



**T.C.
YALOVA ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**ULAŞTIRMA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ULAŞTIRMA VE LOJİSTİK MÜHENDİSLİĞİ BİLİM DALI**

**KARAYOLU ÜSTYAPI İŞLETME AŞAMASINDAKİ BAKIM ONARIM VE ÖLÇME
ÇALIŞMALARINDA OLUŞAN HATA VE RİSKLERİN HTEA, PARETO VE AHP
YÖNTEMİNDE İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

UĞUR CAN KIZIL

DANIŞMAN: PROF. DR. ERAY CAN

**YALOVA
HAZİRAN 2024**



T.C.
YALOVA ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

ULAŞTIRMA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ULAŞTIRMA VE LOJİSTİK MÜHENDİSLİĞİ BİLİM DALI

KARAYOLU ÜSTYAPI İŞLETME AŞAMASINDAKİ BAKIM ONARIM VE ÖLÇME
ÇALIŞMALARINDA OLUŞAN HATA VE RİSKLERİN HTEA, PARETO VE AHP
YÖNTEMİNDE İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

UĞUR CAN KIZIL
228123036

DANIŞMAN: PROF. DR. ERAY CAN

YALOVA
HAZİRAN 2024

ETİK BEYAN

Yalova Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez/Proje Yazım Kuralları'na uygun olarak hazırladığım “Karayolu Üstyapı İşletme Aşamasındaki Bakım Onarım ve Ölçme Çalışmalarında Oluşan Hata ve Risklerin HTEA, Pareto ve AHP Yönteminde İncelenmesi” başlıklı bu tez çalışmada; tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu, tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi, kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı, bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu bildirir, aksinin tespiti halinde doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi taahhüt ve beyan ederim.

Uğur Can KIZIL



ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimim sürecinde bana sürekli destek olan, akademik anlamda bana her zaman yardımcı olarak doğru yönü gösteren, değerli danışman hocam Sayın Prof. Dr. Eray CAN'a teşekkür ederim. Ayrıca eğitim hayatım boyunca her zaman yanımda oldukları ve benden desteklerini hiçbir zaman esirgemedikleri için aileme de teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez çalışmasının yapılmasında etik izin onayı vererek destek sağlayan Yalova Üniversitesi Etik Kurullar Koordinatörlüğü, Fen ve Mühendislik Bilimleri, Bilimsel Araştırmalar Etik Kuruluna (Protokol No: 2023/203) teşekkür ederim.

Haziran – 2024

Uğur Can KIZIL



İÇİNDEKİLER

ETİK BEYAN.....	i
ÖNSÖZ.....	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
SİMGELER ve KISALTMALAR LİSTESİ.....	vi
TABLolar LİSTESİ.....	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	viii
ÖZET.....	ix
ABSTRACT.....	x
1.GİRİŞ.....	1
2. KARAYOLU SİSTEMLERİ.....	7
2.1. Karayollarının Ulaştırma Alanındaki Yeri ve Önemi.....	7
2.2. Karayolu Sistemlerindeki Yatay ve Düşey Tasarımlar	9
2.3. Karayolu Sistemlerinde Yatay ve Düşey Geometri Tasarımları	15
2.4. Karayolu Sistemlerinde İnşaat ve Yapım Çalışmaları.....	17
2.5. Karayolu Projelerinin İşletilmesi.....	22
3. KARAYOLU BAKIM ONARIM VE ÖLÇME ÇALIŞMALARI.....	29
3.1. Karayolunda Meydana Gelen Bozulma Türleri.....	29
3.2. Esnek Üst Yapılarda Oluşan Bozulma Türleri (Sathi Kaplama, Asfalt Betonu Kaplama)	30
3.2.1. Deformasyonlar	30
3.2.1.1. Oturma ya da çökme deformasyonu.....	30
3.2.1.2. Kabarma deformasyonu.....	30
3.2.1.3. Tekerlek izi oluşumu deformasyonu	31
3.2.1.4. Ondülasyon deformasyonu.....	32
3.2.2. Çatlama türündeki bozulmalar	32
3.2.2.1. Yorulma çatlağı (timsah sırtı çatlağı)	33
3.2.2.2. Termal çatlaklar.....	33
3.2.2.3. Yansıma çatlaklar	34
3.2.2.4. Boyuna çatlaklar.....	34
3.2.3. Ayrışmalar	35
3.2.3.1. Çukurlar.....	35
3.2.3.2. Sökülmeler.....	36
3.2.3.3. Asfaltın terlemesi ya da kaygan hale gelmesi	36
3.3. Rijit Üst Yapılarda Oluşan Bozulma Türleri (Beton Yollar)	36
3.3.1. Çatlaklar.....	36

3.3.2. Çukurlar	38
3.3.3. Genleşme derzlerindeki bozulmalar	39
3.3.4. Altyapı kaynaklı bozulmalar	39
3.3.5. Plak oturmaları kaynaklı bozulmalar	39
3.4. Karayolunda Bakım Onarım ve Tamirat İşleri İçin Yapılan Mühendislik Ölçmeleri	39
3.4.1. Yersel ölçmeler	40
3.4.2. Fotogrametrik Ölçmeler.....	42
3.4.3. Uzaktan Algılama Ölçmeleri	44
3.5. Karayolu Platformlarında Uygulanan Bakım ve Onarım Faaliyetleri.....	45
3.5.1. Esnek üst yapılardaki onarım ve bakım faaliyetleri (Asfalt betonu kaplama).....	46
3.5.1.1. Oturma ya da çökme deformasyonu için yapılan onarım ve bakım çalışmaları.....	46
3.5.1.2. Ondülasyon deformasyonu için yapılan onarım ve bakım çalışmaları.....	46
3.5.1.3. Çukurlar için yapılan onarım ve bakım çalışmaları.....	46
3.5.1.4. Çatlamlar için yapılan onarım ve bakım çalışmaları	46
3.5.1.5. Kabarma deformasyonu için yapılan onarım ve bakım çalışmaları	47
3.5.1.6. Tekerlek izi oluşumu deformasyonu için yapılan onarım ve bakım çalışmaları	47
3.5.1.7. Ayırışmalar için yapılan onarım ve bakım çalışmaları.....	47
3.5.1.8. Asfaltın terlemesi ya da kaygan hale gelmesinde yapılan onarım ve bakım çalışmaları	47
3.6. Rijit Üst Yapılarda Bakım ve Onarım Faaliyetleri (Beton Yollar)	48
3.6.1. Çatlaklar için yapılan bakım onarım çalışmaları	48
3.6.2. Çukurlar için yapılan bakım onarım çalışmaları.....	48
3.6.3. Genleşme derzlerindeki bozulmalar için yapılan bakım onarım çalışmaları.....	48
3.6.4. Plak oturmaları kaynaklı bozulmalar için yapılan onarım ve bakım çalışmaları..	48
3.6.5. Altyapı kaynaklı bozulmalar için yapılan onarım ve bakım çalışmaları	48
3.6.6. Yüzeysel pürüzlülüğün azalmasından dolayı yapılan onarım ve bakım çalışmaları	49
4. HTEA PARETO VE AHP ANALİZ TÜRLERİ.....	51
4.1. Hata Türü ve Etkileri Analizi (HTEA).....	51
4.1.1. HTEA çeşitleri	52
4.1.2. HTEA uygulama adımları.....	53
4.2 Pareto Analizi	57
4.2.1 Pareto grafiğinin oluşturulma adımları	58
4.3 Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP)	59
5. RİSK VE HATA BELİRLEME ÇALIŞMALARI.....	65

5.1. Karayolu Üstyapı İşletme Aşamasında Yapılan Bakım Onarım ve Ölçme Çalışmalarındaki (BOÖÇ) Muhtemel Hata ve Risk Faktörlerinin Belirlenmesi.....	65
5.2. Karayolu Üstyapı İşletme Aşamasında Yapılan Bakım Onarım ve Ölçme Çalışmalarındaki (BOÖÇ) Muhtemel Hata ve Risk Faktörleri için Hata Türü Etkileri Analizi (HTEA) Uygulaması.....	67
5.3. Karayolu Üstyapı İşletme Aşamasında Yapılan Bakım Onarım ve Ölçme Çalışmalarındaki (BOÖÇ) Muhtemel Hata ve Risk Faktörleri için Pareto Analizi Uygulaması.....	74
5.4. Karayolu Üstyapı İşletme Aşamasında Yapılan Bakım Onarım ve Ölçme Çalışmalarındaki (BOÖÇ) Muhtemel Hata ve Risk Faktörleri için Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) Analizi Uygulaması.....	81
6.SONUÇLAR.....	87
KAYNAKLAR.....	91
EKLER.....	97
Ek. 1 - Etik onay belgesi.....	97
Ek. 2 - Yüksek Lisans Tez Çalışması Kapsamında Yapılan Anket Formu.....	98
ÖZGEÇMİŞ.....	101
TEZDEN TÜRETİLEN YAYIN VE ESERLER.....	101

SİMGELER ve KISALTMALAR LİSTESİ

SİMGELER

A	: Karşılaştırma Matrisi
C	: Normalize Matris
n	: Faktör Sayısı
O	: Hata ve Riskin Gerçekleşme Olasılığı
S	: Hata ve Riskin Saptanabilirliği
Ş	: Hata ve Riskin Şiddeti
W	: Öncelik Vektörü
$\lambda_{\max}$	: Temel Değer

KISALTMALAR

AHP	: Analitik Hiyerarşi Prosesi
BOÖÇ	: Bakım Onarım ve Ölçme Çalışmaları
CI	: Tutarlılık Göstergesi
CR	: Tutarlılık Oranı
ÇED	: Çevre Etki Değerlendirmesi
DGM	: Duruş Görüş Mesafesi
GGM	: Geçiş Görüş Mesafesi
GNSS	: Global Navigation Satellite Systems
GPS	: Global Positioning Systems
GSYİH	: Gayri Safi Yurt İçi Hasılat
HTEA	: Hata Türü Etkileri Analizi
İHA	: İnsansız Hava Aracı
İSG	: İş Sağlığı ve Güvenliği
KGM	: Karayolları Genel Müdürlüğü
RI	: Rastgele Değer İndeksi
RÖS	: Risk Öncelik Sayısı
YİD	: Yap – İşlet – Devret

TABLolar LİSTESİ

Tablo 4.1. Bir proje ya da ürün tasarımında hata veya risklerin gerçekleşme olasılığı ve dereceleri	55
Tablo 4.2. Bir proje ya da ürün tasarımında hata veya risklerin şiddet etkisi ve dereceleri	55
Tablo 4.3. Bir proje ya da ürün tasarımında hata veya risklerin tespit edilebilirliği ve dereceleri	56
Tablo 4.4. RÖS aralıkları	57
Tablo 4.5. AHP önem dereceleri	60
Tablo 4.6. Rastgele değer indeksi (RI) değerinin tespit edilmesine yönelik verilen tablosal değerler	63
Tablo 5.1 Karayolu üstyapı işletme aşamasında yapılan bakım onarım ve ölçme çalışmalarındaki (BOÖÇ) karşılaştırılması muhtemel hata ve riskler için hazırlanan HTEA tablosu	71
Tablo 5.1. Karayolu üstyapı işletme aşamasında yapılan bakım onarım ve ölçme çalışmalarındaki (BOÖÇ) karşılaştırılması muhtemel hata ve riskler için hazırlanan HTEA tablosu (Devam)	72
Tablo 5.1. Karayolu üstyapı işletme aşamasında yapılan bakım onarım ve ölçme çalışmalarındaki (BOÖÇ) karşılaştırılması muhtemel hata ve riskler için hazırlanan HTEA tablosu (Devam)	73
Tablo 5.2. Karayolu işletme aşamasındaki bakım onarım ve ölçme çalışmalarında oluşan hata ve riskler için uygulanan pareto analizi.....	75
Tablo 5.2. Karayolu işletme aşamasındaki bakım onarım ve ölçme çalışmalarında oluşan hata ve riskler için uygulanan pareto analizi.....	76
Tablo 5.3 Karayolu işletme aşamasındaki bakım onarım ve ölçme çalışmalarında (BOÖÇ) oluşan hata ve riskler için uygulanan pareto analizi	78
Tablo 5.4. Karayolu işletme aşamasındaki bakım onarım ve ölçme çalışmalarında (BOÖÇ) oluşan hata ve riskler için uygulanan pareto analizi	80
Tablo 5.5. Karayolu işletme aşamasındaki bakım onarım ve ölçme çalışmalarında (BOÖÇ) oluşan hata ve riskler için uygulanan AHP yöntemi ile ilgili oluşturulan ikili karşılaştırma matrisi (A)	82
Tablo 5.6. Karayolu işletme aşamasındaki bakım onarım ve ölçme çalışmalarında (BOÖÇ) oluşan hata ve riskler için uygulanan AHP yöntemi ile ilgili oluşturulan normalize matris (C).....	83
Tablo 5.7. Karayolu işletme aşamasındaki bakım onarım ve ölçme çalışmalarında (BOÖÇ) oluşan hata ve riskler için önem dereceleri.....	84
Tablo 5.8. λ_{max} değeri için yapılan hesaplamalar tablosu	85
Tablo 6.1. Karayolunda bakım onarım ve ölçme çalışmalarında meydana gelen risk ve hatalar AHP yöntemine göre öncelik ya da ağırlıklarının sıralanması.....	89

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Bolu dağı ve Karadeniz sahil yolu Trabzon kesimi	8
Şekil 2.2. Türkiye trans Avrupa (TEN-T) karayolu ağları	9
Şekil 2.3. Basit dairesel yatay kurp	10
Şekil 2.4. Ters dairesel yatay kurp	11
Şekil 2.5. Birleşik dairesel yatay kurp.....	11
Şekil 2.6. Dere düşey kurp ve Tepe düşey kurp	13
Şekil 2.8. Yol boykesit	14
Şekil 2.9. Yolun enkesiti	14
Şekil 2.11. Sanat yapıları.....	20
Şekil 2.12. Altyapı çalışması.....	20
Şekil 2.13. Esnek üstyapı kesiti ve karot örneği	21
Şekil 2.14. Türkiye otoyol ağı.....	23
Şekil 2.15. Karayolu üstyapı yük dağılımı ve tipik tabakalar	24
Şekil 2.16. Karayolu ses bariyerleri	26
Şekil 3.1. Orta şiddette kabarma	31
Şekil 3.2. Asfalt kaplama da tekerlek izinde oturma ve oluklanma	32
Şekil 3.3. Ondülasyon	32
Şekil 3.5. Enine çatlak.....	34
Şekil 3.6. Boyuna çatlaklar	35
Şekil 3.7. Yetersiz drenaj sebebiyle oluşan çukur.....	36
Şekil 3.8. Yarım derz ve yol üzerindeki çatlaklar	38
Şekil 3.9. Sayısal Nivo, Barkodlu Mira ve Total Station görseli	41
Şekil 3.10. GNSS uyduları	41
Şekil 3.11. Yol ekseninden alınan kesite ait ortofoto.....	43
Şekil 3.12. İnsansız hava aracı	43
Şekil 3.13. Lidar sistemi.....	44
Şekil 3.14. Uzaktan algılama sistemlerinin çalışma prensibinin şematik olarak gösterimi	45
Şekil 4.1. Hata türü ve etkileri analizi (HTEA) döngüsü	54
Şekil 5.1. Karayolu üstyapı işletme aşamasındaki bakım onarım ve ölçme çalışmalarında oluşan hata ve riskler için uygulanan pareto grafiği	77
Şekil.5.2 Karayolu üstyapı işletme aşamasındaki bakım onarım ve ölçme çalışmalarında oluşan hata ve riskler için uygulanan pareto	79
Şekil.5.3. Karayolu üstyapı işletme aşamasındaki bakım onarım ve ölçme çalışmalarında oluşan hata ve riskler için uygulanan pareto grafiği	81

KARAYOLU ÜSTYAPI İŞLETME AŞAMASINDAKİ BAKIM ONARIM VE ÖLÇME ÇALIŞMALARINDA OLUŞAN HATA VE RİSKLERİN HTEA, PARETO VE AHP YÖNTEMİNDE İNCELENMESİ

ÖZET

Karayolu projeleri, ulaştırma alanında yapılan büyük mühendislik projelerinin başında gelen önemli projeler arasında yer almaktadır. Bir ülkedeki ekonomik, ticaret, eğitim, sağlık, turizm vb. gibi alanlardaki gelişmelerle birlikte, ulaşım konusundaki ihtiyaç da artmakta, karayolu projeleri de bu ihtiyacı karşılayan önemli bir unsur olmaktadır. Bir karayolu projesinin genel olarak projelendirme, inşaat ve işletme aşamaları bulunmaktadır. Özellikle işletme aşamasında, kullanım ve çevre koşullarına da bağlı olarak bir karayolu üstyapısında deformasyon, bozulma ve yıpranmalar oluşabilmektedir. Oluşan bu tahribatlar da büyük miktarlarda bakım, onarım ve ölçme çalışmalarına sebep olmakta, bu da ekonomik açıdan büyük harcamaları meydana getirmektedir. Ayrıca bu çalışmalarda yapılan muhtemel hata ve riskler, bu maliyetlerin daha da çoğalmasına sebep olmaktadır. Bu sebeple bu tür onarım bakım ve ölçme çalışmalarında karşılaşılabilecek muhtemel risklerin ortaya çıkartılarak önlemlerinin de alınması, ekonomik kayıpları oldukça azaltacaktır. Yapılan bu çalışmada, ilk olarak karayolu üstyapısında oluşması muhtemel hata ve riskler, Hata Türü Etkileri Analizi (HTEA) yönteminde incelenmiş ve tespit edilen 15 adet risk ile ilgili olarak Risk Öncelik Sayıları (RÖS) değerleri hesaplanarak, risk seviyeleri belirlenmiştir. Yine bu risk ve hataların oluşması durumunda, alınması gereken önlemler araştırılarak, bu önlemlerin alınması sonrasında da risk ve hataların risk seviyeleri tekrar incelenmiştir. Bu araştırma yapılırken konunun uzmanlarına anket yapılmış ve bu anket için Yalova Üniversitesi'nden etik izin onayı alınmıştır. HTEA analizinde yer alan bu risklerin Pareto ve Analitik Hiyerarşi (AHP) yöntemleri kullanılarak önem sıraları belirlenmeye çalışılmıştır. Yapılan Pareto analizine göre, karayolu işletme aşamasındaki bakım onarım ve ölçme çalışmalarında oluşması muhtemel 15 adet risk ve hatadan ilk sırayı, İşletim sırasında Karayolu kaplamasında oluşan düşey yönlü bozulmalar için yapılan düşey yöndeki ölçme işlerinden (Nivelman, Lidar, Fotogrametrik, Uzaktan Algılama) kaynaklanan hata ve riskler almıştır. AHP yönteminde tespit edilen tüm riskler arasında, bu ilk risk için ağırlık katsayısı 0.227 ile yaklaşık olarak %23 şeklinde tespit edilmiştir. Ayrıca yapılan bu çalışma ile bu alanda çalışan teknik ve idari personellere de bir yol gösterilmesi amaçlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Karayolu üstyapı bozulmaları, Hata türü etkileri analizi (HTEA), Bakım, onarım ve ölçme çalışmaları, Pareto, Analitik hiyerarşi prosesi (AHP).

INVESTIGATION OF ERRORS AND RISKS IN MAINTENANCE, REPAIR AND MEASUREMENT WORKS OF HIGHWAY SUPERSTRUCTURE DURING OPERATION PHASE BY HTEA, PARETO AND AHP METHODS

ABSTRACT

Highway projects are among the major engineering projects carried out in the field of transportation. With the developments in areas such as economy, trade, education, health, tourism, etc. in a country, the need for transportation also increases, and highway projects are an important element that meets this need. A highway project generally has design, construction and operation phases. Especially during the operation phase, deformation, deterioration and corrosion may occur on a highway pavement depending on usage and environmental conditions. These damages cause large amounts of maintenance, repair and measurement work, which results in large economic expenses. In addition, possible failures and risks in these studies cause these costs to increase even more. For this reason, identifying the possible risks that may be encountered in such repair, maintenance and measurement works and taking precautions will significantly reduce economic losses. In this study, firstly, the possible failures and risks that may occur in the highway superstructure were examined using the Failure Mode Effects Analysis (FMEA) method, and risk levels were determined by calculating the Risk Priority Numbers (RÖS) values for the 15 identified risks. Again, in case these risks and failures occurred, the precautions to be taken were investigated, and after these preventions were taken, the risk levels of the risks and failures were re-examined. While conducting this research, a survey was conducted with experts on the subject and ethical permission approval was received from Yalova University for this survey. The importance of these risks included in the FMEA analysis was tried to be determined by using Pareto and Analytic Hierarchy (AHP) methods. According to the Pareto analysis, among the 15 risks and failures that are likely to occur in the maintenance, repair and measurement works (Leveling, Lidar, Photogrammetric, Remote Sensing) during the highway operation phase, the first place is taken by the failures and risks arising from the vertical measurement works carried out for vertical deterioration in the highway pavement during operation. Among all the risks identified in the AHP method, the weight coefficient for this first risk was determined to be approximately 23% with 0.227. In addition, this study aims to provide guidance to technical and administrative personnel working in this field.

Keywords: Highway pavement deterioration, Failure mode effects analysis (FMEA), Maintenance, Repair and measurement studies, Pareto, Analytical hierarchy process (AHP).

1. GİRİŞ

İnsanların, eşyalarının ve diğer canlıların belirli bir noktadan diğer bir noktaya taşınması ulaştırma konusu ve bilimi içerisinde incelenmektedir. Günümüzdeki ülkelerin bu konudaki gelişmişlik ve bilimsellik düzeyleri, o ülkelerin çağdaş ve modern bir yaşantı sürmeleri ile doğru orantılı olarak artmaktadır. Ulaştırma faaliyeti için birçok seçenek bulunmakla birlikte bu unsurlar arasında en başta geleni karayolları olmaktadır. Karayolları bir ülkedeki ekonomi, turizm, ticaret, eğitim, sağlık ve lojistik gibi birçok alanın gelişimiyle doğrudan ilgili olmakla birlikte, bu mühendislik yapısının projelendirilmesi, inşaatı ve işletimi de ekonomik yönden oldukça maliyetli bir iş olmaktadır (Yaşa ve Çetin, 2022). Bu unsurlar, ulaştırma endüstrisinin karmaşıklığını ve çeşitliliğini göstermektedir. Günümüzde, ulaştırma alanındaki bilimsel ve teknolojik ilerlemeler, toplumların ekonomik ve sosyal gelişimine büyük katkı sağlamaktadır. Ancak, bu ilerlemelerin çevresel etkileri ve sürdürülebilirlik endişeleri göz önünde bulundurularak, gelecekte daha çevre dostu ve sürdürülebilir ulaştırma çözümleri üzerinde çalışmaların devam etmesi gerekmektedir.

O sebeple bir karayolu projesinin yapılmasından önce, bu projelerin fizibilite ve etüt aşamalarında oldukça iyi planlama ve projelendirme çalışmaları yapılmalı ve bu yapılanlar da yolun özellikle, işletme aşamasına çok iyi bir şekilde yansıtılmalıdır. Bir karayolu platformunun işletilmesi aşamasında yol üst yapısında; trafik yoğunluğu, kullanılan malzemenin cinsi ve kalitesi, iklim şartlarının yol üst yapısındaki olumsuz etkileri ve yol tasarım hataları gibi sebeplerle bozulmalar meydana gelebilmektedir. Bu da yolun hizmet ömrü açısından önemli kayıplara sebep olmaktadır (Bağdatlı ve Yıldırım, 2017; Yaşa ve Çetin, 2022). Ayrıca karayolu üzerinde meydana gelen bu bozulmalar, yine yolun işletilmesi aşamasında trafik güvenliğini, trafik emniyetini ve yolculuk konforunu da olumsuz yönde etkilemektedir. Sayılan bu olumsuz etkilerin en aza indirgenmesi ve yol platformlarının hizmet ömrünün daha fazla uzatılması için yol yüzeyinde meydana gelen bozulma ve deformasyonlarla ilgili olarak bakım, onarım ve tamirat işleri düzenli bir şekilde yapılmalıdır (Yaşa, 2020) Tam bu noktada ise yol platformu için gerçekleştirilen mühendislik ölçmelerine ihtiyaç duyulmaktadır. Mühendislik ölçmeleri yersel (GNSS, Nivelman, Lidar vb.) fotogrametrik ve uzaktan algılama gibi yöntemlerle yapılan ve miktar hesaplamalarına konu olan ölçme sanatı ve bilimi olmaktadır. Özellikle karayolu platformlarında meydana gelen deformasyon ve bozulmaların miktarının belirlenmesinde uygulanan bu ölçmeler, bakım onarım ve tamirat işlerinin maliyetlerinin belirlenmesinde de önemli bir rol oynamaktadır.

Karayolu işletme aşamasında sathi ve esnek asfalt betonu kaplamalı esnek üst yapılarıdaki bozulma tipleri için genel olarak; deformasyonlar, çatlamlar ve ayrışmalar şeklinde ifade edilebilmektedir (Bağdatlı ve Yıldırım, 2017). Bu bozulmalar için onarım ve bakım metotları ile ilgili en çok tercih edilen unsurlar; yama, çatlak dolgusu ve yalıtımı, harç tipi kaplama, koruyucu sathi kaplama ve ince yüzey kaplaması gibi sıralanabilmektedir. (Sağlık ve Güngör, 2008). Deformasyonlar, yolun üst yapısındaki asfalt kaplamada belli bir süre sonra görülen yapısal bozukluklar olmaktadır (Bağdatlı ve Yıldırım, 2017). Yol platformunun belirli kısımlarında bölgesel olarak kendini göstermekle birlikte, karayolu platformlarında, çökme ve kabarma, tekerlek izi oluşumu, ondülasyon gibi türleriyle ortaya çıkabilmektedir. (Bağdatlı ve Yıldırım, 2017). Yol platformunda oluşan bu tür bozulmalarla ilgili olarak, çökme ve ondülasyon görüldüğünde, plentmiks sıcak asfalt karışımı ile yama şeklinde onarım faaliyetleri yapılabilmektedir. Ayrıca yol platformunda kabarma ile karşılaşıldığında ise drenaj uygulamaları da yapılmaktadır (İsfalt, 2001). Karayolu platformlarında görülen ayrışmalar şeklindeki bozulmalar ise yol platformundaki inşaat hataları, düşük özellikteki malzeme kullanımı, malzemelerin homojen olmayan karışımı, gibi sebeplerden meydana gelmekte olup çukurlar, sökülmeler şeklinde ortaya çıkabilmektedir (Bağdatlı ve Yıldırım, 2017).

Yol platformlarında oluşan çukurlarda bakım faaliyetleri olarak sıcak asfalt karışımı ile yama yapılabilen ve drenaj sistemleri uygulanabilmektedir. Ortaya çıkan sökülmelerde ise agregalı koruyucu tabaka veya plentmiks karışımlar kullanılabilmektedir (İsfalt, 2001). Çatlamlar olarak görülen bozulmalar ise genellikle araçların dingil yüklerinden ve bunların platform yüzeyinde birçok defa tekrar etmesinden oluşmaktadır. Araçların dingil yükünün yol platformundaki kaplama tabakasında oluşturduğu bozulmalar, kaplamayı meydana getiren malzemenin dayanma gücünü aştığı zaman karayolunda çatlamlar oluşur ve bu bozulmalar timsah sırtı çatlaklar, büzülme çatlakları, kenar çatlakları, derz çatlakları, kayma (ötelenme) çatlakları şeklinde kendini göstermektedir. (Bağdatlı ve Yıldırım, 2017). Yol platformlarındaki oluşan çatlak şeklindeki bozulmalarda ise bitümlü sıcak karışım, ince yüzey kaplama veya harç tipi kaplama işlemi ve ayrıca yama uygulamaları yapılabilmektedir (İsfalt, 2001). Karayolu işletme aşamasında beton kaplamalı rijit üst yapılarıdaki bozulma tipleri için genel olarak; beton kaplama yüzeyinde oluşan projelendirme ve inşaat hataları kaynaklı çatlaklar, beton yol yüzeyinde oluşan çukurlar, genleşme derzlerindeki bozulmalar, plak oturumları, alt yapı tesis inşaatı kaynaklı bozulmalar ve beton kaplamalı yoldaki yüzeysel pürüzlülüğün azalması şeklinde sayılabilmektedir (Ağar ve diğ., 1998). Beton yol

platformunda oluşan çatlaklarının onarımında; çatlakların, beton asfalt örtüsü ile kaplanması ya da çatlakların derze dönüştürölmesi şeklinde yapılabilmekte olup, platformlarda oluşan çukurlarda ise bitümlü karışım ve ince beton tabakası ile takviye yardımıyla veya beton plağın tamamının ya da bir kısmının kırılıp kaldırılması suretiyle plağın tekrar yenilenmesi şeklinde uygulanabilmektedir (Ağar ve diğ., 1998). Genleşme derzlerindeki bozulmalarda ise derz boşlukları temizlenerek dolgu malzemeleri ve mastik asfalt ile doldurulma suretiyle onarımlar yapılmakta, plak oturmalarında ise yeni plak betonu dökölmesi, drenleme sistemlerinin kontrolü ve gerekiyorsa bu sistemlerin takviyesi ya da plak altı enjeksiyonu yöntemleri ile onarımları uygulanabilmektedir (Ağar ve diğ., 1998). Altyapı inşaatında kaynaklı olan bozulmalar kapsamında beton yolda açılan bir hendek varsa bu hendekler yeni plaklar veya onarım betonu ile doldurulma suretiyle tokmaklarla sıkılaştırılması ve tesviyesi yapılarak onarımları uygulanabilmekte, yüzeysel pürüzlölüğün azalması probleminde ise bitümlü yüzeysel kaplamalarla, elmas diskli özel araçlarla ve elik bilyelerin yol yüzeyine fırlatılması yöntemiyle onarımlar yapılabilmektedir (Ağar ve diğ., 1998).

Karayolu platformlarında oluşan yatay ve düşey yöndeki deformasyon ve bozulma türlerinin tespit edilmesi sonrasında; bakımlarının, onarımlarının ve tamiratlarının yapılması ile bu işlerle ilgili olarak yapılacak olan mühendislik ölçmelerinin son derece özenle ve dikkatlice yapılması esas olmaktadır. Karayolundaki bakım, onarım ve ölçme çalışmalarının hassas, doğru, periyodik ve prezisyonlu olarak uygulanmasıyla da hem ekonomik olarak kazançlar sağlanacak hem de karayolu platformlarının hizmet ömrünün uzaması büyük oranda gerçekleşmiş olacaktır. Fakat yapılan bütün bu çalışmalar kendi içerisinde bazı hata ve riskleri de bünyesinde bulundurmaktadır. Bu tür hata ve risklerin belirlenmesinde Hata Türü ve Etkileri Analizi (HTEA) ve bu hata ve risklerin önceliklerinin belirlenmesi ile ilgili olarak da Pareto Analizi ile Analitik Hiyerarşı Prosesi (AHP) uygulanabilir yöntemler olabilmektedir. Bu sistematik analiz türleri genel olarak, bir konudaki hata ve risklerin önceden belirlenerek önlemlerin alınmasında ve bunların önem ve öncelik sıralarının ortaya konulmasında önemli yöntemler olmaktadır (Akın, 1998; Liu ve diğ., 2013; Özcan, 2001; Keskin ıttıroğlu ve diğ., 2022).

Genel olarak HTEA alışılmak istenen bir konu ya da projeye ilgili olarak riskler ve bu risklere karşı alınabilecek önlemleri belirleyen bir yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır. Birçok alanda uygulama imkânı bulunan bu yöntemle, özellikle mühendislik alanındaki risk ve hataların; olasılık, tespit edilebilirlik ve şiddet parametreleri kullanılarak Risk Öncelik Sayısı (RÖS) belirlenmekte ve bu risklerin meydana gelmemesi için alınabilecek önlemlerle o

mühendislik konusundaki büyük maliyet kayıplarının önüne geçilebilmektedir. Pareto sistematik yönteminde ise HTEA ile belirlenen bu risklerin öncelik sıralaması hesaplanmakta ve bu hesaplar grafiksel olarak ortaya konulmaktadır. Ayrıca bu yöntemde de amaç bir sorunu oluşturan bütün risklerden birkaçına müdahale edilerek ya da önlemi alınarak, o problemin büyük bir çoğunluğunu çözmek amaçlanmaktadır. AHP yöntemi ise yine risklerle ilgili olarak ağırlık ve öncelik sıralamaları yapılmakta ve Pareto Analizi ile de aralarındaki korelasyona bakılabilmektedir.

Yapılan bu tez çalışmasında büyük mühendislik ve ulaşım projeleri arasında yer alan karayollarının işletme aşamalarında gerek kullanıma bağlı olarak gerekse de çevre şartlarına göre gelişen bozulma ve deformasyonlar için yapılan bakım onarım tamirat ve ölçme işlemlerinde oluşan hata ve riskler incelenmiştir. Bu inceleme için ilk olarak bu işlemlerde karşılaşılabilecek muhtemel riskler belirlenmiş ve bu riskler için riskin meydana gelme olasılığı, şiddeti ve tespit edilebilirliğine yönelik anket çalışması yapılmıştır. Yapılan anket çalışmasında bu konuda uzman olan kişiler (Ulaştırma Mühendisleri, Harita Mühendisleri, İnşaat Mühendisleri) seçilmiştir. Sonrasında bu kişilerden yine bu riskin meydana gelmesi halinde alınabilecek önlemler ve bu önlemler alındıktan sonra da riskin meydana gelme olasılığı, şiddeti ve tespit edilebilirliğine yönelik değerlendirmeler yapmaları istenmiştir. Ayrıca yapılan bu HTEA analizinde, çalışma konusu ile ilgili hata ve riskler ile karşılaşıldığında hangi kanun, yönetmelik, tüzük gibi mevzuata uyularak hareket edilmesi gerektiği ve bunun yanında hangi ekiplerin hangi riskler için çalışma yapacağı belirlenmiştir. Ayrıca HTEA analizinde çalışılan bu riskler, hesaplanan Risk Öncelik Sayısına (RÖS) göre hafif orta ve yüksek risk kategorilerine ayrılmıştır. Tez kapsamında uygulanan bu anket çalışması Yalova Üniversitesi, Etik Kurullar Koordinatörlüğü, Fen ve Mühendislik Bilimleri Bilimsel Araştırmalar Etik Kurulu tarafından 2023/203 protokol no ile verilen etik izin onay belgesi kapsamında yapılmıştır. Bu aşamadan sonra yapılan pareto analizi ile bu konuda risklerin önem sıralaması 2 alternatifli olarak ortaya konulmak istenmiştir. Bu aşamadan sonra da bu risklerin ağırlıklarının belirlenmesi amacıyla da AHP yöntemi kullanılmıştır. Bütün bu analizler sonrasında elde edilen sonuç bulgular bu yapılan tez çalışmasının sonuçlar bölümünde ayrıntılı olarak ele alınmıştır.

Yapılan bu çalışma, kara yolu bakım, onarım ve ölçme çalışmalarında karşılaşılabilecek potansiyel hata ve risklerin belirlenmesi ve bu risklere karşı etkili önlemler alınarak ekonomik kayıpların önlenmesi amacıyla taşınmaktadır. Karayolu altyapısı, sürekli maruz kaldığı çevresel etmenler ve yoğun kullanım nedeniyle zamanla aşınabilir ve zarar görebilmektedir.

Bu durum, güvenlik risklerini arttırabilir ve ekonomik kayıplara yol açabilmektedir. Özellikle kara yolu bakım, onarım ve ölçme çalışmalarında yaşanabilecek hataların ve risklerin tespit edilerek önlenmesi, altyapıya yapılan yatırımların etkinliğini artırmaktadır.

Bu bağlamda, mühendislik uygulamalarının hassas, doğru ve güvenilir bir şekilde gerçekleştirilmesi önem arz etmektedir. Bu çalışma, bu alandaki uygulamalarda titizlikle ilerlemesini sağlayarak bir kara yolu altyapısının daha uzun ömürlü ve güvenli olmasına katkıda bulunmaktadır. Ayrıca, bu çalışma sadece mevcut uygulamalara rehberlik etmekle kalmayıp aynı zamanda ulaştırma, inşaat, harita mühendisleri ve şehir bölge plancıları gibi ilgili profesyonellere de yol göstermektedir. Bu meslek grupları altyapı projelerindeki planlama, tasarım ve uygulama aşamalarında önemli roller üstlenmektedirler. Bu nedenle, bu çalışma sayesinde bu profesyonellerin daha bilinçli ve etkin bir şekilde çalışmaları teşvik edilmektedir. Ulaştırma mühendisliği ve altyapı yönetimi gibi alanlarda sürekli olarak yeni bulguların ve çözümlerin paylaşılması sektördeki gelişimi desteklemektedir. Bu çalışma, benzersiz bir metodoloji sunarak alanındaki bilgi birikimini zenginleştirmek ve gelecekteki araştırmalara temel oluşturacaktır. Bu sayede kara yolu altyapısının da etkili ve sürdürülebilir bir şekilde yönetilmesine katkı sağlanacaktır.

2. KARAYOLU SİSTEMLERİ

2.1. Karayollarının Ulaştırma Alanındaki Yeri ve Önemi

Karayolu, herhangi bir yolcunun veya eşyanın başlangıç ve varış noktaları arasında kesintisiz bir bağlantı sağlayarak seyahat etmesine olanak sağlamaktadır. Aynı şekilde, üretim ve tüketim noktaları arasında doğrudan bağlantı kurmaktadır. Bu sayede, mal ve eşyaların daha hızlı ve verimli bir şekilde istenilen noktaya ulaştırılması sağlanmaktadır. Karayolu ulaşımı, taşıma kapasitesi ve güzergah seçiminde esneklik sağlayarak taleplere göre ayarlanabilir bir yapı sunmaktadır (Deniz, 2016). Karayolu, ticaretin büyümesi ve ekonomik kalkınmanın temel taşlarından birini oluşturmaktadır. Karayolları, malların ve hizmetlerin pazarlara ulaştırılmasını kolaylaştırır ve böylece işletmelerin genişlemesine ve yeni pazarlara erişimine olanak sağlamaktadır. Ulaşım sistemleri içerisindeki karayolunun gelişmesi herhangi bir bölgenin sosyo-ekonomik ve kültürel gelişiminde hayati rol oynamaktadır. Araştırmacılar, karayolu taşıma sistemlerinin gelişmesi ile ekonomik büyüme arasında paralellik olduğunu düşünmektedirler. Çalışmalar, karayolu ulaşımının gelişmesi yerel ekonomik kalkınmayı teşvik etmede önemli rol oynadığını göstermektedir (Walia ve diğ., 2017). Karayolu, bir ülkenin veya bölgenin ekonomik kalkınması, ticaretin gelişmesi, insanların günlük yaşamlarındaki hareketliliği ve sosyal etkileşimi için temel bir altyapı unsuru olduğu kabul edilmektedir. Karayolu ağları, insanların günlük yaşantısında işe gitmek, alışveriş yapmak, eğlence noktalarına gitmek gibi temel aktivitelerini gerçekleştirmelerini sağlamaktadır. Karayolu ağları, acil durum ve kurtarma operasyonlarında hayati rol oynamaktadır. Felaket durumlarında, tıbbi yardım, kurtarma ekipleri ve malzemelerin hızlı bir şekilde etkilenen bölgelere ulaştırılması karayolu vasıtasıyla yapılmaktadır. Bu sayede afetlerin etkilerini azaltmak ve toplumların daha hızlı bir şekilde toparlanmasını sağlamaktadır.

