



**T.C.  
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KARAYOLU ÜSTYAPISINDA TAHRİBATSIZ  
ELEKTROMANYETİK TEST YÖNTEMİ İLE KALİTE KONTROL**

**MURAT BAYAZİT**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN  
DR. ÖĞR. ÜYESİ SERCAN SERİN**

**DÜZCE, 2019**

**T.C.**  
**DÜZCE ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KARAYOLU ÜSTYAPISINDA TAHRİBATSIZ**  
**ELEKTROMANYETİK TEST YÖNTEMİ İLE KALİTE KONTROL**

Murat BAYAZİT tarafından hazırlanan tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

**Tez Danışmanı**

Dr. Öğr. Üyesi Sercan SERİN

Düzce Üniversitesi

**Jüri Üyeleri**

Dr. Öğr. Üyesi Sercan SERİN

Düzce Üniversitesi

Doç. Dr. Nihat MOROVA

Süleyman Demirel Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Bekir ÇOMAK

Düzce Üniversitesi

Tez Savunma Tarihi: 09/08/2019

## BEYAN

Bu tez çalışmasının kendi çalışmam olduğunu, tezin planlanmasından yazımına kadar bütün aşamalarda etik dışı davranışımın olmadığını, bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve etik kurallar içinde elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve bu kaynakları da kaynaklar listesine aldığımı, yine bu tezin çalışılması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını beyan ederim.

09 Ağustos 2019

Murat BAYAZİT

## **TEŞEKKÜR**

Yüksek Lisans öğrenimimde ve bu tezin hazırlanmasında gösterdiği her türlü destek ve yardımdan dolayı çok değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Sercan SERİN' e en içten dileklerle teşekkür ederim.

Bu çalışma boyunca yardımlarını ve desteklerini esirgemeyen sevgili eşim ve aileme aynı zamanda çalışma arkadaşlarıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

**09 Ağustos 2019**

**Murat BAYAZİT**

## İÇİNDEKİLER

ŞEKİL LİSTESİ.....	vii
ÇİZELGE LİSTESİ .....	viii
KISALTMALAR .....	ix
ÖZET .....	x
ABSTRACT .....	xi
1. GİRİŞ .....	1
2. ÜSTYAPIDA KALİTE KONTROL, KALİTE GÜVENCESİ VE TEST YÖNTEMLERİ .....	3
2.1. ÜST YAPIDA KALİTE VE KALİTE GÜVENCE .....	3
2.2. ÜSTYAPIDA KALİTE KONTROL .....	5
2.2.1. Tahribatlı Kontrol Yöntemleri .....	7
2.2.1.1. Gözleme Dayalı Durum Araştırmaları.....	7
2.2.1.2. Kontrol Karot Numuneleri.....	8
2.2.1.3. Muayene Çukurları.....	8
2.2.1.4. Dinamik Koni Penetrasyon (DCP).....	9
2.2.2. Tahribatsız Kontrol Yöntemleri .....	10
2.2.2.1. Elektromanyetik Yöntemler.....	11
2.2.2.2. Gerilme Dalga Yöntemleri.....	11
2.2.2.3. Defleksiyon Temelli Yöntemler.....	12
2.3. KALİTE KONTROLDE YOĞUNLUK VE SIKIŞMA.....	12
2.4. NÜKLEER OLMAYAN ELEKTROMANYETİK YOĞUNLUK ÖLÇER (PAVEMENT QUALTY INDICATOR- PQI) .....	13
3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI .....	15
4. ARAŞTIRMA BULGULARI.....	20
4.1. ARAZİ ÖLÇÜMLERİ .....	21
4.1.1. Aydınpınar Anayol Ölçümleri .....	22
4.1.2. Aydınpınar Bataklı Köyü Yol Ölçümleri .....	25
4.1.3. Aydınpınar Darıcı Köyü Yol Ölçümleri .....	26
4.2. LABORATUVAR DENEYLERİ .....	27
4.2.1. Pratik Yoğunluk Hesabı ve Verilerin Kalibrasyonu .....	30
4.3. ARAZİ VERİLERİNİN DÜZELTİLMESİ .....	31

<b>5. İSTATİSTİKSEL ANALİZ VE DEĞERLENDİRMELER.....</b>	<b>38</b>
5.1. REGRASYON ANALİZİ.....	38
5.2. KORELASYON ANALİZİ .....	39
5.3. ÇOKLU VARYANS ANALİZİ.....	39
<b>6. SONUÇ VE ÖNERİLER .....</b>	<b>41</b>
<b>7. KAYNAKLAR.....</b>	<b>42</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>45</b>



## ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1. Esnek Üstyapı Kontrol Grubunun Yapısı. ....	4
Şekil 2.2. Kalite Kontrol Yöntemleri Şeması. ....	5
Şekil 2.3. Yol üzerindeki timsah sırtı çatlakları (A.K. Bakımı, 2018). ....	7
Şekil 2.4. Araziden karot numunesi alma (BİÖ İdaresi, 2012). ....	8
Şekil 2.5. Arazi üzerinde muayene çukuru ve kesit gösterimi (Russel vd, 2011). ....	9
Şekil 2.6. Arazide dinamik koni penetrasyon uygulaması (Z.A. Merkezi, 2004). ....	9
Şekil 2.7. PQI Deney Aleti. ....	14
Şekil 4.1. Çalışmaya ait akış şeması. ....	20
Şekil 4.2. Çalışmaya ait harita bilgileri (KTB., 2018). ....	21
Şekil 4.3. Aydınpınar anayolu PQI ölçümleri. ....	22
Şekil 4.4. Bataklı yolunda PQI deney aleti ile arazi ölçümleri. ....	25
Şekil 4.5. Darıcı yolunda PQI deney aleti ile arazi ölçümleri. ....	26
Şekil 4.6. Laboratuar ortamında dökülen örnek numuneler. ....	28
Şekil 4.7. Laboratuar numuneleri üzerinde PQI ölçümleri. ....	29
Şekil 4.8. PQI yoğunluk verileri ve pratik yoğunluk arasındaki ilişki. ....	31
Şekil 4.9. Aydınpınar Anayoluna ait PQI ölçüm verilerinin karşılaştırmalı gösterimi. ...	34
Şekil 4.10. Bataklı yoluna ait PQI ölçüm verilerinin karşılaştırmalı gösterimi. ....	35
Şekil 4.11. Darıcı yoluna ait PQI ölçüm verilerinin karşılaştırmalı gösterimi. ....	37
Şekil 5.1. Modelin tahmin değerleri ile gerçek değerler arasındaki ilişki. ....	40

## ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Çizelge 2.1. Tahribatlı ve tahribatsız test yöntemleri.....	6
Çizelge 4.1. Aydınpınar anayoluna ait PQI deney aleti verileri (İlk altı ay).....	23
Çizelge 4.2. Aydınpınar anayoluna ait PQI deney aleti verileri (İkinci altı ay).....	24
Çizelge 4.3. Bataklı yoluna ait PQI deney aleti verileri (İlk altı ay).....	25
Çizelge 4.4. Bataklı yoluna ait PQI deney aleti verileri (İkinci altı ay).....	26
Çizelge 4.5. Darıcı yoluna ait PQI deney aleti verileri (İlk altı ay).....	27
Çizelge 4.6. Darıcı yoluna ait PQI deney aleti verileri (İkinci altı ay).....	27
Çizelge 4.7. Karışım gradasyonu ve bitüm içeriği.....	28
Çizelge 4.8. Laboratuar PQI deney sonuçları.....	29
Çizelge 4.9. Laboratuarda hazırlanan numunelere ait bazı fiziksel özellikler.....	30
Çizelge 4.10. Aydınpınar anayoluna ait kalibre edilmiş yoğunluk verileri (İlk altı ay).....	32
Çizelge 4.11. Aydınpınar anayoluna ait kalibre edilmiş yoğunluk verileri (ikinci altı ay).....	33
Çizelge 4.12. Bataklı yoluna ait kalibre edilmiş yoğunluk verileri (İlk altı ay).....	34
Çizelge 4.13. Bataklı yoluna ait kalibre edilmiş yoğunluk verileri (İkinci altı ay).....	35
Çizelge 4.14. Darıcı yoluna ait kalibre edilmiş yoğunluk verileri (İlk altı ay).....	36
Çizelge 4.15. Darıcı yoluna ait kalibre edilmiş yoğunluk verileri (İkinci altı ay).....	36
Çizelge 5.1. Parametre tahminleri.....	38
Çizelge 5.2. Korelasyon değeri ve ilişki derecesi. (Ankaralı, H., vd., 2015).....	39
Çizelge 5.3. ANOVA test sonuçları.....	40
Çizelge 5.4. Model özeti.....	40

## KISALTMALAR

BSK ( Hot Mix Asphalt )	Bitümlü Sıcak Karışım Asfalt
CBR ( California Bearing Ratio )	Kaliforniya Taşıma Gücü Oranı
DCP ( Dynamic cone penetration )	Dinamik Koni Penetrasyon
NDT ( Not Destructive Testing )	Tahribatsız Test Yöntemi
PQI ( Pavement Quality İndicator )	Nükleer Olmayan Elektromanyetik Test Yöntemi



## ÖZET

### KARAYOLU ÜSTYAPISINDA TAHRİBATSIZ ELEKTROMANYETİK TEST YÖNTEMİ İLE KALİTE KONTROL

Murat BAYAZİT

Düzce Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Sercan SERİN

Ağustos 2019, 44 sayfa

Bu çalışma ile ülkemiz karayollarında kalite kontrol çalışmalarında kullanılan tahribatlı karot yöntemine alternatif oluşturulmuştur. Böylece karot yönteminin problemleri ortadan kaldırılmış ve daha kısa sürede daha etkin bir yöntemle üstyapıya ait bilgi sahibi olunmuştur. Bu kapsamda karayolu üstyapısında kullanılabilecek elektromanyetik test yöntemlerinden nükleer olmayan elektromanyetik test metodu kullanılarak arazide ve laboratuvar ortamında çalışmalar yapılmıştır. Çalışmanın ilk kısmı laboratuvar ortamında hazırlanmış kalibrasyon kontrol numuneleri ile gerçekleştirilmiştir. Nükleer olmayan elektromanyetik test cihazı farklı bitümlü sıcak karışımlar için kalibre edilmiştir. Çalışmanın ikinci aşamasında ise arazi çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Bu bağlamda imalatı henüz gerçekleştirilen ve hizmete açılmamış farklı karayolu kesimlerinde nükleer olmayan elektromanyetik test aleti kullanılarak tahribatsız testler yapılmıştır. Çalışmamız üç farklı yol güzergahında yapılmış ve her 250 metrede bir kesit alınarak bu kesitler üzerinde beş adet ölçüm yapılmış bu ölçümlerin ortalamaları hesap edilmiştir. Ölçümler yapıldığında ölçüm sonucunda yoğunluk, sıkışma, sıcaklık değerleri elde edilmiştir. Bu elde edilen veriler kalibre edilerek SPSS programına aktarılmış ve ANOVA ile korelasyonlara bakılmıştır. Aynı yol kesimlerinde bir yıl içerisinde dört kez aynı ölçümler yapılmış ve elde edilen veriler yolda meydana gelen değişimleri tespit etmek için kullanılmıştır. Bu amaçla istatistiksel modeller geliştirilmiş ve tahminler ortaya konulmuştur. Böylece üstyapıya ait kalite kontrol göstergeleri tespit edilmiş ve yolda yapım aşamasında ve sonrasında oluşabilecek hatalar göz önüne çıkarılmıştır. Ayrıca ilerleyen süreçlerde yapımdan kaynaklı hasarların oluşmaması için bilgi sahibi olunmuştur. Çalışma sonunda elde edilen veriler ülkemiz karayolu yapım ve denetçileri için de bir gösterge niteliği taşımaktadır.

**Anahtar sözcükler:** Kalite kontrol, Yol üstyapısı, Tahribatsız test, Elektromanyetik yoğunluk ölçer (PQI).

## ABSTRACT

### QUALITY CONTROL ON PAVEMENT WITH NON-DESTRUCTIVE ELECTROMAGNETIC TEST METHOD

Murat BAYAZIT  
Düzce University

Graduate School of Natural and Applied Sciences, Department of Civil Engineering  
Master's Thesis

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Sercan SERİN  
August 2019, 44 pages

With this study, an alternative to the destructive core drilling method used in quality control studies on the highways of our country was created. Thus, the problematic aspects of the core drilling method were eliminated and in a shorter time a more efficient method was used to gain knowledge of the superstructure. In this context, non-nuclear electromagnetic testing method, which is one of the electromagnetic test methods that can be used in road superstructure, has been carried out in the field and in the laboratory. The first part of the study was carried out with calibration control samples prepared in laboratory. The non-nuclear electromagnetic tester is calibrated for different bituminous hot mixtures. In the second stage of the study, field studies were carried out. In this context, non-destructive tests were carried out by using non-nuclear electromagnetic test equipment in different road sections which were not manufactured and put into service. Our study was carried out on three different road routes and five cross-sections were taken every 250 meters and the average of these measurements were calculated. When measurements were made, density, compression, temperature values were obtained. These data were calibrated and transferred to SPSS program and coleration with ANOVA were examined. The same measurements were made four times in one year on the same road sections and the data obtained were used to detect changes in the road. For this purpose, statistical models have been developed and predictions have been put forward. Thus, the quality control indicators of the superstructure were determined and errors that may occur during and after the construction of the road were considered. In addition, in order to avoid damages caused by construction in the following processes, we have been informed. The data obtained at the end of the study is an indicator for the road construction and inspectors of our country.

**Keywords:** Quality control, Pavement, Non-destructive test, Electromagnetic densty gauge (PQI).

# 1. GİRİŞ

Üstyapı değerlendirmesinde bir karayolu kesiminin yapısal ve fonksiyonel durumunu belirlemek amacıyla belirli periyotlarda gözlemler veya programlı bir şekilde aksiyonların gerçekleştirilmesi gerekir. Yapısal durum, defleksiyon ölçümleri gibi üstyapının kapasitesi, tabaka kalınlıkları ve malzemenin özellikleri ile ilgilidir. Fonksiyonel durum ise üstyapı kesiminin sürüş ve yüzey dokusunun kaliteli olup olmadığını belirler (Russel vd., 2011).

Günümüzde teknoloji ile iç içe olan endüstri alanında kullanılan materyallerin kullanımlarında veya üretim aşamalarında, yapılarında oluşacak herhangi bir korozyon (paslanma), kılcal veya normal çatlamlar, gözenek genişlemesi vb. durumlarda büyük maddi kayıplar oluşabilmektedir. Bu kayıpları önlemek için tahribatlı veya tahribatsız test yöntemleri kullanılarak kusuru olan materyaller önceden belirlenmektedir. Tahribatlı test yöntemleri genellikle materyal üzerinde bükme, çekme gibi kuvvetler uygulanarak muayeneye tabi tutulur. Genellikle bu fiziksel müdahaleler sonucunda materyaller zarar görür ve kullanılamaz hale gelir (Russel vd., 2011).

Tahribatsız test yöntemleri, tahribatlı testlere göre iki önemli faydaya sahiptir. Birincisi; tahribatlı testler üstyapıya zarar verir veya testler için üstyapı malzemesinin çıkarılmasını gerektirir. Ancak tahribatsız test yöntemlerinde üstyapıya herhangi bir zarar verilmeden üstyapı hakkında değerlendirme yapabilmek olanağı sağlanmaktadır. İkinci faydası ise trafiğin kesintiye uğramaması ve ucuz olmasıdır (Saltan M., 1999).

Tahribatsız test yöntemleri uygulamaları çalışma anında sistemler durdurulmadan yapılabilir ve çoğu uygulamalarda sonuçlar test sırasında alınır (Saltan M., 1999).

Tahribatsız testler daha sonra ihtiyaç duyulacak tahribatlı testlerin değerlendirilmesi, tahribatlı test yapılacak noktaların tespiti, rijitlik ve gerilme değerleri gibi hali hazırdaki yapısal kapasitenin mevcut durumu ile ilgili temel konularda da çalışmalara destek vererek kullanılabilir (Saltan M., 1999).

