

Trafik girdisi, üstyapının zaman içindeki performansı üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu için Üstyapı Yönetim Sistemlerinin kritik bir bileşenidir. Trafik hacmi ve bileşimi kaplamanın yapısal ve işlevsel kapasitesini etkiler ve sonuç olarak uzun ömürlülüğünü sağlamak için gereken uygun bakım ve rehabilitasyon stratejilerinin belirlenmesi için gereklidir.

Üstyapı tasarım projeleri oluşturulurken yolların analiz süresi boyunca maruz kalacağı trafik yükleri, karayolu üzerinden geçen çeşitli dingil yüklerinin 8,2 tonluk eşdeğer standart dingil tekerrür sayısına (T8,2) çevrilerek toplanmasıyla hesaplanır. Bu bilgiler her yıl karayolları trafik sayım noktalarından güncel şekilde temin edilip ÜYS içerisinde güncellenmelidir.



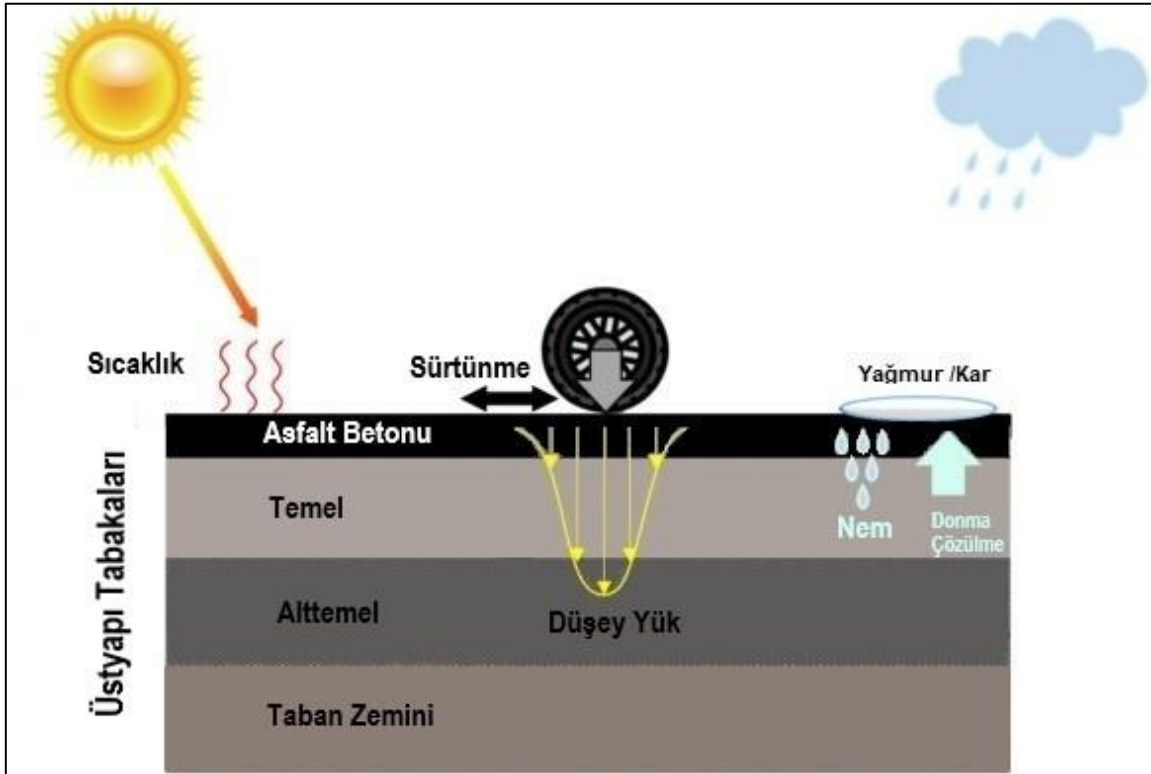
Şekil 3: Üstyapı Trafik Dağılımı ve Standart Dingil

Bir diğerk trafik girdisi olan trafik artış katsayısı, ÜYS kapsamında her bir yol özelinde hesaplanabileceğı gibi, ÷lke geneli için tek bir veri olarak da girilebilir. Bunlara ek olarak, bazı mekanistik performans analizi yapabilen modeller ağır yükl÷ araçlar (kamyon-tır vb. gibi) ile daha hafif yükl÷ araçların yolların bozulmasına olan etkisini farklı olarak hesaplayabilmektedir. Bu açıdan ÜYS içerisinde yollardaki hafif ve ağır yükl÷ araç yüzdeleri de girdi olarak kullanılabilir.

Doğru trafik verileri, üstyapı tasarımı, bakımı ve rehabilitasyonu da dahil olmak üzere etkili üstyapı yönetimi stratejilerinin geliştirilmesinde esastır. Güvenilir trafik verileri, ÜYS kullanıcılarının gelecekteki üstyapı performansını ve bozulmalarını doğru bir şekilde tahmin etmesine ve uzun vadeli bakım ve rehabilitasyon planları geliştirmesine yardımcı olur.

1.2.2.D İklim Bilgileri

Ülkemiz geniş bir coğrafya üzerinde bölgesel olarak farklı iklim koşullarına sahiptir. Bununla birlikte yüksek/düşük sıcaklık, yağış ve nem gibi hava koşullarının üstyapıda hasara yol açtığı ve farklı tipteki bozulmaları tetikleyerek hizmet ömrünün kısalmasına neden olduğu bilinmektedir.



Şekil 4: Üstyapı İklim Etkileri

Bu açıdan, farklı tipteki hava koşullarının ülkemiz üstyapıları üzerindeki etkisinin anlaşılması, ÜYS planlamalarında üstyapı hizmet ömrünü uzatmak için etkili bakım ve rehabilitasyon stratejileri geliştirilmesine yardımcı olacaktır. Bu nedenlerle, ÜYS veri tabanında toplanacak iklim bilgileri ulaşım üstyapılarımızın sürdürülebilirliğinin sağlanmasında etkili üstyapı yönetimi stratejileri geliştirmek için önemli bir bileşendir.

1.2.2.D Maliyet Bilgileri

Maliyet verileri, etkili bir üstyapı yönetim sisteminin temel bir bileşenidir ve ülkemizin karayolu üstyapısının verimli ve sürdürülebilir yönetimini sağlamak için kritik öneme sahiptir. Bu veriler tipik olarak işçilik, malzeme ve ekipman gibi etmenlerin etkilediği üstyapıların ilk yapım, bakım-onarım veya iyileştirme birim maliyetleri hakkında bilgi verir ve daha sonra gerçekleştirilecek maliyet analizlerinde kullanılır.

ÜYS, maliyet verilerini üstyapı durum verileri ve trafik verileri gibi diğer girdilerle birlikte kullanarak kurumların uzun vadede üstyapı performansını en üst düzeye çıkaran ve maliyetleri en aza indiren veri odaklı kararlar almasına yardımcı olmaktadır.

1.2.3 Üstyapı Yönetim Sistemi Analiz Modelleri

Üstyapı Yönetim Sistemlerinde analiz modelleri, üstyapı ağının mevcut ve gelecekteki durumunu değerlendirmek için sistematik bir yaklaşım sağlamaktadır ve temel bir bileşen görevindedirler. Bu modeller, ÜYS mühendislerinin kaplamanın performansını ve hizmet ömrünü korumak için gereken bakım ve rehabilitasyon faaliyetlerinin zamanlaması ve kapsamı hakkında bilinçli kararlar almasına yardımcı olur.

ÜYS'de kullanılan en yaygın analiz modelleri, gözlemlenen veya ölçülen bozulmalara dayalı olarak üstyapının gelecekteki durumunu tahmin eden bozulma modellerini; mevcut ve tahmin edilen gelecekteki duruma dayalı olarak üstyapının işlevsel ve yapısal kapasitesini tahmin eden performans modellerini ve farklı bakım-onarım-rehabilitasyon stratejilerinin maliyetleri ile faydalarını değerlendiren ekonomik maliyet modellerini içerir. Bu modeller, üstyapı durumunun kapsamlı bir şekilde anlaşılmasını sağlayarak, İdare'nin kaynakları en çok ihtiyaç duyulan alanlara önceliklendirmesine ve tahsis etmesine olanak tanır. Bu bağlamda analiz modelleri, üstyapı yönetimi faaliyetlerinin verimliliğini ve etkinliğini en üst düzeye çıkarırlar.

ÜYS kapsamında kullanılan bozulma, performans tahmin modelleri Bölüm 4'te, ekonomik maliyet analiz (üstyapı yaşam döngü maliyet analizi) modelleri ise Bölüm 6'da detaylıca anlatılacaktır.

1.2.4. Üstyapı Yönetim Sistemi Çıktıları

Üstyapı yönetim sistemleri tipik olarak üstyapı yönetimi kararlarını bilgilendirmek ve yönlendirmek için kullanılabilecek bir dizi çıktı üretir. ÜYS'nin temel çıktılarından bazıları şunlardır:

- **Üstyapı durum raporları:** ÜYS, kaplama bozulma türleri ve şiddeti, düzgünlük ölçümleri ve sürüş kalitesi değerlendirmeleri dahil olmak üzere üstyapı ağının durumunu özetleyen raporlar oluşturur. Bu bilgiler, kaplamanın durumuna göre bakım ve onarım faaliyetlerini önceliklendirme için kullanılabilir.
- **Performans modellemesi ve analizi:** ÜYS, gelecekteki üstyapı koşullarını ve farklı bakım ve onarım stratejilerinin etkinliğini tahmin etmek için modelleme ve analiz araçlarını kullanır. Bu bilgiler uzun vadeli üstyapı yönetim planları ve bütçeleri geliştirmek için kullanılabilir.
- **Bakım ve onarım önerileri:** ÜYS, üstyapı durum verilerine ve performans modellemesine dayanarak çatlak kapatma, yama veya yeniden yüzey kaplama gibi belirli bakım ve onarım faaliyetleri için öneriler oluşturur. Bu öneriler, bakım ekipleri için iş emirleri ve programları geliştirmek için kullanılabilir.
- **Üstyapı analiz raporları:** ÜYS, yapılan analizler sonucunda bozulmuş üstyapıya yapılacak rehabilitasyon işlemlerinin öncelik durumunu ortaya çıkarıp, bu sayede yol ağında acil müdahaleye ihtiyaç duyan kesimler belirlemek için kullanılabilir.
- **Bütçe ve kaynak tahsisi:** ÜYS çıktıları, bakım ve onarım önerilerine ve üstyapı ağının genel durumuna dayalı olarak bütçeler geliştirmek ve kaynakları tahsis etmek için kullanılabilir. Yapılan ekonomik analizler sonunda elde edilen alternatif maliyet hesapları, mevcut kaynakların kullanımını optimize etmek ve üstyapı ağının uygun maliyetli bir şekilde yönetilmesini sağlamak için kullanılabilir.
- **Üstyapı envanteri ve yönetim raporları:** ÜYS, üstyapı yaşı, tipi ve durumu ile ilgili üstyapı envanter verilerini özetleyen raporlar oluşturur. Bu bilgiler, zaman

içinde üstyapı ağının durumunu ve performansını izlemek ve uzun vadeli varlık yönetimi stratejilerinin belirlenmesi için kullanılabilir.

Genel olarak, ÜYS'nin çıktıları İdare'ye üstyapı ağını etkin bir şekilde yönetmek ve bakımını yapmak için kullanılabilecek çok sayıda bilgi ve öngörüler sağlar. Kurumlar bu verilerden yararlanarak uzun vadede üstyapı performansını en üst düzeye çıkaran ve maliyetleri en aza indiren bilinçli kararlar alabilirler.

1.2.5. Üstyapı Yönetim Sistemi Karar Kriterleri

Üstyapı yönetim sistemleri, üstyapı bakım ve rehabilitasyon faaliyetlerini değerlendirmek ve önceliklendirmek için çeşitli karar kriterleri kullanır. ÜYS'de kullanılan en yaygın karar kriterlerinden bazıları şunlardır:

Üstyapı durumu: Üstyapı durumu, ÜYS'de önemli bir karar kriteridir ve tipik olarak üstyapı bozukluklarının türlerine ve şiddetlerine, düzgünsüzlük ölçümlerine ve sürüş kalitesi değerlendirmelerine dayanır. Üstyapı durumu, bozulma seviyesine ve müdahale edilmediği takdirde daha fazla bozulma potansiyeline bağlı olarak bakım ve rehabilitasyon faaliyetlerine öncelik vermek için kullanılır.

Maliyet etkinliği: Maliyet etkinliği, farklı bakım ve rehabilitasyon stratejilerinin göreceli maliyet ve faydalarını göz önünde bulundurduğundan, ÜYS'de önemli bir karar kriteridir. Kurumlar, çeşitli seçeneklerin maliyet ve faydalarını değerlendirerek, mevcut kaynakların kullanımını optimize eden ve uzun vadede maliyetleri en aza indiren bilinçli kararlara imza atabilirler.

Yaşam döngüsü maliyeti: Yaşam döngüsü maliyet analizi, ÜYS'de beklenen hizmet ömrü boyunca bir üstyapı varlığına sahip olmanın ve bakımını yapmanın toplam maliyetini değerlendirmek için kullanılan bir karar kriteridir. Kurumlar, çeşitli bakım ve rehabilitasyon stratejilerinin uzun vadeli maliyetlerini göz önünde bulundurarak, üstyapı yatırımlarının değerini en üst düzeye çıkaran kararlar alabilirler.

Stratejik hedefler: Güvenlik, hareketlilik ve sürdürülebilirlik gibi stratejik hedefler, bakım ve rehabilitasyon stratejilerinin seçimini etkileyebileceğinden ÜYS'de önemli karar kriterleridir. Örneğin, zaman içerisinde belirli kesimlerde veya tüm yol ağında sürüş güvenliği artıran veya karayolu ulaşımı kaynaklı çevresel etkileri azaltan stratejiler, üstyapı mevcut durumu veya gelecek performans durumunu ele alan stratejilere göre öncelikli olacak şekilde kararlar alınabilir.

Genel olarak, ÜYS'de kullanılan karar kriterleri, İdarelerin kaynakları önceliklendiren, bütçeleri optimize eden ve uzun vadede üstyapı performansını en üst düzeye çıkaran bilinçli kararlar almalarına yardımcı olmak için tasarlanmıştır. ÜYS, bir dizi karar kriterinden yararlanarak, kurumların birbiriyle rekabet eden, öncelikleri dengeleyen ve uzun vadeli değer sağlayan kapsamlı üstyapı yönetim planları geliştirmelerine yardımcı olmaktadır.

1.2.6. Üstyapı Yönetim Sistemi Optimizasyonu

ÜYS'nin bir diğer önemli bileşeni olan optimizasyon, tipik olarak farklı senaryoları analiz etmek, değerlendirmek ve en uygun maliyetli bakım ve rehabilitasyon stratejilerini seçmek için matematiksel modellerin ve algoritmaların kullanılmasını içerir. ÜYS içerisinde optimizasyon, sınırlı kamu kaynaklarını mümkün olan en etkili ve verimli şekilde tahsis edilmesine olanak tanır.

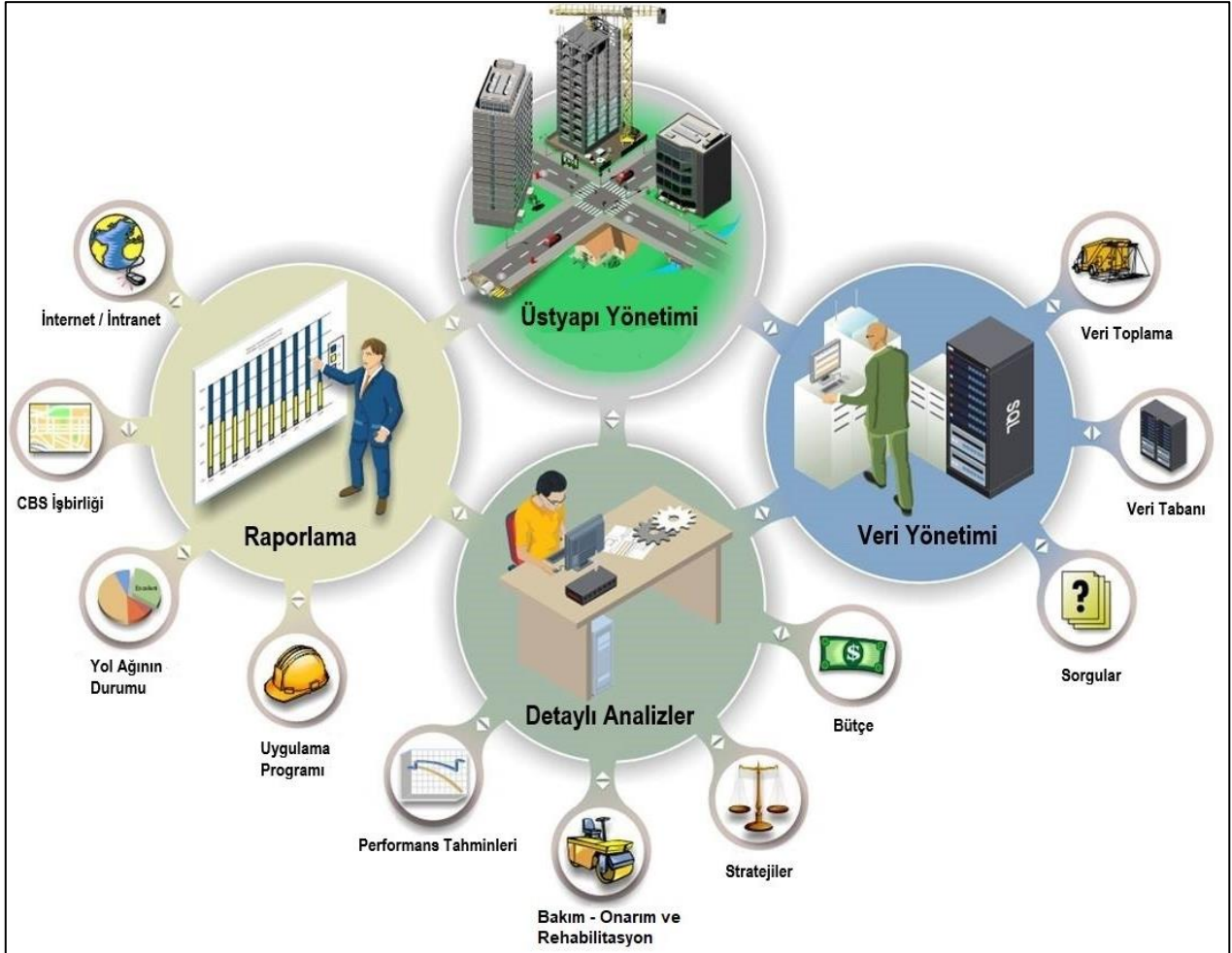
ÜYS içinde optimizasyon, sürekli veri toplama ve analiz gerektiren devam eden bir süreçtir. Yetkili İdare, farklı optimizasyon tekniklerinden yararlanarak üstyapı performansını en üst düzeye çıkarabilir, maliyetleri en aza indirebilir ve üstyapı ağının uzun vadeli sürdürülebilirliğini sağlayabilir.

1.2.7. Üstyapı Yönetim Sistemi Raporlama Araçları

Üstyapı Yönetim Sistemi içerisindeki her bir bileşenin raporlanabilmesi kullanıcı karayolu idarelerine birçok bilgiyi kolaylıkla sunmayı sağlar. Veri tabanından elde edilen bilgiler, metin, tablo ve grafikler olarak çok sayıda farklı formatlarda rapor edilebilir. Bu raporlama araçları, karayolu yöneticilerinin bilinçli kararlar almasına ve kaynakları etkin bir şekilde kullanmasına yardımcı olur.

Üstyapı Yönetim Sistemi veri tabanlarında toplanan bilgiler raporlanarak coğrafi bilgi sistemleri (GIS) veya bilgiyi görsel olarak gösteren diğer harita paketleri vb. ile birleştirilebilir ve daha kompleks yeni sistemlerin oluşturulmasında kullanılabilirler. Raporlama kurumlar içerisinde intranet ağlarıyla yapılabilirken diğer paydaşlara da internet ortamında sunulabilir.

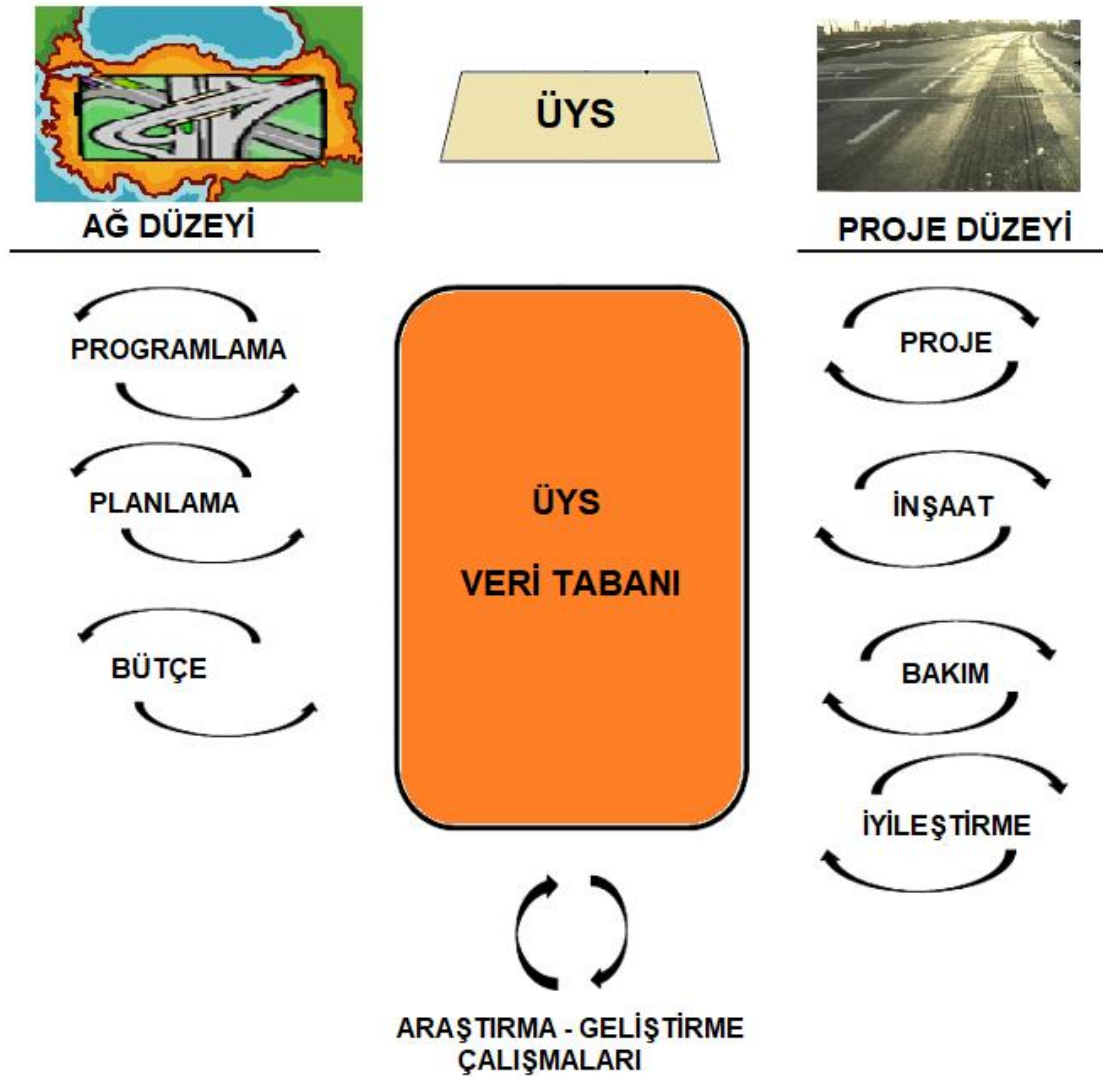
Özetle bu bölümde detaylıca anlatılan ÜYS bileşenleri, sağlıklı ve efektif bir üstyapı yönetiminde sürekli ve etkin bir şekilde kullanılmaktadır ve birbirleriyle sürekli etkileşim içerisinde (Şekil 5).



Şekil 5: Üstyapı Yönetim Sistemi Döngüsü

2. ÜSTYAPI YÖNETİM SİSTEMİ ANALİZ SEVİYELERİ

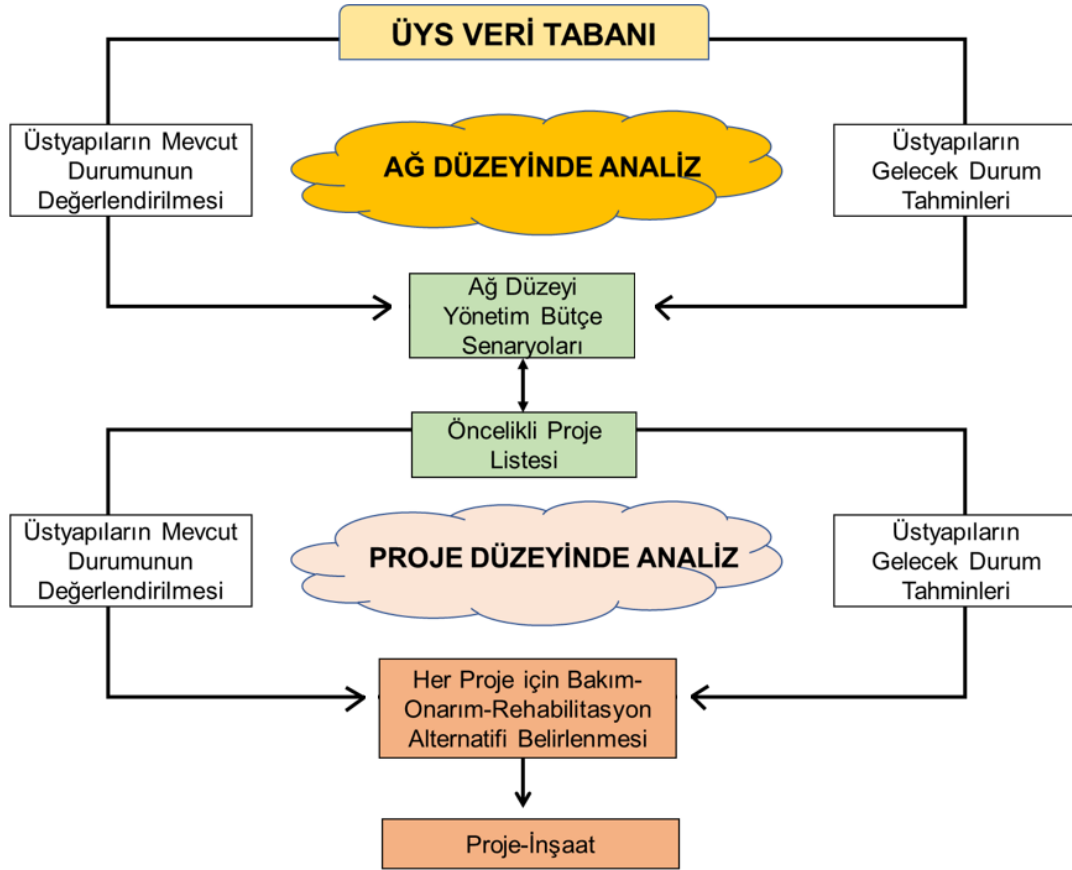
Üstyapı Yönetim Sistemi içerisinde analizler temel olarak sistem girdilerinden yararlanarak üstyapıların bozulma modellerini oluşturmakta ve geleceğe dönük bozulma tahminleri yapılabilmesini sağlamaktadır. Bu sayede ihtiyaç duyulacak bakım, onarım, takviye ve yenileme faaliyetlerine yönelik bir projeksiyon oluşturularak bu faaliyetler için gereken bütçeler önceden planlanabilmektedir. Üstyapı Yönetim Sistemleri temel olarak iki farklı düzeyde analiz gerçekleştirir. Bunlar Ağ Düzeyinde ve Proje Düzeyinde analizlerdir (Şekil 6).



Şekil 6: Üstyapı Yönetim Sistemi Analiz Düzeyleri

2.1 Ağ Düzeyinde Analiz

Ağ düzeyinde analiz, üstyapı ağının tümü veya bir kısmının kapsamlı bir değerlendirmesidir. Ağ içerisindeki tüm üstyapı bölümlerinin durumu hakkında veri toplanmasını, bozulmaların belirlenmesini ve ağın yapısal ve işlevsel kapasitesinin değerlendirilmesini içerir. Bu analiz seviyesi, ağın durumu hakkında zamanında ve uygun maliyetli bir şekilde veri toplamak için tipik olarak tahribatsız test yöntemleri kullanır. Bu seviyede elde edilen veriler, ÜYS idarecilerinin ağ genelindeki bakım ve rehabilitasyon faaliyetlerini bozulmaların şiddetine, yoğunluğuna ve/veya ağın genel servis durumuna göre önceliklendirmesini sağlar. Böylelikle ÜYS içerisinde mevcut bütçenin en ekonomik kullanımına uygun kararlar alınabilir.