Taşımacılık, bir organizasyonun toplam giderlerinin üçte birini oluşturduğu için tüm faaliyetler arasında en önemlisi lojistik faaliyet olarak kabul edilmektedir (Bayoumi ve diğ., 2021). Ulaştırma yatırımlarının, toplam yolculuk süresini azaltarak taşıma süresini ve maliyetlerini azaltmak, yakıt tüketimi gibi işletme maliyetlerini azaltmak, ağ içindeki lokasyonlara erişimi artırmak gibi birçok etkisi bulunmaktadır. Bu yatırımlar aynı zamanda bir ülkenin ekonomik büyümesinin önündeki engelleri ortadan kaldırabilir ve lojistik performans verimliliği düzeyini artırabilmektedir (Bayoumi ve diğ., 2021). Karayolu taşımacılığı lojistik süreçlerin önemli bir parçası olduğundan, lojistik ve tedarik zinciri yönetimi açısından stratejik öneme sahip olmaktadır. Ülkemiz karayolu ağının genişletilmesi

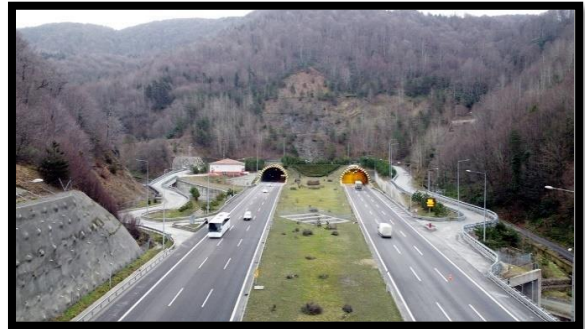
ve iyileştirilmesi ile ilgili olarak yatırım yapma konusunda uzun bir geçmişe sahip olmaktadır. Türkiye’de 2000 sonrası mevcut yolların bölünerek dönüştürülmesi daha yaygın hale gelmiştir (Ayhan, 2024). Karayolları yapılırken diğer taraftan bu yolları birbirine bağlayan tünel ve köprü yapımı da hızlandırılmıştır. Bu sayede bağlantı sağlanarak konforlu, emniyetli ve hızlı bir ulaşım olması amaçlanmıştır (Ayhan, 2024). Bazı projelerin bazıları Yap-işlet-devret bazıları ise kamu bütçesi ile inşa edilmiştir (Ayhan, 2024). Bu projelerden birkaçı aşağıda verilmiştir.

Yap-işlet-devret ile yapılanlar;

- ✓ Kınalı – Tekirdağ - Çanakkale – Balıkesir Otoyolu (101 km) ve 1915 Çanakkale Köprüsü (2022)
- ✓ Gebze – Orhangazi – İzmir Otoyolu (426 km) ve Osmangazi Köprüsü (2016)
- ✓ Kuzey Marmara Otoyolu (436,4 km) ve Yavuz Sultan Selim Köprüsü (2016) (Ayhan, 2024).

Kamu bütçesiyle yapılanlar,

- ✓ Karadeniz Sahil Yolu Samsun – Sarp Etabı 542 km (2007)
- ✓ Bolu Dağı Geçişi ve Tüneli – 25,5 km (2010)
- ✓ Kömürhan Köprüsü ve Kömürhan Tüneli (2021) (Ayhan, 2024).



Şekil 2.1. Bolu dağı ve Karadeniz sahil yolu Trabzon kesimi (Ayhan, 2024)

Türkiye, 10. Beş Yıllık Kalkınma Planı (BYKP, 2014-2018)) çerçevesinde Avrupa ülkeleri ile ticareti geliştirmek ve ticaret hacmini büyütmek için ulaştırma altyapısına yatırım yapmak üzere iş birliği yapmıştır. Bu doğrultuda 2016 yılında Türkiye’nin Trans Avrupa (TEN-T) Ulaştırma Karayolu ağına katılımı sağlanmıştır. İhtiyaç duyulan finansman AB fonlarından

sağlanmıştır. Bu yollar ile Kafkasya bölgesi ve Orta Doğu ülkeleri ile ticaretin gelişeceği belirtilmektedir (Ayhan, 2024). Bu karayolları aşağıda şekil 2.2’de gösterilmiştir.



Şekil 2.2. Türkiye trans Avrupa (TEN-T) karayolu ağları (Ayhan, 2024)

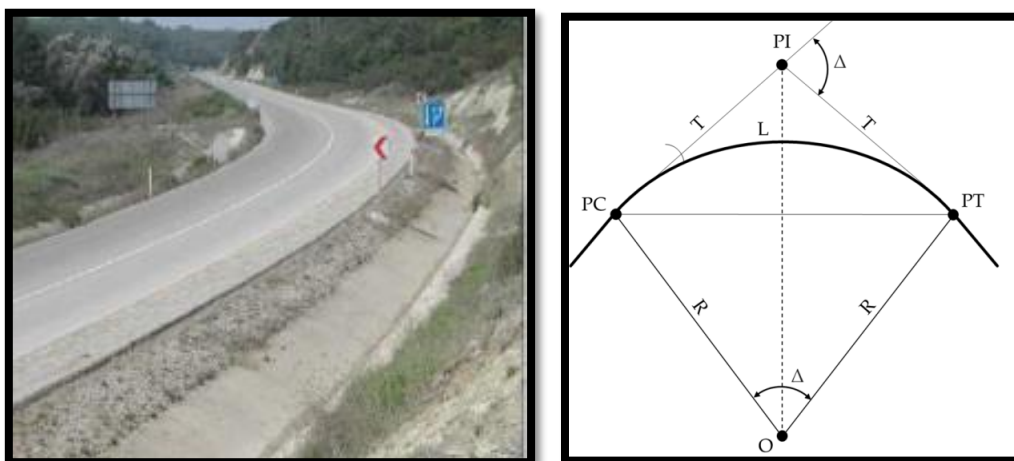
Sonuç olarak, karayolu ulaşımı diğer ulaşım modlarına göre daha esneklik sağlamaktadır. Kısa ve orta mesafeli taşımalarda daha hızlı seçenek olmaktadır. Kısa mesafelerde lojistik maliyetlerini düşürebilmektedir.

2.2. Karayolu Sistemlerindeki Yatay ve Düşey Tasarımlar

Karayolu projelerindeki yatay ve düşey unsurlarının tasarımının ölçümlerinin ve yapımının proje teknik şartnamelerine ve kurallarına göre yapılması yol ömrünün uzun olması için dikkat edilmesi gereken konular arasında olmaktadır. Bu hususlar ayrıca karayolu bakım onarım çalışmalarına da olumlu yönde yansıyacaktır. Karayolu projeleri coğrafi ya da arazi tabanlı olup hat tipi özellik gösteren projeler olmaktadır. Bu sebeple bu mühendislik projelerinin tasarım aşamasında belirli bir harita altlığı üzerinde projelendirmeleri yapılmaktadır. Bu tasarım sırasında yolun yatay ve düşey geometrisinin fizibilite ve istikşaf çalışmaları yapılır ve aynı zamanda bu iki unsurun birbiri ile uyumlu olması istenmektedir. Bu uyum aranırken de gerek bilgisayar ortamında gerekse de grafik ortamlardaki arazi modeli üzerinde bazı çalışmalar yapılabilir.

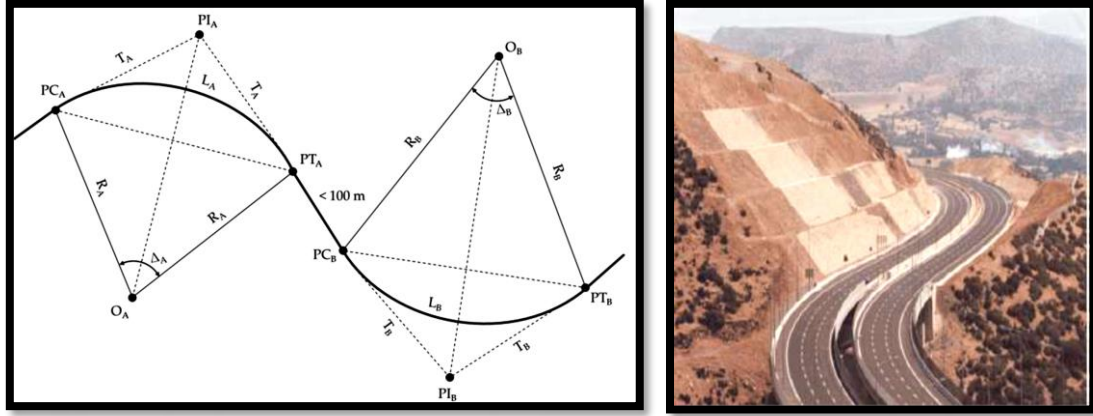
Karayolu trafik kazalarının sayısı son on yılda önemli ölçüde artmaya devam etmektedir. Dünya genelinde her yıl yaklaşık 1.35 milyon insan yollarda hayatını kaybetmekte ve bu da sosyo-ekonomik kayıplara neden olmaktadır (Kronprasert ve diğ., 2021). Özellikle yatay

Yatay kurplardaki karayolu geometrisi, mevcut arazi koşullarına uyum sağlamalı, yolun işlevselliği ve konumu ile uyumlu bir hız üretmek için karayolu unsurlarını entegre edecek şekilde tasarlanması gerekmektedir (Kronprasert ve diğ., 2021). Yol platformlarında yatay kurplar 3 farklı şekilde tasarlanmaktadır. Bunlar; basit dairesel yatay kurplar, birleşik dairesel yatay kurplar ve ters dairesel yatay kurplardan meydana gelmektedir (Soycan ve Faslak, 2019). Basit dairesel kurp en çok tercih edilen yatay kurp olmaktadır. Basit kurplar, yolda keskin bir dönüş oluşturan, genellikle yatayda sabit bir yarıçap ve tek bir eksen yönünde devam eden kısımlardan oluşmaktadır. Bu kurplar yolu takip eden araçların dönüşünü kolaylaştırmak ve güvenliğini artırmak için tasarlanmaktadır (Kronprasert ve diğ., 2021). Aşağıda şekil 2.3’de basit dairesel kurp gösterilmiştir.



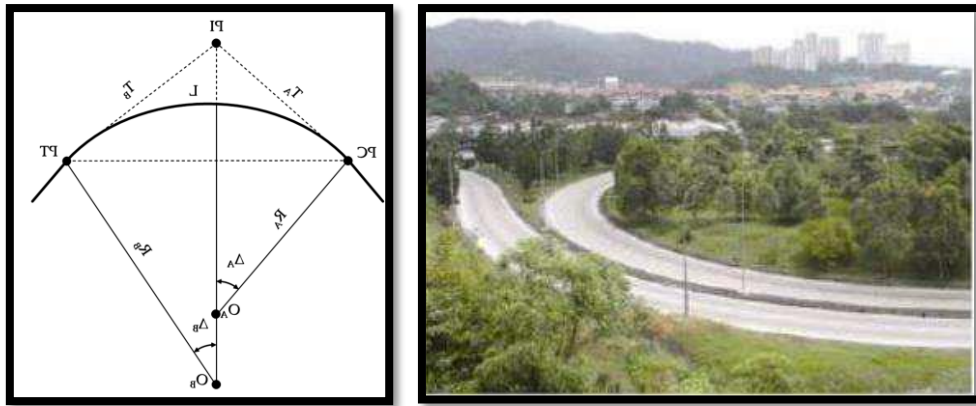
Ters dairesel kurp, ters yönde kıvrılan kurplar arasında 100 metreden kısa bir teğet uzunluğuna sahip iki ardışık dairesel kurptan oluşmaktadır (Kronprasert ve diğ., 2021). Ters

Odairesel kurp, dağlık veya engebeli bölgelerde yer alan hatlar da yaygın olsa da bu geometriden kaçınılması gerekmektedir (Kronprasert ve diğ., 2021). Ters dairesel kurp aşağıda şekil 2.4 ‘de gösterilmiştir.



Şekil 2.4. Ters dairesel yatay kurp (Soycan ve Faslak, 2019; Kronprasert ve diğ., 2021)

Birleşik dairesel yatay kurp, aynı yönde giden ve ortak teğetlerinin aynı tarafında yer alan farklı yarıçaplı (R_A ve R_B) iki veya daha fazla basit yaydan oluşmaktadır. Birleşik kurplar sürücüler için operasyonel sorunlara neden olabilmektedir. Birleşik bir kurp için, büyük kurbun yarıçapı küçük kurbun yarıçapının 1,5 katından fazla olmaktadır (Kronprasert ve diğ., 2021). Birleşik dairesel yatay kurp aşağıda şekil 2.5 ‘de gösterilmiştir.

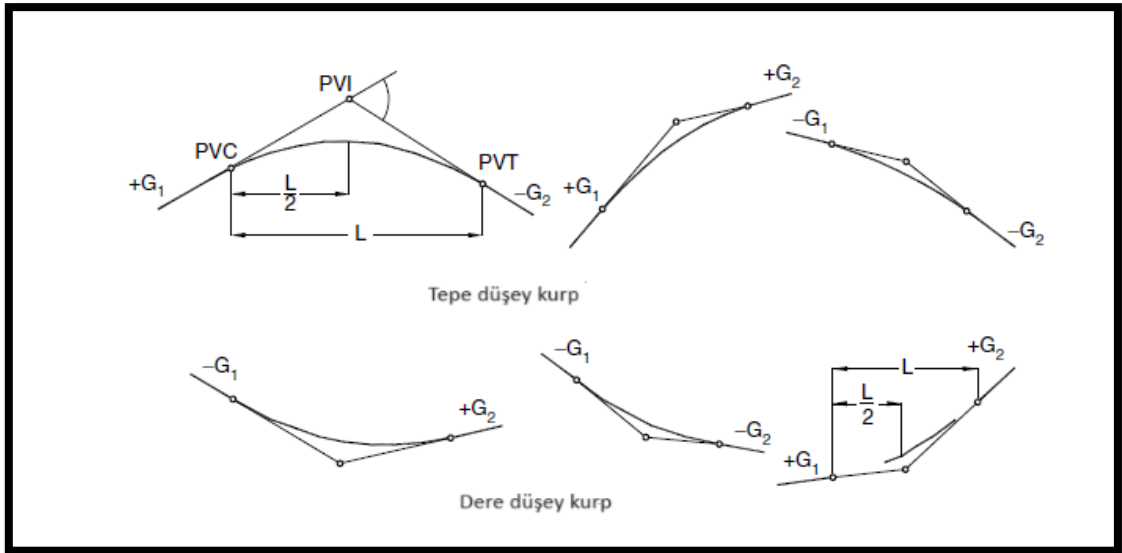


Şekil 2.5. Birleşik dairesel yatay kurp (Soycan ve Faslak, 2019; Kronprasert ve diğ., 2021)

Basit dairesel yatay kurplar, alinymanların kesintisiz bir şekilde dönüşlere izin vermesini sağlamaktadır. Bu kurplar, genellikle yüksek hızlarda güvenli dönüşler yapılmasına olanak tanıyacak şekilde tasarlanmaktadır. Ters dairesel kurplar, basit dairesel kurpların aksine, yolu bir içbükey eğri boyunca yönlendiren ve genellikle daha keskin dönüşler oluşturan kurplardan oluşmaktadır. Bu kurplar, sürücülerin hızlarını düşürmelerini ve dönüşleri daha dikkatli bir şekilde alabilmelerini sağlamaktadır. Ters dairesel kurplar, yoldaki zorlu arazi koşullarına

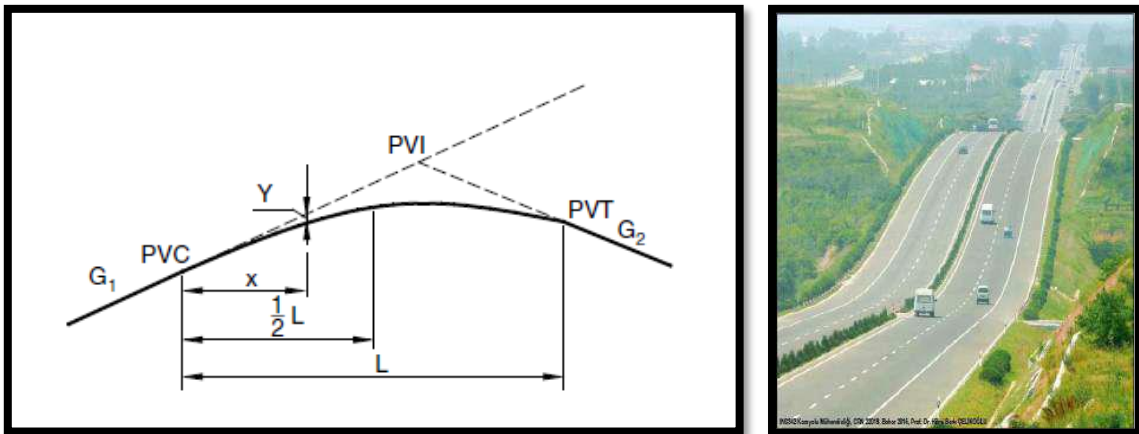
veya mevcut arazi yapısına uyum sağlamak için kullanılabilir. Birleşik dairesel yatay kurp, yolun topografyasına ve çevresel faktörlere uyum sağlamak için kullanılmaktadır. Birleşik dairesel yatay kurplar, karayolu ve ulaştırma mühendislerinin zorlu arazi koşullarını veya sınırlı alanı dikkate alırken verimli bir yol tasarımı yapmalarına olanak tanımaktadır. Bu üç kurp türü, karayolu mühendisliğinde yaygın olarak kullanılır ve sürücülerin güvenliği ve rahatlığı için yolun tasarımında önemli bir rol oynamaktadır. Yol tasarımında hangi kurp türünün kullanılacağı, yolun yerel koşullarına (Topografik, jeolojik, geomorfolojik, iklim vs.) trafik hacmine ve hız gereksinimlerine bağlı olarak değişebilmektedir.

Sürüş konforu ve güvenliği sağlamak amacıyla, ardışık sabit eğimli yol kesimleri arasında düşey kurplar oluşturmaktadır. Bu düşey kurplar, iki sabit eğimli yol kesimi arasında geçişi yumuşatmak için kullanılmaktadır (Karayolları Genel Müdürlüğü, 2016). Düşey kurplar, bu iki eğimli yol kesimini birbirine bağlayan eğrilerdir ve genellikle parabol veya daire şeklinde tasarlanmaktadır. Bu tasarım, sürücülerin yükseklik değişikliklerine daha rahat bir şekilde adapte olmalarını sağlamaktadır. Düşey kurplar, birleştirildikleri iki eğimli yol kesiminin eğim farkını dikkate alarak tasarlanmaktadır. Bu eğim farkına bağlı olarak, iki ana türde düşey kurp vardır: dere düşey kurp (açık düşey kurp) ve tepe düşey kurp (kapalı düşey kurp) (Karayolları Genel Müdürlüğü, 2016). Dere düşey kurplar, eğim farkının arttığı veya azaldığı noktalarda kullanılırken, tepe düşey kurplar ise eğim farkının azaldığı noktalarda tercih edilmektedir. Bu şekilde tasarlanan düşey kurplar, sürücülerin yükseklik değişikliklerine daha iyi adapte olmalarını sağlar ve sürüş konforunu artırmaktadır. Ayrıca, güvenli bir sürüş deneyimi sağlamak için sürüş esnasında araçların stabilitesini korumaktadır. Bu nedenle, düşey kurpların doğru şekilde tasarlanması ve uygulanması, yol kullanıcılarının güvenliği ve konforu için önem arz etmektedir (Karayolları Genel Müdürlüğü, 2016). Aşağıda Şekil 2.6 'da Tepe düşey kurp ve Dere düşey kurp gösterilmiştir.



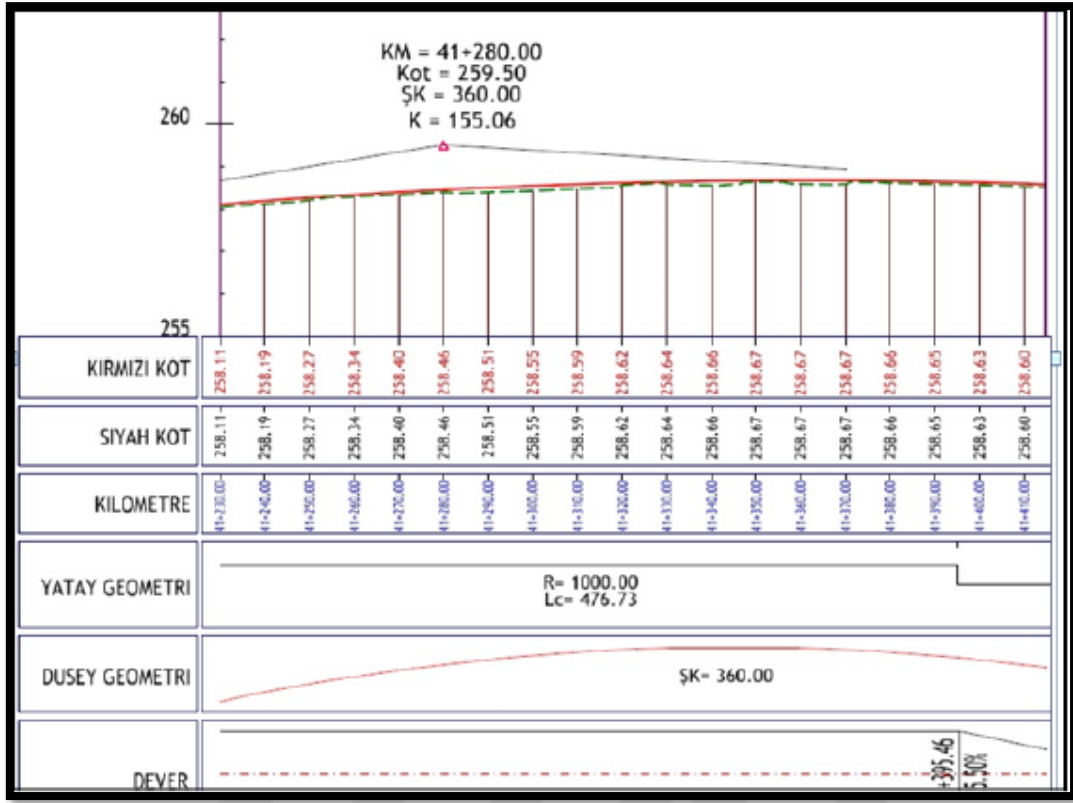
Şekil 2.6. Dere düşey karp ve Tepe düşey karp (Fwa, 2005)

Karayollarında sıkça tercih edilen düşey karp elemanı, kısa mesafelerde bile sürücülere iyi bir görüş imkanı sunan parabolik kapalı düşey karp olmaktadır. Parabolik kapalı düşey karp, yolun düzlemindeki eğimli bölümleri birleştirir ve sürücülerin yükseklik değişimlerine daha kolay adapte olmalarını sağlamaktadır. Bu, özellikle sürücülerin hızla değişen yükselme veya alçalma bölgelerinde kontrolü kaybetme riskini azaltmaktadır (Karayolları Genel Müdürlüğü, 2016). Parabolik düşey karp aşağıda şekil 2.7 'de gösterilmiştir.



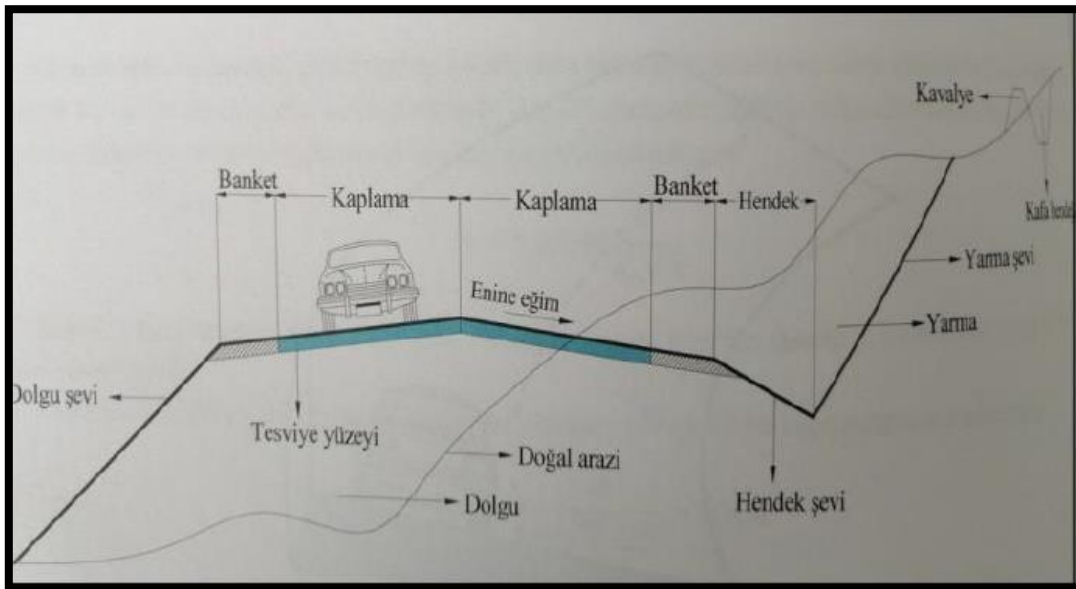
Şekil 2.7. Parabolik kapalı düşey karp (Fwa, 2005; Soycan ve Faslak, 2019)

Yolun geçki boyunca düşey düzlem üzerine aktarılmasına Boykesit denilmektedir. Boykesit üzerindeki siyah kotlar arazi kotunu, yine Boykesit üzerindeki kırmızı kotlar toprak işleri sonrasındaki ve projede öngörülen yüksekliği ifade etmektedir. Kırmızı kot sonrası yol boyunca boyuna eğim ve düşey kurpların geçki üzerindeki konumları ortaya çıkmaktadır. (Soycan ve Faslak, 2019). Yol Boykesit aşağıda Şekil 2.8'de gösterilmiştir.



Şekil 2.8. Yol boykesit (Tükenmez, 2022)

Enkesit ise yolun eksenine dik şekilde belirli aralıklarla (kamulaştırma sınırı kadar) yatay ve düşey düzlemde belirli ölçekte geçirilen grafiklerdir (Soycan ve Faslak, 2019). Yol enkesiti aşağıda Şekil 2.9’da gösterilmiştir.



Şekil 2.9. Yolun enkesiti (Tükenmez, 2022)

2.3. Karayolu Sistemlerinde Yatay ve Düşey Geometri Tasarımları

Karayolu platformlarının tasarımındaki yatay ve düşey geometrik tasarım kriterleri, trafik ve yol güvenliği açısından önemli olmakla birlikte, bu tasarım kriterlerinin doğru ve yönetmeliklere göre yapılması, ileriki dönemlerdeki yol bakım ve onarım faaliyetlerini de olumlu yönde etkilemektedir. Bu sayede hem zaman hem de maliyet açısından büyük kazançlar sağlanmakta ve yol platformunun ömrü de uzamaktadır.

Düşey geometri tasarım kriterleri;

- ✓ Yol inşaatında, boyuna eğimin belirlenmesi önemli bir faktördür. Bu eğim, yoldaki suyun tahliyesini ve yolun güvenliğini etkilemektedir. Genellikle, boyuna eğimin minimum olması tercih edilir ve bu eğimin %0,5 olarak belirlenmesi yaygındır. Ancak, yağışın fazla olduğu ve düz arazi bölgelerinde, suyun yol yüzeyinden hızla tahliye edilmesi gerektiğinden, boyuna eğimin artırılması gerekir. Bu tür durumlarda, boyuna eğimin %0,35'e çıkarılması önerilmektedir (Soycan ve Faslak, 2019).
- ✓ Karayollarının inşası ve düzenlenmesi sırasında, maksimum eğimin aşılmaması kritik bir öneme sahiptir. Bu, sürücülerin güvenliği ve araçların stabilitesi için son derece önemlidir. Dolayısıyla, bir karayolunun herhangi bir noktasında maksimum eğimin aşılmamasını sağlamak için some noktaları kaydırılarak kırmızı hat çizilmelidir (Soycan ve Faslak, 2019).
- ✓ Karayollarının düzenlenmesi sırasında, düşey some noktalarının yerleştirilmesi ve dere düşey kuplarının oluşturulması önemlidir. Bu adımlar, yolun güvenliği ve sürüş konforu için kritik öneme sahiptir. Öncelikle, düşey some noktaları, yolun eğiminde belirli noktalarda yapılan değişikliklerdir. Bu noktalar, yolu oluşturan düzlemlerin bazı kısımlarını yukarı veya aşağı kaydırarak oluşturulmaktadır. Bu noktalar, özellikle yolun düşey eğiminde ani değişikliklerin olduğu arazilerde önem arz etmektedir (Soycan ve Faslak, 2019).
- ✓ Kırmızı çizgi, yani yolun tasarımı veya iyileştirilmesi sonrasında çizilen çizgi, birçok faktörü dikkate alarak oluşturulmalıdır. Bu faktörler, yolun karayolu sınıfı, topografik yapısı, trafik hacmi, drenaj gereksinimleri ve kaplama türü gibi çeşitli önemli unsurları içermektedir. Bu unsurlar, güvenli, kullanılabilir ve sürdürülebilir bir yol yapısının oluşturulmasında kritik bir rol oynamaktadır (Soycan ve Faslak, 2019).
- ✓ Yarma ve dolgunun birbirini dengeleyeceği şekilde tasarım yapılmalıdır. Kamulaştırma ve toprak işleri azaltılmalıdır.

- ✓ Karayolu planlamasında, nehirler, akarsular ve dereler gibi su kaynakları bulunuyorsa, kırmızı hat geçişi tasarlanırken bu su kaynaklarının varlığı dikkate alınmalıdır. Bu tür su kaynakları, yolun güvenliği, dayanıklılığı ve çevresel etkileri üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. İklim ve çevre şartları göz ardı edilmemelidir.
- ✓ Düşey kurplarda görüş mesafesi, yolun güvenliği ve sürüş konforu açısından kritik öneme sahiptir. Bu nedenle, özellikle düşey kurplarda duruş görüş mesafesi (DGM) ve geçiş görüş mesafesi (GGM) dikkate alınmalıdır. Düşey karp boyu görüş mesafesine eşit veya görüş mesafesinin 0,6 katı olması istenilmektedir (Soycan ve Faslak, 2019).
- ✓ Yarıçapı büyük kurplar tercih edilmelidir. Ayrıca kurplar arası kısa alıymman kullanılmamalıdır. Ardışık düşey kurplar arasında güvenlik için minimum karp 60 m olmalıdır (Soycan ve Faslak, 2019).

Yatay geometri tasarım kriterleri;

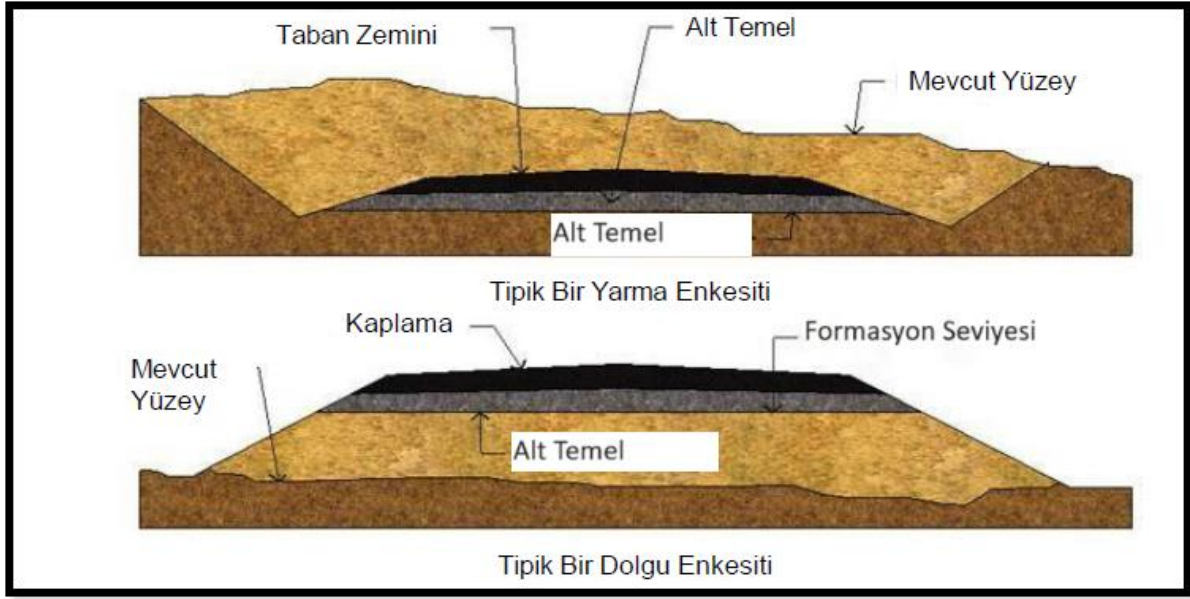
- ✓ Karayolu geçkileri, tasarlanırken amaçlanan kullanım ve yolun ömrü boyunca beklenen trafik yoğunluğuna uygun olarak planlanmalıdır.
- ✓ Karayolu geçkilerinin tasarımı, arazi jeolojisini dikkate alarak yapılmalıdır. Bu, sağlam zeminler üzerinden geçirilmesi gerektiği anlamına gelmektedir. Özellikle düz araziler ve nehir kenarlarında, yol daha yüksek bir seviyeden geçirilmelidir. Akarsu, dere ve nehir yataklarına dik bir açıyla ve mümkün olan en dar noktalarından geçirilmelidir. Bu yöntemler, karayolu geçişlerinin dayanıklılığını artırarak uzun ömürlü olmasını sağlamaktadır (Soycan ve Faslak, 2019).
- ✓ Yatay kurpların arasına yerleştirilen alıymman uzunluklarının uygunluğu oldukça önemlidir. Bu, projenin hızıyla doğrudan ilişkilidir. Genellikle, çok uzun veya çok kısa alıymmanlar kullanılmamalıdır (Soycan ve Faslak, 2019).
- ✓ Yatay kurpların tasarımında, büyük yarıçaplı ve büyük developmanlı kurpların tercih edilmesi önemlidir. Bu, özellikle güzergah boyunca güvenli ve akıcı bir seyahat sağlamak için kritiktir.
- ✓ Uzun alıymmanlardan sonra küçük yarıçaplı kurpların yerleştirilmemesi ve büyük yarıçaplı kurplardan sonra ani bir şekilde küçük yarıçaplı kurplara girilmemesi, yoldaki güvenliği ve sürüş deneyimini artırmak için oldukça önemlidir. Bu prensipler, sürücülerin beklenmedik ve ani manevralar yapmak zorunda kalmadan güvenli bir şekilde seyahat etmelerini sağlamaktadır.

- ✓ Güneşin etkisine maruz kalmamak için yapılan yol tasarımlarında dikkate alınması gereken önemli bir faktör, doğu-batı yönlü uzun aliymanların tercih edilmemesidir.
- ✓ Yol tasarımında, birbiri ardına sert ve ters yatay kurpların yerleştirilmemesi önemlidir. Bu, sürücülerin beklenmedik ve ani manevralar yapmalarını gerektirebilir, bu da kontrol kaybı riskini artırabilir ve sürücülerin güvenliğini tehlikeye atabilmektedir. Ters kurplar arası kısa aliyman kullanılmamalıdır (Soycan ve Faslak, 2019).
- ✓ Yol tasarımında, çeşitli faktörlerin dikkate alınması, sadece sürüş güvenliğini ve etkinliğini değil, aynı zamanda çevresel, kültürel ve ekonomik faktörleri de göz önünde bulundurmaya gerektirmektedir. Bu bağlamda, tarihi mekanlar, tarım alanları, sanayi/ticaret alanları ve turizm bölgeleri gibi önemli noktaların korunması ve etkili bir şekilde yönetilmesi gerekmektedir.
- ✓ Fayda/maliyet analizleri, bir projenin tasarımında kritik bir rol oynamakta ve optimum sonuçlar elde etmek için önem arz etmektedir. Bu analizler, bir projenin faydalarını ve maliyetlerini dengeli bir şekilde değerlendirerek, en uygun tasarımın belirlenmesine yardımcı olmaktadır. Projenin sürdürülebilir ve olası risklere karşı (ekonomik dalgalanma, doğal afetler ve teknik zorluklar vs.) durumu analiz edilerek projelendirme yapılması gerekmektedir.
- ✓ Çevresel Etki Değerlendirmesi (ÇED) süreçleri, çevresel etkileri olan projelerin planlanması, uygulanması ve izlenmesi aşamalarında önemlidir. Bu süreçler, projenin çevreye olan etkilerini değerlendirmeyi, sürdürülebilirlik ilkelerini gözetmeyi ve katılımcıları bilgilendirmeyi amaçlamaktadır (Soycan ve Faslak, 2019).

2.4. Karayolu Sistemlerinde İnşaat ve Yapım Çalışmaları

Karayolu projelerindeki tasarım ve planlama çalışmaları sonrasında, projeye yönelik ilgili kontrol çalışmaları da tamamlandıktan sonra yolun yapım ve inşaat aşamasına geçilmektedir. Bu aşamada projedeki karayolu bilgilerinin araziye uygulaması, toprak işleri (tesviye, ince tesviye) gibi hususlarının yapılması, sonrasında ise alt temel, temel ve kaplama (asfalt/beton) tabakalarının diğer bir ifadeyle de yolun üst yapı inşasıyla devam edilmektedir. Bu hususlar devam ederken ya da sonrasında ise yoldaki sanat ve drenaj yapılarının yapımı uygulanmaktadır. Ayrıca yol güvenliği açısından da korkuluk, kenar taşları, refüj gibi yapıların yapım çalışmaları da yine inşaat aşamasında uygulanmaktadır.