Bir üstyapının durumunu belirlemek için yukarıda bahsedilen yapısal özellikleri belirlemenin yanında trafik yükleri altında dayanımının da tespit edilmesi gereklidir.

Aynı zamanda yeni inşa edilmiş üstyapıların da yoğunluklarının belirlenmesi ve dayanımlarının tespiti projeye uygunluğu önemlidir. Bunun için karot numunesi alınarak basınç altında tayini yapılabilmektedir. Ancak karot numunesi almak hem zahmet verici hem de üstyapının sadece belirli kısımları hakkında bilgi vermektedir. Bu aşamada tahribatsız deney aletleri daha fazla önem arz etmektedir. Tahribatsız deney aletleri ile kısa sürede üstyapının geniş bir bölümü için ölçüm yapıp üstyapı hakkında doğru bilgi elde edilebilmektedir (Shahin M.Y., 2002).

Yapılan bu çalışmada yeniden inşa edilen tabakalı sisteme sahip 3 adet karayolunun 10,5 km' lik bir kesiminde tahribatsız test yöntemlerinden (NDT) Elektromanyetik Test Yöntemi ile Kalite Kontrol (Pavement Quality Indicator) kullanılarak incelemeler yapılmıştır. Böylece yolda tasarımda planlanan dayanıma ulaşıp ulaşılamadığı ve yol kesimi üzerinde her hangi bir anomali olup olmadığı tespit edilmiştir.

Laboratuar ortamında dökülen numuneler ile arazide ölçülen değerlerin karşılaştırılıp trafik yükleri altında ne kadar değişiklik olduğu da gözlemlenmiştir. Ayrıca araç yoğunluğuna göre değişikliklerde kayıt altına alınmıştır.

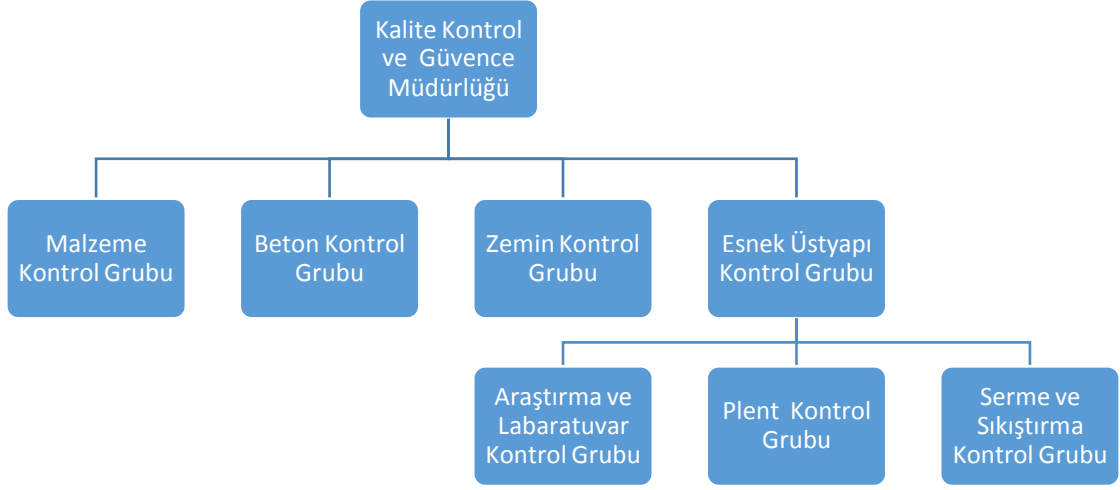
## **2. ÜSTYAPIDA KALİTE KONTROL, KALİTE GÜVENCESİ VE TEST YÖNTEMLERİ**

### **2.1. ÜST YAPIDA KALİTE VE KALİTE GÜVENCE**

Günümüzde sanayileşme ile kalite ve toplam kalite yaklaşımları beraber gelişmiştir. Kalite, kurumların rakipleri arasında üstünlüklerini belirlemek ve belgelemek için kullandıkları en önemli unsur haline gelmiştir. Günümüzde kalite bir yaşam tarzı haline gelmiştir. Kurumların verdiği hizmet ve ürünlerde müşterisi konumunda olan kişilerin bu hizmet ve ürünlere eğilimleri de kaliteyi belirleyebilecek konumdadır. Kalite kişilerin parasal gücü ile doğrudan orantılıdır. Ayrıca arz ve talep dengesiyle de doğrudan ilişkilidir. Kalite aynı zamanda bir ürünün sağlanabilirlik, güvenilebilirlik ve sürdürülebilirlik derecesi olarak da görülmektedir (Yatkın, 2004).

Üstyapıda kalite proje içerisinde verilen şartnamelerde veya Karayolları teknik şartnamesine göre bilgi ve donanımına sahip teknik kadro ile denetlenerek yapılmaktadır. Karayolları teknik şartnamesinde artı - eksi % 3 ile sıkışma işlemi kabul görmektedir. Yapılan yolun anayol, tali yol veya köy yolu olması projelerde oranların değişmesine yol açsa da bu oran artı - eksi % 5 den fazla kabul edilmemektedir (KTŞ., 2013).

Kalite güvencesi bir ürün veya hizmetin kalite konusunda belirtilmiş gerekleri yerine getirmesinde yeterli güveni sağlamak için uygulanan planlı ve sistematik etkinlikler bütünü olarak tanımlanmaktadır. Temelinde ürün ya da hizmetin geçtiği tüm aşamalardaki talimatlar, görev ve sorumluluk tanımları vb. ile belgelendirmesi, çalışanların eğitilmesi ve kalite konusunda bilinçlendirilmesi ile kalitenin planlanan düzeyde en az kaynak kullanımıyla korunması vardır. Kullanıcının gereksinimleri tam olarak ve belirlendiği şekilde karşılanmadığı sürece kalite güvencesi sistemi tanımlanmış sayılmaz (Yatkın, 2004).



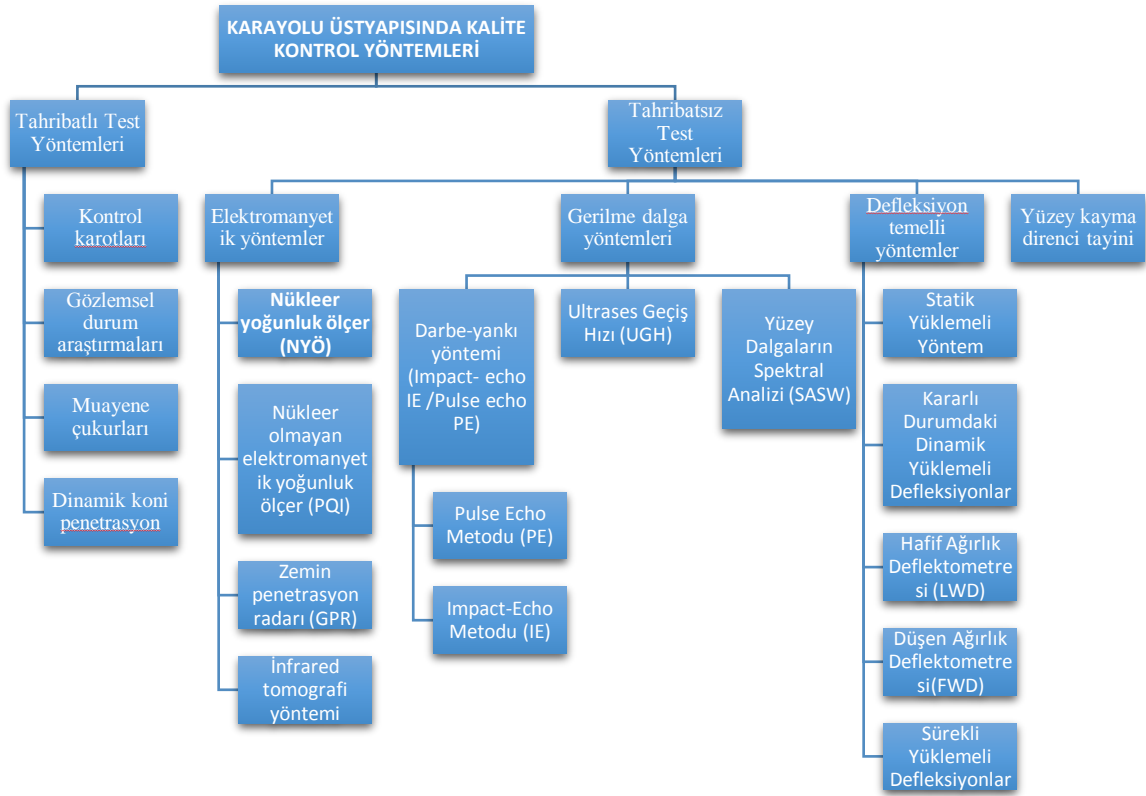
Şekil 2.1. Esnek Üstyapı Kontrol Grubunun Yapısı.

Kalite Kontrol ve Güvence Müdürü (Şefi) ve yardımcıları Kontrol Mühendislerinden oluşur. İşin yürütülmesinde esas yetkili ve sorumlu Kontrol Şefidir. Kontrol Şefinin yetki ve sorumlulukları ilgili kanunlarla, teknik ve idari şartnameler/yönetmelikler ile hizmete özel emirlerle belirlenmiştir. Bu sebeple Kontrol Şefi ve Kontrol Mühendisleri gerekli olan tüm mevzuatı tam olarak bilmekle yükümlüdür. Araştırma ve laboratuvar kontrol grubu işin istenilen nitelikte yapılmasını kontrol eden çok önemli bir ekiptir. Yapılan işin büyüklüğüne göre personel sayısı değişmekle birlikte asgari bir araştırma teknisyeni ve bir laboranttan oluşur. İşin yoğun olduğu durumlarda ekibi bir düz işçi ile takviye etmek gerekebilir. Kalite kontrol faaliyetlerinde gerekli inceleme ve periyodik deneylerin yapılabilmesi için sabit tesislerdeki laboratuvarlar veya gezici (mobil) şantiye laboratuvarlarında kullanılmak üzere gerekli tüm teçhizat, araç ve gereçlerin temini ile kalibrasyonları yapılmalıdır. Araştırma ve Laboratuvar Kontrol Grubu, agreganın temininden karışımın serilip sıkıştırılmasına kadar esnek üstyapı tabakalarının inşasındaki her aşamada laboratuvar ve arazi koşullarındaki gerekli inceleme ve deneysel çalışmaları yaparak Kontrol Şefliğine günlük raporlar halinde bildirmekle ve karşılaşılan olumsuzlukların giderilmesi için Kontrol Şefi veya ilgili Kontrol Mühendisinin yazılı veya sözlü talimatları doğrultusunda gerekli düzeltmeleri ve uygulamaları yapmakla sorumludur. Plent kontrol grubu mekanik stabilizasyon plenti ve asfalt plentinin kullanımına ait el kitabında yazılı bilgilere ve genel prensiplere göre plenti ve karışımı kontrol eder. İşyeri karışım formülüne göre karışımdan istenen özelliklerin tümü ve tartı işleri kontrol edilir. Bu amaçla üretilen plentmiks alttemel /temel ve bitümlü sıcak karışımdan uygulanan bitüm yüzdesi ve agrega karışım oranlarının kontrolü için yeterli miktarda örnek alarak Araştırma ve Laboratuvar Kontrol

Grubu'na teslim eder. Serme ve Sıkıştırma Kontrol Grubu esnek üstyapının inşası için sevk edilen plentmiks alt temel / temel ve bitümlü sıcak karışımın serilmesinden sıkıştırılıp, yolun trafiğe açılmasına kadar tüm işlemlerden sorumlu kontrol grubudur (Turabi A. vd., 2005).

## 2.2. ÜSTYAPIDA KALİTE KONTROL

Üst yapıda kullanılabilir tahribatlı ve tahribatsız test yöntemleri Şekil 2.2 'de şema ile gösterilmiştir.



Şekil 2.2. Kalite Kontrol Yöntemleri Şeması.

Yol gövdesi, altyapı ve üstyapı olmak üzere iki kısımdan oluşur. Altyapı yarma ve dolguları içerir. Üstyapı ise trafik yüklerini taşıyıp, azaltarak altyapıya aktaran, üzerinde trafiğin akabileceği düzgün bir yüzey oluşturan ve yol gövdesini doğanın bozucu etkilerine karşı korumak amacıyla yapılan tabakalı bir yapıdır. Yüklerinin büyük bir kısmının üstyapıyı oluşturan bitümlü bağlayıcılı ya da bağlayıcısız tabakalar tarafından taşındığı, kalan kısmın tabana aktarıldığı bir üstyapı tipidir. Esnek üstyapı belirli özelliklere sahip malzemelerden oluşmuş bir seri tabakayı içerir. Tabaka kalınlıkları tabanın taşıma gücü ve trafik yüklerine bağlı olarak hesaplanır. Ülkemizde; teklif ve

sözleşmelerin hazırlanması, müteahhitlerin seçimi, malzeme seçimi, kalite kontrol deneyleri ve yapım tekniklerine ilişkin konularda sözleşme ve eklerinde belirtilen şartnameler ve çalışan ekibin iş deneyimlerine dayalı bir kalite anlayışı süregelmektedir. İstenen kalitede yolu bir seferde inşa etmek için yapılması gerekenler çoğu zaman bilinmemekte, bilinse de tam anlamıyla uygulanmamaktadır. Böylelikle, proje hizmetlerinden esirgenen zaman, şantiyede kaybedilen zaman haline gelmektedir. Karayolu projesini kaynakları en verimli şekilde kullanarak amaçlanan standartlarda, kaliteli bir yapıya dönüştürebilmek iyi işleyen bir “Kalite Yönetim Sistemi” ile mümkündür (Turabi A. vd., 2005).

Kalite yönetimi; hedeflerin, standartların, kaynakların ve metotların belirlendiği, her aşamada kontrol, ölçüm ve deneylerin yapıp rapor edildiği bir sistem olarak özetlenebilir. Ülkemizde uygulanan bazı kalite kontrol yöntemleri aşağıdaki çizelgede verilmiştir (Turabi A. vd., 2005).

Çizelge 2.1. Tahribatlı ve tahribatsız test yöntemleri.

<b>Tahribatlı test yöntemleri</b>	<b>Tahribatsız test yöntemleri</b>
Kontrol karotları	Elektromanyetik yöntemler
Gözlemsel durum araştırmaları	Gerilme dalga yöntemleri
Muayene çukurları	Defleksiyon temelli yöntemler
Dinamik koni penetrasyon	Yüzey kayma direnci tayini

Üstyapıda kalite kontrolün önemli göstergelerinden birisi yoğunluk tayinidir. Yerinde yoğunluk, asfalt kaplamaların dayanıklılığını etkileyen kilit faktörlerden biridir, çünkü ya çok yüksek ya da çok düşük yoğunluk, erken kaplama bozulmalarına neden olabilir (Leng, Z. vd. 2011; Hu, J. vd. 2016). Örneğin, yetersiz yoğunluk oksidasyon, su hasarı, çatlama riskini artırabilirken, asfalt karışımı bittiğinde tekerlek izi, yansıma çatlama ve kuma gibi kusurlar meydana gelebilir (Leng, Z. vd., 2018; Caro, S. vd., 2014; Kandhal, P. vd., 1996; Xu, S. vd., 2017; Xiao, F. vd., 2012; Leng, Z. vd., 2012).

### 2.2.1. Tahribatlı Kontrol Yöntemleri

Üstyapı hakkında tahribatsız testlerle elde edilemeyen daha detaylı veriler sağlamak için tahribatlı test yöntemleri kullanılmaktadır. Bunlar şu şekilde sıralanabilir (Russel vd. 2011);

- Laboratuarda elde edilmiş mekanik, fiziksel ve kimyasal özellikler (karotlar, Shelby tüpleri ve kanal açma yöntemleri aracılığıyla elde edilen),
- Karot ve açılan kanallar sayesinde üstyapı tabakalarının görsel değerlendirmesi.

Tahribatlı test yöntemleri aşağıda kısaca özetlenmiştir (S.Serin, 2014).