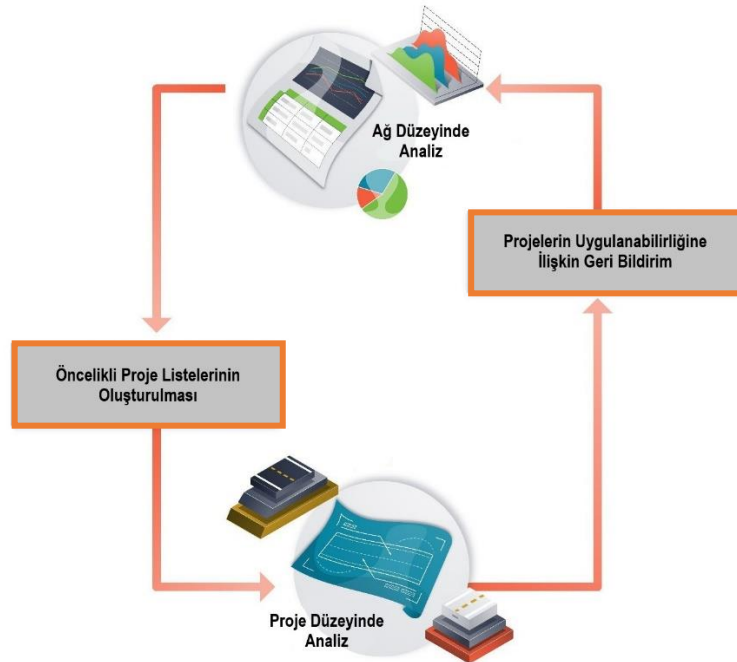
Şekil 7: Üstyapı Yönetim Sistemi İçerisinde Ağ ve Proje Düzeyi İlişkisi

Üstyapıların ihtiyaçları genellikle yıllara sâri bir dönem için düşünülür ve ÜYS' de farklı bakım-onarım ve rehabilitasyon stratejileri birlikte dikkate alınır. Üstyapı Yönetim

Sistemi bu dönem içerisinde ađ genelinde ihtiyaç olan bakım-onarım veya rehabilitasyon çalışmalarını ve bu çalışmaların yapılabileceği muhtemel kesimleri, uygulama zamanı ile birlikte içeren genel analiz raporlarını oluşturur. Nihai iř planlarının geliştirilmesi, maliyeti dūřürmek için genellikle aynı öncelikteki projeleri birden fazla yıla yaymayı ya da benzer projeleri birleştirmeyi içeren tekrarlı bir analiz süreci sonunda oluşturulabilir. Nihai proje çalışmalarının ve iyileştirme tasarımlarının oluşturulabilmesi için proje seviyesinde analiz kapsamında daha detaylı irdeleme yapılması gereklidir (şekil 7).

2.2 Proje Düzeyinde Analiz

Proje düzeyinde analiz, belirli bir üstyapı kesiminin veya projesinin gerek duyacağı bakım-onarım-rehabilitasyon alternatiflerinin ayrıntılı bir değerlendirmesidir. Daha önceden ağ düzeyinde analiz gerçekleştirildiyse, o analiz sonucu belirlenen öncelikli projeler de şekil 8’de gösterildiği gibi proje aşamasında değerlendirilebilir. Proje seviyesindeki analizlerde, üstyapıdaki mevcut bozulmaların derecesini tayin etmek ve üstyapı bozulmalarını düzeltecek en uygun iyileştirme yöntemini belirlemek amacıyla detaylı üstyapı değerlendirmeleri yapılır. Bu analiz seviyesinde, kaplamanın bileşimini ve özelliklerini doğru bir şekilde belirlemek için karot alma gibi tahribatlı test yöntemleri de kullanılabilir.



şekil 8: Ağ ve Proje Düzeyi Analizlerin Etkileşimi

ÜYS bu aşamada genellikle üstyapı kesimlerinin bozulma şiddetini ve yoğunluğunu, bakım ve imalat geçmişi ile uygun onarım stratejisinin seçimini etkileyebilecek diğer faktörlere ait verileri birlikte değerlendirip, analiz ederek verilecek kararları belirleyebilmektedir. Bununla birlikte, proje düzeyinde yapılan analizler sonucunda projelerin uygulanabilirliği hakkında ağ düzeyinde geri bildirimler de gerçekleştirilebilmektedir. Bu bağlamda ağ düzeyinde analizler ile proje düzeyinde analizler arası etkileşimler mevcuttur (Şekil 8).

Kapsamlı bir ÜYS, proje ve ağ düzeyinde analizler için;

- Bakım-onarım ve rehabilitasyon uygulamalarının seçimini etkileyen bozulma türlerini içeren üstyapı durum bilgisini,
- Üstyapının farklı iyileştirme durumları (yüzey iyileştirmesi, bakım-onarım ve rehabilitasyon) ile bu iyileştirmelerin yapılıp/yapılmadığı durumdaki performanslarını belirleyebilen üstyapı performans modellerini,
- Farklı tipteki bakım-onarım ve rehabilitasyon faaliyetlerinin hangi durumlarda uygulanabilir olduğuna karar verebilmek için kullanılacak usul ve esasları,
- Her bir yüzey iyileştirmesi, bakım-onarım ve rehabilitasyon faaliyeti için mevcut yapım maliyet girdilerini ve bu faaliyetlerin beraberinde getirecekleri kullanıcı maliyetlerin hesaplarını,
- İyileştirme uygulamalarının üstyapı durum ve performansına olan etkilerini belirleyen diğer uygulamaları kullanmaktadır.

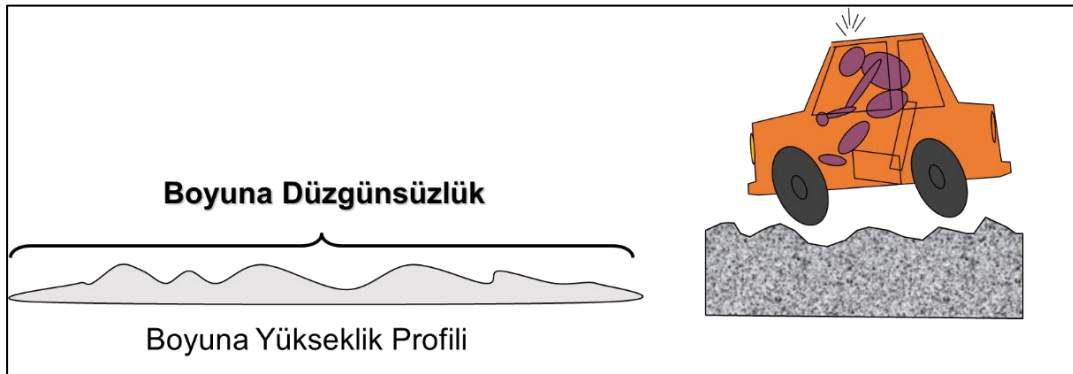
3. ÜSTYAPI YÖNETİM SİSTEMİ KAPSAMINDA KAPLAMALARIN MEVCUT DURUMUNUN DEĞERLENDİRİLMESİ

Üstyapıların mevcut durumunun değerlendirilmesi, üstyapı ağının servis kabiliyetinin en üst düzeye çıkarılması ve mevcut kaynakların en verimli şekilde kullanılarak güvenli bir ulaşımın sağlanması adına düzenli veri toplama ve analiz gerektiren, aktif bir süreçtir.

Değerlendirme tipik olarak, mevcut kaplamaların fonksiyonel ve yapısal kapasite durumları hakkında veri toplanmasını içerir. Üstyapıların fonksiyonel performans ölçümlerinde kullanıcıların sürüş konforu ve güvenliğini etkileyen üstyapının düzgünsüzlüğü, tekerlek izinde oturma seviyeleri, yol sürtünme direnci ve tekerlek gürültü seviyeleri ölçülür. Yapısal performans ölçümleri ise yolun mevcut taşıma kapasitesini belirlemek amacıyla gerçekleştirilen Düşen Ağırlık Deflektometresi (FWD) testlerini ve sahada yapılan görsel performans gözlemlerini içerir.

3.1 Üstyapının Sürüş Konforunun Değerlendirilmesi ve Düzgünsüzlük Ölçümleri

Üstyapının sürüş konforunu etkileyen birincil değişken yüzey düzgünsüzlüğüdür. Düzgünsüzlük, kaplama yüzeyinde istenmeyen veya rahatsız edici bir sürüşe sebebiyet veren bozulmalarla karakterize edilir. Daha spesifik olarak, kaplama yüzeyinin düzgünsüzlüğüyle en doğrudan ilişkili bileşeni, hareket boyunca hissedilen tekerlek yolundaki bozulmalardır. Bu bozulmalar, frekansa ve genliğe bağlı olarak yolcu bölmesinde kullanıcı tarafından rahatsız edici olarak algılanan dikey bir ivme oluşturur (Şekil 9).



Şekil 9: Yol Boyuna Düzgünsüzlüğü ve Kullanıcılara olan Etkisi

Düzgünsüzlük değerlendirmesi, üstyapı yöneticilerine, kullanıcıların üstyapı tarafından sağlanan hizmet kalitesine ilişkin algısını etkileyen doğrudan bir ölçüm olanağı sağlamaktadır ve bu bağlamda ÜYS süreci için son derece önemlidir. Ayrıca, profil ölçüm teknolojisi geliştikçe, üstyapı boyuna profil verilerinin ek uygulamaları, özellikle yol yapım kalite kontrolü için girdi olarak kullanılmaya başlanmıştır. Yol yapım kalite kontrolü için, yüklenici ödeme faktörlerinin tanımlanmasına yardımcı olmak üzere düzgünsüzlüğün hassas ölçümü gereklidir.

Kaplama düzgünsüzlüğünün değerlendirilmesi için üç bileşene ihtiyaç vardır:

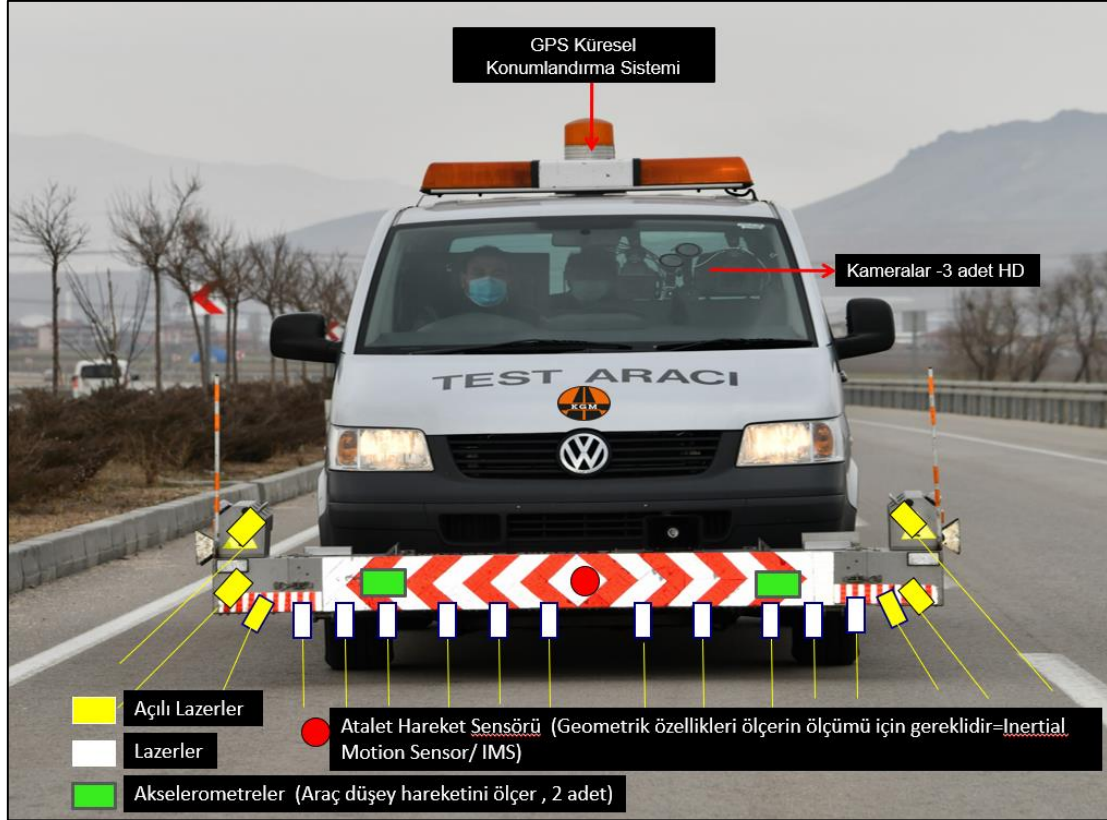
- Doğru bir profil ölçümü.
- Profil verilerini anlamlı bir özet istatistiğe dönüştürmek için kullanılacak bir matematiksel model veya filtre.
- Düzgünsüzlük ölçüm sonuçlarının yorumlanması.

Yolların boyuna profil yükseklik ölçümleri **Profilometre Ölçüm Cihazı** kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Karayolları Genel Müdürlüğü bünyesindeki Profilometre Ölçüm Cihazı Şekil 10'da gösterilmektedir.



Şekil 10: KGM Bünyesinde Kullanılan Profilometre Ölçüm Cihazı

Cihaz yardımıyla boyuna profil yüksekliği ölçümleri, dikey araç gövdesi hareketini izlemek için akselerometre ve araç gövdesi ile kaplama arasındaki yer değiştirmeyi ölçmek için lazer sensörleri kullanılarak elde edilir. Yol profili yükseklik ölçümleri, araç gövdesi hareketinin uygun gövde-yol yer değiştirmesi ile toplanmasıyla elde edilir. Bir teker yolu için veya her iki tekerlek yolunda profil ölçümleri mümkündür. Karayolları Genel Müdürlüğü bünyesinde kullanılan araca ait açılı lazerler, akselerometreler ve diğer sistemler Şekil 11’de gösterilmektedir.



Şekil 11: KGM Bünyesinde Kullanılan Profilometre Ölçüm Cihazı ve Ölçüm Aletleri

Son yıllarda yol düzgünlüğü birimi olarak Uluslararası Düzgünlük İndeksi (IRI) yaygın olarak kullanılmaktadır. Metrenin uzunluk için bir ölçüm birimi olması gibi, IRI'nın da kaplama düzgünlüğü için bir ölçüm birimi olduğu kabul edilmelidir. Metrik sistemde IRI m/km cinsinden ifade edilir. Sayının büyüklüğünün ne anlama geldiği anlaşılmadan bir kaplamanın IRI değerini bilmek pek bir şey ifade etmeyecektir.

Bu nedenle tüm dünyada karayolu yönetimleri IRI değerlerinin sınıflandırılmasını ve limitlerini kendi ülke koşullarına göre belirlerler. Ülkemizde ÜYS içerisinde gerçekleştirilen performans ölçümlerinde uygulanan IRI sınıflandırması ve limitleri Tablo 1’de gösterildiği gibidir.

Tablo 1: KGM ÜYS Performans Ölçümlerinde Uygulanan IRI Sınıflandırması ve Limitleri

Düzgünsüzlük Değeri (IRI-m/km)	Düzgünsüzlük Sınıflandırması
>2,13	Çok Kötü
2,13 - 1,81	Kötü
1,80 - 1,59	Orta
1,58 – 1,12	Orta-İyi
1,11– 0,72	İyi
0,71-0	Çok İyi

Profilometre ölçüm cihazları, içerisinde bulunan akselerometre ve lazer sensörlerin ölçümlerini aktardığı bir yazılım ve bilgisayar sistemlerini de içerir (Şekil 12). Yazılım yolun boyuna profil verilerini matematiksel modeller kullanarak anlamlı IRI değerlerine çevirdiği gibi aracın yol aldığı mesafeyi, kullanım hızını ve küresel konumunu ölçümler içerisinde kayıt edebilme özelliğine sahiptir.



Şekil 12: Profilometre Ölçüm Cihazı İç Donanımı ve Ölçüm Ekranı Örneği

Ülkemizde Profilometre ölçüm araçları yeni yapılan yolların yapım kalite kontrolü için de kullanılmaktadır. Yapımı tamamlanan yollarda Profilometre ölçüm cihazı ölçümler yaparak IRI değerlerini not eder. Bu amaçla bitümlü sıcak karışım kaplamalarda Binder ve Aşınma tabakaları için, beton üstyapı kaplamalarda da yüzey düzgünsüzlük değerleri için ödeme kriterleri geliştirilmiştir. Bu nedenle bu ölçümler, ödemeye esas ölçüm ya da ödeme ölçümü olarak da bilinmektedir.



Şekil 13: KGM Bünyesinde Gerçekleştirilen Ödeme Ölçüm Uygulaması Örneği

Karayolları Genel Müdürlüğü bünyesinde yapımı tamamlanan BSK ve Beton Kaplama yollar için ödeme ölçüm limitleri ve ödeme şekilleri sırasıyla Tablo 2 ve Tablo 3’de göstermektedir.

Tablo 2: KGM Bitümlü Sıcak Karışım Kaplamalar için Ödeme Ölçüm Limitleri

Düzgünsüzlük (m/km) (IRI)		Ödeme Şekli
Binder	Aşınma	
<1,30	<1,20	Tam Ödeme
1,30 - 1,60	1,20 - 1,50	%5 Kesintili Ödeme
1,61 - 1,90	1,51 - 1,80	%10 Kesintili Ödeme
>1,90	>1,80	Yeniden Yapım

Tablo 3: KGM Beton Kaplamalar için Ödeme Ölçüm Limitleri

Düzgünsüzlük (m/km) (IRI)	Ödeme Şekli
Beton Kaplama	
≤ 1,60	Tam Ödeme
1,61 - 1,90	%5 Kesintili Ödeme
1,91 - 2,20	%10 Kesintili Ödeme
2,21 - 2,70	%20 Kesintili Ödeme
≥ 2,71	Yeniden Yapım

3.2 Üstyapının Tekerlek İzinde Oturma Ölçümleri

Tekerlek İzinde Oturma (TİO) esnek üstyapılarda en çok gözlenen bozulma türlerinden birisidir. Yol eksenini doğrultusunda devam eden tekerlek yolunda konumlanmış oturma şeklindeki bozulma türü olarak ifade edilebilir.

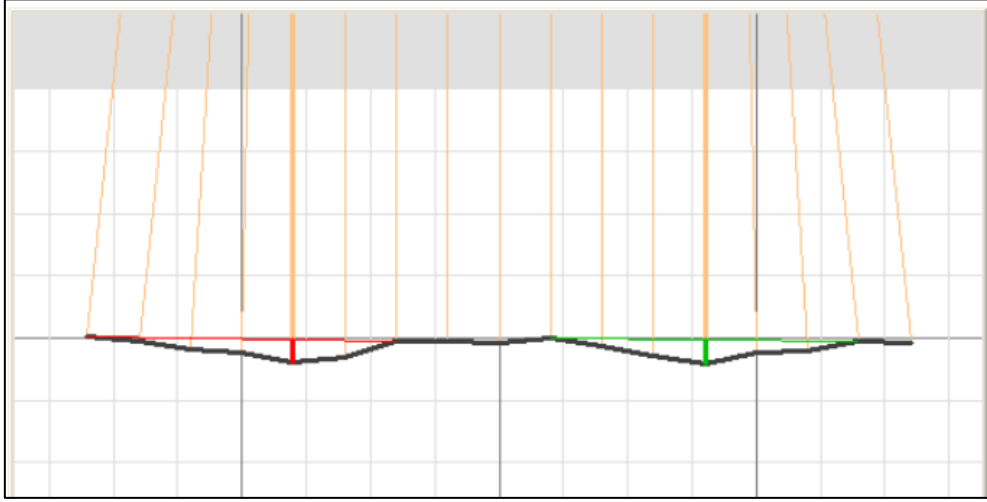


Şekil 14: Tekerlek İzinde Oturma Bozulmasına Sahip Yol Örneği

Takibi yapılmadığı takdirde düzensiz kaplama yüzeylerinin oluşmasına ve sürüş kalitesinin düşmesine neden olabilir. Ayrıca, yağışlı havalarda bu bölgelerde su birikmesi olacağından araçların frenleme esnasında kızaklamaya maruz kalması olasıdır (Şekil 14). Bu durum yol kullanıcıları için güvenliğin tehlikeye girmesine neden

olabilir. Bu nedenle, ÜYS içerisinde bozulmaların şiddet ve yoğunluklarının belirlenmesi ile uygun bakım ve rehabilitasyon stratejilerine karar verilebilmesi için kaplama tekerlek izi koşullarına ilişkin doğru ve zamanında veri toplama ve sisteme veri girişi çok önemlidir.

Karayolları Genel Müdürlüğü bünyesinde bulunan Profilometre Ölçüm Cihazı, üzerinde bulunan lazerler vasıtasıyla yol boyunca kaplamaların düşey profilini çıkarabilmekte ve böylece yolun sol ve sağ tekerlere denk gelen hattında oluşan tekerlek izinde oturmaları hesaplayabilmektedir. Şekil 15 bu cihazın tekerlek izinde oturma ölçümü sırasındaki çalışma prensibini göstermektedir.



Şekil 15: Tekerlek İzinde Oturma Hesaplarında Kullanılan Üstyapı Düşey Profili

Turuncu çizgiler lazer ışınlarının yerlerini belirtirken, kalın, siyah çizgi lazerler tarafından ölçülen düşey profili göstermektedir. Kırmızı ve yeşil tekerlek izi çizgileri, TİO hesap algoritmasının sol ve sağ teker için nasıl çalıştığını göstermektedir.

Profilometre aracıyla ölçüm yapmanın mümkün olmadığı fakat bozulmaların gözlemlendiği durumlarda tekerlek izinde oturma değerleri Master yardımıyla ölçülmelidir.

Karayolları Esnek Üstyapılar Rehabilitasyon Tasarım Rehberi'nde ülkemizde uygulanan tekerlek izinde oturma (TİO) sınıflandırması Tablo 4'deki gibi belirtilmektedir.

Tablo 4: Karayolları Genel Müdürlüğü Tekerlek İzinde Oturma Limitleri

Tekerlek İzinde Oturma Değeri	Tekerlek İzinde Oturma Sınıflandırması
>25 mm	Yüksek Derecede Bozulma
13 – 25 mm	Orta Derecede Bozulma
6 – 13 mm	Hafif Derecede Bozulma

3.3 Üstyapı Güvenliğinin Değerlendirilmesi ve Kayma Direnci Ölçümleri

Üstyapı güvenlik koşulları, kaplamada görülen bozulmaların türü ve şiddeti ile üstyapı yüzeyinin kayma direnci özellikleri gibi çeşitli faktörlerden etkilenebilir. Kötü güvenlik koşullarına sahip bir kaplama yüzeyi; araç kontrolünün azalmasına, durma mesafesinin artmasına ve kaza riskinin artmasına neden olabilir. Bu nedenle, üstyapı güvenlik koşullarına ilişkin doğru ve zamanında veriler, ÜYS içerisinde tehlikeli üstyapı bölümlerinin belirlenmesi ve bunların bakım ve rehabilitasyon için önceliklendirmesi için çok önemlidir. Bununla birlikte ÜYS içerisinde belirlenen potansiyel riske sahip bölümlerin takibi yapıp, ilgili birimlerle paylaşarak ortak kararlar da alınabilir.

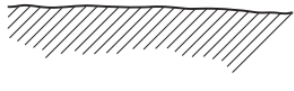
Dünya genelinde, sürtünme direnci ölçümü için farklı çalışma prensiplerine sahip çeşitli test ekipmanları kullanılmakta olup kurumumuz bünyesinde bulunan Kayma Direnci Ölçüm Test Cihazı (Şekil 16), ASTM E 274 standardına uygun olarak ölçüm yapmaktadır. Kayma direnci, seyahat edilen yol yüzeyi ile araç tekerleği arasındaki kaymaya karşı gösterilen dirençtir. Bir başka deyişle, kayma direnci; araç tekerinin dönmesi engellendiğinde/kısıtlandığında (frenleme), araç ile yol yüzeyi arasında oluşan ve aracın kaymasına engel olan direnç (sürtünme) kuvvetidir. Kayma direncinin düşük olması, özellikle ıslak yol koşullarında aracın yol tutuşunun azalmasına ve fren mesafesinin uzamasına neden olarak sürüş güvenliğini olumsuz yönde etkilemektedir.



Şekil 16: KGM Bünyesinde Bulunan Kayma Direnci Ölçüm Cihazı

Kayma direnci, bir kaplama yüzeyinin mikro ve makro dokusuna bağlıdır. Mikro doku, üstyapı agrega bileşeninin küçük ölçekli dokusunu (dalga boyu <0.5 mm) ifade eder. Kaplama ile lastik arasındaki temel bağlanma/kenetlenme (adezyon), mikro dokuya bağlıdır ve özellikle düşük hızlarda sürtünme direnci açısından etkilidir.

Makro doku ise agrega parçacık düzenlemesi nedeniyle üstyapının bir bütün olarak büyük ölçekli dokusunu (dalga boyu 0.5mm ile 50mm arasında) ifade eder. Parçacıklar arasındaki boşluklar, lastiğin altındaki suyun kaçışına imkân vererek yol ile lastik arasındaki temasın kesilmesini (kızaklama) önler. Makro doku, özellikle yol ile temas esnasında lastikte meydana gelen deformasyon nedeniyle oluşan enerji kaybına (histerezis) katkı sağlar ve yüksek hızlarda sürtünme direnci açısından etkilidir. Buradan da anlaşılabacağı gibi kayma direnci yol yapımında kullanılan agrega türü, kırım şekli, dane boyu dağılımı ve karışım özellikleri gibi pek çok etkene bağlıdır. Yol yüzey dokuları Şekil 17’de gösterildiği şekliyle tanımlanabilir.

Yüzey Görünümü	Makrodoku	Mikrodoku
	Tırtıklı	Pürüzlü
	Tırtıklı	Cıvalı
	Düz	Pürüzlü
	Düz	Cıvalı

Şekil 17: Yol Yüzey Dokularının Tanımlanması

Yol yüzey sürtünmesi, kayma sayısı (SN) ile ifade edilir. SN, kaplama ile temas halindeki test lastiğine uygulanan yatay kuvvetin, lastik üzerindeki düşey dinamik yüke oranıdır. SN sayısı 0 ile 100 arasında değişen bir değerdir. SN'nin büyük olması yol yüzeyi ile tekerlek arasındaki sürtünmenin fazla olduğunu diğer bir deyiş ile kayma direncinin iyi olduğunu gösterir. Karayolları Genel Müdürlüğü bünyesindeki ÜYS performans ölçüm süreci içerisinde belirlenen sürtünme direnci kriterleri Tablo 5'te gösterilmektedir.

Tablo 5: KGM ÜYS Performans Ölçümlerinde Kullanılan Sürtünme Direnci Kriterleri

Sürtünme Direnci Değeri (Kayma Sayısı-Skid Number =SN)	Sürtünme Karakteristiği Derecesi
< 30	Kötü
30-45	Orta
> 46	İyi

Yapımı tamamlandığında kayma direnci iyi düzeyde olan ve güvenli sürüş koşulları sağlayan bir yol zaman içerisinde trafik etkisiyle oluşan cilalanma türü bozulma sonucunda kayma direncindeki düşüşle beraber güvensiz hale gelebilmektedir. Ayrıca soyulma ve sökülme türü yüzey bozulmaları ile yol kaplamasının orijinal dokusunu kaybetmesi veya kusma türü bozulma ile yol yüzeyinde bitüm tabakasının bulunması kayma direncini olumsuz etkileyen faktörlerdendir. Bu nedenlerle, üstyapı güvenlik koşullarına ilişkin doğru ve zamanında elde edilen veriler, güvenlik koşulları kötüleşen yol kesimlerinin ÜYS içerisinde tespit edilmesi ve bu yol kesimlerinin bakım ve rehabilitasyon için önceliklendirmesi için önem taşımaktadır. Bununla birlikte, bu kesimlere ilişkin bilgilerin ilgili diğer birimler ile paylaşılması, üstyapı güvenlik koşullarının artırılmasına yönelik olarak yapılacak çalışmalara katkı sağlayacaktır.

3.4 Üstyapının Tekerlek Gürültü Seviyesi Ölçümleri

Yollarda seyreden araçlardan kaynaklanan aşırı gürültü kirliliğinin insan sağlığı üzerinde artan stres, uyku bozuklukları ve işitme kaybı gibi olumsuz etkileri olabilmektedir. Öyle ki, Avrupa nüfusunun tahminen %30'u geceleri yüksek karayolu trafik gürültüsüne maruz kaldığından, yol gürültüsü Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ) tarafından halk sağlığına yönelik çevresel tehditler arasında ikinci sırada kabul edilmiştir. Ayrıca, yaban hayatı habitatlarını bozup, hayvanların davranışlarını ve iletişimlerini etkileyebilmektedir. Bu nedenlerle, dünyada üstyapı yönetimleri, karayollarında gürültü seviyesi kontrolüne giderek önem vermekte ve gürültü miktarını azaltmak için stratejileri ve teknolojileri araştırmaktadır.

Karayolları Genel Müdürlüğü bünyesinde farklı üstyapı kaplama türlerinde (rijit, esnek) tekerlek/kaplama ara yüzünden kaynaklanan gürültü seviyesi, Gürültü Seviyesi Ölçüm Cihazı (On-Board Sound Intensity-OBSI) ile ölçülür. Ölçümler sırasında araçta tekere yerleştirilen iki çift mikrofon kullanılır (Şekil 18).