Bu projelerin Etüt aşamasında, yerleşim alanları, tüneller, viyadük/köprü vb. yerler gibi detaylar incelenir ve istikşaf raporu hazırlanmaktadır. Güzergah üzerinde bulunan jeodezik kontrol ve ölçme noktaları, sondaj alanları, fay hatları vs. tespit edilmektedir. Bu işlemler sonucu karayolu boyunca zemin ve kaya sınıflandırmaları da yapılarak kazı ve destekleme yöntemleri belirlenmektedir (Soycan ve Faslak, 2019). Karayolunda toprak işleri, yol yapımı veya genişletme projeleri sırasında karayolu tabanının oluşturulması veya düzeltilmesi için yapılan çalışmaları kapsamaktadır. Karayolları, taşıt ve yayaların güvenli ve etkin bir şekilde ulaşımını sağlamak için genellikle doğal zemin üzerinde inşa edilmektedir. Ancak, doğal zemin genellikle istenilen yol yapısı için uygun olmayabilmektedir. Bu nedenle, karayolu inşaatında, doğal zemini istenilen en kesit şekline dönüştürmek için çeşitli toprak işleri yapılmaktadır. Toprak işleri, doğal zeminin belirli bir en kesit şekline getirilmesini sağlamak amacıyla gerçekleştirilmektedir. Bu işlemler sırasında, yolun belirli kısımları kazılırken, diğer kısımları ise doldurulmaktadır. Yolun en kesit şeklinin oluşturulması için yapılan bu kazma ve doldurma işlemleri, toprak işleri olarak adlandırılmaktadır (Akpolat, 2018). Kazma işlemi, genellikle yolun yükseltilmesi gereken bölgelerinde gerçekleştirilmektedir. Bu bölgelerde, doğal zemin yeterli yükseklikte değilse, zemin kazılarak istenilen en kesit şekli elde edilmektedir. Diğer yandan, dolgu işlemi ise genellikle alçak bölgelerde veya çukurlarda gerçekleştirilmektedir. Bu bölgelerde, doğal zemin yeterli yükseltiye sahip değilse, doldurma malzemesi kullanılarak yolun yükseltilmesi sağlanmaktadır. Toprak işleri sonucu ortaya çıkan arazi tesviye yüzeyi olarak adlandırılmaktadır. Tesviye yüzeyinin düzeltilmesi ve uygun yatay, düşey eğim verilmesi işlemine ise ince tesviye yüzeyi (reglaj) denilmektedir (Akpolat, 2018). Toprak işleri, karayolu yapımında temel bir adımdır çünkü doğal zemin genellikle istenilen en kesit şekline uygun değildir. Bu nedenle, doğal zeminin kazılması veya doldurulması yoluyla yolun istenilen standartlara uygun hale getirilmesi, güvenli ve konforlu bir ulaşım sağlamak için önemlidir. Ayrıca toprak işlerinde yapılan doğru çalışmalar yolun işletilmesi aşamasındaki bakım ve onarım faaliyetlerini azaltması yönünden oldukça önemli unsurlar olmaktadır. Yarma ve dolgu işleri aşağıda Şekil 2.10'da gösterilmiştir.



Şekil 2.10. Toprak işleri (Akpolat, 2018)

Yolun dayanıklılığı ve trafik güvenliğinde büyük rol oynayan Sanat yapıları, bir yolun inşası sırasında yer üstü ve yer altı sularının kontrol altında tutulması için gerekli olan çeşitli yapıları içermektedir. Bu yapılar, yola yakın bir yerde suyun toplanmasını ve yönlendirilmesini sağlamaktadır. Yüzeysel drenaj sistemleri, yağmur suyunun toplandığı ve yola zarar vermeden uzaklaştırıldığı drenaj kanallarını içermektedir. Derin drenaj ise yer altı sularının, yol gövdesinin altından geçirilerek kontrol altına alındığı sistemleri ifade etmektedir. Ayrıca, kazı ve dolgu işlemlerinin etkilerini azaltmak veya önlemek için yapılan istinat duvarları da sanat yapıları kategorisine girmektedir. Bu duvarlar, yamacın dikliğini destekleyerek erozyonu önler ve yolun stabilitesini artırmaktadır. Bununla birlikte, köprüler, viyadükler ve diğer benzer yapılar da sanat yapıları olarak adlandırılmaktadır. Bu yapılar, farklı seviyeler arasında yolun geçişini sağlar ve çeşitli doğal engelleri aşmak için inşa edilmektedir (Karayolları Genel Müdürlüğü, 2016). Genel olarak, sanat yapıları yolun güvenliğini, dayanıklılığını ve ulaşılabilirliğini artırmak için tasarlanmış yapılar bütünüdür ifade etmektedir. Ayrıca bu yapılar yol bakım ve onarım çalışmalarını azaltıcı yönde olumlu katkı vermekte ve bu da maliyetleri azalmaktadır. Bazı sanat yapılarından kutu menfez, drenaj, istinat ve viyadük aşağıda şekil 2.11’de gösterilmiştir.



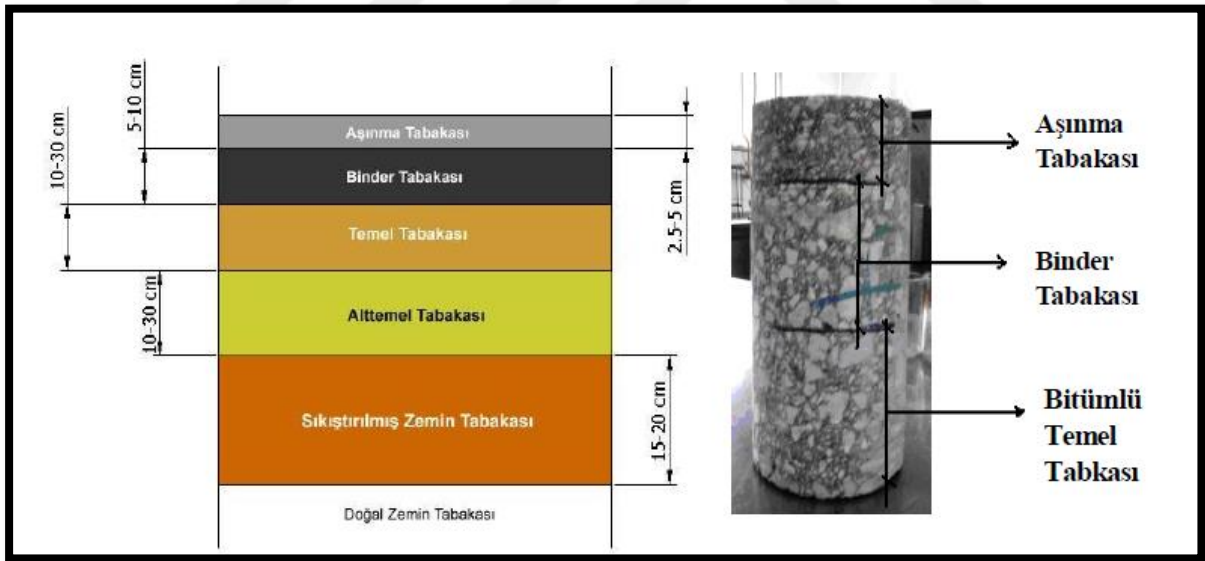
Şekil 2.11. Sanat yapıları (Akpolat, 2018)

Altyapı, bir yolun belirlenmiş yükseklik ve kesitine getirilmiş kısmıdır. Bu kısım, yolun toprakla doldurulması, kesilmesi ve düzeltilmesi gibi işlemleri içermektedir. Ayrıca, menfezler, drenaj sistemleri ve destek duvarları gibi yapıları da içermektedir. Altyapı, yolun temel yapı taşlarını oluşturur ve yolun dayanıklılığı ve düzgünlüğü için temel öneme sahip olmaktadır (Akpolat, 2018). Altyapı çalışması aşağıda Şekil 2.12’de gösterilmiştir.



Şekil 2.12. Altyapı çalışması (Akpolat,2018)

Yolun inşası, trafik yüklerini etkili bir şekilde taşıyabilmek ve bu yükleri taban zemininin taşıma kapasitesini aşmadan taban yüzeyine yaymak için altyapı üzerine kurulan bir yapıyla başlamaktadır. Bu yapı, alt temel, temel ve kaplama tabakalarından oluşan üstyapıya kadar uzanır. Altyapı, yolun temel taşıyıcı elemanlarını oluştururken, üstyapı ise yolun üzerindeki yüzey katmanlarını ifade etmektedir. Üstyapı genellikle asfalt, beton veya benzeri kaplama malzemelerinden oluşur ve trafiği taşımak ve sürüş konforunu sağlamak için tasarlanmaktadır. Yolun altyapı ve üstyapıdan oluşan bu yapı bileşenleri, doğal zemin üzerine yerleştirilmektedir. Bu doğal zemin, yolun tabanını oluşturur ve alt yapı ile doğrudan temas halinde olmaktadır (Akpolat, 2018). Yolun stabilitesi ve dayanıklılığı için bu zeminin uygun bir şekilde hazırlanması ve düzeltilmesi önem arz etmektedir. Dolayısıyla, yolun taşıyıcı ve destekleyici yapıları altyapı ve üstyapıya ek olarak, taban zeminine oturduğu doğal zemin olan yol tabanı ile birlikte komple bir sistem oluşturmaktadır. Bu yapılar bir araya gelerek güvenli ve sağlam bir yol ağı oluşturmaktadır. Ayrıca bu yapıların sağlam olarak yapılması ileride bu konuda yapılan bakım onarım ve ölçme çalışmalarını da azaltacak ve bu konudaki maliyetlerin azalmasını sağlayacaktır. Esnek üstyapıya ait kesit aşağıda Şekil 2.13’de gösterilmiştir.



Şekil 2.13. Esnek üstyapı kesiti ve karot örneği (Akpolat, 2018)

Karayolu inşaat ve yapım çalışmaları, bir ülkenin altyapısının gelişimi ve ekonomik büyümesi için kritik öneme sahiptir. Bu tür projeler, yol güvenliği, ulaşım verimliliği ve toplumsal refah açısından büyük etkilere sahiptir. Son yıllarda, karayolu inşaatı ve yapımı alanında çeşitli gelişmeler yaşanmıştır. Teknolojinin ilerlemesi, daha dayanıklı ve uzun ömürlü yolların inşasını sağlamak için yeni malzemelerin ve yöntemlerin kullanılmasını sağlamıştır. Özellikle

sürdürülebilirlik ve çevre dostu uygulamalar, karayolu projelerinde giderek daha fazla önem kazanmaktadır. Yeşil altyapı projeleri, karayolu inşaatında çevresel etkileri azaltmak için yaygın olarak benimsenmiştir. Sonuç olarak, karayolu inşaat ve yapım çalışmaları, modern bir toplumun ihtiyaç duyduğu hareketlilik ve bağlantıyı sağlamak için kritik öneme sahiptir. Ancak, bu projelerin başarılı bir şekilde tamamlanması için teknolojik yeniliklerin yanı sıra çevresel ve sosyal faktörlerin de dikkate alınması gerekmektedir. Ayrıca karayolu platformlarının yapım aşamasındaki her türlü faaliyet için gerçekleştirilen dikkatli çalışmaların, bu platformların işletilmesi aşamasındaki bakım ve onarım çalışmalarını da azaltacağı bir gerçek olmakla birlikte yolun ömrünü de uzatacaktır.

2.5. Karayolu Projelerinin İşletilmesi

Karayolu projelerinin tasarım ve yapım aşamasından sonra diğer bir önemli aşaması da işletme aşaması olmaktadır. Karayollarının işletilmesi bu mühendislik yapılarının tasarımı ve yapımı kadar önemli bir unsur olmaktadır. Ülkemizdeki karayolları devlet kamu kurumları tarafından ya da özel sektör tarafından yap işlet devret modeline göre işletilebilmektedir. Bu alanda yapılan çalışmalar karayolları işletiminde yol trafik işaretlemelerinin yapılması, yol emniyet ve güvenliğinin sağlanması, karayolunun trafik yoğunluğuna göre ya da doğal afetler sonrasında oluşan bozulmalara yönelik olarak yapılan bakım ve onarım çalışmaları ile ilgili olmaktadır. Bununla birlikte ayrıca karayollarının işletme aşamasında görülen ve önemli etkilerden sayılan hava kalitesi, gürültü ve sosyo ekonomik etkileri azaltma uygulamaları da yapılmaktadır. Yine karayollarının kullanımına yönelik ücretlendirme ve mali konularda da birtakım çalışmalar uygulanmaktadır.

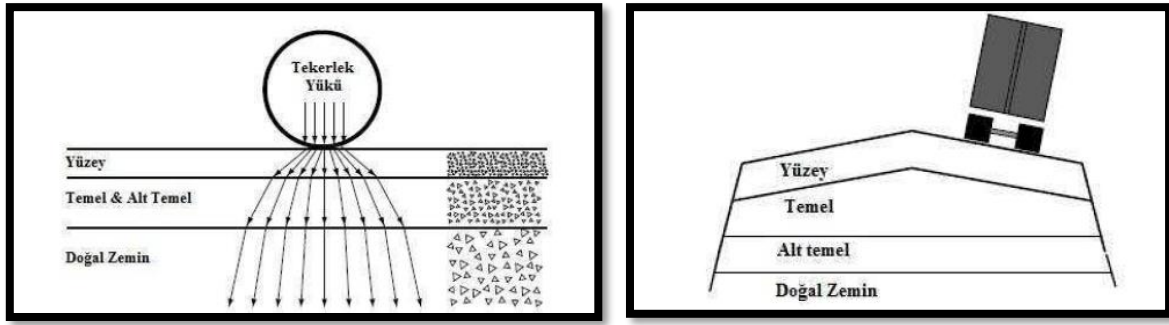
Yap-İşlet-Devret (YİD) modeli, Türkiye’de 1980’lerin ikinci yarısında ekonomik ve altyapısal dönüşüm sürecinde yabancı sermayeyi ülkeye çekmek ve teşvik etmek amacıyla gündeme gelmiştir. Bu model, dünya çapında farklı isimler altında uygulansa da Türkiye’de bu dönemde daha yaygın hale gelmiştir. YİD modeli, özellikle büyük ölçekli altyapı projelerinin finansmanını sağlamak, inşaatı gerçekleştirmek ve işletme süreçlerini optimize etmek için kullanılan bir yöntemdir. Türkiye’de "yap-işlet-devret" (YİD) modeliyle birçok ulaşım projesi gerçekleştirilmiştir. Bu model, özel sektörün kamu hizmetlerinin sunumunda aktif bir rol oynamasını sağlayarak altyapı yatırımlarını hızlandırmayı amaçlamaktadır (Özer, 2012). Türkiye 11. Kalkınma planı çerçevesinde birçok proje yapmaktadır. Bunlardan birisi 1991 de kamu yatırıma alınan fakat 2010 da fizibilitesi yapıldıktan sonra 2012 yılında ihalesi tamamlanan Kuzey Marmara Otoyoludur. Toplam uzunluğu 422, km uzunluğunda olan yolun

yapılma amacı İstanbul içerisindeki trafik yoğunluğunu azaltmaktır (Ayhan, 2024). Türkiye de YİD ve kamu bütçesiyle yapılan Otoyol ağı aşağıda Şekil 2.14’de gösterilmiştir.



Şekil 2.14. Türkiye otoyol ağı (Ayhan, 2024)

Karayolu ulaştırmasında ekonominin önemi, Türkiye'deki esnek yol kaplamalarının artan inşası ve taşıt sayısındaki artışla birlikte daha da belirgin hale gelmektedir. Artan trafik hacmi, yol kaplamasındaki gerilmelerde artışa neden olarak üstyapı problemlerini sıkça yaşanmasına ve yolların servis ömrünün kısalmasına yol açmaktadır. Bu durum, ekonomik kayıplara sebep olmaktadır. Ek olarak, yol yapımında kalitesiz malzeme kullanımına bağlı olarak yolun beklenen performansın altında kalması ve iklim-bölge koşullarının yol üzerindeki olumsuz etkileri de yolun hizmet ömrünü kısalmasına sebep olmaktadır. Yolun ekonomik ömrü içinde ekonomik bir şekilde kullanılabilmesi için gerekli bakımların düzenli olarak yapılması gerekmektedir. Bu sayede yolun üstyapısının dayanımı artacak ve karayolu işletimi ekonomik düzeyde sürdürülebilecektir (Bağdatlı ve Yıldırım, 2017). Karayolu üstyapısının trafik hacmine, iklime vs. dayanımlı şekilde yapılması önem arz etmektedir. Karayolu bu etmenlerden bağımsız şekilde yapılırsa kısa zamanda yolda deformasyonlar olmaktadır. Bu deformasyonlar; çökme, çatlak, ondülasyon, sökülme ayrışma vb. şekilde meydana gelmekte olup bu deformasyonlar sebebiyle ekonomik maliyet artmakta, bununla birlikte bakım maliyetlerinin azaltılması için yolun tabanını uygun tesviye yüzeyine getirerek sıkıştırmak önem arz etmektedir (Bağdatlı ve Yıldırım, 2017). Karayolu üstyapı tipik tabakalar ve yük dağılımı aşağıda Şekil 2.15’de gösterilmiştir.



Şekil 2.15. Karayolu üstyapı yük dağılımı ve tipik tabakalar (Fwa, 2005)

Deformasyonlar, yolun üst yapısındaki asfalt kaplamada belli bir süre sonra görülen yapısal bozukluklar olarak kendini göstermektedir (Bağdatlı ve Yıldırım, 2017). Yol platformunun belirli kısımlarında bölgesel olarak belirlemekte olup karayolu platformlarında, çökme ve kabarma, tekerlek izi oluşumu, ondülasyon gibi türleriyle ortaya çıkabilmektedir. (Bağdatlı ve Yıldırım, 2017). Yol platformunda oluşan bu tür bozulmalarla ilgili olarak, çökme ve ondülasyon görüldüğünde, plentmiks sıcak asfalt karışımı ile yama şeklinde onarım faaliyetleri yapılabilir. Ayrıca karayolu platformunda kabarma ile karşılaşıldığında ise drenaj çalışmaları da uygulanabilmektedir (İsfalt, 2001). Yol platformlarında görülen ayrışmalar şeklindeki bozulmalar ise inşaat hataları, düşük özellikteki malzeme kullanımı, malzemelerin homojen olmayan karışımı, gibi sebeplerden meydana gelmekte olup çukurlar, sökümler şeklinde kendini gösterebilmektedir (Bağdatlı ve Yıldırım, 2017). Karayollarında oluşan çukurlarda bakım faaliyetleri olarak sıcak asfalt karışımı ile yama uygulanabilmekte ve drenaj sistemleri yapılabilir. Meydana gelen sökümlerde ise agregalı koruyucu tabaka veya plentmiks karışımlar kullanılabilir (İsfalt, 2001). Çatlamalar olarak görülen bozulmalarda genellikle araçların dingil yüklerinden ve bunların karayolu yüzeyinde birçok defa fazla tekrar etmesinden meydana gelmektedir. Araçların dingil yükünün yol platformundaki kaplama tabakasında oluşturduğu bozulmalar, kaplamayı meydana getiren malzemenin dayanma gücünü aştığı zaman karayolunda çatlamalar meydana gelmekte ve bu bozulmalar timsah sırtı çatlaklar, büzülme çatlakları, kenar çatlakları, derz çatlakları, kayma (ötelenme) çatlakları şeklinde olabilmektedir. (Bağdatlı ve Yıldırım, 2017). Yol platformlarındaki oluşan çatlak şeklindeki bozulmalarda ise bitümlü sıcak karışım, ince yüzey kaplama veya harç tipi kaplama işlemi ve ayrıca yama uygulamaları yapılabilir (İsfalt 2001). Karayolu işletme aşamasında beton kaplamalı rijit üst yapılarındaki bozulma tipleri için beton kaplama yol yüzeyinde oluşan projelendirme ve inşaat hataları kaynaklı çatlaklar, beton yol yüzeyinde oluşan çukurlar, genleşme derzlerindeki bozulmalar, plak oturmaları, alt yapı tesis inşaatı kaynaklı bozulmalar ve beton kaplamalı yoldaki yüzeysel pürüzlülüğün azalması

şeklindeki bozulmalarla karşılaşilmektedir. (Ağar ve diğ., 1998). Beton yol platformunda oluşan çatlaklarının onarımında; çatlakların, beton asfalt örtüsü ile kaplanması ya da çatlakların derze dönüştürülmesi şeklinde uygulanabilmekte olup, platformlarda oluşan çukurlarda ise bitümlü karışım ve ince beton tabakası ile takviye yardımıyla veya beton plağın tamamının ya da bir kısmının kırılıp kaldırılması suretiyle plağın tekrar yenilenmesi şeklinde yapılabilmektedir (Ağar ve diğ., 1998). Genleşme derzlerindeki bozulmalarda ise derz boşlukları temizlenerek dolgu malzemeleri ve mastik asfalt ile doldurulma suretiyle tamiratlar yapılmakta, plak oturumlarında ise yeni plak betonu dökülmesi, drenaj sistemlerinin kontrolü ve gerekiyorsa bu sistemlerin takviyesi ya da plak altı enjeksiyonu yöntemleri ile bakımları uygulanabilmektedir (Ağar ve diğ., 1998). Altyapı inşaatında kaynaklı olan bozulmalar kapsamında beton yolda açılan bir hendek varsa bu hendekler yeni plaklar veya onarım betonu ile doldurulma suretiyle tokmaklarla sıkılaştırılması ve tesviyesi yapılarak onarımları uygulanabilmektedir (Ağar ve diğ., 1998). Beton kaplamalı yol platformlarında yüzeysel pürüzlülüğün azalması probleminde ise bitümlü yüzeysel kaplamalarla, elmas diskli özel araçlarla ve çelik bilyelerin yol yüzeyine fırlatılması yöntemiyle onarımlar yapılabilmektedir (Ağar ve diğ., 1998). Karayolu işletme aşamasında yolun bakım onarımı dışında çevresel etkileri azaltıcı politikalar da yapılmaktadır. Yolun inşaatı sonrası arazi kullanımının değişmesi, doğal drenaj yollarının değişmesi, orman ve bitki örtüsü kaybı, kültürel varlıkların zarar görmesi, doğal yaşamın tahrip edilmesi vs. olumsuz çevresel etkileri olabilecek bazı örnekleri oluşturmaktadır. Bunların yanında karayolu kullanımına bağlı olarak hava kirliliği, artan yakıt talebi, kirletici maddelerin suya karışması örnek olarak gösterilebilmektedir. Sonuç olarak, yolların işletilmesi sırasında hava kalitesi, gürültü ve sosyoekonomik yönlerden etkilerin olduğu aşıkardır. Trafik kaynaklı havaya karışan kirletici karbonmonoksit, hidrokarbonlar ve nitrojen oksitler insan ve hayvan sağlığını tehdit etmektedir. Karayolu trafiği, hava kalitesi üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğundan egzoz emisyonları, özellikle yoğun trafiğin olduğu bölgelerde hava kirliliğine katkıda bulunmaktadır. Bu kirlilik, insan sağlığı üzerinde ciddi riskler oluşturabilir ve çevresel dengenin bozulmasına neden olabilir. Partikül madde ve azot dioksit gibi kirleticilerin atmosfere salınması, solunum yolu hastalıkları ve genel sağlık sorunlarına yol açabilir (Uysal, 2011). Yol yapımı sonrası trafiğe bağlı olarak çevreyi rahatsız edebilecek gürültü ortaya çıkmaktadır. Karayolu trafiği aynı zamanda gürültü kirliliğinin bir kaynağı olarak görülebilmektedir. Yüksek hızlı yolların, şehir içi caddelerin ve ana arterlerin yakınındaki yerleşim birimlerinde yaşayanlar, sürekli trafik gürültüsüyle karşı karşıyadır. Gürültü kirliliği, insanlar üzerinde uyku bozuklukları, stres, işitme kaybı ve hatta kalp hastalıkları gibi sağlık

sorunlarına neden olabilmektedir. Ayrıca, gürültü kirliliği, çevresel sessizliği bozarak insanların yaşam kalitesini azaltabilir (Uysal, 2011). Gürültüye sebep veren etmenler genel olarak, araçlardan kaynaklı faktörler, yol yüzeyleri, alan ilişkisi, çevresel faktörler, trafik akışı vs. olmaktadır. Yol işletmeleri sırasında gürültüyü engellemek için ses bariyerleri yapılmaktadır (Uysal, 2011). Gürültü engellemek için yapılan bazı ses bariyerleri aşağıda Şekil 2.16’da gösterilmiştir.



Şekil 2.16. Karayolu ses bariyerleri (Maraş ve Sesli, 2017)

Karayolu yapımı sonrası ve işletilmesi sırasında oluşan hava çevresel etkileri azaltmak için birtakım önlemler alınmaktadır. Bunlardan bazıları, yolların düzenli bakımı, atık su yağmur suyun toplanarak arıtılması, araç emisyon kontrolü, hız sınırlarının düşürülmesi, alternatif ulaşım yapılması örnek olarak verilebilmektedir (Uysal, 2011). Karayolu projelerinin sosyoekonomik etkileri de göz ardı edilemez. Yol inşaatı ve bakımı, genellikle büyük miktarda kaynak gerektirir ve maliyetli olabilir. Bununla birlikte, iyi planlanmış ve etkili bir şekilde yönetilen karayolu ağları, ekonomik kalkınmayı destekleyebilir, ticareti artırabilir ve istihdam yaratabilir. Ancak, trafik sıkışıklığı, trafik kazaları ve çevresel kirlilik gibi sorunlar, topluma büyük maliyetler getirebilir ve yaşam kalitesini olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Karayolu projelerinin çevresel ve sosyoekonomik etkileri, dikkatle değerlendirilmelidir. Sürdürülebilir ulaşım politikaları ve çevresel yönetim stratejileri, bu etkileri minimize etmek için gereklidir. Daha az kirlletici araç teknolojileri, toplu taşıma sistemlerinin iyileştirilmesi ve kentsel planlama stratejileri gibi önlemler hem çevresel hem de sosyoekonomik açıdan daha

sürdürülebilir bir ulaşım sistemine doğru adımlar atmamıza yardımcı olabilir. Bu çabalar, gelecek nesiller için daha sağlıklı ve yaşanabilir bir çevre bırakmak adına önemlidir.





3. KARAYOLU BAKIM ONARIM VE ÖLÇME ÇALIŞMALARI

3.1. Karayolunda Meydana Gelen Bozulma Türleri

Yapılan araştırmalar, iyi bir yol platformuna sahip ülkelerin daha yüksek bir GSYİH'ye (Gayri safi yurt içi hasılat) ve daha fazla istihdama sahip olduğunu göstermektedir. Karayolları, insanların işlerine gitmesine, malların taşınmasına, turizm ve ticarete katkı sağlamaktadır. Bu nedenle, yol platformlarının geliştirilmesine yatırım yapmak ekonomik büyümeyi desteklemenin etkili bir yolu olmaktadır. Ancak, bu yatırımların yapılırken planlanması ve yönetilmesi önemli olmakta, aksi halde bu alanda yapılan projeler gereksiz harcamalara ve kaynak israfına sebep olabilmektedir (Ivanova ve Masarova, 2013). Yol üstyapısını etkileyen temel faktörlere bakıldığında trafik, nem (su), alt temel tabakası, yapım kalitesi ve bakım olarak öne çıkmaktadır. Bu sorunlar trafik üstyapı performansını etkileyerek güvenlik, konfor gibi önemli faktörlere olumsuz etki etmektedir. Özellikle hava olayları açısından bakıldığında nem faktörü, doğal çakıl malzemelerinin ve alt zemin yapısının destek mukavemetini önemli ölçüde zayıflatmakta bunun sonucu olarak da yol kaplamasının bozulmasına sebep olmaktadır. Ayrıca karayolunda trafik yoğunluğuna bağlı olarak uygulanan tekerlek yüklerini destekleyen bir diğer unsur da alt temel tabakası olmaktadır. Alt temel, üstyapıyı destekleyemeyecek kadar dayanımlı olmazsa tekerlek yükleri, kaplamanın aşırı esnemesine ve sonuçta kaplamanın bozulmasına neden olacaktır (Adlinge ve Gupta, 2013). Karayolları, doğal (nem, yağmur, kar, sıcaklık vb.) ve yapay unsurlar (yoğun trafik, malzeme kalitesi vb.) nedenlerle sürekli olarak çeşitli bozulmalara maruz kalabilmekte ve bu bozulmalar, yolun işlevselliğini, güvenliğini ve kullanılabilirliğini (ömrünü) etkileyebilmektedir. Karayolu bozulmaları, genellikle yol yüzeyinde meydana gelen çeşitli tipte hasarları ifade etmekte ve bu hasarlar yolun fiziksel yapısında da bozulmalara sebep olmaktadır. Karayolu işletme aşamasında sathi ve esnek asfalt betonu kaplamalı esnek üst yapılardaki bozulma tipleri için genel olarak; deformasyonlar (çökme ve kabarma, tekerlek izi oluşumu, ondülasyon) , çatlaklar ve ayrışmalar şeklinde ifade edilebilmektedir (Bağdatlı ve Yıldırım, 2017). Karayolu işletme aşamasında beton kaplamalı rijit üst yapılardaki bozulma tipleri için genel olarak; beton kaplama yüzeyinde oluşan projelendirme ve inşaat hataları kaynaklı çatlaklar, beton yol yüzeyinde oluşan çukurlar, genleşme derzlerindeki bozulmalar, plak oturmaları, alt yapı tesis inşaatı kaynaklı bozulmalar ve beton kaplamalı yoldaki yüzeysel pürüzlülüğün azalması şeklinde sayılabilmektedir (Ağar ve diğ., 1998). Yol kaplamalarında oluşan bütün bozulmalar sürücülerin güvenliği ve araçların performansı üzerinde olumsuz etkiler oluşturabilmekte ve aynı zamanda bakım ve onarım maliyetlerini de

arttırmaktadır. Bu nedenle, karayolu bozulmalarının çeşitlerini anlamak, etkili bir şekilde yönetmek bu platformlar için bakım çalışmalarını periyodik olarak gerçekleştirmek yol ağlarının sürdürülebilirliği ve trafik güvenliği açısından hayati öneme sahip olmaktadır.

3.2. Esnek Üst Yapılarda Oluşan Bozulma Türleri (Sathi Kaplama, Asfalt Betonu Kaplama)

Karayolu platformlarında esnek üst yapılarda oluşan bozulma türleri olarak deformasyonlar (oturma ya da çökme, kabarma, tekerlek izi oluşumu ve ondülasyon), çatlamlar ve ayrışmalar şeklinde kendini gösterebilmektedir (Bağdatlı ve Yıldırım, 2017).

3.2.1. Deformasyonlar

Karayolu platformlarında esnek üst yapılarda oluşan bozulma türleri olarak deformasyonlar (oturma ya da çökme, kabarma, tekerlek izi oluşumu ve ondülasyon) şeklinde kendini göstermekle birlikte sürüş emniyeti ve yol konforu açısından oldukça tehlikeli problemlere yol açabilen bozulma türlerinden olmaktadır. Periyodik olarak bakım çalışmalarında tamiratlarının yapılması gerekmektedir. Aşınma tabakasındaki bitüm kullanımından kaynaklı problemler, kaplama tabakalarının yetersiz olarak sıkıştırılması, yetersiz drenaj, zeminde aşırı hacim değişikliği olması, tabaka kalınlıklarının yetersiz oluşu gibi sebeplerden ötürü meydana gelebilmektedir (Bağdatlı ve Yıldırım, 2017)

3.2.1.1. Oturma ya da çökme deformasyonu

Oturma ya da çökme esnek yol üst yapısında diğer bozulma türleriyle birlikte de görülebilir ve üst yapının erken yaşlanmasına neden olmaktadır. Oturma ya da çökme nedenlerine bakıldığında yol tasarımında kullanılan malzemelerin özelliklerinden, yapılan hatalı işçilikleri ve zayıf zemin koşullarına kadar çeşitli faktörlere bağlı olduğu görülmektedir (Hanlı, 2009). Sonuç olarak, oturma esnek yol üst yapısının önemli bir sorunu olmakta ve çeşitli faktörlerin bir araya gelmesiyle ortaya çıkabilmektedir. Bu nedenle, doğru malzeme seçimi, kaliteli işçilik ve uygun zemin hazırlığı gibi önlemler alınarak oturma oluşumu ya da çökmenin önemli ölçüde azaltılabilir ve yolun dayanıklılığı artırılabilir.

3.2.1.2. Kabarma deformasyonu

Kabarma, kaplama yüzeyinde yukarı doğru lokalize meydana gelen şişkinlik olmaktadır. Kabarmalar, yüzey tabakasının veya alt zeminin altındaki destekleyici tabakanın genişlemesinden kaynaklanmaktadır. Genleşmeler tipik olarak donma veya nem kaynaklı

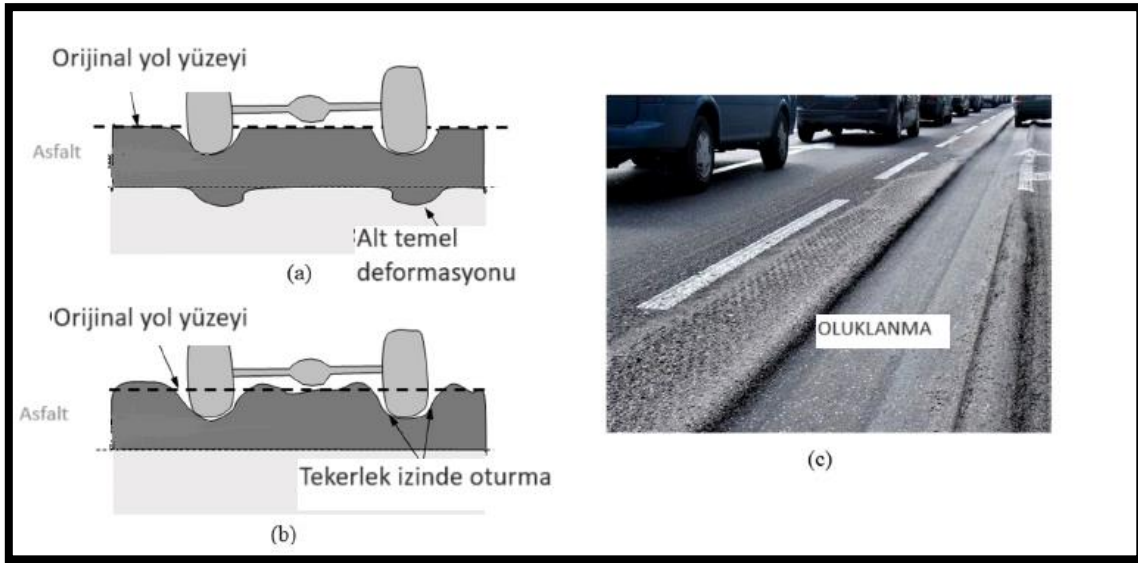
olabilmektedir. Plastik killere sahip alt zeminler, dondan kaynaklı şişlikler oluşturmaktadır. Alt zemin yeniden kazınarak kaldırılan alana yeniden serim işlemi yapılarak onarım yapılabilmektedir (Adlinge ve Gupta, 2013). Kabarmanın diğer nedenleri ise şunlardır; yetersiz sıkıştırma, trafik etkisi ve yetersiz bitüm yüzdesi gösterilebilmektedir (Hanlı, 2009). Kabarma şeklindeki deformasyon örneği aşağıda Şekil 3.1’de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Orta şiddette kabarma (İsfalt, 2002)

3.2.1.3. Tekerlek izi oluşumu deformasyonu

Bitümlü sıcak karışım tabakasının yüzeyinin tasarlanan düzgün durumunu koruyamaması ve bozulmasıdır. Bu deformasyon, bitümlü sıcak karışımın her yüklendiğinde küçük miktarlarda oluşan geri - dönüşümsüz deformasyonların toplamını ifade etmektedir. Bu nedenle “kalıcı” deformasyon olarak da adlandırılmaktadır. Tekerlek izi oluşumu, kalıcı deformasyonun en yaygın şeklidir. Tekerlek izi oluşumu, sıcak karışım asfaltın temelini teşkil eden tabakaların zayıflamasıyla oluşabilmektedir. Bu zayıflama, nem hasarı, aşınma ve trafik yüklerinin yoğunlaşması gibi birçok nedenle meydana gelmektedir. Ancak, tekerlek izi oluşumunun en önemli iki nedeni vardır. İlk neden, asfalt kaplama tabakası altındaki temele çok fazla tekrarlı yüklerin uygulanmasıdır (Şekil 3.2). Bu durum, tekerlek izine sebep olabilir. Mukavemeti daha yüksek olan kaplama malzemeleri bu tip tekerlek izini kısmen azaltabilir, ancak normalde bu olay bir malzeme probleminden çok, yapısal bir problem olarak nitelendirilmektedir. Uygulanan yüklerden kaynaklanan gerilmeleri asfalt tabakası altındaki temel için dayanabilir seviyeye indirgeyecek bir kaplama mukavemeti veya kalınlığı mevcut değildir. İkinci neden, asfalt tabakası altındaki tabakalardan birinin, suyun nüfuzuyla beklenmedik bir şekilde zayıflaması sonucu olabilmektedir (Hanlı, 2009). Tekerlek izinde oturma ve oluklanma aşağıda şekil 3.2’de gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Asfalt kaplama da tekerlek izinde oturma ve oluklanma (Wang ve diğ., 2021)

3.2.1.4. Ondülasyon deformasyonu

Ondülasyon yolun kaplama tabakasında dalgalanma olarak isimlendirilen plastik hareket biçimidir. Bu deformasyonlar genellikle araçların dur kalk noktalarında ve sık olarak fren yapılan bölgelerde meydana gelmektedir. Ondülasyon olmasının bir başka sebebi ise çok fazla ince agrega ve pürüzsüz dokulu kaba agrega kullanılmasıdır (Adlinge ve Gupta, 2013). Ondülasyonun stabilitesi zayıf asfalt tabaka karışımlarında da olabilmektedir. Bunun sebebi uygun olmayan gradasyon ve fazla asfalt kullanımı sonucu ortaya çıkabilmektedir (İsfalt, 2002). Ondülasyona ait görsel aşağıda Şekil 3.3’de gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Ondülasyon (Bağdatlı ve Yıldırım, 2017; Miller ve Bellinger, 2003)

3.2.2. Çatlama türündeki bozulmalar

Karayolu esnek üst yapılarındaki bozulma türlerinden bir diğeri ise çatlamlar olup, platform üzerinde oluşan bu çatlama şeklindeki bozulmalar (yorulma çatlağı, enine çatlamlar, yansıma

çatlaklar ve boyuna çatlaklar) şeklinde kendini göstermektedir (Bağdatlı ve Yıldırım, 2017). Karayolunda oluşan çatlaklar, genellikle yolun kullanımı, aşırı yük, iklim değişiklikleri, doğal afetler, yetersiz bakım veya kötü yapısal tasarım nedeniyle meydana gelebilmektedir. Bu çatlaklar, yolun yüzeyindeki çizgiler şeklinde veya derin krater şeklinde olabilmektedir. Büyük çatlaklar, yolun altındaki temeldeki hasardan kaynaklanabilmektedir. Bu tür çatlaklar, yolun aynı zamanda çökmeye başladığının da bir işareti olmakta ve onarılması gerekmektedir. Yolun düzenli bakım ve onarımı, çatlakların oluşumunu engelleyebilir veya çatlakların daha büyük sorunlara dönüşmesini önleyebilmektedir (Johnson, 2000).