- Gözleme dayalı durum araştırmaları
- Kontrol karot numuneleri
- Muayene çukurları
- Dinamik koni penetrasyon

#### 2.2.1.1. Gözleme Dayalı Durum Araştırmaları

Gözleme dayalı durum araştırmaları, üstyapının yapısal ve fonksiyonel durumunu belirleme yöntemlerini içine alsada; genellikle genel durumu belirlemek amaçlı kullanılan bir yöntemdir. Fonksiyonel ve yapısal özellikler belirlemede özel bir ekipman kullanılmaktadır. Karayolunun belirlenen kesitlerinde iki veya daha fazla değerlendiricinin aynı kesimde aynı sonuçları elde etmiş olması daha doğru ve idealdir. Ancak üstyapıda değerlendirme aşamasında öznel birçok yönler mevcuttur. Örnek olarak timsah sırtı çatlaklarının neden olduğu bozulmalar yüzdesel olarak gözleme dayalı durum araştırmacıları için son derece bağımlı değerlendirmelerdir (Russel vd, 2011).



Şekil 2.3. Yol üzerindeki timsah sırtı çatlakları (A.K. Bakımı, 2018).

### 2.2.1.2. Kontrol Karot Numuneleri

Üstyapıda yoğunluk ve sıkışma kontrollerinin yapılması için yol üzerinde belirli noktalardan alınan numunelerdir. Bu numune alımı yapılırken bazı sıkıntılar meydana gelmektedir. Bu sıkıntılardan en önemlisi kullanılmakta olan bir yola tahribatlı yöntem olduğu için zarar vermektedir. Karot alındıktan sonra oluşan delilerin tamirata yapılmasına rağmen bölgesel zayıflıklar meydana gelmektedir. Karot alımında yoğunlukların belirlenmesi zaman almaktadır. Ayrıca karot alımlarında karot alınacak yolun uzun zaman önce yapılmış olması gerekmektedir. Alınan karot numunelerinin muhafaza edilmesi ve laboratuvar ortamına getirilmesi gerekmektedir. Karotlar alındıktan sonra tekrar karot deliklerinin doldurulması da gecikmeye neden olmaktadır (Steve, 1994).



Şekil 2.4. Araziden karot numunesi alma (BİÖ İdaresi, 2012).

### 2.2.1.3. Muayene Çukurları

Bu çukurlar problemleri yerlerde tabakaların araştırılmaları veya adli durumların kararlaştırılması için kazılırlar (Russel vd, 2011).

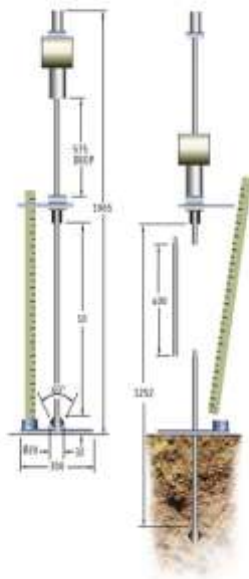
Muayene çukurları araştırmalara cevap verebilecek şekilde açılmalıdır. Kaplama tabakaları keski ile kesilip yerinden çıkartılarak tüm katmanların görülmesine olanak sağlanmalıdır. Görülmeyen noktalar kazı yapılarak inceleme yapılır ve veriler toplanır (Russel vd, 2011).



Şekil 2.5. Arazi üzerinde muayene çukuru ve kesit gösterimi (Russel vd, 2011).

#### 2.2.1.4. Dinamik Koni Penetrasyon (DCP)

Üstyapı tabakalarında kalınlıkların belirlenmesi, alt tabakaların stabil olup olmaması gibi kontrollerde ve tabakaların rijitlik değerlerinin tespitinde kullanılmaktadır. DCP değerleri geliştirilmiş formüller sayesinde modül değerlerine dönüştürülebilmektedir. Asfalt veya beton kaplamaların dayanımının belirlenmesinde bu yöntemin kullanılması uygun değildir. Bu nedenlerden dolayı eğer incelediğimiz yerlerde bu tabakalar mevcut ise bir matkap yardımı ile delerek ölçüm yapılabilir (Chen vd, 2001).



Şekil 2.6. Arazide dinamik koni penetrasyon uygulaması (Z.A. Merkezi, 2004).

### 2.2.2. Tahribatsız Kontrol Yöntemleri

Arazide yapılan tahribatsız deneyler veri toplama açısından bakıldığında objektif, fakat verilerin analizi ve yorumlaması kısmına bakıldığında zaman zaman subjektif olduğu da görülmektedir. Tahribatsız test yöntemleri daha önce kullanılan yöntemler gibi trafiği aksatacak ve/veya yol bakım gerektirecek herhangi bir gecikmeye yol açacak kontrol yöntemleri değildirler. Bundan dolayı tercih edilen kontrol yöntemleridir. Ayrıca kullanılan aletler arazide sonuç verdiği için laboratuvar ortamına gerek duyulmamaktadır. Tahribatsız test yapıldığında daha sonra ihtiyaç halinde tahribatlı testlerin değerlendirilmesi veya tahribatlı test yapılabilecek noktaların tespiti, gerilme, rijitlik değerleri gibi temel konularda çalışmalara destek olarak kullanılabilir (Russel vd, 2011).

Trafiğe açık bir üstyapının mevcut durumunu belirlemek için güvenilir yöntemlerden biri, tahribatsız test yöntemlerini (Nondestructive Testing-NDT) kullanmaktır. Tahribatsız test yöntemleri, tahribatlı testlere göre iki önemli faydaya sahiptir. Birincisi, tahribatlı test yöntemleri üstyapıya zarar verir ve test için üstyapı malzemesinden numuneler alınması gerekir. Oysa Tahribatsız test yöntemlerinde üstyapıya herhangi bir zarar vermeden üstyapının değerlendirilmesi sağlanır. İkinci faydası ise, trafiğin daha az kesintiye uğraması ve daha az maliyetli olmasıdır (Shahin, 2002).

Tahribatsız test yöntemlerinde, proje için değerli bilgiler elde edilir. Tahribatsız test sonuçları, esnek üstyapılarda aşağıdaki doneleri belirlemek için kullanılır (Shahin, 2002).

- Tabakaların elastiklik modülü,
- Üstyapının yeterli olup olmadığını,
- Tabaka kalınlık tasarımı,
- Trafiğe açık veya açık olmayan alanlar için hareket belirleme profili,
- Üstyapının kalan yapısal ömrü.

Tahribatsız test yöntemleri genelde var olan bir yolun farklı özelliklerdeki tabakaların elastisite modüllerini hesaplamak, Üstyapıdaki kılcal çatlaklar veya derzlerdeki yük aktarımını değerlendirmek, kontrollerini yapmak, alt tabakalarda bulunan boşlukları tespit etmek ve boyutlarını belirlemek amaçlı kullanılır.(Saltan, 1999).

Aşağıda Tahribatsız test aletlerinin seçiminde dikkate alınacak bazı faktörler verilmiştir;

- Uygulamayla ilgili faktörler

- Alınan verilerin kalitesi, güvenilirliği (tekrarlanabilirlik, uygunluk, doğruluk)
- Maddi açıdan uygunluk
- Çok yönlülük ( hareket kabiliyeti)
- Servis süresi

Tahribatsız test yöntemleri aşağıdaki şekliyle gruplandırılabilir (S.Serin, 2014).

- Elektromanyetik Yöntemler
- Gerilme Dalga Yöntemleri
- Defleksiyon Temelli Yöntemler

#### 2.2.2.1. Elektromanyetik Yöntemler

Bu yöntemler teknoloji açısından bakıldığında en güven verici yöntemlerdir. Üstyapıda kalite belirlemek için genelde kullanılırlar (Al-Qadi, 2011). Elektromanyetik dalgalar, manyetik rezonans, elektrikli empedans ve infrared termograf bu grup içinde örnek verilebilir. Ayrıca çalışma kapsamında kullanılmış olan PQI metodu da bu gruba dâhildir.

- Nükleer yoğunluk ölçer
- Nükleer olmayan elektromanyetik yoğunluk ölçer
- Zemin penetrasyon radarı
- *İnfrared tomografi yöntemi*

#### 2.2.2.2. Gerilme Dalga Yöntemleri

Gerilme dalgalarının yayılımıyla alakalı birkaç tahribatsız test yöntemi vardır. Bunlardan kısaca alt başlıklar halinde ilerleyen bölümlerde bahsedeceğiz. Gerilmeler genleşme dalgaları veya sıkıştırma dalgaları (P dalgaları), Burulma dalgaları veya kayma dalgaları (S dalgaları), birde yüzey dalgaları (R dalgaları) halinde yayılır. P ve S dalgaları malzemenin içine doğru giderken R dalgaları ise yüzey boyunca ilerlemektedir. P ve S dalgaları zemin ile tabaka arasında ilerlerken bir engel ile karşılaştığında dalgaların bir kısmı bu engelden yansır ve bir bölümü de kırılır. Bu yansıyan ve kırılan dalgaların genlikleri engeldeki malzemeye ve geliş açısındaki farklılığa bağlıdır. Dalgaların emilmesi ve ayrışmasından kaynaklı olarak dalgalar zayıflayacağı için uzun dalga boyu oldukça dalga enerjisi de o kadar az olur (Graveen 2001).

- Darbe-yankı yöntemi (Impact- echo IE /Pulse echo PE)
  - Pulse Echo Metodu

- Impact - Echo Metodu
- Ultrases Geçiş Hızı
- Yüzey Dalgaların Spektral Analizi

### 2.2.2.3. Defleksiyon Temelli Yöntemler

Defleksiyon temelli yöntemler kontrol altındaki statik veya titreşimli etki yapılan zemin yüzeylerde ölçülen defleksiyonlara bağlı olarak genelde zemin tabaka rijitliğini belirleyen metotlar olarak tanımlanabilir (Al-Qadi vd., 2011). Günümüz teknolojisinde defleksiyon ölçümünde oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu aletler üzerine uygulanan yük seviyelerinin farklılıkları ve uygulanan yükün şekli ile ölçülen noktaların sayısına bağlı olarak farklı isimler almaktadır. Düşen ağırlık deflektometresi (FWD) asfaltın malzeme karakterizasyonu ve performansı (Siddharthan vd., 1991), tabakalar arasındaki bağlayıcı (aderans) durumunun belirlenmesi (Al-Hakim vd., 2000), üstyapıdaki rijitlik (Lu vd., 2008) ve başka tahribatsız test metotları ile karşılaştırmalı olarak verilen birçok çalışmada (Little, 2001; Saedd ve Hall, 2002; Wimsatt ve Scullion, 2003) kullanılmıştır.

- Statik Yüklemeli Yöntem
- Kararlı Durumdaki Dinamik Yüklemeli Defleksiyonlar
- Hafif Ağırlık Deflektometresi
- Düşen Ağırlık Deflektometresi
- Sürekli Yüklemeli Defleksiyonlar

## 2.3. KALİTE KONTROLDE YOĞUNLUK VE SIKIŞMA

Geleneksel olarak, asfalt karışımının yerinde yoğunluğunu tahmin etmek için yaygın olarak iki yöntem kullanılmaktadır. Bunlar karot alma ve nükleer yoğunluk ölçer kullanmaktır. Karot alma metodu dünya çapında yaygın bir şekilde kullanılmaktadır, çünkü daha doğru ölçüm gerçekleştirdiği düşünülmektedir. Nükleer yoğunluk ölçüm metodu ABD'de yaygın bir şekilde kullanılmaktadır, çünkü tahribatsız bir yöntemdir ve cihaz makul derecede doğru bir tahminin yapabilmektedir (Leng, Z. vd., 2012; Williams, S.G., 2008). Ancak, bu iki yöntemin de bazı sınırlamaları vardır. Karot, doğru ölçüm sağlarken, üstyapıya zarar verir. Karot yerleri genellikle erken sıkıntıların meydana geldiği zayıf noktalar haline gelir ve bu noktasal sıkıntılar hızlı bir şekilde geniş bir alana yayılabilir; bakım ve rehabilitasyonda ekstra maliyete neden olabilir

(Leng, Z., vd. 2011). Ayrıca, karot ve doldurma işlemi zaman alıcıdır. Trafığın açılma süresini geciktirebilir ve uzun trafik kesintilerine neden olabilir. Nükleer yoğunluk tahribatsız bir cihaz olmasına rağmen, ışınla gerçekleştiriyor olması nedeniyle potansiyel güvenlik riskleri taşır. Sonuç olarak, göstergelerin depolanması ve taşınması sırasında özel dikkat gösterilmesi gerekir ve çalışmalarının lisanslı operatörler tarafından yapılması gerekir (Leng, Z. vd., 2012; IAEA, 1996).

Aynı zamanda nükleer olmayan yoğunluk göstergeleri olarak da bilinen elektromanyetik yoğunluk göstergeleri, son zamanlarda iki geleneksel yöntemle alternatif olarak artan ilgi kazanmıştır. Çalışmalar elektromanyetik dalgalar gönderme ve almaya dayandığından, hasarını ve güvenlik kaygılarını tamamen ortadan kaldırmanın avantajlarına sahiptir (Leng, Z., vd., 2018).

#### **2.4. NÜKLEER OLMAYAN ELEKTROMANYETİK YOĞUNLUK ÖLÇER (PAVEMENT QUALTY INDICATOR- PQI)**

Nükleer olmayan elektromanyetik yoğunluk ölçer (Pavement Quality Indicator (PQI) asfalt kaplamalarda daha hızlı ve daha hassas yoğunluk ölçümleri için geliştirilen bir yöntemdir. Herhangi bir nükleer kaynağa sahip değildir. Nükleer olmadığı içinde hem kullanan kişi için, hem de çevreye olan etkisi için elverişli bir yöntem olduğu söylenebilir. Bu nedenle lisans almak veya güvenlik önlemleri için maddi harcamalar yapmayı ciddi oranda azaltmaktadır. Yapılan ölçümleri üç saniye gibi kısa sürede hassas olarak gerçekleştirilebilmektedir (S.Serin, 2014).

Asfalt üzerinde tahribat yapmadan, trafik akışı devam ederken hiç bir aksama olmadan ölçüm yapabiliriz. Bu yöntem tahribatlı yöntemlere göre hem daha hızlı, hem de daha az maliyetlidir. İşlem bittikten sonra düzeltilecek yama yapılacak herhangi bir tabaka asfalt yüzey yoktur. Ayrıca taşınabilirlik açısından kolay ve portatif bir deney aletidir. Şekil 2.7' de PQI301 modeline ait bir resim bulunmaktadır (S.Serin, 2014).



Şekil 2.7. PQI Deney Aleti.

Nükleer olmayan test yöntemleri, Nükleer olan test yöntemlerine karşı alternatif olarak çıkmıştır. PQI test aleti sıkıştırılmış zemin içerisine elektromanyetik dalgalar göndererek geri dönen dalgaları hesaplamak suretiyle yoğunluğu ölçmektedir. Normal şartlarda PQI test aleti ölçüm yapılan bölgeden beş adet karot alınarak kalibre edilmelidir. PQI testinde değişik yoğunluk ölçüm seçenekleri mevcuttur. Örnek olarak ortalama mod seçilerek ölçüm yapılırsa ölçümlerin ortalamasını alarak yoğunluk değeri bulunmaktadır (Kabassi vd, 2011).

### 3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Bu yeni yoğunluk ölçerlerin performansını araştırmak için çeşitli çalışmalar yapılmıştır. 1999 yılında PQI ölçüm aletinin ilk modeli ile bir Humbolt nükleer alet ölçümünün yoğunluk değerlerinin karşılaştırılması yapılmıştır (Rogge vd. 1999). Başka bir araştırmada ise Sully - Miller şirketi PQI test aletinin ilk modeli ile nükleer yoğunluk ölçeri kıyaslamış, PQI test aletinin standart sapmasının daha az olduğunu kanıtlamıştır. Yüzey dokusuna baktığında var olan farklılıkların nükleer yöntemde çok büyük etkisi varken PQI test yönteminde büyük bir etki yaratmadığı görülmüştür. Böylece araştırma sonunda PQI deney aletinin, Bitümlü sıcak karışımlarda yoğunluk tespit etmek için yeterli olduğu görülmüştür (Kabassi vd, 2011). Başka bir araştırmada ise nükleer olan ve nükleer olmayan yöntemlerle yoğunluklar ölçülüp karşılaştırılmış, PQI için beş adet kalibrasyon karot numunesi kullanılmış yoğunluğu tespit edilmiştir. Bu bulgular ışığında PQI' in kalite kontrolü için yeterli olduğu fakat kalite güvencesi için yeterli olmadığı görülmüştür (Allen vd, 2003).