Şekil 18: KGM Bünyesinde Bulunan Gürültü Seviyesi Ölçüm Cihazı (OBSI)

Ses seviyelerini temsil etmek için logaritmik bir ölçek (gürültü için bu A ölçeği olarak adlandırılır) kullanılır ve desibel (dB) cinsinden ölçülür. A-ölçeğini tanımlayan eğri kabaca insan kulağının sese verdiği tepkiye karşılık gelir. Desibel ölçeği, insan işitme eşiği olan 0 dBA ile ciddi işitme hasarının meydana gelebileceği 140 dBA arasında değişir. Ortalama bir insan kulağı, sadece ses yüksekliği en az 3 desibel fark olan olan iki farklı ses seviyesi arasında ayrım yapabilir. Tablo 6 bu ölçeği ve çeşitli günlük faaliyetlerle ilişkili bazı seviyeleri göstermektedir:

Tablo 6: Örnek Gürültü Seviyesi Değerleri

Ses Kaynağı	Gürültü Seviyesi (dBA)
Sessiz bir oda	40
Normal konuşma	60
Yüksek sesle bağırma	90
Üç metrede çim biçme makinesi	100
Acı ve hasar eşiği	140

Tekerlek/kaplama etkileşiminden kaynaklanan gürültünün sıklığı ve yoğunluğu; araç ilerleme hızı, yolların düzgünlüğü, teker cinsi, sayısı, boyutu ve konfigürasyonları, kaplama tipleri ve kaplama yüzey boşlukları gibi çeşitli faktörlere bağlıdır. Örneğin yüksek hızda giden araçların ve düzgünlüğü fazla olan yolların daha çok gürültüye neden oldukları bilinmektedir. Otomobiller ise yüksek teker sayılı kamyon ve tırlara göre daha düşük seviyelerde gürültü üretmektedir.

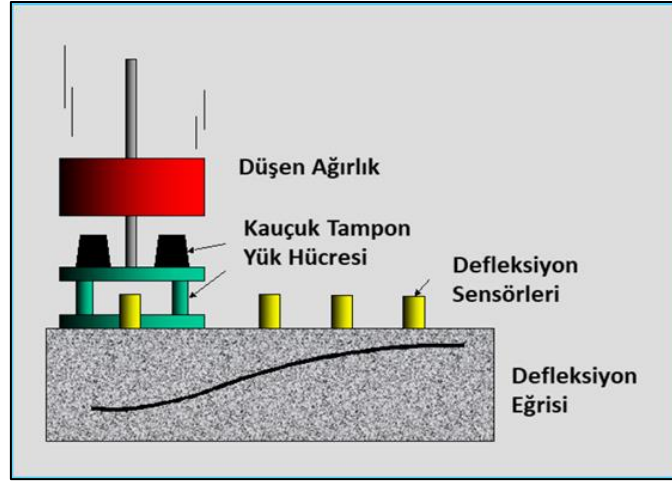
Ülkemiz üstyapılarında yapılan ölçümlerde kaplama cinsi ve yaşına bağlı olarak genellikle 97-112 dB(A) aralığında ölçüm değerleri ile karşılaşılmaktadır. 104 dB(A) ve altındaki değerler sessiz asfalt olarak kabul edilmektedir.

3.5 Üstyapının Yapısal Kapasitesinin Düşen Ağırlık Deflektometresi (FWD) Testiyle Belirlenmesi

Üstyapı kaplama yapılarının yapısal kapasite değerlendirmesi, kaplamaların zaman içindeki esneklik ve dayanıklılığını değerlendirmeye yardımcı olan önemli bir süreçtir. Üstyapıların yapısal kapasitesini değerlendirmek için kullanılan yaygın yöntemlerden biri, mevcut yapıya tahribat bırakmadan gerçekleştirilebilen Düşen Ağırlık Deflektometresi (FWD) testidir.

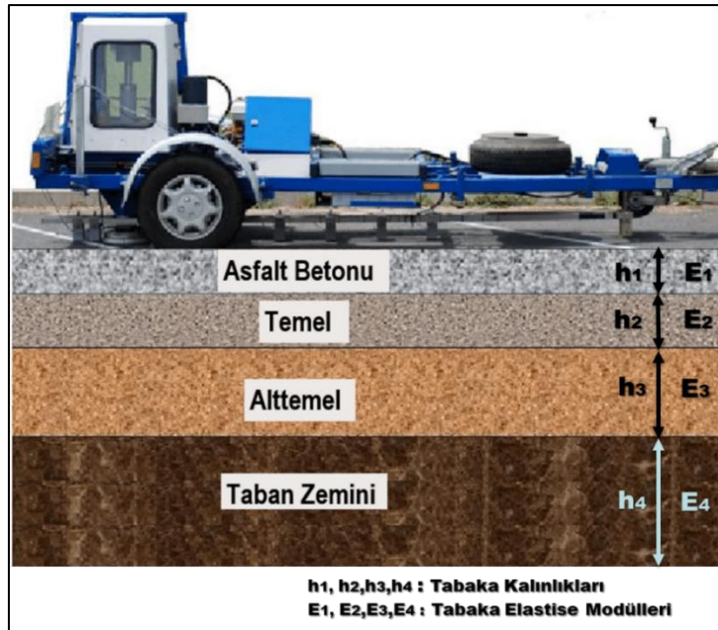
FWD testi, esnek bir kaplama yapısında defleksiyon ölçümü yaparak yapısal durumu hakkında değerli bilgiler sağlar. Defleksiyon terimi dinamik yük altında gerçekleşen yer değiştirmeyi (oturmaya) ifade eder. Trafik yükleri üstyapıya dinamik olarak etkiyerek elastik şekil değiştirmelere neden olur. Defleksiyon testlerinde bu dinamik yüklemeyi modellemek amacıyla belirli bir yükseklikten düşen ağırlığın üstyapıda oluşturduğu defleksiyonlar saptanmaktadır.

Kaplamada yükün düşürüldüğü merkez noktasına ve bu noktaya çeşitli uzaklıklarda yerleştirilen jeofonlar yardımı ile yük merkezindeki ve merkezden farklı uzaklıklardaki noktalarda oluşan defleksiyon değerleri ölçülür. Yük merkezinde tüm tabakalarda gerilme oluşurken merkezden uzak noktalarda yalnızca alt tabakalarda gerilme oluşmaktadır. Bu etkiden yararlanılarak farklı tabakaların Elastise modülleri hesaplanır. Düşen Ağırlık Deflektometresi Çalışma Prensibi Şekil 19'da gösterildiği gibidir.



Şekil 19: Düşen Ağırlık Deflektometresi (FWD) Çalışma Prensibi

Yolda yapılan defleksiyon ölçümleri ölçüm sonrası bir ofis çalışması ile özel bir yazılım kullanılarak değerlendirilir. Yazılım Geri Analiz yaparak tüm tabakaların (Asfalt Beton, Temel, Alttemel ve Taban Zemin) hizmet durumundaki Elastise Modülü değerlerinin belirlenmesini sağlar. Bu aşamada üstyapı tabakalarının kalınlık verilerinin envanter veri tabanında güncel olarak tutulması ÜYS içerisindeki işleyişin devam etmesine yardımcı olacaktır.



Şekil 20: Düşen Ağırlık Deflektometresi (FWD) Hesap Parametreleri

Bu bilgiler daha sonra yapılacak performans analizlerinde veri olarak kullanılabilirken aynı zamanda üstyapı için bakım ve rehabilitasyon planları geliştirmek, maksimum dayanıklılık ve performans için tasarımların optimize edilmesi için de kullanılabilir.



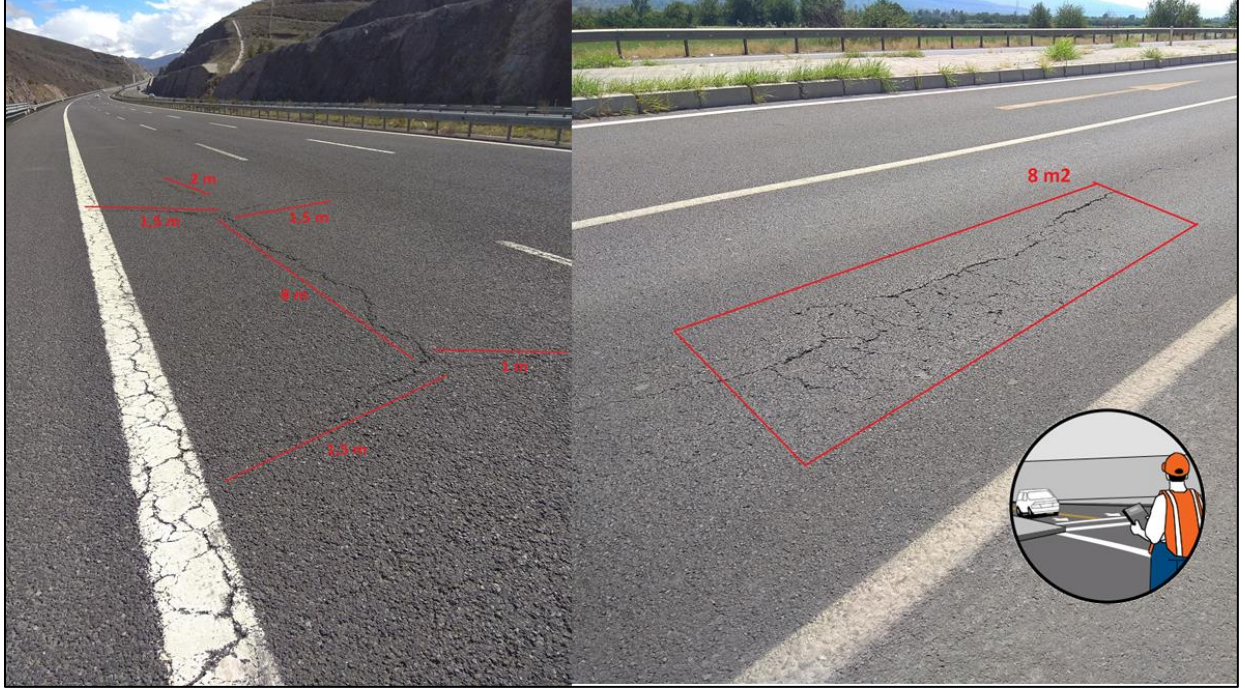
şekil 21: KGM Bünyesinde Gerçekleştirilen FWD Testi  rneği

3.6 Üstyapının Performans Gözlemlerinin Gerçekleştirilmesi

 styapıların performans gözlemlerinin gerçekleştirilmesi, kaplamanın durumunu değerlendirmek ve yapısal bütünlüğünü belirlemek için kaplamanın yüzeyinin ve alt kısmının incelenmesini içeren kritik bir süreçtir. Bu süreç kaplamanın mevcut durumu hakkında değerli bilgiler sağlayıp, bakım onarım veya rehabilitasyon gerektirebilecek kusurların veya sorunların tespit edilmesine yardımcı olduğu için çok önemlidir.

Karayolu  styapılarının görsel denetimi tipik olarak bu konuda deneyimli bir üstyapı mühendisinin üstyapı yüzeyindeki çatlaklar, soyulma, s k lme, kusma, yama veya çukurlar gibi bozulma türlerinin incelemesini içerir. Ayrıca, kaplama katmanlarının durumunu değerlendirmek ve olası yapısal eksiklikleri belirlemek için karot alma gibi teknikler de kullanarak aşınma yüzeyinin altı da incelenebilir.

Karayolları Genel Müdürlüğü kapsamında üstyapıların performans gözlemleri gerçekleştirilirken görevli üstyapı mühendisleri bozulma tespit formlarını doldururlar.



Şekil 22: KGM Bünyesinde Gerçekleşen Performans Gözlemi Örneği

Bozulma tespit formunda, gözlemlenen bozulmaların Karayolları Esnek Üstyapılar Rehabilitasyon Tasarım Rehberi'nde belirlenen her bir şiddet seviyesi için miktarları girilerek, bu bozulmaların üstyapı yapısal puanına etkileri daha sonra Üstyapı Puanlama tablosu yardımıyla hesaplanmak üzere kaydedilir. Gözlemlenen enine ve boyuna çatlak uzunluklarının metre cinsinden ölçülmesi yeterli iken, timsah sırtı çatlakların gözlemlendiği bölgelerde çatlakların kapsadığı alan metre kare cinsinden hesaplanıp tabloya işlenmelidir (Şekil 22).

Üstyapı Yapısal Puanı Hesaplama Tablosu her bir asfalt tabakası (Aşınma, Binder ve Bitümlü Temel) için Tablo 7'de gösterilen örnekteki gibi doldurulur ve bu üç tabakanın toplam azaltım değerleri hesaplanır.

Tablo 7: Üstyapı Puanlama Tablosu Örneği

ÜSTYAPI PUANLAMA TABLOSU

Yolun Adı ve Kilometresi:

Kaplama Alanı : m²

	BOZULMA TÜRÜ	BOZULMA ŞİDDETİ	ETKİ FAKTÖRÜ	AŞINMA		BİNDER		BİTÜMLÜ TEMEL	
				Alan veya Uzunluk	Azaltım	Alan veya Uzunluk	Azaltım	Alan veya Uzunluk	Azaltım
1	YORULMA ÇATLAĞI (TİMSAH SIRT)	Hafif	1,1						
2		Orta	1,2						
3		Yüksek	1,3						
4	ÇUKUR	Hafif	1,1						
5		Orta	1,2						
6		Yüksek	1,3						
7	YAMA	Hafif	1						
8		Orta	1						
9		Yüksek	1						
10	KAYMA DEFORMASYONLARI (ÇATLAK VE ONDÜLASYON)	Hafif	1						
11		Orta	1						
12		Yüksek	1						
13	TEKERLEK İZİ	Hafif	0,9						
14		Orta	1						
15		Yüksek	1,1						
16	BLOK ÇATLAK	Hafif	0,1						
17		Orta	0,15						
18		Yüksek	0,2						
19	ENİNE VE BOYUNA TERMAL ÇATLAK	Hafif	0,1						
20		Orta	0,15						
21		Yüksek	0,2						
22	EK YERİ ÇATLAĞI	Hafif	0,1						
23		Orta	0,15						
24		Yüksek	0,2						
25	YANSIMA ÇATLAĞI	Hafif	0,1						
26		Orta	0,15						
27		Yüksek	0,2						
28	KENAR ÇATLAĞI	Hafif	0,05						
29		Orta	0,1						
30		Yüksek	0,1						
31	KUSMA (TERLEME)	Hafif	0						
32		Yüksek	0,01						
33	SOYULMA VE SÖKÜLME	Hafif	0						
34		Yüksek	0,01						
35	Cİ LALANMA	Hafif	0						
36		Yüksek	0,01						
37	ALTYAPI KAYNAKLI HASARLAR	-	0						
TOPLAM :									

BİRİNCİL BOZULMA MİKTARI	M1 :	M1 :	M1 :
İKİNCİL BOZULMA MİKTARI	M2 :	M2 :	M2 :
YÜZEY BOZULMASI MİKTARI	M3 :	M3 :	M3 :
TABAKA PUANI	TP1 :	TP2 :	TP3 :
ÜSTYAPI YAPISAL PUANI	ÜYP :		
KAZIMA PUANI	KP1 :	KP2 :	KP3 :

 Birincil Bozulmalar (M1)
  İkincil Bozulmalar (M2)
  Yüzey Bozulmaları (M3)

Tabaka Puanları ise Formül 1’de gösterildiği gibi hesaplanmaktadır. Bu tabaka puanlarının ortalaması ise o yol kesimi için belirlenen Üstyapı Yapısal Puanı (ÜYP)’yi temsil eder.

$$Tabaka Puanı = 100 - \left[\frac{Toplam Azaltım \cdot 1000}{Kaplama Alanı} \right]^{0,2} \cdot 15$$

Formül 1

ÜYP, 40 ile 100 arasında ölçeklendirilen bir puan olup, hesaplanan değerlere karşılık bakım-onarım veya takviye işlemlerinin önerilmesi ve detayları Üstyapı Kaplama Koruma Programı Konsepti kapsamında Bölüm 5’te anlatılacaktır.

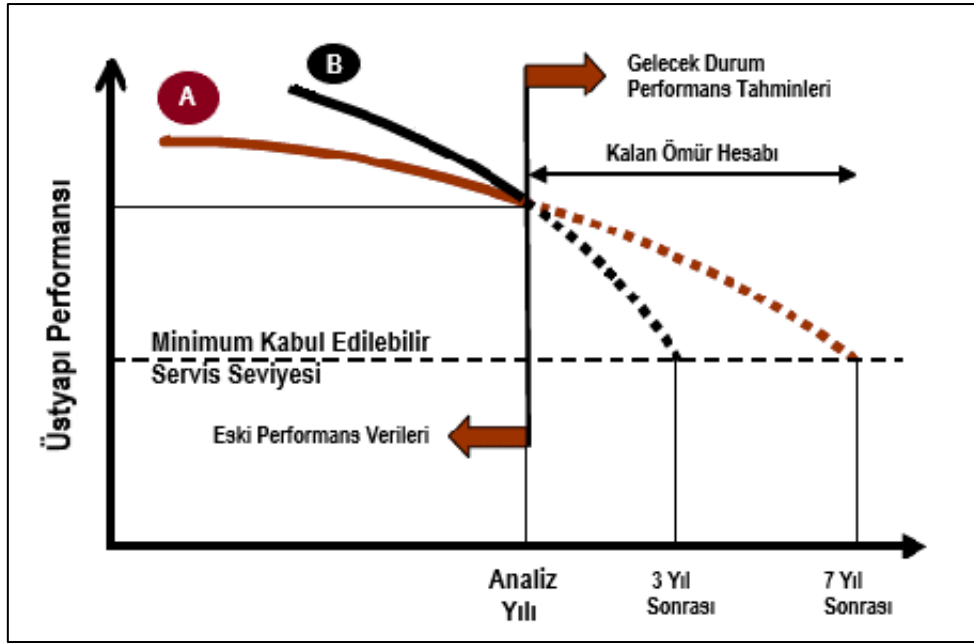
Proje düzeyindeki analizlerde, o kesime ait ÜYP hesabının yapılması olası iken, ağ düzeyinde yapılması planlanan analizlerde her bir kesim için detaylı ÜYP hesabı gerçekleştirilemeyebilir. Bu durumda yolların Üstyapı Yapısal Puanlarının daha pratik bir şekilde hesaplanabilmesi adına Tablo 8’de gösterilen Üstyapı Durum Ölçeği (ÜDÖ) kullanılabilir. Yolda yapılan gözlem ve tespitlere bağlı olarak bu üç soruya verilen cevapların karşılığında yer alan puanların toplanması sonucunda ÜDÖ puanı elde edilir.

Tablo 8: Üstyapı Durum Ölçeği

Üstyapı Durum Ölçeği Hesaplama Kriterleri		Üstyapı Durum Ölçeğine Etkisi
Kaplama Yüzeyindeki Bozulma Yoğunluğu	Yok veya Çok Az	40
	Az	35
	Orta	30
	Yoğun	25
	Çok Yoğun	20
Timsah Sırtı Çatlak Durumu	Yok	25
	Var	0
Kaplama Yaşı	0-3 Yıl	35
	3-10 Yıl	30
	10-20 Yıl	25
	> 20 Yıl	20

4. ÜSTYAPI GELECEK DURUM TAHMİN MODELLERİ VE ANALİZ DEĞERLENDİRMELERİ

Üstyapıların gelecek durum tahminlerinin gerçekleştirilmesi, üstyapının dizayn ömrü boyunca yaşayacağı bozulmaların modellenmesi, kalan ömür hesabı ve iyi düzeyde hizmet verebilmesi adına ihtiyaç duyacağı etkili bakım-onarım ve rehabilitasyon faaliyetlerin belirlenmesi için gereklidir.

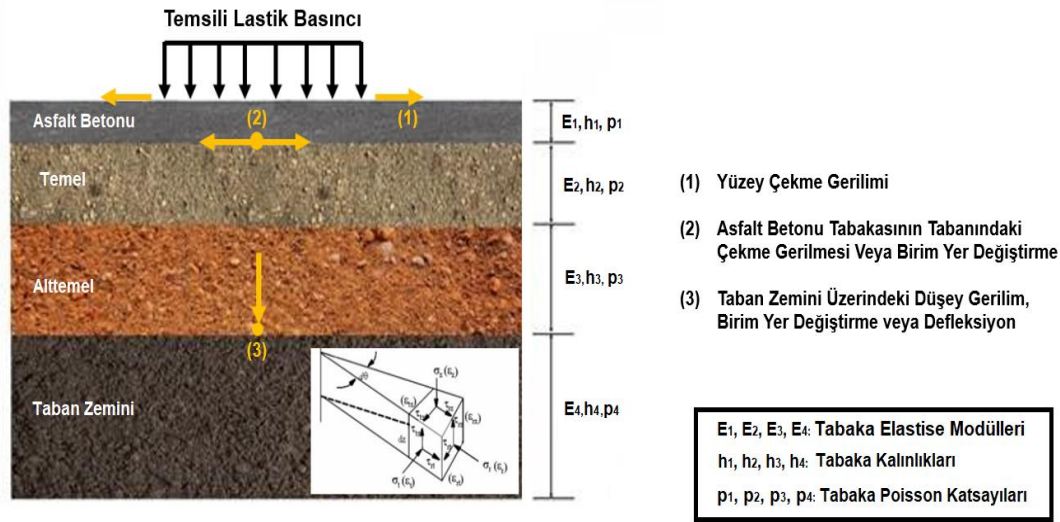


Şekil 23: Mevcut Kaplamaların Gelecek Bozulma Modelleri ve Kalan Ömür Hesabı

Üstyapı bozulmalarının tahmininde ampirik, mekanistik-ampirik ve belirlenimci (deterministik) modeller de dahil olmak üzere birkaç farklı tahmin modeli türü bulunmaktadır. Ampirik modeller geçmiş üstyapı performans verilerinin istatistiksel analizine dayanır ve gelecekteki performansı tahmin etmek için basit matematiksel denklemler kullanır. Öte yandan, mekanistik-ampirik modeller, üstyapının teker yükü ve çevresel etkiler altındaki mekanik tepkilerini (gerilme, deformasyon ve birim yer değiştirme) hesaplayıp, üstyapı performansını tahmin etmek için ampirik yaklaşımlarıyla birleştirebildiği için daha çok tercih edilmeye başlanmıştır.

Mekanistik üstyapı tepkilerinin modellenmesinde kullanılan yöntemlerden birisi Lineer Elastik Analiz'dir. Bu analizde her bir tabakanın homojen şekilde hareket ettiği kabul edilir ve lastik yükü altındaki üstyapı tepkileri 2 boyutlu ya da 3 boyutlu olarak

hesaplanabilir. Bu analiz tipinde Şekil 24’de gösterilen kritik tepki noktalarında oluşan gerilme veya birim yer değiştirmeler belirlenerek, daha sonra ampirik formüllerde kullanılmak üzere not edilir. Örneğin, analizlerde hesaplanan yüzey çekme gerilimi değeri yukarıdan aşağıya ilerleyen timsah sırtı tipi bozulmaların hesabında, taban zemini üzerinde belirlenen düşey birim yer değiştirme kritik tekerlek izinde oturma değeri hesaplarında ve asfalt betonu tabanındaki çekme birim yer değiştirmeleri de aşağıdan yukarıya doğru ilerleyen timsah sırtı yorulma çatlaklarının hesaplarında kullanılmaktadır. Her bir bozulma tipi için kabul edilebilir minimum servis seviyeleri belirlendikten sonra ilgili ampirik formüller kullanılarak üstyapıların kalan ömür hesapları tamamlanabilmektedir.

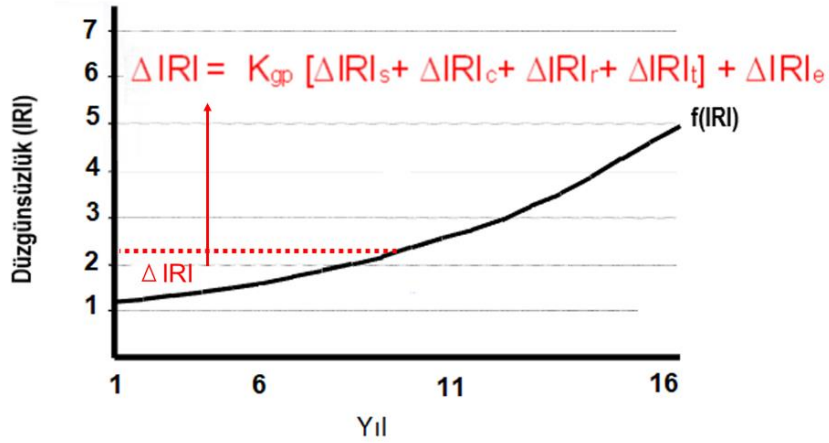


Şekil 24: Tipik Lineer Elastik Analiz Kesiti ve Kritik Üstyapı Tepki Noktaları

Ülkemiz ÜYS çalışmalarında, Dünya Bankası tarafından geliştirilmiş ve dünya üstyapı yönetim sistemlerinde yaygın olarak kullanılan yazılım tabanlı HDM-4 üstyapı analiz yaklaşımı kullanılmaktadır. Bu model içerisinde, üstyapıların gelecek durumlarını modelleyecek bir modülü de barındırır. Bu modül belirlenen yol kesimlerinin gelecekte yaşayacakları bozulma derecelerini belirlenimci (deterministik) bir yaklaşımla belirlemektedir. Bu nedenle analize başlamadan önce Bölüm 3’te anlatılan yöntemlerle üstyapı ağındaki yolların mevcut bozulma durumları belirlenmek zorundadır. Gelecek bozulma modelleri, bu ölçülen mevcut bozulma değerlerine bağlı olarak artacak şekilde tahmin edilir. HDM-4 içerisinde çatlaklar (yapısal, termal ve refleksiyon), tekerlek izinde oturma, sökölme, çukurlar, yüzey makro dokusu, sürtünme direnci ve düzgünsüzlük

bozulma tipleri için gelecek bozulma tahminleri ile yapısal duruma ait gelecek tahminleri yapılabilmektedir.

Düzgünsüzlük hesaplarında yapının yaşlanma ve taşıma gücü kaybından dolayı yaşayacağı kaybın yanında çatlak, tekerlek izinde oturma ve diğer yüzey bozulmalarının getireceği ek düzgünsüzlük etkileri ile sıcaklık ve nemlilik koşullarının etkileri de dikkate alınmaktadır.



Şekil 25: HDM-4 Düzgünsüzlük İlerleme Eğrisi Örneği

Şekil 25'te herhangi bir bakım-onarım işlemi görmeden hizmet vermeye devam eden bir yolun HDM-4 hesaplarındaki Düzgünsüzlük değişim eğrisi ve belirli bir zaman dilimindeki Düzgünsüzlük değişimi (ΔIRI), formülü (Formül 2) gösterilmektedir.

$$\Delta IRI = K_{gp} [\Delta IRI_s + \Delta IRI_c + \Delta IRI_r + \Delta IRI_t] + \Delta IRI_e \quad \text{Formül 2}$$

ΔIRI = Belirli bir zaman dilimindeki Düzgünsüzlük Değişimi

K_{gp} = Kalibrasyon faktörü

ΔIRI_s = Üstyapı yaşlanması ve taşıma gücü kaybı nedeniyle gerçekleşen Düzgünsüzlük değişimi

ΔIRI_c = Üstyapıda görülen çatlak tipi bozulmaların neden olduğu Düzgünsüzlük değişimi

ΔIRI_r = Üstyapıda görülen tekerlek izinde oturma tipi bozulmaların neden olduğu Düzgünsüzlük değişimi

ΔIRI_t = Üstyapıda görülen çukur tipi bozulmaların neden olduğu Düzgünsüzlük değişimi

ΔIRI_e = Çevresel etkiler (sıcaklık ve nemlilik) nedeniyle gerçekleşen Düzgünsüzlük değişimi

HDM-4 içerisinde analiz sırasında üstyapıların maruz kalacağı çevresel etkileri daha iyi yansıtabilmek adına 5 farklı sıcaklık bölgesi ve 5 farklı nemlilik sınıfı tanımlanmaktadır. Bu sınıf tipleri Tablo 9 ve 10'da açıklanmaktadır. Ülkemizde ÜYS kapsamında yapılan analizlerde, analiz yapılacak bölge koşulları dikkate alınarak her analiz için en ilgili sınıflar seçilmektedir.