3.2.2.1. Yorulma çatlağı (timsah sırtı çatlağı)

Timsah sırtı çatlağı yorgunluk çatlamaı olarak da bilinen bir hasar türüdür. Bu çatlama tipi, yolda paralel çizgiler halinde bir dizi bağlantılı çatlak oluşturmaktadır. Yolun yüzeyindeki asfalt tabakasının aşılmasından veya yetersiz kalitede olmasından kaynaklanabilmektedir. Ayrıca aşırı trafik yükü, iklim değişiklikleri ve yetersiz bakım da timsah sırtı çatlağına neden olabilmektedir. Timsah sırtı çatlağı, yolun kullanım ömrünü kısaltabilecek ve yüzeyin kaygan hale gelmesine neden olabilecek bir yol güvenliği sorununu da beraberinde getirmektedir. Bu nedenle timsah sırtı çatlakları hızlı bir şekilde onarılması ve yenilenmesi gereklidir (Adlinge ve Gupta, 2013). Timsah sırtı çatlağı aşağıda Şekil 3.4’de gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Timsah sırtı çatlağı (Adlinge ve Gupta, 2013)

3.2.2.2. Termal çatlaklar

Enine çatlaklar, yol üzerinde yatay yönde oluşan çatlaklardır. Bu çatlaklar, genellikle yolun orta kısmından başlayarak yolun kenarlarına doğru ilerlemektedir. Enine çatlaklar, yolun yüzeyindeki asfalt tabakasının aşılması veya yetersiz kalitede olması nedeniyle oluşabilmektedir. Bu çatlaklar aynı zamanda yolun altındaki zemin hareketleri veya yetersiz yapısal tasarım nedeniyle de ortaya çıkmaktadır (Adlinge ve Gupta, 2013). Bu çatlaklar, genellikle asfalt yüzeyin genişlemesi ve büzülmesi sonucunda oluşmaktadır. Termal çatlaklar,

hava sıcaklığının değişmesiyle birlikte asfalt yüzeyindeki gerilme ve genişlemeler nedeniyle ortaya çıkmaktadır. Özellikle sıcak hava veya güneş ışığı altında asfalt yüzeyi ısındığında, genişler ve bu genişleme sonucunda çatlaklar meydana gelebilmektedir. Enine çatlak ile ilgili görsel aşağıdaki Şekil 3.5’de gösterilmiştir.



Şekil 3.5. Enine çatlak (Adlinge ve Gupta, 2013)

3.2.2.3. Yansıma çatlaklar

Yansıma çatlakları, yolda düzgün bir yansıma yüzeyine dik açıda görülen çatlaklardır. Yolun üst tabakasındaki çatlaklar yolun alt tabakasında bulunan takviye tabakasına yansımasıyla oluşan bozulma türüdür. Bu çatlaklar yol yapımında kullanılan malzemelerin yorulması, aşınması veya hasar görmesi sebebiyle oluşmaktadır (Adlinge ve Gupta, 2013). Karayolu yansıma çatlağı, genellikle eski veya kötü bir şekilde bakım yapılmış yollarda görülen bir sorun olarak da karşımıza çıkmaktadır. Bu çatlaklar, yolun yüzeyindeki çatlamış asfalt tabakasının altındaki alt tabakaların kırılması sonucu oluşmaktadır. Genellikle, yağmur, kar ve trafik gibi dış etkenlerin etkisiyle, yüzeydeki sular alt tabakalara sızar ve donma-çözülme döngüsüyle yolun alt tabakalarında basınç oluşturarak çatlakların oluşmasına neden olabilmektedir.

3.2.2.4. Boyuna çatlaklar

Boyuna çatlaklar, yolun merkez hattına paralel uzanan uzun çatlaklardır. Bunlar, donma kabarması veya derz arızalarından kaynaklanabilmektedir. Bu çatlaklar, yolun yüzeyindeki asfalt tabakasının genişlemesi ve daralması sonucu ortaya çıkabilmektedir. Sıcak havalarda yol yüzeyi genişlerken soğuk havalarda daralmaktadır. Bu genişleme ve daralma hareketleri, zamanla yol yüzeyinde boyuna çatlakların oluşmasına sebep olabilmektedir (Adlinge ve Gupta, 2013). Boyuna çatlak aşağıda şekil 3.6’da gösterilmiştir.



Şekil 3.6. Boyuna çatlaklar (Adlinge ve Gupta, 2013)

3.2.3. Ayrışmalar

Karayolu platformunda oluşan ayrışma şeklindeki bozulmalarda ise çukurlar, sökülmeler, asfaltın terlemesi ya da kaygan haline gelmesi şeklinde kendini belli edebilmekte olup, yapım hataları, düşük kalite malzeme, serim sırasında segregasyon, yetersiz asfalt sebepli olabilmektedir (Bağdatlı ve Yıldırım, 2017).

3.2.3.1. Çukurlar

Çukurlar, çanak şeklindeki ayrışma bozulma türüne örnek verilebilmektedir. İlk olarak, üst katmanın küçük parçaları yerinden çıkmakta olup zamanla bu problem kaplamanın alt katmanlarına doğru ilerlemektedir. Çukurlar genellikle Şekil 3.7’de görüldüğü gibi drenajın zayıf olduğu bölgelerde oluşmaktadır. Çukurların oluşma nedenleri olarak kaplamanın bir veya daha fazla katmanındaki yetersiz mukavemeti nedeniyle ve genellikle suyun varlığıyla birlikte ya da kaplamanın trafik yükü altında parçalanmasıyla oluşmaktadır (Adlinge ve Gupta, 2013). Çukurlar hareketli stabiliteyi etkileyebilmekte ve araçlarda da hasara sebep olabilmektedir. Bu sebeple rutin bakım yapılması gerekmektedir (Wang ve diğ., 2021). Yetersiz drenaj sebebiyle oluşan çukur görseli aşağıda Şekil 3.7’de gösterilmiştir.



Şekil 3.7. Yetersiz drenaj sebebiyle oluşan çukur (Wang ve diğ., 2021)

3.2.3.2. Sökülmeler

Karayolu üzerindeki hasarlar çeşitli şekillerde meydana gelebilmekte ve sökölme de bu hasar tiplerinden biri olmaktadır. Sökölme, genellikle karayolu yapısının zayıflaması veya parçalarının ayrılması sonucu ortaya çıkmaktadır. Bu, karayolunun taşıma kapasitesini etkileyebilmekte ve kullanımını güvenli olmayacak hale getirebilmektedir. Sökölme genellikle malzeme kalitesi, su ve trafik etkisi, yetersiz bitüm yüzdesi, zayıf sıkıştırma vs. gibi nedenlere bağlı olarak oluşabilmektedir (Hanlı, 2009).

3.2.3.3. Asfaltın terlemesi ya da kaygan hale gelmesi

Asfalt yüzeyinin kaygan hale gelmesi, genellikle çeşitli nedenlerden kaynaklanan bir sorun olup, sürücüler için tehlikeli durumlar meydana getirebilmektedir. Asfalt yüzeyinin kaygan hale gelmesine sebep olan etmenler arasında aşırı miktarda bitüm kullanımı, yol yapımı esnasında tedbir almadan kullanılan maddeler, yağ, kir, yağmur vs. olarak sayılabilmektedir (Hanlı, 2009).

3.3. Rijit Üst Yapılarda Oluşan Bozulma Türleri (Beton Yollar)

Beton yollar rijit bir yapı da olmasına rağmen çevresel etkiler, işçilik vs. faktörlerine bağlı olarak hasarlar olabilmektedir. Bu tür yol platformlarında Başlıca bozulmalar ile ilgili olarak çatlak, çukur, plak oturmaları, genleşme derzlerinde oluşan bozulmalar, altyapı kaynaklı bozulmalar ve yüzeysel pürüzlülüğün azalması olarak sayılabilmektedir (Ağar ve diğ., 1998).

3.3.1. Çatlaklar

Yüzeysel veya beton plağın tamamında oluşabilen hasarlardır. Çatlakların oluşum nedenleri; projelendirme hataları (yetersiz plak kalınlığı, iklim etkisinin ihmalı, uygun olmayan derz aralıkları, ağır trafik yükleme), inşaat hataları (erken veya geç perdah, derz yapısındaki imalat

hataları, zayıf altyapı, homojen olmayan beton, sıkıştırma hatası, kalitesiz malzeme ve yetersiz bakım) olarak öne çıkmaktadır. bu bozulma türlerinden projelendirme ve inşaat hatalarına incelendiğinde;

Projelendirme hataları için aşağıda belirtilen unsurlar görülebilmektedir (Ağar ve diğ., 1998);

- Yetersiz plak kalınlığı, projelendirme aşamasında plak kalınlığı trafiktten etkilenmeyecek şekilde seçilmediğinde, trafik yükü altında gerilmeler oluşmakta ve bu da çatlaklara sebebiyet vermektedir.
- Ani hava değişikliği sebebiyle betonda gerilmeler meydana gelmekte ve bu da yol platformlarını etkilemektedir. Genleşme derzleri ise bu gerilmeleri azaltmaktadır.
- Derz aralıkları değişiklik gösterdiği için deneysel olarak tespit edilebilmekte olup, derz aralıklarının yetersiz olması çatlaklara sebebiyet vermektedir.
- Aşırı trafik yüküne uygun olmayan tasarımlar sebebiyle beton plakta çatlaklar oluşabilmektedir.

İnşaat hataları için yine aşağıda belirtilen unsurlar görülebilmektedir (Ağar ve diğ., 1998).;

- Yol platformlarının yapımı sırasında betonun dökümü sonrası mastarlama işlemi yapılmaktadır. Mastarlama sonrası beton priz alırken önce şişme sonra rötre sebebiyle gerilmeler meydana gelmekte ve sonrasında çatlaklar oluşabilmektedir. Perdahlama yapılmasının sebebi bu çatlakların oluşmasını engellemektir. Perdahlamanın doğru zamanda yapılması yol platformunda hasarların oluşmaması için önem arz etmektedir.
- Genleşme derzlerinin uygun açıklıkta bırakılması, kayma demirlerinin doğru şekilde konumlandırılması vs. işleri için kalifiye işçilik önem arz etmektedir. Bu sebeple derzlerin şartnamesine uygun imal edilmesi ve yine sahada doğru bir şekilde uygulanması yol platformlarındaki trafik güvenliği ve konforu için önemli bir husus olmaktadır.
- Beton plak altı zeminde lokal oturma olması durumunda o noktada beton çekme gerilmesinin artmasına ve dolayısıyla çatlak oluşmasına neden olmaktadır. Beton dökülmeden önce betoniye de uygun süre geçirmeden serim işlemi yapıldığında segregasyon sonucu betonun farklı noktalarında gerilmeler olmakta ve zayıf yerler çatlamaktadır. Bu sebeple zayıf altyapı beton yollar için yol emniyeti açısından da önemli bir tehlike oluşturmaktadır.

- Betonun dökümü sonrası beton suyunun kaybolmaması için 72 saat kontrol edilmelidir. Suyunun azalması bağlayıcı çimentonun eksik hidratasyon yapması ve betonun zayıf dirence sahip olmasına sebep olmaktadır. Bu sebeple trafik yükü altında çatlaklar oluşmaktadır. Bu sebeple yol platformlarında bu konu ile ilgili bakım çalışmaları düzenli olarak yapılmalı ve yol ömrünün uzun olması sağlanmalıdır.
- Betonun imalatı ve inşaat aşamasında hata yapılmaması elzem olmaktadır. Kullanılan malzeme (çimento, su, agrega) yeterince ve kaliteli olması önem arz etmektedir. Kalitesiz malzeme kullanılması betonun dirençsiz olmasına ve sonuç olarak çatlakların oluşmasına neden olmaktadır.
- Betonun serimi sonrası vibratörle karıştırılması gerekmektedir. Vibratör ile karıştırılmadığı takdirde yoğunluğu düşük ve zayıf dirence sahip bir beton oluşmaktadır. Yapılan bu işlem ile beton içindeki hava boşlukları giderilmekte ve betonun daha sağlam olması sağlanmaktadır.
- Beton yollarda vibratörü uzun süre tutmak iri malzemenin aşağıya çökmesine ince malzemenin üste çıkmasına sebebiyet vermekte ve betonun homojen yapıda olmamasına ve segregasyonun oluşmasına sebebiyet vermektedir bu nedenlerle beton yollarda çatlamlar oluşmakta ve yol güvenliğini etkilemektedir. Aşağıda Şekil 3.8’de yarım derz çatlağı ve yol üzeri çatlakları ile ilgili görseller verilmektedir.



Şekil 3.8. Yarım derz ve yol üzerindeki çatlaklar (Çelik ve diğ., 2020)

3.3.2. Çukurlar

Beton plakta oluşan çizgisel çatlakların onarılmaması sebebiyle zamanla hasar büyümesi ve beton üzerinde ayrışmaların artması sonucu bu tür problemler oluşmaktadır. Yol

platformlarındaki çukurlar daha çok betonun dirençsiz, mesnetsiz, desteksiz noktalarında oluşmakta olup trafik ve iklim etkisi altında bu hasarlar daha da büyümektedir. Hava şartları ve trafik yük etkisi altında yüzeyde önce çukur sonra çukurlar oluşmaktadır. Ek olarak kalitesiz malzeme kullanımı, iyi sıkıştırılmamış beton sebebiyle birbirinden ayrılan agrega daneleri çukurların oluşmasına neden olabilmektedir (Ağar ve diğ., 1998).

3.3.3. Genleşme derzlerindeki bozulmalar

Derze komşu iki plak arasına koyulan bağlantı demirleri, bu plakların birbirlerine göre düşey doğrultuda hareket etmesini engellemektedir. Trafik etkisi ve ısı işlemler sonucu plaklar yatay yönde deplasmana uğrayabilmektedir. Bu sebeple derz dolgusu istenilen niteliğini kaybetmektedir. Zamanla genleşme artmakta ve betonun sıkışması ile derz yerleri hasar almakta ve niteliğini kaybetmektedir. Bu sebeple kırılmalar ve aşınmalar meydana gelmektedir. Sonuç olarak, derz yerlerinden betonun içine su ve kirli maddeler girerek betonun zayıflamasına neden olmaktadır (Ağar ve diğ., 1998).

3.3.4. Altyapı kaynaklı bozulmalar

Yol yapılmadan önce yolun yapılacağı güzergah üzerindeki kanalizasyon, doğalgaz, su şebekesi vs. altyapı tesislerinin yapılmış olması gerekmektedir. Beton yol yapıldıktan sonra bu tesislerin yapılması için beton yol kırılması işlemi sebebiyle yolda hasarlar olmakta ve bu da ek maliyetleri beraberinde getirmektedir (Ağar ve diğ., 1998).

3.3.5. Plak oturmaları kaynaklı bozulmalar

Bu hasar türünde iki plak birbirinden ayrılır ve diğer plak göçebilmektedir. Altyapının iyi sıkıştırılmaması ve dayanıksız olması temel nedenlerinden bazılarıdır. Ek olarak yer altı sularının varlığı zeminde pompaj etkisi yaparak altyapıya zarar vermektedir (Ağar ve diğ., 1998).

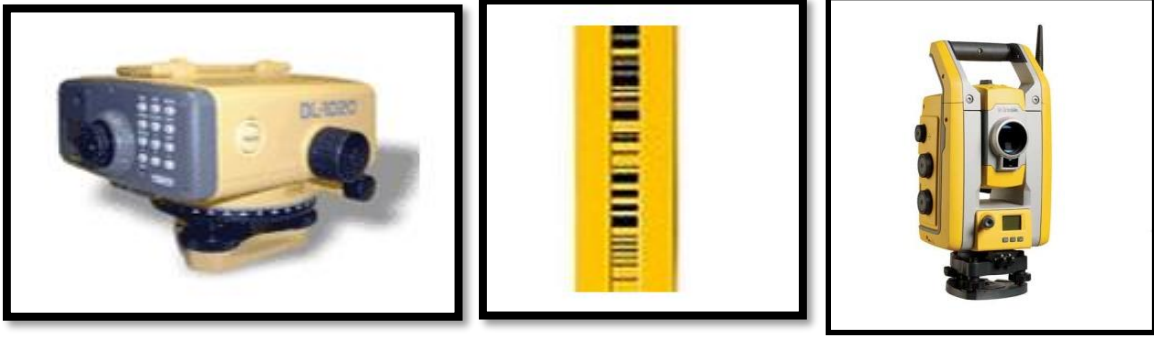
3.4. Karayolunda Bakım Onarım ve Tamirat İşleri İçin Yapılan Mühendislik Ölçmeleri

Karayollarında bakım, onarım ve tamirat işleri için yapılan mühendislik ölçmeleri, yolun güvenli ve etkin bir şekilde kullanımını sağlamak amacıyla gerçekleştirilen önemli faaliyetlerdir. Bu ölçmeler, yolun durumunu değerlendirmek, gerekli bakım ve onarımları planlamak ve yol güvenliğini artırmak için yapılmaktadır. Yol platformlarının onarımlarına yönelik olarak yapılan mühendislik ölçmeleri bu onarım faaliyetlerinin miktarını belirlemesi yönünden oldukça yapılması gereken işlemler arasındadır. Böylelikle gereksiz malzeme,

işgücü, zaman, maliyet problemlerinin önüne geçilmiş olunmaktadır. Yol platformları için yapılan mühendislik ölçmelerini genel ifadeyle yersel ölçmeler, fotogrametrik ölçmeler ve uzaktan algılama ölçmeleri olarak üç aşamada incelenebilmektedir.

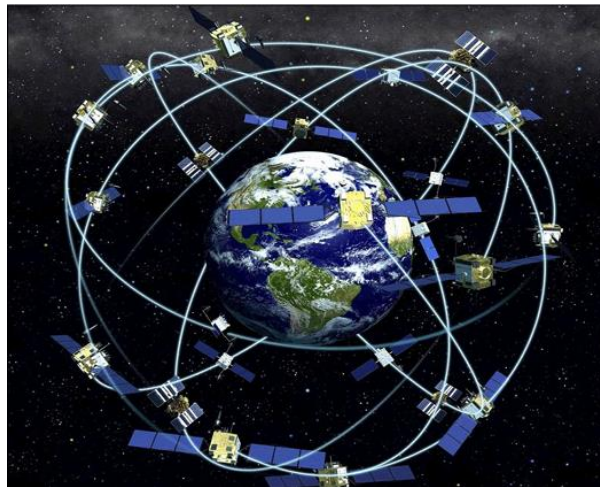
3.4.1. Yersel ölçmeler

Karayolu platformlarında yatay ve düşey yöndeki bozulmaların miktarlarını belirlemek amacıyla, total station nivo, küresel konumlama sistemleri (Global Navigation Satellite Systems (GNSS)) ve lazer tarama sistemleri ile ölçümler gerçekleştirilebilmektedir. Total station ile yapılan ölçmelerde hem yatay hem de düşey yönde koordinat, uzunluk, yatay doğrultu ve düşey açı ölçümleri yapılmakta ve bu ölçülen parametreler periyodik olarak tekrarlanıp değerlendirildiğinde yol platformundaki özellikle yatay değişimler rahatlıkla hesaplanabilmektedir. Nivo ile yapılan ölçümlerde ise mira yardımıyla düşey yöndeki yol platform bozulmaları tespit edilebilmekte ve yine periyodik olarak yapılan ve nivelman adı verilen bu ölçmelerle yol yüzeyindeki bozulmalar takip edilebilmektedir. Nivelmanın amacı, arazideki noktaların veya mühendislik yapılarının inşası sırasında kot veya yüksekliklerin bulunması olmaktadır. Bu işlem yapılırken noktalar arasındaki kotlar, yükseklik farklarının hesaplanması ve bu yüksekliklerin taşınması suretiyle uygulamaktadır (Köse, 2018). Bu yükseklikler belirli bir referans düzeyine göre ölçülür ve bu referans yüzeyi ise deniz seviyesi olmaktadır. Hassas nivelman ise özellikle karayolu gibi önemli mühendislik projelerinde mm düzeyindeki düşey yönde oluşan deformasyonları, noktalar arasındaki yükseklik farklarını ölçerek kot belirleme suretiyle yapılan ve periyodik olarak uygulanan ölçme yöntemi olmaktadır. Bu ölçme yönteminde hassas doğrulukta ölçüm yapıldığından dolayı kullanılan ölçme ekipmanları, noktaların işaretleneceği yerler ve hesaplama metotları özenle seçilmelidir. Bu ölçme yönteminde ortalama hata $0.5mm/\sqrt{km}$ olmaktadır (Yılmaz ve Demirsoy, 2022). Hassas nivelman işleminde kullanılan sayısal nivolar, nivelman verilerini işleyen, kaydeden programlar ve kontrol üniteleriyle desteklenmekte olup kullanılan miralar ise barkodlu özelliktedir. Bu sayede ölçümler daha hassas ve otomatik hale getirilmekte, veriler daha kolay bir şekilde saklanabilmekte ve bilgisayar ortamında değerlendirilebilmektedir (Ceylan, 2009). Şekil 3.9'da hassas nivelman yapabilen dijital nivo cihazının ve barkodlu miranın görüntüsü ile total station'ın görüntüsü verilmektedir.



Şekil 3.9. Sayısal Nivo, Barkodlu Mira ve Total Station görseli (Karagöz, 2008; Graftek, 2016)

Yersel ölçmeler için kullanılan bir diğer teknik GNSS (Global Navigation Satellite Systems) sistemleri olmaktadır. GNSS terimi Amerika Birleşik Devletleri tarafından geliştirilen GPS (Global Positioning Systems), Avrupa birliği tarafından geliştirilen Galileo, Rusya tarafından oluşturulan GLONASS, Çin tarafından geliştirilen beidou, Hindistan tarafından üretilen ırnss/gagan ve Japonya tarafından geliştirilen qzss sistemlerinin ortak adı olmaktadır (Koca ve Ceylan, 2018). GNSS sistemleri özellikle yol platformlarında mm düzeyindeki bozulmaları yatay yönde tespit edebilen sistemler olabilmekte düşey yönde ise troposferik, iyonosferik, sinyal yansıma gibi hatalardan dolayı dezavantajlar bulunduğundan her zaman istenilen mm doğruluğunda deformasyonlar elde edilmeyebilmektedir. Bu sistemler Dünyanın dört bir yanında, çeşitli hava koşullarında, uydulardan alınan sinyaller aracılığıyla, küresel bir koordinat sistemine dayalı olarak anlık ve yüksek doğrulukta konum, hız ve zaman belirlemeye imkan tanıyan bir konumlama sistemidir. Bu sistem, modern konumlandırma ihtiyaçlarını karşılamak üzere geliştirilmiş olup dünya genelinde çeşitli alanlarda ve projelerde kullanılmaktadır. Şekil 3.10'da GNSS uyduları gösterilmiştir.



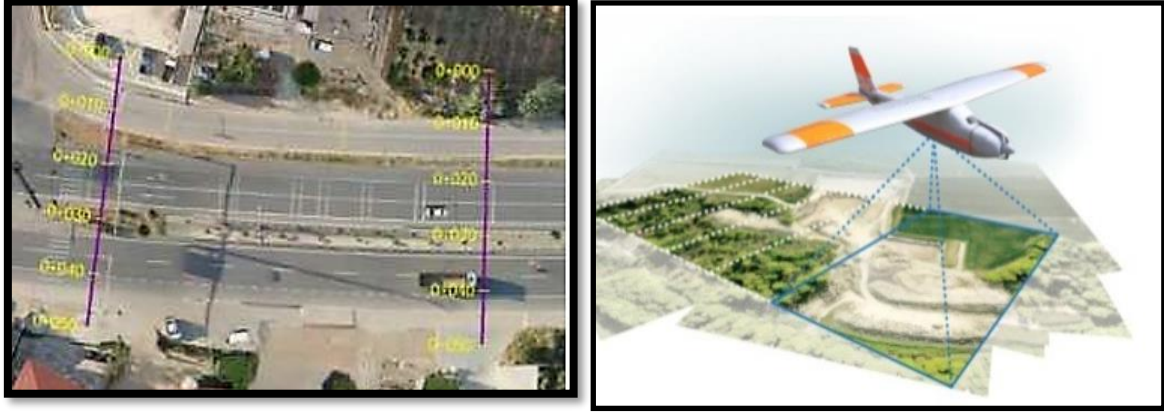
Şekil 3.10. GNSS uyduları (Gürlek, 2017)

Son yıllarda lazer tarama sistemlerinin 3D modelleme alanında popülaritesi artmaktadır. Bu sistem, karmaşık yapıdaki nesnelerin modellemesini, nokta kümeleri kullanarak gerçekleştirir. Her nokta kümesinde bulunan noktalar, 3D koordinatlara sahiptir. Bu sayede, binlerce 3D nokta, ilgili nesnenin yüzeyini sadece birkaç dakikada oluşturabilir. Geleneksel yersel fotogrametri yöntemleri uzun yıllardır bu amaçla kullanılmaktadır, ancak yersel lazer tarama yeni bir yöntem olarak öne çıkmaktadır. Yersel lazer tarama, bazı dezavantajlara sahip olmasına rağmen, önemli avantajlar sunar. Bu avantajlar arasında 3D noktaların doğrudan elde edilmesi, düzensiz yapıdaki nesnelerin tanımlanmasında etkili olması ve sonuçların kısa sürede elde edilmesi yer alır (Demir ve diğ., 2004). Bu sistemler yatay ve düşey doğrultadaki yol platformlarındaki bozulmaların tespitinde oldukça etkili ölçme yöntemi olmaktadır. Yersel lazer tarama sistemleri verileriyle, yol yüzeyinin detaylı bir modelini oluşturabilmekte ve model ile yol yüzeylerindeki çatlaklar, çukurlar, ondülasyonlar gibi bozulmalar kolayca tespit edilebilmektedir.

3.4.2. Fotogrametrik Ölçmeler

Fotogrametri, havadan ilerleyen araçlar yardımıyla, yerin ölçümünü, haritalanmasını ve çeşitli konumsal analizlerin yapılması amacıyla kullanılan bir teknoloji olmaktadır (Tercan, 2018). Başlangıçta, gökyüzünden askeri amaçlı olarak gözlem yapılması amacıyla geliştirilmişken, zamanla sivil sektörlerde de popülerlik kazanmış ve uygulama alanı bulmuştur. Bu yöntem, yerin topografyasını ya da şeklini ölçmek için, yüksek çözünürlüklü optik algılayıcılar ya da hava kameraları barındıran havadaki araç sistemleri ile yapılmakta ve bu sistemler tarafından toplanan veriler değerlendirilmektedir. Bu veriler, geniş arazilerin üç boyutlu haritalarını oluşturmak için kullanılmaktadır. Karayolu onarım faaliyetlerinde yersel ölçme yöntemlerinin, arazi yapısının karmaşıklığı, trafik yoğunluğu ve meteorolojik faktörlerin değişkenliği gibi etkenlere bağlı olarak, zaman ve maliyet açısından dezavantajlar bulunmaktadır. Hava fotogrametrisinde ise daha geniş alanların az zamanda ve daha az işgücü kullanılarak yapılması avantaj olarak görülmekte ve yol platformlarının deformasyonları bu yöntemle de belirlenebilmektedir. Hava fotogrametrisinde üzerine görüntü kaydetme cihazı entegre edilmiş bir hava kamerasının önceden belirlenmiş bir rota üzerinde uçurulması esasına göre fotoğrafların bindirmeli olarak kaydedilmesi yöntemine dayanmaktadır. Bu yöntemde yüksek çözünürlüklü hava kameralarıyla elde edilen görüntüler bilgisayar ortamına aktarılarak yeryüzüne ait istenilen haritalar ya da ölçüm verileri elde edilmiş olmakta ve ortofoto adı verilen halihazır haritalar da üretilebilmektedir. Şekil 3.11’de fotogrametrik

yöntemle ve hava fotoğrafı yardımıyla üretilen plan üzerindeki yol en kesit alım çalışmalarının görseli verilmektedir.



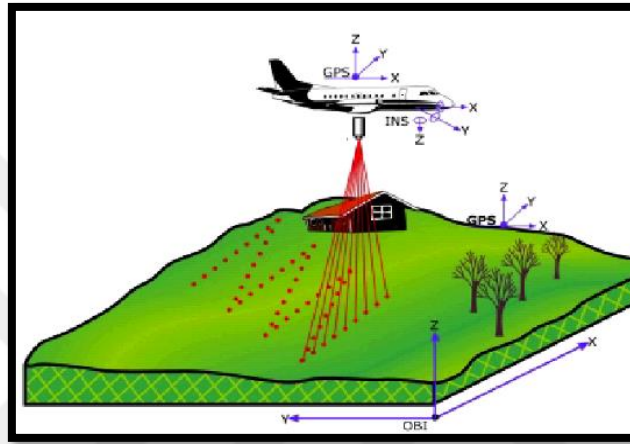
Şekil 3.11. Yol ekseninden alınan kesite ait ortofoto (Tercan, 2018; Motif Harita, 2015)

Günümüzde teknolojinin gelişmesiyle birlikte insansız hava araçlarının gelişmesi de hızlanmış bu sonuç da drone teknolojisinin hava fotogrametrisinde kullanılan uçakların yerini almasını sağlamıştır. Ayrıca bu gelişmeler drone teknolojisi, görüntüleme sistemleri ve GNSS konumlama sistemlerinin birbirleriyle entegreli olarak çalışması yolunu açmış, böylelikle de hem maliyet hem de zaman yönünden büyük kazançlar sağlanmıştır. Yol onarım çalışmalarında miktar belirlemeye yönelik olarak drone teknolojisi ile yapılan ölçümler, yeryüzüne daha yakın olarak gerçekleşmekte bu sonuç da elde edilen ölçme verilerinin ve planların doğruluğunu arttırmaktadır. Günümüzde İnsansız Hava Araçları (İHA) sistemleri, karayolu ölçüm koridorlarında önemli bir alternatif olarak karşımıza çıkmaktadır (Tercan, 2018). İnsansız hava araçları (İHA) uçuş kontrol sistemleri bileşenleri olarak basınç ölçer (Barometre), ivme ölçer, GPS sensörü, ultrasonik sensör, stereo kamera, kızılötesi engel, sıcaklık sensörü, nem sensörü, akım sensörü vs. sayılabilmektedir (Villi ve Yakar, 2022). Aşağıdaki şekil 3.12’de hava fotogrametrisinde kullanılan İHA (İnsansız Hava Aracı) görseli verilmektedir.



Şekil 3.12. İnsansız hava aracı (Çetin, 2019)

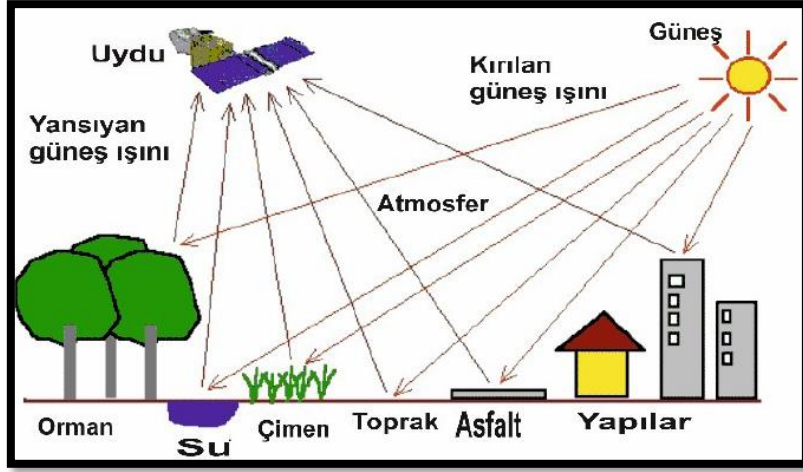
Havadan arazi ölçme çalışmalarında günümüzdeki en son teknolojilerden biri de hava lazer tarama sistemleri olmaktadır. Hava lidar sistemleri olarak da bilinen bu yöntemde özellikle zor arazi şartlarında üç boyutlu konum bilgisinin hızlı ve hassas bir şekilde elde edilmesini sağlanmaktadır. Elde edilen nokta bulutu şeklindeki veriler bilgisayar ortamında üç boyutlu olarak işlenmekte ve arazinin sayısal modeli 3 boyutlu ve hassas olarak oluşturulmaktadır. Elde edilen bu veriler doğruluk açısından yüksek hassasiyet içerdiğinden yol platformlarının bakım onarım çalışmalarında mm düzeyindeki bozulmaları tespit etmesi yönünden oldukça yararlı sistemler olmaktadır. Şekil 3.13’de lidar sistemini ait görsel verilmektedir.



Şekil 3.13. Lidar sistemi (Yılmaz ve Yakar, 2006)

3.4.3. Uzaktan Algılama Ölçmeleri

Uzaktan algılama yöntemi fotogrametriden farklı olarak uzayda bulunan uydu teknolojisini kullanan bir ölçme yöntemi olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu yöntemde elde edilen veriler, teknolojinin gelişmesiyle birlikte özellikle uydulardaki sensör teknolojisinin de ilerlemesiyle daha hassas ve daha doğru verilerin elde edilmesini sağlamaktadır. Şekil 3.14’de uzaktan algılama sistemlerinin çalışma prensibi olarak güneşten gelen ışınların, yeryüzüne ulaşp yansıtıldıktan sonra uzayda bulunan uydunun sensörleri tarafından algılanmasının şematik olarak görünümü verilmektedir.



Şekil 3.14. Uzaktan algılama sistemlerinin çalışma prensibinin şematik olarak gösterimi (Avcı, 2022)

Raster veri yapısına sahip uydu görüntülerindeki renkli veya siyah beyaz olarak elde edilebilmektedirler. Bu görüntüler kullanılarak yapılan konumsal analizler yine görüntülerin çözünürlüğüne bağlı olarak değişmektedir. Ayrıca elde edilen yüksek çözünürlüklü uydu görüntüleri aynı zamanda coğrafi bilgi sistemleri ortamında iyi bir analiz altlığı olarak da kullanılmaktadır. Günümüzde uzaktan algılama yöntemi, yol bakım ve onarımında önemli roller oynamaktadır. Bu teknoloji kullanılarak elde edilen uydu görüntülerinden veriler analiz edilerek, yol altyapısındaki sorunlar tespit edilebilmekte ve yol platformlarının bakım ihtiyaçlarını belirlemek için de kullanılabilmektedir. Uzaktan algılama teknikleri asfalt veya beton kaplamalı yol yüzeylerindeki çatlaklar, çukurlar veya düzensizlikler gibi deformasyonları tespit etmek için de kullanılabilmektedir.

3.5. Karayolu Platformlarında Uygulanan Bakım ve Onarım Faaliyetleri

Bozulma gösteren yol platformlarında miktar belirleme amaçlı mühendislik ölçmeleri de yapıldıktan sonra bu platformlardaki bakım onarım faaliyetleri, ulaşım ağının sağlıklı işleyişini ve güvenliğini sağlamak için hayati öneme sahip olmaktadır. Karayolları, sürekli olarak değişen hava koşulları, yoğun trafik ve zamanla aşınma gibi faktörlerden dolayı periyodik olarak bakım ve onarım faaliyetlerine ihtiyaç duymaktadır. Bu faaliyetler, yolların dayanıklılığını ve ömrünü arttırmakla birlikte, sürücülerin güvenliğini sağlamakta ve ulaşımın kesintisiz bir şekilde devam etmesine de vesile olmaktadır. Ayrıca, ekonomik ve sosyal faaliyetlerin sürdürülebilirliği için de kritik bir rol oynamaktadır. Karayolu üstyapı bakım onarım faaliyetleri, teknolojik gelişmeler ve mühendislikte sağlanan yenilikler sayesinde daha etkili ve verimli bir şekilde yürütülmekte ve bu da genel ulaşım kalitesini artırmaktadır. Bu

bağlamda, düzenli bakım ve onarım çalışmaları, modern toplumların hareketlilik ve ekonomik büyüme hedeflerine ulaşmasında temel bir unsur olmaktadır.

3.5.1. Esnek üst yapılardaki onarım ve bakım faaliyetleri (Asfalt betonu kaplama)

3.5.1.1. Oturma ya da çökme deformasyonu için yapılan onarım ve bakım çalışmaları

Tekerlek izinde oluklanmalar da öncelikle oluklanan bölgeye yapıştırma tabakası yapılmakta sonra aşınma tabakası doldurma işlemi yapılmaktadır. Serimi yapılan aşınma tabakası çelik bandajlı silindir veya lastik tekerlekli silindir ile tesviye edilmektedir. Daha sonra plentmix bitümlü sıcak karışım ile doldurulduktan sonra ince bir takviye tabakası yapılmaktadır (Hanlı, 2009).

3.5.1.2. Ondülasyon deformasyonu için yapılan onarım ve bakım çalışmaları

Sathi kaplamalarda; ondülasyon varsa üstteki sathi sert tabakaya ulaşmaya kadar frezelenme makinasıyla kazılmalıdır. Kazılan yere yama yapılır ve sıkıştırılarak reglaj edilmektedir. Sıkıştırılan bölgenin üzerine astar tabakası çekilir. Son olarak sathi kaplaması yapılmaktadır. Bitümlü sıcak karışım kaplamaya sahip yolda ise kazılarak düzeltilen alana bitümlü sıcak karışım veya akıcı özelliğe sahip koruyucu emülsiyon yapılarak onarım yapılmaktadır (İsfalt, 2002).

3.5.1.3. Çukurlar için yapılan onarım ve bakım çalışmaları

Çukur olan bölge ve etrafındaki dayanıksız bölgeler kazılıp alınmalıdır. Çukura yeni dolgu malzemesi kademe halinde yerleştirilip her kademe sıkıştırılmalıdır. Yama yapılan bölgeye koruyucu tabaka uygulanarak bitirilmelidir (Bağdatlı ve Yıldırım, 2017).

3.5.1.4. Çatlamlar için yapılan onarım ve bakım çalışmaları

Yüzeyde 3 mm den fazla birçok çatlak varsa ince yüzey kaplama, harç tipi kaplama ve bitümlü sıcak karışım ile çatlaklar onarılabilmektedir. Boyuna çatlak ve timsah sırtı çatlaklara çatlak dolgusu yapılabilir. Enine çatlaklarda ise çatlak yalıtımı yapılmaktadır. Yol üstyapında meydana gelen çatlaklar 20 mm üzerinde ise hasarlı bölge ince temelli bitümlü sıcak karışım veya harç tipi karışım ile onarılabilmektedir (Hanlı, 2009).