Romero, 2002 yılında yapmış olduğu çalışmada ise piyasada var olan nükleer olmayan yoğunluk ölçer aletlerinin (PQI) BSK' in yoğunluğunu belirlerken kullanılabilir olduğunu tespit etmiştir. Araştırmacı, sabit sıcaklık ve laboratuvar koşullarında PQI sonuçlarının yüksek doğrulukta olduğunu belirtmiştir.

Zhuang vd. 2011'de bir dizi saha ve laboratuvar testi yaptı ve kullandıkları elektromanyetik yoğunluk göstergesinin kabul edilebilir yoğunluk ölçüm doğruluğu sağladığı sonucuna vardılar. Bununla birlikte, bazı diğer çalışmalar, kaplama sıcaklığı, nem durumu vb. gibi çeşitli faktörlerin elektromanyetik yoğunluk ölçer ölçümünün doğruluğu üzerindeki potansiyel etkileri konusundaki endişelerini ortaya koydu. Williams vd. 2008'deki çalışmalarında birkaç faktörün elektromanyetik yoğunluk göstergelerinin doğruluğu üzerindeki etkilerini belirledi ve sıcaklığın elektromanyetik yoğunluk göstergesinin ölçüm doğruluğunu etkilemediğini buldular. Ek olarak, elektromanyetik yoğunluk ölçeri yoğunluğu ölçüm doğruluğunu iyileştirmek için referans örnek sayısının arttırılması önerilmektedir. PQI 300 gibi daha önceki elektromanyetik yoğunluk ölçer modelleri bazı araştırmacılar tarafından bir kalite

kontrol aracı olarak bile önerilmemiştir. Elektromanyetik yoğunluk göstergelerinin doğruluğuna ilişkin kesin olmayan bulgular nedeniyle, pratikte bu göstergelerin mevcut uygulaması, geleneksel yöntemlere kıyasla avantajlarına rağmen, sınırlı ve çeşitli parametrelerin elektromanyetik kullanarak yoğunluk ölçüm doğruluğu üzerindeki etkileri hakkında daha iyi bir anlayışa sahiptir (Leng, Z., vd. 2018).

Paula Wiles, P.E., vd. (2010) tarafından yapılan çalışmada, Transtech Systems, Inc. tarafından geliştirilen PQI 301 Asfalt Yoğunluğu cihazı, halihazırda ihtiyaç duyulan nükleer yoğunluk ölçer yerine kullanılıp kullanılamayacağını belirlemek için MDOT tarafından değerlendirildi. Nükleer yoğunluk göstergeleri, MDOT personelinin bir lisans almasını, sertifikalandırılmasını ve rozetini takmasını ve radyasyona maruz kalmasını gerektirir. PQI 301, kolay, düşük maliyetli, kolay taşınır ve aynı zamanda hızlı ve hatasız olduğu ilan edildi. MDOT, biri Gulfport Proje Ofisine, diğeri de MDOT Malzeme Bölümüne yerleştirilmiş iki PQI 301 cihazı satın aldı. Her iki cihaz da sonuçların karşılaştırılmasında kullanılmıştır. Çalışma sırasında PQI 301 ile 236 yoğunluk okuması yapıldı. Ancak, eğitimdeki zorluklar, standart bir veri toplama ve belgelendirme yönteminin eksikliği ve veri toplamadaki tekdüzelik eksikliği, PQI ile nükleer yoğunluk ölçer arasında veri karşılaştırmasını imkansız hale getirdi. Ajans PQI 301'i uygulamak isterse, MDOT kalite güvencesi, eğitim ve standart veri toplama yöntemleri hakkında daha fazla araştırma isteyebilir. Bu araştırmanın deneysel program kısmı boyunca, iki PQI 301 nükleer olmayan cihazla alınan 236 toplam yoğunluk okuması vardı. Daha önce bu raporda belirtildiği gibi, nem verisi toplama yöntemindeki bir değişiklikten kaynaklanan bir komplikasyon nedeniyle neredeyse 28 okuma geçersiz sayıldı. Tüm okumalar MDOT Bölge 1 Malzeme Bölümü ve Bölge 6 personelinin birleşik çabalarının sonucudur. Nükleer olmayan cihazla toplanan tüm yoğunluk ölçümlerine nükleer gösterge yoğunluğu, asfalt karot yoğunluğu veya her ikisi de eşlik etti. Belirli bir veri toplama yöntemi olmadan, yoğunluk okumalarının çoğuna, toplama süresi, proje yeri, test edilen asfalt matının tipi ve yoğunluk ölçümü sırasında ortam nemi dahil olmak üzere farklı veri noktalarına da eşlik edildi.

Leng, Z., vd. (2018) çalışmalarında elektromanyetik (EM) yoğunluğun performansını değerlendirmeyi amaçlayan bir laboratuvar çalışması sunmaktadır. Sıcak karışım asfaltı yoğunluk ölçümü için tahribatsız bir araç olarak kullanırlar. Toplamda, 36 Sıcak karışım asfalt laboratuvarında farklı kompozisyonlara sahip test plakaları hazırlandı. EM yoğunluk göstergesi verileri toplandı bu levhalardan iki ortak gösterge tipi, yani PQI 301 ve

PaveTracker 2701B kullanılarak kütle yoğunlukları standart doymuş yüzey metodu ile ölçülmüştür. Asfalt bağlayıcı içeriği, karışım hava boşluğu içeriği ve kalınlığı, test plakaları EM yoğunluk göstergelerinin doğruluğunu etkilemez. Bununla birlikte, EM yoğunluk ölçer ölçümler nem varlığından, asfalt karışımının derecelenmesinden ve kalibrasyonundan etkilenen bir yöntemdir. Ayrıca PaveTracker'ın miks kalibrasyonu ile doğruluğunun karşılaştırılabilir olduğu sonucuna varılmıştır. Bu çalışma, iki ortak türün doğruluğunu araştırdı. Asfalt kaplama için EM yoğunluk ölçer, PQI ve PaveTracker ile farklı koşullar altında yoğunluk ölçümü yapılmıştır. EM yoğunluk ölçer ölçümünün doğruluğu önemli ölçüde olabilir kalibrasyon ile geliştirilmiştir. Laboratuvar'da hazırlanan test örnekleri için bu çalışmada, PQI ve PaveTracker hata yüzdeleri sırasıyla %15'ten % 1.5'e ve % 19'dan % 0.2'ye düşürülmüştür. Karışım kalibrasyonundan sonra, nem varlığının üzerindeki etkisi, ölçüm doğruluğu yönünden PQI ve PaveTracker için önemli değildir. Asfalt içeriği ile net bir ilişki yoktur. EM yoğunluk ölçer ölçümünün doğruluğu, İstatistiksel analiz asfalt karışımının etkisinin olduğunu göstermiştir. PQI kullanarak yoğunluk ölçümündeki derecelendirme göz ardı edilemez. Halen, geçerliliği onaylamak için izleme saha çalışmaları yürütülmektedir. İki göstergenin yerinde performansları ve buna karşılık gelen sonuçlar hazır olduğunda yayınlanacaktır (Leng, Z., vd. 2018)

Gilbert, A. (2003) çalışmalarında asfalt endüstrisinin yıllardır yoğunluk tayini için nükleer yoğunluk ölçer kullanmak zorunda kaldığını vurgulamışlardır. Çalışmada yerleştirilen asfaltın kalitesi, nükleer göstergeler çok tehlikelidir, bu operatöre karşı bir sorumluluktur ve halka açıktır. Ancak son birkaç yıl boyunca nükleer göstergeye uygun bir alternatif elde edilebildi. Nükleer yoğunluk göstergesine göre muazzam bir avantaj sunan bir elektromanyetik yoğunluk ölçer geliştirilmiştir. Elektromanyetik asfalt yoğunluğu göstergeleri taşınabilirlik, hassasiyet, güvenlik ve nükleer asfalt yoğunluk göstergelerine kıyasla düşük işletme maliyetleri sunar. Silahlar için nükleer göstergelerin potansiyel kullanımı ve göstergeleri ve bunların kaybını içeren sayısız kaza ile, Elektromanyetik ölçer ile nükleer ölçerlerin ikame edilmesi için tekil olarak iyi durumdur. Bu durum elektronik olarak gelişmiş hızlı ve kesin bir ölçüm sistemi ile desteklenmektedir. Elektromanyetik ölçer uygun bir alternatiftir, Asfalt kaplamaların yapımında kalite kontrol ve kalite güvencesi için kullanılan yoğunluk göstergesidir.

Kabassi, K., vd. (2011) yaptıkları çalışmada; yoğunluğun sıcak karışım asfalt (HMA) kaplama kalite kontrolünün önemli bir parçası olduğunu tespit etmişlerdir. Bir HMA

kaplamanın uzun vadeli performansı, döşemenin yetersiz yoğunluğundan etkilenebilir. Bu çalışma, yoğunluğunu ve nem içeriğini belirlemek için kaldırımından geçen akımı kullanarak elektriksel empedans prensiplerini kullanan Kaldırım Kalite Göstergesi (PQI) model 301'i değerlendirmiştir. Sahada kaldırımlar sırasında test verileri toplanmış ve daha ileri ölçümler için laboratuarda test edilmiş olan karot numuneleri alınmıştır. PQI' ı doğruluk ve kesinlik açısından değerlendirmek için 13 saha ziyareti yapıldı. PQI sonuçlarının doğruluğunu artırmak için hem laboratuarda hem de alanda kalibrasyon yöntemlerinin kapsamlı bir araştırması gerçekleştirildi. Veri analizleri, PQI' ın doğruluğunun nükleer göstergeden daha düşük olduğunu göstermiştir. Bununla birlikte, PQI, aşağıdaki faydalar göz önüne alındığında nükleer göstergeye daha iyi bir alternatif olabilir: Ekonomik tasarruf, Daha hızlı veri ölçümü, Asgari güvenlik endişeleri, Devlet ve Federal tarafından zorunlu lisans ve yoğun eğitim kurslarının olmaması.

Romero, P., (2002) yapmış oldukları çalışmada ticari olarak temin edilebilir nükleer olmayan maddelerin olup olmadığını değerlendirmek için yürütüldü. Sıcak karışım asfalt yoğunluğunu belirlemek için yoğunluk ölçerler kullanıldı. Karşılaştırmalar hem laboratuarda hem de (PQI) ve PaveTracker arasında yapıldı. HMA' ın kabul edilen yoğunluk değerleri ile her ikisinden elde edilen yoğunluk arasındaki kalite farkı görülmüş oldu. HMA levhalarının yoğunluğundaki değişimler arasındaki doğrusal çıktı ilişkisine sahip olduğunda tek bir sabit sıcaklık ve nem koşullarında ölçülen asfalt karışımı, çalışma sahasındaki yoğunluğu ölçmek için bir karışıma özgü kalibrasyon prosedürü uygulanmalıdır. Bu çalışma da ayrıca nemdeki değişiklikleri düzeltmenin gerekli olduğu da belirtildi. Sıcaklık laboratuvar çalışmasından elde edilen sonuçlara dayanarak bir saha çalışması yapıldı. Saha çalışmasının sonuçları PQI-300'ün hassasiyetinin yoğunluğu ölçmek için yeterli olmadığını belirtti. Bu ölçümün yapılabilmesi için değerlerin kalibre edilmesi gerekli olduğu görüldü.

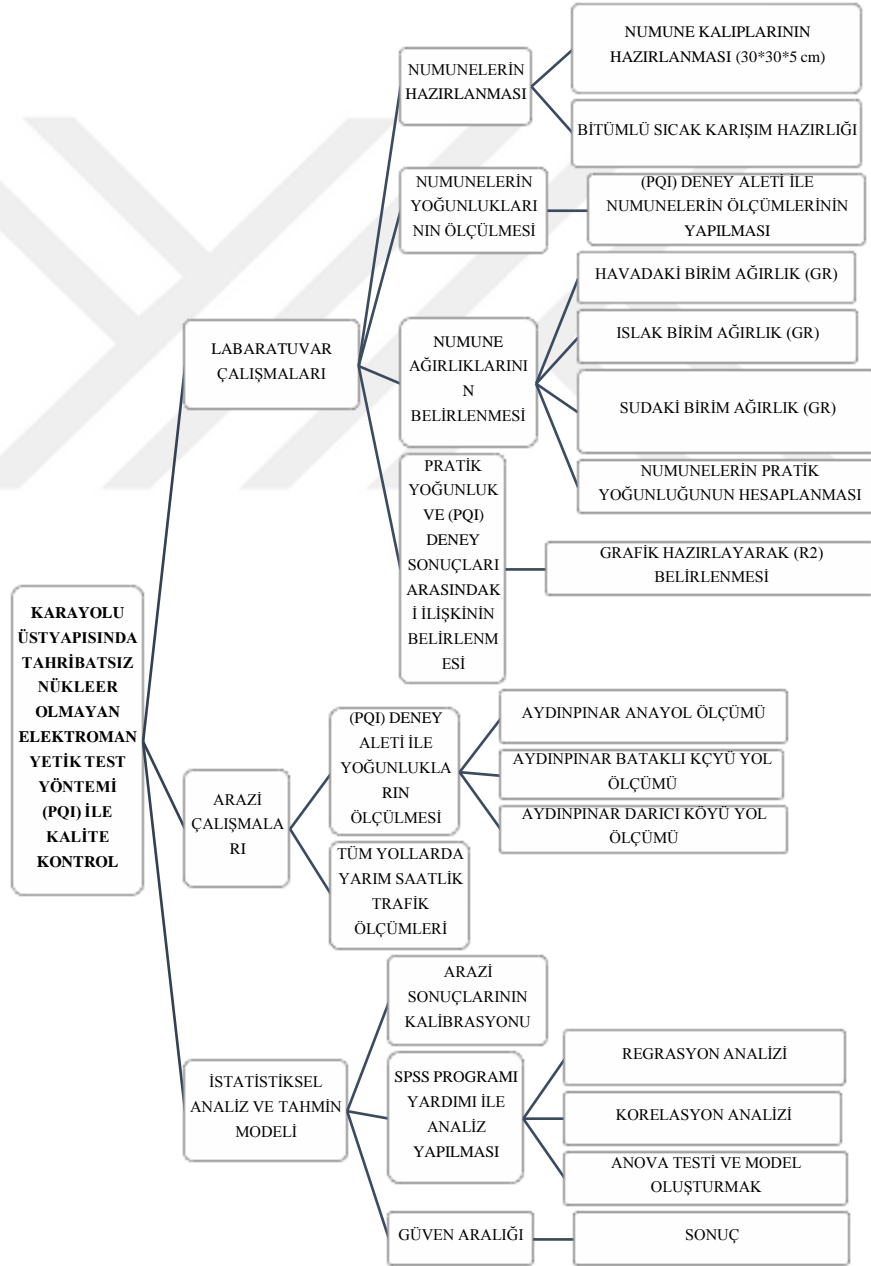
Rogge, D.F., vd. (1999) Oregon Eyalet Üniversitesi (OSU) ve Oregon Ulaştırma Bakanlığı tarafından yürütülen bir araştırma projesi (ODOT) Oregon F-mix asfalt döşemenin karışımı 25 mm maksimum büyüklükte agrega ve hava boşlukları tipik olarak % 17-26 aralığındadır. Bu asfaltın sıkıştırılması araştırıldı. Farklı sıkıştırma kalıplarından kaynaklanan sıkıştırma sıklığındaki değişiklikler ve F-karışımı için bir yoğunluk spesifikasyonunun uygulanabilirliğini belirlemek için alan yoğunluklarının ölçümünün doğruluğu araştırılmıştır. 2 ila 6 arasında değişen dokuz farklı sıkıştırma paterni minimum 7 mg silindir ile geçildi ve altı farklı kaplama parke projesinde statik

ve titreşimli sıkıştırma kombinasyonları kullanıldı. Karot yoğunluklar her kontrol şeridinde beş rastgele konumda belirlendi, bu da 270 (5x6x9) karot yoğunluğuna yol açtı. Sıkıştırma düzenleri arasındaki yoğunluklar karşılaştırıldı. Her ne kadar şartnamede veriler titreşimin tanıtıldığı ve gerekli geçiş sayısının 4'ten 6'ya yükseltilmesi, mevcut durumla elde edilenlerin yoğunluğunu artıracak olsa da, artışın nispeten küçük ve açık kademeli kaldırım performansına etkisi bilinmemektedir. Bu çalışmada elde edilen veriler hem cihaz hem de karotlu yoğunluk ölçümleri arasında iyi korelasyon göstermedi (Rogge, D.F., vd. 1999).