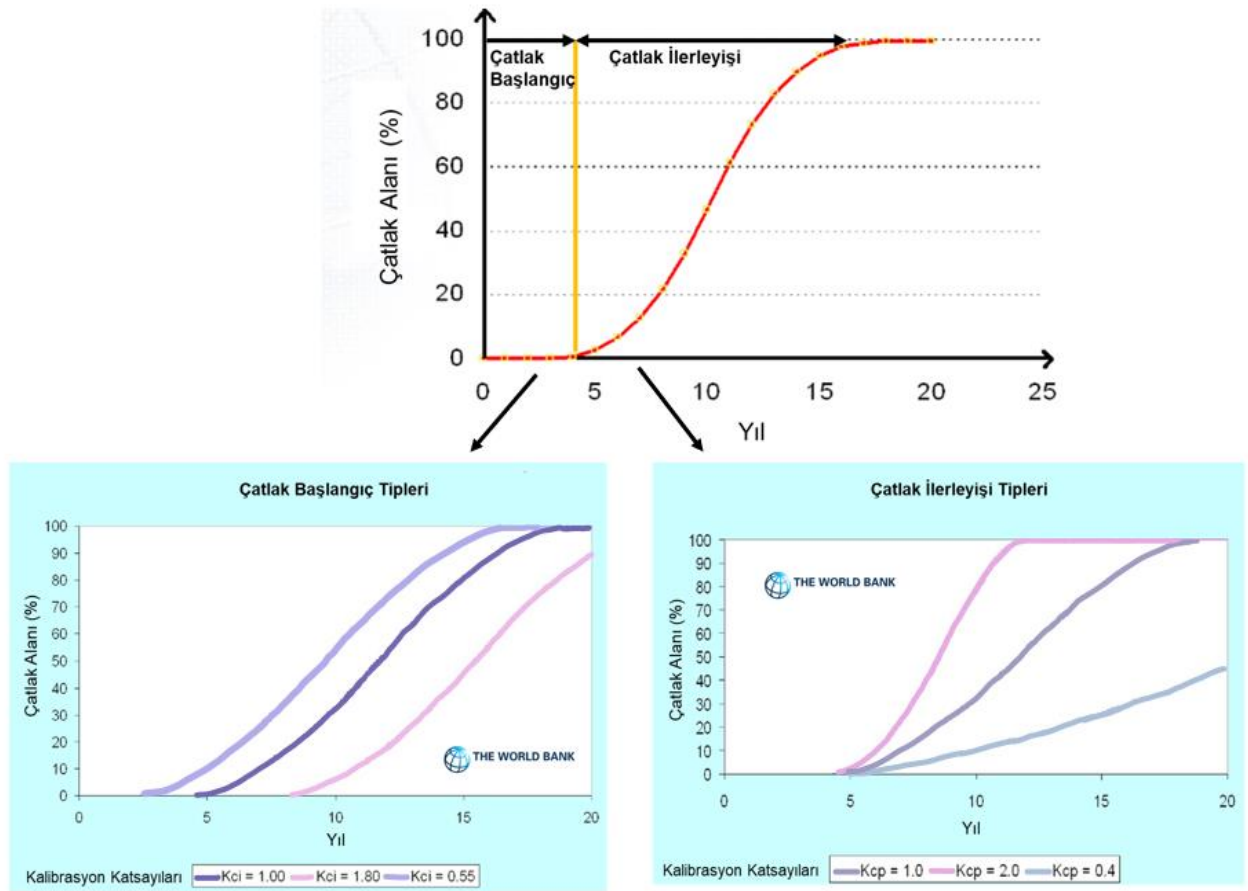
Tablo 9: HDM-4 İçerisinde Tanımlı Sıcaklık Sınıfları

Sıcaklık Sınıfı	Tanımı	Sıcaklık Aralığı (C°)
Ilıman - Dondurucu	Yazları Ilıman, Kışları Dondurucu Soğuk	- 40 ile 20
Ilıman - Karlı	Yazları Sıcak, Kışları Kar Yağışlı	- 20 ile 25
Yarı-Tropikal - Soğuk	Ortalama Gün içi Sıcaklıkları, Soğuk Kış Günleri	- 10 ile 30
Yarı-Tropikal - Çok Sıcak	Gün İçinde Çok Sıcak, Geceleri Soğuk	- 5 ile 45
Tropikal	Küçük Aralıkta Değişim Gösteren Sıcak Havalar	20 ile 35

Tablo 10: HDM-4 İçerisinde Tanımlı Nemlilik Sınıfları

Nemlilik Sınıfı	Tanımı	Thorntwaite Nemlilik İndeksi	Yıllık Yağış (mm)
Kurak	Çok Düşük Yağış ve Yüksek Buharlaştırma	- 100 ile - 61	< 300
Yarı Kurak	Düşük Yağış Seviyeleri	- 60 ile- 21	300 ile 800
Az Nemli	Ortalama Yağışlı veya Dönemsel Çok Yağışlı	- 20 ile +19	800 ile 1600
Nemli	Yıl Boyu Ortalama Yağışlı	+20 ile +100	1500 ile 3000
Çok Nemli	Çok Yağışlı ve Günler Boyu Süren Yüzey Islaklığı	> +100	> 2400

HDM-4 uygulaması, içerisinde bulunan ölçüm verilerini kullanarak kendi bozulma modellerini kalibre edebilmekte ve böylece ülke koşullarını daha iyi temsil kabiliyetine sahip olmaktadır. Örneğin, Şekil 26'da HDM-4 tipik çatlak ilerleme evreleri ile birlikte farklı çatlak başlangıç ve ilerleyiş tiplerini temsil edecek bazı kalibrasyon katsayıları açıklanmaktadır. Her bir bozulma türü için ilerleyiş eğrileri ve kullanılacak kalibrasyon katsayılarının etkileri ilgili Dünya Bankası kaynaklarında detaylıca anlatılmaktadır.

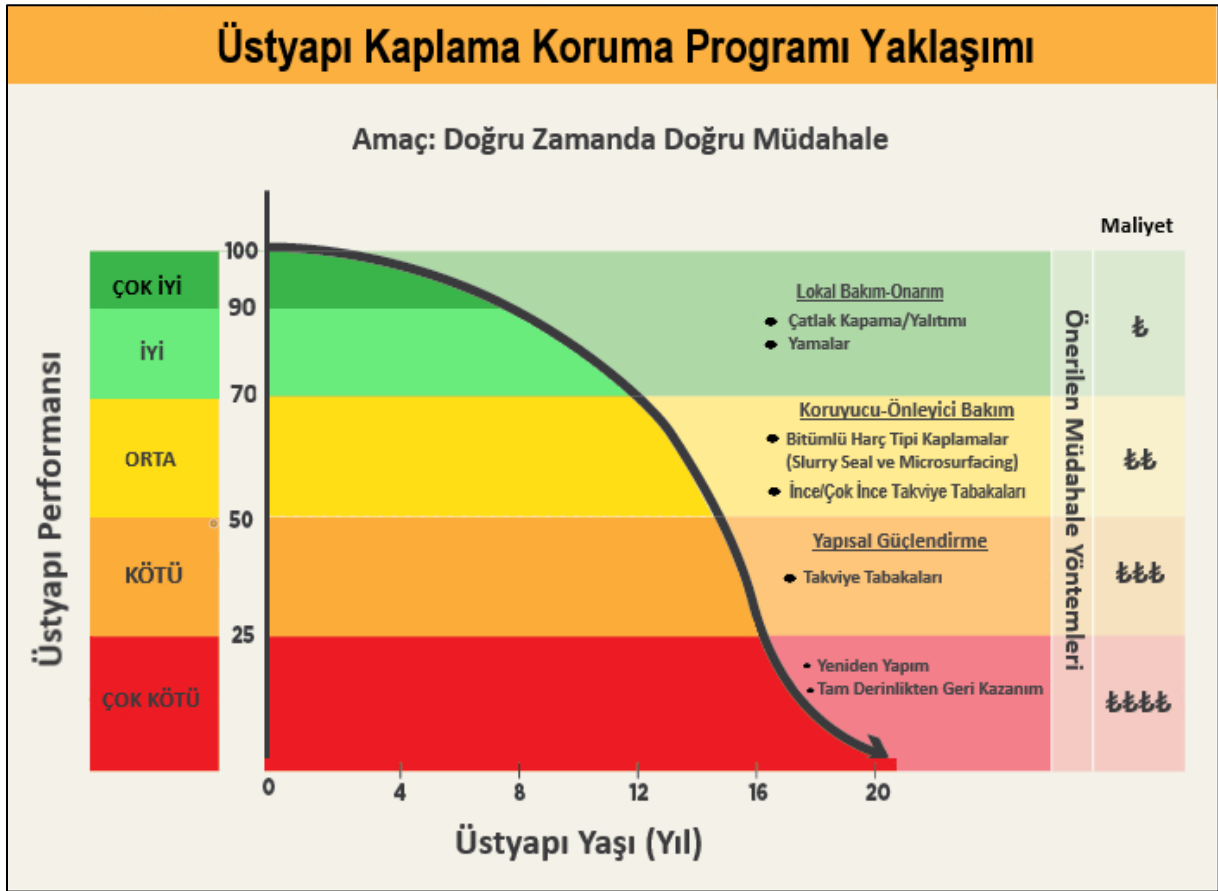


Şekil 26: HDM-4 İçerisinde Bulunan Çatlak Başlangıç ve İlerleyiş Tipleri

HDM-4 üstyapı gelecek durum tahmin modellerinin sonuçları öncelikle büyük ÜYS veri tabanına aktarılırken, İdare tarafından belirlenen minimum kabul edilebilir hizmet seviyesi sınırlarına göre ÜYS Üstyapı Kaplama Koruma Programları dahilinde değerlendirilmeye alınır.

5. ÜSTYAPI YÖNETİM SİSTEMİ (ÜYS) ÜSTYAPI KAPLAMA KORUMA PROGRAMI

Bir karayolu ağını korumak için değerlendirilebilecek uygun maliyetli stratejilerden biri üstyapı kaplama koruma programıdır. Üstyapı koruma programı, uygun maliyetli, üstyapı ömrünü uzatan, güvenliği artıran ve kullanıcı beklentilerini azami karşılayan bir dizi uygulamayı kullanarak üstyapı performansını ağ seviyesinde ve uzun vadeli olarak yükselten bir stratejiyi izler.



Şekil 27: Üstyapı Kaplama Koruma Programı Yaklaşımı Örneği

Üstyapı Yönetim Sistemleri, üstyapı kaplama koruma programını uygulayan karayolu kuruluşlarının tüm yol ağında hizmet seviyesi bakımından beklenen faydaları görmesi ve kıyas yapabilmesi için kullanılmaktadır.

ÜYS kapsamında Bölüm 3'te anlatılan yöntemlerle toplanan mevcut durum değerlendirme verileri kullanılarak kaplama için en doğru müdahale yöntemi belirlenebilir. Örneğin, toplanan üstyapı performans ölçümleri, yapısal hasar ve taşıma

kayıplarının olmadığı, ciddi bir şekilde fonksiyonel bozulmaları bulunmayan yolları belirlemekte kullanılıp, bu yollarda koruyucu-önleyici bakım uygulamalarının kullanılması gerektiği belirtilebilir. Bu sayede bu yola daha sonradan yapılacak daha maliyetli ve daha çok zaman alacak uygulamalar gerekmeden müdahale edilmiş olunacaktır (Şekil 27).

Bununla birlikte koruyucu-önleyici bakım uygulaması için bir yol üstyapısı belirlendiğinde, ilgili kesimdeki mevcut bozulmanın derecesini belirlemek, bir önleyici bakım uygulamasının mevcut sıkıntıyı düzelteceğini teyit etmek ve kaplama yüzeyinin çok daha fazla bozulmasına engel olmak için proje düzeyinde daha detaylı incelenmeler ilgili birimler tarafından yapılmalıdır.

Üstyapı Yönetim Sistemi tavsiye edilen belirli bir müdahaleyi tespit etmekten ziyade üstyapıyı başlangıçtaki ilk durumuna getirmek için ihtiyaç olan onarım seviyesine karar vermek için de kullanılabilir. Örneğin aynı üstyapı bölümü için; üstyapı performans ölçümlerine ve hedeflenen iyileştirme stratejilerine bağlı olarak lokal bakım ve önleyici onarımın yanında alternatif olarak yapısal güçlendirici takviye veya yeniden yapım gibi faaliyetler de ÜYS tarafından tavsiye edilebilir. Böyle bir durumda her bir onarım stratejisi için ayrı ayrı yaklaşık proje maliyetleri yine ÜYS veritabanına önceden tanımlanmış güncel birim maliyet bilgisi ile ilişkilendirilerek hesaplanabilir. Ayrıca her bir iyileştirme faaliyeti sonrası meydana gelmesi muhtemel ortalama bozulma tür ve dereceleri de üstyapının gelecekteki durumunu tahmin etmek için kullanılabilecektir.

5.1 ÜYS Kapsamında Bakım-Onarım, İyileştirme ve Rehabilitasyon Stratejilerinin Belirlenmesi

Kullanılan üstyapı yönetim sistemine bağlı olarak, uygulanabilir farklı iyileştirmelere karar verebilecek karar ağacı veya başka yaklaşım yöntemleri kullanılabilir. Bazı üstyapı yönetim sistemleri iyileştirme analizleri sırasında bilgisayar tarafından kolayca yorumlanabilen “eğer” ve “o zaman” tarzı önceden tanımlanmış karar kurallarını kullanırlar.

Üstyapı yönetim sistemleri, kullanılan karar yaklaşım ve yöntemlerine bakılmaksızın, iyileştirme standartları için Karayolu İdarelerinin güncel politikalarını ve uygulamalarını mümkün olabildiğince yansıtacak mantıklı tavsiyelerde bulunmalıdır.

Karayolları Genel Müdürlüğü, ülkemiz şartlarında bu iyileştirmeleri efektif bir şekilde uygulamaya yardımcı olmak adına Karayolları Esnek Üstyapılar Rehabilitasyon Tasarım Rehberini 2023 yılında güncelleyip, yayınlamıştır. Bu rehberde mevcut üstyapıdaki bozulmaların büyüklüğüne ve türüne bağlı olarak altı genel müdahale kategorisi tanımlanmıştır. Bunlar bakım, onarım, yüzey iyileştirme, takviye, BSK kaplama yenilemesi ve yeniden yapımdır. Her bir iyileştirme kategorisinin genel tanımı mevcut rehberde verilip, rehabilitasyon stratejisinin belirlenmesi açısından akış şeması da paylaşılmıştır. Bu bağlamda ülkemiz ÜYS çalışmalarında müdahale stratejisinin seçimi bu rehberdeki bozulma tipi, yoğunluğu ve şiddet derecelerini en iyi temsil edecek HDM-4 modelleri kullanılarak yapılmaktadır.

Bununla birlikte, HDM-4 uygulamasının kullanılan versiyonu içerisinde tanımlanabilen işlem kodları ile bakım-onarım ve rehabilitasyon stratejileri Tablo 11’de gösterilmiştir.

Tablo 11: HDM-4 Uygulamasında Kullanılan Kaplama Koruma Programı Stratejileri

İşlem Kodu	Bakım-Onarım-Rehabilitasyon Stratejisi
B	Harç Tipi Yüzey Tabakası (m2)
D	Mikro Freze İşlemi (yaklaşık 1 cm kalınlığında) (m2)
E	İnce Takviye Tabakası (3 cm)
F	Tekerlek İzi Alanındaki Ciddi Çatlakların Onarılması (m)
I	Çukur Tamiri
J	Mevcut Kaplamanın Gerekli Derinlikte Kazılması
K	Yeni Karışım ile Gerekli Kalınlıkta Takviye Tabakası
X	Kullanıcı Tarafından Belirlenmiş İşlem Türü
Z	Çatlak Tamiri

Sonuç olarak, ÜYS kapsamında üstyapı kaplama koruma programı ile tüm yol ağında farklı stratejiler belirlenerek; her bir yol için sağlanacak tahmini iyileşme ve beklenen servis kabiliyeti durumları hesaplanabilir, ağ genelinde daha düşük bozulma

seviyesinde olan yollar için düşük maliyetli yöntemler önerilebilir ve aynı yol ağında daha kötü durumda olan yollar belirlenip, öncelikli olarak düzeltilmesi gerçekleştirilebilir. Bu bilgiler ışığında üstyapı kaplama koruma programının faydaları en üst düzeye çıkarılabilecektir.

ÜYS kapsamında bulunan güçlü bir üstyapı kaplama koruma programından;

- Daha yüksek kullanıcı memnuniyeti,
- Daha bilinçli kararlar,
- Gelişmiş üstyapı durumu,
- Tasarruf ve yüksek güvenlik çıktıları beklenmektedir.

6. ÜYS YAŞAM DÖNGÜ MALİYET ANALİZİ (YDMA) VE YOLLARIN ÖNCELİKLENDİRİLMESİ

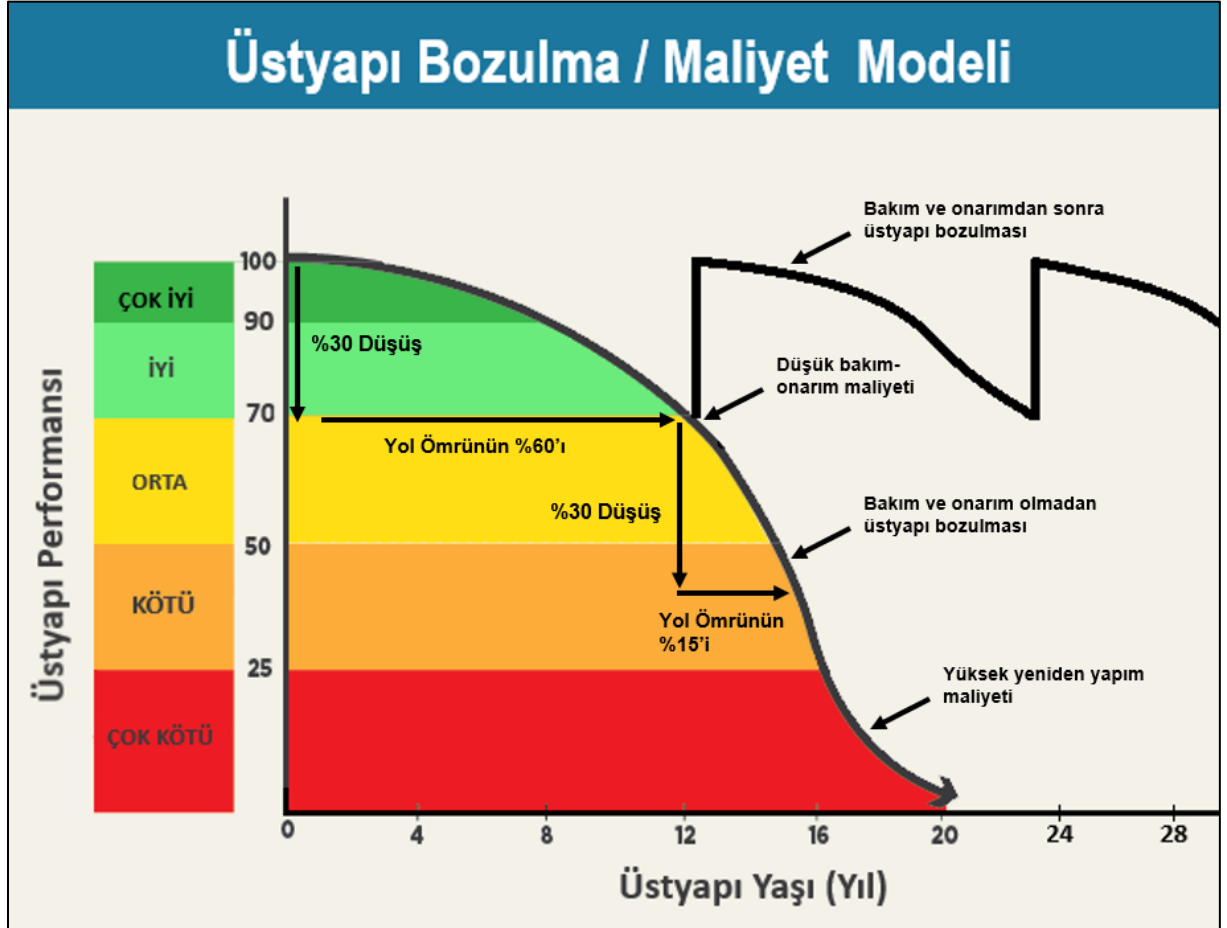
Mevcut üstyapının en uygun maliyetli bakım-onarım veya rehabilitasyon stratejisine karar vermek kolay olmayan oldukça karmaşık ve zor bir iştir. Buna karşın bir yaşam döngü maliyet analizi (YDMA), 20 ila 40 yıl arasındaki bir analiz periyodunda alternatif uygulama stratejilerini karşılaştırma olanağı sağlar. Bir YDMA'da, üstyapının ömrü boyunca beklenen muhtemel tüm masrafları tespit edilir ve paranın zamanla artış değerini gösteren ekonomik formüller yardımıyla günümüzdeki maliyeti tespit edilir. Olası bütün masraflar zaman içerisinde aynı noktaya, örneğin günümüze taşındığı için farklı performanslardaki farklı uygulama stratejileri kolaylıkla karşılaştırılabilir. İlaveten YDMA Karayolu İdaresinin aynı analizde hem yatırım masraflarını ve hem de kullanıcı masraflarını tahmin etmesine olanak sağlar. Yatırım maliyeti yapım, bakım ve onarım için Karayolu İdaresinin yapacağı masraflar olarak tanımlanırken, işletme maliyeti ise karayolu kullanıcılarının masrafları, araç kullanım giderleri, yakıt, bakım, amortisman bedelleri, kaza ve sigorta masrafları ile her bir ayrı alternatif strateji nedeniyle ortaya çıkacak gecikme masraflarını içermektedir.

Yaşam döngü maliyet analizi, bir üstyapı tasarımının veya rehabilitasyon alternatifinin ne kadar süreceğini veya ne kadar iyi performans göstereceğini belirleyen bir mühendislik aracı değildir; bunun yerine, mühendislik girdilerini kullanan bir ekonomik analiz prosedürüdür. Yaşam döngü maliyet analizinin sonuçlarının kalitesi, ekonomik girdilere ve dikkate alınan alternatiflerin beklenen ömürleri (hem ilk inşaat hem de rehabilitasyon faaliyetleri için) dahil olmak üzere mühendisin girdilerinin kalitesine bağlıdır.

6.1 Erken Müdahalenin Önemi

Yol kaplamalarının doğası gereği kullanıma açılıp belirli bir süre hizmet sağladıktan sonra bozulmalar belirmeye başlar. Yeni başlayan bozulmaların üstyapıda oluşturduğu zayıflatma etkisi bozulma artışında giderek hızlanma eğilimine neden olur. Ayrıca çatlak türü bozulmalar içerisinde giren toz ve dona maruz kalan su gibi etkilerle sürekli genişleme eğiliminde olur. Buna bağlı olarak ise yol performansının düşüş hızı da artar.

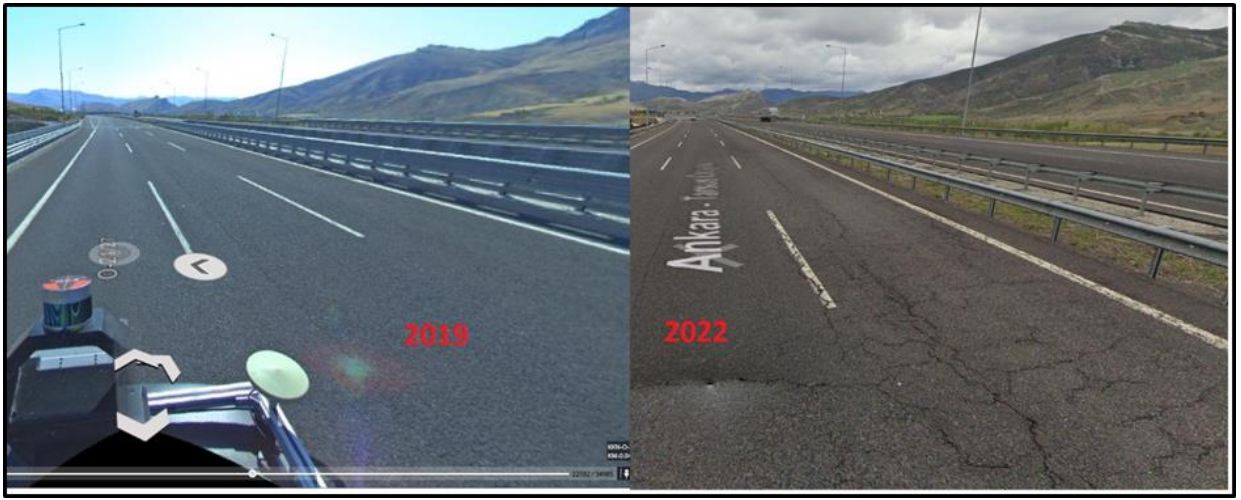
Yerinde ve doğru yöntemle yapılan bir müdahale hem bozulma artış hızını düşürecek hem de üstyapı performansını üst seviyeye taşıyacaktır. Gecikmiş bir müdahale ise vaktinde yapılan bir müdahaleye göre daha fazla maliyete neden olacaktır. Görece iyi durumdaki yolların bakımına ait maliyetler ile daha önemli onarımlar gerekene kadar bozulmasına izin verilen yolların maliyetlerinin izafi büyüklüklerinin kıyaslanması ile ilgili bir örnek Şekil 28’de gösterilmiştir.



Şekil 28: Üstyapı Bozulma/Maliyet İzafi Varsayım Modeli

Buna göre uygun maliyetli bir üstyapı bakım stratejisi, iyi ve düzgün durumdaki yolların bozulma oranını yavaşlatmak için bütçedeki daha az bir ödeneği, daha fazla ödeneğe ihtiyaç duyulan büyük iyileştirme veya yeniden yapım gerektiren yollara yönlendirmek yerine, koruyucu bakım ve onarım faaliyetlerinde en iyi ve etkin şekilde kullanır. Bu sayede İdare, karayollarındaki üstyapı bozulmalarına **erken müdahale** ederek hizmet seviyesi yüksek durumdaki yol ağının doğru zamanda bakımını yaparak daha maliyetli onarım uygulamalarına olan ihtiyacı geciktirebilmektedir.

Aksi durumunda ise, başlangıçta yalnızca yüzey tabakasında oluşan ve ucuz ve pratik bir rehabilitasyon yöntemi kullanılarak giderilebilen çatlaklara geç müdahale etmek, bu çatlakların 2-3 sene içerisinde alt tabakalara doğru ilermesine dolayısıyla bütün tabakaların kazınarak yeniden yapılmasına neden olarak oldukça büyük bir maliyet doğuracaktır. Örneğin, Şekil 29'da gösterilen resimler sırasıyla 2019 ve 2022 yıllarında Karayolları Genel Müdürlüğü aracı (solda) ve Google Street View aracı (sağda) tarafından aynı konumlardan çekilmiştir. Çatlak alanları ve oranları 2022 yılında çok daha yüksek olduğundan, bu yol kesimini şimdi tedavi etmek, doğru zamanda yapılabilecek tedaviye kıyasla çok daha maliyetli olacaktır.



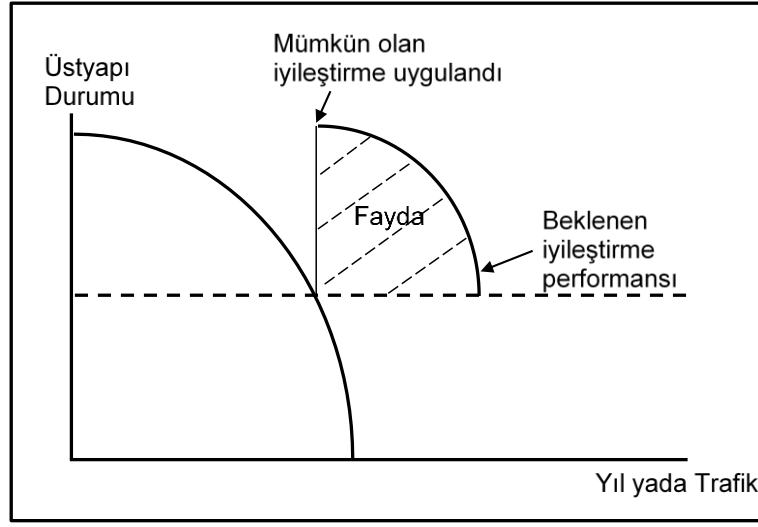
Şekil 29: Üstyapı Bozulma Hızı ve Erken Müdahalenin Önemi

6.2 Yolların Önceliklendirilmesi

Geniş bir yol ağına sahip ülkemizin yollarında üstyapı performansı değişimine bağlı bozulmalar yaşanması muhtemel olup, zamanında müdahale edilmez ise Şekil 29'daki örneğe benzer şekilde kayıplar yaşanması olasıdır. Bununla birlikte yolların rehabilitasyonu için ayrılan bütçelerin en verimli şekilde kullanılabilmesi için bu yollar arasında bir önceliklendirme yapılması gerekmektedir. Proje ihtiyaçlarına öncelik vermekte kullanılan farklı yaklaşımlar bulunmakla birlikte genellikle fayda/maliyet analizleri öne çıkmaktadır. Fayda/Maliyet tekniği ile analiz periyodundaki tüm iyileştirmeler; sağlanacak fayda ile iyileştirme maliyeti bakımından değerlendirilir.

Çoğu üstyapı yönetim sisteminde fayda; iyileştirme tarafından sağlanan ilave fayda olarak tanımlanır. Şekil 30'da gösterildiği gibi bazı karayolu idareleri üstyapı

performans eğrisinin altındaki alanı, trafik faktörü ile çarpar. Böylece yüksek trafik hacmindeki yollar aynı üstyapı durumundaki düşük trafik hacimli yollardan daha fazla “fayda” sağlamış olur. Fayda değeri fayda/maliyet oranını belirlemek için iyileştirme maliyetine bölünür. Yüksek fayda/maliyet oranı veren bir üstyapı bölümü, iyileştirme türü ve iyileştirme zamanlaması bakımından uygun maliyetli iyileştirme stratejisini gösterir. Bu analiz tipinde fayda/maliyet oranları mevcut ödeneğin en uygun maliyetli kullanımını belirlemek için kullanılır.