3.5.1.5. Kabarma deformasyonu için yapılan onarım ve bakım çalışmaları

Kabarma deformasyonunun temel nedeni genellikle alt yapıda bulunabilmektedir. Yetersiz drenaj, zemin stabilitesi veya yapısal sorunlar bu deformasyonlara yol açabilmektedir. Bu durumda, alt yapıyı iyileştirmek veya güçlendirmek için uygun mühendislik çözümleri uygulanmalıdır. Kabarma deformasyonu, yolun altındaki tabaka ile ilgili sorunlardan kaynaklanıyorsa, frezeleme ve yeniden yapılandırma işlemi gerekebilmektedir. Bu işlemde, deformasyonlu bölgeye freze makinesi ile kazı yapılır ve ardından yeni bir asfalt tabakası dökülerek sıkıştırılmaktadır. (İsfalt, 2002).

3.5.1.6. Tekerlek izi oluşumu deformasyonu için yapılan onarım ve bakım çalışmaları

Tekerlek izinin hangi sebeple olduğu belirlenerek yüzey temizlenmelidir. Tekerlek izi veya oluklanmalar frezelenerek uygun kota getirilmelidir. Ardından sıcak asfalt karışım ile doldurulup takviye tabaka örtüsü yapılmalıdır (İsfalt, 2002). Tekerlek izi onarımı için çeşitli yöntemler mevcuttur. Bunlar arasında tekerlek izlerinin doldurulması, sıcak asfalt yama yapılması veya soğuk asfalt yama uygulanması da uygulanabilmektedir.

3.5.1.7. Ayrışmalar için yapılan onarım ve bakım çalışmaları

Bu tür bozulmalarda öncelikle yüzey temizlenmelidir. Kaplamanın porozitesine (toprak, çökel veya kayaların su geçirgenliği) göre asfalt emülsiyonu ile karartma uygulanmalıdır. Yolun mevcut trafik durumuna göre yol yüzeyine asfalt emülsiyonlu koruyucu agrega tabakası veya akıcı harç tipi koruyucu tabakadan oluşan sathi tabaka uygulanabilir (Hanlı, 2009). İyi bir esnek üstyapı oluşturmak için uygun malzemelerin seçilmesi önemlidir. Malzemelerin dayanıklılığı ve genleşme katsayıları dikkate alınarak seçim yapılmalıdır. Asfalt tabakasının kalınlığı, genleşme ve kontraksiyon etkilerini azaltmaya yardımcı olabilir. Yolun altındaki zeminin stabilizasyonu, kabarma sorununu azaltmaya yardımcı olabilmektedir. İyi bir temel ve alt tabaka oluşturarak zeminin gevşekliği ve su geçirgenliği kontrol altında tutulmalıdır.

3.5.1.8. Asfaltın terlemesi ya da kaygan hale gelmesinde yapılan onarım ve bakım çalışmaları

Asfalt yüzeyindeki terleme veya kayganlık sorunu ciddi ise, yüzeyin yeniden düzenlenmesi gerekmektedir. Bu durumda, mevcut asfalt tabakası çıkarılabilir ve yeni bir asfalt tabakası dökülerek sıkıştırılmaktadır. Ek olarak, sıcak kum kırma agrega veya kaba agrega işlemi ile asfalt yüzeyindeki terleme olan bölgeler kurutularak sorun çözülebilmektedir. Bunun yanında

sürtünmeyi artıracak sıcak karışım veya absorpsiyonu yüksek koruyucu sathi kaplama yapılabilmektedir (İsfalt, 2002).

3.6. Rijit Üst Yapılarda Bakım ve Onarım Faaliyetleri (Beton Yollar)

3.6.1. Çatlaklar için yapılan bakım onarım çalışmaları

Beton dökümü öncesi üst yüzeye yakın noktada ince demir hasırlar yüzeysel çatlakların olmasını engelleyebilmektedir. Beton yol trafiğe açılmadan önce beton üzerine 3 cm kalınlığında beton asfalt örtüsü uygulayarak çatlaklar engellenebilmektedir. Çatlakların derze dönüştürülmesi çatlakların büyümesini önleyebilmektedir (Ağar ve diğ., 1998).

3.6.2. Çukurlar için yapılan bakım onarım çalışmaları

Beton da oluşan çukurlar bitümlü sıcak karışım doldurulup sıkıştırılmaktadır. Bir başka yöntem ise çukur bölge tamamen kırılıp alınarak betonun yenilenmesi işlemidir. En ekonomik yöntem ise beton üzerine bitümlü karışım örtüsü yapmaktır (Ağar ve diğ., 1998).

3.6.3. Genleşme derzlerindeki bozulmalar için yapılan bakım onarım çalışmaları

Derzlerin üstünden alt tabakaya veya alt tabakadan derzden geçerek üste çıkan sudan kaynaklı beton elastikliğini kaybedebilmektedir. Bu durumda derz bölgesi tamamen boşaltılır ve temizlenerek etrafı tıraşlanmaktadır. En alta dolgu malzemesi koyulmasından sonra mastik asfalt ile bölge doldurulup üstü kum ile kapatılmaktadır. Böylece beton yapışmakta ve geçirgenliği azalmakta olup bu sayede genleşme olmamaktadır (Ağar ve diğ., 1998).

3.6.4. Plak oturumaları kaynaklı bozulmalar için yapılan onarım ve bakım çalışmaları

Derz yerlerinde delikler açılmakta ve bu deliklerden alt katmana basınçlı su veya hava verilerek bitüm temizlenmektedir. Bununla birlikte boşluklara çimento betonu enjeksiyonu yapılmakta ve böylece plağı taşıyan alt tabaka güçlendirilmiş olmaktadır (Ağar ve diğ., 1998).

3.6.5. Altyapı kaynaklı bozulmalar için yapılan onarım ve bakım çalışmaları

Beton yolların altyapı kaynaklı bozulmalarının giderilmesinin en etkili yollarından biri, temel ve alt yapıyı güçlendirmektir. Bu, zeminin stabilizasyonu, drenaj sisteminin iyileştirilmesi veya temel tabakanın yeniden yapılandırılması gibi adımları içerebilmekte ve yolun alt yapısının güçlendirilmesi, yüzeydeki bozulmaların tekrarlamasını önleyebilmektedir (İsfalt, 2002). Beton yollar üzerindeki çatlaklar, suyun yolun alt yapısına sızmasına ve daha fazla hasara neden olmasına yol açabilmektedir. Bu nedenle, çatlakların erken tespiti ve onarımı

önemlidir. Çatlak dolgu malzemeleri veya epoksi reçineler gibi özel malzemeler kullanılarak çatlakların doldurulması ve sızdırmaz hale getirilmesi gerekebilmektedir.

3.6.6. Yüzeysel pürüzlülüğün azalmasından dolayı yapılan onarım ve bakım çalışmaları

Sürtünme yol güvenliği için önemli güvenlik parametrelerden biri olmaktadır. Araçların yol tutuşunun yüksek olması için sürtünme katsayısı yüksek olmalı ve bu sebeple yolun sürtünme durumu da kontrol edilmelidir (Ağar ve diğ., 1998). Yüzey pürüzlülüğünün azalmasını engellemek için imalat aşamasında kayma direnci yüksek tabaka ile kaplamak en etkili çözüm yollarından biridir (İsfalt, 2002).





4. HTEA PARETO VE AHP ANALİZ TÜRLERİ

4.1. Hata Türü ve Etkileri Analizi (HTEA)

Hata Türleri ve Etkileri Analizi, (HTEA) 1950’li yıllarda Amerika Birleşik Devletleri ordusu tarafından geliştirilen ve donanım hatalarını tespit etmek amacıyla kullanılan bir sistem olup, kalite yönetimi ve problem çözme süreçlerinde sistemli bir yaklaşım olarak yer almaktadır (Akın, 1998). Bu yöntem, hataları tespit ederek önlemeye yardımcı olmakla birlikte 1960’lardan itibaren havacılık endüstrisinde kullanılmaya başlanan HTEA, 1972’den sonra otomotiv sektöründe de benimsenmiş ve bu alanda önemli faydalar sağlamış ve zamanla, HTEA’nın farklı endüstrilerdeki uygulamaları sayesinde, geniş bir analiz yöntemi olarak kabul görmüştür (Akın, 1998). "Hata Türü ve Etkileri Analizi" (HTEA), bir sürecin, ürünün ya da projenin potansiyel hata ve risk noktalarını tanımlamak, bu hataların olası etkilerini belirlemek ve risklerin önlenmesi veya azaltılması için uygun önlemler geliştirmek amacıyla kullanılan sistemli bir yöntem olmaktadır. Bu analiz, bir konu ya da proje içerisinde üretim süreci, ürün geliştirme, hizmet sunumu gibi birçok alanda kullanılabilir (Yılmaz, 2000). HTEA yönteminde tasarım, ürün veya herhangi bir hizmet ve projede ortaya çıkabilecek hata ve risk çeşitlerinin belirlenmesi ve bu hataların şiddeti, olasılığı ve saptanabilirlik derecesine göre sınıflandırılması olarak da tanımlanmaktadır (Yılmaz, 2000). HTEA, hataların ve risklerin, düzenli olarak analiz edilerek bu hataları düzenleyici ve önleyici faaliyetler alınması ile ekstra maliyetlerin azaltılması ve güvenliği sağlama noktasında önemli yer tutmaktadır (Narlı, 2021). HTEA'nın temel amacı, ürün veya süreçteki hataları en aza indirerek kaliteyi artırmak ve potansiyel sorunlara karşı önleyici ve etkili bir yaklaşım benimsemektir. Bu yöntem, ürün ya da proje geliştirme sürecinin her aşamasında uygulanabilir ve hem yeni ürünlerin tasarımında hem de mevcut süreçlerin iyileştirilmesinde kullanılabilir.

HTEA her alanda uygulanabilir olduğu gibi aynı zamanda büyük mühendislik projelerinde de kullanılabilen bir yöntem olmaktadır. Özellikle maliyet ve ekonomiklik açısından bir projede oluşması muhtemel risk ve hataların o projeye ilgili uzmanların da düşünceleri alınarak önceden belirlenmesi aşamasında bu yöntem oldukça faydalı olmaktadır. Bir mühendislik projesinde oluşması muhtemel olan ve önceden belirlenen bu hata ve risklerin sınıflandırılması da yapılarak o projedeki büyük ekonomik maliyet kayıplarında önüne geçilmektedir. Ayrıca projedeki kalite yönetimi konusunda da büyük kolaylıklar sağlamaktadır. Projede risklere karşı alınacak önlemler bu yöntemde belirlenirken hangi

uzman kişilerden oluşan takımların bu görevlerde çalışması gerektiği de belirlenmektedir. Ayrıca bu yöntemde risk önleme çalışmalarının yapılması sırasında hangi kanun, yönetmelik, şartname ya da kurallardan yararlanılması gerektiği de verilmektedir. Bu sayede de bir projede oluşması muhtemel risk ve hatalara karşı temeli sağlam bir zemine oturan gerekli düzenlemeler de yapılabilmektedir. HTEA analizi birçok ürün üretimi ya da proje yönetiminde literatürde de oldukça kullanılan bir yöntem olmaktadır.

HTEA yöntemi kapsamında literatürde yapılan çalışmalarda, Erbiyık ve diğ. (2007), yapmış oldukları araştırmada coğrafi tabanlı mühendislik projelerinin uygulanması sırasında oluşması muhtemel hata ve riskler ile bu hata ve riskler için alınması muhtemel önlemleri HTEA yöntemi ile incelemişlerdir. Poyraz ve Şimşir (2022), tedarik zinciri yönetiminde işletme maliyetlerini optimize edebilmek ve ortaya çıkabilecek riskleri yönetilmek için HTEA ile riskleri araştırmışlardır. Toraman ve Gökkaya (2023), yapmış oldukları çalışmada sağlık hizmetlerinde ortaya çıkabilecek hataların büyük sorunlara sebebiyet vermesinden ötürü tehlikelere karşı stratejiler belirleyebilmek için HTEA yöntemiyle bu stratejileri belirlemişlerdir. Şensöğüt ve Sargın (2021), yapmış oldukları çalışma ile yer altı kömür işletmelerinde olası tehlike ve risklere karşı alınması gereken önlemleri HTEA yöntemiyle belirlemişlerdir. Sabuncu ve diğ. (2019), hafif raylı sistem işletmesinde olası hatalar ve arızaları Hata Türü ve etkileri analizi ile incelemişlerdir.

4.1.1. HTEA çeşitleri

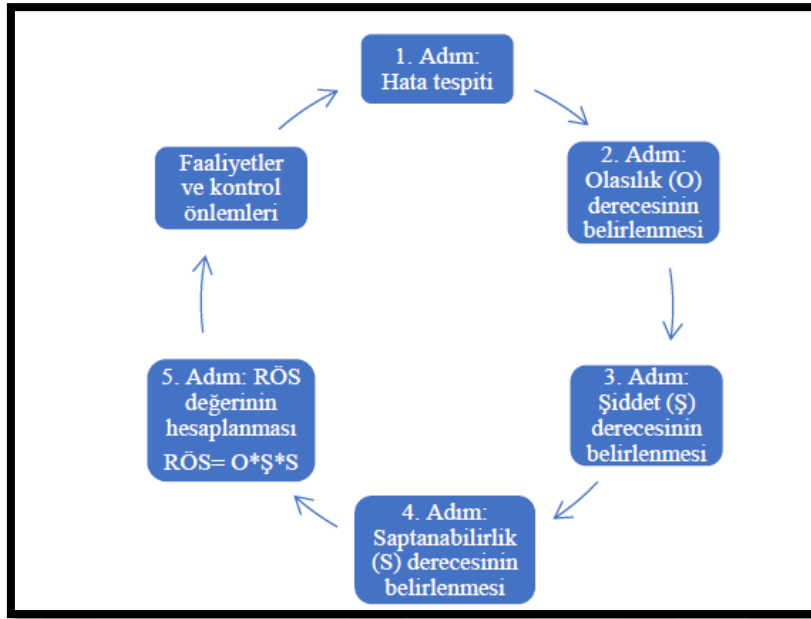
Tasarım, sistem, hizmet ve süreç HTEA'nın geniş uygulama yelpazesini kapsamakta ayrıca farklı aşamalarda, farklı endüstrilerde ve farklı hizmet alanlarında ve mühendislik projelerinde kullanılabilmektedir. Bu çeşitlilik, bir sistemin, bir sürecin veya bir mühendislik projesinin güvenilirliğini artırmak ve olası riskler ile hataları minimize etmek için esnek bir yaklaşım sunmaktadır.

- **Tasarım HTEA:** Bir ürünün ya da projenin tasarım aşamasında potansiyel hataları ve bunların olası etkilerini analiz etmektedir. Ürün ya da proje tasarımında güvenilirlik, performans ve müşteri memnuniyeti gibi faktörleri göz önünde bulundurarak tasarım hatalarını tespit etmeye odaklanılmaktadır (Sharma ve Srivastava, 2018).
- **Sistem HTEA:** Bir ürünün, projenin veya sürecin potansiyel hata modlarını belirlemek, bu hataların olası etkilerini değerlendirmek ve ardından önleyici veya düzeltici eylemler geliştirmek için bir sistematığı ifade etmektedir. (Toraman ve Gökkaya, 2023).

- Hizmet HTEA: Bir hizmet ya da proje sürecinde potansiyel hataları ve bu hataların kullanıcı memnuniyeti üzerindeki etkilerini analiz etmektedir (Akgün, 2017).
- Proses HTEA: Bu, genel bir terim olarak kullanılsa da bazen proje ya da üründeki üretim süreci yerine genel iş süreçlerini analiz etmek için de kullanılmaktadır. Süreç HTEA, iş süreçlerindeki potansiyel hata ile riskleri ve bunların iş verimliliği, maliyetler ve kullanıcı memnuniyeti üzerindeki etkilerini değerlendirmektedir (Aydın ve Kaya, 2017).

4.1.2. HTEA uygulama adımları

HTEA yöntemi, projelerde iş kalemlerinin öncelik sıralamasını yaparak, riskleri belirlemeye ve etkilerini değerlendirmeye odaklanmaktadır. Aynı zamanda hataların önlenmesine de katkı sağlamaktadır. Bu yöntemde her bir risk veya hatanın ilk parametre olarak gerçekleşme olasılığı (O) belirlenmektedir. Bu olasılıklar, 1'den 10'a kadar olan bir skalada değerlendirilir; 10, riskin veya hatanın çok yüksek bir olasılığa sahip olduğunu belirtirken, 1 ise çok düşük bir olasılığı ifade etmektedir. Bu puanlama sistemi, projelerde hangi risklerin veya hataların öncelikli olarak ele alınması gerektiğini belirlemeye de yardımcı olmaktadır (Xiao ve diğ., 2011). İkinci parametre olarak hatanın ya da riskin bir projede meydana gelmesi durumunda oluşması muhtemel şiddetini (Ş) saptamaya yönelik olmaktadır. Bu değerlendirmede de skala 1'den 10'a kadar olan bir aralığı kapsamaktadır. HTEA yönteminde belirlenmeye çalışılan üçüncü parametrede de hatanın tespit edilebilirliği ya da saptanabilirliği (S) olmaktadır. bu parametrede, projede meydana gelebilecek bir hatanın ne kadar kolay veya zor fark edilebileceğini belirlemeye yöneliktir. Bu değerlendirme diğer parametrelerde olduğu gibi bir puanlama sistemi kullanılarak yapılmakta ve skala 1'den 10'a kadar olan bir aralığı kapsamaktadır. Bu puanlama sisteminde değerlendirilen bu parametre için, bir projedeki risk yönetimi süreci güçlenmektedir (Çıtıröğlu ve diğ., 2022). Şekil 4.1' de bir proje ya da ürün tasarımında kullanılan ve risk ile hataların oluşmadan önce önlemlerini de belirlemeye çalışan HTEA analizi döngüsü gösterilmektedir.



Şekil 4.1. Hata türü ve etkileri analizi (HTEA) döngüsü (Şahin ve Topaloğlu, 2021)

Bir projede planlanan ve tasarlanan işler sırasında karşılaşılabilecek muhtemel riskleri ve hataları belirlemek ve bu hata ve riskleri yönetmek önem arz etmektedir. Bu riskler için yukarıda belirtilen 3 parametre ile ilgili olarak değerlerinin belirlenebilmesi için o konu hakkında uzman teknik personelin düşüncelerinden faydalanılmaktadır. Bu sebeple de HTEA yöntemi ile araştırma yapılmak istenen konu ile ilgili olarak yetkili makamlardan etik kurul izinleri alınarak anket çalışması yapmak uygun olmaktadır. Yapılan anket çalışması sonrasında, bu parametrelerden faydalanılarak her bir riskin önceliğini belirlemek üzere Risk Öncelik Sayısı (RÖS) hesaplanmaktadır. RÖS, bir proje ya da üretilen bir ürün için hata ve risklerin oluşma olasılığı (O), şiddeti (Ş) ve saptanabilirliği (S) faktörlerinin çarpımıyla hesaplanmaktadır (Çıtıroğlu ve diğ., 2022). RÖS hesaplanmasında kullanılan parametreler ait tablolar Tablo 4.1, Tablo 4.2 ve Tablo 4.3'te gösterilmektedir. Anket yapılarak hesaplanan RÖS değeri eşitlik 4.1' deki eşitliğe göre elde edilmektedir (Pillay ve Wang, 2003).

$$RÖS = O * Ş * S \quad (4.1)$$

O = Bir proje ya da ürün tasarımındaki hata ve risk türünün gerçekleşme olasılığını,

Ş = Bir proje ya da ürün tasarımındaki hata ve risk türünün potansiyel etki boyutu, şiddeti

S = Bir proje ya da ürün tasarımındaki hata ve risk türünün saptanabilirlik ya da tespit edilebilme derecesi

Tablo 4.1. Bir proje ya da ürün tasarımında hata veya risklerin gerçekleşme olasılığı ve dereceleri (Pillay ve Wang, 2003)

Hata Oluşma Sıklığı	Hatanın Olasılığı	Derece
<u>Çok Yüksek; Kaçınılmaz Hata</u>	1/2'den fazla	10
	1/3	9
<u>Yüksek; Tekrar Tekrar Hata</u>	1/8	8
	1/20	7
<u>Orta; Ara Sıra Olan Hata</u>	1/80	6
	1/400	5
<u>Düşük; Nispeten Az Olan Hata</u>	1/2000	4
	1/15000	3
<u>Pek Az; Olası Olmayan Hata</u>	1/150000	2
	1/150000'den az	1

Tablo 4.2. Bir proje ya da ürün tasarımında hata veya risklerin şiddet etkisi ve dereceleri (Pillay ve Wang, 2003)

Etki	Şiddetin Etkisi	Derece
<u>Çok Ciddi</u>	Parametre verilerini çok ciddi etkileyecek hata	10
		9
<u>Ciddi</u>	Parametre verilerini ciddi etkileyecek hata	8
		7
<u>Orta</u>	Parametre verilerini ortalama etkileyecek hata	6
		5
<u>Hafif</u>	Parametre verilerini hafif etkileyecek hata	4
		3
<u>Çok Hafif</u>	Parametre verilerine etkisi yok	2
		1

Tablo 4.3. Bir proje ya da ürün tasarımında hata veya risklerin tespit edilebilirliği ve dereceleri (Pillay ve Wang, 2003)

Tespit Edilebilirlik	Derece
Kaynağı belli olmayan potansiyel bir hatanın tespit edilememesi durumu	10
Potansiyel hata kaynağı veya sonrasında meydana gelebilecek hata tespit edilebilirlik açısından zorlu bir durumda	9
Potansiyel hata kaynağı ve sonrasında oluşacak hataların tespiti zorlu bir durumda	8
Potansiyel hata kaynağı ve sonrasındaki hataların tespit edilebilirliği son derece düşük	7
Hata kaynağı ve sonucunun tespit edilebilme ihtimali az	6
Potansiyel hata kaynağı ve takip eden hataların orta derecede saptanabilirliği	5
Potansiyel hata kaynağı ve takip eden hataların yüksek orta derecede saptanabilirliği	4
Potansiyel hata kaynağı ve takip eden hataların yüksek derecede saptanabilirliği	3

Eğer hesaplanan RÖS değeri 100 puandan büyükse, bu risk önlem almayı gerektiren yüksek risk olarak kabul edilmektedir. Eğer RÖS değeri 40 ile 100 arasında ise bu orta risk olarak değerlendirilir ve önlem alınabilir anlamına gelmektedir. Ancak, hesaplanan RÖS değeri 40 puandan küçük ve eşitse, bu risk hafif risk olarak kabul edilir ve önlem alınması gerekmez şeklinde yorumlanmaktadır (Çıtıroğlu ve diğ., 2022). Bu yöntem, projedeki risklerin öncelik sıralamasını belirlemenin yanı sıra, hangi risklerin üzerinde daha fazla odaklanması gerektiğini göstererek projenin ya da üretilecek bir ürün sürecindeki işlerin daha güvenli hale getirilmesine ve o buralarda oluşması muhtemel risklerin önceden tespit edilebilmesine yardımcı olmaktadır (Çıtıroğlu ve diğ., 2022). RÖS aralıkları ve açıklaması ile ilgili bilgiler Tablo 4.4’de gösterilmiştir.

Tablo 4.4. RÖS aralıkları (Narlı, 2021)

<u>RÖS Değer Aralığı</u>	<u>Önlem Düzeyi</u>
RÖS<40 ise	Önlem almaya gerek yoktur
40<RÖS<100 ise	Önlem alınmalı
RÖS≥100 ise	Mutlaka önlem alınması gerekli

4.2 Pareto Analizi

Pareto analizi, ekonomist Vilfredo Pareto'nun geliştirdiği ve genellikle servet dağılımı çalışmalarında gözlemlenen 80/20 ilkesine dayanan bir tekniktir (Karuppusami ve Gandhinathan, 2006). Bu analiz, bir organizasyonun kaynaklarını değerlendirerek, en çok etkiyi oluşturan unsurları tespit etmeye ve bu unsurlara kaynak tahsisini yönlendirmeye olanak tanımaktadır. Böylece, az sayıda kritik faktör üzerinde odaklanarak, genel performansın iyileştirilmesi hedeflenmektedir. Pareto prensibi, iş dünyasından mühendisliğe, yazılım geliştirmeden sağlık sektörüne kadar çeşitli alanlarda kullanılmaktadır (Karuppusami ve Gandhinathan, 2006). Pareto analizi veya Pareto prensibi, bir sistemdeki sorunların çözümü için odaklanılacak en kritik alanları belirlemeye yardımcı olan bir yöntemdir. Bu prensibe göre, bir sistemin büyük bir kısmı sorunların %20'sini oluştururken, geriye kalan %80'lik kısım ise sorunların yalnızca %20'sini oluşturmaktadır. Dolayısıyla, kaynakların en etkili şekilde kullanılabilmesi için, çözüm çabalarının bu önemli %20'lik kısma odaklanması gerekmektedir (Özcan, 2001). Pareto analizi, bir sistemdeki ya da projedeki azınlık olan ve problemlerin çoğunluğunu oluşturan risk ve hataları belirlemek için de kullanılmaktadır. Pareto Analizi genellikle "20/80" kuralı olarak bilinir ve bu kurala göre, bir sistemdeki ya da projedeki sorunların çözümü için problemin %80'nini oluşturan %20'lik kısım hedef alınmaktadır. Ancak bazı durumlarda, bu oranlar problemin ya da sistemin niteliğine göre değişebilmekte ve "30/70", "40/60" gibi farklı oranlar da olabilmektedir. Bu durumlarda, bir projedeki ya da sistemdeki bir problemin %70'lik veya %60'lık kısmını oluşturan %30'luk veya %40'luk hata ve risk bölümüne odaklanmak gerekmektedir (Eren, 2021). Bu yöntem mühendislik projelerinin yapım süreçlerinde de önemli roller üstlenmektedir. Yapılan bu değerlendirmelerdeki amaç bir mühendislik projesinde oluşması muhtemel olan daha az hata ve risklere müdahale edilerek, o proje ya da tasarımda oluşan problemin büyük bir çoğunluğunu çözmek olmaktadır. Böylelikle bir proje ya da ürün tasarımı sürecinde ekonomik kayıpların önüne de geçilebilmektedir.

Pareto analizine yönelik olarak literatürde de birçok çalışma yapılmaktadır. Örneğin Hatipoğlu (2020) yılında pareto analizi ile ilgili olarak yapmış olduğu çalışmada direksiyon sınavlarında sürücü adaylarının yapmış oldukları hatalar sınıflandırılmış ve bu sınıflandırmada pareto analiz yöntemi kullanılmıştır. Bekereci ve diğ. (2020), yaptıkları araştırmada öğrencilerin akademik başarılarında etkili olan değişkenlerin neler olduğu Pareto analizi tekniğiyle belirlenerek, bu değişkenler doğrultusunda yapılan öğretimin, öğrencilerin fen bilimleri dersi akademik başarılarına etkisi incelenmiştir. Güleç ve diğ. (2023), ise bir kamu sağlık kuruluşuna başvuran poliklinik hastalarının bir yıllık hasta akışı analiz edilerek, veriler Pareto prensipleri doğrultusunda incelenmiş ve değerlendirilmiştir. Arslan (2019) yaptığı çalışmada Kalite kontrol grafiklerinden elde edilen veriler doğrultusunda, üretim sürecinin önceden belirlenen şartnamelere uygunluğunu değerlendirmek için proses yeterlilik analizi gerçekleştirilmiş ve sonrasında hata dağılımlarını belirlemek için Pareto analizi kullanılmıştır. Erbiyık ve diğ. (2007), yapmış oldukları çalışmada coğrafi tabanlı mühendislik projelerinin uygulanması sırasında oluşması muhtemel hata ve riskler için pareto analizi yaparak risklerin öncelik sıralamalarını belirlemişlerdir. Can (2019) yaptığı çalışmada rüzgâr enerji santrali projelerinde hava fotoğrafları kullanılarak yapılan fotogrametrik haritalama çalışmalarında oluşan hata ve riskleri, pareto tekniği yardımıyla öncelik sıralamasını belirlemiştir. Can ve Erbiyık (2016) yaptıkları çalışmada ise heyelan hareketlerine yönelik haritalama faaliyetlerinde hava fotoğraflarının kullanımından ortaya çıkan risklerin pareto analiz yöntemleri ile sıralamalarını yapmışlardır. Çıtıroğlu ve diğ. (2022), yapmış oldukları araştırmada yeraltı petrol boru hatlarının güzergâh seçiminde yüzey ve çevre koşullu oluşan riskleri incelemişler ve buradaki hata ve risklerin öncelik sıralamasını pareto analiz yöntemiyle yapmışlardır. Sabuncu ve diğ. (2019), yapmış oldukları çalışmada hafif raylı sistem işletmesinde olası hatalar ve arızalar için pareto tekniğini de kullanmışlar ve buradaki hata ve risklerin öncelikleri belirlenmiştir. Sun ve Song (2022), ise kentsel ulaşım ağlarındaki trafik yoğunluğunu azaltmak amacıyla Pareto yönteminin kullanmasını önermişlerdir.

4.2.1 Pareto grafiğinin oluşturulma adımları

Pareto grafiği hazırlık aşamasından sonuç aşamasına kadar bazı adımların izlenmesi sonucunda oluşturulabilmekte ve böylelikle bir projede ya da bir ürünün üretilmesi aşamalarının yolunda gitmesinde olumlu yönde katkılar sağlamaktadır. Bir pareto analizinin yapılmasında ilk olarak bir projede ya da ürün üretimi sürecinde hataya ya da riske sahip olan hususlar belirlenmekte ve böylelikle problemi oluşturan sebepler araştırılmaktadır (Özcan, 2001). İkinci adımda ise tespit edilen hata ve riskler bir form içinde ve belli bir düzene göre

listelenmekte ve bu hususlar ile ilgili sayısal verilerde bu formlara işlenmektedir (Özcan, 2001). Buradaki sayısal veriler çeşitli anketler ya da matematiksel eşitlikler ile elde edilebilmektedir. Pareto analizinin gerçekleştirilmesi için izlenen üçüncü adımda ise elde edilen veriler ya da hata ile riskler için sayısal değerleri açısından en büyük değerden başlayarak en küçük değere doğru sınıflandırılması yapılmaktadır (Özcan, 2001). Yapılan bu analiz türünde, dördüncü adım olarak ise her bir hata ya da riskin genel toplam içindeki yüzde değerleri bir sütunda hesaplanmakta ve tablodaki ayrı bir sütunda ise bu yüzdelerin de kümülatif olarak değerleri bulunmaktadır (Özcan, 2001). Pareto analizinde beşinci adım olarak bu analizin grafiği çizilmektedir. Çizilen bu grafik ile ilgili olarak problemi oluşturan hata ya da riskler yatay ekseninde bulunmakta ve önem derecelerine göre yerleştirilerek en önde bulunan risk grafiğin en başında, en son gelen risk ise grafiğin yatay ekseninin en arkasında bulunmaktadır (Özcan, 2001). Pareto analizinin altıncı ve son adımında ise grafik yorumlanarak, bir projedeki sürecin şartnamesine uygun olarak ilerlemesine ya da bir ürünün üretim sürecine olumsuz etki eden problem ile ilgili en önemli risk ve hataların çözümüne dikkat edilmekte ve böylelikle büyük ekonomik kayıpların da önüne geçilmeye çalışılmaktadır (Özcan, 2001).

4.3 Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP)

Thomas Saaty'nin 1980 yılında ortaya koyduğu Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP), çoklu kriterlere dayalı karar verme süreçlerinde yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir (Ho, 2008). Geçtiğimiz 20 yıl boyunca, bu yöntem çeşitli sektörlerde ve durumlarda karar vericilere yardımcı olmak için detaylı bir şekilde incelenmiş ve uygulanmıştır (Ho, 2008). Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP), çok kriterli karar verme problemlerini çözmek için kullanılan bir karar destek yöntemidir. Özellikle karmaşık sistemlerde, birden fazla kriterin ve alt kriterin etkileşimini değerlendirmek ve ağırlıklandırmak için kullanılır (Yakıcı Ayan ve Perçin, 2012). Bu modelde, her kriterin diğerlerine göre önemi bir ölçeğe dayanarak belirtilmektedir. Bu ölçek, kriterlerin göreceli önemini belirlemek için kullanılır ve genellikle 1 ile 9 arasında bir seri sayıdır. Bu sayılar, bir kriterin diğerine göre ne kadar önemli olduğunu göstermektedir (Saaty, 1977). Bu ölçeğe ait önem dereceleri Tablo 4.5'de gösterilmiştir.

Tablo 4.5. AHP önem dereceleri (Saaty, 2008)

Önem Derecesi	Tanım	Açıklama
1	Eşit Önemde	Her iki kriter de amaç için eşit derecede önemlidir.
3	Orta Önemde	Bu önem derecesi, tecrübe ve değerlendirmeler sonucunda bir kriterin diğerine göre biraz daha fazla tercih edildiği durumları ifade eder.
5	Güçlü Önemde	Bu önem derecesi, tecrübe ve değerlendirmeler sonucunda bir kriterin diğerine göre belirgin bir şekilde daha fazla tercih edildiği durumları ifade eder.
7	Çok Güçlü Önemde	Bu önem derecesi, bir kriterin diğerine göre önemli bir şekilde üstünlüğü ispatlandığı ve belirgin bir şekilde daha fazla tercih edildiği durumları ifade eder.
9	Son Derece Önemli	Bu önem derecesi, bir kriterin diğerine göre maksimum derecede tercih edildiği durumları ifade eder.
2,4,6,8	Yukarıdaki değerler arasındaki ara değerler	Bu ara değerler, kriterlerin karşılaştırılması sırasında tereddütler oluştuğunda kullanılır ve sayısal değerlerin ortasındaki bir değer seçilir.

Birçok problemin çözümünde kullanılan AHP yönteminde, problemi etkileyen kriterlerin ağırlıklarının belirlenmesinde aşağıdaki adımlar uygulanmaktadır. (Saaty, 2008):

1. İlk Olarak problem tanımlanmakta ve bu problemin çözümüne etki eden kriterler belirlenmektedir.
2. Aşamada bu problemin çözümüne etki eden kriterler için hiyerarşik yapı oluşturulmaktadır.
3. Aşama kriterler arası ikili karşılaştırma matrisinin oluşturulması ve matris formüllerinin verilmesi olmaktadır.
4. Aşamada özvektörün (görelî önem vektörünün, ya da ağırlık matrisinin) hesaplanması yapılmaktadır.
5. Aşamada ise özvektörün tutarlılığına yönelik olarak $\lambda_{\max}$, CI, CR, RI değerlerinin hesaplanması yapılmaktadır.

Bir problemin çözümüne etki eden kriterler arası karşılaştırma matrisi, $n \times n$ boyutlu bir kare matris olmaktadır. Bu matrisin köşegeni üzerindeki matris bileşenleri 1 değerini almakta olup, bu karşılaştırma matrisi aşağıdaki Eşitlik 4.2’de verilmektedir (Saaty 1987, 1991; Karakaş, 2018).

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \end{bmatrix} \quad (4.2)$$

Matrisin köşegen değerlerinin sadece üstünde ya da sadece altında kalan bölgeler için kriterler arasında puanlama ve değerlendirme yapılırken, puanlama yapılmayan bölgelerde ise eşitlik 4.3’deki formül uygulanmaktadır (Saaty 1987, 1991; Karakaş, 2018).

$$a_{ji} = \frac{1}{a_{ij}} \quad (4.3)$$

İkili karşılaştırma matrisindeki tüm parametrelerin sistem içindeki ağırlıklarını belirlemek için, matrisin sütunlarından yararlanılarak Eşitlik 4.4’de gösterilen n adet ve n bileşenli bir B sütun vektörü oluşturulması gereklidir (Saaty 1987, 1991; Karakaş, 2018).

$$B_i = \begin{bmatrix} b_{11} \\ b_{21} \\ \vdots \\ \vdots \\ b_{n1} \end{bmatrix} \quad (4.4)$$

B sütun vektörlerinin hesaplanmasında aşağıda belirtilen (4.5) eşitliğinden yararlanılmaktadır. buradaki amaç ise normalize edilmiş değerlerini bulmaktır (Saaty 1987, 1991; Karakaş, 2018).

$$B_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}} \quad (4.5)$$

n adet B sütun vektörü, bir matris formatında bir araya getirildiğinde ise aşağıdaki eşitlik 4.6 da verilen C matrisi elde edilmektedir (Saaty 1987, 1991; Karakaş, 2018).

$$C = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & \cdots & a_{1n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ c_{21} & c_{22} & \cdots & c_{2n} \end{bmatrix} \quad (4.6)$$

C matrisinden faydalanılarak, faktörlerin birbirlerine göre önem değerlerini gösteren yüzde önem dağılımları elde edilmektedir. Bunun için 4.7 eşitliğinde gösterildiği gibi C matrisini oluşturan satır bileşenlerinin aritmetik ortalaması alınmakta olup, eşitlik 4.8’de verilen ve

öncelik vektörü olarak adlandırılan W sütun vektörü ya da ağırlık matrisi elde edilmektedir (Saaty 1987, 1991; Karakaş, 2018).

$$w_i = \frac{\sum_{j=1}^n c_{ij}}{n} \quad (4.7)$$

$$W = \begin{bmatrix} w_{11} \\ w_{21} \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix} \quad (4.8)$$

Yukarıda belirtilen bu işlem adımlarının ardından, 'Tutarlılık Oranı' olan (CR) değerinin hesaplanması gerekmektedir. Bu hesap için, faktör sayısı (n) kullanılarak Temel Değer ($\lambda_{\max}$) adı verilen bir katsayı hesaplanır. $\lambda_{\max}$ 'nın hesaplanması için, karşılaştırma matrisi (A) ile öncelik vektörünün (W) matris çarpımı yapılmakta ve sonuç olarak eşitlik 4.9 da belirtilen bir sütun vektörü (D) elde edilmektedir (Saaty 1987, 1991; Karakaş, 2018).

$$D = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix} \quad (4.9)$$

Bulunan D sütun vektörü ile W sütun vektörünün karşılıklı elemanlarının bölümünden her bir değerlendirme faktörüne ilişkin temel değer (E) elde edilmektedir. Bu değerlerin aritmetik ortalaması ise eşitlik 4.10'da da gösterilen karşılaştırmaya ilişkin temel değeri ($\lambda_{\max}$)'ı vermektedir (Saaty 1987, 1991; Karakaş, 2018).

$$\lambda_{\max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{x_i}{c_i} \quad (4.10)$$

$\lambda_{\max}$ hesaplandıktan sonra Tutarlılık Göstergesi (CI), aşağıda verilen 4.11 eşitliğinden faydalanılarak hesaplanabilmektedir (Saaty 1987, 1991; Karakaş, 2018).