## 4. ARAŞTIRMA BULGULARI

Yapılan çalışmalar Şekil 4.1' de akış şeması olarak verilmiştir. Bu sıralama ile yapılan çalışmalar son bulmuştur.



Şekil 4.1. Çalışmaya ait akış şeması.

#### 4.1. ARAZİ ÖLÇÜMLERİ

Arazi ölçümleri Düzce ilinde bulunan Aydınpınar anayolu, Bataklı köyü yolu ve Darıcı köyü yollarında yapılmıştır. Bu üç yol yeni dökülmüş asfalt yollar olduğu için tercih edilmiştir. Düzce İl Özel İdaresi yetki ve sorumluluğunda olan yollar harita üzerinde gösterilmiştir.



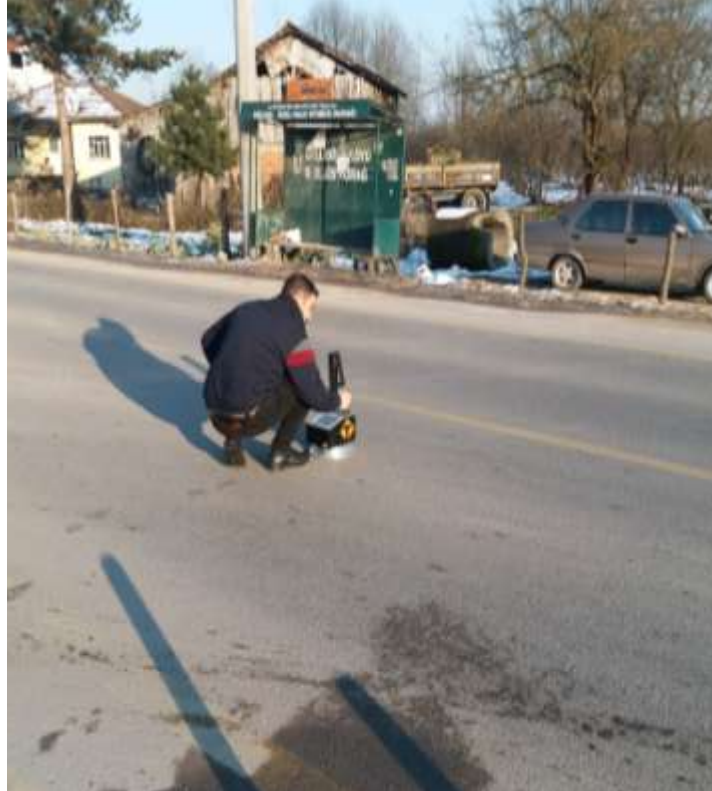
Şekil 4.2. Çalışmaya ait harita bilgileri (KTB., 2018).

İl Özel İdaresi tarafından üç farklı yol kesiminin araştırma için uygun olduğu kararı verilmiştir. Buna istinaden yol yapımında kullanılan malzeme özellikleri ve Bitümlü sıcak karışım asfaltın karışım tasarım bilgileri edinildi. Aynı kesimler için bir yıl içerisinde üçer aylık aralıklarla dört farklı zamanda ölçümler gerçekleştirildi. PQI deney aleti ölçüm yaparken yoğunluk, sıkışma, sıcaklık değerlerini çok hızlı ve pratik bir şekilde vermiştir. Yol güzergâhlarını her iki yüz elli metrede bir kesitler halinde her kesitte beş adet nokta okuyup ortalamaları alınacak şekilde belirlenmiştir. Kesitler yol üzerinde bulunan elektrik direkleri (Direk aralıkları 50 metre) kullanılarak ayarlanmış aynı zamanda GPS yardımı ile noktalar tespit edilmiştir. Bu ölçümler yapılırken aynı zamanda trafik sayımı yapılmıştır. Yarım saatlik trafik verileri geçen araçlar sayılarak

kayıt altına alınmıştır. Buna rağmen kesin sonuç alabilmek için proje trafiği kullanılmıştır. Alınan ölçümlerdeki kesitlerin yerleri işaretlenmiştir. Yaptığımız tüm ölçümler veri olarak anında kayıt altına alınmış ve daha sonrasında laboratuvar ortamında dökülen numunelerin yardımı ile karşılaştırma yapılmıştır. Aldığımız ölçümler kalibre edilmiştir. Bu kalibre ile modelleme yapılmış ve yine bu modelleme üzerinden bir formül oluşturularak yolların tahrip edilmeden ölçümlerini yapıp daha sonraki zamanlarda nasıl bir yorulma göstereceği ve nasıl önlemler almamız gerektiği ile alakalı bir sonuca bağlanmıştır.

#### 4.1.1. Aydınpınar Anayol Ölçümleri

Trafik yükünün en ağır olduğu ve çalışma yaparken çok dikkatli olunması gereken güzergah Aydınpınar anayol güzergahı olmuştur. Yedi kilometrelik bu yol güzergâhında her iki yüz elli metrede bir ölçümler alınmıştır. Yarım saatlik trafik sayımları yapılmıştır. Şekil 4.3' de Aydınpınar anayolu üzerinde PQI ölçümleri görülmektedir.



Şekil 4.3. Aydınpınar anayolu PQI ölçümleri.

Ölçümler yapılırken yolda araçları durduracak ekiplerle tüm iş güvenliği önlemlerini' de alarak işlem sonlandırılmıştır. Tüm trafik ölçümleri, alınan tüm veriler ve hangi kilometrelerde alındığı düzenlenerek, Çizelge 4.2-4.3'de sunulmuştur. PQI deney aleti

içerisinde tek ölçüm yapılarak yoğunluk bulmak, üç noktadan ölçüm alınarak ortalama yoğunluk hesabı yapmak, beş noktadan ölçüm alınarak ortalama yoğunluk hesabı yapmak gibi farklı fonksiyonları olan bir deney aletidir. Bu çalışmada tek kesit üzerinde beş ayrı noktadan ölçüm yapılarak ortalama değerler alınmıştır. Her kesit 250 metrede bir alınmıştır. Kesitler belirlenirken elektrik direklerinden ve GPS' den yardım alınmıştır. Yapılan ölçümler 3 ay aralıklarla tekrar edilmiş ve toplamda 4 kez ölçüm yapılmıştır. Sıkışmanın her yerde aynı olması gerekir, farklı sıkışma oranları ve üzerindeki trafik akışı nedeni ile sıkışmanın fazla olduğu yerler yoğunluğu etkileyeceğinden kesit üzerinde ortalama yoğunluk alınarak ölçümler yapılmıştır. Buna rağmen yoğunluklar arasında değişiklikler görülmüştür.

Çizelge 4.1. Aydınpınar anayoluna ait PQI deney aleti verileri (İlk altı ay).

Trafik gözlem (araç adet)	Ağır tonajlı araçlar		Hafif tonajlı araçlar	Ağır tonajlı araçlar		Hafif tonajlı araçlar
	121		614	210		785
Kilometre (km)	Ölçüm 1- (İlk üç ay)			Ölçüm 2- (İkinci üç ay)		
	Ortalama Yoğunluk (D)	Sıkışma	Sıcaklık (°C)	Ortalama Yoğunluk (D)	Sıkışma	Sıcaklık (°C)
0+000	2141.7	89.2	28.4	2063.0	86.0	23.0
0+250	2132.7	88.9	31.4	2182.3	90.9	28.2
0+500	2170.2	90.4	30.6	2139.2	89.1	29.0
0+750	2165.4	90.2	31.6	2110.5	87.9	26.0
1+000	2228.1	92.8	32.2	2098.1	87.4	23.2
1+250	2148.8	89.5	31.8	2182.6	90.9	28.6
1+500	2199.6	91.6	32.4	2122.5	88.4	30.2
1+750	2236.3	93.2	32.8	2134.2	88.9	28.6
2+000	2192.0	91.3	26.4	2179.4	90.8	31.0
2+250	2201.3	91.7	32.2	2195.0	91.5	26.0
2+500	2187.1	91.1	32.8	2084.2	86.8	32.6
2+750	2192.0	91.3	33.0	2188.8	91.2	31.8
3+000	2219.8	92.5	32.0	2191.0	91.3	30.4
3+250	2260.3	94.2	33.2	2194.9	91.5	21.4
3+500	2242.5	93.4	34.6	2220.5	92.5	33.0
3+750	2140.5	89.2	31.2	2229.9	92.9	31.2
4+000	2245.3	93.6	34.6	2238.4	93.3	33.0
4+250	2270.8	94.6	34.0	2221.5	92.6	32.4
4+500	2174.2	90.6	32.4	2222.8	92.6	33.2
4+750	2221.9	92.6	33.8	2224.9	92.7	29.4
5+000	2171.7	90.5	33.6	2204.3	91.8	27.0
5+250	2257.2	94.0	34.2	2136.4	89.0	32.4
5+500	2151.9	89.7	34.2	2180.2	90.8	32.0
5+750	2267.6	94.5	33.8	2209.8	92.1	34.2
6+000	2181.3	90.9	34.8	2222.3	92.6	35.6
6+250	2220.8	92.5	34.4	2254.3	93.9	33.2
6+500	2208.2	92.0	34.4	2241.1	93.4	22.4
6+750	2195.9	91.5	34.2	2136.3	89.0	29.4
7+000	2141.3	89.2	32.0	2124.3	88.5	34.0

Aydınpınar anayolunun ilk altı ay içerisinde almış olduğumuz kalibre edilmemiş verileri

bulunmaktadır. Karayolları teknik şartnamesine göre sıkışmanın yeterince yapılmadığı görülmüştür. Sıkışmanın artı eksi %3 olması gerekirken %12' ye kadar sıkışmanın yapılmadığı yerler görülmüştür. İlk üç aya göre yoğunluklar 19 noktada düşerken 10 noktada artmıştır. Bu artan bölgelerde sıkışmanın iyi yapılmadığını ve zamanla trafik yükü ile oturmaların olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.2. Aydınpınar anayoluna ait PQI deney aleti verileri (İkinci altı ay).

Trafik gözlem (araç adet)	Ağır tonajlı araçlar		Hafif tonajlı araçlar	Ağır tonajlı araçlar		Hafif tonajlı araçlar
	187		682	167		925
Kilometre (km)	Ölçüm 3- (Üçüncü üç ay)			Ölçüm 4- (Dördüncü üç ay)		
	Ortalama Yoğunluk (D)	Sıkışma	Sıcaklık (°C)	Ortalama Yoğunluk (D)	Sıkışma	Sıcaklık (°C)
0+000	2041.6	85.1	18.2	2101.2	87.6	4.0
0+250	2140.8	89.2	18.0	2061.9	85.9	4.8
0+500	2173.6	90.6	17.4	2173.6	90.6	6.0
0+750	2131.4	88.8	18.4	2178.9	90.8	6.0
1+000	2149.2	89.6	17.8	2153.6	89.7	7.4
1+250	2123.0	88.5	17.4	2002.5	83.4	6.2
1+500	2082.2	86.8	18.8	2156.4	89.8	6.6
1+750	2124.6	88.5	19.0	2146.7	89.4	5.6
2+000	2144.6	89.4	18.0	2185.2	91.0	6.4
2+250	2149.6	89.6	18.2	2159.0	90.0	5.8
2+500	2128.1	88.7	19.4	2189.1	91.2	5.6
2+750	2074.0	86.4	19.2	2194.5	91.4	6.8
3+000	2156.9	89.9	19.0	2203.5	91.8	6.8
3+250	2224.2	92.7	19.8	2058.1	85.8	5.0
3+500	2211.8	92.2	19.4	2207.8	92.0	7.0
3+750	2205.6	91.9	19.8	2186.2	91.1	7.0
4+000	2084.4	86.9	19.4	2215.3	92.3	6.8
4+250	2223.7	92.7	19.0	2192.8	91.4	7.0
4+500	2164.5	90.2	19.4	2207.8	92.0	6.0
4+750	2202.2	91.8	19.0	2198.1	91.6	6.0
5+000	2206.1	91.9	18.8	2201.6	91.7	5.6
5+250	2146.0	89.4	19.6	2207.9	92.0	6.2
5+500	2088.4	87.0	19.8	1944.9	81.0	3.8
5+750	2206.8	92.0	18.4	1984.1	82.7	3.6
6+000	2155.2	89.8	20.4	2068.5	86.2	5.0
6+250	2212.6	92.2	20.2	2186.9	91.1	6.2
6+500	1929.5	80.4	20.0	2207.5	92.0	5.0
6+750	2211.6	92.1	18.8	2132.1	88.8	4.6
7+000	2184.9	91.0	18.2	1960.8	81.7	4.4

Çizelge 4.2' ye bakıldığında alınan son altı ay içerisindeki değerlerde yoğunlukların 12 noktada azaldığı ve 17 noktada arttığı görülmüştür. Sıkışmanın istenilen düzeyde olmaması trafik yükü ile zamanla yoğunluğun arttığını göstermektedir. Ayrıca ilk aylarda artış gösteren yoğunluklar daha sonra trafik yükü etkisiyle yolda bozulmalara sebep olarak yoğunlukların düşmesine yol açmıştır.

#### 4.1.2. Aydınpınar Bataklı Köyü Yol Ölçümleri

İkinci yol güzergahımız olan Bataklı köyü yolunda da Aydınpınar yolu ile aynı eşit uzunluklarda kesitler alındı ve bu kesitlerde ölçümler yapıldı. Toplamda iki kilometre olan güzergâhımızda aşırı trafik yükü olmadığı görülmüştür. Aşağıdaki resimde Bataklı köyü yol ölçümü yapılmaktadır.



Şekil 4.4. Bataklı yolunda PQI deney aleti ile arazi ölçümleri.

Yapılan ölçümlerde PQI deney aleti ile tüm veriler kayıt altına alındı. Yoğunluk, sıkışma ve sıcaklık değerleri aşağıda Çizelge 4.3 - 4.4'de verilmiştir.

Çizelge 4.3. Bataklı yoluna ait PQI deney aleti verileri (İlk altı ay).

Trafik gözlem (araç adet)	Ağır tonajlı araçlar		Hafif tonajlı araçlar	Ağır tonajlı araçlar		Hafif tonajlı araçlar
	12		17	3		15
Kilometre (km)	Ölçüm 1- (İlk üç ay)			Ölçüm 2- (İkinci üç ay)		
	Ortalama Yoğunluk (D)	Sıkışma	Sıcaklık (°C)	Ortalama Yoğunluk (D)	Sıkışma	Sıcaklık (°C)
0+000	1881.2	78.4	33.2	1787.0	74.5	38.4
0+250	2082.3	86.8	32.8	2001.4	83.4	39.6
0+500	2096.0	87.3	33.6	2052.4	85.5	39.8
0+750	2067.9	86.2	33.4	2099.3	87.5	32.6
1+000	2055.4	85.6	32.6	2123.9	88.5	32.8
1+250	2031.5	84.6	32.2	2040.6	85.0	38.4
1+500	1914.7	79.8	32.6	1970.7	82.1	39.2
1+750	1864.0	77.7	33.0	2032.0	84.7	35.4
2+000	1836.3	76.5	32.8	1984.6	82.7	39.2

Çizelge 4.4'de yoğunluklar değişkenlik göstermiş sıkışmanın her yerde aynı olmadığı ilk

altı ayda görülmüştür. Karayolları teknik şartnamesine göre sıkışma oranlarının çok düşük olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.4. Bataklı yoluna ait PQI deney aleti verileri (İkinci altı ay).