Şekil 30: Fayda/Maliyet Analizi Örnek Grafiği

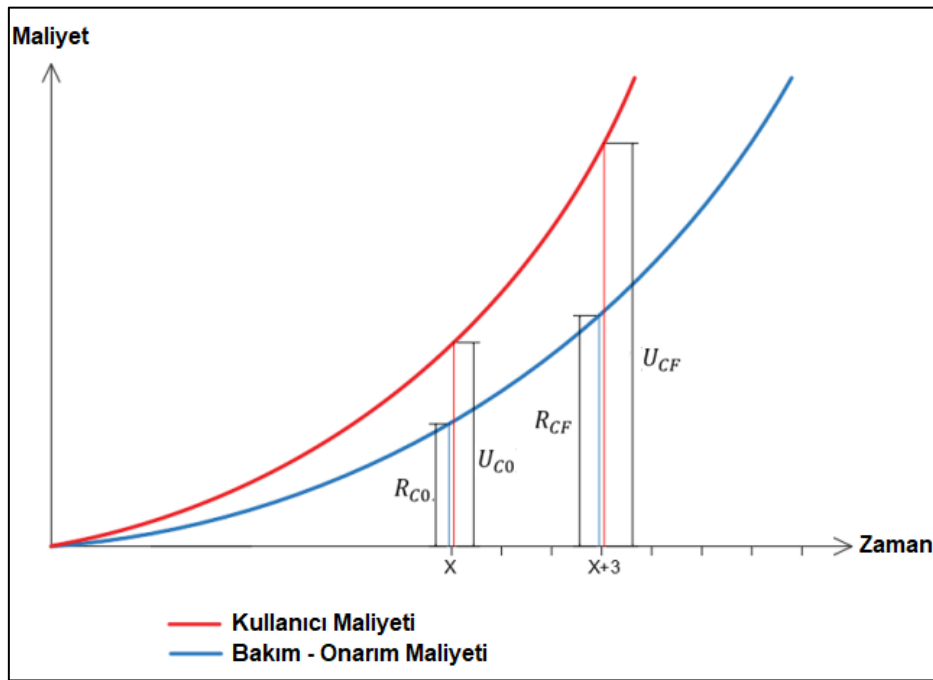
Benzer bir yaklaşımla ülkemiz karayollarında bu önceliklendirmenin sağlanabilmesi için Üstyapı Yönetim Sistemi kapsamında **Gecikme Maliyet Oranı (GMO)** yaklaşımı geliştirilmiştir.

İhtiyaç duyulan rehabilitasyon faaliyetinin zamanında yapılamayıp belirli bir süre geciktirilmesi ve bu nedenle daha yüksek maliyetli bir çözüme ihtiyaç duyulması sebebiyle oluşacak ilave maliyet “ek onarım maliyeti” olarak adlandırılır.

Yol performansına bağlı olarak hizmet kalitesinin düşük olması yolu kullanan araçların yakıt giderleri ve taşıt amortisman giderlerinin artmasına neden olmaktadır. Bunlar “ek kullanıcı maliyetleri” olarak adlandırılmaktadır. Aynı bozulma koşullarına sahip iki yoldan birisi daha yüksek trafik hacmine sahip ise bu yolun düşük hizmet seviyesinde yani yüksek bozulma miktarı ile hizmet vermesi diğer yol ile kıyaslandığında ek kullanıcı maliyetleri daha yüksek olacaktır. Yüksek trafik hacmine sahip yolların ek

kullanıcı maliyetlerinin yüksek olması Gecikme Maliyet Oranı (GMO) hesabında dikkate alınmaktadır.

Gecikme Maliyet Oranı (GMO), Bakım-Onarım faaliyetlerinin belirli bir süre (genellikle 3 yıl alınır) ertelenmesi durumunda oluşacak ek işletme (ek onarım + ek kullanıcı) maliyetlerinin, ertelenmeden önerilen zamanda yapılması halinde gerçekleşecek olan işletme (onarım + kullanıcı) maliyetlerine oranlanması ile hesaplanır. Gecikme maliyet oranı hesapları genellikle 20 yıllık yaşam döngüsü dikkate alınarak hesaplanır ve hesaplar 20 yıl boyunca her farklı homojen kesimde ihtiyaç duyulacak onarım ve kullanıcı maliyetleri üzerinden ayrı ayrı yapılır.



Şekil 31: Kullanıcı Maliyeti ve Bakım-Onarım Maliyetinin Zaman İçerisinde Değişimi

$$GMO = \frac{(R_{CF} - R_{C0}) + (U_{CF} - U_{C0})}{U_{C0} + R_{C0}}$$

Formül 2

Gecikme Maliyeti Oranı Formül 2 kullanılarak hesaplanır;

GMO= Gecikme Maliyeti Oranı

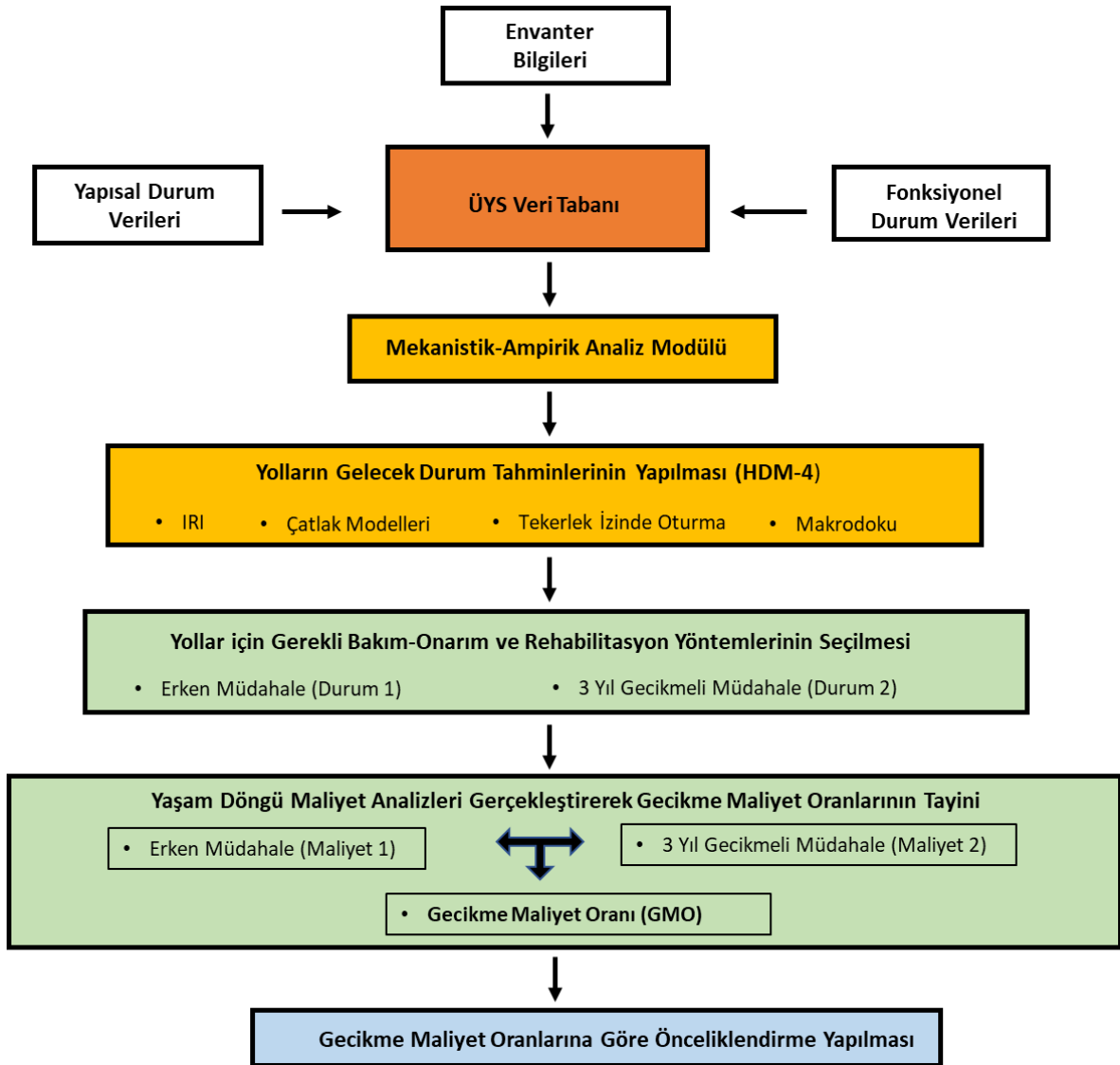
RCF= Gecikme durumunda yapılacak onarımın maliyeti

RC0= Analiz sonucu belirlenen zamanda yapılacak onarım maliyeti

UCF= Gecikme durumunda ortaya çıkacak kullanıcı maliyeti

UC0= Analiz sonucu belirlenen zamanda onarım yapılması durumunda ortaya çıkacak kullanıcı maliyeti

Üstyapı Yönetim Sistemi kapsamında yapılan yol veya ağ düzeyinde analizler ile analize dahil olan yolların tümü için Şekil 32'de gösterilen akış şeması kullanılarak Gecikme Maliyet Oranı (GMO) hesaplanmakta ve Gecikme Maliyet Oranları (GMO) baz alınarak öncelik sıralaması yapılmaktadır. Gecikme Maliyet Oranı (GMO) yüksek olan yol kesimlerinin bakım-onarım önceliğine sahip olduğu değerlendirilmektedir.



Şekil 32: ÜYS Kapsamında Gerçekleştirilen Yol ve Ağ Düzeyi Analizlerin Akış Şeması

Maliyet hesabında, analiz öncesi yapılması planlanabilecek her bir işlem için Birim Fiyat El Kitabından alınan birim maliyet verileri sisteme girilir. Uygulama tarafından, gelecek modellemesi yapılan yollar için zamanında müdahale (Durum 1) ve gecikmiş müdahale (Durum 2) şartları altında uygulanması planlanan bakım-onarım ve rehabilitasyon faaliyetlerinin maliyeti belirlenir. Analiz sonucu belirlenen zamanda yapılacak onarım maliyeti ve gecikme durumunda yapılacak onarımın maliyeti uygulama tarafından hesaplanarak not edilir ve kullanıcı maliyeti hesabına geçilir.

Her iki koşul altında oluşacak kullanıcı maliyetlerinin hesabında yolların analiz ömürleri boyunca sahip olduğu düzgünlük (IRI) değerleri analize dahil edilmektedir. Düzgünlük değeri yüksek olan yollarda kullanılan araçların trafikte daha yavaş ilerleyeceği, bu nedenle trafikte daha çok zaman kaybedip, daha çok yakıt harcamak zorunda kalacakları ve taşıt onarım maliyetlerinin artacağı bilinmektedir. Bu bilgiler ışığında, ülkemizde kullanılan ÜYS kapsamında HDM-4 Yol Kullanıcı Maliyet Modeli kullanılarak analiz edilecek her bir yol için kullanıcı maliyetleri hesaplanmaktadır.

7. ÜSTYAPI YÖNETİM SİSTEMİNİN UYGULANMASI VE KGM-ÜYS WEB PROGRAMI

Üstyapı Yönetim Sistemlerinin uygulanması, üstyapı performansını optimize etmenin ve yol ağlarının uzun ömürlü olmasını sağlamanın çok önemli bir parçasıdır. İyi yapılandırılmış bir Üstyapı Yönetim Sistemi, üstyapı koşullarının sistematik olarak değerlendirilmesini kolaylaştırır, bakım ve rehabilitasyon stratejilerine öncelik verir ve nihayetinde ulaşım sistemlerinin genel verimliliğini artırır. Genel bir ilke olarak, Üstyapı Yönetim Sistemleri uygulanacakları her ülke veya bölgeye özgü analiz ve değerlendirmelere ihtiyaç duymaktadır ve bütün ÜYS bileşenlerinin bu bağlamda özenle çalışılması gerekmektedir.

Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM), bu bağlamda, bütçeden büyük pay alan ve günümüzde de kararlı bir şekilde ilerlemeye devam eden bitümlü karışım kaplamalı yol ağının yönetimi için ÜYS Geliştirme Programını başlatmaya karar vermiştir. Geliştirmelerin ilk yıllarında ÜYS, karayolu ağı için üstyapı envanter arşivi oluşturulması amacıyla kullanılırken, 18 adet Profilometre Ölçüm Cihazının temin edilip Genel Müdürlük ve Bölge Müdürlüklerine teslim edilmesinin ardından yolların fonksiyonel durumları da etkin bir şekilde tespit edebilir hale gelmiştir. Aynı süreçte üstyapıların mevcut durum değerlendirmelerinin yapılabilmesi adına Kayma Direnci Ölçüm Cihazı, Gürültü Seviyesi Ölçüm Cihazı ve KUAB Düşen Ağırlık Deflektometresi Cihazı da ÜYS çalışmalarında kullanılmaya başlanmıştır (Şekil 33).

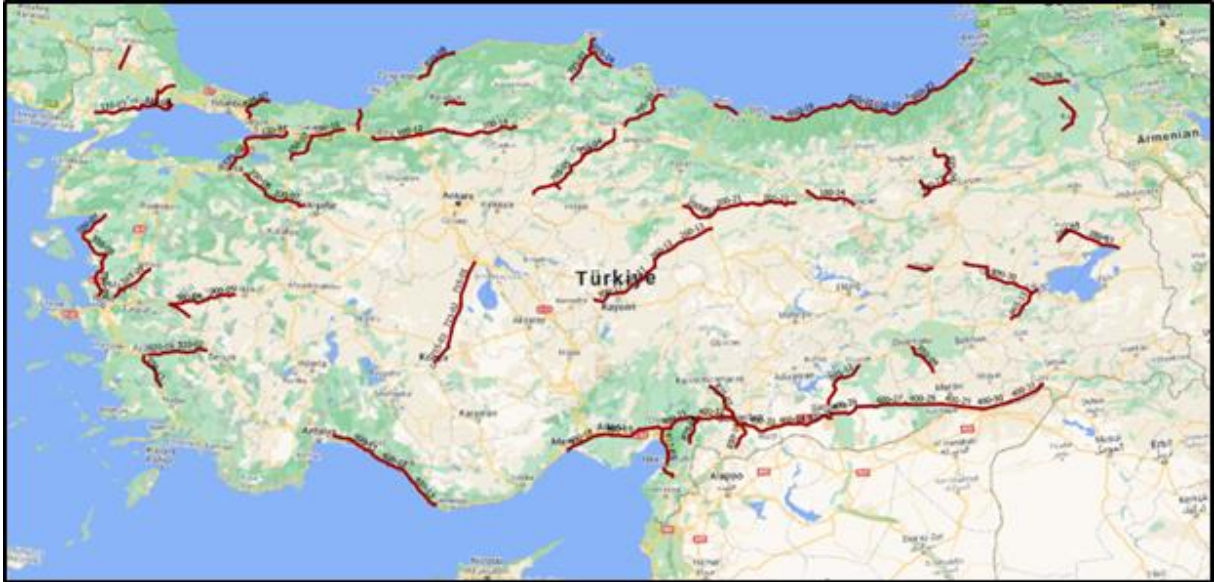


Şekil 33: ÜYS Geliştirme Çalışmalarında Kullanılan Performans Ölçüm Araçları

ÜYS-web yazılımı uygulaması, ilk olarak içerisinde bulunan 4 modülü (Envanter Veri Girişi, Profilometre Ölçümleri, Performans Analizi ve Raporlama) sayesinde öncelikli olarak performans ölçümleri tamamlanan güzergahları içeren proje grupları için ve ağ

düzeyinde analiz yapabilecek şekilde tasarlanmıştır. Bu sayede, bu güzergahlar için bakım/onarımlar, iyileştirme ve yeniden yapım ile ilgili olarak ne zaman ve ne türde çalışmalar yapılacağı konusunda fikir verilmesi ile yaşam döngü maliyet analizleri yapılarak bakım/onarımda öncelikli yol kesimlerinin belirlenmesi hedeflenmiştir.

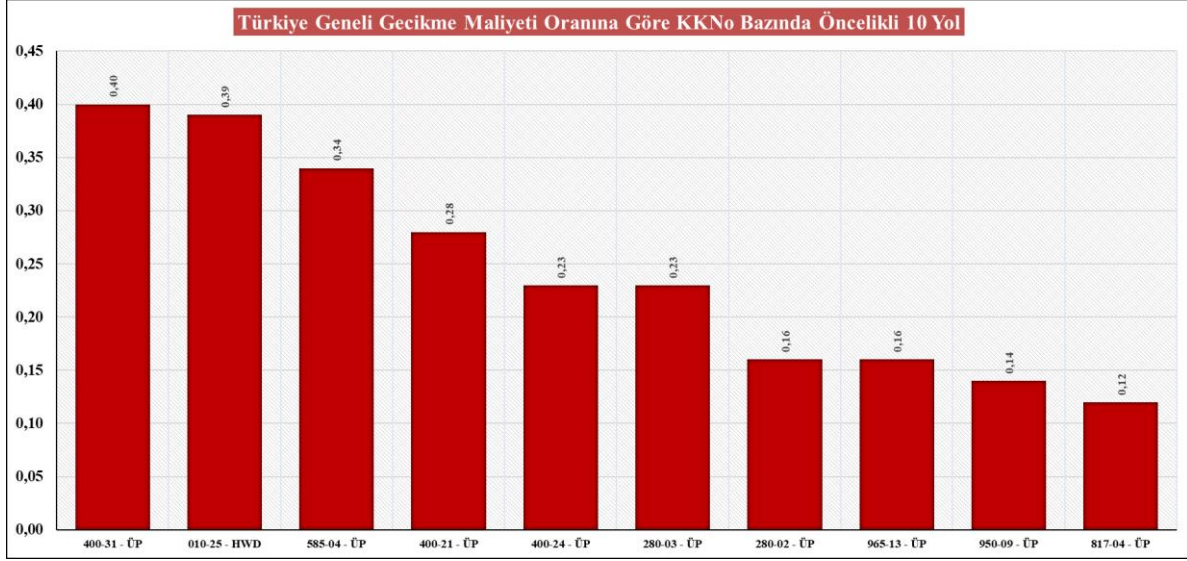
Karayolları Genel Müdürlüğü sorumluluk alanında bulunan yol ağına, ÜYS bünyesindeki web yazılımı kullanılarak, 2019 yılında 17 farklı bölgeden 4.738 km'den oluşan 98 adet yol kesimi için (Şekil 34) ağ düzeyinde kapsamlı bir analiz gerçekleştirilmiştir. ÜYS Analiz Modülü, seçilen 98 yol için ayrı ayrı çalıştırılıp, Bölüm 4'te bahsedilen HDM-4 modelleri kullanılarak bu yollarda yıllar içerisinde meydana gelecek durum bozulma/performans tahminleri yapılmıştır.



Şekil 34: Ağ Geneli Analiz Çalışmalarında Kullanılan 98 Yolun Harita Gösterimi

20 yıllık analiz süresi boyunca yolların maruz kalacağı trafik yükleri, Karayolları Genel Müdürlüğü Trafik Güvenliği Dairesi Başkanlığından güncel şekilde sistemde temin edilen trafik verileri kullanılarak hesaplanmıştır. Bu çalışma özelinde, yıllar içerisinde yaşanacak trafik artışı %5 olacak şekilde analizlere dahil edilmiştir. Analiz sırasında otoyollar için güvenilirlik yüzdesi (R%) %95 seçilirken, devlet yolları ve il yolları için güvenilirlik katsayıları sırasıyla %85 ve %70 olarak belirlenmiştir.

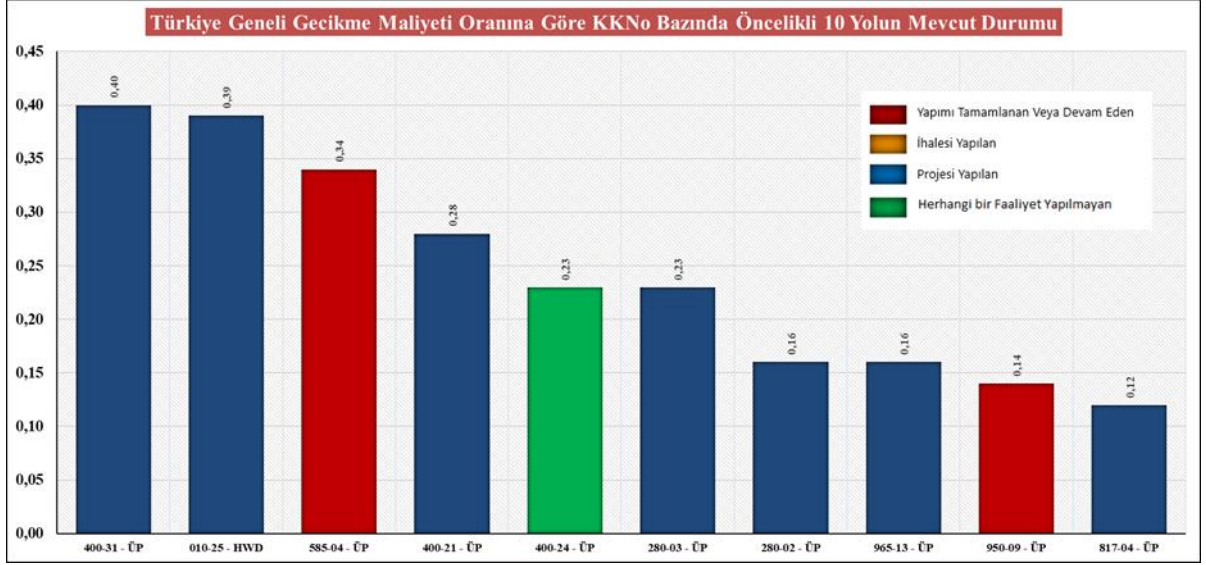
Bakım-onarım çalışmalarının önerilen zamanda gerçekleştirilememesi durumunda, 3 yıllık gecikme maliyeti yollar bazında Bölüm 6'da anlatıldığı gibi hesaplanmış ve gecikme maliyet oranına göre bakım/onarım önceliğine sahip 10 yol Şekil 35'te gösterildiği şekilde belirlenmiştir.



Şekil 35: Gecikme Maliyet Oranlarına Göre İlk 10 Sırada Bulunan Yol Kesimleri

Web tabanlı ÜYS programının analiz modülü tarafından, 2021 yılı başında yukarıda bahsedilen şekilde analizi tamamlanarak gecikme maliyet oranına (GMO) göre önceliklendirilmesi yapılmış olan yolların, aynı yılın bütçe planlamalarına dahil edilmesine önem verilmiş ve yolların bakım-onarım çalışmalarına aynı sene içerisinde başlanmıştır.

Buna göre analiz edilen 98 yolun büyük çoğunluğunun (%66+) projelendirme raporlarının yıl sonuna kadar tamamlandığı ve dörtte birinden daha fazlasının ise proje ihalesi ya da yapım çalışmaları aşamasında olduğu bilinmektedir. Gecikme Maliyet Oranına göre önceliklendirmesi yapılan öncelikli 10 yolun 2021 yılı itibarı ile mevcut takviye projelendirme raporu, ihale ve yapım çalışmaları durumları Bölge Müdürlüklerinin göndermiş oldukları verilere göre Şekil 36'da gösterilmektedir.



Şekil 36: Ağ Düzeyi Analizinde İlk 10 Sırada Yer Alan Karayolu Kesimlerinin Son Durumu (2021 Yılı İtibariyle)

7.1 KGM-ÜYS Web Yazılımı (2023 Sürümü)

Ağ düzeyinde gerçekleştirilen 98 yolun önceliklendirilmesi uygulamasından sonra, web tabanlı programın envanter verisi toplama modülünün daha kullanıcı dostu hale getirilmesi, yazılımının güncel teknolojik gelişmeleri (Görüntü Tabanlı Veri Sistemi) takip etmesi ve daha önceki sürümlerde yaşanan sorunların giderilmesi, böylece çok daha fazla yolun dahil edileceği ağ geneli çalışmaların planlanabilmesi adına mevcut ÜYS yazılımının bakım, destek ve geliştirilmesi projesine 2022 yılında başlanmıştır.

7.1.1 Envanter Girişi Arayüzü

Geliştirilen envanter verisi yükleme arayüzü kullanılarak, Karayolları Genel Müdürlüğü Bölge Müdürlüklerinin üstyapı mühendisleri tarafından yollara ait şerit bilgileri (şerit sayısı, şerit ve banket genişliği), yolların geometrik sınıfları, yol kesimleri, bitümlü sıcak karışım kaplamalı kesimlere ait tabakaların (aşınma, binder, bitümlü temel, temel ve attemel) detay bilgileri girilebilmektedir. Bununla birlikte, aynı arayüz kullanılarak yol üstyapı tabakalarının inşaatında kullanılan taş ocaklarının bilgileri de girilebilmekte ve yollar için gerekli bitüm sınıfı hesaplamaları da gerçekleştirilebilmektedir.

Şerit Bilgileri

Şeritler

Kesimler

Tabakalar

Düzenle

Sil

Oluştur

Şekil 37: Envanter Girişi Arayüzü- Şerit Bilgilerinin Görüntüsü ve Detayları

Yolların geometrik sınıfı, tek yön şerit sayısı, tek şerit ve toplam banket genişliği ile birlikte istikamet bilgileri kullanıcılar tarafından girilmektedir. Kullanıcıların görsel değişiklikleri rahat fark etmesi açısından, şerit sayıları Şekil 37’de gösterildiği gibi görselleştirilmiştir. Şerit bilgilerinde yıllar içerisinde yaşanabilecek değişiklikler, düzenle seçeneği (Şekil 38) yardımıyla yeniden düzenlenebilecek şekilde tasarlanmıştır.

Yol Envanter Düzenle

Başlangıç (m)

0

Bitiş (m) (Maks: 55,260 M)

12700

Geometrik Sınıf

Bölünmüş Yol

Bölünmüş Yol

Tek Yol

2

Tek Şerit Genişliği (m)

3.5

Toplam Banket Genişliği (m)

2.5

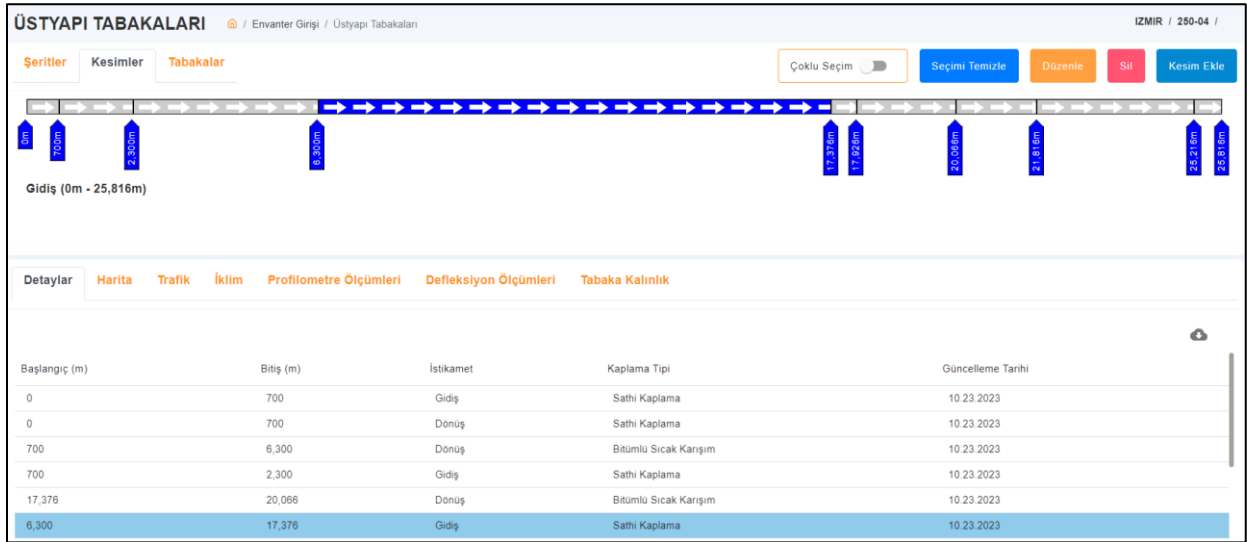
Kaydet

İptal

Şekil 38: Envanter Girişi- Şerit Bilgileri Düzenleme Ekranı

Kesim Bilgileri

Envanter verilerinin toplanmasının ve takibinin daha kolay olması açısından, verilerin KKNo'lar bazında toplanması gerektiği kararına varılırken, aynı KKNo içerisinde yolların farklı zaman diliminde yapılmış bitümlü sıcak karışım kaplama kesimleri olabileceği gibi, halen sathi kaplama düzeyinde kullanılan yollar da bulunabilmektedir. Bu gibi değişikliklerin gösterilmesi adına bu KKNo'ların farklı kesimler şeklinde veri girişi sağlanmaktadır.