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (4.11)$$

Daha sonraki aşamada ise tutarlılık oranının (CR)'nin hesaplanması yapılmalı ve bunun için de 4.11 eşitliğinde bulunan CI tutarlılık göstergesi değeri, rastgele değer indeksi (RI) olarak adlandırılan değere eşitlik 4.12 de görüldüğü üzere bölünmektedir (Saaty 1987, 1991;

Karakas, 2018). Random gösterge (RI) olarak adlandırılan bu değer ise aşağıdaki Tablo 4.6 da verilen ve n kriter ya da faktör sayısına karşılık gelen değer olarak bulunmaktadır

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (4.12)$$

Tablo 4.6. Rastgele değer indeksi (RI) değerinin tespit edilmesine yönelik verilen tablosal değerler (Kwiesielewicz and Uden, 2004).

Faktör Sayısı (n)	Rastgele Değer İndeksi (RI)
1	0,00
2	0,00
3	0,58
4	0,90
5	1,12
6	1,24
7	1,32
8	1,41
9	1,45
10	1,49
11	1,51
12	1,48
13	1,56
14	1,57
15	1,59

Yapılan hesaplamalar sonrasında tutarlık oranı için bulunan değer 0,10'dan küçük ise ikili karşılaştırma matrisinin oluşturulmasında yapılan karşılaştırmaların tutarlı olduğu kabul edilmektedir (Uyan, 2017).

Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) ile tespit edilen risklerin ağırlık ya da önem derecelerinin belirlenmesi, karar verme sürecinde büyük öneme sahiptir. Bu belirleme, çeşitli kriterlerin ve alternatiflerin karşılaştırılmasını sağlamakta ve karar vericilere hangi risklerin öncelikli olduğunu ve daha fazla dikkat gerektirdiğini göstermektedir. AHP ayrıca karar vericilere riskler arasındaki farklılıkları belirleme imkanı da vermektedir. Bu sayede, en yüksek öncelikli riskler üzerinde odaklanarak ekonomik kaynakların etkin bir şekilde yönetilmesi de sağlanmaktadır. AHP yöntemi yukarıda bahsedilen konularla ilgili olmak üzere literatürde de

birçok konuda kullanılan ve tercih edilen bir yöntem olmaktadır. Örneğin Çoruh ve Tortum (2014) yapmış oldukları çalışmada Türkiye'deki 81 ilde trafik kaza sayısına etki eden faktörleri AHP metodu kullanarak incelemiş ve karşılaştırmalar yaparak iller arası yol güvenlik sıralaması yapılmıştır. Bolayır ve İri (2023), ise Sağlık Bilimleri Fakültesi'ndeki iş sağlığı ve güvenliği (İSG) risk faktörlerini Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) yöntemi ile değerlendirerek risk faktörleri belirlenmiş ve önem sıralaması yapılmıştır. Şahin ve diğ. (2023), ise yaptıkları çalışmada AHP metodunu kullanarak afet sonrası ihtiyaçların önceliklendirilmesini sağlamak ve sınırlı kaynakların kriz ortamında en etkin ve verimli şekilde kullanılmasına yardımcı olmasını amaçlamaktadırlar.

AHP yöntemi kapsamında literatürde yapılan çalışmalarda, Bagla ve Gupta (2011), yapmış oldukları araştırmada artan nüfus ve buna bağlı olarak araç sayısındaki artış nedeniyle, kişisel araçların park edilmesi konusunda, Analitik Hiyerarşi Proses yöntemiyle çalışmışlardır. Özarpa ve diğ. (2021), yapmış oldukları çalışmada kent içi ulaşımında farklı alternatif taşıma türlerini (metro, hafif metro, tramvay, monoray, finiküler, otobüs, metrobüs ve minibüs) belirlemek için AHP yönteminden faydalanmışlardır. Pilatin (2021) yapmış olduğu çalışmada Marmaray hattı istasyonlarının toplu taşıma odaklı kentsel gelişme yaklaşımına uygunluğunu belirlerken AHP metodundan faydalanmıştır. Aydın ve Bıyık (2023), yapmış oldukları çalışmada şehir içi yollardaki şerit yoğunluğunu tespit edilmesi ve işletilmesi aşamasında yolun efektif kullanımı için önerdikleri akıllı ulaşım sisteminin zayıf ve güçlü yönlerini AHP metodu ile ağırlıklandırmıştır. Erdinç ve Kepenek (2022), yapmış oldukları çalışmada Isparta ili Alternatif otogar yer seçimi belirlenmesi için AHP metodundan faydalanmışlardır. Babacan (2022) Analitik Hiyerarşi metodunu kullanarak Sivas ilinde halk otobüsü işletmecilerinin otobüs satın alırken hangi kriterlere öncelik verildiğini AHP yöntemi kullanarak ağırlıklandırmıştır.

AHP'nin en önemli avantajlarından biri, karar verme süreçlerinin genellikle öznel olduğu gerçeği göz önünde bulundurularak, karar vericinin önceliklerini net bir şekilde belirlemesine yardımcı olmasıdır. AHP, her bir kriterin önemini belirlemede daha tutarlı ve objektif bir yaklaşım sunar ve bu da karar verme sürecini daha sağlam hale getirmektedir. Bu metodoloji, karmaşık kararlar alırken daha az hata yapılmasına ve sonuçların daha doğru olmasına katkıda bulunmaktadır (Liberatore ve Nydick, 2008).

5. RİSK VE HATA BELİRLEME ÇALIŞMALARI

5.1. Karayolu Üstyapı İşletme Aşamasında Yapılan Bakım Onarım ve Ölçme Çalışmalarındaki (BOÖÇ) Muhtemel Hata ve Risk Faktörlerinin Belirlenmesi

Karayolları, insanların ve yüklerin kısa ve uzun mesafelerde taşınması için en yaygın ve esnek taşıma türlerinden biri olmaktadır. Bu nedenle karayolu projelerinin hayata geçirilmesinden önce, fizibilite ve etüt aşamalarında titiz bir planlama ve projelendirme süreci gerçekleştirilmelidir. Bu aşamalarda yapılan detaylı analiz ve hesaplamalar, yolun işletme aşamasında optimum performans ve verimlilik sağlamak adına eksiksiz bir şekilde uygulanmalıdır. Özellikle mühendislik prensiplerine uygun olarak yapılan bu çalışmalar, projenin sürdürülebilirliği ve güvenliği açısından kritik öneme sahiptir. Yolda oluşan deformasyonlar, çatlaklar ve diğer yapısal sorunlar, yolun ömrünü kısaltarak beklenmeyen ekstra maliyetlere neden olmaktadır. Bu tür bozulmalar, taşıma kapasitesinin düşmesine ve sürüş güvenliğinin azalmasına yol açmaktadır. Yetersiz bakım ve onarım, bu sorunları daha da kötüleştirerek yolun genel performansını olumsuz yönde etkilemektedir. Dolayısıyla, yol projelerinin planlama ve uygulama aşamalarında mühendislik standartlarına uygun dayanıklılık ve kalite kontrolleri yapılmalı, ayrıca düzenli bakım programları oluşturulmalıdır. Bu yaklaşım, uzun vadede hem maliyet tasarrufu sağlamakta hem de yolun güvenli ve verimli kullanımını temin etmektedir. Yapılan bu tez çalışmasında, büyük mühendislik ve ulaşım projeleri arasında yer alan karayollarının, işletme aşamalarında, kullanım ve çevre koşullarına bağlı olarak ortaya çıkan bozulma ve deformasyonların bakım, onarım ve ölçme çalışmalarında (BOÖÇ) karşılaşılan hata ve riskler incelenmiştir. Çalışma kapsamında inceleme sürecine başlarken ilk olarak, bu işlemler sırasında karşılaşılabilecek muhtemel 15 adet risk belirlenmiş ve aşağıda verilmiştir.

1. (Proses 1) (BOÖÇ 1)-Karayollarının bakım onarım ve ölçme işlerinde yeterli dikkat ve özen gösterilmemesi ve işletim sırasında oluşan bozuklukların tam tespit edilememesinden kaynaklı oluşan risk ve hatalar.
2. (Proses 2) (BOÖÇ 2)-Karayolu yapımı sırasında yağmur ve kar suyu kaynaklı oluşan su birikintilerini drene edilmesi için yapılan çatı eğimi ölçme ve hesaplamalarının hatalı yapılmasından kaynaklı karayolu işletimindeki bakım ve onarım faaliyetlerini de etkileyen riskler.
3. (Proses 3) (BOÖÇ 3)-Uygun yüzey altı (yüzey altı drenajı stabilizasyon hendekleri, yatay drenler, düşey kum drenler, taş drenler, drenaj galerisi vb.) ve yüzeysel drenaj

sistemi (dren hendekleri, menfez, rögar, kolektör, büz, boru sistemleri vb.) uygun dren malzemesi, uygun boyutlandırma ve projelendirmelerinin yapılmamasından kaynaklı olarak karayolu işletimindeki bakım ve onarım faaliyetleri de etkileyen riskler.

4. (Proses 4) (BOÖÇ 4)-Karayolu altyapısı ile ilgili işlerde özellikle kaplama türü için yeterli ve kaliteli malzeme kullanılmaması kaynaklı oluşan hata ve riskler.
5. (Proses 5) (BOÖÇ 5)-Karayolunun işletilmesi sırasında oluşan heyelan, deprem, sel, iklim değişikliği vb. doğal afetlerin meydana gelmesi ve jeolojik, jeofiziksel, topografik ve hidrolojik olarak öngörülemeyen sebeplerden oluşan risk ve hatalar.
6. (Proses 6) (BOÖÇ 6)-İşletim sırasında Karayolu kaplamasında oluşan düşey yönlü bozulmalar için yapılan düşey yöndeki ölçme işlerinden (Nívelman, Lidar, Fotogrametrik, Uzaktan Algılama) kaynaklanan hata ve riskler.
7. (Proses 7) (BOÖÇ 7)-İşletim sırasında Karayolu kaplamasında oluşan yatay yönlü bozulmalar için yapılan yatay yöndeki ölçme işlerinden (GNNS, Elektronik Uzaklık Ölçer, lazer ölçme ve tarama sistemleri vb.) kaynaklanan hata ve riskler.
8. (Proses 8) (BOÖÇ 8)-Karayolunun işletilmesi sırasında yapım bakım onarım işleri için yapılan ölçmelerde referans olarak alınan jeodezik ölçme ağında oluşan hatalardan dolayı oluşan riskler.
9. (Proses 9) (BOÖÇ 9)-Karayolu işletimi için yapım bakım ve ölçme işlerinde çalışan personelin eğitim ve tecrübe eksikliği nedeniyle oluşan hata ve riskler.
10. (Proses 10) (BOÖÇ 10)-Karayolunun bakım ve onarım çalışmalarının da etkileyen ve karayolunun planlaması yapılırken yatay ve düşey eksenlerde yanlış yapılan geometrik tasarımlar kaynaklı oluşan risk ve hatalar (Düşey ve yatay kurp tasarımında oluşan tasarım hataları, topografya ve yol geometrisinin uyum sağlamaması vb.)
11. (Proses 11) (BOÖÇ 11)-Karayolu onarım bakım faaliyetleri için yapılan yatay ve düşey yöndeki ölçme işlerinde kalibrasyonsuz cihazların kullanılması sonucunda oluşan yanlış ölçmelerden kaynaklanan hata ve riskler.
12. (Proses 12) (BOÖÇ 12)-Karayolu bakım onarım ve ölçme işlerinin yapılabilmesi için onaylı iş emirlerinin gecikmesi ve organizasyon eksiklerinden kaynaklı oluşan hata ve riskler.
13. (Proses 13) (BOÖÇ 13)-Karayolu işletiminde yol bakımını da etkileyen ve tasarım sırasında yapılan ortalama trafik yoğunluğu, araç türü ve özellikleri, proje veya

işletme hızı, kapasite vb. parametrelerin hesaplamalarında yapılan hatalardan kaynaklanan riskler.

14. (Proses 14) (BOÖÇ 14)-Yapım ve onarım faaliyetlerini etkileyen karayolu üst yapı kalınlığının ve tipinin yanlış belirlenmesi kaynaklı riskler.

15. (Proses 15) (BOÖÇ 15)-Yol yapımında kullanılan malzeme içine yabancı malzeme karışması veya girmesi sonucunda olabilecek kimyasal reaksiyon sebebiyle yol dayanıklılığının düşmesinden kaynaklı riskler.

Yapılan çalışma kapsamında yukarıda belirtilen hata ve riskler tespit edilirken literatür araştırmaları, konu ile ilgili yaşanan geçmiş örnek olaylar, konunu uzmanları ile yapılan sözlü görüşmeler sonrasında belirlenmiştir.

5.2. Karayolu Üstyapı İşletme Aşamasında Yapılan Bakım Onarım ve Ölçme Çalışmalarındaki (BOÖÇ) Muhtemel Hata ve Risk Faktörleri için Hata Türü Etkileri Analizi (HTEA) Uygulaması

Yapılan çalışma kapsamında risk ve hata etkenleri belirlendikten sonra bu risklerin risk etkilerini ve önlemlerini araştırmak amacıyla Hata Türü Etkileri Analizi yöntemi seçilmiştir. Bu yöntem tez çalışmasının diğer bölümlerinde de anlatıldığı üzere literatürde birçok alanda kullanılmakta olup bir ürünün üretilmesi ya da bir projenin sağlıklı olarak ilerlemesinde oluşması muhtemel hata ve risklerin belirlenerek bu risklerin oluşmadan önce önlemlerin alınmasını sağlama da büyük bir rol oynamaktadır. Böylelikle de bir ürünün üretilmesi aşamasında ya da bir projenin ilerlemesi sırasında büyük ekonomik kayıplarında önüne geçilmesi de hedeflenmektedir. HTEA tablosunun oluşturulması muhtemel hata ve riskler için aynı zamanda alınabilecek önlemleri de göstermesi ve bu önlemlerin alınmasında da hangi ekiplerin, hangi kanun ve yönetmeliklere göre davranması gerektiğini de açıkça belirten bir yöntem olmaktadır. Yapılan çalışma kapsamında, yukarıda belirlenen riskler ile ilgili olarak alanında uzman kişilere yapılması suretiyle bu risklere karşı alınabilecek önlemler ve risklerin gruplandırılması istenmiştir. Yapılan çalışmada, anket uygulamasının yapılabilmesi için Yalova Üniversitesi, Etik Kurullar Koordinatörlüğü, Fen ve Mühendislik Bilimleri, Bilimsel Araştırmalar Etik Kurulu tarafından 2023/203 protokol numarası ile etik izin onayı verilmiştir. Bu kapsamda alınan etik izin onay belgesi bu çalışmanın Ek-1’inde verilmektedir. Yapılan ankette uzmanların bu alanla ilgili olarak Ulaştırma Mühendisi, Harita Mühendisi, İnşaat Mühendisi gibi meslek disiplinlerinden gelen kişiler olmasına dikkat edilmiş olup ayrıca bu uzman kişilere sorulan anket soruları yine bu çalışmanın Ek-2’sinde verilmektedir.

Yapılan anket kapsamında, ankete katılan uzman kişilerden belirlenen bu riskler ile ilgili olarak Bölüm 4’de anlatılan Risk Öncelik Sayısının (RÖS) tespit edilmesine yönelik her bir risk ile ilgili gerçekleşme olasılığını, şiddetini ve yine bu risk ile ilgili tespit edilebilirlik derecesinin 1-10 arasında puanlama yapmaları istenmiştir. Yapılan anketten puanlamalar alınırken her bir katılımcının her bir parametre (Olasılık, Şiddet ve Tespit edilebilirliği) için verdiği puanın aritmetik ortalaması alınmıştır. Bu aşamadan sonra da ilgili risk ve hatalar için Bölüm 4’deki 4.1 eşitliğinde belirtilen formüle göre RÖS değerleri hesaplanmış ve bu risklerin bu değerlere göre yine Bölüm 4 de anlatılan sınıflandırma şekillerine göre “hafif risk”, “orta risk” ve “yüksek risk” şeklinde sınıflandırmaları yapılmıştır. Bu aşamadan sonra karayolu bakım, onarım ve ölçme işlerinde karşılaşılan bu risk ve hatalara karşı alınması muhtemel önlemlerin neler olması gerektiği ankete katılan uzman kişilere sorulmuştur. Bu kapsamda karşılaşılmaması muhtemel her risk için alınması gereken önlemler ankete katılan uzmanların düşünceleri birleştirilerek elde edilmiş ve aşağıda verilmiştir.

1. (Proses 1) (BOÖÇ 1)- Yol durumu belirli periyotlarla (sensörler vs.) kontrol edilmelidir. Kalifiye eleman bulundurarak karayolunda oluşan bozulmalar takip edilmelidir. Arazide kontrol ölçümleri yapılmalıdır. İlgili Referans: Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliği, Karayolu Bakım Onarım ve Tamirat ile ilgili mevzuat ve yönetmelikler, Sorumlu Personel: Ulaştırma Mühendisi, Harita Mühendisi, İnşaat Mühendisi
2. (Proses 2) (BOÖÇ 2)- Hassas ölçüm cihazları tercih edilmeli ve bu parametrelere yönelik yapılan hesaplamalar tekrar gözden geçirilmelidir. İlgili Referans: Karayolları Genel Müdürlüğü Teknik Şartnamesi, Karayolları Tasarım El Kitabı, Sorumlu Personel: Ulaştırma Mühendisi, Harita Mühendisi, İnşaat Mühendisi
3. (Proses 3) (BOÖÇ 3)- Drenaj sistemlerinin kotlarının yol en ve Boykesit kotları ile uyumu incelenmeli ve bu parametrelerde hatalar varsa tekrar hesaplamaları yapılmalıdır. Gerekirse araziden ölçümler tekrar alınarak projeye göre bu parametreler tekrar uyarlanmalıdır. İlgili Referans: Karayolları Kesin ve Ön Projeleri Mühendislik Hizmetleri, Karayolları Genel Müdürlüğü Teknik Şartnamesi, Sorumlu Personel: Ulaştırma Mühendisi, Harita Mühendisi, İnşaat Mühendisi
4. (Proses 4) (BOÖÇ 4)- Yol kaplaması yapılacak yerin zemin özellikleri analiz edilerek uygun malzeme seçilmelidir. Şartnameye uyulmalıdır. Kalite kontrol süreçleri ile

malzemenin standartlar için uygunluğuna bakılmalıdır. İlgili Referans: KGM Teknik şartnamesi, Sorumlu Personel: Ulaştırma Mühendisi, İnşaat Mühendisi

5. (Proses 5) (BOÖÇ 5)- Zemin ve meteorolojik etütler yapılarak gerekirse sanat yapıları yapılmalıdır. İzleme sensörleri, izleme ölçme ağıları, meteorolojik istasyonlar ve deprem algılayıcılar gibi sistemlerle karayolu izlenmelidir. İlgili Referans: Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliği, Karayolu Yol Boyu Mühendislik Yapıları için Afet Yönetmeliği, Sorumlu Personel: Ulaştırma Mühendisi, Harita Mühendisi, İnşaat Mühendisi, Jeoloji Mühendisi, Jeofizik Mühendisi
6. (Proses 6) (BOÖÇ 6)- Düşey ölçümlerde hassas cihazlar kullanılmalı ve kontrol ölçmeleri yapılmalıdır. İlgili Referans: Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliği, Sorumlu Personel: Harita Mühendisi, Ulaştırma Mühendisi
7. (Proses 7) (BOÖÇ 7)- Yatay ekseninde Kontrol ölçümleri yapılarak bu ölçme yöntemlerindeki hatalar tespit edilmeli ve düzeltilmelidir. İlgili Referans: Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliği, Sorumlu Personel: Harita Mühendisi, Ulaştırma Mühendisi
8. (Proses 8) (BOÖÇ 8)- Farklı ölçüm yöntemleri ile ağ kontrol edilmelidir. Ölçme ekipmanları düzenli kalibre edilmeli ve ölçme noktalarının koordinatları tekrar hesaplanmalıdır. İlgili Referans: Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliği, Sorumlu Personel: Harita Mühendisi, Ulaştırma Mühendisi
9. (Proses 9) (BOÖÇ 9)- Bu konuda tecrübeli eleman bulundurulmalıdır. Gerekirse eğitim ve sertifikasyon yapılarak geleceğe yönelik uzman teknik personel yetiştirilmelidir. İlgili Referans: KGM Teknik Şartnamesi, Sorumlu Personel: Proje Yöneticisi, Proje Müdürü, Ulaştırma Mühendisi, Harita Mühendisi, İnşaat Mühendisi
10. (Proses 10) (BOÖÇ 10)- Tasarım ve uygulama projesi karşılaştırılmalıdır. Zemin etütleri yapılarak doğru projelendirme yapılmalıdır. Proje tasarımları, bu parametrelere göre tekrar gözden geçirilmeli ve kontrol işlemleri yapılmalıdır. İlgili Referans: Karayolları Kesin ve Ön Projeleri Mühendislik Hizmetleri, Karayolları Genel Müdürlüğü Teknik Şartnamesi, Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliği, Sorumlu Personel: Harita Mühendisi, Ulaştırma Mühendisi, İnşaat Mühendisi
11. (Proses 11) (BOÖÇ 11)- Cihazlar düzenli olarak kalibre edilmelidir. Arazide kontrol ölçmeleri yapılarak cihazların ölçüm doğruluğu ve hassasiyeti kontrol edilmelidir.

İlgili Referans: Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliği, Sorumlu Personel: Harita Mühendisi, Ulaştırma Mühendisi

12. (Proses 12) (BOÖÇ 12)- Planlama yapılarak iş akışı ve süreci denetlenmelidir. Yönetim ve organizasyon tekrar gözden geçirilmelidir. İlgili Referans: Karayolları Genel Müdürlüğü Görev Yetki ve Sorumluluk Yönetmeliği, Sorumlu Personel: Proje Yöneticisi, Proje Müdürü, Harita Mühendisi, Ulaştırma Mühendisi, İnşaat Mühendisi
13. (Proses 13) (BOÖÇ 13)- Trafik parametreleri için düzenli veri toplayıp izleme yapılmalıdır. Gerekirse proje bu parametrelere göre tekrar gözden geçirilmelidir. İlgili Referans: Karayolu Tasarım El Kitabı, Karayolları Genel Müdürlüğü Teknik Şartnamesi, Sorumlu Personel: Ulaştırma Mühendisi, İnşaat Mühendisi
14. (Proses 14) (BOÖÇ 14)- Yolun kullanım amacına uygun doğru üstyapı kalınlığı belirlenmelidir. Kullanılan malzemeler proje standartlara uygun olmalıdır. İlgili Referans: Karayolu Tasarım El Kitabı, KGM Teknik Şartnamesi, Sorumlu Personel: Ulaştırma Mühendisi, İnşaat Mühendisi
15. (Proses 15) (BOÖÇ 15)- Kalite kontrol ekibi numune olarak belirli periyotlarda kontrol sağlamalıdır. İlgili Referans: KGM Teknik Şartnamesi, Sorumlu Personel: Ulaştırma Mühendisi, İnşaat Mühendisi

Yapılan HTEA çalışmasında gerekli önlemlerin alınmasından sonraki aşamada ankete katılan uzmanlardan tekrar bahsi geçen bu risk ve hataları değerlendirmeleri istenmiştir. Buna göre de bu risk ve hataların önlemlerinin, sorumlu personel ve ilgili yönetmeliklere göre alınmasından sonra ankete katılan uzman personelden, bu riskler için gerçekleşme olasılıklarının, şiddetlerinin ve tespit edilebilirliklerinin 1-10 arasında puanlamalarının yapılması istenmiştir. Yine yapılan bu anketten puanlamalar alınırken her bir katılımcının her bir parametre (Olasılık, Şiddet ve Tespit edilebilirliği) için verdiği puanın aritmetik ortalaması alınmıştır. Bu aşamadan sonra da ilgili risk ve hatalar için yine Bölüm 4'deki 4.1 eşitliğinde belirtilen formüle göre RÖS değerleri hesaplanmış ve bu risklerin bu değerlere göre yine Bölüm 4 de anlatılan sınıflandırma şekillerine göre “hafif risk”, “orta risk” ve “yüksek risk” şeklinde sınıflandırmaları yapılmıştır. Önlemler alındıktan sonra karayolu işletme aşamasındaki bakım, onarım ve ölçme işlerinde olması muhtemel hata ve risklerin hepsinin hafif risk grubunda yer aldığı görülmüştür. Tez kapsamında yapılan HTEA çalışması ile ilgili tablosal bilgiler Tablo 5.1 de verilmektedir.

Tablo 5.1 Karayolu üstyapı işletme aşamasında yapılan bakım onarım ve ölçme çalışmalarındaki (BOÖÇ) karşılaşılabilecek muhtemel hata ve riskler için hazırlanan HTEA tablosu

KARAYOLU ÜSTYAPI İŞLETME AŞAMASINDAKİ BAKIM ONARIM VE ÖLÇME ÇALIŞMALARINDA OLUŞAN HATA VE RİSKLER													HTEA FORMU	
BOÖÇ:Bakım Onarım ve Ölçme Çalışmaları, RÖS:Risk Öncelik Sayısı														
OLASILIK	ŞİDDET	TESPİT EDİLEBİLİRLİK					RÖS DEĞERİ (Risk Öncelik Sayısı)							
		1-2 Çok az	3-4 Hafif	5-6 Orta	7-8 Ciddi	9-10 Çok ciddi	1-2 Çok düşük	3-4 Düşük	5-6 Orta	7-8 Yüksek	9-10 Çok yüksek			
Proses Adımları	HATA													
	Referans													
BOÖÇ-1	Büyük Ölçekli Hata ve Referans													
	Karayollarının bakım onarım ve ölçme işlerinde yeterli dikkat ve özen gösterilmemesi ve işletim sırasında oluşan bozulmaların tam tespit edilmesinden kaynaklı oluşan risk ve hatalar.													
BOÖÇ-2	Karayolu yapımı sırasında yağmur ve kar suyu kaynaklı oluşan su birikintilerini drene edilmesi için yapılan çatı eğimi ölçme ve hesaplamalarının hatalı yapılmasından kaynaklı karayolu işletimindeki bakım ve onarım faaliyetlerini de etkileyen riskler.													
	Uygun yüzey altı (yüzey altı drenajı, stabilizasyon hendekleri, drenaj, yağmur drenajı, drenaj, taşı drenaj, drenaj galerisi vb.) ve yüzey drenaj sistemi (dren hendekleri, manevra, rogar, kolektör, büz, boru sistemleri vb.) uygun drenaj malzemesi, uygun boyutlandırma ve projelendirilmesinin yapılmasından kaynaklı olarak karayolu işletimindeki bakım ve onarım faaliyetleri de etkileyen riskler.													
BOÖÇ-3	Karayollarının Kesin ve Ön Projeleri Mühendislik Hizmetleri Karayolları Genel Müdürlüğü Teknik Şartnamesi													
	Drenaj sistemlerinin kollarının yol en ve boykesit hataları varsa tekrar hesaplamaları yapılmalıdır. Gerekirse araziden ölçümler tekrar alınarak projeye göre bu parametreler tekrar uygulanmalıdır.													
BOÖÇ-4	Yol kaplaması yapılacak yerin zemin özellikleri analiz edilerek uygun malzeme seçilmelidir. Şartnameye uyulmalıdır. Kalite kontrol süreçleri ile malzemenin standartları için uygunluğuna bakılmalıdır.													
	Zemin ve meteorolojik etütler yapılarak gerekirse sanat yapıları yapılmalıdır. İzleme sensörleri, izleme ölçme ağılar, meteorolojik istasyonlar ve deprem algılayıcılar gibi sistemlerle karayolu izlenmelidir.													
BOÖÇ-5	Zemin ve meteorolojik etütler yapılarak gerekirse sanat yapıları yapılmalıdır. İzleme sensörleri, izleme ölçme ağılar, meteorolojik istasyonlar ve deprem algılayıcılar gibi sistemlerle karayolu izlenmelidir.													
	Zemin ve meteorolojik etütler yapılarak gerekirse sanat yapıları yapılmalıdır. İzleme sensörleri, izleme ölçme ağılar, meteorolojik istasyonlar ve deprem algılayıcılar gibi sistemlerle karayolu izlenmelidir.													

Tablo 5.1. Karayolu üstyapı işletme aşamasında yapılan bakım onarım ve ölçme çalışmalarındaki (BOÖÇ) karşılaşılmaması muhtemel hata ve riskler için hazırlanan HTEA tablosu (Devam)

KARAYOLU ÜSTYAPI İŞLETME AŞAMASINDAKİ BAKIM ONARIM VE ÖLÇME ÇALIŞMALARINDA OLUŞAN HATA VE RİSKLER												
BOÖÇ:Bakım Onarım ve Ölçme Çalışmaları, RÖS:Risk Öncelik Sayısı												
OLASILIK	ŞİDDET	TESPİT EDİLEBİLİRLİK	RÖS DEĞERİ (Risk Öncelik Sayısı)	RİSK DEĞERLENDİRMESİ			SORUMLULUK	RİSK DEĞERLENDİRMESİ				
				Olasılık	Şiddet	Edilebilirlik		Olasılık	Şiddet	Edilebilirlik		
1-2 Pek az		1. Kesin	RÖS<40	RÖS<40			RÖS<40					
3-4 Düşük		2.Çok hafif	40< RÖS ≤100	40< RÖS ≤100			40< RÖS ≤100					
5-6 Orta		3.4 Hafif	100< RÖS ≤160	100< RÖS ≤160			100< RÖS ≤160					
7-8 Yüksek		5-6 Orta	160< RÖS ≤240	160< RÖS ≤240			160< RÖS ≤240					
9-10 Çok Yüksek		7-8 Ciddi	240< RÖS ≤320	240< RÖS ≤320			240< RÖS ≤320					
HATANIN POTANSİYEL NEDENLERİ		9-10 Çok ciddi	320< RÖS ≤400	320< RÖS ≤400			320< RÖS ≤400					
Hata		Referans	R.Ö.S	R.Ö.S			R.Ö.S					
İşletim sırasında Karayolu kaplamasında oluşan düşey yönlü bozulmalar için yapılan düşey yöndeği ölçme işlemlerinden (Nivelman, Lidar, Fotogrametrik, Uzaktan Algılama) kaynaklanan hata ve riskler		Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliği,	448	YÜKSEK RİSK			Düşey ölçümlerde hassas cihazlar kullanılması ve kontrol ölçmeleri yapılmalıdır.			Harita Mühendisi, Ulaştırma Mühendisi		
BOÖÇ-6		8	8	7			448			2		
İşletim sırasında Karayolu kaplamasında oluşan yatay yönlü bozulmalar için yapılan yatay yöndeği ölçme işlemlerinden (GNSS, Elektronik Uzaklık Ölçer, lazer ölçme ve tarama sistemleri vb.) kaynaklanan hata ve riskler.		Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliği,	120	YÜKSEK RİSK			Yatay eksende Kontrol ölçümleri yapılarak bu ölçme yöntemlerindeki hatalar tespit edilmesi ve düzeltilmelidir.			Harita Mühendisi, Ulaştırma Mühendisi		
BOÖÇ-7		5	6	4			120			3		
Karayolunun işletilmesi sırasında bakım ve ölçme işlemleri için yapılan ölçmelerde referans olarak alınan jeodezik ölçme ağına oluşan hatalardan dolayı oluşan riskler.		Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliği,	160	YÜKSEK RİSK			Farklı ölçüm yöntemleri ile ağı kontrol edilmelidir. Ölçme ekipmanları düzenli kalibre edilmeli ve ölçme noktalarının koordinatları tekrar hesaplanmalıdır.			Harita Mühendisi, Ulaştırma Mühendisi		
BOÖÇ-8		5	8	4			160			3		
Karayolunun bakım ve onarım çalışmalarının da etkileyen ve karayolunun planlaması yapılırken yatay ve düşey eksenlerde yanlış yapılan geometrik tasarımlar kaynaklı oluşan risk ve hatalar (Düşey ve yatay karpı tasarımıda oluşan tasarım hataları, topografya ve yol geometrisinin uyum sağlamaması vb.)		KGM Teknik şartnamesi	112	YÜKSEK RİSK			Bu konuda tecrübeli eleman bulundurulmalıdır. Gerekirse eğitim ve sertifikasyon yapılarak geleceğe yönelik uzman teknik personel yetiştirilmelidir.			Proje Yöneticisi, Proje Müdürü, Ulaştırma Mühendisi, Harita Mühendisi, İnşaat Mühendisi		
BOÖÇ-9		4	7	4			112			3		
Karayolunun bakım ve onarım çalışmalarının da etkileyen ve karayolunun planlaması yapılırken yatay ve düşey eksenlerde yanlış yapılan geometrik tasarımlar kaynaklı oluşan risk ve hatalar (Düşey ve yatay karpı tasarımıda oluşan tasarım hataları, topografya ve yol geometrisinin uyum sağlamaması vb.)		Karayolları Kesin ve Ön Projeleri Mühendislik Hizmetleri Karayolları Genel Müdürlüğü Teknik Şartnamesi, Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliği,	140	YÜKSEK RİSK			Tasarım ve uygulama projesi karşılaştırılmalıdır. Zemin etütleri yapılarak doğru projelendirme yapılmalıdır. Proje tasarımları, bu parametrelere göre tekrar gözden geçirilmeli ve kontrol işlemleri yapılmalıdır.			Harita Mühendisi, Ulaştırma Mühendisi, İnşaat Mühendisi		
BOÖÇ-10		4	7	5			140			2		

Tablo 5.1. Karayolu üstyapı işletme aşamasında yapılan bakım onarım ve ölçme çalışmalarındaki (BOÖÇ) karşılaşılmaması muhtemel hata ve riskler için hazırlanan HTEA tablosu (Devam)

KARAYOLU ÜSTYAPI İŞLETME AŞAMASINDAKİ BAKIM ONARIM VE ÖLÇME ÇALIŞMALARINDA OLUŞAN HATA VE RİSKLER										HTEA FORMIU				
BOÖÇ:Bakım Onarım ve Ölçme Çalışmaları, RÖS-Risk Öncelik Sayısı														
Proses Adımları	OLASILIK	ŞİDDET	TESPİT EDİLEBİLİRLİK			RÖS DEĞERİ (Risk Öncelik Sayısı)								
	1-2 Pek az	1-2 Çok hafif	1. Kesin 2.Cok yüksek			RÖS<40 Önlem almaya gerek yok. DÜŞÜK RISK								
	3-4 Düşük	3-4 Hafif	3. Yüksek 4.Yüksek Ortalama			405 RÖS ≤100Önlem alınabilir ORTA RISK								
	5-6 Orta	5-6 Orta	5. Orta 6.Düşük seviye			RÖS >100 Önlem alınması gerektirir. YÜKSEK RISK								
	7-8 Yüksek	7-8 Ciddi	7. Çok Düşük 8. Az Seviye											
	9-10 Çok yüksek	9-10 Çok ciddi	9.Çok az seviye 10. Fark edilemez											
HATAYIN POTANSİYEL NEDENLERİ										RISK DEĞERLENDİRMESİ				
Hata	Referans	Olasılık	Şiddet	Fesat Edilebilirlik	R.O.S	Önem	KONTROL ÖNLEMLİ	SORUMLULUK	Olasılık	Şiddet	Fesat Edilebilirlik	R.O.S	Önem	
BOÖÇ-11	Karayolu onarım bakım faaliyetleri için yapılan yatay ve düşey yöndeki ölçme işlerinde kalibrasyonsuz cihazların kullanılması sonucunda oluşan yanlış ölçmelerden kaynaklanan hata ve riskler.	Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliği,	7	9	6	378	YÜKSEK RİSK	Cihazlar düzenli olarak kalibre edilmelidir. Arazide kontrol ölçmeleri yapılarak çizimden ölçüm doğruluğu ve hassasiyeti kontrol edilmelidir.	Harita Mühendisi, Ulaştırma Mühendisi	2	3	2	12	DÜŞÜK RİSK
BOÖÇ-12	Karayolu bakım onarım ve ölçme işlerinin yapılabilmesi için onaylı iş emirlerinin geçilmesi ve organizasyon eksiklerinden kaynaklı oluşan hata ve riskler.	Karayolları Genel Müdürlüğü Görev, Yetki ve Sorumluluk Yönetmeliği	5	6	4	120	YÜKSEK RİSK	Planlama yapılarak iş akışı ve süreci denetlenmelidir. Yönetim ve organizasyon tekrar gözden geçirilmelidir.	Proje Yöneticisi, Proje Müdürü, Harita Mühendisi, Ulaştırma Mühendisi, İnşaat Mühendisi	3	4	3	36	DÜŞÜK RİSK
BOÖÇ-13	Karayolu işletiminde yol bakımını da etkileyen ve tasarım sırasında yapılan ortalamalı trafik yoğunluğu, araç türü ve özellikleri, proje veya işletme hızı, kapasite vb. parametrelerin hesaplamalarında yapılan hatalardan kaynaklanan riskler.	Karayolu Tasarım El Kitabı, KGM Teknik şartnamesi	5	8	3	120	YÜKSEK RİSK	Trafik parametreleri için düzenli veri toplayıp izleme yapılmalıdır. Gerekirse proje bu parametrelere göre tekrar gözden geçirilmelidir.	Ulaştırma Mühendisi, İnşaat Mühendisi	3	4	2	24	DÜŞÜK RİSK
BOÖÇ-14	Yapım ve onarım faaliyetlerini etkileyen karayolu üst yapı kalınlığının ve tipinin yanlış belirlenmesi kaynaklı riskler.	Karayolu Tasarım El Kitabı, KGM Teknik şartnamesi	6	8	4	192	YÜKSEK RİSK	Yolun kullanım amacına uygun doğru üstyapı kalınlığı belirlenmelidir. Kullanılan malzemeler proje standartlara uygun olmalıdır.	Ulaştırma Mühendisi, İnşaat Mühendisi	3	4	3	36	DÜŞÜK RİSK
BOÖÇ-15	Yol yapımında kullanılan malzeme içine yabancı malzeme karışması veya girmesi sonucunda olabilecek kimyasal reaksiyon sebebiyle yol dayanıklılığının düşmesi	KGM Teknik şartnamesi	3	5	6	90	ORTA RİSK	Kalite kontrol ekibi numune alarak belirli periyotlarda kontrol sağlanmalıdır.	Ulaştırma Mühendisi, İnşaat Mühendisi	2	3	3	18	DÜŞÜK RİSK

5.3. Karayolu Üstyapı İşletme Aşamasında Yapılan Bakım Onarım ve Ölçme Çalışmalarındaki (BOÖÇ) Muhtemel Hata ve Risk Faktörleri için Pareto Analizi Uygulaması

Pareto analizinde temel amaç bir projedeki az sayıda kritik faktör üzerinde odaklanarak, genel performansın iyileştirilmesi hedeflenmektedir. Yapılan çalışma kapsamında ikinci aşamada Karayolu işletmelerinde kullanım ve çevresel etkilere göre bozulma, deformasyon ve yıpranmalara karşı yapılabilecek bakım onarım ve ölçme çalışmalarında meydana gelmesi olası riskler Pareto Analizi ile değerlendirilmiştir. Değerlendirme yapılırken bir önceki Bölüm 5.2’de elde edilen Risk Öncelik Sayıları (RÖS) dikkate alınmıştır. Pareto Analizinde değerlendirme yapılırken genel ilke 80/20 oranı olmaktadır. Bu oranın anlamı için bir problemi oluşturan risk ve hataların %20’lik kısmının o problemin tamamının çözülmesinde %80 oranında etki ettiği düşünülmektedir. Bu oran 80/20 olabileceği gibi 70/30, 60/40 şeklinde de olabilmektedir. Bu çalışmada HTEA tablosundaki anketler sonucu elde edilen RÖS sayılarına göre 60/40 oranı seçilmiştir. Bu oranın anlamı ise yine yukarıda bahsedildiği üzere bir problemi oluşturan hata ve risklerin %40’ının o problemin tamamının çözümü için %60 oranında etkili olmaktadır şeklinde düşünülebilmektedir. Bu oran çalışmada birinci alternatif olarak incelenmiş olup, ikinci alternatif incelemede ise 80/20 olarak genel kabul görmüş orana göre, büyük RÖS değerinden küçük RÖS değerlerine göre sıralanan, hata ve risk faktörlerinin, kümülatif olarak RÖS değerlerine göre toplamaları hesaplandığında problemin %80 oranında çözümünde etki eden risk sayısının yüzdesi de araştırılmıştır.