Trafik gözlem (araç adet)	Ağır tonajlı araçlar		Hafif tonajlı araçlar	Ağır tonajlı araçlar		Hafif tonajlı araçlar
	8		10	2		17
Kilometre (km)	Ölçüm 3- (Üçüncü üç ay)			Ölçüm 4- (Dördüncü üç ay)		
	Ortalama Yoğunluk (D)	Sıkışma	Sıcaklık (°C)	Ortalama Yoğunluk (D)	Sıkışma	Sıcaklık (°C)
0+000	2029.7	84.6	21.0	1813.5	75.6	5.2
0+250	2050.8	85.4	21.4	1896.2	79.0	4.0
0+500	2082.1	86.8	21.6	2053.2	85.5	4.6
0+750	2040.2	85.0	20.8	2023.2	84.3	4.4
1+000	2102.7	87.6	20.4	2052.3	85.5	4.8
1+250	1991.6	83.0	21.2	1987.6	82.8	4.4
1+500	2028.3	84.5	21.0	2028.7	84.5	4.2
1+750	2064.6	86.0	19.2	2015.2	84.0	4.0
2+000	1867.6	77.8	21.2	2011.1	83.8	4.0

Çizelge 4.4' de ilk altı ayda olduğu gibi yoğunluklar arasında değişkenlik görülmeye devam etmiştir. Buda sıkışmanın her yerde aynı olmadığını göstermektedir. Son ölçüme bakıldığında yoğunlukların 2 nokta hariç hepsinde azaldığı görülmektedir.

#### 4.1.3. Aydınpinar Darıcı Köyü Yol Ölçümleri

Üçüncü ve son yol güzergâhımız olan Darıcı köyü yol ölçümünü de Aydınpinar anayolu ve Bataklı köyündeki yollar gibi iki yüz elli metrede bir kesit olarak PQI deney aleti ile ölçümler yapılmıştır. Aşağıdaki resimde' de PQI deney ölçümü görülmektedir.



Şekil 4.5. Darıcı yolunda PQI deney aleti ile arazi ölçümleri.

Yaptığımız ölçümlerde veriler PQI deney aleti ile kaydedilerek aşağıdaki Çizelge 4.5-

4.6 oluşturulmuştur. Yarım saatlik trafik sayımları yapılmıştır.

Çizelge 4.5. Darıcı yoluna ait PQI deney aleti verileri (İlk altı ay).

Trafik gözlem (araç adet)	Ağır tonajlı araçlar		Hafif tonajlı araçlar	Ağır tonajlı araçlar		Hafif tonajlı araçlar
	1		2	3		2
Kilometre (km)	Ölçüm 1- (İlk üç ay)			Ölçüm 2- (İkinci üç ay)		
	Ortalama Yoğunluk (D)	Sıkışma	Sıcaklık (°C)	Ortalama Yoğunluk (D)	Sıkışma	Sıcaklık (°C)
0+000	1900.8	79.2	28.6	1949.8	81.2	38.6
0+250	1867.1	77.8	30.0	1902.4	79.3	29.6
0+500	1710.3	71.3	29.8	1972.8	82.2	28.4
0+750	1938.4	80.8	28.0	1895.7	79.0	36.6
1+000	1888.3	78.7	28.8	1962.4	81.8	35.6
1+250	1966.0	81.9	26.6	1966.2	81.9	34.8
1+500	1881.4	78.4	24.8	1872.8	78.0	34.6

Çizelge 4.5' de ilk altı ayda yoğunlukların arttığı görülmüştür. Sıkışma oranının birbirine yakın olduğu gözükmektedir.

Çizelge 4.6. Darıcı yoluna ait PQI deney aleti verileri (İkinci altı ay).

Trafik gözlem (araç adet)	Ağır tonajlı araçlar		Hafif tonajlı araçlar	Ağır tonajlı araçlar		Hafif tonajlı araçlar
	4		1	5		2
Kilometre (km)	Ölçüm 3- (Üçüncü üç ay)			Ölçüm 4- (Dördüncü üç ay)		
	Ortalama Yoğunluk (D)	Sıkışma	Sıcaklık (°C)	Ortalama Yoğunluk (D)	Sıkışma	Sıcaklık (°C)
0+000	1929.8	80.4	20.8	2066.0	86.1	1.8
0+250	1980.9	82.5	20.2	1992.5	83.0	2.4
0+500	1853.4	77.2	21.2	2071.9	86.3	2.2
0+750	1955.8	81.5	18.4	1956.8	81.5	3.2
1+000	2004.3	83.5	16.4	2049.5	85.4	2.6
1+250	1914.1	79.8	21.6	2021.6	84.2	1.0
1+500	2026.3	84.4	21.0	2104.0	87.7	0.8

Çizelge 4.6' da ilk altı ayda olduğu gibi yoğunlukların arttığı görülmüştür. Sıkışma oranının trafik yüküyle beraber arttığı gözükmektedir. Bu artış son ölçümlerde daha çok belirginleşmiştir.

## 4.2. LABORATUVAR DENEYLERİ

Düzce İl Özel İdarenin vermiş olduğu asfalt karışım oranlarına göre laboratuvar ortamında asfalt karışımı ve sekiz adet numune kalıbı hazırlanmıştır. Hazırlanmış olduğumuz kalıplar içerisine asfalt dökerek asfalt numuneleri hazırlanmıştır. PQI deney aleti ile numunelerin yoğunluk ölçümleri yapılmıştır. Aşağıda Şekil 4.6' da laboratuvar ortamında dökülmüş numuneler görülmektedir.



Şekil 4.6. Laboratuvar ortamında dökülen örnek numuneler.

Laboratuvar çalışmaları kapsamında farklı sıkıştırma düzeylerinde 30x30x5 cm boyutlarında bitümlü sıcak karışım numuneleri hazırlanmıştır.

Hazırlanan numunelere ait karışım gradasyonu ve bitüm içeriği Çizelge 4.7' de verilmiştir. Aynı numuneler üzerinde hem laboratuvar deneyleriyle hem de PQI deney aleti kullanarak yoğunluk ölçümleri alınmıştır. Her iki yöntemle alınan veriler arasındaki ilişkiyi belirlemek için regrasyon grafiği çizilmiş ve  $R^2$  (%87,89) belirlenmiştir. Bu grafik Pratik yoğunluk ve Regrasyon başlığı altında verilmiştir.

Çizelge 4.7. Karışım gradasyonu ve bitüm içeriği.

<b>Malzeme</b>		<b>Karışımındaki Oran (%)</b>
<b>Agrega Boyutu</b>	19-12 (mm)	30
	12-5 (mm)	27
	5-0 (mm)	42
	Filler (%)	1
<b>Bitüm (%)</b>		4.3

Kullanılan agregası türü kırma taş agregasıdır. En yüksek dane boyutu olarak 19 mm kullanılmıştır. Özgül ağırlıkları 20-30 kg/lt arasında olan agregalardır. Kullanılan bitüm sınıfı B 50/70 kullanılmıştır.



Şekil 4.7. Laboratuvar numuneleri üzerinde PQI ölçümleri.

Laboratuvar ortamında ölçülen numunelerin PQI deney aleti sonuçları aşağıda Çizelge 4.8' de verilmiştir. Bu veriler referans alınarak arazi ortamında almış olduğumuz ölçümler kalibre edilmiştir.

Çizelge 4.8. Laboratuvar PQI deney sonuçları.

Yoğunluk (D)	Sıkışma	Sıcaklık (°C)
1456.5	60.7	15.8
1579.6	65.8	16.0
1780.4	74.2	16.0
1639.5	68.3	17.0
1843.8	76.8	17.0
1921.4	80.1	17.0
1502.5	62.6	17.8
1862.1	77.6	17.2

Bu numunelerin havadaki birim ağırlığı, sudaki birim ağırlığı ve ıslak birim ağırlığı tartılarak belirlenmiştir. Aşağıda Çizelge 4.9'da hazırlanan numunelere ait birim ağırlık değerleri verilmiştir.

Çizelge 4.9. Laboratuarda hazırlanan numunelere ait bazı fiziksel özellikler.

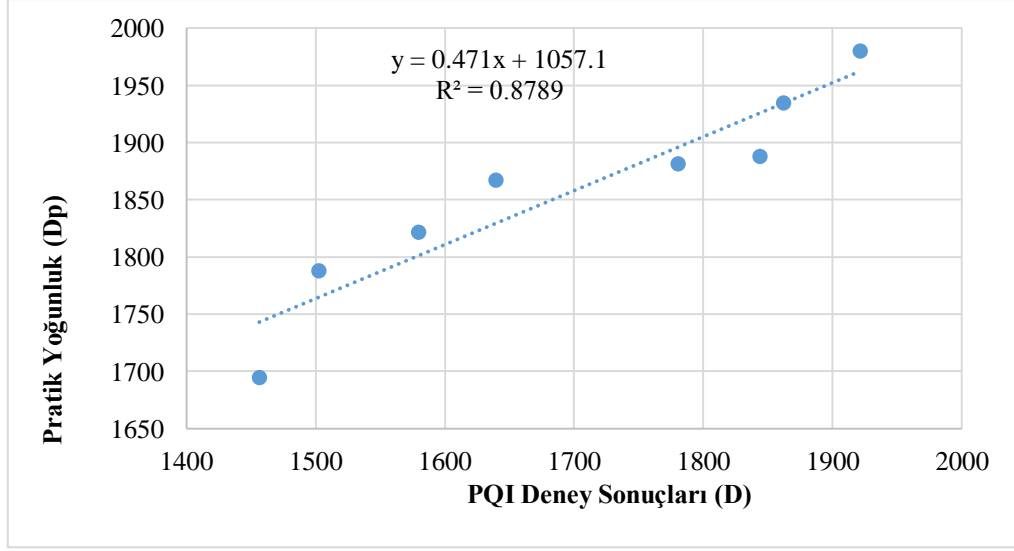
Numune numarası	Havadaki birim ağırlık (gr)	Islak birim ağırlık (gr)	Sudaki birim ağırlık (gr)	Pratik yoğunluk (gr/cm <sup>3</sup> )
1	6602.8	6837.8	3425.2	1934.8
2	7441.2	7612.2	3527.6	1821.7
3	7753.6	7963.2	3842.4	1881.5
4	6605.2	6791.6	3293.2	1888.0
5	7238.8	7464.6	3416.2	1788.0
6	7504.4	7683.2	3664.4	1867.3
7	6136.2	6338.8	2718.0	1694.7
8	6719.4	6878.4	3485.2	1980.2

#### 4.2.1. Pratik Yoğunluk Hesabı ve Verilerin Kalibrasyonu

Laboratuarda oluşturulan numunelerin ağırlık ölçümleri alınmıştır. Bu ağırlık ölçümlerinden yararlanarak numunelerin her birinin hacimleri hesaplanmıştır.

Hacim hesapları yapıldıktan sonra havadaki birim ağırlık hesabı kullanarak almış olduğumuz numunelerin pratik yoğunluklarını hesaplanmıştır.

Pratik yoğunluk ile PQI Deney Sonuçları arasındaki ilişki aşağıda Şekil 4.8' de görülmektedir. Bu grafikten elde ettiğimiz denklem yardımı ile arazi ölçümleri kalibre edilmiştir.



Şekil 4.8. PQI yoğunluk verileri ve pratik yoğunluk arasındaki ilişki.

#### 4.3. ARAZİ VERİLERİNİN DÜZELTİLMESİ

Ölçüm yapılan aletlerin veya yapmış olduğumuz ölçümlerin doğruluğunu tam anlamıyla belirlemek için yapılan işlemlere kalibrasyon denir. Aşağıda ölçüm yapılan güzergahların yoğunluklarının laboratuvar deneyleri sonucu ile kalibre edilmiş yoğunlukları yer almaktadır.

Aydınpınar anayoluna ait ilk 6 aylık veriler aşağıda çizelge 4.10' da verilmiştir.

Çizelge 4.10. Aydınpınar anayoluna ait kalibre edilmiş yoğunluk verileri (İlk altı ay).

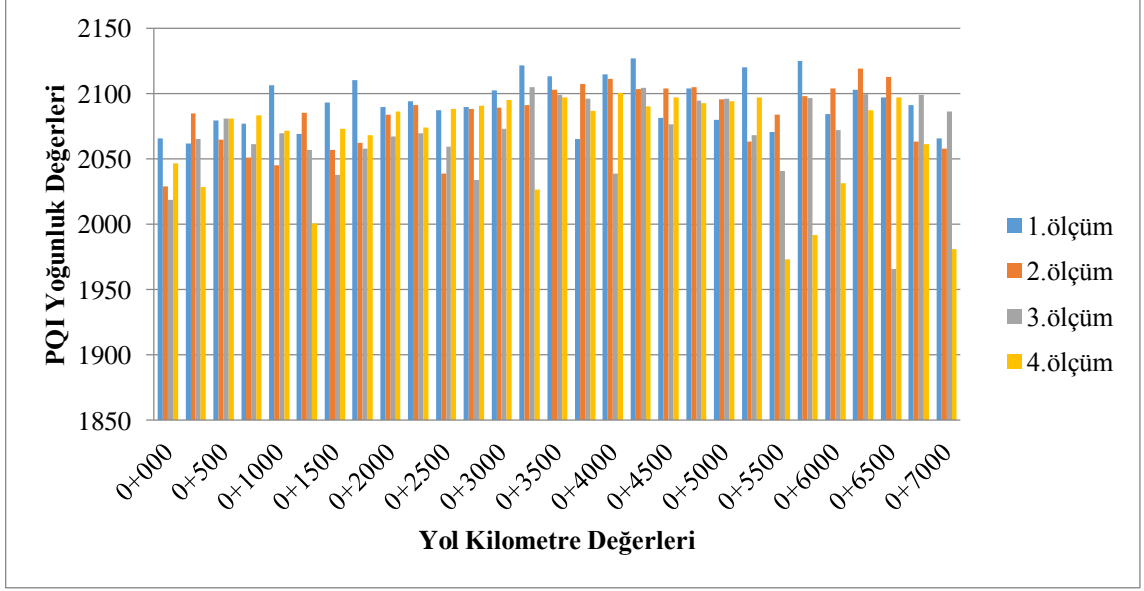
Trafik gözlem (araç adet)	Ağır tonajlı araçlar		Hafif tonajlı araçlar	Ağır tonajlı araçlar		Hafif tonajlı araçlar
	121		614	210		785
Kilometre (km)	Ölçüm 1- (İlk üç ay)			Ölçüm 2- (İkinci üç ay)		
	Ortalama Yoğunluk (D)	Sıkışma	Sıcaklık (°C)	Ortalama Yoğunluk (D)	Sıkışma	Sıcaklık (°C)
0+000	2065.8	89.2	28.4	2028.7	86.0	23.0
0+250	2061.6	88.9	31.4	2084.9	90.9	28.2
0+500	2079.2	90.4	30.6	2064.6	89.1	29.0
0+750	2077.0	90.2	31.6	2051.1	87.9	26.0
1+000	2106.5	92.8	32.2	2045.3	87.4	23.2
1+250	2069.1	89.5	31.8	2085.1	90.9	28.6
1+500	2093.0	91.6	32.4	2056.7	88.4	30.2
1+750	2110.4	93.2	32.8	2062.3	88.9	28.6
2+000	2089.5	91.3	26.4	2083.6	90.8	31.0
2+250	2093.9	91.7	32.2	2090.9	91.5	26.0
2+500	2087.2	91.1	32.8	2038.7	86.8	32.6
2+750	2089.5	91.3	33.0	2088.0	91.2	31.8
3+000	2102.6	92.5	32.0	2089.0	91.3	30.4
3+250	2121.7	94.2	33.2	2090.8	91.5	21.4
3+500	2113.3	93.4	34.6	2102.9	92.5	33.0
3+750	2065.2	89.2	31.2	2107.3	92.9	31.2
4+000	2114.6	93.6	34.6	2111.3	93.3	33.0
4+250	2126.6	94.6	34.0	2103.4	92.6	32.4
4+500	2081.1	90.6	32.4	2104.0	92.6	33.2
4+750	2103.6	92.6	33.8	2105.0	92.7	29.4
5+000	2079.9	90.5	33.6	2095.3	91.8	27.0
5+250	2120.2	94.0	34.2	2063.3	89.0	32.4
5+500	2070.6	89.7	34.2	2083.9	90.8	32.0
5+750	2125.1	94.5	33.8	2097.9	92.1	34.2
6+000	2084.5	90.9	34.8	2103.7	92.6	35.6
6+250	2103.0	92.5	34.4	2118.8	93.9	33.2
6+500	2097.1	92.0	34.4	2112.6	93.4	22.4
6+750	2091.3	91.5	34.2	2063.2	89.0	29.4
7+000	2065.6	89.2	32.0	2057.6	88.5	34.0

Çizelge 4.11' de alınan verilere bakıldığında sıcaklık ve yoğunluk değerleri zamanla azalmış olduğu görülmektedir. Yoğunlukların yapılan ölçümlerde nasıl değişkenlik gösterdiği sıkışma oranlarının birbirine yakın değerlerde olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.11. Aydınpınar anayoluna ait kalibre edilmiş yoğunluk verileri (ikinci altı ay).