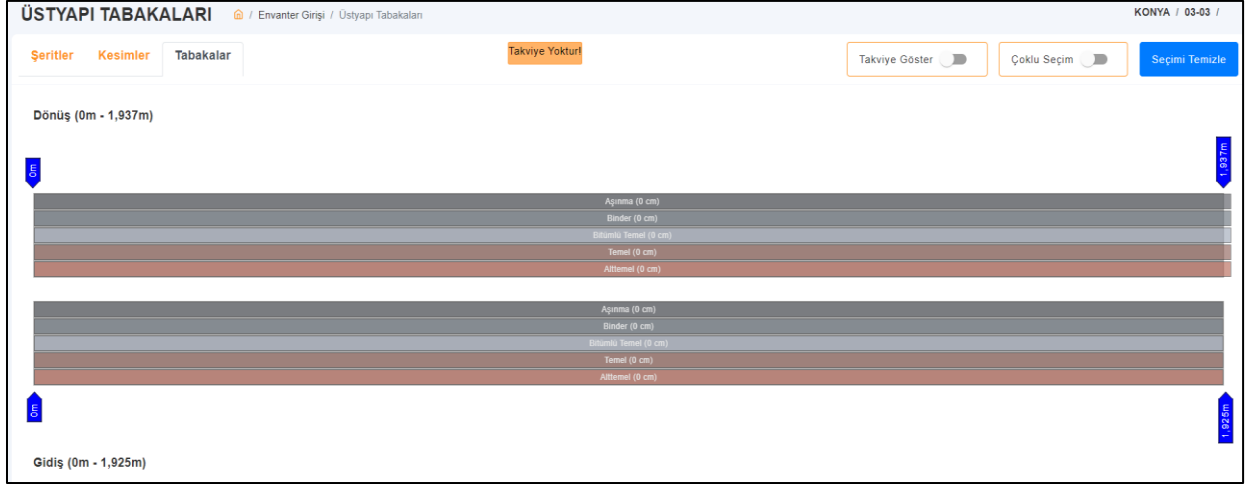
Şekil 39: Envanter Veri Girişi- Kesim Bilgileri ve Detayları

Kesimlerin başlangıç ve bitiş metreleri, istikametleri ve kaplama tiplerinin bu arayüz kullanılarak girilmesi sağlanmaktadır. Kesimlerde yaşanabilecek değişiklikler aynı şeritlerde olduğu gibi düzenle özelliği kullanılarak anlık olarak sisteme yansıtılabilecektir (Şekil 40).

The screenshot shows the 'Kesim Güncelle' (Update Section) form. It has a title bar with a close button. The form contains three input fields: 'Başlangıç Metre' (Start Meter) with the value 6300, 'Bitiş Metre' (End Meter) with the value 17376, and 'Kaplama Tipi' (Paving Type) with a dropdown menu. The dropdown menu is open, showing four options: 'Sathi Kaplama', 'Sathi Kaplama' (highlighted), 'Beton Kaplama', and 'Bitümlü Sıcak Karışım'.

Şekil 40: Envanter Veri Girişi- Kesim Bilgileri Düzenleme Ekranı

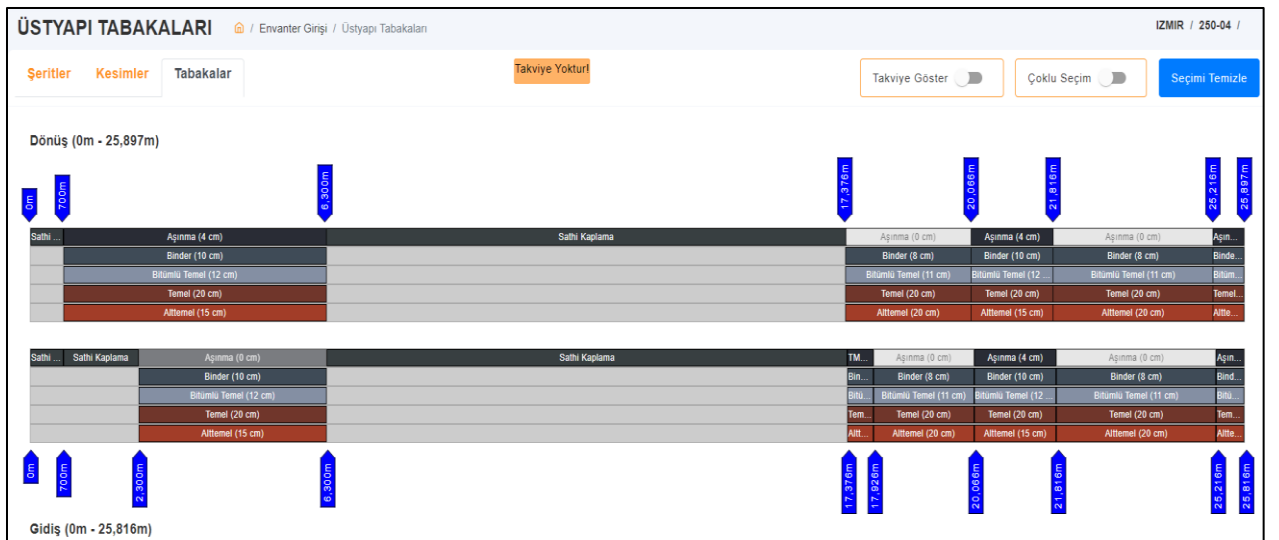
Kesimleri girilen bitümlü sıcak karışım kaplamalı yolların, kesimlere ait tabaka bilgilerinin düzenli bir şekilde girilebilmesi ve veri girişlerinin yüzdesel takiplerinin gerçekleştirilebilmesi adına tabakalar (0 cm) veri girilmemiş şekilde otomatik getirilmektedir (Şekil 41).



Şekil 41: Envanter Veri Girişi- Tabaka Bilgileri (Kesimlerden Otomatik Oluşturulmuş Hali)

Tabaka Bilgileri

Bu aşamada sathi kaplamalı seçilen kesimler ve beton kaplama seçilen kesimlerden, analize dahil edilmeyeceği için istisnai olarak diğer tabaka bilgileri istenmemektedir (Şekil 42).



Şekil 42: Envanter Veri Girişi- Tabaka Bilgileri

Bitümlü sıcak karışım tabakalarından aşınma, binder ve bitümlü temel için her bir tabaka için ayrı ayrı olmak üzere kalınlık, bitüm sınıfı, bitüm yüzdesi, yapım yılı ve kullanılan ocak bilgisi istenilmektedir (Şekil 43). Bu aşamada seçilebilecek bitüm sınıfları B 50/70, B 70/100, Batman 50/70, Batman 70/100 veya Modifiye Bitüm olarak belirlenmiştir.

Şekil 43: Envanter Veri Girişi- Bitümlü Tabaka (Aşınma) Bilgileri Düzenleme Ekranı

Şekil 44: Envanter Veri Girişi- Bitümlü Tabaka (B.Temel) Bilgileri Düzenleme Ekranı

Karayolu yol ağımızda Taş Mastik Asfalt (TMA) kullanımı günden güne artarken, bu şekilde yapılan yollarda Aşınma bilgileri düzenleme ekranında bulunan TMA butonu aktif hale getirilirse, o tabaka otomatik olarak TMA şeklinde kaydedilmektedir.

Otomatik olarak getirilen 5 üstyapı tabakasından herhangi biri, mevsimsel veya başka sebepler ile yapılamamış veya yok ise bu kesimlerde tabaka yoktur seçeneği

Tabaka Düzenle

Tabaka Yoktur

Tabaka türü

Aşınma

Tabaka kalınlığı (cm)

0

TMA

Bitüm Sınıfı

Bitüm yüzdesi

Yapım Yılı

Ocak

+

Dizayn Raporu Tarihi / Numarası

1970-01-01 /

Tabaka Yoktur

Kaydet

İptal

Veri girişlerinde kolaylık sağlamak açısından, aynı tabaka tiplerine ait bilgilerinin beraber girilebilmesi çoklu seçim seçeneği aktif hale getirilmesinde halinde yapılabilmektedir (Şekil 46).

İZMİR / 250-04 /

Takviye Göster
☐

Çoklu Seçim
☒

Seçimi Temizle

Düzenle

	Aşınma (0 cm)	Aşınma (4 cm)	Aşınma (0 cm)	Aşın...
	Binder (8 cm)	Binder (10 cm)	Binder (8 cm)	Binde...
	Bitümlü Temel (11 cm)	Bitümlü Temel (12 ...)	Bitümlü Temel (11 cm)	Bitüm...
	Temel (20 cm)	Temel (20 cm)	Temel (20 cm)	Temel...
	Alttemel (20 cm)	Alttemel (15 cm)	Alttemel (20 cm)	Altte...

TM...	Aşınma (0 cm)	Aşınma (4 cm)	Aşınma (0 cm)	Aşın...
Bin...	Binder (8 cm)	Binder (10 cm)	Binder (8 cm)	Bind...
Bitü...	Bitümlü Temel (11 cm)	Bitümlü Temel (12 ...)	Bitümlü Temel (11 cm)	Bitü...
Tem...	Temel (20 cm)	Temel (20 cm)	Temel (20 cm)	Tem...
Altt...	Alttemel (20 cm)	Alttemel (15 cm)	Alttemel (20 cm)	Altte...

17.376m

17.926m

20.066m

20.066m

21.816m

21.816m

25.216m

25.816m

58

Temel ve Alttemel tabakaları için bitümlü tabakalara göre daha az veri istenmekle birlikte, bu tabakaların yapım yılları, kalınlıkları ve kullanılan taş ocağı bilgileri girilmektedir (Şekil 47).

Şekil 47: Envanter Veri Girişi- Temel/Alttemel Tabaka Bilgileri Düzenleme Ekranı

Ocak Bilgileri

Envanter veri girişi arayüzünde tabakalarda istenen ocak bilgilerinin daha rahat girilebilmesi adına Ocak Girişi modülü de eklenmiştir. Şekil 48’de gösterildiği gibi ocaklara ait bölge, şehir, isim ve taş cinsi bilgileri istenmektedir. Bu aşamada girilen ocak bilgileri veri tabanına kaydedilerek daha sonra düzenlenecek tabakalarda seçilebilecek şekilde saklanmaktadır.

Şekil 48: Envanter Veri Girişi- Taş Ocağı Bilgileri Düzenleme Ekranı

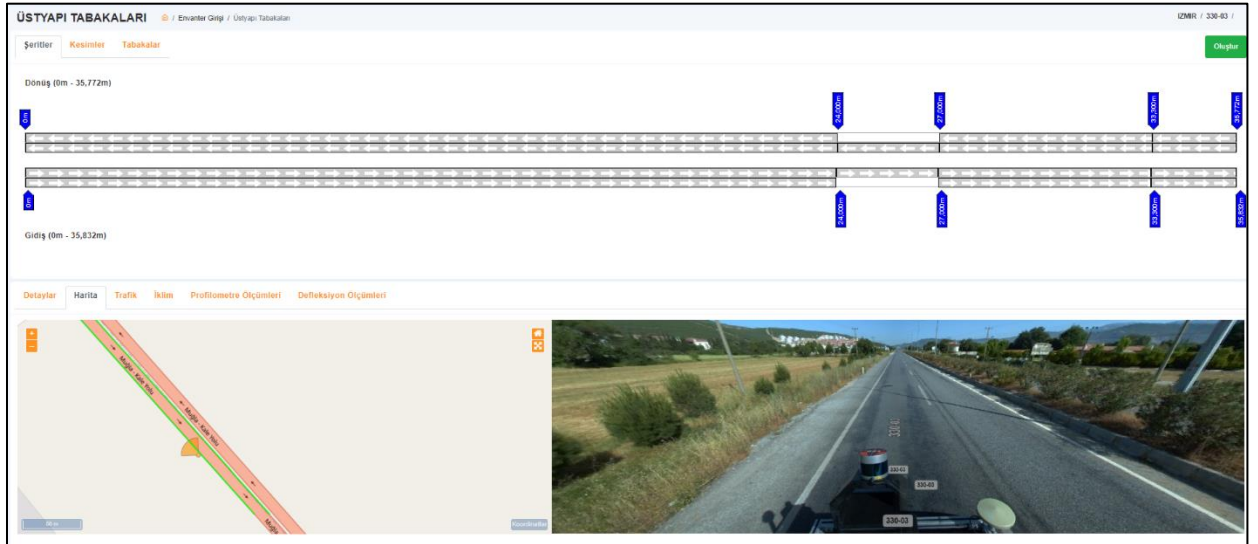
Örneğin, Karayolları 6.Bölge (Kayseri) için girilmiş olan tüm ocak bilgilerinin listesi Şekil 49'daki gibi görülebilmektedir.

OCAK GİRİŞİ			
OCAK LİSTESİ 6 \ KAYSERİ			
Bölge Adı	İl	Ad	Taş Cinsi
KAYSERİ	Kayseri	Himmetdede	Kalker (Kireç Taşı)
KAYSERİ	Nevşehir	Çalış	Kalker (Kireç Taşı)
KAYSERİ	Kayseri	Ağabey	Kalker (Kireç Taşı)
KAYSERİ	Kırşehir	İnanç	Kalker (Kireç Taşı)
KAYSERİ	Kayseri	Senirköy	Kalker (Kireç Taşı)
KAYSERİ	Kayseri	Tuzhisar	Bazalt
KAYSERİ	Kayseri	Molu	Bazalt
KAYSERİ	Kırşehir	Kızılcaköy	Kalker (Kireç Taşı)
KAYSERİ	Kayseri	Kamber	Kalker (Kireç Taşı)
KAYSERİ	Kayseri	Sergen Kayası	Kalker (Kireç Taşı)

Şekil 49: Envanter Veri Girişi- Taş Ocağı Listesi

Görüntü Tabanlı Bilgi Yönetimi Sistemi (GTBYS) Koordinasyonu

Envanter veri girişi arayüzü kurum Coğrafi Bilgi Sistemleri altyapısına ait panoramik görüntüler ile koordine edilerek, girilen verilen doğruluğunun kontrolü ve yola ait bilgilerin netleştirilmesi sağlanmıştır (Şekil 50).



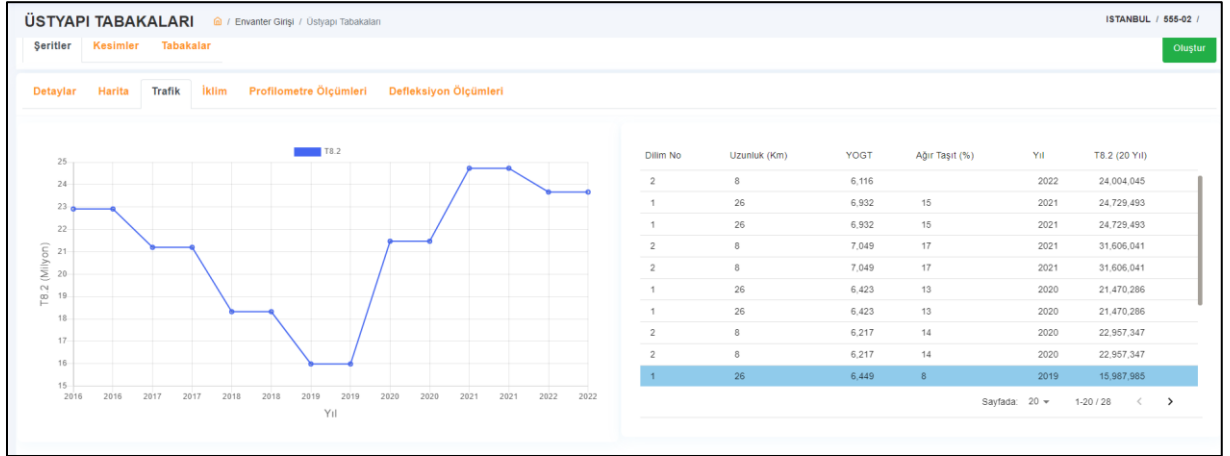
Şekil 50: ÜYS Web Yazılımı ve GTBYS Koordinasyonu

Trafik Verileri Bilgi Ekranı

Yol ağıımızda bulunun farklı KKNö'lara sahip yollara ait trafik ve iklim verileri, ilgili birimlerden (KGM Trafik Güvenliği Daire Başkanlığı ve Meteoroloji Genel Müdürlüğü)

temin edilerek ÜYS sistemine eklenmiş olup, envanter bilgileri detaylarında gözlemlenebilmektedir.

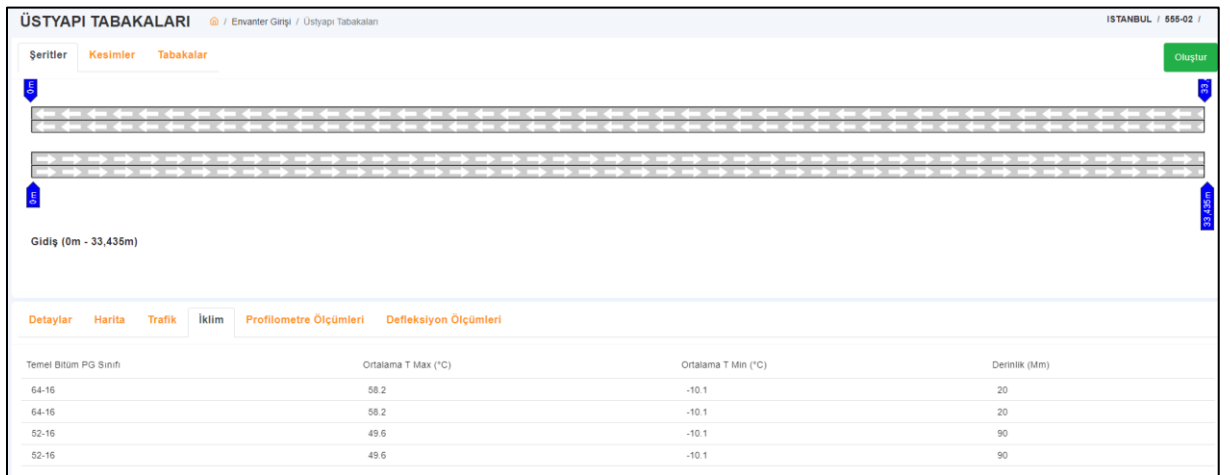
Trafik verileri; KKNo üzerindeki farklı dilimlere ait Yıllık Ortalama Günlük Trafik (YOGT), Ağır Taşıt (Kamyon, Çekici, Tır, Römork) yüzdesi ve yolun 20 yıl süresince maruz kalacağı 8.2 tonluk eşdeğer standart dingil yükü tekerrür sayısı (T8,2) değerlerini göstermektedir. Aynı dilim için yıllar içindeki trafik verisi değişimi de aynı şekilde takip edilebilmektedir (Şekil 51).



Şekil 51: Envanter Veri Girişi – Trafik Verileri Bilgi Ekranı

İklim Verileri Bilgi Ekranı

Üstyapıların envanter veri girişi arayüzünde gözlemlenebilen iklim verileri; T20max, T20min, T90max, T90min ve Temel Bitüm PG Sınıfı olup örnek olarak Şekil 52’de gösterilmektedir.



Şekil 52: Envanter Veri Girişi – İklim Verileri Bilgi Ekranı

Bitüm Sınıfı Hesaplama

Bununla birlikte envanter girişi arayüzüne, bitüm sınıfı hesaplama sekmesi eklenmiş olup, bu hesaplama kullanılarak KGM-Bitüm Sınıfı Seçim Haritası şartları altında yol için gerekli olacak bitüm sınıfları da belirlenebilmektedir (Şekil 53).

BİTÜM SINIFI HESAPLA / Envanter Girişi / Bitüm Sınıfı Hesapla

ANKARA / 100-12 /

Temel PG Sınıfı

58-22

Yol Kesimi

Aliyman

Proje Trafik (T8.2 Milyon)

100

Tort(a)us.tem) - Tort(haz.ey)

3.97

Yüksek Sıcaklık Performans Sınıfı, °C

	58	64	70	76	82
16	B 50/70	Batman Rafinerisi B 50/70 veya PMB	Polimer Modifiye Bitüm (PMB)		
22	B 70/100	Batman Rafinerisi B 70/100 veya PMB 64-28	Polimer Modifiye Bitüm (PMB)		
28	B 70/100	Batman Rafinerisi B 70/100 veya PMB 64-28	Polimer Modifiye Bitüm (PMB)		

Gerekli Pg Sınıfı:70-22

Kullanılacak Bitüm:Batman Rafinerisi B 50/70 veya PMB

Hesapla

BİTÜM SINIFI HESAPLA / Envanter Girişi / Bitüm Sınıfı Hesapla

ANKARA / 100-12 /

Temel PG Sınıfı

58-22

Yol Kesimi

Kavşak

Proje Trafik (T8.2 Milyon)

100

Tort(a)us.tem) - Tort(haz.ey)

3.97

Yüksek Sıcaklık Performans Sınıfı, °C

	58	64	70	76	82
16	B 50/70	Batman Rafinerisi B 50/70 veya PMB	Polimer Modifiye Bitüm (PMB)		
22	B 70/100	Batman Rafinerisi B 70/100 veya PMB 64-28	Polimer Modifiye Bitüm (PMB)		
28	B 70/100	Batman Rafinerisi B 70/100 veya PMB 64-28	Polimer Modifiye Bitüm (PMB)		

Gerekli Pg Sınıfı:70-22

Kullanılacak Bitüm:Batman Rafinerisi B 50/70 veya PMB

Hesapla

BİTÜM SINIFI HESAPLA / Envanter Girişi / Bitüm Sınıfı Hesapla

ANKARA / 100-12 /

Temel PG Sınıfı

58-22

Yol Kesimi

Rampa s ≥ %6, L ≥ 500m

Proje Trafik (T8.2 Milyon)

100

Tort(a)us.tem) - Tort(haz.ey)

3.97

Yüksek Sıcaklık Performans Sınıfı, °C

	58	64	70	76	82
16	B 50/70	Batman Rafinerisi B 50/70 veya PMB	Polimer Modifiye Bitüm (PMB)		
22	B 70/100	Batman Rafinerisi B 70/100 veya PMB 64-28	Polimer Modifiye Bitüm (PMB)		
28	B 70/100	Batman Rafinerisi B 70/100 veya PMB 64-28	Polimer Modifiye Bitüm (PMB)		

Gerekli Pg Sınıfı:76-22

Kullanılacak Bitüm:Polimer Modifiye Bitüm (PMB)

Hesapla

Şekil 53: Envanter Veri Girişi – Bitüm Sınıfı Hesaplama Ekranı

7.1.2 Performans Gözlemi

Karayolları Genel Müdürlüğü bünyesinde Bölüm 3.6'da anlatılan şekilde gerçekleştirilen üstyapı performans gözlemlerinin ÜYS veri tabanına aktarılması, hem daha sonra yapılacak ağ geneli analizlerde kullanılabilmesi adına önemli bir veri girdisi olup hem de yıllar içerisinde proje düzeyinde yapılacak çalışmalara ışık tutması adına çok kritik öneme sahiptir.

Gidiş

SIVAS / 856-05 /

Üst yapı Performans Gözlemi

EkleDüzenleSil

AdYıl

16 Bölge Performans Değerlendirmesi2023

Üst yapı Puanları

Üst yapı Durum Ölçeği EkleÜst yapı Yapısal Puan Ekle

Başlangıç (m)Bitiş (m)Üst yapı Yapısal Puan

01900095

190004800090

480006665160

Şekil 54: Performans Gözlemi- Gidiş İstikameti Örnek Puanlama

Bu bağlamda Bölge Müdürlüklerindeki ilgili mühendis kadrosu, her bir yolun gidiş/dönüş istikametlerinin farklı kesimleri için Üstyapı Durum Ölçeği veya Üstyapı Yapısal Puanı Hesaplama Tablosu (Bölüm 3.6-Tablo 6 ve Tablo 7) kullanarak hesaplamalarını gerçekleştirip sisteme aktarmaktadır. Üstyapı Durum Ölçeği parametrelerinden kaplama yaşı, kaplamanın girilen mevcut envanter verilerinden otomatik olarak çekilmekte olup, kullanıcıların mevcut soruları yanıtlamasıyla birlikte Üstyapı Yapısal Puanı otomatik olarak elde edilmektedir (Şekil 55).

Üstyapı Durum Ölçeği	
Yoldaki Bozulma Yoğunluğu Nedir?	
Az	
Yolda Timsah Sırtı Bozulma Mevcut Mu?	
Hayır	
Kaplama Yaşı	
3	
Üstyapı Yapısal Puanı	
90	
Kaydet	İptal

Şekil 55: Performans Gözlemi- Üstyapı Durum Ölçeği

7.1.3 Ölçüm Girişi

ÜYS Web yazılımı içerisinde, karayolu yol ağımızda bulunan yollara ait Düzgünsüzlük (IRI), Sürtünme ve Düşen Ağırlık Deflektometresi (FWD) ölçümlerinin kolaylıkla sisteme aktarılabilmesini, bu değerlerin büyük veri tabanında kaydedilmesini ve sonradan analizlerde ve değerlendirmelerde kullanılmasını sağlamak adına Ölçüm Girişi modülü geliştirilmiştir. Şekil 56 bu modülün giriş ekranını göstermektedir.



Şekil 56: Ölçüm Girişi- Giriş Ekranı

Yolların düzgünsüzlük ölçümleri, Karayolu Bölge Müdürlüklerinde bulunan Profilometre araçları kullanılarak, her iki istikamet için ayrı ayrı ölçülmektedir. Ölçüm dosyaları (.rsp) uzantılı olup, ölçüm sonuçları Uluslararası Düzgünsüzlük İndeksi (IRI) cinsinden elde edilmektedir (Şekil 57 ve Şekil 58).

Şekil 57: Ölçüm Girişi- Düzgünsüzlük Ölçümü Dosya Yükleme Ekranı

DÜZGÜNSÜZLÜK (RSP)

1

Dosya Seç

2

Dosya Yükle

RSP Ölçüm
Ön İzleme

3

IRI Analizi

5

Sonuç

ERZURUM / 260-21 / DÖNÜŞ

Analizi Yapılmış IRI Listesi

Ölçüm Grafiği

Harita

Başlangıç (m)	Bitiş (m)	Sol Tekerlek Yolu	IRI Merkez Çizgisi	Sağ Tekerlek Yolu	İstikamet
0.24	0.26	1.76	1.47	2.02	Dönüş
0.26	0.28	1.97	1.74	1.37	Dönüş
0.28	0.30	1.97	1.74	1.75	Dönüş
0.30	0.32	2.34	2.24	2.31	Dönüş
0.32	0.34	1.65	1.14	1.03	Dönüş
0.34	0.36	2.00	1.33	0.98	Dönüş
0.36	0.38	1.65	1.45	1.51	Dönüş
0.38	0.40	1.78	1.54	1.55	Dönüş
0.40	0.42	1.60	1.79	2.27	Dönüş
0.42	0.44	1.64	1.24	1.43	Dönüş
0.44	0.46	1.59	1.40	1.72	Dönüş
0.46	0.48	1.17	1.06	1.08	Dönüş
0.48	0.50	1.57	1.41	1.45	Dönüş

Şekil 58: Ölçüm Girişi- Düzgünlük Dosya Yükleme Ekranı Sonuç

Yolların bir diğer önemli fonksiyonel verisi, yol kayma güvenliğini test eden sürtünme direnci ölçümleridir. Genel Müdürlük bünyesinde bulunan Sürtünme Direnci Ölçüm cihazı kullanılarak gerçekleştirilen bu ölçümler (.sks) uzantılı dosyalara kaydedilmektedir. Bu dosyalar ÜYS web yazılımında kolayca yüklenip, analizler öncesi veri tabanına aktarılmaktadır (Şekil 59).

SÜRTÜNME (SKS) / Ölçümler / Sürtünme (SKS)			ANKARA / 0-434 / gidiş			
1 Dosya Seç		2 Dosya Yükle		3 SKS Ölçüm		
Ölçüm Dosyası Yükleme						
Açıklama						
Bir veya birden fazla parçalı rsp dosyalarını sürükleyerek yükleme işlemi gerçekleştirilebilir.						
				Yükle İleri		

Şekil 59: Ölçüm Girişi- Sürtünme Ölçümü Dosya Yükleme Ekranı

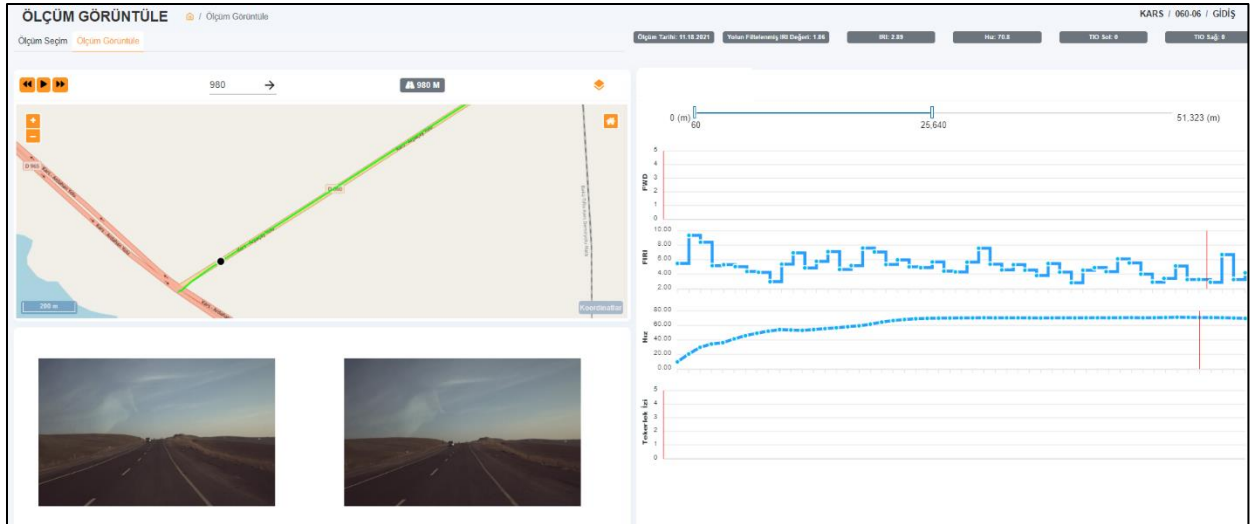
Düşen Ağırlık Deflektometresi (FWD) kullanılarak gerçekleştirilen yapısal performans ölçümleri, üstyapının gelecek modellemelerinde kullanılan önemli bir veri olup diğer ölçümlere benzer bir şekilde yüklenebilmektedir (Şekil 60).