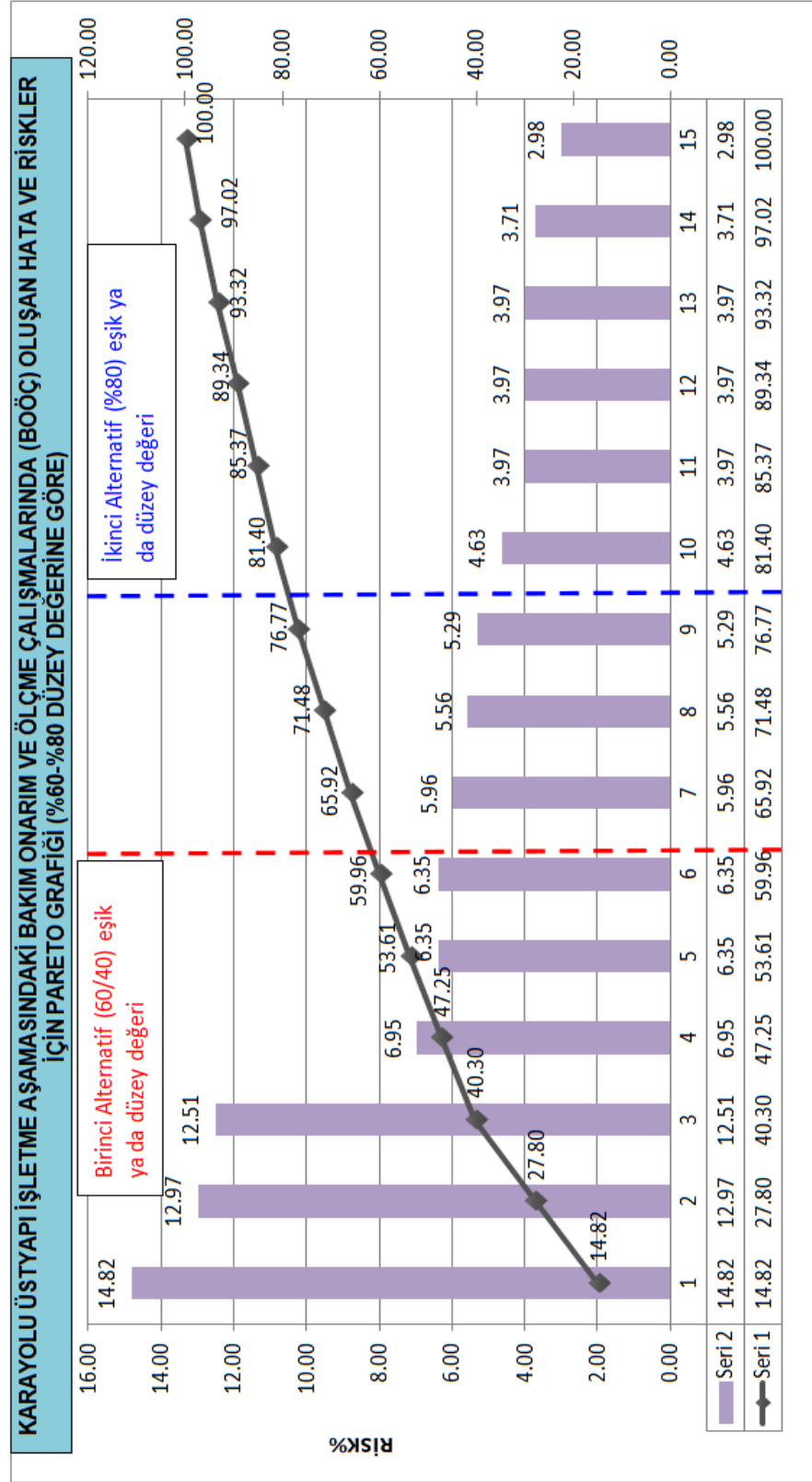
Buna göre birinci alternatifte 60/40 oranı için Pareto araştırmasına göre oluşturulan hata ve riskler Tablo 5.2 de verilmekte olup, ilk olarak bu tablodaki karayolu işletme aşamasındaki üst yapı için bakım onarım ve ölçme çalışmalarını (BOÖÇ) etkileyen hata ve riskler HTEA tablosundan alınmıştır. Daha sonraki adımda tespit edilen bu risk ve hatalar anket sonuçlarına göre belirlenen RÖS sayılarına göre en büyük değerden başlayarak en küçük değere doğru sınıflandırılması yapılmıştır. Diğer aşamada, her bir hata ya da riskin genel toplam içindeki yüzde değerleri bir sütunda hesaplanmış ve tablodaki ayrı bir sütunda ise bu yüzdelerin de kümülatif olarak değerleri bulunmuştur. Pareto analizinde en son aşama olarak bu analizin grafiği çizilmiştir. Çizilen ve Şekil 5.2’de verilen bu grafik ile ilgili olarak tespit edilen hata ya da riskler yatay ekseninde bulunmakta ve önem derecelerine göre yerleştirilerek en önde bulunan risk grafiğin en başında, en son gelen risk ise grafiğin yatay ekseninin en arkasında verilmiştir.

Tablo 5.2. Karayolu işletme aşamasındaki bakım onarım ve ölçme çalışmalarında oluşan hata ve riskler için uygulanan pareto analizi

KARAYOLU ÜSTYAPI İŞLETME AŞAMASINDAKİ BAKIM ONARIM VE ÖLÇME ÇALIŞMALARINDA (BOÖÇ) OLUŞAN HATA VE RİSKLER İÇİN PARETO TABLOSU (%60-%80 DÜZEY DEĞERİNE GÖRE)						
SIRA NO	HATA ŞEKLİ	PROSES NO	RÖS DEĞERİ	RİSK(%)	KÜMÜLATİF RİSK %	RİSK
1	İşletim sırasında Karayolu kaplamasında oluşan düşey yönlü bozulmalar için yapılan düşey yöndeki ölçme işlerinden (Nivelman, Lidar, Fotogrametrik, Uzaktan Algılama) kaynaklanan hata ve riskler	BOÖÇ-6	448	14.82	14.82	YÜKSEK RİSK
2	Karayolu altyapısı ile ilgili işlerde özellikle kaplama türü için yeterli ve kaliteli malzeme kullanılmaması kaynaklı oluşan hata ve riskler.	BOÖÇ-4	392	12.97	27.80	YÜKSEK RİSK
3	Karayolu onarım bakım faaliyetleri için yapılan yatay ve düşey yöndeki ölçme işlerinde kalibrasyonsuz cihazların kullanılması sonucunda oluşan yanlış ölçmelerden kaynaklanan hata ve riskler.	BOÖÇ-11	378	12.51	40.30	YÜKSEK RİSK
4	Uygun yüzey altı (yüzey altı drenajı stabilizasyon hendekleri, yatay drenler, düşey kum drenler, taş drenler, drenaj galerisi vb.) ve yüzeysel drenaj sistemi (dren hendekleri, menfez, rögar, kolektör, büz, boru sistemleri vb.) uygun dren malzemesi, uygun boyutlandırma ve projelendirmelerinin yapılmamasından kaynaklı olarak karayolu işletimindeki bakım ve onarım faaliyetleri de etkileyen riskler.	BOÖÇ-3	210	6.95	47.25	YÜKSEK RİSK
5	Karayolunun işletilmesi sırasında oluşan heyelan, deprem, sel, iklim değişikliği vb. doğal afetlerin meydana gelmesi ve jeolojik, jeofiziksel, topografik ve hidrolojik olarak öngörülemeyen sebeplerden oluşan risk ve hatalar.	BOÖÇ-5	192	6.35	53.61	YÜKSEK RİSK
6	Yapım ve onarım faaliyetlerini etkileyen karayolu üst yapı kalınlığının ve tipinin yanlış belirlenmesi kaynaklı riskler.	BOÖÇ-14	192	6.35	59.96	YÜKSEK RİSK
----- Birinci Alternatif (60/40) eşik ya da düzey değeri -----						
7	Karayolu yapımı sırasında yağmur ve kar suyu kaynaklı oluşan su birikintilerini drene edilmesi için yapılan çatı eğimi ölçme ve hesaplamalarının hatalı yapılmasından kaynaklı karayolu işletimindeki bakım ve onarım faaliyetlerini de etkileyen riskler.	BOÖÇ-2	180	5.96	65.92	YÜKSEK RİSK
8	Karayollarının bakım onarım ve ölçme işlerinde yeterli dikkat ve özen gösterilmemesi ve işletim sırasında oluşan bozuklukların tam tespit edilememesinden kaynaklı oluşan risk ve hatalar.	BOÖÇ-1	168	5.56	71.48	YÜKSEK RİSK

Tablo 5.2. Karayolu işletme aşamasındaki bakım onarım ve ölçme çalışmalarında oluşan hata ve riskler için uygulanan pareto analizi (Devam)

KARAYOLU ÜSTYAPI İŞLETME AŞAMASINDAKİ BAKIM ONARIM VE ÖLÇME ÇALIŞMALARINDA (BOÖÇ) OLUŞAN HATA VE RİSKLER İÇİN PARETO TABLOSU (%60-%80 DÜZEY DEĞERİNE GÖRE)						
SIRA NO	HATA ŞEKLİ	PROSES NO	RÖS DEĞERİ	RİSK(%)	KÜMÜLATİF RİSK %	RİSK
9	Karayolunun işletilmesi sırasında yapım bakım onarım işleri için yapılan ölçmelerde referans olarak alınan jeodezik ölçme ağında oluşan hatalardan dolayı oluşan riskler.	BOÖÇ-8	160	5.29	76.77	YÜKSEK RİSK
İkinci Alternatif (%80) eşik ya da düzey değeri						
10	Karayolunun bakım ve onarım çalışmalarının da etkileyen ve karayolunun planlaması yapılırken yatay ve düşey eksenlerde yanlış yapılan geometrik tasarımlar kaynaklı oluşan risk ve hatalar (Düşey ve yatay kurp tasarımında oluşan tasarım hataları, topografya ve yol geometrisinin uyum sağlamaması vb.)	BOÖÇ-10	140	4.63	81.40	YÜKSEK RİSK
11	Karayolu işletiminde yol bakımını da etkileyen ve tasarım sırasında yapılan ortalama trafik yoğunluğu, araç türü ve özellikleri, proje veya işletme hızı, kapasite vb. parametrelerin hesaplamalarında yapılan hatalardan kaynaklanan riskler.	BOÖÇ-13	120	3.97	85.37	YÜKSEK RİSK
12	Karayolu bakım onarım ve ölçme işlerinin yapılabilmesi için onaylı iş emirlerinin gecikmesi ve organizasyon eksiklerinden kaynaklı oluşan hata ve riskler.	BOÖÇ-12	120	3.97	89.34	YÜKSEK RİSK
13	İşletim sırasında Karayolu kaplamasında oluşan yatay yönlü bozulmalar için yapılan yatay yöndeki ölçme işlerinden (GNNS, Elektronik Uzaklık Ölçer, lazer ölçme ve tarama sistemleri vb.) kaynaklanan hata ve riskler.	BOÖÇ-7	120	3.97	93.32	YÜKSEK RİSK
14	Karayolu işletimi için yapım bakım ve ölçme işlerinde çalışan personelin eğitim ve tecrübe eksikliği nedeniyle oluşan hata ve riskler.	BOÖÇ-9	112	3.71	97.02	YÜKSEK RİSK
15	Yol yapımında kullanılan malzeme içine yabancı malzeme karışması veya girmesi sonucunda olabilecek kimyasal reaksiyon sebebiyle yol dayanıklılığının düşmesi	BOÖÇ-15	90	2.98	100.00	ORTA RİSK



Şekil 5.1. Karayolu üstyapı işletme aşamasındaki bakım onarım ve ölçme çalışmalarında oluşan hata ve riskler için uygulanan pareto grafiği

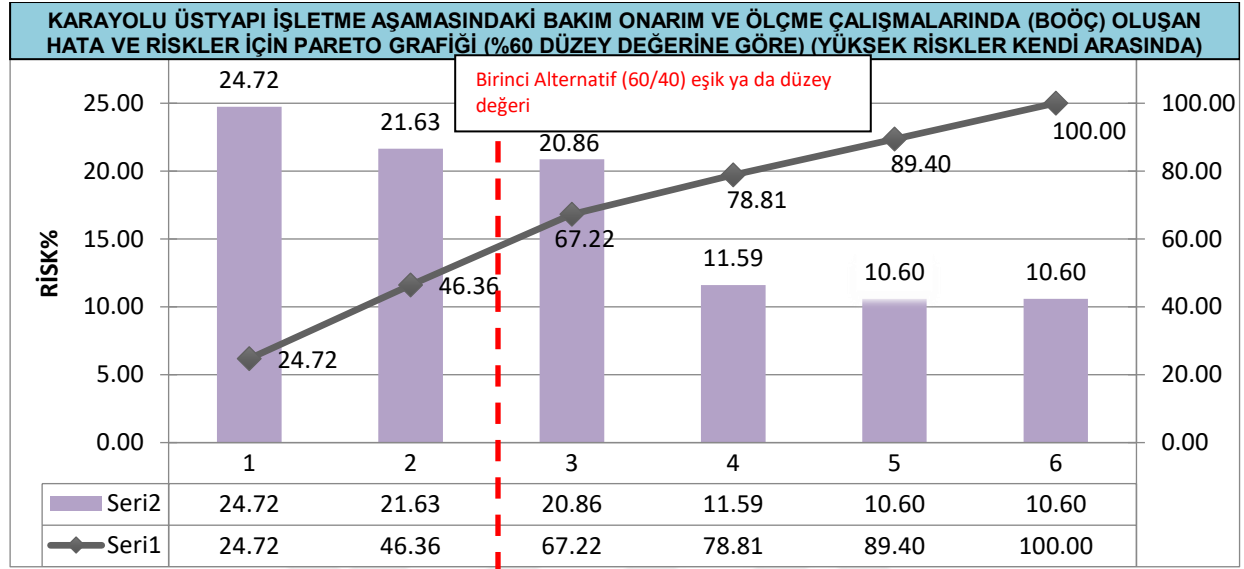
Tablo 5.2’de 60/40 ilk alternatif oranı ile ilgili olarak kırmızı ile belirtilen %60 eşik ya da düzey değeri için karayolu bakım onarım ve ölçme faaliyetlerinde ilk 6 risk ve hatanın çok önemli olduğu görülmektedir. Yine aynı tablodan bu 6 riskin toplam risk sayısının %40’ını oluşturduğu ve bu risk ya da hatalara önlem alındığı taktirde, karayolu bakım onarım ve ölçme işlerinde karşılaşılabilecek muhtemel hatalara karşı toplamda %60 düzeyinde problemin çözüleceği anlamı oluşmaktadır. Bu ilk yüksek seviyedeki 6 risk için yine kendi içinde 60/40 oranında pareto analizi uygulandığında ise elde edilen sonuçlar Tablo 5.3’de gösterilmiştir.

Tablo 5.3 Karayolu işletme aşamasındaki bakım onarım ve ölçme çalışmalarında (BOÖÇ) oluşan hata ve riskler için uygulanan pareto analizi (%60 eşik değerine göre) (yüksek Riskler kendi arasında)

KARAYOLU ÜSTYAPI İŞLETME AŞAMASINDAKİ BAKIM ONARIM VE ÖLÇME ÇALIŞMALARINDA (BOÖÇ) OLUŞAN HATA VE RİSKLER İÇİN PARETO ANALİZİNDE İNCELENMESİ (%60 EŞİK DEĞERİNE GÖRE) (YÜKSEK RİSKLER KENDİ ARASINDA)						
SIRA NO	HATA ŞEKLİ	PROSES NO	RÖS DEĞERİ	RİSK(%)	KÜMÜLATİF RİSK %	RİSK
1	İşletim sırasında Karayolu kaplamasında oluşan düşey yönlü bozulmalar için yapılan düşey yöndeki ölçme işlerinden (nívelman, lidar, fotogrametrik, uzaktan algılama) kaynaklanan hata ve riskler .	BOÖÇ-6	448	24.72	24.72	YÜKSEK RİSK
2	Karayolu altyapısı ile ilgili işlerde özellikle kaplama türü için yeterli ve kaliteli malzeme kullanılmaması kaynaklı oluşan hata ve riskler.	BOÖÇ-4	392	21.63	46.36	YÜKSEK RİSK
3	Karayolu onarım bakım faaliyetleri için yapılan yatay ve düşey yöndeki ölçme işlerinde kalibrasyonsuz cihazların kullanılması sonucunda oluşan yanlış ölçmelerden kaynaklanan hata ve riskler.	BOÖÇ-11	378	20.86	67.22	YÜKSEK RİSK
4	Uygun yüzey altı (yüzey altı drenajı stabilizasyon hendekleri, yatay drenler, düşey kum drenler, taş drenler, drenaj galerisi vb.) ve yüzey drenaj sistemi (dren hendekleri, menfez, rögar, kolektör, büz, boru sistemleri vb.) uygun dren malzemesi, uygun boyutlandırma ve projelendirmelerinin yapılmamasından kaynaklı olarak karayolu işletimindeki bakım ve onarım faaliyetleri de etkileyen riskler.	BOÖÇ-3	210	11.59	78.81	YÜKSEK RİSK
5	Karayolunun işletilmesi sırasında oluşan heyelan, deprem, sel, iklim değişikliği vb. doğal afetlerin meydana gelmesi ve jeolojik, jeofiziksel, topografik ve hidrolojik olarak öngörülemeyen sebeplerden oluşan risk ve hatalar.	BOÖÇ-5	192	10.60	89.40	YÜKSEK RİSK
6	Yapım ve onarım faaliyetlerini etkileyen karayolu üst yapı kalınlığının ve tipinin yanlış belirlenmesi kaynaklı riskler.	BOÖÇ-14	192	10.60	100.00	YÜKSEK RİSK

Birinci Alternatif (60/40) eşik ya da düzey değeri (Yüksek Riskler Kendi Arasında)

Tablo 5.3'deki ilk yüksek seviyedeki 6 risk için yine bu yüksek risklerin kendi arasında 60/40 oranına göre pareto analizi bir kez daha uygulandığında, karayolu bakım onarım ve ölçme çalışmalarında ilk 2 risk ve hatanın daha da ön plana çıktığı görülmektedir. Şekil 5.2 ise bu yapılan analizin grafiği gösterilmektedir.

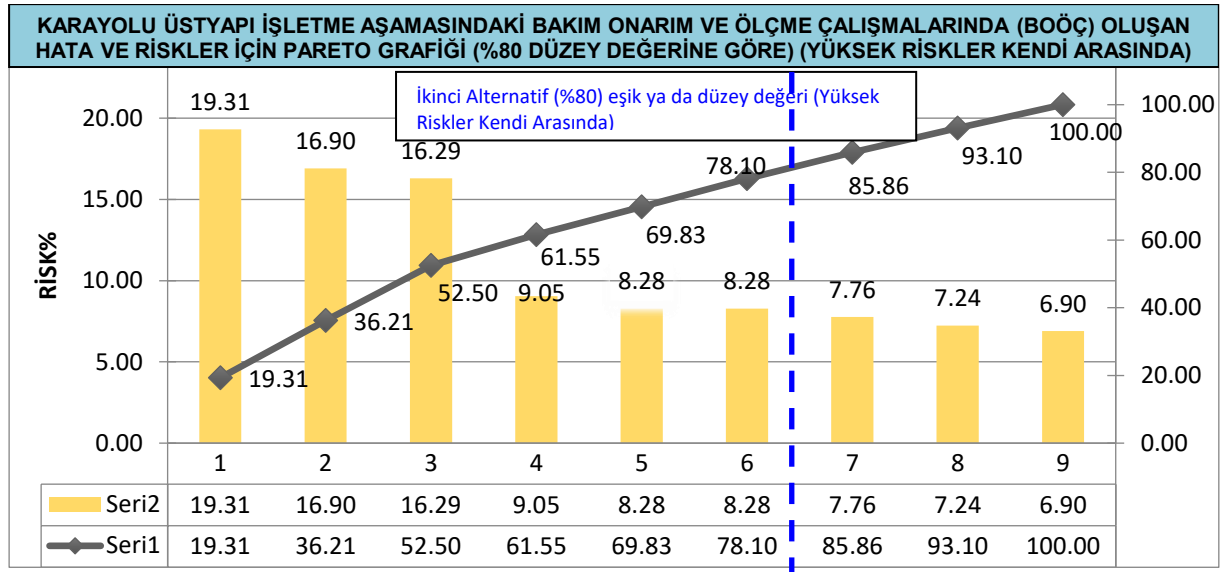


Şekil.5.2 Karayolu üstyapı işletme aşamasındaki bakım onarım ve ölçme çalışmalarında oluşan hata ve riskler için uygulanan pareto grafiği (%60 düzey değerine göre) (yüksek riskler kendi arasında)

Çalışma kapsamında yapılan Pareto analizinde, ikinci alternatif olarak 80/20 olarak genel kabul görmüş orana göre, büyük RÖS değerinden küçük RÖS değerlerine göre sıralanan, hata ve risk faktörlerinin, kümülatif olarak RÖS değerlerine göre toplamaları hesaplandığında problemin %80 oranında çözümünde etki eden risk sayısının tabloda yukarıdan aşağıya doğru bakıldığında kaçınıcı riske denk geldiği de araştırılmıştır. Bu hususa göre Tablo 5.2 incelendiğinde, ilk 9 risk ve hatanın, ön plana alınması gerektiği anlaşılmaktadır. Tablodaki mavi renk ile işaretlenmiş ilk 9 hata ve risk ise toplam risk sayısının yaklaşık % 60'ına denk gelmektedir. Bu ikinci alternatif pareto araştırma analizi ile ilgili olarak ilk yüksek seviyedeki 9 risk için yine kendi arasında tekrar bir analiz gerçekleştirilmiş ve burada %80 oranında çözüme etki eden risk sayısının tabloda yukarıdan aşağıya doğru bakıldığında kaçınıcı riske denk geldiğine bakılmıştır. Buna göre Tablo 5.4.incelendiğinde ilk 6 risk ve hatanın yüksek riskler arasında ön plana çıktığı görülmektedir. Şekil 5.2 ise bu yapılan analizin grafiği gösterilmektedir.

Tablo 5.4. Karayolu işletme aşamasındaki bakım onarım ve ölçme çalışmalarında (BOÖÇ) oluşan hata ve riskler için uygulanan pareto analizi (%80 eşik değerine göre)(yüksek riskler kendi arasında)

KARAYOLU ÜSTYAPI İŞLETME AŞAMASINDAKİ BAKIM ONARIM VE ÖLÇME ÇALIŞMALARINDA (BOÖÇ) OLUŞAN HATA VE RİSKLER İÇİN PARETO ANALİZİNDE İNCELENMESİ (%80 EŞİK DEĞERİNE GÖRE) (YÜKSEK RİSKLER KENDİ ARASINDA)						
SIRA NO	HATA ŞEKLİ	PROSES NO	RÖS DEĞERİ	RİSK(%)	KÜMÜLATİF RİSK %	RİSK
1	İşletim sırasında Karayolu kaplamasında oluşan düşey yönlü bozulmalar için yapılan düşey yöndeki ölçme işlerinden (niveleman, lidar, fotogrametrik, uzaktan algılama) kaynaklanan hata ve riskler .	R6	448	19.31	19.31	YÜKSEK RİSK
2	Karayolu altyapısı ile ilgili işlerde özellikle kaplama türü için yeterli ve kaliteli malzeme kullanılmaması kaynaklı oluşan hata ve riskler.	R4	392	16.90	36.21	YÜKSEK RİSK
3	Karayolu onarım bakım faaliyetleri için yapılan yatay ve düşey yöndeki ölçme işlerinde kalibrasyonsuz cihazların kullanılması sonucunda oluşan yanlış ölçmelerden kaynaklanan hata ve riskler.	R11	378	16.29	52.50	YÜKSEK RİSK
4	Uygun yüzey altı (yüzey altı drenajı stabilizasyon hendekleri, yatay drenler, düşey kum drenler, taş drenler, drenaj galerisi vb.) ve yüzeysel drenaj sistemi (dren hendekleri, menfez, rögar, kolektör, büz, boru sistemleri vb.) uygun dren malzemesi, uygun boyutlandırma ve projelendirmelerinin yapılmamasından kaynaklı olarak karayolu işletimindeki bakım ve onarım faaliyetleri de etkileyen riskler.	R3	210	9.05	61.55	YÜKSEK RİSK
5	Karayolunun işletilmesi sırasında oluşan heyelan, deprem, sel, iklim değişikliği vb. doğal afetlerin meydana gelmesi ve jeolojik, jeofiziksel, topografik ve hidrolojik olarak öngörülemeyen sebeplerden oluşan risk ve hatalar.	R5	192	8.28	69.83	YÜKSEK RİSK
6	Yapım ve onarım faaliyetlerini etkileyen karayolu üst yapı kalınlığının ve tipinin yanlış belirlenmesi kaynaklı riskler.	R14	192	8.28	78.10	YÜKSEK RİSK
7	Karayolu yapımı sırasında yağmur ve kar suyu kaynaklı oluşan su birikintilerini drene edilmesi için yapılan çatı eğimi ölçme ve hesaplamalarının hatalı yapılmasından kaynaklı karayolu işletimindeki bakım ve onarım faaliyetlerini de etkileyen riskler.	R2	180	7.76	85.86	YÜKSEK RİSK
8	Karayollarının bakım onarım ve ölçme işlerinde yeterli dikkat ve özen gösterilmemesi ve işletim sırasında oluşan bozuklukların tam tespit edilememesinden kaynaklı oluşan risk ve hatalar.	R1	168	7.24	93.10	YÜKSEK RİSK
9	Karayolunun işletilmesi sırasında yapım bakım onarım işleri için yapılan ölçmelerde referans olarak alınan jeodezik ölçme ağında oluşan hatalardan dolayı oluşan riskler.	R8	160	6.90	100.00	YÜKSEK RİSK



Şekil.5.3. Karayolu üstyapı işletme aşamasındaki bakım onarım ve ölçme çalışmalarında oluşan hata ve riskler için uygulanan pareto grafiği (%80 düzey değerine göre) (yüksek riskler kendi arasında)

5.4. Karayolu Üstyapı İşletme Aşamasında Yapılan Bakım Onarım ve Ölçme Çalışmalarındaki (BOÖÇ) Muhtemel Hata ve Risk Faktörleri için Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) Analizi Uygulaması

Yapılan çalışma kapsamında üçüncü aşamada ise Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) Yöntemi uygulanmış olup bu yöntemle göre de Karayolu onarım bakım ve ölçme çalışmalarında oluşması muhtemel hata ve risklerin önem sıralaması bu risklerin ağırlıklarının bulunması suretiyle yapılmıştır. AHP yöntemi ile hata ve risklerin önem sıralarının ya da ağırlık derecelerini hesaplayabilmek için bu risk ve hatalar ikili karşılaştırmalar yapılarak A matrisi oluşturulmuştur. Bu yöntemde ikili karşılaştırmalarının yapılmasında ise Bölüm 5.2 de anlatılan HTEA tablosunda yer alan RÖS değerlerinden faydalanılmıştır. Ayrıca bu yöntemde yapılan işlemlerde bu tez çalışmasının Bölüm 4.3’de anlatılan matematiksel model ve eşitliklerden yararlanılmıştır. Buna göre oluşturulan A matrisi Tablo 5.5’de verilmiştir. Elde edilen A matrisinde her bir kriterin birbirine göre üstünlükleri belirlenmiştir. Kriterlerin kendileri ile yapılan karşılaştırma değerleri ise 1 olarak tanımlanmıştır. Bir sonraki adımda ise A matrisinin normalize matrisi olan C matrisi hesaplanmış olup Tablo 5.6 da verilmiştir.

Tablo 5.5. Karayolu işletme aşamasındaki bakım onarım ve ölçme çalışmalarında (BOÖÇ) oluşan hata ve riskler için uygulanan AHP yöntemi ile ilgili oluşturulan ikili karşılaştırma matrisi (A)

Karşılaştırılabilirlik Üstünlük Matrisi (A)															
Risk No	BOÖÇ 1	BOÖÇ 2	BOÖÇ 3	BOÖÇ 4	BOÖÇ 5	BOÖÇ 6	BOÖÇ 7	BOÖÇ 8	BOÖÇ 9	BOÖÇ 10	BOÖÇ 11	BOÖÇ 12	BOÖÇ 13	BOÖÇ 14	BOÖÇ 15
BOÖÇ1	1	1/2	1/3	1/6	1/3	1/7	2	2	3	3	1/7	4	2	2	6
BOÖÇ2	2	1	1/2	1/6	1/3	1/7	3	2	4	3	1/7	3	3	1/2	6
BOÖÇ3	3	2	1	1/4	2	1/7	3	3	5	3	1/6	3	3	3	7
BOÖÇ4	6	6	4	1	7	1/3	9	8	7	7	2	5	5	5	9
BOÖÇ5	3	3	1/2	1/7	1	1/6	4	3	4	3	1/7	5	5	1	6
BOÖÇ6	7	7	7	3	6	1	9	4	8	6	3	9	9	5	9
BOÖÇ7	1/2	1/3	1/3	1/9	1/4	1/9	1	1/2	3	1/2	1/7	1	1	1/5	3
BOÖÇ8	1/2	1/2	1/3	1/8	1/3	1/4	2	1	3	3	1/5	3	3	1/2	5
BOÖÇ9	1/3	1/4	1/5	1/7	1/4	1/8	1/3	1/3	1	1/2	1/6	1/2	1/4	1/3	5
BOÖÇ10	1/3	1/3	1/3	1/7	1/3	1/6	2	1/3	2	1	1/7	3	3	1/3	4
BOÖÇ11	7	7	6	1/2	7	1/3	7	5	6	7	1	9	9	5	7
BOÖÇ12	1/4	1/3	1/3	1/5	1/5	1/9	1	1/3	2	1/3	1/9	1	1	1/3	6
BOÖÇ13	1/2	1/3	1/3	1/5	1/5	1/9	1	1/3	4	1/3	1/9	1	1	1/3	2
BOÖÇ14	1/2	2	1/3	1/5	1	1/5	5	2	3	3	1/5	3	3	1	5
BOÖÇ15	1/6	1/6	1/7	1/9	1/6	1/9	1/3	1/5	1/5	1/4	1/6	1/6	1/2	1/5	1
Toplam	32.08	30.75	21.68	6.46	26.40	3.45	49.67	32.03	55.20	40.92	7.84	50.67	48.75	24.73	81.00

Tablo 5.6. Karayolu işletme aşamasındaki bakım onarım ve ölçme çalışmalarında (BOÖÇ) oluşan hata ve riskler için uygulanan AHP yöntemi ile ilgili oluşturulan normalize matris (C)

<i>Normalize Matris (C)</i>															
Risk No	BOÖÇ 1	BOÖÇ 2	BOÖÇ 3	BOÖÇ 4	BOÖÇ 5	BOÖÇ 6	BOÖÇ 7	BOÖÇ 8	BOÖÇ 9	BOÖÇ 10	BOÖÇ 11	BOÖÇ 12	BOÖÇ 13	BOÖÇ 14	BOÖÇ 15
BOÖÇ1	0.031	0.016	0.015	0.026	0.013	0.041	0.040	0.062	0.054	0.073	0.018	0.079	0.041	0.081	0.074
BOÖÇ2	0.062	0.033	0.023	0.026	0.013	0.041	0.060	0.062	0.072	0.073	0.018	0.059	0.062	0.020	0.074
BOÖÇ3	0.094	0.065	0.046	0.039	0.076	0.041	0.060	0.094	0.091	0.073	0.021	0.059	0.062	0.121	0.086
BOÖÇ4	0.187	0.195	0.185	0.155	0.265	0.097	0.181	0.250	0.127	0.171	0.255	0.099	0.103	0.202	0.111
BOÖÇ5	0.094	0.098	0.023	0.022	0.038	0.048	0.081	0.094	0.072	0.073	0.018	0.099	0.103	0.040	0.074
BOÖÇ6	0.218	0.228	0.323	0.464	0.227	0.290	0.181	0.125	0.145	0.147	0.383	0.178	0.185	0.202	0.111
BOÖÇ7	0.016	0.011	0.015	0.017	0.009	0.032	0.020	0.016	0.054	0.012	0.018	0.020	0.021	0.008	0.037
BOÖÇ8	0.016	0.016	0.015	0.019	0.013	0.073	0.040	0.031	0.054	0.073	0.026	0.059	0.062	0.020	0.062
BOÖÇ9	0.010	0.008	0.009	0.022	0.009	0.036	0.007	0.010	0.018	0.012	0.021	0.010	0.005	0.013	0.062
BOÖÇ10	0.010	0.011	0.015	0.022	0.013	0.048	0.040	0.010	0.036	0.024	0.018	0.059	0.062	0.013	0.049
BOÖÇ11	0.218	0.228	0.277	0.077	0.265	0.097	0.141	0.156	0.109	0.171	0.128	0.178	0.185	0.202	0.086
BOÖÇ12	0.008	0.011	0.015	0.031	0.008	0.032	0.020	0.010	0.036	0.008	0.014	0.020	0.021	0.013	0.074
BOÖÇ13	0.016	0.011	0.015	0.031	0.008	0.032	0.020	0.010	0.072	0.008	0.014	0.020	0.021	0.013	0.025
BOÖÇ14	0.016	0.065	0.015	0.031	0.038	0.058	0.101	0.062	0.054	0.073	0.026	0.059	0.062	0.040	0.062
BOÖÇ15	0.005	0.005	0.007	0.017	0.006	0.032	0.007	0.006	0.004	0.006	0.021	0.003	0.010	0.008	0.012
Toplam	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Yapılan çalışmada Tablo 5.6'da verilen C normalize matrisinde her bir sütundaki değerlerin toplamı, hata ve risk sayısına bölünmüş ve ağırlık (W) sütun matrisi elde edilmiştir. Tablo 5.7'de karayolu bakım, onarım ve ölçme çalışmalarına (BOÖÇ) yönelik ve HTEA tablosunda verilen risk ve hataların ağırlık ya da önem değerlerine yer verilmiştir.

Tablo 5.7. Karayolu işletme aşamasındaki bakım onarım ve ölçme çalışmalarında (BOÖÇ) oluşan hata ve riskler için önem dereceleri

Risk ya da Hata No	Ağırlık (W)
BOÖÇ1	0.044
BOÖÇ2	0.047
BOÖÇ3	0.069
BOÖÇ4	0.172
BOÖÇ5	0.065
BOÖÇ6	0.227
BOÖÇ7	0.020
BOÖÇ8	0.039
BOÖÇ9	0.017
BOÖÇ10	0.029
BOÖÇ11	0.168
BOÖÇ12	0.021
BOÖÇ13	0.021
BOÖÇ14	0.051
BOÖÇ15	0.010

Yukarıda belirtilen bu işlem adımlarının ardından, 'Tutarlılık Oranı olan (CR) değerinin hesaplanması yapılmıştır. Bu hesap için, faktör sayısı (n) kullanılarak Temel Değer ($\lambda_{\max}$) adı verilen bir katsayı hesaplanmıştır. $\lambda_{\max}$ 'nın hesaplanması için, karşılaştırma matrisi (A) ile öncelik ya da ağırlık vektörünün (W) matris çarpımı yapılmış ve sonuç olarak D sütun matrisi bulunmuştur.

Bulunan D sütun vektörü ile W sütun vektörünün karşılıklı elemanlarının bölümünden elde edilen sonuçların aritmetik ortalaması ise Bölüm 4’de ve eşitlik 4.10’da verilen karşılaştırmaya ilişkin temel değer olan ($\lambda_{\max}$)’ı vermiş olup ilgili hesaplamalar Tablo 5.8’de verilmektedir.

Tablo 5.8. $\lambda_{\max}$ değeri için yapılan hesaplamalar tablosu

<u>D matrisi</u>	<u>Ağırlık ya da Öncelik Matrisi (W)</u>	<u>D/W</u>	<u>$\lambda_{\max}$</u>
0.743	0.044	16.727	16.9887
0.783	0.047	16.784	
1.228	0.069	17.909	
3.230	0.172	18.768	
1.135	0.065	17.433	
4.129	0.227	18.183	
0.333	0.020	16.298	
0.622	0.039	16.117	
0.272	0.017	16.013	
0.463	0.029	16.031	
3.181	0.168	18.957	
0.338	0.021	15.738	
0.342	0.021	16.233	
0.862	0.051	16.976	
0.168	0.010	16.665	

Yapılan çalışmada bir sonraki adımda ise bulunan $\lambda_{\max}$ değeri ile tutarlılık indeksi (CI) hesaplanmıştır. Bunun için $\lambda_{\max}$ değerinden, hata ve risk sayısı çıkartılarak bulunan sayı, yine hata ve risk sayısının bir eksiğine bölünmüştür. Buna göre yapılan hesaplamalarda CI değeri 0.142 olarak bulunmuştur. Yapılan çalışmada değerlendirmeye katılan hata ve risk sayısı 15 olduğundan dolayı Bölüm 4 ve Tablo 4.6 da belirtilen RI değeri 15 sayına karşılık gelen 1.59 sayısına bölünerek CR tutarlılık oranı 0.089 olarak hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamalar sonrasında tutarlılık oranı için bulunan değer 0,10'dan küçük olduğu için ikili karşılaştırma matrisinin oluşturulmasında yapılan karşılaştırmaların tutarlı olduğu kabul edilmiştir.