Trafik gözlem (araç adet)	Ağır tonajlı araçlar		Hafif tonajlı araçlar	Ağır tonajlı araçlar		Hafif tonajlı araçlar
	187		682	167		925
Kilometre (km)	Ölçüm 3- (Üçüncü üç ay)			Ölçüm 4- (Dördüncü üç ay)		
	Ortalama Yoğunluk (D)	Sıkışma	Sıcaklık (°C)	Ortalama Yoğunluk (D)	Sıkışma	Sıcaklık (°C)
0+000	2018.6	85.1	18.2	2046.7	87.6	4.0
0+250	2065.3	89.2	18.0	2028.2	85.9	4.8
0+500	2080.8	90.6	17.4	2080.8	90.6	6.0
0+750	2061.0	88.8	18.4	2083.3	90.8	6.0
1+000	2069.3	89.6	17.8	2071.4	89.7	7.4
1+250	2057.0	88.5	17.4	2000.2	83.4	6.2
1+500	2037.8	86.8	18.8	2072.7	89.8	6.6
1+750	2057.8	88.5	19.0	2068.2	89.4	5.6
2+000	2067.2	89.4	18.0	2086.3	91.0	6.4
2+250	2069.5	89.6	18.2	2073.9	90.0	5.8
2+500	2059.4	88.7	19.4	2088.1	91.2	5.6
2+750	2033.9	86.4	19.2	2090.7	91.4	6.8
3+000	2072.9	89.9	19.0	2094.9	91.8	6.8
3+250	2104.7	92.7	19.8	2026.4	85.8	5.0
3+500	2098.8	92.2	19.4	2096.9	92.0	7.0
3+750	2095.9	91.9	19.8	2086.7	91.1	7.0
4+000	2038.8	86.9	19.4	2100.5	92.3	6.8
4+250	2104.4	92.7	19.0	2089.9	91.4	7.0
4+500	2076.5	90.2	19.4	2096.9	92.0	6.0
4+750	2094.3	91.8	19.0	2092.3	91.6	6.0
5+000	2096.1	91.9	18.8	2094.0	91.7	5.6
5+250	2067.8	89.4	19.6	2096.9	92.0	6.2
5+500	2040.7	87.0	19.8	1973.1	81.0	3.8
5+750	2096.5	92.0	18.4	1991.6	82.7	3.6
6+000	2072.2	89.8	20.4	2031.3	86.2	5.0
6+250	2099.2	92.2	20.2	2087.1	91.1	6.2
6+500	1965.8	80.4	20.0	2096.8	92.0	5.0
6+750	2098.7	92.1	18.8	2061.3	88.8	4.6
7+000	2086.1	91.0	18.2	1980.6	81.7	4.4

Aydınpınar anayolu üzerinde almış olduğumuz düzeltilmiş PQI yoğunluk verileri Şekil 4.9' da görülmektedir. Trafik yükü altında genel itibari ile zaman geçtikçe yoğunluk değerlerinin bir önceki ölçüme göre azaldığı görülmektedir.



Şekil 4.9. Aydınpınar Anayoluna ait PQI ölçüm verilerinin karşılaştırmalı gösterimi.

Çizelge 4.12' de alınan verilere bakıldığında sıcaklık ve yoğunluk değerleri zamanla azalmış olduğu görülmektedir. Yoğunlukların bir önceki ölçümlere göre azaldığı ve arttığı kesitler görülmektedir. Sıkışmanın ikinci ölçümlerde arttığı kesitlerde yoğunlukların arttığı görülmüştür.

Çizelge 4.12. Bataklı yoluna ait kalibre edilmiş yoğunluk verileri (İlk altı ay).

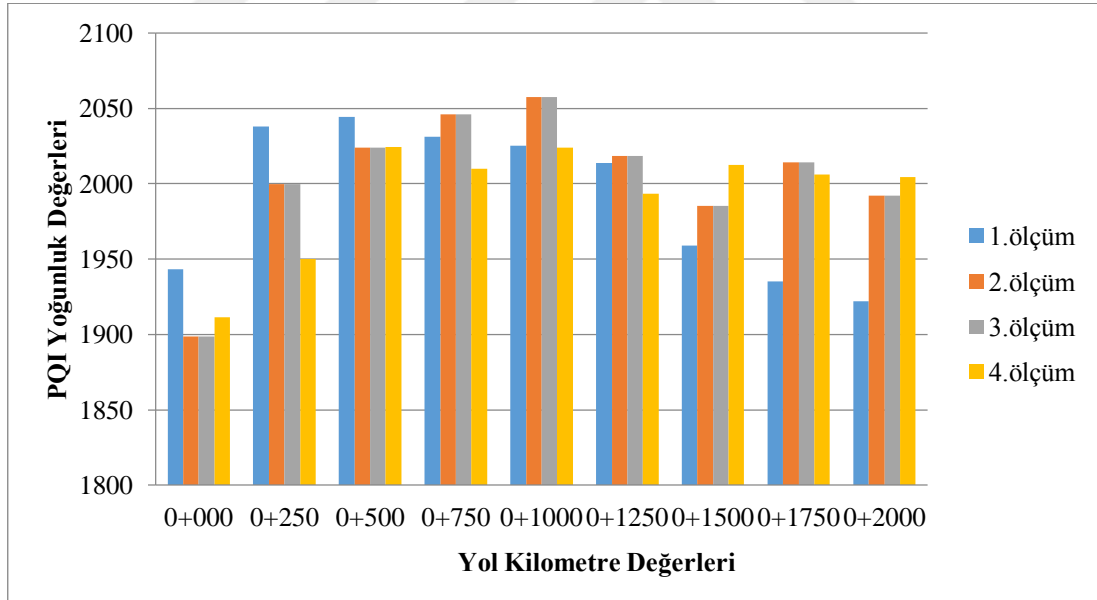
Trafik gözlem (araç adet)	Ağır tonajlı araçlar		Hafif tonajlı araçlar	Ağır tonajlı araçlar		Hafif tonajlı araçlar
	12		17	3		15
Kilometre (km)	Ölçüm 1- (İlk üç ay)			Ölçüm 2- (İkinci üç ay)		
	Ortalama Yoğunluk (D)	Sıkışma	Sıcaklık (°C)	Ortalama Yoğunluk (D)	Sıkışma	Sıcaklık (°C)
0+000	1943.1	78.4	33.2	1898.7	74.5	38.4
0+250	2037.8	86.8	32.8	1999.7	83.4	39.6
0+500	2044.3	87.3	33.6	2023.7	85.5	39.8
0+750	2031.0	86.2	33.4	2045.8	87.5	32.6
1+000	2025.2	85.6	32.6	2057.4	88.5	32.8
1+250	2013.9	84.6	32.2	2018.2	85.0	38.4
1+500	1958.9	79.8	32.6	1985.2	82.1	39.2
1+750	1935.0	77.7	33.0	2014.1	84.7	35.4
2+000	1921.9	76.5	32.8	1991.8	82.7	39.2

Çizelge 4.13' e baktığımız zaman ise ilk altı aylık veriler ile aynı olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.13. Bataklı yoluna ait kalibre edilmiş yoğunluk verileri (İkinci altı ay).

Trafik gözlem (araç adet)	Ağır tonajlı araçlar		Hafif tonajlı araçlar	Ağır tonajlı araçlar		Hafif tonajlı araçlar
	8		10	2		17
Kilometre (km)	Ölçüm 3- (Üçüncü üç ay)			Ölçüm 4- (Dördüncü üç ay)		
	Ortalama Yoğunluk (D)	Sıkışma	Sıcaklık (°C)	Ortalama Yoğunluk (D)	Sıkışma	Sıcaklık (°C)
0+000	2013.0	84.6	21.0	1911.2	75.6	5.2
0+250	2023.0	85.4	21.4	1950.2	79.0	4.0
0+500	2037.7	86.8	21.6	2024.1	85.5	4.6
0+750	2018.0	85.0	20.8	2010.0	84.3	4.4
1+000	2047.4	87.6	20.4	2023.7	85.5	4.8
1+250	1995.1	83.0	21.2	1993.2	82.8	4.4
1+500	2012.4	84.5	21.0	2012.6	84.5	4.2
1+750	2029.5	86.0	19.2	2006.2	84.0	4.0
2+000	1936.7	77.8	21.2	2004.3	83.8	4.0

Bataklı yoluna ait karşılaştırmalı yoğunluk gösterimi Şekil 4.10' da gösterilmiştir.



Şekil 4.10. Bataklı yoluna ait PQI ölçüm verilerinin karşılaştırmalı gösterimi.

Aydınlar Bataklı köyü yolu üzerinde genel olarak fabrika çıkışı olarak kullanılan bir yol olması sebebi ile çok aşırı trafik yüküne maruz kalmadığından genellikle birbirine yakın yoğunluklar olduğu görülmüştür.

Çizelge 4.14' de ilk altı ayda yoğunluk değerlerinin arttığı görülmektedir. Sıkışmanın zamanla devam ettiği görülmektedir.

Çizelge 4.14. Darıcı yoluna ait kalibre edilmiş yoğunluk verileri (İlk altı ay).

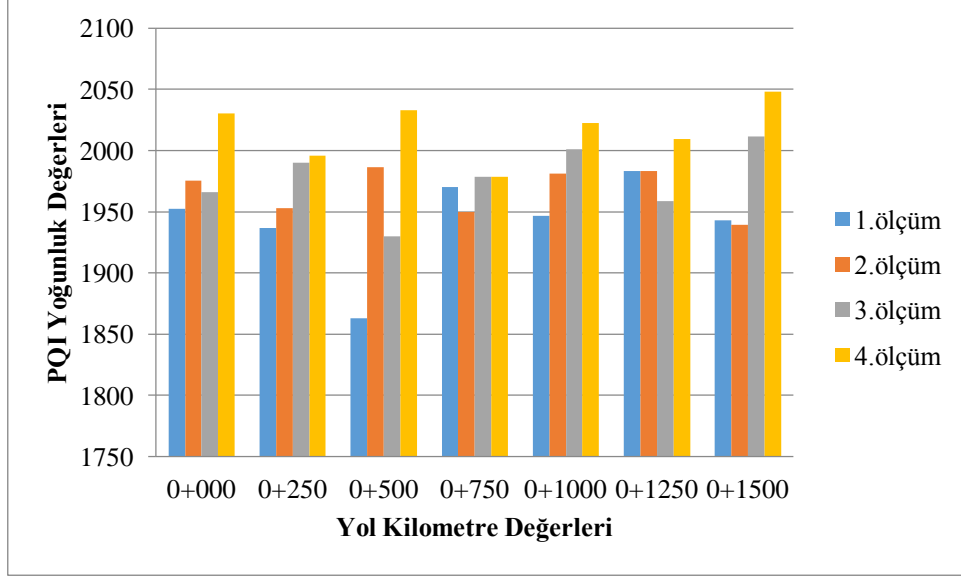
Trafik gözlem (araç adet)	Ağır tonajlı araçlar		Hafif tonajlı araçlar	Ağır tonajlı araçlar		Hafif tonajlı araçlar
	1		2	3		2
Kilometre (km)	Ölçüm 1- (İlk üç ay)			Ölçüm 2- (İkinci üç ay)		
	Ortalama Yoğunluk (D)	Sıkışma	Sıcaklık (°C)	Ortalama Yoğunluk (D)	Sıkışma	Sıcaklık (°C)
0+000	1952.3	79.2	28.6	1975.4	81.2	38.6
0+250	1936.5	77.8	30.0	1953.1	79.3	29.6
0+500	1862.6	71.3	29.8	1986.3	82.2	28.4
0+750	1970.0	80.8	28.0	1949.9	79.0	36.6
1+000	1946.4	78.7	28.8	1981.4	81.8	35.6
1+250	1983.1	81.9	26.6	1983.1	81.9	34.8
1+500	1943.2	78.4	24.8	1939.1	78.0	34.6

Çizelge 4.15' de ilk altı ayda olduğu gibi yoğunluk değerlerinin arttığı görülmektedir. Sıkışmanın da zamanla devam ettiği görülmektedir.

Çizelge 4.15. Darıcı yoluna ait kalibre edilmiş yoğunluk verileri (İkinci altı ay).

Trafik gözlem (araç adet)	Ağır tonajlı araçlar		Hafif tonajlı araçlar	Ağır tonajlı araçlar		Hafif tonajlı araçlar
	4		1	5		2
Kilometre (km)	Ölçüm 3- (Üçüncü üç ay)			Ölçüm 4- (Dördüncü üç ay)		
	Ortalama Yoğunluk (D)	Sıkışma	Sıcaklık (°C)	Ortalama Yoğunluk (D)	Sıkışma	Sıcaklık (°C)
0+000	1966.0	80.4	20.8	2030.1	86.1	1.8
0+250	1990.0	82.5	20.2	1995.5	83.0	2.4
0+500	1930.0	77.2	21.2	2032.9	86.3	2.2
0+750	1978.2	81.5	18.4	1978.7	81.5	3.2
1+000	2001.1	83.5	16.4	2022.3	85.4	2.6
1+250	1958.6	79.8	21.6	2009.2	84.2	1.0
1+500	2011.4	84.4	21.0	2048.8	87.7	0.8

Darıcı köyü yoluna ait karşılaştırmalı yoğunluk gösterimi Şekil 4.11' de gösterilmiştir.



Şekil 4.11.Darıcı yoluna ait PQI ölçüm verilerinin karşılaştırmalı gösterimi.

Aydınınar Darıcı köyü yolu üzerinde trafik yükünün az olması sebebi ile trafik yükü az olmasına rağmen genellikle bir önceki yoğunluktan daha fazla bir yoğunluk ölçümü görülmektedir. Burada sıkışmanın güzel yapıldığı ve yolda trafik akışı aşırı olmadığı için yer yer aşırı yoğunluk farkları oluşmamıştır.

## 5. İSTATİSTİKSEL ANALİZ VE DEĞERLENDİRMELER

### 5.1. REGRASYON ANALİZİ

Regresyon analizi, iki ya da daha çok değişken arasındaki ilişkiyi ölçmek için kullanılan bir metottür. Eğer tek bir değişken kullanılarak analiz yapılıyorsa buna tek değişkenli regresyon, birden çok değişken kullanılıyorsa çok değişkenli regresyon analizi olarak isimlendirilir. Regrasyon analizi üç farklı şekilde gözlemlenebilir.

- Basit doğrusal regrasyon analizi
- Çoklu doğrusal regrasyon analizi
- Doğrusal olmayan regrasyon analizi

Bu çalışmada sıcaklık, yük ve zaman parametreleri kullanılarak yoğunluğun tahmini için doğrusal olmayan regresyon analizi yapılmıştır. Regresyon analizi sonucunda denklem 5.1’de verilen eşitliğe göre Çizelge 5.1’deki katsayılar elde edilmiştir.

$$TY = 2400 + a((b.VTZ^c + d.lg10.(TRY)^e). (1 + (\frac{S}{25}))^f) \quad 5.1$$

Burada;

*TY: Tahmini yoğunluk,*  
*VTZ: Veri toplama zamanı,*  
*TRY: Trafik yükü,*  
*S: Sıcaklık,*  
*a, b, c, d, e, f = Katsayıdır.*

Çizelge 5.1. Parametre tahminleri.