Şekil 60: Ölçüm Girişi- Yapısal Performans Ölçümü Dosya Yükleme Ekranı

7.1.4 Ölçüm Görüntüle

Düzgünsüzlük (IRI), Sürtünme ve/veya Düşen Ağırlık Deflektometresi ölçüm girişleri tamamlanan yolların durumlarının incelenmesi adına ölçüm gösterimi modülü geliştirilmiştir.

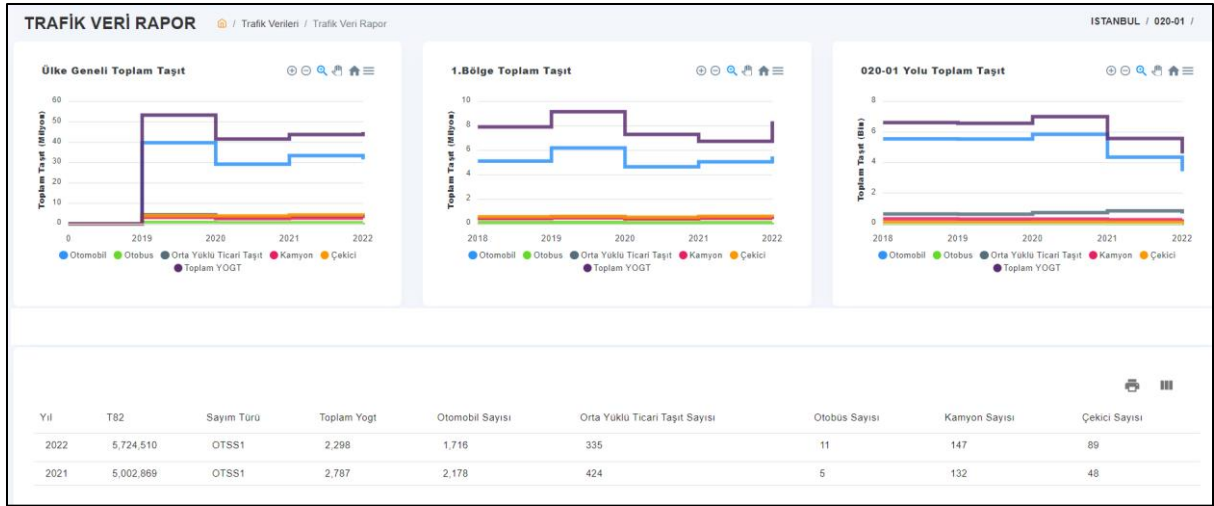
Kullanıcı, yol üzerinde ilerleyerek ölçülen IRI, sürtünme, tekerlek izinde oturma değerlerini okuyup, yolun ölçüm sırasında çekilen görüntüleriyle birlikte inceleyebilmektedir (Şekil 61).



Şekil 61: Ölçüm Görüntüle- Görüntüleme Ekranı

7.1.5 Trafik Verileri

ÜYS web yazılımı içerisinde, karayolu yol ağımızdaki otoyol, il ve devlet yollarına ait trafik verileri yol, Bölge Müdürlüğü ve Ülke Geneli olarak ayrı ayrı incelenebilmektedir. Bu bilgiler, kullanıcılar ve İdare'ye ilerde alınabilecek kararlar konusunda bilgilendirici niteliktedir (Şekil 62).



Şekil 62: Trafik Verileri- Raporlama Sayfası

7.1.6 Üstyapı İtinereri

Üstyapı yönetim sistemlerinin önemli bir işlevi, kullanıcılara bilgilendirici çıktılar verebilmesidir. Bu bölümde daha önceki başlıklarda anlatılan veri girişlerinin bir özeti KGM ÜYS web yazılımının Üstyapı İtinereri modülü kullanılarak excel formatında indirilebilmektedir. Kullanıcı, Şekil 63'de gösterildiği şekilde istikamet seçtikten sonra itinereri oluşturup, indirilebilmektedir.

Şekil 63, Üstyapı İtinereri Oluşturma Ekranı'nı göstermektedir. Ekran, Üstyapı İtinereri başlığı, İstikamet seçimi, Gidiş/Dönüş butonları ve Üstyapı Kalınlık Ve Performans İtinereri Oluştur ve İndir butonu içerir. İstikamet seçimi, İstikamet, Gidiş, Dönüş seçenekleri arasında yapılabilir. Üstyapı Kalınlık Ve Performans İtinereri Oluştur ve İndir butonu, Üstyapı Kalınlık Ve Performans İtinereri Oluştur ve İndir butonuna tıklanarak kullanılabilir.

Şekil 63: Üstyapı İtinereri Oluşturma Ekranı

Oluşturulan itinerer'in pratik bir şekilde çıktı alınabilecek ve sunulabilecek formatta olması, Üstyapı Yönetim Sistemi döngüsünün raporlama ayağının başarıyla devam ettirilmesine olanak sağlamaktadır. Alınan İtinerer örneği Şekil 64'te gösterilmektedir.

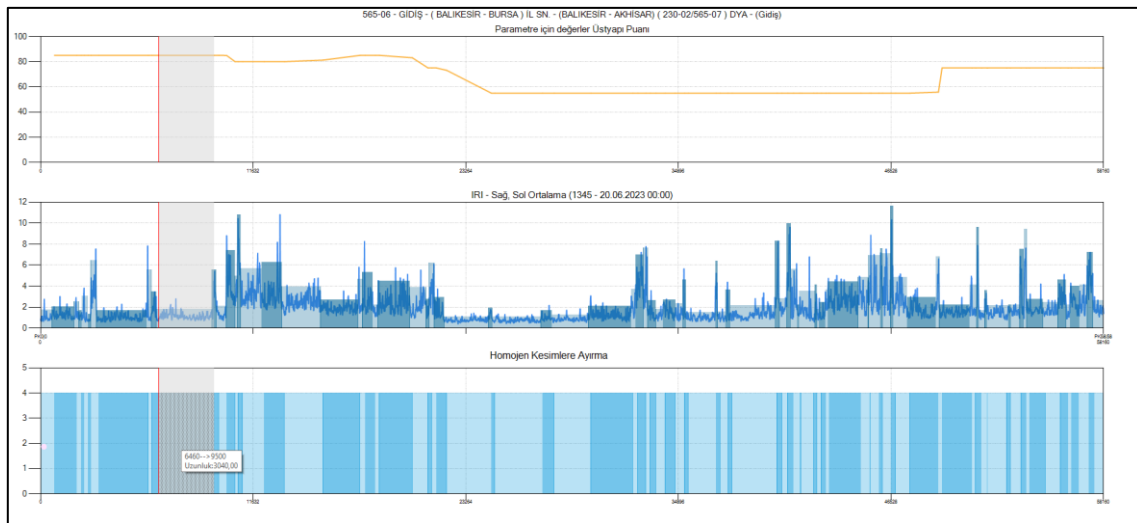
KARAYOLLARI 10.BÖLGE MÜDÜRLÜĞÜ																									
KKNO: 010-21 Yön: Gidiş																									
Tarih: 2023-06-01																									
Yolun Filtrelenmiş IRI değeri: 1.8																									
Üstyapı Tabakaları	TMA																								
	Aşınma	5 cm												5 cm											
	Binder	8 cm												7 cm											
	Bitümlü Temel	10 cm												11 cm											
	Temel	20 cm												20 cm											
	Alttemel	15 cm												15 cm											
Üstyapı Performans Ölçümleri	Kilometre	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
	Filtrelenmiş 20 m	1.69	1.55	2	1.89	3.05	2.8	2.09	2.12	2.03	2.23	1.74	1.8	1.93	1.78	2.32	1.92	1.74	1.97	2.09	1.5	1.62	1.59	1.61	1.9
	FWD	108.3	105.4	123.4	164.6	192.4	146	128	118.3	116.4	134.3	119.2	109.5	123.6	120.7	103.9	126	97.75	99.1	82.26	70.98	88.65	86.95	93.4	71.48
	TIO																								
	ÜP																								
	Sürtünme Direnci																								
	Makrodoku																								
	Trafik (T8.2)	62 Milyon					61 Milyon					67 Milyon					61 Milyon								

Şekil 64: Üstyapı İtinereri- Oluşturulan Örnek Çalışma

7.1.7 Performans Analiz (PMS)

ÜYS kapsamında geniş bir coğrafyaya yayılan ülkemiz yol ağı içerisinde performans analizleri gerçekleştirilmektedir. Bu analiz gerçekleştirilirken, yolların envanter, fonksiyonel ve yapısal durum, trafik, iklim ve maliyet (yatırım ve kullanıcı) bilgileri kullanılıp, gelecek modelleri yapılır. Modellemeler sonucunda her bir yol için önerilecek eylemlerin ve dolayısıyla daha önceki bölümlerde anlatılan Gecikme Maliyet Oranlarının tahminleri gerçekleştirilir.

KGM ÜYS Web yazılımında performans analizi, mevcut yolların homojen kesimler haline getirilmesiyle başlamaktadır. Homojenleştirme işlemi, ayrı bir masaüstü uygulaması kullanılarak, yollara ait düzgünsüzlük (IRI), üstyapı puanı (ÜYP), FWD testleri ayrı ayrı ya da birlikte kullanılarak gerçekleştirilebilir (Şekil 65).



Şekil 65: Performans Analizi (PMS) – Üstyapı Puanı ve Düzgünsüzlük (IRI) Değerleri Kullanılarak Gerçekleştirilen Homojenleştirme Örneği

Bu aşamadan sonra düşen ağırlık deflektometresi (FWD) testleri gerçekleştirilmiş olan yolların ölçülen defleksiyon verilerinin geri hesaplama (backcalculation) yöntemi ile analiz edilerek, ham ölçüm değerlerinden kaplamaların elastik modül değerlerinin hesaplanmasını sağlayan KGM Modül Geri Hesaplama Uygulaması çalıştırılır. Bu işlem de homojenleştirme uygulamasına benzer şekilde ayrı bir masaüstü uygulaması çalıştırılarak gerçekleştirilir (Şekil 66).

[illegible]

Şekil 66: Performans Analizi (PMS) – KGM Modül Geri Hesaplama Uygulaması
Ekran Görüntüsü

69

Karayolları Üst Yapı Yönetim Sistemi

Karayolları Genel Müdürlüğü
Araştırma ve Geliştirme Dairesi Başkanlığı

Çalışma Modülü

Çalışma Bilgisi: Bursa Analiz - 2023.2

Genel

Genel veri

Çalışmanın Adı

Bursa Analiz - 2023.2

Kod

1483

Bölge Müdürlüğü

BURSA

Proje Süresi

28

Proje Başlangıç Yılı

2025

Son Düzenlenme Tarihi

4 Ocak 2024

Oluşturulma Tarihi

2 Ocak 2024

Çalışmayı Düzenle

Çalışmayı Hesapla

Hesaplanan alt bölümleri gör

Geri dön

Şekil 67: Performans Analizi- Çalışma Oluşturma ve Düzenleme Ekranı

Bu kısımda analiz edilecek yollar (KKNO ve istikamet), olağan bakım düzenlemeleri, kalite standartları, maliyet, var ise sabit bakım-onarım eylemleri ve bütçe bilgileri girilmektedir (Şekil 68).

Karayolları Üst Yapı Yönetim Sistemi

Karayolları Genel Müdürlüğü
Araştırma ve Geliştirme Dairesi Başkanlığı

Çalışma Modülü

Çalışmanın Düzenlenmesi: Bursa Analiz - 2023.2

Genel

Çalışmadaki Yollar

Olağan Bakım Düzenlemesi

İşlerin / Analizin Düzenlenmesi

Onarım düzenlemesi

Kalite standartları

Maliyet

Sabit eylemler

Bütçe

Bölümlerin Listesi

Bölgeye Göre Filtrele

Hepsi

Kategoriye Göre Filtrele

Yola Göre Filtrele

Yola Göre Filtrele

Tüm Yolları seçin

Çalışılan	Bölge Müdürlüğü	Kategori	KKNo	Bölüm	Uzunluk (m)	Hesaplama Türü	Trafik Yık. Artışı (%)	Yön
☐	İZMİR	Devlet Yolları	550-07	550-07	59197	GİDİŞ - BALIKESİR (230-01) DYA - (BALIKESİR - İZMİR) İL SN	5	Hepsi
☐	İZMİR	Devlet Yolları	550-08	550-08	51099	DÖNÜŞ - (BALIKESİR - İZMİR) İL SN - ÇANDARLI (35-81) İYA	5	Hepsi
☐	İZMİR	Devlet Yolları	550-08	550-08	51104	GİDİŞ - (BALIKESİR - İZMİR) İL SN - ÇANDARLI (35-81) İYA	5	Hepsi
☒	BURSA	Devlet Yolları	565-06	565-06	58088	DÖNÜŞ - (BALIKESİR - BURSA) İL SN - (BALIKESİR - AKHISAR) (230-02/565-07) DYA	UP	5
☒	BURSA	Devlet Yolları	565-06	565-06	58811	GİDİŞ - (BALIKESİR - BURSA) İL SN - (BALIKESİR - AKHISAR) (230-02/565-07) DYA	UP	5
☐	İZMİR	Devlet Yolları	585-04	585-04	32221	GİDİŞ - (SALİHLİ - KULA) (300-03 / 300-04) DYA - KULA (45-34) İYA	5	Hepsi
☐	İZMİR	Devlet Yolları	585-04	585-04	32220	DÖNÜŞ - (SALİHLİ - KULA) (300-03 / 300-04) DYA - KULA (45-34) İYA	5	Hepsi
☐	KONYA	Devlet Yolları	715-01	715-01	61638	GİDİŞ - (750-08 / 09) DYA (KULU KVŞ) - SULUKLU (42-04) İYA (ÇİHAĞBEYLİ)	5	Hepsi
☐	KONYA	Devlet Yolları	715-03	715-03	52918	GİDİŞ - ALTINEKİN (42-03) İYA - (330-12 / 13) DYA (KONYA)	5	Hepsi
☐	KONYA	Devlet Yolları	750-09	750-09	28857	DÖNÜŞ - KONYA (715-01) DYA (KULU KVŞ) - KAMAN (757-03) DYA	5	Hepsi
☐	KONYA	Devlet Yolları	750-10	750-10	47686	GİDİŞ - KAMAN (757-03) DYA - (ANKARA-AKSARAY) İL SN	5	Hepsi
☐	KONYA	Devlet Yolları	750-10	750-10	47588	DÖNÜŞ - KAMAN (757-03) DYA - (ANKARA-AKSARAY) İL SN	5	Hepsi
☐	KONYA	Devlet Yolları	750-11	750-11	51625	DÖNÜŞ - (AKSARAY - ANKARA) İL SN - (300-14 / 750-12) DYA	5	Hepsi
☐	KONYA	Devlet Yolları	750-12	750-12	35608	GİDİŞ - (AKSARAY - KONYA) (300-14 / 750-11) DYA - (AKSARAY-KONYA) İL SN	5	Hepsi
☐	KONYA	Devlet Yolları	750-13	750-13	4001	GİDİŞ - (AKSARAY - KONYA) İL SN - (KONYA - NİĞDE) İL SN (42-09) İYA	5	Hepsi
☐	KONYA	Devlet Yolları	750-14	750-14	9644	DÖNÜŞ - (KONYA - NİĞDE) İL SN (42-09) İYA - (NİĞDE - KONYA) İL SN	5	Hepsi

Kaydet

Kaydet & Hesapla

Diş Aklar

Geri dön

Şekil 68: Performans Analizi- Örnek Çalışma İçin Seçilen Yollar

Bu bilgiler kaydedildikten sonra hesaplama aşamasına bu menüden (Kaydet& Hesapla) ya da bir önceki menüdeki “Çalışmayı Hesapla” butonları yardımıyla geçilebilmektedir. Hesaplama işlemleri arka plandaki sunucularda tamamlandıktan

sonra Şekil 69'da gösterilen “Hesaplanan Alt Bölümleri Gör” seçeneği tıklanarak, tamamlanan analizin sonuçları incelenebilmektedir.

Çalışma Bilgisi: Bursa Analiz - 2023.2

Genel

Genel veri

Çalışmanın Adı: Bursa Analiz - 2023.2

Bölge Müdürlüğü: BURSA

Kod: 14B3

Proje Başlangıç Yılı: 2025

Proje Süresi: 20

Oluşturulma Tarihi: 2 Ocak 2024

Son Düzenleme Tarihi: 4 Ocak 2024

Çalışmayı Düzenle Çalışmayı Hesapla **Hesaplanan alt bölümleri gör** Geri dön

Şekil 69: Performans Analizi- Analiz Sonuçlarını İnceleme Ekranına Geçiş

Çalışma Sonuçları: Bursa Analiz - 2023.2

Bölümler Sırtımno Defleksiyon Çatıaklar Tekerek İzleri İRI UP Parametrelerin Değerlendirilmesi Önerilen eylemler Maliyet analizi Bütçe Karşılaştırmalar Ortalama değerler

Çalışılan Bölümlerin Listesi

Bölge Müdürlüğü	Kategori	KKNö	Bölüm	Alt Bölüm	Başlangıç Km	Bitiş Km	Uzunluk (m)
BURSA	Devlet Yolları	565-06	565-06	565-06-2-05	7800	9080	2080
BURSA	Devlet Yolları	565-06	565-06	565-06-2-13	16940	18060	1120
BURSA	Devlet Yolları	565-06	565-06	565-06-2-11	14020	15440	1420
BURSA	Devlet Yolları	565-06	565-06	565-06-2-04	6200	7800	1600
BURSA	Devlet Yolları	565-06	565-06	565-06-2-14	18060	18900	840
BURSA	Devlet Yolları	565-06	565-06	565-06-2-28	40600	44140	3540
BURSA	Devlet Yolları	565-06	565-06	565-06-2-37	56020	56640	620
BURSA	Devlet Yolları	565-06	565-06	565-06-2-33	48080	48620	540
BURSA	Devlet Yolları	565-06	565-06	565-06-2-07	10980	11500	520
BURSA	Devlet Yolları	565-06	565-06	565-06-2-08	11500	12620	1120
BURSA	Devlet Yolları	565-06	565-06	565-06-2-10	13160	14020	860
BURSA	Devlet Yolları	565-06	565-06	565-06-2-31	46340	47220	880
BURSA	Devlet Yolları	565-06	565-06	565-06-2-00	0	620	620
BURSA	Devlet Yolları	565-06	565-06	565-06-2-01	620	1920	1300

Şekil 70: Performans Analizi- Örnek Çalışmaya Ait Alt Bölümler

Çalışma sonuçları homojenleştirme aşaması sonucu oluşan alt bölümler için ayrı ayrı oluşturulup, incelenebilmektedir. Bu bölümlerin detaylarına Şekil 70'deki gibi ulaşmak mümkündür.

Örnek analiz çalışması tamamlanan yolun analiz süresi boyunca sahip olacağı Üstyapı Puanı (ÜP) değerlerinin tahmininin bir örneği Şekil 71'de gösterilmektedir. Sonuç olarak Maliyet Analizi sekmesinde her bir kesim ve KKNö'ya ait Gecikme Maliyet Oranları hesaplanıp, yollar veya kesimler arasında önceliklendirmeler yapılabilir.

KGM

Karayolları Üst Yapı Yönetim Sistemi

Karayolları Genel Müdürlüğü

Araştırma ve Geliştirme Dairesi Başkanlığı

Çalışma Modülü

Çalışma Sonuçları: KGM24 - 300-25

Bölümler

Sürtümme

Defleksiyon

Çatlaklar

Tekerlek İzleri

IRI

UP

Parametrelerin Değerlendirilmesi

Önellen eylemler

Maliyet analizi

Bütçe

Karşılaştırmalar

Ortalama değerler

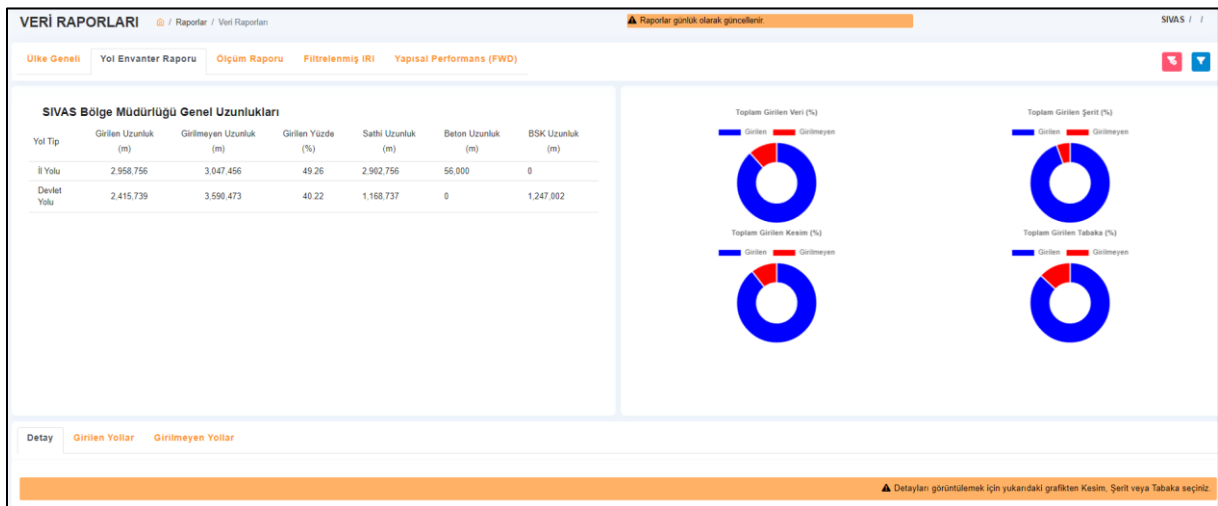
ÜP (%)

<

Şekil 71: Performans Analizi – Örnek Çalışma ÜP Modellemesi Sonuçları

7.1.8 Veri Raporlama

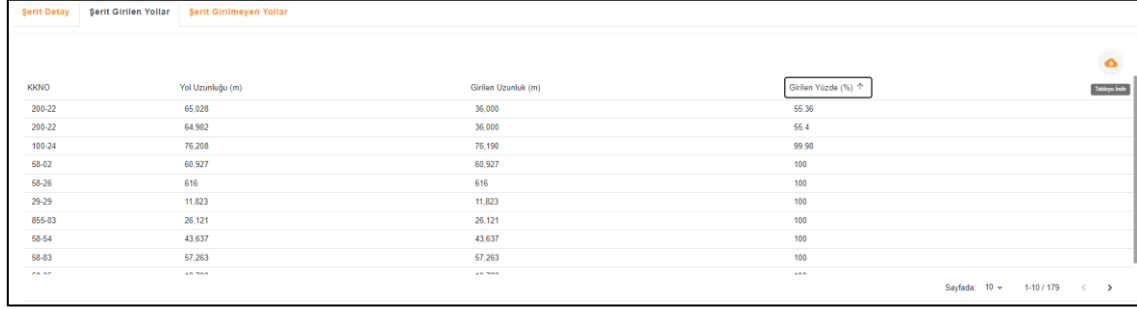
Karayolu yol ağıımızda bulunan bütün yollar, ÜYS web yazılımı içerisinde bulunmaktadır. ÜYS sistemlerinin iyi bir verimlilikle çalışabilirliği ancak yüksek düzeyde veri girişinin sağlanmasıyla mümkündür. Bu bağlamda Bölge Müdürlükleri kendi yol ağlarında bulunan yollar için veri girişlerinden sorumlu tutulmaktadır. Veri girişlerinin kolaylıkla raporlanabilmesi hem Bölgelerin eksik bilgileri rahatlıkla tespit edebilmesine hem de Genel Müdürlükçe kontrollerin daha sağlıklı yapılabilmesine olanak sağlamaktadır.



Şekil 72: Veri Raporlama- Yol Envanter Veri Raporları

Yol envanter veri girişi raporları, Toplam Girilen Şerit %, Toplam Girilen Kesim % ve Toplam Girilen Tabaka %'leri ve dolayısıyla Toplam Girilen Veri %'si ayrı ayrı

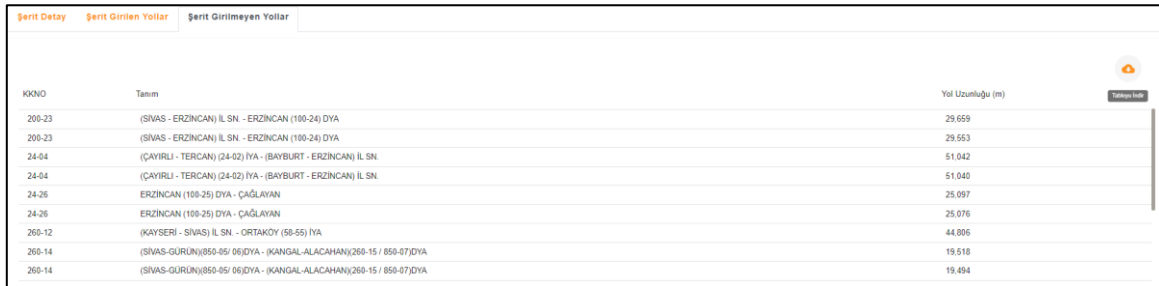
hesaplanarak oluşturulmaktadır. Şekil 72, Bölge Müdürlüğü bazında yol envanter veri girişi raporunu göstermektedir.



KKNO	Yol Uzunluğu (m)	Girilen Uzunluk (m)	Girilen Yüzde (%)
200-22	65.028	36.000	55.36
200-22	64.902	36.000	55.4
100-24	76.208	76.190	99.98
50-02	60.927	60.927	100
50-26	616	616	100
29-29	11.823	11.823	100
055-03	26.121	26.121	100
50-64	43.637	43.637	100
50-83	57.263	57.263	100

Şekil 73: Veri Raporlama- Yol Envanter Şerit Verisi Detayları- Şerit Girilen Yollar

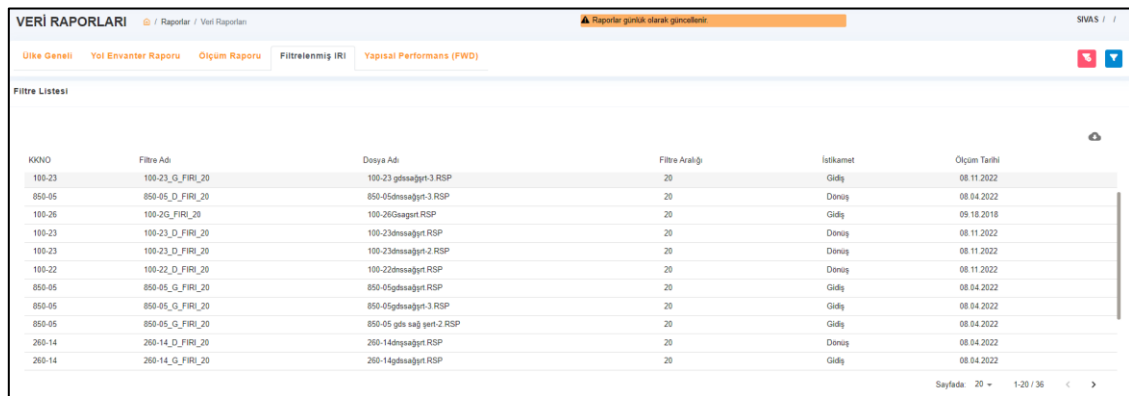
Kesim, şerit veya tabakalara ait pasta grafikler seçilerek, veri giriş detaylarına ulaşılabilir. Buradaki şerit detaylarında, o bölgedeki KKNO'lar için girilen şerit uzunlukları ve girilen yüzdelere görülebildiği gibi, herhangi bir şerit girişi yapılmayan yollar da takip edilebilir ve tablo şeklinde indirilebilir (Şekil 73 ve Şekil 74).