6. SONUÇLAR

Toplumlardaki ekonomik, sosyal, ticari, eğitim sağlık ve turizm gibi alanlarda gelişmeler arttıkça insanların bir noktadan diğer noktaya ulaşma istekleri de doğrudan artmaktadır. Bu sebeple ulaştırma alanındaki büyük mühendislik projelerinin sayısı da hızla artmakta ve bir toplumun ya da ülkenin refah seviyesine de olumlu katkılar vermektedir. Ulaşım alanında yapılan büyük mühendislik projelerinin en önemlilerinden birisi de karayolu proje olmaktadır. Karayolu projeleri için genel aşamalar olarak tasarım-projelendirme, yapım ve işletme olarak söylenebilmektedir. Bu tür projeler tamamlandıktan sonra da özellikle işletme aşamasında yapılan bakım onarım ve ölçme faaliyetleri yine bu projelerin uzun süreler hizmet verebilmesi için önemli olmaktadır. Bu faaliyetlerin yapılması sırasında bazı hata ve risk faktörleriyle de karşılaşılabilir. Burada önemli olan husus bu risk ve hataların önceden tespit edilebilmesi ve bu risk ve hataların gerçekleşme durumunda ise meydana gelebilecek büyük ekonomik kayıpların önüne geçebilmek için hangi önlemlerin, hangi ekiplerle ve hangi yasal düzenlemelere göre alınacağı olmaktadır. Yapılan çalışma kapsamında bu alanda çalışan teknik ve idari personellere bu konuda yol göstermek amaç edinilmiştir. Bu kapsamda Hata türü etkileri analizi (HTEA) Pareto ve Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) yöntemleri kullanılmıştır. HTEA analizi yapabilmek için Yalova Üniversitesi, Etik Kurullar Koordinatörlüğü, Fen ve Mühendislik Bilimleri, Bilimsel Araştırmalar Etik Kurulu tarafından 2023/203 protokol numarası ile etik izin onay belgesi alınmıştır. Daha sonraki aşamada HTEA analizi yapılmış ve Bölüm 5.2’de anlatıldığı üzere uzman kişilerle anketler yapılarak bu risk ve hataların hangi risk gruplarına girdiği ve bu risklerin meydana gelmesi durumunda hangi önlemlerin, hangi ekiplerle ve hangi düzenlemelere göre alınması gerektiği konuları belirlenerek Tablo 5.1’ de verilmiştir. Yapılan HTEA analizi daha sonra iki alternatifli olarak uygulanmış olan Pareto analizine veri sağlamış ve yine AHP analizi için de bir altlık veri seti oluşturmuştur.

Buna göre uygulan ilk alternatif pareto analizinde 60/40 oranı ile ilgili olarak %60 eşik ya da düzey değeri için karayolu bakım onarım ve ölçme faaliyetlerinde ilk 6 risk ve hatanın çok önemli olduğu görülmüştür. Bölüm 5.3 ve Tablo 5.2 de de gösterilen bu 6 riskin toplam risk sayısının %40’ını oluşturduğu ve bu risk ya da hatalara önlem alındığı takdirde, karayolu bakım onarım ve ölçme işlerinde karşılaşılması muhtemel hatalara karşı toplamda %60 düzeyinde problemin çözüleceği gösterilmiştir. Buna göre bu riskler;

1. BOÖÇ-6, İşletim sırasında Karayolu kaplamasında oluşan düşey yönlü bozulmalar için yapılan düşey yöndeki ölçme işlerinden (Nivelman, Lidar, Fotogrametrik, Uzaktan Algılama) kaynaklanan hata ve riskler,
2. BOÖÇ-4, Karayolu altyapısı ile ilgili işlerde özellikle kaplama türü için yeterli ve kaliteli malzeme kullanılmaması kaynaklı oluşan hata ve riskler.
3. BOÖÇ-11, Karayolu onarım bakım faaliyetleri için yapılan yatay ve düşey yöndeki ölçme işlerinde kalibrasyonsuz cihazların kullanılması sonucunda oluşan yanlış ölçmelerden kaynaklanan hata ve riskler.
4. BOÖÇ-3 Uygun yüzey altı (yüzey altı drenajı stabilizasyon hendekleri, yatay drenler, düşey kum drenler, taş drenler, drenaj galerisi vb.) ve yüzeysel drenaj sistemi (dren hendekleri, menfez, rögar, kolektör, büz, boru sistemleri vb.) uygun dren malzemesi, uygun boyutlandırma ve projelendirmelerinin yapılmamasından kaynaklı olarak karayolu işletimindeki bakım ve onarım faaliyetleri de etkileyen riskler.
5. BOÖÇ-5 Karayolunun işletilmesi sırasında oluşan heyelan, deprem, sel, iklim değişikliği vb. doğal afetlerin meydana gelmesi ve jeolojik, jeofiziksel, topografik ve hidrolojik olarak öngörülemeyen sebeplerden oluşan risk ve hatalar.
6. BOÖÇ-14 Yapım ve onarım faaliyetlerini etkileyen karayolu üst yapı kalınlığının ve tipinin yanlış belirlenmesi kaynaklı riskler.

şeklinde sıralanabilmektedir. Birinci alternatifte, yukarıda belirlen bu 6 yüksek düzeydeki risk ve hata faktörüne, kendi içinde ve 60/40 oranında tekrar bir pareto analizi uygulandığında ilk 2 risk ve hatanın daha da ön plana çıktığı görülmektedir. Çalışma kapsamında yapılan Pareto analizinde, ikinci alternatif olarak 80/20 olarak genel kabul görmüş orana göre, büyük RÖS değerinden küçük RÖS değerlerine göre sıralanan, hata ve risk faktörlerinin, kümülatif olarak RÖS değerlerine göre toplamaları hesaplanmıştır. Buna göre Bölüm 5.3 ve Tablo 5.2’de görüldüğü üzere problemin %80 oranında çözümünde etki eden risk sayısının yukarıdan aşağıya doğru incelediğinde kaçınıcı riske denk geldiği de araştırılmıştır. Bu kapsamda ilk 9 risk ve hatanın, ön plana alınması gerektiği anlaşılmaktadır. Bu analize göre de yukarıda verilen ilk 6 risk ve hataya dahil edilerek sonraki 3 risk ise

7. BOÖÇ-2 Karayolu yapımı sırasında yağmur ve kar suyu kaynaklı oluşan su birikintilerini drene edilmesi için yapılan çatı eğimi ölçme ve hesaplamalarının hatalı yapılmasından kaynaklı karayolu işletimindeki bakım ve onarım faaliyetlerini de etkileyen riskler.

8. BOÖÇ-1 Karayollarının bakım onarım ve ölçme işlerinde yeterli dikkat ve özen gösterilmemesi ve işletim sırasında oluşan bozuklukların tam tespit edilememesinden kaynaklı oluşan risk ve hatalar.
9. BOÖÇ-8 Karayolunun işletilmesi sırasında yapım bakım onarım işleri için yapılan ölçmelerde referans olarak alınan jeodezik ölçme ağında oluşan hatalardan dolayı oluşan riskler.

şeklinde sıralanmıştır. İkinci alternatifte, yukarıda belirlen bu 9 yüksek düzeydeki risk ve hata faktörüne, kendi içinde olmak üzere problemin %80 oranında çözümünde etki eden risk sayısının belirlemek için tekrar bir pareto analizi uygulandığında ilk 6 risk ve hatanın daha da ön plana çıktığı da görülmektedir. Çalışma kapsamında Karayolunda Bakım Onarım ve Ölçme çalışmalarında meydana gelen risk ve hatalar bir diğer yöntem olan AHP metodunda HTEA tablosundaki RÖS sayıları baz alınarak tekrar değerlendirilmiş ve bu yönetime göre de bu risk ve hataların öncelik sıralaması aşağıdaki gibi oluşmuştur.

Tablo 6.1. Karayolunda bakım onarım ve ölçme çalışmalarında meydana gelen risk ve hatalar AHP yöntemine göre öncelik ya da ağırlıklarının sıralanması

Sıra No	Risk ya da Hata No	Ağırlık (W)
1	BOÖÇ6	0.227
2	BOÖÇ4	0.172
3	BOÖÇ11	0.168
4	BOÖÇ3	0.069
5	BOÖÇ5	0.065
6	BOÖÇ14	0.051
7	BOÖÇ2	0.047
8	BOÖÇ1	0.044
9	BOÖÇ8	0.039
10	BOÖÇ10	0.029
11	BOÖÇ13	0.021
12	BOÖÇ12	0.021
13	BOÖÇ7	0.020
14	BOÖÇ9	0.017
15	BOÖÇ15	0.010

Çalışma kapsamında yapılan Pareto ve AHP analizleri için sonuçlar yorumlandığında, Karayolu Bakım Onarım ve Ölçme Çalışmalarında belirlenen risklerin öncelik sıralamalarının aynı olduğu da görülmektedir. Ayrıca ulaşım konusunun her alanında olduğu gibi bu konuda da Ulaştırma Mühendislerine büyük işler düşmektedir. Bu sebeple bu meslek disiplinine gelecekte daha da önem gösterilmeli ve lisans, yüksek lisans ve doktora seviyelerinde daha fazla Ulaştırma Mühendisleri yetiştirilmelidir.



KAYNAKLAR

- Adlinge, S. S., & Gupta, A. K. (2013). Pavement deterioration and its causes. *International journal of innovative research and development*, 2(4), 437-450.
- Hanlı, E. (2009). Esnek yol üstyapısında oluşan bozulmalar ve değerlendirmesi.
- Ağar, E., Sütaş, İ., Öztaş G., (1998), Beton Yollar (Rijit Yol Üstyapıları), İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi Matbaası, 392s, ISBN:975-561-125-8
- Akgün, S. (2017). Hata türleri ve etkileri analizi metodu ve sağlık hizmeti uygulamaları. *Sağlık Akademisyenleri Dergisi*, 4(1), 1-8.
- Akın, B. (1998). ISO 9000 uygulamasında işletmelerde hata türü ve etkileri analizi. *Bilim teknik yayınevi, İstanbul*, 182, 65-66.
- Akpolat, M. (2018). İnşaat Mühendisliği (Civil Engineering) Karayolu Mühendisliği (Highway Engineering) Ders Notları
- Arslan, V. (2019). Kalite Kontrol Grafikleri ve Pareto Analizinin Hazır Beton Tesisinde Uygulanması. *Kilis 7 Aralık Üniversitesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 3(1).
- Avcı, M.K., (2022).Uzaktan Algılama ve MTA, MTA Doğal Kaynaklar ve Ekonomi Bülteni (2022) 34: 58-62
- Aydan, M., & Kaya, S. (2017). Hata türü ve etkileri analizi (HTEA): üniversite hastanesinde bir uygulama. *Hacettepe Sağlık İdaresi Dergisi*, 20(4), 475-502.
- Aydın, M. M., & Bıyık, B. (2023). Şerit Yoğunluk Tespit ve Bilgilendirme Sistemlerinin Tasarımdan İşletmeye Genel Altyapısının Belirlenmesi: Örnek bir Sistem Tasarımı. *Gazi University Journal of Science Part C: Design and Technology*, 11(4), 1092-1107.
- Ayhan, F. (2024). Kalkınma planları ekseninde Türkiye’de karayolu ulaşımında görülen gelişmeler (1963–2023). *Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 34(1), 17-34.
- Babacan, A. (2022). Toplu Taşımada Kullanılabilen Özel Halk Otobüsü Seçimi: Çok Kriterli Karar Verme Yöntemi Analitik Hiyerarşi Prosesi Uygulaması. *Bingöl Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 6(2), 127-146.
- Bagla, V., & Gupta, A. (2011). Analytical hierarchy process based assignment model for allotting parking slots to different localities. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, 18(3-4), 173-185.
- Bağdatlı, M. E. C., & Yıldırım, M. Ş. (2017). Karayolu üstyapılarındaki bozulmaların bakım maliyetlerine etkisi. *Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 6(1), 102-111.
- Koca, B., & Ceylan, A. (2018). Uydu konum belirleme sistemlerindeki (GNSS) güncel durum ve son gelişmeler. *Geomatik*, 3(1), 63-73.
- Bayoumi, E. O., Elgazzar, S., Abdel Bary, A., & Ricci, S. (2021). The role of road transport infrastructure investments on logistics performance. A research Agenda. *International Business Logistics Journal*, 1(2), 16-27.
- Bekereci, Ü., Yazıcı, M., & Hamzaoğlu, E. (2020). Pareto Analizi Tekniğiyle Belirlenen Parametrelerin Öğretim Sürecinde Kullanımının Öğrencilerin Akademik Başarılarına Etkisi. *Marmara Üniversitesi Atatürk Eğitim Fakültesi Eğitim Bilimleri Dergisi*, 51(51), 199-219.
- Bolayır, B., & İri, N. İ. Ö. (2023). İş sağlığı ve güvenliği risk faktörlerinin analitik hiyerarşi prosesi (AHP) yöntemi ile değerlendirilmesi: sağlık bilimleri fakültesi’nde bir uygulama. *Beykoz Akademi Dergisi*, 11(2), 1-24.
- Can, E. (2019). Analysis of risks that are based on the aerial photography used in photogrammetric monitoring maps for environmental wind power energy plant projects. *Environmental monitoring and assessment*, 191(12), 746.
- Can, E., & Erbiyik, H. (2016). Determination of the risks that are emerged from the use of aerial photographs in the mapping activities for landslide movements by FMEA and

- Pareto analysis methods and suggested solutions. *Procedia engineering*, 161, 850-858. Yılmaz, B. S. (2000). Hata türü ve etki analizi. *Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 2(4).
- Ceylan, A. (2009). Modern Yükseklik Belirleme Teknikleri: Geometrik Nivelman Tarih mi Oluyor. *TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası*, 12.
- Çelik, M., Seferoğlu, M. T., Akpınar, M. V., & Seferoğlu, A. G. (2020). Beton Yol Uygulamalarında Derz Türlerine Göre Düşey Deplasman Oluşumlarının İncelenmesi ve Maliyet Analizi: Trabzon-Rize Örneği. *El-Cezeri*, 7(2), 474-486.
- Çetin, O. (2019). *Hava fotoğrafları ve insansız hava aracı görüntülerinden arazi topoğrafyası ölçümü, sonuçların analizi ve karşılaştırması (Haymana Yeşilyurt köyü uygulaması)* (Master's thesis, Konya Teknik Üniversitesi).
- Çıtıroğlu, H. K., Arca, D., & Can, E. (2022). Yeraltı Petrol Boru Hatlarının Güzergâh Seçiminde Yüzey ve Çevre Koşulları Kaynaklı Risklerin HTEA, Pareto ve AHP Yöntemleri ile İncelenmesi. *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi*, 12(1), 492-507.
- Çoruh, E., & Tortum, A. (2014). Türkiye’de illerin trafik güvenliğinin analitik hiyerarşi prosesi (AHP) ile belirlenmesi. *Ordu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 4(2), 57-69.
- Demir, N., Bayram, B., Alkış, Z., Helvacı, C., Çetin, I., Vögtl, T., & Steinle, E. (2004, July). Laser scanning for terrestrial photogrammetry, alternative system or combined with traditional system. In *ISPRS XX. Symposium, Com. V., WG (Vol. 2)*.
- Deniz, T. (2016). Türkiye’de Ulaşım Sektöründe Yaşanan Değişimler ve Mevcut Durum. *Doğu Coğrafya Dergisi*, 21(36), 135-156.
- Erbıyık, H., Can, E. i Kuşçu, Ş. (2014). Potential risks and their analysis in the application of geographic based engineering projects. *Tehnički vjesnik*, 21 (1), 9-15. Preuzeto s <https://hrcak.srce.hr/116569>
- Erdinç, E., & Kepenek, E. (2022). Analitik Hiyerarşi Yöntemi ile Alternatifler Arası Otogar Yer Seçimi: Isparta Örneği. *Journal of Architectural Sciences and Applications*, 7(2), 483-500.
- Eren, H. (2021). “Pareto Analizi, 80/20 prensibi” ile proseslerin iyileştirilmesi ve azınlığın çoğunluğa etkisi üzerine bir işletme örneği (Master's thesis, Trakya Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü).
- Fwa, T. F. (2005). *The handbook of highway engineering*. CRC press.
- Graftek (5 Mayıs 2024). Trimble S5 Total Station. <https://www.graftek.com.tr/urunler/trimble-s5-total-station/171/3/>
- Güleç, E., Baktır, Y., & Dalay, İ. (2023). Sağlık Hizmetlerine Erişimde Tüketici Tutum ve Taleplerinin Etkisinin İncelenmesi: Pareto Analizi Uygulaması. *İstanbul Esenyurt Üniversitesi İşletme ve Yönetim Bilimleri Fakültesi Sosyal Bilimler Araştırmaları Dergisi*, 2(2), 1-15.
- Gürlek, E. (2017). GNSS hassas nokta konumlama tekniğinin düşey yönlü yapısal titreşimlerin ölçülmesinde kullanılabilirliğinin araştırılması (Master's thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Hanlı, E. (2009). Esnek yol üstyapısında oluşan bozulmalar ve değerlendirmesi.
- Hatipoğlu, S. (2020). Sürücü Kursları Direksiyon Eğitimi Sınav Değerlendirme Ölçütlerinin Pareto Analizi Yöntemi ile İncelenmesi. *Trafik ve Ulaşım Araştırmaları Dergisi*, 3(2), 121-132.
- Ho, W. (2008). Integrated analytic hierarchy process and its applications—A literature review. *European Journal of operational research*, 186(1), 211-228.
- Ivanova, E., & Masarova, J. (2013). Importance of road infrastructure in the economic development and competitiveness. *Economics and management*, 18(2), 263-274.

- İsfalt (İstanbul Asfalt Fabrikaları Sanayi ve Ticaret AŞ), Uluçaylı, M., & Yavuz, A. (2002). *Asfalt el kitabı: Asphalt handbook*. İsfalt.
- İsfalt 2001, Asfalt ve uygulamaları, İstanbul Büyükşehir Belediyesi, İstanbul Asfalt Fabrikaları sanayi ve Ticaret A.Ş.,280s.
- Johnson, A. M. (2000). Best practices handbook on asphalt pavement maintenance.
- Karagöz, B. Ç. (2008). Dinar fayı tektonik hareketlerinin presizyonlu Nivelman yöntemiyle belirlenmesi (Master's thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Karakaş, V. E. (2018). Karabük bölgesinin FR ve AHP yöntemleri kullanılarak CBS tabanlı heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesi (Master's thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Karuppusami, G., & Gandhinathan, R. (2006). Pareto analysis of critical success factors of total quality management: A literature review and analysis. *The TQM magazine*, 18(4), 372-385.
- Köse, Z. (2018). *Obruk Barajındaki düşey deformasyonların hassas Nivelman Yöntemi ile belirlenmesi* (Master's thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Kronprasert, N., Boontan, K., & Kanha, P. (2021). Crash prediction models for horizontal curve segments on two-lane rural roads in Thailand. *Sustainability*, 13(16), 9011.
- Kwiesielewicz, M., & Van Uden, E. (2004). Inconsistent and contradictory judgements in pairwise comparison method in the AHP. *Computers & Operations Research*, 31(5), 713-719.
- Liberatore, M. J., & Nydick, R. L. (2008). The analytic hierarchy process in medical and health care decision making: A literature review. *European Journal of Operational Research*, 189(1), 194-207.
- Liu, H. C., Liu, L., & Liu, N. (2013). Risk evaluation approaches in failure mode and effects analysis: A literature review. *Expert systems with applications*, 40(2), 828-838.
- Maraş, E. E., & Sesli, F. A. (2017). Kara yolu trafik gürültü değerlerinin uygulama imar planlarına entegrasyonu. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 6(2), 430-441.
- Miller, J. S., & Bellinger, W. Y. (2003). *Distress identification manual for the long-term pavement performance program* (No. FHWA-RD-03-031). United States. Federal Highway Administration. Office of Infrastructure Research and Development.
- Motif Harita (5 Mayıs 2024). İnsansız Hava Araçları ile Harita ve Ortofoto Üretimi. <https://motifharita.com/insansiz-hava-araci/>
- Yaşa, M., & Çetin, T. (2022). Yolların yapımı ve bakım onarımı ile ilgili bilgi sistemi oluşturulması: Manisa-Saruhanlı örneği. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 30(2), 220-233.
- Müdürlüğü, K. G. (2016). Karayolu Tasarımı El Kitabı.
- Narlı, M. (2021). Yenidoğan Bebek Transport Ambulansı Risk Analizi: HTEA Yöntemi ile Bir Uygulama. *Afet ve Risk Dergisi*, 4(2), 145-162.
- Özarpa, C., Kınacı, B. F., & Avcı, İ. (2021). Kent içi akıllı ulaşımında karma çok kriterli karar verme yöntemi ile yeni hat kurulumunun belirlenmesi. *Kent Akademisi*, 14(4), 995-1006.
- Özcan, S. (2001). "İstatistiksel proses kontrol tekniklerinden pareto analizi ve çimento sanayiinde bir uygulama". *C.Ü. İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 2(2), 151- 174
- Özer, K. (2012). Yap-İşlet-Devret Modeli ve Türkiye Uygulamaları. *Ziraat Mühendisliği*, (358), 30-35.
- Pilatin, K. (2021). Marmaray Hattı İstasyonlarının Toplu Taşıma Odaklı Kentsel Gelişme Yaklaşımına Uygunluk Açısından İncelenmesi: Marmaray Hattında Toplu Taşıma Odaklı Gelişme. *Tasarim+ Kuram*, 17(32), 150-159.
- Pillay, A., & Wang, J. (2003). Modified failure mode and effects analysis using approximate reasoning. *Reliability engineering & system safety*, 79(1), 69-85.

- Poyraz, P., & Şimşir, F. (2022). Tedarik Zinciri Risk Yönetiminde Bulanık Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ile Süreç Bazlı Hata Türleri Analizi. *Journal of Advanced Research in Natural and Applied Sciences*, 8(1), 86-104.
- Saaty, T. L. (1977). A scaling method for priorities in hierarchical structures. *Journal of mathematical psychology*, 15(3), 234-281.
- Saaty, T. L. (1987). The analytic hierarchy process—what it is and how it is used. *Mathematical modelling*, 9(3-5), 161-176.
- Saaty, T. L. (1991). Some mathematical concepts of the analytic hierarchy process. *Behaviormetrika*, 18(29), 1-9.
- Saaty, T. L. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. *International journal of services sciences*, 1(1), 83-98.
- Sabuncu, S., Yıldırak, E., Topal, C., Bıyık, B., & Ceylan, Z. (2019). Bir Hafif Raylı Ulaşım Sisteminde Bulanık Hata Türü ve Etkileri Analizi Uygulaması. In *International Congress on Human-Computer Interaction, Optimization and Robotic Applications—HORA*, july (pp. 5-7).
- Sağlık, A., & Güngör, A. G. (2008). Karayolları esnek üstyapılar projelendirme rehberi. *Karayolları Genel Müdürlüğü*, 148.
- Sharma, K. D., & Srivastava, S. (2018). Failure mode and effect analysis (FMEA) implementation: a literature review. *J Adv Res Aeronaut Space Sci*, 5(1-2), 1-17.
- Soycan, A., & Faslak, Y. (2019). Karayolu inşaatında yapılan jeodezik çalışmalar ve karayolu geometrisi. *Journal on Mathematic, Engineering and Natural Sciences (EJONS)*, 3(7), 72-106.
- Sun, L., & Song, R. (2022). Improving Efficiency in Congested Traffic Networks: Pareto-Improving Reservations through Agent-Based Timetabling. *Sustainability*, 14(4), 2211.
- Şahin G, Uğural M, Sağbaş M, Erdoğan F (2023). Bulanık AHP Yöntemi ile Afet Sonrası İhtiyaçların Önceliklendirilmesi: Pazarcık ve Elbistan Depremleri Örneği. *Türk deprem araştırma dergisi* (Online), 5(2), 314 - 330. 10.46464/tdad.1371581
- Şahin, M. E., & Topaloglu, İ. (2021). Endüstri 4.0'ın İş Sağlığı ve Güvenliğine Katkıları ve Hata Türü ve Etkileri Analizi (FMEA) Risk Değerlendirme Metoduyla Ambulansta Bir İnceleme. *Takvim-i Vekayi*, 9(2), 66-94.
- Şensöğüt, C., & Sargın, S. S. (2021). Olası Hata Türleri ve Etkileri Analizi (HTEA) yöntemi ile bir yeraltı kömür işletmesinin risk analizinin yapılması. *Soma Meslek Yüksekokulu Teknik Bilimler Dergisi*, 2(32), 1-8.
- Tercan, E. (2018). Karayolu ölçmelerinde insansız hava araçlarının kullanılması: Okurcalar şehir merkezi örneği. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 7(2), 649-660.
- Toraman, A., & Gökkaya, B. (2023). Hata türleri ve etkileri analizi (FMEA) ve sağlık alanında uygulamaları. *SDÜ Sağlık Yönetimi Dergisi*, 5(1), 26-39.
- Tükenmez, F. (2022). Karayolu Projelerinde Güzergâh Haritalarının İnsansız Hava Aracı (İHA) ile Üretilmesi. *Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi*, 4(2), 58-72.
- Uyan, M. (2017). Güneş enerjisi santrali kurulabilecek alanların AHP yöntemi kullanılarak CBS destekli haritalanması. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 23(4), 343-351.
- Uysal, N. S. (2011). *Kara yolu çalışmalarının çevresel etkilerinin değerlendirilmesi ve alınması gereken önlemler* (Master's thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Villi, O., & Yakar, M. (2022). İnsansız Hava Araçlarının Kullanım Alanları ve Sensör Tipleri. *Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi*, 4(2), 73-100.
- Walia, K., Aggarwal, R. K., & Bhardwaj, S. K. (2017). Environment impact assessment of highway expansion—a review. *Current World Environment*, 12(3), 507.

- Wang, H. P., Guo, Y. X., Wu, M. Y., Xiang, K., & Sun, S. R. (2021). Review on structural damage rehabilitation and performance assessment of asphalt pavements. *Reviews on Advanced Materials Science*, 60(1), 438-449.
- Xiao, N., Huang, H. Z., Li, Y., He, L., & Jin, T. (2011). Multiple failure modes analysis and weighted risk priority number evaluation in FMEA. *Engineering Failure Analysis*, 18(4), 1162-1170.
- Yakıcı ayan, T., & Perçin, S. (2012). Ar-Ge projelerinin seçiminde grup kararına dayalı bulanık karar verme yaklaşımı. *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 26(2), 237-256.
- Yaşa, M. (2020). *Yolların yapım, bakım ve onarımı ile ilgili bilgi sistemi oluşturma: Manisa-Saruhanlı örneği* (Master's thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Yılmaz, B. S. (2000). Hata türü ve etki analizi. *Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 2(4).
- Yılmaz, H. M., & Yakar, M. (2006). Lidar (Light Detection And Ranging) Tarama Sistemi. *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 2(2), 23-33.
- Yılmaz, N., & Demirsoy, N. (2022). Düşey Yönlü Deformasyon Araştırması. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 13(2), 329-337.



EKLER

Ek. 1 - Etik onay belgesi

PROTOKOL NO: 2023/203

T.C.
YALOVA ÜNİVERSİTESİ
ETİK KURULLAR KOORDİNATÖRLÜĞÜ

ARAŞTIRMA BAŞLIĞI	Karayolu Üstyapı İşletme Aşamasındaki Bakım, Onarım ve Ölçme Çalışmalarında Oluşan Hata ve Risklerin HTEA, Pareto ve AHP Yönetiminde İncelenmesi
ARAŞTIRMANIN TÜRÜ	1-Yüksek Lisans Tez Çalışması 2-Nicel Araştırma
ARAŞTIRMACILAR	1-Sorumlu Araştırmacı Uğur Can KIZIL 2-Tez Danışmanı : Prof. Dr. Eray CAN
ETİK KURUL TÜRÜ	FEN ve MÜHENDİSLİK BİLİMLERİ BİLİMSEL ARAŞTIRMALAR ETİK KURULU
KARAR	Etik Onay Verilmesine Karar Verildi.

TARİH
23/01/2024

Ek. 2 - Yüksek Lisans Tez Çalışması Kapsamında Yapılan Anket Formu

T.C.
Yalova Üniversitesi,
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Ulaştırma Mühendisliği Anabilim Dalı
Ulaştırma ve Lojistik Mühendisliği Yüksek Tezli Yüksek Lisans Programı

Yüksek Lisans Tez Çalışması Kapsamında Yapılan Anket Çalışmaları

Yüksek Lisans Tez Adı: Karayolu Üstyapı İşletme Aşamasındaki Bakım Onarım ve Ölçme Çalışmalarında Oluşan Hata ve Risklerin HTEA, Pareto ve AHP yönteminde İncelenmesi

Yüksek lisans tez çalışması kapsamında yapılan bu ankette, belirlenen her bir risk için mesleki tecrübelerinizi de göz önüne alarak alınabilecek önlemleri belirtiniz. Belirtmiş olduğunuz bu önlemlerin alınmasından önceki ve sonraki Olasılık, Şiddet ve Saptanabilirlik parametrelerini ise yine mesleki tecrübelerinizden ve aşağıda belirtilen derecelendirme tablolarında faydalanarak yanıtlayınız.

Risk Adı: Karayollarının bakım onarım ve ölçme işlerinde yeterli dikkat ve özen gösterilmemesi ve işletim sırasında oluşan bozuklukların tam tespit edilememesinden kaynaklı oluşan risk ve hatalar.									
Risk No	Olasılık (O)	Şiddet (Ş)	Saptanabilirlik (S)	RÖS	Önlem	Olasılık (O)	Şiddet (Ş)	Saptanabilirlik (S)	RÖS
R.1									

Risk Adı: Karayolu yapımı sırasında yağmur ve kar suyu kaynaklı oluşan su birikintilerini drene edilmesi için yapılan çatı eğimi ölçme ve hesaplamalarının hatalı yapılmasından kaynaklı karayolu işletimindeki bakım ve onarım faaliyetlerini de etkileyen riskler.									
Risk No	Olasılık (O)	Şiddet (Ş)	Saptanabilirlik (S)	RÖS	Önlem	Olasılık (O)	Şiddet (Ş)	Saptanabilirlik (S)	RÖS
R.2									

Risk Adı: Uygun yüzey altı (yüzey altı drenajı stabilizasyon hendekleri, yatay drenler, düşey kum drenler, taş drenler, drenaj galerisi vb.) ve yüzeysel drenaj sistemi (dren hendekleri, menfez, rögar, kolektör, büz, boru sistemleri vb.) uygun dren malzemesi, uygun boyutlandırma ve projelendirmelerinin yapılmamasından kaynaklı olarak karayolu işletimindeki bakım ve onarım faaliyetleri de etkileyen riskler.									
Risk No	Olasılık (O)	Şiddet (Ş)	Saptanabilirlik (S)	RÖS	Önlem	Olasılık (O)	Şiddet (Ş)	Saptanabilirlik (S)	RÖS
R.3									

Risk Adı: Karayolu altyapısı ile ilgili işlerde özellikle kaplama türü için yeterli ve kaliteli malzeme kullanılmaması kaynaklı oluşan hata ve riskler.									
Risk No	Olasılık (O)	Şiddet (Ş)	Saptanabilirlik (S)	RÖS	Önlem	Olasılık (O)	Şiddet (Ş)	Saptanabilirlik (S)	RÖS
R.4									

Risk Adı: Karayolunun işletilmesi sırasında oluşan heyelan, deprem, sel, iklim değişikliği vb. doğal afetlerin meydana gelmesi ve jeolojik, jeofiziksel, topografik ve hidrolojik olarak öngörülemeyen sebeplerden oluşan risk ve hatalar.

Risk No	Olasılık (O)	Şiddet (S)	Saptanabilirlik (S)	RÖS	Önlem	Olasılık (O)	Şiddet (S)	Saptanabilirlik (S)	RÖS
R.5									

Risk Adı: İşletim sırasında Karayolu kaplamasında oluşan düşey yönlü bozulmalar için yapılan düşey yöndeki ölçme ve hesaplama işlerinden kaynaklanan hata ve riskler.

Risk No	Olasılık (O)	Şiddet (S)	Saptanabilirlik (S)	RÖS	Önlem	Olasılık (O)	Şiddet (S)	Saptanabilirlik (S)	RÖS
R.6									

Risk Adı: İşletim sırasında Karayolu kaplamasında oluşan yatay yönlü bozulmalar için yapılan yatay yöndeki ölçme ve hesaplama işlerinden kaynaklanan hata ve riskler.

Risk No	Olasılık (O)	Şiddet (S)	Saptanabilirlik (S)	RÖS	Önlem	Olasılık (O)	Şiddet (S)	Saptanabilirlik (S)	RÖS
R.7									

Risk Adı: Karayolunun işletilmesi sırasında yapım bakım onarım işleri için yapılan ölçmelerde referans olarak alınan jeodezik ölçme ağında oluşan hatalardan dolayı oluşan riskler.

Risk No	Olasılık (O)	Şiddet (S)	Saptanabilirlik (S)	RÖS	Önlem	Olasılık (O)	Şiddet (S)	Saptanabilirlik (S)	RÖS
R.8									

Risk Adı: Karayolu işletimi için yapım bakım ve ölçme işlerinde çalışan personelin eğitim ve tecrübe eksikliği nedeniyle oluşan hata ve riskler.

Risk No	Olasılık (O)	Şiddet (S)	Saptanabilirlik (S)	RÖS	Önlem	Olasılık (O)	Şiddet (S)	Saptanabilirlik (S)	RÖS
R.9									

Risk Adı: Karayolunun bakım ve onarım çalışmalarının da etkileyen ve karayolunun planlaması yapılırken yatay ve düşey eksenlerde yanlış yapılan geometrik tasarımlar kaynaklı oluşan risk ve hatalar (Düşey ve yatay kurp tasarımında oluşan tasarım hataları, topografya ve yol geometrisinin uyum sağlamaması vb.)

Risk No	Olasılık (O)	Şiddet (S)	Saptanabilirlik (S)	RÖS	Önlem	Olasılık (O)	Şiddet (S)	Saptanabilirlik (S)	RÖS
R.10									

Risk Adı: Karayolu onarım bakım faaliyetleri için yapılan yatay ve düşey yöndeki ölçmelerde, kalibrasyonsuz ve doğruluk testi yapılmayan cihazların kullanılması sonucunda oluşan hata ve riskler

Risk No	Olasılık (O)	Şiddet (S)	Saptanabilirlik (S)	RÖS	Önlem	Olasılık (O)	Şiddet (S)	Saptanabilirlik (S)	RÖS
R.11									

Risk Adı: Karayolu bakım onarım ve ölçme işlerinin yapılabilmesi için onaylı iş emirlerinin gecikmesi ve organizasyon eksiklerinden kaynaklı oluşan hata ve riskler.

Risk No	Olasılık (O)	Şiddet (S)	Saptanabilirlik (S)	RÖS	Önlem	Olasılık (O)	Şiddet (S)	Saptanabilirlik (S)	RÖS
R.12									

Risk Adı: Karayolu işletimi aşamasında yol bakımını da etkileyen; ortalama trafik yoğunluğu, araç türü ve özellikleri, proje veya işletme hızı, kapasite vb. parametrelerin hesaplamalarında yapılan hatalardan kaynaklı oluşan riskler.

Risk No	Olasılık (O)	Şiddet (S)	Saptanabilirlik (S)	RÖS	Önlem	Olasılık (O)	Şiddet (S)	Saptanabilirlik (S)	RÖS
R.13									

Risk Adı: Karayolu işletimi sırasında onarım ve bakım faaliyetlerini etkileyen karayolu üst yapı kalınlığının ve tipinin yanlış belirlenmesinden kaynaklı oluşan hata ve riskler.

Risk No	Olasılık (O)	Şiddet (S)	Saptanabilirlik (S)	RÖS	Önlem	Olasılık (O)	Şiddet (S)	Saptanabilirlik (S)	RÖS
R.14									

Risk Adı: Karayolu bakım ve onarımı etkileyen ve yol yapımında kullanılan malzeme içine yabancı malzeme karışması veya girmesi sonucunda olabilecek kimyasal reaksiyon sebebiyle karayolunun işletimi sırasında yol dayanıklılığının düşmesi sonucu oluşan hata ve riskler

Risk No	Olasılık (O)	Şiddet (S)	Saptanabilirlik (S)	RÖS	Önlem	Olasılık (O)	Şiddet (S)	Saptanabilirlik (S)	RÖS
R.15									

- Olasılık Derecelendirme Tablosu-		
Ortaya Çıkma İhtimali	Derece	Hata İhtimali (iş günü olarak)
Neredeyse hiç	1	<1:20.000
Düşük	2	1:20.000
	3	1:10.000
Orta	4	1:2.000
	5	1:1.000
	6	1:200
Yüksek	7	1:100
	8	1:20
Çok yüksek	9	1:10
	10	1:2

-Şiddet(Ağırlık) Derecelendirme Tablosu-	
Ağırlık (Müşteriye Etti)	Derece
Neredeyse hiç	1
	2
Düşük	3
	4
Orta	5
	6
Yüksek	7
	8
Çok yüksek	9
	10

-Saptanabilirlik Derecelendirme Tablosu-		
Saptanabilirlik	Derece	Saptama İhtimali (%)
Çok yüksek	1	86-100
	2	76-85
Yüksek	3	66-75
	4	56-65
Orta	5	46-55
	6	36-45
Düşük	7	26-35
	8	16-25
Neredeyse	9	6-15
imkansız	10	0-5

ÖZGEÇMİŞ

İlk ve orta öğrenimini Tunceli’de tamamladı. 2016 yılında girdiği Yalova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Ulaştırma Mühendisliği Bölümünden 2021 yılında mezun oldu. Halen, Yalova Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Ulaştırma Mühendisliği Enstitü Anabilim Dalı, Ulaştırma ve Lojistik Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans Programında Yüksek Lisans öğrencisi olarak eğitimine devam etmektedir.

TEZDEN TÜRETİLEN YAYIN VE ESERLER

Kızıl , U.C, & Can, E. (2024). Methods Used to Determine Failures and Their Significance in Road Maintenance Activities and Process Steps for These Methods, *Ahi Evran 4th International Congress On Scientific Research*, 26-28 Nisan 2024, ss.492-498, ISBN: - 978-625-367-709-1, Cilt 2, Kırşehir, Türkiye.