Parameter	Estimate	Std. Error	95% Confidence Interval	
			Lower Bound	Upper Bound
a	,342	31881,638	-62924,174	62924,859
b	-381,348	3,551E7	-7,009E7	7,009E7
c	,170	,097	-,023	,362
d	-5823,633	5,423E8	-1,070E9	1,070E9
e	-1,373	,610	-2,578	-,169
f	,032	,044	-,054	,118

Çizelge 5.1'deki katsayılar ile denklem 1'deki eşitlik üzerinde hesaplanan tahmini yoğunluk değerleri ile sahadan elde edilen yoğunluk değerleri arasında yapılan varyans analizleri sonuçları Çizelge 5.3–5.4'de verilmiştir.

## 5.2. KORELASYON ANALİZİ

Korelasyon analizi, iki ya da daha fazla değişken arasındaki doğrusal ilişkinin gücünü ve yönünü tanımlamak için kullanılır. Korelasyon analizinde en önemli nokta Pearson korelasyon katsayısının hesaplanmasıdır. Aşağıdaki Çizelge 5.2'de korelasyon katsayısına göre korelasyon değeri belirlenmiş ve ilişki dereceleri yorumlanmıştır. (Ankaralı, H., vd., 2015)

Çizelge 5.2. Korelasyon değeri ve ilişki derecesi. (Ankaralı, H., vd., 2015)

R Değeri	İlişki Derecesi
0,86-1,00	Çok Yüksek
0,70-0,85	Yüksek
0,50-0,69	Orta
0,20-0,49	Düşük
0,01-0,19	Önemsiz

Bu çalışmamıza baktığımızda Korelasyon değeri ile ilişki çerçevesinde %64.7'lik oran bize orta düzeyde bir doğrulukta analiz gerçekleştirdiğimizi göstermektedir. Daha fazla ve daha sık ölçümler yaparak geliştireceğimiz modellemelerde ilişki derecesinin yüksek ve/veya çok yüksek çıkması bu bağlamda olası bir durum olarak görülmektedir.

## 5.3. ÇOKLU VARYANS ANALİZİ

Ortalamalar arasında herhangi bir fark olup olmadığına bakmak istendiğinde ve/veya sürekli bir ölçüm ve iki ya da daha fazla gurubumuz olduğu zaman ANOVA varyans analizi kullanılır. ANOVA bize gurupların birbirinden farklı olup olmadığı hakkında bilgi verir. Yapılan analizlerde elde edilen veriler ile anlamlı bir etki olup olmadığı Çizelge 5.3 ve Çizelge 5.4'deki test sonuçlarına bakılarak görülebilmektedir.

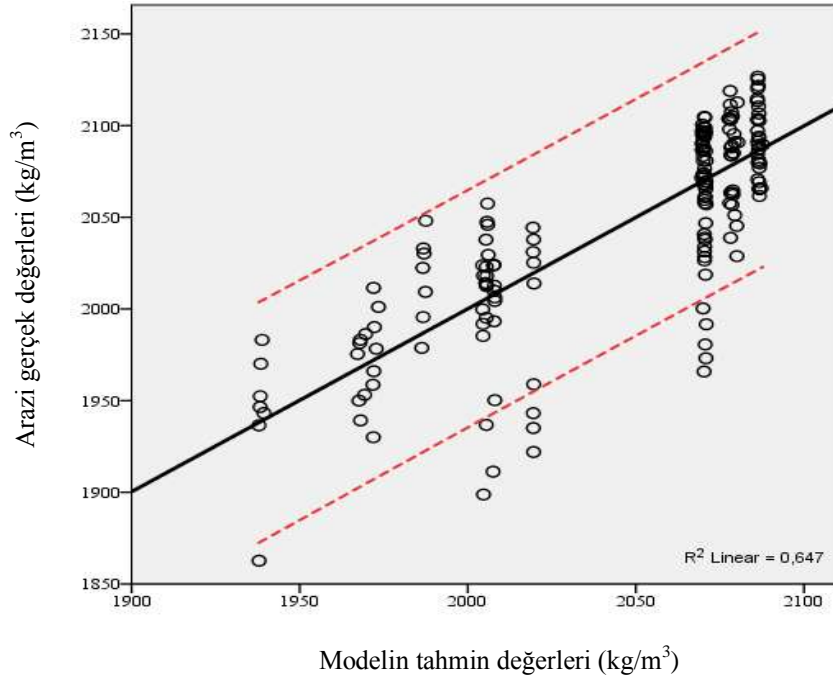
Çizelge 5.3. ANOVA test sonuçları.

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Regression	346443,721	1	346443,721	325,698	,000
Residual	189338,073	178	1063,697		
Total	535781,794	179			

Çizelge 5.4. Model özeti.

R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
,804	,647	,645	32,614

Model özetine baktığımız da görüldüğü üzere  $R^2$  değeri %64,7 olarak tahmin edilmiştir. Regresyon analizi sonucunda hesaplanan yoğunluk değerleri ile sahada PQI ile ölçülen yoğunluk değerleri arasındaki ilişkiyi belirlemek üzere Şekil 5.2' de % 95 güven aralığı ile çizilmiştir. Tüm analizler değerlendirildiğinde oluşturulan modelin  $R^2 = %64,7$  ile orta düzeyde bir ilişkiye sahip olduğu görülmektedir.



Şekil 5.1. Modelin tahmin değerleri ile gerçek değerler arasındaki ilişki.

## 6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan bu çalışmada nükleer olmayan elektromanyetik test aletlerinden olan PQI (Pavement Quality Indicator) deney aleti arazide asfalt yoğunluğunu farklı zaman aralıklarında tespit etmek için kullanılmıştır. Seçilen toplamda yaklaşık 11 km' lik 3 adet yolun her 250 metresinde ölçümler yaparak yoğunluk, sıcaklık, sıkışma ve trafik yükleri tespit edilmiştir. Aynı zamanda laboratuvar ortamında hazırlanan numuneler ışığında regresyon eğrisi oluşturularak arazi verilerinin düzeltilmesi için kalibrasyon katsayısı belirlenmiş ve tüm arazi verileri bu katsayılar ile düzeltilmiştir.

Kalibre edilmiş yoğunluk değerleri ile SPSS programı kullanarak ANOVA testi uygulanmış, korelasyon ve regresyon modelleri oluşturulmuş, oluşan bu modellemeler yardımı ile ileriye dönük yol güzergahı hakkında bilgi edinilebileceği görülmüştür.

Aynı zamanda trafik yüküne bağlı olarak ilerleyen dönemlerdeki sıkışma miktarlarını hesaplayabilecek ve yol bakım çalışmalarının yapılacağı zaman dilimlerini kolaylıkla kararlaştırılabilecektir.

Yapılan çalışmalar yoldan daha fazla ve daha sık veri alınarak yüksek düzeyde model geliştirebileceğini, elde edilen verilerin geleceğe dair tahminlerinde doğruluk yüzdesinin arttırılabileceğini ifade etmektedir. Ayrıca yoğunluğa bağlı olarak yolun kalite düzeyinde karot almadan bilgi sahibi olunabileceğini göstermektedir.

Yeni ve farklı tahmin modelleri oluşturulabileceği ya da yapılan modellerin geliştirilerek daha iyi ve güçlü regresyon sonuçları elde edileceği düşünülmektedir.

Ayrıca PQI ile yoldan veriler elde edilirken kullanılan yöntemin nükleer olmaması çevreye duyarlılık açısından da oldukça önemlidir. Diğer taraftan veri toplama esnasında trafiğe engel olmadan ölçümler yapılabilmesi işletme maliyetleri açısından da önemlidir. Çalışmada kullanılmış olan PQI cihazının yaygınlaştırılması ve hatta karayolları teknik şartnamelerine dahil edilmesi konusunda detaylı araştırmaların devam ettirilmesinin yukarıda saymış olduğumuz hususlar açısından fazlasıyla önemli olduğu düşünülmektedir.

## 7. KAYNAKLAR

- Allen, D.L., Schultz, J.D.B., Willett, D.A., 2003, *Evaluation of Non-Nuclear Density Gauges*. KTC:03-24/FR115-01-1F, Kentucky Transportation Center, USA, Rep.
- Al-Qadi, I.I., Leng, Z., Al Larkin, 2011, *In-Place Hot Mix Asphalt Density Estimation Using Ground Penetrating Radar*, Federal Aviation Administration Under Cooperative Agreement, USA, Rep.
- Al-Hakim, B., Cheung, L.W., Armitage, R.J. 2000 Use of FWD Data for Prediction of Bonding Between Pavement Layers. *International Journal of Pavement Engineering*, 1 (1), 49–59.
- Ankaralı, H. Cangür, Ş. Sungur, M. (2015), *Formülsüz Biyoistatistik*, İstanbul: Akademik Yayınlar.
- Asfalt Kaplamaların Bakımı 2018, 8 Ağustos 2019, <<https://insapedia.com/asfalt-yollarda-meydana-gelen-kusur-ve-hasar-cesitleri/>>.
- Batman İl Özel İdaresi 2012, 12 Ağustos 2019, < <http://www.ilkehaberajansi.com.tr/images/photo/45879.jpg>>.
- Caro, S., Diaz, A., Rojas, D., & Nuñez. 2014. H. A micromechanical model to evaluate the impact of air void content and connectivity in the oxidation of asphalt mixtures, *Construction and Building Materials*, 61, 181-190.
- Chen, D.H., Wang, J.N., Bilyeu, J. 2001 Application of Dynamic Cone Penetrometer In Evaluation of Base and Subgrade Layers *Transportation Research Record*, 1764, 1-10.
- Gilbert, A. 2003. *Measuring asphalt density using a transtech pavement quality indicator as an alternative to a nuclear density gauge*, TransTech Systems, Inc., Schenectady, NY, Technical Rep.
- Graveen C, 2001. 'Nondestructive Test Methods to Assess Pavement Quality For Use In A Performance-Related Specification,' PhD thesis, University of Purdue, USA.
- Hu, J., Liu, P., Wang, D., Oeser, M., & Tan. (2016). YInvestigation on fatigue damage of asphalt mixture with different air-voids using microstructural analysis, *Construction and Building Materials*, 125, 936-945.
- Karayolları Genel Müdürlüğü, Karayolları Teknik Şartnamesi 2013, 08 Nisan 2019, < [tamyol.com.tr/UserFiles/Content/KGM\\_Teknik\\_Sartnamesi\\_2013.pdf](http://tamyol.com.tr/UserFiles/Content/KGM_Teknik_Sartnamesi_2013.pdf) >.
- Kabassi, K., Im, H., Bode, T., Zhuang, Z., & Cho, Y. (2011). Non-Nuclear Method for HMA density measurements. *In Associated Schools of Construction (ASC) 47th Annual International Conference Omaha, NE*.
- Kandhal, P. S., & Chakraborty, S. (1996). Effect of asphalt film thickness on short-and long-term aging of asphalt paving mixtures. *Transportation Research Record*, 1535(1), 83-90.

- Kültür ve Turizm Bakanlığı, Düzce Turizm Haritası 2018, 19 Temmuz 2019, <<https://duzce.ktb.gov.tr/TR-70756/tanitici-yayinlar.html>>.
- Leng, Z., Al-Qadi, I. L., & Lahouar, S. (2011). Development and validation for in situ asphalt mixture density prediction models. *NDT & e International*, 44(4), 369-375.
- Leng, Z., Al-Qadi, I. L., Shangguan, P., & Son, S. (2012). Field application of ground-penetrating radar for measurement of asphalt mixture density: case study of illinois route 72 overlay. *Transportation Research Record*, 2304(1), 133-141.
- Leng, Z., Zhang, Z., Zhang, Y., Wang, Y., Yu, H., & Ling, T. (2018). Laboratory evaluation of electromagnetic density gauges for hot-mix asphalt mixture density measurement. *Construction and Building Materials*, 158, 1055-1064.
- Little, D.N., Shafee, Y.F.A.M., 2001, *Application of the National Lime Association Mixture Design and Testing Protocol (MDTP) to Ascertain Engineering Properties of Lime-Treated Subgrades for Mechanistic Pavement Design/Analysis*, National Lime Association, Arlington, USA, Rep.
- Lu, Q., Harvey, J.T., Ullidtz, P., (2008). Stiffness Characterization with Falling Weight Deflectometer in Accelerated Pavement Testing, *3rd International Conference APT08* (ss. 49-87).
- Paula Wiles, P.E.; Jordan Whittington, P.E.; Matthew Strickland, E.I. (2010). State Study No. 198 Transtech PQI 301 Pavement Quality Indicator Device Evaluation.
- Rogge, D. F., & Jackson, M. A., 1999, *Compaction and measurement of field density for Oregon open-graded (F-Mix) asphalt pavement*, USA, Rep.
- Romero, P. 2002. *Evaluation of non-nuclear gauges to measure density of hot-mix asphalt pavements*. Pooled Fund Study Final Report, Department of Civil and Environmental Engineering, Utah.
- Russel W. Lenz, P.E., (2011), *Pavement Design Guide*. Texas Department of Transportation.
- Saltan, M. (1999). 'Esnek Üstyapıların Analitik Değerlendirilmesi', Doktora tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, Türkiye.
- Sebaaly, B., Davies, T.G., Mamlouk, M., (1985). Dynamics of FWD, ASCE, *Journal of Transportation Engineering*, 111(6), 618-632.
- Serin, S. (2014). 'Tahribatsız Test Yöntemleri İle Esnek Üstyapıların Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin Modellenmesi', Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, Türkiye.
- Shahin M.Y., (2002). *Pavement Management for Airports Roads and Parling Lots*. Massachusetts: Kluwer Academic Publishers.
- Siddharthan, R., Norris, G.M., Epps, J.A., (1991). Use of FWD Data for Pavement Meterial Characterization and Performance, *Journal of Transportation Engineering*, 117, 6, 660-678.
- Steve R. Sanders, T., Rath, D., Parker F, "Comparison of Nuclear and Core Pavement Density Measurements," *Journal of Transportation Engineering*, sayı 6, ss. 120-127,1994.

- Turabi, A., & Cüre, S. (2005). Otoyol Esnek Üstyapı İnşaatı Kalite Kontrolünde Kalite Yönetim Sisteminin Uygulanabilirliği. *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 7(1), 26-39.
- Williams, S. G, 2008, *Non-nuclear methods for HMA density measurements*, Mack-Blackwell Rural Transportation Center, USA, Rep.
- Yatkin, A. (2004). *Toplam Kalite Yönetimi*. Ankara: Nobel Yayınları.
- Xiao, F., Punith, V. S., & Putman, B. J. "Effect of compaction temperature on rutting and moisture resistance of foamed warm-mix-asphalt mixtures." *Journal of Materials in Civil Engineering*, 25(9), 1344-1352, 2012.
- Xu, S., Xiao, F., Amirhanian, S., & Singh, D. Moisture characteristics of mixtures with warm mix asphalt technologies–A review, *Construction and Building Materials*, 142, 148-161, 2012.
- Zemin Araştırma Merkezi Ltd 2004, 7 Ağustos 2019, <<http://www.zeminarastirma.com/deneyler/dinamik-koni-penetrasyon-testi/>>.

# ÖZGEÇMİŞ

## KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Murat BAYAZİT  
Doğum Tarihi ve Yeri : 13.07.1989 BEYOĞLU/İSTANBUL  
Yabancı Dili : İNGİLİZCE  
E-posta : mrtbayazit@gmail.com

## ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Yüksek Lisans	İnşaat Mühendisliği	Düzce Üniversitesi	2019
Lisans	İnşaat Mühendisliği	Gümüşhane Üniversitesi	2015
Ön lisans	İnşaat Teknolojisi	Karadeniz Teknik Üniversitesi	2010
Lise		Bağcılar Lisesi	2007