KKNO	Tanım	Yol Uzunluğu (m)
200-23	(SIVAS - ERZİNCAN) İL SN. - ERZİNCAN (100-24) DYA	29.659
200-23	(SIVAS - ERZİNCAN) İL SN. - ERZİNCAN (100-24) DYA	29.553
24-04	(CAYIRLI - TERCAN) (24-02) İYA - (BAYBURT - ERZİNCAN) İL SN.	51.042
24-04	(CAYIRLI - TERCAN) (24-02) İYA - (BAYBURT - ERZİNCAN) İL SN.	51.040
24-26	ERZİNCAN (100-25) DYA - ÇAĞLAYAN	25.097
24-26	ERZİNCAN (100-25) DYA - ÇAĞLAYAN	25.076
260-12	(KAYSERİ - SIVAS) İL SN. - ORTAKÖY (50-55) İYA	44.806
260-14	(SIVAS-GÜRÜN)850-05/ 06/DYA - (KANGAL-ALACAĞAN)260-15 / 850-07/DYA	19.518
260-14	(SIVAS-GÜRÜN)850-05/ 06/DYA - (KANGAL-ALACAĞAN)260-15 / 850-07/DYA	19.494

Şekil 74: Veri Raporlama- Yol Envanter Şerit Verisi Detayları- Şerit Girilmeyen Yollar

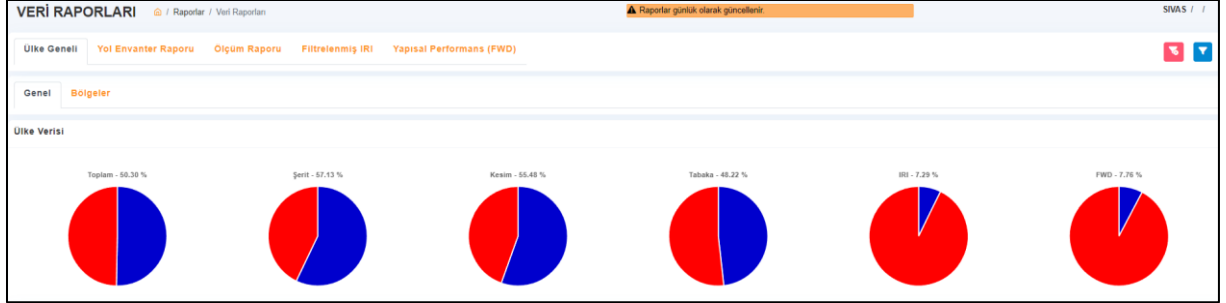
Benzer şekilde Bölge geneli yollara ait girilmesi beklenen performans ölçümleri, filtrelenmiş düzgünsüzlük (IRI) raporları da Veri Raporları modülünde gözlemlenebilmektedir.



KKNO	Filtre Adı	Dosya Adı	Filtre Aralığı	İstikamet	Ölçüm Tarihi
100-23	100-23_G_FIRI_20	100-23_girisağır-3 RSP	20	Gidiş	08.11.2022
850-05	850-05_D_FIRI_20	850-05dmsağır-3 RSP	20	Donuş	08.04.2022
100-26	100-26_G_FIRI_20	100-26Gağır RSP	20	Gidiş	09.10.2018
100-23	100-23_D_FIRI_20	100-23dmsağır RSP	20	Donuş	08.11.2022
100-23	100-23_D_FIRI_20	100-23dmsağır-2 RSP	20	Donuş	08.11.2022
100-22	100-22_D_FIRI_20	100-22dmsağır RSP	20	Donuş	08.11.2022
850-05	850-05_G_FIRI_20	850-05dmsağır RSP	20	Gidiş	08.04.2022
850-05	850-05_G_FIRI_20	850-05gbsağır-3 RSP	20	Gidiş	08.04.2022
850-05	850-05_G_FIRI_20	850-05 gbs sağı şerit-2 RSP	20	Gidiş	08.04.2022
260-14	260-14_D_FIRI_20	260-14dmsağır RSP	20	Donuş	08.04.2022
260-14	260-14_G_FIRI_20	260-14gbsağır RSP	20	Gidiş	08.04.2022

Şekil 75: Veri Raporlama- Filtrelenmiş Düzgünsüzlük (IRI) Veri Giriş Detayları

Veri raporlamaları her bir bölge için yapılabildiği gibi, ülke genelinde de takip edilmektedir. Ülke geneli toplam veri girişi örnek gösterimi Şekil 76'da gösterildiği gibidir.

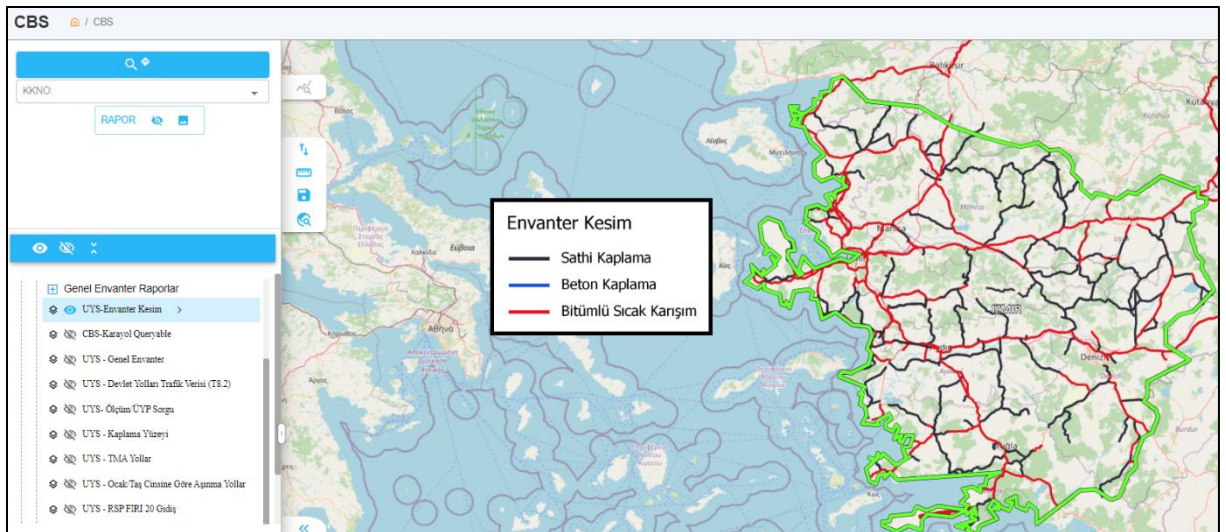


Şekil 76: Veri Raporlama- Ülke Geneli Veri Raporları Pasta Grafik Örneği

7.1.9 Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS)

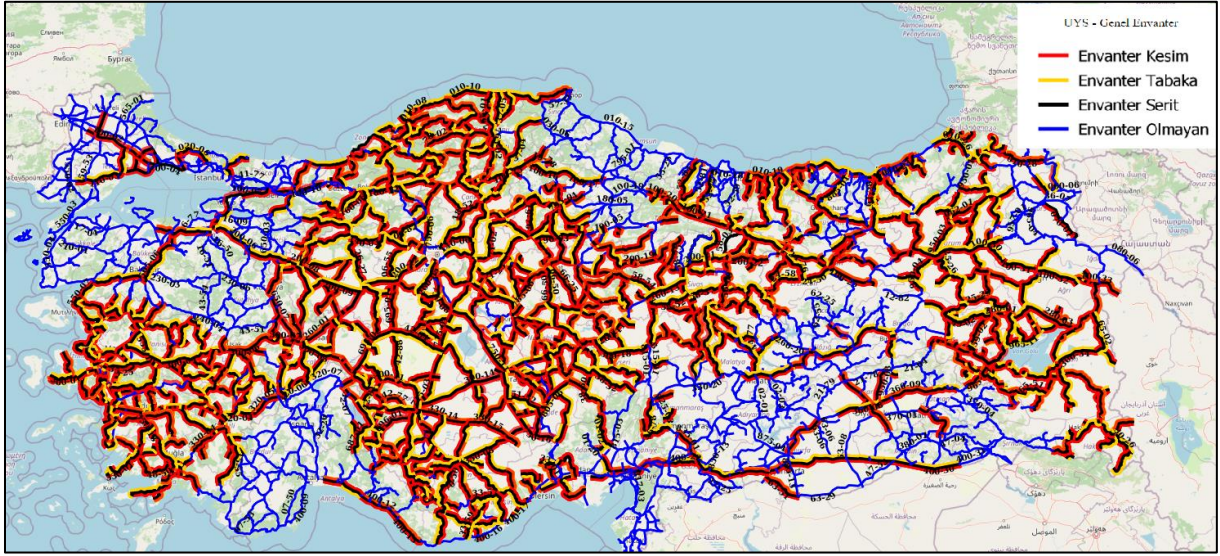
Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), coğrafi verilerin depolanması, yönetilmesi ve haritalandırılmasını sağlayan bir teknolojidir. KGM ÜYS web yazılımı veri tabanında toplanan istatistiki bilgiler CBS ile birleştirilerek, daha kompleks yeni gösterim şekilleriyle sunulmasında kullanılmaktadır.

ÜYS web yazılımı içerisindeki CBS modülünde bu bağlamda birçok veri kullanıcılara ve idareye sunulmak üzere haritalanabilmektedir. Örneğin genel envanter raporlarından, Bölge Müdürlüğü içerisindeki envanterlerin kesim dağılımı Şekil 77'de gösterilmektedir.



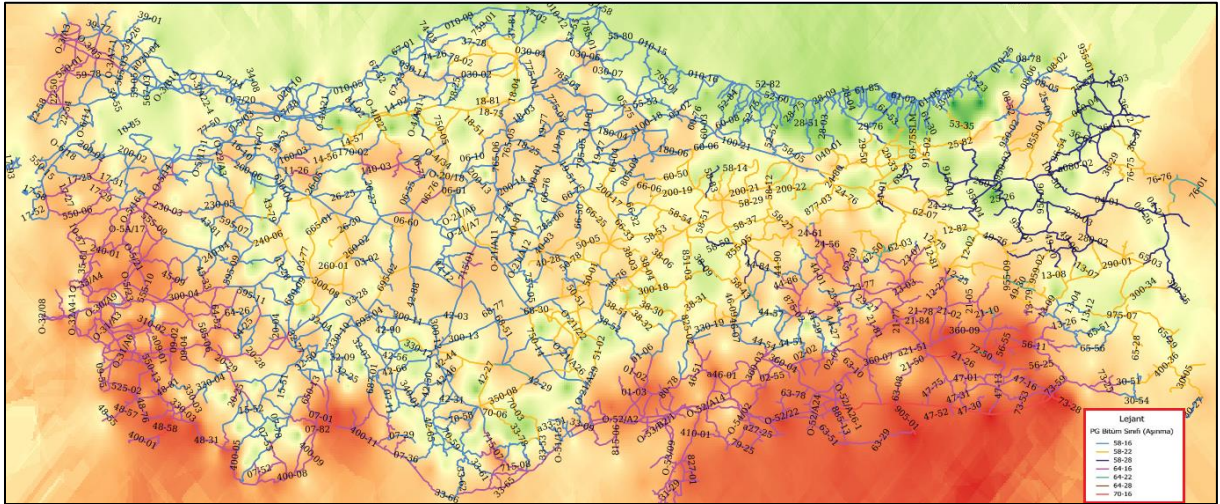
Şekil 77: Coğrafi Bilgi Sistemleri- Bölge Geneli Envanter Kesim Örnek Gösterimi

Benzer şekilde, ülke genelindeki tüm yol ağımızın mevcut envanter veri girişi durumu da harita üzerinde Şekil 78'deki gibi aktarılıp, raporlanabilmektedir.



Şekil 78: Coğrafi Bilgi Sistemleri- Genel Envanter Ülke Geneli Veri Girişi Örnek Gösterimi

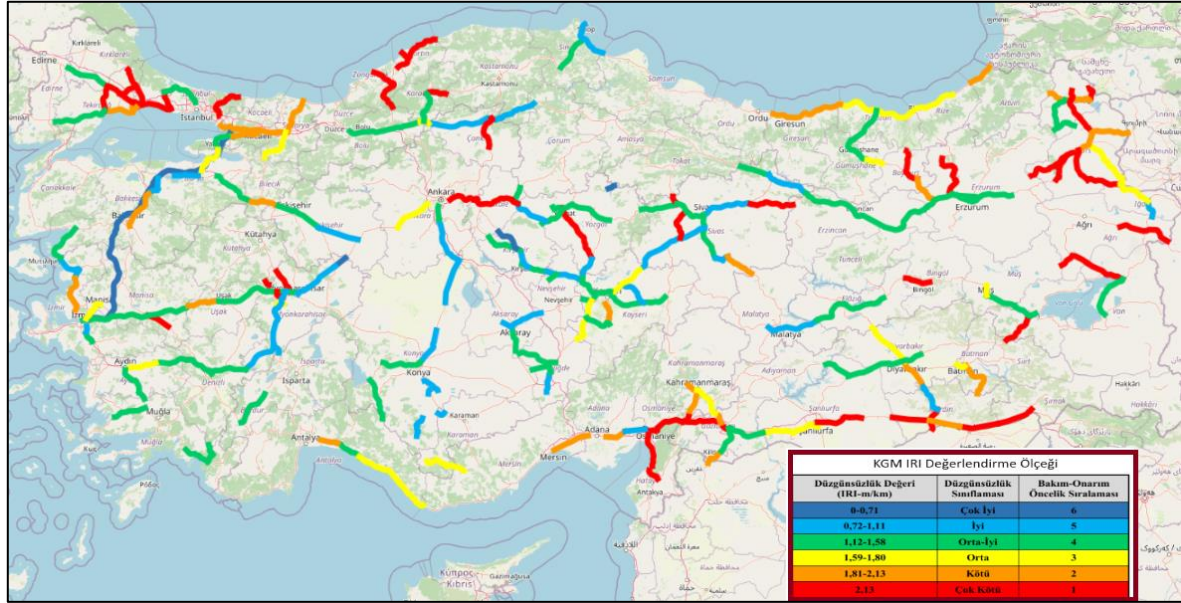
Yol ağımızda bulunun farklı yollara ait iklim verileri, Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden temin edilerek ÜYS sistemi veritabanına eklenmiştir. Bu bilgiler ışığında oluşturulan sıcaklık haritası ve üzerine yerleştirilen bitüm sınıfı seçim haritası ise CBS modülünden gözlemlenebilmektedir (Şekil 79).



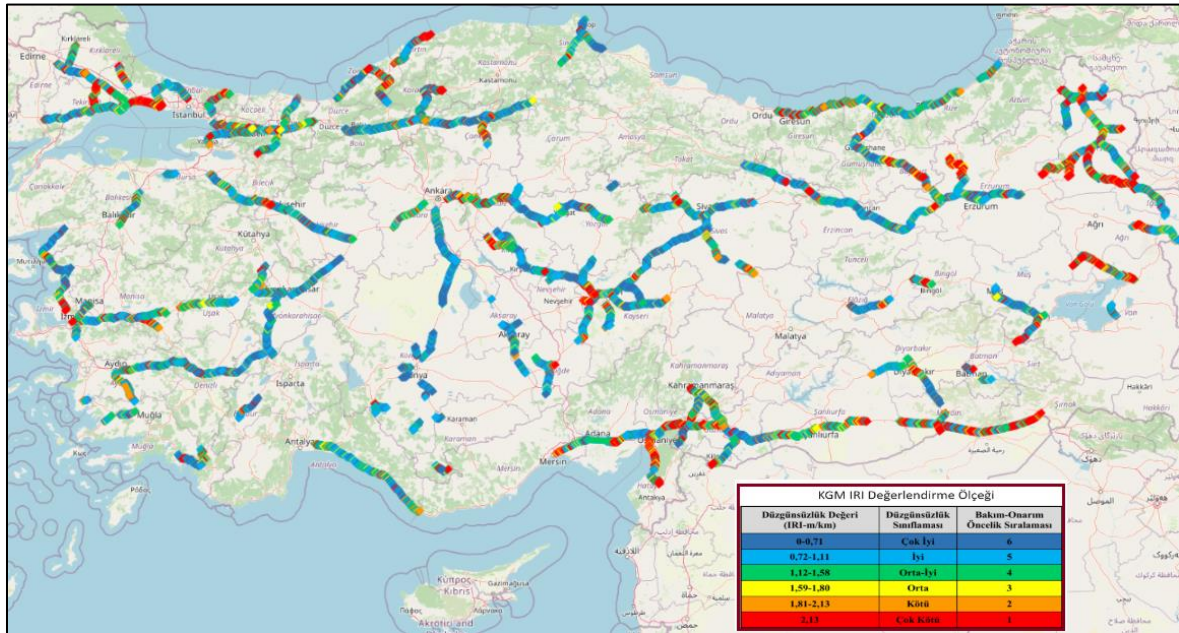
Şekil 79: Coğrafi Bilgi Sistemleri- İklim Sıcaklık Verileri ve Aşınma Tabakaları için PG Bitüm Sınıfı Seçme Haritası Örneği

Daha önceki bölümlerde anlatılan şekilde düzgünlük (IRI) ölçümleri gerçekleştirilip, sisteme veri girişi yapılan yollara ait ölçüm sonuçları da KKNO IRI ortalaması, 20

metrelik analiz edilen IRI sonuçları veya 50 metrelik analiz edilen sonuçlar olarak harita üzerinde gözlemlenebilir, raporlanabilmektedir. (Şekil 80 ve Şekil 81).

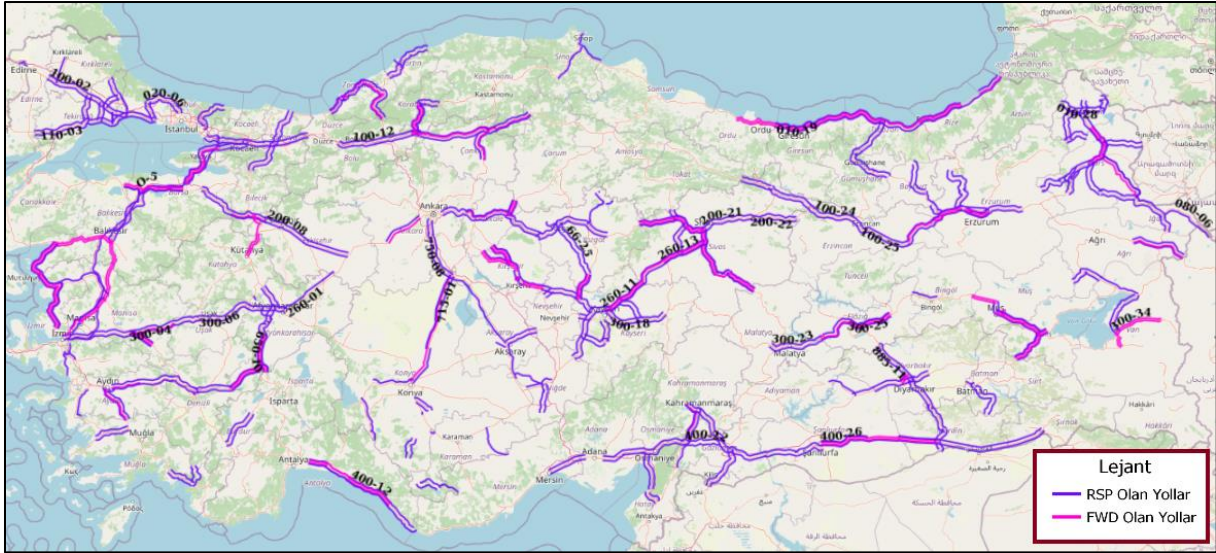


Şekil 80: Coğrafi Bilgi Sistemleri- Düzensizlik Ölçümleri Yapılan Yolların KKNO Bazlı IRI Ortalama Değerlerinin Gösterimi



Şekil 81: Coğrafi Bilgi Sistemleri- Düzensizlik Ölçüm Sonuçlarının 20 veya 50 Metre Gruplanmış Şekilde Gösterimi

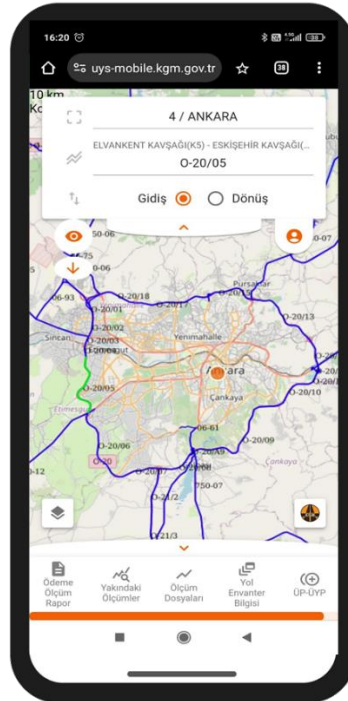
Benzer şekilde, ÜYS veritabanında yer alan farklı ölçümlerin (Düzensizlik (IRI) ve Düşen Ağırlık Deflektometresi (FWD)) tek harita üzerinde CBS üzerinden gösterimi de sağlanabilmektedir.



Şekil 82: Coğrafi Bilgi Sistemleri- Düzgünsüzlük Ölçümleri (RSP) ve Düşen Ağırlık Deflektometresi (FWD) Ölçümleri Bulunan KKNO'ların Gösterimi

7.1.10 ÜYS Web Yazılımı Mobil Uygulaması

Yeni geliştirilen ÜYS Web Yazılımının 2023 sürümünde kullanıcıların saha çalışmalarında ve hareket halindeyken sisteme erişebilmelerini sağlayacak mobil uygulamaların entegrasyonu sağlanmıştır (Şekil 83).



Şekil 83: ÜYS Web Yazılımı Mobil Uygulaması

Bu uygulamanın ÜYS'den alınacak verimi artıracak ve iletişimi kolaylaştıracağı öngörülmüştür ve bu sayede saha ekipleri ile yöneticileri arasında bilgi paylaşımı daha etkili bir şekilde gerçekleştirilmesi planlanmaktadır.

7.2 Üstyapı Yönetim Sistemi'nin Etkin Kullanılabilmesi Adına Dikkat Edilmesi Gereken Hususlar

Üstyapı Yönetim Sistemlerinin etkin kullanılması, üstyapı performansını optimize edip, üstyapı varlıklarının ömrünü en üst düzeye çıkarmaya yardım ederken, aynı zamanda yaşam döngüsü maliyetlerinin en aza indirilmesine katkı sağlar ve genel yol güvenliği ve güvenilirliğinin artırılmasında önemli rol oynar. Ayrıca ÜYS, İdare'lerin bakım ve rehabilitasyon stratejilerine ilişkin bilinçli kararlar almasını, yatırımları objektif kriterlere göre önceliklendirmesini ve nihayetinde seyahat eden topluma daha iyi hizmet sunulmasını sağlamaktadır.

Bahsedilen bütün bu durumların sağlanabilmesi için ise ÜYS kullanıcılarının dikkat etmesi gereken durumlar mevcuttur. Karayolları Genel Müdürlüğümüzce ÜYS'nin daha etkin kılınabilmesi adına genel anlamda aşağıdaki hususlara dikkat edilmelidir:

- Sistemin sürekliliğinin ve sürdürülebilirliğinin sağlanabilmesi için veri girişlerinin zamanında ve doğru bir şekilde tamamlanması gerekmektedir.
- Veri girişlerinin ÜYS eğitimi almış, yetkin personel tarafından gerçekleştirilmesine önem verilmelidir.
- Bölge ağlarında yapımı tamamlanan takviye, yüzey iyileştirmesi veya yeni yol çalışmaları sonrasında ÜYS veritabanındaki envanter verilerinin güncellenmesi önemlidir.
- Performans ölçümleri periyodik olarak, düzenli bir şekilde yapılmalıdır.
- Performans ölçüm cihazlarının kontrol bakım ve kalibrasyonları düzenli bir şekilde takip edilmelidir.
- İdare tarafından belirli aralıklarda analizler yapıp, sonuç raporlarının ilgili bölgelerle paylaşılmalıdır.
- Raporlar içerisinde oluşturulan fayda/maliyet analizleri bozulma ve performans tahmin modellerine göre gerçekleştirildiğinden, proje seviyesindeki analizlerde

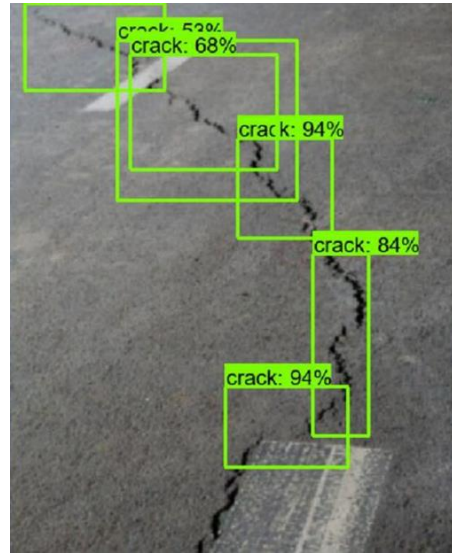
bakım/onarım ya da yeniden yapım işlerinde keşiflere esas teşkil edecek veriler ve maliyetler, proje bazlı iyileştirme veya Takviye Üstyapı Projelendirme Raporları dikkate alınarak belirlenmelidir.

Bu şartlarda Üstyapı Yönetim Sistemi; kısa ve uzun vadede yapılacak bakım/onarım alternatiflerinin önerilmesi, öncelik sıralamasının belirlenmesi, gerekli bütçelerin ayrılması gibi hususlara ilişkin plan ve programların yapılmasında, temeli teknik verilere dayalı bütünsel bir sistem yaklaşımı olarak ülkemizde etkin ve sürdürülebilir şekilde kullanıma devam edecektir.

7.3 Üstyapı Yönetim Sistemi'nin Geleceği ve İhtiyaç Duyulacak Yenilikler

Üstyapı Yönetim Sistemi'nin gelecek vizyonu, ÜYS'nin teknolojik gelişmelere ve kullanıcı ihtiyaçlarına uyum sağlayarak, daha etkili ve verimli bir hale gelmesini gerektirecektir. Bu bağlamda ihtiyaç duyulabilecek alanlar ve bazı olası yenilikler aşağıdaki gibidir:

Gelişmiş Veri Analitiği: Veri tabanında toplanan bilgilerin daha derinlemesine analiz edilmesi ve bu analizlerin karar verme süreçlerinde kullanılması önemlidir. Yapay zekâ ve makine öğrenimi gibi gelişmiş teknolojilerin entegrasyonu, karayolu üstyapı projelerinin daha akıllı ve verimli bir şekilde yönetilmesine yardımcı olabilir.



Şekil 84: Gelişmiş Veri Analitiği Yöntemlerinin ÜYS Sistemine Aktarılması

Benzer şekilde karayolu kaplamalarında gelişmiş veri analitiğini kullanarak gerçekleştirilen Büyük Veri (Big Data) uygulamaları ve yolların dijital ikizlerin oluşturulması gibi çalışmalar da yıllar içerisinde ÜYS ile koordineli çalıştırılabilir. Bu teknolojiler, sofistike analizler sayesinde yetkililerin kaplama koşullarını gerçek zamanlı olarak izlemelerini, bakım ihtiyaçlarını tahmin etmelerini ve inşaat-bakım-onarım süreçlerini optimize etmelerini sağlar. Dijital ikizler, fiziksel yolların sanal kopyalarını sağlayarak trafik akışının ve üstyapı performansının sürekli izlenmesini ve simülasyonunu kolaylaştırır. Bu bağlamda İdare bu araçlardan yararlanarak yol güvenliğini artırabilir, yollarda yaşanan trafik kesintilerini en aza indirebilir ve kaynakları daha verimli bir şekilde tahsis edebilir ve sonuçta yol ağlarının uzun ömürlü olmasını ve sürdürülebilirliğini sağlayabilir.

Sürdürülebilirlik Odaklı Yaklaşım: Karayolu projelerinin sürdürülebilirlik ilkelerine uygun olarak planlanması ve yönetilmesi günden güne giderek daha fazla önem kazanmaktadır. Bu nedenle, Üstyapı Yönetim Sistemi'nin sürdürülebilirlik kriterlerini değerlendirebilecek özelliklere sahip olması ve çevresel etkilerin izlenmesini sağlayacak modüllerin entegrasyonu önemli olacaktır.



Şekil 85: Sürdürülebilirlik Odaklı ÜYS Yaklaşımı

Sürdürülebilirlik odaklı bir üstyapı yönetim sistemi yaklaşımına ulaşmak ve iklime dirençli yol kesimleri oluşturmak, çeşitli ilke ve uygulamaları entegre eden çok yönlü bir strateji gerektirecektir. Bu bağlamda geri dönüştürülmüş malzemeler ve diğer sürdürülebilir malzeme ve yapım tekniklerinin benimsenmesi çevresel etkiyi azaltıp, iklim değişikliğine karşı dayanıklılığı artıracaktır.

Özellikle iklim değişikliği kaynaklı gelişen çevresel zorluklar karşısında karayolu ağlarının dayanıklılığını ve sürdürülebilirliğini artıracak malzeme bilimi, mühendislik teknolojisi ve iklim modeli çalışmaları ve yenilikler takip edilmelidir. Üstyapı Yönetim Sistemi'nin bu tür yeniliklerle güncellenmesi, karayolu üstyapı projelerinin daha etkili bir şekilde planlanması, uygulanması ve yönetilmesini sağlayarak toplumun ihtiyaçlarına daha iyi cevap vermesine yardımcı olacaktır.

